



Suivi environnemental Premier semestre 2018

MILIEU MARIN



Vale Nouvelle-Calédonie
Année 2018

Vale Nouvelle-Calédonie
Année 2018

L'intégralité du présent rapport, compris ses annexes, (ci-après désigné « RAPPORT ») reste la propriété exclusive de VALE Nouvelle-Calédonie SAS (ci-après désignée « VALE NC »), au titre de son droit de propriété intellectuelle.

A l'exception des autorités administratives destinataires du RAPPORT, ce dernier et les données qu'il contient ne peuvent être utilisées qu'à des fins de consultation à titre privé.

Ainsi le Rapport et les données qu'il contient ne pourront pas être utilisés ou reproduits (totalement ou partiellement) sur quelque support que ce soit, sans l'accord préalable et écrit de VALE NC.

En aucun cas le RAPPORT et les données qu'il contient ne pourront être utilisées à des fins commerciales et/ou en vue de porter atteinte aux intérêts de VALE NC et du groupe VALE, notamment par l'utilisation partielles des données et sorties de leur contexte global, sous peine de voir votre responsabilité engagée.

Si vous désirez des informations plus détaillées au sujet de la présente déclaration et/ou du RAPPORT, veuillez-vous adresser à :

VALE NC, Département Communication

E-mail : ValeNC-communication@vale.com

Tel : 23 50 36

Sommaire

1. ACQUISITION DES DONNEES. PLAN DE SUIVI DU MILIEU MARIN.....	2
1.1. LOCALISATION.....	2
1.1.1. Positionnement global des stations des suivis du milieu marin Vale NC.....	2
1.1.2. Points de surveillance de la qualité des eaux marines : paramètres physico-chimiques de l'eau et structure de la colonne d'eau (Stations nommées : St)	3
1.1.3. Stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées (Stations ST).....	5
1.1.4. Points de suivi des sédiments – Qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures (Stations : St)	8
1.1.5. Points de suivi du Taux d'accumulation sédimentaire	9
1.1.6. Points de suivi des Flux sédimentaires	9
1.1.7. Zones de surveillance de l'herbier de la baie Kwé.....	10
1.2. INDICATEURS SUIVIS	11
1.3. METHODES	15
1.4. RENDUS SEMESTRIELS.....	15
2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLES A DATE DE CE RAPPORT	16
2.1. SYNTHESE DES SUIVIS DU MILIEU MARIN EFFECTUES EN 2018	17
2.2. CARTOGRAPHIE : PRESSIONS, ZONE D'INFLUENCE ET DE SUIVIS.....	18
3. RESULTATS (S1-2018)	22
3.1. VALEURS REGLEMENTAIRES ET ETATS DE REFERENCES	22
3.2. VALEURS OBTENUES (S1/2018)	26
3.2.1. Météorologie.....	26
3.2.2. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer	28
3.2.2.1. QUALITE- Contrôle qualité.....	31
3.2.2.2. RESULTATS S1 /2018	31
3.2.2.3. ANALYSES TEMPORELLES des fluctuations des paramètres	48
3.2.3. Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées	57
3.2.3.1. Bilan des observations par station suivie (Premier semestre 2018).....	58
3.2.3.2. Comparaisons spatiales des stations entre elles au temps t de la mission	61
3.2.3.3. Analyse de l'évolution temporelle au cours des années de suivis, depuis 2007	66
3.2.4. L'herbier	71
3.2.5. Suivi des flux sédimentaires	72
3.2.6. Suivi spécifique dédié au port de Prony (St16).....	82
3.2.7. Suivi des taux de sédimentation 2017 (triennal).....	89
3.2.8. Suivi de la qualité des sédiments (triennal).....	89
3.2.9. Evaluation et conséquences des incidents	89
3.2.10. Suivis supplémentaires DGT	89
4. CONCLUSION.....	92

Annexes

	Annexes	Rapports intégraux	S1/2018
2 0 1 7	Annexe 1	Méthodologies des suivis physico- chimiques et biologiques. V 2017.	Annexes intégrées au rapport S1/2018
	Annexe 2	Rapport S1/ 2018 : Suivi environnemental de la qualité de la colonne d'eau de mer. <ul style="list-style-type: none"> • Structure de la colonne d'eau • Qualité physico-chimique • Concentrations en métaux dissous • Evolutions spatiales et comparaison entre stations • Evolutions temporelles par rapport aux états de références et aux suivis antérieurs. • + Données brutes en fin de rapport. 	
	Annexes 3	Rapport S1/ 2018 : Suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah. <ul style="list-style-type: none"> • Etat de chaque station : substrat, benthos, poissons • Comparaison spatiale des stations entre elles • Evolution temporelle par rapport aux suivis antérieurs depuis 2007 • +Données brutes en fin de rapport. 	
	Annexe 4	Rapport S1/2018 : Suivi des flux de matières en suspension	
	Annexe 5	Abréviations et acronymes.	

INTRODUCTION

La surveillance du milieu marin dans la zone d'influence globale du complexe Vale NC et les zones témoins associées est effectuée sur la base de quatre groupes d'indicateurs physico-chimiques et biologiques, donnant des indications ponctuelles ou intégrées.

- **Indicateurs physico-chimiques de la qualité de l'eau de mer de la surface jusqu'au fond.**
- **Bio-indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des populations associés ;**
- **Suivi d'un herbier de phanérogames**
- **Indicateurs physico-chimiques des matières en suspension et des sédiments marins :**
 - **Flux de matières en suspension (MES)**
 - **Géochimie des sédiments,**
 - **Taux de sédimentation.**

Le plan de suivi qui assure cette surveillance concerne le périmètre d'influence potentielle de Vale NC et au-delà. Il a été élaboré par les autorités de tutelles et leurs conseillers scientifiques à partir de plusieurs années d'études océanographiques, selon une démarche basée sur les états initiaux, les études d'impacts, les pressions exercées par l'ensemble des activités de Vale NC et le suivi de zones témoins. La surveillance s'effectue au niveau de stations sous-marines et points de prélèvements selon les prescriptions réglementaires des arrêtés d'autorisation d'exploiter.

- **Arrêté ICPE : Installations portuaires. 13 juillet 2007.**

- **Arrêtés ICPE : Usine/UPM et bassin des résidus de la Kwé Ouest. 9 octobre 2008.**

- **Arrêté : AEM. 30 septembre 2016.**

- **Arrêté : Flexibilité en Manganèse. 21 novembre 2016**

Guide de lecture de ce rapport

Chapitres

- **Bordure bleue** : Plan de suivi : Méthodologies d'acquisition et de traitement des données
- **Bordure jaune** : Données disponibles à date du rapport présent
- **Bordure verte** : Résultats des suivis de l'année en cours
- **Bordure noire** : Conclusion



Les « plus » supplémentaires effectués



Les « high light »



Les points d'attention soutenue



Les points positifs



Les points du suivi ciblés pour une surveillance attentive et accrue

1. ACQUISITION DES DONNEES. PLAN DE SUIVI DU MILIEU MARIN

1.1. Localisation

1.1.1. Positionnement global des stations des suivis du milieu marin Vale NC

La carte suivante synthétise l'ensemble des points de suivis du milieu marin.

Figure 1 : Stations et points de surveillance du milieu marin 2008 à 2017.



Légende :



Ce plan de suivi est respecté depuis la mise en fonctionnement du complexe Vale NC en 2008.

Les paragraphes suivants reprennent les positions exactes de chaque station, en fonction des indicateurs suivis. La liste des paramètres suivis est indiquée au chapitre 1.2 et la méthodologie pour chaque paramètre analysé est présentée au chapitre 1.3 (Et en **Annexe n°1** de façon détaillée).

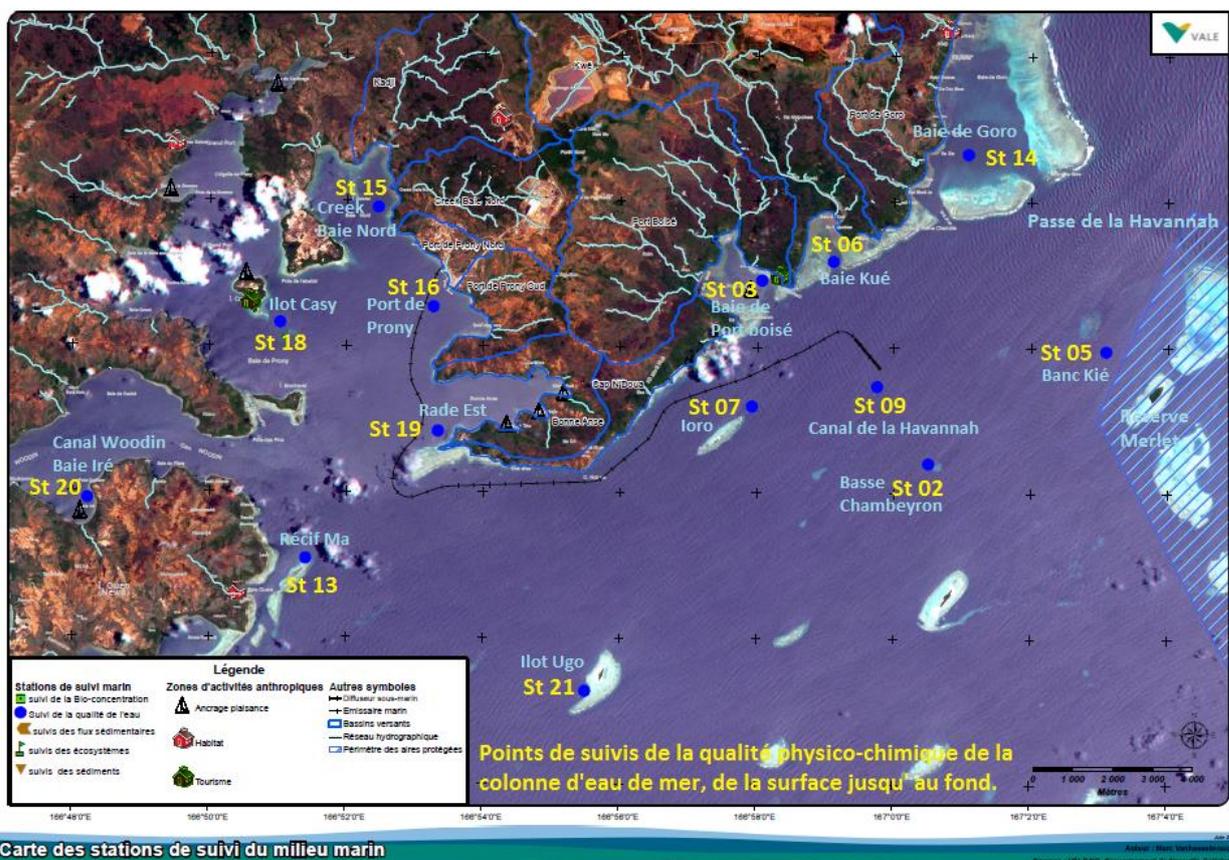
1.1.2. Points de surveillance de la qualité des eaux marines : paramètres physico-chimiques de l'eau et structure de la colonne d'eau (Stations nommées : St)

Le tableau suivant indique les positions règlementaires des points de prélèvement de l'eau de mer et la profondeur du lagon à ce poste, les prélèvements sont effectués à 3 profondeurs différentes : en surface, à mi profondeur et au fond. Il y a donc trois échantillons et trois analyses par station. La carte suivante présente le positionnement de ces points.

Tableau 1 : Localisation géographique des 14 stations de prélèvements d'eau, référentiel WGS-84

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur (m)	Nombre de point de prélèvement
Basse Chambeyron	St02	167° 00,506	22° 23,599	33	3
Baie Port Boisé	St03	166° 58,010	22° 21,190	29	3
Banc de Kié	St05	167° 03,100	22° 22,050	34	3
Baie Kwé	St06	166° 59,112	22° 20,830	20	3
Récif Ioro	St07	166° 57,910	22° 22,820	41	3
Canal de la Havannah	St09	166° 59,754	22° 22,540	47	3
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914	35	3
Port / baie de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350	37	3
Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52,590	22° 20,037	25	3
Port de Prony	St16	166° 53,365	22° 21,210	44	3
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668	26	3
Rade de l'Est	St19	166° 53,340	22° 23,170	38	3
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25	3
Ilot Ugo	St21	166°55,501	22°26,728	36	3

Figure 2 : Localisation géographique des stations de prélèvement d'eau (St) depuis 2008.



**Figure 3 : Localisation précise des stations de suivi de la qualité de l'eau
En baie de Port boisé (St 03) et en baie Kwé (St 06)**



14 points de prélèvements sont suivis sur toute la colonne d'eau représentent 42 échantillons d'eau pour analyses. En août 2009 la station dite « Récif Hugo St 21 » a été ajoutée sur demande sociétale ; cette dernière est suivie sur tous les paramètres physico-chimiques ainsi que sur son aspect écosystémique.

Le réseau de suivi physico-chimique de la qualité de d'eau de mer correspond à une surveillance :

- De la zone proche de l'effluent marin (effluent traité⁽¹⁾ puis rejeté au fond du canal de la Havannah au niveau du diffuseur) ;
- Et de la zone éloignée du diffuseur (zone Témoins de comparaison)
- Des baies recevant des apports terrigènes via des creeks issus des bassins versants de la zone d'influence des activités VNC (Baie Kwé et Bassin versant Creek Baie Nord)
- Et des baies recevant des apports terrigènes via des creeks qui ne sont pas sous l'influence des activités VNC (Baie de port Boisé, quasi homologue de la baie Kwé)
- De la qualité de l'eau sous l'influence du port de Prony ;
- D'une veille à l'égard des préoccupations des populations (l'île Ouen, et baie de Goro) et de la zone inscrite au patrimoine UNESCO (réserve Merlet)

(1) - La qualité de l'effluent traité fait l'objet d'un rapport spécifique dédié à la qualité des eaux rejetées et au respect des seuils réglementaires d'autorisation ICPE. La qualité du milieu marin est, bien sûr, corrélée avec la qualité des effluents traités. Ce travail de corrélation et de synthèse est effectué notamment pour les suivis de la qualité de l'eau de mer en champ proche du diffuseur.

1.1.3. Stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées (Stations ST)

Les tableaux suivants présentent la position des 12 stations fixes de surveillance de la santé des écosystèmes par un suivi des peuplements récifaux et des organismes associés (Invertébrés et poissons), dans le domaine d'influence du projet global Vale NC.

Tableau 2 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des peuplements récifaux et poissons associés dans le canal de la Havannah (référentiel RGNC 91)

Stations	Localisation	Longitude	Latitude
ST05	Récif Ioro	166°57.507	22°23.072
ST06	Banc Ionontea	166°58.995	22°23.650
ST07	Basse Chambeyron	167°00.671	22°23.591
ST08	Récif Pointe Puka	166°58.566	22°21.243
ST09	Banc de Kié	167°01.529	22°22.070
ST10	Ilot Kié Réserve Merlet	167°03.862	22°22.324
ST11	Récif Touémo	167°01.875	22°20.046
ST12	Ugo	166°55.625	22°26.438

Tableau 3: Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des peuplements récifaux et poissons associés en baie de Prony et dans le canal Woodin (référentiel RGNC 91)

Stations	Localisation	Longitude	Latitude
ST01	Ilot Casy	166°51.033	22°21.799
ST02	Creek de la baie Nord	166°52.546	22°20.356
ST03	Port de Prony	166°53.639	22°21.312
ST04	Canal Woodin	166°49.593	22°22.933

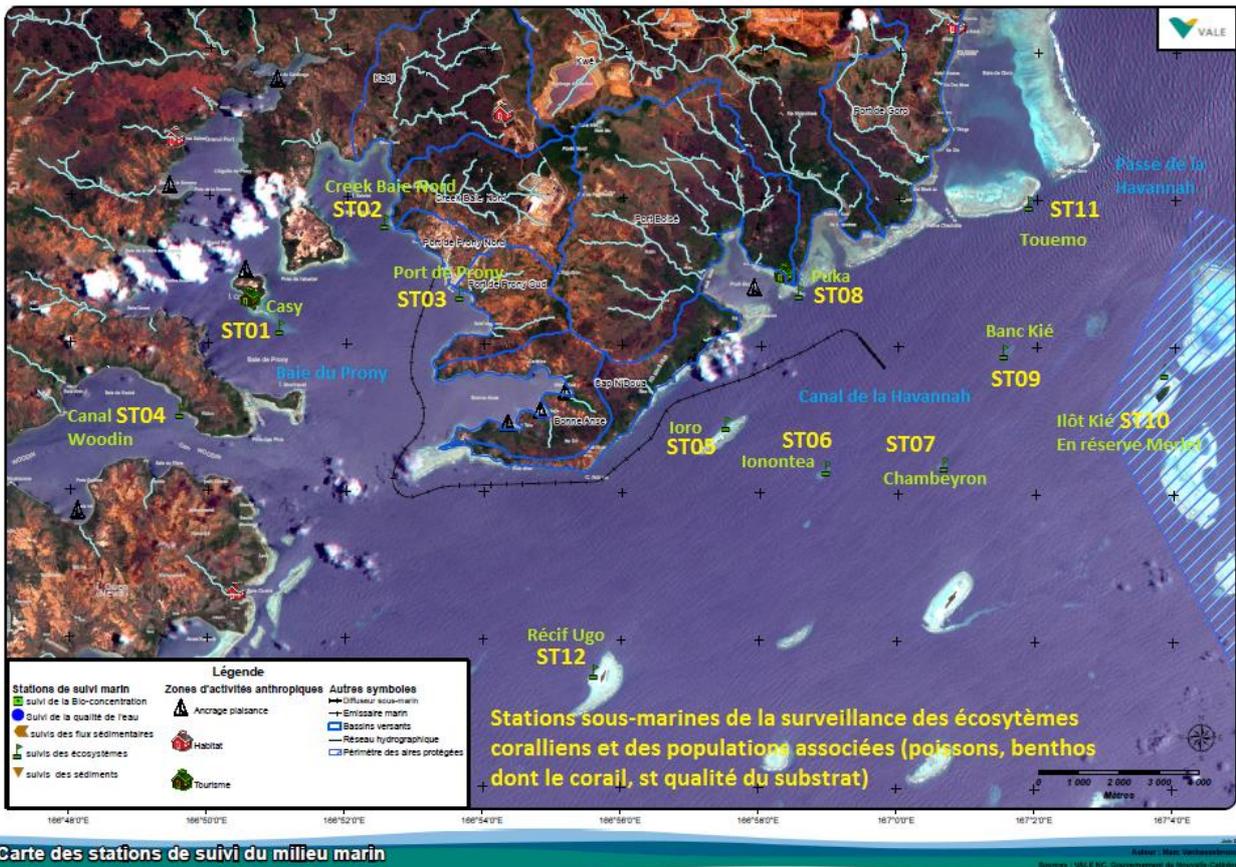
- 7 stations dans le Canal de la Havannah, dont une en réserve Merlet (une demande d'autorisation spéciale est effectuée auprès de la Province sud afin de pouvoir l'inventorier deux fois par an, ce suivi de la station ST10 est non imposé réglementairement mais une attention complémentaire de VNC)
- 3 dans la Baie de Prony ;
- 1 station très décentrée, dans le canal Woodin ;
- 1 station supplémentaire qui est inventoriée depuis juin 2009 : Ugo ST12 située à l'Est de l'île Ouen.

La carte suivante présente les stations sous-marines du plan de suivi tel qu'indiqué dans la Convention CCB 2009. Sur le fond du lagon, ces stations sont marquées par des piquets sous-marins (invisibles de la surface) et leur plan géomorphologique est connu et inchangé. Depuis 2007 elles ont toujours été retrouvées, inventoriées et entretenues.

La position du diffuseur sous-marin d'effluent traité a été méticuleusement choisie après études et expertises pour sa localisation sur des fonds marins de plus de 40 mètres, sablo- détritiques et balayés par de forts courants de marées, par choix l'émissaire est éloignée des récifs coralliens riches en biodiversité. Pour cette raison, il ne peut pas y avoir de station de surveillance des récifs coralliens et des populations associées en champ très proche du diffuseur. En champ éloigné de plus de 1 km, le diffuseur est encadré par des stations positionnées sur tous les bancs et ilots alentours : ST05, ST06, ST07, ST09 et ST08.

Les numéros des stations sont dus à l'historique des études (états des lieux ayant débuté en 1994) et la nomenclature gagnera à être revue dès la prochaine révision/optimisation du plan de suivi.

**Figure 4 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines du suivi des écosystèmes (ST)
Suivi des peuplements récifaux et poissons associés**



Une station est constituée de 3 *transects* (couloirs d'évaluation) fixes délimités sur le fond par des piquets implantés et entretenus à chaque visite.

Elle peut comporter 2 *transects* si la topologie du fond ne permet pas d'en placer 3^{ème} parce que le fond est entièrement sableux ou vaseux et ne peut donc pas porter un *transect* significatif.

Un schéma structural de chaque station est réalisé, avec iconographie associée, selon l'exemple présenté sur la figure suivante. En cas de nécessité d'évaluation par des biologistes non habitués aux lieux, un tel schéma facilite grandement l'approche de la station sous-marine, surtout si la visibilité est réduite.

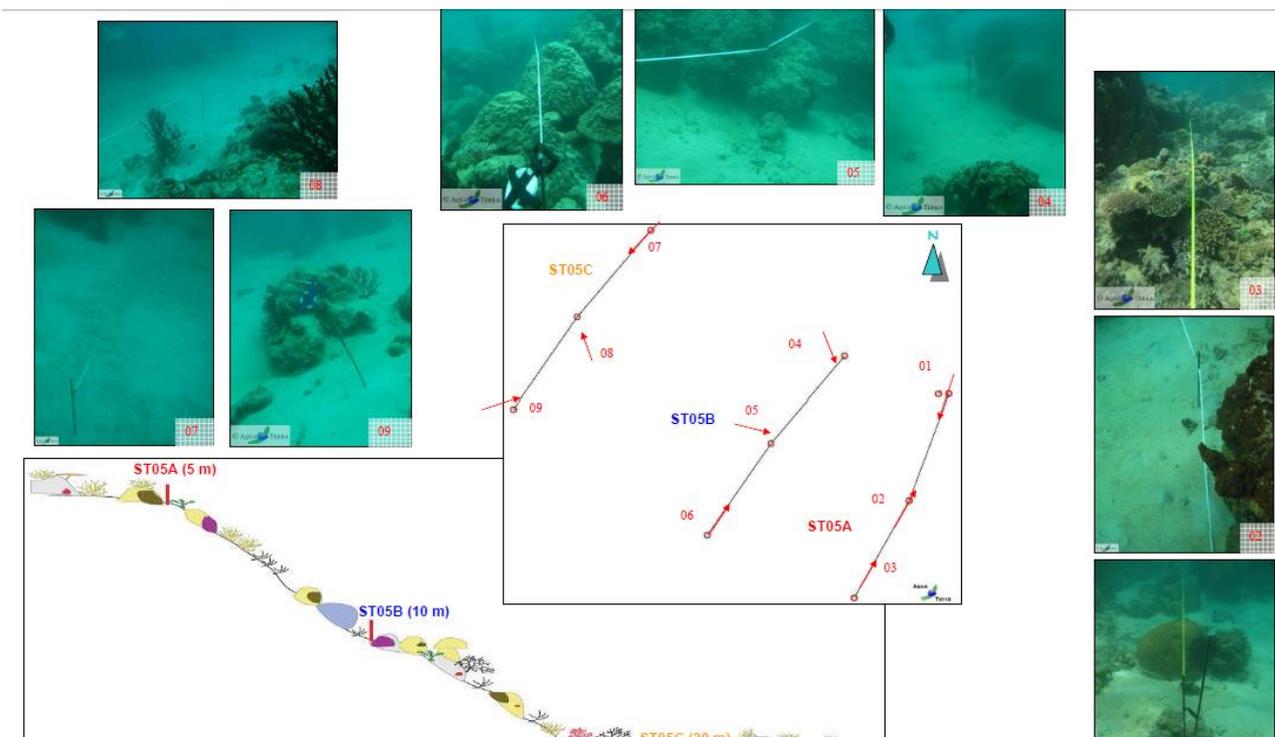
Les stations ciblées par ce plan de suivi ont été inventoriées de façon rigoureusement comparable depuis le début des suivis 2007, 18 inventaires sur celles-ci (à ce jour). Aucune station de suivi n'a été abandonnée ou modifiée.

Rappel : Vale NC se conforme aux prescriptions de suivis qui lui sont imposées par les arrêtés ICPE (2007 et 2008) et par la Convention CCB avec la Province Sud (2009). Un atelier s'est tenu pour définir la localisation des stations et les méthodologies à suivre en matière de suivi des écosystèmes marins, en mars 2006, sous l'impulsion de la DENV et des biologistes marins calédoniens ayant participé aux états des lieux.

Le suivi éco- systémique est un engagement de la CCB 2009 mais il n'est pas inscrit dans les prescriptions réglementaires des arrêtés ICPE, sauf en baie Kwé sut ST08 et l'herbier, via l'arrêté AEM -2016.

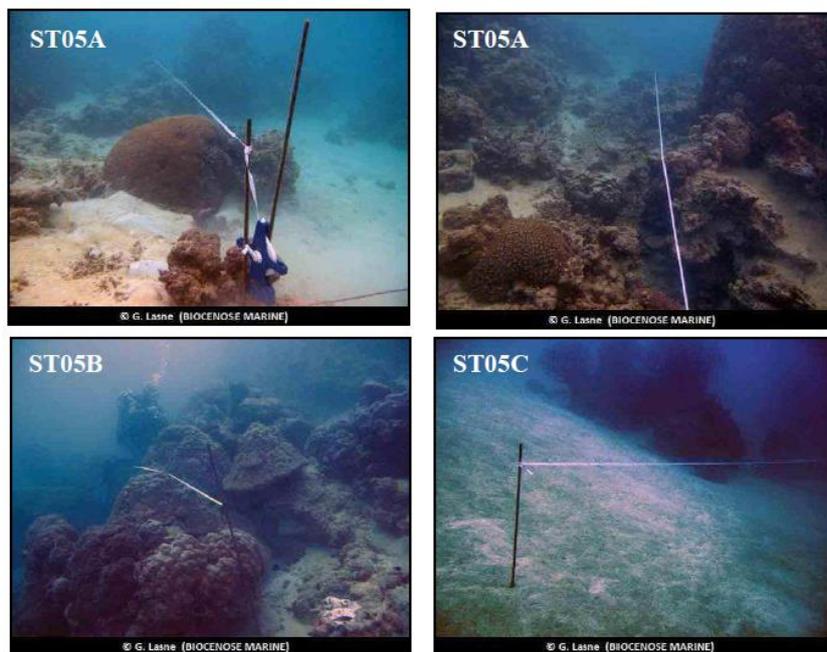
D'autres zones et stations peuvent être suivies selon les événements et des suivis supplémentaires, notamment en baie du Prony et dans les baies au Nord du canal de la Havannah.

Figure 5 : Schéma structural qui représente une station sous-marine de suivi des écosystèmes coralliens et populations associées. Exemple : La station ST 05



Les 3 *transects* (couloirs A, B et C) sont à 3 profondeurs différentes et sans réplica, selon les exigences du plan de suivi imposé.

Chaque *transect* suit une courbe bathymétrique constante, le plus souvent elle est parallèle à la cote mais pas toujours.



Vue d'ensemble des transects (ST05)

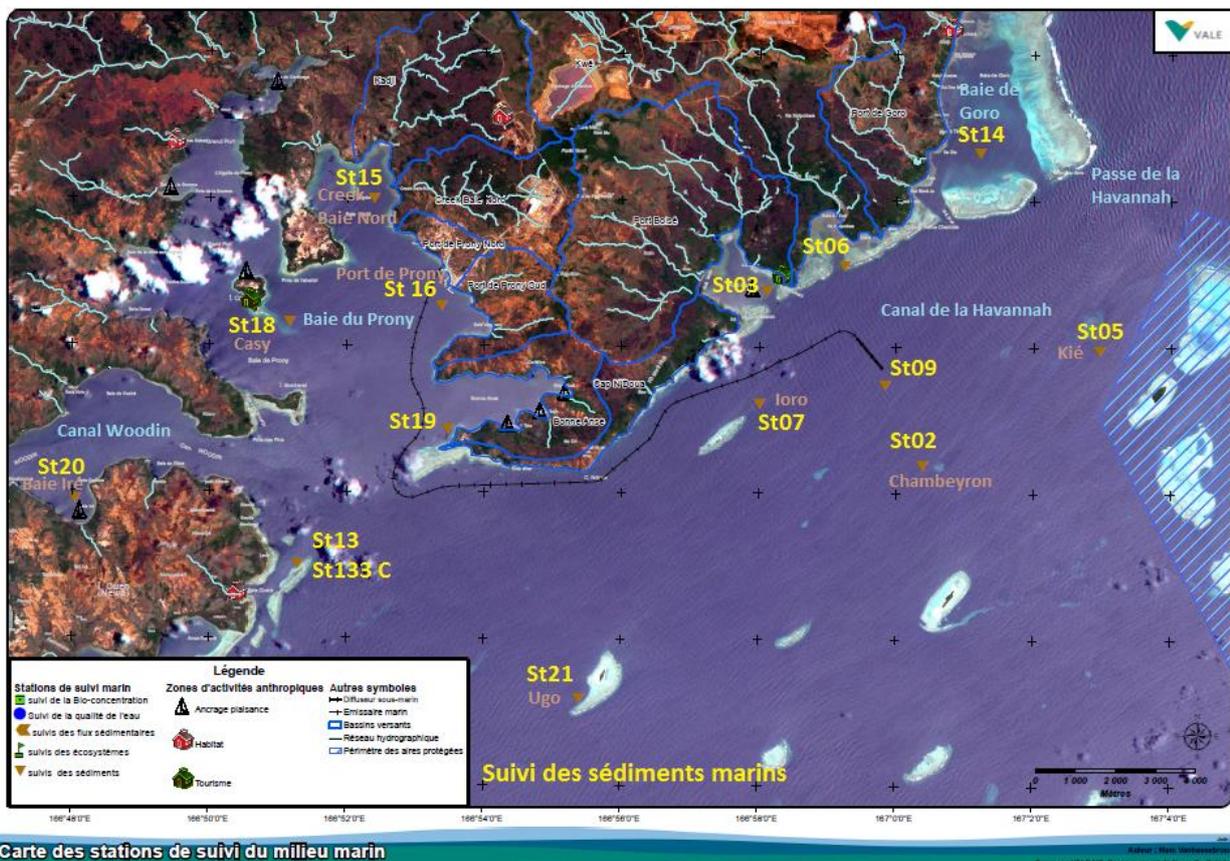
1.1.4. Points de suivi des sédiments – Qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures (Stations : St)

Le suivi de la qualité des sédiments marins est effectué sur les stations indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Localisation géographique des points de prélèvement de sédiments, référentiel WGS-84

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur (m)
Basse Chambeyron	St 02	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	St 03	166° 58,010	22° 21,190	29
Banc de Kié	St 05	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	St 06	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif Ioro	St 07	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	St 09	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	St 13	166° 51,354	22° 24,914	35
Baie de Goro	St 14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	St 15	166° 52,590	22° 20,037	25
Port de Prony	St 16	166° 53,365	22° 21,210	44
Prony Ilot Casy	St 18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	St 19	166° 53,340	22° 23,170	38
Canal Woodin Baie Iré	St 20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St 21	166°55,501	22°26,728	36
+ Ile Ouen	St 133	166° 52,398	22° 25,147	60

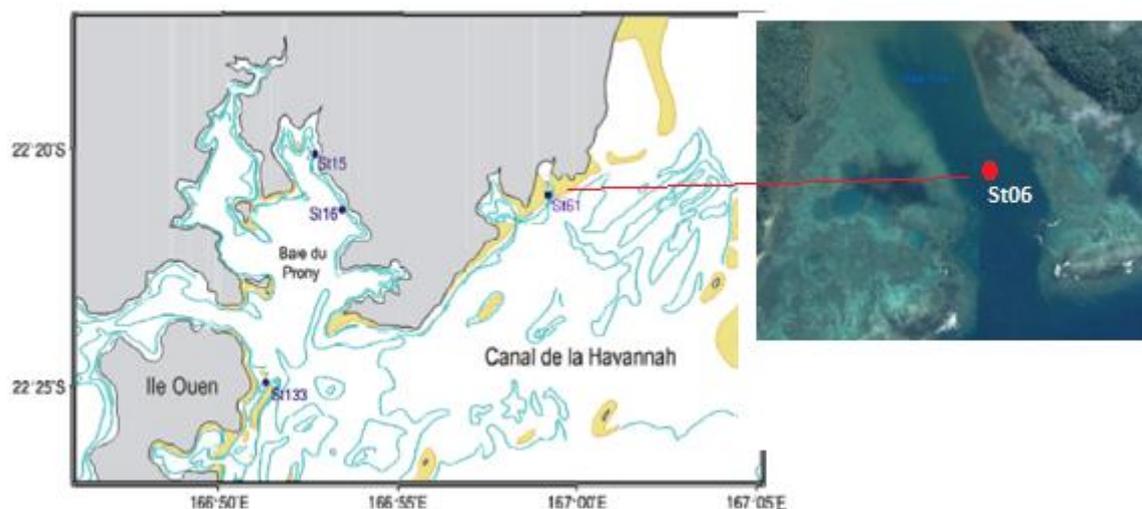
Figure 6 : Localisation géographique des stations de prélèvement des sédiments de surface (St) + La carotte St 133 -Est- île Ouen



1.1.5. Points de suivi du Taux d'accumulation sédimentaire

Deux stations sont positionnées en baie de Prony : à l'embouchure du creek de la Baie Nord (St 15) et près du port de Prony (St 16) ; une station se trouve dans la baie Kwé (St 06) et une autre, la station ST33, est située à l'Est de l'île Ouen. Ces stations sont suivies de façon triennale (sur conseil des experts sur la fréquence à suivre pour un taux d'accumulation relativement lent).

Figure 7 : Localisation géographique des stations d'étude du taux d'accumulation des sédiments : St 133, St 15, St16 et St 06 et gros plan de la station St06 en baie Kwé.



1.1.6. Points de suivi des Flux sédimentaires

Les flux des sédiments transportés par l'eau de mer sont un indicateur intégrateur qui est suivi sur 3 postes indiqués sur le tableau suivant. Ce suivi dure 96 jours /an.

► Rappel : Les flux ne sont pas toujours corrélés au taux de sédimentation sur un même point suivi.

Tableau 5 : Position des points de suivi des flux sédimentaires, référentiel WGS 84

Station	Latitude S	Longitude E	Profondeur
St15 Prony (Creek Baie Nord)	166°59,590	22°20,037	37m
St 60-NE (à 60 m du diffuseur)	22° 22,109	166°59.678	39m
StKW-1 (Baie Kwé)	22°20,747	166°59,140	18m

Les photographies et la carte suivantes montrent la position de ces postes de suivis :

- Dans le canal d'ouverture de la Baie Kwé, (St 06)
- Près de l'embouchure du creek Baie Nord (St 15) et
- Près du diffuseur (St 60 NE – soit à 60m au Nord Est du diffuseur en zone de forte réception du panache d'effluent)

Le diffuseur est schématisé par un trait rouge sur la première photographie.

Figure 8 : Points de suivi des flux sédimentaires (de MES)



Le dispositif de collecte des flux de MES est placé à 3 mètres au-dessus du fond. Cette profondeur est particulièrement importante à respecter pour les pièges mouillés à proximité du diffuseur afin que les orifices de collecte demeurent en contact avec l’effluent, même lorsque les conditions hydrodynamiques des marées de vive-eau s’exercent. Ce prérequis est conforme aux résultats du traçage réalisé à la rhodamine-WT **Les godets doivent être placés dans la zone la plus propice à la collecte des flux d’effluent.**



1.1.7. Zones de surveillance de l’herbier de la baie Kwé

Le suivi de l’herbier présent en baie Kwé est effectué sur des quadras positionnés à l’Est et à l’Ouest du chenal central de cette baie.

Tableau 6 : Position des quadras de suivi de l’herbier, référentiel RGNC 91-93 LAMBERT

Station	Latitude S	Longitude E	Distance à la cote	Profondeur
Station 01 = HE 01 (Est)	501 835	206 345	62 m	0,5 m
Station 02 = HO 02 (Ouest)	500 885	205 902	220m	0,5 m
Station 03 = HE03 (Est)	501 800	206 274	145m	0,5 m
Station 04 = HO 04 (Ouest)	501 150	205 871	480	0,5 m

Figure 9 : Quadras de suivi de l’herbier en baie Kwé.



1.2. Indicateurs suivis

- **Les indicateurs biologiques** : les paramètres suivis selon les engagements conventionnels (CCB / DENV 2009) sont les suivants

Tableau 7 : Indicateurs biologiques. Suivis semestriels (2008 / 2017).

Pour le suivi des stations fixes écosystémiques sur **12 stations et 33 transects**

	Stations	LIT SUBSTRAT <u>28 items</u>	BENTHOS	POISSONS 1. Nb Individus 2. Densité (poissons /m ²) 3. Biomasse (g/m ²) (Sur liste restreinte imposée)
Baie du Prony	ST01	X	X	XXX
	ST02			
	ST03			
Canal Woodin	ST04	X	X	XXX
Canal de la Havannah	ST05			
	ST06			
	ST07			
	ST08			
	ST09			
	ST11			
	ST12			
	ST10			

Rappel : Une station inventoriée (sans entretien spécial) nécessite 3 plongeurs biologistes et à minima 55 minutes de plongée pour chacun d'entre eux.

33 transects avec :

- 28 items chacun pour le suivi LIT du substrat
- Poissons (nombre, densité et biomasse sur liste restreinte)
- Macro-benthos. (Étoiles de mer consommatrice de coraux, algues, blanchissement...)

Pour l'herbier de la baie Kwé (Arrêté AEM 2016) :

Tableau 8 : Indicateurs biologiques. Herbier. Suivi triennal (2017)

	Station	Composition spécifique (bio diversité)	% de recouvrement du substrat	Densité de chaque espèce par m ²
Baie Kwé	Station 01 = HE 01 (Est)	X	X	X
	Station 02 = HO 02 (Ouest)	X	X	X
	Station 03 = HE03 (Est)	X	X	X
	Station 04 = HO 04 (Ouest)	X	X	X

- **Les Indicateurs physico-chimiques** :

Les paramètres suivis sont indiqués dans les tableaux suivants, pour la colonne d'eau et pour les sédiments.

Tableaux 8 : Ensemble des paramètres physiques et chimiques suivi selon les obligations réglementaires à 3 profondeurs sur chaque station

COLONNE D'EAU

**Suivi
semestriel
(Février/août)**

Station	PHYSICO-CHIMIE						ELEMENTS MAJEURS					SELS NUTRITIFS				MATIERE ORGANIQUE						ELEMENTS METALLIQUES																					
	T	S	F	turb	MES	pH	Ca	K	Mg	Na	CO3	Cl	SO4	NO3	NH4	PO4	SiO4	NOD	POD	COP	NOP	POP	Chl	HCT	Phéo	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cr	Cr(VI)							
Baie du Prony	St14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	St15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	St16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
C Woodin	St20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Canal de la Havannah	St02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	St03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	St06	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	St07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	St09	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	St13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
St21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

HCT= Hydrocarbure totaux ; CO3= Carbonates (Au port ST16 et en face le creek de la Baie Nord ST15) ; S : surface, F : au fond ; T : zone intermédiaire.

**Suivi
trimestriel
(Mai/Nov.)**

Station	PHYSICO-CHIMIE						ELEMENTS MAJEURS					SELS NUTRITIFS				MATIERE ORGANIQUE						ELEMENTS METALLIQUES																				
	T	S	F	turb	MES	pH	Ca	K	Mg	Na	CO3	Cl	SO4	NO3	NH4	PO4	SiO4	NOD	POD	COP	NOP	POP	Chl	HCT	Phéo	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cr	Cr(VI)						
Baie du Prony	St14	x	x	x	x	x			x			x												x		x	x		x	x		x	x		x	x		x	x		x	x
	St15	x	x	x	x	x			x		x		x												x		x	x		x	x		x	x		x	x		x	x		x

32 paramètres sur 3 x 14 prélèvements = A minima > 2600 analyses par an. (Hors duplicas pour contrôles AQ/CQ).

GEOCHIMIE DES SEDIMENTS

Station	PHYSICO-CHIMIE					GEOCHIMIE (PHASE OXYDABLE)								GEOCHIMIE (PHASE ACIDO-SOLUBLE)								GEOCHIMIE (PHASE REDUCTIBLE)								GEOCHIMIE (PHASE REFRACTAIRE)												
	Gr	Min	Carb	S-lix	S-éch	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn					
Baie du Prony	St14	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	St15	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	St16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St18	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St19	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
C Woodin	St20	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Canal de la Havannah	St02	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	St03	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St05	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	St06	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St07	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St09	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St13	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	St21	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Suivi
triennal
(2015)

Suivi
annuel
Baie du
Prony
St16

Station	PHYSICO-CHIMIE					GEOCHIMIE (PHASE OXYDABLE)								GEOCHIMIE (PHASE ACIDO-SOLUBLE)								GEOCHIMIE (PHASE REDUCTIBLE)								GEOCHIMIE (PHASE REFRACTAIRE)											
	Gr	Min	Carb	S-lix	S-éch	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn				
Baie du Prony	St16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

A minima 490 analyses triennales (Hors dupliquas pour contrôles AQCQ) et pour **le Port / sédiments : + 35 analyses annuelles.**

TAUX D'ACCUMULATION

	Station	PHYSICO-CHIMIE					GEOCHIMIE						
		Granulo	Minéralo	Densité	Pb-210	Ra-226	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	
Suivi triennal	B Kwé	St06	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	C Havannah	St13-3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	B du Prony	St15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		St16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

DENSITE DE FLUX PARTICULAIRE

	Station	PHYSICO-CHIMIE						GEOCHIMIE (ELEMENT TOTAUX)						
		Granulo	Minéralo	CaCO3	Obs micros	MES	HCT	Ca	S	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Suivi semestriel	Canal de la Havannah	St60-SW	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		St60-NE	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		St06-KW1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Flux : A minima 78 données/an

Total du nombre d'analyses (et de données) pour 1 année de suivi (avec 1 suivi triennal des sédiments) : 3340 analyses + Suivi Eco systémique (145 données /an environ selon les stations et la biocénose).

Une rationalisation du nombre de données s'imposera, par retour d'expérience. Par définitions les indicateurs doivent être limités en nombre afin de permettre une vision décisionnelle qui soit rapide et synthétique via des sentinelles bien ciblées.



1.3. Méthodes

Les méthodes de suivis sont décrites en **annexe 1** de ce rapport. Elles sont évolutives dans le sens d'un abaissement des limites de quantification et d'une meilleure efficacité et robustesse.

1.4. Rendus semestriels

La rédaction des rapports est confiée au bureau d'étude indépendant qui a assuré la mission. **Il est important que l'analyste- rédacteur ait bien participé à la mission.** (Eviter une seconde sous-traitance qui accroît les risques de biais et de pertes d'informations).

Les rapports semestriels (ou annuels) présentent les données brutes en annexe.

L'analyse des données comprend :

- Une analyse comparative des résultats avec l'état initial et avec les résultats des campagnes précédentes, elle est effectuée par les experts qui ont effectué la dernière mission.
- Une réflexion sur la cohérence entre les suivis et les connaissances antérieures (modélisation, courantologie, météo...) est conduite à chaque suivi semestriel.
- Une réunion entre experts des divers domaines de suivis est effectuée, afin que tous partagent leurs remarques pour un suivi « global » de tous les indicateurs biologiques, physiques et chimiques.

Cette analyse est à la fois :

- Spatiale (comparaison des stations entre elles) et
- Temporelle (comparaison avec l'état initial et avec tous les suivis antérieurs).

Toute tendance qui pourrait évoluer vers un changement du milieu supérieur aux variations saisonnières (ou aux incertitudes méthodologiques) est notée et encadrée dans le rapport semestriel de synthèse Vale NC concerné, pour un suivi attentif de ce paramètre lors des missions suivantes. En cas de confirmation d'une modification significative du milieu la conclusion du rapport indiquerait bien ce fait.

Démarche : Pression/Etat/Réponse

Méthodologie : BACI.

Les rapports intégraux tels que délivrés par les sous- traitants scientifiques (missions de suivis externalisées) sont fournis en annexe de ce document, avec les données brutes et les remarques ou recommandations qui font partie de la réflexion des scientifiques experts en leur domaine.

2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLES A DATE DE CE RAPPORT

Le présent rapport concerne les suivis suivants :

- Suivi N°1 / 2018 de la structure de la colonne d'eau et de la qualité physico-chimique de l'eau – Mission effectuée les 13, 14 et 15 mars 2018
- ✓ Suivi N°1 / 2018 des écosystèmes coralliens et des populations associées – Mission du second semestre : Mai 2018
- ✓ Suivi N°1 / 2018 des flux sédimentaires - Immersion des automates durant 2 fois 48 jours en : Mars/Avril 2018

Les missions de suivis ont été effectuées dans leur intégralité conformément au plan de suivi réglementaire.



Pour ces missions 2018 : 4 bureaux d'études et laboratoires différents et indépendants ont participé à ces missions et aux travaux d'analyses. Cf. Leurs rapports intégraux en annexe.

2.1. Synthèse des suivis du milieu marin effectués en 2018

Le tableau suivant présente l'ensemble des suivis : les mois durant lesquels les missions de terrain ont été effectuées et les rapports communiqués (en bleu).

	Préparation de la mission
	Mission en cours ou effectuée durant ce mois
	Analyses des résultats et rapport rendus
	Rapport annuel attendu en fin d'année

← Rapports fournis dans ce bilan

S1 ou S2 : Rapports semestriels

A : Rapport annuel

Tableau 9 : Synthèse des suivis marins effectués durant l'année 2018 à date de la fin du premier semestre

Suivis réglementaires 2018	Indicateurs	Jan	Fév	Mar	Av	Ma	Jui	Jui	Ao	S	O	N	D	Jan 2019	
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique							S1						S2	
	Chimique							S1						S2	
Suivi des écosystèmes (Corail, benthos poissons)	Biologique Corail Benthos Poissons							S1						S2	
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Suivi triennal. Dernières campagnes : 2010, 2013, 2017													
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Suivi triennal. Dernières campagnes : 2012 et 2015 Campagne en 2018 en cours													A
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique							S1						A	
Suivi spécial zone Portuaire	Biologique Physique Chimique Sédiments													A	

2.2. Cartographie : Pressions, zone d’influence et de suivis

Les figures suivantes sont un rappel sur le déploiement du réseau des points de surveillance et sur la numérotation des stations.

