

RAPPORT FINAL

Réseau de Contrôle de Surveillance des eaux littorales de La Réunion

Suivi du benthos de substrat meuble en milieu marin – Année 2019

Rapport final

Office de l'eau Réunion

Octobre 2019



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

UR | UNIVERSITÉ
DE LA RÉUNION


creocean
Océan Indien

MAÎTRE D'OUVRAGE

RAISON SOCIALE	OFFICE DE L'EAU REUNION
COORDONNÉES	49 rue Mazagran 97400 Saint-Denis Tél. : 02 62 30 84 84
INTERLOCUTEUR	Léonard DURASNEL E-mail : ldurasnel@eaureunion.fr Tel : 02 62 30 84 83

CREOCEAN OCEAN INDIEN

COORDONNÉES	Technopole Nord – 16 Rue Albert Lougnon 97490 SAINTE CLOTILDE Tél. : 02 62 73 45 52 E-mail : creocean-oi@creocean-oi.fr
INTERLOCUTEUR	Mathilde FACON Tél. : 06 93 40 53 21 E-mail : facon@creocean-oi.fr

REDACTEURS

RÉFÉRENCE	DATE	RÉDACTEUR
190129-2	24/08/2019	M. FACON
190129-2-ENTROPIE	27/09/2019	L. BIGOT / P. FROUIN
190129-2-CQ	17/10/2019	R. GARNIER
190129-2-rqOLE	11/12/2019	M. FACON
190129-2-rqIFREMER	18/12/2019	M. FACON

A CITER SOUS LA FORME :

BIGOT L., FROUIN P., GARNIER R., FACON M., 2019. Contrôle de surveillance des eaux littorales de La Réunion. Suivi du benthos de substrat meuble en milieu marin. Rapport final - Année 2019. Rapport CREOCEAN OI / Univ. De La Réunion pour le compte de l'Office de l'Eau Réunion, 42p + annexes.

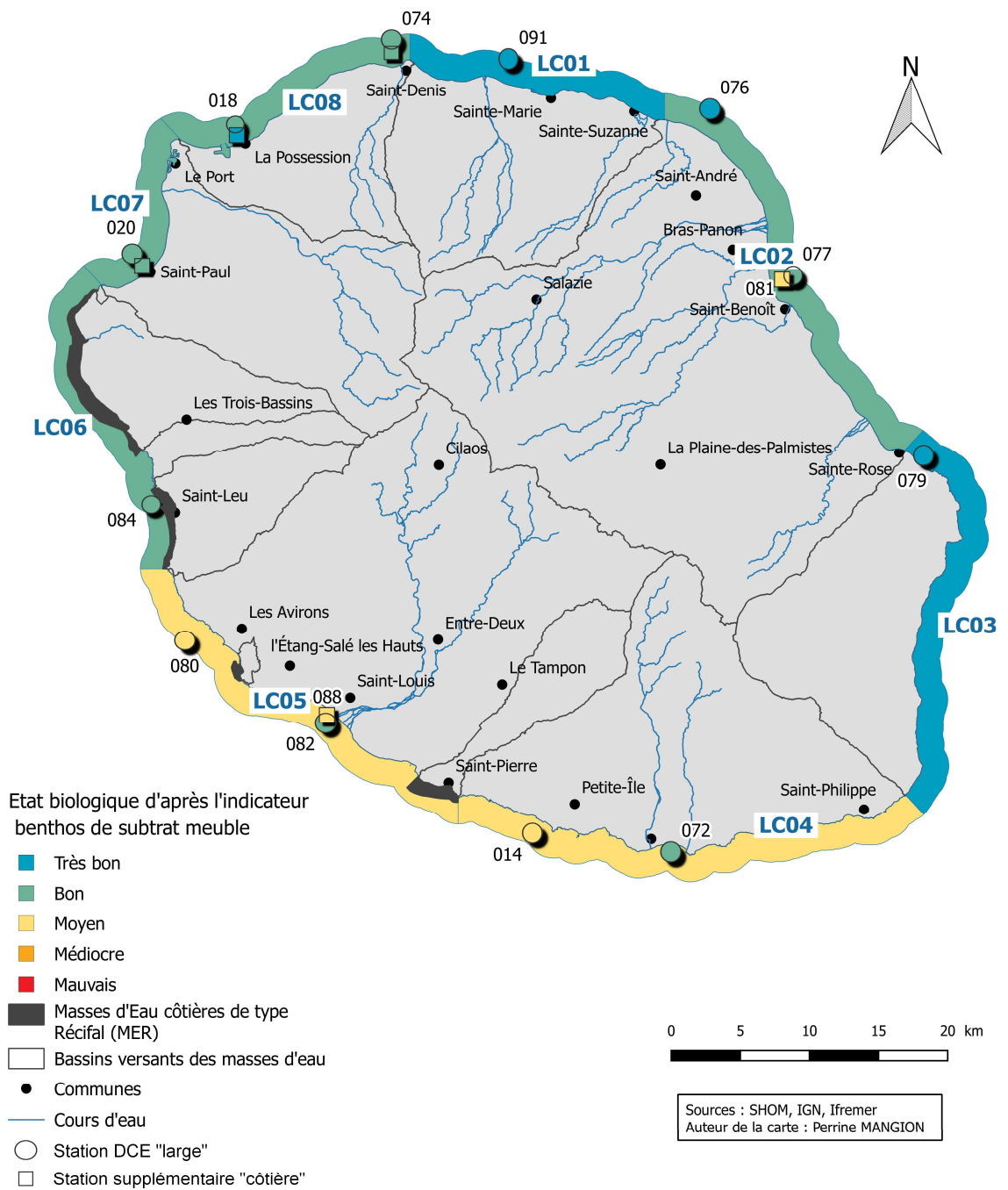
RÉSUMÉ

Dans le cadre du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), le suivi du benthos de substrats meubles est opéré sur les 8 masses d'eau côtières non récifales de la Réunion, afin de déterminer leur état écologique. Ce suivi est effectué tous les 3 ans depuis 2013. Il est complété par un Réseau de Contrôle d'Enquête (RCE), visant à déterminer les raisons d'un mauvais état.

L'Office de l'Eau Réunion a mandaté Créocéan Océan Indien et son partenaire Entropie pour effectuer le suivi en 2019, selon les protocoles définis par le fascicule technique du Groupe de Travail « Benthos de Substrats Meubles ». Les 17 stations ciblées (12 stations RCS au large et 5 stations côtières pour améliorer l'interprétation des données) ont été échantillonnées en mars 2019. Chaque échantillon a fait l'objet d'une caractérisation sédimentaire et d'une analyse faunistique. Les résultats indiquent :

- ▶ Des **caractéristiques différentes sur les stations profondes, plus stables et comparables entre elles, et les stations côtières**, plus hétérogènes. Ces dernières étant plus fréquemment remaniées par les houles ;
- ▶ Une augmentation de la fraction en fines et en matière organique sur Saint-Louis (large) qui pourrait s'expliquer par l'augmentation des pressions sur le bassin versant, en cohérence avec les résultats du RCE. Une augmentation importante de la fraction en fines est également observée sur La Possession (Côte), sans qu'une déstabilisation des communautés de macrofaune benthique ne soit observée ;
- ▶ Un total de 157 taxons et 737 individus. Il s'agit des valeurs d'abondance les plus faibles depuis 2013, ce qui pourrait s'expliquer par des variations interannuelles et la pluviométrie exceptionnellement faible en 2019 ;
- ▶ Une situation **globalement stable avec un état « Très bon » à « Moyen »** sur les stations DCE. L'état « Moyen » observé sur Les Avirons et Grande Anse semble s'expliquer par la faible richesse spécifique, liée aux caractéristiques structurelles des stations, mais sera à surveiller lors du prochain contrôle en 2022 ;
- ▶ Une **amélioration transitoire de l'état sur la station Saint-Joseph**, qualifié de « Bon » en 2019. L'année exceptionnellement sèche en 2019, qui a pu conduire à un déficit d'apports en provenance du bassin versant qui caractérisent habituellement cette station (RCE, 2019), semble expliquer ce résultat ;
- ▶ Un **état « Moyen » sur les stations côtières Saint-Louis (Côte) et Saint-Leu (Côte)**. Il est conseillé de surveiller l'état de ces stations « sentinelles » lors du prochain RCS.

La carte ci-dessous synthétise l'état de chaque station du RCS et la qualité des masses d'eau en 2019, au regard de l'indicateur M-AMBI. L'état des masses d'eau a été établi en fonction de la station RCS la plus déclassante. Au sens de la DCE, il est à noter que l'état des masses d'eau au regard de l'indicateur M-AMBI est réalisé sur la base de la moyenne des suivis de l'état des substrats meubles réalisés sur une période de six ans.



État biologique des masses d'eaux côtières de La Réunion selon l'indicateur « benthos de substrat meuble » en 2019 (en fonction de la station RCS la plus déclassante)

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	8
2	METHODES	9
2.1	Plan d'échantillonnage	9
2.2	Moyens à la mer et équipe	11
2.3	Déroulé de l'intervention en mer	11
2.4	Protocoles de prélèvements et d'analyses	12
2.4.1	Prélèvement de sédiment	12
2.4.2	Analyses pour la caractérisation sédimentaire	13
2.4.3	Analyses de la faune benthique	14
2.5	Contrôle qualité	16
2.5.1	Traçabilité et conservation des échantillons	16
2.5.2	Fiches stations et métadonnées	16
2.6	Bancarisation	16
3	RESULTATS	17
3.1	Caractérisation sédimentaire	17
3.1.1	Granulométrie	17
3.1.2	Matière organique	19
3.1.3	Carbonate de calcium	19
3.2	Structure de la macrofaune benthique	21
3.2.1	Abondance et richesse taxonomique en 2019	21
3.2.2	Structure spatiale des communautés en 2019	24
3.2.3	Évolution de la macrofaune sur la période 2013-2019	26
3.3	Les indices biotiques de la Directive Cadre sur l'Eau	30
3.3.1	Application des indices réglementaires en 2019	30
3.3.2	Évolution spatio-temporelle des indices de la DCE sur 10 ans	35
3.4	Retours d'expérience de la campagne de terrain	39
4	CONCLUSIONS & PERSPECTIVES	40
5	BIBLIOGRAPHIE	43
	ANNEXES	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation des 17 stations de substrats meubles	10
Figure 2: Photographie du sédiment avec le numéro de station (gauche) et du type de refus (droite) 12	12
Figure 3 : Tamisage (gauche) et récupération des individus fixés sur le tamis (droite).....	14
Figure 4: Répartition granulométrique en 2019 et seuils de la classification de Kouyoumontzakis	17
Figure 5 : Évolution du taux de particules fines sur les stations DCE entre 2013 et 2019	18
Figure 6 : Evolution du taux de matière organique sur les stations DCE entre 2013 et 2019	19
Figure 7: Evolution de la teneur en carbonates de calcium sur les stations DCE entre 2016 et 2019 .	20
Figure 8 : Densités moyennes de macrofaune (ind./m ²) et richesse spécifique globale (S) par station en 2019. A gauche (bleu) les stations DCE et à droite (jaune) les stations côtières complémentaires..	23
Figure 9 : Répartition des taxons majeurs de la macrofaune, par station, en 2019. A gauche les stations DCE et à droite les 5 stations côtières complémentaires	25
Figure 10: Analyse multidimensionnelle (nMDS) et Classification Hiérarchique (Clustering) sur la structure des communautés benthiques des 17 stations échantillonnées en 2019.....	26
Figure 11 : Évolution spatio-temporelle de l'abondance globale et de la diversité (H' indice de Shannon) entre 2013 et 2019 sur les stations DCE de référence « large »	27
Figure 12 : Évolution spatio-temporelle de l'abondance globale et de la diversité (H' indice de Shannon) entre 2013 et 2019 sur les stations côtières supplémentaires. A titre de comparaison la station de Saint-Joseph (comparable à une signature « côtière ») en orange	28
Figure 13 : Analyse multidimensionnelle (nMDS) et Classification Hiérarchique (Clustering) sur la structure des communautés benthiques des 17 stations échantillonnées entre 2013 et 2019. En haut les stations DCE (« large ») et en bas les stations côtières complémentaires	29
Figure 14 : Modèle théorique de la succession de la présence des groupes d'organismes en fonction d'un gradient de pollution (d'après Hily 1984 et Borja 2006).....	31
Figure 15 : Répartition des groupes de polluo-sensibilité par station et par réplicat en 2019 : du plus stable et sensible aux perturbations (bleu / groupe I), au plus résistant et indicateur de pollution (rouge / groupe V).....	32
Figure 16 : Calcul des indices AMBI par station en 2019 et état de la masse d'eau associée (très peu perturbée en bleu foncé à très perturbée en rouge).	33
Figure 17 : Calcul de l'indice M-AMBI en 2019 et valeurs de la diversité (H'), de l'indice AMBI et de la richesse spécifique (S) et état au sens de l'indicateur Benthos de substrats meubles.	34
Figure 18 : Évolution spatio-temporelle des indices « AMBI » (haut) et « M-AMBI » (bas) calculés sur les 17 stations DCE de La Réunion entre 2008 et 2019	37
Figure 19 : Etat écologique des masses d'eaux côtières de La Réunion selon l'indicateur « benthos de substrat meuble » en 2019 (en fonction de la station RCS la plus déclassante).....	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Localisation des stations d'échantillonnage « Benthos de Substrats Meubles » (WGS84)..	9
Tableau 2 : Déroulé effectif de la campagne en mer de mars 2019	11
Tableau 3 : Paramètres et méthodes d'analyses en laboratoire.....	13
Tableau 4 : Classes de sédiment en fonction de la teneur en fines (<63µm).....	13
Tableau 5 : Limites des classes de l'indice M-AMBI adaptées au contexte de La Réunion (Bigot et al, 2008) et état écologique de la masse d'eau correspondant	15
Tableau 6 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités (d'après Hily, 1984)	31
Tableau 7 : Indices de diversité faunistique (« M-AMBI », « AMBI », H', S) sur les 17 stations suivies en 2008 (Cartomar), 2013, 2016, et 2019 regroupées en stations « large » du RCS (haut) et stations côtières dites « complémentaires » (bas).....	38

GLOSSAIRE

État : classe descriptive, définie d'après la valeur d'un indicateur numérique selon une échelle prédéfinie. Dans le cas du Benthos de Substrats Meubles et de la DCE, l'état peut être « Très bon », « Bon », « Moyen », « Médiocre » ou « Mauvais ».

Indicateur : combinaison d'une ou plusieurs métriques (et/ou indices) pour évaluer un élément de qualité suivant des règles définies (pondération, ...). Il se matérialise par un nombre compris entre 0 et 5 qui renvoie à un état.

Masse d'eau : découpage des eaux côtières en unités cohérentes, ayant vocation à constituer les unités de l'évaluation de l'état.

1 Contexte et objectifs de l'étude

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE du 23 octobre 2000 a pour objectif l'atteinte, pour tous les milieux aquatiques, du « bon état » chimique et écologique.

Concernant le milieu marin, il s'agit de s'assurer du bon fonctionnement écologique des écosystèmes côtiers et récifaux, en mettant en œuvre des actions de préservation voire d'amélioration de leur état.

Dans le cadre de sa mission d'étude et de suivi des milieux littoraux, l'Office de l'eau Réunion assure depuis 2012 la maîtrise d'ouvrage des réseaux de suivi des 12 masses d'eaux littorales de La Réunion (8 masses d'eau côtières et 4 masses d'eau côtières de type récifal). Ces suivis concernent principalement la physico-chimie et la chimie des eaux, les invertébrés benthiques de substrats meubles, le benthos de substrats durs et le phytoplancton.

Le présent marché s'inscrit dans le cadre du suivi du benthos de substrats meubles du réseau de contrôle de surveillance (RCS) des masses d'eau côtières. Ce réseau ne prend pas en compte les masses d'eau côtières de type récifal, en raison de leur hétérogénéité spatiale et temporelle. Le GT DCE a donc jugé le suivi du benthos de substrats meubles non pertinent en masses d'eau côtières de type récifal. Ce suivi ne concerne que les 8 masses d'eau côtières, à raison d'une campagne tous les 3 ans, depuis 2013. Pour certaines masses d'eau de qualité inférieure au bon état, un réseau de contrôle d'enquête (RCE) a été mis en place en 2018 pour comprendre l'origine du déclassement.

L'objectif principal est de contribuer à l'évaluation de la qualité biologique des masses d'eau côtières sur la base de l'indicateur M-AMBI selon les prescriptions du fascicule technique pour la mise en œuvre du suivi « Benthos de Substrats Meubles » (décembre 2017 v3.0).

Les objectifs spécifiques sont :

- ▶ La mise en œuvre des échantillonnages "terrain" ;
- ▶ Le prétraitement/conditionnement des échantillons à bord de l'embarcation ;
- ▶ La rédaction d'un rapport de campagne ;
- ▶ Les identifications faunistiques ;
- ▶ La caractérisation sédimentaire ;
- ▶ La bancarisation dans Quadrige² ;
- ▶ L'interprétation des données et la rédaction d'un rapport de synthèse ;
- ▶ Une réunion de restitution finale.

Le présent rapport porte sur **l'analyse et l'interprétation des données sédimentaires** collectées sur 17 stations, et plus particulièrement :

- ▶ Le calcul des valeurs de l'indicateur « M-AMBI » sur chaque station ;
- ▶ L'évolution de l'état des stations depuis 2013 ;
- ▶ L'interprétation des données au regard des caractéristiques sédimentaires, des retours d'expérience des experts et opérateurs de terrain ;
- ▶ Les hypothèses sur les facteurs explicatifs de la qualité des masses d'eau.

2 Méthodes

La campagne de terrain menée les 12 et 13 mars 2019 s'inscrit dans la continuité du suivi RCS précédent, effectué en 2016 par le GIE MAREX. Les méthodes employées sont identiques à celle des suivis précédents, et conformes aux prescriptions du fascicule technique GT DCE Réunion « Benthos de Substrats Meubles » (2017).

2.1 Plan d'échantillonnage

Conformément au fascicule technique, l'échantillonnage a été effectué sur les 17 stations des eaux côtières de La Réunion :

- ▶ **12 stations principales composant le RCS**, à partir desquelles est réalisée l'évaluation de l'état de la masse d'eau. Elles sont positionnées au-delà de 40m de profondeur afin de garantir une stabilité sédimentaire et une meilleure représentativité de l'état moyen des masses d'eau ;
- ▶ **5 stations complémentaires** ajoutées à proximité de la côte, afin d'appréhender les perturbations locales liées étroitement aux pressions anthropiques du bassin versant et à l'impact des houles extrêmes.

Ces stations complémentaires sont positionnées en face des communes et des stations principales les plus proches, afin de former un continuum de la côte vers le large.

