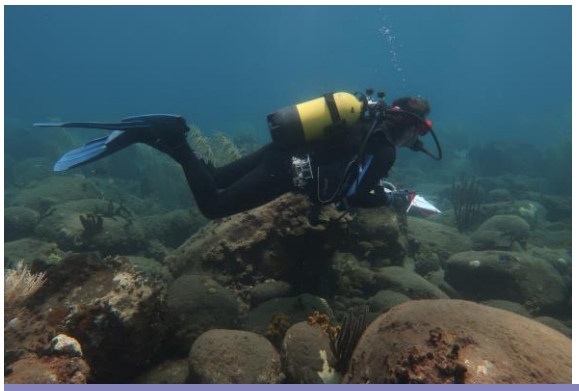
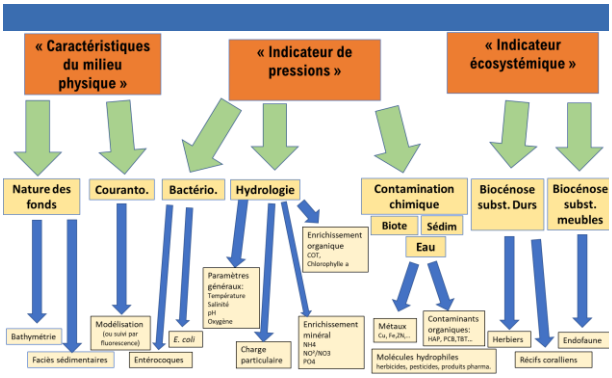




RAPPORT

Guide méthodologique de suivis des rejets en mer en Guadeloupe

Mars 2021

OFFICE DE L'EAU - REGION DE GUADELOUPE

creocean
Environnement & océanographie

Sommaire

Contexte 3

1. Règlementation environnementale en matière d'assainissement 4

1.1. Rappel règlementaire 4

1.2. Rappel des contraintes réglementaires épuratoires des STEU 5

2. Synthèse bibliographique des guides existants 6

2.1. En France Hexagonale (Méditerrannée) 6

2.2. En Outre-Mer 9

2.2.1. A la Réunion 9

2.2.2. A Mayotte 12

2.2.3. Nouvelle Calédonie 18

2.3. Conclusion 21

3. Caractéristiques des rejets et des milieux récepteurs dans le contexte Antillais 22

3.1. Spécificités environnementales de la Guadeloupe 22

3.1.1. Généralités 22

3.1.2. Comparaison inter-Dom 23

3.1.3. Présentation succincte des principaux écosystèmes marins 24

3.2. Spécificités anthropiques de la Guadeloupe 28

3.2.1. Population 28

3.2.2. Industries 28

3.3. Types de rejets 29

3.3.1. Rejets d'assainissement 29

3.3.2. Rejets industriels 30

3.3.3. Rejets d'eaux pluviales 30

4. Guide référentiel des paramètres existants (grilles de qualité/d'interprétation) 31

4.1. Grilles de qualité DCE proposées 31

4.1.1. Eléments de qualité biologique 32

4.1.2. Eléments de qualités physico-chimiques 35

4.1.3. Eléments de qualité chimique 36

4.2. Autres valeurs référentielles 38

5. Protocole de surveillance 40
5.1. Synthèse des 4 guides existants 40
5.1.1. Synthèse analytique des guides 40
5.2. Méthodologie de construction du protocole de suivi 42
5.2.1. Présentation des paramètres de suivis 42
5.2.2. Présentation des critères déterminants 46
5.2.3. Niveaux de surveillance 47
5.2.4. Effort d'échantillonnage 48
5.2.5. Echelle spatio-temporelle 51
5.3. Estimation des coûts 53
5.4. Conclusion 53
5.5. Les différents protocoles de surveillance des paramètres 54
5.6. Coordination 55
5.7. Bancarisation des données 56
6. Fiches techniques des familles de paramètres 57
6.1. Hydrologie 57
6.1.1. Variables suivies 57
6.1.2. Type de suivi 57
6.1.3. Méthodologie 57
6.1.4. Valeurs de référence 59
6.1.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage 60
6.1.6. Estimation financière 61
6.1.7. Références bibliographiques 61
6.2. Bactériologie dans l'eau de mer 62
6.2.1. Variables suivies 62
6.2.2. Type de suivi 62
6.2.3. Méthodologie 62
6.2.4. Valeurs de référence 63
6.2.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage 63
6.2.6. Estimation financière 64
6.3. Qualité chimique de l'eau 65
6.3.1. Variables suivies 65
6.3.2. Type de suivi 65

6.3.3. Méthodologie 65
6.3.4. Valeurs de référence 69
6.3.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage 70
6.3.6. Estimation financière 71
6.3.7. Références bibliographiques 71
6.4. Contamination chimique des sédiments 72
6.4.1. Variables suivies 72
6.4.2. Type de suivi 72
6.4.3. Méthodologie 72
6.4.4. Valeurs de référence 74
6.4.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage 75
6.4.6. Estimation financière 76
6.4.7. Références bibliographiques 77
6.5. Biocénose/peuplement benthiques de substrats durs 78
6.5.1. Communauté corallienne 78
6.5.2. Herbiers de phanérogames 85
6.6. Nature des fonds 94
6.6.1. Variables suivies 94
6.6.2. Type de suivi 94
6.6.3. Méthodologie 94
6.6.4. Estimation financière 95
6.6.5. Références bibliographiques 95
6.7. Courantologie 96
6.7.1. Variables suivies 96
6.7.2. Type de suivi 96
6.7.3. Méthodologie 96
6.7.4. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage 99
6.7.5. Estimation financière 99
6.7.6. Références bibliographiques 102
6.8. Biocénoses de substrats meubles 103
6.8.1. Variables suivies 103
6.8.2. Type de suivi 103
6.8.3. Méthodologie 103
6.8.4. Valeurs de références 106

6.8.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage 108
6.8.6. Estimation financière 109
6.8.7. Références bibliographiques 109
6.9. Contamination chimique dans le biote 110
6.9.1. Variables suivies.....110
6.9.2. Type de suivi 110
6.9.3. Méthodologie.....110
6.9.4. Valeurs de références.....111
6.9.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage 113
6.9.6. Estimation financière 113
6.9.7. Références bibliographiques 113
6.10. Synthèse méthodologique de suivi des différentes familles de paramètres 114
CONCLUSION 116
7. Références 117

Liste des Figures

Figure 1 : Critères permettant un classement de l'effort de surveillance à effectuer selon l'importance des apports à la mer et la configuration géographique du site marin récepteur..... 7

Figure 2: Tâches proposées en fonction du type de surveillance 8

Figure 3 : Exigences de suivi selon le type de rejet et la typologie du milieu récepteur des rejets urbains sur l'île de la Réunion 10

Figure 4 : Fréquence d'échantillonnage et type de suivi selon l'indicateur de qualité retenu pour l'évaluation de l'impact des rejets urbains à la Réunion. 11

Figure 5 : Carte de vulnérabilité des zones côtières de Mayotte réalisée par SAFEGE en 2011, sur la base de la méthodologie proposée par l'UNESCO en 2000 et décrite dans le rapport (précédent) des phases 1 et 2 13

Figure 6: synthèse et arbre de décision pour choisir la localisation du point de rejet 15

Figure 7: Détermination des points de contrôle, dans les différents champs (tiré de Andral et Derolez, 2007). Source BRGM, 2008 16

Figure 8 : Paramètres à étudier dans le cadre d'un suivi à long terme dans le milieu marin mahorais (SAFEGE, 2012) 17

Figure 9 : Mise en place de différents types de suivi en fonction du contexte (d'après Green 1979)..... 19

Figure 10 : Connectivité entre les herbiers de phanérogames et communautés coralliennes (AAMP, 2013)..... 22

Figure 11 : Synthèse des habitats benthiques dans le milieu marin de Guadeloupe (AAMP, 2013)..... 27

Figure 12 : Illustration de la classification choisie 42

Figure 13 : Synthèse de la classification des 3 types de suivis, des 9 familles de paramètres et les principaux paramètres élémentaires de suivis 45

Figure 14 : Illustration des champs de suivi définis..... 49

Figure 15 : Exemple de plan d'échantillonnage pour un effort d'échantillonnage de niveau I (à gauche) et de niveau II (à droite) dans le cas où le rejet se fait en émissaire en milieu ouvert.. 49

Figure 16 : Exemple de plan d'échantillonnage dans le cas où le rejet est côtier 50

Figure 17 : Photographies de prélèvement par bouteille Niskin (gauche) et prélèvement avec filtration (droite)..... 57

Figure 18 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 6 stations) OU de niveau II (petits rejets STEU avec 3 stations) pour le suivi de l'hydrologie ... 61

Figure 19 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 6 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 4 stations pour le suivi de la bactériologie en eau de mer 64

Figure 20 : Pose de POCIS et DGT avec bouée (à gauche) et zoom sur le POCIS à l'Ilet Christophe (à droite) 66

Figure 21 : Prélèvement de SBSE (à gauche) et le barreau à analyser (à droite) 66

Figure 22 : Image d'un échantillon de DGT 67

Figure 23 : illustration de POCIS en mer (à gauche) et après relève au laboratoire (à droite).... 68

Figure 24 : Plan d'échantillonnage pour le suivi de la contamination chimique de l'eau (2 stations pour le niveau I et 1 station pour le niveau II) 71

Figure 25: Illustration du fonctionnement d'un carottier (à gauche) et d'une benne (à droite) selon Cerema (2018)..... 73

Figure 26 : Photographies d'une Benne Van Veen (à gauche) et d'un exemple de prélèvement de sédiments (à droite) dans le port de Guadeloupe 73

Figure 27 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 2 stations pour le suivi de la contamination chimique du sédiment..... 76

Figure 28 : Déroulement du décamètre matérialisant les 6 transects 79

Figure 29 : Identification d'une colonie juvénile de Dichocoenia stokesi..... 79

Figure 30 : Forte densité d'oursins diadème observée sur une station de suivi du rejet de la STEU d'Anse Bertrand - Guadeloupe..... 80

Figure 31 - Colonie de Montastrea montastrea présentant une large nécrose..... 81

Figure 32 : Catégorie de recouvrement en macro-algues..... 81

Figure 33 : Relevé de la couverture en macro-algue au sein d'un quadrat de 25 cm x 25 cm.... 82

Figure 34 : Classe d'état général de santé écologique pour les récifs coralliens..... 82

Figure 35 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 2 stations pour le suivi des communautés coralliennes..... 83

Figure 36 : Changement d composition de l'herbier relevé par le paramètre 1 (Halophila sp. à Syringodium sp.) 86

Figure 37 : Schématisation de la fragmentation et du mitage d'un herbier de phanérogame 86

Figure 38 : Oursin Blanc (Tripneustes ventricosus) observé le long d'un relevé BELT..... 87

Figure 39 : Evaluation du recouvrement en phanérogames au sein d'un quadrat 88

Figure 40 : Recouvrement fort en Caulerpa mexicana..... 89

Figure 41 - Tache de cyanophycées relevée au sein d'un quadrat 89

Figure 42 : Algues calcaires et algues filamenteuses en épibioses de feuilles de Syringodium sp. 90

Figure 43 : Fleur de Thalassia testudinum 90

Figure 44 : Feuilles de Thalassia testudinum noircies, signe de sénescence du plant 91

Figure 45 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 2 stations (+2 suivis optionnels) pour le suivi des herbiers 92

Figure 46 : Photographie du support avec l'ADCP au milieu 97

Figure 47 : Injection de fluorescéine (brun-rouge) dans la bâche de reprise d'une STEU (d'après San Ouest, 2013) 98

Figure 48 : Photographies aériennes de suivi par fluorescéine à la STEU de Trois-Rivières effectué le 06/02/20 à 9h30 (gauche) et de Capesterre, effectué le 19/12/18 à 9h27 (droite) (DEAL 971) 99

Figure 49 : Plan d'échantillonnage pour le suivi de la « courantologie » uniquement pour des suivis de surveillance de niveau I (gros rejets industriels ou STEU > 10 000 EH) 99

Figure 50 : Moyenne du courant de surface sur la période du 1er au 31 août 2018 autour de la Guadeloupe. Source : extrait du rapport Actimar phase 3 du projet Carib-Coast 100

Figure 51 : Importance (en %) de la circulation de surface induite par la marée et le vent dans la circulation totale au mois d'août 2018 autour de la Guadeloupe. Source : extrait du rapport Actimar phase 3 du projet Carib-Coast 101

Figure 52 : Analyse en cluster des 2 principaux régimes de vents sur l'année 2018. Source : extrait du rapport Actimar phase 3 du projet Carib-Coast 102

Figure 53 : Refus de tamis de 1 mm de vide de maille (à gauche) et prélèvement de benthos (à droite) à Saint-Martin 103

Figure 54 : Plan d'échantillonnage pour le suivi des biocénoses de substrats meubles de niveau I (gros rejets industriels ou STEU > 10 000EH) avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets <10 000 EH) avec 2 stations 108

Figure 55 : Isognomon alatus sur une racine de palétuvier en Martinique (photo de Nicolas Cimitera) 110

Figure 56 : Plan d'échantillonnage pour le suivi de la contamination chimique dans le biote uniquement pour un suivi de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000 EH) avec 2 stations. 113

Liste des tableaux

Tableau 1 : Performances minimales de traitement attendues (moyenne journalière) fixées par l'arrêté du 21 juillet 2015 5

Tableau 2 : Performances minimales de traitement attendues (moyenne annuelle) en cas de rejet en zone sensible à l'eutrophisation fixées par l'arrêté du 21 juillet 2015 5

Tableau 3 : Comparatif des conditions climatiques, morphologiques, bio-géographiqes et environnementales dans les Outre-Mer et en Méditerranée 23

Tableau 4 : Synthèse des superficies des différents habitats dans les différentes zones (Ifrecor sauf en Méditerranée) 27

Tableau 5 : Les différents types de masse d'eau en Guadeloupe selon la DCE 31

Tableau 6: Grille de qualité proposée pour l'indice de biomasse chlorophyllienne (concentration en chl. a en ug/l) (Ifremer, 2020) 32

Tableau 7 : Grille de qualité DCE proposée pour l'indice "Corail" (% du substrat colonisable) (Impact-Mer, 2016) 32

Tableau 8: Grille de qualité DCE proposée pour l'indice "Macro-algues" '(% du substrat total) (d'après Impact-Mer et al., 2013) 32

Tableau 9 : Grille de qualité proposée pour les oursins diadème (nbre/m^2) (adaptée de Mcfield & Kramer, 2007) 33

Tableau 10 : Grille de qualité proposée pour l'indice état de santé général de corallien 33

Tableau 11 : Grille de qualité proposée pour l'indice « blanchissement » 33

Tableau 12 : Grille de qualité proposée pour l'indice état de santé général de l'herbier 34

Tableau 13 : Limites des 5 classes DCE retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot et al., 2008) 34

Tableau 14 : Grille de valeurs de M-AMBI en région méditerranéenne 34

Tableau 15 : Grille de valeurs de AMBI utilisée en métropole (Borja et al, 2007) 34

Tableau 16: Grille de qualité proposées pour la température (en %) (Ifremer, 2020) 35

Tableau 17: Fourchettes de salinité proposées pour tous types de MEC (d'après CCTP) 35

Tableau 18 : Grilles de qualité proposées pour la turbidité en 2018 (Ifremer, 2020) 35

Tableau 19 : Grilles de qualité proposées pour l'oxygène dissous (en mg/l) (Ifremer, 2020) 35

Tableau 20 - Valeurs seuils proposées pour l'Azote Total (DIN : nitrate + nitrite + ammonium) et les Ortho-phosphates (en µmol/l) (d'après Impact-Mer et al., 2011) 36

Tableau 21: Valeurs seuils de la qualité des eaux de baignade selon l'ARS (2018) 38

Tableau 22 : Classification Kouyoumontzakis (Marty, 1993) 38

Tableau 23 : Valeurs seuils et classes d'enrichissement des sédiments pour l'azote Kjeldahl et le phosphore total (Andral, 2007) 38

Tableau 24 : Synthèse bibliographique des paramètres étudiés dans les différents guides normalisés existants 41

Tableau 25 : Classification de la vulnérabilité selon le milieu récepteur 47

Tableau 26 : Niveau de surveillance selon le milieu récepteur et le type de rejet en Guadeloupe 47

Tableau 27 : Famille de paramètres à prendre en compte selon le niveau de suivi, le milieu récepteur et le type de suivi : 48

Tableau 28 : Récapitulatifs des efforts d'échantillonnage (en nombre de stations) et de la fréquence d'échantillonnage selon le type de rejet 52

Tableau 29 : Récapitulatifs des coûts estimatifs selon la famille de paramètres suivis et le niveau de surveillance 53

Tableau 30 : Méthodes d'analyse des mesures in situ pour la famille de paramètres « 'hydrologie » 58

Tableau 31 : Méthodes d'analyses en laboratoires pour famille de paramètres « hydrologie ». 59

Tableau 32: Grille de qualité proposée pour la température (en %) (Ifremer, 2020) 59

Tableau 33: Fourchettes de salinité proposées pour tous types de MEC (d'après CCTP) 59

Tableau 34 : Grilles de qualité proposées pour la turbidité en 2018 (Ifremer, 2020) 60

Tableau 35 : Grilles de qualité proposées pour l'oxygène dissous (en mg/l) (Ifremer, 2020) 60

Tableau 36 - Valeurs seuils proposées pour l'Azote Total (DIN : nitrate + nitrite + ammonium) et les Orthophosphates (en µmol/l) (d'après Impact-Mer et al., 2011) 60

Tableau 37 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements du suivi d'hydrologie 61

Tableau 38 : Méthodes d'analyses en laboratoires pour la famille de paramètres de bactériologie 63

Tableau 39: Valeurs seuils de la qualité des eaux de baignade selon l'ARS (2018) 63

Tableau 40 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements de bactériologie 64

Tableau 41: Valeurs seuils de la qualité chimiques des eaux selon NQE 69

Tableau 42 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements d'eau et leurs analyses (contamination chimique de l'eau) 71

Tableau 43: Valeurs seuils de la qualité des sédiments selon INERIS (2017) 75

Tableau 44 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements et analyse de sédiments (contamination chimique)..... 76

Tableau 45 : Classification Kouyoumontzakis pour la fraction fine (<63 µm) (Marty, 1993) 106

Tableau 46 : Valeurs seuils et classes d'enrichissement des sédiments pour l'azote Kjeldahl et le phosphore total (Andral, 2007) 106

Tableau 47 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984) 107

Tableau 48 : Limites des 5 classes DCE retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot et al., 2008) 107

Tableau 49 : Estimation des coûts pour le suivi « biocénose de substrats meubles » d'un site 109

Tableau 50 : Liste des contaminants historiques recherchés dans le cadre du ROCCH (Guadeloupe et Martinique)..... 110

Tableau 51 : Valeurs comparatives sur les deux stations ROCCH Guadeloupe pour la période de 2002-2007 (IFREMER)..... 112

Tableau 52 : Estimation des coûts pour le suivi et l'analyse d'un site sur 2 campagnes de la chimie dans le biote 113

Contexte

Les eaux marines antillaises sont caractérisées par la diversité ainsi que l'endémisme des espèces présentes. Cependant, la Guadeloupe connait une forte activité anthropique qui influence les eaux littorales, particulièrement avec l'urbanisation du littoral qui dégrade la qualité des eaux ainsi que les écosystèmes marins.

Malgré la mise en place de nombreuses directives européennes et nationales, le traitement de plus en plus performant des eaux urbaines en matière de lutte contre la pollution domestique et des efforts engagés à l'échelle de chaque Bassin-Versant, les eaux usées en mers sont une source de contamination importante de l'eau, de la matière vivante et des sédiments.

Les impacts des rejets en mer peuvent avoir des conséquences sur le milieu marin, notamment sur les milieux sensibles tels que les récifs coralliens et les herbiers endémiques, qui sont typiques de la Guadeloupe.

Il convient, dans le cadre de la mise en place d'arrêtés préfectoraux (dont les services de la DEAL sont en charge), de suivre les incidences des rejets des stations d'épurations sur les milieux récepteurs. Toutefois, les services de l'eau de la DEAL rencontrent des difficultés à définir un suivi adapté, en fonction de la nature des rejets et de la sensibilité des milieux récepteurs, du fait d'un manque de retour d'expérience, contrairement à la France hexagonale.

Depuis 2007, en Guadeloupe, les stations d'épurations les plus importantes sont théoriquement soumises à un suivi annuel des rejets dans le milieu récepteur.

Les caractéristiques de ces suivis annuels sont basées soit sur des retours d'expériences métropolitains, soir basés sur des guides normalisés existants à la Réunion ou en Méditerranée. De plus, certains rejets ne font pas l'objet de suivis réguliers et la Police de l'eau dispose de peu de retour des maîtres d'ouvrage sur la réalisation ou non des suivis prescrits dans les arrêtés préfectoraux.

Pour remédier à cela et mettre en place des suivis adaptés et pertinents, un état des lieux de 12 principaux rejets en mer en Guadeloupe a été effectué par Créocéan. Cet inventaire et diagnostic des biocénoses marines au droit des rejets des principaux émissaires, fait l'objet d'un premier rapport.

En parallèle, Créocéan a élaboré un guide méthodologique de suivi normalisé des rejets urbains en mer, qui compose ce second cahier. L'objectif est d'apporter aux gestionnaires, à la Police de l'Eau et à tout acteur du territoire, des outils pour définir et comprendre les besoins de suivis à mettre en œuvre pour percevoir de manière claire et exhaustive les incidences de rejets sur le milieu marin.

Le présent guide méthodologique inclue en premier lieu une synthèse des quatre guides disponibles pour la région Méditerranéenne et Outre-Mer, pour ensuite proposer des méthodes adaptées au contexte guadeloupéen, pour la mise en place de mesures de suivi environnemental des rejets en mer en Guadeloupe.

Ce guide est destiné au service de l'état et aux gestionnaires afin d'évaluer l'impact des rejets urbains sur la qualité du milieu marin et de mettre en place des suivis homogènes sur tout le territoire mais spécifiques, en fonction de la nature du rejet et du milieu récepteur.

1. Règlementation environnementale en matière d'assainissement

1.1. Rappel règlementaire

La Guadeloupe est un département et région d'Outre-Mer. Elle est donc soumise aux mêmes lois qu'en France métropolitaine ainsi que les lois européennes. Ainsi la réglementation environnementale concernant le milieu marin et les rejets urbains provient d'un ensemble de textes et conventions dont certains sont cités ci-dessous :

- Directive cadre sur l'eau (2000/60/CE).
- Directive 20014/101/UE modifiant la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.
- Directive (CEE) n°91-271 du Conseil du 21 mai modifiée relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.
- Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques.
- Arrêté du 6 novembre 1996.
- Code de l'environnement, et notamment son livre II et V.
- Code général des collectivités territoriales, et notamment ses articles L. 2224-7 à L.2224-12, L. 5216-5 et R.2224-21.
- Code de la santé publique, et notamment le livre III de la Ière partie.
- Arrêté du 31 juillet 2020 modifiant l'arrêté du 21 juillet 2015 modifié relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5
- Circulaire du MEEDD du 29 septembre 2010 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées.
- LOI n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement Art L.219-7 – « Le milieu marin fait partie du patrimoine commun à la Nation. Sa Protection et la Conservation de sa biodiversité et son utilisation durable par les activités maritimes et littorales dans le respect des habitats et des écosystèmes marins sont d'intérêt général ».
- Arrêté ministériel « RSDE » du 24 août 2017.
- L'arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R.212-11 et R.212-18 du code de l'environnement.

Le paragraphe suivant synthétise l'ensemble des contraintes épuratoires des STEU, applicables en Guadeloupe.

1.2. Rappel des contraintes réglementaires épuratoires des STEU

La capacité d'une station d'épuration est déterminée par l'unité d'Equivalent-Habitant (EH). Selon la directive européenne du 21 mai 1991, l'EH correspond à la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique de 60 g d'oxygène en cinq jours.

Par conséquent, **1 EH équivaut à 60 g de DBO_5/j, 80 g MES/j, 15 g de matières azotées/j, 4 g de matières phosphorées/j et 150 à 250 l d'eau/j.**

L'EH est ainsi une référence réglementaire défini par l'arrêté du 6 novembre 1996 relatif à la quantité de pollution journalière. Cela permet de caractériser les effluents des différentes STEU. Depuis des exigences épuratoires ont été établies par l'arrêté du 21 juillet 2015, qui sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Performances minimales de traitement attendues (moyenne journalière) fixées par l'arrêté du 21 juillet 2015

Capacité de la STEU (EH)	Charge brute correspondante (en kg/j de DBO_5)	Concentrations maximales (mg/l)			Rendement minimal (%)			Concentration rédhibitoire (mg/l)		
		DCO	DBO_5	MES	DCO	DBO_5	MES	DCO	DBO_5	MES
<2 000	<120	200	35		60	60	50	400	70	85
2 000 – 10 000	120-600	125	25	35	75	70	90	250	50	85
>10 000	>600	125	25	35	75	80	90	250	50	85

Dans le cas où les effluents sont rejetés dans des zones sensibles à l'eutrophisation, la valeur de la concentration maximale à respecter pour l'azote et le phosphore est indiquée ci-dessous :

Tableau 2 : Performances minimales de traitement attendues (moyenne annuelle) en cas de rejet en zone sensible à l'eutrophisation fixées par l'arrêté du 21 juillet 2015

Zone sensible	Paramètre	Charge brute correspondante (en kg/j de DBO_5)	Concentration maximale (mg/l)	Rendement minimal (%)
Azote	Azote global [1]	>600 et ≤6000 > 6000	15 10	70
Phosphore	Phosphore total	>600 et ≤6000 > 6000	2 1	80

[1]: Les échantillons utilisés pour le calcul de la moyenne annuelle sont prélevés lorsque la température de l'effluent dans le réacteur biologique est supérieure à 12°C

2. Synthèse bibliographique des guides existants

Il existe à ce jour quatre guides normalisés, dont un pour la France hexagonale (région méditerranéenne) et trois autres pour les Outre-Mer : la Réunion, Mayotte et la Nouvelle Calédonie.
Les références sont fournies ci-dessous :

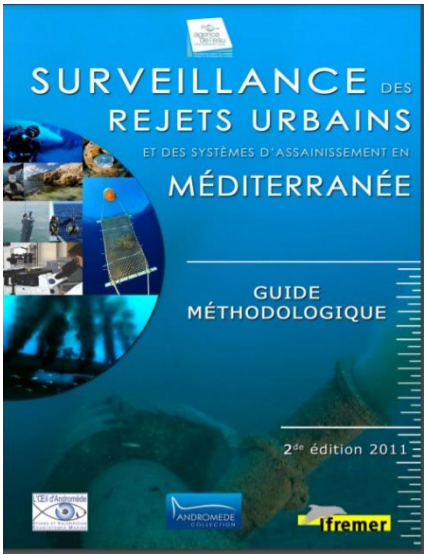
- Beliaeff, B., Bouvet G., FernandezJ-M., David C., Laugier T., 2011. *Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie*. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nicekl. 160 pages. https://cnrt.nc/gimini/

- Andral B., Boissery P., Descamp P., Guilbert A., 2011. *Surveillance des rejets urbains et des systèmes d'assainissement en Méditerranée*. https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/00000000015e4e19e42e856aa4c583da

- SAFEGE, 2012. *Guide méthodologique pour l'instruction et le suivi des rejets des dispositifs d'assainissement collectif*.

- Andral, B., Cambert H., Turquet J., Ropert M., Duval M., Vermenot C., Boissery P., Talec P., 2013. *Guide méthodologique pour la surveillance des rejets urbains dans les eaux littorales de la Réunion*. https://archimer.ifremer.fr/doc/00123/23471/

2.1. En France Hexagonale (Méditerrannée)



L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse ainsi que les collectivités littorales et des syndicats d'assainissement souhaitaient que des suivis écologiques soient réalisés au droit des rejets en mer des eaux usées épurées issues de stations d'épuration (STEU). Cela permettrait d'observer l'effet des systèmes d'assainissement mis en place et de surveiller l'évolution de la qualité du milieu marin.
Le guide méthodologique : **« Surveillance des rejets urbains et des systèmes d'assainissement en Méditerranée »** en 2011, a pour but de proposer une méthodologie de référence pour la surveillance de l'impact des rejets urbains en zone littorale de la Méditerranée française. Ce guide a été élaboré en collaboration avec IFREMER, le bureau d'études Andromède Océanologie et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.
Cette volonté résulte d'un contexte bio-géographique très particulier puisque cette zone possède une mer semi-fermée, oligotrophe, constituant un point chaud de la biodiversité marine mondiale mais étant très anthropisée puisqu'elle qui regroupe jusqu'à **6,5 millions équivalents habitants** (EH) en été, avec les grandes agglomérations qui apportent **79% des rejets urbains en mer.**
Les caractéristiques particulières de la Mer Méditerranée sont les suivants: de faibles variations de marées, de faibles courants, des eaux oligotrophes, une stratification hydrologique etun ensoleillement important pendant l'été et enfin rôle essentiel de la météorologie sur les conditions climatiques

Ce guide rassemble trois grandes parties, avec :

- Un rappel des principaux textes règlementaires ;

- La méthodologie pour dimensionner l'effort de surveillance ;
- La synthèse des différentes tâches constitutives du protocole de surveillance.

Pour dimensionner l'effort de surveillance, les auteurs mettent en avant l'importance de la situation du rejet, et de la configuration du site. Dans la région méditerranéenne on observe ainsi des milieux

- Fermés (lagunes côtières) ;
- Semi-fermés (baies) ;
- Ouverts.

Les auteurs insistent sur la sensibilité variable de ces milieux du fait de leur capacité épuratoire et de dilution des effluents en fonction de la courantologie locale et du renouvellement des eaux.

L'éloignement du site de rejet par rapport à la côte est également un facteur crucial car **l'impact d'un rejet côtier est supérieur à celui d'un rejet en profondeur via un émissaire en mer**. En effet d'après les enseignements des suivis réalisés les années précédentes, les spécificités géomorphologies et hydrodynamiques locales des milieux récepteurs sont extrêmement importantes.
L'importance des apports (en termes de flux rejetés en mer) est un élément qu'il convient de prendre en considération afin de définir l'effort de surveillance. Ainsi pour la caractérisation des effluents, la notion d'Equivalent Habitant (EH) est retenue pour la Méditerranée.
Pour rappel, cette notion est définie comme référence réglementaire d'après l'arrêté du 6 novembre 1996 relatif à la quantité de pollution journalière. Selon la directive européenne du 21 mai 1991, un EH équivaut à 80 g de matière en suspension (MES)/j.

Sur le littoral méditerranéen, la capacité nominale des stations de traitement des eaux usées peut atteindre jusqu'à 1 000 000 EH.
Cela amène au tableau ci-dessous qui présente un classement des surveillances en fonction de la nature des sites et l'importance des apports :

En EH	<2 000	2 000 à 10 000	10 000 à 50 000	50 000 à 150 000	>150 000
En MES (T/j)	<0.16	0.16 à 0.8	0.8 à 0. 4	4 à 12	>12
Emissaire en milieu ouvert					
Emissaire en milieu semi-fermé					
Rejet côtier en mer ouverte					
Rejet côtier en milieu semi fermé					
Rejet côtier en milieu fermé					

Surveillance du site

I. Facultative
II. Légère
III. Normale
V. Renforcée
V. Cas à éviter

Figure 1 : Critères permettant un classement de l'effort de surveillance à effectuer selon l'importance des apports à la mer et la configuration géographique du site marin récepteur

Selon le milieu récepteur de rejet et l'importance des apports à la mer, les types de suivi diffèrent. Plus les apports en MES sont élevés et plus la zone géographique est fermée (d'un point de vue courantologique), plus les suivis sont davantage soutenus et importants pour ce qui est de l'analyse d'impact.

Avec les EH converti en MES, le tableau nous indique que les concentrations de plus de 4 tonnes sont à éviter pour les rejets côtiers en milieu fermé et plus de 12 tonnes pour les milieux côtiers semi-fermé.

Il conviendra de surclasser ou sous classer d'une catégorie la surveillance en fonction des critères complémentaires à caractériser par étude préalable ou dire d'expert :

- La richesse et vulnérabilité du patrimoine naturel ;
- L'importance des usages s'exerçant sur la zone de rejet.

Ce tableau croisé est très intéressant car il permet de prendre en considération deux facteurs primordiaux et d'avoir une lisibilité rapide et claire de l'effort de surveillance à mettre en œuvre.

Les différentes tâches constitutives du protocole de suivi à effectuer selon le niveau de surveillance (Figure 2), jugées importantes pour la Méditerranée, sont représentées ci-dessous :

		SURVEILLANCE				
TÂCHE		FACULTATIVE I	LEGERE II	NORMALE III	RENFORCEE IV	Déversoirs d'orage
1	Coordination			✓	✓	
2	Flux à la mer		✓	✓	✓	
3	Météorologie				✓	
4	Courantologie locale				✓	
5	Qualité de l'eau				✓	
6	Qualité des sédiments				✓	✓
7	Qualité de la matière vivante	✓	✓	✓	✓	✓
8	Peuplements benthiques			✓	✓	✓
9	Recolonisations expérimentales				✓	
10	Suivi d'espèces particulières	✓	✓	✓	✓	
11	Tests biologiques spécifiques				✓	
12	Cages expérimentales				✓	
13	Molécules émergentes			✓	✓	✓
14	Bancarisation des données	✓	✓	✓	✓	✓

Figure 2: Tâches proposées en fonction du type de surveillance

Ainsi selon le niveau de surveillance défini par la Figure 3, chaque rejet fera l'objet d'un protocole de surveillance comportant la totalité ou une partie des tâches identifiées ci-dessus.

Comme pour le guide de Nouvelle-Calédonie, le guide propose un protocole spécifique pour les 13 tâches ci-dessous :

Les 13 tâches constitutives du protocole de surveillance en Méditerranée		
1. Coordination	**6. Qualité des sédiments**	**9. Suivi des herbiers de Posidonie**
2. Contrôle des flux à la mer	**7. Qualité de la matière vivante**	**10. Recolonisations expérimentales**
3. Météorologie	**8. Peuplements benthiques (**des substrats meubles, des substrats durs du circalittoral (Coralligène), des substrats durs de l'infralittoral, et du médiolittoral)	**11. Test biologiques spécifiques**
4. Courantologie locale		**12. Biomonitoring**
5. Qualité de l'eau		**13. Bancarisation des données**

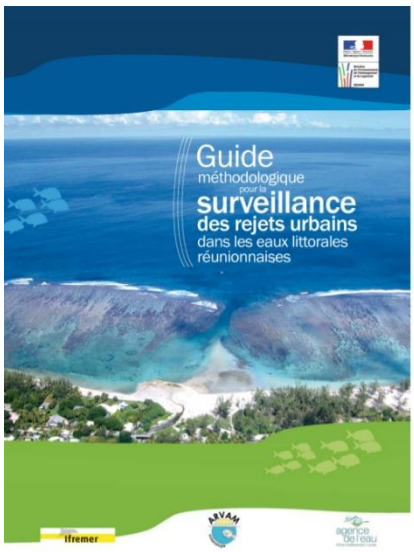
En effet, pour chaque tâche (à l'exception des tâches 1, 2, 3, 4 et 13) les informations suivantes sont indiquées pour effectuer le protocole de suivi :

- Généralités ;
- Fréquence de suivi ;
- Positions des points de prélèvements ;
- Paramètres et méthodes d'analyse.

Pour les tâches 1, 2, 3, 4 et 13, des généralités sont également développées, en expliquant les actions ou paramètres à prendre en compte.

2.2. En Outre-Mer

2.2.1. A la Réunion



Les rejets urbains du littoral réunionnais contribuent fortement à la pollution des écosystèmes marins. Ainsi pour mettre en œuvre un suivi des rejets des systèmes d'assainissement adapté et efficace, la DEAL Réunion a mandaté IFREMER, en collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse ainsi que l'ARVAM (Agence pour la Recherche et la VAlorisation Marine), afin de mettre en place un guide méthodologique qui s'applique à tous les types de rejets en mer rencontrés à la Réunion. Cela permet d'évaluer leur impact potentiel sur la qualité du milieu marin.

Ce « *Guide méthodologique pour la surveillance des rejets urbains dans les eaux littorales de la Réunion* », rédigé en 2013, a pour but d'homogénéiser les pratiques pour suivre à long terme l'évolution du milieu en terme écologique. Ce dernier s'inspire des suivis de la côte méditerranéenne mis en place par l'Agence de l'Eau Rhône, Méditerranée et Corse (2011).

Le guide méthodologique rassemble les quatre parties suivantes :

- Rappel des principaux textes réglementaires ;
- Typologie des rejets et des milieux récepteurs ;
- Les éléments constitutifs du protocole de suivi ;
- Les différentes tâches du protocole de surveillance.

L'importance de l'impact environnemental des rejets urbains est fonction de plusieurs facteurs qu'il convient de prendre en considération afin de calibrer convenablement l'effort de surveillance. Tout d'abord les auteurs du guide suggèrent de distinguer deux types de rejets urbains au milieu littoral :

- Les petits rejets de stations d'épuration avec un seuil inférieur ou égal à 10 000 EH calculé en sortie de STEU ;
- Les gros rejets de stations d'épurations avec un seuil supérieur à 10 000 EH calculé en sortie de STEU.

Le guide inclut également d'autres types de rejets plus spécifiques du littoral réunionnais :

- Les apports par les ravines recevant des rejets urbains ;
- Les gros déversoirs d'orage ou ouvrages fonctionnant comme tels (postes de refoulement équipés de trop plein, c'est-à-dire des apports par temps de pluie) ;
- Les rejets côtiers par infiltration dans le sol ;
- Les rejets industriels des usines de canne à sucre directs en mer.

Ensuite pour caractériser et définir le milieu marin récepteur, le guide méthodologique préconise trois classifications selon une typologie qui s'appuie sur la présence ou l'absence de récifs coralliens, la distance du rejet à la côte et la notion de degré de fermeture géographique du site :

- La zone récifale, zone riche et sensible aux différentes pressions dont les rejets ;
- La zone marine dit « à la côte » (plus fermées) et hors récifs coralliens ;
- La zone marine dite « du large » hors récifs coralliens.

Cela amène ainsi au tableau ci-dessous, avec le croisement des types de rejets avec les types du milieu récepteur, en tenant compte d'un niveau de suivi plus ou moins développé et établi selon l'impact des rejets sur le milieu récepteur.

Type de rejet / Milieu récepteur	Apports par les ravines	STEU (petit rejet) Seuil EH > à 10 000 en sortie	STEU (gros rejet) Seuil EH > à 10 000 en sortie	Apports par temps de pluie (déversoir d'orages…)	Rejet industriel	Rejet côtier par infiltration
Zone récifal	Suivi type 3	Suivi type 2	Suivi type 1	Suivi type 1		Suivi type 3 (flux)
Zone hors récif (à la côte)	Suivi facultatif	Suivi type 3	Suivi type 2	Suivi type 3	Suivi type 1	Suivi type 3
Zone hors récifs (au large)		Suivi facultatif	Suivi type 3	Suivi facultatif	Suivi type 2	

Figure 3 : Exigences de suivi selon le type de rejet et la typologie du milieu récepteur des rejets urbains sur l'île de la Réunion

Les quatre différents types de suivis qui dépendent de l'importance du rejet (en nombre d'EH) et du milieu récepteur sont :

- Type 1 (lorsque le rejet est très important et le milieu récepteur fortement sensible) : suivi exhaustif intégrant l'ensemble des indicateurs ;
- Type 2 (lorsque le rejet est important et le milieu récepteur très sensible) : suivi moyen excluant la nature des fonds, la courantologie et la chimie dans les compartiments intégrateurs sur le long terme (biote et sédiment) ;
- Type 3 : suivi allégé : ne retenant que l'hydrologie si le rejet a lieu dans une zone sensible à l'eutrophisation. Si hors zone sensible à l'eutrophisation, les familles de paramètres à suivre sont : la bactériologie, la chimie de l'eau et le benthos de substrats meubles ;
- Suivi facultatif (lorsque le rejet est faible et au large) : globalement équivalent au type 3 mais avec la bactériologie en moins.

Sur la base du guide méthodologique réalisé en Méditerranée, des caractéristiques du milieu marin littoral réunionnais et des études réalisées sur sa qualité, 10 indicateurs adaptés au contexte réunionnais ont été retenus tel que nous montre le tableau ci-dessous :

	Type 1 (lourd)	Type 2 (moyen)	Type 3 (allégé)	Type 4 (facultatif)
Nature des fonds	1 fois tous les 3 ans			
Courantologie	1 fois par plan de suivi			
Hydrologie (T, salinité, nutriments, ...)	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans
Bactériologie	1 fois par mois période novembre à mars 1 fois tous les 3 ans	1 fois par mois période novembre à mars 1 fois tous les 3 ans	1 fois par mois période novembre à mars 1 fois tous les 3 ans	
Chimie « eau »	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans
Chimie « biote »	1 fois tous les 3 ans			
Chimie « sédiment »	1 fois par plan de suivi			
Ecotoxicologie	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans		
Benthos de substrat meuble	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans
Récifs / algues	1 fois tous les 3 ans	1 fois tous les 3 ans		

Figure 4 : Fréquence d'échantillonnage et type de suivi selon l'indicateur de qualité retenu pour l'évaluation de l'impact des rejets urbains à la Réunion.

Chaque fiche méthodologique des 10 indicateurs évoqués dans la figure 9, contient généralement les informations suivantes :

- Le type de suivi nécessitant la mise en place de cet indicateur ;
- Protocole de l'étude, paramètres et méthode d'évaluation ;
- Assurance qualité ;
- Grille de qualité existante ;
- Protocole d'échantillonnage ;
- Plan d'échantillonnage ;
- Temps nécessaire à la réalisation du suivi et hors analyses à la réalisation de la totalité de l'opération ;
- Estimation des coûts ;
- Références bibliographiques.