Les hydro-régions sont délimitées par des traits de couleurs cependant ce sont des gradients qui les délimitent et non pas des « frontières » fixes

Figure 10 : Les stations de suivi du milieu marin et les « hydro-régions » dans la zone d'étude

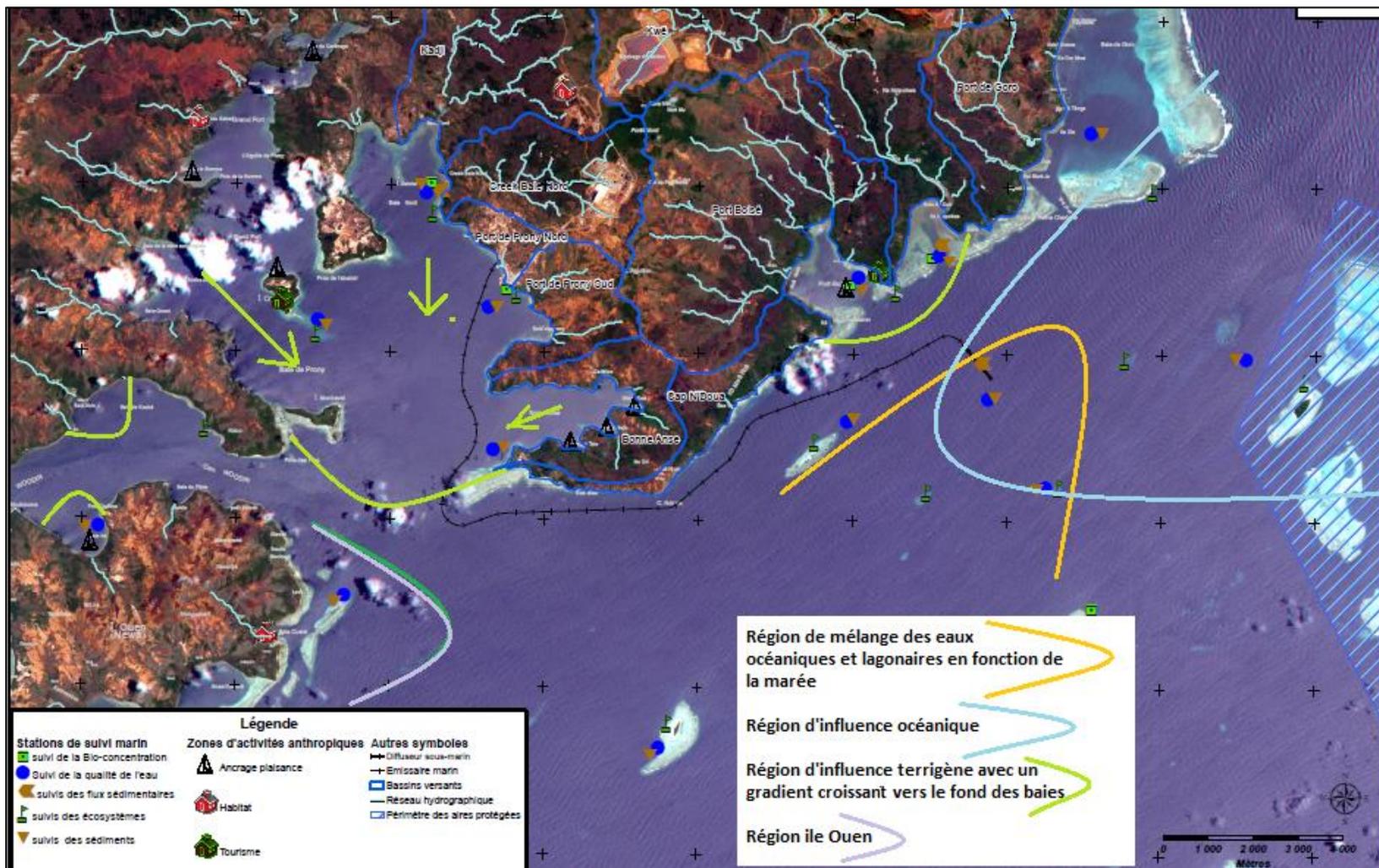


Figure 11 : Carte schématique des bassins versants et des différentes pressions sur le milieu marin

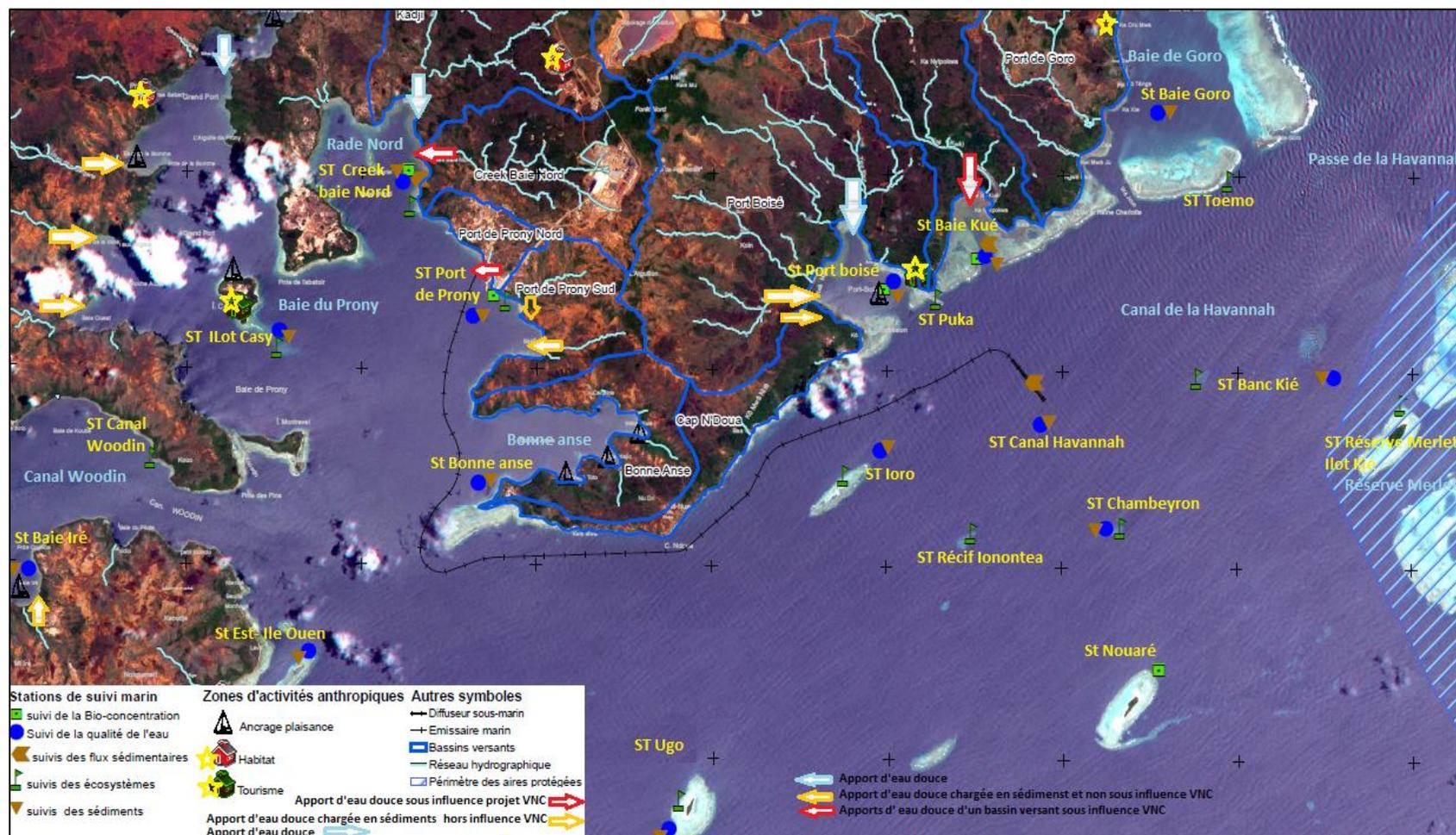
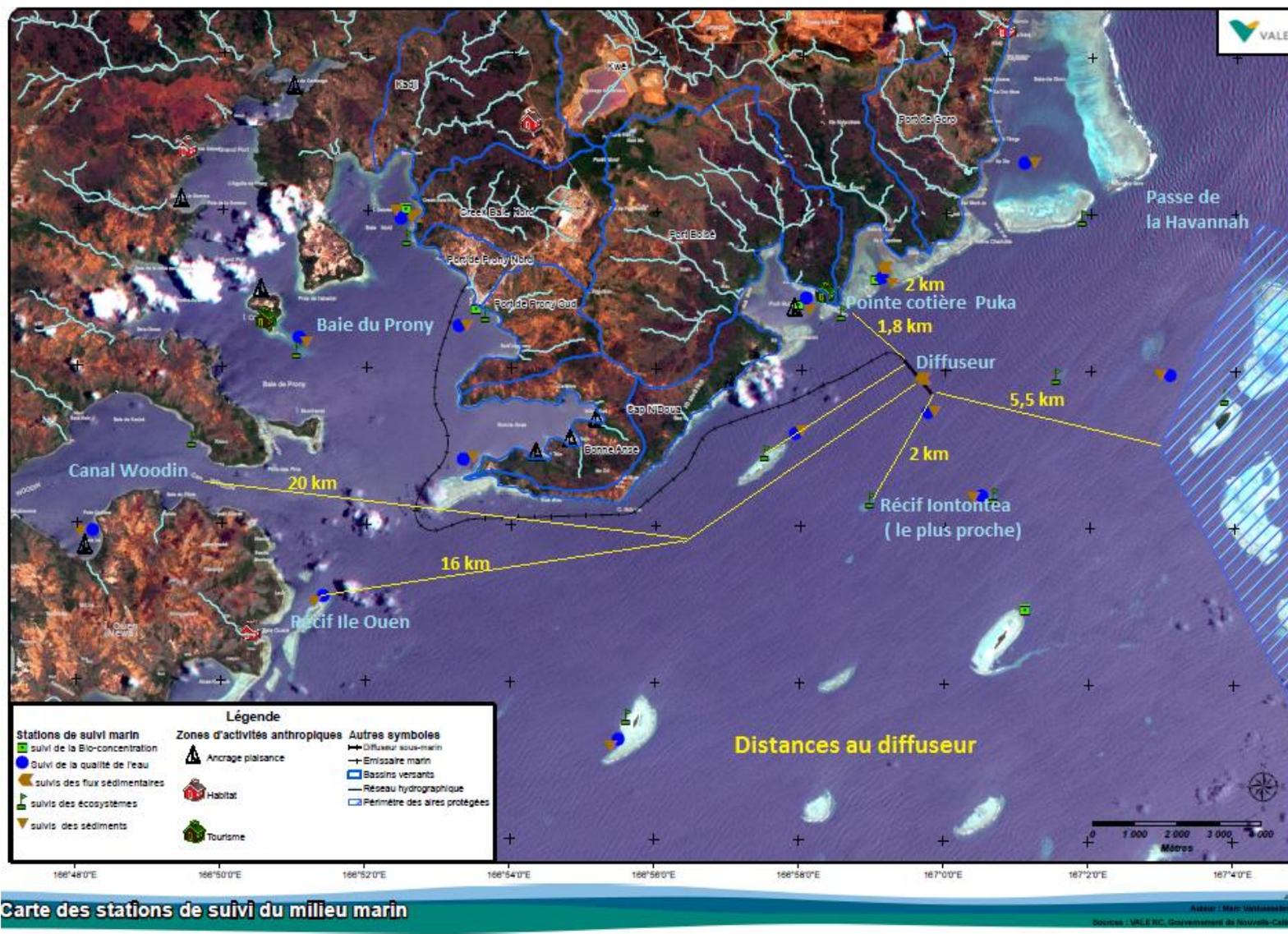


Figure 12 : Distances entre le diffuseur de l'effluent traité et les récifs coralliens les plus proches (+ autres zones remarquables)



3. RESULTATS (S1-2018)

3.1. Valeurs réglementaires et états de références

Pour le suivi du milieu marin il n'y a pas de dépassement de seuils réglementaires proprement dit, il ne s'agit pas d'émissions sujettes à des seuils⁽¹⁾ mais de la surveillance de la santé des écosystèmes et de la qualité du milieu récepteur (eau et sédiments) par rapport à leur état de référence et par comparaison avec des zones témoins (**Méthode BACI**).

- **Les états initiaux (de référence) évalués** avant le développement du projet Vale Nouvelle-Calédonie servent de référence (**Before**). Les études des états initiaux du milieu marin ont débuté en 1994 et se sont renforcées dès 2000, tous les bureaux d'études et experts en biologie marine ou océanographie du territoire ont participé à ces caractérisations d'état des lieux. Les états de référence doivent bien intégrer la variabilité saisonnière.
- **Les bases de données (issues des missions de suivis antérieures)** permettent une analyse des tendances évolutives. Ce sont ces tendances analysées par les prestataires scientifiques qui doivent avoir une expertise et une connaissance statistique suffisantes pour les maîtriser.
- **Méthode de suivi BACI (Before / After & Control / Impact)**

Les états de références permettent un suivi de l'évolution temporelle des paramètres, par comparaison avec un état antérieur, selon la méthode classique : « **Before/After** ».

Cependant les exigences de **la méthode de suivi BACI (Before / After + Control / Impact-Underwood 1991)** plus complète (et qui permet d'éliminer en partie les problèmes inhérents aux seules comparaisons **Before/After**), demandent de suivre en parallèle l'évolution des paramètres sur une station homologue (de **Contrôle- témoin**) à la station surveillée (sous pression d'un **Impact** éventuel). Pour cette raison la Baie de Port-Boisé est suivie en parallèle de la baie Kwé et les conclusions quant à l'évolution de la baie Kwé ne peuvent pas se résumer à une comparaison **Before/After**, elles doivent aussi tenir compte de l'évolution temporelle de la Baie de Port-Boisée, son homologue.

***(1) Le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie**, élaboré en 2011 par ZoNeCo / CNRT présente des grilles de lecture et des réf. bibliographiques pour chaque type d'indicateur, il peut servir de guide, mais **en aucun cas il ne donne des « seuils »**, (et encore moins des seuils réglementaires) ; avec toutes les recommandations interprétatives qu'il préconise, et à conditions de conserver exactement la même méthodologie de suivi que celle utilisée pour les grilles proposées par le guide. Il est en cours de révision en 2018.

Il est essentiel de raisonner en termes de tendances évolutives et il ne serait pas rigoureux de tirer des conclusions sur uniquement quelques données ponctuelles, ni par comparaison avec une grille de lecture universelle ou calédonienne (qui n'existe pas).

Comme le souligne le guide ZoNeCo / CNRT : « *Il est impossible de donner une grille de lecture de valeurs seuils, c'est la variabilité temporelle (saisonnière et inter annuelle) ou bien spatiale des valeurs qui permettra de se prononcer sur la signification des résultats après une mission de suivi. Pour mettre en évidence un changement significatif, cette variabilité est une information nécessaire à connaître et affiner au fur et à mesure des années de suivis.* »

Toute modification significative observée lors d'un suivi, c'est-à-dire au-delà de la marge des variations saisonnières et des incertitudes inhérentes aux méthodologies, doit être prise en considération et demande un suivi approfondi et une recherche de cause.

Tout changement significatif est signalé de façon bien visible dans les rapports

Tableau 10 : Caractérisation et évaluation du milieu marin,
Etats initiaux ou de référence (en bleu). Missions de suivis déjà effectuées (en orange).
Mission en cours (en noir).

- **Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer sur toute sa colonne**
 - Rescan, Supplemental Baseline Technical report : Physical Oceanography, octobre 2000 et Supplemental Baseline Technical Report : Marine Environment, novembre 2000 ;
 - Caractérisation physico-chimique des eaux sur 18 stations IRD 2005 (Convention Goro Ni/IRD n°1142)
 - **Etat de référence de la qualité physico-chimique des eaux du canal de la Havannah et de la baie de Prony sur 18 stations IRD 2007 (Convention Goro Ni/IRD n°1312)**
 - Dernières campagnes de suivis effectuées : mars 2009, août 2009, mars 2010, août 2010, mars 2011, aout 2011, mars 2012, aout 2012, mars 2013, aout 2013, mars/ avril 2014, aout 2014, mars 2015, aout 2015, mars 2016 et aout 2016, avril 2017 et aout 2017.
 - Campagne de MARS 2018 incluse dans ce rapport : (18^{ème} campagne)

- **Sédiments**
 - Rescan 2000
 - Apports sédimentaires à l'embouchure du creek de la rade Nord en baie de Prony IRD 2006
 - **Etat de référence de la qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments sur 18 stations. IRD 2006. (Convention IRD/ Goro Ni n°9135 AO)**
 - **Etat de référence de la distribution superficielle des sédiments, flux sédimentaires et taux d'accumulation dans la baie de Prony et dans la baie Kwé. IRD 2007**
 - Dernières campagnes effectuées : 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017
 - Campagnes 2018 : les flux sédimentaires sont semestriels. Les suivis des taux de sédimentation et de la qualité des sédiments sont effectués tous les 3 ans. (Sauf au port : annuels)

- **Stations éco- systémiques**
 - La comparaison temporelle est effectuée systématiquement à partir de la base de données des suivis semestriels effectués depuis 2007, les suivis ont été effectués sur les mêmes stations et avec la même méthodologie (S2/ 2017 : 19^{ème} mission de suivi même stations & mêmes méthodes).
 - Les études d'état des lieux précédentes (qui ont débuté en 1994) ont fait l'objet d'un travail de synthèse : « Analyse et synthèse des études environnementales du domaine marin du Sud : baie de Prony – Canal de la Havannah », travail commandé par Vale Nouvelle-Calédonie pour la période 1994-2007 au professeur d'Université Claude CHAUVET ACREM, 2008. (Cf. tableau récapitulatif ci-dessous).
 - Dernières campagnes réglementaires : aout 2007, octobre 2008, juin 2009, puis : mars 2010, Aout/septembre 2010 ; mars 2011 et aout 2011 ; mars 2012 et octobre 2012 ; mars/avril 2013 et sept/oct. 2013 ; mars/avril 2014 et octobre 2014, mars 2015, oct. / nov. 2015 ; avril 2016 et novembre 2016 ; avril 2017 et septembre 2018.
 - Campagne de MAI 2018 incluse dans ce rapport. (19^{ème} campagne)

D'autres inspections et missions sous-marines peuvent donner lieu à des analyses supplémentaires, comme les 8 missions de suivis supplémentaires de l'embouchure du creek de la baie Nord (suite à avril 2009), ou les suivis écologiques avant et après la pose de l'émissaire sur des stations situées sur l'émissaire. En 2013 et 2017 un état des lieux précis de la baie Kwé a aussi été conduit.

Le tableau suivant rappelle l'ensemble des missions d'évaluation et de suivis sous-marins écosystémiques qui ont été effectués depuis 1994 dans le domaine d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie. L'ensemble des bureaux d'études et des spécialistes calédoniens a participé à ce travail sans uniformiser leurs méthodes (d'où l'atelier de 2006 qui a imposé une méthodologie suivie par les plans de suivi depuis 2008).

Tableau 11 : Caractérisation du milieu marin – écosystèmes

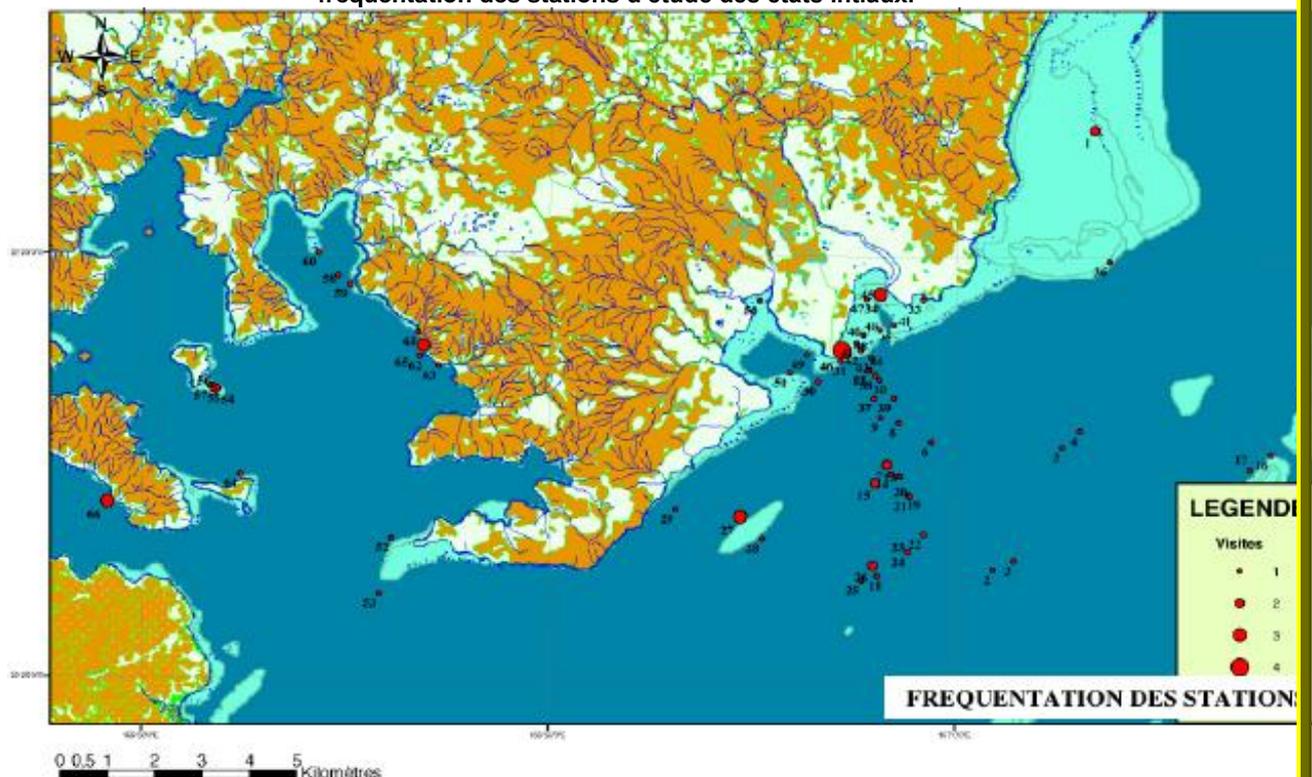
Date de l'évaluation	Auteurs et/ou bureaux d'études	Titre
1994	Pierre Thollot / Laurent Wantiez	Caractérisation des milieux marins dans la région de Prony
Aout 2000	Rescan / ACREM /A2EP	Évaluation environnementale du projet Goro Nickel Milieu marin
Juillet 2000	ACREM/ Sebastien Saramegna	Caractérisation des communautés biologiques coralliennes dans le cadre du projet Goro Nickel
Avril 2004	Rescan/ ACREM	Caractérisation du milieu marin (15 stations)
Mai et juin 2004	Sabrina Virly/ Pierre Laboute	Caractérisation des communautés biologiques du banc Ionontea dans le canal de la Havannah
Nov 2004	Pierre Laboute	Expertise du site : zone du débarcadère en baie du Prony
Mai 2005	Sabrina Virly/Pierre Laboute	Caractérisation des communautés marines biologiques autour du futur émissaire du projet Goro Nickel
Juillet 2005	Pierre Laboute	Caractérisation des communautés marines biologiques sur 6 stations du canal de la Havannah
Aout 2005	A2EP/ACREM	Etat de référence des peuplements récifaux et poissons associés en baie du Prony et dans le canal de la Havannah
Aout 2005	Pierre Laboute	Expertise en baie du Prony
Mars 2007	Melanopus (+P. Laboute)	Etat de référence des habitats coralliens le long du tracé de l'émissaire. Baie Kwé et canal dela Havannah.
Mai 2007	Soproner	Caractérisation du milieu marin le long du tracé de l'émissaire
Nov 2007	Aqua terra/ ACREM	Etat biologique de 5 stations sur le tracé de l'émissaire
Dec 2007	A2EP	Suivi de l'état des communautés coralliennes en baie du Prony et canal de la Havannah
2008 2009 2010a 2010b 2011a 2011b 2012a 2012b 2013a 2013b 2014a 2014b 2015a 2015b 2016a 2016b 2017a 2017b 2018a	Aqua terra / ACREM / Biocénose	Suivis de l'état des communautés coralliennes et des populations associées en baie du Prony et dans le canal de la Havannah Suivis semestriels réglementaires selon le cahier des charges de la Convention CCB 2009. 19 campagnes effectuées selon exactement la même méthodologie et sur les mêmes stations

Tous les rapports sur les états de référence ont été communiqués aux administrations compétentes dans les dossiers ICPE (Chapitre : Caractérisation des milieux) ainsi que les rapports de suivi et les études. Ils ont aussi été communiqués à l'ŒIL (Observatoire crée en 2009) dès 2010.

La figure suivante montre le déploiement des efforts d'évaluation du milieu écosystémique sous-marin dans la zone d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie pour effectuer un état des lieux entre 1994 et 2007.

Il s'agissait alors de la caractérisation de l'état des lieux, toutes les stations inventoriées n'ont pas été retenues pour les suivis une fois le projet Vale NC en fonctionnement. Les études d'état des lieux portent sur un périmètre bien plus vaste que les stations – sentinelles de suivis. Une fois les stations de suivis établies (en 2007) celles-ci ont été surveillées sans interruption ni déplacement de celles-ci.

Figure 13 : Stations d'étude pour la caractérisation biologique du milieu marin entre 1994 et 2006 et fréquentation des stations d'étude des états intiaux.



➤ Flux sédimentaires

- L'état de référence des densités de flux verticaux de particules a été déterminé pour le canal de la Havannah et la baie Kwé en 2007 (convention IRD/Goro nickel n°1230)
- Dernières campagnes effectuées : 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2017.
- Campagnes S1/ 2018 incluse dans ce rapport : 1 campagne de 48 jours.

3.2. Valeurs obtenues (S1/2018)

3.2.1. Météorologie

Les dépressions tropicales fortes et les cyclones affectent régulièrement la Nouvelle-Calédonie.

2013 : année marquée par deux dépressions fortes ayant provoqué une pluviométrie exceptionnelle en janvier (Freda élevée au rang de cyclone) et aussi en juillet 2013 avec des précipitations > 400mm / 24 h qui ont causé des inondations sur tout le territoire, (Cf. les rapports de suivi 2013) ; le milieu marin côtier sous influence terrigène a été affecté par ces précipitations très intenses de 2013.

2014 et 2015 : années caractérisées par un déficit hydrique (et une très bonne vitalité des écosystèmes marins côtiers).

20 au 22 novembre 2016 : l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie a été touché par un épisode météorologique ponctuel et des précipitations exceptionnelles qui ont provoqué un glissement de terrain dramatique (Kouaoua et Houaïlou).

Rappel des grands épisodes dépressionnaires pluvieux des années précédentes :

ANNEE	PERIODE	NOM	CATEGORIE
2003	13 au 14 mars 2003	Erika	Cyclone tropical
2004	26 au 28 février 2004	Ivy	Cyclone tropical
2007	25 au 29 mars 2007	Becky	Dépression tropicale forte
2009	22 au 26 mars 2009	Jasper	Dépression tropicale forte
2011	8 au 16 janvier 2011	Vania	Dépression tropicale forte
	14 au 17 janvier 2011	Zelia	Cyclone tropical
2013	27 décembre 2012 au 4 janvier 2013	Fréda	Cyclone tropical
2015	7 au 16 mars 2015	Pam	Cyclone tropical
2016	9 au 25 février 2016	Winston	Cyclone tropical très intense puis dépression tropicale forte (en NC)
2017	7 au 14 avril 2017	Cook	Cyclone tropical
	2 au 10 mai 2017	Donna	Cyclone tropical intense puis cyclone tropical (en NC).

Les années 2011 et 2013 ont laissées des traces nettement détectées dans les suivis Vale NC.

- 2011 : Janvier 2011 dépression tropicale forte/cyclone Vania (450mm /24 h sur Goro)
- 2011 : Janvier 2013 dépression Zélia
- 2013 : 2/3 janvier 2013 dépression tropicale Freda (438.4 mm en 24 h à l'usine)
- 2013 : 2/3 juillet 2013 Pluie et inondations exceptionnelles de juillet (540mm/24h)

Fin 2015 est caractérisée par la sécheresse due au phénomène climatique cyclique « El Niño », ce sont les feux de brousse et de forêt qui affectent la Nouvelle-Calédonie de façon intense, cependant le Grand Sud et les bassins versants qui influencent le milieu marin suivi par VNC sont peu affectés.

Ce phénomène « El Niño » se renforce début 2016 de façon intense.

2016 : Tout le Pacifique Sud est affecté par « El Niño » depuis les îles Marquises jusqu'à la Grande Barrière australienne, le lagon calédonien est inclus.

Au niveau de la Nouvelle-Calédonie, des records de températures ont été enregistrés en février et mars 2016, accompagnés d'une baisse du régime des vents (Alizés) et d'une absence de couverture nuageuse exceptionnelle qui a permis aux rayonnements solaires d'être intensément perçus en surface sur terre et au niveau du lagon.

Ces phénomènes vont provoquer un blanchissement des coraux dans tout la Pacifique Sud. Il a été évalué sur le lagon calédonien par une mission de l'IRD.

2017 : Le mois d'avril 2017 est affecté par le passage du cyclone Cook mais la Nouvelle Calédonie est relativement modérément affectée.

2018 : Premier semestre 2018 : R.A.S sur la Calédonie. Le passage du **cyclone Hola** à l'Est des îles Loyauté a entraîné de fortes pluies du 07 au 11 mars 2018.

Figure 14 : Rappel du contexte climatique calédonien et de la zone du plateau de Goro influant sur les bassins versants de la zone des suivis Vale NC (mm/pluies cumul annuel)

(Carte ORSTOM et étude DAVAR 2011 plus précise)



Les campagnes semestrielles de suivis s'étalent sur une semaine environ :

- **S1 a lieu en mars ou avril** en fonction de la météo et des lunes afin de ne pas biaiser les résultats par des conditions météo extrêmes et pour respecter les règles HS de sécurité), cependant un épisode pluvieux est toujours enregistré durant la campagne et les 5 jours d'influence préalables.
- **S2 a lieu en août ou septembre** et bien que cette saison soit d'avantage sèche, en 2013 par exemple, un épisode pluvieux très intense a eu lieu en juillet causant des inondations et marquant la campagne de suivi S2
- **Les campagnes qui sont des suivis continus sur plusieurs semaines** (flux de MES, suivi DGT, taux de sédimentation) ne peuvent évidemment pas s'affranchir des forts épisodes pluvieux qui ont lieu pendant le temps d'immersion des appareillages.

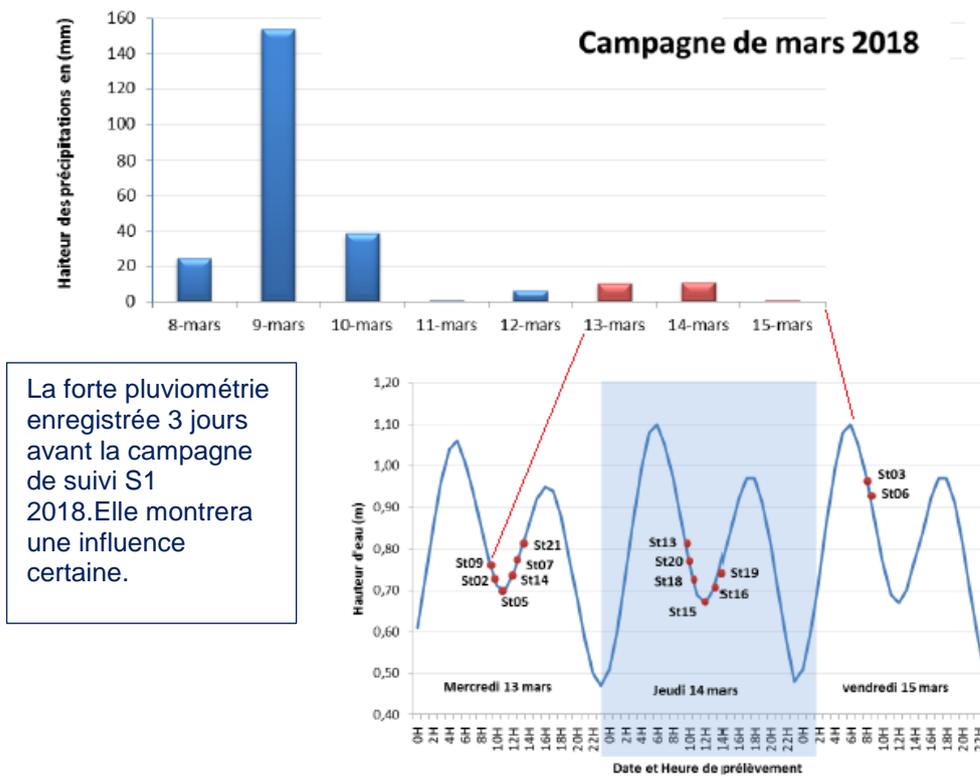
- Le guide du CNRT-ZoNeCo 2011 recommande d'exclure les données ponctuelles extrêmes si dues à une pluviométrie exceptionnelle.
- Les experts IFREMER recommandent de ne pas échantillonner durant ces épisodes extrêmes pour éviter les biais ; ce qui ne se fait pas. (Les règles HS interdisent de sortir par plus de 25 nœuds de vent et en cas de mauvais temps : houle ou orage) ;
- Cependant la durée des missions, la forte pluviométrie de la région et les appareillages immergés durant plusieurs semaines, impliquent qu'il ne peut être effectué les suivis que hors pluies intenses, de plus, le fait que les indicateurs suivis marquent bien un épisode pluvieux, montre leur sensibilité.
- Il est donc important de : à la fois bien enregistrer les conséquences des pluies, et de savoir s'affranchir raisonnablement d'un point extrême.
- La méthode BACI le permet puisque la zone témoins va montrer le même relevé extrême que la zone suivie.

3.2.2. Suivi de la qualité physico-chimique de l’eau et de la structure de la colonne d’eau de mer

Les opérations de terrain S1/2018 ont été réalisées les 13, 14 et 15 mars 2018 sur les 14 stations prédéfinies. L'éloignement des stations nécessite trois déplacements sur 3 jours, à minima, pour garantir une qualité rigoureuse du travail. L'état de la marée et surtout la pluviométrie, pendant et avant la mission, sont des facteurs d'influence de la qualité de l'eau lors des prélèvements ponctuels. En cas de très forte pluviométrie (dépression tropicale, cyclone) il n'y pas de mission en mer cependant une mission de plusieurs jours rencontre presque toujours des épisodes pluvieux, plus ou moins intense, notamment en saison des pluies et il faut aussi prendre compte la pluviométrie les 5 jours avant la mission.

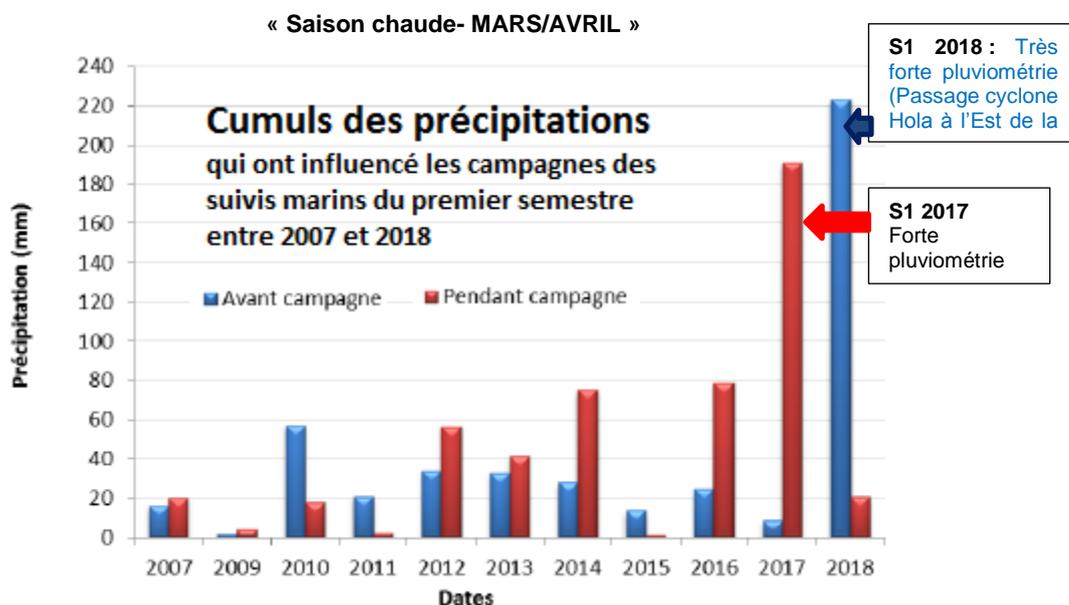
Figure 15: Conditions météorologiques et état de la marée (Campagne MARS 2018)

La pluviométrie est indiquée durant la campagne de prélèvement (en rouge) mais aussi durant les 5 jours précédents (en bleu).



Pour les analyses comparatives temporelles, les résultats obtenus durant la saison chaude et pluvieuse sont comparés entre eux, et ceux de la saison fraîche souvent plus sèche sont comparés entre eux, notamment les données sur la structure des masses d’eau, en effet la corrélation avec la pluviométrie et les températures est forte et la pertinence des conclusions doit tenir compte des saisons. La séparation entre saison sèche et saison humide n'est pas toujours nette, il est plus judicieux de parler de saison fraîche et de saison chaude et de toujours se référer à la pluviométrie.

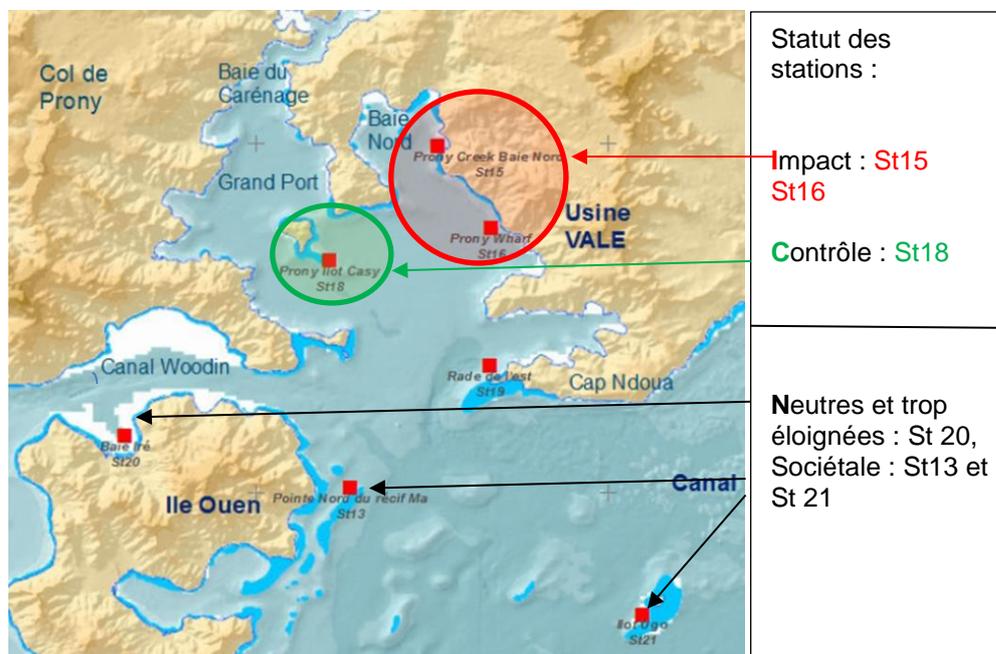
Figure 16 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement de 2007 à 2018. Données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».



Mission MARS 2018 (Semestre n°1/ 2018)

Les figures suivantes rappellent la position de ces stations afin de faciliter la lecture du rapport.

Figure 17: Rappel de la position et de la nomenclature des stations pour le suivi physico chimique (Baie de Prony) et île Ouen

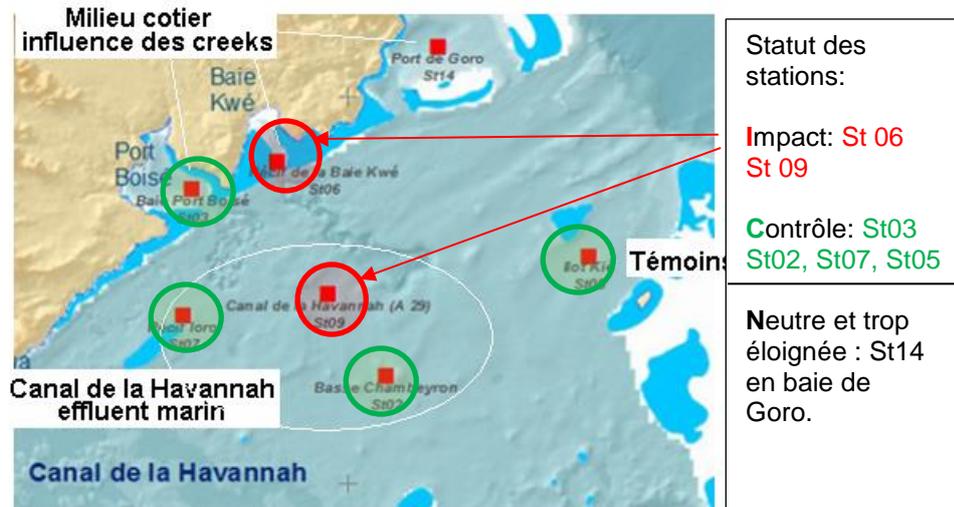


Stations en baie du Prony (sous influence côtière forte) : St 15, St 16 qui sont de statut « Impact ». St 18 près de l'îlot Casy est de statut « Contrôle », St 19 est sous influence côtière atténuée.

Stations près de l'île Ouen : St 20 (de type embouchure ou fond de baie) et St 13

La station St 20 au Nord de l'île Ouen dans le canal Woodin n'est pas sous influence du projet Vale NC, elle ne peut pas être de statut « Impact » ni de statut « Contrôle », comme la station St 21 sur le récif Ugo.

Figure 18: Rappel de la position et de la nomenclature des stations pour le suivi physico chimique (Canal de la Havannah)



Station dans canal de la Havanah (surveillance de l'effluent) : St 09 en champ proche et St 02, St 05, et St 07 en champ lointain ;
 Stations côte Nord du canal : St 03 de statut « Contrôle » en baie de Port Boisé et St 06 ; de statut « Impact » en baie Kwé
 + Station très décentrée et non sous influence, en baie de Goro : St 14.

3.2.2.1. QUALITE- Contrôle qualité

Le laboratoire AEL qui effectue les prélèvements et de nombreuses analyses dont celles de la plupart des métaux est certifié :

Norme ISO 9001- "Analyse des métaux dans l'environnement et expertise ».

Le périmètre des activités certifiées est ciblé sur le travail de prises d'échantillons et d'analyses des métaux dans l'environnement sur des matrices d'eau de mer, de sédiments, de biotes et en atmosphère.

La qualité des mesures effectuées en métaux dissous, lors des campagnes de suivi, est évaluée selon trois approches complémentaires :

- en étudiant la fidélité de la méthode de prélèvement et d'analyse à l'aide de 10 % de triplicatas,
- en étudiant la reproductibilité de la méthode de prélèvement et d'analyse par les analyses inter-laboratoires sur au moins 10 % de duplicatas. Ces duplicatas sont envoyés dans différents laboratoires, en fonction de la mesure à effectuer ;
- en vérifiant la justesse de la méthode d'analyse d'AEL par la participation à un exercice inter-laboratoire international, organisé par Quasimeme.

3.2.2.2. RESULTATS S1 /2018

➤ Les éléments majeurs et le pH

Le pH moyen ne diffère pas entre les zones étudiées. Il est particulièrement homogène dans l'ensemble de la zone ($8,20 \pm 0,04$) Le pH moyen global mesuré lors de cette campagne est identique à celui obtenu lors de la précédente campagne de 2017 et à celui des campagnes antérieures.

Tableau 12: pH et concentrations en éléments majeurs, synthèse.

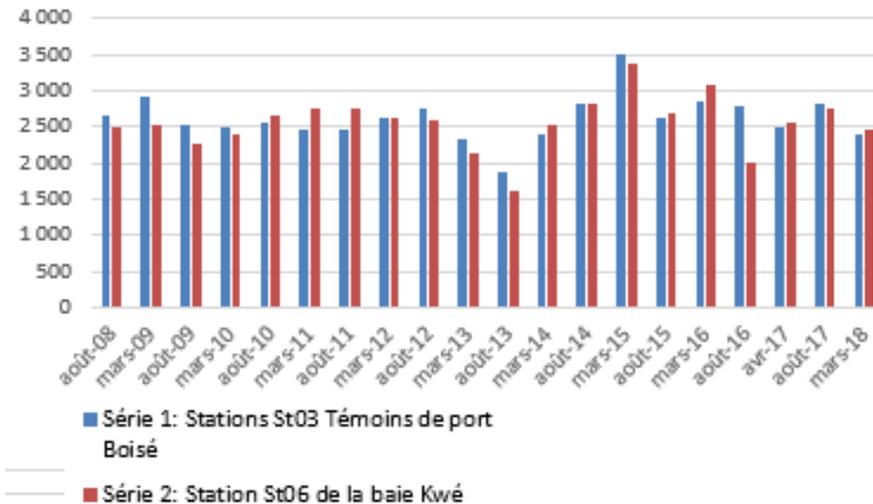
Zone d'étude	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L) mars 2018					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,3	408	485	1197	11130	20507	2465
	Maximum	8,3	436	508	1338	11585	23635	3400
	Moyenne	8,3	422	493	1291	11319	22375	2837
	Ecart-type	0,0	8	7	41	129	1014	270
Baies du canal	Minimum	8,1	380	440	1174	10142	20855	2390
	Maximum	8,3	430	500	1333	11432	28501	3150
	Moyenne	8,2	404	472	1291	10873	22940	2688
	Ecart-type	0,1	17	22	48	484	2306	229
Baie du Prony	Minimum	8,2	332	376	1024	8700	18074	2090
	Maximum	8,2	436	509	1343	11585	28501	3125
	Moyenne	8,2	418	486	1291	11147	23114	2725
	Ecart-type	0,0	28	36	86	787	2298	284
Ile Ouen	Minimum	8,2	411	486	1199	11166	22245	2610
	Maximum	8,2	434	505	1332	11572	25026	2925
	Moyenne	8,2	421	498	1284	11401	23172	2754
	Ecart-type	0,0	8	7	46	149	950	111

Le pH et les éléments majeurs constitutifs de l'eau de mer n'ont pas, (à ce jour en 9 années de suivi), donné des indications d'alerte bien qu'analysés à 3 profondeurs 2 à 4 fois/an sur 14 stations.

Focus sur les concentrations en sulfates :

Figure 19 : Concentration en sulfates en mg/L en surface de la colonne d'eau de 2008 à 2017 (couche d'eau sensible aux apports terrestres via les cours d'eau) et en baie Kwé (St06) en baie de Port Boisé (St 03 son homologue de comparaison)

Concentration en ions majeurs Sulfates toutes saisons contondues de 2008 à 2018 en baie Kwé et sa stations témoins Port Boisé



Les sulfates, ions de composante majeure de l'eau de mer, sont un paramètre suivi mais de faible valeur indicatrice en milieu marin. A leur niveau le parallélisme des concentrations et de leurs fluctuations entre la baie Kwé (St 06) et la baie de Port Boisé (St 03) renforce l'utilisation de la baie de Port Boisé comme témoins de la baie Kwé. (Méthode BACI).

Il n'y a pas de changement ni de tendance évolutive pour les concentrations en sulfates.

➤ **Hydrocarbures :**

Les analyses des prélèvements à la station St16 du port de Prony n'ont pas permis de mettre en évidence des concentrations en hydrocarbures totaux supérieures à la limite de quantification de la méthode (<0,1 mg/L) aux 3 profondeurs surveillées (dont en surface). Le rapport annuel consacré au port reprend ces analyses de façon détaillée.

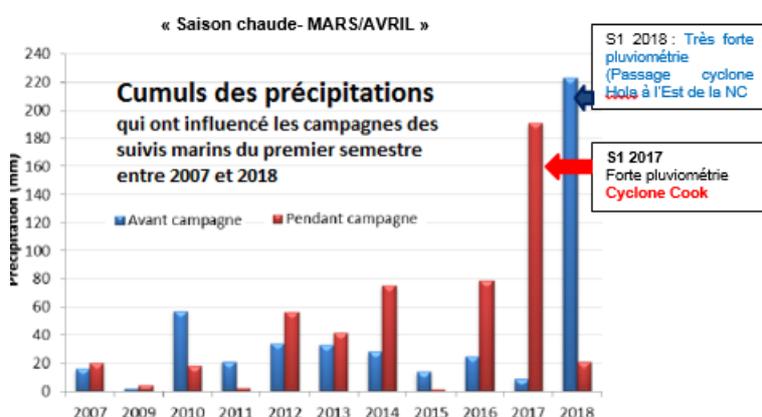
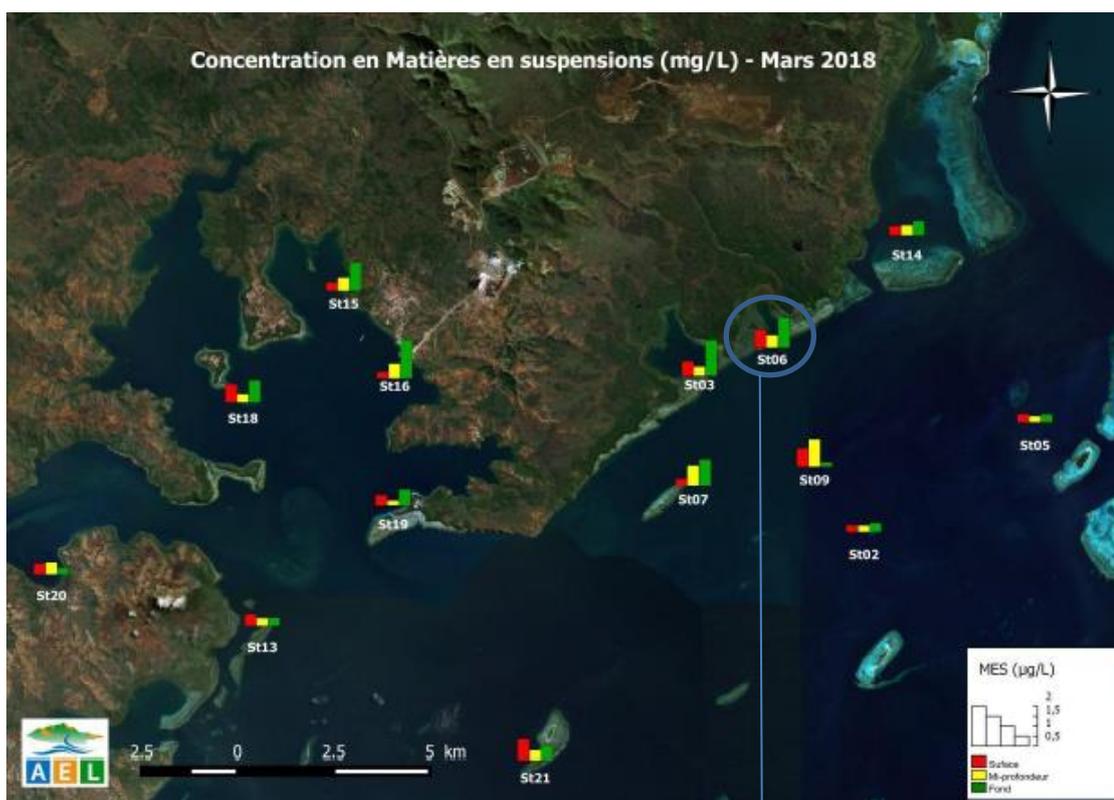
➤ **Matières en suspension totales (MEST) :**

Les matières en suspension (MES) sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minéral ou organique, carbonatées ou non...) L'ensemble des concentrations en MES sur toutes les stations lors de la mission d'AOUT 2017 est synthétisé sur la figure suivante et les données brutes sont en annexe.

- Dans le Canal de la Havannah, influencé par les apports océaniques, la concentration moyenne en MES est très faible, de même sur St 09 proche du diffuseur et ceci en surface comme en profondeur.

Aucune hausse de MES en champ proche du diffuseur

- En mars 2018 la pluviométrie trois jours avant la mission de prélèvements des échantillons d'eau a été forte, les baies côtières avec apports d'eau douce en continu, comme la baie du Prony et les Baies Kwé et de Port Boisé, montrent une signature terrestre mais celle-ci reste faible. Cela confirme les définitions d'hydro-régions distinctes.

Figure 20 : Concentration en MES dans la zone du lagon sud calédonien en MARS 2018


Les fortes pluies n'ont pas influencé cet indicateur, même en baie Kwé.

Les relevés ponctuels en MES sont un indicateur de puissance faible, en raison de leur caractère ponctuel et des très faibles volumes de MES recueillies dans un grand volume d'eau, le suivi intégrateur des flux est à privilégier, selon les experts.

➤ **Structure de la masse d'eau : Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité en fonction de la profondeur :**

Les résultats sont conformes aux valeurs attendues, sur toutes les stations. La caractérisation des stations sous influence terrigène et sous influence marine confirme les analyses des années précédentes et les études en courantologie et modélisation.

Le tableau suivant présente températures, turbidités, fluorescences et salinités sur le domaine étudié en MARS 2018

Tableau 13 : Température, salinité turbidité et fluorescence MARS 2018

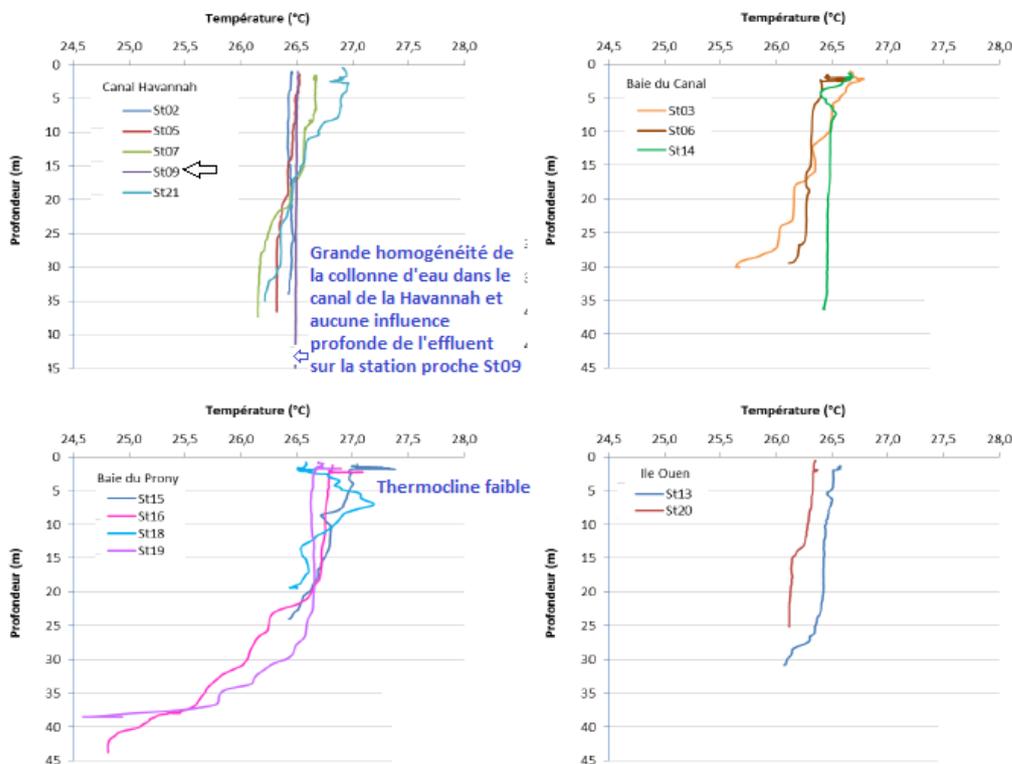
Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
mars 2018.	Minimum	26,15	35,03	0,00	0,20
	Maximum	26,96	35,33	1,14	7,73
	Moyenne	26,48	35,13	0,47	0,54
	Ecart-type	0,14	0,06	0,15	0,72
Canal de la Havannah	Minimum	25,64	31,62	0,00	0,39
	Maximum	26,79	35,33	0,89	2,89
	Moyenne	26,51	34,37	0,44	0,84
	Ecart-type	0,21	0,88	0,14	0,40
Baies du Canal	Minimum	24,58	26,26	0,20	0,38
	Maximum	27,38	35,68	0,78	5,09
	Moyenne	26,66	34,89	0,45	0,80
	Ecart-type	0,46	1,45	0,13	0,48
Baie du Prony	Minimum	26,07	35,07	0,33	0,49
	Maximum	26,58	35,30	0,63	1,89
	Moyenne	26,32	35,15	0,52	0,78
	Ecart-type	0,14	0,05	0,05	0,20

o **La température :**

Globalement, la température moyenne est de 26,52°C +/- 0,29 (saison chaude : mars) et varie très peu. Les profils obtenus par les sondes sont présentés ci-dessous.

La forme des profils verticaux permet de détecter les thermoclines, et haloclines et d'en déduire les influences terrestres (ruissellements) sur les points d'immersion de la sonde.

Figure 21 : Profils des températures en MARS 2018 (S1-2018)



Aucune trace de réchauffement en profondeur dans le canal de la Havannah, comme attendu. La station St09 est la plus proche du diffuseur. L'effluent traité rejeté n'est pas détectable à quelques mètres du diffuseur et sa température n'affecte pas la température des masses d'eau du canal, même en profondeur et en champ très proche. Il en est de même pour la salinité.