Tableau 1 : Localisation des stations d'échantillonnage « Benthos de Substrats Meubles » (WGS84)

Masse d'eau	CARTOMAR (2008)	Mnémonique Q ²	Lieu de surveillance	Profondeur (m)	Longitude	Latitude
LC01	B172*	126-P-091	Saint-Denis - Gillot	56	55,51941	-20,87140
LC02	B186	126-P-076	Saint-André - Bois Rouge	68	55,65990	-20,90392
LC02	B196	126-P-077	Saint-Benoît Bourbier (Large)	40	55,71735	-21,01193
LC02	B197	126-P-081	Saint-Benoît Bourbier (Côte)	22	55,71060	-21,01464
LC03	B214	126-P-079	Sainte-Rose - Bassin des Harengs	49	55,80900	-21,12870
LC04	B47	126-P-014	Petite Ile - Grande Anse	57	55,53647	-21,37473
LC04	-	126-P-072	Saint-Joseph	40	55,63283	-21,38713
LC05	B037	126-P-080	Les Avirons - Bois Blanc	72	55,29362	-21,24927
LC05	B025	126-P-082	Saint-Louis - Bel Air (Large)	55	55,39198	-21,30295
LC05	-	126-P-088	Saint-Louis - Bel Air (Côte)	23	55,39307	-21,29805
LC06	-	126-P-084	Saint-Leu	73	55,26948	-21,16020
LC07	B121	126-P-020	Saint-Paul (Large)	73	55,25697	-20,99783
LC07	-	126-P-083	Saint-Paul (Côte)	21	55,26393	-21,00576
LC08	B155	126-P-074	Saint-Denis - Barachois (Large)	54	55,43767	-20,85905
LC08	B144	126-P-075	Saint-Denis - Barachois (Côte)	23	55,43776	-20,86681
LC08	B133	126-P-018	La Possession (Large)	76	55,32802	-20,91542
LC08	-	126-P-078	La Possession (Côte)	22	55,33000	-20,92116

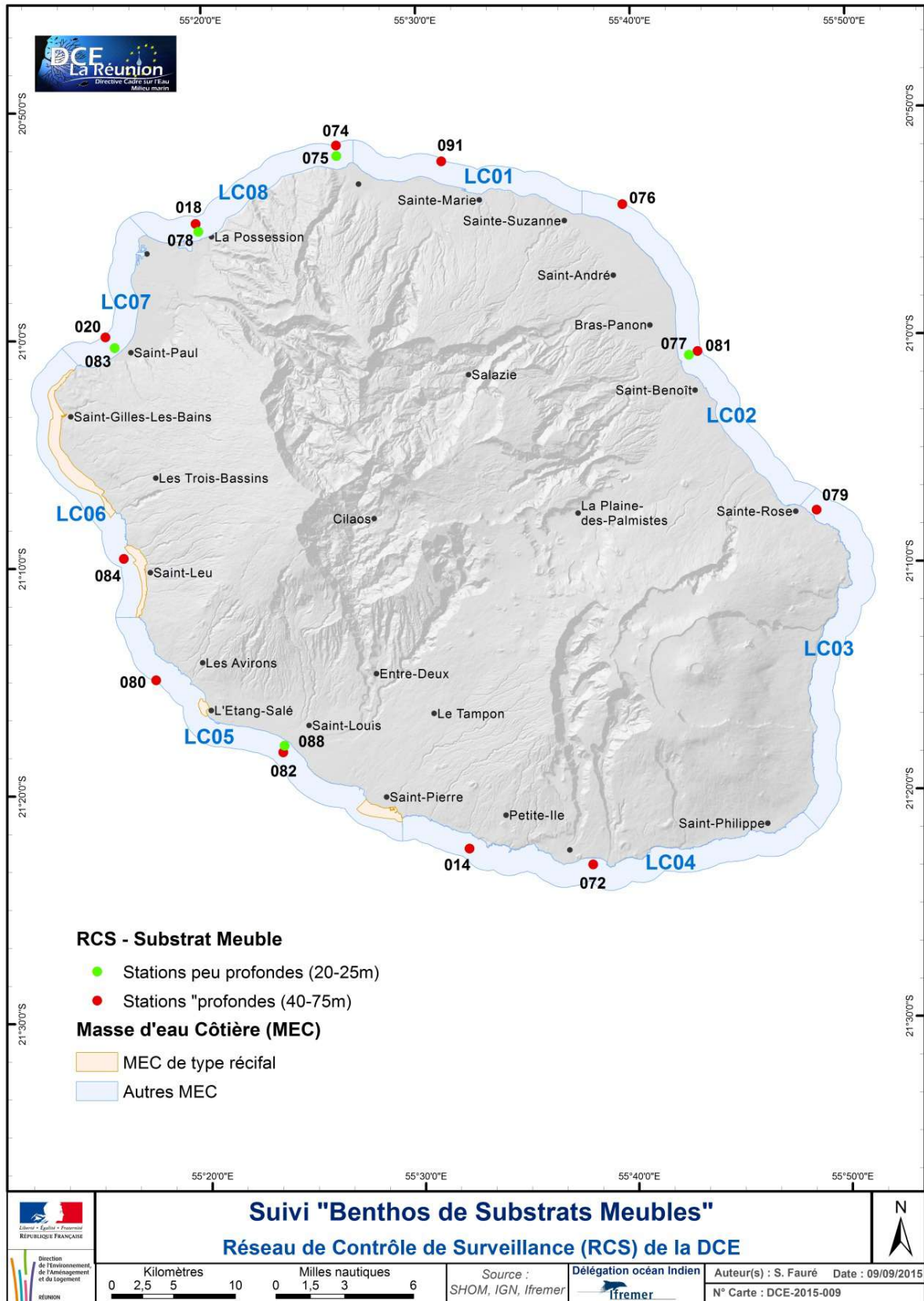


Figure 1 : Carte de localisation des 17 stations de substrats meubles

2.2 Moyens à la mer et équipe

Le navire de charge (division 222) le LYS (société TSMOI) a été affrété. Faisant 9m de longueur, il offre un équipage expérimenté, le matériel nécessaire à la manipulation de la benne (treuil hydraulique, potence) et à la conservation au froid des échantillons.

L'équipe de terrain était composée de 6 personnes, avec une rotation le mardi soir à Saint-Pierre entre 2 ingénieurs de CREOCEAN OI :

- ▶ ENTROPIE (2 personnes) : Lionel BIGOT et Patrick FROUIN ;
- ▶ CREOCEAN OI (2 personnes) : Mathilde FACON, Louis FRECHON et Rémi GARNIER ;
- ▶ TSMOI (2 personnes) : Michel GUILLEMARD et Hervé DULAC.

2.3 Déroulé de l'intervention en mer

La campagne de suivi a été réalisée les 12 et 13 mars 2019. **Les excellentes conditions de mer, une équipe bien formée de 6 personnes et les moyens logistiques et à la mer qui ont été mobilisés ont permis de réaliser la campagne sur 2 jours consécutifs, dans le respect de la réglementation du code du travail.** Le Tableau 2 présente les stations échantillonnées chaque jour, ainsi que les conditions météorologiques. Celles-ci ont été exceptionnellement favorables sur l'ensemble du tour de l'île. Le courant et le vent n'ont pas été gênants, avec des intensités nulles à faibles. Dans ces conditions rares à La Réunion, l'ensemble du suivi a pu être réalisé sur 2 jours au lieu des 3 initialement prévus.

Tableau 2 : Déroulé effectif de la campagne en mer de mars 2019

Date	Heure	Station	Etat de la mer	Vent	Courant	Type de sédiment	Remarque
12/03/2019	07:45	91 – Saint-Denis Gillot	Calme	Nul	Nul	Sable	1 ^{er} coup de benne infructueux
	08:42	76 – Saint-André Bois Rouge	Calme	Nul	Faible	Sable	
	09:35	77 – Saint-Benoit Bourbier Large	Calme	Faible	Nul	Sablo-vaseux	
	10:15	81 – Saint-Benoit Bourbier Côte	Calme	Faible	Faible	Sable fin	
	11:32	79 – Sainte-Rose Bassin des Harengs	Calme	Faible	Faible	Sable	
	13:55	72 – Saint-Joseph	Calme	Nul	Nul	Sable fin	
	14:47	14 – Petite Ile Grande Anse	Calme	Nul	Nul	Sable grossier	
	15:43	82 – Saint-Louis Bel Air Large	Calme	Nul	Nul	Vase	
16:12	88 – Saint-Louis Bel Air Côte	Calme	Nul	Nul	Sable fin		
13/03/2019	09 :08	80 – Les Avirons Bois Blanc	Calme	Faible	Nul	Sable grossier	
	09:59	84 – Saint-Leu	Calme	Modéré	Nul	Sable	
	11:26	83 – Saint-Paul Côte	Calme	Faible	Nul	Sable fin	
	11:49	20 – Saint-Paul Large	Calme	Modéré	Nul	Vase	6 ^{ème} coup de benne sableux → refus et nouveau coup de benne
	14:01	75 – Saint-Denis Barachois Côte	Calme	Faible	Nul	Sable fin	
	14:21	74 - Saint-Denis Barachois Large	Calme	Nul	Nul	Sablo-vaseux	
	15:11	78 – La Possession Côte	Calme	Faible	Nul	Sable fin	
15:35	18 – La Possession Large	Calme	Faible	Nul	Sablo-vaseux		

2.4 Protocoles de prélèvements et d'analyses

Les méthodes mises en œuvre sont conformes aux préconisations du fascicule technique GT DCE Réunion « Benthos de Substrats Meubles » (2017). Elles ne sont donc pas reprises ici. Seuls les points nécessitant des précisions sont détaillés.

2.4.1 Prélèvement de sédiment

Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'une benne Van Veen de 0,1 m², fournie par ENTROPIE et manipulée grâce à un treuil hydraulique. Elle est manœuvrée par un marin expérimenté de la société TSMOI. L'engin de prélèvement est identique à celui utilisé lors du RCS 2016.

Une benne Van Veen de secours (fournie par CREOCEAN OI) était également présente à bord.

Une fois la benne sécurisée sur le pont, son contenu est photographié avec une plaquette graduée indiquant le numéro de station et de réplicat. Les différents paramètres descriptifs du sédiment (couleur, aspect, odeur, etc.) sont consignés et sécurisés dans un formulaire dédié (tablette numérique).

Sur chaque station, six prélèvements (réplicats) sont réalisés :

- ▶ 5 prélèvements faunistiques (soit une surface totale de prélèvement de 0,5 m² par station).
- ▶ 1 prélèvement pour la caractérisation physico-chimique du sédiment de 5 litres minimum dans le sable, et 10 litres minimum dans la vase.

Lors de chaque prélèvement, la position et la profondeur sont relevées par GPS et par sondeur au moment du déclenchement de la benne sur le fond. Dans le cas d'un écart supérieur à 80m de distance ou 5m de profondeur par rapport au point central de la station, le coup de benne doit être refusé. Toutefois, ce contexte n'a pas été rencontré lors de la campagne et l'ensemble des prélèvements ont pu être réalisés dans un rayon inférieur à 80m autour du point théorique.

Les métadonnées relatives à chaque prélèvement (cf. fascicule technique) sont relevées directement sous Excel au moyen d'une tablette étanche de terrain.



Figure 2: Photographie du sédiment avec le numéro de station (gauche) et du type de refus (droite)

2.4.2 Analyses pour la caractérisation sédimentaire

2.4.2.1 Prélèvement et conditionnement des échantillons

L'échantillonnage est réalisé au centre, au niveau de la trappe de la benne. Le préleveur est muni de gants en latex non poudrés, changés à chaque station pour éviter toute contamination.

Le sédiment est transvasé dans le flaconnage prétraité fourni par le laboratoire. Pour chaque station, un flacon en plastique est rempli et étiqueté avec la date, le code de la station, le nom des analyses et les références du projet. Ils sont ensuite rangés au frais et à l'abri de la lumière dans des glacières électriques 12V.

Une fois à terre, les échantillons ont été placés dans un délai de 2h maximum en congélateur à -20°C au laboratoire de CREOCEAN OI (Sainte-Clotilde). Du fait du déplacement de la voiture de service de Créocéan OI à Saint-Pierre (équipée de prises 12V pour les glacières) à la moitié du tour de l'île, tous les échantillons ont été rapatriés et stockés au laboratoire de CREOCEAN OI le jour même.

2.4.2.2 Analyses en laboratoire

Comme en 2016, les échantillons sont analysés par le Laboratoire de La Drôme qui dispose de l'**accréditation COFRAC 1-0852**. Le détail des méthodes est indiqué ci-dessous.

Tableau 3 : Paramètres et méthodes d'analyses en laboratoire

Paramètre	Unité	Accréditation COFRAC	Méthode	LQ
Granulométrie	%	Oui	Laser (méthode interne CPS-M033)	-
Carbonate de calcium	%	Non	Méthode BERNARD	0,1
Matières sèches minérales	%MS	Oui	NF EN 15169	-
Matières sèches organiques	%MS	Oui	NF EN 15169	-
Matières sèches	%	Oui	NF EN 12880	-

2.4.2.3 Analyse des données sédimentaires

Les paramètres mesurés permettent de décrire l'environnement physique de chaque station, afin d'interpréter les caractéristiques des peuplements de macrofaune.

La granulométrie sera interprétée en fonction de la teneur en particules fines (<63µm), au regard de la classification de Kouyoumontzakis (Marty, 1993).

Tableau 4 : Classes de sédiment en fonction de la teneur en fines (<63µm)

Classe sédimentaire	Teneur en fines
Sables purs	0-5%
Sables envasés et vases sableuses	5-25%
Vases sableuses et vases	25-50%
Vases	50-75%
Vases pures	>75%

2.4.3 Analyses de la faune benthique

2.4.3.1 Prélèvement du benthos et prétraitement à bord

Les prélèvements de sédiments destinés à l'analyse du benthos sont tamisés *in situ* (sur le bateau) sur un tamis de 1 mm de vide de maille. Le refus du tamis contenant la faune benthique mélangée à des particules grossières, débris coquilliers et autres fragments est conditionné dans des contenants spécifiques fournis par le laboratoire ENTROPIE.

Afin de ne pas détériorer les individus, une attention particulière a été portée sur :

- ▶ La puissance du jet de la pompe à eau utilisée pour le tamisage et l'élutriation ;
- ▶ La récupération des individus fixés sur le tamis à l'aide d'une pince dédiée.

La manipulation des échantillons biologiques et leur fixation (quantité et titrage d'alcool) sont identiques aux prescriptions du fascicule technique.



Figure 3 : Tamisage (gauche) et récupération des individus fixés sur le tamis (droite)

2.4.3.2 Tri et détermination du benthos

Les prélèvements sédimentaires ont été triés au laboratoire Entropie après un délai minimal de 48h de fixation dans l'alcool. Le rinçage est effectué par des ingénieurs spécialisés dans la manipulation des échantillons biologiques.

Une première phase de tri et de séparation des principaux taxons majeurs a été effectuée (regroupement des Polychètes, Mollusques, Crustacés, etc.) afin de faciliter le travail ultérieur de taxonomie.

L'identification taxonomique permettant d'atteindre un niveau générique et / ou spécifique a été réalisée par la suite par les experts L. BIGOT et P. FROUIN du laboratoire Entropie à l'aide de clés de détermination spécifiques aux différents groupes taxonomiques rencontrés.

2.4.3.3 Interprétation des données faunistiques

Les analyses se décomposent en plusieurs étapes :

- ▶ Analyse de la répartition taxonomique (Annélides, Crustacés, Mollusques,...) ;
- ▶ Analyse de la richesse spécifique (S) ;
- ▶ Analyse de l'abondance relative par espèce (N).

Les données sont ensuite synthétisées sous formes de tableaux de contingence (matrices « Espèces X Stations / réplicats ») en abondance.

Le traitement des données visera à analyser la structure des communautés benthiques, en incluant :

- ▶ Le calcul de densités faunistiques (par espèce / par réplicat / par station) ;
- ▶ Le calcul des indices de diversité (indice de Shannon Weaver H', richesse spécifique) ;
- ▶ Le calcul des indices biotiques AMBI et M-AMBI (Borjaet *al.* 2003, Borja 2004) ;
- ▶ Des analyses multidimensionnelles (nMDS, Classification par Analyse Hiérarchique, ANOSIM) (Clarke et Warwick, 2001).

L'interprétation de ces indices est effectuée au regard des résultats de la caractérisation sédimentaire, avec une comparaison temporelle avec les données des campagnes précédentes.

Les calculs des indices AMBI et M-AMBI sont effectués sur la base des données faunistiques disponibles (données mises à jour du site AZTI), et sur l'expérience des auteurs pour l'assignation des espèces tropicales à des groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (Bigot *et al.* 2006 ; Bigot *et al.* 2016). Dans le cas où plusieurs stations de référence sont présentes au sein d'une même masse d'eau, la valeur du M-AMBI globale retenue est la moyenne des résultats M-AMBI de chaque station.

Les limites des intervalles de classes de qualité spécifiques à La Réunion sont présentées ci-dessous.

Tableau 5 : Limites des classes de l'indice M-AMBI adaptées au contexte de La Réunion (Bigot et al, 2008) et état écologique de la masse d'eau correspondant

Classe M-AMBI	[0 – 0,20[[0,20 – 0,40[[0,40 – 0,61[[0,61 – 0,82[[0,82 – 1]
État écologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon

2.5 Contrôle qualité

Un des objectifs visés est d'établir un contrôle qualité rigoureux sur la totalité du protocole mis en œuvre, depuis la collecte jusqu'à l'analyse des données, afin d'assurer des résultats fiables. Ces systèmes qualité, mis en place par CREOCEAN OI, permettront d'apporter au maître d'ouvrage des garanties solides en matière d'évaluation du programme.

2.5.1 Traçabilité et conservation des échantillons

Les échantillons ont été expédiés congelés le lundi 18/03/2019 via Chronopost au laboratoire d'analyses de la Drome, dans des glacières dûment équipées de pains de glace. Ils ont été réceptionnés le 20/03/2019 dans les conditions suivantes :

- L'ensemble des échantillons demeuré congelé,
- Un échantillon était cassé, mais le sédiment était encore présent à l'intérieur du contenant sous l'effet de la congélation,
- L'ensemble des échantillons a été accepté par le laboratoire pour analyses.

2.5.2 Fiches stations et métadonnées

Préalablement à la campagne, la fiche station sur laquelle est reportée l'ensemble des métadonnées nécessaires a été préparée, d'après le modèle présenté dans le fascicule technique. Dans le cadre de nos travaux de R&D, des menus déroulants adaptés ont été développés pour la plupart des champs, ce qui permet d'obtenir une base de données « propre » (sans possibilité d'erreur) et consolidée immédiatement à la sortie de l'eau. Seuls les champs de remarques sont laissés libres pour la saisie.

A la fin de l'intervention sur chaque station, la fiche est sauvegardée sur un serveur par le réseau téléphonique 4G. A l'issue de chaque journée de terrain, une vérification et une sauvegarde supplémentaire est réalisée sur clé USB, avec :

- ▶ Les fiches stations directement saisies sous Excel via la tablette tactile ;
- ▶ Les photographies des répliquats.

2.6 Bancarisation

La bancarisation dans Quadriges² est un des objectifs majeurs des suivis DCE. Elle a été effectuée par Mathilde FACON, formée à la saisie par l'IFREMER.

En amont du terrain, des échanges ont eu lieu avec l'IFREMER afin de (i) préparer les programmes et stratégies, (ii) formater les fichiers Excel de saisie des métadonnées de façon à assurer une saisie rapide et efficace et (iii) s'informer en cas d'une nouvelle version de l'outil d'intégration des résultats taxinomiques développé par la cellule Quadriges.

Les différents types de données ont été saisis de la façon suivante :

- ▶ **Physico-chimie du sédiment** : copier-coller d'après les résultats bruts du laboratoire fournis au format Excel et contrôler à partir du rapport d'essai ;
- ▶ **Macrofaune** : données intégrées dans le masque de saisie Excel pré-formaté par l'IFREMER.

3 Résultats

3.1 Caractérisation sédimentaire

Les analyses permettent de caractériser le sédiment et le milieu physique qu'il représente.