Ce guide, qui reprend les principes généraux développés en Méditerranée, intègre une notion écosystémique fondamentale, au travers de la prise en compte de la sensibilité des récifs coralliens. D'autre part, plutôt que de prendre en considération la notion de « confinement » de la zone, le guide prend le parti d'intégrer la notion de distance par rapport à la structure récifale du milieu récepteur.

2.2.2. A Mayotte

Compte tenu de la départementalisation de Mayotte depuis le 1er avril 2011 et du manque de données assemblées, la DEAL de Mayotte a mandaté à SAFEGE de l'assister à élaborer un « *Guide méthodologique pour l'instruction et le suivi des rejets des dispositifs d'assainissement collectif* » (2012), pour les cours d'eau et le milieu marin.

La réalisation de ce guide s'inscrit dans une démarche conjointe engagée par les principaux acteurs de l'assainissement collectif (services instructeurs, SIEAM).

Ce guide résulte d'un travail de synthèse d'un premier rapport des phases 1 et 2, qui présente des outils d'aide à la décision en matière de choix des niveaux de rejet et des milieux de rejet. Ces phases incluent des données collectées sur les milieux aquatiques et leur état ainsi que les dossiers réglementaires des systèmes d'assainissement. L'analyse de ces données a permis de déterminer leur sensibilité relative, identifier les enjeux et évaluer les pressions domestiques exercées sur le milieu.

Le guide méthodologique aborde :

- Les caractéristiques et enjeux liés à l'assainissement à Mayotte ;
- La réglementation ;
- La méthodologie de choix d'un milieu de rejet et de choix d'un niveau de rejet ;
- Les performances attendues des filières ;
- Le suivi du milieu récepteur.

Caractéristiques et enjeux liés à l'assainissement à Mayotte

L'analyse de la richesse écologique des cours d'eau et du milieu marin, en prenant en compte l'enjeu « biodiversité des espèces » est un nouvel indicateur dans la définition des zones de sensibilité aux rejets urbains dans les milieux aquatiques.

Ainsi, **une carte de vulnérabilité des zones côtières a été établie** en croisant les éléments suivants : état de l'arrière-mangrove, état des herbiers **état de vitalité des coraux**, recensement des usages avec les risques et confinement des masses d'eau, SAFEGE a établi

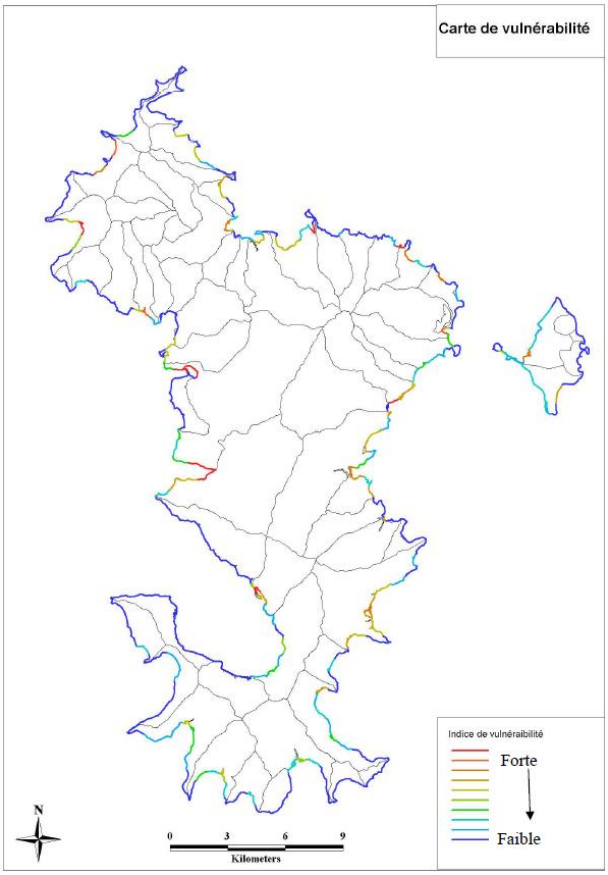


Figure 5 : Carte de vulnérabilité des zones côtières de Mayotte réalisée par SAFEGE en 2011, sur la base de la méthodologie proposée par l'UNESCO en 2000 et décrite dans le rapport (précédent) des phases 1 et 2

Le contexte socio-économique fragile de Mayotte **rend difficile la réalisation d'émissaires en mer (très coûteux) en relation avec de très forts enjeux écologiques du fait de l'extrême biodiversité du lagon mahorais.**
De plus, du fait de la faible connaissance des cours d'eau et de la capacité épuratrice des milieux récepteurs (notamment des mangroves), un principe de précaution s'impose en imposant des contraintes fortes sur la réalisation de projets d'assainissement.

Détermination des milieux récepteurs

Le choix des milieux récepteurs des rejets lors de la création d'une station d'épuration d'eaux usées, a résulté d'une étude comparative de la sensibilité respective de chaque milieu récepteur et de leur capacité de résilience. À la suite des concertations avec les acteurs de l'assainissement à Mayotte, il est ressorti qu'un rejet au-dessus de la laisse de basse-mer peut être toléré compte tenu du contexte local (marées, milieu lagonaire…). Ainsi les types de milieux récepteurs retenus sont :

- Rejet par infiltration ;
- Rejet en milieux superficiels :
    - Rejet en cours d'eau ;
    - Rejet en mer ;
    - Rejet en mangrove.

- **Rejet par infiltration**

Selon les auteurs, l'infiltration est à privilégier par rapport aux rejets en milieu superficiel car il y a moins de risque et la nappe phréatique est un milieu moins sensible que le lagon, la mangrove et les rivières (dans les cas où il n'y a pas de prélèvement AEP). En effet, une autoépuration supplémentaire est effectuée par le sol avant que les eaux urbaines n'atteignent la nappe phréatique.

Ainsi, des études pédologiques et géotechniques sont nécessaires pour déterminer s'il existe des risques de pollution de la nappe liés à la nature du sol et du sous-sol. Le guide indique quelles sont les bonnes conditions, telles que la vitesse d'infiltration et les concentrations requises pour avoir un rejet adapté par infiltration.

- **Rejet en rivière**

Un maintien du bon état chimique doit être respecté en maintenant les concentrations des paramètres définis, en dessous des valeurs seuils indiquées dans le guide. De plus, d'autres valeurs sont à prendre en compte si des usages sont recensés (prise d'eau brute AEP ou baignades) dans la même zone d'étude. Pour définir le niveau de rejet du cours d'eau, il faut déterminer sa capacité de dilution, en calculant le débit $QMNA_5$ et la concentration maximale pour chaque paramètre. La dilution des cours d'eau est également dépendant du mélange entre les eaux naturelles et les eaux de rejet qui sont fonctions de l'hydromorphologie du cours d'eau.

Ainsi, dans le cadre des études relatives à la création d'une station d'épuration, la meilleure option proposée par les auteurs est la mise en place d'un rejet le plus en aval possible, afin d'augmenter au maximum la dilution des effluents.

- **Rejet en milieu marin**

Pour les rejets en milieu marin, les exigences des traitements des eaux usées dépendent de la vulnérabilité du milieu. En effet, le rejet ne doit pas mettre en cause le bon état de la masse d'eau (d'un point de vue DCE notamment). Cela implique que les seuils de qualité soient respectés, car l'excès de polluants serait susceptible de générer un impact écologique. C'est le cas à Mayotte, surtout dans les endroits sensibles, tels que les récifs coralliens, les herbiers de phanérogames et localement la mangrove. Il s'agit principalement des apports de nutriments (eutrophisation) et de matières en suspension (hyper-sédimentation, turbidité), responsables de la dégradation des écosystèmes marins.

- **Rejet en mangrove**

Les mangroves ont une capacité avérée d'épuration des eaux usées traitées. Cependant aucune méthode opérationnelle n'a été proposée à ce jour pour évaluer et calculer les niveaux de rejets et les quantités « assimilables » par cet écosystème.

A partir des informations précédentes, ces dernières sont synthétisées sous la forme d'un arbre de décision présenté ci-dessous :

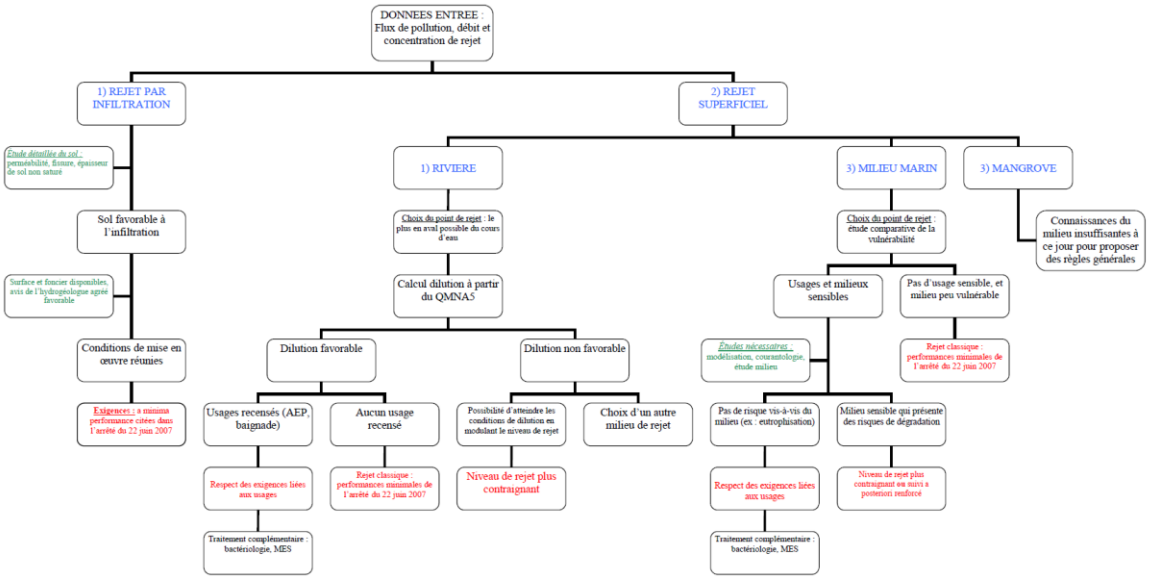


Figure 6: synthèse et arbre de décision pour choisir la localisation du point de rejet

Au-delà des préconisations spécifiques faites par les auteurs pour chacun des rejets cités ci-dessus, Il est explicitement attendu que des études préalables soient menées en amont de tout projet afin d'acquérir les données manquantes à la connaissance de ces systèmes complexes (débit QMNA5 pour les cours d'eau, capacité épuratoire des mangroves, etc.)

Performance attendue des filières

Grâce à un état des lieux réalisé par la DEAL (2010), un bilan de l'efficacité des systèmes d'assainissement a pu être dressé. Cela a également permis d'estimer les flux parvenant au milieu naturel et d'avoir une meilleur vision globale des volumes engendrés.

Ainsi la construction de stations d'épuration plus performantes et de tailles plus importantes apporterait une nette amélioration en matière de réduction des flux. Sur les 121 mini stations, 10 sont en bon état, 56 en état moyen, 32 sont en mauvais état et 23 présentent des dysfonctionnements graves.

Il est observé différents types de procédés qui sont utilisés à Mayotte:

- Boues activées ;
- Décanteurs-digesteurs ;
- Disques biologiques ;
- Filtres plantés de roseaux ;
- Lagunages.

La comparaison des différents procédés par les différentes stations d'épuration permet de comprendre d'avantage l'efficacité du traitement sur les ouvrages, encore peu connue à Mayotte. Le guide préconise donc de suivre l'efficacité des traitements ainsi que le taux de collecte par des mesures en amont et en aval des systèmes d'épuration.

Il est donc nécessaire de mettre en place simultanément un suivi du milieu récepteur, adapté à la capacité nominale des installations, avec le suivi de performances du système d'assainissement, lors de la mise en service des installations d'assainissement collectif.

Suivi du milieu récepteur

Le guide se base sur des études du BRGM (2008) pour le positionnement des stations de contrôle de surveillance ainsi que du RLM (Réseau Littoral Méditerranéen) pour la notion de champ par rapport au rejet comme indiqué ci-dessous :

- Champ proche : zone directement influencée par un apport ;
- Champ moyen : zone de dilution des divers apports d'un secteur ;
- Champ lointain : zone du large ou hors d'influence des apports du secteur.

A noter que les programmes de surveillance se déclinent en programme de contrôle :

- Contrôle de surveillance : destiné à donner l'image de l'état général des eaux, notamment à l'échelle européenne.
- Contrôle opérationnel : destiné à assurer le suivi de toutes les masses d'eau identifiées comme risquant de ne pas atteindre les objectifs environnementaux de la DCE, limité en temps (à noter que le réseau de contrôle suit uniquement les paramètres déclassant jusqu'au retour du bon état).

Il faut ajouter à ces programmes, les contrôles d'enquêtes, pour détecter les causes de mauvaise qualité en cas d'absences de réseau opérationnel et des contrôles additionnels (zone protégées, eaux de baignade…).

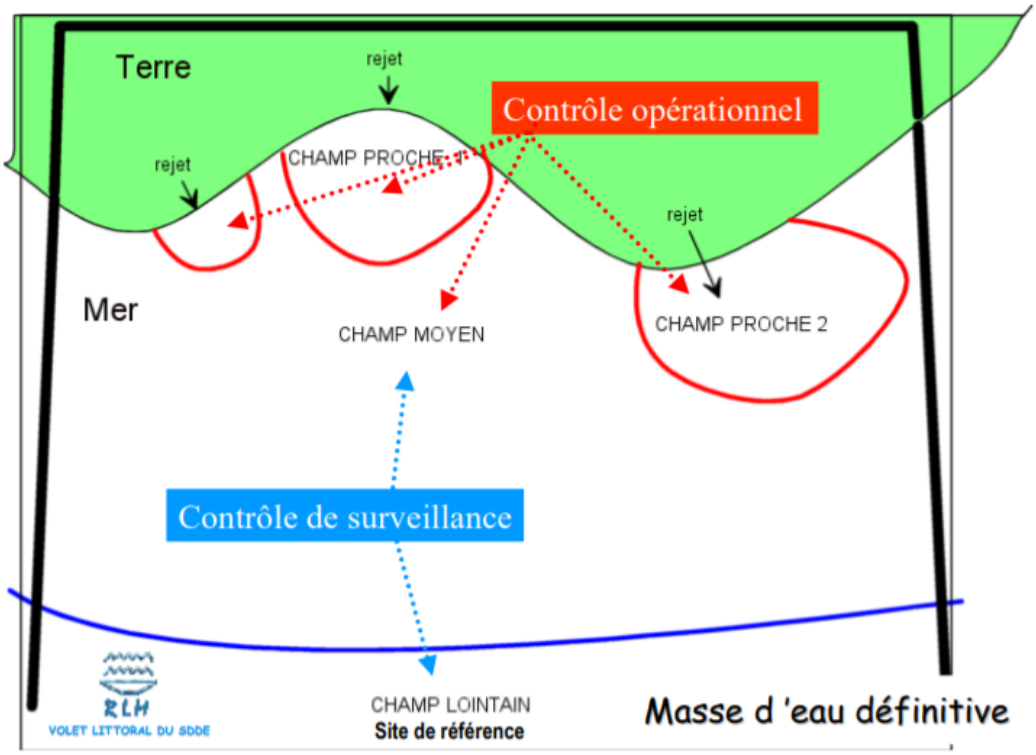


Figure 7: Détermination des points de contrôle, dans les différents champs (tiré de Andral et Derolez, 2007). Source BRGM, 2008

En reprenant la méthodologie mise en œuvre pour l'évaluation de la vulnérabilité de la zone côtière de Mayotte aux rejets d'eaux résiduaires urbaines, il est possible de prendre en compte, en complément des paramètres du guide méthodologique en Méditerranée (Andral *et al.,* 1991), la sensibilité du milieu récepteur (basé sur la sensibilité des usages et peuplements naturels).

Ainsi le niveau de vulnérabilité (classe de 1 à 10) permet de définir l'effort de surveillance. Cet effort se traduit au niveau de **la définition des paramètres devant faire l'objet du suivi**, **du nombre de stations et de la fréquence des campagnes d'échantillonnage**. Pour rappel, la vulnérabilité est fonction des flux polluants, du confinement du milieu récepteur ainsi que de la sensibilité des peuplements naturels et des usages.

Cela amène donc aux paramètres sélectionnés pour le contrôle de surveillance à Mayotte, qui sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Tâche		Réalisation	Observations	Paramètres essentiels	Référentiels méthodologiques et normes
Flux à la mer		oui	Réalisé avec l'autosurveillance des effluents	-	-
Contamination du milieu	Eau	Condition de la vulnérabilité du site	A etudier notamment dans le cadre des études préalables et lors des premières années de suivi. Cependant, le compartiment n'est pas intégrateur et n'est pas pertinent pour un suivi à long terme	Mesures in situ, prélèvements et analyse en laboratoire Paramètres hydrologiques de base (température, salinité, pH) Bactériologie Composés azotés/phosphorés Matière organique Matière en suspensions/turbidité	CE, 2009 Norme ISO 5667-9
	Organismes marins	Condition de la vulnérabilité du site	Etude de la contamination d'organismes filtreurs et/ou de capteurs passifs	Prélèvements et analyse en laboratoire Biométrie, Physiologie Métaux lourds HAP (Hydrocarbures polyaromatiques) PCB (Poly Chloro Biphényles) Pesticides (lipophiles) Détergents	CE, 2009 Norme ISO 5667-19
	Sédiments	Oui	Compartiment inégrateur (sous réserve de la présence de sédiments suffisamment fins pour capter les substances polluantes)	Prélèvements et analyse en laboratoire Paramètres sédimentologiques de base (granulométrie, matière organique,...) Métaux lourds HAP (Hydrocarbures polyaromatiques) PCB (Poly Chloro Biphényles) Pesticides (lipophiles) Détergents Cf substances prioritaires	Norme ISO 5667-19
Peuplements marins	Coraux	Oui	A définir précisément au cas par cas, en fonction de la présence du peuplement considéré dans le champ d'impact potentiel du rejet	Relevés in situ Couverture corallienne Proportion des coraux mous Espèces et formes de coraux prédominantes Couverture algale	Référentiel DCE
	Mangrove	Oui		Relevés in situ - Etude au cas par cas	
	Herbiers de phanérogames	Oui		Relevés in situ Couverture corallienne Etendue Densité des faisceaux Epibiose Prélèvement et analyse en laboratoire Comptage et identification des taxons	Référentiel DCE
	Endofaune des sédiments	Oui			
	Ichtyofaune	Oui	Sauf si enjeux forts	Relevés in situ	

Figure 8 : Paramètres à étudier dans le cadre d'un suivi à long terme dans le milieu marin mahorais (SAFEGE, 2012)

L'intégration des peuplements marins dans la réflexion du suivi à Mayotte est une nouveauté. Au-delà d'une réflexion par compartiment ou bien écosystémique, un travail a été mené à une échelle plus réduite, celle des peuplements (ichtyofaune, substrats meubles), en s'appuyant sur les référentiels DCE. La prise en considération de la réalité des infrastructures collectives d'épuration est également à relever et à apprécier, puisque les mesures de suivi sont en lien avec la réalisé de terrain.

2.2.3. Nouvelle Calédonie

Le « *Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie* », (2011) est le résultat d'une collaboration entre IFREMER, le bureau d'étude MELANOPUS et l'Institut de Recherche et de Développement (IRD). Il est destiné aux acteurs environnementaux publics ou privés en leur fournissant des informations sur les suivis marins, afin de faciliter la réalisation de cahiers des charges pour les suivis environnementaux marins en Nouvelle-Calédonie. Une version 2 est actuellement en cours d'élaboration (https://cnrt.nc/guide-du-milieu-marin/)

Le guide contient 7 grandes parties, avec d'abord **un rappel de textes règlementaires** aux différentes échelles législatives (international, national et régional) (1) puis des **définitions des notions utilisées (métrique, paramètre, efficacité, indicateur, pression, etc.)** (2).

Le guide indique par la suite quelles démarches suivre pour **concevoir et mener un suivi efficace et opérationnel** (3) en proposant une **liste de paramètres pertinentes** (4).

Le guide utilise un cas d'étude fictif sur la mise en place d'un suivi marin pour un projet minier pour illustrer les informations précédentes (5). Le sujet de la **gestion et valorisation des données** (6) est abordé.

Enfin, le dernier chapitre (7) comprend une synthèse méthodologique au travers de **24 fiches synthétiques de suivis de chacun des 24 paramètres cités**.

Types de suivi

Le guide préconise de s'appuyer sur un état des lieux initial bien documenté avant de réaliser une étude pilote, car il est important de connaître la circulation des masses d'eau pour établir un plan d'échantillonnage efficace. Il est conseillé d'avoir recours à la modélisation hydrodynamique lorsqu'elle est disponible. Ainsi le plan d'échantillonnage dépend de la connaissance des perturbations impactant la zone. Le type de suivi diffère également selon la présence d'un site de contrôle à proximité de la zone à étudier.

Les cinq types de suivis sont illustrés dans le schéma ci-dessous :

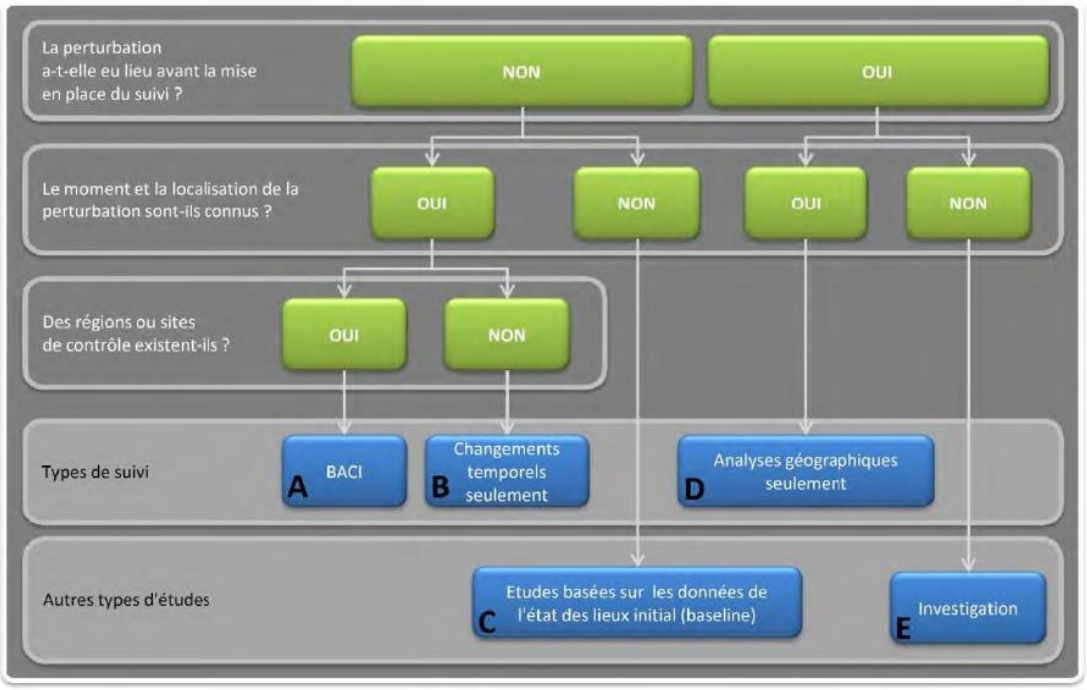


Figure 9 : Mise en place de différents types de suivi en fonction du contexte (d'après Green 1979)

La figure nous explique 3 types de suivi :

- La méthode BACI (Before-After, Control-Impact) est la méthode (A) la plus puissante. Elle est utilisée lorsque la perturbation n'a pas encore eu lieu et si les sites de contrôle sont disponibles. Ainsi elle consiste à suivre les sites de contrôle ou d'impact dans le temps aux mêmes dates.
- La méthode (B) consiste à baser les statistiques uniquement sur des changements au cours du temps, en s'appuyant sur des séries de données très longues. Elle s'utilise lors d'absence de sites de contrôle et si la perturbation n'a pas encore eu lieu.
- Analyses géographiques (D) : Comparaison du site impacté avec les sites de référence présentant idéalement les mêmes configurations, lorsque le suivi n'était pas en place lors de la perturbation.

Dans le contexte où l'origine et la localisation d'une perturbation sont inconnus, il est conseillé de se baser sur le **suivi de l'état initial** (C) ou alors sur **une enquête** approfondie (E), pour déterminer le moment ou la nature d'une perturbation supposée.

Les paramètres

Pour établir les différents paramètres, deux approches sont possibles selon les auteurs, soit par pression, soit par approche écosystémique.

Approche par pression

Dix pressions ont été identifiées par rapport aux forçages présents sur les bassins-versants ainsi qu'au changement global :

- Apports sédimentaires ;
- Apports en métaux ;
- Apports en nutriments ;
- Apports microbiens ;
- Apports en contaminants organiques ;
- Augmentation de la température ;
- Destruction mécanique ;
- Apports en eau douce ;
- Acidification de l'eau ;
- Apports d'espèces allochtones invasives.

Pour chaque pression, les différents paramètres sont attribués et explicités.

Approche écosystémique

Cette approche a pour but d'établir un diagnostic écologique global du milieu, c'est-à-dire la structure et le fonctionnement du milieu. Cela peut être l'état d'une zone, d'une masse d'eau, d'un habitat ou d'un écosystème. Cette démarche est adoptée pour des zones côtières sous l'influence des activités humaines ou de type « Patrimoine Mondial ». En général, un état écologique peut être défini au minimum tous les 3 ans.

Ce guide rassemble **24 fiches méthodologiques** de paramètres pour répondre aux différents suivis et approches. Chaque fiche inclut :

- La définition du paramètre suivi ;
- Le milieu défini ;
- La méthodologie de terrain, de laboratoire et de calcul ;
- Les seuils existants ou valeurs comparatives ;
- Les références bibliographiques.

Les 24 paramètres détaillés dans le guide sont :

24 Paramètres sélectionnés pour la Nouvelle-Calédonie		
1. Chlorophylle a	**9. Profondeur de Secchi**	**17. Concentration en métaux dans le biote (collecte)**
2. Nutriments	**10. Turbidité**	**18. Concentration en métaux dans le sédiment**
3. Oxygène dissous	**11.Taux d'accumulation**	**19. Concentration en métaux dans le biote (transplantation)**
4. Azote total et phosphore total	**12. Flux de particules**	**20. Concentration en contaminants organiques dans le biote (collecte)**
5. Température et blanchissement corallien	**13. Métaux dissous**	**21. Contaminants organiques dans l'eau de mer**
6. Abondance des colonies coralliennes	**14. Tricots rayés**	**22. Concentration en contaminants organiques dans les sédiments marins**
7. Recouvrement corallien	**15. Ciguatera**	**23. Concentration en *E. Coli* et entérocoques dans l'eau de mer**
8. Recouvrement en phanérogames	**16. Comptages de poissons**	**24. Concentrations en *E. Coli* dans les bivalves**

2.3. Conclusion

L'analyse critique des guides méthodologiques déjà réalisés, aussi bien en Métropole qu'en outre-Mer, permet d'avoir une vision relativement exhaustive de ce qui a été réalisé et surtout de ce qu'il convient de retenir pour la Guadeloupe (et plus largement les Antilles):

- Une prise en compte des réalités de terrain en termes de nature des effluents et des rejets en mer ;
- L'intégration des notions de sensibilité/vulnérabilité des milieux récepteurs, particulièrement dans une zone de « hotspot » de biodiversité ;
- La considération de familles de paramètres de suivis et/ou des paramètres reconnus comme fiables, révélateurs de pollution, interprétables et adaptés au contexte tropical
- Une opérationnalité des suivis.

Ainsi, les chapitres suivants s'inscrivent dans cette volonté, avec tout d'abord une description précise des caractéristiques des rejets en mer et des milieux récepteurs associés, puis une présentation des seuls de qualité retenus et enfin une synthèse, sous-forme de fiches spécifiques par famille de paramètres de suivi, pour éclairer les gestionnaires quant à la mise en œuvre d'un suivi complet et exhaustif.

3. Caractéristiques des rejets et des milieux récepteurs dans le contexte Antillais

3.1. Spécificités environnementales de la Guadeloupe

3.1.1. Généralités

Le milieu littoral guadeloupéen présente des particularités liées au contexte insulaire tropical des Antilles françaises. Il est bordé de récifs frangeants sur les **côtes au vent** et de formations non bioconstruites sur les **côtes abritées**. La Guadeloupe possède une barrière récifale au nord, dans le Grand Cul-de-Sac Marin sur une longueur de 29 km et **délimite un lagon**. La mangrove et les herbiers de phanérogames sont aussi davantage développés au nord de la Guadeloupe, dans le Grand Cul-de-Sac Marin.
Les petites îles sont bordées de récifs frangeants et de formations coralliennes sur fonds rocheux.
Les caractéristiques de la Guadeloupe que l'on peut mentionner sont : le faible marnage ; le fort ensoleillement ; la forte saison de pluie entre mai et octobre ; des eaux oligotrophes (eau pauvre en matière organique et sels nutritifs, et généralement limpide).

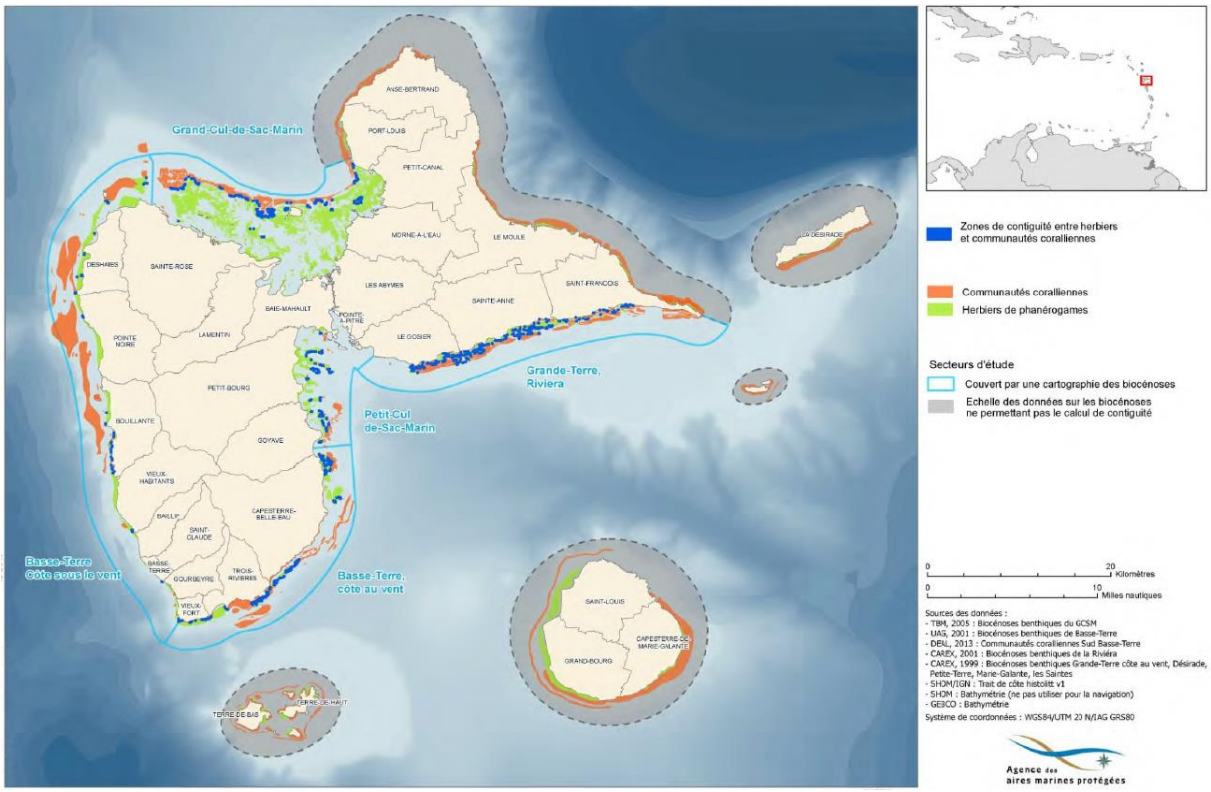


Figure 10 : Connectivité entre les herbiers de phanérogames et communautés coralliennes (AAMP, 2013)

3.1.2. Comparaison inter-Dom

Le tableau ci-dessous compare les conditions climatiques, morphologiques, bio-géographiqes et environnementales observées dans les régions des Outre-Mer français et en Méditerranée :

Tableau 3 : Comparatif des conditions climatiques, morphologiques, bio-géographiqes et environnementales dans les Outre-Mer et en Méditerranée

	Guadeloupe	La Réunion	Mayotte	Nouvelle-Calédonie	Méditerranée
Localisation	Océan Atlantique	Océan Indien	Océan Indien	Pacifique Sud	Méditerranée
Climat	Tropical	Tropical	Tropical	Tropical	Tempéré chaud
Marnage	Faible (0,4 m)	Faible (0,4 m)	Faible (0,4 m)	Moyen (1,8 m)	Faible (0,4 m)
Récif corallien	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Herbiers	130	Très faible	100	400	Posidonie : 30 000 à 40 000 km²
Mangroves	Oui	Non	Oui	Oui	Non
Houle cyclonique	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Zone sensible à l'eutrophisation	Oui	Oui	Non	Oui	Oui (hors Corse)
Activité volcanique	Oui	Oui	Sous-marine	Oui	Non
Géomorphologie	Récifs frangeants	Pente volcanique	Atoll	Récif-barrière (plus de 127 unités géomorphologiques)	Bassin fermé

3.1.3. Présentation succincte des principaux écosystèmes marins

3.1.3.1. Les récifs coralliens

Les récifs coralliens sont les écosystèmes marins les plus riches en biodiversité. Ils ne couvrent que 0,2 % de la surface des océans, mais contiennent environ 25 % de leurs espèces (Roberts 2003).
En effet, contrairement à la région Méditerranéenne où les coraux sont très rares ou plus en profondeur, on rencontre davantage de structures coralliennes dans les régions Outre-Mer. Mayotte est un atoll, et détient un complexe récifo-lagunaire le plus vaste de la partie occidentale de l'océan Indien (1 500 km²). La Nouvelle-Calédonie détient la deuxième plus longue barrière récifale au monde après celle de l'Australie, avec sa surface corallienne de 8 000 km².
Ainsi par rapport aux autres DOM, la Guadeloupe a peu de zones coralliennes bio-construites : environ 19 000 hectares sont estimées (avec 57 espèces de coraux ont été recensées par Bouchon et Laborel, 1990), dont la moitié environ est localisée en Côte-sous-le-Vent de Basse-Terre.
Seulement, les récifs sont aussi les écosystèmes les plus vulnérables du monde. Aujourd'hui, on estime que 20 % des coraux dans le monde ont déjà été détruits, que 24 % sont en danger imminent de disparition, et que 26 % sont en danger de disparition à plus long terme (Wilkinson 2004).
En effet, les récifs sont sévèrement affectés par la surpêche, certaines techniques de pêche, les pollutions organiques (engrais, eaux usées mal traitées) et chimiques (pesticides, rejets industriels), l'aménagement du littoral (remblais, digues, constructions en bordure de côte), la sédimentation liée à l'érosion des côtes et aux mauvaises pratiques agricoles, les espèces exotiques envahissantes, les épizooties et plus récemment par le blanchissement dû au changement climatique (IUCN 2006) mais également par de nouvelles maladies coralliennes
La majorité des rejets en Guadeloupe se font à proximité ou en milieu **récifal**.

3.1.3.2. Les herbiers de phanérogames marines

Par herbiers marins, on entend « *toute étendue fortement colonisée par des plantes à fleurs (phanérogames), à distinguer des algues* ». Dans les baies abritées, les zones d'herbiers jouent un rôle écosystémique important comme zone de nurserie

Dans le bassin méditerranéen, c'est l'espèce endémique *Posidonia oceanica* (Posidonie) qui pousse à profusion, avec une superficie estimée entre 30 000 et 40 000 km² (Ifremer, 2012).

Dans les Outre-Mer, leur présence est hétérogène selon les régions : ainsi, a surface totale d'herbiers à Mayotte est d'environ 100 km², tandis qu'à La Réunion elle est extrêmement faible, avec une seule espèce sur une superficie inférieure à 10 km² (IFRECOR).

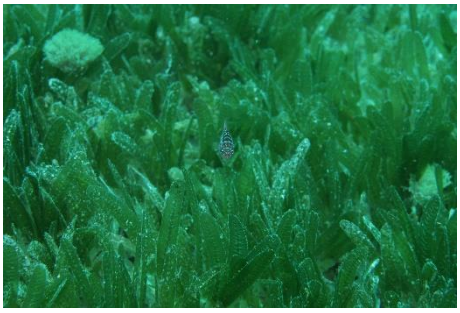
Dans les Antilles, on recense 7 espèces de Phanérogames marines réparties dans les 4 genres suivants : *Halophila (H. decipiens, H. baillonis, H. stipulacea), Halodule (H. wrightii, H. beaudetti), Syringodium (S. filiforme) et Thalassia (T. testudinum).* Les deux dernières espèces forment les herbiers les plus développés en Guadeloupe. Parmi les 5 espèces et 4 genres présents en Guadeloupe (*Thalassia, Syringodium, Halophila, Halodule), Thalassia testudinum* est la plus abondante le long des côtes Caraïbes et de celles du Golfe du Mexique (Den Hartog, 1970). Sa distribution bathymétrique s'étend de la surface jusqu'à une dizaine de mètres dans la zone euphotique.

Les herbiers de phanérogames occupent une majeure partie du lagon également à des profondeurs inférieures à 30 m.

Dans le Grand Cul-de-Sac Marin, les herbiers de Magnoliophytes marins, situés sur les hauts fonds de 0 à 5 m de profondeur, occupent 8 200 ha, soit 42% des biocénoses infralittorales et 58% des fonds meubles (Chauvaud et al., 2001).

Parmi ces 8 200 ha, 4 879 ha sont des herbiers denses et 3 341 ha sont des herbiers clairsemés (Bouchon et al., 2002). Ils sont essentiellement constitués par l'espèce climacique *Thalassia testudinum* souvent en cohabitation avec l'espèce pionnière *Syringodium filiforme.*

3.1.3.3. Les herbiers invasifs à *Halophila stipulacea*



Depuis 2010, on recense sur le littoral guadeloupéen la présence d'une espèce de Phanérogame marine invasive originaire de la mer Rouge et de l'océan Indien, *Halophila stipulacea* (Bouchon C. com. pers. 2011). La dispersion de *H. stipulacea* en région Caraïbe serait due notamment à sa multiplication rapide par fragmentation végétative (stolonisation), ainsi qu'à sa tolérance à une large gamme de salinité et de profondeurs (plus de 50 m) (Beer et Waisel 1981, Gambi et al. 2009).

En Guadeloupe, l'espèce est principalement implantée de manière importante en Côte-sous-le-Vent de Basse-Terre, dans les secteurs autrefois de sables nus. Dans les zones plus exposées, elle a supplanté les espèces endémiques *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme*, soit en formant des herbiers mixtes (dans le meilleur des cas), soit en les remplaçant purement et simplement.

Malgré son caractère très fortement invasif, les études menées en Martinique laissent penser que l'espèce se serait stabilisée en termes de colonisation d'espaces et ne se propagerait plus énormément.

D'un point de vue fonctionnel, il est avéré que cette espèce présente un intérêt bien moindre pour les différentes communautés biologiques que les espèces endémiques, plus structurantes mais progressivement cette différence s'atténue. En effet, il est observé de plus en plus la présence de juvéniles de poissons (effet de nurserie) , de macrofaune benthique (zone de refuge ?) ou encore de consommation des faisceaux par les tortues marines (à défaut d'autres phanérogames marines).

3.1.3.4. La plaine sédimentaire sablo-vaseuse

La plaine sablo-vaseuse (également appelée « biocénose des fonds meubles » est généralement constituée en très large majorité de sédiments fins (sable) à très fins (vase). Pouvant se présentée sous forme de dépression sédimentaire d'arrière-récif ou sous forme de pente sableuse, ou de dalle calcaire ensablée, elle se situe au-delà de 15-20 m dans les fonds du Grand (5 664 ha) et Petit Cul-de-Sac Marin (4 857 ha), en profondeur sur le secteur de Basse-Terre sous-le-vent (8 513 ha) ainsi que dans certains lagons vers Sainte-Anne (821 ha). Cela inclut également les zones dénudées de coraux ou d'herbiers où l'endofaune est majoritaire par rapport à l'épifaune. Ces zones-là sont encore peu caractérisées en termes de diversité biologique (cependant il existe des études universitaires ponctuelles ainsi que des inventaires tels que le projet « Karubenthos ») mais il semble avoir un rôle écologique plus restreint que les récifs coralliens ou les herbiers.

3.1.3.5. Communautés algales (« algueraies ») et communautés mixtes

Les **communautés algales** sont généralement dominées par des algues vertes calcaires sur des fonds meubles sablo-grossiers plutôt détritiques. On retrouve ces « algueraies » majoritairement dans le Grand Cul-de-Sac Marin (43 ha) mais également entre Le Gosier et Saint-François (superficie non estimée). Cette biocénose est cependant commune, associée aux herbiers de Phanérogames. Elle est probablement présente également sur les côtes de Basse-Terre.
Les **communautés mixtes** rassemblent des peuplements de coraux, éponges, gorgones en association avec des herbiers de phanérogames marines ou des algues vertes calcaires, tolérantes sur un substrat mixte dur et meuble. Elles sont référencées dans le Grand Cul-de-Sac marin (241 ha) et en Basse-Terre (384 ha).