○ **La salinité :**

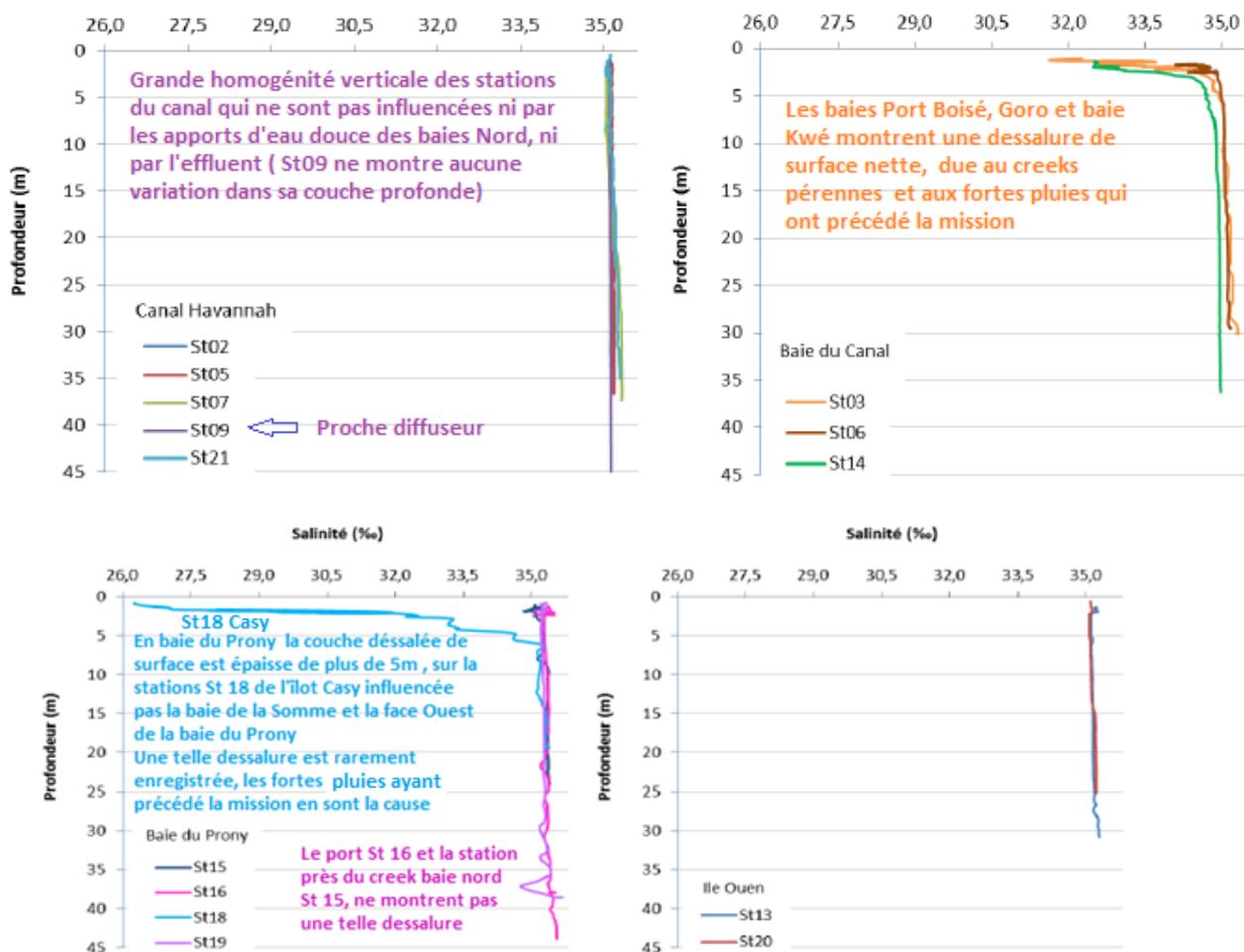
Les baies du Nord du canal de la Havannah (stations St03 -Port Boisé et St06-Baie Kwé) présentent une couche de surface de salinité moindre bien individualisée, (une halocline), comme attendu en face un rejet permanent par un creek ou une rivière.

De même en baie du Prony qui présente une couche dessalée particulièrement marquée de plus de 5m d'épaisseur près de l'îlot Casy (St18)

Les fortes pluies ayant précédé la mission en sont la cause.

Le rejet d'effluent traité n'est aucunement perceptible sur la salinité, comme prévu. (Cf. courbe St 09)

Figure 22 : Profils des salinités des 14 stations échantillonnées dans la zone Sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de MARS 2018 (S1-2018)



La forte dessalure sur plus de 5 m d'épaisseur cantonnée à la station St18 de l'îlot Casy est remarquable et pourrait avoir des conséquences sur les écosystèmes.

Cette station n'est pas sous influence Vale NC et les stations situées à l'Est de la baie du Prony, au port de Prony (St16) et en face le Creek Baie Nord (St15), ne présentent pas cette dessalure.

L'îlot Casy est sous influence des baies de la Somme et baie du Carénage qui, suite aux fortes pluies de mars, ont ainsi influencé la colonne d'eau par de forts apports d'eau douce. Cette eu de surface est chargée en Chrome comme le montrera le chapitre suivant.

(Rappel : Mauvaise santé globale des coraux, présence d'Acanthaster en 2017, déjà notés sur cette station Casy, depuis les premiers états initiaux).

Ces résultats sur la structure verticale de la colonne d'eau sont conformes aux valeurs attendues sur les stations sous influence VNC et leur témoins

○ **La turbidité :**

La turbidité de l'eau provient de la présence de diverses matières en suspension telles que : argiles, limon, matière organique et minérale en fines particules, plancton... Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minérale ou organique). La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée. Cette campagne ne décèle pas de turbidité qui ne soit en pas cohérente avec l'état initial du milieu.

La station témoins Chambeyron St02 du canal de la Havannah montre une couche de surface avec une forte turbidité, d'après la sonde CTD (mais pas une forte concentration en MES d'après les prélèvements d'eau, ni une forte fluorescence donc pas de concentration plus forte en plancton, ni une concentration en chlorophylle supérieure à la moyenne), la raison est inconnue et ce fait est ponctuel.

○ **La fluorescence**

Cette campagne ne décèle pas de fluorescence qui ne soit pas en cohérence avec l'état initial du milieu. (Résultats intégraux en annexe de ce document)

○ **Chlorophylle « a » et phéo-pigments :**

La chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et, de ce fait, le niveau trophique du milieu (oligotrophie / eutrophie- Le lagon calédonien fait partie des grands domaines oligotrophes). La dégradation de la chlorophylle donne de nombreux composés, dont principalement les phéo-pigments

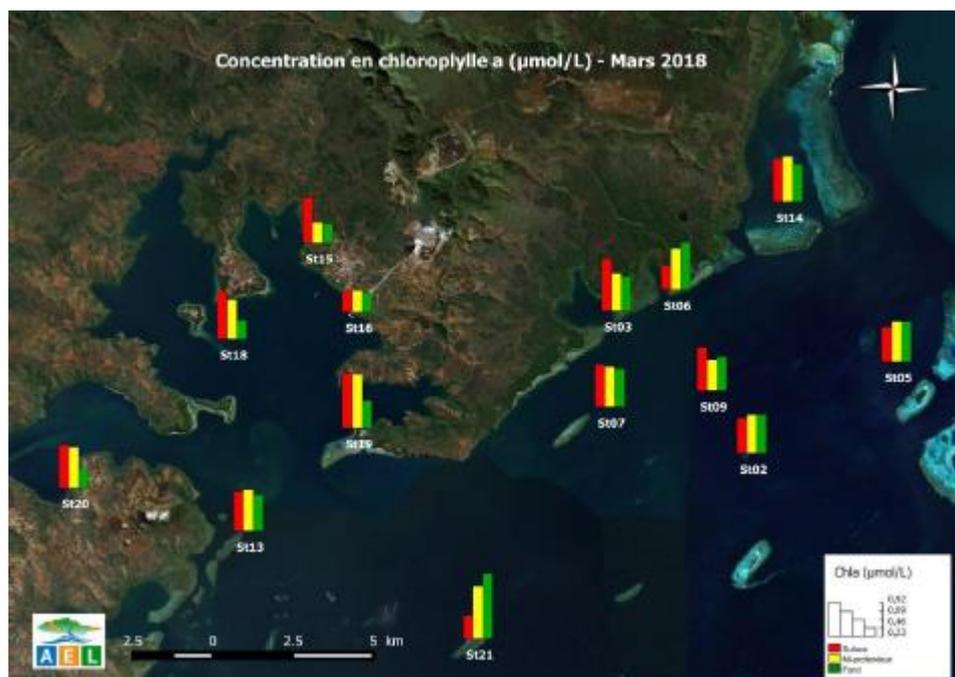
A ce jour il n'a jamais été observé le bloom chlorophyllien intense, depuis les premiers suivis de la zone.

En cas de forte mortalité planctonique, un pic en phéo-pigments pourrait être détecté ce qui n'a jamais été le cas.

La baie de Prony et les autres zones ne présentent pas d'anomalie au niveau de la Chlorophylle a (Pour rappel : Les algues macroscopiques sont suivies dans les missions écosystémiques, aucun bloom détecté depuis 2007).



Figure 23 : Concentration de chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de MARS 2018 .



Le guide CNRT/Zoneco donne une bonne qualité de l'eau des baies avec une concentration en « chlorophylle a » pouvant aller jusqu' à 1,5 µg/L et un indice plutôt mauvais (à surveiller) si la concentration dépasse 5 µg/L, ce qui n'a jamais été le cas dans la zone d'étude. 

• **Concentrations en sels nutritifs : nitrates et nitrites, ammonium NH₄⁺, phosphates, silicates.**

Les sels minéraux sont suivis avec attention, aucune eutrophisation n'a été décelée, en cohérence avec les suivis éco systémiques qui portent attention au développement des algues.

Pour rappel : la station d'épuration de la base vie Vale NC ne rejette pas ses eaux traitées dans un creek et donc elle ne rejette pas vers une baie du lagon, mais au niveau du diffuseur sous-marin, via l'effluent marin traité.

Un risque d'eutrophisation a été identifié en baie de Port-Boisé (St 03) et sans lien avec Vale NC (Rejet d'un hôtel) ou éventuellement près l'îlot Casy (à vocation touristique et camping « sauvage »).

Il n'y a pas de concentration en sels nutritifs qui puisse indiquer une perturbation sur l'ensemble des zones sous influence de Vale NC.

Le lagon calédonien est oligotrophe et sensible aux apports en sels minéraux, engrais et matières organiques (exemple de la prolifération d'algues en face la zone Deva, sur la côte Ouest de la Calédonie), le complexe Vale NC n'envoie aucun effluent domestique et aucun engrais au lagon et il ne fait pas encourir un tel risque de prolifération d'algues. 

Tableau 14 : Concentration en sels nutritifs dans les grands domaines de la zone d'étude en MARS 2018

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L) mars 2018.			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	0,076	0,032	<0,05	0,500
	Maximum	0,878	0,266	<0,05	1,918
	Moyenne	0,219	0,078	-	1,054
	Ecart-type	0,243	0,065	-	0,480
Baies du canal	Minimum	0,149	0,007	0,052	1,284
	Maximum	0,842	0,415	0,112	10,690
	Moyenne	0,475	0,195	0,070	4,243
	Ecart-type	0,239	0,125	0,024	4,034
Baie du Prony	Minimum	0,144	0,126	0,050	1,109
	Maximum	1,464	0,262	0,148	26,176
	Moyenne	0,880	0,165	0,099	3,819
	Ecart-type	0,482	0,040	0,038	7,062
Ile Ouen	Minimum	0,195	0,057	<0,05	1,344
	Maximum	0,688	0,134	<0,05	4,904
	Moyenne	0,431	0,094	-	2,264
	Ecart-type	0,247	0,034	-	1,325

Ilot Casy

Pour rappel : En avril 2017 un relevé ponctuel montrait une forte concentration en ammonium près de **l'îlot Casy (St18)** et seulement en profondeur, ce fait doit être surveillé mais il ne suffit pas pour alerter de façon disproportionnée. Ce pic d'ammonium ne se retrouve pas en mars 2018. Par contre un fort pic en Silicates est enregistré sur cette station.

Figure 24 : Répartition spatiale des concentrations en ammonium. Campagnes de MARS 2018

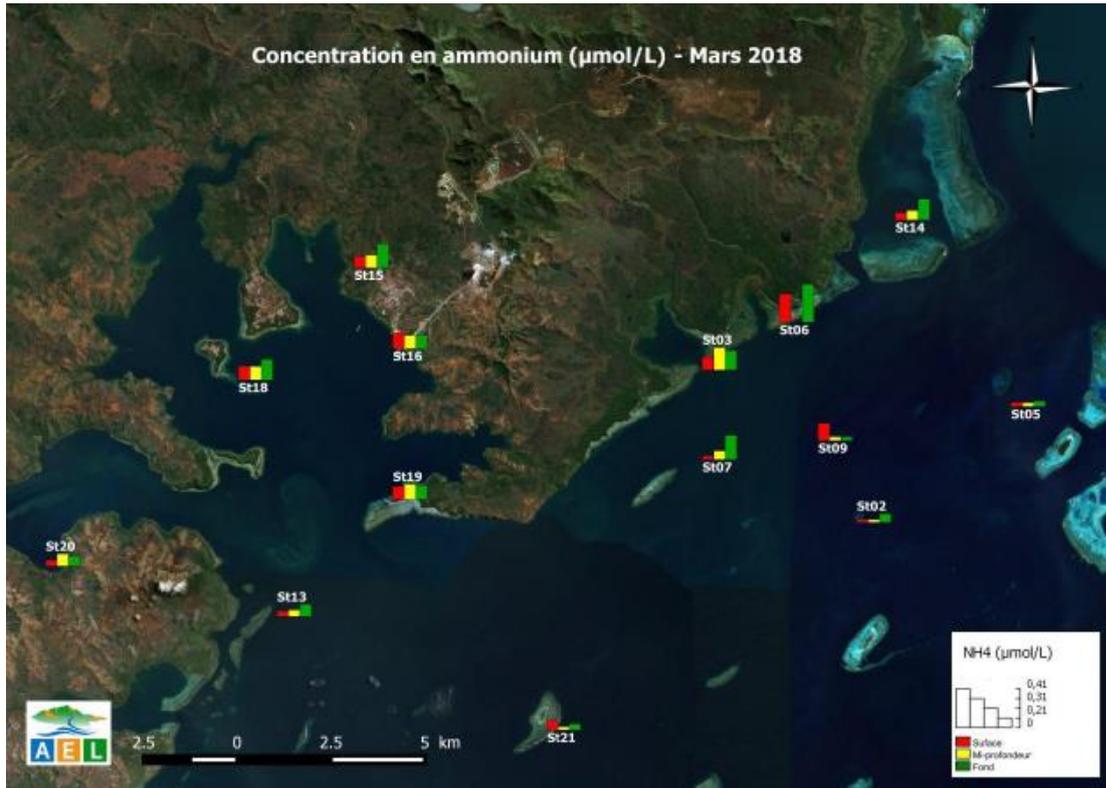
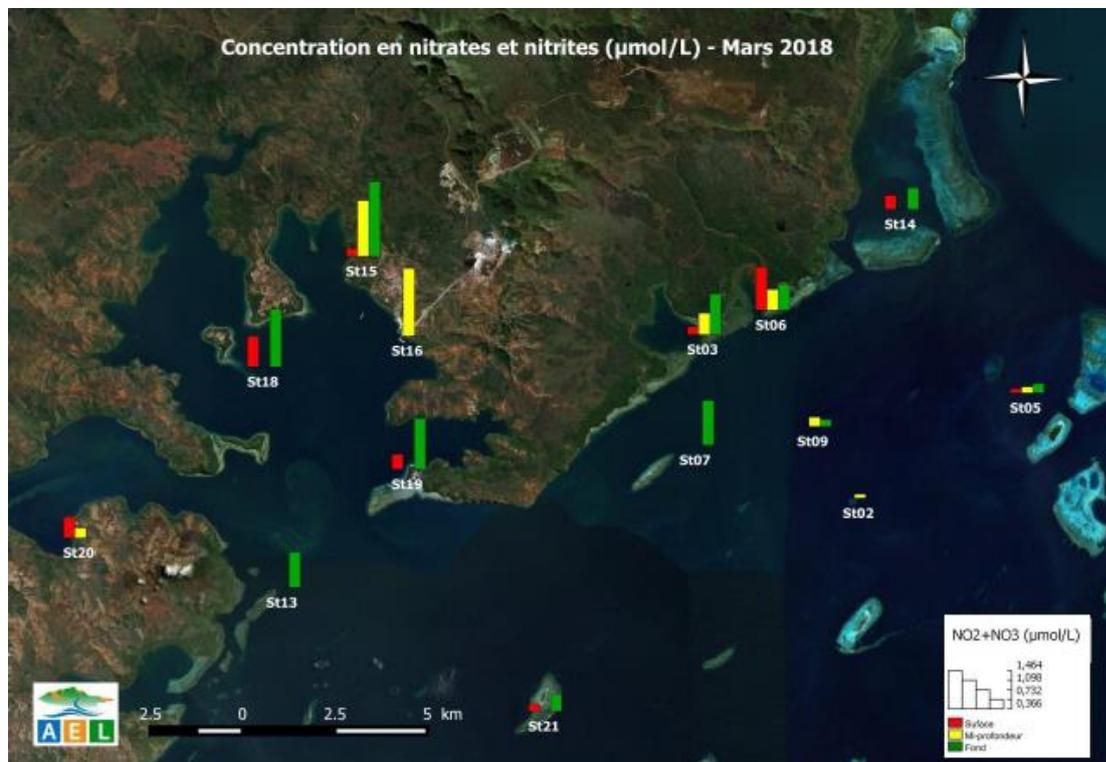


Figure 25 : Répartition spatiale des concentration en Nitrates & Nitrites. Campagne de MARS 2018



Les plus fortes concentrations relevées ici (Nitrates + Nitrites ensemble : 1,46 $\mu\text{g/L}$) restent très inférieures aux indications d’alerte du guide CNRT. De même pour l’ammonium. Max observée ici : 0,41 $\mu\text{g/L}$.



Aucune alerte d'eutrophisation, les concentrations en nutriments restent globalement très inférieures aux indications d'alerte données par le guide CNRT/ Zoneco

Pour les phosphates, en mer il s'agit d'ortho phosphates, sur les 14 stations évaluées à 3 profondeurs les concentrations obtenues sont faibles et d'après le guide du CNRT elles montrent un milieu non perturbé.

Pour les silicates le gradient « cote/large » met en évidence les apports d'eau douce.

La zone Nord Est de la baie du Prony, proche du creek baie Nord, zone sous pression de la base vie Vale NC et de l'usine, ne présente pas d'élévation anormale des concentrations en sels nutritifs.

Il n'y a pas de concentration en sels nutritifs qui puisse indiquer une perturbation sur l'ensemble des zones sous influence de Vale NC.

Le cas de silicates :

Ce paramètre n'avait à ce jour donné aucune information quant à une variation significative, cependant en mars 2018 la station témoins de l'îlot Casy (St 18) montre un pic significatif de silicates dans ses eaux de surface. (Cf. figure suivante), et uniquement cette station.

Ce pic est à corrélérer avec l'exceptionnelle dessalure enregistrée par la sonde CTD sur cette station Casy. (Cf schéma ci-dessous). L'eau de surface est la seule concernée ; **ces silicates sont concentrés dans la couche dessalée et indiquent des eaux de lessivage de roches riches en silicates de Mg et de fer**. La baie de la Somme et la rivière du Carénage montrent leur forte influence suite aux fortes pluies qui ont précédé les échantillonnages.

Figure 26 : Répartition spatiale des concentration en Silicates. Campagne de MARS 2018



Ces deux constatations (dessalure, concentration forte en silicates) permettent à elles seules de présumer que **des surfaces érodées non revégétalisées sont lessivées par les eaux de pluies qui se déversent dans la partie Ouest de la baie du Prony** (hors toute influence des activités de Vale NC).

Les analyses des métaux montrent aussi que le **Chrome** est présent dans cette eau de surface. (rappel : Anciennes mines de Chrome et zones dévégétalisées en forte érosion sur les bassins versant Ouest). Les photographies aériennes en temps de pluie confirment ces constatations. (Cf. figures suivantes)

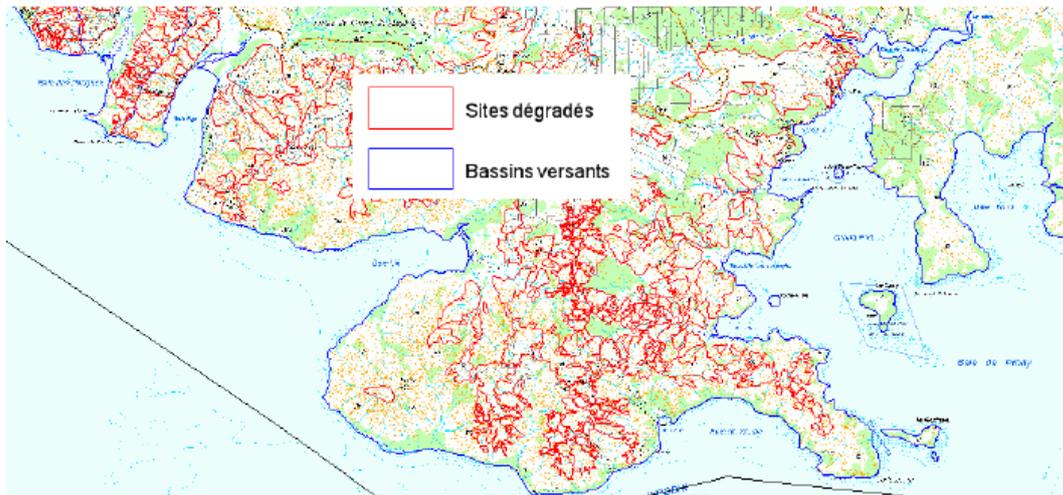
Figure 27 : Les panaches turbides dues aux zones érodées sur la face Ouest de la baie du Prony affectent le lagon, hors toute influence Vale NC.



Étude des sites dégradés du Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie

Fiche référencée sur la base documentaire de la structure OEIL

Année de publication : 2010 Editeurs DENY



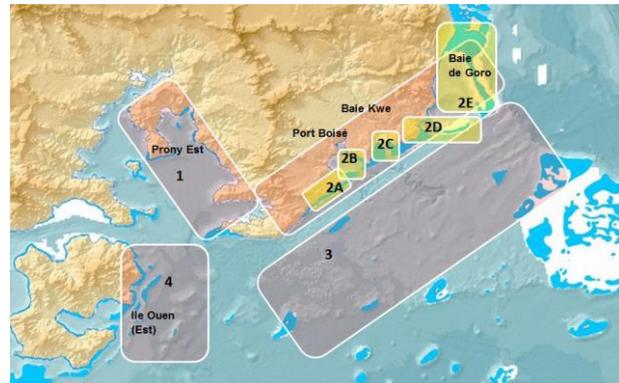
- **Carbone, azote et phosphore organiques : NOD, POD, NOP, POP et COP** (selon s'ils sont dissous ou particulaires, la distinction entre la matière dissoute et la matière particulaire étant généralement située à la limite de 0,45 µm.)

Globalement, les concentrations de NOP, POP et COP mesurées lors de la campagne de MARS 2018 restent du même ordre de grandeur que celui des campagnes « saison fraîche » depuis 2007.

Après concertation avec les scientifiques océanographes et biochimistes les variations en NOD, POD, NOP et POP qui sont analysées depuis 2008 ne permettent pas de déduire des tendances indicatrices et sont de l'ordre de la recherche fondamentale plus que d'un suivi centré sur des indicateurs d'alerte industriels qui doivent être associés aux pressions.

• Concentration en métaux :

Tels qu'observés lors des campagnes précédentes et lors des états initiaux, les métaux naturellement contenus dans les roches latéritiques du Sud calédonien (Co, Mn, Ni, Cr(VI) et Cr (total) se distribuent selon un gradient côte-large bien individualisé. Les stations du Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) influencées par les masses d'eau océaniques, se distinguent clairement par des concentrations en métaux d'origine terrigène (Co, Mn, Ni, Cr(VI) et Cr (total) nettement inférieures à celles mesurées aux stations proches des côtes (St03, St06, St14, St15, St18, St19 et St 20).



Zonage et hydro région marines

L'état des lieux et les modélisations ont permis de définir des hydro régions depuis 2009, elles sont rappelées ici dessus et les analyses semestrielles de la qualité de l'eau concordent avec ces domaines respectifs.

MARS 2018

► Au niveau du cuivre et du zinc

Ce sont des marqueurs d'activités urbaines (ou portuaires), au port de Prony leur évolution est suivie avec la plus grande attention avec 4 prélèvements à 3 profondeurs /an et un rapport annuel dédié.

- Pour le Cu :

- Un maximum ponctuel avait été enregistré dans le canal Woodin en baie Iré (St 20), en dehors de toute influence de Vale NC. Cu : 0,630µg/L, en mars 2012. Cette concentration avait attiré l'attention des ONG bien que la tendance ne soit pas à la hausse sur cette station.
- Lors de la campagne d'avril 2017 le maximum en Cu est de : 1,318 µg/L sur la station St 14 en baie Goro (hors influence VNC). C'est la concentration maximale en Cu jamais relevée à cette date.
- Les concentrations ponctuelles en Cu sont très variables dans le temps et dans l'espace, sans montrer de tendance significative sur une station.
- Lors de la campagne de mars 2018 le maximum en Cu est de : 0,055 µg/L sur la station St 13 (hors influence Vale NC) et dans la baie de Goro avec 0,041 µg/L. Partout ailleurs la concentration en Cu < LQ.
- Au niveau du port de Prony (St16) lors de la mission S1/2018 la concentration en cuivre aux trois profondeurs de prélèvements reste inférieure à la limite de quantification < 0,025 µg/L. La concentration en Cu maximale enregistrée est de 0,225 µg/L avec une moyenne < 0,066 µg/L, ce qui à ce jour enlève tout risque sur cet élément.
- **Le port de Prony ne présente à ce jour aucune alerte quant à cet élément. (Cu).**



- Pour le Zn :

Le Zn est < LQ de 1 µg/L sur toutes les stations pour cette mission S1/2018.

Un recentrage des analyses de Cu et de Zn sur les seules zones sous la pression de ces métaux via les activités de Vale NC, serait possible, d'autant plus que même le port de Prony n'a jamais présenté d'alerte sur ces deux métaux marqueurs d'activités urbaines ou portuaires ni de tendance à la hausse.

Le chapitre annuel consacré au port de Prony (Cf. chap. 3.2.6.) reprend ces analyses de façon plus approfondie.

Les résultats d'avril et d'août 2017, comme ceux des années précédentes, ne montrent aucune élévation des concentrations en Cu ou Zn dissous au niveau du port de Prony ou en baie Kwé.

► Au niveau de Cd, As et Fe

Cd : Les concentrations en cadmium sont toutes en dessous de la LQ fixée (<0,025 µg/L)

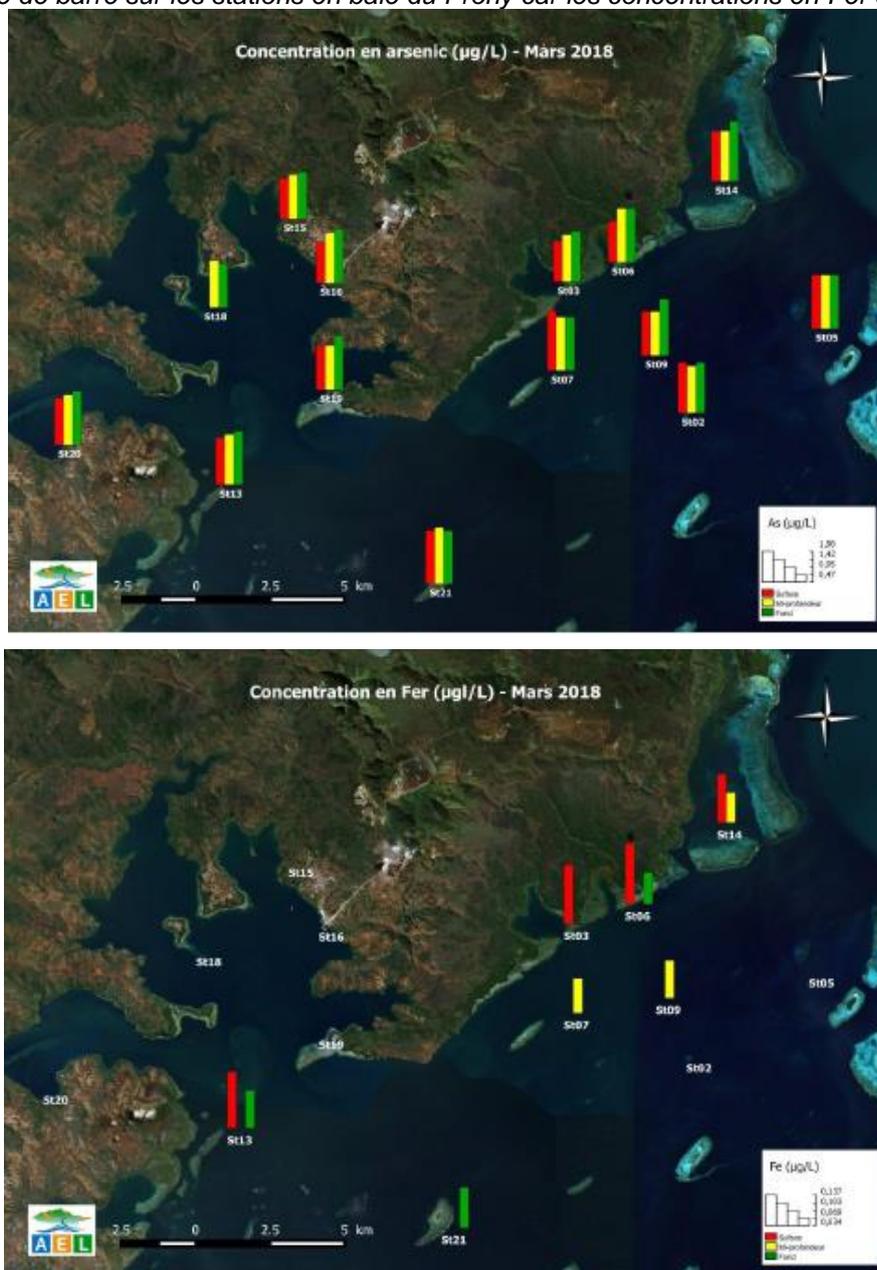
As : Les concentrations en arsenic sont relativement proches pour l'ensemble des zones étudiées. La zone présentant une moyenne plus élevée est celle du Canal de la Havannah, l'As étant un indicateur d'apport marin (eau du large). Globalement, aucune tendance (ni horizontale ni verticale) n'est constatée. L'arsenic étant un élément ubiquiste, les variations sans un apport tiers, sont à lier avec les évolutions naturelles du milieu. Stabilité.

Fe : Même grandeurs que celles usuellement relevées.

(Les données intégrales brutes sont en annexe de ce rapport.)

Figure 28 : Concentrations en As et en Fe dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de MARS 2018

Absence de barre sur les stations en baie du Prony car les concentrations en Fer sont < LQ



► **Au niveau des métaux indicateurs terrigènes : Ni, Co Cr, Cr (VI), et Mn**

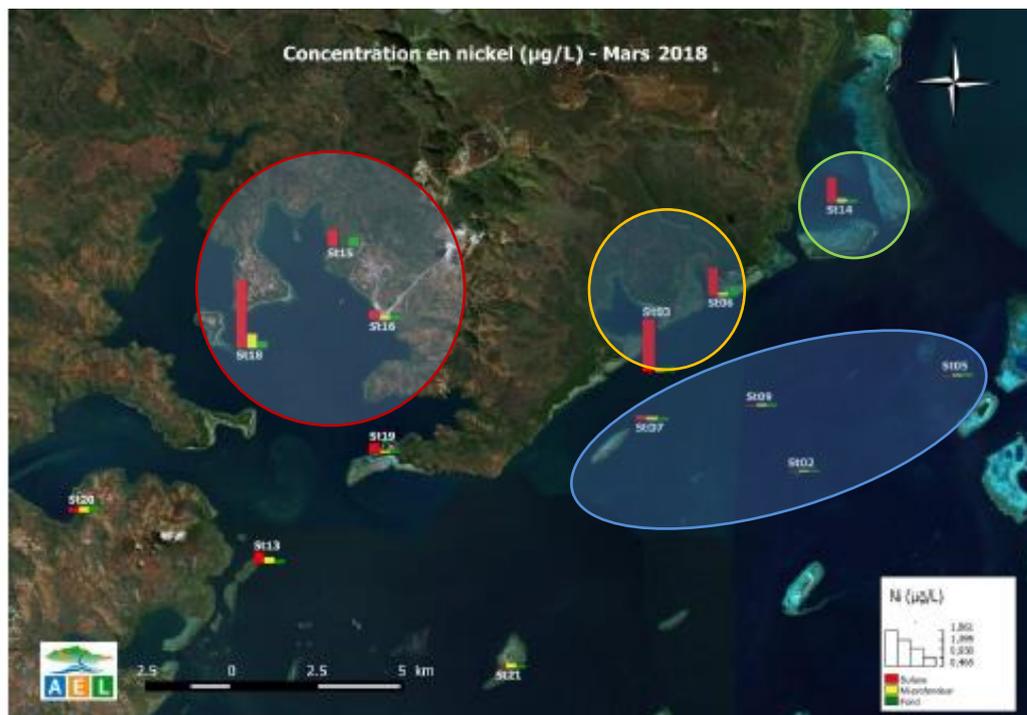
Les concentrations Ni, Co, Cr, Cr(VI) et Mn aux stations influencées par les apports terrigènes mettent en évidence une distribution verticale prononcée dues aux eaux douces de surface. Comme observé lors des précédentes campagnes, les concentrations de ces métaux se distribuent selon un gradient côte-large bien défini. On notera, par ailleurs, une corrélation significative des concentrations pour Co, Cr(VI) et Ni (mais pas le Fer) qui sont des indicateurs terrigènes du contexte géologique de la région.

Les stations du canal de la Havannah sous influence océanique (St02, St05, St07, St09 et St21) se différencient nettement des stations de baies influencées par les apports terrigènes (St03, St06, St15, St16, St18 et St19). Autour de l'île Ouen et au niveau du Port de Goro, les niveaux de concentrations sont intermédiaires (St13, St20 et St14).

Les données brutes intégrales semestrielles des concentrations en métaux, station par station et aux 3 profondeurs, pour ce suivi semestriel de la qualité de l'eau de mer sont données en annexe de ce rapport. Les résultats des tests AQCQ sont fournis dans la même annexe.

Les comparaisons spatiales donnent les résultats synthétiques suivants, elles sont effectuées dans le but de contrôler rapidement une station sous **I**mpact éventuel par apport aux stations de **C**ontrôle témoins qui l'entourent, dans la même hydro- région. (Méthode BACI).

Figures 29 : Concentrations en Ni sur toutes les stations- MARS 2018



- **La plus forte concentration en Nickel est enregistrée sur la station témoins Casy (St18)** dans la veine d'eau dessalée (de surface) bien identifiée précédemment et issue des fortes pluies précédant la mission. Ces eaux drainent les ruissellements ayant érodé les zones dénudées situées à l'Ouest de la baie de Prony (aucune influence des activités Vale NC).

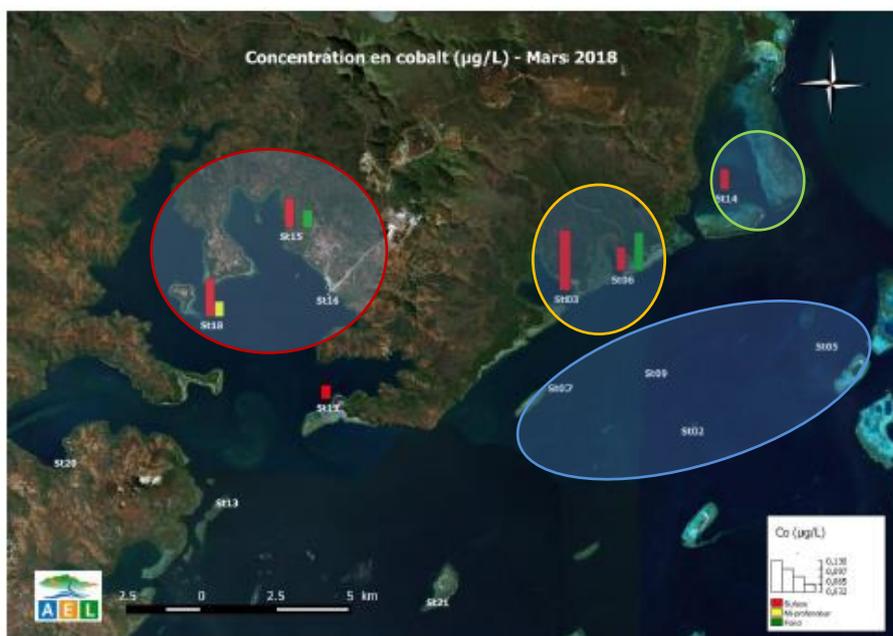
[Ni] St10-Casy : 1,86 µg/L. Alerte via le guide CNRT si [Ni] > 0,74 µg/L. Cette station témoins est fortement perturbée par la veine d'eau douce qui l'atteint depuis les bassins versants de Prony Ouest.

- Remarquer aussi qu'en **baie Kwé la concentration en nickel des eaux de surfaces (via la rivière Kwé) sont inférieures à celle de Port Boisé** qui est sa station témoin.

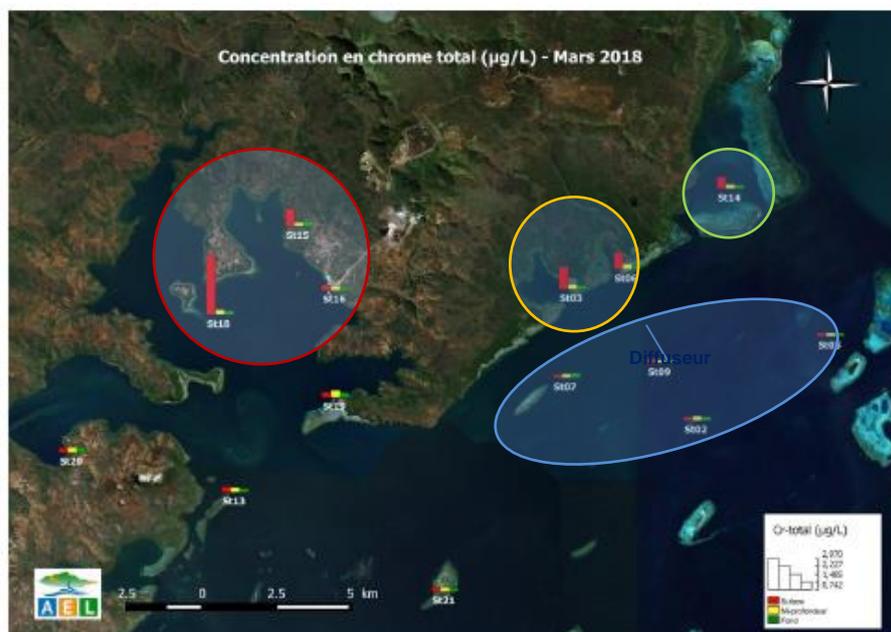
- Quant au diffuseur (St 09) il n'a **aucune influence sur les très faibles concentrations en métaux terrigènes au centre du canal de la Havannah, même en profondeur.**

Ces mêmes constatations sont renforcées avec les autres métaux de signature terrigène comme le Cobalt et le Chrome



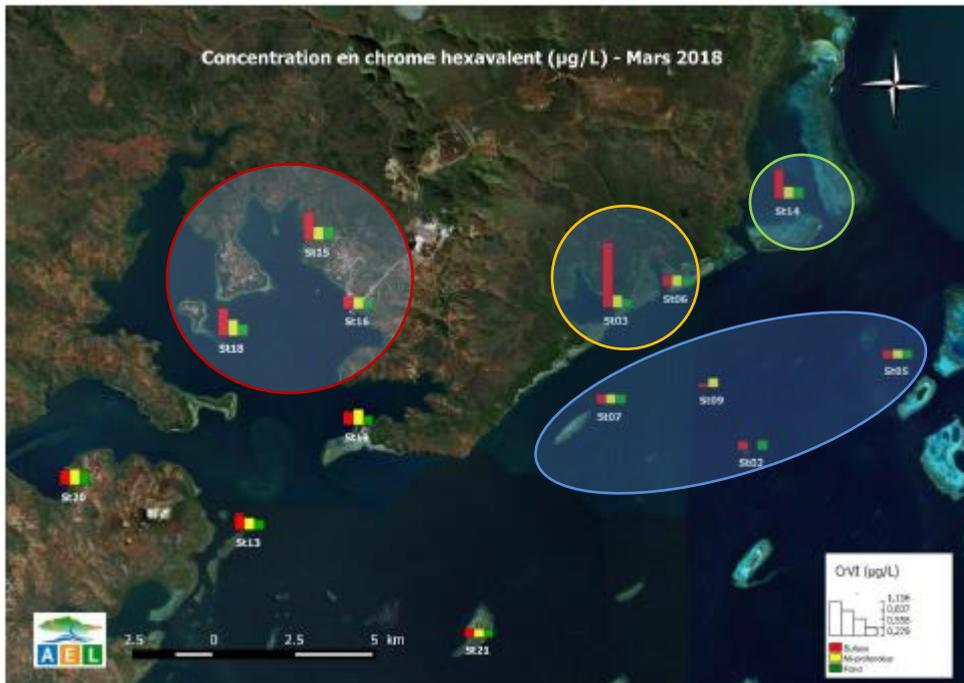
Figure 30 : Concentrations en Co sur toutes les stations- MARS 2018


Au niveau du cobalt après les pluies qui ont précédé la mission, les stations Témoins St18 et St 03 (Casy et Port Boisé) présentent de plus fortes concentrations que les stations sous influence VNC comme la Baie Kwé (St 06) ou en face le Creek Baie Nord (St 15). Dans le canal de la Havannah aucune détection de l'effluent même en zone proche du diffuseur (St09) et même en profondeur.

Figure 31 : Concentrations Cr total sur toutes les stations- Mars 2018


Le Chrome est aussi suivi avec attention. C'est un indicateur terrigène dans le contexte géologique calédonien. Remarquer que **l'eau de surface qui atteint la station Témoins Casy (St18) présente un pic en Chrome qui indique que les eaux de ruissellement sur les anciennes mines de chrome de la zone Ouest de Prony ont affecté le lagon à ce niveau.**

La baie de port Boisé (Témoins) montre des concentrations en Cr supérieure à la baie Kwé et aucune influence de l'effluent n'est décelable dans le canal de la Havannah même près de la zone de rejet de l'effluent et même en profondeur.

Figure 32 : Concentrations Cr VI sur toutes les stations- Mars 2018


Le Cr VI est le plus élevé en baie de Port boisé (qui est la station témoin St03) qu'en baie Kwé (St06).

[Cr VI] : Max 0,17µg/L en baie Kwé ; et 1µg/L en baie de Port boisé. Pour rappel le guide du CNRT indique une perturbation si [Cr VI] > 0, 6 µg/L

La station proche de l'effluent St09 est celle qui présente les plus faibles concentrations en Cr VI, même en profondeur.

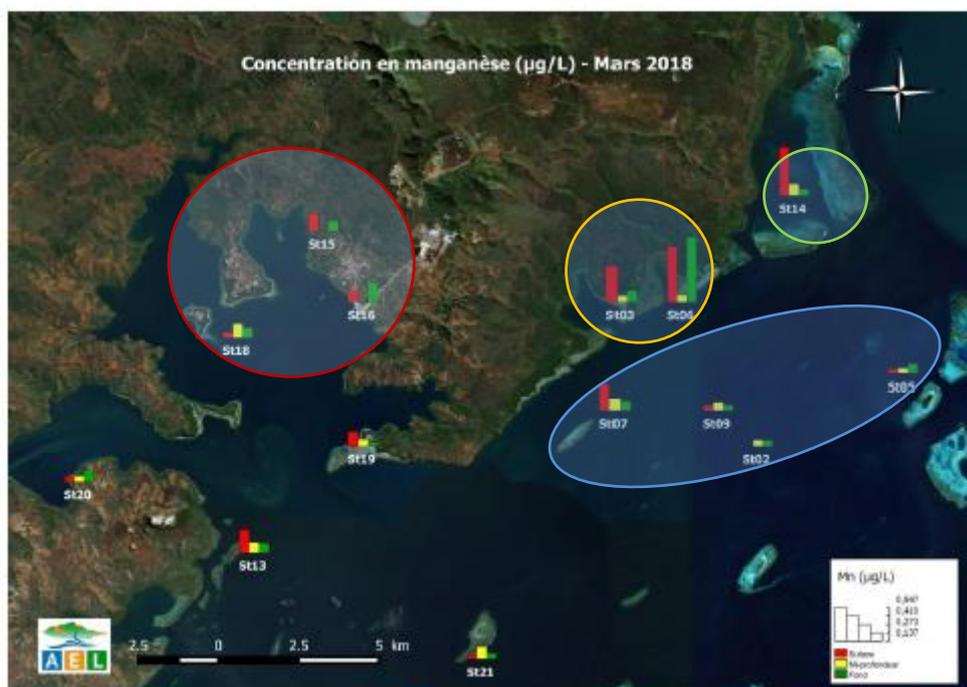
La dernière signature terrigène est le Manganèse, il n'y a aucune élévation de la concentration en Mn sur la Station St09 proche du diffuseur, même dans les prélèvements en profondeur.

Tableau 15 : Comparaison des concentration maximales relevées en métaux terrigènes entre la baie Kwé et son témoins la baie de port boisé , avec les indications des grilles du guide CNRT/ZoNeCo 2011

S1/2018	Concentration maximale relevée Baie de Port boisé (Témoins) St03 (µg/L)	Concentration maximale relevée Baie Kwé St 06 (µg/L)	Guide du CNRT/2011 Indication d'une perturbation (µg/L)
BACI	Bassin versant hors influence minière Station de Contrôle	Très grand bassin versant sous influence mine et parc des résidus avec de nombreux bassins de sédimentation	Perturbation terrigène si concentration supérieure
Nickel	1,44	0,74	➤ 0,75
Chrome VI	1,00	0,17	➤ 0,60
Chrome Total	1,12	0,83	-
Cobalt	0,13	0,08	-
Manganèse	0,31	0,55	➤ 0,80

La baie Kwé bien que drainant des bassins versant plus vastes et sous influence minière, montre des concentrations en Ni, Cr VI, Cr Total et Cobalt inférieures à celle présentent dans la baie Témoins de Port Boisé. Ceci après les fortes pluies qui ont précédé les prélèvements d'eau.

Alors qu'en baie de Port Boisé le seuil d'alerte pour une perturbation est dépassé (Cf. guide CNRT) pour le nickel et le cobalt, cette limite indicatrice n'est pas atteinte en baie Kwé lors de cette mission S1/2018.

Figure 33 : Concentrations Mn sur toutes les stations- Mars 2018


Pour le Mn, la limite seuil d'alerte du guide CNRT n'est pas atteinte, ni en baie Kwé ni en baie de Port boisé, ni en baie de Goro.

Remarquer :

- Le « parallélisme » des stations : Baie Kwé (St 06- Impact) et Port Boisé (St03- Control-témoins).
- Ce parallélisme est aussi notable sur les stations du centre du canal de la Havannah, **sans variation sur St09 qui est dans le champ de surveillance des rejets du diffuseur** (et St 02 son témoin.)
- Lors de ces prélèvements les concentrations en Mn sur St09 proche du diffuseur sont inférieures ou comparables à celles des stations témoins St02, St 07 ou St 05.
- Pour rappel : un suivi supplémentaire des concentrations en Mn a été effectué en 2017 et 2018 dans le champ proche du diffuseur et il ne montre aucune anomalie.
- La baie de Goro évolue indépendamment, tout comme le canal Woodin, ils alourdissent le suivi industriel sans un apport d'information décisionnelle.

Aucune augmentation de manganèse Mn dans le canal de la Havannah dans la zone proche du diffuseur

Globalement, les concentrations d'As, Cr(VI), Cr-total, Co, Mn et Ni mesurées lors de la campagne de mars 2018 restent dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des campagnes « saison chaude » depuis 2007 avec, cette fois ci,

- Une caractérisation nette de la veine d'eau de surface issue des creeks de la face Ouest de la baie du Prony
- Une eau en baie Kwé moins concentrée en métaux terrigènes que l'eau de sa station témoins de Port boisé

► Un suivi supplémentaire du Mn en champ très proche du diffuseur, a été mis en place dans le canal de la Havannah, avec des capteurs intégrateurs DGT et des dispositifs d'automates, ce qui permet un suivi continu sur plusieurs semaines. Les rapports ont été communiqués aux autorités de tutelle. A ce jour les résultats confirment **qu'il n'y a aucune hausse de la concentration en Mn** pouvant porter atteinte à la bonne qualité de l'eau et la santé des écosystèmes dans le canal de la Havannah. Cf. Chapitre 3.2.10 de ce bilan.

Le chapitre suivant est très important, il s'agit de l'analyse de l'évolution des paramètres au fil des missions effectuées.

En effet, il est nécessaire de raisonner non pas uniquement en photographies d'un instant « t » parce que l'état ponctuel est dépendant du fond géologique et géographique ainsi que de la météorologie et de la courantologie de l'hydro- région concernée, mais il est nécessaire d'analyser les évolutions des paramètres, en corrélation avec les événements météorologiques qui peuvent être très intenses sous les tropiques et en prenant en compte les fluctuations saisonnières.

Les variations elles-mêmes doivent être significatives et prendre en compte les cycles saisonniers (sur les algues par exemple), une comparaison entre deux seules années consécutives n'a pas de sens, d'autre part des années exceptionnellement favorables (2015 par exemple, au niveau du corail et des poissons) ne peuvent qu'être suivies d'une année moins exceptionnelle, sans pour cela que cela soit un signe alarmiste.

3.2.2.3. ANALYSES TEMPORELLES des fluctuations des paramètres

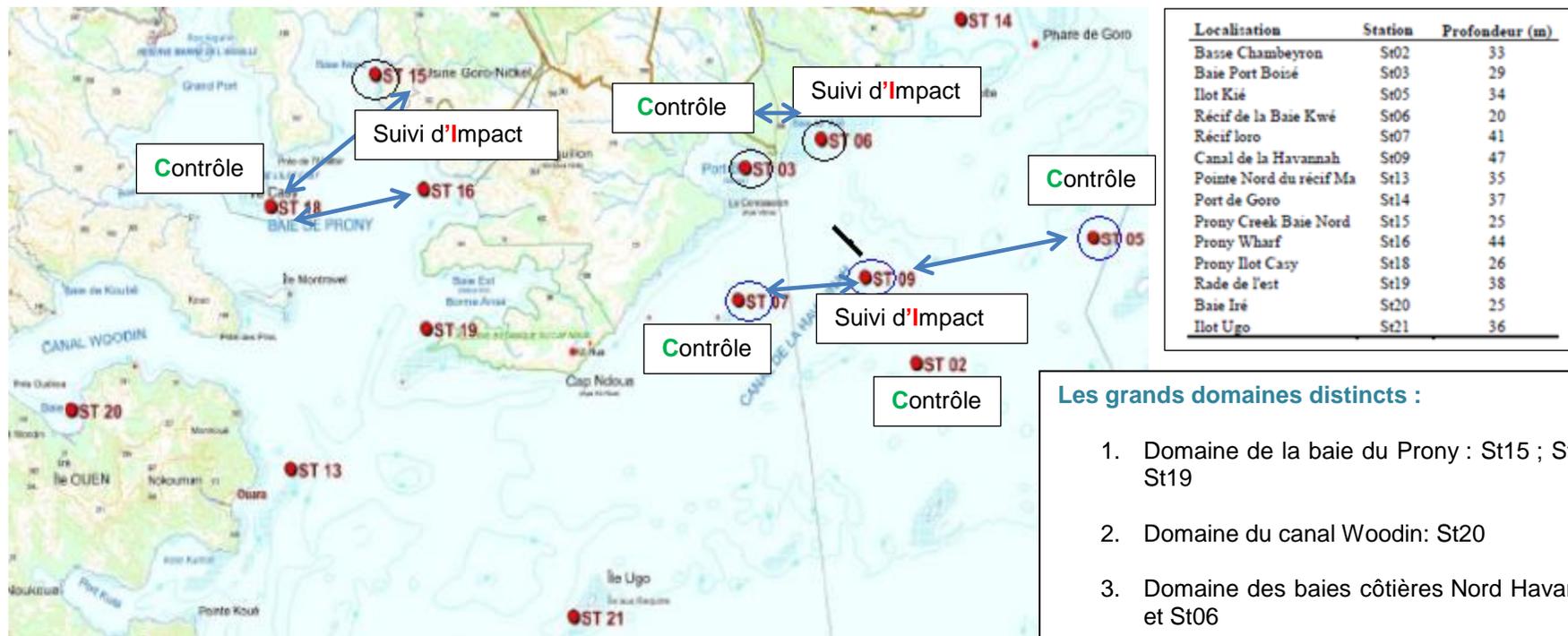
Les stations sentinelles présentées ici pour cette analyse temporelle sont :

- St 15 : Baie du Prony Rade Nord (sous Influence VNC)
- St 06 : Baie Kwé (sous Influence VNC)
- St 03 : Baie de Port boisé (son « homologue » de Contrôle-témoins hors influence minière)
- St 09 : Proche de la zone du rejet effluent marin- Canal de la Havannah station I
- St 07 : Canal de la Havannah au Sud du rejet de l'effluent I
- St 05 : Témoins canal de la Havannah sous influence marine C

Si possible allant par paires avec 1 station sous influence Vale NC et son homologue hors influence.