3.1.1 Granulométrie

En 2019, l'analyse des profils granulométriques permet de distinguer 4 groupes de stations selon la classification de Kouyoumouztakis (Marty, 1993), par ordre de fréquence:

- ▶ **Des sables purs** (<5% de fines) pour la moitié des stations, incluant la majorité des stations à la côte (entre 21 et 23m de profondeur). Ce constat est cohérent avec le caractère plus hydrodynamique des stations peu profondes, qui limite le dépôt des particules fines.
- ▶ **Des sables envasés** (entre 5 et 25% de fines) pour la dernière station à la côte, et 4 stations de profondeur moyenne élevée (entre 40 et 76m).
- ▶ **Des vases sableuses** (entre 25 et 50% de fines) pour la station au large de Saint-Paul, à -73m. ce qui correspond à une caractéristique sédimentaire de cette baie qui a des analogies avec la baie de La Possession (adjacente).
- ▶ **Des vases** (> 50% de fines) pour la station au large de Saint-Louis à -55m. L'état de cette station est historiquement dégradé, et la forte proportion de fines (62%) favorise le déséquilibre observé au niveau de la macrofaune.

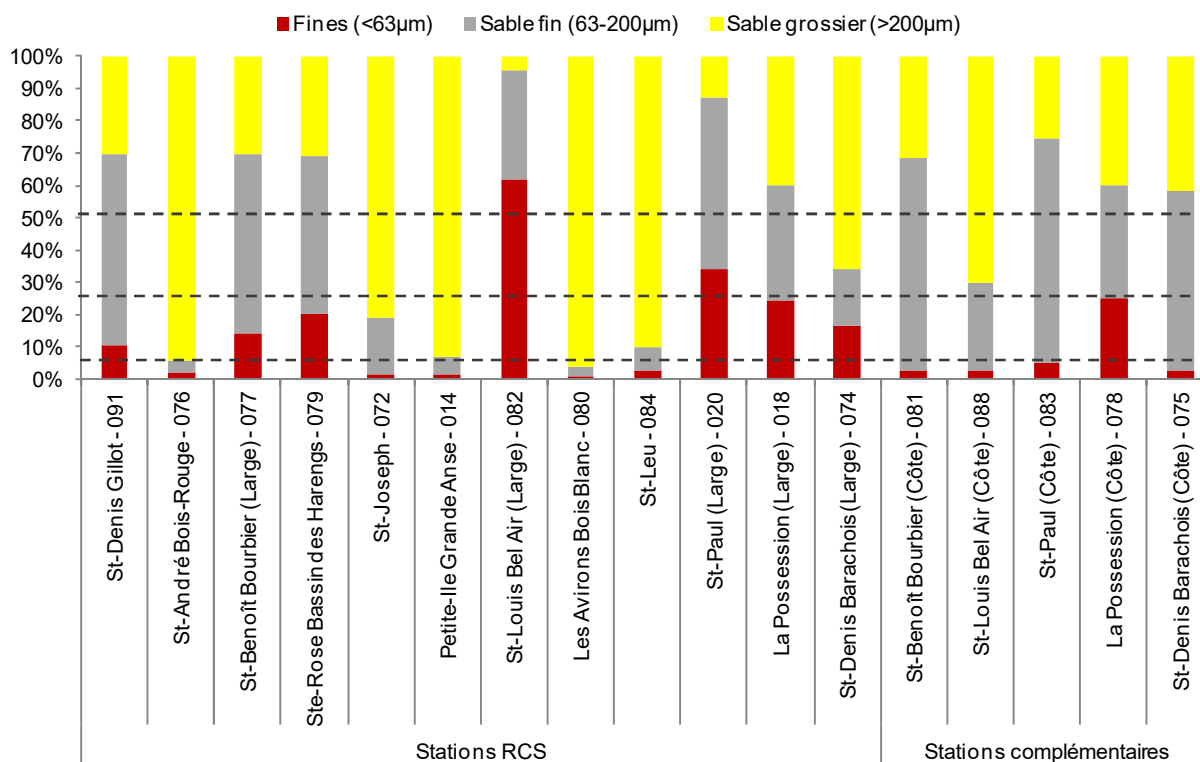


Figure 4: Répartition granulométrique en 2019 et seuils de la classification de Kouyoumouztakis

L'évolution interannuelle de la teneur en particules fines montre :

- ▶ Une stabilité sur la grande majorité des stations depuis 2013, notamment celles constituées de sables purs.
- ▶ Une augmentation constante sur Saint-Benoît (Large), Sainte-Rose et Saint-Louis (Large).
- ▶ Une augmentation très importante sur La Possession (Côte), où les fines passent de 0,5% à 25% entre 2013 et 2019.
- ▶ Une diminution régulière sur Saint-Paul (Large).

Il faut noter que l'analyse de la tendance fine intra-station sur plusieurs années est à prendre avec précaution vu l'absence de réplication des échantillons de sédiments (un seul point de mesure par station). La comparaison inter-stations semble robuste (l'écart inter-station étant toujours plus marqué que l'écart intra-station).

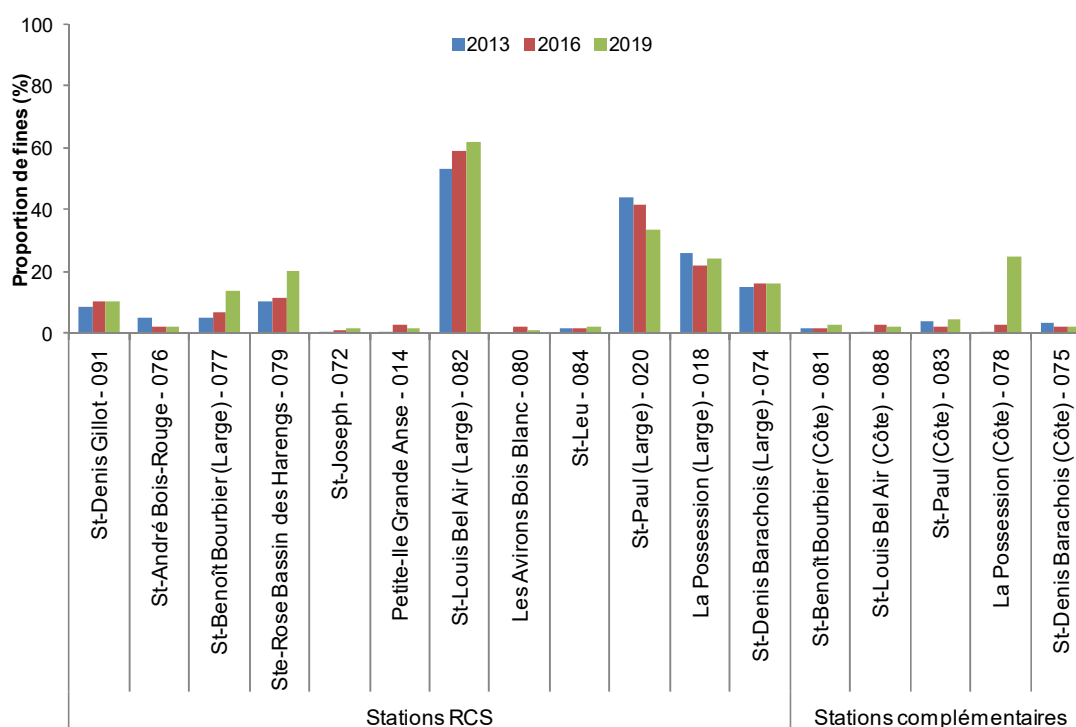


Figure 5 : Évolution du taux de particules fines sur les stations DCE entre 2013 et 2019

3.1.2 Matière organique

En 2019, l'enrichissement en matière organique est globalement faible, à l'exception de Petite Ile et Saint-Leu dont les teneurs dépassent les 5%. Avec une charge organique moyenne, la station de Saint-Louis a un statut intermédiaire. Les autres forment un groupe homogène avec des teneurs usuelles, inférieures à 2,5%

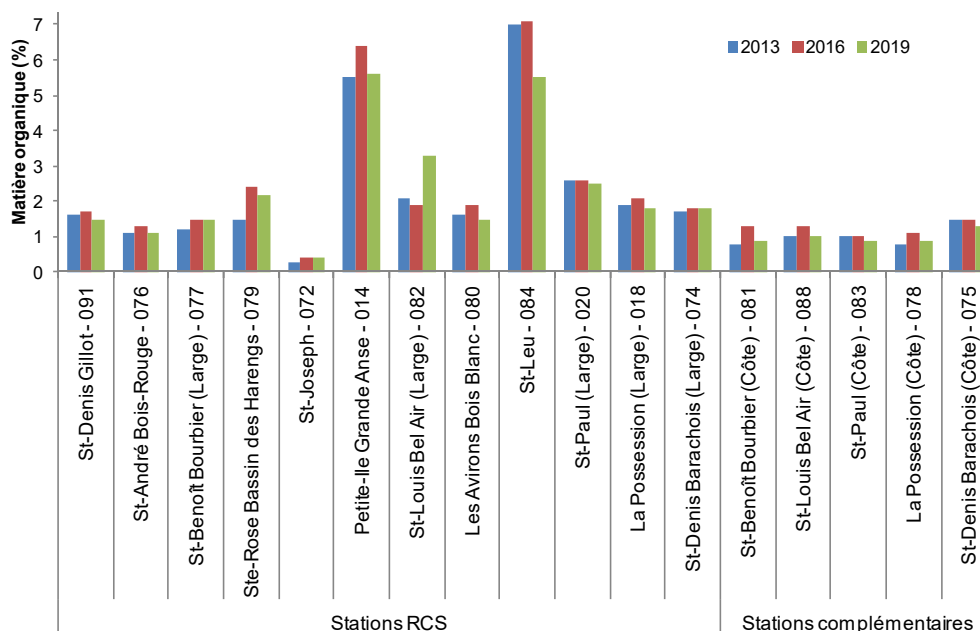


Figure 6 : Évolution du taux de matière organique sur les stations DCE entre 2013 et 2019

L'évolution temporelle est peu marquée sur la majorité des stations, mais une forte augmentation sur Saint-Louis (Large) est constatée. Ce résultat est probablement à relier avec l'augmentation de la teneur en fines sur cette même station.

3.1.3 Carbonate de calcium

En 2019, le taux en carbonate de calcium est globalement très faible, avec des valeurs inférieures à 0,1% sur la majorité des stations. Là encore, les stations Petite Ile et Saint-Leu se démarquent avec plus de 60%. Les teneurs sont également non négligeables sur Sainte-Rose et Saint-Paul (Large).

Les résultats obtenus présentent les mêmes caractéristiques qu'en 2016, avec seules quelques stations qui présentent des teneurs notables en CaCO₃ liées à la présence d'édifices coralliens à proximité.

NB : le taux en carbonate de calcium est mesuré depuis le suivi 2016 uniquement. Il n'y a donc pas de données en 2013 pour ce paramètre.

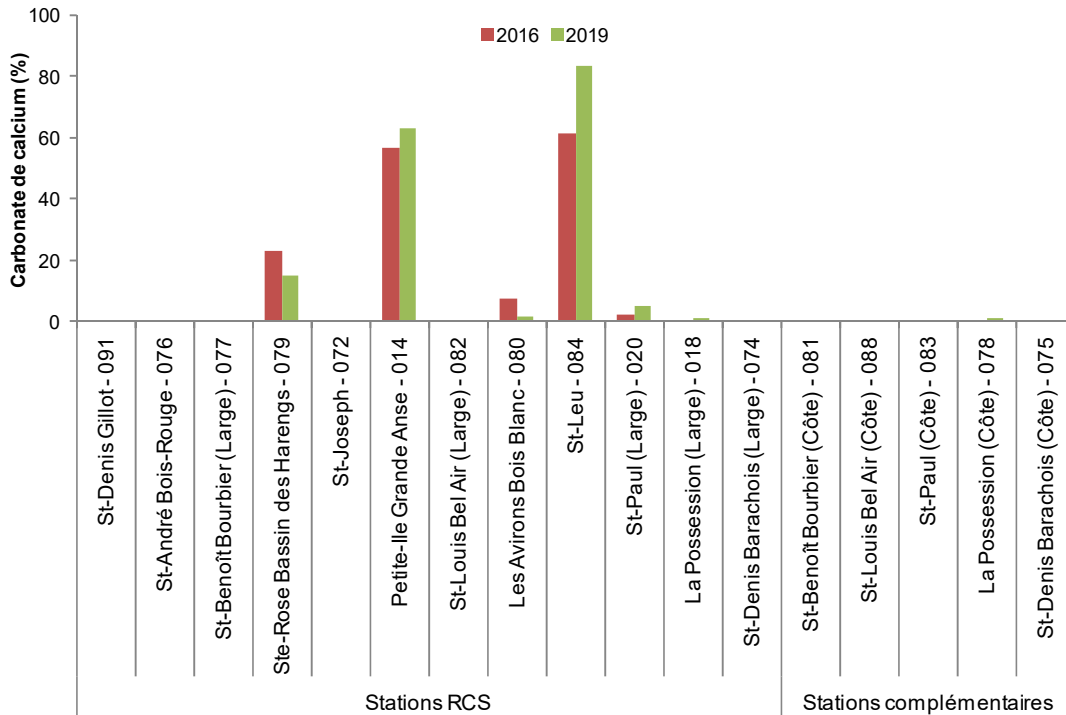


Figure 7: Évolution de la teneur en carbonates de calcium sur les stations DCE entre 2016 et 2019

Les principales caractéristiques **sédimentaires des stations sont stables** depuis le début du suivi, notamment entre 2016 et 2019, ce qui traduit une certaine stabilité des stations choisies ; cela conforte la pertinence de ces choix dans le cadre du RCS. Certains éléments restent cependant à souligner :

- Les stations Petite Ile/ Grande Anse et Saint-Leu présentent des caractéristiques originales, avec de fortes teneurs en matière organique et en carbonate de calcium liées à la nature bioclastique d'une partie des sédiments (mélange de fractions d'origine corallienne et basaltique).
- La station Saint-Louis (Large) montre une augmentation modérée mais progressive de la teneur en fines et en matière organique, ce qui indique un enrichissement lent en zone profonde qui pourrait être corrélé à une augmentation des pressions sur le bassin versant adjacent (cf. campagne RCE 2018). Cette évolution progressive mais régulière des taux de fines sédimentaires au cours du temps reste à surveiller lors du prochain suivi DCE de 2022.
- La station complémentaire de la Possession présente également en 2019 une augmentation importante du taux de fines (20%), qui est anormale pour ce niveau bathymétrique à La Réunion. L'origine de cet enrichissement est difficile à identifier. Cette situation pourrait être liée à des apports provenant des travaux sur le littoral, du bassin versant ou d'autres facteurs.

3.2 Structure de la macrofaune benthique

3.2.1 Abondance et richesse taxonomique en 2019

Les communautés macrobenthiques de substrat meuble et leur milieu de vie sont étudiés à La Réunion depuis plus de 25 ans, même si les analyses globales à l'échelle de l'île demeurent encore assez peu fréquentes. Dans ce contexte, et après une première campagne prospective réalisée tout autour de l'île dans le cadre du programme CARTOMAR en 2008 (BRGM, 2008), les campagnes de la DCE ont été initiées par l'Office de l'eau Réunion à partir de 2013 (ARVAM et al., 2014). La campagne du RCS de 2019 est ainsi la quatrième à avoir été effectuée sur les 10 dernières années à La Réunion.

La présente étude qui s'appuie sur un **échantillonnage de 17 stations (12 au titre du RCS et 5 complémentaires qui n'interviennent pas dans l'évaluation de l'état)** a pour vocation d'actualiser **l'état des masses d'eaux côtières** en lien avec les habitats benthiques des zones subtidales.

L'analyse effectuée en 2019 a permis de recenser **157 taxons et 737 individus**. Cette valeur de richesse spécifique reste inférieure à celle mesurée en 2016 (180 taxons) mais supérieure à celle de 2013 (130 taxons). Les valeurs d'abondance mesurées en 2019 sont inférieures à celles des années précédentes (respectivement 3451 et 1536 individus). Les phénomènes naturels de recrutements (différents d'une année sur l'autre), de migrations d'espèces au sein de l'habitat, etc. induisent une variabilité interannuelle qui peut être très forte. La très faible pluviosité pour la saison chaude 2018-2019, immédiatement avant la campagne de prélèvements, pourrait aussi avoir impacté ces populations benthiques.

NB : les conditions météorologiques très pluvieuses de la saison des pluies 2017-2018 ne sont pas discutées ici car trop anciennes compte-tenu des cycles de vie de la faune.

L'interprétation des niveaux généraux n'a donc que peu d'intérêt et c'est l'analyse structurelle et fonctionnelle, développée par la suite, qui est indispensable pour appréhender plus justement les variations observées.

L'analyse faunistique effectuée sur les communautés de macrofaune endogée permet de mettre en évidence les principaux éléments suivants (Figure 10).

- Il existe toujours **une hétérogénéité de la densité faunistique** entre certains secteurs géographiques : une majorité de stations est caractérisée par des abondances faibles à moyennes (de 40 à 100 ind./m²), et quatre stations présentent des valeurs plus importantes (> à 100 ind./m²). Les stations les plus profondes (« large » versus « côte ») sont toujours les plus denses, ce qui caractérise une bonne stabilité du milieu sédimentaire.
- Les secteurs de Saint-Denis / Gillot (FRLC101), de Saint-Louis (FRLC105) ou de Sainte-Rose (FRLC103) présentent des niveaux de densités plus fortes (entre 120 et 160 ind./m²). Ce sont le plus souvent des zones plus profondes (60 à 70 m), ou soumises à des sources d'apports organiques plus conséquentes comme le large de Saint-Denis / Gillot (FRLC101) et de Saint-Louis (FRLC105). La diversité associée à ces stations reste élevée (S > à 30), ce qui témoigne de communautés benthiques équilibrées en 2019.
- Les stations côtières, plus littorales (zone des 20 m) et soumises à des remaniements sédimentaires importants sous effet des houles (d'alizés et australes), sont caractérisées par des valeurs de densité faibles (< à 80 ind./m²), et de richesse spécifique (S) moyenne à faible (< à 15 espèces).
- **La richesse spécifique globale reste élevée en 2019** (S moyen de 30 à 35), certains secteurs étant plus riches que d'autres, tels que Saint-Denis–Gillot (FRLC101) (S= 45) et Saint André (FRLC102) (S= 38).

Les apports de matières organiques sont nécessaires pour assurer le fonctionnement de l'écosystème benthique. Cependant, au-delà d'un certain point « de rupture », qui est tout à fait variable selon les milieux et les conditions hydrodynamiques, ces apports deviennent néfastes et se traduisent par un changement des communautés.