Ces 2 communautés présentent une architecture et un relief bien moins prononcé que les récifs coralliens et une richesse spécifique également plus réduite puisque celles-ci n'ont pas de fonctionnalités écologiques remarquables. Elles peuvent toutefois présenter des peuplements spécifiques et des associations non observées ailleurs.

3.1.3.6. La mangrove

Les mangroves ont une valeur écologique, culturelle et économique extrêmement importante. La mangrove est considérée aujourd'hui comme un des écosystèmes les plus importants de notre planète du fait des multiples rôles fonctionnels et d'usages. La mangrove est typique de l'écosystème tropical et recouvre 40 km² en Guadeloupe. En Guadeloupe, les estimations des surfaces de mangroves varient entre 2 325 ha et 3 983 ha ; les données les plus récentes indiquent plutôt 2 950 ha (FAO, 2005 ; Spalding et al., 1997) majoritairement situées dans le Grand Cul-de-Sac Marin (Figure 4). Cela représente près de 42% de l'arc insulaire des petites Antilles (Spal- hind et al., 1997). Les mangroves guadeloupéennes s'étendent principalement sur le pourtour du Grand Cul-de-Sac Marin et l'îlet Fajou dans la partie au nord de la Rivière salée, et sur le pourtour du Petit Cul-de-Sac marin dans la partie sud. Des mangroves sont également situées sur la partie sud du littoral de Grande Terre ainsi que sur la commune du Moule au nord-est.

Cette interface terre-mer est très complexe et nécessite une méthodologie spécifique. Ainsi dans le cadre de cette étude, **les rejets en mangrove ne sont pas pris en compte, car les indicateurs pour la DCE sont en cours de développement.** Bien qu'à Mayotte, des suivis de rejet en mangrove sont faits (selon les cas d'étude), il reste tout de même difficile de quantifier la capacité épuratoire des niveaux de rejet. La Réunion est le seul DOM où il n'y a aucune présence de mangrove et une faible densité d'herbiers. En Nouvelle-Calédonie, la mangrove n'est également pas prise en compte dans les paramètres.

Pour les Antilles françaises, la stratégie de mise en place de bioindicateurs mangroves n'est pas finalisée. Le dernier Groupe de Travail (GT) sur le sujet mené par le MNHN, prévoyait en 2021 la validation des protocoles et le calage des seuils de « bon état » mais le contexte sanitaire mondial dû à la Covid-19 risque de retarder sa mise en œuvre. Les protocoles ultérieurs DCE pourront venir compléter ce guide sur cette famille de paramètres particulière.

Tableau 4 : Synthèse des superficies des différents habitats dans les différentes zones (Ifrecor sauf en Méditerranée)

	Guadeloupe	La Réunion	Mayotte	Nouvelle-Calédonie	Méditerranée
Localisation	Océan Atlantique	Océan Indien	Océan Indien	Pacifique Sud	Méditerranée
Superficie terrestre (km²)	1 705	2512	376	19 100	-
Récifs et lagons (km²)	2781	16	1500	8000	-
Mangroves (km²)	40	0	7	258,84	0
Surface d'herbiers (km²)	130	Très faible	100	400	Posidonie[1] : 30 000 à 40 000 km²
Espèces coralliennes répertoriées	57[2]	150[3]	-	373[4]	-

La carte ci-dessous illustre parfaitement la répartition des communautés et des biocénoses sur tout le territoire de la Guadeloupe.

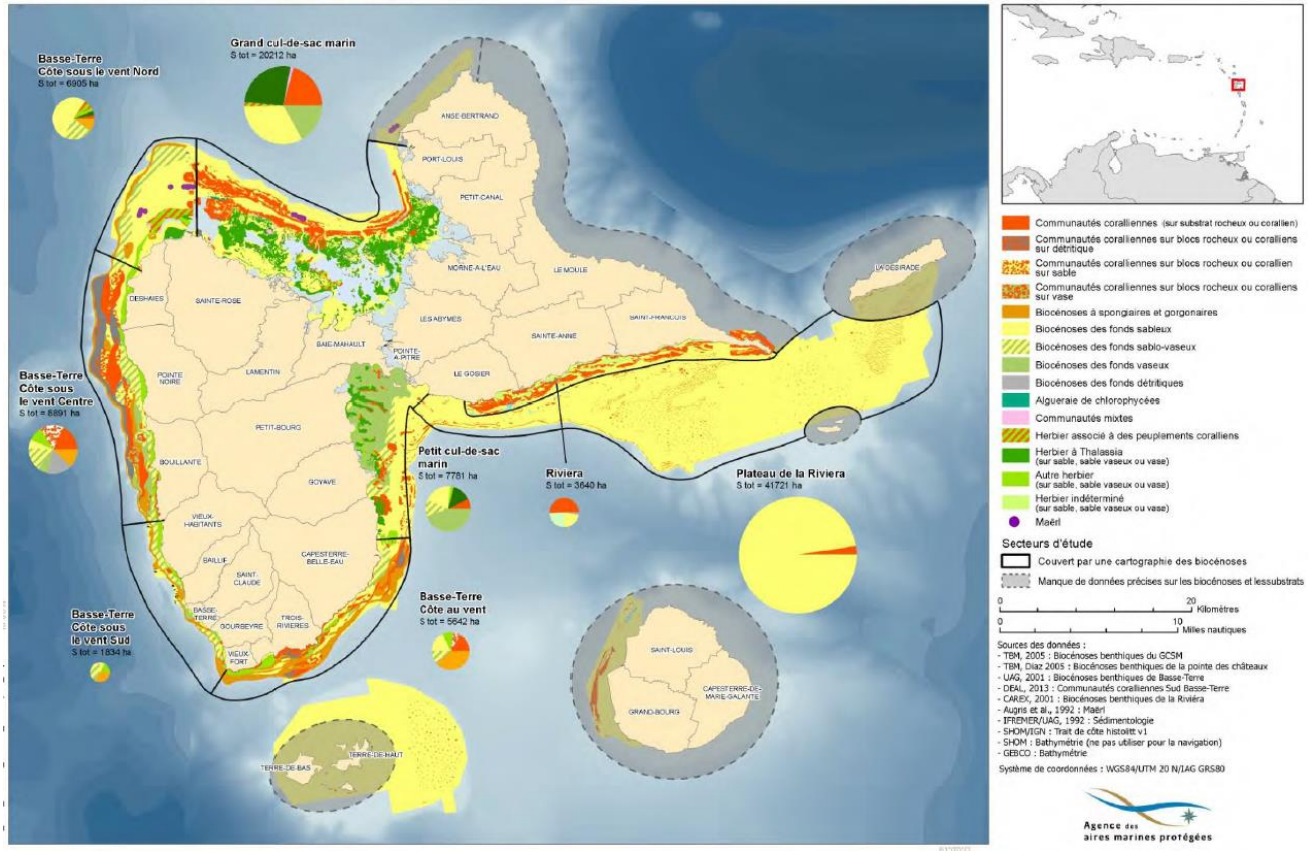


Figure 11 : Synthèse des habitats benthiques dans le milieu marin de Guadeloupe (AAMP, 2013)

[1] Ifremer (2012)
[2] Bouchon et Laborel (1990)
[3] Faure, 1982 ; Bouchon, 1996 ; Bigot *et al.* 2014
[4] TAXREF

3.2. Spécificités anthropiques de la Guadeloupe

3.2.1. Population

La Guadeloupe est la deuxième DOM la plus peuplée, après La Réunion La population de la Guadeloupe est moins concentrée sur le littoral qu'en Méditerranée et à la Réunion. La population est responsable généralement d'une pollution domestique (bactériologique et nutritive) issue des rejets d'eaux usées de l'assainissement collectif et non collectif.

	Guadeloupe	La Réunion	Mayotte	Nouvelle-Calédonie	Méditerranée
Statut	DOM et ROM	DOM et ROM	DOM	Collectivité de l'outre-mer sui generis	Métropole
Population (INSEE)	394 110 (2016)	863 063 (2020)	262 895 (2017)	326 541 (2020)	-
Densité de population littorale hab/km² (INSEE, 2014)	245	370	-	14	371

3.2.2. Industries

Les industries traditionnelles de Guadeloupe sont celles de **la filière de la canne à sucre :** les distilleries et les sucreries. Deux installations ont un rejet direct en mer :

- La Sucrerie et Rhumerie de Marie-Galante ;
- La Distillerie Bologne.

Les **centrales thermiques** jouent également un rôle important dans l'industrie guadeloupéenne. Sur les six centrales électriques, quatre ont des rejets directs en mer :

- Centrales EDF PEI pointe Jarry ;
- Centrales EDF Jarry Sud ;
- Energie Antilles Jarry ;
- Rubis Antilles-Guyane.

En 2017, ces industries représentent 82,4 % de l'électricité produite en Guadeloupe (Créocéan, 2019a).

D'autres types **d'installations industrielles diverses** localisées notamment à Jarry possèdent des effluents en milieu marin mais ceux-ci sont mal connus des services de l'Etat.

3.3. Types de rejets

Ainsi, les différents types de rejets impactant l'écosystème marin en Guadeloupe sont principalement :

- Les rejets d'assainissement des STations d'Epuration d'Eaux Usées (STEU) ;
- Les rejets industriels ;
- Les rejets d'eau de pluie et ruissellements urbains.

3.3.1. Rejets d'assainissement

3.3.1.1. Assainissement collectif

En Guadeloupe, la capacité nominale la plus élevée de STEU que l'on trouve est de 45 000 EH, (la station de traitement des eaux usées de Pointe à Donne), selon la révision de l'Etat des lieux du réseau hydrographique de la Guadeloupe (Créocéan, 2019).

Dans le cadre de cette étude, seules les STEU avec un seuil minimal de 2 000 EH qui se rejettent en mer sont prises en compte, ce qui représente 120 kg DBO_5/j.
Elles sont séparées en deux groupes :

- **Catégorie 1** : 10 000 EH < STEU < 100 000 EH;
- **Catégorie 2** : 2 000 EH < STEU < 10 000 EH.

A titre d'information, 127 STEU sont présentes en Guadeloupe (DEAL, 2018), dont 93 ont une capacité inférieure à 1 000 EH. Il existe 20 STEU de capacité nominale supérieure à 2 000 EH dont seulement 2 > 20 000 EH.

Il existe **10 STEU** avec rejets directs en mer, sont actives avec des capacités allant de 2 000 EH à 45 000 EH en Guadeloupe (5 sont dans la catégorie 1 et les 5 autres sont dans la catégorie 2).

D'après les études menées dans le cadre de la révision de l'Etat des Lieux 2019 de Guadeloupe (CREOCEAN, 2019), il est estimé que la quantité d'azote rejetée annuellement par les STEU > 2000 EH dans les eaux côtières est de **117 T/an.**

3.3.1.2. Assainissement autonome (non collectif)

En Guadeloupe il existe de nombreux rejets diffus provenant des installations d'assainissement non collectif. Bien que leurs rejets soient très faibles et rarement directement en milieu marin, leur nombre élevé a un impact cumulatif significatif sur l'environnement (Créocéan, 2019), d'autant plus que la très grande majorité d'entre elles sont non conformes (94%).

Néanmoins un grand nombre de ces installations n'est pas répertorié et localisé. De ce fait, dans le cadre de cette étude, la problématique « ANC » n'est pas prise en compte. Ainsi, il est nécessaire de garder en tête qu'au-delà de la pollution engendrée par l'Assainissement Collectif (AC), la multitude des rejets diffus d'ANC en zone littorale, peut concourir également à la pollution marine et à l'eutrophisation des milieux.

Dans le cadre de la révision de l'Etat des Lieux préalable au SDAGE Guadeloupe (CREOCEAN, 2019), la pollution azotée engendrée par l'ANC sur le littoral a été estimée **à 11 tonnes/an** (en intégrant Saint-Martin).

Les quantités les plus importantes d'azote rejetées par l'ANC concernent les masses d'eau **FRIC 01** (Côte sous le Vent) et **FRIC 04** (Sud Grande-Terre et Marie-Galante)**,** avec plus de 2 tonnes, annuelles (respectivement **2,03** et **2,25** tonnes/an). C'est sur ces territoires que la population est la plus localisée sur le littoral.

3.3.2. Rejets industriels

La Guadeloupe est caractérisée par une forte **activité industrielle liée à la canne à sucre** avec la présence de 10 distilleries, 1 distillerie/sucrerie et 1 sucrerie. Avec de nombreux travaux de réhabilitation dans les années 2000, une réduction drastique des rejets en milieu aquatique a été effectuée en passant par des bassins de lagunage ou de décantation (Créocéan, 2019). Ainsi sur les 12 installations en IPCE de la filière de la canne à sucre, seules deux d'entre elles avaient un rejet direct à la mer. A ce jour, grâce à la modernisation des installations (mise en place de bassins de lagunage), plus aucun rejet direct en mer n'est recensé. Cependant, des rejets ont été observés lors de la saison de la canne (de mars à juillet), à l'usine de la Sucrière Rhumerie de Marie-Galante, depuis 2018.
Les effluents de **centrales thermiques électriques** constituent un autre type de rejet. Ces infrastructures fonctionnent par pompage et rejet d'eau de mer. Généralement, les eaux de rejets sont sursalées et sur-chauffées, pouvant avoir une influence localisée sur le milieu marin. La plupart se situent dans des zones anthropisées de la baie de Pointe-à-Pitre.

3.3.3. Rejets d'eaux pluviales

La plupart des rejets d'eau pluviales se situe dans le Petit Cul-de-Sac-Marin, avec 97 rejets recensés en 1996 (DDE,1996). En Guadeloupe, le système unitaire d'eaux pluviales déclaré n'existe pas. Ainsi il n'y pas de déversoirs d'orage clairement identifiés et les rivières sont généralement les réceptacles des eaux pluviales. Une amélioration des infrastructures de collecte des eaux pluviales est en cours, cependant il se peut qu'à cause de mauvais branchements du réseau, les eaux pluviales soient fortement contaminées.

4. Guide référentiel des paramètres existants (grilles de qualité/d'interprétation)

Pour évaluer la qualité du milieu marin, il existe des normes et des critères à ne pas dépasser pour maintenir le bon état des masses d'eau. Ces valeurs sont les valeurs guide environnementale. Lorsqu'une valeur devient un caractère réglementaire, elle devient une Norme de Qualité Environnementale (NQE). C'est le cas pour certaines substances ou groupes de substances identifiés comme polluants prioritaires en raison du risque significatif qu'ils présentent pour ou via l'environnement aquatique (selon la directive 2008/105/CE) dans les eaux de surface ou dans le biote. Ces normes concernent également l'échantillonnage et l'écotoxicité pour les organismes aquatiques et benthiques.

En complément, dans le cadre de la Directive Cadre Eau (DCE), pour la Guadeloupe, il existe des valeurs références proposées pour le contexte Antillais qui peuvent servir de comparaison et faciliter les interprétations des données acquises.

4.1. Grilles de qualité DCE proposées

Les indicateurs, indices, métriques et grilles de classification utilisées dans le cadre de la DCE sont ceux qui figurent dans le Guide REEL paru en 2018 (Ifremer, 2020).

Dans le cadre de la DCE en Guadeloupe, les masses d'eau côtières sont divisées en 6 types :

Tableau 5 : Les différents types de masse d'eau en Guadeloupe selon la DCE

Numéro de type	Intitulé du type
1	Fond de baie
2	Côte rocheuse peu exposée
3	Récifs barrières
4	Côte rocheuse très exposée
5	Côte rocheuse protégée
6	Coté exposée à récifs frangeants

Les valeurs-seuils diffèrent donc selon le type de masse d'eau, qui tient compte de l'exposition et du type de côte. Ci-après se trouvent quelques grilles de qualité ou d'interprétation qui existent pour le littoral guadeloupéen, présentée dans les suivis DCE.

L'EQR (Ecological Quality Ratio) évoqué est l'écart à la référence, et indique le rapport entre un état observé et l'état que « devrait » avoir le milieu en l'absence de perturbation anthropique.

4.1.1. Eléments de qualité biologique

4.1.1.1. Phytoplanctonique

- Chlorophylla *a*

Le paramètres pour l'indice de biomasse de la qualité phytoplanctonique est la concentration en chlorophylle a (en µg/l). La métrique préconisée pour l'indice de biomasse est le percentile 90 des valeurs mensuelles en chlorophylle *a* mesurées sur 6 ans.

Tableau 6: Grille de qualité proposée pour l'indice de biomasse chlorophyllienne (concentration en chl. a en ug/l) (Ifremer, 2020)

Type de ME	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Tous	0,2	] 0-0,3]	] 0,3-0,6]	] 0,6-1,2]	] 1,2-2,4]	] 2,4
EQR		0,67]	] 0,67-0,33]	] 0,33-0,17]	] 0,17-0,08]	] 0,08

4.1.1.2. Communauté corallienne

- Corail (ou couverture corallienne)

L'indice « Corail » correspond au rapport « couverture corallienne vivante / substrat colonisable par les coraux ». La couverture corallienne vivante est la proportion en « coraux durs » HC ; le substrat colonisable est le substrat dur : RC (roche nue, RC colonisé dont RC colonisé par AC (algues calcaires encroûtantes)) + RKC (corail mort récemment) ou encore le calcul Substrat total - (SD (sable) + SI (vase) + RB (débris)). Il est exprimé en % de substrat colonisable.
La métrique utilisée est la moyenne des indices « Corail » par transects sur 6 années glissantes (l'indice est calculé pour chaque transect (soit 6 réplicats par an) puis la moyenne des réplicats est réalisée pour l'ensemble des années).

Tableau 7 : Grille de qualité DCE proposée pour l'indice "Corail" (% du substrat colonisable) (Impact-Mer, 2016)

Type de ME		Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
1	Fond de baie	50	40]	] 40-20]	] 20-10]	] 10-5]	] 5
2	Côte rocheuse peu exposée	60	50]	] 50-25]	] 25-12]	] 12-5]	] 5
3	Récif barrière	50	40]	] 40-20]	] 20-10]	] 10-5]	] 5
4	Côte rocheuse très exposée	60	50]	] 50-25]	] 25-12]	] 12-5]	] 5
5	Côte rocheuse protégée	50	40]	] 40-20]	] 20-10]	] 10-5]	] 5
6	Côte exposée à récifs frangeants	50	40]	] 40-20]	] 20-10]	] 10-5]	] 5

- Macro-algues

L'indice « Macro-algues » correspond au rapport « couverture macro-algale (molles + calcaires) / substrat total ». Il est exprimé en % de substrat total.
La métrique utilisée est la moyenne des indices « Macro-algues » par transects sur 6 années glissantes (l'indice est calculé pour chaque transect (soit 6 réplicats par an) puis la moyenne des réplicats est réalisée pour l'ensemble des années).

Tableau 8: Grille de qualité DCE proposée pour l'indice "Macro-algues" '(% du substrat total) (d'après Impact-Mer et al., 2013)

Type de ME	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Tous	5	10]	] 10-20]	] 20-40]	] 40-60]	] 60

- Oursins

L'indice « oursins » serait défini comme étant la densité des oursins échantillonnés (en nombre d'individus/m^2). La métrique utilisée serait la moyenne des indices « Oursins » par transects sur 6 années glissantes (l'indice est calculé pour chaque transect (soit 6 réplicats par an) puis la moyenne des réplicats est réalisée pour l'ensemble des années).

Tableau 9 : Grille de qualité proposée pour les oursins diadème (nbre/m^2) (adaptée de Mcfield & Kramer, 2007)

	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Densité		**2,5] (mais <7)**	**] 2,5-1,0]**	**] 1,0-0,5]**	**] 0,5-0,25]**	**] 0,25**

- Etat de santé général du récif corallien

Celui-ci est attribué de manière qualitative par l'observateur, sur la base de la grille en 5 classes d'état rappelée ci-dessous. La méthode de calcul utilisée est la moyenne de l'indice sur les 6 transects. Il n'entre pas dans l'évaluation de l'état écologique partiel mais est toutefois donné à titre informatif.

Tableau 10 : Grille de qualité proposée pour l'indice état de santé général de corallien

1 Très bon état	Coraux non nécrosés avec gazon algal. Pas de macro-algues
2 Bon état	Coraux présentant peu de nécroses, avec quelques macro-algues et/ou une légère hyper-sédimentation
3 État moyen	Coraux avec nécroses et un peuplement algal dominé par des macro-algues et/ou hyper-sédimentation forte
4 État médiocre	La majorité des coraux sont morts, les fonds sont envahis par les macroalgues ou entièrement sédimentés
5 Mauvais état	Coraux morts ou envahis de macro-algues ou totalement envasés, aucune espèce sensible

- Indice de blanchissement

Cet indice n'est pas destiné à caractériser l'état de la masse d'eau, mais doit permettre une évaluation de l'impact du changement climatique ajouté aux pressions et expliquer les mauvais états potentiellement observés non rattachables à des pressions anthropiques. Des résultats médiocres ou mauvais pour cet indice devront être clairement identifiés pour un éventuel report de suivi de la station l'année suivante (pour prise en compte de la résilience des communautés coralliennes).

Sur la base des relevés en plongée sous-marine du pourcentage de blanchissement des colonies comptabilisées lors du relevé Point Intercept, l'indice de blanchissement est évalué selon 5 classes. Les valeurs des 6 transects sont ensuite moyennées (une valeur par année de suivi) et jugées sur la base des seuils suivants :

Tableau 11 : Grille de qualité proposée pour l'indice « blanchissement »

	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Densité		**0,5]**	**] 0,5-1,5]**	**] 1,5-2,5]**	**] 2,5-3,5]**	**] 3,5**

4.1.1.3. Herbiers de phanérogames marines

Actuellement, aucun indice ni grille de qualité de type quantitative n'a été mis au point pour l'élément de qualité « Herbiers ». Parallèlement, une thèse est développée sur ce volet (*Kerninon F., 2020. Développement d'outils méthodologiques pour le suivi et l'évaluation de l'état de santé des herbiers d'outre-mer français et de leur environnement, dans un contexte de perturbations multiples. Thèse*

Doctorat, UBO, 387 pages + annexes). Ces travaux visent notamment à mener des réflexions sur d'éventuels indices et grilles de qualité pour les herbiers. Dans l'attente de ces résultats, seule l'évaluation qualitative de l'état de santé de l'herbier en 5 classes d'état peut éventuellement être utilisée pour le moment pour qualifier l'état de cet élément de qualité, sur dire d'expert. La métrique utilisée est la moyenne des indices d'état de santé global par transect (soit 6 réplicats par an).

Tableau 12 : Grille de qualité proposée pour l'indice état de santé général de l'herbier

1 Très bon état	Herbier de *Thalassia testudinum* monospécifique.
2 Bon état	Herbier mixte à *T. testudinum* et *Syringodium filiforme*, avec présence ou non de macroalgues typiques de l'herbier (en faible abondance)
3 Etat moyen	Signe d'eutrophisation ou de sédimentation
4 Etat médiocre	Herbier avec macroalgues (typiques, abondantes et ou autres macroalgues) ou envasé. Eutrophisation ou hyper-sédimentation marquée
5 Mauvais état	Herbier envahi par les macroalgues ou très envasé

4.1.1.4. Macrofaune benthique

Aucune grille de valeur n'existe pour la Guadeloupe à ce jour. A titre indicatif la grille de valeurs seuils pour La Réunion peut être utilisée. Cette grille ainsi que celles de la métropole sont indiquées ci-dessous :

Tableau 13 : Limites des 5 classes DCE retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot et al., 2008)

Classe M-AMBI	< 0,20	0,20 - 0,40	0,41 - 0,61	0,62 - 0,82	> 0,82
Etat Ecologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

Tableau 14 : Grille de valeurs de M-AMBI en région méditerranéenne

Classe M-AMBI	<0,21	[0,21-0,39[	[0,39-0,58[	[0,58-0,83[	<0,83
Etat Ecologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

Tableau 15 : Grille de valeurs de AMBI utilisée en métropole (Borja et al, 2007)

Classe AMBI	>5,5	[4,2-5,5]	[3,4-4,2[	[1,1-3,4[	<1,1
Etat Ecologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

4.1.2. Eléments de qualités physico-chimiques

- Température

L'indicateur est défini comme le pourcentage de mesures de température considérées comme exceptionnelles, c'est-à-dire qui sortent d'une enveloppe de référence. L'enveloppe de référence est définie autour d'une sinusoïde de référence qui modélise les données de température enregistrées sur une période antérieure au dernier état des lieux (2007 à 2011). L'indicateur est évalué uniquement sur deux classes : très bon, et Inférieur à Très Bon (en fonction du % de valeurs comprises dans l'enveloppe de référence).

La métrique est le % de valeurs mensuelles mesurées en surface en dehors d'une enveloppe de référence. Le seuil est de 5% : en-dessous, l'état est bon ; au-dessus, l'état est inférieur à bon.

Tableau 16: Grille de qualité proposées pour la température (en %) (Ifremer, 2020)

	Très Bon état	Inférieur à Très Bon
Seuils utilisés en 2019	**[0-5[**	**] 5**

- Salinité

La salinité n'est pas prise en compte pour l'évaluation de l'état physico-chimique des masses d'eau. Les salinités ci-dessous restent à titre indicatif. En effet, toutes salinités sortant des fourchettes devront être soulignées et les causes identifiées si possible (naturelles ou anthropiques).

Tableau 17: Fourchettes de salinité proposées pour tous types de MEC (d'après CCTP)

Salinité (PSU)	**Minimum**	**30**
	Maximum	**36**

- Turbidité

La métrique proposée est le Percentile 90 des valeurs mensuelles de turbidité mesurées en surface sur les 6 années du plan de gestion (Ifremer, 2020).

Tableau 18 : Grilles de qualité proposées pour la turbidité en 2018 (Ifremer, 2020)

Type de ME	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen
Type 1		**1]**	**] 1-2]**	**] 2**
Type 2 à 6		**0,6]**	**] 0,6-1,6]**	**] 1,6**

- Oxygène dissous

Le paramètre retenu est la concentration en oxygène dissous (en mg/l).

Tableau 19 : Grilles de qualité proposées pour l'oxygène dissous (en mg/l) (Ifremer, 2020)

Type de ME	Très bon état	Bon état	État moyen
Tous	**5,0]**	**] 5,0-3,0]**	**] 0,3-2,0]**

- Nutriments

Aucune modalité de calcul de la métrique n'est disponible en ce qui concerne les Antilles pour les indices DIN et Ortho-phosphates.

Il est indiqué dans le guide REEL (MTES, 2018c) : « un indice nutriment pourra être proposé lorsqu'un jeu de données minimal sera disponible ». Les nutriments ne sont donc actuellement pas pris en compte dans l'évaluation de l'état provisoire des masses d'eaux côtières aux Antilles.

Après consultation d'IFREMER en 2015 (A. Daniel, *comm. pers.* du 05/05/15), l'approche par défaut suivante a été envisagée : **la métrique utilisée sera la moyenne des valeurs de DIN et des concentrations en ortho-phosphates sur 6 ans** et les grilles proposées sont les suivantes :

Tableau 20 - Valeurs seuils proposées pour l'Azote Total (DIN : nitrate + nitrite + ammonium) et les Ortho-phosphates (en µmol/l) (d'après Impact-Mer et al., 2011)

DIN	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Type 1	0,35	0,6]	] 0,6-1,5]	] 1,5-3]	] 3-6]	] 6,0
Type 2 à 6	0,15	0,3]	] 0,3-1]	] 1-2,5]	] 2,5-4]	] 4,0

Ortho-phosphates	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Tout type de ME	0,05	0,1]	] 0,1-0,2]	] 0,2-0,4]	] 0,4-0,8]	] 0,8

Il est possible d'avoir des données à partir de la DCE Guadeloupe pour avoir une idée comparative des concentrations retrouvées dans les masses d'eau côtières autour de la Guadeloupe. Selon les résultats obtenus de la DCE Guadeloupe 2019 (CREOCEAN, 2020), les valeurs varient majoritairement :

- Pour **l'azote inorganique dissous** (la somme de des nitrates, nitrites et de l'ammonium), de **0,2 à 0,6 µmol/l ;**
- Pour **les ortho-phosphates**, de **0,05 à 0,1 µmol/l ;**
- Pour **les silicates**, de **0,5 à 7 µmol/l.**

4.1.3. Eléments de qualité chimique

45 substances sont à surveiller pour l'état chimique incluant des substances prioritaires et dangereuses prioritaires selon l'arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R.212-11 et R.212-18 du code de l'environnement avec des substances prioritaires à prendre en compte depuis le 22 décembre 2018.

Le tableau ci-dessous synthétise les 45 molécules prioritaires et les normes existantes, à savoir :

- les NQE-CMA (Concentration Maximale Admissible)
- les NQE -MA (Moyenne Admissible).

	NQE-MA (ng/l)	NQE-CMA (ng/l)
Métaux DGT		
Cadmium	200	Selon classe de dureté de l'eau
Nickel	1 300	14 000
Plomb	8 600	34 000
HAP (SBSE)		
Naphtalene	2 000	130 000
Anthracene	100	100
Fluoranthene	6,3	120
Benzo(b)fluoranthene		17
Benzo(k)fluoranthene		17
Benzo(a)pyrene	0,17	27
Benzol(g,h,i) pérylène	0,00082	0,82
Pesticides (SBSE)		
Alpha-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20
Hexochlorobenzène		50
Beta-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20
Gamma-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20
Dela-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20
Aldrine	5	
Chlorpyrifos	30	100
Chlorfenvinphos	100	3000
Isodrine	5	
Endosulfan alfa	0,5	4
4-4-dde	2,5	
Dieldrine	5	
Endrine	5	
Endosulfan beta	0,5	4
4-4ddd	2,5	
2,4-ddt	2,5	
4-4ddt	10	
Alkylphénols (POCIS)		
4-t-OP (4-ter-Octylphénol	10	
Pesticides (POCIS)		
Alachlore (SBSE aussi)	0,7	700
Atrazine (SBSE aussi)	600	2 000
Dichlorvos	0,06	0,07
Diluron	200	1 800
Irgarol (cybutryne)	2,5	16
Isoproturon	300	1 000
Simazine	1 000	4 000
Terbutryn	6,5	34
Chlordécone	0,0005	

4.2. Autres valeurs référentielles

- Bactériologie

Les valeurs seuils sont fixés par le Ministère de la Santé pour les eaux de baignades (qualité sanitaire) pour les critères microbiologiques de *Escherichia coli* et d'entérocoques intestinaux. Ces valeurs sont à titre comparatif car pour établir un classement du site, il est nécessaire d'avoir des données sur les quatre dernières saisons.

Tableau 21: Valeurs seuils de la qualité des eaux de baignade selon l'ARS (2018)

Qualité sanitaire des échantillons d'eau	Bon	Moyen	Mauvais
Escherichia Coli (NPP/100 ml)	≤100	>100 et ≤1 000	>1 000
Entérocoques intestinaux (NPP/100 ml)	≤100	>100 et ≤370	>370

A ce jour très peu de grilles d'indicateur DCE ont été développées pour l'analyse des fonds sédimentaires. Aussi, à titre indicatif, il est proposé 2 grilles complémentaires d'analyses :

- Granulométrie des sédiments

La Classification Kouyoumontzakis (Marty, 1993) permet de définir la nature du sédiment selon le taux de fraction fine (<63 µm) :

Tableau 22 : Classification Kouyoumontzakis (Marty, 1993)

Classe sédimentaire	
Fines	Fraction fine <63µm
Sables purs	0-5%
Sables envasés et vase sableuses	5-25%
Vase sableuses et vases	25-50%
Vases	50-75%
Vases (fines)	>75%

- Enrichissement organique de sédiments

La Grille de valeurs des classes d'enrichissement des sédiments pour l'Azote Kjeldahl et le Phosphore Total est tirée de la classification de Andral, 2007

Tableau 23 : Valeurs seuils et classes d'enrichissement des sédiments pour l'azote Kjeldahl et le phosphore total (Andral, 2007)

	Azote Kjeldahl	Phosphore total
Echelle relative	% PS (poids sec)	(mg/kg)
Faible	<0,3	<440
Moyen	0,3-0,4	440-680
Fort	0,4-0,5	680-1255
Très fort	>0,5	>1255

- Chimie des sédiments marins

Les normes NQE ne sont pas disponibles pour les concentrations des contaminants dans les sédiments. Ces dernières peuvent être comparées aux niveaux définis par l'Arrêté du 30 juin 2020 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.
Cet arrêté met en place des valeurs de deux niveaux N1 et N2, et fixe des seuils de concentrations en métaux, contaminants organiques, HAP et PCB par rapport aux analyses de sédiments marins portuaires.

Paramètres	Valeurs guides N1 mg/kg	Valeurs guides N2 mg/kg
Arsenic	25	50
Cadmium	1,2	2,4
Chromium	90	180
Cuivre	45	90
Plomb	100	200
Mercure	0,4	0,8
Nickel	37	74
Zinc	276	552
PCB 101 (2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphényle)	0,01	0,02
PCB 118 (2,3',4,4',5-P5CB)	0,01	0,02
PCB 138 (2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphényle)	0,02	0,04
PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphényle)	0,02	0,04
PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphényle)	0,01	0,02
PCB 28 (2,4,4'-Trichlorobiphényle)	0,005	0,01
PCB 52 (2,2',5,5'-Tétrachlorobiphényle)	0,005	0,01
PCBs (Polychlorinatedbiphenyls)	0,005	1,01
TBT	0,1	0,4
Naphtalène	160	1 130
Acénaphtène	15	260
Acénaphtylène	40	340
Fluorène	20	280
Anthracène	85	590
Phénanthrène	240	870
Fluoranthène	600	2 850
Pyrène	500	1 500
Benzo [a] anthracène	260	930
Chrysène	380	1 590
Benzo [b] fluoranthène	400	900
Benzo [k] fluoranthène	200	400
Benzo [a] pyrène	430	1 015
Di benzo [a, h] anthracène	60	160
Benzo [g, h, i] pérylène	1 700	5 650
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	1 700	5 650

5. Protocole de surveillance

5.1. Synthèse des 4 guides existants

5.1.1. Synthèse analytique des guides

L'analyse des 4 guides méthodologiques présentés au chapitre 1 permet de s'en inspirer pour le guide actuel.

En résumé, le guide de la **Nouvelle-Calédonie,** préconise l'utilisation du protocole BACI (Before-After, Control-Impact) qui est la méthode la plus puissante. D'après le schéma de Green (1979), la grande majorité des rejets en Guadeloupe se situent dans le contexte où une perturbation a lieu avant la mise en place du suivi. Cela implique des types de suivis d'analyses géographiques seulement lorsque le moment et la localisation de la perturbation sont connus. Dans le cas où la localisation exacte du rejet n'est pas connue, il est conseillé de procéder à une enquête pour déterminer le moment et la localisation de la perturbation.

Le guide de la Nouvelle-Calédonie suit une approche par pression ou écosystémique, pour les paramètres à analyser. L'approche écosystémique semble pertinente dans le cas de la Guadeloupe, pour les suivis des habitats, notamment pour l'abondance et recouvrement coralliens, ainsi que le peuplement de poissons. Les récifs sont d'une importance cruciale en Guadeloupe et sont également mis en avant dans les suivis de Nouvelle-Calédonie.

Le guide de la **Méditerranée** ne prend en compte que les rejets exprimés en « Equivalent Habitant » supérieur à 2 000 EH. Les paramètres détaillés sont répertoriés sous différentes « tâches », en indiquant la fréquence du suivi ainsi que les plans d'échantillonnage. Les points et niveaux de prélèvements sont répartis selon la distance au rejet. Les suivis sont renforcés lorsque les apports en MES ou les EH sont très importants et la zone géographique du milieu récepteur plus « fermée » (faible renouvellement des eaux).

Le guide de **Mayotte** insiste fortement sur un suivi avant l'installation d'une station d'épuration afin de choisir la meilleure localisation du point de rejet (état initial). Pour le suivi du milieu marin, le guide de Mayotte applique la méthodologie du guide sur la surveillance des rejets urbains en Méditerranée (Andral *et al.,* 2011), en fonction de la sensibilité et vulnérabilité du milieu récepteur. Elle intègre des notions de « champs proches, moyens, éloignés » pour définir l'effort de suivi.

Le contexte évoqué dans le guide de **La Réunion** est similaire à celui guadeloupéen, avec la présence de récifs coralliens. Les milieux récepteurs à La Réunion ont été définis selon la sensibilité du milieu. En effet, ils sont déterminés par une typologie en se basant sur la présence ou non de zone corallienne et de la distance du rejet à la côte. Le guide est également adapté aux rejets industriels directs des usines de canne à sucre en mer. De plus, la taille nominale plutôt réduite des STEU à La Réunion est très similaire avec la Guadeloupe, (par rapport à la Méditerranée, qui dépassent généralement les 100 000 EH).

Ainsi, sont considérés comme gros rejets, les stations d'épuration présentant un seuil supérieur à 10 000 EH et les petits, ceux avec un seuil inférieur à 10 000 EH. Les indicateurs sélectionnés pour les suivis à La Réunion sont ainsi d'avantage adaptés pour le milieu guadeloupéen.

Tableau 24 : Synthèse bibliographique des paramètres étudiés dans les différents guides normalisés existants

PARAMETRES	NOUVELLE-CALEDONIE	REUNION	MEDITERRANEE	MAYOTTE
Flux à la mer			X	X
Courantologie		X	X	X (EO)
Nature des fonds		X		
Météorologie		X	X	X (EO)
Chlorophylle a	X	X	X	X
Nutriments	X	X	X	X
Oxygène dissous	X	X	X	X
Azote total et phosphore total	X	X	X	X
Profondeur de Secchi	X	X		
Turbidité	X	X	X	X
Taux d'accumulation	X			
Flux de particules	X			X
Métaux dissous	X	X	X	X
Concentration en métaux dans les sédiments	X	X	X	X
Concentration en métaux dans le biote (collecte)	X	X		X
Concentration en métaux dans le biote (transplantation)	X			
Concentration en contaminants organiques dans le biote (collecte)/biomonitoring	X		X	X
Contaminants organiques dans l'eau de mer	X	X	X	X
Concentration en contaminants organiques dans les sédiments marins	X	X	X	X
Concentrations en E.Coli et entérocoques dans l'eau de mer	X	X	X	X
Concentrations en E. Coli dans les bivalves	X		X	
Température et blanchissement corallien	X			
Abondance des colonies coralliennes	X		X	X
Recouvrement corallien	X	X	X	X
Recouvrement en phanérogames	X	X	X	X
Peuplements benthiques		X	X	X
Tricots rayés	X			
Ciguatera	X			
Suivi des herbiers de Posidonie			X	
Comptages de poissons	X	X		X
Bancarisation de données		X	X	
Mangrove				X
Ecotoxocologie (oursins)		X	X	
Recolonisation expérimentale			X	
CONTENU DANS FICHE METHODOLOGIQUE				
Méthode de prélèvement et d'analyse	X	X	X	
Plan d'échantillonnage	X	X	X	
Fréquence des suivis	X	X	X	
Grille de qualité existante ou valeurs comparatives	X	X		
Référentiels méthodologiques et normes	Bactériologie	X	X	X
Temps nécessaire à la réalisation du suivi		X		
Estimation des coûts		X		
Références bibliogrpahiques	X	X		

5.2. Méthodologie de construction du protocole de suivi

Comme cela a été décrit précédemment, le protocole de suivi doit être construit selon l'impact du rejet sur le milieu récepteur. Cet impact est dépendant de :

* l'importance du rejet ;
* la configuration courantologique/hydrodynamique du milieu récepteur ;
* la sensibilité écologique du milieu récepteur.

En effet, les incidences ne sont pas identiques s'il s'agit d'un rejet d'un émissaire au large, profond, sur une plaine sédimentaire ou bien d'un rejet direct à la côte, peu profond sur une zone corallienne enclavée. L'impact du rejet varie également fortement selon la configuration géomorphologique et les caractéristiques hydrodynamiques du milieu récepteur.