Méthode: **BACI** (Before/After & Impact /Control)

Figure 34: Rappel de la position et de la nomenclature des stations « sentinelles » suivies



- Les grands domaines distincts :**
1. Domaine de la baie du Prony : St15 ; St16, St18 et St19
 2. Domaine du canal Woodin: St20
 3. Domaine des baies côtières Nord Havannah : St03 et St06
 4. Domaine du canal de la Havannah : St09, St02, St05, et St 21.
- Les stations proches du diffuseur sont : St09, St07 et St02

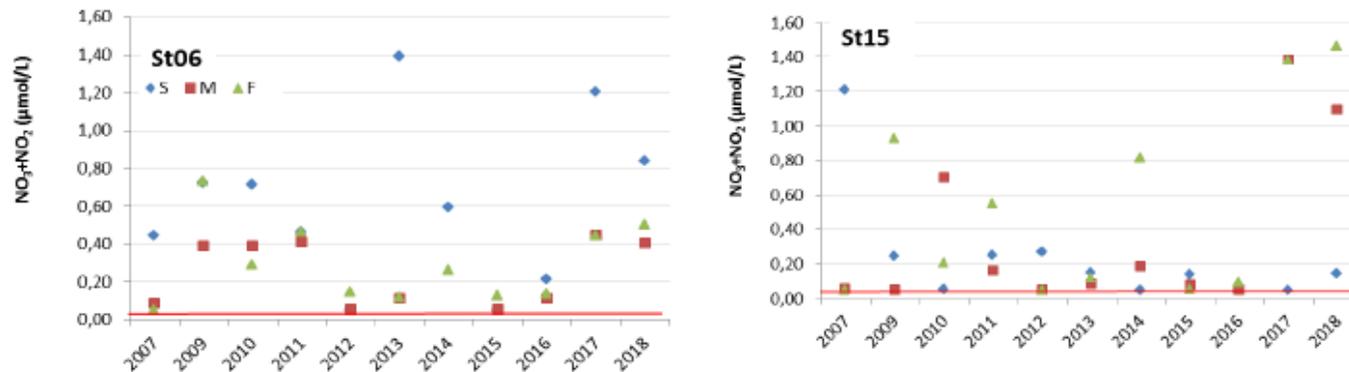
Les figures suivantes présentent l'évolution temporelle des concentrations en métaux entre 2007 et 2017

Sur des stations sélectionnées comme sentinelles et si possible allant de pair : station sous influence Vale NC et son homologue hors influence
 (Méthode de suivi : *Impact/Control* qui, couplée au suivi temporel de la station sentinelle surveillée : *Before/After*, conduit à une **stratégie BACI**)

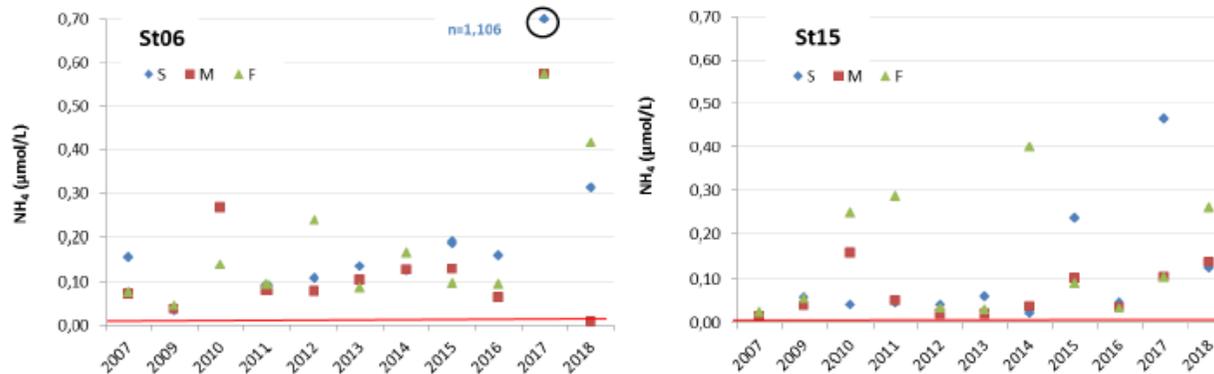
Figure 35 : Evolution des concentrations Nitrates et Nitrites (NO₃+NO₂) et Ammonium (NH₄⁺) aux stations les plus pertinentes à leurs égards

BAIE KWE (St06) et CREEK BAIE NORD-PRONY (St15) entre 2007 et 2018

(S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond)- La **ligne rouge** représente la limite de quantification pour les éléments considérés (Nitrates : 0,050 µmol/L et Ammonium : 0,002 µmol/L.)



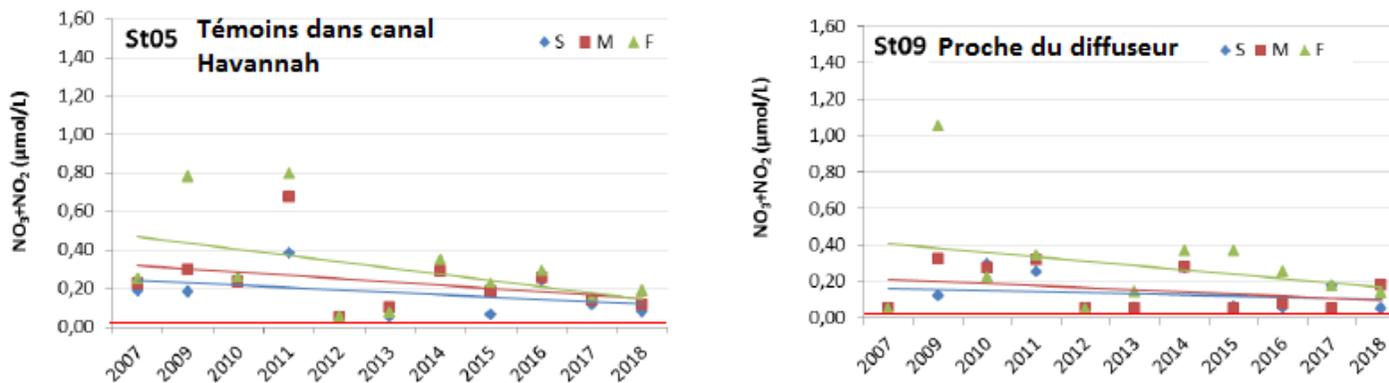
La limite de risque d'eutrophisation est de NO₃ > 20 µmoles/L (pour les nitrates seuls – Zones littorales et baies- Guide CNRT/Zoneco), les concentrations en [nitrates + nitrites] relevées depuis 2007 sont rassurantes et n'indiquent pas de pollution. Cette limite n'est jamais atteinte ni approchée.



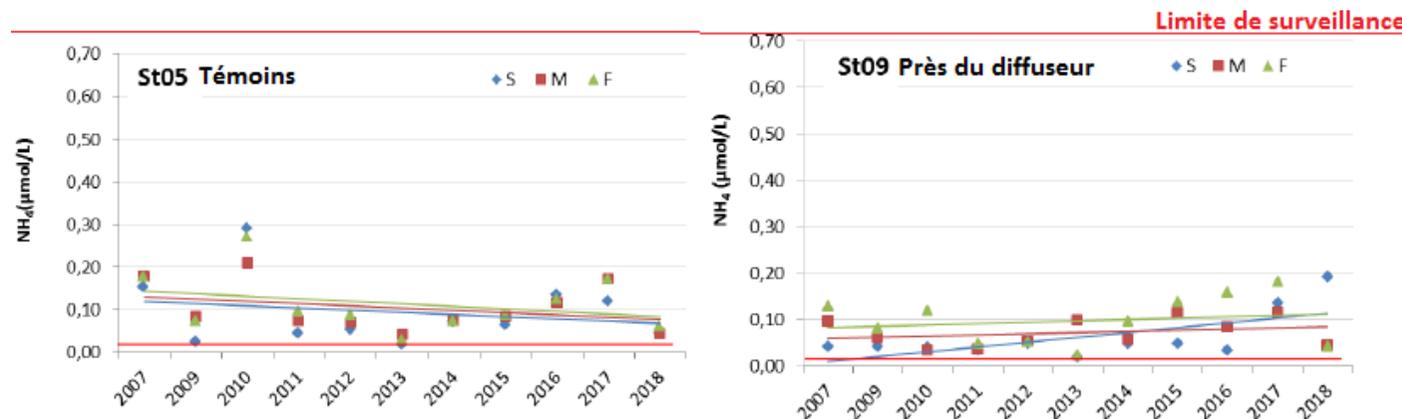
Pour l'ammonium NH₄ le guide indique une perturbation inquiétante si NH₄ > 1 µ moles/ L. Cette limite n'est jamais atteinte ni approchée.

La station ST09 « surveille » le rejet d’effluent traité, elle n’indique aucune perturbation et reste comparable à la station témoins St 05.

Figure 36 : Evolution des concentrations Nitrates et Nitrites (NO₃+NO₂) et Ammonium (NH₄⁺) sur St09 proche du DIFFUSEUR et sur son TEMOINS St05



La limite de risque d’eutrophisation (sur ce type d’hydro-région) est de **NO₃ > 3 µmoles/L** (pour les nitrates seuls – Zone lagon calédonien- Guide CNRT/Zoneco), les concentrations en [nitrates + nitrites] relevées depuis 2007 sont rassurantes et n’indiquent pas de pollution pour cet indicateur.



Pour l’ammonium NH₄ le guide indique une perturbation avec risque d’eutrophisation si **NH₄ > 0,7 µmoles/L**. Cette limite n’est jamais atteinte ni approchée.

Figure 37 : Evolution des concentrations en **Cobalt (Co)** aux stations sentinelles entre 2007 et 2018, en saison chaude

Entre 2007 et 2018 S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond) La ligne rouge est la limite de quantification (Co : 0,027 µg/L).

Baie Port Boisé St03

Baie Kwé St06

Baie du Prony Rade Nord St15

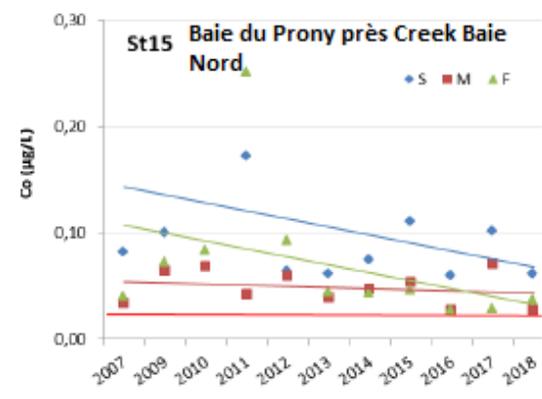
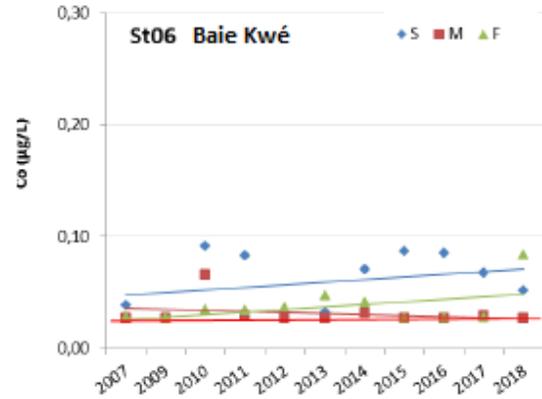
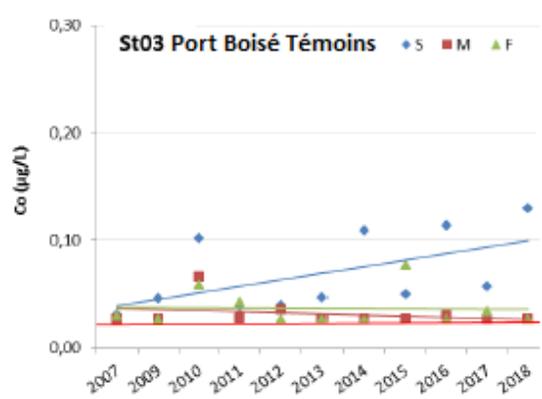
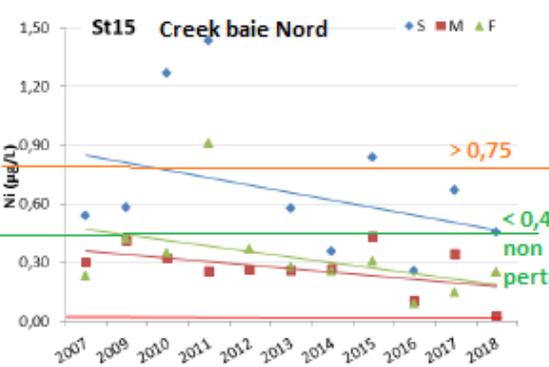
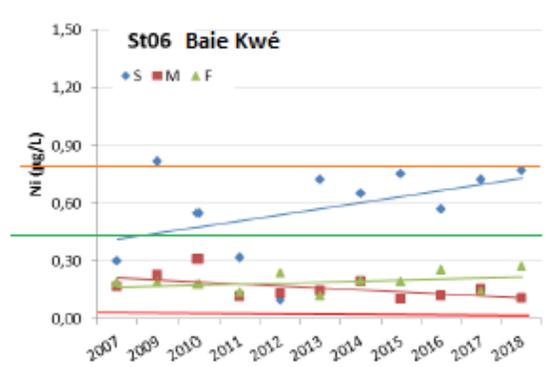
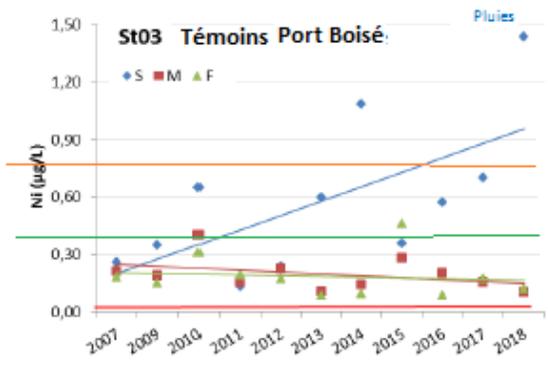


Figure 38 : Evolution des concentrations en **Nickel (Ni)** aux stations sentinelles entre 2007 et 2017 en saison fraîche

Baie Port Boisé St 03

Baie Kwé St 06

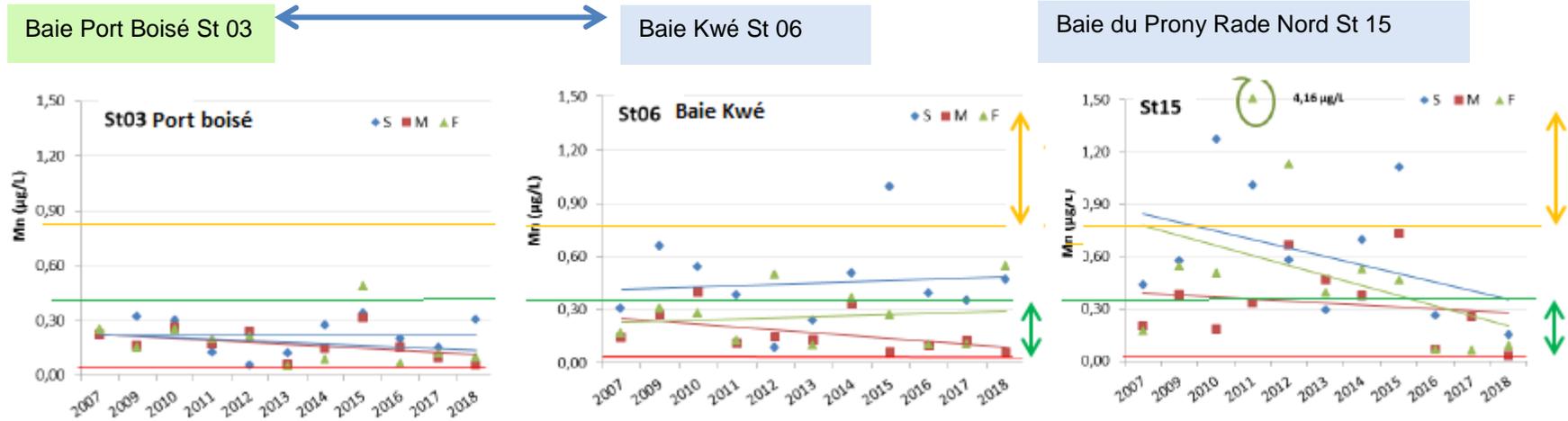
Baie du Prony Rade Nord St15



Le trait rouge représente la limite de quantification pour cet élément (Ni : 0,022 µg/L). A titre indicatif ne faisant pas office de seuil : en vert la concentration donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé et en orange la concentration indiquant une perturbation éventuelle si valeur supérieure (anthropique ou autre cause comme un cyclone) d'après le guide du CNRT/ZoNeCo 2011. (Ces indications ne sont données que pour le Ni, le Mn et le Cr (VI), le guide est en cours d'optimisation.)

Figure 39 : Evolution des concentrations en Manganèse (Mn) aux stations sentinelles entre 2007 et 2018 en saison chaude .

BAIE KWE (St06) / son témoins : PORT BOISE (St03) et CREEK BAIE NORD-PRONY (St15)



Le trait rouge représente la limite de quantification. (Mn : 0,028 µg/L et pour le Cr (VI) : 0,050 µg/L). A titre indicatif ne faisant pas office de seuil : en vert la concertation donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé et en orange la concentration indiquant une perturbation pour une valeur supérieure (anthropique ou autre cause comme un cyclone) d'après le guide du CNRT/ZoNeCo 2011.)

Figure 40 : Evolution des concentrations en Chrome hexavalent (CrVI) aux stations sentinelles entre 2008 et 2018 en saison chaude .

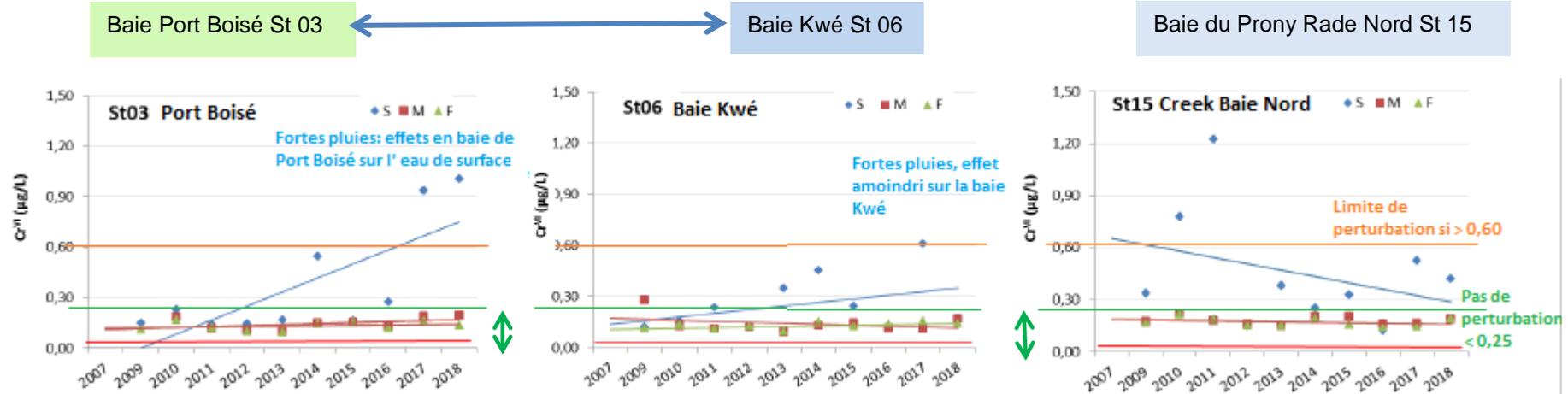


Figure 41 : Evolution des concentrations en métaux dissous (Le Nickel) dans le canal de la Havannah entre 2007 et 2018 – Saisons chaudes
 Station proche du DIFFUSEUR (St 09) et deux TEMOINS dans le canal : St 07 et St 05

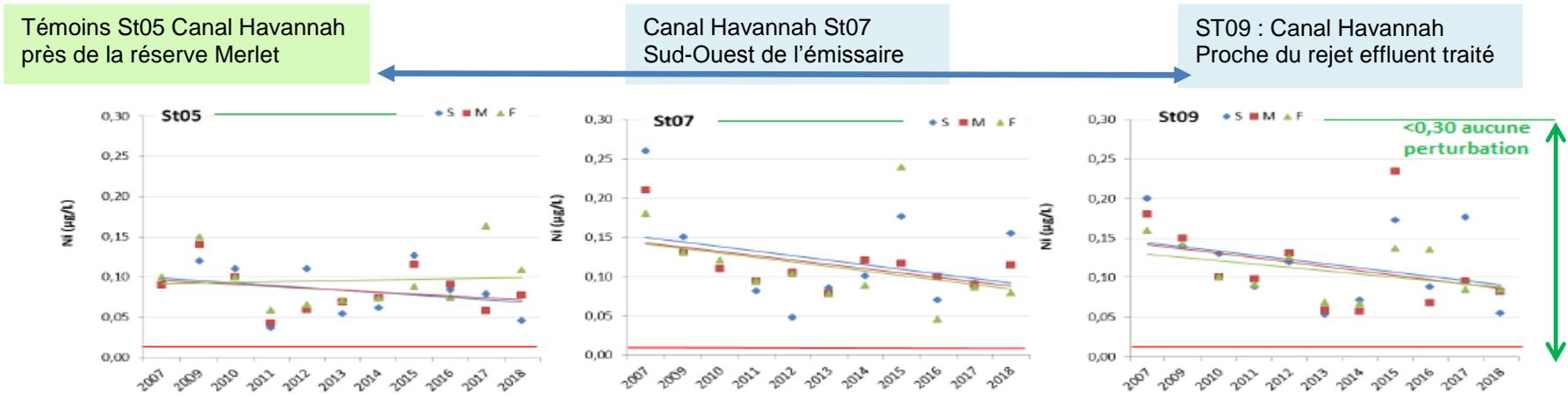


Figure 42: Evolution en métaux dissous Manganèse (Mn) dans le canal de la Havannah entre 2007 et 2018 durant la saison chaude.

Le trait rouge représente la limite de quantification de l'élément. (Ni : 0,022 µg/L et Mn : 0,028 µg/L) A titre indicatif ne faisant pas office de seuil : en vert la concentration donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé et en orange la concentration indiquant une perturbation pour une valeur supérieure, (non visible sur ces schémas avec Ni et Mn car trop élevée pour être atteinte) d'après le guide du CNRT/ZoNeCo 2011

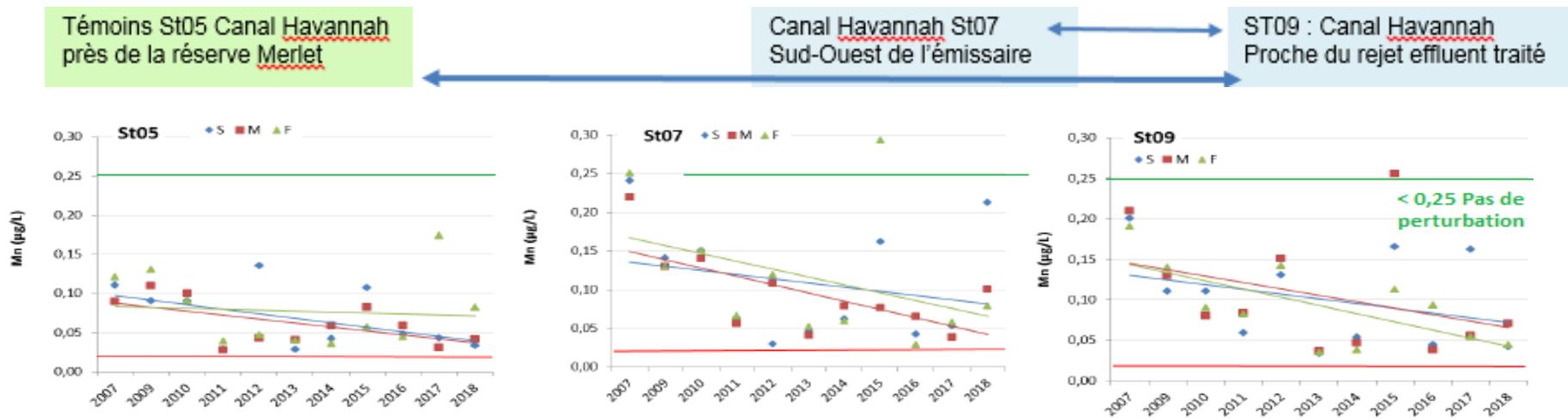
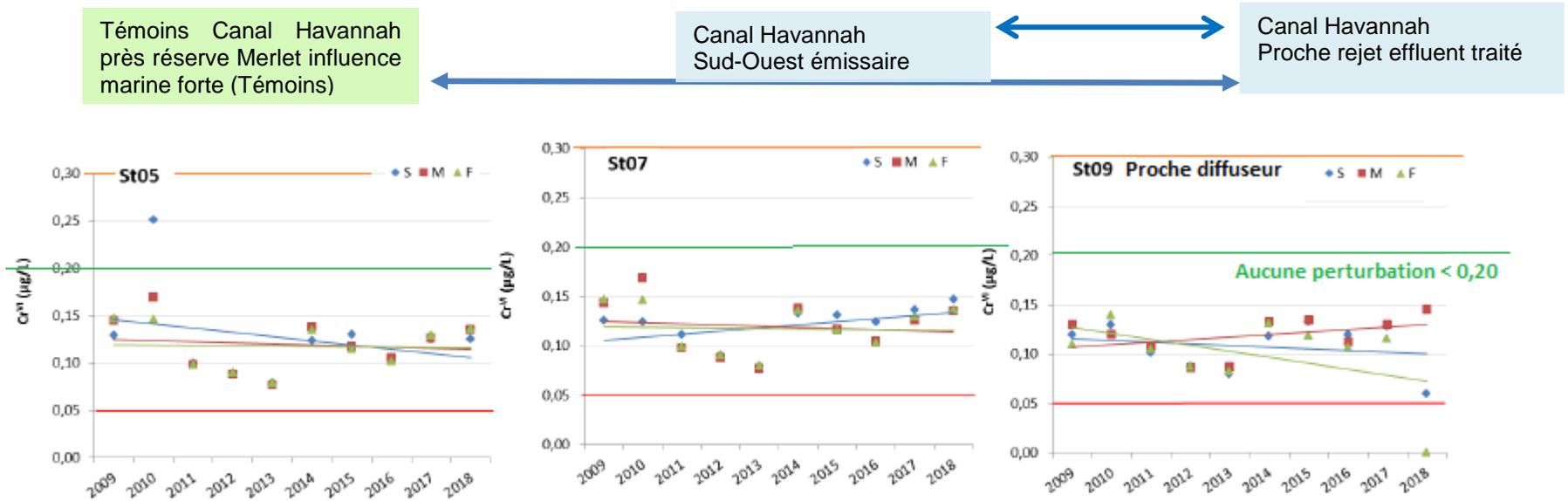


Figure 43: Evolution en métaux dissous Le Chrome (VI) dans le canal de la Havannah entre 2007 et 2018 en saisons chaudes



Le trait rouge représente la limite de quantification. (Pour Cr(VI) : 0,050 µg/L) **A titre indicatif ne faisant pas office de seuil : en vert la concertation donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé (<0,20) et en orange la concentration indiquant une perturbation pour une valeur supérieure (>0,30)** (Perturbation anthropique ou autre cause comme un cyclone) d'après le guide du CNRT/ZoNeCo- 2011

CONCLUSION : SUIVI DE LA QUALITE PHYSICO CHIMIQUE DE L'EAU DE MER S1 / 2018

Au cours de la campagne du premier semestre 2018 il n'apparaît aucune non-conformité aux valeurs attendues :

- **Par rapport aux valeurs des états de référence,**
- **Par rapport aux campagnes précédentes,**
- **Ni par comparaison avec des stations homologues hors zone d'influence**

Le rapport intégral et les données brutes sont disponibles en intégralité dans l'annexe 2 de ce document.

3.2.3. Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées

Il n'y a eu aucun manquement à l'égard du suivi réglementaire.

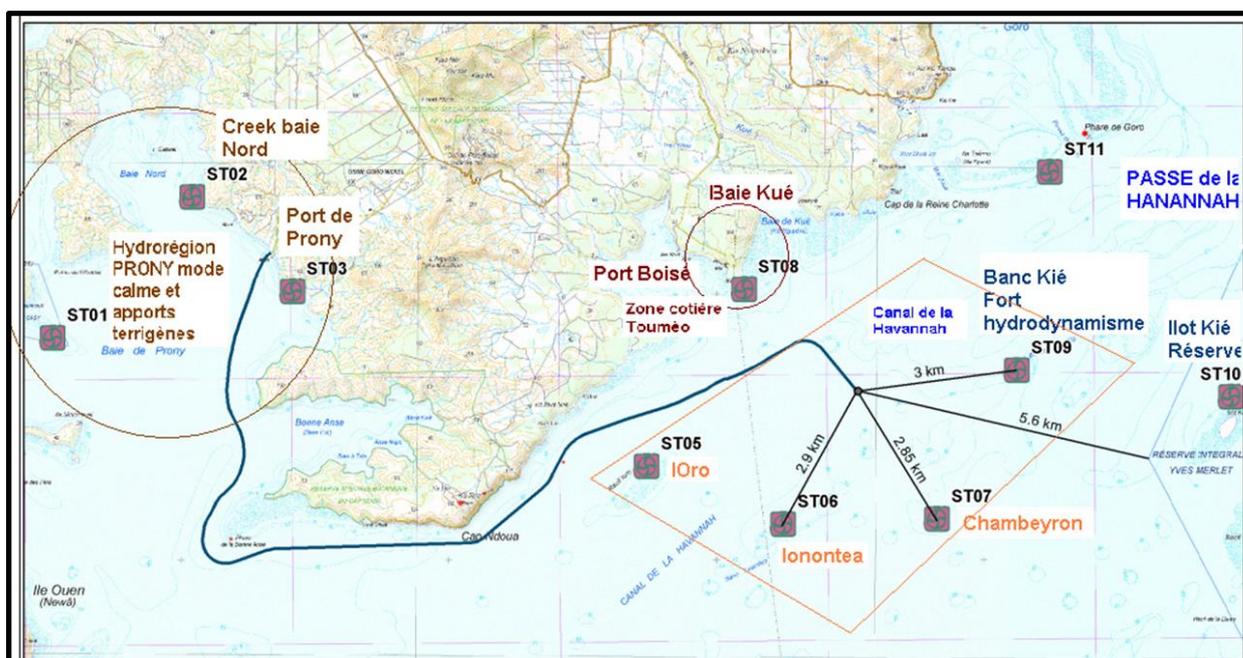
Les missions de suivi du second semestre 2017 se sont déroulées en Mai 2018. Les phases lunaires de mortes eaux sont privilégiées. (Cf. annexe 1 sur la méthodologie) car les missions ciblent les périodes de moindre marée (syzygie lunaire) et de courants relativement faibles, notamment aux heures d'été.

Tableau 16 : RAPPEL : Caractéristiques et position des stations et de leurs transects et carte associée

Stations	Statut	Localisation	Longitude	Latitude	Profondeur des transects (mètres)		
					A	B	C
ST05	C	Récif Ioro	166°57.507	22°23.072	5	10	20
ST06	I	Banc Ionontea	166°58.995	22°23.650	9	15	21
ST07	C	Basse Chambeyron	167°00.671	22°23.591	7	17	22
ST08	I	Récif Pointe Puka	166°58.566	22°21.243	9	12	–
ST09	C	Banc de Kié	167°01.529	22°22.070	7	17	20
ST010	N	Ilot Kié	167°03.862	22°22.324	10	16	21
ST011	N	Récif Touémo	167°01.875	22°20.046	6	11	20
ST012	N	Ugo	166°55.625	22°26.438	5	13	-
Stations		Localisation	Longitude	Latitude	Profondeur des transects en m		
ST01	C	Ilot Casy	166°51.033	22°21.799	7	10	-
ST02	I	Creek de la baie Nord	166°52.546	22°20.356	10	12	-
ST03	I	Port de Prony	166°53.639	22°21.312	5	10	13
ST04	N	Canal Woodin	166°49.593	22°22.933	4	11	21

C : station de contrôle témoins ; I : station de surveillance d'Impact ; N : station éloignée « neutre »

Figure 44 : Rappel de la position des stations de suivis écosystémiques et de leur distance au diffuseur d'effluent traité (la station Ugo et la station dans le canal Woodin ne sont pas indiquées ici)



3.2.3.1. Bilan des observations par station suivie (Premier semestre 2018)

La baie du Prony
► La station ST01 (Ilot Casy, face Sud) - Station C : Témoins de contrôle

- Recouvrement corallien toujours faible de 1 % % sur le transect A et 1,5 % sur B. *Le transect B, par 10m de fond quasi abiotique est peu significatif, il n'y a pas de 3eme transect C car la zone est quasi abiotique.*
- **En 2017 : 13 spécimens d'étoile de mer *Acanthaster planci* ; en mai 2018 : 7 étoiles de mer *Acanthaster* et le % de recouvrement corallien a diminué.**
- **La présence d'étoile de mer dévoreuse du corail (une première depuis 2007) doit être suivie sur cette station. L'IRD signale début 2018 une prolifération alarmante de ces étoiles de mer au niveau de l'îlot Montravel. Une prolifération dans toute la baie du Prony est à craindre.**
- Blanchissement corallien relativement faible et lié aux dégats dus aux étoiles de mer *Acanthaster*.
- Absence de l'algue rouge *Asparagopsis taxiformis* (ciblée comme éventuellement envahissante) et cyanobactéries en hausse en raison des coraux morts.
- Poissons : 233 individus appartenant à 34 espèces différentes. Mais : Le nombre d'espèces de la liste restreinte imposée et présentes sur les transects ne représentent que le 3/8 des espèces totales.
- La plupart des espèces de poissons sont représentées par des juvéniles.
- Densité **2,25 poissons/m²** pour une biomasse de **56,65 g/ m²** (en hausse malgré la présence des étoiles de mer qui affectent le récif).

► La station ST02 (Sud de l'embouchure du creek Baie Nord) Station I : impact éventuel

- Station à la richesse spécifique corallienne la plus importante des stations en baie du Prony (**120 espèces coralliennes dont 114 espèces de scléactiniaires**).
- Le recouvrement corallien était en forte en hausse en 2015, puis en baisse en avril 2016 suite au blanchissement généralisé des coraux du Pacifique sud (El Niño). 25,5% et 28,5 % sur le transect A et B en mai 2018, ce qui est un % élevé.
- **Blanchissement corallien** : très faible en 2015 (2/119 espèces de scléactiniaires soit seulement 0,23% de la surface), il devient plus important en avril 2016, surtout au niveau bathymétrique sup. (34/116 espèces de scléactiniaires et 3.35% de la surface totale observée). Il reste dans un ordre de grandeur modéré en cycle « El nino ». Fin 2016, la résilience est amorcée et se poursuit en 2017 et au premier semestre 2018 avec un très faible blanchissement.
- **2 étoiles de mer *Acanthaster planci* (Aucune *Acanthaster* n'avait été observée avant cette mission 2018)**
- Absence de l'algue rouge *Asparagopsis taxiformis*
- Poissons : Densité **0,74 poissons/m²** pour une biomasse : **1,45g /m²**. Il y a toujours beaucoup de poissons juvéniles.
- Station très diversifiée dont la sédimentation n'affecte pas les esp adaptées à ce type d'écosystème.

► La station ST03 à l'Est du port de Prony Station I : impact éventuel

- **Biodiversité corallienne importante (117 espèces dont 113 de scléactiniaires)**
- Recouvrement corallien stable avec **6,5 %** en A, **29 %** en B et **12,5 %** en C
- **Aucun blanchissement corallien durant les deux campagnes 2017 (très rare en zone côtière) et très faible en mai 2018.**
- Dépôt sédimentaire léger sur quelques colonies coralliennes.
- **Absence d'*Acanthaster planci* ni de *Culcita novaeguineae* et de *Drupella cornus***
- Algue brune *Lobophora* en diminution
- Absence de l'algue rouge *Asparagopsis taxiformis*
- Poissons stables : Densité **2,07 poissons/m²** pour une biomasse **2,42 g/m²**. Les poissons sont tous des juvéniles.
- La sédimentation du fond est à surveiller mais reste stable

► Conclusion : Etat actuel (S1/2018) en baie du Prony (Typologie : Fond de baie)

Le blanchissement corallien observé début 2016 (blanchissement généralisé) n'atteignait pas le niveau d'impact qu'il a pu montrer dans d'autres régions du Pacifique. **Fin 2016 ce blanchissement a nettement diminué mais certaines colonies en 2017 sont mortes et en 2018 la résilience se poursuit sauf en cas d'invasion de :**

Etoiles de mer *Acanthaster*, dévoreuses des polypes coralliens, elles sont détectées en nombre invasif par l'IRD sur Montravel début 2018 ; elles avaient été observées par Vale NC en nombre significatif en 2017 sur Casy ; elles sont maintenant présentes (en petite quantité) sur la station proche du creek de la baie Nord ; et absente sur la station du port de Prony.

Stations du canal de la Havannah

► La station ST08 (côtère pointe Puka en sortie Ouest de la Baie Kwé) Station I : impact éventuel

Elle était dégradée depuis mars 2011 (tempête tropicale Vania) puis suite aux très fortes dépressions de 2013 (pluies de juillet 2013). En 2014 la résilience était bien amorcée et elle s'est poursuivie en 2015 où le blanchissement corallien était absent. Début 2016 elle reste relativement stable malgré le blanchissement généralisé dû à « El nino » Fin 2016 la richesse corallienne augmente avec la présence de colonies juvéniles, stabilité en 2017. Les nouvelles espèces sont adaptées à la turbidité et en 2018 : bon état.

La biodiversité corallienne est importante et en légère augmentation

- Recouvrement corallien stable **20,5 %** en A et **2 %** en B
- **Blanchissement corallien faible**
- **Absence d'*Acanthaster planci***
- Cynobactéries stables, tuff algal et Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* (en diminution) + Algue brune *Lobophora* mais sans *bloom*
- Sédimentation toujours observée ;
- Poissons : indices en hausse avec densité **2,16 poissons/m²** pour une biomasse de **56,60g/m²**. Le peuplement est monotone et composé de nombreux juvéniles.

► La station ST06 d'Ionontea (la plus proche du diffuseur) Station I : impact éventuel

La plus proche du diffuseur (dans la direction de la diffusion par marée montante), elle rivalise avec la réserve Merlet pour ses excellents indices « poissons ». Des indications montrant que c'est une zone de pêche bien fréquentée sont notables. Bonne diversité coralliennes (**123 esp** dont **117 esp. de Scléractiniaires**).

- Forte courantologie et brisures mécaniques des coraux robustes adaptées à ces conditions
- Recouvrement corallien important stable ou en hausse fin 2017 : 30,5%, 31% et 10,5 %
- Pas d'étoile de mer dévoreuse des coraux.
- Densité des poissons forte et stable : **4,23 poisson/m²** et Biomasse en hausse : **567,1 g/m²**. Biodiversité stable.
- Au niveau des indicateurs poissons les stations sur Ioro, Ionontea et Chambeyron rivalisent avec la réserve Merlet pour leurs excellents scores.

► Les stations dans le canal de la Havannah (ST05, ST06, ST07, ST09 et ST12) Stations C : Témoins de contrôle

Elles ne présentent aucune non-conformité à l'égard des suivis précédents et ont été peu affectées par le phénomène général de blanchissement corallien qui a sévi dans le Pacifique sud début 2016 de dégâts

1 Etoile de mer *Acanthaster* sur St05 (Ioro) et 1 étoile de mer *Acanthaster* sur ST12 (Ugo) fraîchement arrivées car pas de traces de dégâts par consommation des polypes.

- **Aucune espèce exogène n'a été observée**
- **Pas de menace par étoiles de mer dévoreuses du corail sur ces stations du canal de la Havannah, cependant des cas isolés d'étoiles aultes ont été observées sur Ugo et Ioro.**

► Une station globalement en excellente santé ne présente pas une absence totale de stress, plus le suivi est finement réalisé par des spécialistes attentifs, et d'avantages de maladies ou anomalies sont détectées, donc certains indices sont notifiés « en rouge » mais ces stress sont d'origine naturelle et n'indiquent pas un impact ou une menace anthropique. **L'état « originel » d'un écosystème n'est pas un état idéal parfaitement dépourvu de toute marque de stress.**

Les 12 stations sont décrites transect par transect dans le rapport intégral en annexe de ce bilan semestriel, ainsi que les données brutes. Ce bilan cible des stations sentinelles ou des faits marquants.

Le cas des étoiles de mer dévoreuse des coraux qui peuvent anéantir un récif pour plusieurs années.

Le suivi des espèces concurrentes, envahissantes ou dangereuses est effectué et quantifié (à titre volontaire par Vale NC) depuis 2013 et le cas des *Acanthaster* est intéressant.

Depuis le début des suivis (2007) aucune prolifération de cette étoile de mer n'avait été constatée par les scientifiques dans le domaine d'études Vale NC ; cependant dans le lagon calédonien des inventaires (IRD, M. Adjeroud.) montrent que des zones (non situées dans le Grand sud) sont infestées

par cette étoile de mer dont les dégâts sont considérables. Les causes des proliférations de ces étoiles carnivores des polypes ne sont à ce jour pas connue du monde scientifique. Le Criobe (Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement de Moorea. Kayal M., Bosserelle P. and M. Adjeroud. 2017) indique une suspicion de cyclicité dans ces invasions sur un pas de temps de 20 à 25 ans, les grandes quantités étoiles de mer adultes (bien visibles) sont dues à une prolifération (peu visible) des juvéniles 2 ou 3 ans auparavant. Les phénomènes de réchauffement et « El Niño » pourraient favoriser le développement des larves et juvéniles. Le réchauffement global de fin 2015/début 2016 ne peut cependant pas être la seule cause.

L'îlot Casy avait déjà subi de telles attaques, avant 2005. La transplantation corallienne effectuée par Vale NC en 2005 (en mesures compensatoires à la construction du port de Prony) avait ciblé l'îlot Casy en raison de la pauvreté en coraux de la zone et la cause invoquée (mais non vérifiée) avait été celle d'attaques par des étoiles de mer *Acanthaster* et *Culcita*.

- En 2017, les suivis Vale NC attirent l'attention sur 13/100m² *Acanthaster* près de l'îlot Casy, ce qui ne constitue pas une menace directe à ce stade mais une pré-alarme ;
- Début 2018 l'IRD tire la sonnette d'alarme en constatant une forte prolifération au niveau de l'îlot Montravel et un impact avéré sur les récifs. A ce stade il s'agit d'une invasion avérée.
- Le suivi Vale NC de mai 2018 signale deux étoiles *Acanthaster* sur la station près de creek Baie Nord mais toujours aucune sur la station du port de Prony. + 1 spécimen sur Ioro et un autre sur Ugo en plain canal de la Havannah.

Il est probable que ces étoiles de mer vont étendre leur emprise au-delà de l'îlot Montravel et de Casy.

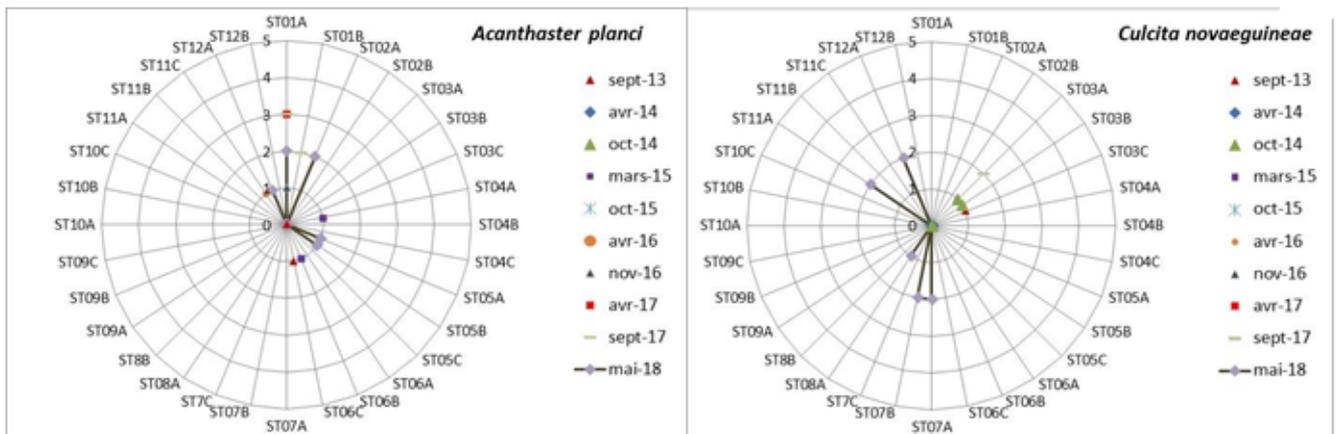


- La face Ouest de la baie du Prony semble particulièrement affectée. (Rappel : panache d'eau dessalée issue des bassins versants Ouest, chargée en métaux terrigènes (Cr, Ni), étoiles de mer dévoreuses des coraux etc). A ce stade les stations témoins sont en plus mauvaise santé globale que les stations sous pression Vale NC.
- Il est à surveiller St05- Ioro et St -12 Ugo où 1 étoile *Acanthaster* est observée en mai 2018.

Figure 45 : Suivi des espèces concurrentes aux coraux de 2013 à 2018

Les principales espèces concurrentes

Aucun phénomène de prolifération permanente n'a été constaté depuis le début du suivi (2007) Attention cependant à l'installation d'*Acanthaster planci* en ST01 (Casy) depuis l'année 2017.



3.2.3.2. Comparaisons spatiales des stations entre elles au temps t de la mission

Les figures et le tableau suivants comparent les stations entre elles en ce qui concerne :

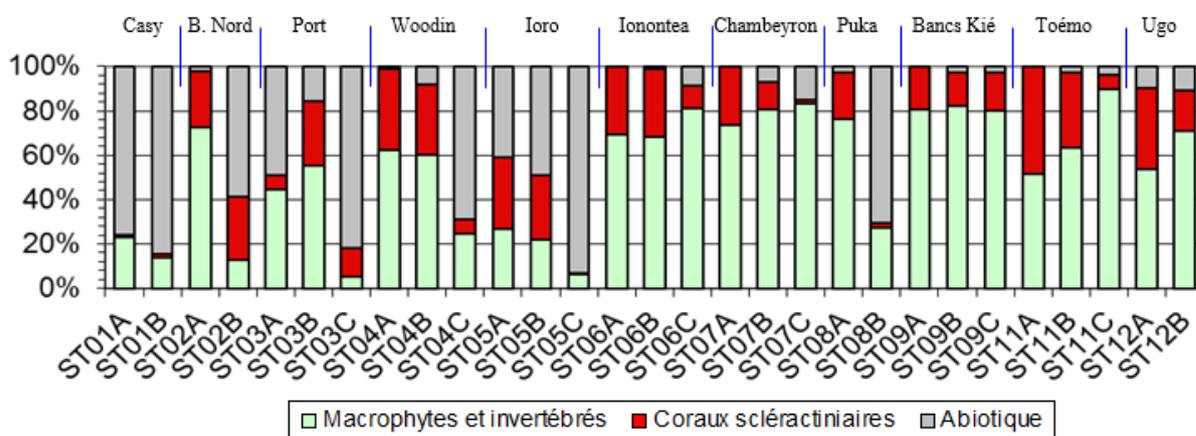
- 1)-Le substrat (sur transects fixes LIT)
- 2)-Le benthos (sur couloirs fixes)
- 3)-Les poissons (selon la liste restreinte imposée)

Figure 46 : **SUBSTRAT** (sous le cordon fixe de 20m de long)

Comparaison entre stations pour le substrat, MAI 2018

Recouvrement en % du substrat sur chaque *transect* LIT en considérant des compartiments clés : biotique et abiotique

► **SUBSTRAT** : La partie biotique est divisée en deux groupes : les **coraux scléactiniaires** et le reste (c'est-à-dire, les **macrophytes, invertébrés, autres coraux, etc. regroupés sous « macrophytes & invertébrés »**)

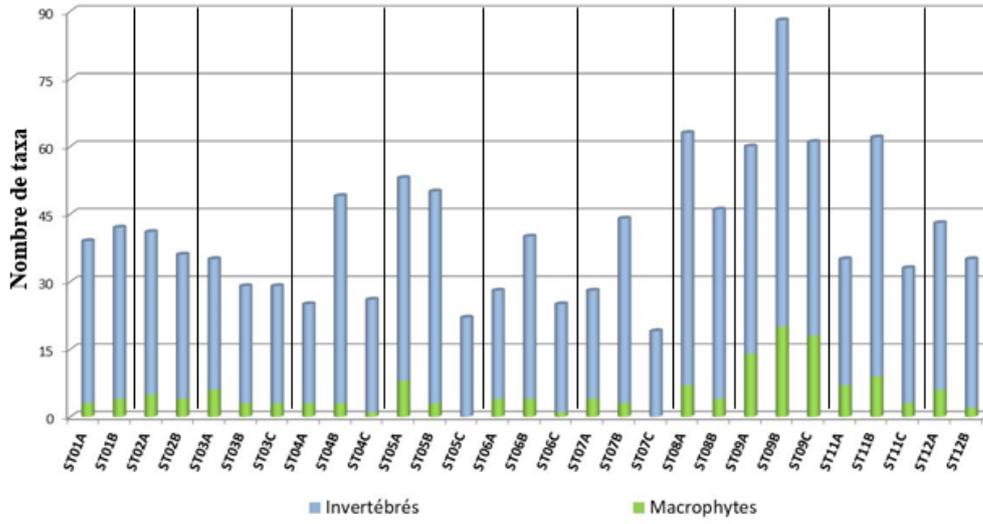


Les transects les plus profonds ont un taux de recouvrement biotique significativement plus bas que celui des transects supérieurs (5 à 10 m de profondeur). Certains transects majoritairement abiotiques ou avec très peu de coraux durs continuent à être suivis, car réglementairement imposés mais leur valeur indicatrice est faible.

Figure 47: **BENTHOS** sur couloir de 100m² Richesse taxonomique du benthos dans 2 groupes clés. Comparaisons entre stations pour le benthos, MAI 2018.

► **BENTHOS**

- Les Invertébrés (coraux compris)
- Les Macrophytes (algues)



► **Biodiversité corallienne** : Les espèces inféodées à la baie de Prony développent des adaptations particulières, les paramètres environnementaux de cette baie rendant le développement des coraux unique. Certaines espèces sont considérées comme rares dans les eaux calédoniennes (*Alveopora catalai*, *Blastomussa merleti*...). La richesse spécifique des stations de la baie de Prony est plus faible que pour les stations du canal de la Havannah, sauf pour la station ST02 (Creek baie Nord) qui recense un nombre très important d'espèces.

► **Algues** : La biodiversité des macrophytes est suivie avec attention. Une extension de la couverture algale significative au-delà des variations saisonnières serait signalée et étudiée de plus près. Cela n'est pas le cas et les variations saisonnières commencent à bien être cernées. Il n'a jamais été constaté une prolifération de **cyanobactéries** qui perdure dans le temps. Leur recouvrement peut être important mais jusqu'à ce jour, leur développement n'a jamais été pérenne.