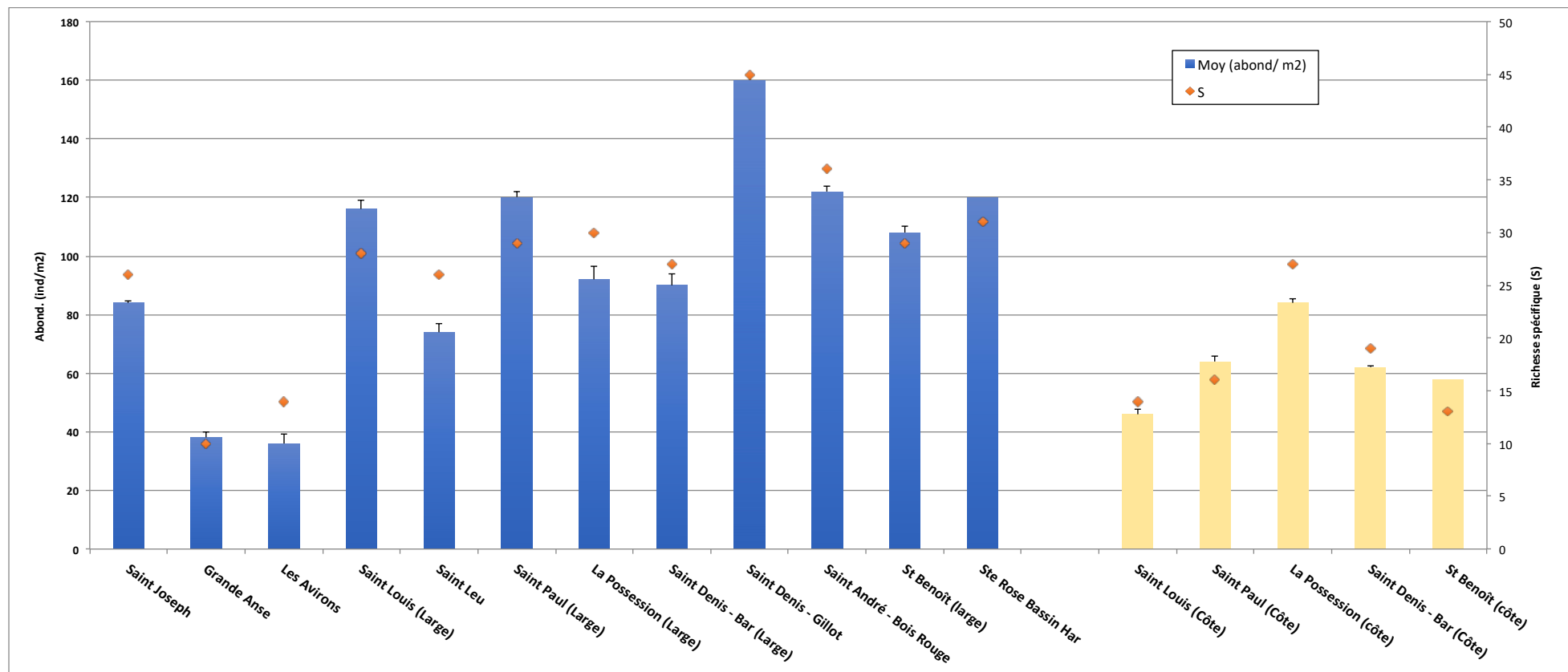


Figure 8 : Densités moyennes de macrofaune (ind./m²) et richesse spécifique globale (S) par station en 2019. A gauche (bleu) les stations DCE et à droite (jaune) les stations côtières complémentaires.

L'analyse des communautés par station (Figure 11) montre que la répartition globale des principaux taxons est similaire aux années précédentes. Elle met en évidence la forte représentation globale des Annélides Polychètes, suivis des Bivalves, des Crustacés et des Gastéropodes. Les autres taxons (Cnidaires, Némertes, Sipunculides, Echinodermes) sont moins représentés. Ils contribuent cependant à la diversité globale de ces habitats. Localement, certains secteurs côtiers comme la baie de Saint-Paul ou Saint-Louis sont marqués par des communautés spécifiques avec des Bivalves, des Cnidaires (coraux solitaires) ou des Polychètes qui peuvent devenir dominants en termes d'abondance.

Sur les stations les plus riches (Saint-Denis – Gillot (FRLC101), Sainte-Rose (FRLC103), Saint-Paul (FRLC107)), les Annélides polychètes restent dominantes. Elles sont globalement représentées par des espèces détritivores de surface, et des carnivores. Ces espèces sont aussi représentées dans les autres stations à des niveaux d'abondance et de biomasse variables, en complément des autres taxons.

Les polychètes sont dominées par des familles caractéristiques ou emblématiques de la Réunion. Les carnivores stricts sont représentés par des Eunicidae (*Marphysaspp.*, *Nothriaconchylega*), des Aphroditidae (*Sthenelais limicola*, *S. boa*, *Sigalion mathildae*), des Pilargidae (*Sigambraparva*). Les espèces détritivores de surface ou sub-surface sont souvent des Owenidae (*Myriochelespp.*), des Spionidae (*Prionospio spp.*, *Malacoceros indicus*, *Scolelepsis squamata*, *Laonice spp.*), des Capitellidae (*Notomastu ssp.*, *Dasybranchus caducus*). D'autres espèces opportunistes détritivores / carnivores telles les Eunicidae (*Diopatra cuprea*) sont parfois localement abondantes et indicatrices de perturbation.

Sur certaines stations (Saint-Benoit large, Saint-Louis large), les Crustacés sont bien représentés par des Amphipodes Corophiidae (*Siphonoecete ssp*) ou des Tanaidacea (*Calathura sp.*), ainsi que des Echinodermes (*Lovenia elongata*, *Metalia sp.*). Sur d'autres stations et masses d'eau (La Possession, Saint-Denis-Gillot), la dominance est parfois marquée par des Cnidaires (coraux solitaires), (*Heterocyathus aequicostatus*) ou par des communautés de Bivalves (*Lioconcha philipinarum*, *Timoclea concinna*, *Chlamys sp.*, *Dosinia sp.*).

Sur de nombreuses stations, les Sipunculides sont représentés par une espèce dominante qui colonise très souvent les nombreuses coquilles de Gastéropodes morts restées vides (*Aspidosiphon muelleri*).

La campagne 2019 est donc marquée par la plus faible abondance des organismes tous taxons et toutes stations confondus, mais aussi par un niveau de richesse taxonomique qui reste assez proche de celui observé en 2013 et en 2016. Cela montre la stabilité globale des communautés benthiques étudiées.

3.2.2 Structure spatiale des communautés en 2019

Une analyse multidimensionnelle (nMDS associée à une classification hiérarchique) a été effectuée sur les données faunistiques (matrice de contingence « espèce / échantillons ») des 17 stations de 2019 (Figure 12). Afin d'optimiser l'analyse, la moyenne des réplicats par station a été utilisée.

L'analyse met bien en évidence des communautés trouvées préférentiellement sur les stations les plus côtières (Possession côte, Barachois côte, Saint-Paul côte, Saint-Benoit côte) qui sont différentes de celles des stations DCE du large (résultat confirmé statistiquement par une ANOSIM ; $R = 0,295$; $p = 0,1\%$; significatif). Les stations de Saint-Paul et La Possession côte sont marquées par une structure de communautés légèrement différentes (dominance de Bivalves Veneridae).

Sur ces stations « côtières » de faible profondeur (-20m) les sédiments sont assez fréquemment remaniés par les différents épisodes de houle (cyclones, dépressions, houles australes) et peuvent subir des apports organiques littoraux passagers. Les communautés y sont en général assez pauvres. Cette analyse avait déjà été mise en évidence lors des travaux précédents (ARVAM et al., 2014 ; Bigot et al, 2016). Ces stations sont les premières susceptibles d'être impactées par des perturbations littorales ou issues des bassins versants.

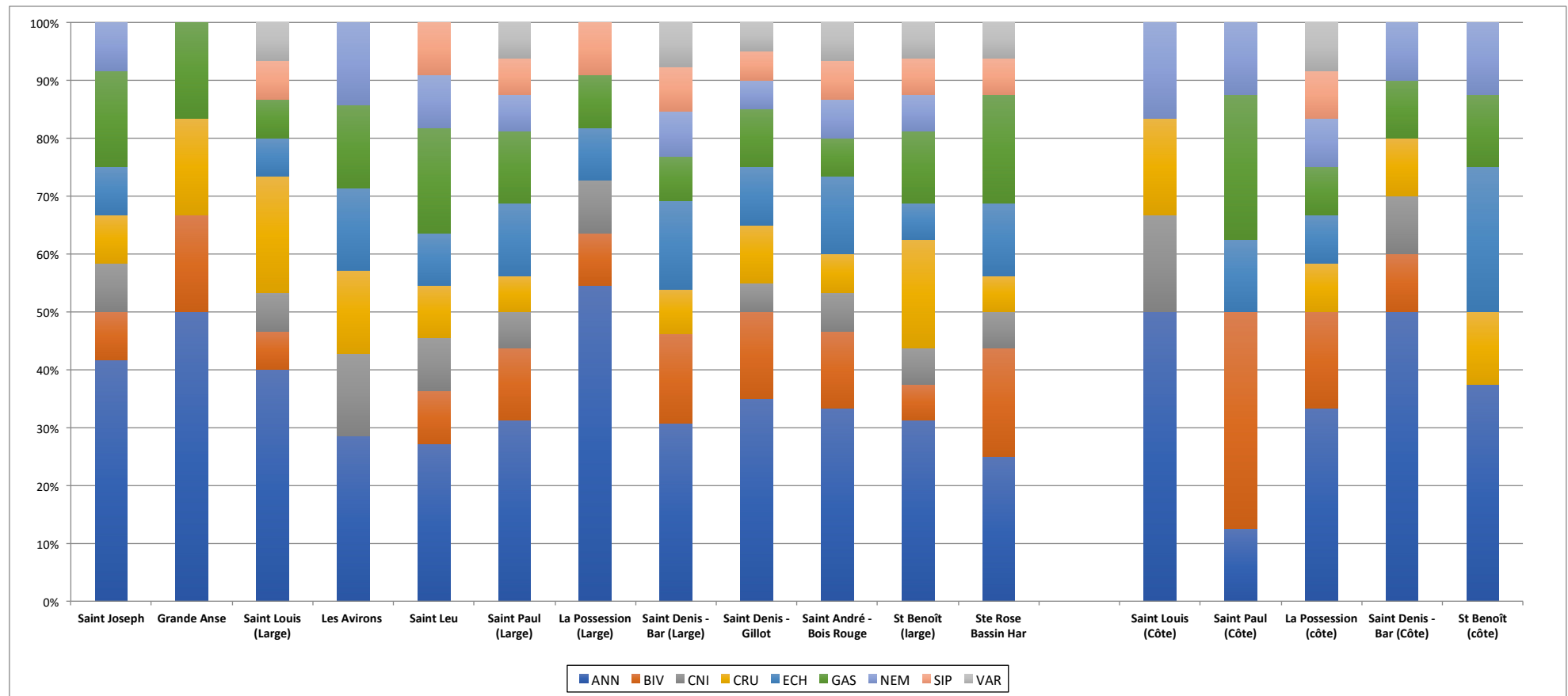


Figure 9 : Répartition des taxons majeurs de la macrofaune, par station, en 2019. A gauche les stations DCE et à droite les 5 stations côtières complémentaires

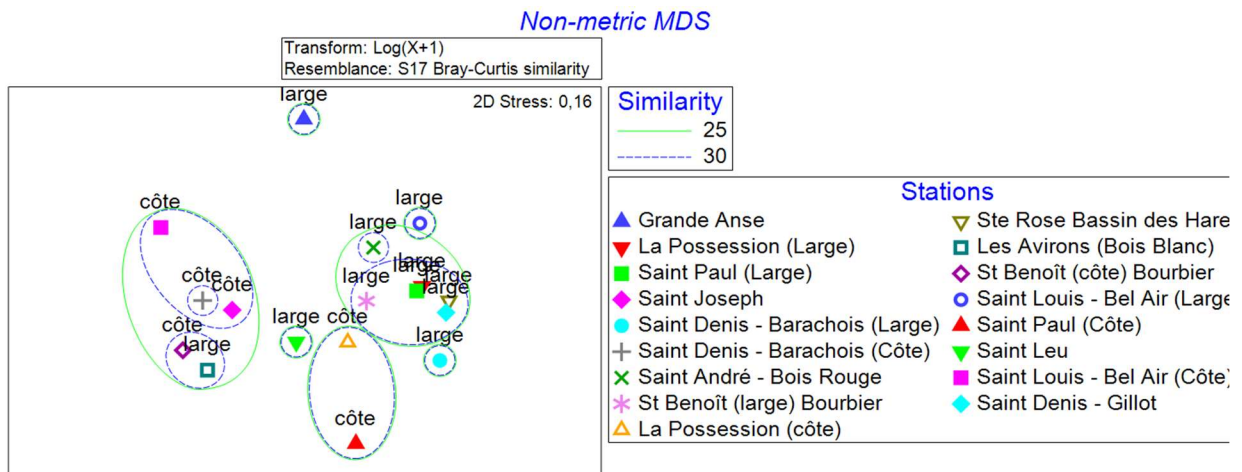


Figure 10: Analyse multidimensionnelle (nMDS) et Classification Hiérarchique (Clustering) sur la structure des communautés benthiques des 17 stations échantillonnées en 2019

Sur les stations les plus au large, donc les plus profondes (Sainte-Rose, Possession large, Barchois large, Saint-Benoit, Saint-Louis, Saint-Denis Gillot), les communautés sont plus homogènes et plus stables. Elles sont en général plus abondantes et plus riches (Figure 10), ce qui constitue donc un critère important dans la démarche de suivi des bio-indicateurs pérennes de la DCE. Elles sont aussi plus éloignées des sources directes de perturbations côtières et des bassins versants, et donc potentiellement plus robustes.

3.2.3 Évolution de la macrofaune sur la période 2013-2019

Une première analyse globale de l'abondance et de la diversité de la macrofaune sur les 3 campagnes interannuelles a été réalisée (Figure 13). Les principaux résultats montrent :

- De fortes variations de l'abondance globale intra-station sur certains secteurs (notamment Saint-Denis - Barchois, Saint-Benoit large, Sainte-Rose). Ces zones ont pu localement bénéficier d'un enrichissement du milieu sédimentaire au cours du temps (valeurs d'abondance élevées en 2016 et plus homogènes en 2013 et 2019, voir figure 13). Les résultats d'analyses du RCE (2018) montrant la forte incidence des apports des bassins versants sur les communautés benthiques en fonction de pluviosité ou de sécheresse exceptionnelles (2018 versus 2019) peuvent expliquer les fortes variations d'abondance observées localement.
- Dans le même temps, une bonne stabilité de la richesse spécifique et de la diversité (H'), voire d'une augmentation au cours du temps. Ceci est un élément plutôt positif et montre que le développement démographique localisé d'une espèce sur une station donnée n'a pas entraîné de perte de diversité globale, et que le cortège d'espèces de la communauté s'est maintenu dans le temps.
- Sur les stations côtières, des fluctuations importantes de l'abondance et de la diversité ont pu aussi être notées localement (Saint-Louis et Saint-Joseph notamment), ce qui explique pour partie les fortes variations des indices réglementaires (AMBI et M-AMBI) au cours du temps.

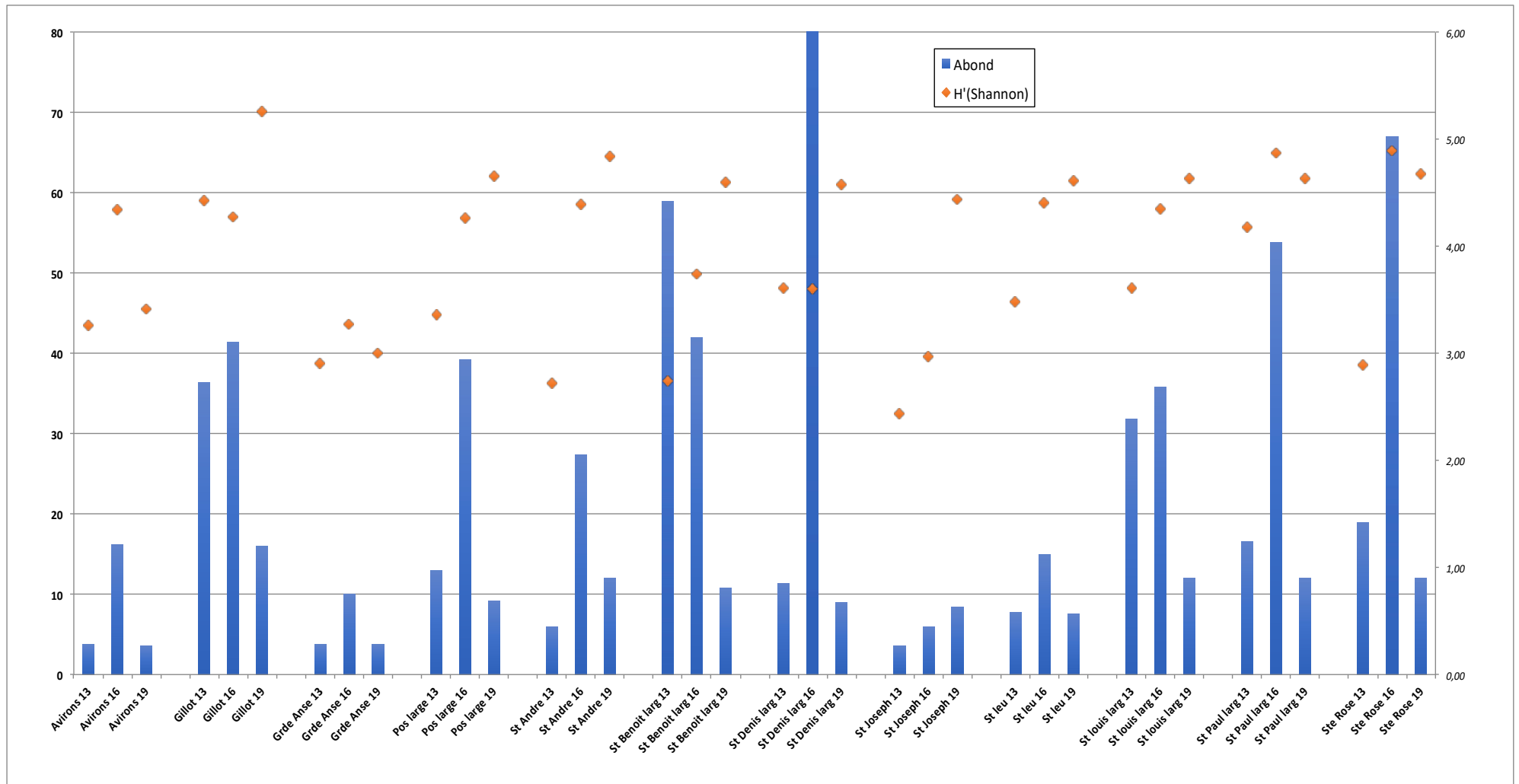


Figure 11 : Évolution spatio-temporelle de l'abondance globale et de la diversité (H' indice de Shannon) entre 2013 et 2019 sur les stations DCE de référence « large »

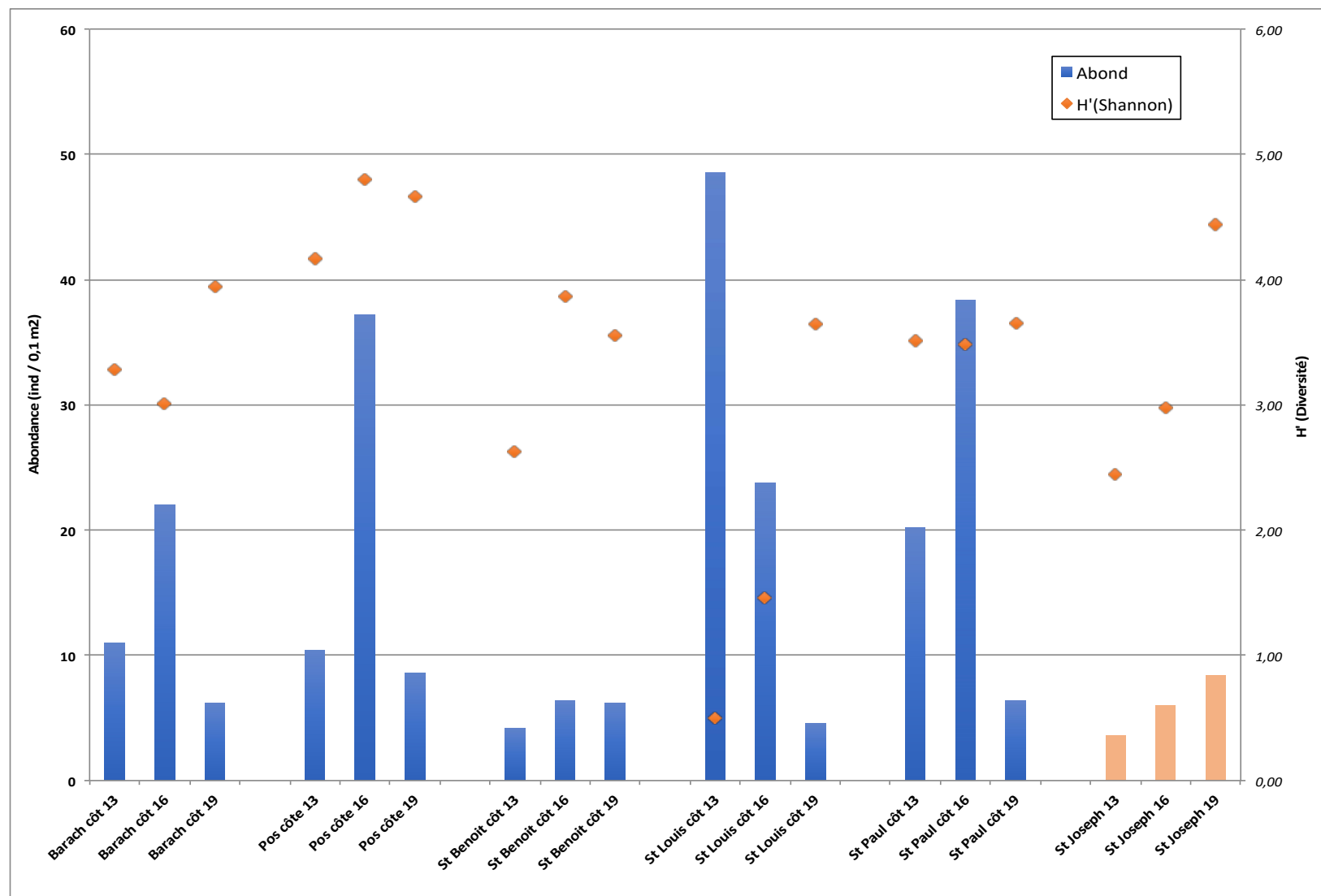


Figure 12 : Évolution spatio-temporelle de l'abondance globale et de la diversité (H' indice de Shannon) entre 2013 et 2019 sur les stations côtières supplémentaires. A titre de comparaison la station de Saint-Joseph (comparable à une signature « côtière ») en orange

Une seconde analyse comparative de la structure des communautés réalisée sur la donnée de 2013 à 2019 (Figure 14) confirme l'existence de **spécificités de peuplements** selon de grands patrons géographiques (ANOSIM 2 ; $R = 0,652$, $p = 0,1\%$; significatif), et dans le même temps la **grande homogénéité temporelle des peuplements** entre les trois campagnes sur une période de 7 ans (ANOSIM2 $R = -0,004$; $p = 40,5\%$; non significatif).