5.2.1. Présentation des paramètres de suivis

5.2.1.1. Définition des termes

Différentes notions vont être par la suite employées. Dans un souci de simplicité, il convient de les définir dans ce chapitre :

- **Paramètres :** correspond à une variable unitaire permettant de mesurer une caractéristique spécifique environnementale (par exemple : « *température », « salinité », concentration en « ammonium* », etc…)
- **Famille de paramètres** : regroupe un ensemble de paramètres associé à une thématique particulière. Par exemple, la famille de paramètres « **Hydrologie**» regroupe les paramètres unitaires « température », « salinité », « pH »,etc. La famille « **Bactériologie** » regroupe les paramètres « taux de E. coli », « concentrations en entérocoques fécaux »
- **Catégorie :** « super-famille » classant en 3 types la nature globale du suivi (caractéristiques du milieu physique, indicateur de pression anthropique et indicateur écosystémique). Par exemple, la catégorie « **Caractéristiques du milieu** » regroupe 2 familles de paramètres « *Courantologie* « et « *nature des fonds* »

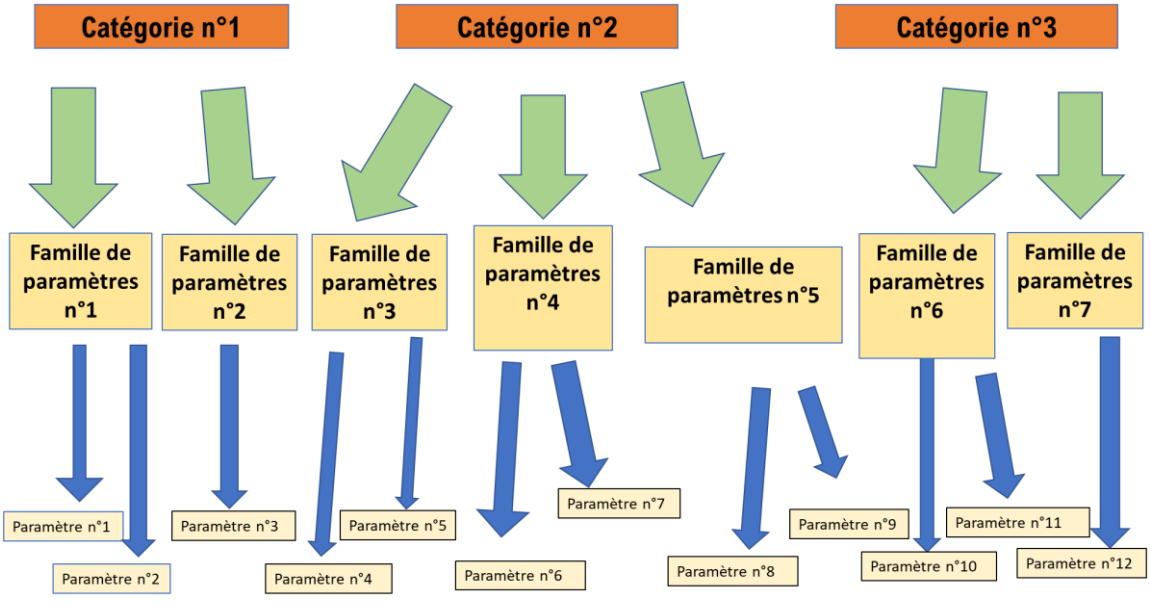


Figure 12 : Illustration de la classification choisie

D'après la synthèse bibliographique des 4 guides existants, il est désormais possible de définir **3 grands catégories :**

- **Caractéristiques générales du milieu** (état initial préalable indispensable en cas d'absence totale de données) ;
- I**ndicateur de pression** (qui relate le niveau de perturbation engendré) ;
- **Indicateur écosystémique** (qui traduit la réponse du milieu à une perturbation anthropique).

5.2.1.2. Catégorie n°1 : Caractéristiques du milieu

La caractérisation du milieu physique est indispensable lorsque les informations, telles que la cartographie des habitats ou la modélisation des courants, sont inexistantes ou parcellaires. Dans ces cas-là, une caractérisation de la **nature des fonds** est nécessaire pour connaître les faciès sédimentaires, les habitats présents dans la zone d'étude ainsi que la bathymétrie, afin de distinguer les zones d'étude, notamment pour le suivi des coraux et des herbiers.

La courantologie est également importante pour connaitre la diffusion du rejet et identifier les écosystèmes au plus près du panache de dispersion. Cela permet également d'optimiser le positionnement des stations d'échantillonnage par rapport au rejet et définir un gradient de pollution. Dans le cadre du projet Interreg Carib-Coast, le modèle hydrodynamique 3D en cours de développement montre que sur une grande partie du littoral, le courant de surface est induit à plus de 90% par le vent et la marée (Actimar, 2020).

Pour les rejets mal connus, un suivi par traceur fluorescent (tel que la fluorescéine) permettrait de connaître le point de rejet ainsi que la dispersion du panache avec le vent.

5.2.1.3. Catégorie n°2 : Indicateur de pressions

Un apport en sédiments terrigènes par ruissellement ou par lessivage se produit sous la forme de Matières En Suspension (MES) et peut avoir un fort impact sur la qualité de l'eau (turbidité, diminution de la saturation en oxygène) mais également la faune et la flore (blocage des processus de photosynthèse, étouffement par sédimentation, etc.)

En effet, l'augmentation de la turbidité de l'eau peut avoir pour conséquence une réduction de la quantité de lumière (limitation des activités photosynthétiques des organismes autotrophes), un étouffement des organismes benthiques filtreurs et un apport de maladies bactériennes pour les organismes coralliens.

Un apport en nutriments (tels que l'azote et le phosphore) peut favoriser l'eutrophisation du milieu (=enrichissement en matières nutritives) et par la suite, une prolifération d'algues qui entrent en compétition spatiale avec les coraux. Rappelons que la plupart des masses d'eau de Guadeloupe ont été classées en « zones sensibles à l'eutrophisation » lors de précédents SDAGE.

Un apport en eau sursalée (saumure) issu principalement de processus industriels ou de désalinisation d'eau de mer, modifie également la qualité de l'eau. Cette modification de la salinité n'est pas sans conséquence sur des organismes marins qui peuvent subir un véritable stress salin. Les processus industriels peuvent s'accompagner également d'une augmentation de la température de l'eau rejetée en mer. Les conséquences de cette modification thermique sont la diminution de la concentration en oxygène dissous et l'augmentation de l'activité métabolique de certains organismes marins.

Ces pressions concernent majoritairement la famille de paramètres « **Hydrologie »**. Cette famille de paramètres inclue de nombreux paramètres tels que la mesure de la turbidité, la salinité, la température, les concentrations en oxygène, en nutriments et en chlorophylle *a* dans l'eau.

Les apports bactériologiques proviennent principalement des rejets d'eaux usées par les stations d'épuration. Les apports microbiologiques d'origine fécale (*Escherichia coli* et en entérocoques intestinaux) ont un impact sanitaire direct avec le rejet de micro-organismes potentiellement pathogènes pour l'homme (bactéries, virus, protozoaires) dans les eaux de baignade. Ils peuvent avoir un impact indirect sur le milieu naturel en affectant les organismes benthiques filtreurs. Rappelons que de nombreuses maladies coralliennes d'origine bactérienne existent (variole blanche, bande noire, SCTLD, etc..) et sont à l'origine de fortes diminutions du recouvrement corallien.

Cette pression concerne la famille de paramètres « **Bactériologie »**. Cette famille de paramètres inclue deux paramètres la teneur en *Escherichia coli* et en entérocoques intestinaux dans l'eau.

Un apport en contaminants chimiques, métaux lourds dissous et **contaminants organiques** (incluant les hydrocarbures (HAP), les PCB, les pesticides, les phtalates, les bisphénols et nonylphénols ainsi que les produits pharmaceutiques) peut provenir des rejets d'eaux usées, des bassins-versants (pratiques agricoles) ainsi que de certaines industries. Les métaux et les composants organiques peuvent s'accumuler dans les sédiments, ainsi que dans les organismes marins. Ils peuvent également se trouver sous forme dissoute dans l'eau. La contamination des organismes induit des impacts écologiques et un risque sanitaire pour les usagers.

Cette pression chimique concerne **3 familles de paramètres** « *contamination chimique du sédiment », « contamination chimique de l'eau* » *et « contamination chimique du sédiment* »

5.2.1.4. Catégorie n°3 : Indicateur écosystémique

Par une approche écosystémique, nous recherchons une réponse globale du milieu aux différentes pressions qui s'y exercent. En effet, certains organismes sont de parfaits indicateurs de perturbation anthropique et permettent de percevoir une pollution sur le moyen et long-terme dans le milieu marin. Cela concerne les **2 familles de paramètres** « *Biocénose de substrats durs* » et « *Biocénose de substrats meubles* ».

Le suivi des biocénoses de substrats durs, concerne :

- Pour les récifs coralliens :
  - La structure du peuplement benthique,
  - L'état de santé des coraux,
  - La densité en juvéniles de coraux (=recrutement),
  - La densité des oursins,
  - Le recouvrement en macro-algues,

- Pour les herbiers de phanérogames marines :
  - L'état de santé général,
  - Le recouvrement des herbiers,
  - L'absence ou présence de cyanobactéries,
  - La présence d'épibiose sur les feuilles d'herbier,
  - La floraison.

Le suivi des biocénoses de substrats meubles implique l'analyse de l'endofaune (mollusques, annélides polychètes, micro-crustacés) par :

- Les densités en individus,
- La richesse spécifique totale,
- L'abondance relative par espèce.

Ces paramètres liés à l'endofaune sont un excellent indicateur de l'état général du milieu et renseignent sur l'enrichissement en matière organique et la présence de contaminants.

5.2.1.5. Conclusion

En tenant comptes des résultats de la surveillance DCE et des indicateurs associés, de l'expérience acquise depuis une quinzaine d'années sur la réalité de terrain lors de la caractérisation des rejets en mer, l'opérationnalité des laboratoires et des techniques mises en routine, **9 familles de paramètres** peuvent être définis pour la méthodologie adaptée au contexte guadeloupéen :

- 1.Nature des fonds ;
- 2.Courantologie ;
- 3.Hydrologie ;
- 4.Bactériologie ;
- 5.Contamination chimique du sédiment ;
- 6.Contamination chimique de l'eau ;
- 7.Contamination chimique du biote ;
- 8.Biocénose de substrats durs;
- 9.Biocénose de substrats meubles.

Le tableau ci-dessous synthétise les différents types de suivis retenus pour un suivi normalisé de rejets en mer en Guadeloupe, avec les familles de paramètres afférentes identifiés :

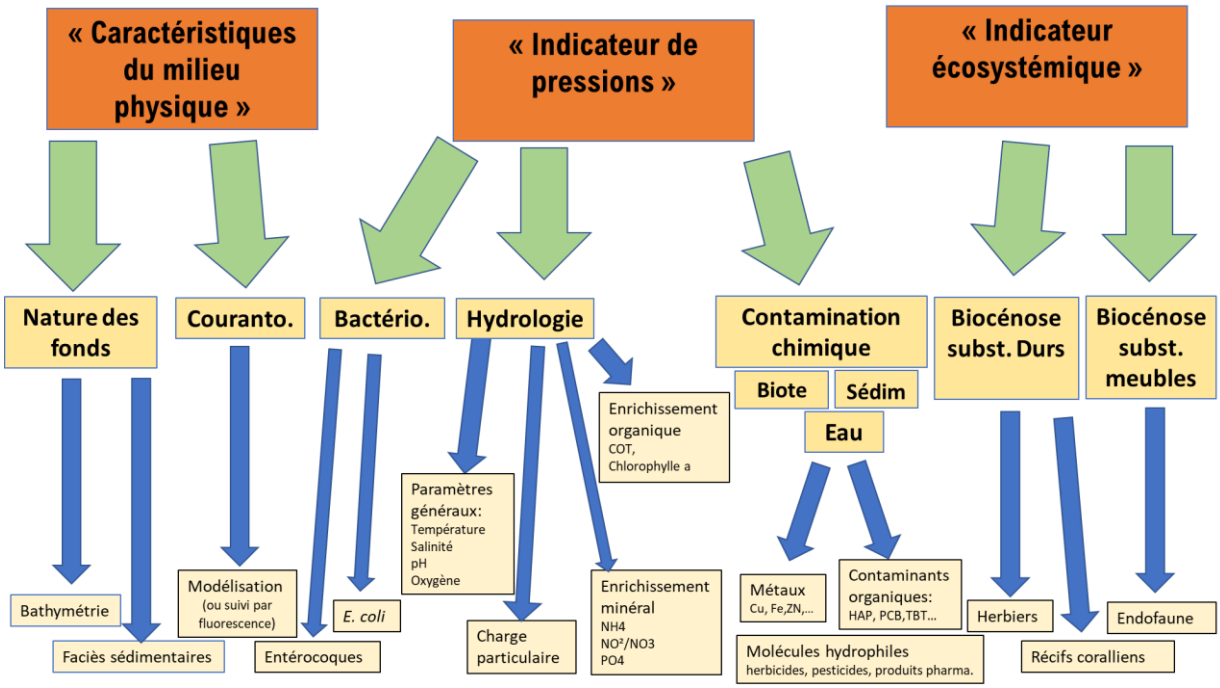


Figure 13 : Synthèse de la classification des 3 types de suivis, des 9 familles de paramètres et les principaux paramètres élémentaires de suivis

5.2.2. Présentation des critères déterminants

5.2.2.1. Nature et taille du rejet

Les différents types de rejets peuvent être classés selon la nature et la taille du rejet, comme suit, par ordre décroissant :

- Rejet industriel ;
- STEU catégorie 1 : STEU > 10 000 EH ;
- STEU catégorie 2 : STEU > 2 000 EH ;

Les exutoires d'eaux pluviales ont été écartées du fait de leur absence sur le territoire de Guadeloupe et sur l'impossibilité de définir un responsable/ Maître d'Ouvrage pour l'organisation de ce type de suivi.

Le but de cette classification est d'adapter les paramètres de suivis selon la nature du rejet (rejets industriels riches en métaux / rejets de STEU, riches en nutriments/bactériologie) mais également d'aider à définir l'effort d'échantillonnage selon la taille du rejet (effort d'échantillonnage moindre sur une STEU de 2 000 EH par rapport à une STEU >10 000 EH).

5.2.2.2. Milieux récepteurs

Les différents milieux récepteurs des rejets retenus pour ce guide sont identifiés selon 2 critères :

1. **les principaux écosystèmes existant autour de la Guadeloupe** et décrits au chapitre précédent :
- Récifs coralliens,
- Herbiers de phanérogames marines,
- Plaines sablo-vaseuses,
- Communautés algales,
- Herbiers d'espèces invasives (*Halophila stipulacea*).

2. L'existence d'**indicateurs pertinents et validés** pour déterminer le niveau de pression ou l'état de santé du milieu récepteur.

Le choix de ce 2e critère explique la volonté d'écarter pour le moment le suivi en **mangroves**, en l'absence de seuils et d'inter-calibration des indicateurs déterminés par le MNHN.

5.2.2.3. Vulnérabilité des milieux récepteurs

Les écosystèmes précédents ont des vulnérabilités différentes aux pollutions. L'impact du rejet dépend également de la **fonctionnalité écologique** (rôle de nurserie/frayère, site d'alimentation, zone de repos, etc.) et de la **biodiversité** (nombre de taxons, d'espèces, densités en individus). De plus, lorsque des **organismes rares, protégés (coraux) et/ou patrimoniaux** (lambis, oursins blancs) sont présents, la surveillance doit apparaître renforcée.

En effet, une zone de récif corallien, du fait de son rôle majeur en termes d'habitat, de zone de nourricerie et de nurserie présente des enjeux plus importants qu'une plaine sablo-vaseuse à la biodiversité et à la fonctionnalité moindre (mais tout aussi importante pour certaines espèces d'endofaune). Il convient donc de prendre en considération cette « vulnérabilité », au travers de 3 critères :

- Niveau de fonctionnalité écologique,
- Biodiversité (Abondance, richesse spécifique, diversité des taxons, etc.),
- Présence d'espèces remarquables (rares, protégées ou patrimoniales).

Tableau 25 : Classification de la vulnérabilité selon le milieu récepteur

Milieu récepteur / Vulnérabilités	Récif corallien	Herbiers de phanérogames marines	Herbier d'espèces invasives	Plaine sablo-vaseuse	Communautés algales ou mixtes
Fonctionnalité écologique	Très forte	Forte	Modérée	Modérée	Faible
Richesse spécifique	Très forte	Modérée	Modérée	Faible	Faible
Présence d'espèces protégées, patrimoniales, rares	Forte	Modérée	Modérée	Faible	Faible
VULNERABILITE	**Très Forte**	**Forte**	**Modérée**	**Faible**	**Faible**

5.2.3. Niveaux de surveillance

Sur la base des expériences des précédents guides et sur la classification de vulnérabilité des milieux récepteurs, il a été choisi de définir **4 niveaux de surveillance** en fonction du type de rejet et de la vulnérabilité du milieu récepteur (tableau 25):

- **Suivi très renforcé** : niveau maximal d'effort de suivi
- **Suivi renforcé** : niveau élevé d'effort de suivi ;
- **Suivi normal** : niveau intermédiaire d'effort de suivi ;
- **Suivi léger** : niveau minimum d'effort de suivi.

Tableau 26 : Niveau de surveillance selon le milieu récepteur et le type de rejet en Guadeloupe

Type de rejet / Milieu récepteur	Rejet industriel	STEU > 10 000 EH	STEU (2000-10 000EH)
Récif corallien	**Très renforcé**	**Très renforcé**	**Renforcé**
Herbiers	**Renforcé**	**Renforcé**	**Renforcé**
Plaine sablo-vaseuse	**Renforcé**	**Renforcé**	**Normal**
Herbiers d'espèces invasives	**Normal**	**Normal**	**Léger**
Communautés algales	**Léger**	**Léger**	**Léger**

Ainsi, le niveau de surveillance diffère selon :

- **la nature et la taille du rejet pour un même type de milieu récepteur** (par exemple, pour un récif corallien : « très renforcé » pour des rejets industriels ou gros rejets de STEU / renforcé pour les petits rejets de STEU) ;
- **le type de milieu récepteur pour un même type de rejet** (par exemple, pour un rejet industriel, niveau « très renforcé » sur un récif corallien et niveau « léger » sur une communauté algale)

En conclusion, cette différence de niveau de surveillance influence :

- le nombre de paramètres suivis ;
- l'effort d'échantillonnage à mettre en œuvre.

5.2.3.1. Nombre de paramètres à suivre selon le niveau de surveillance

Selon le niveau de l'impact (dépendant du milieu récepteur et de la nature du rejet), le nombre de paramètres à surveiller varie. Ainsi, dans le cadre d'un rejet industriel sur un récif corallien, le nombre de paramètres à suivre sera beaucoup plus élevé que dans le cas d'un rejet d'une petite STEU de 2 000 EH sur une communauté algale.
Le tableau suivant détermine les familles de paramètres à suivre selon le milieu récepteur et la nature du rejet. Voici quelques remarques complémentaires :

1. Le nombre de groupe de paramètres à suivre diminue avec le niveau de surveillance ;
2. Les rejets industriels n'émettent pas d'éléments bactériens (pas de suivi du groupe de paramètres « *bactériologie* »)
3. La famille de paramètres « *Contamination chimique du biote* » ne s'effectuant que sur des huîtres de palétuviers, ce suivi ne sera réalisé que si des zones de mangroves se situent à proximité (2 km) du point de rejet.
4. La famille de paramètres « *Biocénose de substrats meubles* » ne s'effectuant que sur des vastes étendues de substrats meubles, ce suivi ne sera réalisé que si celles-ci sont présentes et se situent à proximité (2 km) du point de rejet.

Tableau 27 : Famille de paramètres à prendre en compte selon le niveau de suivi, le milieu récepteur et le type de suivi :

Niveau de surveillance \ Type de rejet		Rejet industriel	STEU (gros rejet) Seuil EH>10 000	STEU (2 000-10 000EH)
Très renforcé	Récif corallien	Tout (sauf 4 et 9)	1 à 5 ;8	-
Renforcé	Récif corallien	-	-	2* ;3 ;4 ; 5 ;8
	Herbiers de phanérogames	Tout (sauf 4 et 9)	1 à 5 ; 8	2* ;3 ;4 ; 5 ;8
	Plaine sablo-vaseuse	2 ;3 ;5 ;6 ;9	2 ;3 ;4 ;5 ; 9	-
Normal	Plaine sablo-vaseuse	-	-	2* ;3 ;4 ; 5 ;9*
	Herbier d'espèces invasives	3 ; 5 ;6 ; 8	3 ;4 ;5 ; 8	-
Léger	Herbier d'espèces invasives	-	-	2*;3 ; 4 ;8
	Communautés algales	3 ; 5 ; 6 ; 8	3 ;4 ;5 ; 8	2*, 3, 4

1.Nature des fonds ;2. Courantologie (uniquement le suivi par fluorescence pour les STEU <10 000 EH); 3.Hydrologie ; 4.Bactériologie ; 5.Contamination chimique du sédiment ; 6.Contamination chimique de l'eau ; 7.Contamination chimique du biote ; 8.Biocénose de substrats durs; 9.Biocénose de substrats meubles.*

5.2.4. Effort d'échantillonnage

5.2.4.1. Notion d'échelle spatiale

Les stations sont réparties sur 4 champs différents.
Un *champ proche* pour observer l'impact direct potentiel du rejet (0 -50 m).
Un *champ légèrement plus éloigné* à 300 m pour voir les impacts directs potentiels mais éloignés.
Un *champ éloigné à 600 m* et le dernier dans *un champ lointain* en amont du rejet, qui peut servir de zone de référence, éloignée du rejet, **dans le cas où le rejet se fait en émissaire en milieu ouvert** et non en rejet côtier.

Il n'y a pas d'intérêt à placer des points à moins de 100 m de distance car l'hydrodynamisme du milieu rend la zone homogène.

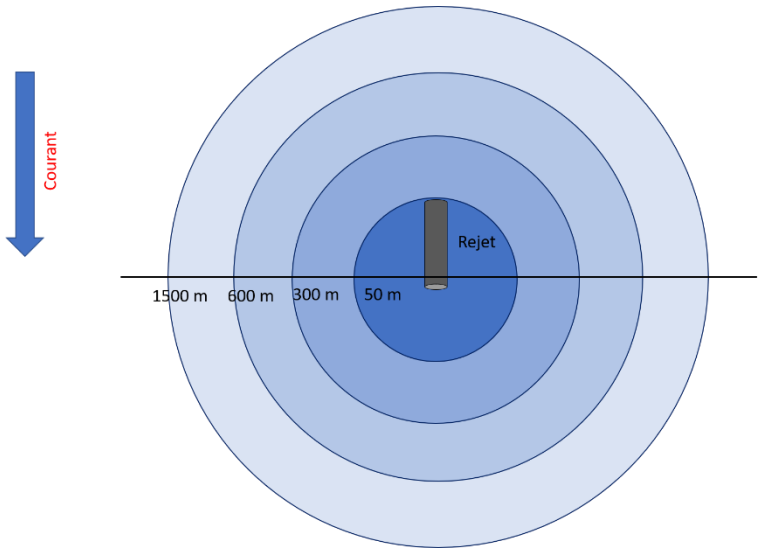


Figure 14 : Illustration des champs de suivi définis

5.2.4.2. Notions d'effort d'échantillonnage

Tout comme le nombre de paramètres, pour un même milieu récepteur, l'effort d'échantillonnage (= nombre de stations étudiées/prélevées) va varier selon la nature et la taille du rejet. Plus le rejet est important, plus le nombre de stations à suivre doit l'être également.

Ainsi, deux niveaux d'effort d'échantillonnage sont définis :

- Effort d'échantillonnage de niveau I : les suivis pour les **rejets industriels** et les **gros rejets de STEU** ont davantage de stations à prélever/prospecter (effort d'échantillonnage plus important). Ces stations, se localisent dans les 4 champs définis précédemment.

- Effort d'échantillonnage de niveau II : les suivis pour les **petits rejets de STEU** >2 000 EH ont moins de stations à prélever/prospecter. L'effort d'échantillonnage est moins important. Ces stations, se localisent uniquement dans la zone de rejet et la zone de référence.

L'exemple ci-dessous présente la différence, pour un même type de paramètre, entre un effort d'échantillonnage de niveau I (4 stations échantillonnée dans les 4 champs) et un effort d'échantillonnage de niveau II (2 stations dans seulement 2 champs).

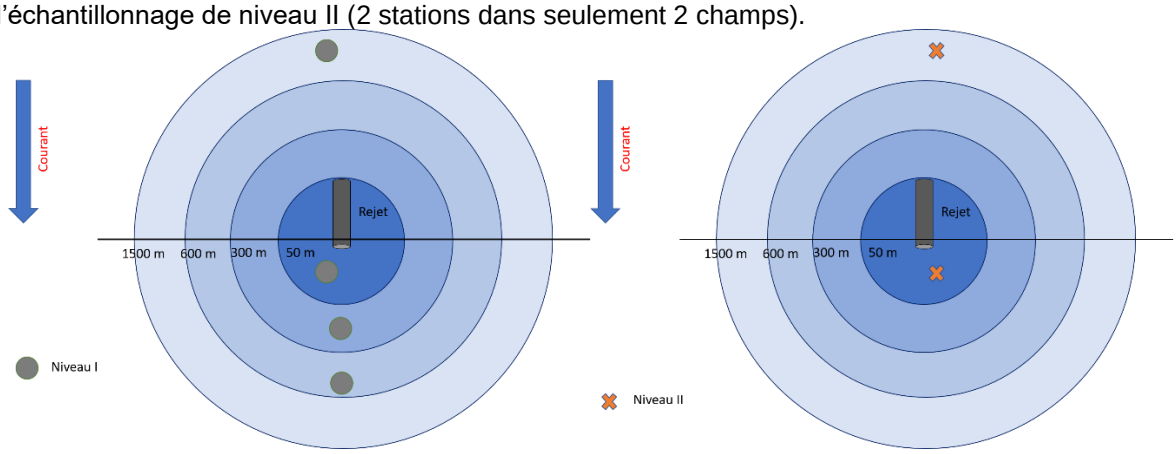
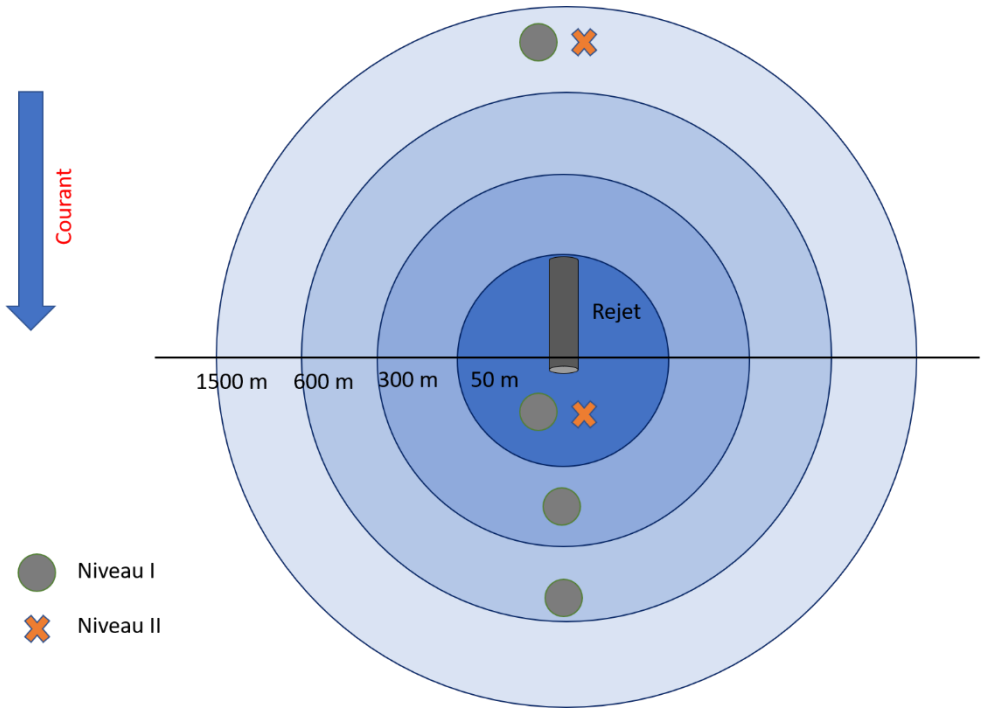


Figure 15 : Exemple de plan d'échantillonnage pour un effort d'échantillonnage de niveau I (à gauche) et de niveau II (à droite) dans le cas où le rejet se fait en émissaire en milieu ouvert

Par souci de simplification, dans chaque fiche-descriptive de paramètre, un seul schéma sera figuré, représentant à la fois un effort d'échantillonnage de niveau I OU de niveau II.
Ainsi, sur la figure ci-dessous, il faut considérer soit l'effort d'échantillonnage de niveau I (pour les gros rejets), soit l'effort d'échantillonnage de niveau II (pour les petits rejets) (mais pas les deux cumulés !).



Dans le cas où le rejet est côtier, la station dans le champ lointain se situe le plus en amont possible. Il faut éviter que la station soit trop proche de la côte également car il sera difficile de dissocier la provenance des contaminations, soit du rejet analysé ou d'autre source anthropique de la côte.

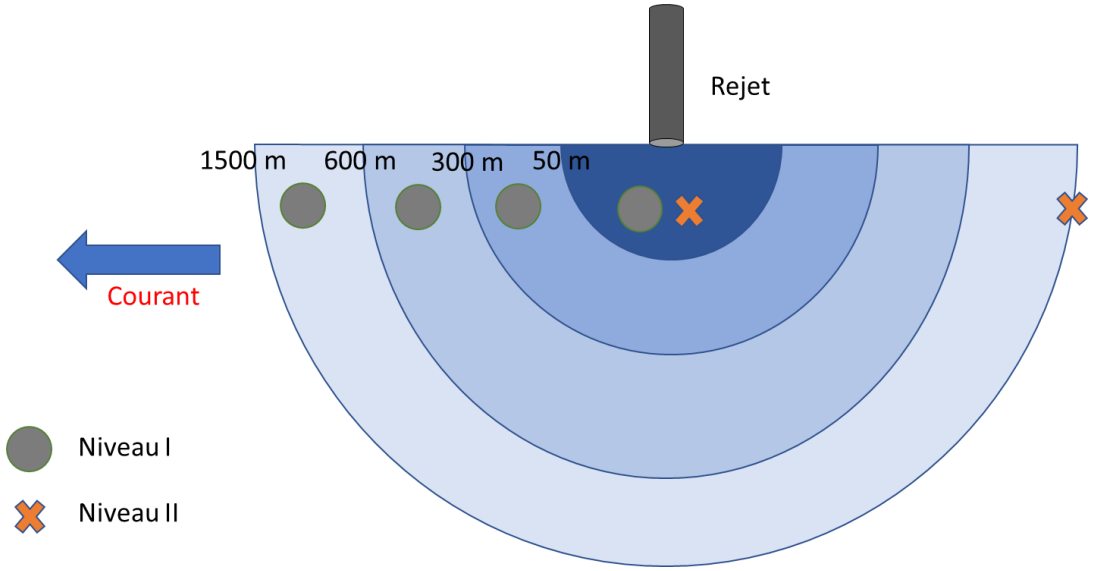


Figure 16 : Exemple de plan d'échantillonnage dans le cas où le rejet est côtier

5.2.5. Echelle spatio-temporelle

5.2.5.1. Echelle temporelle

Il est important de maintenir un suivi avec le même protocole à chaque fois pour limiter les facteurs de variabilité. Il est proposé des suivis écologiques sur une période de **3 à 6 ans** (avec une fréquence variable selon les paramètres, au vu de leur capacité intégrative).

S'il n'y a aucune contamination observée du rejet sur le milieu, le suivi pourra être arrêté ou simplifié. A l'inverse, en cas de maintien des pollutions, le suivi devra être poursuivi.

Le tableau ci-dessous synthétise les efforts d'échantillonnage à mettre en œuvre pour chacun des familles de paramètres, en fonction du type de rejet. Le détail et le positionnement des stations d'échantillonnage est présentée dans chaque fiche-terrain.

Tableau 28 : Récapitulatifs des efforts d'échantillonnage (en nombre de stations) et de la fréquence d'échantillonnage selon le type de rejet

Famille de paramètres		Effort d'échantillonnage (nombre de stations)	
	Fréquence Echantillonnage	Niveau I (gros rejets industriels et STEU > 10 000 EH)	Niveau II (petits rejets STEU >2 000 EH)
NATURE DES FONDS	1 fois	1	-
COURANTOLOGIE	1 fois	1	-
HYDROLOGIE	4 fois /an sur 6 ans	6	3
BACTERIOLOGIE	Hors proximité de zones sensibles (baignades et sites de plongée) : 4 fois /an sur 6 ans Proximité de zones sensibles : 12 fois /an la 1ere année et 4 fois/an sur les 5 années suivantes	6	3
CHIMIE-EAUX	1 fois /an sur 3 ans au minimum	2	1
CHIMIE - SEDIMENTS	Un par suivi	4	2
CHIMIE DANS LE BIOTE	Un par suivi (à proximité d'un site de mangroves)	2	-
BIOCENOSES – SUBSTRATS DURS (récifs et/ou herbiers)	1 fois/an sur 3 ans	4	4
BIOCENOSES – SUBSTRATS MEUBLES	1 fois /an sur 6 ans	4	2

5.3. Estimation des coûts

Le tableau ci-dessous synthétise les estimations des coûts de chaque compartiment en fonction du niveau de surveillance mis en œuvre (I ou II).

Le détail du calcul des estimations de coûts est présenté au sein de chaque fiche technique des familles de paramètres.

Tableau 29 : Récapitulatifs des coûts estimatifs selon la famille de paramètres suivis et le niveau de surveillance

Famille de paramètres		Suivi de surveillance niveau II (petits rejets) sur totalité du cycle			Suivi de surveillance niveau I (rejets industriels et STEU >10000 EH) sur totalité du cycle		
		Nb stations	Fréquence	Coût	Nb stations	Fréquence	Coût
NATURE DES FONDS	Vérité terrain		-	-	1 station	1 fois	6 780 €
	Données acoustiques		-	-	1 station	1 fois	10 800 €
COURANTOLOGIE	Acquisition de données		-	-	1 station	1 fois	10 800 €
	Modélisation		-	-	1 station	1 fois	4 900 €
	Suivi par fluoresceine		1 fois	5 000 €	1 station	1 fois	5 000 €
HYDROLOGIE	Prélèvements et analyses	3 stations	4 fois/an sur 6 ans	117 600 €	6 stations	6 ans	129 600 €
BACTERIOLOGIE	Prélèvements et analyses	3 stations	**Hors zones sensibles de baignade:** 4x/an sur 6 ans	96 000 €	6 stations	**Hors zones sensibles de baignade:** 4x/an sur 6 ans	100 800 €
	Prélèvements et analyses		**Zones sensibles de baignade:** 12x/an la 1ere année et 4x/an ensuite	128 000 €		**Zones sensibles de baignade:** 12x/an la 1ere année et 4x/an ensuite	134 400 €
CHIMIE DES EAUX	Prélèvements et analyses	1 station	3 ans	40 200 €	2 stations	6 ans	54 000 €
QUALITE DES SEDIMENTS	Prélèvements et analyses	2 stations	3 ans	22 350 €	4 stations	3 ans	31 350 €
CHIMIE BIOTE	Prélèvements et analyses		-	-	2 stations	3 ans	42 210 €
BIOCENOSE SUBSTRATS DURS	Plongées et analyses	2 stations	3 ans	13 650 €	4 stations	3 ans	17 550 €
BIOCENOSE SUBSTRATS MEUBLES	Prélèvements et analyses	2 stations	3 ans	26 100 €	4 stations	3 ans	33 900 €

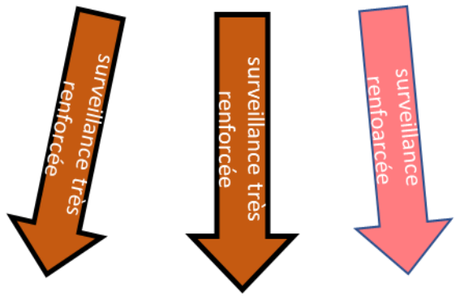
5.4. Conclusion

Les figures ci-dessous synthétisent l'ensemble des éléments utiles aux gestionnaires pour déterminer l'effort d'échantillonnage, les familles de paramètres à suivre, le coût du suivi, en fonction de la nature du rejet, de sa taille et de la nature du milieu récepteur.

2 montants sont indiqués en bas de chaque tableau. Ils correspondent en fait à la différence de prix appliquée sur la famille de paramètres « bactériologie ». en effet, l'effort d'échantillonnage n'est pas le même si le rejet se fait dans une zone dite « sensible de baignade » (fréquence d'échantillonnage plus élevée) ou en dehors (fréquence d'échantillonnage plus réduite).

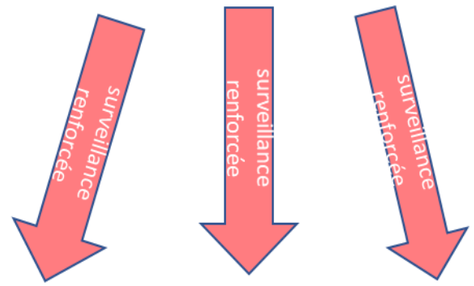
Milieu récepteur ?

Récifs coralliens



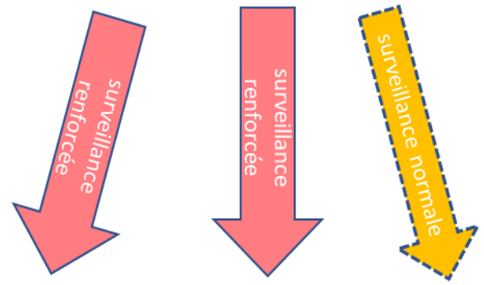
	Rejets industriels	STEU >10 0000 EH	STEU 2000 - 10 000 EH
Famille de paramètres	Effort d'échantillonnage Niveau I (important)		Effort d'échantillonnage Niveau II (réduit)
1,Nature des fonds	1 station	1 station	
2,Courantologie	1 station	1 station	*suivi uniquement par fluorescence*
3,Hydrologie	6 stations	6 stations	3 stations
4, Bactériologie		6 stations	3 stations
5,Chimie-eau	2 stations	2 stations	1 station
6,Chimie sédiment	4 stations		
7,Chimie biote	2 stations		
8,Biocénoses substrats durs (récifs et/ou herbiers)	4 stations	4 stations	2 stations
9,Biocénoses substrats meubles			
Coût estimatif (sur 6 ans) rejet hors zones sensibles de baignade	**312 990 €**	**340 230 €**	**272 450 €**
Coût estimatif (sur 6 ans) dans zones sensibles (suivi bactériologique renforcé)	**312 990 €**	**373 830 €**	**304 450 €**

Herbiers indigènes



Rejets industriels	STEU >10 0000 EH	STEU 2000 - 10 000 EH
Effort d'échantillonnage Niveau I (important)		Effort d'échantillonnage Niveau II (réduit)
1 station	1 station	
1 station	1 station	*suivi uniquement par fluorescence*
6 stations	6 stations	3 stations
	6 stations	3 stations
2 stations	2 stations	1 station
4 stations		
2 stations		
4 stations	4 stations	2 stations
312 990 €	**340 230 €**	**272 450 €**
312 990 €	**373 830 €**	**304 450 €**

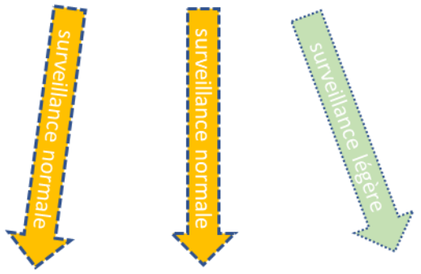
Plaine sablo-vaseuse



Rejets industriels	STEU >10 0000 EH	STEU 2000 - 10 000 EH
Effort d'échantillonnage Niveau I (important)		Effort d'échantillonnage Niveau II (réduit)
1 station	1 station	*suivi uniquement par fluorescence*
6 stations	6 stations	3 stations
	6 stations	3 stations
2 stations	2 stations	1 station
4 stations		
4 stations	4 stations	2 stations
269 550 €	**339 000 €**	**284 900 €**
269 550 €	**372 600 €**	**316 900 €**

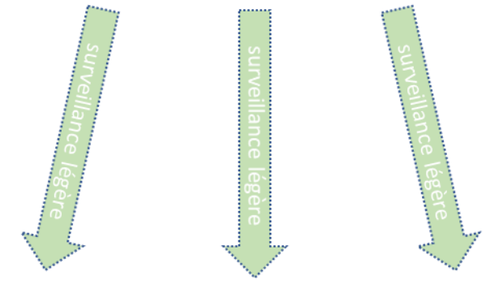
Milieu récepteur ?

Herbiers à *H. stipulacea*



	Rejets industriels	STEU >10 0000 EH	STEU 2000 - 10 000 EH
Famille de paramètres	Effort d'échantillonnage Niveau I (important)		Effort d'échantillonnage Niveau II (réduit)
1,Nature des fond			
2,Courantologie			*suivi uniquement par fluorescence*
3,Hydrologie	6 stations	6 stations	3 stations
4, Bactériologie		6 stations	3 stations
5,Chimie-eau	2 stations	2 stations	
6,Chimie-sédiment	4 stations		
7,Chimie-biote			
8,Biocénoses substrats durs (récifs et/ou herbiers)	4 stations	4 stations	2 stations
9,Biocénoses substrats meubles			
Coût estimatif (sur 6 ans) rejet hors zones sensibles de baignade	**232 500 €**	**301 950 €**	**232 250 €**
Coût estimatif (sur 6 ans) dans zones sensibles (suivi bactériologique renforcé)	**232 500 €**	**335 550 €**	**264 250 €**

Communautés algales



	Rejets industriels	STEU >10 0000 EH	STEU 2000 - 10 000 EH
Famille de paramètres	Effort d'échantillonnage Niveau I (important)		Effort d'échantillonnage Niveau II (réduit)
1,Nature des fonds			
2,Courantologie			*suivi uniquement par fluorescence*
3,Hydrologie	6 stations	6 stations	3 stations
4, Bactériologie		6 stations	3 stations
5,Chimie-eau	2 stations	2 stations	
6,Chimie-sédiment	4 stations		
7,Chimie-biote			
8,Biocénoses substrats durs (récifs et/ou herbiers)	4 stations	4 stations	
9,Biocénoses substrats meubles			
Coût estimatif (sur 6 ans) rejet hors zones sensibles de baignade	**232 500 €**	**301 950 €**	**218 600 €**
Coût estimatif (sur 6 ans) dans zones sensibles (suivi bactériologique renforcé)	**232 500 €**	**335 550 €**	**250 600 €**

5.5. Les différents protocoles de surveillance des paramètres

Les paramètres retenus et adaptés pour la Guadeloupe sont :

- Nature des fonds ;
- 2.Courantologie ;
- 3.Hydrologie ;
- 4.Bactériologie ;
- 5.Contamination chimique du sédiment ;
- 6.Contamination chimique de l'eau ;
- 7.Contamination chimique du biote ;
- 8.Biocénose de substrats durs;
- 9.Biocénose de substrats meubles.