► **Les principales espèces concurrentes des coraux sont ciblées pour un suivi attentif**

Les étoiles de mer corallivores : *Acanthaster* et *Culcita*, les cyanobactéries, les mollusques corallivores (*Drupella cornus*) et les éponges encroûtante *Cliona orientalis* et *C. jullienei*.

La présence d'*Acanthaster* sur la station de l'îlot Casy, puis sur Montravel (Mission IRD 2018) et sur la station proche du Creek de la Baie Nord est une première jamais observée auparavant (et de cause indépendante de VNC).

Figure 48: Etoiles de mer *Acanthaster*



<https://www.ird.fr/la-mediatheque/fiches-d-actualite-scientifique/420-sur-la-piste-de-l-etoile-de-mer-tueuse-de-corail>

	Spécimen d' <i>Acanthaster</i> (/100m ²)	Station	Remarques
Novembre 2016	1	ST01 Casy A	1 ^{ère} fois en baie de Prony. Aucune colonie corallienne n'a été observée blanchie.
Avril 2017	12	ST01 A	C'est le plus grand rassemblement de ce corallivore (niveau 3) observé depuis le début des suivis en 2007. Les premiers dégâts sont visibles. VNC le signale.
Septembre 2017	13 3	ST01A ST01B	Le plus grand rassemblement pérenne de ce corallivore (niveau 3) observé depuis le début du suivi d'août 2007. (Toutes stations comprises) De nombreuses colonies coralliennes ont été dévorées. VNC le signale.
Juin 2018		Montravel	L'IRD signale plus de 300 <i>Acanthaster</i> en 10 minutes de plongées.
Mai 2018	7	ST01A	La mortalité des colonies coralliennes en ST01 (Casy) est importante. Sur les Stations ST02 (Creek baie nord), St05 (Ioro) et St12 (Ugo) les spécimens viennent d'arriver car la mortalité corallienne est faible.
	1	ST05	
	1	ST12 Ugo	
	2	ST02 Ioro	

► **POISSONS :**

- Nb : nombre moyen de poissons sur un transect ;
- Dens. : Densité (Nb/m²) moyenne sur la station ;
- Biom. : Biomasse (g/m²) moyenne sur la station ;
- Biod.1 : Espèces de la liste du Cahier des charges présentes sur les transects ;
En supplément :
- Biod.2 : Espèces de la liste du Cahier des charges présentes sur la station ;

- Et + Biod.3 : Toutes espèces présentes sur la station ; Int. de Conf. : Intervalle de confiance de la moyenne au risque $\alpha=0,025$.
- Ish : Indice de Shannon ; Eq : Indice d'éguitabilité ; Int. de Conf. : Intervalle de confiance de la moyenne au risque $\alpha = 0,025$.

Tableau 17 : Relevés ichtyologiques. Comparaison des stations entre elles au temps t. MAI 2018

		Liste restreinte imposée							
2018a	Stations	Nb	Dens	Biom	Biod.1	Biod.2	Biod.3	Ish	Eq
Baie de PRONY	ST01 ILOT CASY	116,50	2,25	56,65	34	50	77	4,211	0,828
	ST02 CREEK BAIE NORD	29,50	0,74	1,45	7	19	30	2,088	0,744
	ST03 PORT	61,33	2,07	2,42	17	41	59	2,941	0,719
	Variances (σ^2)	1 937,62	0,68	998,38	186,33	254,33	562,33	1,141	0,003
	Ecart types (σ)	44,02	0,83	31,60	13,65	15,95	23,71	1,068	0,057
	Moyennes (μ)	69,11	1,69	20,17	19,33	36,67	55,33	3,080	0,764
	Coef. de Var(σ/μ)	0,64	0,49	1,57	0,71	0,43	0,43	0,347	0,074
	Int. de Conf. 95%	50,83	0,95	36,49	15,76	18,41	27,38	1,234	0,066
Canal de la HAVANNAH	ST04 WOODIN	294,00	5,20	405,13	88	104	141	5,132	0,794
	ST05 IORO	126,00	1,58	36,61	56	66	100	4,879	0,840
	ST06 IONONTEA	218,67	4,23	567,07	73	91	134	5,055	0,817
	ST07 B. CHAMBEYRON	210,78	2,27	335,31	71	87	125	5,083	0,829
	ST08 PUKA	93,00	2,16	56,60	39	70	102	4,333	0,820
	ST09 BANCS KIE	203,67	5,09	218,00	68	83	121	5,188	0,852
	ST11 TOEMO	196,67	1,68	129,74	72	90	141	5,331	0,864
	ST12 UGO	129,00	2,15	75,42	39	64	93	4,222	0,799
	Variances (σ^2)	4 176,59	2,35	36 700,3	299,36	196,98	365,13	0,166	0,001
	Ecart types (σ)	64,63	1,53	191,6	17,30	14,04	19,11	0,407	0,024
	Moyennes (μ)	183,97	3,04	228,0	63,25	81,88	119,63	4,903	0,827
	Coef. de Var(σ/μ)	0,35	0,50	0,8	0,27	0,17	0,16	0,083	0,030
	Int. de Conf. 95%	45,70	1,08	135,5	12,23	9,92	13,51	0,288	0,017

Nb : nombre moyen de poissons sur un transect ; Dens. : Densité (Nb/m²) moyenne sur la station ; Biom. : Biomasse (g/m²) moyenne sur la station ; Biod.1 : Espèces de la liste du Cahier des charges présentes sur les transects ; Biod.2 : Espèces de la liste du Cahier des charges présentes sur la station ; Biod.3 : Toutes espèces présentes sur la station ; Ish : Indice de Shannon ; Eq : Indice d'éguitabilité ; Int. de Conf. : Intervalle de confiance de la moyenne au risque $\alpha = 0,025$.

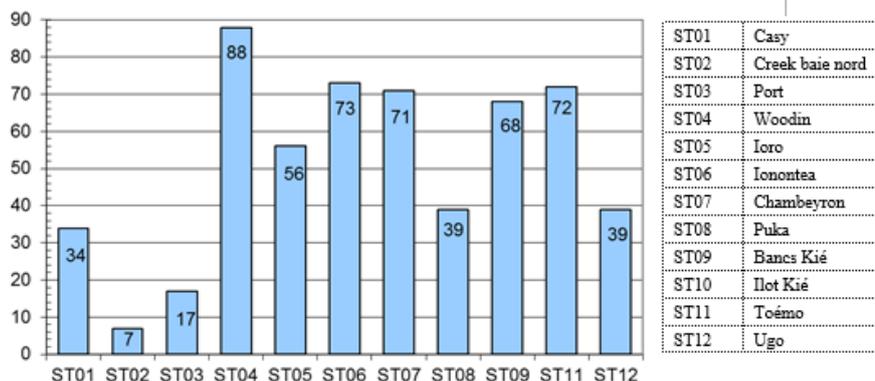
Rappel : Les 3 indicateurs imposés par le plan de suivi sont :

- La richesse spécifique (mais sur liste restreinte, c'est la Biod 1), Les experts s'accordent pour dire la biodiversité est peu significative sur une liste restreinte, à cet égard VNC demande un travail additionnel sur liste exhaustive.
- La densité et
- La biomasse.

RICHESSSE SPECIFIQUE

Figure 49: Richesse spécifique de l'ichtyo faune par station (sur liste restreinte imposée)

MAI 2018



Les stations situées en baie du Prony ont toujours montré une moindre richesse spécifique que celles situées sur des récifs du canal de la Havannah, il en est de même dans les états initiaux, il s'agit de deux biotopes très différents. Les espèces juvéniles représentent la majorité des poissons en baie du Prony.

La station ST04, dans le canal Woodin est exceptionnelle d'un point de vue ichtyologique, elle surpasse régulièrement la station en réserve Merlet (ST10, non inventoriée lors de cette mission 2018 et qui avoisine les 65 esp). Le récif Ionontea (ST 06, massif corallien le plus proche du diffuseur) est aussi très riche en diversité de poissons.

Figure 50 : Densité de l'ichtyo faune par station (liste restreinte imposée)

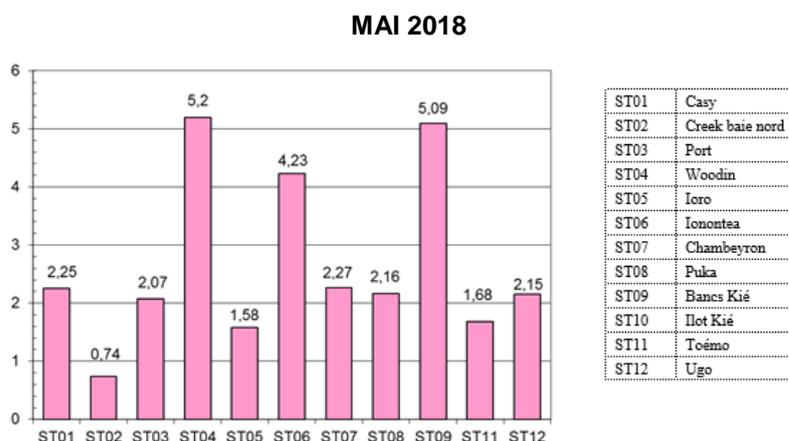
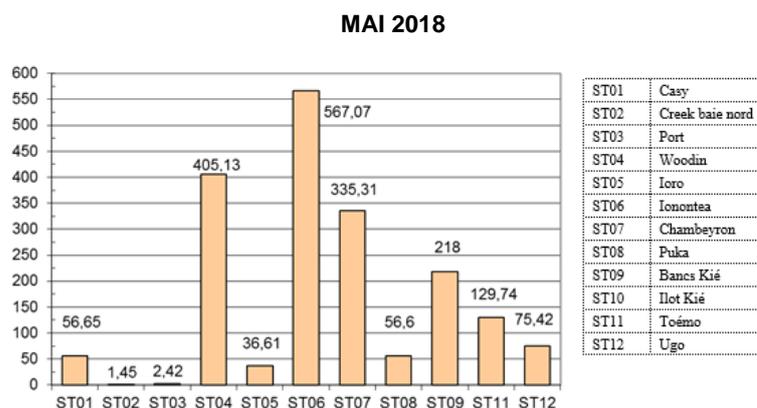


Figure 51 : Biomasse de l'ichtyo faune par station (liste restreinte imposée)



La présence du diffuseur n'est aucunement affectante pour la biodiversité des coraux et poissons sur les bancs et massifs les plus proches, notamment les indices poissons sont très bons sur ST05,ST06 et ST07.

Aucune formation corallienne plus proche de la zone de rejet n'est présente dans le canal de la Havannah (choix de la zone de rejet à cet égard : une zone éloignée de tout récif sensible) et une station en indicateurs « poissons » comprables aux autres ne peut donc pas être placée plus proche du diffuseur.

La comparaison des indicateurs biologiques entre les stations corrobore exactement les déductions dues aux études des paramètres physico-chimiques, à savoir des unités fonctionnelles très différentes entre la baie de Prony, le centre du canal de la Havannah soumis à un fort hydrodynamisme, et les stations côtières.

De façon résumée et synthétique on peut différencier différents systèmes (ou hydro-régions) :

- **Baie de Prony** avec un gradient du Nord au Sud entre la typologie de « fond de baie » et la typologie : « canal de la Havannah »
- **Canal de la Havannah** (la station de la réserve Merlet s'en rapproche mais avec une richesse habituellement supérieure en densité et biomasse des poissons), l'influence

marine est d'autant plus grande que l'on se rapproche de la passe de la Havannah (vers l'Est)

- **Baies avec apports terrigènes au Nord du canal** : baie de port Boisé et baie Kwé (qui se rapprochent davantage de la baie du Prony-Nord que du canal de la Havannah)
- **Baie de Goro** (à part, c'est une hydro- région en soit).
- **Canal Woodin** (à part).

Un gradient de croissance des influences marines ou terrestres sépare (ou relie) ces systèmes. Les études des populations de poissons sont en cohérence avec celles de leurs habitats (corail) et aussi avec les modélisations hydrodynamiques et les indicateurs physico chimiques.

Des réunions fréquentes avec les spécialistes dédiés à chaque type de suivis physiques, chimiques et biologiques permettent de mieux saisir la globalité synthétique et complexe du lagon sud.

Pour plus de précisions Cf. les rapports intégraux en annexe des bilans semestriels et les chapitres supplémentaires consacrés aux peuplements de poissons.

3.2.3.3. Analyse de l'évolution temporelle au cours des années de suivis, depuis 2007

La seconde moitié du rapport intégral des suivis semestriels est consacrée à l'étude des variations temporelles, grâce à l'historique du suivi des stations depuis 2007. Cela répond au cahier des charges du plan de suivi réglementaire. Seuls quelques indicateurs sont rapportés ici, le document intégral se trouve en annexe du présent rapport.

- Toute modification d'un paramètre supérieure aux variations saisonnières (– qui se dessinent de plus en plus clairement au fur et à mesure des campagnes –) et aux biais méthodologiques est systématiquement approfondie par les experts et elle est notifiée dans leur rapport.
- Une corrélation avec les résultats du suivi physico-chimique de la qualité de l'eau et des sédiments est effectuée et en cas d'une incohérence une analyse approfondie est conduite par les experts.
- L'externalisation des missions de suivi du milieu marin permet aux experts de conclure selon leurs analyses raisonnées et Vale NC ne fait que relever leurs conclusions dans le présent rapport.
- Si une variation significative apparaît lors d'une mission d'évaluation, une nouvelle mission supplémentaire est conduite afin d'effectuer un suivi approfondi des paramètres suspectés d'avoir variés, dans le but de confirmer ou infirmer la modification et d'en rechercher les causes. (Exemple ; Station PUKA en 2013)

➤ **Le substrat (LIT fixes)**

Pour suivre une évolution globale, il est « non-indiquant » de suivre l'évolution de 28 items, et cela alourdirait trop les bilans. L'audit INERIS/IFREMER conseille par ailleurs de diminuer ce nombre d'item en regroupant certains. Il a été comparé les résultats (en pourcentage de recouvrement) des deux compartiments :

- **BIOTIQUE** (en deux groupes : les coraux Scléactiniaires et les autres organismes vivants, rangés sous le terme de « Macrophytes et invertébrés ») et des fonds
- **ABIOTIQUE** (non vivants : vase, roches, sable...).

On peut aussi suivre ces 2 compartiments : **CORAIL DUR VIVANT / AUTRES** composantes.

Au niveau des zones de fond de baie ce sont les compartiments **VASE / AUTRES** composantes qui sont suivis avec attention, notamment au port. 

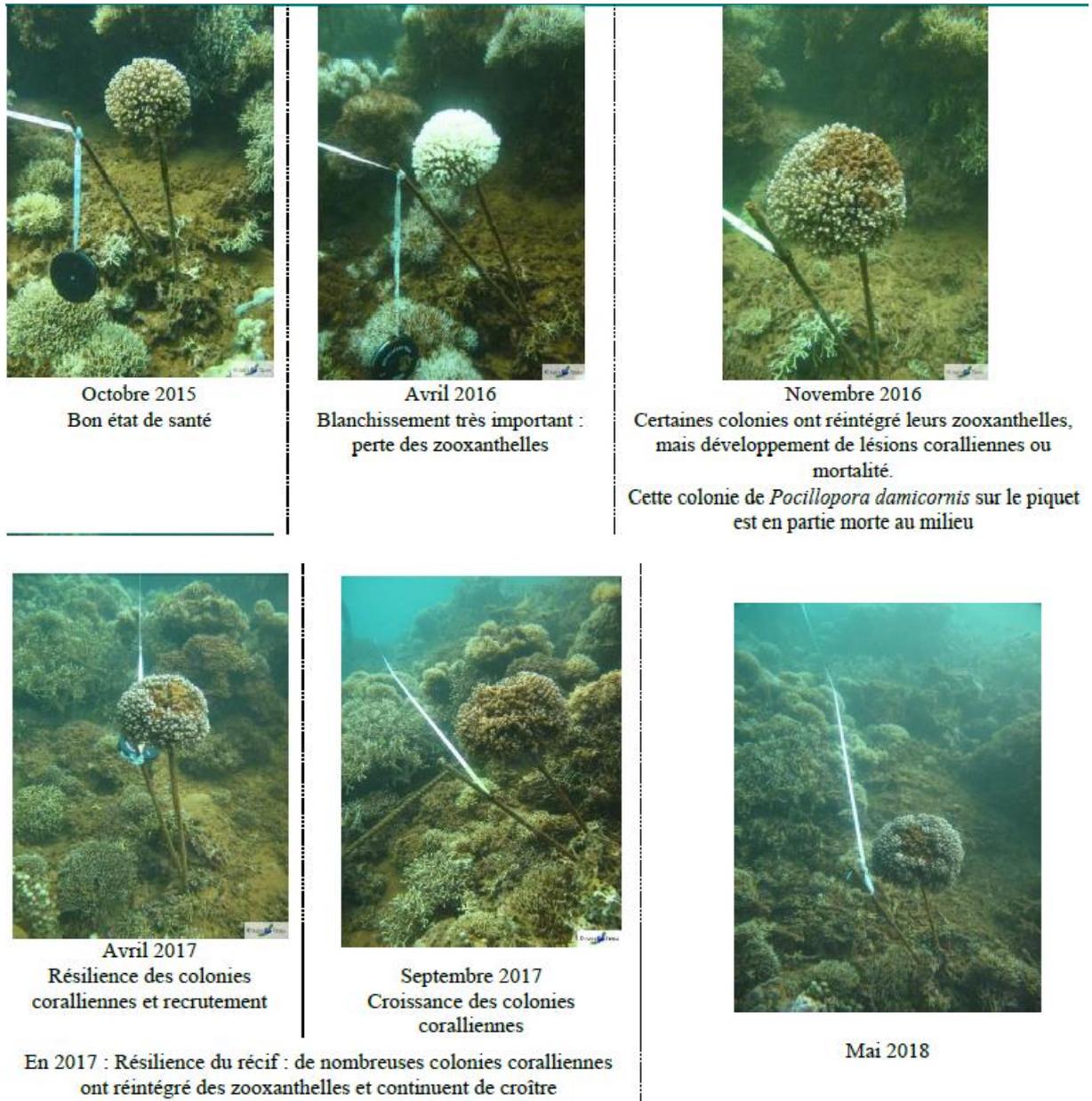
Il est nécessaire de pondérer cette approche binaire qui présente des biais : en effet ce ratio peut varier de façon significative (>20%) alors qu'il s'agit d'un cycle de déplacement d'un banc de sable même minime (sur les *transects* inférieurs, notamment sur ST08-Puka) ou du cycle de présence /absence de tuf algal sur des débris coralliens. (Avec turf : biotique/ sans turf : abiotique).

Globalement les stations sont stables mais sur la station ST01 (Casy) la pression des étoiles de mer *Acanthaster* se fait sentir.



Blanchissement corallien (surface totale observée) : Octobre 2015 : 0.15% ; Avril 2016 (blanchissement global des coraux du Pacifique sud) : 2.6% ; Novembre 2016 : 0.6% ; Avril 2017 : 1.9% ; Septembre 2017 : 2.5% (lié à *Acanthaster planci*) ; Mai 2018 : 0.6% (lié à *Acanthaster planci*)

Figure 52 : Colonie corallienne remarquable géoréférencée suivie au fil des missions



➤ **Le benthos (couloirs fixes)**

La présence de nombreuses espèces mobiles est un indicateur du bon fonctionnement de l'écosystème mais il est important de noter que l'absence ou la diminution d'abondance des espèces mobiles, d'une mission à une autre, n'est pas un indicateur de dégradation environnementale. Leur absence peut être momentanée et n'est pas synonyme de mortalité car leur mobilité leur permet de migrer hors du couloir d'inventaire pour rechercher de la nourriture ou un abri.

En mai 2018, la diversité absolue des invertébrés augmente quasiment sur tous les transects, principalement du fait des groupes faunistiques suivants : espèces mobiles (mollusques et échinodermes : astéries, échinides, holothuries) et des espèces sessiles à faible fixation au substrat (ascidies et spongiaires).

L'attention doit être portée sur la prolifération des étoiles de mer *Acanthaster* qui semble s'étendre.

➤ Les poissons : ichtyo faune

Le chapitre 6.3 du rapport intégral (en annexe 3 de ce document) est consacré à une étude approfondie des populations de poissons 2017 comparés aux années précédentes. Elle est due au professeur universitaire Claude Chauvet (ACREM), ichtyologue.

Il assure en supplément des exigences règlementaires une analyse statistique, notamment sur la biodiversité des poissons sur inventaire exhaustif des poissons observés, dans le but d'affiner la méthodologie et de « tirer la sonnette d'alarme » au plus tôt en cas de modification des populations. Il va donc au-delà du cahier des charges demandé (qui est bien rempli en intégralité, sur liste restreinte imposée). Les réflexions du professeur Claude Chauvet sont maintenues car l'industriel ne se permet pas de « censurer » les analyses des experts externes et ces réflexions ne peuvent qu'approfondir la qualité et la rigueur du suivi, avec une base de données exhaustive qui peut être utile dans le futur.

DENSITE en individus de poissons listés sur la liste restreinte par m²

BIODIVERSITE n°1 (liste restreinte imposée par le cahier des charges donc peu représentative)

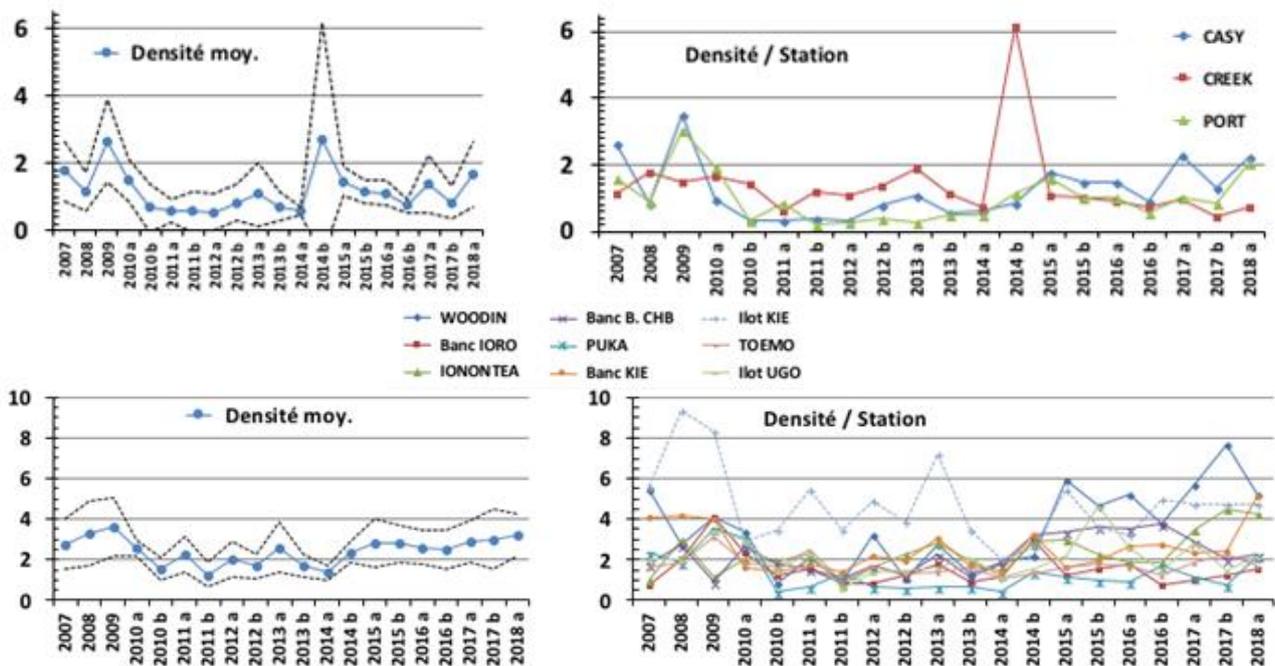
La portée informative de cette liste volontairement limitée sur des espèces cibles est bien sûr très limitée et ne représente pas une réelle biodiversité.

BIOMASSE en gramme de poissons listés sur la liste restreinte par m²

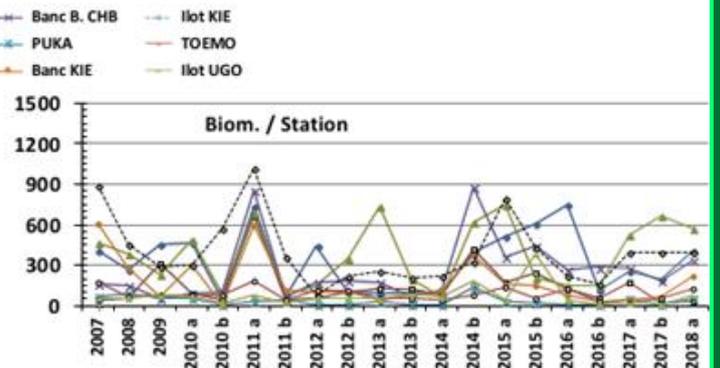
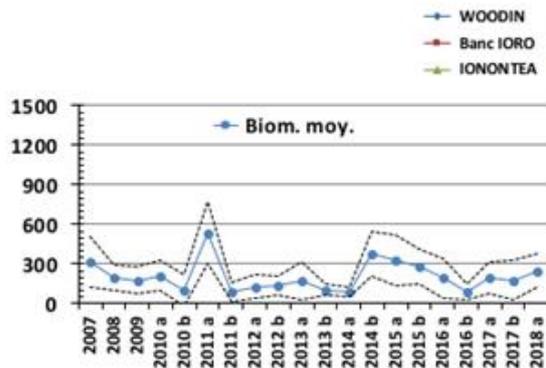
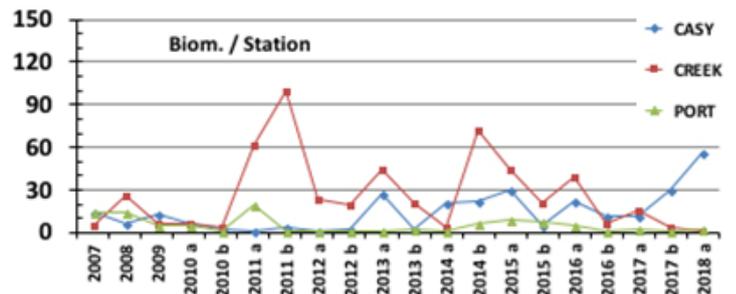
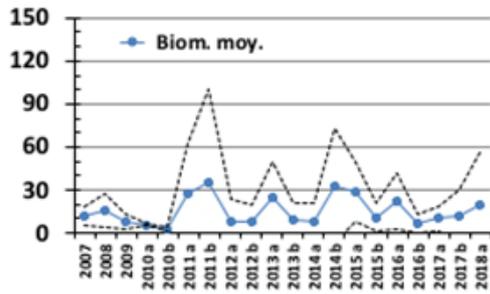
Rappel : la Biomasse s'exprime en grammes de poissons /m² par transect et selon la liste restreinte, les coefficients de Kulbicki sont utilisés pour transformer la taille des individus observés en poids (selon la méthodologie règlementaire 2006 et CCB).

Figure 53 : Poissons : Moyennes des paramètres étudiés (calculées sur l'ensemble des stations : par année ; mission après mission depuis 2007)

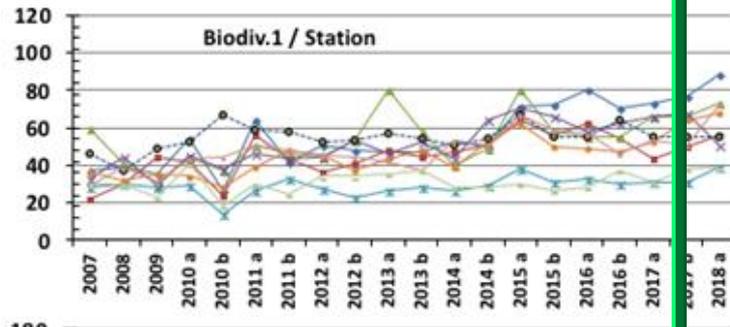
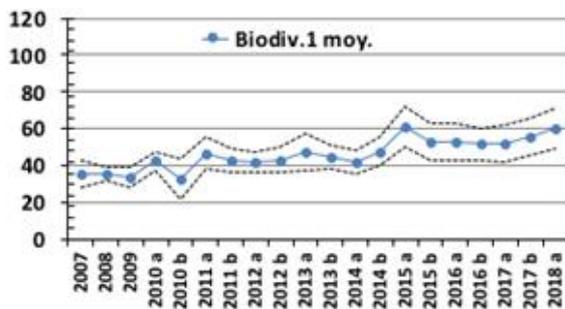
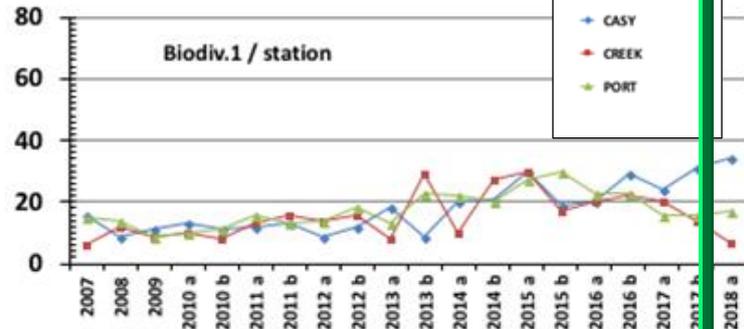
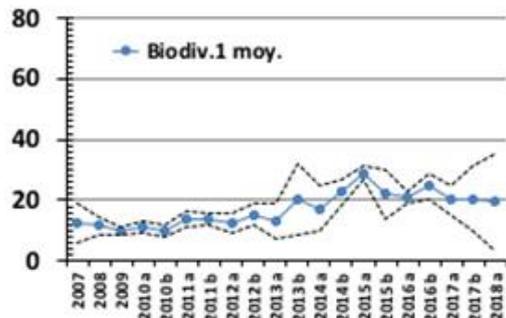
DENSITE (selon les exigences du plan de suivi et donc sur liste restreinte)



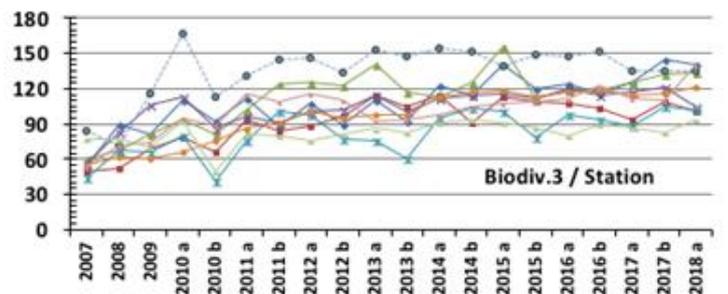
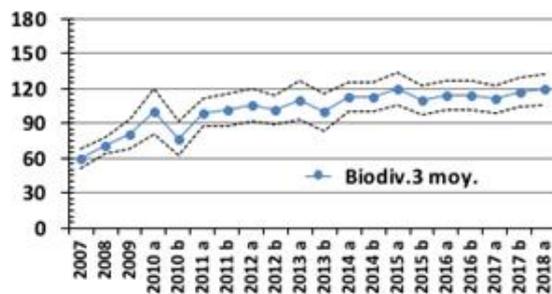
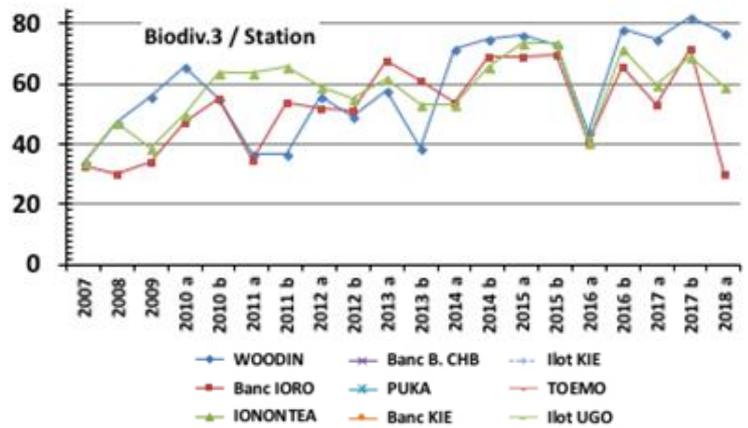
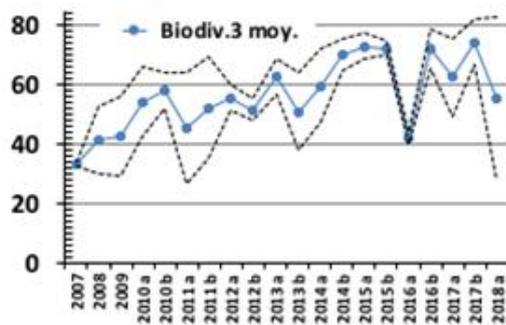
BIOMASSE (selon les exigences du plan de suivi)



DIVERSITE 1 (Selon les exigences du plan de suivi)



BIODIVERSITE 3 (Le meilleur indicateur d'après l'ichtyologue)



Les stations de la Baie de Prony sont peuplées de nombreux juvéniles. Au niveau des transects, la station du Port (St03) ne présente d'ailleurs que des juvéniles. Ce caractère renforce les différences entre les stations de Prony et celles du Canal de la Havannah

Tableau 18: Cotation des missions depuis 2007
Cotation des missions : IGM, depuis 2007 (ichtyologie)

Missions	Dens.	Biom.	Biodiv	IGM		Missions	Dens.	Biom.	Biodiv	IGM	
2007	3	3	2	2,50	bon	2013 b	2	3	3	2,75	bon
2008	3	2	2	2,25	médiocre	2014 a	2	1	3	2,25	médiocre
2009	3	2	2	2,25	médiocre	2014 b	3	3	3	3,00	bon
2010 a	3	2	3	2,75	bon	2015 a	3	3	4	3,50	Très bon
2010 b	2	1	2	1,75	médiocre	2015 b	3	3	3	3,00	bon
2011 a	2	4	3	3,00	bon	2016 a	2	2	4	3,00	bon
2011 b	2	1	3	2,25	médiocre	2016 b	3	2	3	2,75	bon
2012 a	2	1	3	2,25	médiocre	2017 a	3	2	3	2,75	bon
2012 b	2	2	3	2,50	bon	2017 b	3	2	3	2,75	bon
2013 a	3	2	3	2,75	bon	2018 a	4	3	4	3,75	Très bon

Méthodes de calculs et analyses complètes dans le rapport intégral en annexe

Conclusion sur le domaine ichtyologique :

Cette mission a la meilleure note de la série : la qualité du milieu jugée au travers ces trois paramètres relatifs au peuplement de poissons est « très bonne ». La Biomasse et la densité se sont légèrement accrues, en revanche la Biodiversité a très sensiblement augmenté, notamment sur les stations de Puka, Woodin, Ionontéa, Toémo et Casy.

Quantitativement, le nombre d'espèces / famille / station change peu d'une mission à l'autre.

Mais qualitativement, les espèces présentes changent, se relayant d'une mission à l'autre sur une même station. Ceci, notamment pour les familles très diversifiées comme les Labridés, Scaridés, Acanthuridés, etc.

L'examen des listes d'espèces montre que :

- Le peuplement total inventorié depuis 2007 approche les 700 espèces
- Près de 300 espèces sont vues à chaque mission sur l'ensemble des stations
- **Pour cette mission, la qualité du milieu marin, jugée à travers le peuplement de poissons, est excellente.**

Tableau 19 : Qualité du peuplement ichthyologique par année cotation de 1 à 12 (C. Chauvet)

1, 2, 3 mauvaise **4, 5, 6 médiocre** **7, 8, 9 bonne** **10, 11, 12 excellente**

Qualité du peuplement ichthyologique depuis 2007

2007	7	2011 a	9	2013 b	8	2016 a	9
2008	6	2011 b	6	2014 a	6	2016 b	8
2009	6	2012 a	6	2014 b	9	2017 a	8
2010 a	8	2012 b	7	2015 a	11	2017 b	8
2010 b	4	2013 a	8	2015 b	9	2018 a	12

Pour cette mission, la qualité du milieu marin, jugée à travers le peuplement de poissons, est donc excellente. le peuplement de poissons de mai 2018 a la note de 12 sur 12.



Méthodes de calculs et analyses complètes dans le rapport intégral en annexe

Le suivi des poissons ne permet donc pas de tirer une sonnette d'alarme sur la station Casy, bien que la santé des coraux y soit précaire et que la pression des Acanthaster y soit forte. Ce fait avait été noté en 2016 quand le blanchissement corallien global du Pacifique Sud affectait de nombreuses stations, mais le peuplement de poissons était toujours très bon même sur les stations montrant le plus fort stress de l'habitat corallien. Il est supposé que :

- Les poissons mobiles ne sont pas affectés par un stress localisé des coraux ;
- Les coraux fixes et sensibles répondent très vite à un stress et le montrent ;
- La réponse des populations de poissons est plus lente et décalée dans le temps, si le stress de leur habitat persiste ;
- Ce sont :
 - La biodiversité totale et
 - Les variations des % des régimes alimentaires
 Qui indiqueraient une modification significative.
- Lors des épisodes de fortes dessalures confinées sur le fond des baies par les vents (en 2013 suite à des pluies exceptionnelles) les poissons sédentaires en zones peu profondes sont affectés (mortalité) mais tous les êtres vivants des zones peu profondes qui supportent une dessalure mortelle le sont aussi.

3.2.4. L'herbier

Un herbier situé en baie Kwé avait été mentionné dans les années 1995, puis déclaré comme « non retrouvé » lors des états initiaux, puis à nouveau signalé en 2010 et inventorié de façon précise sur demande de Vale NC en 2014. Des variations saisonnières ou cycliques de sa surface et de sa composition peuvent être supposées.

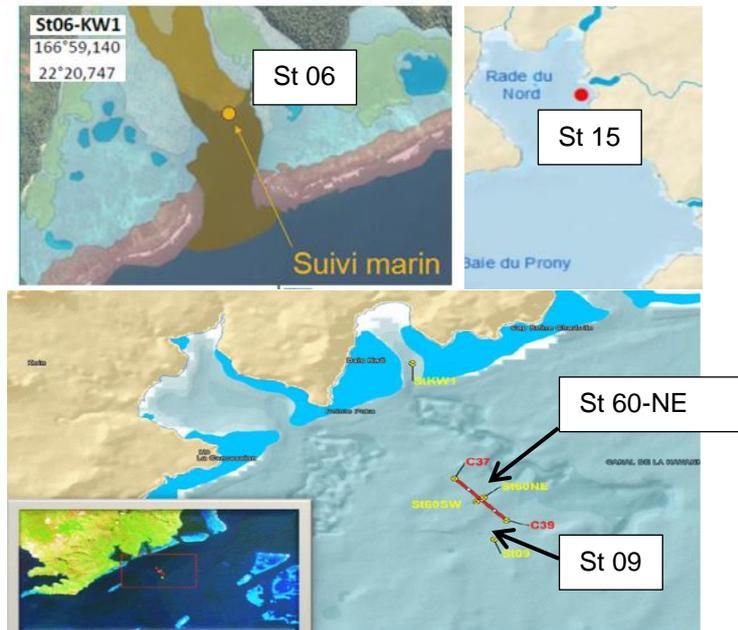
Le suivi de l'herbier est devenu réglementaire grâce à l'arrêté AEM-2016 et grâce à la mise en place d'une méthodologie de suivi, les connaissances quant à sa variabilité, sa composition et sa surface vont permettre de quantifier son évolution lors des suivis suivants, la fréquence des missions de suivi de l'herbier est triennale. Une campagne de suivi a été effectuée en AVRIL 2017. Les résultats et le rapport intégral de ce suivi ont été incorporés au rapport S1/2017, ils sont consultables dans le bilan 2017. Prochaine campagne en 2020.

3.2.5. Suivi des flux sédimentaires

Il consiste en un suivi temporel des densités de flux verticaux afin d'estimer les apports métalliques véhiculés par les particules fines au niveau de la baie Kwé, du diffuseur marin et de la Rade Nord. Des mouillages de lignes équipées de pièges à sédiments séquentiels (automatisation) sont utilisés. Les flux sédimentaires sont suivis à 60 mètres du diffuseur (représenté par un trait rouge sur la carte schématique ci-dessous) station : St 60NE ; dans le chenal d'entrée en baie de la Kwé (St KW1) et en baie de Prony sur la station (St 15). Le point St 09 quant à lui est une station de suivi de la qualité physico chimique de l'eau.

Figure 54 : Rappel de la position des stations d'études des flux sédimentaires

En baie Kwé le point suivi est StKW1. En baie du Prony : St 15 proche embouchure creek Baie Nord et dans le canal de la Havannah le suivi est sur St 60NE à 60m du diffuseur



Les principaux résultats montrent qu'en saison chaude comme en saison fraîche, la distribution de MES dans les eaux de la Baie Kwé, en Rade Nord et dans le Canal de la Havannah, est grandement régie par les conditions météorologiques, notamment :

- La pluviométrie ;
- Les régimes de vents qui conditionnent le panache d'apport terrigène en Rade Nord et l'action mécanique de la houle en Baie Kwé ainsi que dans le Canal Havannah.

L'importance des vents avait été sous-estimée mais la synthèse des suivis en a démontré l'ampleur.

Un suivi intégrateur de 48 jours ne peut absolument pas s'affranchir d'épisodes pluvieux intenses. ←

Lors de cette campagne S1/2018 le cyclone Hola est passé à l'Est de la Nouvelle-Calédonie entraînant des pluies intenses entre le 07 et le 10 mars, ce suivi doit enregistrer ce phénomène au niveau des stations côtières.

➤ **Pour 2018**

S1/2017 : Les opérations du premier semestre :

- Début de la collecte : 03/03/2018
- Fin de la collecte : 19/04/2018

1 campagne : 12 fois 4 jours soit 48 jours de prélèvements séquentiels

➤ **Résultats**

Rapport intégral en annexe. Synthèse ci-dessous pour les zones de surveillance prioritaire : St 15 Creek Baie Nord, St06 en baie Kwé et St60 à 60m du diffuseur.

• **St15 Creek Baie Nord**

- **Les masses moyennes collectées sur St15 restent relativement faibles**, avec une moyenne de 1,67g. Les fortes pluies liées au passage dues au cyclone Hola sont bien enregistrées avec un pic de 6, 81 g dans le godet n°2 en action du 07 au 10 mars. Malgré cet épisode la masse de MES collectée reste relativement faible et 3 fois moindre qu'en 2014.
- Les MES piégées sont principalement composées de fraction fine.
- **Les teneurs en carbonates dans la fraction fine collectée** ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) en St15 se distribuent entre 15 % et 25 % avec une moyenne de $19 \pm 3 \%$ soulignant, **une influence prépondérante des apports terrigènes à cette station**. Cela confirme les définitions des hydro-régions et les particularités des zones dites « fond de baie » comme le Nord de la baie du Prony.
- **La fraction fine de MES récoltées est analysée**, le tableau suivant compile les données depuis 2007.

Figure 55 : Compilation des données moyenne \pm écart-type des concentrations en métaux et en calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à la station St15.

Campagne	St15					
	Éléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Mars – Avr. 2007	61 870 (n=1)	208 (n=1)	8 500 (n=1)	205 660 (n=1)	1 949 (n=1)	2 742 (n=1)
Janv. - Mars 2014	11 118 \pm 153	295 \pm 27	13 796 \pm 1 654	245 119 \pm 15 893	2 368 \pm 547	3 927 \pm 665
Sept. – Oct. 2014	87 180 \pm 6 927	265 \pm 23	8 111 \pm 535	217 647 \pm 12 561	1 881 \pm 191	2 798 \pm 177
Janv. - Mars 2015	78 349 \pm 29 017	440 \pm 14	14 204 \pm 757	290 374 \pm 11 196	3 788 \pm 569	5 012 \pm 266
Juil. - Sept. 2015	85 568 \pm 10 844	228 \pm 18	8 016 \pm 728	177 466 \pm 13 141	2 148 \pm 207	2 751 \pm 248
Mai - Juil. 2016	60 636 \pm 34 192	195 \pm 37	5 682 \pm 1 080	170 877 \pm 75 892	1 981 \pm 303	3 101 \pm 569
Oct. – Nov. 2016	91 451 \pm 16 898	178 \pm 33	6 057 \pm 1 016	198 270 \pm 35 176	1 861 \pm 511	2 339 \pm 383
Avr. - Mai 2017	101 352 \pm 17 811	184 \pm 21	8 150 \pm 859	231 480 \pm 23 743	1 246 \pm 174	2 501 \pm 281
Sept. – Nov. 2017	76 373 \pm 7 445	221 \pm 4	7 797 \pm 163	192 953 \pm 51 953	1 687 \pm 85	2 614 \pm 61
Mars – Avr. 2018	62 558 \pm 11 186	206 \pm 14	8 004 \pm 556	225 530 \pm 12 942	1 999 \pm 186	2 599 \pm 130

- **Le ratio Ca/Fe** est intéressant ; s'il augmente l'influence marine augmente et l'influence terrestre diminue.

Figure 56 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à particules à la station St15.

St15			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Mars - Avr. 2007	0,301 (n=1)	Mai - Juil. 2016	0,459 \pm 0,323
Janv. - Mars 2014	0,050 \pm 0,081	Oct. – Nov. 2016	0,464 \pm 0,052
Sept. – Oct. 2014	0,401 \pm 0,023	Avr. – Mai 2017	0,448 \pm 0,115
Janv. - Mars 2015	0,273 \pm 0,106	Sept. – Nov. 2017	0,418 \pm 0,107
Juil. - Sept. 2015	0,481 \pm 0,041	Mars – Avr. 2018	0,280 \pm 0,064

- **Les flux calculés :** Les flux en MES totale et Nickel calculés sont compilés ici dessous.
 - **Attention :** les flux de MES « de passage » et le taux de sédimentation (suivi des taux de sédimentation par carottage) sur une station donnée sont deux informations indicatrices différentes. Un flux ne se dépose pas toujours sur (sous) son lieu de mesure.

Figure 57 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15 (Creek Baie Nord)

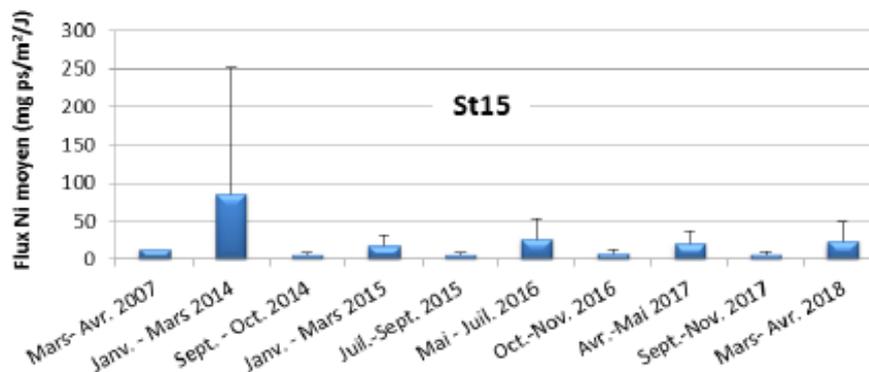
St15					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)	Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)
Oct. – Nov. 2006	1,05 \pm 0,64	25,2	Mai - Juil. 2016	8,67 \pm 7,44	416
Mars - Avr. 2007	1,55 \pm 1,45	37,1	Oct. – Nov. 2016	2,19 \pm 2,48	105
Janv. - Mars 2014	22,2 \pm 44,5	1 063	Avr.- Mai 2017	8,05 \pm 5,78	386
Sept. – Oct. 2014	0,91 \pm 1,23	43,8	Sept. – Nov. 2017	5,95 \pm 6,08	71
Janv. - Mars 2015	2,78 \pm 2,98	134	Mars – Avr. 2018	8,34 \pm 9,63	400
Juil. - Sept. 2015	1,31 \pm 1,34	62,7	-	-	-

- : pas de campagne.

La densité de flux moyen de MES totale sur ST15 (Embouchure creek Baie Nord) lors de la campagne S2/2017 est de : **8,34 \pm 9,63 g/m²/j.**
 Pour rappel, le guide ZoNeCo/CNRT indique que des flux de MES 14 g/m²/j à 46 g/m²/j. selon la saison pluvieuse ou plus sèche, sont usuels près de l'embouchure des creeks.

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de 23,2 \pm 25,2 mg ps/m²/j. Entre les campagnes, les valeurs moyennes montrent une très forte variation. Ainsi, en janvier-mars 2014, la valeur moyenne est maximale avec 86 \pm 165 mg ps/m²/j) puis, elle diminue et demeure en dessous du seuil de 27,0 mg ps/m²/j. La valeur extrême maximale de 2014 est à relier avec la pluviométrie exceptionnelle de 920,2 mm mesurée au moment de la campagne 2014.

Figure 58 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes de 48 jours d'immersion des pièges séquentiels sur la station St15.



Les flux de MES sur la station St15 à l'endroit du Creek Baie nord sont conformes aux flux d'une hydro-région de type « baie », dépendant de la pluviométrie sans pour autant atteindre des pics très élevés ; ils dépendent aussi de l'orientation et de la force des vents qui peuvent confiner les eaux en fond de baie du Prony.

Les concentrations en matériaux latéritiques et le ratio Ca/Fe sont stables.

- **St 06 - KW1 En baie Kwé**

Le suivi en baie Kwé gagne toute sa pertinence et va être développé dans le chapitre. (*Intégralité du rapport en annexe de ce bilan*).

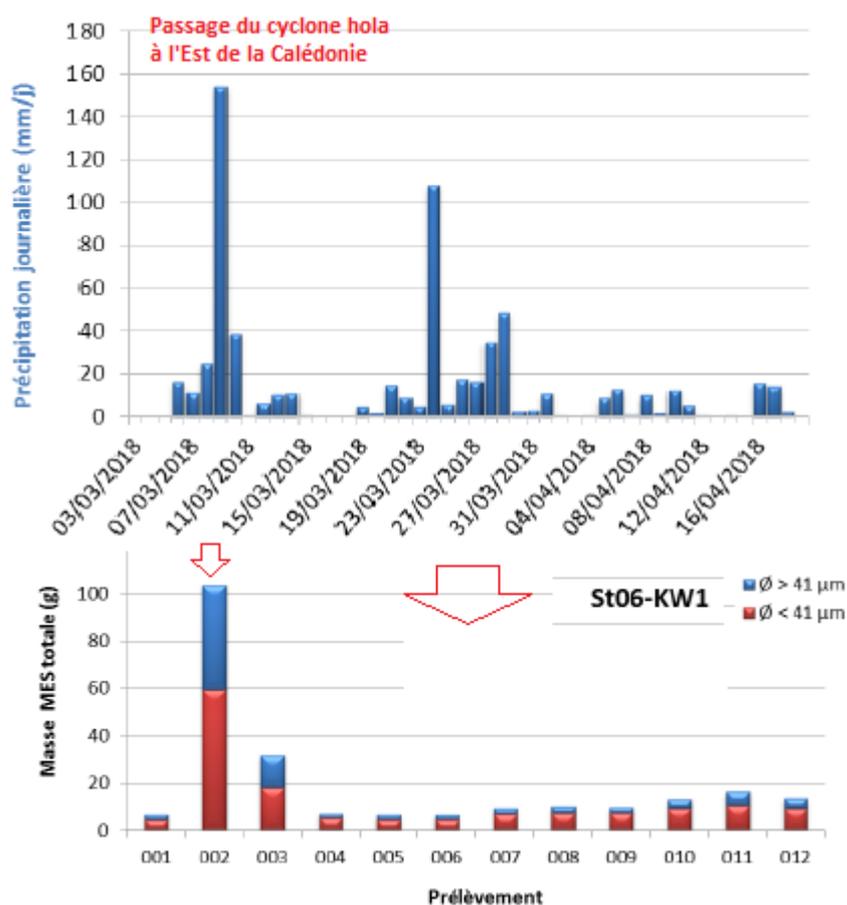
- **Les masses moyennes collectées sur St06 (Baie Kwé)** : Les masses de MES collectées en St06-KW1 se distribuent entre 6,5 g et un maximum de 103 g pour le prélèvement n°2 (passage du

cyclone Hola et forte pluies) avec une moyenne de $19,54 \pm 27,32$. Sur une bonne partie des pas de collecte, les quantités demeurent faibles.