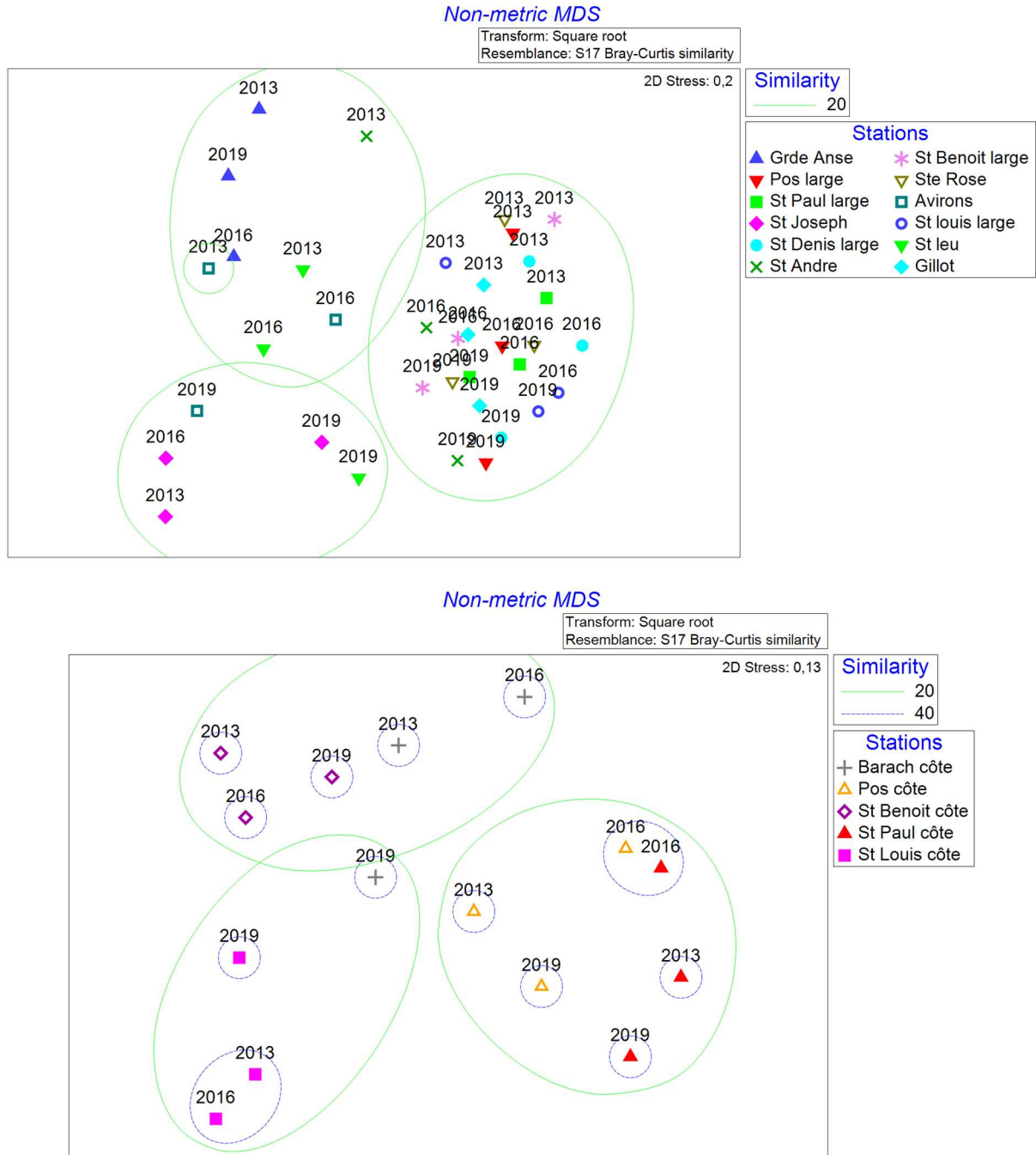


Figure 13 : Analyse multidimensionnelle (nMDS) et Classification Hiérarchique (Clustering) sur la structure des communautés benthiques des 17 stations échantillonnées entre 2013 et 2019. En haut les stations DCE (« large ») et en bas les stations côtières complémentaires

Ce résultat montre que la prise en compte de l'évolution spatio-temporelle de la structure des communautés est plus pertinente que celle de métriques annuelles prises isolément. L'analyse temporelle complète ainsi la première approche et met en évidence les principaux éléments suivants :

- Un premier groupe très homogène de stations DCE (« large ») depuis la zone nord-ouest (baies de Saint-Paul / Possession) jusqu'à l'est ou sud-est de l'île (Saint-André, Saint-Benoit, Sainte-Rose). Ce groupe présente une très forte cohésion.
- Un groupe plus hétérogène de stations DCE du secteur ouest/sud-ouest (Saint Leu, Grande Anse) au secteur Sud (Saint-Joseph). Ce groupe correspond à des stations plus pauvres en taxons, sur lesquelles les fluctuations environnementales ont des incidences plus visibles.
- Trois groupes de stations côtières complémentaires correspondant à des typologies de peuplements différentes comme le confirme une ANOSIM ($R= 0,917$; $p= 0,1\%$) :
 - 1- Les zones des baies de La Possession et Saint-Paul dans lesquelles les communautés de Mollusques Bivalves bio-indicatrices sont très fortement représentées ;
 - 2- Le secteur de Saint-Louis marqué par des variations très fortes de communautés caractérisant un milieu très instable ;
 - 3- Le secteur littoral nord et est (de Saint-Denis-Barachois à Saint-Benoit) où les communautés répondent très vite aux apports issus des bassins versants adjacents (par de fortes variations d'abondance des communautés), et sont à ce titre des « sentinelles » pour les stations DCE plus profondes.

3.3 Les indices biotiques de la Directive Cadre sur l'Eau

3.3.1 Application des indices réglementaires en 2019

Le calcul des indices biotiques « AMBI » et « M-AMBI » a été réalisé sur le jeu de données 2019. Il repose sur les analyses antérieures et sur les listes faunistiques disponibles pour la zone océan Indien (Bigot *et al*, 2008) pour l'assignation des espèces tropicales à des groupes fonctionnels (site AZTI v.4, 2017) (cf. annexe 3). De plus, l'expérience personnelle des auteurs sur la connaissance de l'autécologie des espèces adaptées à leur contexte de vie dans la zone océan Indien permet de faire évoluer les assignations initiales de la liste AZTI à des groupes fonctionnels différents.

Répartition des groupes trophiques de polluo-sensibilité en 2019

La distribution des différents groupes trophiques de macrofaune par station et le calcul de l'indice AMBI ont été réalisés à partir du logiciel disponible sur le site AZTI (Figure 15). Pour les espèces nouvellement identifiées, le groupe de polluo-sensibilité a été établi selon les critères suivants :

- Groupe établi sur le site AZTI lorsqu'il existe ;
- Informations bibliographiques sur le taxon concerné ;
- Attribution du groupe d'un taxon proche (genre ou famille) lorsque les caractéristiques sont similaires.

En 2019, 5 taxons, présents de manière exceptionnelle, n'ont pas pu être relié à un groupe et ont donc été exclus du calcul. Le détail des groupes attribué à chaque taxon est présenté en annexe.

En termes de groupes fonctionnels (cf ci-dessous), les stations DCE se caractérisent toujours par une dominance de taxons appartenant aux groupes I (taxons très sensibles aux perturbations) et II (taxons moyennement sensibles). Dans l'état actuel, la proportion d'espèces appartenant aux groupes III (taxons tolérants aux enrichissements en matière organique et opportunistes), IV et V (taxons résistants aux perturbations) est plus modérée. Ces derniers taxons sont plutôt rencontrés sur les

stations de La Possession (large), la baie de Saint-Paul et les secteurs de Saint-Louis et Saint-Benoît (large).

Tableau 6 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités (d'après Hily, 1984)

Groupe	Type d'espèces	Caractéristiques	Groupes trophiques
I	Sensibles à une hypertrophisation	<ul style="list-style-type: none"> - Largement dominantes en condition normales - Disparaissent les premières lors de l'enrichissement du milieu - Dernières à se réinstaller 	Suspensivores, carnivores sélectifs, quelques dépositivores tubicoles de subsurface
II	Indifférentes à une hypertrophisation	Espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de MO	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	Dépositivores tubicoles de surface profitant du film superficiel chargé de MO
IV	Opportunistes de second ordre	Cycle de vie court (souvent <1an) prolifèrent dans les sédiments réduits	Dépositivores de subsurface
V	Opportunistes de premier ordre	Prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	Dépositivores

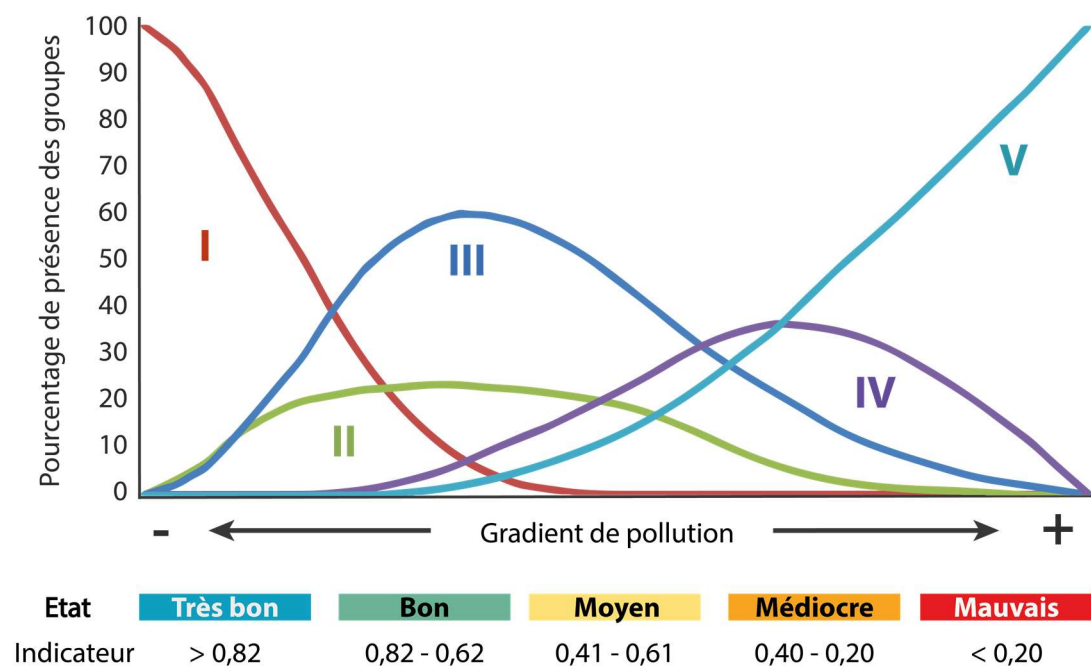


Figure 14 : Modèle théorique de la succession de la présence des groupes d'organismes en fonction d'un gradient de pollution (d'après Hily 1984 et Borja 2006)

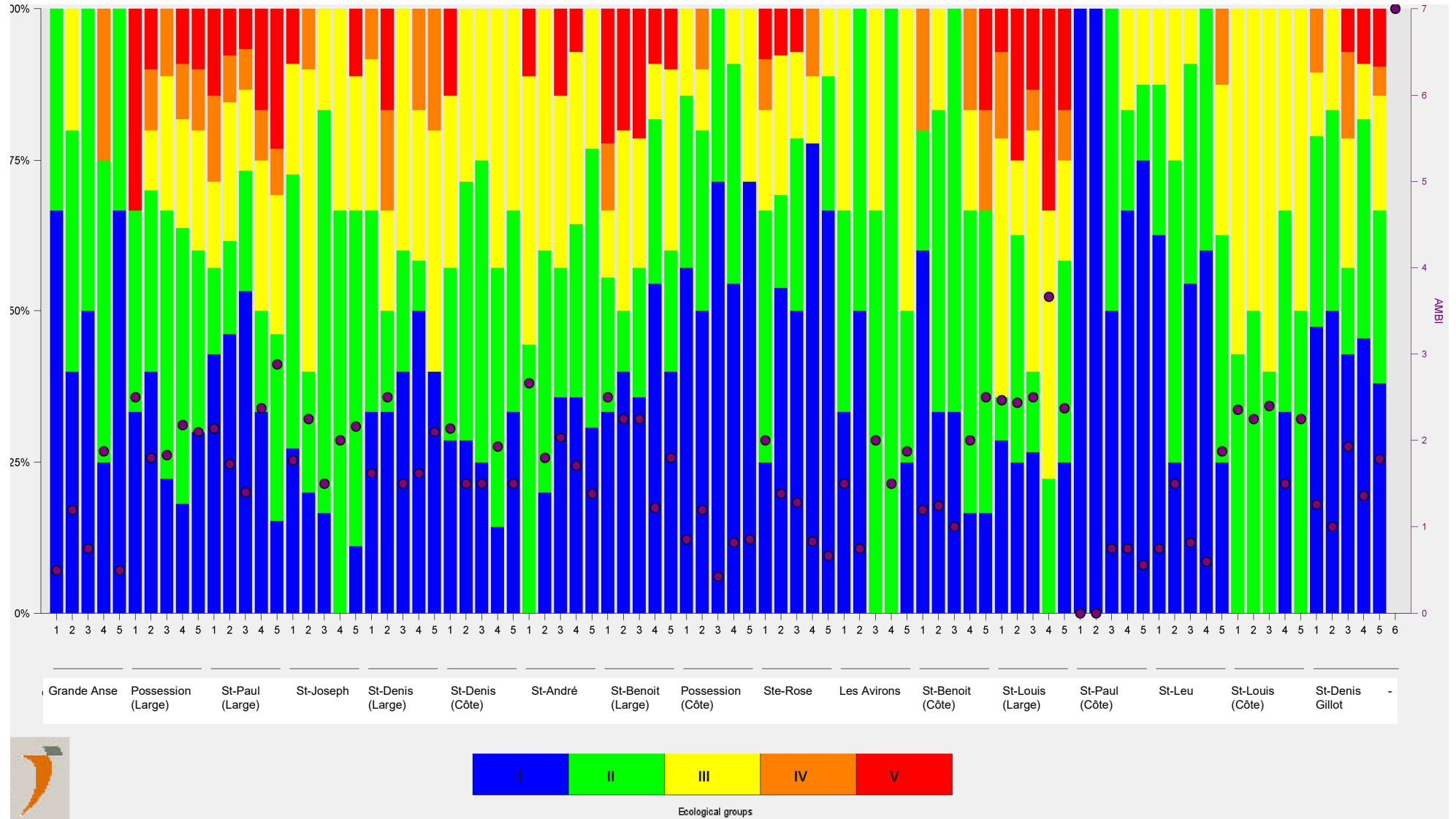


Figure 15 : Répartition des groupes de polluo-sensibilité par station et par réplicat en 2019 : du plus stable et sensible aux perturbations (bleu / groupe I), au plus résistant et indicateur de pollution (rouge / groupe V)

Calcul des indices « AMBI » et « M-AMBI » en 2019

Une seconde étape consiste à calculer l'indice AMBI qui est directement lié à la répartition des espèces dans les différents groupes de polluo-sensibilité. Elle met en évidence les principaux éléments suivants (figure 16):

- Les indices AMBI calculés en 2019 pour toutes les stations sont assez proches et correspondent généralement à des états « non perturbés » (4 stations / 17) à « très peu perturbés » (13 stations /17) du point de vue de la structure trophique des communautés. A noter que la station Saint-Leu, classée en état « non perturbé », se situe en limite de classe de l'état « très peu perturbé ».
- Ces résultats nivèlent les hétérogénéités de communautés mises en évidence sur les analyses précédentes (notamment pour la distinction des stations littorales et stations plus profondes). Ceci n'est pas incompatible, puisque les indices AMBI et M-AMBI attribuent un état basé sur une proportion donnée des espèces à des groupes de tolérance, mais qui correspondent par ailleurs à des communautés variées. Ainsi, d'un point de vue des groupes trophiques, les différences observées entre stations littorales plus soumises aux remaniements sédimentaires, et stations plus profondes et plus stables, semblent moins marquées que lors de l'utilisation des indices d'abondance et de diversité H'.