Le détail méthodologique et la présentation détaillée chacun des 9 famille de paramètres sont présentés sous la forme de fiche-paramètre, dans le chapitre suivant.

Malgré leur utilisation à La Réunion ou en Méditerranée, certaines familles de paramètres sont été volontairement écartés du guide actuel. C'est le cas de l'**écotoxicologie**.

En Méditerranée et à la Réunion, des suivis normalisés sont déjà mis en place avec des protocoles validés :

- Le ROCCH : Réseau d'Observation de la Contamination CHimique ;
- MODIOLE : programme de bio-monitoring
- Détermination de la toxicité potentielle d'échantillons aqueux sur le développement embryo-larvaire d'oursin (ASTM) ;
- Transplantation de biote.

Le ROCCH (anciennement RNO) est un programme de surveillance et d'acquisition de connaissance sur les niveaux de contamination chimique du littoral créé en 1979 en métropole. Les mollusques concentrent les contaminants présents dans leur environnement de manière proportionnelle à leur exposition. Les concentrations en contaminants traduisent de l'état chimique chronique du milieu et son évolution d'années en années. Le suivi a démarré en 2002 en Guadeloupe sur 2 stations puis s'est arrêté en 2007. En Martinique, le suivi ROCCH a été maintenu sur 4 stations. Le suivi aux Antilles s'effectue sur l'espèce indicatrice d'huître de palétuvier *Isognomon alatus.*

Il faudrait que le suivi de la contamination chimique dans le biote s'inspire du ROCCH, afin d'obtenir des résultats sur les mêmes espèces et pouvoir comparer avec les valeurs de références obtenues en Guadeloupe et en Martinique. En effet, le choix de toute autre espèce rendra très difficile l'interprétation des résultats. De plus, les autres méthodes telles que la transplantation de biote ou le biomonitoring par « caging » sont moins efficaces que la récolte d'organismes dans les milieux naturels où ils vivent.

5.6. Coordination

Le maître d'ouvrage peut s'associer avec un organisme chargé de la coordination scientifique et technique pour organiser la campagne de terrain.

Logistique des campagnes de prélèvements

Lors des campagnes d'échantillonnage, plusieurs paramètres peuvent être combinés pour réduire la logistique et les sorties en mer. Par exemple, les paramètres de la bactériologie et de l'hydrologie peuvent se faire simultanément. Tout comme les familles de paramètres de « biocénoses » et la « contamination chimique de l'eau », car les deux nécessitent des plongeurs.

Choix des points de prélèvements

Il est crucial d'établir un état des lieux de l'environnement autour du rejet étudié lorsque l'information bibliographique est inexistante ou partielle. Ainsi lorsque les données sont manquantes, il est nécessaire d'obtenir les données de courantologie et de la nature des fonds. Cela permet d'avoir une vision plus globale de l'échantillonnage et de positionner les points selon l'hydrodynamisme du milieu. Cela facilite également l'analyse des résultats.

Pour faciliter le choix des zones à échantillonner notamment pour le paramètre biocénose de substrat dur, il faut connaître la répartition des habitats grâce à la cartographie existante. Dans le cadre de l'étude de caractérisation des principaux rejets en mer de Guadeloupe (CREOCEAN, 2020), les données cartographiques des biocénoses benthiques se sont révélées peu fiables ou parcellaires. Une bonne connaissance des biocénoses marines à proximité des rejets permet d'anticiper les impacts du rejet, ainsi que les suivis à entreprendre. Une cartographie des habitats marins constitue donc un préalable indispensable à une analyse juste des incidences.

Il faut s'assurer de la parfaite connaissance de l'emplacement du point de rejet car le choix des stations se fait en fonction du point de rejet. En effet, si le rejet n'est pas localisé précisément, la représentativité des stations prospectées est remise en cause, avec une approximation difficile à juger. Ainsi, en cas de doute, une visualisation par lâcher de fluorescéine en sortie d'usine de traitement ou de STEU est nécessaire.

La profondeur des stations doit être prise en compte également. La majorité des protocoles de suivi des biocénoses sont issus de la DCE aux Antilles, avec des stations localisées entre 10 et 15 mètres. Idéalement ces stations DCE servent de stations de référence et de comparaison avec les suivis mis en place. Cependant les stations proches des rejets sont généralement de faible profondeur par rapport aux autres stations plus au large, notamment en Côte sous le vent, comme cela a été constaté sur le terrain lors du diagnostic des émissaires en mer (CREOCEAN, 2020).

Assurance qualité

La traçabilité des prélèvements depuis leur échantillonnage jusqu'au rendu des résultats du laboratoire d'analyse ainsi que la garantie de leur fiabilité doivent être assurées à chaque fois. Ainsi, il est important de mettre en place **un carnet de terrain** comprenant toutes les informations relatives aux interventions depuis le terrain jusqu'à la remise des échantillons au laboratoire. Cela concerne autant les campagnes hydrologiques et sédimentaires que les campagnes de suivi des peuplements benthiques. Ce carnet contient les résultats des mesures *in situ* hydrologiques telles que la température, salinité, l'oxygène dissous et le pH de l'eau. Les mesures *in situ* permettent de réduire les coûts de laboratoire. Cependant cela demande une attention particulière avec une calibration régulière et l'entretien méticuleux des sondes.

L'ensemble des métadonnées correspondantes doit également être prise en compte comme la météo, les intervenants et les anomalies éventuelles.

Pour le bon **respect des délais d'acheminement** entre le premier prélèvement et le dépôt au laboratoire lorsque ce dernier est local, un délai inférieur à 8 heures doit être respecté.

Une attention particulière dans le contexte antillais doit être portée au maintien des échantillons à basse température (<4°C) jusqu'au laboratoire d'analyse. Lorsque le laboratoire se situe en métropole, les échantillons doivent être maintenus au frais (ou congelés selon les paramètres), dans les locaux jusqu'à l'envoi par transporteur, en 48 heures maximum.

La fiabilité des résultats d'analyses physico-chimiques repose sur les processus de qualité mis en œuvre par le laboratoire d'analyse. Ainsi le choix du laboratoire selon les accréditations et les normes, est essentiel. Il est également nécessaire de traiter les échantillons selon leur priorité. Ainsi, les échantillons destinés à la bactériologie ou l'analyse de nutriments en eau de mer sont prioritaires par rapport à ceux des contaminants chimiques. En effet, les molécules chimiques sont plus stables que les germes bactériens et les nutriments qui ont plus de chance d'évoluer en 48 heures.

5.7. Bancarisation des données

Les résultats de suivi des différents paramètres représentent un nombre élevé de données. Pour valoriser et sauvegarder ces données, il est capital de les regrouper dans une même base de données. Cela facilite le traitement de données et permet une comparaison entre les sites et l'étude de tendances.
La base de données de référence au niveau national pour les données sur les eaux littorales est QUADRIGE², opérée par l'Ifremer.
L'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse et l'IFREMER ont créé un volet spécifique dans QUADRIGE² intitulé « rejets urbains ». Ce volet sera utilisé pour la bancarisation des données issues de la surveillance des rejets en Guadeloupe. Pour cela, les données produites doivent être compatibles avec le format d'échange de données de QUADRIGE².

Saisie des données

Les données obtenues doivent être bancarisées sur un support intermédiaire (Excel ou Matlab) avant la saisie directe dans QUADRIGE² (Q²) pour faciliter le processus. Le format standardisé est compatible avec SANDRE. Au préalable, il est nécessaire de participer à une formation à l'utilisation de Q² dispensée par IFREMER, afin de pouvoir intégrer et saisir les données dans Q².

La bancarisation des **données physico-chimiques** se fait via la saisie des données dans un fichier **Quadrilabo** fourni par l'IFREMER et intégrable dans Q². Pour les données de **benthos récifal,** la saisie se fait dans **BD Récif**, une application Quadrige spécifique également développée par l'IFREMER.

Des contacts avec la cellule Q² d'IFREMER sont essentiels en cas de modifications ou d'ajouts nécessaires dans le référentiel Q² ou encore en cas de difficultés lors de la saisie.

Validation et qualification des données

Les données intégrées via **Quadrilabo** ou **BD Récif** sont validées automatiquement. La qualification sera réalisée avec la cellule d'administration Q².

6. Fiches techniques des familles de paramètres

6.1. Hydrologie

6.1.1. Variables suivies

Les paramètres de l'hydrologie permettent de suivre la qualité de l'eau. Les principaux indicateurs de la qualité de l'eau retenus dans le cadre du suivi de rejets en mer sont les suivants :

- Paramètres généraux : température, salinité, pH, oxygène dissous et saturation ;
- Paramètres de charge particulaire : turbidité, matières en suspension (MES) ;
- Paramètres d'enrichissement organique : Carbone Organique Total (COT), chlorophylle *a* ;
- Paramètres d'enrichissement minéral : Nitrates, nitrites, ammonium, phosphate.

6.1.2. Type de suivi

Les paramètres sont suivis pour tous les types de rejets: **industriel et STEU (petit et gros rejet).**

6.1.3. Méthodologie

6.1.3.1. Opération de terrain

Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une bouteille Niskin en sub-surface (entre la surface et 0,5 m). Pour les analyses des nutriments, il est recommandé de pré-filtrer l'eau avant de remplir les flacons d'échantillonnage, à l'aide d'un filtre de 10 µm.

Figure 17 : Photographies de prélèvement par bouteille Niskin (gauche) et prélèvement avec filtration (droite)

Afin d'éviter toute contamination, l'opérateur doit porter des gants et éviter tout contact avec le bouchon ou l'intérieur des flacons.
Des mesures *in situ* sont réalisées à l'aide de sondes multi-paramètres. L'ensemble des opérations doit suivre les recommandations de Aminot & Kérouel (2004).

Tableau 30 : Méthodes d'analyse des mesures in situ pour la famille de paramètres « 'hydrologie »

Mesure in situ	Méthode d'analyse
Température	Sonde *in situ*
Salinité	Sonde *in situ*
Oxygène dissous	Sonde *in situ*
Turbidité	Sonde *in situ* ou turbidimètre
pH	Sonde *in situ*

Contrôle qualité

Les échantillons sont placés au frais et transportés au laboratoire pour analyse dans les 6 heures suivant le prélèvement.

La traçabilité des prélèvements depuis leur échantillonnage jusqu'au rendu des résultats du laboratoire d'analyse ainsi que la garantie de leur fiabilité doivent être assurées à chaque fois. Ainsi il est important de mettre en place **un carnet de terrain**, comprenant toutes les informations relatives aux interventions depuis le terrain jusqu'à la remise des échantillons au laboratoire. Ce carnet contient les résultats des mesures *in situ* hydrologiques tels que la température, salinité, l'oxygène dissous et pH de l'eau. Cependant cela demande une attention particulière notamment vis-à-vis de la calibration régulière et de l'entretien méticuleux des sondes.

L'ensemble des métadonnées correspondantes doit également être pris en compte comme la météo, les intervenants et les anomalies éventuelles.

Pour le bon **respect des délais d'acheminement** entre le premier prélèvement et le dépôt au laboratoire lorsque ce dernier est local, un délai inférieur à 6 heures doit être respecté.

Une attention particulière dans le contexte antillais doit être prise en compte afin de maintenir les échantillons à basse température (<4°C) jusqu'au laboratoire d'analyse, à l'aide de glacière et pains de glace adéquats. Lorsque le laboratoire se situe en métropole, les échantillons doivent être maintenus au frais (ou congelés selon les paramètres) dans les locaux jusqu'à l'envoi par transporteur, en 48 heures maximum.

La fiabilité des résultats d'analyse physico-chimiques repose sur les processus de qualité mis en œuvre par le laboratoire d'analyse. Ainsi le choix du laboratoire selon les accréditations et les normes, est essentiel. Il est également nécessaire de traiter les échantillons selon leurs priorités. Ainsi ceux des analyses de nutriments en eau de mer ont davantage de priorité que ceux des matières en suspension.

6.1.3.2. Méthode d'analyse

Les méthodes de référence et normalisées des laboratoires accrédités pour les analyses sont :

Tableau 31 : Méthodes d'analyses en laboratoires pour famille de paramètres « hydrologie »

Paramètres	Méthode d'analyse / Norme
Turbidité	NF EN ISO 7027 (T 90-033)
Nitrites	IFREMER Aminot et Kérouel 2004
Nitrates	IFREMER Aminot et Kérouel 2004
Nitrites	IFREMER Aminot et Kérouel 2004
Ammonium	Méthode RNO Aminot
Orthophosphates	IFREMER Aminot et Kérouel 2004
Orthosilicates	NF T90-007
Chlorophylle a	Methode IFREMER Amonot et Kerouel 2004 (methode Lorenzen)
COT	NF EN 1484
Phéopigment	IFREMER Aminot et Kérouel 2004 (Méthode de Lorenzen)
MES	NF EN 872 (T90-105-1)

6.1.4. Valeurs de référence

Les grilles de qualité sont basées sur les valeurs seuils proposées par la DCE Guadeloupe :

- Température

L'indicateur est défini comme le pourcentage des mesures de température considérées comme exceptionnelles, c'est-à-dire qui sortent d'une enveloppe de référence. L'enveloppe de référence est définie autour d'une sinusoïde de référence qui modélise les données de température enregistrées sur une période antérieure au dernier état des lieux (2007 à 2011). Il est évalué uniquement sur deux classes : très bon, et inférieur à bon (en fonction du % de valeurs comprises dans l'enveloppe de référence).

La métrique est le % de valeurs mensuelles mesurées en surface en dehors d'une enveloppe de référence. Le seuil est de 5% : en-dessous, l'état est bon ; au-dessus, l'état est inférieur à bon.

Tableau 32: Grille de qualité proposée pour la température (en %) (Ifremer, 2020)

	Très Bon état	Inférieur à Très Bon
Seuils utilisés en 2019	**[0-5[**	**] 5**

- Salinité

La salinité n'est pas prise en compte pour l'évaluation de l'état physico-chimique des masses d'eau. Les salinités ci-dessous restent à titre indicatif. En effet, toutes salinités sortant des fourchettes devront être soulignées et les causes, si possible, identifiées (naturelles ou anthropiques).

Tableau 33: Fourchettes de salinité proposées pour tous types de MEC (d'après CCTP)

Salinité (PSU)	**Minimum**	**30**
	Maximum	**36**

- Turbidité

La métrique proposée est le Percentile 90 des valeurs mensuelles de turbidité mesurées en surface

sur les 6 années du plan de gestion (Ifremer, 2020).

Tableau 34 : Grilles de qualité proposées pour la turbidité en 2018 (Ifremer, 2020)

Type de ME	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen
Type 1		1]	] 1-2]	] 2
Type 2 à 6		0,6]	] 0,6-1,6]	] 1,6

- Oxygène dissous

Le paramètre retenu est la concentration en oxygène dissous (en mg/l).

Tableau 35 : Grilles de qualité proposées pour l'oxygène dissous (en mg/l) (Ifremer, 2020)

Type de ME	Très bon état	Bon état	État moyen
Tous	5,0]	] 5,0-3,0]	] 0,3-2,0]

- Nutriments

A ce jour, une réflexion est en cours et il n'existe pas de grille pour les indicateurs de nutriments.

Après consultation d'IFREMER en 2015 (A. Daniel, com. pers. du 05/05/15), l'approche par défaut suivante a été envisagée : **la métrique utilisée sera la moyenne des valeurs de DIN et des concentrations en orthophosphates sur 6 ans** et les grilles proposées sont les suivantes :

Tableau 36 - Valeurs seuils proposées pour l'Azote Total (DIN : nitrate + nitrite + ammonium) et les Orthophosphates (en µmol/l) (d'après Impact-Mer et al., 2011)

DIN	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Type 1	0,35	0,6]	] 0,6-1,5]	] 1,5-3]	] 3-6]	] 6,0
Type 2 à 6	0,15	0,3]	] 0,3-1]	] 1-2,5]	] 2,5-4]	] 4,0

Orthophosphates	Valeur de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Tout type de ME	0,05	0,1]	] 0,1-0,2]	] 0,2-0,4]	] 0,4-0,8]	] 0,8

6.1.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Un prélèvement trimestriel (4x/an) est recommandé avec des échantillonnages complémentaires lors d'**évènements exceptionnels** susceptibles d'entraîner une augmentation importante des apports (dysfonctionnement de système d'assainissement).

Selon le niveau de suivi sélectionné, **3 ou 6 stations** seront échantillonnées, respectivement pour un suivi de niveau II (petit rejets) et un suivi de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000 EH). Pour rappel, le niveau de suivi dépend de la nature du rejet et du milieu récepteur.

Un **suivi de 6 ans** au minimum est à privilégier, ainsi les données pourront être comparées à celles dans le cadre du réseau de surveillance DCE, qui préconise de prendre les six dernières données annuelles.

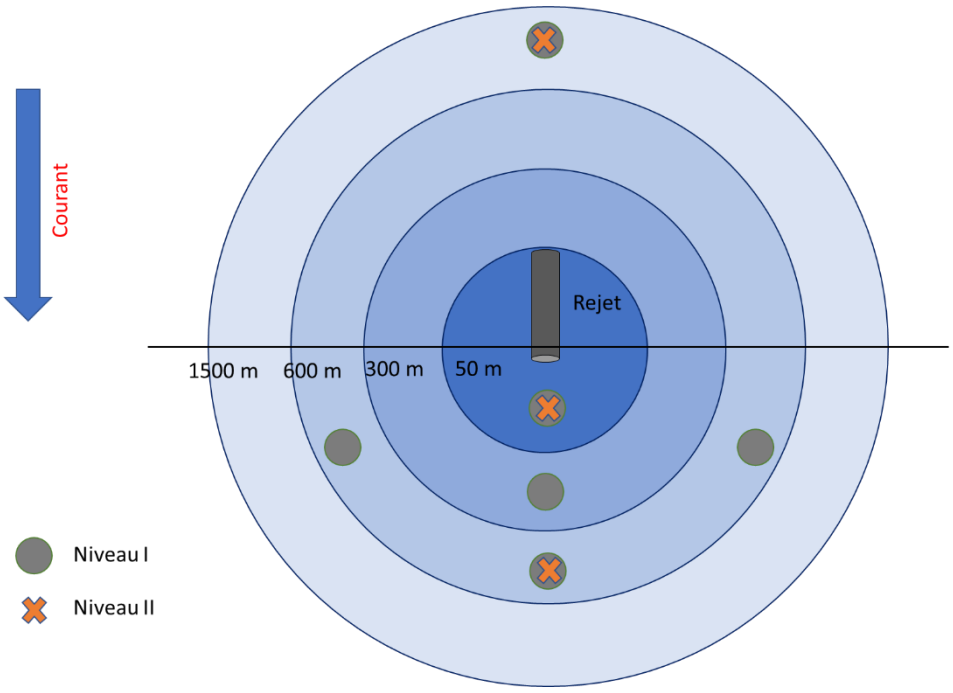


Figure 18 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 6 stations) OU de niveau II (petits rejets STEU avec 3 stations) pour le suivi de l'hydrologie

6.1.6. Estimation financière

Les prélèvements sont réalisés sur **1 journée** par deux intervenants soit 2 ETP.

Il faut compter 3 ETP en plus pour la coordination, le traitement et la bancarisation des données. Les frais d'analyse des paramètres par les laboratoires sont de l'ordre de **160 € par station**.

Cela amène à une estimation de coût (HT) de :

Tableau 37 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements du suivi d'hydrologie

	Nombres de stations	4 campagnes trimestrielles	Suivi sur 6 ans
Niveau I	6	21 600 €	129 600 €
Niveau II	3	19 600 €	117 600 €

6.1.7. Références bibliographiques

Aminot A., Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.

Sechaud A., Allenou JP, 2020. Règles de traitements pour les évaluations DCE phytoplancton et physico chimique pour les Antilles –période 2014-2019. IFREMER

6.2. Bactériologie dans l'eau de mer

6.2.1. Variables suivies

Les paramètres de la bactériologie permettent de suivre la qualité de l'eau. Les variables mesurées sont les concentrations en ***Escherichia coli*** **et en entérocoques dans l'eau de mer**. Ce sont des indicateurs de la contamination fécale apportée par les rejets domestiques ou agricoles.

6.2.2. Type de suivi

Les paramètres sont suivis pour les types de rejets **de STEU (petit et gros rejet).**

6.2.3. Méthodologie

6.2.3.1. Opération de terrain

Les prélèvements sont effectués en sub-surface (entre 0 et 0,5 m) dans des flacons stériles (en dévissant le bouchon sous l'eau pour réduire la contamination). Afin d'éviter toute contamination, l'opérateur doit porter des gants et éviter tout contact avec le bouchon ou l'intérieur des flacons stériles. Il faut éviter d'utiliser des bouteilles non stérilisées.

Comme pour tout suivi hydrologique, la mesure est accompagnée d'un certain nombre d'informations tels que date, heure, position géographie, état de la mer, météo ainsi que des mesures in situ à l'aide d'une sonde multi-paramètres pour le relevé de température, salinité, oxygène dissous et la turbidité. Cela permet de mieux interpréter les données et de qualifier les mesures lors des analyses des résultats.

Contrôle qualité

Les échantillons sont placés au frais et transportés au laboratoire pour analyse dans les 6 heures suivant le prélèvement.

La traçabilité des prélèvements depuis leur échantillonnage jusqu'au rendu des résultats du laboratoire d'analyse ainsi que la garantie de leur fiabilité doivent être assurées à chaque fois. Ainsi il est important de mettre en place **un carnet de terrain**, comprenant toutes les informations relatives aux interventions depuis le terrain jusqu'à la remise des échantillons au laboratoire. Ce carnet contient les résultats des mesures *in situ* hydrologiques tels que la température, salinité, l'oxygène dissous et pH de l'eau (voir famille de paramètres « **Hydrologie »**). Cependant cela demande une attention particulière notamment vis-à-vis de la calibration régulière et de l'entretien méticuleux des sondes.

L'ensemble des métadonnées correspondantes doivent également être pris en compte comme la météo, les intervenants et les anomalies éventuelles.

Pour le bon **respect des délais d'acheminement** entre le premier prélèvement et le dépôt au laboratoire lorsque ce dernier est local, un délai inférieur à 8 heures doit être respecté.

Une attention particulière dans le contexte antillais doit être prise en compte, afin de maintenir les échantillons à basse température (<4°C) jusqu'au laboratoire d'analyse, à l'aide de glacière et pains de glace adéquats. La norme à respecter est de **24 heures** pour les analyses bactériologiques. Ainsi il est indispensable de faire les analyses dans un laboratoire local.

La fiabilité des résultats d'analyse bactériologique repose sur les processus de qualité mis en œuvre par le laboratoire d'analyse. Ainsi le choix du laboratoire selon les accréditations et les normes, est essentiel.

6.2.3.2. Méthode d'analyse

Les méthodes de référence et normalisées des laboratoires accrédités pour les analyses sont :

Tableau 38 : Méthodes d'analyses en laboratoires pour la famille de paramètres de bactériologie

Analyse laboratoire	Méthode d'analyse / Norme
***Escherichia coli* (microplaques) eaux salines**	NF EN ISO 9308-3 (T 90-433)
Entérocoques intestinaux (microplaques) eaux salines	NF EN ISO 77899-1 (T 90-432)

6.2.4. Valeurs de référence

Si les concentrations dépassent les valeurs seuils, elles démontrent une contamination fécale des STEU dans l'eau de mer.

Tableau 39: Valeurs seuils de la qualité des eaux de baignade selon l'ARS (2018)

Qualité sanitaire des échantillons d'eau	Bon	Moyen	Mauvais
E. Coli (UFC/100 ml)	≤100	>100 et ≤1 000	>1 000
Entérocoques intestinaux (UFC/100 ml)	≤100	>100 et ≤370	>370

6.2.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

<u>Dans le cas d'un rejet à proximité de sites sensibles (zones de baignade, de plongée, etc.)</u>, un prélèvement mensuel est mis en œuvre la 1ere année, puis un prélèvement trimestriel les 5 années suivantes.

<u>Dans le cas d'un rejet éloigné de sites sensibles (zones de baignade, de plongée, etc.)</u>, un prélèvement trimestriel sera réalisé

Il sera à compléter par des échantillonnages lors d'évènements exceptionnels susceptibles d'entraîner une augmentation importante des apports (forte précipitation, dysfonctionnement de système d'assainissement).
3 ou 6 stations seront échantillonnées, respectivement pour un suivi de niveau II (petits rejets STEU <10 000 EH) et un suivi de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000 EH). Pour rappel, le niveau de suivi dépend de la nature du rejet et du milieu récepteur (cf.

Tableau 28).

Un suivi annuel pendant **au minimum 6 ans** est recommandé.

Pour un effort d'échantillonnage de **niveau I** (gros rejets industriels ou STEU >10 000 EH), **6 stations** sont réparties de la manière à couvrir les différents champs de distance par rapport au rejet. La station la plus éloignée, dans le champ lointain est considérée comme une station de référence. Elle doit ainsi se situer à environ 1 500 m en amont du rejet.

Pour un effort d'échantillonnage de **niveau II** (petits rejets STEU<10 000 EH) seules **3 stations** sont nécessaires. Une station dans le champ proche, au niveau du rejet (en aval), une autre dans le champ moyen et la dernière dans le champ lointain en amont du rejet, comme station de référence.

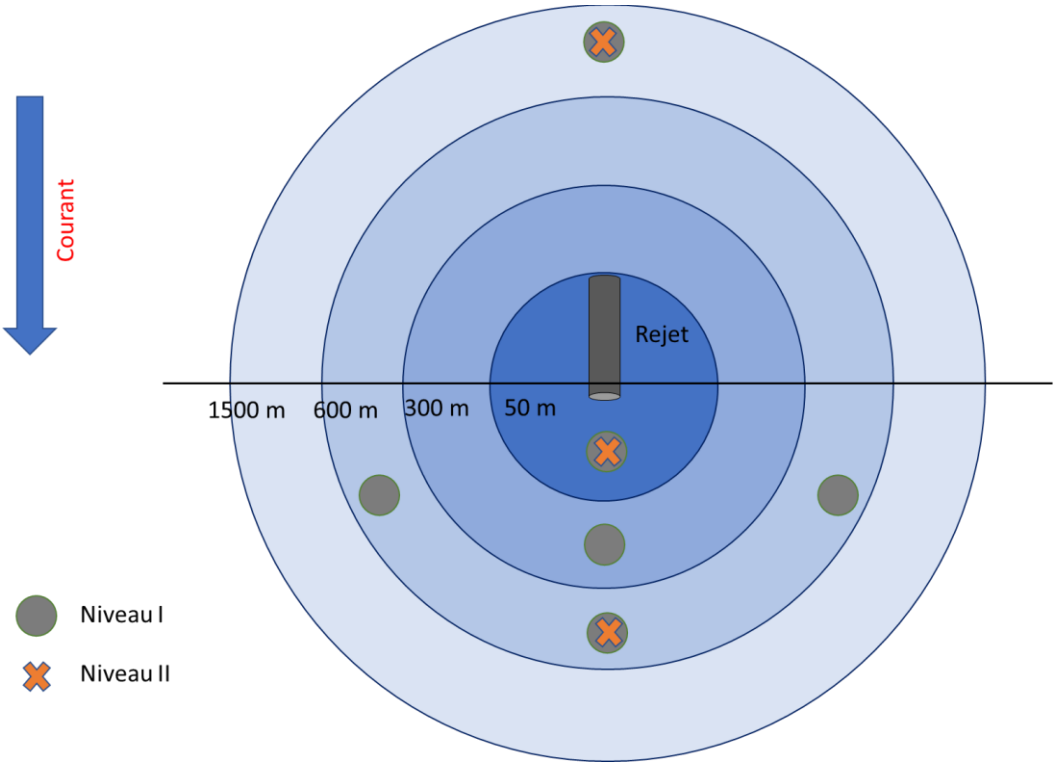


Figure 19 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 6 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 4 stations pour le suivi de la bactériologie en eau de mer

6.2.6. Estimation financière

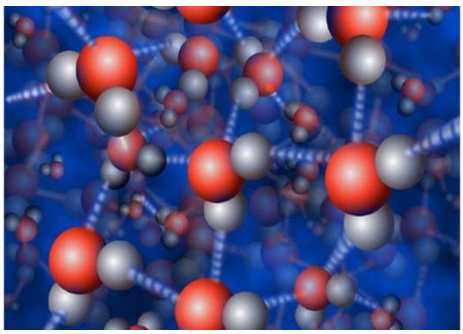
Les prélèvements sont réalisés sur 1 journée par deux intervenants soit 2 ETP.
Il faut compter 2 ETP en plus pour la coordination, les traitements et la bancarisation des données. Les frais de laboratoires par station sont estimés à 72 €. Cela amène à une estimation de coût (HT) de :

Tableau 40 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements de bactériologie

	Nombres de stations	1ère année	5 années suivantes	Total sur 6 ans
Niveau I (hors sites sensibles)	6	16 800 €	84 000 €	100 800 €
Niveau I (dans sites sensibles)	6	50 400	84 000 €	134 400 €

Niveau II (hors sites sensibles)	3	16 000 €	80 000 €	96 000€
Niveau II (dans sites sensibles)	3	48 000 €	80 000 €	128 000

Il est préconisé de mutualiser les prélèvements de bactériologie de l'eau avec l'hydrologie pour réduire les frais de matériel, de bateau et les ETP supplémentaires.



6.3. Qualité chimique de l'eau

6.3.1. Variables suivies

Les paramètres mesurés sont les concentrations en **contaminant métalliques, molécules hydrophiles (herbicides, stéroïdes, produits pharmaceutiques et vétérinaires) et en contaminant organiques hydrophobes semi-volatils (HAP, PCB et pesticides organochlorés).** Ils témoignent de la pollution industrielle ou agricole de l'eau et de l'état chimique de la masse d'eau étudiée.

6.3.2. Type de suivi

Les paramètres sont suivis pour tous les types de rejets : **industriel, de STEU (petit et gros rejet).**

6.3.3. Méthodologie

6.3.3.1. Opération de terrain

Le suivi des polluants chimiques spécifique est pertinent à mettre en œuvre à l'aide d'échantillonneurs passifs du fait de leur capacité intégratrice (les polluants sont présents dans le milieu marin à de très faibles concentrations, peu détectables par un prélèvement ponctuel). L'utilisation des échantillonneurs passifs est conforme aux méthodes préconisées par le « *Guide de prélèvement d'échantillons marins pour analyse des contaminants chimiques* » (Claisse, 2007) et est complété par le « *Guide d'utilisation des techniques d'échantillonnage passif (DGT, POCIS et SBSE) : mise en place, récupération et conditionnemen*t » (Gonzalez, 2012), développé par l'IFREMER. Ce sont des dispositifs qui permettent de capter des contaminants, avec chacun leur spécificité (cf. paragraphe ci-dessous) mais qui nécessite une immersion prolongée (variable selon les dispositifs) pour que les échantillonneurs concentrent suffisamment les polluants.

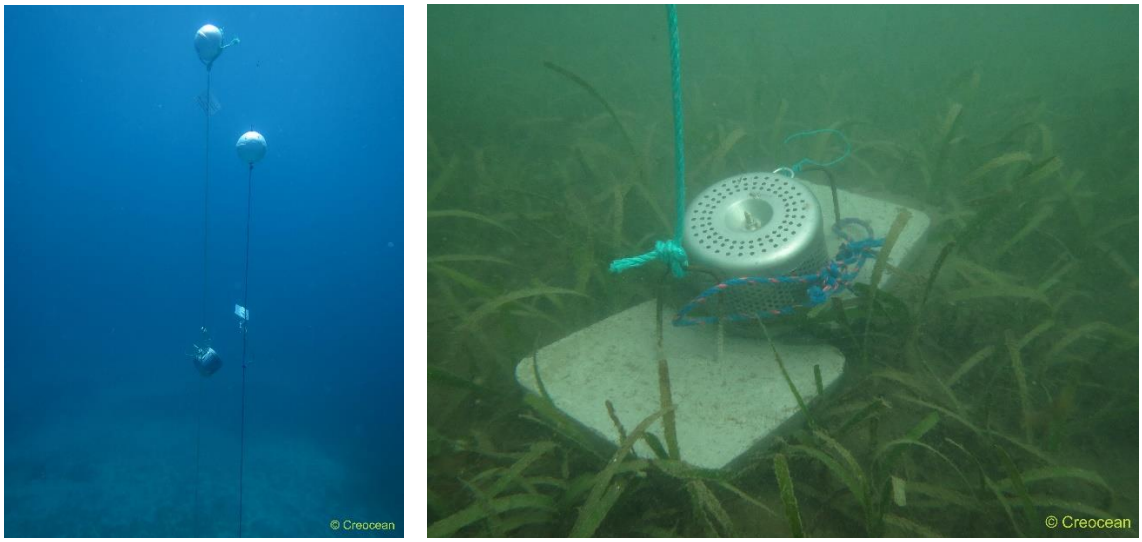


Figure 20 : Pose de POCIS et DGT avec bouée (à gauche) et zoom sur le POCIS à l'Ilet Christophe (à droite)

6.3.3.1.1. SBSE (Stir bar Sorptive Extraction)

Cette méthode permet d'analyser le dosage des contaminants organiques hydrophobes semi-volatils tels que les HAP, PCB et pesticides organochlorés. Pour cela un barreau SBSE est introduit dans les échantillons sur lequel se concentrent les molécules dissoutes une fois au laboratoire.

Figure 21 : Prélèvement de SBSE (à gauche) et le barreau à analyser (à droite)

Le prélèvement consiste à prélever à l'aide d'une bouteille en verre de 500 mL ultra-propre éloignée du bateau pour éviter toute contamination. Un morceau d'aluminium stérilisé est inséré entre le bouchon et l'échantillon. Ce dernier peut être congelé jusqu'à l'envoi au laboratoire en métropole. En

effet peu de laboratoire ont la capacité d'analyser ces échantillons. Un des laboratoires qui font les analyses des contaminants organiques hydrophobes semi-volatils est le CEDRE, à Brest.

6.3.3.1.2. DGT (Diffusive Gradient in Thin Film)

Principe
Cette méthode est utilisée pour mesurer le dosage des **contaminants métalliques**, en phase dissoute. Le principe de ces échantillonneurs et leurs conditions d'utilisation ont été décrites dans Davison et Zhang, 1994 et Zhang et Davison, 1995. C'est une résine qui capte les contaminants.

Mise en place et récupération des DGT
Avec l'aide d'une bouée rigide de 10 cm environ, un triplicat de ces résines est placé à 3 m du fond. Après **4 à 5 jours** d'immersion, il faut rincer avec de l'eau distillée le triplicat et le placer dans un sac propre au frais jusqu'au laboratoire pour éviter toute contamination. Lors de l'immersion et de la récupération des échantillons, des mesures in situ de la température et de la salinité doivent être faites à chaque station.

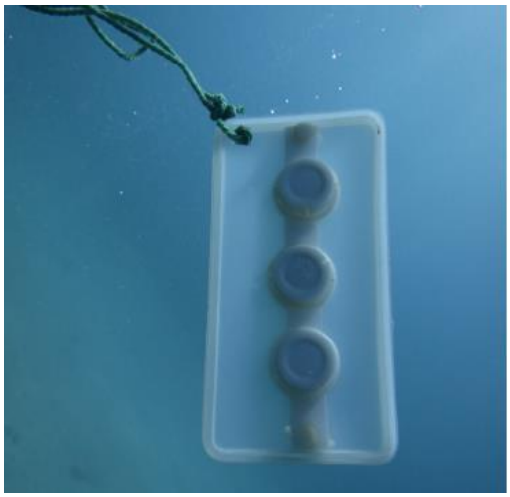


Figure 22 : Image d'un échantillon de DGT

Traitement des DGT et analyse
Une fois au laboratoire, sur une surface propre et conditionnée, la récupération des résines est réalisée avec du matériel propre. Elles sont ensuite envoyées au laboratoire de l'Ifremer à la Seyne-sur-Mer pour analyse, un des rares laboratoire qui analyse ce type de polluants.

6.3.3.1.3. POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler)

Ce dispositive permet de mesure le dosage des molécules hydrophiles (herbicides, stéroïdes, produits pharmaceutiques et vétérinaires).
Les trois résines de POCIS sont fixées dans un support en inox à l'intérieur d'une cage en inox. Les POCIS sont fixés à 1,5 m du fond à un mouillage.

Après 21 jours d'immersion, le POCIS est placé dans un sac propre. De retour au bureau, sur une surface propre et stérilisée, il faut défaire les cages et enlever les POCIS dans des sachets spécifiques. Ces derniers sont envoyés par le laboratoire d'analyse LPTC. Les POCIS sont à placer au frais jusqu'à l'envoi à l'Université de Bordeaux.

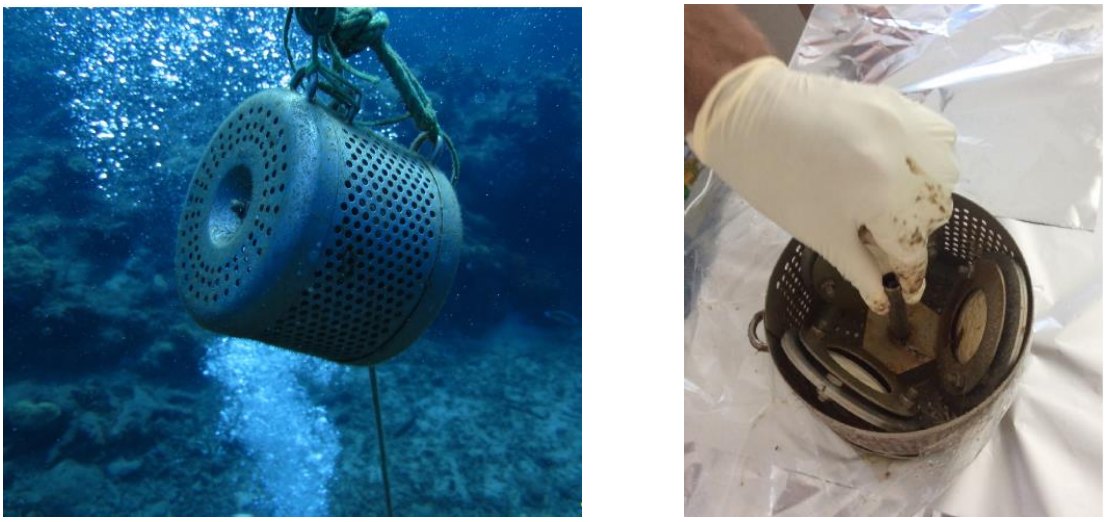


Figure 23 : illustration de POCIS en mer (à gauche) et après relève au laboratoire (à droite)

Méthode d'analyse

Ces 3 échantillonneurs permettent, à l'heure actuelle, d'analyser **212 substances** par trois laboratoires spécialisés. Les méthodes de référence et normalisées des laboratoires accrédités pour les analyses sont :

Analyse laboratoire	Méthode d'analyse / Norme
DGT	ICP-MS (NF EN ISO 17294), ICP-AES (NF EN ISO 11885) ou absorption atomique four graphite (NF EN ISO 15586)
POCIS	**Pesticides :** -phénylurées par UPLC/MS/MS -autres pesticides par GC²/MS **Substances pharmaceutiques et alkylphénols :** -substances pharmaceutiques par RRLC/MS/MS (ESI-) et par HPLC-UV/DAD-FLD -alkylphénols par UPLC/MS
SBSE	GC-MS

6.3.4. Valeurs de référence

Il n'y a pas de grilles de qualité disponible à ce jour, mais les données récoltées peuvent être comparées avec la NQE environnementale dans le cadre de la DCE. Il faut distinguer :

- les NQE-CMA (Concentration **Maximale** Admissible) ;
- les NQE -MA (**Moyenne** Admissible).

Tableau 41: Valeurs seuils de la qualité chimiques des eaux selon NQE

	NQE-MA (ng/l)	NQE-CMA (ng/l)
Métaux DGT		
Cadmium	200	Selon classe de dureté de l'eau
Nickel	1 300	14 000
Plomb	8 600	34 000
HAP (SBSE)		
Naphtalene	2 000	130 000
Anthracene	100	100
Fluoranthene	6,3	120
Benzo(b)fluoranthene		17
Benzo(k)fluoranthene		17
Benzo(a)pyrene	0,17	27
Benzol(g,h,i) pérylène	0,00082	0,82
Pesticides (SBSE)		
Alpha-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20
Hexochlorobenzène		50
Beta-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20
Gamma-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20

Dela-BHC (Hexachlorocyclohexane)	2	20
Aldrine	5	
Chlorpyrifos	30	100
Chlorfenvinphos	100	3000
Isodrine	5	
Endosulfan alfa	0,5	4
4-4-dde	2,5	
Dieldrine	5	
Endrine	5	
Endosulfan beta	0,5	4
4-4ddd	2,5	
2,4-ddt	2,5	
4-4ddt	10	
Alkylphénols (POCIS)		
4-t-OP (4-ter-Octylphénol	10	
Pesticides (POCIS)		
Alachlore (SBSE aussi)	0,7	700
Atrazine (SBSE aussi)	600	2 000
Dichlorvos	0,06	0,07
Diluron	200	1 800
Irgarol (cybutryne)	2,5	16
Isoproturon	300	1 000
Simazine	1 000	4 000
Terbutryn	6,5	34
Chlordécone	0,0005	

6.3.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Un suivi annuel est recommandé.
Dans le cadre d'une surveillance de niveau I (rejets industriels ou STEU>10 000 EH), 2 **stations** seront échantillonnées.
Dans le cadre d'une surveillance de niveau II (petits rejets STEU<10 000 EH), 1 **station** sera échantillonnée.
Il est préférable d'effectuer les suivis en début de saison des pluies, pour avoir le suivi des premiers lessivages afin de capter la charge polluante maximale susceptible d'être rejetée en mer.