Les diverses observations effectuées lors de précédentes missions montrent que la variabilité des masses collectées à cette station est dépendante 1) - de l'intensité des précipitations mais aussi 2)- de l'orientation et de la force des vents qui conditionnent la dispersion et/ou le confinement des panaches turbides et 3)- des vents de secteur Sud qui lèvent une houle ou un ressac remettant en suspension les sédiments du platier. En baie Kwé, les vents de secteur Sud forts à modérés mettent en suspension de MES d'origine marine.

Les pourcentages de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) qui composent les MES varient peu sur cette station St06. Ils se répartissent entre 57 et 77 % avec une moyenne de $68 \pm 6 \%$. Par conséquent, les MES piégées en St06 sont majoritairement composées par la fraction fine.

Figure 59 : Masse totale de MES piégées dans le flux et fraction fine sur la Station St06 en baie Kwé 12 prélèvements de 4 jours chacun, sont effectués



Comme remarqué lors des campagnes précédentes, les pluies qui dépassent un seuil d'intensité relativement élevé augmentent le flux de MES mais les pluies qui restent en deçà de ce seuil ne montrent pas d'influence, ce qui laisse supposer une action « tampon » des bassins de sédimentation en amont de la rivière Kwé et de ses affluents. Le suivi des flux sur 48 jours montre ce phénomène.

Par contre les prélèvements ponctuels d'eau n'ont pas enregistré de hausse des concentrations en MES, en accord avec les avis des experts de stopper les MES dans les prélèvements ponctuels (peu indicatifs) et de se centrer sur les flux de MES (bons indicateurs)

- **Les teneurs en carbonates** dans la fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) en St06 KW1 montrent que dans le chenal au centre de la baie Kwé l'influence marine est prépondérante avec 60% de carbonates. La fraction fine est majoritairement composée de minéraux d'origine marine, notamment la calcite et l'aragonite. (L'aragonite est un des constituants des coquilles d'invertébrés; sa présence dénote

l'influence marine, à cette station et elle représente en moyenne 20 % de la minéralogie de MES fines qui transitent en flux)

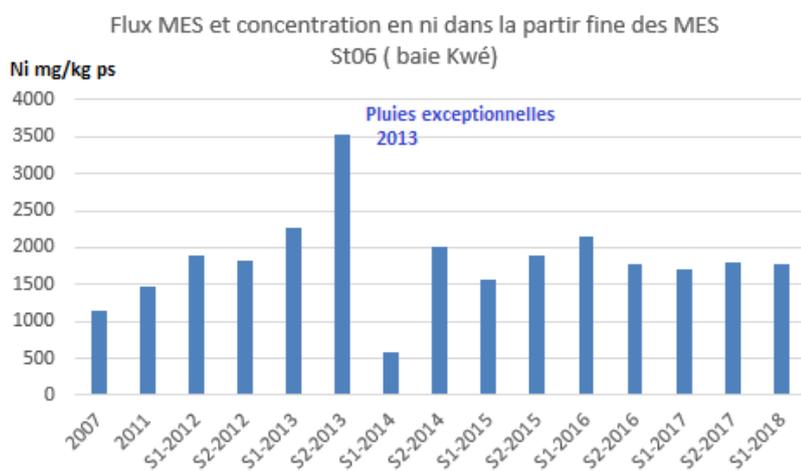
La goethite de signature terrestre est également décelée dans tous les prélèvements (Moyenne de 18,5%), ce qui est logique dans une baie qui reçoit un cours d'eau permanent. Dans le godet n°2, de forte collecte en raison de la forte pluviométrie, la signature terrigène est marquée avec une majorité de goethite, gibbsite, serpentine et moins de carbonates, ce qui est logique.

La fraction fine de MES récoltées est analysée, le tableau suivant compile les données depuis 2007. Les concentrations en Co, Cr Fe, Mn et Ni obtenues lors de la campagne S1/2018 sont comparables à celles de 2017 et supérieures aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. En revanche, les concentrations métalliques sont largement inférieures à celles obtenues en juillet-août 2013 ; après de très fortes pluies. La campagne 2013 est, à ce jour, celle qui présente les concentrations métalliques les plus élevées sur St06, tandis que celle de janvier-mars 2014 regroupe les plus basses.

Figure 60 : Compilation des données moyenne \pm écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06 KW1.

Campagne	St06-KW1					
	Eléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Mars – Avr. 2007	290 310 (n=1)	58,0 (n=1)	2 667 (n=1)	68 940 (n=1)	577 (n=1)	1 142 (n=1)
Juil. - Août 2011	256 455 \pm 19 652	82,9 \pm 10,2	2 945 \pm 287	81 853 \pm 6 980	703 \pm 75	1 460 \pm 132
Janv. - Mars 2012	239 104 \pm 5 873	101 \pm 10	3 414 \pm 302	10 3323 \pm 6 769	822 \pm 77	1 885 \pm 144
Sept. - Oct. 2012	264 386 \pm 8 238	106 \pm 15	3 874 \pm 547	111 616 \pm 11 753	840 \pm 95	1 829 \pm 201
Janv. - Mars 2013	236 752 \pm 14 017	127 \pm 19	4 634 \pm 547	123 394 \pm 15 208	1 123 \pm 162	2 258 \pm 321
Juil. - Août 2013	164 585 \pm 51 369	215 \pm 77	7 111 \pm 2 797	189 733 \pm 55 033	1 688 \pm 656	3 540 \pm 1 392
Janv. - Mars 2014	308 430 \pm 13 137	46,1 \pm 18,4	1 259 \pm 257	31 190 \pm 8 848	471 \pm 210	588 \pm 195
Sept. - Oct. 2014	242 858 \pm 15 301	115 \pm 19	3 829 \pm 581	132 978 \pm 17 334	885 \pm 147	1 999 \pm 258
Janv. - Mars 2015	271 510 \pm 10 830	82,8 \pm 12,1	3 007 \pm 354	85 407 \pm 11 481	735 \pm 94	1 563 \pm 233
Oct. - Nov. 2015	165 560 \pm 11 919	108 \pm 34	4 126 \pm 1 307	101 619 \pm 24 237	940 \pm 267	1 882 \pm 421
Juil. - Sept. 2016	219 412 \pm 25 986	109 \pm 23	3 083 \pm 692	136 205 \pm 22 923	974 \pm 208	2 148 \pm 403
Oct. - Nov. 2016	260 620 \pm 20 111	86,3 \pm 18,3	3 085 \pm 557	116 993 \pm 22 213	723 \pm 149	1 770 \pm 370
Avr. - Mai 2017	270 681 \pm 14 894	80,8 \pm 12,9	2 928 \pm 429	110 875 \pm 19 017	690 \pm 102	1 716 \pm 296
Sept. - Nov. 2017	264 210 \pm 24 159	95,0 \pm 13,6	3 422 \pm 417	120 591 \pm 12 247	742 \pm 101	1 791 \pm 224
Mars – Avr. 2018	228 717 \pm 18 985	86,7 \pm 81,8	3 279 \pm 743	113 470 \pm 23 892	783 \pm 206	1 766 \pm 450

Figure 61 : Evolution des concentrations en Ni obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06 Baie Kwé.



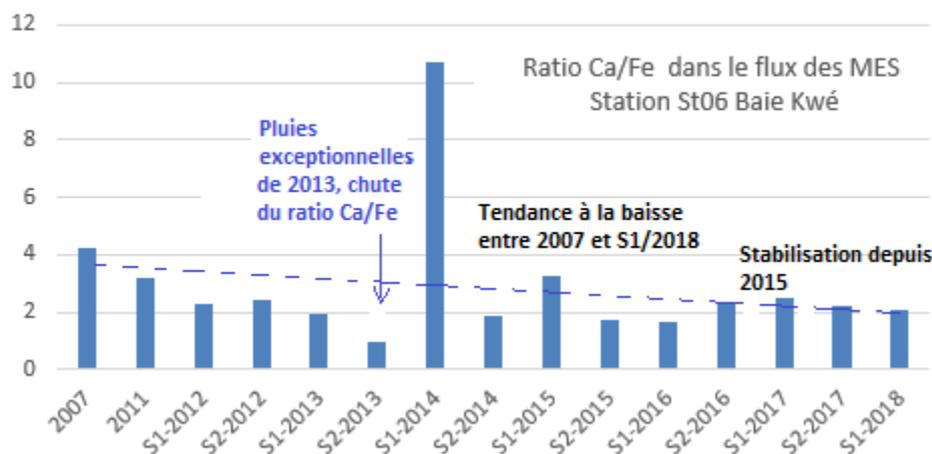
- **Le ratio Ca/Fe est intéressant** : s'il augmente l'influence marine augmente et l'influence terrestre diminue.

Figure 62 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St06-Baie Kwé.

St06-KW1			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Mars – Avr. 2007	4,21 (n=1)	Janv. - Mars 2015	3,24 \pm 0,53
Juil. - Août 2011	3,17 \pm 0,50	Oct. - Nov. 2015	1,72 \pm 0,44
Janv. - Mars 2012	2,32 \pm 0,18	Juil. - Sept. 2016	1,68 \pm 0,48
Sept. - Oct. 2012	2,40 \pm 0,31	Oct. – Nov. 2016	2,32 \pm 0,53
Janv. - Mars 2013	1,95 \pm 0,33	Avr. – Mai 2017	2,52 \pm 0,53
Juil. - Août 2013	0,98 \pm 0,46	Sept. – Nov. 2017	2,21 \pm 0,31
Janv. - Mars 2014	10,7 \pm 3,13	Mars – Avr. 2018	2,11 \pm 0,49
Sept. - Oct. 2014	1,86 \pm 0,27	-	-

- : pas de campagne.

Figure 63 : Normalisation du calcium par le fer obtenu dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St06-Baie Kwé.



Ce ratio Ca / Fe suivi depuis 2007 sur la station St 06 de la baie Kwé, montre une légère tendance à la baisse surtout en raison de sa forte valeur en 2007.

En 2013 ce ratio chute à cause de l'épisode exceptionnel pluvieux de juillet 2013 (inondations en Calédonie) suivi d'un début 2014 sec et d'un ratio exceptionnellement haut

A partir de fin 2014 : le ratio Ca/Fe est quasi stable. (Cf. Figure ci-dessus).

- **Les flux calculés (St06 - Baie Kwé)**

La densité de flux moyen mesurée lors de la campagne est élevée avec S1/2018 sur St06 KW1 avec **97,7 \pm 136, 6g/m²/j**. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux peuvent varier fortement, en fonction de la pluviométrie et des vents qui remettent les sédiments en suspension en augmentant l'hydrodynamisme dans l'entrée de la baie.

Pour rappel, le guide ZoNeCo/CNRT indique que des flux de **MES 14 g/m²/j à 46 g/m²/j**, selon la saison pluvieuse ou plus sèche, sont usuels près de l'embouchure des creeks.

Ce flux S1/2018 est élevé en raison des prélèvements du godet n°2 durant les fortes pluies (631 mm) dues au passage du cyclone Hola à l'Est de la Nouvelle-Calédonie.

Les flux en MES totale et Nickel calculés sont compilés ici dessous.

Figure 64 : Compilation des moyenne ± écart-type des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES total piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St 06

St06-KW1					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m ²)	Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m ²)
Oct. - Nov. 2006	14,6 ± 7,4	350	Sept. - Oct. 2014	11,8 ± 8,41	569
Mars - Avr. 2007	46,1 ± 44,7	1 106	Janv. - Mars 2015	66,3 ± 36,1	3 181
Juil. - Août 2011	27,1 ± 30,0	1 299	Oct. - Nov. 2015	38,8 ± 30,5	1 864
Janv. - Mars 2012	39,5 ± 33,2	1 894	Juil. - Sept. 2016	28,7 ± 22,9	1 379
Sept. - Oct. 2012	26,4 ± 13,1	1 267	Oct. - Nov. 2016	18,5 ± 13,9	886
Janv. - Févr. 2013	46,5 ± 28,5	2 231	Avr. - Mai 2017	45,3 ± 40,3	2173
Juil. - Août 2013	58,1 ± 87,8	2 786	Sept. - Nov. 2017	20,4 ± 23,0	979
Janv. - Mars 2014	60,7 ± 34,1	2 914	Mars - Avr. 2018	97,7 ± 136,6	4690

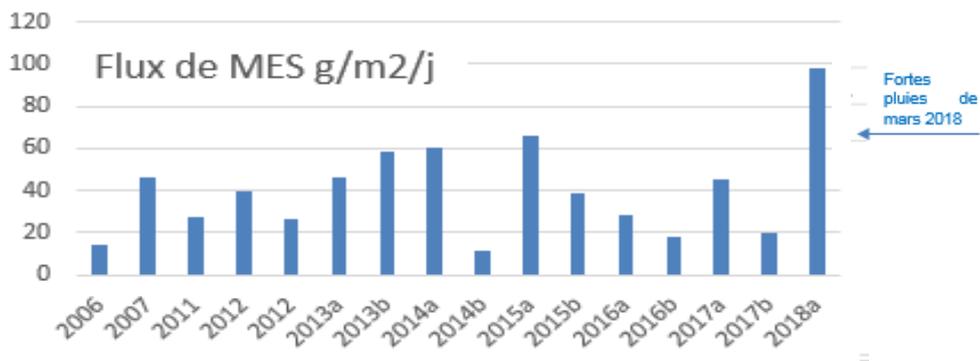
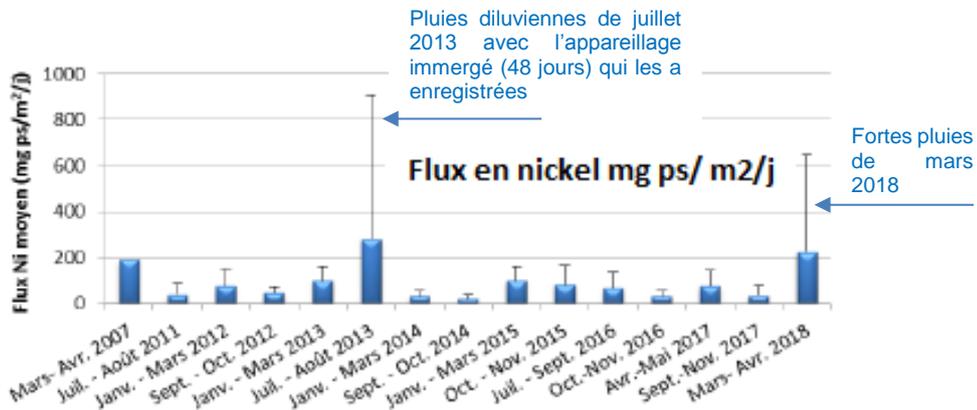


Figure 65 : Compilation des moyenne ± écart-type des flux en nickel dans les fractions fines (Ø < 41 µm) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St 06 -KW1.



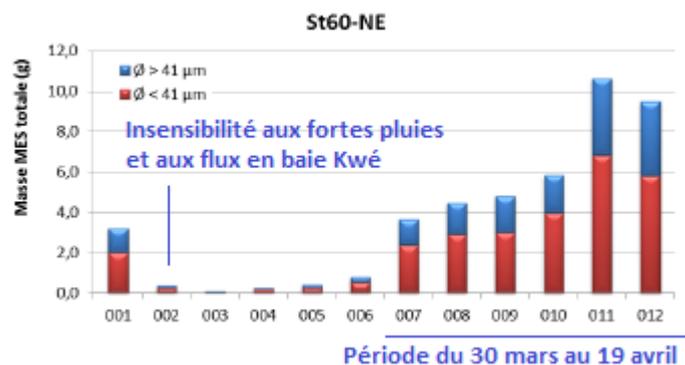
Globalement, sur St06-Baie Kwé, les flux de MEST totale comme leur concentration en Nickel, ne montrent pas une évolution significative depuis 2007, en dehors des pics pluviométriques intenses (2013 et 2018). La légère diminution du ratio Ca/Fe indique que l'influence terrigène a augmenté, cependant les MES d'origine marine restent toujours prédominantes et ce ratio semble se stabiliser ses dernières années.

- St 60 NE Près du diffuseur (canal de la Havannah)

- **Les masses moyennes collectées sur St 60 NE** : se distribuent entre 0,090 g et 10,65 g avec une moyenne de $3,66 \pm 3,62$ g ce qui est très faible par rapport à la station en baie Kwé. Les MES piégées sont composées majoritairement de fraction fine ($\emptyset < 41\mu\text{m}$) de 62 ± 6 %. (A ne pas confondre avec la nature du sol composé de sédiments lourds et grossiers – arénites- dans le fond du canal).
Cependant en mars/avril 2018 c'est la plus forte masse de MES collectée dans les flux depuis 2007.

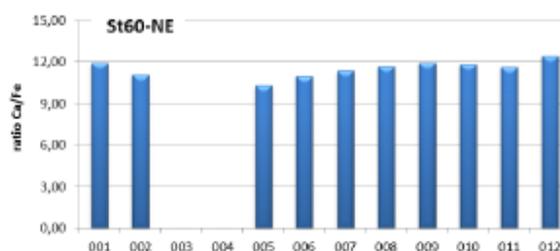
- Les godets qui ont recueilli le plus de MES ne sont pas ceux qui ont subi une forte séquence pluvieuse (comme le godet n°2)
- Ce sont les derniers godets qui montrent une augmentation de la récolte en MES dans le flux soit ceux de la période : 30 mars /19 avril. Période sans forte pluviométrie.
- La barrière hydro dynamique est bien confirmée, le fort flux (godet n°2) issu de la baie Kwé sous l'influence des pluies violentes, n'est pas enregistré sur St06.

Figure 66 : Masse totale des MES piégées durant 48 jours par les 12 godets (suivi continu séquentiel des flux de MES) dans le champ proche du rejet de l'effluent (St 60-NE) et fraction fine ($<41\mu\text{m}$) ou grossière ($>41\mu\text{m}$)



- **Les teneurs en carbonates** sont de l'ordre de 95% (dans la fraction fine ($\emptyset < 41\mu\text{m}$) en St 60 NE), les MES sont quasi-exclusivement composés de minéraux d'origine marine, notamment l'aragonite et la calcite. Cela confirme bien le zonage des hydro-régions, **le centre du canal de la Havannah est très peu influencé par les apports terrigènes même au droit des baies de Port boisé et de la baie Kwé et même lors des fortes pluies.** (Cependant les secteurs des vents influent aussi et complexifient le phénomène).
- **L'augmentation du flux de MES à partir du godet n°7 n'est pas marquée d'une augmentation de la signature terrigène.** Le ratio Ca/Fer ne diminue pas, mais n'augmente pas non plus de façon significative. Il est STABLE sur le long des 10 séquences, il est élevé et oscille entre 12 et 9).

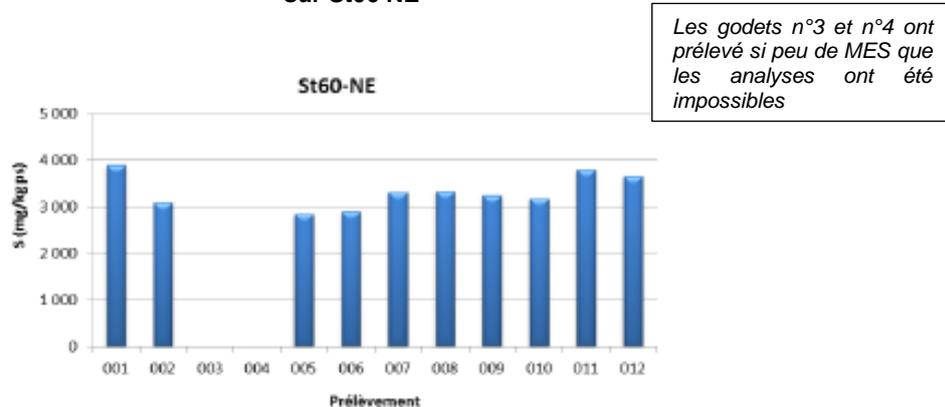
Figure 67 : Normalisation du calcium par le fer (ratio Ca/ Fe) obtenu dans les fractions fines ($\emptyset < 41\mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St06



Les godets n°3 et n°4 ont prélevé si peu de MES que les analyses ont été impossibles à réaliser.

Il est logique de se questionner sur une possibilité de MES de nature « gypse » à partir d'avril, dans cette hypothèse les carbonates et le soufre devraient augmenter à partir du godet n°7 : Ce n'est pas le cas.

Figure 68 : Concentration en soufre mesuré sur la fraction fine de chaque godet de prélèvement des MES sur St06 NE



Entre les campagnes (depuis 2007) les concentrations en S sur St07 montrent très peu de variation.

- **La fraction fine de MES récoltées est analysée**, le tableau suivant compile les données depuis 2007. Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes des éléments varient peu, plus particulièrement pour le Ca qui est grandement majoritaire. Les concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni obtenues lors de cette campagne 2017 sont environ 2 fois supérieures à celles enregistrées en 2007 pour le Cr et Fe, et dans une moindre mesure pour le Ni, les niveaux demeurent tout de même largement inférieurs à ceux mesurés en juillet-août 2013.

Figure 69 : Compilation des données moyenne ± écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St60-NE.

Campagne	St60-NE					
	Éléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Févr. - Mars 2007	340 410 (n=1)	11,0 (n=1)	332 (n=1)	9 910 (n=1)	109 (n=1)	136 (n=1)
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Janv. - Mar 2012	293 760 ± 16 723	25,6 ± 6,6	662 ± 72	20 959 ± 2 895	254 ± 123	423 ± 78
Sept. - Oct. 2012	345 918 ± 19 677	29,0 ± 5,0	566 ± 23	18 347 ± 1 641	189 ± 49	345 ± 68
Janv. - Mars 2013	306 914 ± 5 219	21,3 ± 2,6	834 ± 58	26 131 ± 2 022	262 ± 25	478 ± 39
Juil. - Août 2013	280 315 ± 16 630	35,5 ± 10,5	921 ± 179	32 693 ± 6 925	358 ± 93	558 ± 106
Avr. - Juin 2014	302 211 ± 9 477	19,6 ± 2,3	569 ± 41	17 740 ± 1 958	195 ± 32	322 ± 36
Sept. - Oct. 2014	313 173 ± 7 856	24,8 ± 3,8	725 ± 101	25 695 ± 4 668	204 ± 30	386 ± 64
Janv. - Mars 2015	325 637 ± 9 166	31,6 ± 6,5	848 ± 174	28 754 ± 5 415	329 ± 61	506 ± 95
Juil. - Sept. 2015	347 224 ± 3 5214	25,6 ± 3,8	702 ± 63	22 628 ± 2 287	298 ± 38	416 ± 41
Mai - Juil. 2016	279 965 ± 3 4471	25,9 ± 5,2	439 ± 51	22 735 ± 2 589	251 ± 35	365 ± 52
Oct. - Nov. 2016	342 228 ± 27 452	17,1 ± 1,5	461 ± 33	17 288 ± 1 125	143 ± 16,3	252 ± 17,2
Avr. - Mai 2017	349 128 ± 7 429	33,2 ± 5,87	643 ± 58,9	19 309 ± 2 487	302 ± 76,9	397 ± 32,1
Sept. - Nov. 2017	322 239 ± 9 420	23,8 ± 3,4	589 ± 44	22 557 ± 1 566	361 ± 269	335 ± 29
Mars - Avr. 2018	287 342 ± 4 920	23,3 ± 0,9	621 ± 29	24 993 ± 1 291	219 ± 42	365 ± 25

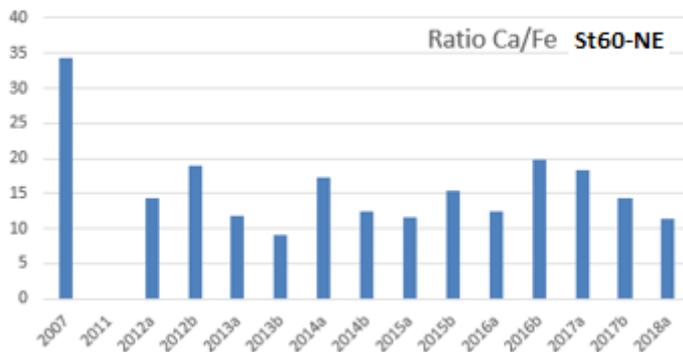
ND : valeur non déterminée.

- **Le ratio Ca/Fe est intéressant** : s'il augmente l'influence marine s'accroît et l'influence terrestre diminue. Ce ratio reste très élevé dans le canal de la Havannah, notamment par rapport à celui des baies. En baie du Prony, l'influence terrigène est supérieure à celle de la baie Kwé.

	Baie du Prony (St15)	Baie Kwé (St06 KW1)	Canal de la Havannah proche diffuseur (St 60 NE)
Ratio Ca/Fe moyen dans les flux de MES	0,36	3	16

Figure 70 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à particules à St60-NE

St60-NE			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Févr. - Mars 2007	34,4 (n=1)	Janv. - Mars 2015	11,7 \pm 2,2
Juil. - Août 2011	ND	Juil. - Sept. 2015	15,4 \pm 1,5
Janv. - Mar 2012	14,3 \pm 2,4	Mai - Juil. 2016	12,5 \pm 2,4
Sept. - Oct. 2012	19,0 \pm 2,7	Oct. - Nov. 2016	19,8 \pm 1,2
Janv. - Mars 2013	11,8 \pm 1,0	Avr. - Mai 2017	18,4 \pm 2,4
Juil. - Août 2013	9,0 \pm 2,3	Sept. - Nov. 2017	14,4 \pm 1,1
Avr. - Juin 2014	17,2 \pm 1,8	Mars - Avr. 2018	11,5 \pm 0,6
Sept. - Oct. 2014	12,5 \pm 1,8	-	-



Par rapport à 2007 le ratio est dans une tendance à la baisse
Si on excepte 2007, qui semble une donnée très haute, depuis 2012 le ratio est stable.

Les flux calculés

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de **18,3 \pm 18,1 g/m²/j**.

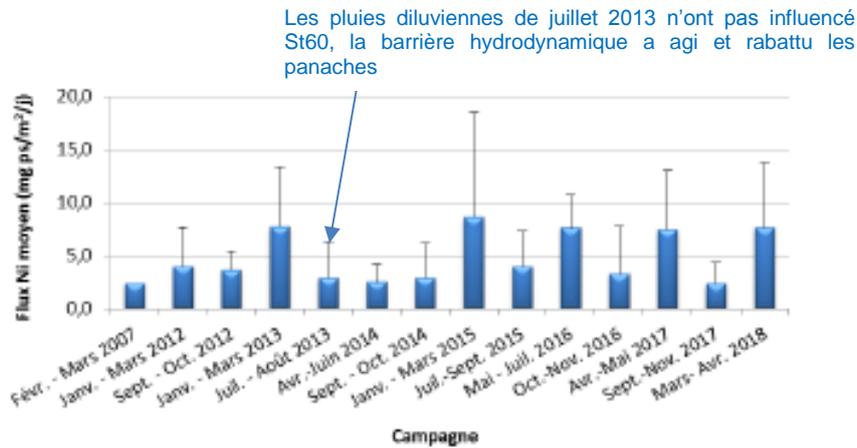
Les comparaisons montrent que les moyennes obtenues depuis 2012 demeurent toutes inférieures à celle enregistrée en 2007 qui était de 31,6 g/m²/j

Figure 71 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en matière particulaire et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE. (Champ proche du diffuseur).

St60-NE					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)	Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)
Févr. - Mars 2007	31,6 \pm 40,1	949	Janv. - Mars 2015	16,0 \pm 15,6	766
Juil. - Août 2011	ND	ND	Juil. - Sept. 2015	9,88 \pm 9,20	474
Janv. - Mar 2012	9,61 \pm 8,87	461	Mai - Juil. 2016	17,1 \pm 10,2	822
Sept. - Oct. 2012	4,10 \pm 5,39	197	Oct. - Nov. 2016	11,1 \pm 17,6	535
Janv. - Mars 2013	12,6 \pm 13,6	603	Avr. - Mai 2017	15,5 \pm 14,2	745
Juil. - Août 2013	5,85 \pm 7,09	281	Sept. - Nov. 2017	7,28 \pm 6,36	350
Avr. - Juin 2014	7,43 \pm 5,05	356	Mars - Avr. 2018	18,3 \pm 18,1	897
Sept. - Oct. 2014	8,13 \pm 9,08	390			

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Figure 72 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE. (Champ proche du diffuseur)



➤ Synthèse des résultats sur le suivi des flux

Baie Kwé : Sur St06-KW, l'évolution des concentrations en métaux indicateurs des composantes latéritiques ainsi que des ratios Ca/Fe, pour S1-2018 par rapport à 2007, mettent en évidence un enrichissement en matière d'origine latéritique, cependant la tendance est faible à l'égard des fluctuations enregistrées au fil des relevés semestriels et du calcul des flux. La campagne 2013 est celle qui a montré les plus grands flux en corrélation avec une pluviométrie exceptionnelle.

Les flux globaux en MEST, quant à eux, restent stables depuis 2014.

Lors des forts épisodes pluvieux de caractères cycloniques, le flux en MEST augmente rapidement sur St06 (centre baie Kwé) ; il diminue ensuite rapidement, tel un pic pulsatile ; par contre lors des épisodes pluvieux modérés, le flux en MEST reste stable (l'action des bassins de sédimentation est supposée).

Les vents forts à modérés des secteurs Sud engendrent houle et ressac qui remettent en suspension de MES issue des platiers.

Rade Nord en baie du Prony : Sur St15 proche de l'embouchure du Creek Baie Nord, les concentrations en métaux latéritiques et le ratio de Ca/Fe restent invariables. Stabilité des flux.

Canal de la Havannah proche du diffuseur : Sur St60-NE les MEST récoltées restent faibles par rapport au MES des baies.

Les concentrations en calcium et en soufre (Ca et S) sont stables, aucune trace d'enrichissement anormal n'est discernée sur St60-NE proche du diffuseur et dans son panache de rejet.

Les pics de MES enregistrés en baie Kwé (lors des fortes pluies) n'atteignent pas St60-NE.

A partir du mois d'avril 2018 une augmentation de MEST récoltées (qui restent dans des quantités faibles par rapport aux hydro- régions côtières) est encore inexplicée. Le suivi des flux de second semestre 2018 va s'employer à vérifier et mieux cerner cette tendance.

Rapport intégral sur les flux en annexe de ce document

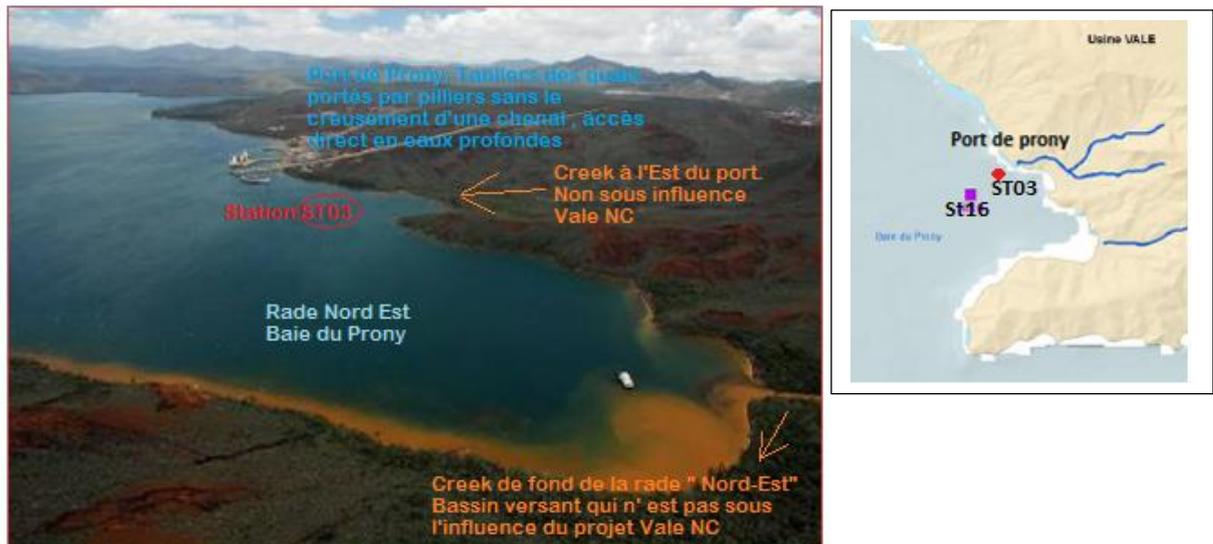
3.2.6. Suivi spécifique dédié au port de Prony (St16)

La station **St16** du port de Prony est suivie de façon réglementaire via plusieurs familles d'indicateurs :

- **La structure et la qualité de l'eau :** 4 fois/ an (*pH, concentrations en métaux dissous, hydrocarbures...*)
- **Les sédiments :** 1 fois/an.
- **Les écosystèmes :** 2 fois/an.

Figure 73: Position des stations suivies au port de Prony

ST03 station écosystémique (benthos, substrat et poissons) **ST16** : station des suivis physico- chimie de l'eau et des sédiments

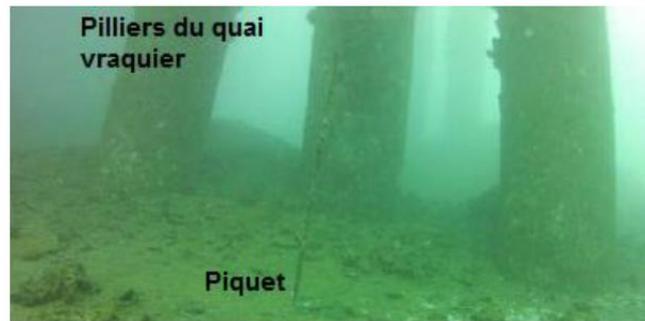

Figure 74 : Photographie du port de Prony après un épisode pluvieux Cstations ST03 et St15 et creek non permanent


► **Rappel : Travaux de nettoyage et de récolte du calcaire/charbon/soufre à l'aplomb du quai vraquier (2015)**

Le travail de nettoyage du fond à l'aplomb du quai vraquier (tablier sur pilotis) a été achevé en 2015. Le suivi des opérations a permis de constater que les prélèvements des chutes par succion des blocs et gravas n'a pas causé impact, ni pendant les travaux de prélèvements, ni après.

Une nouvelle inspection a eu lieu en octobre 2017, les jauges implantées indiquent :

A l'aplomb du quai vraquier une accumulation irrégulière : 20 cm /27 mois. Soit : < 9 cm/an.

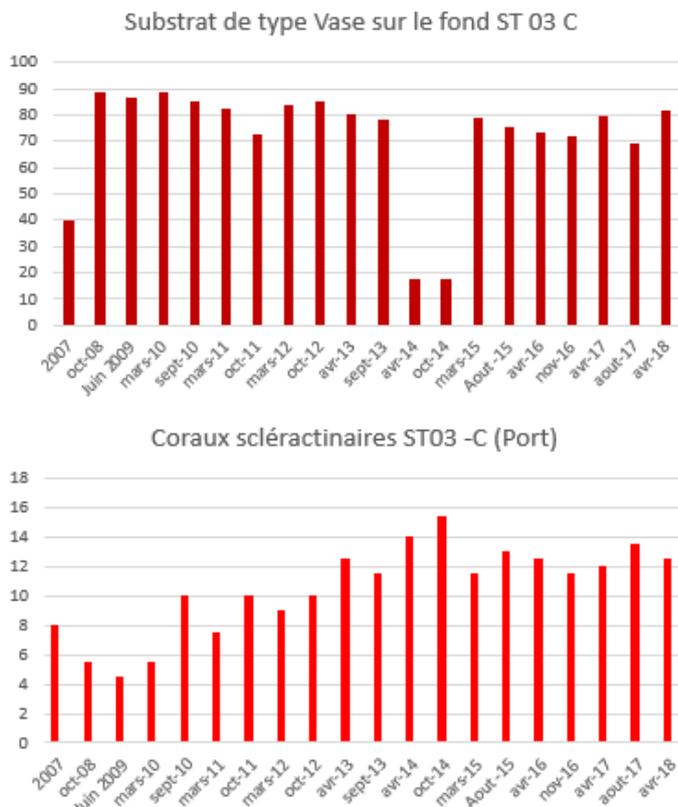
Figure 75 : Inspection des quais- Octobre 2017.


Photographie des fonds le 05/10/2017

Il est constaté :

- La faible présence de matériaux devant les piliers et au niveau des piquets de référence.
- Les nouvelles installations techniques et procédures de déchargement sont efficaces pour minimiser les chutes et les dépôts.
- Les dépôts sont localisés sur une étroite bande à l'aplomb de la zone de chute.
- La fréquence des contrôles ne doit pas être plus courte que tous les deux ans, afin d'obtenir des données significatives.

► **Synthèse des suivis 2007 à 2017 au niveau du port de Prony (Stations : St16 et ST03)**

Figure 76 : Evolution temporeire du % de vase et des coraux sur le transect de fond (C) de la station ST03-Port de Prony


Il n'y a pas d'évolution de l'envasement au niveau de cette station de surveillance ST 03 du port de Prony.

Les fonds sédimentaires de toute la baie du Prony sont constitués de particules fines et l'envasement est naturel, de plus la station ST03 est face au déboucher d'un petit creek temporaire.

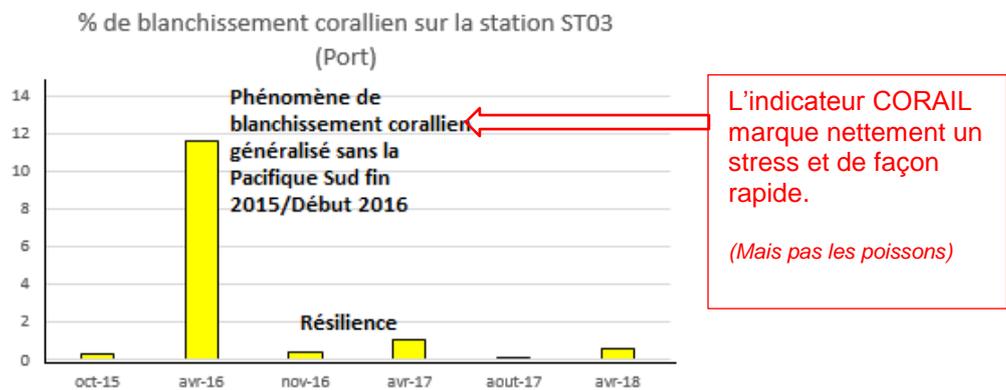
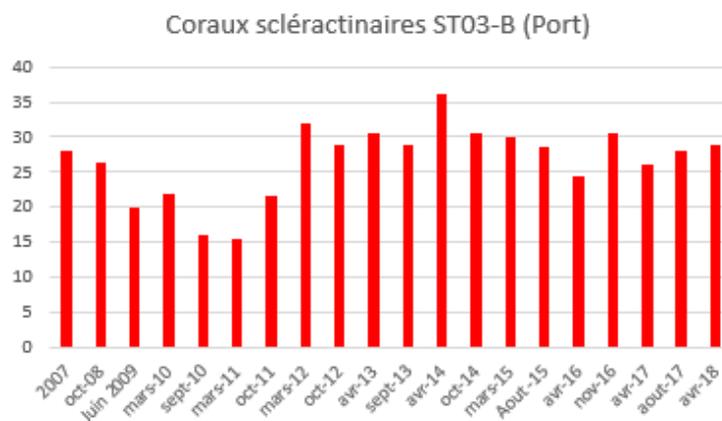
La couverture corallienne est stable.

A ce jour (Avril 2018) pas d'étoile de mer *Acanthaster* mais leur envahissement de la baie du Prony n'exclue pas leur arrivée.



Au niveau de cette station ST 03 les coraux ne présentent ni dégradation ni évolution significative de leur représentativité depuis 2007, comme le montre la figure suivante.

Le blanchissement corallien indicateur d'un stress est faible : Octobre 2015 : 0.37% ; Avril 2016 : 11.57% ; Novembre 2016 : 0.43% ; Avril 2017 : 1.07% ; Septembre 2017 : 0.17 % ; Mai 2018 : 0.63%

Figure 77 : Blanchissement corallien au niveau de la stations ST03 (Port de Prony)

Figure 78 : Evolution temporaire du % de coraux durs (Scléactiniaires) sur le transect B le plus représentatif de la station ST03-Port de Prony


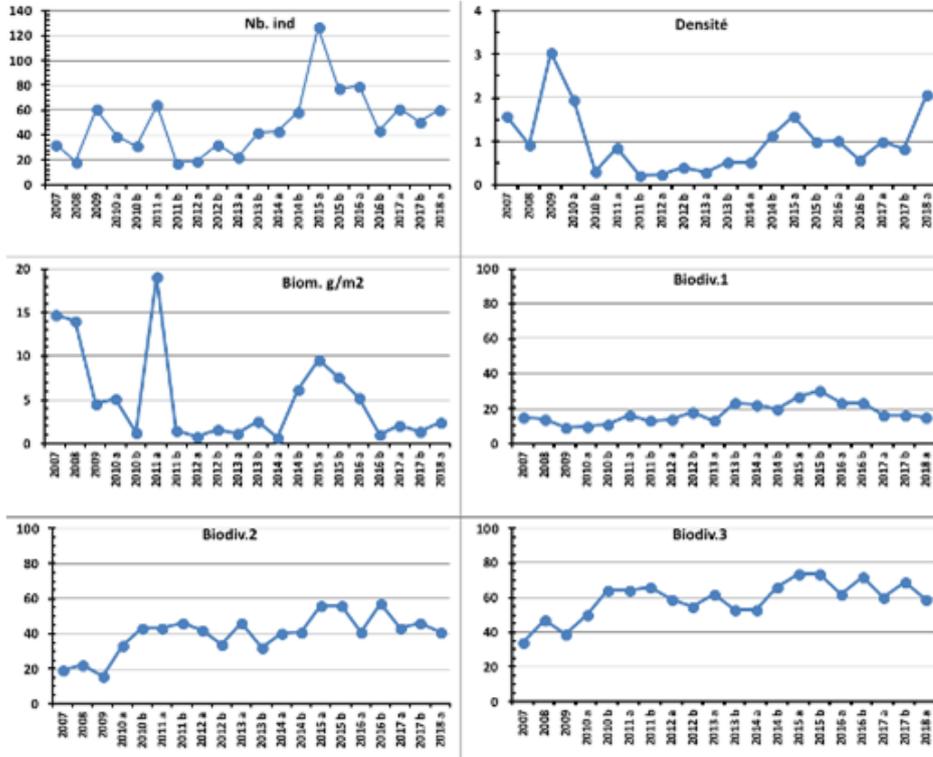
► Au niveau des poissons sur cette station ST03 :

Tableau 20 : Synthèse des suivis poissons sur ST03 (Port)

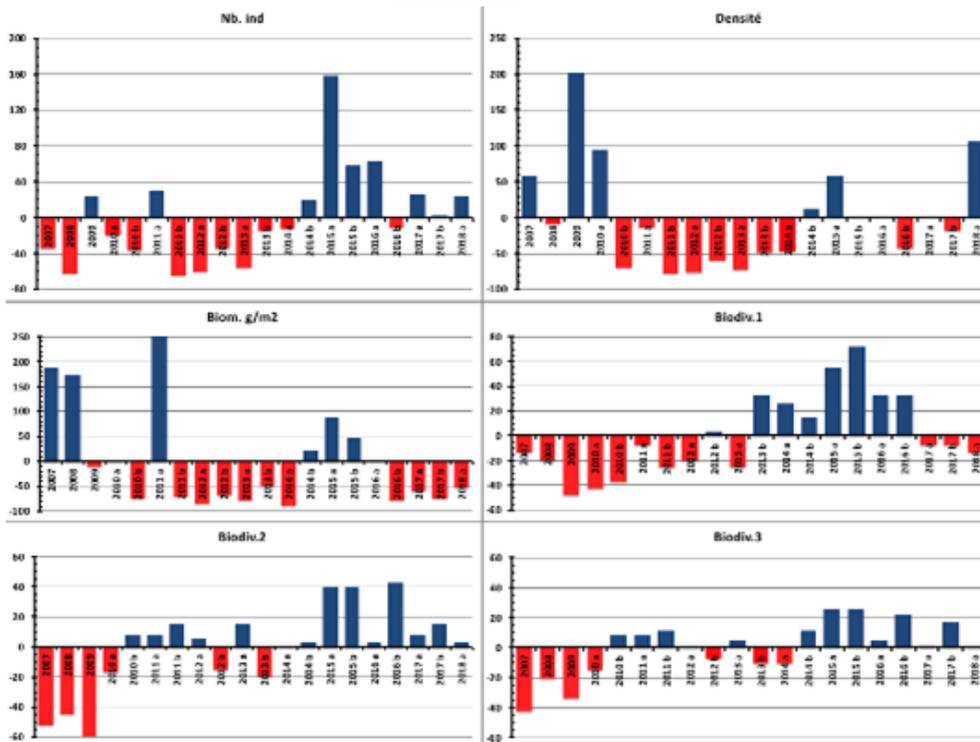
Port ST03		Liste DENV				Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018 a	Transect A	89	2,59	2,16	10		
	Transect B	66	3,17	3,94	11		
	Transect C	29	0,46	1,15	5		
	Moy. ABC	61,33	2,07	2,42	17	41	59
2017 b	Moy. ABC	50,33	0,82	1,33	16	46	69
2017 a	Moy. ABC	61,33	1,00	2,05	16	43	60
2016 b	Moy. ABC	43,67	0,57	1,06	23	57	72
2016 a	Moy. ABC	79,00	1,02	5,25	23	41	63
2015 b	Moy. ABC	77,33	0,99	7,54	30	56	74
2015 a	Moy. ABC	124,33	1,56	9,21	27	48	74
2014 b	Moy. ABC	58,67	1,12	6,24	20	41	66
2014 a	Moy. ABC	43,00	0,52	0,62	22	40	53
2013 b	Moy. ABC	42,00	0,51	2,54	23	32	53
2013 a	Moy. ABC	22,00	0,28	1,14	13	46	62
2012 b	Moy. ABC	32,33	0,41	1,62	18	34	55
2012 a	Moy. ABC	19,33	0,24	0,80	14	42	59
2011 b	Moy. ABC	17,67	0,22	1,50	13	46	66
2011 a	Moy. ABC	64,00	0,86	19,13	16	43	64
2010 b	Moy. ABC	31	0,31	1,26	11	43	64
2010 a	Moy. ABC	39,00	1,95	5,13	10	33	50
2009	Moy. ABC	60,66	3,03	4,55	9	16	39
2008	Moy. ABC	18,33	0,92	14,05	14	22	47
2007	Moy. ABC	32,30	1,59	14,73	15	19	34

Figure 79 : Evolution des paramètres suivis pour l'étude des poissons, depuis 2007 sur la station ST03 (Port)

Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST03)



Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST03)



AVRIL 2018 ST 03 (Port) :

- Pas d'étoiles de mer *Acanthaster planci* ;
- Peu de blanchissement corallien ;
- Adaptation des coraux à l'envasement de type « fond de baie » ;
- Au niveau des poissons : Ce sont tous des juvéniles. Sur l'ensemble des *transects* de la station, 184 individus appartenant à 17 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 2.07 poissons/m² pour une biomasse de 2.42 g/m². 59 espèces complémentaires (e.g. hors des *transects* et hors liste restreinte) ont été observées sur la station.

Cf. rapport intégral en annexe pour une description détaillée de cette station et l'ensemble des données.

► Au niveau de la qualité de l'eau : La station St 16 ne présente aucune anomalie de la qualité de l'eau comme indiqué dans le chapitre 3.2.2. Pas d'incident. Pas d'hydrocarbures.

Figure 80 : Concentrations en métaux à 3 profondeur sur la station St16 du port de Prony, comparaison avec des stations témoins qui ne sont pas sous pression (St18, St 19 et St03)

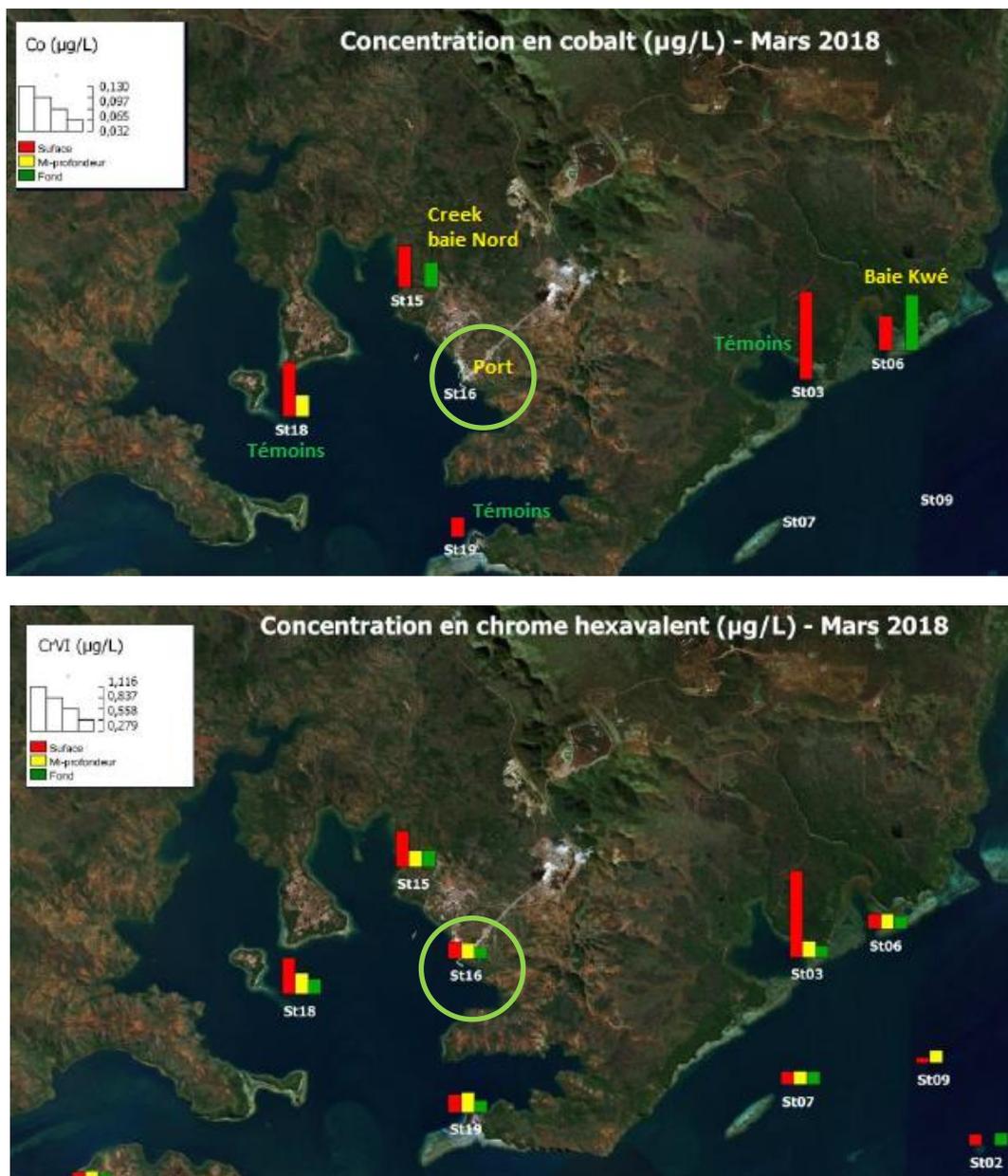
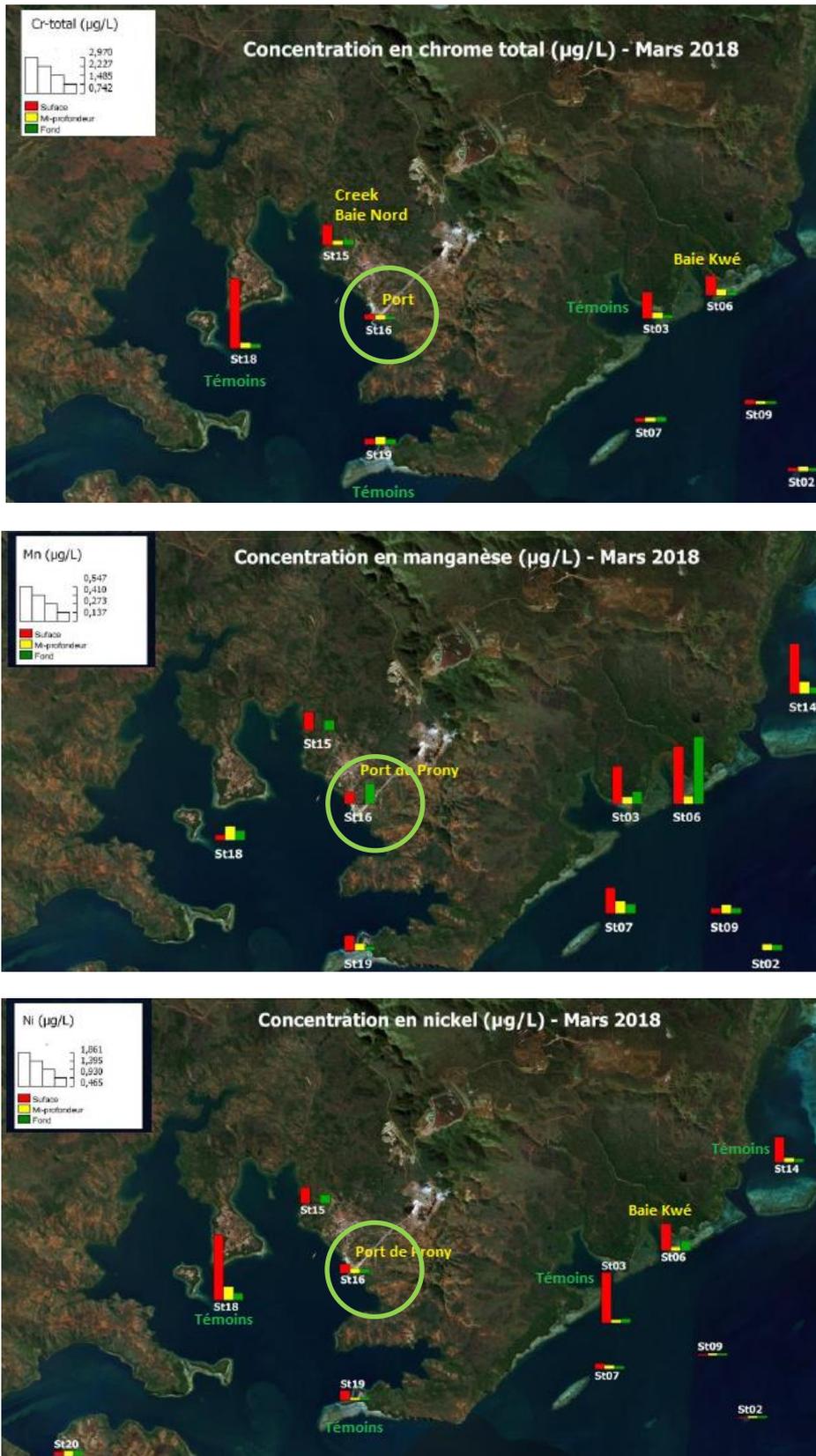


Figure 81 : Concentrations en métaux à 3 profondeurs sur la station St16 du port de Prony, comparaison avec des stations témoins qui ne sont pas sous pression (St18, St 19 et St03)



3.2.7. Suivi des taux de sédimentation 2017 (triennal)

La dernière campagne de terrain a été réalisées en mai 2017 sur les 4 stations : St06 en baie Kwé, St 16 au port, St 15 en face le creek de la Baie Nord et St 13-3 près de l'île Ouen (Nord-Est de l'île Ouen), des carottes sédimentaires de 14 à 35 cm de profondeur ont été extraites afin de déterminer les taux d'accumulation dans l'aire d'influence du complexe Vale NC.