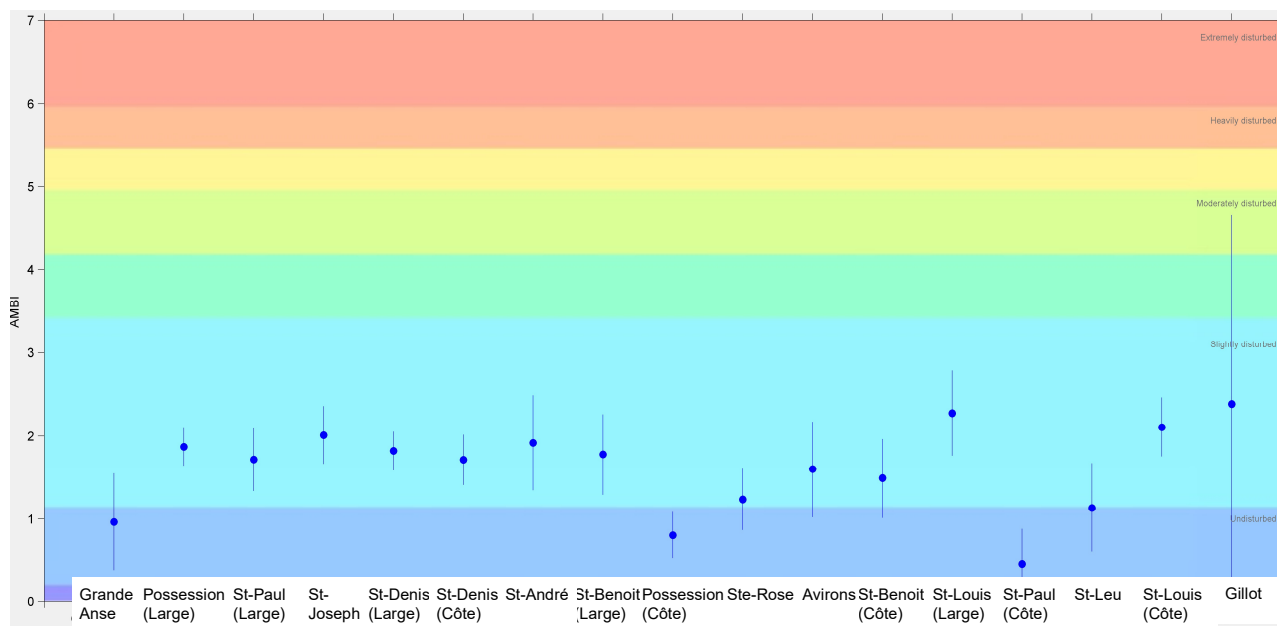
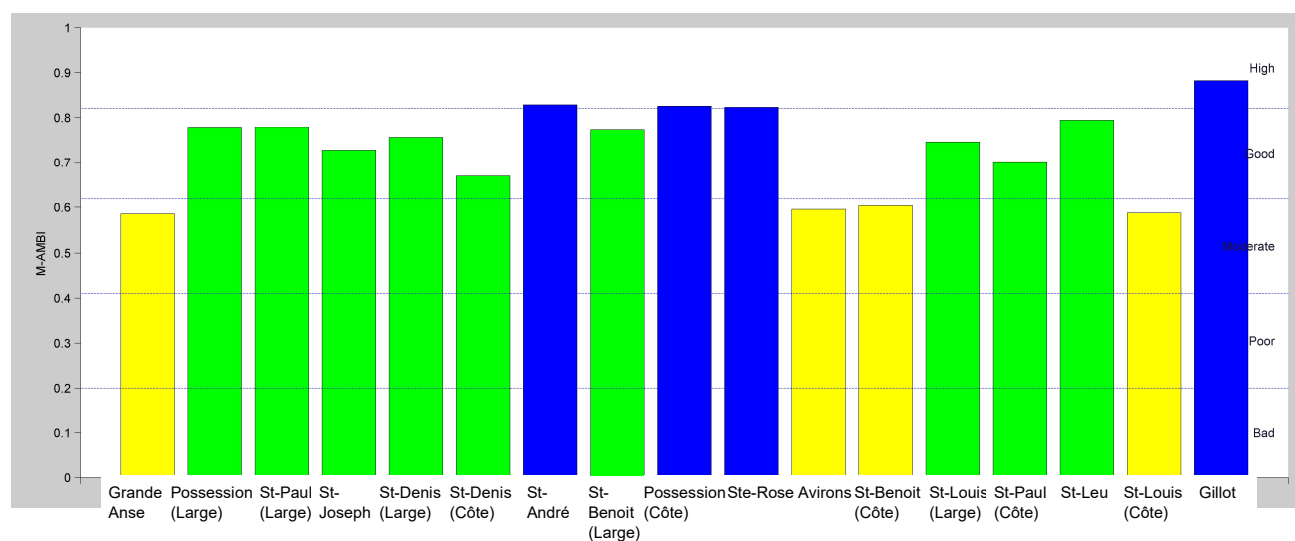


Figure 16 : Calcul des indices AMBI par station en 2019 et état de la masse d'eau associée (très peu perturbée en bleu foncé à très perturbée en rouge).

De manière complémentaire à l'approche « AMBI », le calcul de l'indice « M-AMBI » a été effectué sur les 17 stations. Ce calcul est basé sur une analyse factorielle effectuée à partir de 3 paramètres clés : la richesse spécifique (S), l'indice de diversité de Shannon (H') et l'indice « AMBI ».

Il permet ainsi d'intégrer deux composantes supplémentaires par rapport à l'indice AMBI seul, et définit « des bornes » (supérieures et inférieures) entre lesquelles sont calculés les indices M-AMBI sur les différentes stations.

L'indice M-AMBI pondère ainsi l'indice AMBI et le complète dans la mesure où il intègre la structure de la communauté benthique (calcul de H' et de S), en plus du groupe de polluo-sensibilité. Le calcul des indices AMBI et M-AMBI a été réalisé à partir du logiciel disponible sur le site AZTI.



code masse d'eau DCE	Libellé de stations	Mnémonique Q2	AMBI	Diversité (H')	Richesse spécifique	M-AMBI	Statut DCE 2019
LC 01	Saint Denis - Gillot	126-P-091	2,390	5,244	45	0,883	Très bon Etat
LC 02	Saint André - Bois Rouge	126-P-076	1,920	4,884	36	0,827	Très bon Etat
LC 02	St Benoît - Bourbier (large)	126-P-077	2,006	4,602	29	0,757	Bon Etat
LC 03	Ste Rose- Bassin des Harengs	126-P-079	1,234	4,676	31	0,820	Très bon Etat
LC 04	Saint Joseph	126-P-072	1,938	4,441	26	0,730	Bon Etat
LC 04	Grande Anse	126-P-014	0,965	3,005	10	0,580	Etat Moyen
LC 05	Saint Louis- Bel air (Large)	126-P-082	2,689	4,649	29	0,719	Bon Etat
LC 05	Les Avirons - Bois Blanc	126-P-080	1,525	3,414	13	0,596	Etat Moyen
LC 06	Saint Leu	126-P-084	1,109	4,551	27	0,793	Bon Etat
LC 07	Saint Paul (Large)	126-P-020	2,107	4,632	29	0,753	Bon Etat
LC 08	La Possession (Large)	126-P-018	2,083	4,657	30	0,762	Bon Etat
LC 08	Saint Denis - Barachois (Large)	126-P-074	1,870	4,580	27	0,750	Bon Etat
LC 02	St Benoît- Bourbier (côte)	126-P-081	1,590	3,428	13	0,593	Etat Moyen
LC 05	Saint Louis- Bel Air (Côte)	126-P-088	2,151	3,643	14	0,582	Etat Moyen
LC 07	Saint Paul (Côte)	126-P-083	0,413	3,649	16	0,698	Bon Etat
LC 08	La Possession (côte)	126-P-078	0,832	4,606	28	0,820	Bon Etat
LC 08	Saint Denis - Barachois (Côte)	126-P-075	1,714	4,015	19	0,667	Bon Etat

Figure 17 : Calcul de l'indice M-AMBI en 2019 et valeurs de la diversité (H'), de l'indice AMBI et de la richesse spécifique (S) et état au sens de l'indicateur Benthos de substrats meubles.

L'indice M-AMBI est plus intégrateur de l'état de la communauté benthique que l'indice AMBI pris isolément. Les résultats de cette analyse mettent en évidence plusieurs points :

- Globalement, **les stations DCE « large » présentent un état défini comme « bon » à « très bon »** au sens de l'indicateur Benthos de substrats meubles. Elles présentent des communautés assez homogènes en termes d'habitats et de milieux, qui sont donc comparables. Ce résultat est cohérent avec les résultats du RCE, notamment sur les stations de St Joseph, St Denis et St Louis qui montrent que l'année 2019 a été exceptionnellement sèche (depuis plus de 40 ans ; cf annexe 4) et que les apports issus des bassins versants ont été nettement plus faibles qu'en 2018.
- Seules les stations de **Grande Anse et des Avirons** présentent un état qualifié de « moyen ». Cette situation pourrait provenir de l'instabilité sédimentaire et de la très faible valeur de

richesse spécifique mesurée en 2019 (M-AMBI sensible aux faibles valeurs de richesses spécifiques). Ces stations présentent toujours une très faible biodiversité, qui est plus une résultante structurelle du milieu que le résultat d'une perturbation de la faune d'origine anthropique.

- Les stations anciennement impactées de Saint-Joseph et Saint-Louis (côte) semblent se stabiliser en 2019, notamment du fait de la très faible pluviosité. Les résultats du RCE montrent cependant que ces zones du sud-ouest et du sud de l'île sont sujettes à des apports intermittents de leurs bassins versants, qui peuvent être à l'origine des résultats très variables observés sur ces stations au cours des 7 dernières années.
- Les stations « côtières » présentent une situation plus contrastée. Les stations du nord-ouest (Possession / Saint-Paul) et nord (Saint-Denis) présentent un bon état. Par contre, les stations Saint-Louis (côte) et Saint-Benoit Bourbier (côte) présentent un état « moyen ». Elles sont marquées par une diminution de la diversité (H') et des perturbations localisées. Elles sont, en effet, directement soumises à l'influence de masses d'eau dégradées (Étang du Gol), de rivières pérennes importantes du sud (rivière Saint-Etienne) et de l'est (rivière des Marsouins), ou de bassins versants fortement impactés par les activités anthropiques (agriculture, industrie, urbanisation, etc.). Ces stations littorales servent ainsi de « sentinelles » permettant de mieux comprendre une évolution de la masse d'eau.

3.3.2 Évolution spatio-temporelle des indices de la DCE sur 10 ans

Quatre campagnes (dont 3 campagnes « DCE ») ont permis de suivre les macro-invertébrés de substrats meubles dans les masses d'eaux côtières de La Réunion. Ces différents jeux de données ont été collectés dans un cadre méthodologique identique (stations communes, méthodes de prélèvement et analyse identiques sauf pour la réplification dans la campagne 2008 pour laquelle 3 bennes de sédiment étaient prélevées au lieu de 5 pour les autres campagnes).

L'analyse actuelle permet de calculer et de suivre l'évolution des indicateurs réglementaires AMBI et M-AMBI au cours des 10 dernières années. Les principaux résultats sont les suivants (Figure 18) :

- L'indice AMBI pris isolément présente des variations qui sont parfois importantes entre 2008 et 2019 (Saint-Denis – Barachois ; Saint-Benoit ; La Possession). Ceci montre que la seule prise en considération de cet indice (basé sur des groupes trophiques de polluo-sensibilité) est insuffisante pour qualifier à elle seule l'état de la masse d'eau.
- L'indice M-AMBI montre une variabilité plus pondérée, comme le montre la figure 18. On note une **très bonne reproductibilité des indices calculés**, pour la quasi-totalité des stations. Ceci confirme la pertinence de cet indice intégrateur de l'état global du milieu benthique, qui est robuste et s'appuie sur une combinaison de plusieurs métriques.
- Les valeurs de 2019 sont le plus souvent assez proches des valeurs de 2016, avec une très légère diminution, qui reste cependant peu significative. Les variations sont assez homogènes entre les 2 dernières périodes. Globalement, **la situation environnementale peut être qualifiée de stable du point de vue biologique si on se base sur l'indice M-AMBI**,
- Les stations de Grande Anse et des Avirons montrent une diminution des indices qui sont associés à un changement d'état des masses d'eau considérées (passant à un état moyen). Les valeurs observées sont cependant très proches des valeurs de 2016, et ces variations semblent liées à une instabilité sédimentaire (valeur de richesse spécifique faible). La situation sur les Avirons devra être surveillée lors de la prochaine campagne,
- La station de Saint-Joseph est considérée en « bon état », ce qui est très probablement transitoire et ne reflète pas la réalité écologique de ce secteur littoral. Ce résultat est lié à une

année 2019 exceptionnellement sèche, selon les conclusions du rapport RCE (Mangion et al. 2019). Les stations de Saint-Louis (côte) et Saint-Benoît (côte) présentent un « état moyen » qui est assez caractéristique « des stations sentinelles », dont l'évolution au sein de la masse d'eau pourrait être à surveiller lors du prochain suivi.

- La **majorité des stations DCE** (profondes) conservent en 2019 un **niveau de qualité écologique qualifié de « bon » à « très bon » au sens de l'indicateur Benthos de substrats meubles de la DCE.**

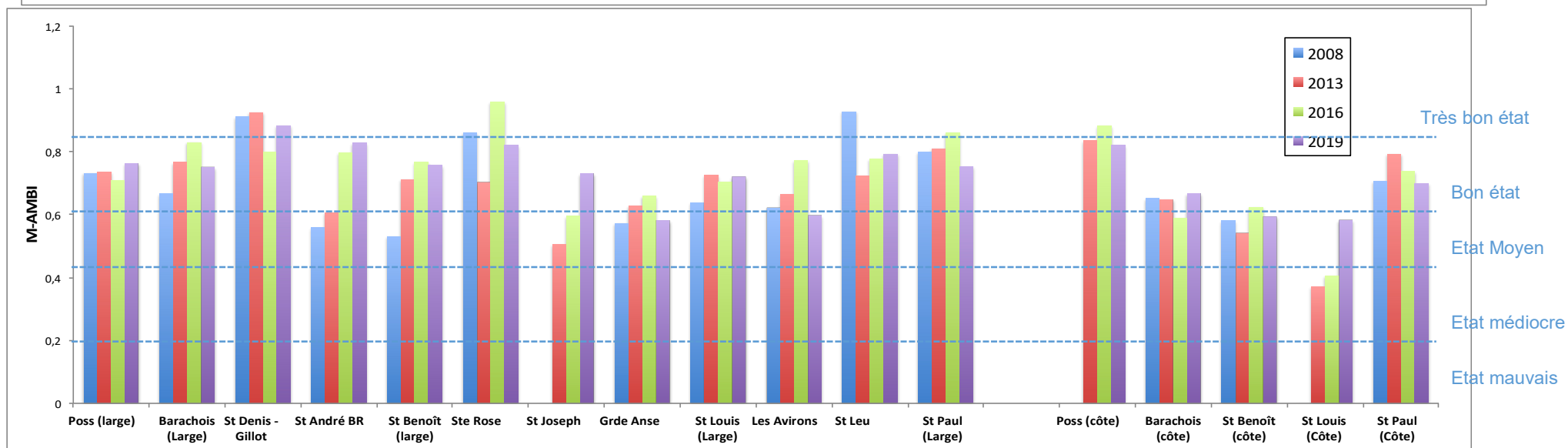
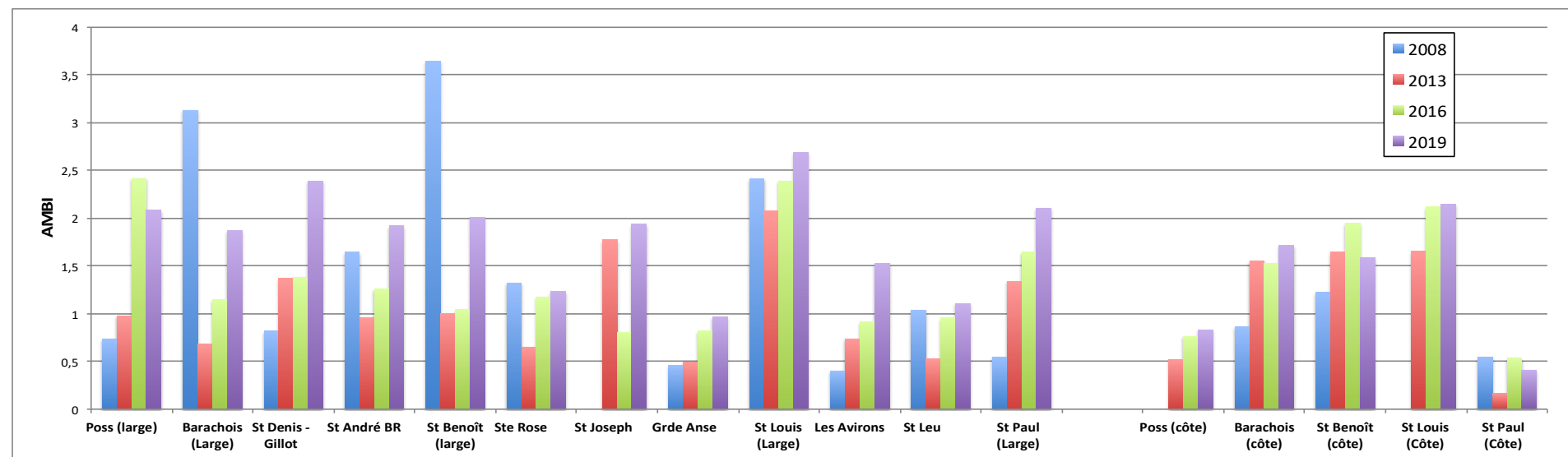


Figure 18 : Évolution spatio-temporelle des indices « AMBI » (haut) et « M-AMBI » (bas) calculés sur les 17 stations DCE de La Réunion entre 2008 et 2019

Tableau 7 : Indices de diversité faunistique (« M-AMBI », « AMBI », H', S) sur les 17 stations suivies en 2008 (Cartomar), 2013, 2016, et 2019 regroupées en stations « large » du RCS (haut) et stations côtières dites « complémentaires » (bas).