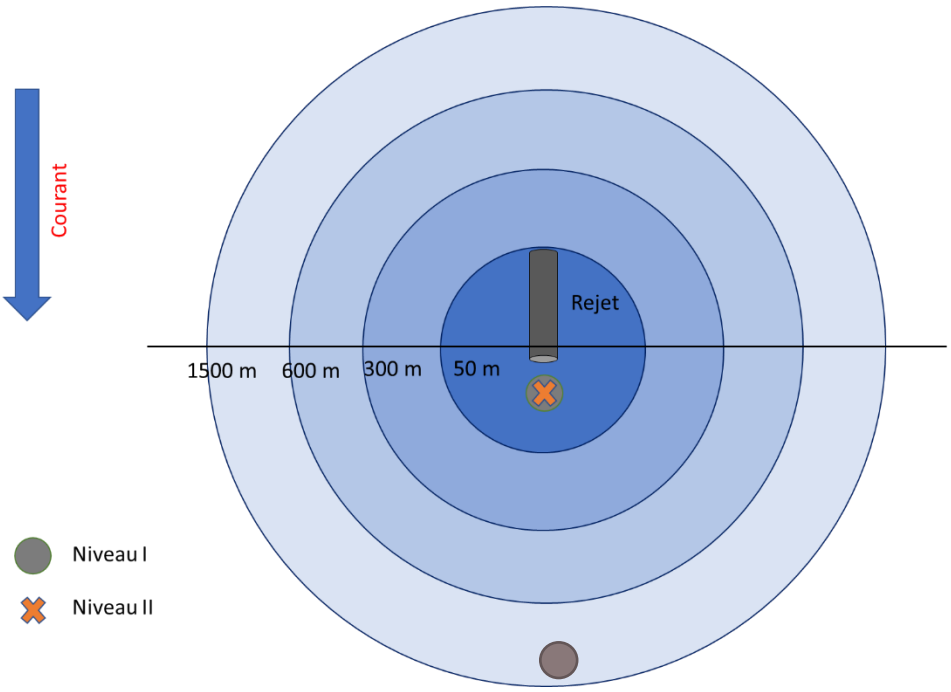


Figure 24 : Plan d'échantillonnage pour le suivi de la contamination chimique de l'eau (2 stations pour le niveau I et 1 station pour le niveau II)

6.3.6. Estimation financière

Les prélèvements sont réalisés sur 1 journée de pose par trois intervenants soit 3 ETP, et deux jours de relève supplémentaires, soit 9 ETP. Il faut également compter 3 ETP pour la coordination, les traitements et la bancarisation des données.
Les frais de laboratoires (DGT+POCIS+SBSE) par station, incluant les frais de transports depuis la métropole sont estimés à 4 650 €.
Cela amène à une estimation de coût (HT) de :

Tableau 42 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements d'eau et leurs analyses (contamination chimique de l'eau)

	Nombres de stations	1 suivi sur 3 ans	3 suivis sur 9 ans
Niveau I	2	18 000 €	54 000 €
Niveau II	1	13 400 €	40 200 €

6.3.7. Références bibliographiques

Claisse, D., 2007. Surveillance chimique : guide de prélèvement d'échantillons marins pour analyse des contaminants chimiques, IFREMER, 25 p.
Gonzalez, J.L., 2012. Guide d'utilisation des techniques d'échantillonnage passif (DGT, POCIS et SBSE) : mise en place, récupération et conditionnement, IFREMER, 26 p.
Creocean, 2016. DCE CHIMIE
Gonzalez, J-L., Foan, L., Togola, A., Uher, E., Guyomarch, J., Munaron, D., Tapie, N. et Budzinski, H., 2015. Bilan des opérations "grande échelle" (utilisation des échantillonneurs passifs DGT, POCIS, SPMD, SBSE) : substances DCE et pharmaceutiques – Rapport final AQUAREF 2015 – 96 p.

GTs DCE LA Réunion et Mayotte « Contaminants ». 2019. Fascicule technique pour la mise en œuvre des suivis « Contaminants chimiques » des réseaux de contrôle de surveillance DCE dans l'océan Indien. R.RBE/DOI/2019-006, 63 p.

6.4. Contamination chimique des sédiments

6.4.1. Variables suivies

Les sédiments sont de bons intégrateurs dans le temps des pollutions auxquelles est soumis le milieu, en raison de leur stabilité. Les analyses réalisées sur les sédiments constituent des indicateurs de perturbations environnementales et notamment sur des zones de rejets d'effluents. Les variables mesurées préconisées sont les concentrations en **métaux, matières organiques, bactériologie, ainsi que la granulométrie et autres contaminants organiques, tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényles (PCB) et les organoétains (plus particulièrement le tributylétain TBT).**

6.4.2. Type de suivi

Les paramètres sont suivis pour les rejets de types : **industriel et STEU (petit et gros rejet).**

6.4.3. Méthodologie

6.4.3.1. Opération de terrain

Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une benne de type Van Veen (en inox pour éviter toutes contaminations) ou un carottier. La benne ne prélève que les sédiments de surface, ce qui est le plus recommandé pour mesurer les pollutions récentes. Tandis que le carottier permet d'obtenir des sédiments plus en profondeur (et donc des polluants « historiques » plus anciens).

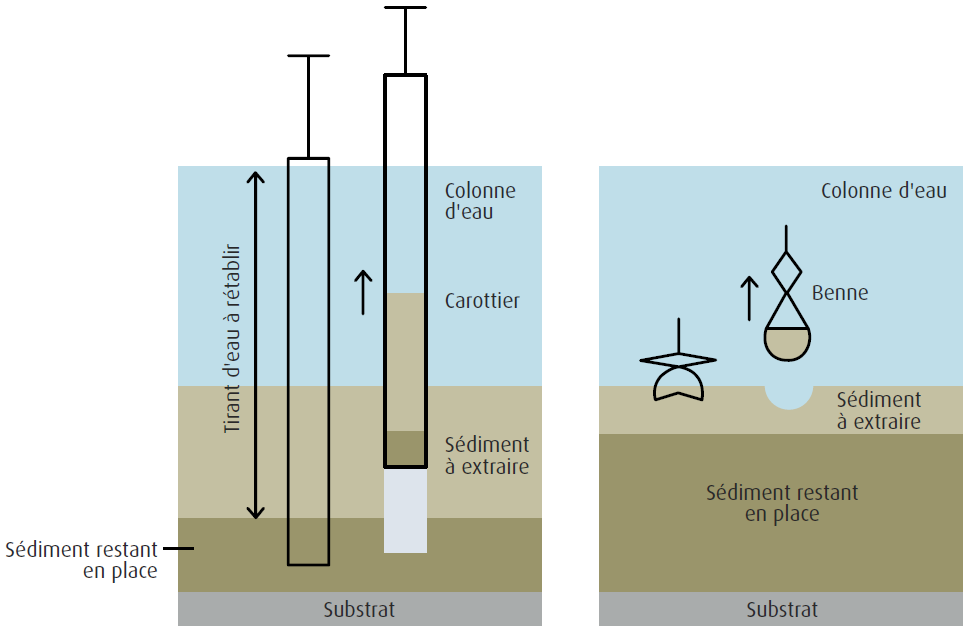


Figure 25: Illustration du fonctionnement d'un carottier (à gauche) et d'une benne (à droite) selon Cerema (2018)

L'échantillonnage se fait à partir du bord d'un navire, que ce soit avec la benne ou le carottier. Lors de la remontée des bennes pleine, sur le navire, elles sont vidées de leur eau. Ensuite le contenu est transvasé dans un récipient assez large pour recueillir les sédiments. En effet il faut réaliser à minima 3 réplicats pour former un échantillon moyen et homogène.

Afin d'éviter toute contamination, l'opérateur doit porter des gants et éviter tout contact avec le bouchon ou l'intérieur des flacons stériles en verre.

Figure 26 : Photographies d'une Benne Van Veen (à gauche) et d'un exemple de prélèvement de sédiments (à droite) dans le port de Guadeloupe

6.4.3.2. Méthode d'analyse

Les méthodes de référence et normalisées des laboratoires accrédités pour les analyses sont :

Nom test	Norme	Paramètres
Matière sèche	NF EN 12880	Matière sèche
Granulométrie laser à pas variable (0 à 2 000 µm)	Méthode interne	Fraction < 2 mm
COT (Sédiments)	NF EN 15936 - Méthode B	Carbone Organique Total par Combustion
Azote Kjeldahl	NF EN 13342	Azote Kjeldahl
Escherichia coli (microplaques)	ISO 9308-3	Escherichia coli
Aluminium (Al)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Aluminium (Al)
Etain (Sn)	NF EN ISO 17294-2 - NF EN 13346 Méthode B	Etain (Sn)
Spéciation mercure non volatil : Méthyl Hg	/	Méthylmercure
Mercure (Hg)	NF EN 13346 Méthode B - Décembre 2000 (Norme abrog - NF ISO 16772 (Sol) - Méthode interne (Hors Sols)	Mercure (Hg)
Arsenic (As)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Arsenic (As)
Cadmium (Cd)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Cadmium (Cd)
Chrome (Cr)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Chrome (Cr)
Cuivre (Cu)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Cuivre (Cu)
Nickel (Ni)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Nickel (Ni)
Plomb (Pb)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Plomb (Pb)
Zinc (Zn)	NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	Zinc (Zn)
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs)	NF ISO 18287 (Sols) - XP X 33-012 (boue, sédiment)	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs)
Organoétain	XP T 90-250	Triphénylétain, dibutylétain, tributylétain, monobutylétain
PCB congénères réglementaires (7 composés) (Brut)	NF EN 16167 (Sols) - XP X 33-012 (boue, sédiment)	PCB 101, 118, 138, 153, 180, 28, 52

6.4.4. Valeurs de référence

Les NQE pour les sédiments ne sont pas disponibles, les valeurs de l'arrêté du 30 juin 2020 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 sont utilisées :

Tableau 43: Valeurs seuils de la qualité des sédiments selon INERIS (2017)

Paramètres	Valeurs guides N1 mg/kg	Valeurs guides N2 mg/kg
Arsenic	25	50
Cadmium	1,2	2,4
Chromium	90	180
Cuivre	45	90
Plomb	100	200
Mercure	0,4	0,8
Nickel	37	74
Zinc	276	552
PCB 101 (2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphényle)	0,01	0,02
PCB 118 (2,3',4,4',5-P5CB)	0,01	0,02
PCB 138 (2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphényle)	0,02	0,04
PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphényle)	0,02	0,04
PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphényle)	0,01	0,02
PCB 28 (2,4,4'-Trichlorobiphényle)	0,005	0,01
PCB 52 (2,2',5,5'-Tétrachlorobiphényle)	0,005	0,01
PCBs (Polychlorinatedbiphenyls)	0,005	1,01
TBT	0,1	0,4
Naphtalène	160	1 130
Acénaphtène	15	260
Acénaphtylène	40	340
Fluorène	20	280
Anthracène	85	590
Phénanthrène	240	870
Fluoranthène	600	2 850
Pyrène	500	1 500
Benzo [a] anthracène	260	930
Chrysène	380	1 590
Benzo [b] fluoranthène	400	900
Benzo [k] fluoranthène	200	400
Benzo [a] pyrène	430	1 015
Di benzo [a, h] anthracène	60	160
Benzo [g, h, i] pérylène	1 700	5 650
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	1 700	5 650

6.4.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Un prélèvement tous les 3 ans est recommandé.

Selon le niveau de suivi choisi, 2 à 4 stations seront échantillonnées, respectivement pour un d'échantillonnage de niveau II et de niveau I.

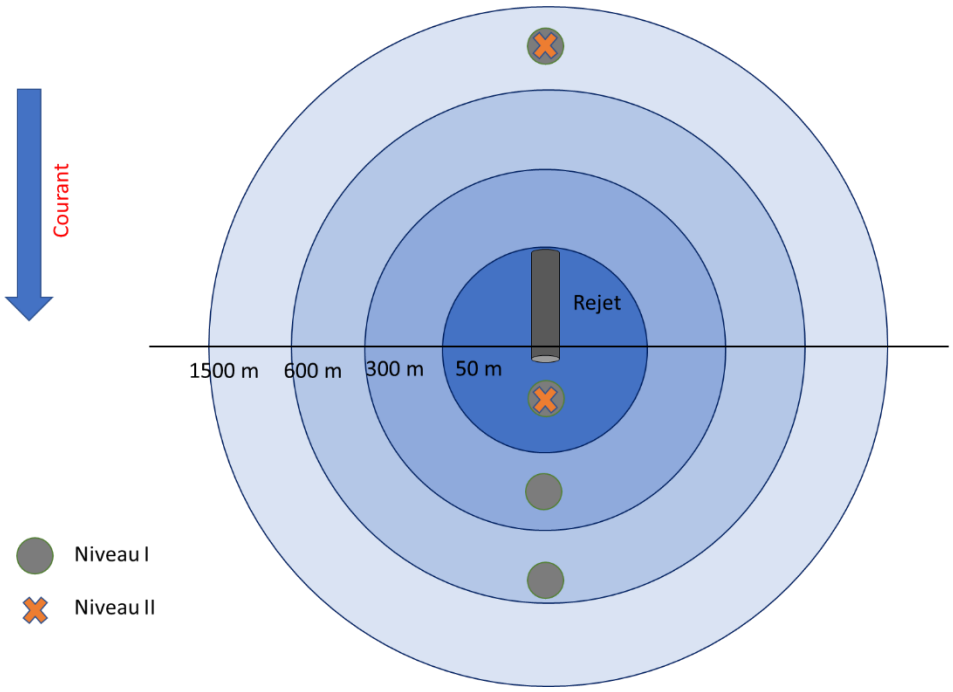


Figure 27 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 2 stations pour le suivi de la contamination chimique du sédiment

Pour l'effort d'échantillonnage de **niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000 EH)**, les stations sont réparties de la manière à couvrir les différents champs de distance par rapport au rejet. La station la plus éloignée, dans le champ lointain est considérée comme une station de référence. Elle doit ainsi se situer à environ 1 500 m en amont du rejet.

Pour l'effort d'échantillonnage de **niveau II (petits rejets STEU<10 000 EH)**, seules 2 stations sont nécessaires. Une station dans le champ proche, au niveau du rejet (en aval) et l'autre dans le champ lointain en amont du rejet.

6.4.6. Estimation financière

Les prélèvements sont réalisés sur 1 journée par deux intervenants soit 2 ETP.
Il faut compter 3 ETP en plus pour la coordination, les traitements et la bancarisation des données.
En considérant le coût des analyses, cela amène à une estimation de coût (HT) de :

Tableau 44 : Coût estimatif (HT) pour les prélèvements et analyse de sédiments (contamination chimique)

	Nombres de stations	1 année de suivi	3 années de suivi sur 3 ans ou 9 ans
Niveau I	4	10 450 €	31 350 €
Niveau II	2	7 450 €	22 350 €

Les prélèvements de sédiments peuvent être mutualisés avec d'autres mesures tels que ceux pour la qualité chimique de l'eau afin de réduire le coût (HT) des moyens nautiques. Ils peuvent également être effectués en même temps que pour les échantillons de biocénoses de substrats meubles.

6.4.7. Références bibliographiques

Aquaref, 2015.

Arrêté du 30 juin 2020 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Arrêté du 17 juillet 2014 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R.214-1 du code de l'environnement.

Arrêté du 8 février 2013 complémentaire à l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

CEREMA, 2018. Echantillonnage des sédiments marins et fluviaux. Du plan d'échantillonnage aux analyses de laboratoire – Synthèse documentaire et recommandations.

6.5. Biocénose/peuplement benthiques de substrats durs

Le suivis des biocénoses benthiques permet d'estimer l'impact du rejet sur deux types de peuplements sensibles, qui font la richesse des écosystèmes marins aux Antilles : les **communautés coralliennes** et les **herbiers de phanérogames**.

Les paramètres proposés ici sont issus des réflexion s mise en œuvre dans le cadre de la surveillance DCE mais également suite aux prospections de terrain de CREOCEAN en 2020 quant au diagnostic des rejets en mer en Guadeloupe.

6.5.1. Communauté corallienne

6.5.1.1. Variables suivies

Afin d'identifier un impact sur les communautés coralliennes, plusieurs paramètres sont identifiés :

- La composition de la couverture benthiques ;
- La densité en macro-algues ;
- La densité en oursins ;
- La densité en juvéniles de coraux ;
- La proportion de maladie et nécroses coralliennes ;
- L'état général de santé écologique du récif.

6.5.1.2. Type de rejets

Cette méthodologie de suivi des impacts est réalisée pour **tout type de rejet** ayant lieu sur ou à proximité d'un récif corallien.

6.5.1.3. Méthodologie

La méthodologie est mise en œuvre par un relevé des paramètres en plongée sous-marine. Généralement, l'ensemble du protocole peut être réalisé par deux plongeurs scaphandriers professionnels certifiés CAH Classe B, en une plongée d'une heure.

Pour chaque paramètre, le protocole détaillé de suivi est présenté dans les paragraphes ci-dessous.

PARAMETRE N°1 : STRUCTURE DU PEUPLEMENT BENTHIQUE

Ce paramètre est relevé sur 6 transects continus de 10 m, et matérialisé par un décamètre de 60 m.
Le transect est déroulé et attaché en 2 points fixes, tendu au-dessus du fond et au plus proche du substrat (moins de 50 cm si possible). Un plongeur effectue un passage unique sur le transect et réalise un relevé de type « point intercept » (PIT), avec un pas d'espace de 20 cm. Pour cela, il identifie la nature du substrat et du peuplement présent sous le transect tous les 20 cm.
Chaque point est décrit en utilisant essentiellement les codes résumés dans le tableau ci-dessous, issu de la base de données nationale *BD-Récif* de l'IFREMER.

CODE PIT	Descripteur	CODE PIT	Descripteur	CODE PIT	Descripteur
HC	Corail vivant	**CYA**	Cyanobactérie	**RC**	Roche nue
SC = ZO	Zoanthaire	**TU**	Turf algal	**RB**	Débris
SP	Eponge	**MAM**	Macroalgues molles	**RKC**	Cor. mort
GO	Gorgone	**MAC**	Macroalgues calcaires	**SD**	Sable
OT	Autres invertébrés	**AC**	A.calcaires encroutantes	**SI**	Vase

NB : Lorsque le substrat est composé de macro-algues (calcaires ou non), de turf ou de cyanophycées, on note la nature du substrat sur lequel ceux-ci se développent.
Les gorgones, zoanthaires, éponges, etc. font ainsi l'objet d'un relevé dans le cadre de la mise en œuvre du PIT pour l'étude de la structure du peuplement benthique.

L'identification au genre ou à l'espèce est réalisée pour le maximum d'organismes algues ou coraux échantillonnés le long du transect PIT.

Figure 28 : Déroulement du décamètre matérialisant les 6 transects

Effort d'échantillonnage : 300 points au total par station, soit 50 points par transect de 10 m.
Station concernée : Niveau I.

PARAMETRES N° 2 : DENSITE EN JUVENILES

Ce paramètre est relevé grâce au même transect précédent.
Le second plongeur parcourt les 50 m en comptant les coraux juvéniles (< 2 cm) sur une largeur de 0,5 m à gauche des transects (le marquage à l'aide d'une pige en PVC facilite le suivi).

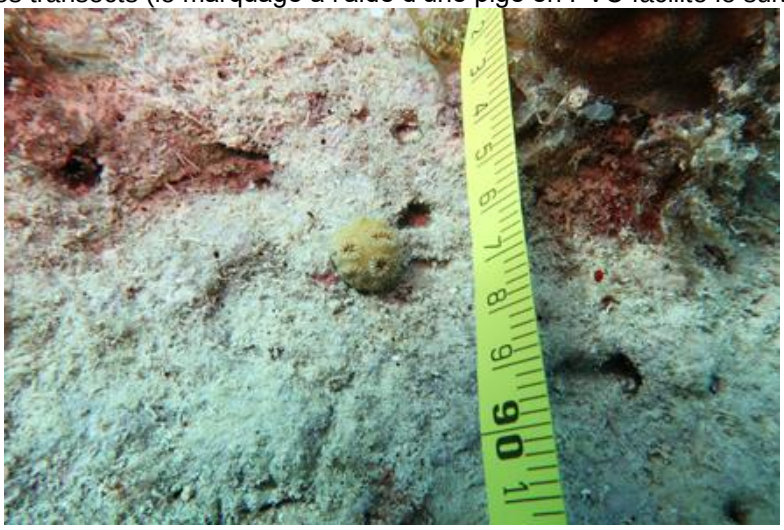


Figure 29 : Identification d'une colonie juvénile de Dichocoenia stokesi

Cette information permet d'évaluer le recrutement corallien, c'est-à-dire la capacité de renouvellement des peuplements coralliens par fixation de nouvelles larves coralliennes.

Effort d'échantillonnage : 1 quadrat de 0,50 m x 1 m par mètre linéaire de transect soit 30 m² au total.
Suivis concernés : Niveau I.

PARAMETRE N° 3 : DENSITE EN ECHINIDES (Oursins)

Cette mesure se réalise simultanément au paramètre 2.

Lors du comptage des recrues coralliennes, le second plongeur réalise aussi un relevé des échinodermes brouteurs (oursins), sur une largeur de 1 m à droite des transects. L'identification à l'espèce est conseillée.
Le comptage se réalise sans déplacer les éléments de substrat ou fouiller les crevasses.

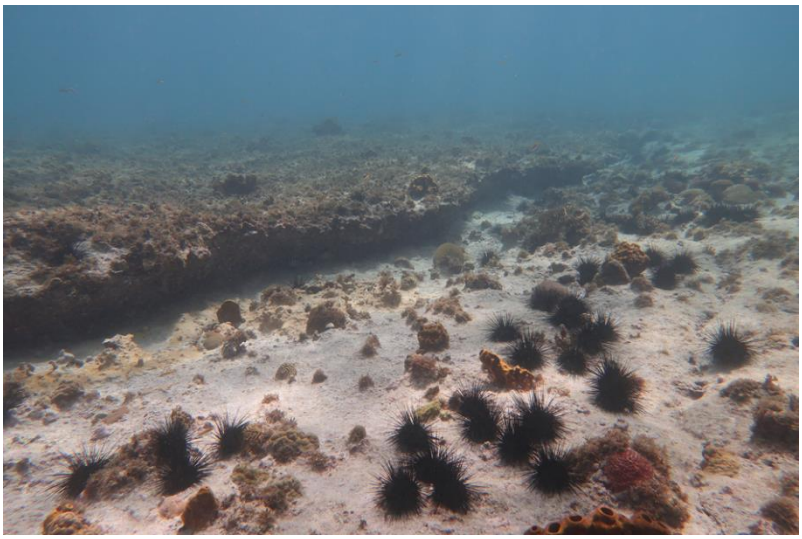


Figure 30 : Forte densité d'oursins diadème observée sur une station de suivi du rejet de la STEU d'Anse Bertrand - Guadeloupe

Ces informations permettront de disposer de facteurs explicatifs quant à la pression de prédation sur les peuplements algaux.

Effort d'échantillonnage : 1 quadrat de 1m x 1m par mètre linéaire de transect soit 60 m² au total.
Suivis concernés : Niveau I.

PARAMETRE N°4 : NECROSES, MALADIES CORALLIENNES ET BLANCHISSEMENT

Les pollutions chimiques (métaux lourd, pesticides hydrocarbures…) ou organiques (bactéries, virus…) sont reconnues ou suspectées comme des agents déclencheurs ou favorisant les nécroses ou maladies coralliennes (Bouchon & Bouchon, 2017). De plus, une récente étude (Allison, 2019) révèle la dégradation du système immunitaire des Scléractiniaires (coraux durs) par une pollution au cuivre, provoquant une prévalence des maladies coralliennes et une augmentation des nécroses tissulaires causées par celles-ci.
Les observations réalisées au cours de nombreuses plongées en Guadeloupe permettent de penser que les nécroses et maladies coralliennes sont une des sources principales de dégradation des récifs coralliens en Guadeloupe.

Afin d'évaluer la proportion de nécroses et maladies coralliennes, les mêmes 6 transects sont pris comme référence d'échantillonnage. Un plongeur effectue un passage unique en relevant dans chaque quadrat de 1 m x 1 m, attenant au transect :

- le nombre total de colonies corallienne de plus de 10 cm de diamètre,
- le nombre de colonies affectées par une/des nécroses,
- le nombre de colonies atteintes par une maladie et la nature de celle-ci.

Une colonie peut être affectée à la fois par une nécrose et une maladie corallienne ou un blanchissement.
Un rapport entre le nombre de colonies saines et le nombre de colonies affectées par un blanchissement et/ou des nécroses est ensuite réalisé.

Figure 31 - Colonie de Montastrea montastrea présentant une large nécrose

Effort d'échantillonnage : 1 quadrat de 1m x 1m par mètre linéaire de transect soit 60 m² au total.
Suivis concernés : Niveau I.

PARAMETRE N°5 : RECOUVREMENT EN MACRO-ALGUES

Les rejets en Guadeloupe sont entre autres responsables d'un apport excessif de nutriments dans les masses d'eau côtières. Une des conséquences de cette pollution est la prolifération de macro-algues. Ces dernières se développent au détriment d'autres organismes benthiques et empêchent notamment un recrutement corallien. La couverture en macro-algues est alors un bon indice de l'eutrophisation de l'écosystème.
Des informations relatives à la couverture en macro-algues sont relevées sur les stations. Pour se faire, le % de recouvrement en macro-algues au sein d'un quadrat de 25cm x 25cm est noté, selon les classes présentées dans le tableau ci-dessous, pour chaque mètre linéaire du transect.
Les espèces dominantes sont aussi relevées.

Code	Type de présence	% de 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%

Figure 32 : Catégorie de recouvrement en macro-algues

Figure 33 : Relevé de la couverture en macro-algue au sein d'un quadrat de 25 cm x 25 cm.

Effort d'échantillonnage : 1 quadrat de 25cm x 25 cm par mètre linéaire de transect de 60 m (soit 3,75 m² au total).
Suivis concernés : Niveau I.

PARAMETRE N°6 : EVALUATION DE L'ETAT DE SANTE GENERAL

Ce paramètre évalue l'état général du récif corallien. Il est déterminé à partir des cinq classes suivantes (grille adaptée de Bouchon *et al.*, 2004) pour chaque tronçon de 10 m du transect général.

1 = très bon état	Coraux non nécrosés avec gazon algal. Pas de macroalgues
2 = bon état	Coraux présentant peu de nécroses, avec quelques macroalgues et/ou une légère hypersédimentation
3 = état moyen	Coraux avec nécroses et un peuplement algal dominé par des macroalgues et / ou hypersédimentation forte
4 = état médiocre	La majorité des coraux sont morts, les fonds sont envahis par les macroalgues ou entièrement sédimentés
5 = mauvais état	Coraux morts ou envahis de macroalgues ou totalement envasés, aucune espèce sensible.

Figure 34 : Classe d'état général de santé écologique pour les récifs coralliens

L'indice général est obtenu en moyennant les 6 valeurs d'état de santé des transects.

Effort d'échantillonnage : 6 transects de 10 m
Suivis concernés : Niveau I.

PARAMETRE N°7 : INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Sur chaque station échantillonnée, des informations complémentaires concernant la position de la station et les conditions de milieu sont relevées :

- Date et heure de la plongée,
- Nom des observateurs,
- Point GPS de la station (systèmes WGS84-UTM 20 Nord),
- Conditions climatiques (vent, houle, courant, marée, pluviométrie),
- Température de l'eau.

Ces informations permettent :
- De disposer de facteurs explicatifs quant à l'état de santé des peuplements benthiques,
- De disposer d'une traçabilité des données dans le cadre de l'assurance qualité.

Une fois l'ensemble de ces paramètres relevé, il est essentiel de les comparer à une station de référence, prospectée en amont du rejet par rapport au courant.

6.5.1.4. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Suivant le niveau de suivi envisagé, 2 ou 4 stations sont à suivre. Il est proposé en option de rajouter des stations de suivi (ronds transparents sur le schéma ci-dessous) où seule l'évaluation de l'état de santé est réalisée, afin de mieux appréhender l'incidence du panache sur l'état global d'un récif corallien. Cette option est valable pour le niveau I et II.
Le schéma ci-dessous illustre le plan d'échantillonnage à adopter.

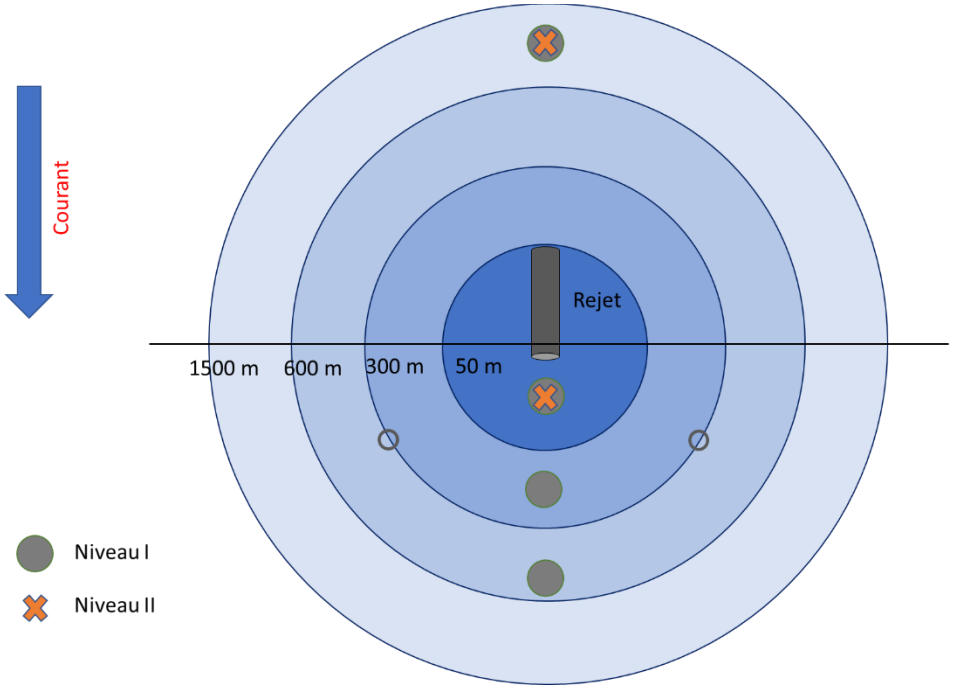


Figure 35 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 2 stations pour le suivi des communautés coralliennes

Pour l'effort d'échantillonnage de **niveau I (gros rejets industriels ou STEU>10 000 EH)**, l**es 4 stations** sont réparties de manière à couvrir la zone de diffusion du panache du rejet. Elles sont situées dans l'axe du courant au sein des différents champs de distance (300 m et 600 m). La station la plus éloignée, dans le champ lointain (1500 m) est considérée comme une station de référence. Elle doit ainsi se situer en amont du rejet par rapport au courant.

Pour l'effort d'échantillonnage de **niveau II** (petits rejets de STEU<10 000EH), **seulement 2 stations** sont nécessaires de manière à couvrir la zone proche du rejet et la zone éloignée (station de référence).

6.5.1.5. Estimation financière

La collecte des données en plongée sous-marine est réalisée sur 1 à 2 journées par deux plongeurs professionnels (en fonction du niveau de suivi), soit respectivement 2 à 4 ETP.

La logistique terrain et le traitement des données ajoutent généralement 3 ETP.

Cela amène à une estimation de coût (HT) de :

	Nombres de stations	1 année de suivi	3 années de suivi sur 3 ans
Niveau I	4	5 850 €	17 550€
Niveau 2	2	4 550 €	13 650€

Ce coût intègre la mobilisation d'un navire avec pilote, souvent nécessaire pour ce suivi

Ce type de suivi est mutualisable avec la pose ou la relève d'échantillonneurs passifs (qualité chimique des eaux) ou des prélèvements d'eau pour analyse de qualité.

6.5.1.6. Références bibliographiques

Ce type de suivi doit se référencer aux différents suivis sur récifs coralliens réalisés dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau aux Antilles françaises :

- Créocean (2018a) Suivi de la physico-chimie, des communautés coralliennes et des herbiers au titre de la DCE sur les masses d'eau du district de la Guadeloupe – Année 2017. Rapport de synthèse BC n°3. Octobre 2018. 199 pages + annexes.
- Créocean (2018b) Suivi du réseau de surveillance des masses d'eau littorales de la Guadeloupe : Évaluation de la contamination chimique à l'aide d'échantillonneurs passifs – Année 2017. 76 p.
- Impact-Mer (2019) Suivi physico-chimique et biologique des stations des réseaux de référence et de surveillance des Masses d'Eau Côtières au titre de l'année 2017. Etat écologique partiel. Rapport de Synthèse, 190 p.

6.5.2. Herbiers de phanérogames

6.5.2.1. Variables suivies

Le suivi des herbiers de phanérogames est réalisé selon 3 méthodes différentes, suivant les paramètres à analyser : suivi LIT, BELT et Quadrats.
Le **suivi LIT, pour *Linear intercept point*** se réalise sur 3 transects de 50 m, placés parallèlement. Il se réalise pour les paramètres suivants :

- Composition spécifique en phanérogame ;
- Fragmentation, Mitage et nature des limites ;
- Etat de santé général (ESG).

Le **suivi BELT** se réalise sur un couloir d'1m de large d'un côté de chaque transect. Ce protocole permet de relever les paramètres suivants :

- Présence de macro invertébrés ;
- Présence de cyanophycées ;
- Présence de bioturbation ;
- Présence de coraux ;
- Présence de débris d'algues ou de phanérogame ;
- Etat de santé général (ESG).

Enfin le **suivi de quadrat** se réalise au sein de 3 quadrats de 0,5 m x 0,5 m à 5, 25 et 45 m sur chaque transect. Au sein de chaque quadrats les paramètres suivants sont relevés :

- Composition spécifique en phanérogame ;
- Recouvrement en macro-algues et cyanobactérie ;
- Epibiose ;
- Floraison ;
- Sénescence et maladie.

Chaque paramètre est détaillé dans le paragraphe 6.5.2.3.

6.5.2.2. Type de rejets

Cette méthodologie est adoptée pour le suivi de tous les types de rejet ayant lieu dans une zone d'herbiers de phanérogames.

6.5.2.3. Méthodologie

Les paramètres cités précédemment sont relevés selon 3 méthodes différentes.

RELEVES LE LONG DU LIT (LINEAR INTECEPT TRANSECT) :

Les relevés sont réalisés sur 3 transects de 50m, disposés parallèlement dans une zone d'herbier homogène.

PARAMETRE N°1 : COMPOSITION SPECIFIQUE EN PHANEROGAMES

La composition spécifique de l'herbier est tout d'abord relevée. Pour cela, un plongeur réalise un trajet le long du transect de 50 m et relève la longueur occupée pour chaque cortège d'espèces de phanérogames rencontré, sans notion d'abondance relative, selon les codes suivants :

Espèce phanérogame	Code terrain
Thalassia testudinum	TT
Syringodium filiforme	SF
Halophila decipiens	HD
Halophila stipulacea	HS
Halodule wrightii	HW

Figure 36 : Changement d composition de l'herbier relevé par le paramètre 1 (Halophila sp. à Syringodium sp.)

Effort d'échantillonnage : 3 transects de 50 m
Suivis concernés : Niveau I et II

PARAMETRE N°2 : FRAGMENTATION / MITAGE ET NATURE DES LIMITES

Lors de du relevé du paramètre 1, le plongeur note aussi la distance des points de rupture de l'herbier (limites entre l'herbier et le sable nu). L'herbier est considéré comme fragmenté lorsque la longueur du substrat nu est supérieure à 2 m, et mité lorsqu'elle est comprise entre 0,5 et 2 m.

Une caractérisation des points de rupture est aussi réalisée en notant le type de limite de fragmentation : Érosive (E) = présence de microfalaise faisant apparaître les racines, Progressive (P) = colonisation du sable nu par traçage des rhizomes ; Stable (S)

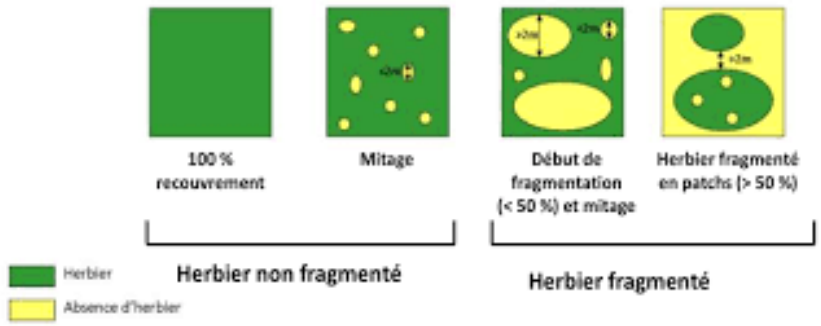


Figure 37 : Schématisation de la fragmentation et du mitage d'un herbier de phanérogame

Effort d'échantillonnage : 3 transects de 50 m
Suivis concernés : Niveau I seulement

RELEVES LE LONG D'UN BELT TRANSECT :

Les relevés sont réalisés sur un couloir de 1 mètre le long de chaque transect de 50 m, sur les 3 radiales.
Ce protocole est appliqué seulement dans le cadre de la station A.

PARAMETRE N°3 : CYANOBACTERIES

L'absence ou la présence de cyanobactéries le long du couloir de 1 m est notée et une classe est attribuée en fonction de leur abondance selon la grille ci-dessous :

Cyanobactéries	Classes	Description
Absence	0	Pas de cyanobactéries
Présence occasionnelle	1	Des tâches de cyanobactéries sont présentes occasionnellement dans l'herbier et/ou préence de cyanobactéries sur les feuilles de nombreux pieds d'herbier
Présence forte	2	L'herbier est majoritairement colonisé par les cyanobactéries jusqu'à asphyxie dans les cas extrêmes

NB : la saison d'échantillonnage est à prendre en compte dans l'interprétation des résultats.

Effort d'échantillonnage : 3 couloirs de 50 m x1 m soit 150 m²
Suivis concernés : Niveau I seulement

PARAMETRE N°4 : CORAUX

L'absence, la présence occasionnelle ou en abondance de coraux au sein du couloir de 1 m est notée. Les espèces présentes sont également relevées.
Effort d'échantillonnage : 3 couloirs de 50 m x1 m soit 150 m²
Suivis concernés : Niveau I seulement

PARAMETRE N°5 : OURSINS

Le plongeur compte les individus d'oursins des 3 espèces suivantes sur un couloir de 1 mètre le long de la radiale : *Tripneustes ventricosus* (oursin blanc), *Diadema antillarum* (oursin diadème) et *Lytechinus variegatus* (oursin variable).

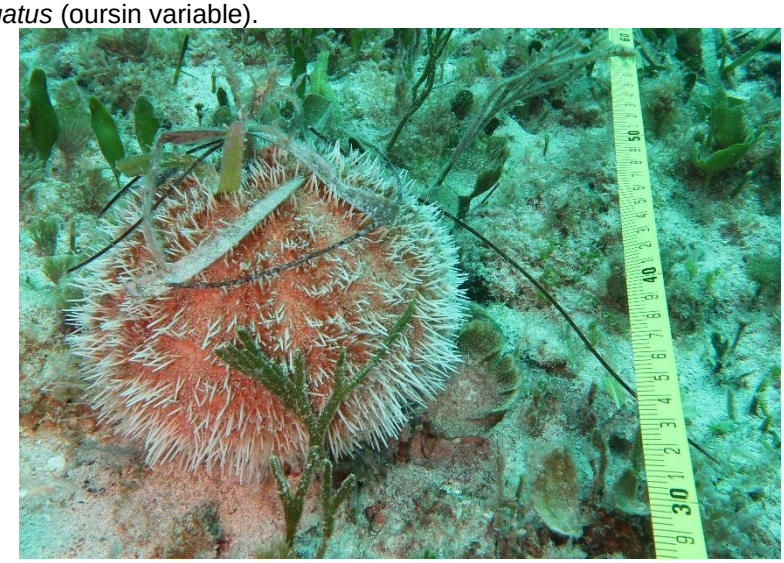


Figure 38 : Oursin Blanc (Tripneustes ventricosus) observé le long d'un relevé BELT

La présence d'autres espèces est notée en remarque.
Effort d'échantillonnage : 3 couloirs de 50 m x1 m soit 150 m²
Suivis concernés : Niveau I seulement

PARAMETRE N° 6 : BIOTURBATION

La **présence de tumulus et entonnoirs** d'au moins 10 cm de diamètre, correspondant à l'activité de l'endofaune est évaluée. Celle-ci peut jouer un rôle sur les plants d'herbiers qui peuvent être fortement recouverts par les sédiments relargués en surface par ces organismes sous forme de monticules ou creusés (entonnoirs) avec une destruction des rhizomes et racines.
Dans un couloir de 1 m le long du transect de 50 m, la bioturbation est évaluée selon les classes suivantes :

- 0 : absence de bioturbation
- 1 : bioturbation occasionnelle
- 2 : bioturbation importante et continue

Effort d'échantillonnage : 3 couloirs de 50 m x1 m soit 150 m²
Suivis concernés : Niveau I seulement

PARAMETRE N°7 : PARAMETRES COMPLEMENTAIRES DE L'HERBIER

Au sein du couloir de 1 m de long, les paramètres informatifs complémentaires suivants sont relevés :

- présence d'algues dérivantes et de débris de feuilles,
- présence de macro-algues épiphytes.

Une des classes suivantes leur est attribuée en fonction de leur abondance :

- 0 : absence
- 1 : présence occasionnelle
- 2 : présence en abondance

Effort d'échantillonnage : 3 couloirs de 50 m x1 m soit 150m²
Suivis concernés : Niveau I seulement

RELEVES AU SEIN DE QUADRATS :

Pour la station A, des quadrats de 50 x 50 cm sont positionnés le long des radiales de 50 m, à raison de 3 quadrats par radiales, soit 9 quadrats au total.
Pour les stations B et C, 12 quadrats sont caractérisés, 6 par plongeur. Ces derniers placent les quadrats aléatoirement sur l'herbier lors de leur prospection.