Les résultats ont été présentés dans le rapport annuel S2-2017.

3.2.8. Suivi de la qualité des sédiments (triennal)

Les dernières campagnes d'analyses de la qualité des sédiments sur les 14 stations dédiées ont eu lieu en 2012 et 2015, ce suivi est triennal (sauf au port où il est annuel), aucune campagne globale ne s'est déroulée en 2017 et la campagne 2018 est en cours.

Les résultats seront présentés dans le bilan annuel S2-2018.

3.2.9. Evaluation et conséquences des incidents

L'échouage du porte container Kea-Trader sur le récif Durant ne concerne pas le périmètre suivi.

Le premier semestre de l'année 2018 n'a pas donné lieu à des incidents ou pollutions en milieu marin, dans le secteur sous influence de Vale NC.

3.2.10. Suivis supplémentaires DGT

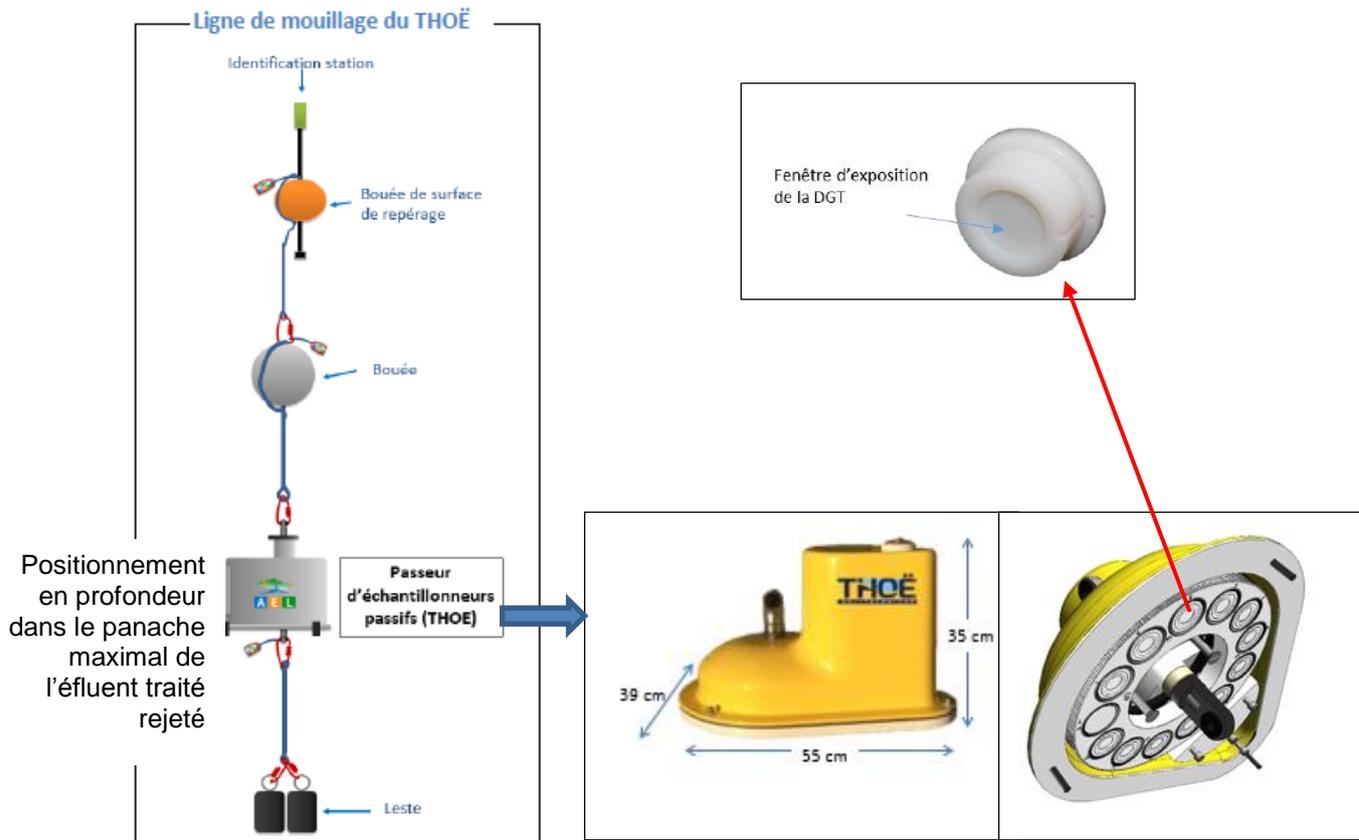
Un réseau de dispositifs automatiques de suivi continu des concentrations en manganèse (et autres métaux) est mis en place en décembre 2016 dans le champ proche du diffuseur sous-marin de l'effluent traité.

Des capteurs DGT (*Diffusive Gel in Thin layer*) sont positionnés de part et d'autre du diffuseur (30 et 60 mètres) et captent les métaux dissous dans l'eau de mer profonde dans le panache de l'effluent : Mn, (+Co, Ni, Cr). Les automates THOE passent des capteurs selon une séquence choisie, cela permet un suivi continu (intégrateur) mais séquencé.

Les automates THOE sont relevés tous les deux mois et les films accumulateurs sont traités en laboratoire, pour en déduire les concentrations moyennes en métaux durant le temps d'exposition. (Cf. figure et tableau suivants).

Cette surveillance supplémentaire est une exigence de l'arrêté n° 2767/2016 du 21 novembre 2016.

Figure 82 : Suivi en champ proche du diffuseur



Stations d'exposition :

- . ST60 SW. Elle située à 60 mètres au Sud-Ouest du centre du diffuseur ;
- . ST60 NW. C'est la station symétrique de la précédente mais au Nord- Ouest du diffuseur (l'autre côté) ;
- . ST30 SW. Elle est située à 30 m au Sud-Ouest du centre du diffuseur et à 3 mètres au-dessus du fond ;
- . ST30 NW. C'est la station symétrique de la précédente mais au Nord- Ouest du diffuseur (l'autre côté) ;
- . ST 1000 SW. La station témoins est située à 1 km du diffuseur dans son Sud- Ouest.

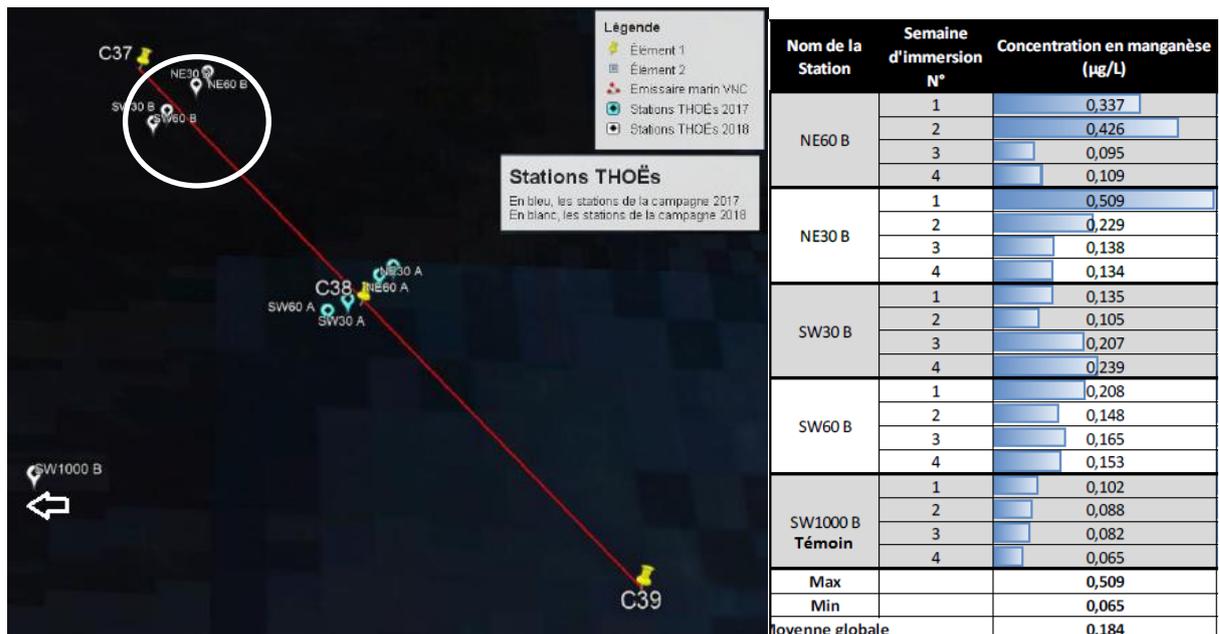
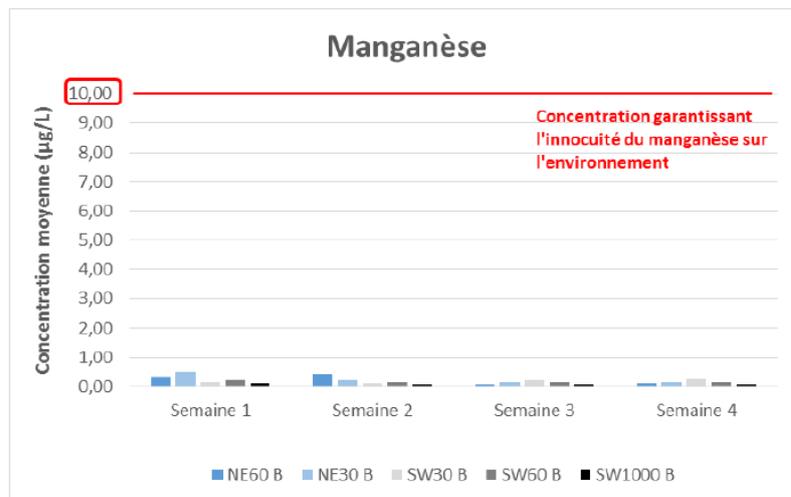
Les 5 appareillages sont situés à 3 mètres au-dessus du fond du canal. Le dispositif est ainsi immobilisé dans une zone de concentration « immanquable » du panache de l'effluent bien étudiée auparavant par diverses missions de modélisations, traçages colorés et prélèvements en champ proche du diffuseur.

Résultats S1/2018 et synthèse :

L'échantillonnage classique ou « instantané » permet d'avoir une concentration en métaux dissous à un instant donné sans que celui-ci ne reflète forcément l'impact chronique d'un rejet d'effluent dans l'environnement. L'échantillonnage « intégré » par passeur d'échantillonneurs passifs, permet d'obtenir une concentration moyenne des métaux dissous présents dans le champ du diffuseur durant la période considérée. Elle considère tous les cycles de marée qui génèrent les courants et de ce fait l'intensité et l'orientation du panache de dispersion de l'effluent.

Ces suivis ont été effectués du 16/06/2018 au 14/07/2018 pour cette campagne.

Les automates passeurs des DGT ont été déplacés depuis le champ situé au centre du diffuseur vers le champ situé en début du diffuseur afin de capter les premiers orifices de rejets qui ont un débit supérieur (en raison de la perte de charge à mesure que l'on va vers la fin du diffuseur).

Figure 83 : Emplacement des automates passeurs des DGT et Concentration en métaux dissous, le Manganèse. Suivi par DGT.

Figure 84 : Histogrammes présentant les concentrations moyennes (µg/L) en manganèse pour chaque station selon la semaine du suivi. La ligne rouge correspond à la valeur maximale recommandée afin de garantir l'innocuité sur l'environnement.


Tout comme en décembre 2016 et en 2017, cette campagne du premier semestre 2018 montre que quelle que soit la période (marées et météos) ou la station considérée, la concentration intégrée en manganèse n'a jamais atteint la limite autorisée des 10 µg/L, même à 30 mètres des orifices de rejets les plus actifs (en début du diffuseur) et en profondeur. 10 µg/L en [Mn] garantissent l'innocuité sur les biotes les plus sensibles, comme acté par les différents rapports d'experts qui préconisaient un rejet initial à de [Mn] :10 mg/L

Rappel : Au niveau des concentrations ponctuelles en Mn relevés (au fond) lors des prélèvements d'échantillons d'eau et des suivis semestriels, sur la Station St 09 de surveillance du diffuseur, elles restent comparables aux concentrations des stations témoins. (Cf. chapitre 3.2.2.2 et figure 33)

4. CONCLUSION

	Rapport finalisé et remis aux administrations de contrôle
	La mission est en cours et sera analysée dans le rapport de fin d'année

	Indicateurs conformes
	Indicateurs en tendance évolutive. Suivi renforcé.
	Alerte pour modification, pollution ou incident environnemental

Tableau 21 : Synthèse des résultats des missions de suivis du milieu marin S1/2018.

Suivi réglementaire S1/2018	Indicateurs	Premier semestre 2018	Rapports Semestriels S1/2018
Structure de la colonne d'eau de mer	Physique Chimique	Conforme aux valeurs attendues en baie Kwé, sur les stations proches du rejet de l'effluent, au niveau du port de Prony et près du Creek Baie Nord. Structure de la colonne d'eau sans variation de salinité ou de température, en profondeur, sur la station proche du diffuseur. Dessalure de surface suite aux fortes pluies plus marquée sur la station témoins de Casy alimentée par les bassins versants situés à Ouest de la baie du Prony (hors zone d'influence VNC).	
Qualité de l'eau et concentrations en métaux	Chimique	Conforme aux valeurs attendues, notamment sur les stations proches du rejet de l'effluent, au niveau du port de Prony, du creek Baie Nord et en baie Kwé. Pas de pollution ou incident. La station Casy enregistre la signature terrestre (métaux, notamment le chrome) des eaux de surface qui font suite aux fortes pluies. Le suivi supplémentaire du Mn en champ proche du diffuseur ne révèle pas de non-conformité à l'égard de la diffusion du Mn et ses concentrations sont très inférieures à la valeur-guide de bonne santé du milieu.	
Suivi des écosystèmes	Biologique Corail Benthos Poissons	Le blanchissement corallien (dû aux conditions climatiques de janv./fév.2016 dans tout le Pacifique) a disparu, laissant certaines colonies mortes mais la résilience amorcée fin 2016 se poursuit et le taux de blanchissement est très faible. Pas de bloom algal ou de cyanophycées, pas de prolifération d'étoiles de mer dévoreuses du corail sur les stations sous influence VNC. Conformité au niveau des stations qui entourent le rejet d'effluent, aucun stress anormal n'est décelé sur les stations sous pression VNC. 7 étoiles de mer <i>Acanthaster</i> sont présentes sur la Station (témoins) de l'îlot Casy et 2 sur la station proche du creek Baie Nord. Elles sont à surveiller, d'autant plus que l'IRD a tiré une sonnette d'alarme (juin 2018) sur une invasion d'<i>Acanthaster</i> près de l'îlot Montravel (hors zone d'influence VNC mais en baie du Prony- Ouest.) Hormis la station témoin Casy toutes les stations suivies sont en bon état et comparables aux états initiaux Populations de poissons conformes et en bonne santé.	
Suivi des flux de MES	Physique Chimique (MES)	Les flux en MES restent conformes aux valeurs attendues et corrélés aux forts épisodes pluvieux en baie Kwé.	

Annexes

Annexes	Rapports intégraux	S1/2018
2 0 1 7	Annexe 1	Méthodologies des suivis physico- chimiques et biologiques. V 2017.
	Annexe 2	Rapport S1/ 2018 : Suivi environnemental de la qualité de la colonne d'eau de mer. <ul style="list-style-type: none"> Structure de la colonne d'eau Qualité physico-chimique Concentrations en métaux dissous Evolutions spatiales et comparaison entre stations Evolutions temporelles par rapport aux états de références et aux suivis antérieurs. + Données brutes en fin de rapport.
	Annexes 3	Rapport S1/ 2018 : Suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah. <ul style="list-style-type: none"> Etat de chaque station : substrat, benthos, poissons Comparaison spatiale des stations entre elles Evolution temporelle par rapport aux suivis antérieurs depuis 2007 +Données brutes en fin de rapport.
	Annexe 4	Rapport S1/2018 : Suivi des flux de matières en suspension
	Annexe 5	Abréviations et acronymes.
		Annexes intégrées au rapport S1/2018

ANNEXE 1

Méthodes pour les suivis marins

Actualisation 2017

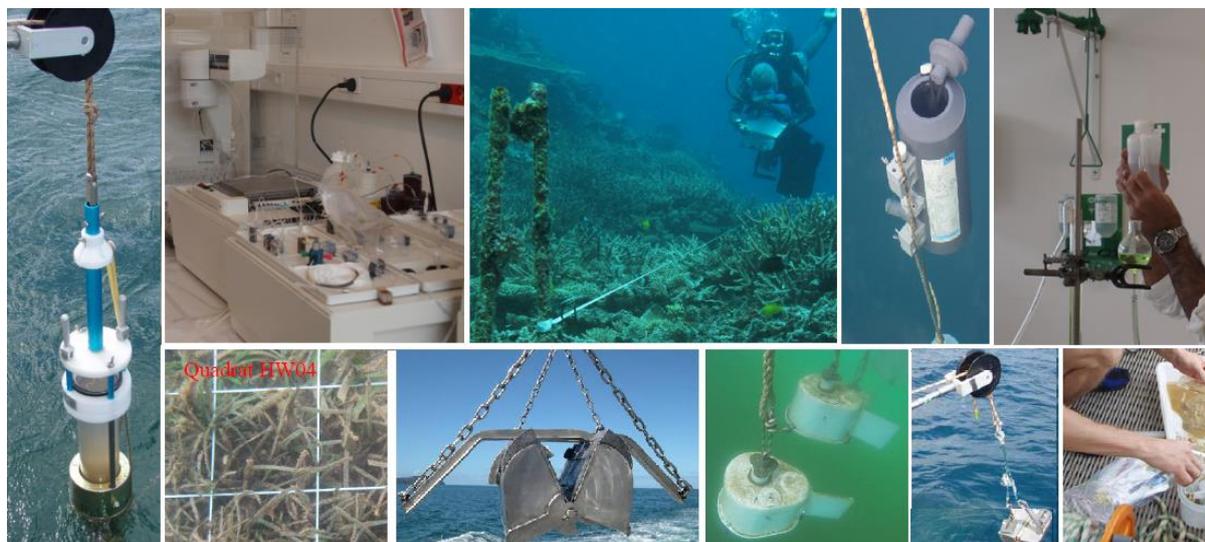


Table des matières

- 1. Qualités physico chimiques de l'eau de mer**
 - 1.1. Structure de la colonne d'eau
 - 1.2. Qualité chimique de l'eau
 - 1.3. Sels nutritifs
 - 1.4. Hydrocarbures
 - 1.5. Métaux
 - 1.6. Résultats
 - 1.7. Données météorologiques
- 2. Ecosystèmes coralliens et populations associées**
 - 2.1. Liste des types de substrats suivis par méthode LIT
 - 2.2. Liste des poissons comptabilisés selon le plan de suivi CCB-
 - 2.3. Recommandations
 - 2.4. Journal de plongée
 - 2.5. Minimisation des biais
 - 2.6. Missions avec entretiens des stations sous- marines
 - a)-Entretien
 - b)-Evaluation (LIT ; Benthos, poissons)
- 3. Herbier**
- 4. Flux de sédiments**
- 5. Qualité des sédiments**
- 6. Taux de sédimentation**
- 7. Evolution temporelle des indicateurs et synthèse**
- 8. Bibliographie**

1. QUALITE DES EAUX MARINES : STRUCTURE DE LA COLONNE D'EAU ET PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Les paramètres mesurés ou analysés dans les échantillons d'eau prélevés donnent des indications instantanées et ponctuelles.

- ▶ Les mesures et les prélèvements doivent être positionnés par rapport :
 - aux cycles des marées et
 - aux conditions météorologiques du jour et de la semaine précédant la mission (cumul des pluies).
 - a la saison elle-même qui doit être prise en compte.

- ▶ Les méthodes de prélèvements des échantillons d'eau et l'utilisation des sondes doivent garantir une absence de biais par des contaminations extérieures (exemples : par la coque du bateau et son *antifouling* ; la remise en suspension du substrat lors des prélèvements profonds ; les manipulations des échantillonneurs ; la qualité des flacons appropriés et leur transport /stockage, notamment pour les analyses des métaux et la recherche des hydrocarbures qui demandent des flacons spécifiques.)

- ▶ **Une certification du laboratoire cocontractant qui effectue les prélèvements, en matière de métrologie environnementale est un atout recommandé.**
Vale NC recommande l'accréditation aux laboratoires sous-traitants concernés, ou/et une insertion dans les circuits internationaux d'inter-calibration ainsi qu'une démarche de normalisation notamment à l'égard d'un management de la qualité ISO 9001-2008. Le laboratoire Vale NC est quant à lui accrédité COFRAC 17 025.

- ▶ Les missions de suivi sont sous-traitées et consistent à :
 - Prélever les échantillons.
 - Sur le point de référence le plus exactement possible d'où la nécessité d'un bateau capable de se maintenir en statique sur place et en zones agitées
 - Deux stations homologues (impact et témoins) doivent être échantillonnées le même jour et le plus proche possible en temps l'une de l'autre.
 - Transporter et stocker les échantillons la plus courte durée de temps possible et dans des conditions garantissant leur intégrité.
 - Analyser les échantillons.
 - Effectuer les rapports qui doivent comprendre :
 - une analyse raisonnée des résultats ;
 - une étude de leur évolution spatiale et temporelle ;
 - une base de données.

Ces missions sont confiées par Vale Nouvelle-Calédonie à un (ou plusieurs) bureaux d'études, instituts et/ou laboratoires externalisés. Ceux-ci doivent être techniquement équipés pour effectuer ce travail en toute sécurité, notamment en moyens navigants, dans des délais compatibles avec les fréquences des suivis et **avec des techniques d'analyses permettant des limites de quantification adaptées** pour respecter les plans de suivi et permettre une validation et une comparaison temporelle des résultats, notamment sur des métaux concentrées de façon infinitésimale en eau de mer.

1.1. Structure physique de la colonne d'eau

Les paramètres suivis en sub-surface (à moins de 2 m de profondeur), à mi- profondeur et au fond (sans toucher le fond) de la colonne d'eau, sur chacune des 14 stations, sont les suivant :

- **Température,**
- **Salinité,**
- **Fluorescence,**

- **Turbidité.**
- + Un capteur d'oxygène dissous est envisagé.

Pour alerter en cas d'hypoxie, le suivi de la concentration en oxygène dissous sur l'ensemble de la colonne d'eau, par l'ajout d'un détecteur dédié sur la sonde CTD, est envisagé.

Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau et pour détecter la présence (ou pas) d'une thermocline ou d'une halocline.

- Température : elle dépend de la saison, des apports d'eau douce et de l'hydrodynamisme du milieu selon les marées et les « cisaillements » entre masses d'eau, notamment à l'approche d'une passe lagon/mer de fort hydrodynamisme. Une **thermocline** peut être enregistrée (ou pas) grâce aux relevés instantanés des sondes multiparamétriques. La température peut aussi être enregistrée en continue durant plusieurs semaines sur certains points.
- Salinité : En milieu côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. Une **halocline** très marquée peut être enregistrée, ou pas, en fonction du débit permanent ou saisonnier des creeks. En fonction des courants, des vents et de l'hydrodynamisme de la zone, les eaux dessalées de moindre densité peuvent restées cantonnées en surface durant plusieurs jours et affecter les zones peu profondes des fonds de baies lorsqu'elles y restent confinées. Ce phénomène dépend de la pluviométrie, notamment sous un régime météorologique sujet à fortes dépressions tropicales (qui peuvent dépasser 400 mm de pluie /24 h), de la topologie d'embouchure des rivières et du régime des vents qui accentuent le confinement ou pas, ainsi que des courants de marées.
Remarque : La salinité est exprimée en unité ‰ (exemple : 37 grammes pour 1000) le plus communément et pour une compréhension aisée des lecteurs, cependant elle est déduite d'un rapport entre deux conductivités selon la technique des sondes CTD, elle devrait donc être exprimée sans unité, certains logiciels fournissent une courbe sans unité mais la plupart indiquent la salinité en ‰.
- Turbidité : La turbidité est définie comme étant la « *réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes* ». (Aminot et Kérouel 2004). Elle peut indiquer l'existence d'apports en particules (MES) provenant des rivières (Exemples : apports terrigènes caractéristiques de la baie de Prony, des stations côtières du Nord du canal de la Havannah et du canal Woodin), ou bien une remise en suspension de dépôts sédimentaires du fond (par exemple en baie Kué par vents de secteur Sud de plus de 25 nœuds), elle peut aussi être due à la fluorescence planctonique.
La mesure NTU de la turbidité est une méthode néphélométrique normalisée pour mesurer la turbidité de l'eau. La turbidité est obtenue par la mesure de la lumière diffusée par les particules à 700 nm. Le turbidimètre mesure l'intensité de la lumière dispersée à un angle de 140 degrés par rapport au trajet de la lumière incidente.
La linéarité de la réponse permet de calibrer le capteur avec une solution de Formazine et de l'exprimer en NTU (Nephelometric Turbidity Unit).
Cette diffusion est surtout liée aux matières en suspension (MES) et elle dépend de la taille, de la forme et de l'indice de réfraction des particules ainsi que de la longueur d'onde de la lumière incidente.
 - Les substances dissoutes agissent très peu sur ce coefficient de diffusion (dans le cas d'une eau sans particules).
 - La transparence de l'eau, quant à elle, dépend de la coloration de l'eau (liée à la présence de substances dissoutes) et aussi de sa teneur en MES, de l'érosion des fonds marins et de l'activité biologique.
- La fluorescence permet d'estimer la concentration en chlorophylle-a, et donc de quantifier globalement la biomasse du phytoplancton. Un éventuel pic de biomasse au sein de la colonne d'eau peut être détecté. La concentration en chlorophylle-a est obtenue par excitation des pigments à la longueur de 470 nm qui en retour fluoresce. La linéarité de la réponse

permet de calibrer le capteur avec une solution de *Thalassiosira weissflogii* (culture de phytoplancton) et de l'exprimer en en CEC (Concentration équivalente en chlorophylle).

La structuration verticale des masses d'eau, sur chacune des stations échantillonnées, est obtenue par des profils verticaux réalisés à l'aide d'une sonde CTD SBE19 équipée de capteurs.

La fréquence d'acquisition des données étant de 0,5 secondes et la vitesse de descente d'environ 0,5 m/s, une série d'acquisition est générée tous les 25 cm.

Les données des capteurs sont stabilisées avant la descente de la sonde et l'enregistrement est uniquement effectué lors de la descente de la sonde.

L'étalonnage de la sonde est réalisé régulièrement conformément aux prescriptions du fabricant et aux préconisations AQ/CQ avec audit ISO du laboratoire. Les fiches de calibrations sont disponibles au laboratoire concerné.

Les paramètres mesurés par la sonde CTD et les unités correspondantes sont les suivants :

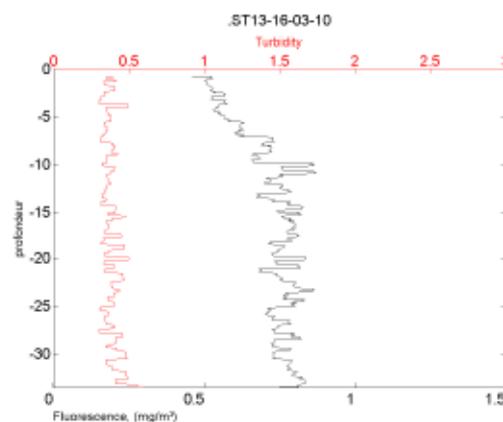
- La pression (elle permet de calculer la profondeur, une fois convertie en unités métriques de profondeur) ;
- La salinité (déduite de la mesure de la conductivité, sans unité, ou bien convertie en ‰) ;
- La température (°C) ;
- La turbidité : elle est obtenue par mesure de la néphélométrie exprimée en NTU (Méthode EPA) ;
- La fluorescence in-vivo est exprimée en concentration équivalente en chlorophylle (CEC) L'unité est donnée en mg/m³.

Tableau 1: Méthodes et limites de détection pour le suivi de la structure de la colonne d'eau de mer avec des sondes multiparamétriques

PARAMETRES	GAMME	PRECISION	RESOLUTION
Conductivité (S.m ⁻¹)	0 - 9	0,0005	0,0007
Température (°C)	-5 à +35	0,005	0,0001
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (µg.L ⁻¹ Chl)	0 - 50	NA*	0,025

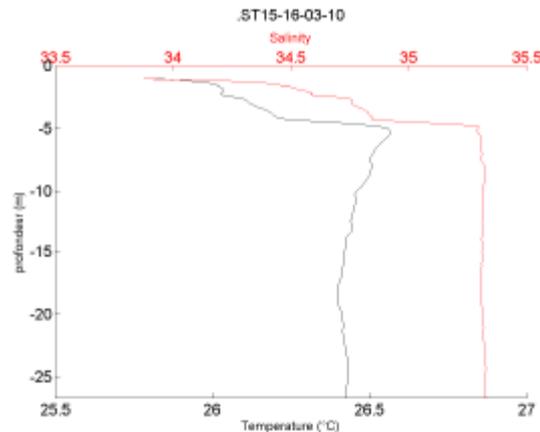
Pour chacune des stations suivies des profils verticaux obtenus sont présentés selon les schémas suivants qui permettent une lecture rapide adaptée à cette méthodologie (cf. figures suivantes) :

**Figure 1 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST13, le 16-03-10
Turbidité (rouge) et fluorescence (noire) de la surface (0) jusqu'au fond (-36m)**



La figure ci-dessus indique que la turbidité et la fluorescence ont été enregistrées par une sonde multiparamétrique, entre 0 et 36 m de fond, (à -37 m le fond du lagon est atteint), sur la station St13 le 16/03/2010 (pour cet exemple) ; l'état de la marée et la pluviométrie au moment précis de ces relevés ont été notés. Une telle structure est dite « verticalement homogène », elle est caractéristique du centre du canal de la Havannah ; par opposition à la structure suivante qui montre que la colonne d'eau n'est pas homogène car une couche d'eau moins salée et plus fraîche est présente en surface (influence de l'eau douce des creeks). Cela est caractéristique de la baie du Prony, une thermocline et une halocline cisailent la colonne d'eau.

Figure 2 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST15, le 16-03-10, salinité et température, de la surface jusqu'au fond



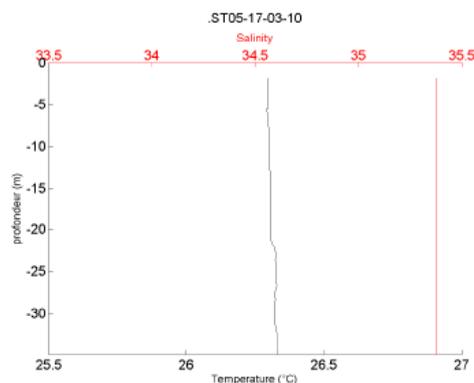
La figure ici dessus signifie que la salinité et la température entre 0 et 26 m de profondeur ont été enregistrées par la sonde multiparamétrique CTD sur la station St15 (en face le creek de la Baie Nord en baie du Prony, le 13/03/2010). Le fond du lagon est à -27 m. L'eau de surface véhiculée par le creek permanent est nettement détectée et indiquée sur le profil des courbes par une dessalure sur des 5 premiers mètres d'eau. Cette couche dessalée est aussi à une température plus basse de 1°C.

Les prélèvements d'échantillons d'eau de surface (-2m) capteront donc bien cette couche superficielle de forte empreinte terrigène, en hydro région de fonds de baie.

L'état de la marée au moment de ce relevé a été noté, ainsi que la pluviométrie durant la journée de la mission et les 5 jours précédents. Ils sont corrélés à la structure de la colonne d'eau.

Dans le canal de la Havannah le profil vertical est homogène et non influencé par l'effluent ou par des eaux douces de creeks côtiers (courbe verticalement rectiligne) Cf. exemple ci-dessous .

Figure 3 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST05, le 17-03-10, salinité et température, de la surface jusqu'au fond



1.2. Qualité chimique de la colonne d'eau

Les paramètres analysés dans les échantillons d'eau donnent des indications instantanées et ponctuelles.

Les prélèvements doivent être positionnés par rapport aux cycles des marées et aux conditions météorologiques de la saison et de la semaine précédant la mission (cumul des pluies).

-Les prélèvements d'eau sont réalisés à l'aide de bouteilles Niskin. Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en PEHD (sauf exigence spécifique de la substance à analyser). **Les échantillons sont conditionnés directement à bord, après le prélèvement, puis conservés au froid (4 °C) jusqu'à leur analyse en laboratoire qui se fait le jour même du prélèvement** pour les paramètres non conservables suivants : la mesure du pH, prétraitement pour l'analyse de MES, des éléments majeurs dissous.

Sur le terrain les prélèvements sont effectués en portant la plus grande attention aux manipulations par un ingénieur ou un technicien formé, afin d'éviter toute contamination par la coque du bateau, les fonds marins qui ne doivent pas être mis en suspension lors des prélèvements profonds, ou par les échantillonneurs eux-mêmes (fumée de cigarette, échappement du moteur).

Pour déterminer la qualité chimique de la colonne d'eau les paramètres suivants : pH, matières en suspension (MES), calcium, potassium, magnésium, sodium, chlore, et sulfates sont analysés et indiqués à 3 profondeurs différentes pour chacune des stations.

-La mesure des matières en suspension (MES) est importante dans les milieux côtiers et estuariens car elle reflète l'importance des apports terrigènes et la remise en suspension de sédiments sous l'influence des conditions météorologiques. Les MES influencent également la production primaire (chlorophyllienne): une charge particulaire élevée peut modifier l'épaisseur de la couche euphotique.

Cependant : Lors des mesures instantanées sur des échantillons d'eau, le volume d'eau de mer nécessaire pour atteindre une quantité de matière cohérente pour les pesées de MES (en fonction du seuil de sensibilité des balances) est considérable ; la turbidité affichée grâce aux sondes CTD donne une information plus « parlante ». D'autre part :

Le prélèvement instantané d'échantillons d'eau avec analyse de la concentration en MES ne doit pas être confondu avec le suivi intégrateur des flux de particules dont la méthodologie est détaillée plus loin.

-Pour le pH la mesure en laboratoire doit être effectuée le soir même du prélèvement. La fiabilité de la mesure ne peut être assurée que quelques heures après le prélèvement. Le pH-mètre WTW est calibré aux valeurs de 4,7 et 8.

-Les ions majeurs : le suivi de la minéralisation de l'eau de mer par les ions majeurs (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ et Cl^- , SO_4^{2-} , ...) revêt une importance moindre, voire optionnelle. Le suivi de la salinité sur toute la colonne d'eau est déjà informatif et un suivi du degré de minéralisation de l'eau de mer par échantillonnages ponctuels semestriels ne détectera pas des modifications significatives. Il est cependant effectué selon les prescriptions réglementaires 2008 du plan de suivi du milieu marin.

Le tableau suivant présente les méthodes et les limites de détections de chaque paramètre analysé pour déterminer la structure chimique de la colonne d'eau suivie.

Tableau 2 : Méthodes et limites de détection pour le suivi de la qualité de l'eau de mer

Paramètres	Analyses en laboratoire		Limites de détection
pH	pH mètre WTW		0,01 UpH
MES	Filtre Nucleopore	0,45 µm de porosité	0,1 mg/L
Ca	ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy, marque Varian, modèle 730 ES)	(Varian-SpectrAA-300/400).	0,050µg/L
K			
Na			
Mg			
SO ₄ ²⁻	Chromatographie ionique capillaire (Waters, CIA) ;		-
Cl	Méthode de Mohr		-

1.3. ► Sels nutritifs

Les prélèvements d'eau sont réalisés à l'aide de bouteilles Niskin. Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en PEHD ou verre borosilicaté, en fonction des exigences spécifique de la substance à analyser. **Les échantillons sont conditionnés directement à bord, après le prélèvement, puis conservés au froid (4 °C ou congelés à -20°C) jusqu'à leur analyse au laboratoire.**

Sur le terrain, les opérations suivantes sont réalisées **le jour même** du prélèvement pour les paramètres non conservables suivants: (i) prétraitement pour l'analyse de la chlorophylle-a, des nutriments NOP, POP et COP et (ii) analyse de l'ammonium (NH₄).

Les paramètres suivants sont suivis sur chacune des 14 stations et aux 3 profondeurs (sub-surface, médiane et de fond), cela représente 488 données /an :

- **L'ammonium (NH₄⁺)** : dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH₄⁺). Naturellement, il provient des **excrétions animales et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés**. Dans les régions tropicales les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nano-moles.
- **Les nitrate et les nitrites (NO₃ et NO₂)** : l'ion nitrate NO₃ est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme **support principal de la croissance du phytoplancton** qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (NO₃). Si la vitesse de régénération est différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en nitrates variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.
- **Les phosphates (PO₄²⁻)** : dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions ortho-phosphates (PO₄²⁻). Leur concentration dépend de phénomènes physiques et biologiques ou chimiques. **Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique**. En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène, le plus souvent sous **pression agricole ou urbaine**.
- **L'azote organique dissous NOD et le phosphore organique dissous POD** : la contribution naturelle de l'azote et du phosphore provient de la dégradation de matière de nature biogénique, qu'elle soit d'origine océanique ou terrestre. D'une manière générale, la concentration en composés dissous est très faible, particulièrement dans l'océan.

Ces paramètres sont liés à des rejets de matières organiques et peuvent être considérés comme optionnels lors de suivis de rejets minéraux et en dehors de l'influence d'agglomérations, hôtels, zones agricoles...

Pour alerter en cas d'hypoxie, **le suivi de la concentration en oxygène dissous** sur l'ensemble de la colonne d'eau, par l'ajout d'un détecteur dédié sur la sonde CTD, est envisagé car plus pertinent.

- **Azote, phosphore et carbone particuliers** : la distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire ; cependant, les études environnementales considèrent généralement que la limite de taille est de 0,45 µm pour les séparer (*Strickland & Parsons, 1972*). La fraction particulaire de ces éléments N, P et C constitue des matières en suspension de tailles diverses transportées au sein des masses d'eau. Leur origine est océanique, terrestre voire éolienne. Les concentrations présentent d'ordinaire un gradient côte-large et peuvent montrer des discontinuités verticales en fonction de l'existence ou non de couches turbides.
- **Chlorophylle et phéo-pigments** : la chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et de ce fait le niveau trophique (oligotrophie/ eutrophie) du milieu. Sa dégradation donne de nombreux composés, dont principalement les phéo-pigments.
- **Les silicates** : ils constituent l'essentiel des **squelettes de divers organismes marins**. Leur concentration dans l'eau de mer, sous forme de silicates (SiO_4^{4-}), qui peut devenir insuffisante en raison de sa très faible solubilité, varie en fonction de l'origine et de la nature des eaux. Les concentrations en surface sont généralement très faibles, mais elles augmentent progressivement à mesure que l'on se rapproche des côtes (ou des fonds abyssaux).

Tableau 3: Méthodes et limites de détection pour le suivi des éléments nutritifs et autres paramètres suivis en milieu marin

Paramètres	Méthodes : adaptées spécifiquement au milieu oligotrophe marin	Normes et publications	Limite de détection
NH₄	Fluorimètre de terrain	Homes et Al 1999	1,5 nmol/L
NOD	Auto analyser Technicon		0,02 µmol/L
POD	Auto analyser Technicon	Raimbault et Al 1999	10 µmol/L
NO₂ + NO₃	Auto analyser Technicon	Outot 1988	0,002 µmol/L
PO₄	Auto analyser Technicon	Murphy et Riley 1962	0,01 µmol/L
SiO₄	Auto analyser Technicon	Fanning et Pilson 1973	0,05 µmol/L
POP	Auto analyser Technicon	Raimbault et Al 1999	10 µmol/L
CHN	Auto analyser Technicon		0,05 µg/L
Chlorophylle a	Fluorimètre		0,05 µg/L
MES	Filtration sur membrane spécifique		0,1 mg/L
pH	Electrode au Calomel		0,01 unité de pH

La méthodologie des analyses avec une pré-concentration a été développée à l'IRD de Nouméa afin de permettre une analyse des métaux en concentrations traces en matrice saline, Vale NC encourage une démarche AQ/CQ et une certification, et/ou une accréditation des laboratoires sur le territoire. Certains paramètres suivis demandent l'exportation des échantillons en métropole ou en Australie ce qui retarde la parution des résultats.

1.4. ► Hydrocarbures totaux(HT)

Des sous-échantillons sont collectés à partir des prélèvements en bouteilles General Oceanics, modèle Go-Flo (Coating interne en Teflon®).L'utilisation de ce type de flaconnage est nécessaire.

Les prélèvements sont effectués à trois profondeurs mais la couche de surface est privilégiée à **moins de 1 m de profondeur**.

Les eaux sont conditionnées dans des flacons en verre afin d'éviter tout contact prolongé avec des matières plastiques pouvant induire une contamination potentielle.

L'analyse des hydrocarbures totaux est effectuée d'après la norme NF T90-203 ou DINEN ISO 9377-2. La définition de l'indice en hydrocarbure dissous revient au dosage des hydrocarbures des **chaînes carbonées comprises entre C10 et C40** par chromatographie gazeuse (GC/FID). Cette méthode permet de doser **0,1 mg/l d'hydrocarbures**. Elle est cependant moins sensible que l'ancienne

norme NF T90-114 utilisant la méthode au CCl4 aujourd'hui interdite en raison de la très haute toxicité du solvant organique.

Tableau 4: Méthodes et limites de détection pour la détection d'hydrocarbures

Paramètres	Méthode	Normes et publications	Limite de détection
HT	Du laboratoire : Micropolluants Technologie S.A., Thionville, France	Norme NF T90-203 ou bien DINEN ISO 9377-2	0,1mg/L

1.5. ► Métaux

Des sous-échantillons sont collectés à partir des prélèvements en bouteilles General Oceanics, modèle Go-Flo (Coating interne en Teflon®). L'utilisation de ce type de flaconnage est nécessaire car des biais seraient engendrés sur des concentrations aussi infimes en métaux si le flaconnage n'était pas adapté. **Le flaconnage doit avoir été préalablement décontaminé avec soins aux acides forts puis rincé à l'eau ultra pure. Les échantillons doivent être immédiatement placés à 4°C.**

Les éléments métalliques suivants sont analysés : Nickel (Ni), cobalt (Co), manganèse (Mn), fer (Fe), chrome total Cr et Cr (VI), arsenic (As), cadmium (Cd), cuivre (Cu), plomb (Pb), zinc (Zn).

Le plan de suivi de la qualité de l'eau de mer a sélectionné ces métaux parce que la concentration des éléments métalliques naturellement contenus dans les roches latéritiques du Sud est distribuée selon un gradient côte-large très net, notamment pour **Mn, Ni, Co et Cr**, ce gradient est un bon indicateur du niveau d'influence terrigène.

Tandis que : **As, Cu et Fe** montrent un comportement inverse. Le cuivre suit cependant un comportement moins prévisible que le fer.

Les stations influencées par les masses d'eau océaniques se distinguent toujours clairement des stations côtières ou de la baie de Prony, avec une concentration d'influence marine particulièrement homogène.

Les concentrations **en Cd et Pb** sont le plus souvent inférieures aux limites de détection compte tenu des très basses teneurs de ces métaux dans les roches latéritiques du Sud calédonien, cependant ils sont recherchés.

D'après le guide des suivis marin Zoneco / CNRT 2011, (En cours de réactualisation en 2018) il est conseillé de suivre les métaux suivant :

- Activité minière : Co, Cr, Ni et Mn
- Activité portuaire : Cu et Zn,
- Activité urbaine : Ag, Cd, Pb, Hg, Zn, Cu

Vale NC présente des activités portuaires, industrielles et d'extractions minières, Vale NC suit par arrêté: Co, Cr, Ni, Mn, Cu, Zn, CrVI, As, Fe, Pb et Cd. Le Hg a été ajouté ponctuellement ponctuellement en 2014.

La corrélation avec la pluviométrie de la semaine antérieure au prélèvement est effectuée systématiquement.

Les difficultés liées à la mesures de métaux en concentrations traces dans une matrice saline ont conduit au développement de nouvelles techniques par l'IRD de Nouméa, afin de déceler des variations infimes.

Une méthode de pré concentration (X250) a été mise en place dans cet objectif par le laboratoire de l'IRD puis AEL., cette pré-concentration permet de doser Co, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn par ICP-OES.

Tableau 5 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des métaux en milieu marin (2018)

Analyses en laboratoire Paramètre	Méthode et normes -Publication	Limite de quantification
Co	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,027 µg/L
Cd	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,025 µg/L
Cu	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,025 µg/L
Fe	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,068 µg/L
Mn	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,028 µg/L
Ni	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES	0,022 g/L
Pb	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,150 µg/L
Zn	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	1 µg/L
Cr/CrVI	Achterberg et Van den Berg 1994	0,050 µg/L
As	Piech et Kubiak 2006	0,033 µg/L
+ Hg	NF EN ISO 17852	0,005µg/L

AQ/CQ : Le laboratoire démontre que des échantillons certifiés pour le dosage des éléments traces (TM-26.3 et TMDA-61) délivrés par la société Environnement Canada sont intercalés dans chaque série d'analyses pour valider la calibration. Les résultats de cette calibration sont donnés en annexe de chaque rapport.

Un travail de vérification métrologique et AQ/CQ est entrepris (avec double ou triple analyses des métaux par plusieurs laboratoires respectant des méthodologies comparables) ; et avec des prélèvements d'échantillons en double sur une même station.

Les concentrations analysées sont infimes (de l'ordre de 0,000001 g/Litre) aussi il est très important d'éviter toute contamination, en manipulant les échantillons, en touchant la coque du bateau (antifouling), en se rapprochant d'un gaz d'échappement du moteur ou en fumant etc. Cette méthodologie validée par la direction de l'environnement de la Province Sud et l'IRD de Nouméa est très sensible et garantit une surveillance optimale du milieu marin. Ne pas contaminer les échantillons lors des prélèvements et du flaconnage est essentiel avec de telles concentrations de métaux extrêmement basses.

A cet égard la formation des échantillonneurs est nécessaire avec un niveau d'ingénieur ou technicien supérieur qui correspond à ce type de prélèvements marin.

Le rapport doit présenter le nom et les compétences des échantillonneurs de terrain.

1.6. ► Les résultats semestriels

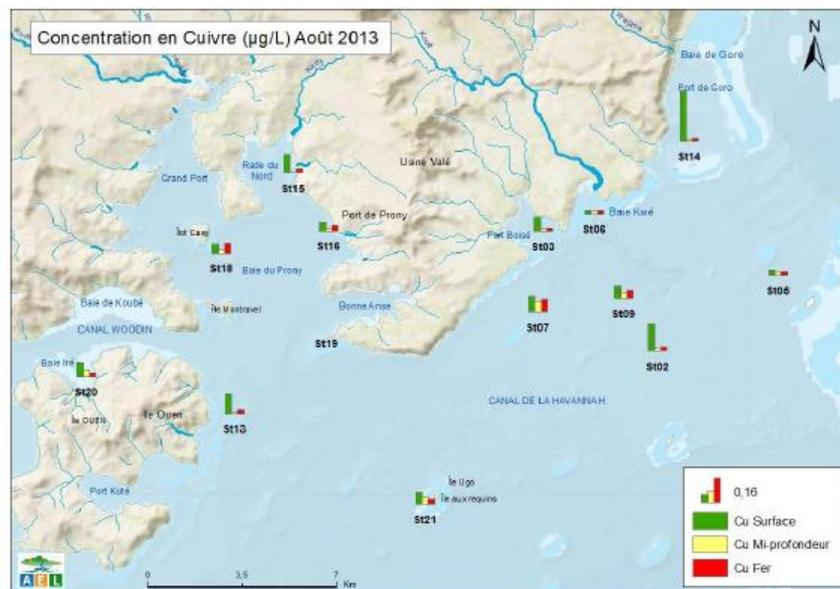
Ils sont schématisés et synthétisés pour chaque paramètre selon l'exemple donné sur les figures suivantes. La présentation des rapports doit être pérennisée car elle permet une lecture facilitée.

A minima, seuls certains paramètres « clefs » sont présentés par leur répartition spatiale et par leur évolution temporelle, afin de ne pas alourdir un rapport qui concerne > 36 paramètres suivis sur 3 profondeurs et 14 stations.

Les comparaisons spatiales et temporelles doivent être présentées de façon synthétique et formatée, rapport après rapport. Exemple ci-dessous.

Figure 4 : Concentrations spatiales instantannées en cuivre dissous (Cu) dans la colonne d'eau - Echantillonnage en sub-surface, à mi- profondeur et au fond, canal de la Havannah et baie de Prony

- Comparaisons spatiales au temps t : Paramètre suivi, date de la mission, stations, 3 profondeurs et unités des concentrations,



- Comparaisons temporelles sur une station (St09 sur l'exemple) pour détecter une évolution temporelle significative

Figure 5 : Concentration en manganèse dissous (Mn) dans la colonne d'eau - Echantillonnage en sub-surface (S) , à mi- profondeur (M) et au fond (F) , évolution temporelle sur la station St09 depuis les premiers suivis en saison chaude (mars)



Les prélèvements en saison chaude et les prélèvements en saison fraiche sont effectués en dehors de tout épisode climatique intense : fortes pluies ou tempête tropicale,

- pour une protection HS des travailleurs ;
- afin d'uniformiser la méthodologie et de l'affranchir le plus possible des biais dus aux différentes pressions météorologiques,
- cependant il est logistiquement impossible de toujours prélever les mêmes stations au même moment de la marée.