STATIONS DCE OFFICIELLES (« LARGE »)

code masse d'eau DCE	Libellé de stations	Mnémonique Q2	AMBI				Diversité (H')				Rich. spécifique				M-AMBI				Statut DCE			
			2008	2013	2016	2019	2008	2013	2016	2019	2008	2013	2016	2019	2008	2013	2016	2019	2008 (Cartomar)	2013	2016	2019
LC 08	La Possession (Large)	126-P-018	0,736	0,979	2,414	2,083	3,382	3,426	4,262	4,657	24	21	40	30	0,731	0,735	0,709	0,762	Bon état	Bon état	Bon état	Bon état
LC 08	Saint Denis - Barachois (Large)	126-P-074	3,129	0,683	1,149	1,870	3,135	3,586	3,597	4,580	31	21	61	27	0,666	0,766	0,829	0,750	Bon état	Bon état	Très bon état	Bon état
LC 01	Saint Denis - Gillot	126-P-091	0,821	1,369	1,385	2,390	3,887	4,450	4,280	5,244	41	39	45	45	0,911	0,925	0,799	0,883	Très bon état	Très bon état	Bon état	Très bon état
LC 02	Saint André - Bois Rouge	126-P-076	1,645	0,960	1,259	1,920	3,032	2,715	4,398	4,884	11	11	40	36	0,558	0,607	0,796	0,827	état Moyen	état Moyen	Bon état	Très bon état
LC 02	St Benoît - Bourbier (large)	126-P-077	3,644	1,003	1,042	2,006	2,434	2,744	3,744	4,602	25	25	41	29	0,529	0,712	0,767	0,757	état Moyen	Bon état	Bon état	Bon état
LC 03	Ste Rose- Bassin des Harengs	126-P-079	1,302	0,650	1,177	1,234	4,448	2,837	4,900	4,676	30	20	70	31	0,860	0,703	0,957	0,820	Très bon état	Bon état	Très bon état	Très bon état
LC 04	Saint Joseph	126-P-072	0,458	1,775	0,804	1,938	2,921	2,441	2,859	4,441	8	7	10	26	0,571	0,504	0,595	0,730	état Moyen	état Moyen	état Moyen	Bon état
LC 04	Grande Anse	126-P-014	0,458	0,495	0,823	0,965	2,921	2,800	3,309	3,005	8	9	18	10	0,571	0,627	0,659	0,580	état Moyen	Bon état	Bon état	Etat Moyen
LC 05	Saint Louis- Bel air (Large)	126-P-082	2,407	2,073	2,390	2,689	3,512	3,612	4,346	4,649	19	27	37	29	0,638	0,726	0,705	0,719	-	Bon état	Bon état	Bon état
LC 05	Les Avirons - Bois Blanc	126-P-080	0,4	0,738	0,915	1,525	3,094	3,284	4,343	3,414	12	11	29	13	0,622	0,664	0,771	0,596	état Moyen	Bon état	Bon état	Etat Moyen
LC 06	Saint Leu	126-P-084	1,041	0,527	0,955	1,109	4,614	3,480	4,404	4,551	35	15	30	27	0,926	0,723	0,777	0,793	Très bon état	Bon état	Bon état	Bon état
LC 07	Saint Paul (Large)	126-P-020	2,665	1,341	1,650	2,107	3,666	4,110	4,871	4,632	27	27	54	29	0,705	0,810	0,860	0,753	Bon état	Bon état	Très bon état	Bon état

STATIONS COMPLÉMENTAIRES (« CÔTE »)

code masse d'eau DCE	Libellé de stations	Mnémonique Q2	AMBI				Diversité (H')				Rich. spécifique				M-AMBI				Statut DCE			
			2008	2013	2016	2019	2008	2013	2016	2019	2008	2013	2016	2019	2008	2013	2016	2019	2008 (Cartomar)	2013	2016	2019
LC 02	St Benoît- Bourbier (côte)	126-P-081	1,227	1,6464	1,9482	1,590	2,921	4,167	4,801	3,428	13	9	18	13	0,580	0,54151	0,624	0,593	état Moyen	état Moyen	Bon état	Etat Moyen
LC 05	Saint Louis- Bel Air (Côte)	126-P-088	-	1,6525	2,1174	2,151	-	3,347	3,005	3,643	-	8	10	14	-	0,37155	0,405	0,582	-	état Médiocre	état Médiocre	Etat Moyen
LC 07	Saint Paul (Côte)	126-P-083	0,547	0,16879	0,53845	0,413	-	2,623	3,864	3,649	-	21	30	16	0,706	0,79289	0,738	0,698	Bon état	Bon état	Bon état	Bon état
LC 08	La Possession (côte)	126-P-078	-	0,51786	0,76315	0,832	-	0,501	1,453	4,606	-	23	46	28	-	0,83588	0,882	0,820	-	Très bon état	Très bon état	Bon état
LC 08	Saint Denis - Barachois (Côte)	126-P-075	0,865	1,5559	1,5261	1,714	-	3,515	3,481	4,015	-	15	18	19	0,651	0,64778	0,589	0,667	Bon état	Bon état	état Moyen	Bon état

3.4 Retours d'expérience de la campagne de terrain

Dans un souci de pérennisation des suivis et compte tenu du turn-over des intervenants, il est proposé ci-après un retour sur les enseignements tirés de la mission et les pistes possibles d'amélioration.

Les conditions météorologiques sont des éléments essentiels, bien que rarement maîtrisables. Les conditions exceptionnelles rencontrées lors de la campagne en mer, ainsi qu'une équipe de 6 personnes bien formées, ont permis d'effectuer l'ensemble des prélèvements dans un délai plus court que prévu. La période ciblée pour le suivi RCS (février / avril) semble suffisamment longue pour bénéficier de bonnes fenêtres météo.

Le courant est également un facteur primordial. A titre d'exemple, d'autres opérations de prélèvements effectuées un mois auparavant avec le même matériel (benne, navire), la même équipe mais en présence d'un fort courant ont été beaucoup plus délicates, avec de nombreux coups de benne infructueux. Il est important de noter qu'il est délicat de prédire les courants à l'échelle de l'île. Dans le cas présent, les coefficients de marée étaient relativement importants, ce qui aurait dû être pénalisant. La météorologie et la courantologie n'étant pas maîtrisables, surtout à l'échelle de l'île entière, nous conseillons donc de rester sur une base prévisionnelle de 3 jours de terrain pour les prochains suivis.

Le bateau doit également être adapté et **équipé d'un matériel fiable**, bien entretenu, et en double (2 bennes) tout en assurant la sécurité des intervenants. Le matériel acquis par la société TSMOI, ainsi que les nombreuses améliorations liées aux retours d'expérience de l'équipage, se sont ainsi révélés primordiaux pour la réussite des prélèvements. La vitesse élevée du navire a également permis de gagner un temps de navigation précieux. Enfin, la place disponible sur le Lys, ainsi que la présence d'un espace sec, sont très utiles pour optimiser le rôle de chacun.

L'organisation et les compétences de l'équipe de terrain sont primordiales pour réaliser le suivi des stations dans le temps imparti. Le suivi est faisable avec une équipe de 5 personnes, mais une équipe de 6 (incluant nécessairement un pilote et un manipulateur du treuil) est optimale pour gagner en efficacité et en rigueur. Une bonne répartition des rôles dès le début, avec un briefing avant de démarrer la mission, sont nécessaires.

Le matériel est également un élément-clé. En plus du matériel strictement dédié au prélèvement déjà décrit, l'utilisation d'une tablette tactile étanche pour le relevé des métadonnées a permis un gain de temps et assuré une collecte de données fiables et sécurisées.

4 Conclusions & perspectives

Cette troisième campagne DCE (2019) du « Réseau de contrôle de surveillance (RCS) » du benthos de substrats meubles a permis d'acquérir un nouveau jeu de données cohérentes et informatives. Elle complète les données DCE acquises en 2013 et 2016 et celles de 2008 (programme Cartomar). Les conclusions du RCE 2018 ont été intégrées pour l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus sur les stations communes au RCS.

La mise en œuvre opérationnelle a été réalisée avec succès par le titulaire du marché Créocéan Océan Indien et son sous-traitant, l'UMR Entropie de l'université de La Réunion. L'organisation logistique mise en œuvre en 2019 a été optimale, tant en termes de mobilisation des moyens à la mer que de méthodologies terrain.

L'échantillonnage des 17 stations a permis de recueillir des données sur le milieu physique sédimentaire et sur la macrofaune benthique endogée (dite « macrofaune de substrat meuble »).

Paramètres sédimentaires :

Les données de physico-chimie des sédiments ont confirmé les tendances décrites dans les études précédentes, à savoir que les sédiments côtiers des stations DCE de La Réunion présentent **un état globalement stable**. Deux stations mériteraient cependant d'être analysées plus particulièrement lors du RCS 2022 :

1- La station St Louis (large) où un enrichissement modéré mais progressif en particules fines et en matière organique a été observé, et qui pourrait être corrélé à une augmentation des pressions sur le bassin versant adjacent (cf. campagne RCE ; Mangion et al., 2019).

2- La station complémentaire La Possession (côte) où un accroissement important du taux de fines a été observé.

L'analyse des paramètres sédimentaires reste importante en tant que facteur explicatif des variations de communautés benthiques.

Communautés endogées et calculs des indices DCE :

Comme en 2016, la structure des communautés montre le plus souvent une disparité entre les stations les plus côtières (stations « côtes », bathymétrie <20 m) et les stations de référence situées en profondeur (stations « large » sur l'horizon des -50 à -70 m).

Les stations de référence sont caractérisées par une stabilité du milieu benthique et des communautés plus riches et diversifiées, ce qui est notamment lié au faible remaniement sédimentaire (par opposition aux habitats les plus littoraux), à une exception près. En conséquence, les **stations les plus profondes** sont celles **retenues pour l'évaluation de l'état des masses d'eau au titre du RCS**.

Les stations côtières (dites « complémentaires »), même si elles ne participent pas à l'évaluation de l'état de la masse d'eau au sens de la DCE, sont des « sentinelles » pour la masse d'eau dans laquelle elles se trouvent, notamment par le biais de l'analyse temporelle sur plusieurs campagnes. Elles restent les premières à être potentiellement impactées par les apports des bassins versants adjacents, comme le montrent les résultats acquis sur les trois derniers RCS.

Les **indices biotiques règlementaires « AMBI » et « M-AMBI »** adaptés au contexte de La Réunion ont été calculés sur le jeu de données 2019 et comparés à ceux de 2013 et 2016. **Les résultats du « M-AMBI », qui est un indice intégrateur de l'état global des communautés et de l'état des masses d'eau côtières**, confirment l'efficacité de cet indice qui est adapté au contexte réunionnais.

Les stations DCE actuelles sont en général qualifiées par un état « bon » ou « très bon » au sens de la DCE. Deux stations (Les Avirons et Grande Anse) qui jusqu'à présent étaient en « bon état », présentent en 2019 un état « moyen » du fait d'une très faible richesse spécifique des communautés observées. Cette situation encore peu alarmante, mais néanmoins surprenante, notamment pour le secteur de Grande Anse (proche de Saint-Joseph), traduit probablement une instabilité sédimentaire qui sera à surveiller dans le cadre du contrôle de 2022. **La station Saint-Joseph** qui présentait en 2016 et en 2018 un état « moyen » (cf. RCE, 2019) retrouve en 2019 un « bon état ». Comme le montrent les analyses du RCE en 2019, cet état est **probablement transitoire**, et lié à la diminution des apports hydriques issus du bassin versant adjacent sur l'année 2019 qui a été exceptionnellement sèche. Il convient donc de « tempérer » cette situation de « bon état » qui est très probablement exceptionnelle du fait d'un déficit d'apports terrestres qui caractérisent cette station, comme le montrent les analyses physico-chimiques réalisées en 2018 sur le milieu récepteur et sur le bassin versant dans le cadre du RCE. Il s'agit donc d'une situation de la masse d'eau qui est probablement anormale, et liée à une situation climatique très particulière en 2019.

Les stations complémentaires (« côte ») présentent un état plus variable, mais restent le plus souvent de bonnes sentinelles comme cela est le cas sur les secteurs de Saint-Louis – Bel Air et de Saint-Benoît – Bourbier qui présentent un état de perturbation assez récurrent dans le temps (états de « médiocre à moyen » selon les années). Ces zones sont soumises à des sources de pressions anthropiques croissantes dans le temps en rapport avec l'évolution directe des zones côtières et des bassins versants adjacents (zones agricoles, zones industrielles, ZAC, centre d'enfouissement technique, station d'épuration, etc.). Comme le précisaient les suivis précédents (RCE 2018, RCS 2016), ces différents secteurs mériteraient également d'être surveillés dans le cadre du prochain RCS.

A l'inverse, la « stabilité » écologique de nombreux secteurs géographiques se confirme entre 2013 et 2016 (Possession large, Saint-Paul large, ...). Ils présentent une évolution sensible à l'échelle des 10 dernières années (« très bon état » et « bon état » écologique) et se maintiennent tant sur le plan de la diversité des communautés que de la structure trophique.

Cette troisième étude confirme la pertinence du suivi DCE RCS à long terme sur le compartiment « sédiment / macrofaune de substrat meuble » pour qualifier la qualité des masses d'eau côtières de La Réunion. L'indicateur utilisé est robuste et reproductible et il constitue à ce jour un des éléments fondamentaux de suivi du milieu marin pour les habitats sédimentaires, qui restent dominants au sein des masses d'eau côtières de la Réunion. Toutefois cet indicateur reste très lié à la stabilité sédimentaire : des stations côtières complémentaires localisées en milieu peu profond peuvent présenter des valeurs de l'indicateur caractéristiques d'un milieu dégradé suite à des épisodes réguliers de forte houle. Ceci peut masquer l'impact éventuel des apports du bassin versant (la perturbation étant attribuée à l'hydrodynamisme) ou rendre significatif un impact du bassin versant qui ne l'est pas (avec déclassement de la station côtière).

L'acquisition des données RCS sur les 10 dernières années a permis de structurer les connaissances sur l'état des masses d'eau côtières et de visualiser des tendances majeures de leur état écologique.

Le pas de temps trisannuel semble bien adapté à la compréhension de la situation écologique et pleinement nécessaire pour réaliser une bonne évaluation de l'évolution régulière des masses d'eau dans la recherche d'un équilibre optimal entre « coûts et objectifs » à atteindre. Il est d'autant plus important que la variabilité naturelle des communautés par station peut être importante d'une année à une autre, comme le montrent les résultats sur 10 ans.

Cette variabilité est également fortement liée aux fluctuations des sources de pressions anthropiques qui sont particulièrement importantes (et en augmentation régulière) sur certains bassins versants de La Réunion. La démarche globale intégrée d'analyse simultanée (i) de l'état du milieu récepteur

(RCS), et (ii) des sources de pressions environnementales (réalisées notamment dans le cadre de RCE), permettra à plus long terme de mieux comprendre le fonctionnement des MEC et les transferts de charges polluantes en mer.

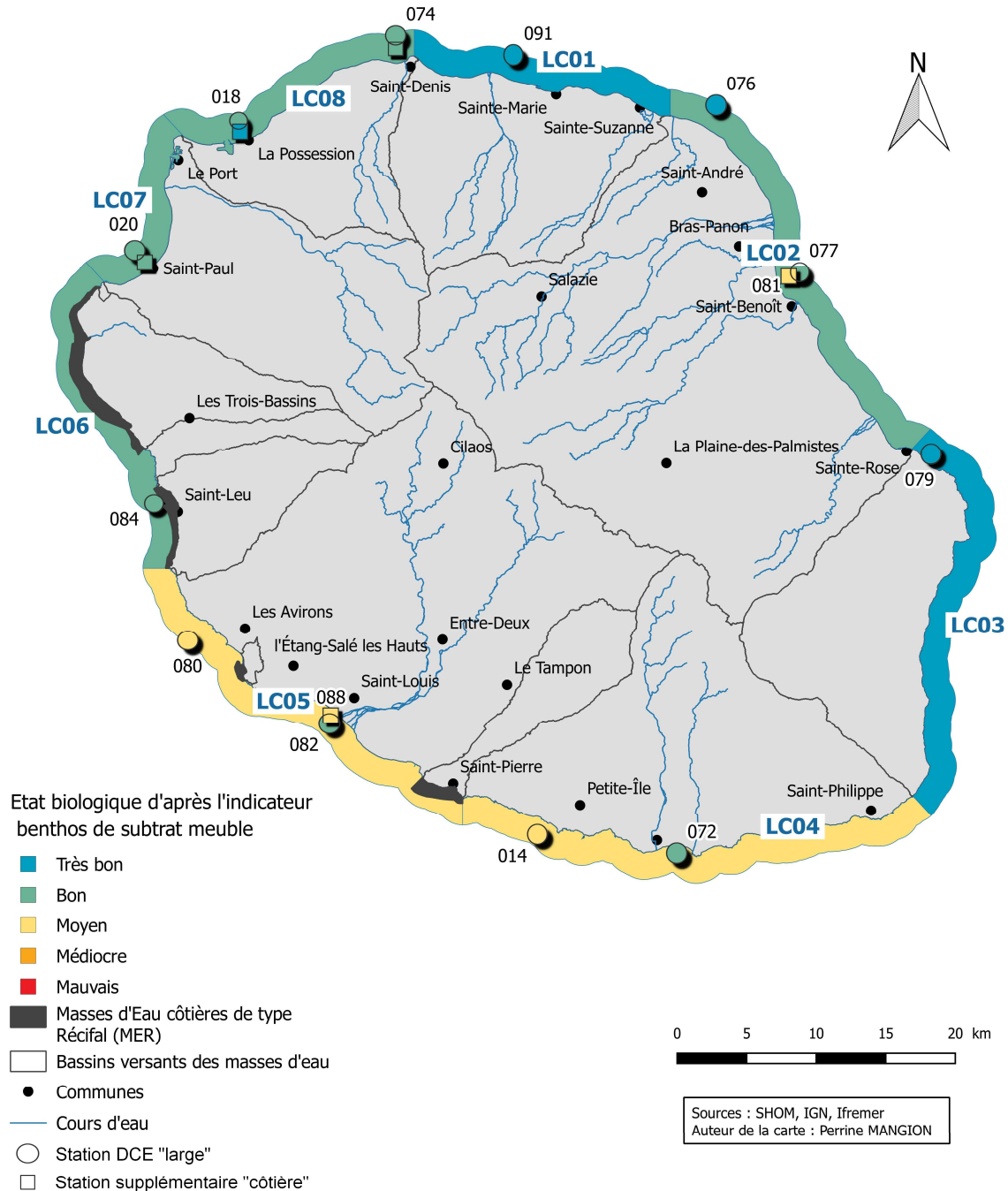


Figure 19 : État écologique des masses d'eaux côtières de La Réunion selon l'indicateur « benthos de substrat meuble » en 2019 (en fonction de la station RCS la plus déclassante)

5 BIBLIOGRAPHIE

ARVAM (2007). Programme CARTOMAR. Propriétés physiques, contamination et macrofaune benthique. Note d'expérience de la campagne de prélèvement. 17 pages + annexes.

ARVAM, IFREMER, UNIVERSITE DE LA REUNION, PARETO, UNIVERSITE BORDEAUX-I, CEDRE (2010). Caractérisation de l'état de référence biologique des masses d'eaux côtières au regard de la Directive Cadre sur l'eau. Étude pilote. Rapport final. 40 p.

ARVAM, ECOMAR, PARETO (2014). Directive Cadre sur l'Eau. Suivi benthos de substrats meubles en milieu marin. Rapport pour le compte de l'Office de l'eau Réunion. 29 p.

BIGOT L. (2006). The soft-bottom macrobenthic communities from tropical non reefal area: Diversity and response to marine environmental changes at Reunion Island (Indian Ocean). Phd, University of Reunion island, 230 p.

BIGOT L., GREMARE, A., AMOUROUX JM., FROUIN P., MAIRE O., GAERTNER, JC. (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'OLE Réunion. 43p + Annexes.

BORJA A, MUXIKA I, FRANCO J (2003). The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. Mar. Poll. Bull. 46:835-845

BORJA A (2004). The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools. Marine Pollution Bulletin 48:405-408

BORJA A, JOSEFSON AB., MILES A., MUXIKA I, OLSGARD F., PHILLIPS G., RODRIGUEZ G., RYGG B. (2007). An approach to the intercalibration of benthic ecological status assessment in the North Atlantic ecoregion, according to the European Water Framework Directive. Mar. Poll. Bull. 55: 42-52.

BRGM / DIREN (2008). CARTOMAR Cartographie morpho-sédimentologique des fonds marins côtiers de La Réunion. Rapport final. 41p + annexes.

CE, (2000). Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes, 22/12/2000 : L327/1-L327/71.

CLARKE, KR, WARWICK RM (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth.

GUILLAUMONT B., GAUTHIER E. (2005). Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE, concernant le benthos marin. Rapport Ifremer DYNECO, 27p.

IFREMER, (2005). Recommandations techniques pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Stratégie d'échantillonnages et protocoles. Volume 1 : contaminants chimiques, phytoplancton et hydrologie. Laboratoire DYNECO service VIGIES. 34p + annexes

GT DCE Réunion « Benthos de Substrats Meubles » (2017). Fascicule technique pour la mise en œuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE « Benthos de Substrats Meubles » à La Réunion ; RST-DOI/2017-10, 58p.

MANGION P., BIGOT L., BUREAU S., FROUIN P. (2019). Mise en œuvre du réseau de contrôle d'enquête (RCE) "benthos de substrats meubles" sur les masses d'eau côtières du Port, de Saint-Louis et de Saint-Joseph à La Réunion. UMR Entropie. 65 pp.

NF EN ISO 16 665, Water quality – Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macrofauna.