PARAMETRE N°8 : COMPOSITION SPECIFIQUE EN PHANEROGAMES ET RECOUVREMENT

Le recouvrement TOTAL en phanérogames (TT, SF, HS, etc.) est estimé au sein de chaque quadrat selon les 6 classes de recouvrement suivantes : 0-10% ; 10-25% ; 25-50% ; 50-75% ; 75-90% et 90-100%.
La notion de hiérarchisation de dominance entres les espèces est également notée pour chaque quadrat.

Figure 39 : Evaluation du recouvrement en phanérogames au sein d'un quadrat

Effort d'échantillonnage : 9 quadrats de 50 cm x 50 cm
Suivis concernés : Niveau I et II

PARAMETRE N°9 : RECOUVREMENT EN MACRO-ALGUES

Le **recouvrement TOTAL en macro-algues** (tous les genres confondus) est estimé au sein de chaque quadrat selon les 6 classes de recouvrement suivantes : 0-10% ; 10-25% ; 25-50% ; 50-75% ; 75-90% et 90-100%.

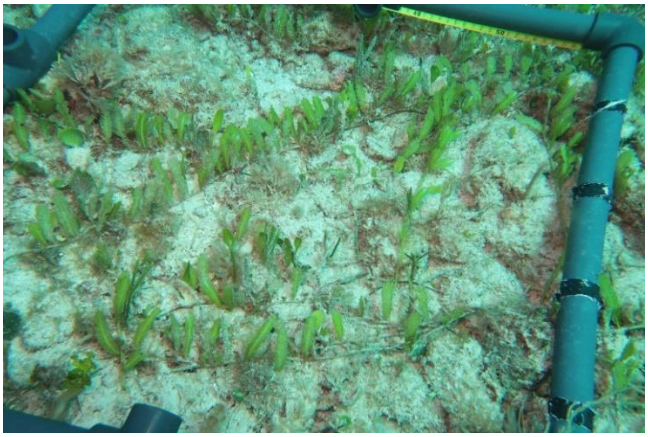


Figure 40 : Recouvrement fort en Caulerpa mexicana

Le genre dominant de macro-algues est identifié au sein de chaque quadrat.
Effort d'échantillonnage : 9 quadrats de 50 cm x 50 cm
Suivis concernés : Niveau I et II

PARAMETRE N°10 : RECOUVREMENT EN CYANOBACTERIES

Le **recouvrement en cyanobactéries** est estimé au sein de chaque quadrat selon les 6 classes de recouvrement suivantes : 0-10% ; 10-25% ; 25-50% ; 50-75% ; 75-90% et 90-100%.

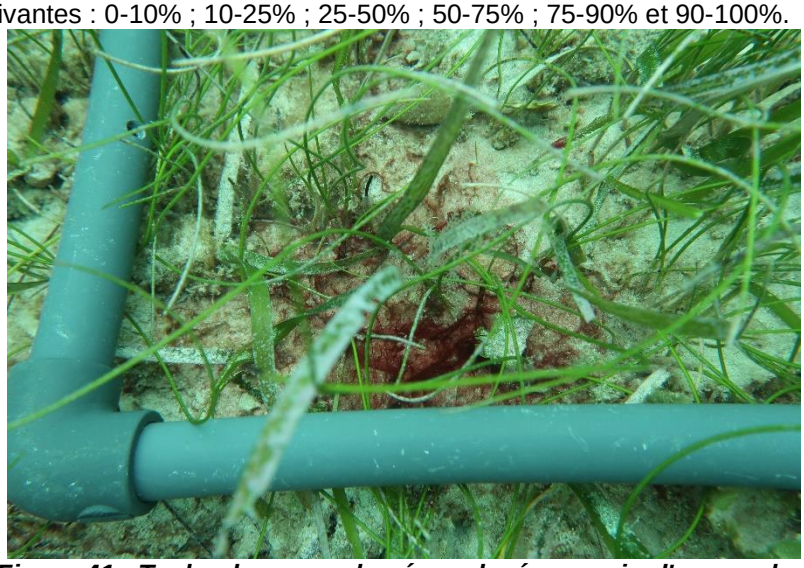


Figure 41 - Tache de cyanophycées relevée au sein d'un quadrat

Le substrat des cyanophycées est également noté : phanérogames (H), sable (SD), macro-algues (MA), etc.

Effort d'échantillonnage : 9 quadrats de 50 cm x 50 cm
Suivis concernés : Niveau I et II

PARAMETRE N°11 : EPIBIOSE

Paramètre important pour apprécier la qualité de l'eau, il résume les conditions de turbidité et lumière disponibles pour les feuilles.

La présence d'épibiose sur les feuilles de l'herbier au sein du quadrat est noté. La nature de cette épibiose est précisée selon les codes suivants :

Type d'épibiose	Code terrain
Algues calcaires	AC
Algues filamenteuses	AF
Film biosédimentaire	FS
Hydraires	HYD
Macro-algues épiphytes	MAE

Les catégories présentes sont classées en termes de dominance.

Figure 42 : Algues calcaires et algues filamenteuses en épibioses de feuilles de Syringodium sp.

Effort d'échantillonnage : 9 quadrats de 50 cm x 50 cm
Suivis concernés : Niveau I et II

PARAMETRE N°12 : FLORAISON

La présence de fleur dans les quadrats est observée. Le nombre de fleurs observées par espèce dans chaque quadrat est comptabilisé.

Figure 43 : Fleur de Thalassia testudinum

Effort d'échantillonnage : 9 quadrats de 50 cm x 50 cm
Suivis concernés : Niveau I et II

PARAMETRE N°13 : SENESCENCE, MALADIES

La présence ou l'absence de signe de sénescence ou de maladies des phanérogames est notée pour chaque quadrat.

Figure 44 : Feuilles de Thalassia testudinum noircies, signe de sénescence du plant

Effort d'échantillonnage : 9 quadrats de 50 cm x 50 cm
Suivis concernés : Niveau I et II

EVALUATION DE L'ETAT DE SANTE GLOBAL DE L'HERBIER

Ce paramètre est évalué lors de l'ensemble de la plongée puis noté en surface.
L'état écologique de l'herbier est déterminé à partir des cinq classes du tableau suivant :

1 = très bon état	Herbier de *Thalassia testudinum* monospécifique
2 = bon état	Herbier mixte à *T.testudinum* et *Syringodium filiforme*, avec présence ou non de macroalgues typiques de l'herbier (en faible abondance)
3 = état moyen	Signe d'eutrophisation ou de sédimentation
4 = état médiocre	Herbier avec macroalgues (typiques abondantes et ou autres macroalgues) ou envasé. Eutrophisation ou hypersédimentation marquée.
5 = mauvais état	Herbier envahi par les macroalgues ou très envasé

Suivis concernés : Niveau I et II

Une fois l'ensemble de ces paramètres relevé, il est essentiel de les comparer à une station de référence, prospectée en amont du rejet par rapport au courant.

6.5.2.4. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Ce type de suivi est à réaliser **une fois par an, pendant au minimum 3 ans**. Une fois cette période passée, le suivi peut être allégé à une fois tous les 2 ans.
Si l'herbier présente des signes de dégradation tels que le mitage, la fragmentation, la présence de maladie ou une hyper-sédimentation, le suivi est ***à réaliser pendant 5 an****s.*

Suivant le niveau de suivi envisagé, 2 ou 4 stations sont à suivre. Il est proposé en option de rajouter des stations de suivi (ronds transparents sur le schéma ci-dessous) où seule l'évaluation de l'état de santé est réalisée, afin de mieux appréhender l'incidence du panache sur l'état global d'un herbier.
Le schéma ci-dessous illustre le plan d'échantillonnage à adopter.

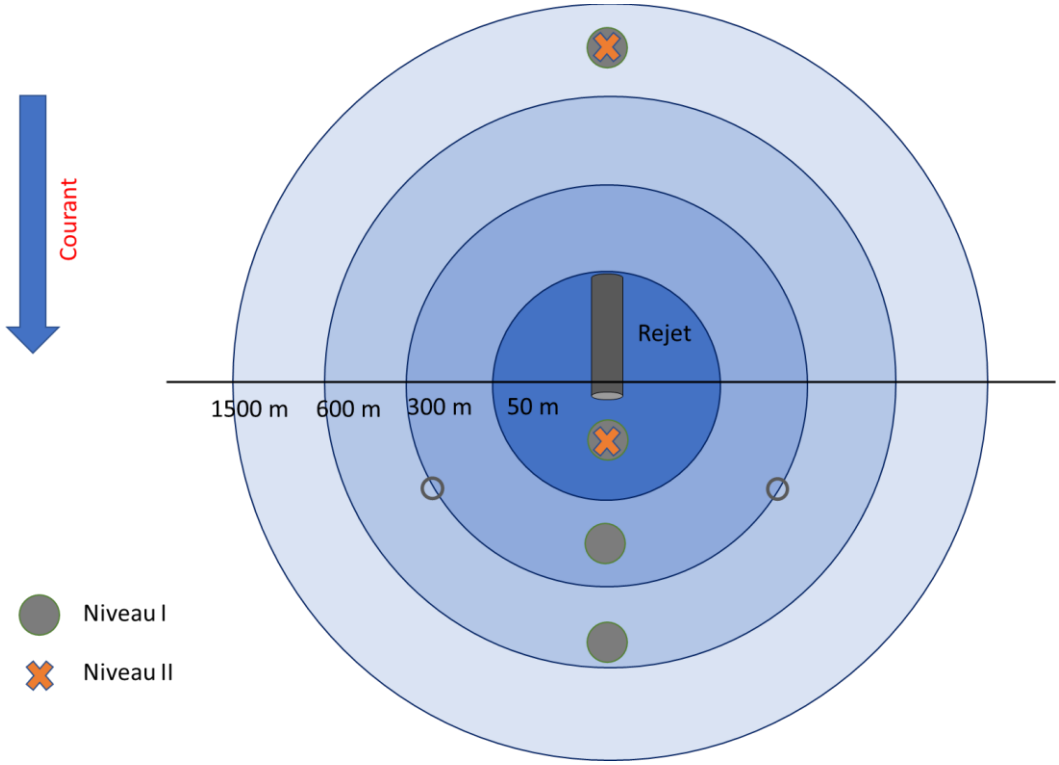


Figure 45 : Plan d'échantillonnage de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000EH avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets STEU) avec 2 stations (+2 suivis optionnels) pour le suivi des herbiers

Pour un effort d'échantillonnage de **niveau I (gros rejets industriels ou STEU> 10 000 EH)**, les stations sont réparties de manière à couvrir la zone de diffusion du panache du rejet. Elles sont situées dans l'axe du courant au sein des différents champs de distance (300 m et 600 m). La station la plus éloignée, dans le champ lointain (1500 m) est considérée comme une station de référence. Elle doit ainsi se situer en amont du rejet par rapport au courant.

Pour un effort d'échantillonnage de **niveau II** (rejets <10 000EH,) seules 2 stations sont nécessaires. Une station dans le champ proche au droit du rejet (en aval), ainsi qu'une station en amont du rejet par rapport au courant, à environ 1500 m de l'effluent (champ lointain).

Idéalement, la première prospection de l'herbier doit être l'occasion de relever les points GPS du début et fin des transects, afin d'être sûr de réaliser un suivi sur les mêmes herbiers d'une année sur l'autre.

6.5.2.5. Estimation financière

La collecte des données en plongée sous-marine est réalisée sur 1 journée par deux plongeurs professionnels, soit 2 ETP.
La logistique terrain et le traitement des données ajoutent généralement 3 ETP.

Cela amène à une estimation de coût (HT) de :

	Nombres de stations	1 année de suivi	3 années de suivi sur 3 ans
Niveau I	4	5 850 €	17 550 €
Niveau II	2	4 550 €	13 650€

Ce coût intègre la mobilisation d'un navire avec pilote, souvent nécessaire pour ce suivi.

Ce type de suivi est mutualisable avec la pose ou la relève d'échantillonneurs passifs (qualité chimique des eaux) ou des prélèvements d'eau pour analyse de qualité.

6.5.2.6. Références bibliographiques

Ce type de suivi doit se référencer aux différents suivis sur récifs coralliens réalisés dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau aux Antilles françaises :

- CREOCEAN (2018a) Suivi de la physico-chimie, des communautés coralliennes et des herbiers au titre de la DCE sur les masses d'eau du district de la Guadeloupe – Année 2017. Rapport de synthèse BC n°3. Octobre 2018. 199 pages + annexes.
- CREOCEAN (2018b) Suivi du réseau de surveillance des masses d'eau littorales de la Guadeloupe : Évaluation de la contamination chimique à l'aide d'échantillonneurs passifs – ANNEE 2017. 76 p.
- IMPACT-MER (2019) Suivi physico-chimique et biologique des stations des réseaux de référence et de surveillance des Masses d'Eau Côtières au titre de l'année 2017. Etat écologique partiel. Rapport de Synthèse, 190 p.

Une récente thèse sur le développement d'indicateurs de santé des herbiers de phanérogames est en cours de finalisation à l'Université de Brest (F. Kerninon, 2021). Elle sera à prendre en compte dans les suivis d'herbiers de phanérogames. Il semble apparaître que des mesures de nutriments dans les feuilles ou les faisceaux soient des indicateurs pertinents pour percevoir les signes de dégradation d'herbiers (*com. Pers. Kerninon*). En l'absence de soutenance de la thèse pour le moment, il n'est pas envisageable de présenter les indicateurs proposés.

Sur les biocénoses benthiques, les principaux impacts attendus, dus à une eutrophisation de l'eau et un fort apport en matières en suspension, sont le développement anormal des macro-algues au détriment d'autres taxons (coraux, gorgones, éponges), une sédimentation excessive ainsi que la présence de maladie sur les coraux ou les phanérogames.

6.6. Nature des fonds

6.6.1. Variables suivies

Les variables suivis sont les différents habitats de la zone à étudier. Cela inclue les différents types de substrats sédimentaires (rocher, vase, sable, …), ou biologiques tels que les herbiers et les récifs coralliens. Il est indispensable que cette famille de paramètres soit étudiée en préalable à l'installation d'un rejet en mer, au moment de l'élaboration des dossiers réglementaires environnementaux (étude d'impact, dossier d'autorisation environnementale).

6.6.2. Type de suivi

Le suivi est mis en place lorsque les données préalables à l'effort du plan d'échantillonnage sont insuffisantes. Cela concerne tous les types de rejets et seulement les suivis de niveau I (gros rejets industriels ou STEU > 10 000 EH, d'une profondeur inférieure à 30 m. En effet, les zones de plus de 30 m ne nécessitent pas de suivis car ces zones sédimentaires sont très stables.

6.6.3. Méthodologie

La cartographie des habitats permet généralement, de manière indirecte, de connaître la nature des fonds. Les habitats se différencient par les paramètres physiques tel que la sédimentologie, et environnementaux, selon le peuplement qui domine. Ainsi cela fournit des informations essentielles pour la planification spatiale et permet de cibler les efforts d'échantillonnage.

De ce fait pour le suivi des zones inférieures à 30 m, tout dépend de la qualité de la cartographie existante (Augris, 2018 ; SHOM, 2018). En effet, **si cette dernière est satisfaisante et couvre en détail les zones à étudier**, il n'est pas nécessaire de procéder à une étude bathymétrique et de cartographie détaillée avec un sonar à balayage latéral. Cependant il est indispensable de réaliser des plongées pour vérifier la concordance entre le milieu étudié et la cartographie existante.

Si la cartographie existante n'est pas satisfaisante ou n'est pas disponible, il est essentiel de réaliser une mise à jour de la cartographie de la zone impliquée par :

- L'acquisition d'images aériennes ou satellites ;
- La réalisation de campagnes de terrain pour acquérir des données bathymétriques et acoustiques ;
- La réalisation d'une vérité de terrain ;
- L'élaboration d'une carte des habitats du secteur.

6.6.3.1. Opération de terrain

Vérité terrain -ponctuelle
Cette opération nécessite deux plongeurs et consiste à relever les éventuelles modifications des biocénoses répertoriées à proximité du secteur du rejet. Il est également possible de prélever les sédiments pour comparer avec les substrats indiqués sur les cartes existantes, en plus des données vidéographiques.

Acquisition de données bathymétriques et acoustiques à large échelle
Il existe plusieurs méthodes de télédétection pour obtenir des données de cartographie (Projet MESH, 2008 ; EMODnet). L'utilisation du sonar à balayage latéral à haute fréquence (500 kHZ) est le plus adapté pour des secteurs de l'ordre de 150 m (EMODnet). Pour cela un navire de taille importante doté d'un DGPS est essentiel pour la correction des données.

6.6.4. Estimation financière

Fréquence d'échantillonnage : 1 fois par suivi
Les campagnes de **vérité de terrain** nécessitent 2 jours avec 2 plongeurs Classe IB, soit 4 ETP. Il faut compter 5 ETP en plus pour la coordination, traitement des données et la réalisation d'une cartographie.
Les **campagnes d'acquisition de données acoustiques** nécessitent 1 jours avec deux intervenants, soit 2 ETP. Il faut compter 6 ETP en plus pour la coordination du terrain et le traitement des données.

	1 suivi par secteur
Acquisition de données acoustiques	10 800 €
Campagne vérité terrain seule (2 jours)	6 780 €

A noter que le prix peut varier selon la détention du matériel nécessaire. En effet, s'il faut faire parvenir ou louer le matériel cela rajoutera un surplus car ce type de matériel n'est pas répandu dans les Caraïbes.

6.6.5. Références bibliographiques

Augris, C., 2018. Carte des formations superficielles du plateau insulaire de la Guadeloupe (scan géoréférencé). https://sextant.ifremer.fr/record/a372bc50-bc08-11df-a9b6-005056987263/

European Marine Observation and Data Network (EMODnet) :

https://www.emodnet-seabedhabitats.eu/

Projet MESH, 2008. Guide de cartographie des habitats marins. RST-DYNECO/AG/07-21/JP – Ifremer, Centre de Brest, 74p.

SHOM, 2018. MNT bathymétrique de façade de la Guadeloupe et de la Martinique (Projet Homonim)

6.7. Courantologie

6.7.1. Variables suivies

La courantologie locale peut être suivie **par modélisation** ou par **mesures *in situ***. Les différents types de mesures *in situ* existantes peuvent se faire par profileurs acoustiques Doppler :

- ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)
- ADV (Acoustic Doppler Velocimeter)

Comme pour le paramètre précédent, il est indispensable que la courantologie soit étudiée en préalable à l'installation d'un rejet en mer, au moment de l'élaboration des dossiers réglementaires environnementaux (étude d'impact, dossier d'autorisation environnementale), afin de percevoir correctement les enjeux liés à la diffusion du panache turbide.

6.7.2. Type de suivi

Le suivi est mis en place lorsque les données préalables à la mise en place du plan d'échantillonnage sont insuffisantes. Cela concerne tous les types de rejets de niveau I (gros rejets industriels ou STEU > 10 000 EH).

6.7.3. Méthodologie

6.7.3.1. Modélisation

La modélisation peut se faire à partir du logiciel MIKE 3D et de ses modules hydrodynamiques HD (CREOCEAN, 2019b). Ces derniers constituent la base de la modélisation hydrodynamique et permettent de simuler la dynamique des masses d'eau en tenant compte :

- Des courants et des variations de profondeur liés à la marée ;
- Des courants induits par les vagues et le vent ;
- Des variations de niveaux induites par la marée, le vent et les vagues (set-up).

Il existe d'autres logiciels de modélisation tels que :

- Telemac 3D ;
- EFDC ;
- Delft 3D ;
- MARS ;
- CROCO.

Le modèle se sert des données bathymétriques provenant :

- De la base de données Litto 3D (SHOM) ; issue de campagne de mesure utilisant la technologie du LIDAR ;
- Du Modèle de Terrain Numérique (MNT) bathymétrique de la façade de la Guadeloupe réalisé dans le cadre du Projet HOMONIM (SHOM, 2018).

La validation du modèle se fait à l'aide d'une comparaison avec un point de mesure de référence.

6.7.3.2. Profileurs acoustiques

L'ADCP, fixé sur support, est immergé entre 20 et 30 m grâce à un plongeur ou à l'aide d'un treuil installé sur le bateau selon les conditions, proche du rejet. Cependant l'ADCP ne mesure pas les

courants de surface, ainsi il faut également placer une drogue flottante en surface, sur le point d'immersion de l'ADCP pour obtenir les données de surface manquantes.
Si les profondeurs des secteurs sont faibles (comme dans la zone du Grand Cul-de-Sac Marin), il faut utiliser un courantomètre ponctuel tel que l'ADV.
Ces profileurs acoustiques permettent de mesurer la vitesse et la direction moyennes des courants sur toute la colonne d'eau.
L'ADCP est configuré avec 1 ping.s^{-1} pour avoir une moyenne des courants, à intervalle inférieure à 1 m. Cela permet d'améliorer la précision sur les mesures des courants horizontaux.

Figure 46 : Photographie du support avec l'ADCP au milieu

6.7.3.3. Traitement de données

Une fois les instruments hors de l'eau, les données sont transférées sur l'ordinateur grâce à un logiciel spécifique à l'instrument. Pour le traitement des données, le logiciel tel que MATLAB est utilisé pour traiter le nombre élevé de données.

6.7.3.4. Suivi par fluorescéine

Un suivi par **fluorescéine** constitue soit un élément complémentaire, soit une solution de remplacement moins coûteuse (mais moins efficace), qui est toutefois crucial pour connaître 1) la localisation du rejet, 2) le sens du courant et 3) la diffusion du panache du rejet pour mieux percevoir les milieux marins impactés.
Du point de vue de la définition du plan d'échantillonnage de suivi d'un site, il permet également de définir un axe « amont-aval » du rejet et pouvoir ainsi placer les sites de suivi en fonction de ce dernier. En effet, l'utilisation de ce traceur hydrologique coloré permet d'observer la direction et la propagation du panache à l'exutoire. Si le rejet se fait par émissaire en milieu ouvert, le suivi permet également de visualiser les fuites potentielles de ce dernier.
Le traceur chimique de la fluorescéine (CAS 518-47-8) est composé de $C_{20}H_{10}Na_2O_5$ avec un aspect brun-rouge foncé, et devient fluorescent vert jaune en milieu alcalin. Il est recommandé pour des repérages de courants marin d'utiliser une concentration de 10 mg/L (Impact-Mer, 2016b).

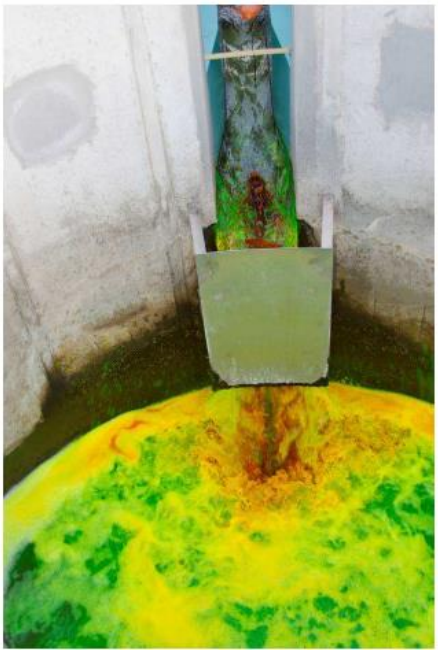


Figure 47 : Injection de fluorescéine (brun-rouge) dans la bâche de reprise d'une STEU (d'après San Ouest, 2013)

Ce traceur est sensible à l'exposition lumineuse. Ainsi, il est préférable d'effectuer le suivi par temps couvert, pour réduire l'interférence sur la dégradation de la fluorescéine à la lumière. De plus la visibilité du panache est meilleure par **temps couvert, sec et avec un vent faible**. En effet, il faut éviter le suivi avec des précipitations qui ont eu lieu les jours précédents pour ne pas avoir d'interférence directes ou à retardement par ruissellements ou infiltrations depuis les berges. Le vent peut étaler la coloration de la solution dans la direction du vent et non du rejet.

La méthode consiste à injecter la fluorescéine dans l'eau épurée en sortie de canal de la STEU, lors du débit maximum si possible. L'eau marquée permet de suivre son trajet et observer son déplacement. Cela implique donc le suivi du panache de pollution de la STEU. La visualisation du traçage peut se faire par photographie aérienne, à l'aide d'un drone ou par observation *in situ* à l'aide de photographies et vidéo sous-marines.

Ce suivi nécessite une personne expérimentée pour manipuler le colorant tel que les inspecteurs de la Police de l'Eau de la DEAL.
Les photographies ci-dessous ont été transmises par la DEAL de Guadeloupe, pour les rejets de STEU de Trois-Rivières et Capesterre.

Figure 48 : Photographies aériennes de suivi par fluorescéine à la STEU de Trois-Rivières effectué le 06/02/20 à 9h30 (gauche) et de Capesterre, effectué le 19/12/18 à 9h27 (droite) (DEAL 971)

6.7.4. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Fréquence d'échantillonnage : 1 fois par suivi

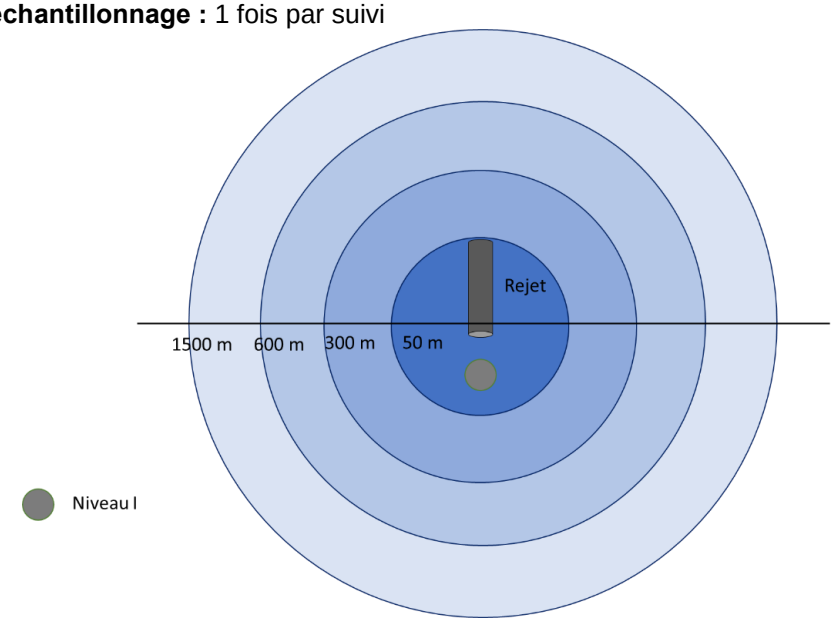


Figure 49 : Plan d'échantillonnage pour le suivi de la « courantologie » uniquement pour des suivis de surveillance de niveau I (gros rejets industriels ou STEU > 10 000 EH)

6.7.5. Estimation financière

Les campagnes d'acquisition de données acoustiques nécessitent 2 jours (1 jour de pose et 1 jour de relève) avec deux intervenants, soit 4 ETP. Il faut compter 3 ETP en plus pour la coordination du terrain et le traitement des données.
Pour un suivi de fluorescéine, il faut considérer 1 ETP de préparation, 1 ETP de suivi + un prestataire drône
Pour la modélisation numérique de courantologie avec une étude de dilution et de dispersion des différents rejets en mer :

	1 suivi par secteur
Acquisition de données acoustiques	10 800 €

Modélisation	4 900 €
Suivi par fluoresceine	4 000€

6.7.5.1. Données bibliographiques existantes

Dans le cas où il n'est pas prévu de mettre en place une évaluation de la courantologie à l'aide de modélisation, il est possible de prendre en compte les éléments hydrodynamiques existants issus de la littérature scientifique pour le positionnement des stations de suivi. Les éléments suivants sont issus de IFREMER, d'après l'étud Actimar (2020).
Ainsi, actuellement, dans le cadre du projet européen Interreg CARIB-COAST, un modèle hydrodynamique 3D à l'échelle des Antilles est en cours de développement (pilotage IFREMER, sous-traitance ACTIMAR-Brest). Il apparaît de manière assez nette que le courant de surface est induit à plus de 90 % par le vent et la marée sur la majorité de partie du littoral de la Guadeloupe (la configuration 3D complète du modèle a été validée sur les principaux processus météo-océaniques de la région afin de disposer d'une description précise de ces phénomènes).

Ainsi, les processus dominants présents en Guadeloupe sont : **la marée, la circulation régionale, et la circulation due au vent**.

A titre informatif, les premiers résultats démontrent que les courants les plus faibles, inférieures à 0,1 m/s sont enregistrés dans le Petit et Grand Cul-de-Sac Marin. La circulation apparait davantage intense dans la partie au vent et quasiment nulle dans la partie Caraïbe (sous le vent de l'île). Le courant est orienté du Sud vers le Nord au large, côté Atlantique. Le courant est également plus fort de part et d'autre de la Désirade. Une intrusion du courant Atlantique entre le Saintes et Marie-Galante est observée. Le courant est orienté plein Ouest de l'Atlantique vers la mer des Caraïbes entre ces deux îles, ainsi qu'au Sud de ces îles.

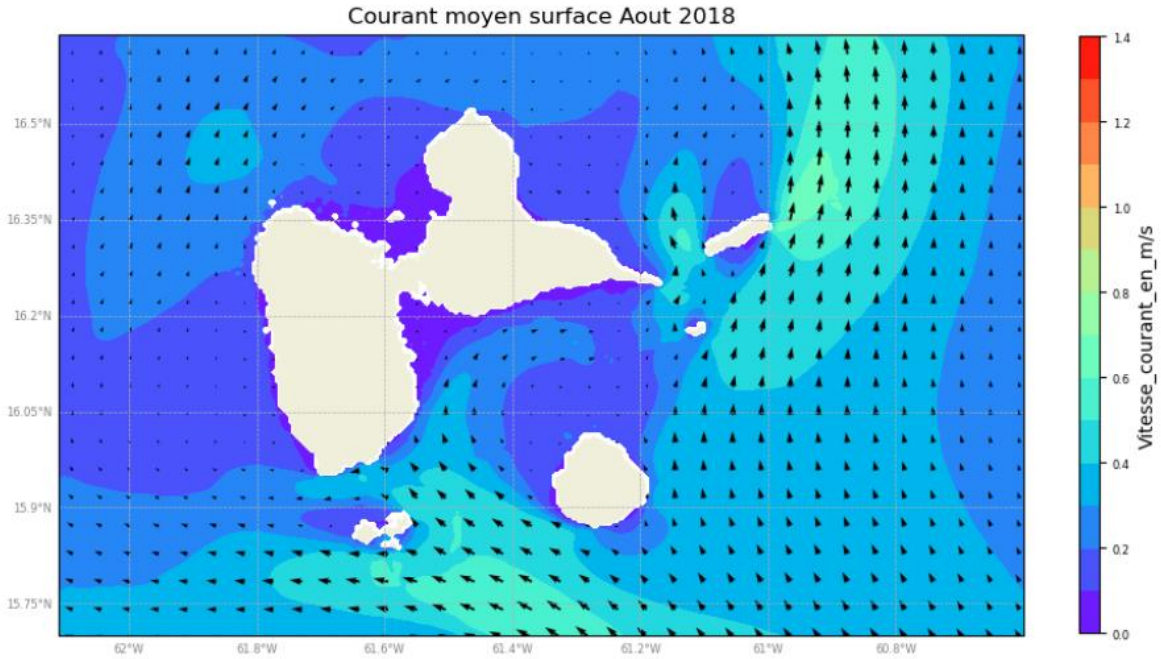


Figure 50 : Moyenne du courant de surface sur la période du 1er au 31 août 2018 autour de la Guadeloupe. Source : extrait du rapport Actimar phase 3 du projet Carib-Coast

Les courants moyens sont très faibles à proximité immédiate de la côte où la circulation régionale est supplantée par les effets locaux de vent et de marée. Sur ces zones, le courant de surface est induit à plus de 90% par le vent et la marée, comme le démontre la figure ci-dessous :

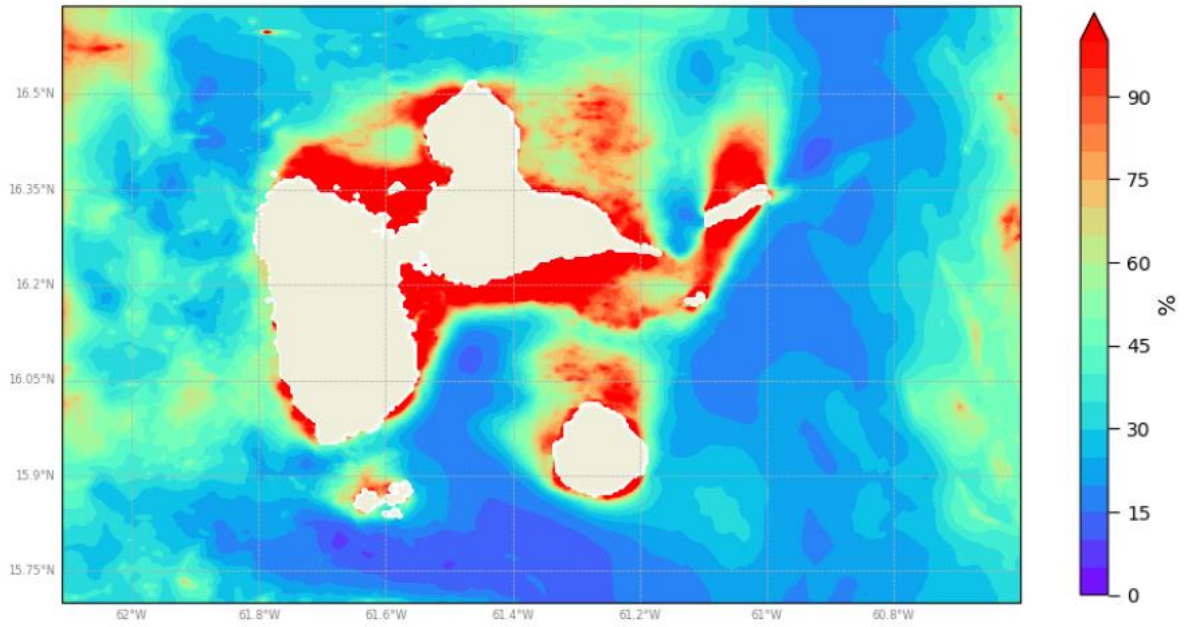


Figure 51 : Importance (en %) de la circulation de surface induite par la marée et le vent dans la circulation totale au mois d'août 2018 autour de la Guadeloupe. Source : extrait du rapport Actimar phase 3 du projet Carib-Coast

La force et la direction du vent ont donc un impact très important sur le renouvellement de ces eaux. Cet effet peut s'estomper très rapidement sur la côte sous le vent. Au large, là où la circulation régionale est importante et l'effet de la marée inexistant, la circulation due au vent représente de l'ordre de 15 à 20 % de la circulation totale.

Les analyses en cluster démontrent des champs de vent venant majoritairement de l'Est à l'Est-Nord-Est, avec un régime d'alizés modérés de 6 à 8 m/s, représentant 62% des occurrences. Pour le régime d'alizés faibles, inférieur à 5 m/s, le vent vient d'Est et représente 27 % des occurrences.

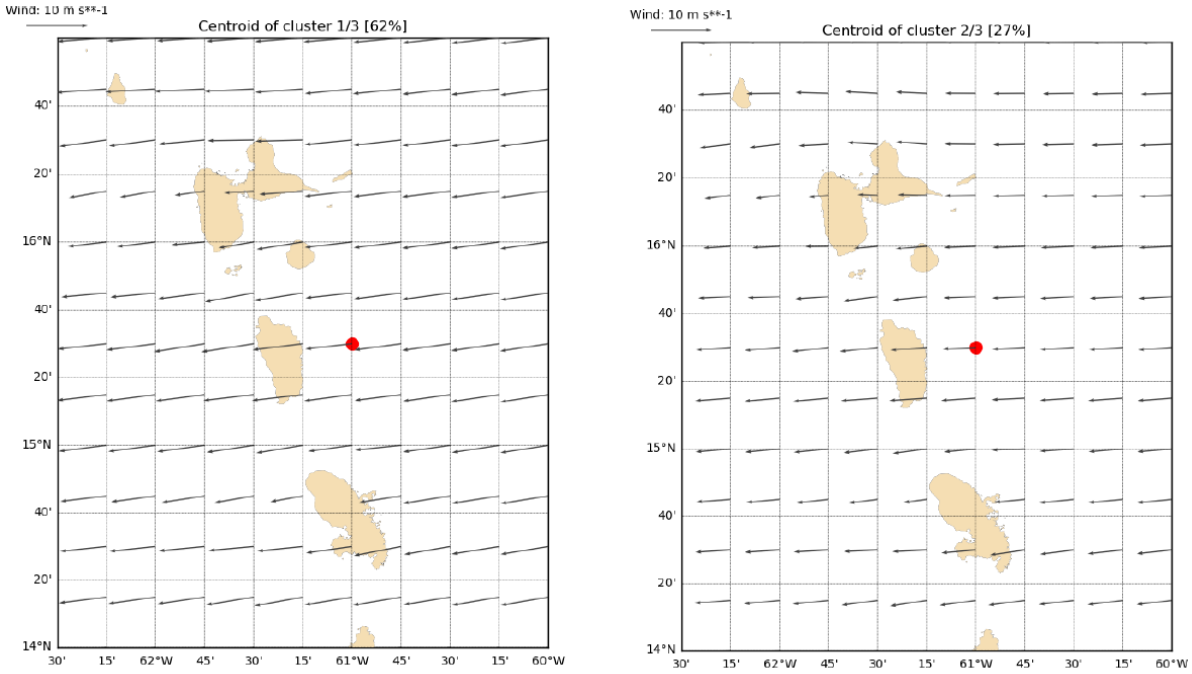


Figure 52 : Analyse en cluster des 2 principaux régimes de vents sur l'année 2018. Source : extrait du rapport Actimar phase 3 du projet Carib-Coast

Cela indique que les vents d'Est génèrent un courant de surface du large vers la côte Atlantique, impliquant un faible renouvellement des masses d'eau côtières localisées le Petit et Grand Cul-de-Sac Marin, ainsi qu'à la côte sous le vent. En effet, le renouvellement des masses d'eau est fortement conditionné par l'intensité et la direction du vent. Ces conditions hydrodynamiques contribuent à la sensibilité accrue de ces masses d'eau au risque d'eutrophisation.

Ces informations sont en cours de développement et seront mises à jour à l'issue de la calibration du modèle. Ces premiers éléments démontrent l'impact important de l'orientation de la côte par rapport à la direction des vents dominant, sur le renouvellement de la masse d'eau et la dispersion des polluants. L'étude illustrent également que sur une grande partie du littoral de la Guadeloupe, le courant de surface est induit à plus de 90 % par le vent et la marée.

6.7.6. Références bibliographiques

CREOCEAN, 2019b. Modélisation d'un panache turbide dans le cadre de travaux de l'extension du quai 12. 39p.
CREOCEAN, 2019c. Etude de préfiguration d'un programme de surveillance de la qualité de l'eau. 69p.
SHOM, 2018. MNT bathymétrique de façade de la Guadeloupe et de la Martinique (Projet Homonim)
Actimar, 2020. *Projet Carib-Coast - Tâche 3 : Premières réalisations*

6.8. Biocénoses de substrats meubles

6.8.1. Variables suivies

La variable suivie est le benthos présent dans le substrat meuble (=endofaune). La constitution du peuplement benthique est un indicateur de la dégradation du milieu. Les macro-invertébrés benthiques constituent le plus souvent un excellent **indicateur** de l'état général d'un milieu et peuvent renseigner sur l'existence de pressions anthropiques grâce à leurs différentes capacités à supporter la présence de contaminants dans leur milieu.

6.8.2. Type de suivi

L'indicateur « benthos de substrats meubles » est inclus dans tous les types de suivi (niveau I et II) lorsque le rejet se situe en plaine sablo-vaseuse. Ainsi,il ne concerne pas les rejets en zone récifale.

6.8.3. Méthodologie

6.8.3.1. Opération de terrain

Les prélèvements se font à l'aide d'une benne Van Veen ou Eckman avec une aire minimale d'échantillonnage de 0,1 m². Une fois la benne remontée, elle est vidée de son eau puis transférée dans une bassine. Le contenu est photographié. En conformité avec les modalités opérationnelles instituées par la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) en matière de surveillance biologique des masses d'eau côtières, la surface d'échantillonnage par station est de 0,5 m². Selon Bigot *et al* 2016, il préconise d'avoir 5 échantillons représentatifs par station pour la faune et un réplicat supplémentaire pour la caractérisation physico-chimique sédimentaires. A l'inverse des prélèvements de sédiments pour les analyses chimiques, chaque échantillon est à conditionner individuellement, (pas d'homogénéisation entre les échantillons). Chaque réplicat est photographié et une description du contenu (nature du sédiment, couleur de surface, profondeur de la couche oxydée/réduite, odeur, présence de structures biogènes ou de coquilles mortes, espèces dominantes, etc…) est notée sur les feuilles de terrain.

Figure 53 : Refus de tamis de 1 mm de vide de maille (à gauche) et prélèvement de benthos (à droite) à Saint-Martin

6.8.3.2. Conditionnement des échantillons

Echantillons destinés aux analyses faunistiques
L'échantillon de sédiment dans la bassine est tamisé, avec un tamis en acier inoxydable de 1mm de vide de maille. Les refus de tamis, constitués d'organismes vivants mélangés aux débris grossiers sont collectés et fixés dans une solution de formol à 5% additionnée d'eau de mer. Chaque refus est placé dans un sac indexé, hermétiquement fermé. Les échantillons sont ensuite conservés à température ambiante avec un double étiquetage des métadonnées (station, date et numéro de réplicat).

6.8.3.3. Méthode d'analyse

Analyses et traitement de données faunistiques
Les analyses en laboratoires viseront à identifier les principaux organismes vivants (exclusions des coquilles et tests d'organismes morts antérieurement au prélèvement) et les classer. Pour chaque échantillons les analyses se déroulent en plusieurs étapes :

- Analyse de la distribution des individus au sein des communautés taxonomiques (Annélides, Crustacés, Mollusques, …) ;
- Analyse de la richesse spécifique totale (S) ;
- Analyse de l'abondance relative par espèces (N) ;
- Analyse de la biomasse taxonomique (en option).

Le laboratoire fournira :

- Des métriques systématiquement calculées dans les expertises biosédimentaires :
  - Identification du cortège spécifique total et par station ;
  - Abondance de chaque espèce et abondance totale (/m²) par station ;
  - Diversité spécifique par station et totale ;
  - Indice de diversité (Shannon Wiener H') et d'équitabilité (Piélou) ;
- Une description globale des communautés échantillonnées :
  - Typologie du ou des peuplements benthiques rencontrés
  - Présence d'espèces à statut règlementaire.

A partir de ces paramètres et les données relatives à l'analyse physico-chimique des sédiments, le traitement des données sera réalisé sur :

- Le calcul de densités faunistiques (par espèce / par réplicat / par station) ;
- Le calcul des indices d'α diversité (indice de Shannon Weaver H', richesse spécifique) ;
- Le calcul de l'indice biotique (AMBI et M-AMBI) ;
- La richesse spécifique totale (S) correspondant au nombre d'espèces récoltées par station.
- La richesse spécifique moyenne par station (calculée sur les valeurs de S pour chaque réplicat) est également proposée, ainsi que l'écart-type associé, de manière à apprécier l'homogénéité/hétérogénéité intra-stationnelle de ce paramètre.
- La proportion des groupes taxonomiques, à savoir :
  - Annélides polychètes
  - Arthropodes (Crustacés amphipodes, Isopodes, Mysidacés…)
  - Mollusques (Bivalves et gastéropodes, Polyplacophores, Scaphopodes)
  - Divers (comprenant Echinodermes, Némertes, Cnidaires, Chordés…)
- L'abondance totale, qui se définit comme le nombre d'individus, toutes espèces réunies, par unité de surface de prélèvement station.
- L'abondance moyenne par station (calculée sur les valeurs d'abondance pour chaque réplicat = benne) est également proposée, ainsi que l'écart-type associé, de manière à apprécier l'homogénéité/hétérogénéité intra-stationnelle de ce paramètre.
- L'indice de diversité de Shannon-Weaver, qui permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont co-dominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce, dominant très largement toutes les autres) à

log(S) (lorsque toutes les espèces ont une même abondance). La base du logarithme utilisée est la base 2. Il est donné par la formule suivante :

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} pi \, log_2 \, pi$$

- où :
  - pi = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce : pi = ni/N ;
  - S = nombre total d'espèces (Richesse spécifique) ;
  - ni = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ;
  - N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

Deux principaux indices ont été développés : l'indice de Shannon-Wiener, et l'indice de Simpson. La richesse spécifique déterminée à partir des échantillons dépend non seulement du nombre d'espèces, mais aussi du nombre d'individus représentant chaque espèce (leur fréquence relative). La répartition des individus doit donc être estimée afin de mesurer la pertinence des indices de diversité. Ceux-ci sont donc le plus souvent accompagnés d'indices d'équitabilité, traduisant la répartition des abondances des espèces dans le peuplement.
L'indice de Shannon est le plus couramment utilisé et il est recommandé par différents auteurs (Gray et al, 1992).

- L'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité de Piélou :
  J' = H'/H'max
  Avec H'max = log S (S= nombre total d'espèces)
  L'indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équi-répartition des espèces).

De manière plus « optionnelle » et dans un cadre bien spécifique, il peut être demandée ces analyses statistiques complémentaires :

- Des analyses multidimensionnelles (nMDS, Classification par Analyse Hiérarchique, ANOSIM) (Clarke & Warwick, 2001) ; (Descripteur des communautés en place, cette analyse multivariées, basée sur la similarité de Bray-Curtis, permet de projeter les stations dans un graphique en 2D en fonction de leurs ressemblances de composition faunistique. Ainsi, si deux stations sont similaires du point de vue de la structure de leur peuplement benthique, elles seront très proches sur le graphique. A l'inverse, si elles n'ont aucune espèce en commun, alors ces stations se trouveront très éloignées).
- La recherche de liens entre les données biologiques et physico-chimiques (calcul de coefficients de corrélations de Spearman).

Caractérisation sédimentaire

Pour caractériser la qualité physico-chimique des sédiments, 4 analyses sont réalisées sur l'échantillon dédié (voir fiche sur la qualité des sédiments) :

- La granulométrie ;
- Le taux de matière organique ;
- Azote Kjeldhal ;
- Phosphore total.

6.8.4. Valeurs de références

6.8.4.1. Paramètres physico-chimiques

A ce jour il n'existe pas de grille de qualité pour la Guadeloupe. Ainsi à titre indicatif, pour l'analyse sédimentaire, il est possible d'appliquer les grilles suivantes :

- De granulométrie
- D'enrichissement minérale

Tableau 45 : Classification Kouyoumontzakis pour la fraction fine (<63 µm) (Marty, 1993)

(a)	Marty 1993
Fines	**Fraction fine <63µm**
Sables purs	0-5%
Sables envasés et vases sableuses	5-25%
Vases sableuses et vases	25-50%
Vases	50-75 %
Vases	>75%

Tableau 46 : Valeurs seuils et classes d'enrichissement des sédiments pour l'azote Kjeldahl et le phosphore total (Andral, 2007)

(b)	**Azote Kjeldahl**	**Phosphore total**
Echelle relative	% PS (poids sec)	(mg/kg)
Faible	<0,3	<440
Moyen	0,3-0,4	440-680
Fort	0,4-0,5	680-1255
Très fort	>0,5	>1255

6.8.4.2. Macrofaune benthique

Analyse de la qualité écologique des stations : AMBI et M-AMBI

La méthode d'analyse de la qualité écologique est basée sur le concept d'indice biotique :

- Un indice biotique permet de statuer sur l'état écologique d'un fond sédimentaire à partir de la composition faunistique des peuplements qu'il héberge.
- La méthode repose sur la reconnaissance parmi les espèces constitutives du peuplement de cinq groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (tableau 41) en relation avec la réponse de chaque espèce à la teneur en matière organique des sédiments, que celle-ci soit d'origine pétrolière, anthropique (rejets urbains) ou industrielle.

Tableau 47 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984)

Groupe	*Type d'espèces*	*Caractéristiques*	*Groupes trophiques*
I	sensibles à une hypertrophisation	largement dominantes en conditions normales; disparaissent les premières lors de l'enrichissement du milieu; dernières à se réinstaller	suspensivores, carnivores sélectifs, quelques déposivores tubicoles de subsurface
II	indifférentes à une hypertrophisation	espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de matière organique	carnivores et nécrophages peu sélectifs
III	tolérantes à une hypertrophisation	naturellement présentes dans les vases ; mais leur prolifération étant stimulée par l'enrichissement du milieu, elles sont le signe d'un déséquilibre du système	déposivores tubicoles de surface profitant du film superficiel chargé de matière organique
IV	opportunistes de second ordre	cycle de vie court (souvent < 1 an) proliférant dans les sédiments réduits	déposivores de subsurface
V	opportunistes de premier ordre	prolifèrent dans les sédiments réduits, sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	déposivores

Différents indices ont été proposés (Grall & Glémarec, 2003) mais l'un des plus utilisés aujourd'hui est l'ATZI Marine Benthic Index ou AMBI, disponible sur le site de l'ATZI (http://ambi.azti.es/). Les réflexions menées depuis la proposition initiale de l'AMBI par Borja *et al.,* (2000, 2003, 2004) et les difficultés d'interprétation de cet indice comme explicitées par Borja & Muxika (2005) ont abouti à la proposition d'un indice multivarié ou M-AMBI (Muxika *et al.,* 2007).
Ce second indice est retenu et utilisé par la France dans le cadre de la DCE. En effet l'indice M-AMBI prend en compte non seulement l'indice AMBI mais aussi la richesse spécifique S et l'indice structurel de Shanoon-Wiever H' calculé d'après la composition faunistique de chaque prélèvement. Deux conditions de référence sont utilisées pour calibrer l'indice M-AMBI, un état très dégradé (AMBI = 6, H' = 0 et S = 0) et le très bon état défini pour les peuplements subtidaux des sables et sales envasés.

Les données obtenues sont traitées pour définir la structure des communautés benthiques et leur évolution spatio-temporelle à l'aide d'outils statistiques d'analyse univariés (moyennes, indices de diversité, AMBI) et multivariés (nMDS, Classification hiérarchiques).
Les calculs des indices AMBI et M-AMBI sont réalisés avec le logiciel en ligne AZTI (2010), sur la base des données faunistiques disponibles pour l'Amérique du Sud.
Cependant, aucune grille de valeur n'existe pour la Guadeloupe à ce jour. A titre indicatif la grille de valeurs seuils existante pour La Réunion peut être utilisée :

***Tableau 48 : Limites des 5 classes DCE retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot et* al., 2008)**

Classe M-AMBI	< 0,20	0,20 - 0,40	0,41 - 0,61	0,62 - 0,82	> 0,82
Etat Ecologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

Ci-dessous, la grille utilisée dans la région méditerranéenne selon l'arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état

chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R.212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement :

Classe M-AMBI	<0,21	[0,21-0,39[	[0,39-0,58[	[0,58-0,83[	<0,83
Etat Ecologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

La grille de classification des indices de AMBI selon Borja *et al.*, (2007) :

Classe AMBI	>5,5	[4,2-5,5]	[3,4-4,2[	[1,1-3,4[	<1,1
Etat Ecologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

6.8.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Fréquence d'échantillonnage : 1 fois tous les ans, pendant 3 ans au minimum, à la même date si possible car la saisonnalité est très importante pour un suivi benthique. Idéalement avant les recrutements (et sa cohorte de juvéniles), ce qui augmentent beaucoup les abondances.

Plan d'échantillonnage :

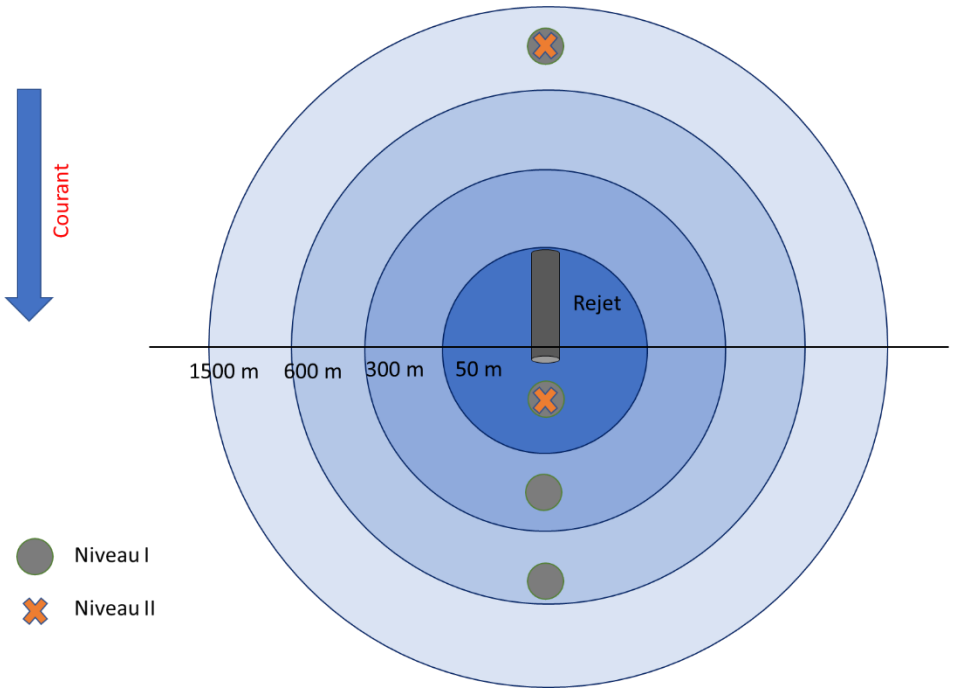


Figure 54 : Plan d'échantillonnage pour le suivi des biocénoses de substrats meubles de niveau I (gros rejets industriels ou STEU > 10 000EH) avec 4 stations OU de niveau II (petits rejets <10 000 EH) avec 2 stations

Pour un effort d'échantillonnage de **niveau I** (gros rejets industriels ou STEU > 10 000 EH), les **4 stations** sont réparties de la manière à couvrir les différents champs de distance par rapport au rejet. La station la plus éloignée, dans le champ lointain est considérée comme une station de référence. Elle doit ainsi se situer à environ 1 500 m en amont du rejet.

Pour un effort d'échantillonnage de **niveau II** (petits rejets de STEU<10 000 EH), **seules 2 stations** sont nécessaires. Une station dans le champ proche, au niveau du rejet (en aval) et l'autre dans le champ lointain en amont du rejet.

6.8.6. Estimation financière

Les prélèvements sont réalisés sur 1 journée par deux intervenants soit 2 ETP.
Le coût d'une analyse d'endofaune (tri et détermination des espèces) d'une station par une université est estimée à environ 1 000 euros.
Il faut compter 5 ETP en plus pour la coordination, traitements et bancarisation des données.
Cela amène à une estimation de coût (HT) de :

Tableau 49 : Estimation des coûts pour le suivi « biocénose de substrats meubles » d'un site

	Nombres de stations	1 année de suivi	Campagnes sur 3 ans
Niveau I	4	11 300 € HT	33 900 € HT
Niveau II	2	8 700 € HT	26 100 € HT

6.8.7. Références bibliographiques

Andral B., Derolez V., 2007. Mise en œuvre du contrôle de surveillance : campagne DCE 2006. Rapport Ifremer pour le compte de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. 193 pages.

AZTI, 2010. Instructions for the use of the AMBI index software (version 4.1). http://ambi.azti.es

Bigot L., Wickel J., Pinault M., Frouin P., Bureau S., 2016. Suivi de la qualité des eaux littorales. Contrôle de surveillance des eaux littorales (RCS). Suivi 2016 du benthos de substrat meuble en milieu marin. Rapport MAREX, Université de La Réunion / Entropie pour le compte de l'Office de l'eau Réunion. 42p + Annexes.

Bigot L., Gremare A., Amouroux J.M., Frouin P., Marie O., Gaertner J.C., 2008. Assessment of the ecological quality status of soft-bottoms in Reunion island (tropical Southwest Indian Ocean) using AZTI Marine Biotic Indices – *Marine Pollution Bulletin,* **56**,704-722.

Clarke, K.R., Warwick R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth.

Muxika, I., Borja, A., 2005. Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin,* **50,** 787-789.

Muxika, I., Borja, A., Bald, J., 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin,* **55**, 16-29.

6.9. Contamination chimique dans le biote

6.9.1. Variables suivies

Les paramètres mesurés sont les concentrations en contaminant métalliques et les contaminant organiques hydrophobes semi-volatils (HAP, PCB, les pesticides organochlorés, organostanniques et autres) mesurés dans les huîtres de palétuviers *Isognomon alatus*.
Ces mollusques bivalves sont utilisés comme indicateurs quantitatifs de contamination, car ils possèdent la propriété de concentrer certains contaminants présents dans le milieu où ils vivent, de manière proportionnelle à leur exposition. Les concentrations en contaminants chimiques dans la chair des mollusques sont alors beaucoup plus élevées que dans l'eau, facilitant les analyses. Elles traduisent l'état chimique chronique du milieu et son évolution d'années en années.

6.9.2. Type de suivi

Les huîtres de palétuviers sont localisées uniquement dans les secteurs de mangrove. Ainsi ce type de suivi concerne uniquement les rejets situés à proximité de la mangrove.

6.9.3. Méthodologie

Les organismes sont prélevés et disposés ensuite délicatement dans un filet pour ne pas les déranger afin de réduire les pertes de tissu ou de liquide physiologique. Les échantillons sont immergés 24h dans un bac traité rempli d'eau claire issue du site de prélèvement. Les organismes sont ensuite mesurés (taille de la coquille) et décoquillés. La chair est égouttée et mise en piluliers puis congelée pour être envoyée au laboratoire en métropole.

Figure 55 : Isognomon alatus sur une racine de palétuvier en Martinique (photo de Nicolas Cimitera)

Les paramètres à analyser sont les contaminants historiques recherchés dans le cadre du ROCCH (Guadeloupe et Martinique) :

Tableau 50 : Liste des contaminants historiques recherchés dans le cadre du ROCCH (Guadeloupe et Martinique)

Contaminants métalliques	Argent (Ag), arsenic (As), cadmium (Cd), chrome total (Cr), cobalt (Co), cuivre (Cu), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), vanadium (V), zinc (Zn)
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Naphtalène, acénaphtylène, acénaphtène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(j)fluoranthène, benzo(a)pyrène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène,

	benzo(g,h,i)pérylène, cyclopenta(c,d)pyrène, benzo(c)fluorène*, 5-methylchrysene*
Polychlorobiphényles	Congénères 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180
Pesticides organochlorés	pp' DDT, pp' DDD, pp' DDE, lindane (γ-HCH), α-HCH, Chlordécone, chlordécone 5b hydro, chlordécol,

Cette liste pourra être complétée avec les molécules prioritaires de la DCE devant être surveillées pour l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau (arrêté du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R212-22 du code de l'environnement) et jugées pertinentes pour le suivi dans le biote (molécules hydrophobe set méthodes analytiques suffisamment sensibles). Ces molécules sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Dioxines furannes	Dibenzo-p-dioxines (PCDD) : 7 Dibenzofuranes (PCDF) : 10
PBDE + HBCDD	BDE28, BDE47,BDE99, BDE100, BDE153, BDE154, BDE183, BDE66, BDE85, BDE49 HBCDD (a, b, g)
Organostanniques	MBT, DBT, TBT
Autres	Chloro-alcanes (C10-13) DEHP (phtalate) PFOA dont PFOS

6.9.4. Valeurs de références

Il existe quelques NQE dans le biote disponible à ce jour, pour certaines molécules. Les NQE dans le biote sont définies dans l'arrêté du 27 juillet 2015 (https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000031107256)

Les molécules pour lesquelles une NQE-biote existent sont données ci-dessous (en NQE-MA en µg/kg) :

- Chlordécone :20
- Hexachlorobenzène : 10
- Hexachlorobutadiène : 55
- Mercure et ses composés : 20
- Fluoranthène : 30
- Benzo(a)pyrène : 5
- Dicofol : 33
- Acide perfluorooctanesulfonique et ses dérivés : 9.1
- Hexabromocyclododécane : 167
- Heptachlore et époxyde d'hep-tachlore : 6,7 × 10-3

En outre, les données récoltées peuvent être comparées avec les données historiques aux stations « Pointe de la Grand Rivière » et « Pointe j'ai Fouillé », en Guadeloupe, dans le cadre du ROCCH de la période 2002-2007.

Le tableau suivant présente les valeurs minimales, maximales, moyennes et médianes relevées sur les 2 sites cités pour les paramètres suivants : argent, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, vanadium, zinc.

Tableau 51 : Valeurs comparatives sur les deux stations ROCCH Guadeloupe pour la période de 2002-2007 (IFREMER)

	Argent			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	0,01	0,03	0,02	0,02
Pointe j'ai Fouillé	0,07	0,86	0,4	0,39
	Cadmium			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	0,33	1,04	0,65	0,67
Pointe j'ai Fouillé	0,18	0,34	0,23	0,25
	Chrome			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	0,5	1,48	0,745	0,83
Pointe j'ai Fouillé	0,42	2,42	0,82	1,03
	Cuivre			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	7,9	10,8	9,25	9,35
Pointe j'ai Fouillé	7,3	9,2	7,5	8,02
	Mercure			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	0,04	0,15	0,10	0,10
Pointe j'ai Fouillé	0,05	0,13	0,12	0,10
	Nickel			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	0,66	1,18	0,75	0,84
Pointe j'ai Fouillé	0,52	1,3	0,62	0,83
	Plomb			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	0,1	0,3	0,2	0,18
Pointe j'ai Fouillé	0,1	0,2	0,1	0,14
	Vanadium			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	1,77	4,12	2,99	3,02
Pointe j'ai Fouillé	0,82	2,18	1,38	1,41
	Zinc			
Sites	**Min**	**Max**	**Médiane**	**Moyenne**
Pointe de la Grande Rivière	3922	8087	4555,5	5121,8
Pointe j'ai Fouillé	1986	3832	2288	2716,6

6.9.5. Fréquence de suivi et plan d'échantillonnage

Un suivi annuel est recommandé, avec un prélèvement à une station proche du rejet et un autre à une station de référence loin du rejet et au large. Cela dépend de l'abondance des huîtres de mangroves *Isognomon alatus* et la localisation du rejet par rapport à la mangrove. Il est recommandé d'effectuer une campagne en saison humide et une deuxième en saison sèche.

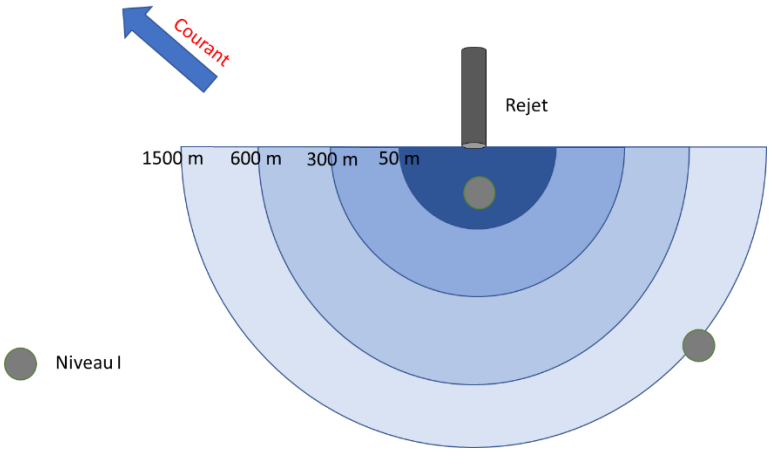


Figure 56 : Plan d'échantillonnage pour le suivi de la contamination chimique dans le biote uniquement pour un suivi de niveau I (gros rejets industriels ou STEU >10 000 EH) avec 2 stations.

6.9.6. Estimation financière

Les prélèvements sont réalisés sur une demi-journée par un intervenant soit 0.5 ETP.
Il faut compter 4 ETP en plus pour la préparation des échantillons de chair, la coordination, le traitement et la bancarisation des données.
Le coût d'analyse est d'environ **1 250€** par un laboratoire spécialisé.
Cela amène à une estimation de coût (HT) de :

Tableau 52 : Estimation des coûts pour le suivi et l'analyse d'un site sur 2 campagnes de la chimie dans le biote

	Nombres de stations	1 année de suivi (2 campagnes)	Campagnes sur 3 ans
Niveau I	2	14 070 € HT	42 210 € HT
Niveau II	0	- € HT	- € HT

6.9.7. Références bibliographiques

De Rock, P., Allenou, J.P., 2019. RBE/BIODIENV /19-02. Réseau d'observation de la contamination chimique (ROCCH) – Surveillance 2018 dans le biote en Martinique, 35 p. Rapport ODE 972.

https://wwz.ifremer.fr/littoral/Reseaux-de-surveillance/Environnement/ROCCH-Reseau-d-Observation-de-la-Contamination-CHimique-du-littoral

Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000031107256

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des informations contenues dans les fiches-actions précédentes en identifiant les principaux points essentiels à la définition d'un cahier des charges de suivi ou à un réseau de surveillance.

Il est rappelé que les coûts sont donnés à titre indicatif et sont des estimations moyennes, auxquelles doivent se rajouter des frais inhérents à chaque structure ou aux moyens logistiques mis en œuvre.

.

6.10. Synthèse méthodologique de suivi des différentes familles de paramètres

Famille de paramètres	Rejets concernés	Matériel	Plongeurs	Nombre de stations		Fréquence d'échantillonnage	Grille de qualité	ETP	Montant (Niveau I : suivi de gros rejets industriels ou STEU >10 000 EH Niveau II : suivi de petits rejets <10 000 EH)
				Niveau I	Niveau II				
1. NATURE DES FONDS	Uniquement rejets industriels sur récifs coralliens et herbiers	Sondeur mono ou multifaisceaux	2	1	-	1 seule fois		9 et/ ou 8	**Acquisition de données acoustiques** : 10 800 € par suivi **Campagne vérité terrain seule (2 jours)** : 2 900 € par suivi
2.COURANTOLOGIE	Rejets industriels et STEU >10 000 EH sur récifs coralliens, herbiers et plaine sablo-vaseuse	-Bateau -ADCP -ADV -Données carto.	2	1	-	1 seule fois			**Niveau I** : 15 700€ par suivi **Niveau II** : pas de suivi nécessaire
3.HYDROLOGIE	Tout type de rejet sur récif corallien, herbier et plaine sablo-vaseuse Rejets industriels et STEU >10 000 EH également sur herbier *d'Halophila* et communautés algales)	-Bateau -Bouteille Niskin -Sondes multi-paramètres -Filtres	0	6	3	4 fois /an sur 6 ans	Oui	5	**Niveau I** : 5 400 € par campagne trimestrielle soit **129 600 € sur 6 ans** **Niveau II** : 4 900 € par campagne trimestrielle soit **117 600 € sur 6 ans**
4.BACTERIOLOGIE	Uniquement rejets de STEU (tout taille confondue) sur récifs coralliens, herbiers indigènes, plaine sablo-vaseuse et communautés algales. et communautés algales. Uniquement STEU >10000 Eh sur herbier à *Halophila stipulacea*.	-Bateau -Bouteille Niskin -Sondes multiparamètres	0	6	3	4 fois /an sur 6 ans OU 12 fois /an la 1ere année et 4 fois/an sur les 5 années suivantes (si zones sensibles)	Oui	4	**Hors zones sensibles :** **Niveau I** : 4 200 € par campagne trimestrielle soit **100 800 € sur 6 ans** **Niveau II** : 4 000 € par campagne trimestrielle soit **96 000 € sur 6 ans** **A proximité de zones sensibles :** **Niveau I** : 4 200 € par campagne trimestrielle soit **134 400 € sur 6 ans** **Niveau II** : 4 000 € par campagne trimestrielle soit **128 000 € sur 6 ans**
5. CONTAMINATION CHIMIQUE DES EAUX	Tout type de rejet sur récif corallien, herbiers de phanérogames et plaine sablo-vaseuse. Rejets industriels et STEU > 10 000 EH sur herbier à *Halophila stipulacea* et communautés algales	-Bateau -Bouteille Niskin -Sondes multiparamètres	2	2	1	1 fois par an sur 3 ans ou 6 ans si pas d'amélioration	Valeurs seuils indicatifs	12	**Niveau I** : 18 000 € par campagne tous les ans soit **108 000 € sur 6 ans** **Niveau II** : 13 400 € par campagne tous les ans soit **80 400 € sur 6 ans**
6. CONTAMINATION CHIMIQUE DU SEDIMENT	Uniquement rejet industriel sur tout type de milieu récepteur	-Bateau -Benne Van Veen -Sonde	0	4	2	Une fois par an sur 6 ans	Oui	5	**Niveau I** : 10 450 € par campagne tous les ans soit **31 350 € sur 3 ans** **Niveau II** : 7 450 € par campagne tous les ans soit **22 350 € sur 3 ans**
7.CONTAMINATION CHIMIQUE DU BIOTE	Uniquement pour les rejets industriels sur récifs coralliens et herbiers de phanérogames (proximité de mangrove indispensable)		0	2	-	1 fois par an sur 6 ans	Valeurs seuils indicatifs		**Niveau I** : 7 035 € par campagne tous les ans (x2/an) soit **42 210 € sur 3 ans** **Niveau II :** pas de suivi nécessaire

8. BIOCENOSES DE SUBSTRATS DURS	Tout type de rejet sur récif corallien, herbier Pour rejet de STEU (toute taille) sur herbier de *Halophila stipulacea*	-Bateau -Matériel de plongée -Quadrat 1 m² -Quadrat 25 cm² -Quadrat 50 cm²	2	4	2	Une fois par an sur 3 ans au minimum	Oui	3	**Récifs coralliens et/ou herbiers :** **Niveau I** : 5 850 € par campagne tous les ans soit **17 550 € sur 3 ans** **Niveau II** : 4 550 € par campagne tous les ans soit 13 650 **€ sur 3 ans**
9. BIOCENOSES DE SUBSTRATS MEUBLES	Tout type de rejet sur plaine sablo-vaseuse	-Bateau -Benne ou carottier -Tamis de 1 mm de vide de maille	0	4	2	Tous les ans sur 3 ans	Oui	7	**Niveau I** : 11 300 € par campagne tous les ans soit **33 900 € sur 3 ans** **Niveau II** : 8 700 € par campagne tous les ans soit **26 100 € sur 3 ans**

CONCLUSION

La bonne qualité des eaux guadeloupéennes et des écosystèmes marins côtiers est d'une importance vitale au regard des enjeux économiques, environnementaux et de santé publique en présence.

Le guide méthodologique proposé ici permet de poser un cadre normé, méthodologique permettant aux gestionnaires et services instructeurs de pouvoir définir de manière normée et homogène les suivis à mettre en œuvre et ainsi, apprécier objectivement l'efficacité des rejets urbains (principalement des systèmes d'assainissement collectif) et d'en mesurer l'impact sur le milieu marin.

Au-delà des fiches-techniques méthodologiques, il présente les améliorations récentes en termes de données scientifiques, de récolte et de bancarisation de ces dernières et vise donc à constituer un dispositif de surveillance de l'impact des rejets urbains à l'échelle de la Guadeloupe.

Les suivis des rejets urbains basés sur un minimum d'observations et d'analyses communes devraient constituer un véritable réseau à l'échelle de la Guadeloupe et plus largement des Antilles françaises.

Ils permettent d'apprécier l'efficacité des systèmes de dépollution mis en œuvre et de renseigner également la qualité des eaux des masses d'eau côtières. Les efforts de méthodologie (prise en compte de la DCE notamment) et de bancarisation permettront dans les années à venir de disposer d'un véritable dispositif de surveillance de l'impact des rejets urbains.

Ce travail devra être complété par les travaux menés sur les mangroves, dont les bioindicateurs d'évaluation d'état sont en cours de développement par le MNHN.

Sur les herbiers de phanérogames marines, le travail de thèse mené par Fanny Kerninon (2021) méritera d'être inclus à ce travail, afin de mieux percevoir la qualité de cet écosystème sensible.

Au-delà d'un suivi par « famille de paramètre » qui identifie et caractérise de manière séparée les pressions de nature diverse, il conviendra de mener une réflexion également sur les effets « cumulatifs » de plusieurs pressions.

Ainsi, par exemple, l'évaluation d'un effet cumulé de plusieurs substances chimiques (= « effet-cocktail ») est peu prise en compte jusqu'à maintenant et mériterait d'être approfondie, pour être en mesure de proposer, comme cela est fait pour certaines lagunes méditerranéennes, un indicateur d'évaluation du risque chimique. Cet indicateur de risque permettrait ainsi, tout en respectant le cadre strict de la DCE en ce qui concerne les substances individuelles, d'aller au-delà de l'évaluation classique molécule par molécule de la DCE en prenant en compte l'effet du mélange de pesticides hydrophiles présents dans l'eau.

.

7. Références

AAMP, 2013. Analyse régionale Guadeloupe Synthèse des connaissances.

Actimar, 2020. CARIB-COAST – Rapport final Tâche 3 – Premières modélisations.

Aminot A., Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.

Andral B., Boissery P., Descamp P., Guilbert A., 2011. Surveillance des rejets urbains et des systèmes d'assainissement en Méditerranée.

Andral, B., Cambert H., Turquet J., Rpoert M., Duval M., Vermenot C., Boissery P., Talec P., 2013. Guide méthodologique pour la surveillance des rejets urbains dans les eaux littorales de la Réunion. https://archimer.ifremer.fr/doc/00123/23471/

Beliaeff, B., Bouvet G., FernandezJ-M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 160 pages.

Bigot L., Gremare A., Amouroux J.M., Frouin P., Marie O., Gaertner J.C., 2008. Assessment of the ecological quality status of soft-bottoms in Reunion island (tropical Southwest Indian Ocean) using AZTI Marine Biotic Indices – Marine Pollution Bulletin 56,704-722.

Bigot L., Wickel J., Pinault M., Frouin P., Bureau S., 2016. Suivi de la qualité des eaux littorales. Contrôle de surveillance des eaux littorales (RCS). Suivi 2016 du benthos de substrat meuble en milieu marin. Rapport MAREX, Université de La Réunion / Entropie pour le compte de l'Office de l'eau Réunion. 42p + Annexes.

Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Louis M., 2002. Les écosystèmes marins côtiers des Antilles In : La pêche aux Antilles. Marseille : IRD Editions.

Creocean, 2019a. Etat des lieux

Creocean, 2019b. Modélisation d'un panache turbide dans le cadre de travaux de l'extension du quai 12. 39p.

Creocean, 2019c. Etude de préfiguration d'un programme de surveillance de la qualité de l'eau. 69p.

Davison W., Zhang H., 1994. In situ speciation measurements of trace components in natural waters using thin-film gels. Nature, 367, 546-548.

De Rock, P., Allenou, J.P., 2019. RBE/BIODIENV /19-02. Réseau d'observation de la contamination chimique (ROCCH) – Surveillance 2018 dans le biote en Martinique, 35 p. Rapport ODE 972.

De Rock, P., Allenou, J.P., 2018. Réseau d'observation de la contamination chimique (ROCCH) - Surveillance 2017 dans le biote en Martinique, 30 p. Rapport ODE 972.

Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. 2000-12-23. Journal officiel des communautés européennes. 72p.

Gonzales J.L., 2012. Guide d'utilisation des techniques d'échantillonnage passif (DGT, POCIS et SBSE) : mise en place, récupération et conditionnement, IFREMER, 26p.

Gonzalez, J-L., Foan, L., Togola, A., Uher, E., Guyomarch, J., Munaron, D., Tapie, N. et Budzinski, H., 2015. Bilan des opérations "grande échelle" (utilisation des échantillonneurs passifs DGT, POCIS, SPMD, SBSE) : substances DCE et pharmaceutiques – Rapport final AQUAREF 2015, 96 p.

GTs DCE LA Réunion et Mayotte « Contaminants ». 2019. Fascicule technique pour la mise en œuvre des suivis « Contaminants chimiques » des réseaux de contrôle de surveillance DCE dans l'océan Indien. R.RBE/DOI/2019-006, 63 p.

Ifremer, 2012. Pressions et impacts, Méditerranée Occidentale.

Impact-Mer, 2016a. Suivi physico-chimique et biologique des stations des réseaux de référence et de surveillance des Masses d'Eau Côtières au titre de l'année 2015. Etat écologique partiel. Rapport de Synthèse, 190p.

Impact-Mer, 2016b. Suivi du milieu récepteur de l'émissaire de la STEU des Anses d'Arlet – Rapport pour : SICSM Martinique, 22 p (+ Annexes).

Impact-Mer, Pareto Ecoconsult, 2011. Directive Cadre européenne sur l'Eau. Suivi des Stations des Réseaux de Référence et de Surveillance des Masses d'Eau côtières et de Transition au titre de l'année 2010. Volet Biologie. Rapport de synthèse : Réseau de référence. Rapport pour : DIREN Martinique, 159 pp (Annexes inclues).

Le Goff R., Ropert M.,Coord., et Bajjouk T., Bein A., Cambert H., Cebeillac Cuet P., A.,Delacourt C., Duval M., Maurel L., Mouquet P., Nicet J.B., Populus J., Quod J.P., Talec P., Turquet J., Vermenot C., Zubia M. (Ifremer, Arvam, Université de la Réunion Pareto Ecoconsult, Université de Bretagne Occidentale, Réserve Naturelle Marine de la Réunion, DEAL de la Réunion et Aamp) ; 2012.

Projet Bio-Indication à la Réunion : définition d'indicateurs adaptés aux récifs coralliens de la Réunion. Rapport Final 2012. Conventions Onema/Ifremer de 2009 à 2012. RST-DOI 2012-16. 123p.

Munaron D., Hubert-Renard C., Mortreux S., Messiaen G., Lagarde F., Derolez V., Tapie N., Budzinski H., Le Roux G., Giraud A., 2017.

Mise en place d'un indicateur d'évaluation du risque lié à la présence de pesticides en milieu lagunaire méditerranéen. Rapport Ifremer RST.ODE/LER-LR/17-06, Mars 2017. 99p.

MTES, 2018. Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales (eaux côtières et eaux de transition) dans le cadre de la DCE. Février 2018. 275 p.

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, 207p.

Safège, 2012. Guide méthodologique pour l'instruction et le suivi des rejets des dispositifs d'assainissement collectif.

Safège, 2013. Evaluation des pressions et des impacts pour les masses d'eau et inventaire des émissions et des flux de polluants du bassin de Mayotte de la Directive Cadre sur l'Eau. 351p.

Safège & Pareto, 2013. Etat des lieux 2013 du district hydrographique de la Réunion. Chapitre 5 les masses d'eau côtières. 89 p.

San ouest, 2013. Essai de traçage à la fluorescéine du rejet d'assainissement de Port-Louis dans le Rhône. 32 p.

Sechaud A., Allenou JP, 2020. Règles de traitements pour les évaluations DCE phytoplancton et physico chimique pour les Antilles –période 2014-2019. IFREMER

UNEP, 2011. Inventaire des stations d'épurations des eaux usées dans les agglomérations côtières méditerranéennes de plus de 2000 Habitants (2010). Plan d'action pour la Méditerranée, MEDPOL.

Zhang H., Davison W., 1995. Performance characteristics of Diffusion Gradients in Thin Films for the *in situ* measurement of trace metals in aqueous solution. Analytical Chemistry, 67, 3391–3400.

Webographie :

https://www.ars.sante.fr/

BRGM : https://www.brgm.fr/

REVOSIMA Bulletin n°16 du 1 au 31 mars 2020 de l'activité sismo-volcanique à Mayotte

Ifrecor (2019) : ifrecor.fr/comite-guadeloupe/

ifrecor.fr/comite-mayotte/

ifrecor.fr/comite-la-reunion/

https://wwz.ifremer.fr/

Directives, lois, ordonnances, décrets, arrêtés :

Arrêté du 6 novembre 1996 pris en exécution de l'article 10, premier alinéa, du décret no 75-996 du 28 octobre 1975 portant application des dispositions de l'article 14-1 de la loi du 16 décembre 1964 modifiée relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution.

Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5.

Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R.212-11 et R.212-18 du code de l'environnement.

Arrêté du 24 août 2017 modifiant dans une série d'arrêtés ministériels les dispositions relatives aux rejets de substances dangereuses dans l'eau en provenance des installations classées pour la protection de l'environnement.

Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R.212-11 et R.212-18 du code de l'environnement.

Arrêté du 30 juin 2020 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Directive n° 91/271 du 21/05/91 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires

Directive n° 2008/56/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17/06/00 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre stratégie pour le milieu marin).

Directive n° 2000/60/CE du 23/10/00 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

La Loi française sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) n°2006-1772 du 30/12/2006 renforçant le droit d'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans des conditions économiquement acceptables pour tous.

Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement Art L.219-7 – « Le milieu marin fait partie du patrimoine commun à la Nation. Sa Protection et la Conservation de sa

biodiversité et son utilisation durable par les activités maritimes et littorales dans le respect des habitats et des écosystèmes marins sont d'intérêt général ».

Articles réglementaires :

Code de l'environnement :

-Livre II : Milieux Physique – Titre I : Eau et milieux aquatiques et marins (Articles L210-1 à L219-18).

-Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances – Titre 1 : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (Articles L511-1 à L597-46).

Code de la santé publique :

-Première partie : Protection générale de la santé (Articles L1110-1 à L1545-4) :
-Livre III : Protection de la santé et environnement (Articles L1311-1 à L1343-4).

Code général des collectivités territoriales :

-Deuxième partie : La commune (Articles L2111-1 à L2563-7)
-Livre II : Administration et services communaux (Articles L2211-1 à L2253-7)
-Titre II : Services communaux (Articles L2211-1 à L2224-30)
-Chapitre VI : Services publics industriels et commerciaux (Articles L2224-1 à L2224-30)
-Section 2 : Assainissement (Articles L. 2224-7 à L.2224-12).

-Cinquième partie : La coopération locale (Articles L5111-1 à L5915-3)
-Livre II : La coopération intercommunale (Articles L5210-1 à L5223-3)
-Titre I: Etablissements publics de coopération intercommunale (articles L5210-1 à L5219-12)
-Chapitre IV : Communauté d'agglomération (Articles L5216-1 à L5216-11).
-Section 4 : Compétences (Articles L5216-5 à L5216-7-1).

-Deuxième partie : La commune (Articles R2111-1 à R2573-64)
-Livre II : Administration et services communaux (Articles D2211-1 à R2253-1)
-Titre II: Services communaux (Articles R2221-1 à R2226-1)
-Chapitre IV : Services publics industriels et commerciaux (Articles R2224-5-1 à R2224-22-52)
-Section 2 : Eau et assainissement (Articles RD2224-5-1 à R2224-22-6).

Circulaire :

Circulaire du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) du 29 septembre 2010 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées.

creocean

Environnement & océanographie

www.creocean.fr

keran

Des hommes, une planète

GROUPE KERAN