ANNEXES

Annexe 1 : Photographies du type de sédiment sur chaque station



074 – Saint-Denis Barachois (Large)



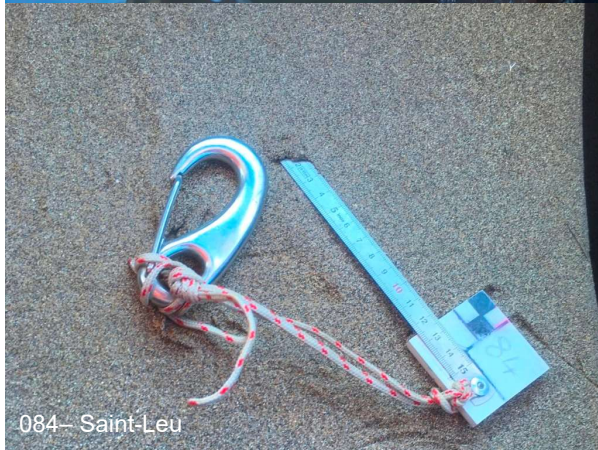
075 – Saint-Denis Barachois (Côte)



020 – Saint-Paul (Large)



083 – Saint-Paul (Côte)



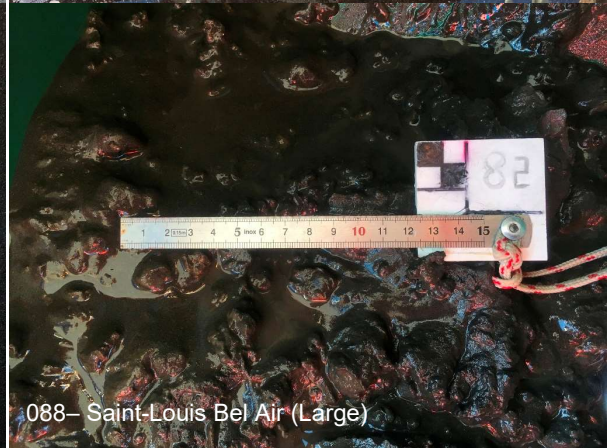
084 – Saint-Leu



080 – Les Avirons – Bois Blanc



088 – Saint-Louis Bel Air (Côte)



088 – Saint-Louis Bel Air (Large)



014– Petite Ile Grande Anse



072 – Saint-Joseph



079– Sainte-Rose Bassin des Harengs



081 – Saint-Benoit Bourbier (Côte)



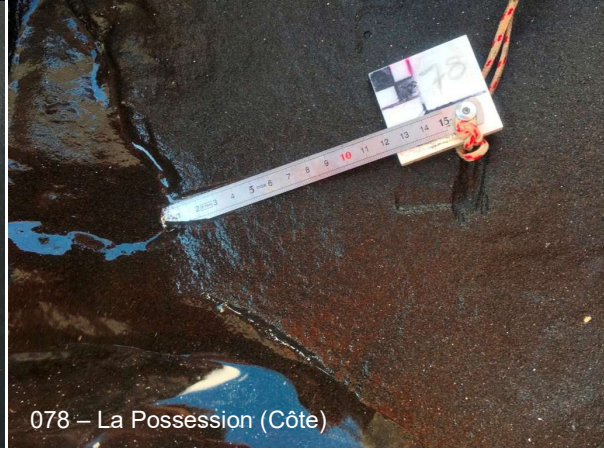
077– Saint-Benoit Bourbier (Large)



076 – Saint-André Bois Rouge



091 – Saint-Denis Gillot



078 – La Possession (Côte)



018 – La Possession (Large)

Annexe 2 : Liste des taxons identifiées en 2019.

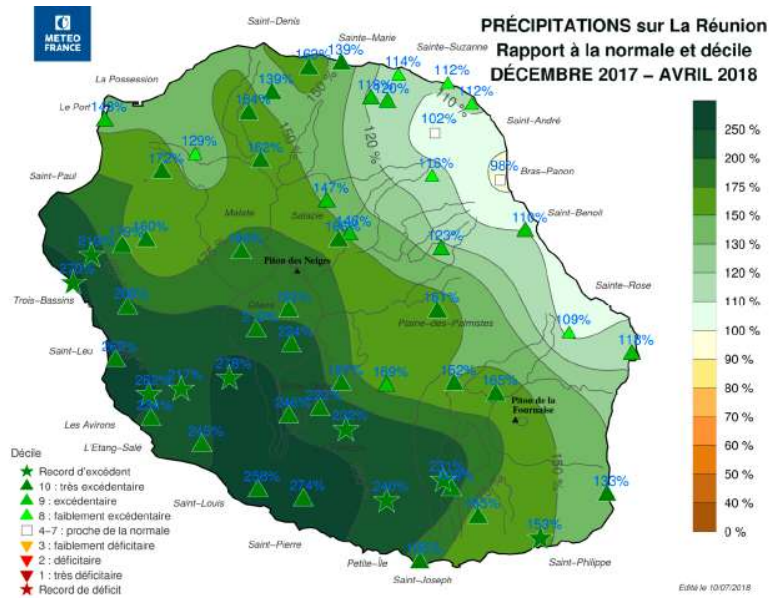
<i>Actiniariasp</i>	<i>Metaliasp</i>
<i>Aglaophamusdibranchis</i>	<i>Myra sp1</i>
<i>Alpheus sp1</i>	<i>Myriochelecf picta</i>
<i>Ampelisca sp1</i>	<i>Myriocheleindet</i>
<i>Ampharete sp1</i>	<i>Myriochelesp</i>
<i>Amphiura sp1</i>	<i>Myriochele sp1</i>
<i>Aspidosiphonmuelleri</i>	<i>Nassariusgemmuliferus</i>
<i>Aspidosiphonsp</i>	<i>Nassariusshimeroessa</i>
<i>Calathura sp1</i>	<i>Nassariusvittatus</i>
<i>Calathura sp2</i>	<i>Nemerteaindet</i>
<i>Callianassa sp1</i>	<i>Nemertea sp1</i>
<i>Callianassidaesp</i>	<i>Nemertea sp2</i>
<i>Callistaerycinella</i>	<i>Nidotellinaunifasciata</i>
<i>Carideasp</i>	<i>Notomastusindet</i>
<i>Cerithiidae sp1</i>	<i>Notomastus sp1</i>
<i>Chlamys sp1</i>	<i>Oliva cftodosina</i>
<i>Chloeiafusca</i>	<i>Ophiuroideasp</i>
<i>Cirratulus africanus</i>	<i>Paguroideasp</i>
<i>Cirratulusp</i>	<i>Paralacydoniaparadoxa</i>
<i>Comatulida sp1</i>	<i>Paucibranchiaadenensis</i>
<i>Cyllichnatubulosa</i>	<i>Phoronidaindet</i>
<i>Cylleneconcinna</i>	<i>Phoronidaesp</i>
<i>Dasybranchuscfcaducus</i>	<i>Phyllochaetopteruscfherdmani</i>
<i>Diopatrakuprea</i>	<i>Phyllodocecf tubicola</i>
<i>Ditropagracillima</i>	<i>Pisione sp1</i>
<i>Dosiniahistrio</i>	<i>Platyhelminthesindet</i>
<i>Dosinia minor</i>	<i>Polychaetaindet</i>
<i>Enteropneustaindet</i>	<i>Prionospiosexoculata</i>
<i>Fulvia australis</i>	<i>Punctoterebrantida</i>
<i>Glyceratesselata</i>	<i>Pyramidellasp</i>
<i>Golfingiidaesp</i>	<i>Scolelepisdfsquamata</i>
<i>Golfingiidae sp1</i>	<i>Scolelepisindet</i>
<i>Hartmaniellatulearensis</i>	<i>Scolelepissquamata</i>
<i>Hastulamatheroniana</i>	<i>Scoloplosmadagascariensis</i>
<i>Heterocyathusaequicostatus</i>	<i>Sigalionmathildae</i>
<i>Imbricariasalisburyi</i>	<i>Sigambraparva</i>
<i>Kirkegaardiaheterochaeta</i>	<i>Sipunculasp</i>
<i>Linopheruscfmicrocephala</i>	<i>Spionidaesp</i>
<i>Lioconchaphilippinarum</i>	<i>Spiophanescfkroyeri</i>
<i>Loveniaelongata</i>	<i>Sthenelais boa</i>
<i>Lucifer typus</i>	<i>Tharyxsp</i>
<i>Magelona sp2</i>	<i>Timocleaconcinna</i>
<i>Magelona sp3</i>	<i>Trochidaesp</i>
<i>Malacocerosindet</i>	<i>Turritellaaurocincta</i>
<i>Malacocerosindicus</i>	<i>Polycirruscfhaematodes</i>
<i>Maretiaplanulata</i>	<i>Euthalenessafestiva</i>

Annexe 3 : Assignations d'espèces et groupes de polluo-sensibilité utilisés pour le calcul des indices AMBI et M-AMBI en 2019.

Espèces RCS 2019	Assignation et groupes polluo-sensibilité 2019	Espèces RCS 2019	Assignation et groupes polluo-sensibilité 2019
Actiniaria sp	changed by ACTINIARIA (II)	Maretia planulata*	changed by Maretia planulata (I)
Albunea sp1	changed by Albunea sp. (I)	Marphysa sp2	changed by Marphysa sp. (II)
Alpheus sp1	changed by Alpheus sp. (II)	Metalia sp	changed by Brissopsis sp. (I)
Ampelisca sp1	changed by Ampelisca sp. (I)	Myra sp1	changed by Myra sp. (not assigned)
Ampharete sp1	changed by Ampharete oculata (II)	Myra sp2	changed by Myra sp. (not assigned)
Amphiura sp1	changed by Amphiura sp. (II)	Myriochele cf picta	changed by Myriochele picta (III)
Amphiura sp2	changed by Amphiura sp. (II)	Myriochele sp	changed by Myriochele sp. (III)
Amygdalum cf soyoae	changed by Amygdalum soyoae (III)	Myriochele sp1	changed by Myriochele sp. (III)
Aphroditidae indet	changed by Aphrodita sp. (I)	Nassarius gemmuliferus	changed by Nassarius acutus (III)
Aspidosiphon sp	changed by Aspidosiphon muelleri (I)	Nassarius himeroessa	changed by Nassarius hepaticus (II)
Astropecten cf reunionensis	changed by Astropecten sp. (I)	Nassarius horridus	changed by Nassarius incrassatus (II)
Azorinus cunhai	changed by Azorinus chamasolen (I)	Nassarius livescens	changed by Nassarius acutus (II)
Barbatia sp	changed by Barbatia bistrigata (I)	Nassarius vittatus*	changed by Nassarius vibex (II)
Barbierella cf louisensis	changed by Barbatia bistrigata (I)	Naticarius zonalis	changed by Naticarius dillwyni (II)
Calathura sp1*	changed by Branchiura sp. (IV)	Nemertea sp1	changed by NEMERTEA (III)
Calathura sp2*	changed by Branchiura sp. (IV)	Nemertea sp2	changed by NEMERTEA (III)
Callianassa sp1	changed by Callianassa sp. (III)	Nereis sp1	changed by Nereis sp. (III)
Callista erycinella	changed by Callista chione (I)	Nidotellina unifasciata	changed by Tellina sp. (I)
Canarium olydium	changed by Cancellaria scalariformis (I)	Notocochlis cernica	changed by Notocochlis chemnitzii (II)
Capitellidae indet	changed by Capitellides sp. (V)	Notomastus indet	changed by Notomastus aberans (III)
Caridea sp	changed by Periclimenes sp. (I)	Notomastus sp1	changed by Notomastus aberans (III)
Casmaria ponderosa	changed by Cassidinidea ovalis (II)	Notomastus sp2	changed by Notomastus aberans (III)
Cerithiidae sp1	changed by Cerithidea californica (II)	Nymphon sp	changed by Nymphon sp. (I)
Cerithium interstriatum	changed by Cerithium atratum (II)	Oliva cf todosina	changed by Oliva lignaria (I)
Chaetopteridae indet	changed by Chaetopterus sp. (I)	Ophiuroidea sp	changed by OPHIUROIDEA (II)
Chlamys sp1	changed by Chlamys sp. (I)	Paguroidea sp	changed by Pagurus sp. (II)
Cirratulus sp	changed by Cirratulus sp. (IV)	Parthenopidae sp2	changed by Parthenope macrochelos (not assigned)
Comatulida sp1	no assigned	Parthenopidae sp3	changed by Parthenope macrochelos (not assigned)
Cylichna tubulosa	changed by Cylichna alba (II)	Paucibranchia adenensis	changed by Marphysa adenensis (II)
Cyllene concinna	changed by Nassarius gayii (III)	Periclimenes sp1	changed by Periclimenes sp. (I)
Dasybranchus cf caducus	changed by Dasybranchus caducus (III)	Phoronidae indet	changed by Phoronis architecta (II)
Diopatra cuprea *	changed by Capitella capitata (V)	Phyllochaetopterus cf herdmani	changed by Phyllochaetopterus prolifica (II)
Dosinia histrio	changed by Dosinia biscocta (I)	Phyllodoce cf tubicola	changed by Phyllodoce rosea (II)
Duplicaria baileyi	changed by Duplicaria dussumierii (II)	Pinna muricata	changed by Pinna nobilis (I)
Echinodiscus bisperforatus	changed by Echinocardium cordatum (I)	Pisione sp1	changed by Pisione sp. (I)
Enteropneusta indet	changed by Enteropneusta sp. (II)	Platyhelminthes indet	changed by PLATYHELMINTHES (II)
Euselelops luniceps	no assigned	Poecilochaetus serpens	changed by Poecilochaetus serpens (I)
Euthalenessa festiva	changed by Euthalenessa dendrolepis (I)	Polychaeta indet	no assigned
Fulvia australis	changed by Fulvia laevigata (I)	Polycirrus cf haematodes	changed by Polycirrus haematodes (IV)
Gammaropsis sp	changed by Gammaropsis sp. (I)	Polyschides arnaudi	changed by Polyschides quadrifissatus (II)
Glycymeris lividus	changed by Glycymeris glycymeris (III)	Poromya tenuiconcha	changed by Poromya soyoa (II)
Golfingiidae sp	changed by Golfingia sp. (I)	Portunus sp1	changed by Portunus arcuatus (I)
Golfingiidae sp1	changed by Golfingia sp. (I)	Processa sp1	changed by Processa sp. (I)
Hartmaniella tulearensis*	changed by Oenone fulgida (III)	Processa sp2	changed by Processa sp. (I)
Imbricaria salisburyi	changed by Cancilla salisburyi (I)	Psammolyce sp	changed by Psammolyce arenosa (II)
Laganum sp indet	changed by Brissopsis luzonica (I)	Punctoterebra nitida	changed by Terebella rubra (I)
Leucifer typus	changed by Leucon sp. (II)	Pupa alveola	changed by Acteocina sp. (II)
Limatula pussila	changed by Limatula pygmaea (I)	Pyramidella sp	changed by Pyramidella sp. (I)
Linopherus cf microcephala	changed by Linopherus ambigua (IV)	Pyrene sp	changed by Pyrene sp. (I)
Lovenia elongata*	changed by Linopherus hemuli (IV)	Samytha sp	changed by Samytha sp. (I)
Lumbrineris cf gracilis	changed by Lumbrineris gracilis (II)	Scolecopsis indet	changed by Scolecopsis squamata (III)
Lumbrineris sp1	changed by Lumbrineris sp. (II)	Siphonoecetes sp	changed by Siphonoecetes sp. (I)
Lumbrineris sp2	changed by Lumbrineris sp. (II)	Sipuncula sp	changed by Sipunculus nudus (I)
Magelona sp1*	changed by Macoploma tenta (III)	Spionidae sp	changed by Spio sp. (III)
Magelona sp2*	changed by Macoploma tenta (III)	Spiophanes cf kroyeri	changed by Spiophanes kroyeri (III)
Magelona sp3	changed by Macoploma tenta (III)	Syllis sp1	changed by Syllis sp. (II)
Malacoceros sp3	changed by Malacoceros sp. (III)	Synelmis cf glasbyi	changed by Synelmis albinii (I)
Maldanidae indet	changed by MALDANIDAE (I)	Tharyx sp	changed by Tharyx sp. (IV)
		Trochidae sp	changed by Trochus sp. (I)
		Vexillum sp1	changed by Vexillum filistriatum (I)
		Aoridae sp	no assigned
		Cumacea sp	changed by CUMACEA (I)
		Philine cf cumingii	changed by Philine catena (II)
		Dendronephthya indet	no assigned

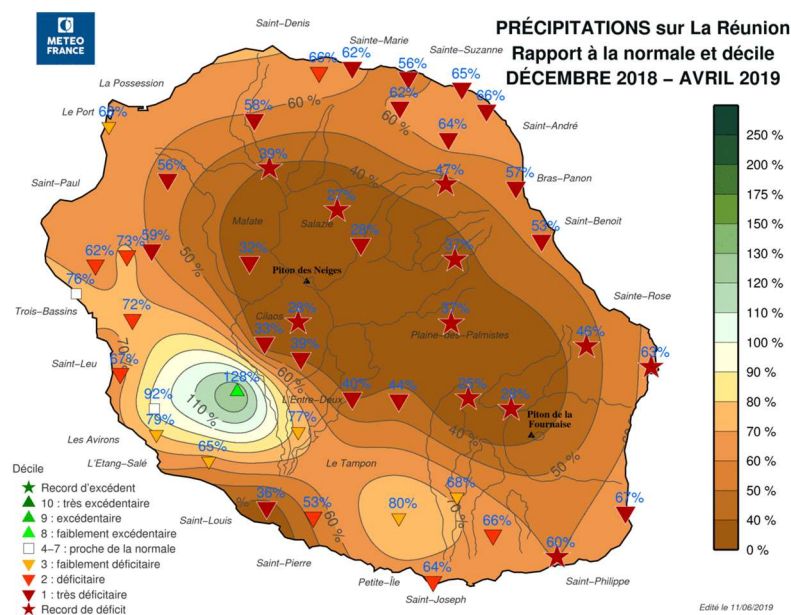
Annexe 4 : Analyse des données Météo France sur les saisons des pluies 2017-2018 et 2018-2019 (extraits)

« La saison des pluies 2017/2018 affiche un excédent global de l'ordre de 50% par rapport à la normale 1981-2010. Ce qui la place au **4^{ème} rang des saisons les plus arrosées depuis 1961**. Le secteur le plus excédentaire est le tiers sud-ouest de l'île (+155% par rapport à la normale) et des records locaux au Tevelave, Piton-Bloc, Grand Coude, Piton St Leu, La Plaine des Makes, La saline les Hauts, La Pointe des trois bassins, Le Baril et Le Tampon .»



Source : Météo France, *Bulletins climatologiques mensuels de la Réunion*, http://www.meteofrance.re/documents/3714872/4386426/Saisonsdespluies2017_2018.pdf/64924e1e-b265-43f0-a2f9-093b3a0b609e

« Le bilan final (-48%) place cette saison des pluies 2018-2019 **comme la plus sèche depuis 48 ans**. C'est dans les Hauts que les déficits sont les plus sévères : records de déficit sur le Volcan, à Plaine des Palmistes, Takamaka, Mare à Vieille Place, Plaine des Chicots et Cilaos. Dans les Bas, on remarque également des records de déficit à Gros Piton Ste-Rose et au Baril. Seul le secteur des Makes est faiblement excédentaire. »



Source : Météo France, *Bulletins climatologiques mensuels de la Réunion* - http://www.meteofrance.re/documents/3714872/4386426/Saisonsdespluies2018_2019.pdf

[Annexe 5 : Résultats bruts du laboratoire d'analyses](#)