Les comparaisons temporelles des données de saison fraiche et les comparaisons temporelles des données de saisons chaudes ne sont pas confondues (Cf. exemples ici dessous), cependant, au port ou pour une vérification ponctuelle supplémentaire, l'ensemble des données toutes saisons confondues peuvent être comparées afin de rechercher une tendance évolutive.

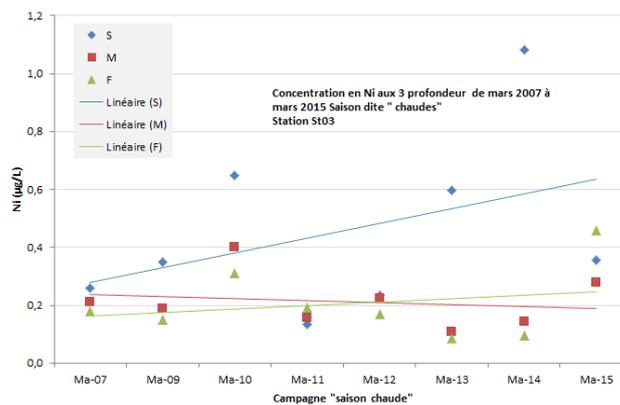
Ce choix de suivre les tendances évolutives en séparant les données selon les 2 saisons a été effectué après discussion des experts, afin de suivre des caractéristiques dans des conditions relativement comparables.

En cas de conditions météorologiques exceptionnelles les suivis réguliers ne sont pas effectués mais des missions d'évaluation ponctuelle dédiées à cet évènement sont enclenchées.

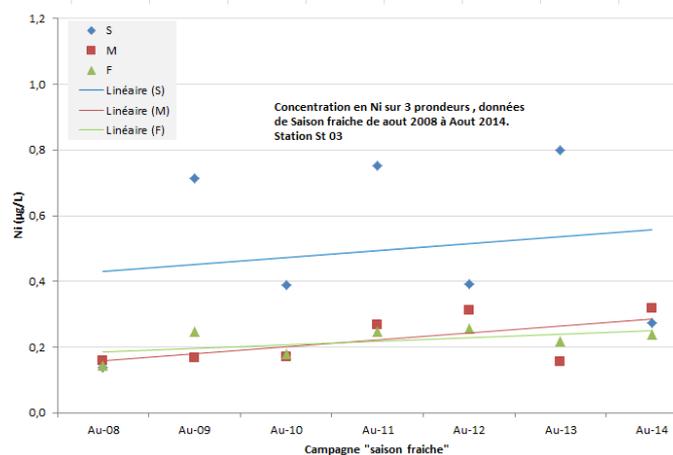
Figure 6 : Suivi de l'évolution temporelle de la concentration en Ni, sur la station St03, entre 2017 et 2015

Par saisons séparée pour garder une homogénéité des conditions météorologiques

A)- Saisons CHAUDES : Prélèvements en mars de 2007 à 2015. Sur St 03. (Baie de Port Boisé) Suivi des concentrations en nickel aux 3 profondeurs : S=surface, M=Mi profondeur, F= au fond

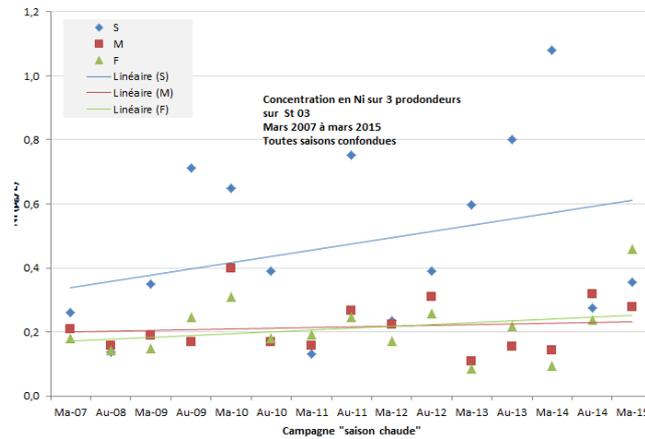


B)- Saisons FRAICHES en aout de 2008 à 2014. Sur St03. (Baie de Port Boisé) Suivi des concentrations en nickel.



Ou bien :

C)- Toutes les données confondues sur St03, (Baie de port Boisé), Concentrations en nickel entre 2007 et mars 2015.
Plus grande dispersion des données.



1.7. ► Relevés météorologiques associés

Les données météorologiques sont obtenues par la station météo du site Vale NC et/ou par Météo France, en complément. Elles accompagnent chaque mission d'échantillonnage.

Figure 7 : Pluviométrie durant une mission d'échantillonnage et les cinq jours précédents afin de corréler les résultats de la qualité de l'eau de mer aux effets des ruissellements terrigènes

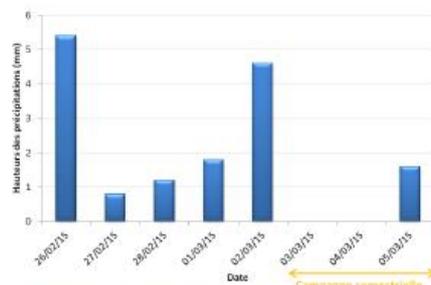


Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (26/03/15 au 02/03/15) la campagne et pendant la campagne semestrielle (03/03/15 au 05/03/15).

L'état de la marée doit être indiqué pour chaque station au moment de l'échantillonnage, la figure suivante montre que la plupart des stations lors de cette mission ont été échantillonnées à marée descendante et 4 stations à l'étape de marée haute.

Figure 8 : Moment d'échantillonnage de chaque station en fonction de l'état de la marée

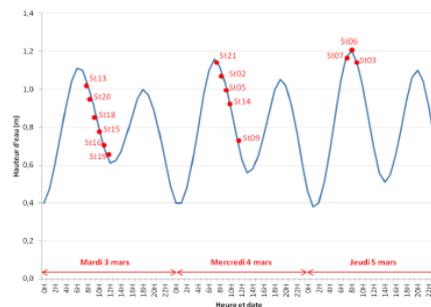


Figure 3 : Chronologie des événements de la campagne semestrielle de mars 2015 reportée sur le marégramme du 03 au 05 mars 2015.

Les missions ne sont pas effectuées lors de conditions météorologiques extrêmes voire difficile pour des raisons de sécurité et d'homogénéité. Cependant en raison de la forte pluviométrie de la région, les missions d'échantillonnages qui durent 3 ou 4 jours ne peuvent pas être effectuées hors-pluies et les 5 journées avant un échantillonnage influencent aussi celui-ci ; il est donc important de bien corréler les résultats à la pluviométrie même si l'on essaye de s'affranchir des conditions extrêmes.

Pour les suivis en continue par appareillages immergés plusieurs semaines, les fortes pluies sont enregistrées et influencent les séquences de relevés associées.

2. PARAMETRES BIOLOGIQUES INDICATEURS DE L'ETAT DES PEUPELEMENTS RECIFAUX ET DES POPULATIONS ASSOCIEES

Ils sont suivis selon les prescriptions établies par la DENV (Direction de l'Environnement) de la Province Sud, suite à l'atelier dédié aux suivis marins de mars 2006 (il réunissait les experts en la matière en Nouvelle-Calédonie) et validées dans la Convention pour la Conservation de la Biodiversité établie en 2008. (Cf. Tableaux suivants).

Ils font parties des suivis conventionnels; sauf au niveau de la station de suivi de la baie Kwé et du suivi de l'herbier de la baie Kwé qui sont réglementaires via l'arrêté AEM.2016.

Vale NC s'y conforme exactement depuis le début des suivis suite au démarrage des activités.

- **Le substrat** selon la méthode des *transects* fixes (3 *transects* de 20 m de longueur sur 3 profondeurs différentes par station). Méthode classique dite : « LIT ». La liste imposée des catégories de substrats donne 28 catégories distinctes. (Cependant parmi ces catégories certaines sont de type Benthos).
- **Le macro - épi-benthos** selon des couloirs de 5 m de large et 20 m de long qui suivent les *transects*, les taxons cibles sont listés. (Très sommairement dans le plan de suivi initial, ce chapitre a été étoffé par les experts qui veulent donner un avis pertinent sur l'état de santé global du récif)
- **Les poissons** selon la méthode des TLV (transect à largeur variable), les taxons cibles sont donnés par une liste restreinte imposée (fournie par la DENV en 2007) afin de calculer la densité et la biomasse. Le poids des individus est estimé d'après leur taille en utilisant des relations d'allométrie taille-poids – $W = aL^b$ – (Kulbicki et al. 1993). La liste restreinte indique une centaine de taxons identifiés au niveau du genre ou de l'espèce.

Tableau 6: Méthodologie pour le suivi des écosystèmes marins (Convention CCB 2008)

Paramètres et variables	Substrat (Habitats)	28 classes se substrat et benthos
	Epi benthos : macro invertébrés	
	Poissons : Espèces cibles	Liste restreinte de poissons cibles imposée
Prélèvements	Pas de prélèvement. Observations et photographies + vidéo associées	
Méthode	Définie lors de l'atelier du 03 mars 2006 DRN (devenue la DENV) Noumea	Transects ou couloirs d'observation sur 3 profondeurs et sans réplica à une même profondeur
Normes et Publications	Line Intercept Transect LIT de English et Al (1994-1997) et transects à largeur variable (Kulbicki et Al 1994 ; 1995 et Kulbicki Sarramégna 1999)	
Analyses	Aucune N/A	
Paramètre	Méthode	Limites de détection
Substrat	LIT fixe sous un ruban de 20 m de long et 28 classes identifiées	10cm
Benthos	LIT fixe sur couloir 100m2	100m ²
Poissons	Comptage sur <i>transect</i> à largeur variable	Vision du plongeur et visibilité de l'eau

2.1. Compositions codifiées des taxons suivis et méthode de suivi par transects

➤ Le substrat

Tableau 7 : Composition du substrat. Les 28 Catégories imposées par le plan de suivi CCB 2008

COMPOSANTES : 12 catégories et 28 codes de description				
Coraux (corail dur, 11 items codifiés)	Autres coraux(2)	Autres org. Vivants (3)	Algues (6)	Substrat Abiotique (6)
<p>Scléractiniaires</p> <p>Acropora Branchu ACB Au moins 2 niveaux de branches</p> <p>Acropora Encroûtant ACE</p> <p>Acropora Submassif ACS</p> <p>Acropora Digité ACD Branches en forme de doigts</p> <p>Acropora Tabulaire ACT Branches aplaties horizontalement</p> <p>Non-Acropora Branchu CB Au moins 2 niveaux de branches</p> <p>NB : les non acropora digité ont été placés ici</p> <p>Non-Acropora Encroûtant CE</p> <p>Non-Acropora Foliaire CF Corail en forme de feuille</p> <p>Non-Acropora Massif CM</p> <p>Non-Acropora Submassif CS</p> <p>Fungia CMR Corail solitaire</p>	<p>Millepora CME ou</p> <p>Corail de feu</p> <p>Corail mou SC</p>	<p>Éponges SP</p> <p>Zoanthaires ZO</p> <p>Autres OT dont</p> <p>Ascidies,</p> <p>Anémones,</p> <p>Gorgones,</p> <p>Bénitiers</p>	<p>Assemblages AA</p> <p>Calcaire CA</p> <p>Halimeda HA</p> <p>Macroalgue MA</p> <p>Filamenteuse F</p> <p>NB : les cyanobactéries ont été placées ici en F</p> <p>Corail mort avec algues DCA (Corail mort recouvert d'algues)</p>	<p>Corail mort DC de Couleur blanche</p> <p>Sable S avec Particules < 2 cm</p> <p>Débris R avec Particules > 2 cm</p> <p>Vase SI</p> <p>Eau W si Crevasse de plus de 50 cm</p> <p>Roche Dalle - Roche RC</p>

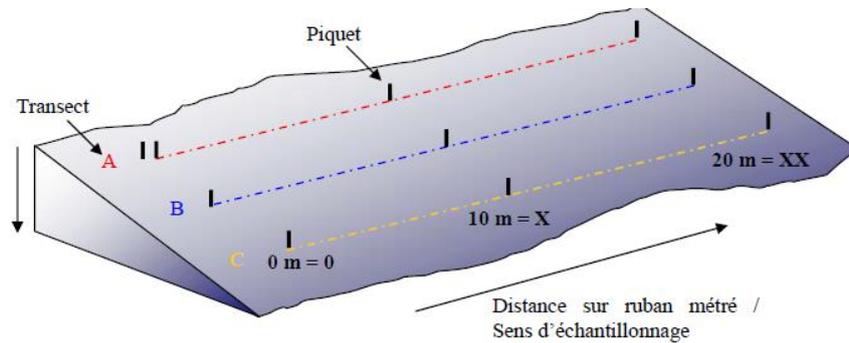
Remarque : Selon cette méthodologie les 3 transects (couloirs de suivi) du LIT sont situés à 3 profondeurs différentes, ils présentent des faciès différents et ne peuvent pas être statistiquement des répliques l'un de l'autre. Il ne peut pas être effectué de moyenne des résultats des LIT (substrat) des 3 transects d'une station.

Il n'y a aucune variable aléatoire par station, le suivi temporel effectué par comparaison d'une station à chaque suivi, transect par transect, est la variable aléatoire. Vale NC a évoqué ce sujet depuis 2007. La différence annuelle est la variable aléatoire.

Cette méthodologie est suivie avec attention depuis 2007 sur les mêmes stations et les mêmes transects exactement.

Il est recommandé de positionner les transects sur des zones qui présentent entre 30% et 60% de recouvrement corallien. Un transect profond sur une zone quasi abiotique ne donne pas d'indications significative et ne pourra détecter qu'une hausse de la biodiversité, pour cette raison certaines stations ne présentent que 2 transects. Ils sont le plus souvent parallèles à la cote sur une ligne isobathymétrique. (Mais pas toujours en cas de topologie des fonds en éperons transversaux à la cote, par exemple).

Figure 9 : Schéma d'une station sous-marine avec 3 transects à 3 profondeurs différentes



➤ L'épi-macro benthos

Evaluation sur un couloir de 2,5 m de chaque côté du *transect* (i.e. 100 m²) :

Présence / Absence d'algues et phanérogames à l'échelle du genre.

Densité en bénitiers, Troquas, et certains échinodermes (au niveau de l'espèce pour les étoiles de mer, les oursins et les holothuries, et en présence/absence pour les crinoïdes) et en clones.

Le plan de suivi imposé par la Convention CCB 2008 ne va pas au-delà de ces indications. Le chapitre suivant (chapitre 2.2 et notamment 2.2.3) indique les recommandations Vale NC et des experts afin de cadrer cette surveillance du benthos qui doit cibler les taxons sessiles sensibles et indicateurs ainsi que les espèces corallivores et les algues.

Il est aussi remarqué que les classes du LIT sont nombreuses et font interférence avec le suivi du benthos, cela tient à l'historique du LIT qui n'était pas dédié au substrat seul mais à des observateurs débutants qui devaient caractériser un récif par les seuls LIT, sans une étude du benthos derrière.

Ce doublon gagnerait à être optimisé.

➤ L'ichtyo faune

Le plan de suivi (CCB- 2008) imposé par les autorités compétentes, impose une liste restreinte de poissons cibles: celle-ci est présentée ci-dessous ainsi que dans chaque rapport de suivi.

Cependant, afin d'alimenter une base de donnée exhaustive représentant la biodiversité réelle de la station, Vale Nouvelle-Calédonie demande la liste exhaustive des poissons observés, elle est fournie en annexe de chaque rapport semestriel. Les recherches supplémentaires effectuées par l'ichtyologue qui effectue les suivis, (ex : structure des populations, biodiversités α , β , γ , indices « poissons »...) sur liste exhaustive des poissons observés, sont de son fait, elles s'ajoutent aux exigences du plan de suivi et Vale NC ne se permet pas de censurer les ajouts et commentaires des experts

2.2. Liste des poissons comptabilisés selon le plan de suivi CCB-2008

Tableau 8 : Liste des poissons comptabilisés selon le plan de suivi CCB-

Liste de poissons retenus pour l'évaluation de la faune ichthyologique

Famille	Genre	espèce
Requins		spp
Raies		spp
Scorpaenidae	Rascasses "poules"	spp
Serranidae	<i>Anthias</i> et	
	<i>Pseudanthias</i>	spp
	<i>Cromileptes</i>	<i>altivelis</i>
	<i>Epinephelus</i>	<i>cyanopodus</i>
	Autres loches	spp
	<i>Plectropomus</i>	spp
Pseudochromidae	<i>Pictichromis</i>	<i>coralensis</i>
Carangidae		spp
Lutjanidae	<i>Aphareus</i>	<i>furca</i>
	<i>Aprion</i>	<i>virescens</i>
	<i>Lutjanus</i>	<i>adettii</i>
	<i>Lutjanus</i>	<i>sebae</i>
	<i>Lutjanus</i>	spp
	<i>Symphorus</i>	<i>nematophorus</i>
Caesionidae		spp
Haemulidae	<i>Diagramma</i>	<i>pictum</i>
	<i>Plectorhinchus</i>	spp
Lethrinidae	<i>Lethrinus</i>	<i>nebulosus</i>
	Autres bossus et bec	spp
Nemipteridae	<i>Scolopsis</i>	<i>bilineatus</i>
Mullidae		spp
Kyphosidae		spp
Ephippidae	<i>Platax</i>	spp
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>auriga</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>baronessa</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>bennetti</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>citrinellus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ephippium</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>flavirostris</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>kleinii</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lineolatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lumula</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>melanotus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>mertensii</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ornatissimus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>pelewensis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>plebeius</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>rafflesi</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>reticulatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>speculum</i>
<i>Chaetodon</i>	<i>semeion</i>	

	<i>Chaetodon</i>	<i>trifascialis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lumulatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ulietensis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>unimaculatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>vagabundus</i>
	<i>Coradion</i>	<i>altivelis</i>
	<i>Forcipiger</i>	<i>flavissimus</i>
	<i>Forcipiger</i>	<i>longirostris</i>
	<i>Hemitaurichthys</i>	<i>polylepis</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>acuminatus</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>chrysostomus</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>monoceros</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>singularis</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>varius</i>
Pomacanthidae	<i>Centropyge</i>	<i>bicolor</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>bispinosus</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>flavissima</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>heraldi</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>tibicen</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>vroliki</i>
	<i>Chaetodontoplus</i>	<i>conspicillatus</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>imperator</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>semicirculatus</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>sextriatus</i>
	<i>Pygoplites</i>	<i>diacanthus</i>
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	spp
	<i>Amphiprion</i>	<i>perideraion</i>
	<i>Amphiprion</i>	spp
	<i>Chromis</i>	<i>viridis</i>
	<i>Chromis</i>	<i>fumea</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>taupou</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>rollandi</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>aruanus</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>reticulatus</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>trimaculatus</i>
	<i>Neopomacentrus</i>	<i>azysron</i>
	<i>Neopomacentrus</i>	<i>violascens</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>coelestis</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>moluccensis</i>
<i>Pomacentrus</i>	<i>aurifrons</i>	
	<i>Stegastes</i>	spp
Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>loxozonus</i>
	<i>Bodianus</i>	<i>perditio</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>chlorourous</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>trilobatus</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>undulatus</i>
	<i>Choerodon</i>	<i>graphicus</i>
	<i>Coris</i>	<i>aygula</i>
	<i>Coris</i>	<i>gaimard</i>
	<i>Gomphosus</i>	<i>varius</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>hortulanus</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>margaritaceus</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>trimaculatus</i>

	<i>Hemigymnus</i>	<i>melapterus</i>
	<i>Labroides</i>	<i>dimidiatus</i>
	<i>Novaculichthys</i>	<i>taeniourus</i>
	<i>Stethojulis</i>	<i>bandanensis</i>
	<i>Stethojulis</i>	<i>strigiventer</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>amblycephalum</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>hardwicke</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>lunare</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>lutescens</i>
Scaridae	<i>Bolbometopon</i>	<i>muricatum</i>
	<i>Scarus</i>	<i>ghobban</i>
	<i>Chlorurus</i>	<i>microrhinos</i>
	<i>Scaridae</i>	<i>spp</i>
Blennidae	<i>Ecsenius</i>	<i>bicolor</i>
	<i>Meicanthus</i>	<i>atrodorsalis</i>
Gobbiidae	<i>Amblygobius</i>	<i>phalaena</i>
Ptereleotridae	<i>Ptereleotris</i>	<i>evides</i>
	<i>Ptereleotris</i>	<i>microlepis</i>
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>dussumieri</i>
	<i>Acanthurus</i>	<i>blochii</i>
	<i>Acanthurus</i>	<i>triestegus</i>
	<i>Acanthurus</i>	<i>spp</i>
	<i>Ctenochaetus</i>	<i>spp</i>
	<i>Naso</i>	<i>unicornis</i>
	<i>Naso</i>	<i>spp</i>
	<i>Zebrasoma</i>	<i>spp</i>
Siganidae	<i>Siganus</i>	<i>argenteus</i>
	<i>Siganus</i>	<i>spp</i>
Zanclidae	<i>Zanclus</i>	<i>cornutus</i>
Scombridae	<i>Scomberomorus</i>	<i>commerson</i>
Balistidae	<i>Balistoides</i>	<i>conspicillum</i>
	<i>Oxymonacanthus</i>	<i>longirostris</i>
	<i>Rhinecanthus</i>	<i>aculeatus</i>
	<i>Rhinecanthus</i>	<i>rectangulus</i>
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>spp</i>

2.3. Recommandations de base pour le suivi des écosystèmes marins

Les suivis éco-systémiques sont extériorisés auprès d'un ou plusieurs bureaux d'études ou instituts.

Vale Nouvelle-Calédonie demande (via son cahier des charges) que l'entretien des stations n'interfère pas avec les observations des espèces mobiles (poissons) et qu'il **ne soit pas effectué plus de deux stations complètes par journée d'évaluation, l'expérience montrant qu'une plus grande rapidité d'expertise nuit à la qualité des évaluations** ^{(1)*}.

Le journal de plongée et les briefings journaliers avec les biologistes -plongeurs permettent de valider cette exigence de rigueur méthodologique. Ces liens relationnels entre le bureau d'étude en charge de la mission et Vale NC sont obligatoires pour le contrôle Qualité.

La forte courantologie de la zone du canal interfère avec les évaluations et il est demandé de « cibler » le moment de l'étale de marée en période de mortes eaux. La courte période de l'étale ne permet pas d'effectuer convenablement plus de deux missions par jour dans le canal de la Havannah ni de travailler en périodes de vives eaux et hors étal. **Trop de stations inventoriées en trop peu de jours ne sont pas acceptées par les contrôles Qualité effectués par Vale NC.**

(1) *L'expérience montre que l'effort d'évaluation pour une station de suivi éco systémique telle que définie dans le plan de suivi est le suivant :

Pour une station bien connue (non pas en évaluation de l'état des lieux mais en suivi régulier)

- En zone abritée : 3 plongeurs ayant chacun sa spécialité : 1 heure à minima en plongée
- En zone de courantologie forte (canal de la Havannah et canal Woodin) : 3 plongeurs ayant chacun sa spécialité : 1 heure à minima en plongée au moment de l'étale et marées de mortes eaux.
- Pour une station remise en état ou nouvellement explorée : 2 heures (2 bouteilles par plongeur)

Le trajet entre les stations et la nécessité de viser les moments d'étale de marée implique : 1 seule station par jour en zone de fort courant + 1 station en zone abritée.

2.4. Journal de plongée

Le journal de plongée doit contenir :

- le numéro de la station,
- le nom du site,
- les coordonnées de la station en degrés, minutes et dixièmes de minute pour la longitude et pour la latitude,
- la date de la plongée,
- l'heure du début de la plongée sur la station,
- les conditions météorologiques lors de cette mission (vent, force et direction, pluie ou ensoleillement),
- la profondeur maximale et le temps de plongée,
- l'horaire des marées et les coefficients,
- le courant, la force approximative et la direction,
- la houle ou les vagues et le ressac qui peuvent gêner la mission,
- la visibilité,
- l'état de la station, la maintenance effectuée et les difficultés ou remarques éventuelles,
- la tâche effectuée par l'équipe et par chaque personne.

2.5. Minimisation des biais

Afin de minimiser les biais Vale NC demande que:

- ✓ Le plongeur-évaluateur soit la même personne qui, par la suite, rédige le rapport et qu'il ait la **compétence requise** pour effectuer les analyses d'évolutions spatiales et temporelles en fonction de l'indicateur qu'il suit (substrat, benthos, corail ou poissons);

- ✓ Les plongeurs-évaluateurs varient le moins possible d'une mission à l'autre, leur nom et leur qualification (degré d'expertise) doit figurer dans le rapport.
- ✓ Le **déla**i entre la mission de plongée et la remise du rapport d'analyse des données soit le plus bref possible (< 3 mois) ;
- ✓ Chaque rapport présente une synthèse et une analyse de l'évolution spatiale et temporelle des indicateurs suivis, synthèse effectuée par les experts qui ont participé aux plongées évaluatrices (eux-même). Plongeurs et analystes ne peuvent pas être des personnes différentes ni des cocontractants ou patentés (en cascade de sous- traitants).
- ✓ Les missions soient effectuées dans des conditions météorologiques comparables qui excluent les événements extrêmes, pas de plongée par plus de 20 nœuds de vent dans le canal, si fortes pluies, et lors des marées de vives eaux. C'est une obligation HS et de qualité.
- ✓ Le ruban de 20 mètres soit bien tendu, ce qui est possible sur 20 m (mais pas toujours sur 50 m et qu'il ne soit pas constitué par une matière trop lourde (acier par exemple) qui pourrait affecter les coraux fragiles.
- ✓ Des photographies des colonies géo référencées caractéristiques soient effectuées et archivées.
- ✓ Qu'il n'y ait aucun prélèvement effectué.
- ✓ Que l'évaluation de la station en réserve Merlet ne soit pas effectuée sans autorisation de la DENV/PS préalable, la demande est à la charge des biologistes.

Ces recommandations vont dans le sens d'une meilleure puissance statistique afin d'augmenter la probabilité de détecter une variation (tendance évolutive du milieu). A cette fin la variabilité des évaluations et du *reporting* de ces évaluations doivent être minimisés.

Optimiser la puissance statistique pour **éviter** :

- **le risque β de ne pas déceler un impact de faible ampleur,**
- **et le risque α de conclure à tort trop hâtivement à un impact.**

2.6. Entretien de la station éco-systémique sous-marine et considérations méthodologiques :

Les missions d'évaluation sur site sont séparées en deux grandes phases :

a)- La localisation des stations sur le terrain (coordonnées GPS) et leur vérification/entretien sous l'eau, avec au final la mise en place du ruban qui matérialise le transect.

b)- L'évaluation Substrat, Benthos, Poissons (sans prélèvement).

Phase a)-

Le bateau est mouillé sur fond non corallien à une vingtaine de mètres de la station. Une reconnaissance en PMT (palmes / masque / tuba, de la surface) est effectuée afin de repérer les piquets marquants sur les transects de la station qui a déjà été située par GPS. Aucune bouée de repérage de surface ne peut rester à poste entre deux missions car elle serait perdue ou attirerait des curieux qui altèreraient la station.

Les plongeurs emmènent à l'occasion de leur mission une bouée qu'ils attachent au 1er piquet (0 m) du 1er transect haut (le transect A), afin de permettre la prise (et la vérification par la suite) des coordonnées exactes par GPS. Lorsque les transects sont éloignés les uns des autres, cette manœuvre est répétée pour chacun d'entre eux. Cette bouée est retirée en fin de mission.

La suite de la mission doit être conduite en scaphandrier autonome.

Le parfait état du marquage des stations est primordial pour un suivi temporel. Les piquets absents, tombés, branlants, etc. sont systématiquement remplacés, pour cela des piquets doivent être préalablement affinés sur une de leur pointe avant la mission et donc prêts à l'emploi, ils sont stockés sur le bateau. Pour « planter » un piquet, les consignes importantes à respecter sont :

- de choisir obligatoirement un substrat abiotique,
- d'enfoncer suffisamment le piquet pour que celui-ci ne puisse plus bouger. Il n'est pas nécessaire de le cimenter à sa base.

Pour la résistance à l'oxydation et faciliter leur perception visuelle sous l'eau, les piquets employés sont en acier galvanisé avec :

- une pointe effilée.
- une longueur de 2 mètres,

- un diamètre : 12 mm,
- une peinture de protection grise et une bande de marquage visuel (20 cm) en haut orange fluo, sont utilisées optionnellement.

Pour placer à bonne distance les piquets, un ruban métré est déroulé. Le ruban qui matérialise le transect est tendu de façon forte entre les piquets, il ne doit pas dévier dans le courant, il sera retiré en fin de mission sur cette station. Les photographies suivantes montrent que cela est tout à fait possible.

Les mouvements des plongeurs et le bruit occasionné par les coups sur les piquets perturbent la faune pélagique (attraction ou, au contraire, fuite). Par ailleurs, selon le substrat, cet effort peut rendre la visibilité très mauvaise du fait de la mise en suspension des sédiments fins du fond.

Pour éviter de fausser les données d'échantillonnage les opérations de maintenance nécessaires doivent être réalisées au moins une heure avant la phase d'évaluation. Le plus souvent, une fois une station « A » remise en état, elle est laissée « au repos » ; la station « B » voisine est évaluée et par la suite le retour sur la première station « A » conduit à son évaluation.

Figure 10 : Phase a) du suivi des écosystèmes coralliens et populations associées

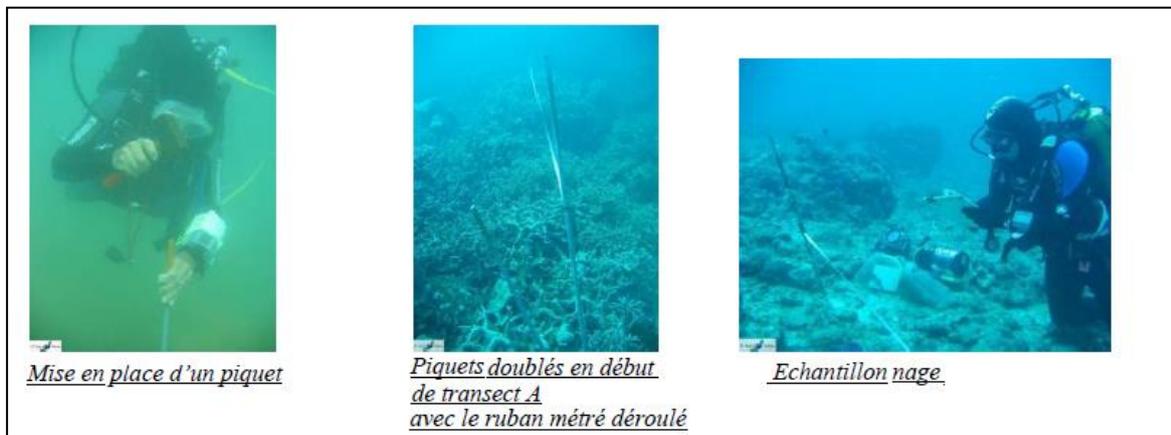
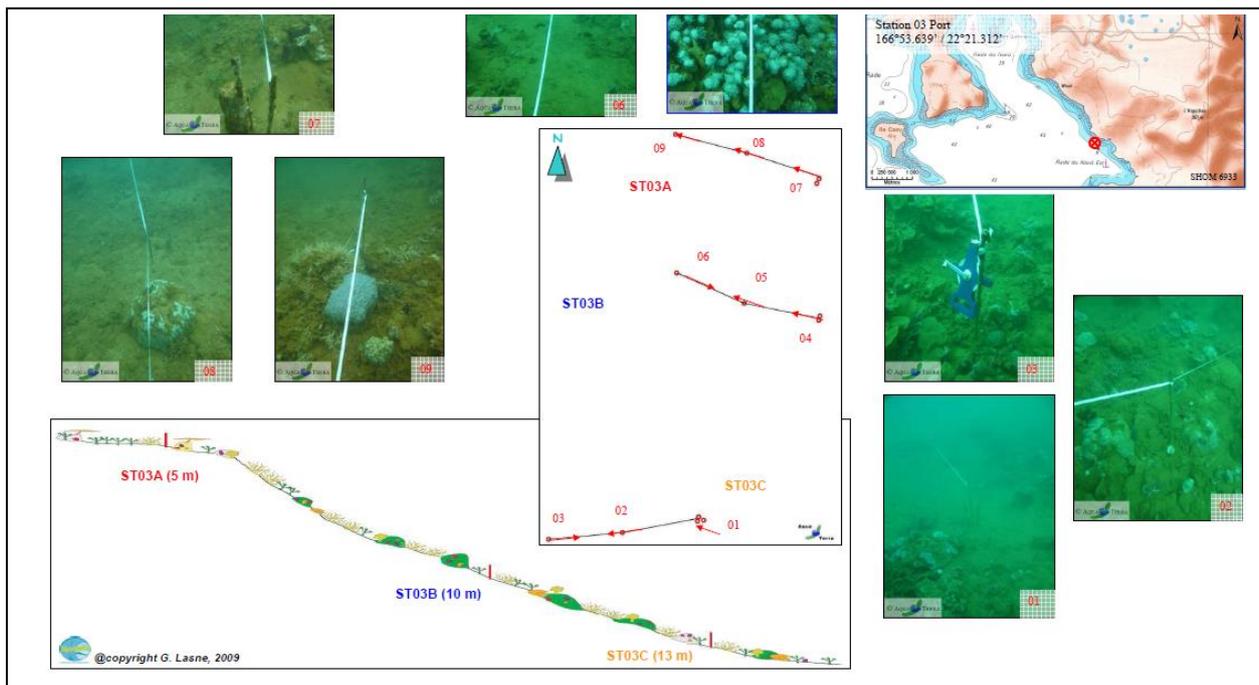


Figure 11 : Schéma d'une station sous-marine de surveillance des massifs coralliens et des populations associées (Ici ST03 Port de Prony) et des 3 transects



Phase b)-

▲ LIT

Seul le substrat situé sous le transect (matérialisé par un ruban de 20 m de long parfaitement tendu entre les piquets fixes) est noté. Cette méthode permet d'évaluer la variabilité du substrat, cependant le LIT n'est pas représentatif de la biodiversité de la zone. (Il n'y a aucun réplica selon la méthode imposée. Des éléments du benthos sont mélangés à des éléments du substrat. Une révision et un affinement des 28 classes qui constitue le suivi par LIT serait un plus.)

L'évaluation du substrat sous le ruban est effectuée selon le principe des classes continues, avec une résolution de 10 cm. Le principe est de noter à chaque changement de catégorie de substrat (= classe) la distance donnée par le ruban, comme schématisé dans la figure suivante : le diagramme montre les points de transition (D) de chaque catégorie de substrat rencontré sous le transect (le ruban). La différence entre deux points de transition est la "longueur" correspondante à cette catégorie. Les classes retenues sont au nombre de 28 (Cf. tableau 7). Le traitement des données brutes consiste à faire le calcul du pourcentage de recouvrement de chaque classe, qui est obtenu par la somme de "ses longueurs" divisée par la longueur du substrat multipliée par 100, comme montré dans l'exemple ici dessous.

Figure 12 : Schéma d'un transect pour relever le substrat par LIT

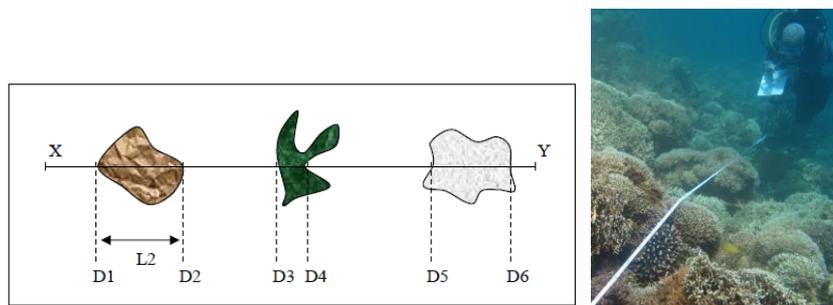


Tableau 9 : Exemple de calcul pour le recouvrement du substrat

DISTANCE	LONGUEUR	CLASSE
X - D1	L1 = D1-0	S
D1 - D2	L2 = D2-D1	RC
D2 - D3	L3 = D3-D2	S
D3 - D4	L4 = D4-D3	MA
D4 - D5	L5 = D5-D4	S
D5 - D6	L6 = D6-D5	DC
D6 - Y	L7 = Y-D6	S

Le pourcentage % de couverture en sable (S) = $(L1+L3+L5+L7) / XY \times 100$

Figure 13 : Illustration photographique d'un suivi évaluatif du Substrat méthode LIT

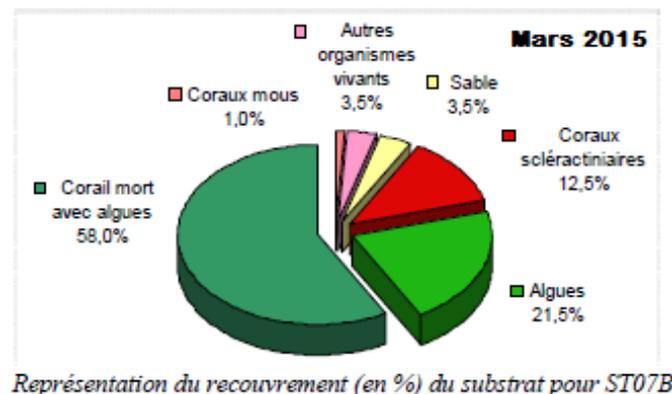


Remarquer que le ruban est bien tendu et peu flexible

Les 28 classes imposées (Tableau 7 du chapitre 2.1) ont été regroupées afin de pouvoir simplifier les interprétations.

Ces composantes reprennent les groupes faunistiques (coraux Scléactiniaires, autres coraux, alcyonaires, autres organismes, algues, algues sur corail mort) ainsi que le matériel composant le substrat (corail mort, débris, sable, dalle, vase, eau). Elles sont alors exprimées en pourcentages pour chaque transect et présentées sous forme de graphiques pour permettre une comparaison visuelle rapide, comme le présentent les figures suivantes. La couleur des classes ne doit pas varier au fil des chapitres et des rapports pour plus de facilité de lecture (Algues en vert, corail dur en rouge, vase en marron et sable en jaune...)

Figure 14 : Evaluation du substrat sur le transect de mi-profondeur (B) de la station ST07 (Basse Chambeyron)
Mission de mars 2015



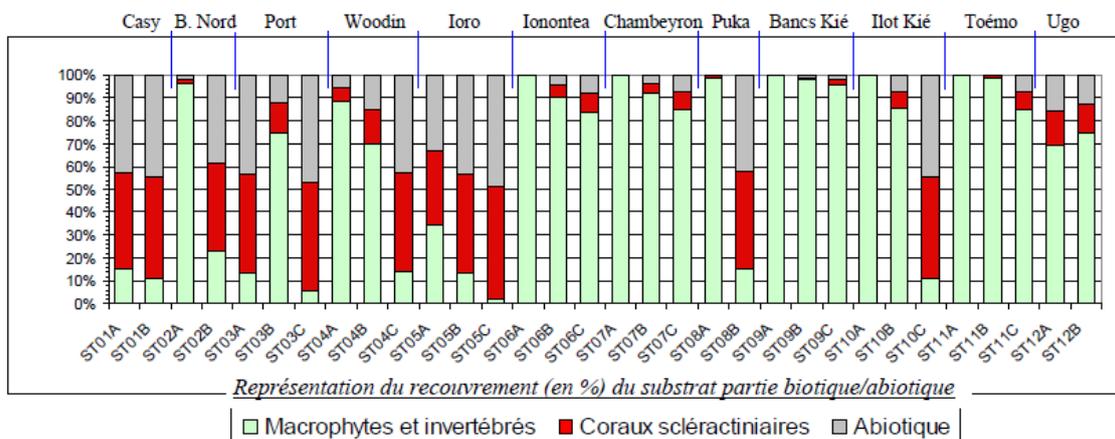
Les comparaisons spatiales et temporaires insistent sur les rapports :

- Corail vivant /Corail mort
- Corail vivant/ Algues et autres Invertébrés
- Abiotique total/ Biotique total
- Abiotique total/ Biotique hors coraux durs/ Coraux durs (cf. figure suivante)

La figure ci-dessous, récapitule les pourcentages de couverture du substrat aux différents transects de chaque station pour une comparaison spatiale, mission de mars 2015.

- **La partie biotique**, qui est divisée en deux groupes : les coraux Scléactiniaires et le reste (C'est-à-dire, les Macrophytes, invertébrés, autres coraux, etc. regroupés sous « macrophytes & invertébrés »),
- **La partie abiotique**.

Figure 15 : représentation du substrat sur l'ensemble des transects lors de la mission- exemple de mars 2015



▲ BENTHOS

La méthode d'observation sur couloirs est appliquée. Le couloir fait une largeur de 5 mètres (2.5 mètres de part et d'autre de chaque transect de 20 mètres de longueur).

Cette méthode donne une bonne représentation des communautés benthiques (inventaires faunes et flores) car une zone importante est prospectée et étudiée (100 m² pour chaque transect soit 300 m² par station). De plus 3 étages du récif sont évalués.

L'échantillonnage des stations comprend les communautés biotiques (les coraux scléactiniaires, les macrophytes et les invertébrés) et une description géomorphologique. Les taxons cibles retenus par la CCB 2008 sont :

- les algues et phanérogames (présence / absence), à déterminer au niveau du genre,
- les étoiles de mer, les oursins et les holothuries (abondance), à déterminer au niveau de l'espèce,
- les crinoïdes (présence / absence),
- les clones (abondance),
- les bénitiers et les trocas (abondance).

Une échelle d'abondance a dû être mise en place, (Gregory Lasne BIOCENOSE) car le plan de suivi ne proposait aucune méthodologie de comptabilisation hormis « absence /présence » et pas de méthode d'évaluation de l'abondance, cette échelle d'évaluation de l'abondance est une adaptation de l'échelle de English & AI 1997 ; ainsi le taux de recouvrement dans le couloir de 100m² est explicité par des indices d'abondance (numérotée de 1 à 5) pour les coraux durs (Scléactiniaires, les Macrophytes et les autres Invertébrés).

Tableau 10 : Echelle d'abondance au niveau de taxons cibles du Benthos

ECHELLE	RECOUVREMENT	ABONDANCE (nb individus ou colonies / 100 m ²)
1	Rare	1
2	Faible	2 à 10
3	Moyen	11 à 20
4	Fort	21 à 41
5	Important	plus de 41

Cependant, certains coraux durs édifient de très grandes colonies de plusieurs mètres carrées, parfois de plus de 10 mètres de diamètre, dans ce cas précis, indiquer le nombre de colonies de cette espèce n'a pas de sens car une seule colonie peut recouvrir plus de 70% du couloir, une autre échelle paramétrée de 1 à 5 est alors utilisée par l'expert en coraux.

Tableau 11 : Echelle d'abondance au niveau de grandes colonies coralliennes du Benthos

ECHELLE	RECOUVREMENT	ABONDANCE (surface / 100 m ²)
1	Rare	< 0.5% (soit < 0.5 m ² / 100 m ²)
2	Faible	> 0.5% (soit > 0.5 m ² / 100 m ²)
3	Moyen	> 5% (soit > 5 m ² / 100 m ²)
4	Fort	> 10% (soit > 10 m ² / 100 m ²)
5	Important	> 15% (soit > 15 m ² / 100 m ²)

La pérennisation de la méthode et la fidélisation du plongeur-évaluateur permettent de réduire les biais et les incertitudes lors des comparaisons pour évaluer l'évolution temporelle du couloir inventorié.

Vale Nouvelle-Calédonie complète ce suivi réglementaire (à son initiative) par :

- **La surveillance d'éventuelles espèces exogènes** (les EEE) : les autorités compétentes en la matière en Nouvelle-Calédonie n'ont pas établi de méthodologie ni d'état des lieux du lagon à l'égard des éventuelles EEE. Vale NC fait confiance dans les connaissances des experts pour signaler toute découverte qui engendrerait un doute. Une liste de taxons potentiellement à

craindre a été établie sur la demande de Vale NC et ceux-ci sont pris en compte lors des missions de suivis (notamment au niveau des algues). Cependant aucune recherche exhaustive d'éventuels EEE et aucun état des lieux EEE ne sont effectués sur le lagon calédonien.

- **Le suivi des Cyanobactéries** et de l'évolution saisonnière et pluriannuelle de leur couverture.
- **Le suivi des algues macroscopiques et de leur évolution saisonnière** : leur couverture est quantifiée (chapitre benthos). Algues et cyanobactéries peuvent être des indicateurs d'eutrophisation, ce risque n'est pas relié aux effets éventuels du projet Vale NC dont les eaux des stations d'épuration (de la base vie) ne sont pas rejetées en baie du Prony mais via l'effluent marin, cependant les fortes variations saisonnières naturelles des couvertures algales méritent attention. En 2014 ce risque a été identifié en baie de Port Boisé sous l'influence de rejets (hôtel) qui ne sont en pas imputables à Vale NC. En 2018 le cas de la prolifération d'algues dans le domaine Deva montre que le suivi des algues ne peut pas être oublié.
- **Le suivi du corail et de son blanchissement** : Le corail est considéré comme **un taxon sentinelle et un « proxy »**. Son suivi est renforcé (par rapport au plan de suivi CCB), notamment après les fortes dépressions tropicales.
- **Le suivi des étoiles de mer ravageuses du corail** qui sont comptées une à une (et signalée, notamment les *Acanthaster* et les *Culcita*). Leur évolution temporelle est suivie sur toutes les stations.
- **Le suivi avec iconographie associée** de certaines colonies coralliennes remarquables et géo-référencées et l'évaluation de leur croissance, mission après mission ;
- **Les maladies coralliennes.**
- **Le blanchiment corallien.** Lui aussi doit être évalué selon une échelle d'abondance.

Tableau 12 : degré de blanchiment corallien sur une échelle de 1 à 5

ECHELLE	DEGRE DE BLANCHISSEMENT	ABONDANCE (nb individus ou colonies / 100 m ²)
B1	Présence de blanchissement	1
B2	Blanchissement faible	2 à 10
B3	Blanchissement moyen	11 à 20
B4	Blanchissement fort	21 à 40
B5	Blanchissement important	41 et plus

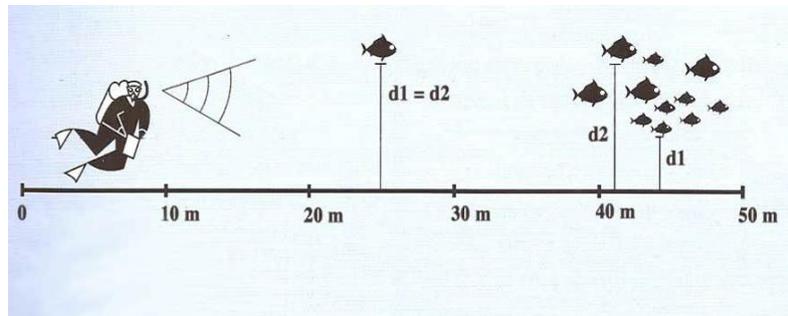
▲ POISSONS

Le biologiste responsable de l'échantillonnage des poissons doit avoir une compétence reconnue en matière d'ichtyologie en lagons tropicaux. La nomenclature et l'orthographe des espèces, des genres et des familles sont celles de Randall J.E.2005.

Les poissons sont échantillonnés par comptage visuel avec un plongeur qui progresse le long du ruban et compte de part et d'autre de celui-ci. (Cf. Le schéma ci-dessous). Sont notés pour chaque espèce le nombre d'individus et une estimation de la taille est effectuée ainsi que leur distance perpendiculaire au transect. Lorsque des individus sont en banc, le biologiste marin note la distance au poisson le plus proche et celle au plus éloigné.

La turbidité de l'eau est un facteur de biais, elle est notée dans le journal de plongée et en cas de trop faible visibilité la mission est annulée et reportée sur une autre station. La station sans visibilité sera inventoriée un jour meilleur. La rencontre d'un individu exceptionnel (un requin blanc ou une raie de très grande taille) est rare mais elle notée car elle modifie la biomasse de façon très forte. De plus les périodes de frais ou le passage d'un banc provoquent des variations fortes de densité et les explications de l'expert sont nécessaires, il indique ces faits et ses conclusions en tiennent compte.

Figure 16 : Comptage des poissons. Méthode TLV (Selon le plan de suivi CCB 2008 le transect fait 20m)



Le poids des individus est estimé d'après leur taille en utilisant des relations d'allométrie taille-poids – $W = aL^b$ – (Kulbicki et al.). La liste restreinte imposée (tableau 8) indique une centaine de taxons identifiés au niveau du genre ou de l'espèce.

La biodiversité réelle ne peut pas être connue par ce travail sur liste restreinte (bien qu'indiquée par VNC sur liste complète), les indicateurs sont :

- l'abondance (nombre d'individus, transects / liste restreinte),
- la densité (en poisson/m², transects /liste restreinte)
- la biomasse (en g/m², transects /liste restreinte),
- la biodiversité « 1 » (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),

Équation 1 : Equations de calcul de la densité et de la biomasse selon la méthodologie CCB2008

$$\text{- Densité (poissons/m}^2\text{)} = \mathbf{D} = (2L)^{-1} \sum_{i=1}^p n_i d_i^{-1}$$

$$\text{- Biomasse (g/m}^2\text{)} = \mathbf{W} = (2L)^{-1} \sum_{i=1}^p w_i d_i^{-1}$$

L : longueur du transect (20 m)

n_i : nombre d'individus de l'espèce *i*

w_i : poids de l'espèce *i* (g) (de l'espèce *i* : donc de tous les individus *i* de cette espèce)

d_i : distance moyenne de l'espèce *i* au transect (m)

p : nombre d'espèces.

Le poids des individus (en g) a été estimé d'après leur taille en utilisant une relation d'allométrie taille-poids, du type : $w_i = a l_i^b$ *l_i* = longueur du poisson
a et *b* = variables

Ces variables sont des coefficients mis au point par Kulbicki & al. pour environ 350 poissons du lagon.

Kulbicki M., Guillemot N., Amand M., 2005 - A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. *Cybiurn* 2005, 29 (3): 235-252

La biomasse et la densité sont analysées par

- Comparaison spatiale de chaque station, entre elles, pour la mission donnée
- Variations temporelles de densité et de biomasse totales, par famille, par transect, et par station.

3. HERBIER

Bien que cité dans les états initiaux de l'étude d'impact ICPE relative à l'usine Vale NC, l'herbier de la baie Kwé n'a jamais donné lieu à un suivi régulier qui lui soit spécifiquement dédié, (la station de suivi du milieu marin positionnée en baie Kwé n'est pas située sur cet herbier). Le plan de suivi du milieu marin élaboré par les autorités compétentes en 2008 ne cite pas cet herbier, ni le volet « Suivis » de la convention CCB-2009. Le manque de connaissances de cet écosystème a été en partie comblé par une étude qui lui a été spécifiquement dédiée, demandée par Vale NC en 2014 ^{*(1)} ; l'étude EMR de 2010^{*(2)} cite aussi cette formation de phanérogames.

**(1) : HERBIER DE LA BAIE KWE - DESCRIPTIF GENERAL, CARTOGRAPHIE- ETAT DES LIEUX INITIAL- Avril 2014. Aquaterra/Biocénose/Acrem.*

**(2) : Etude de l'engravement de la rivière Kwé, de son estuaire et de la baie. EMR 2010.*

La méthodologie de suivi de l'herbier s'appuie sur :

- le Guide pour le suivi du milieu marin en Nouvelle-Calédonie (CNRT / ZoNeCo- 2011- Fiche 21 –E. Fontan) ;
- l'étude de E. Fontan: « Les herbiers subtidiaux de Nouvelle-Calédonie » (2009) et le travail de l'IRD : « Mise au point d'outils de caractérisation et de suivi des herbiers subtidiaux de Nouvelle-Calédonie » par E. Fontan, P.Dumas, C.Payri et D.Ponton (2010) ;
- les préconisations de « Seagrass-Watch. Guidelines for Community Groups & Volunteers » (QDPI Cairns 1998) ;
- le rapport : Herbiers et phanérogames marines de l'Outre-Mer français et les écosystèmes associés aux récifs coralliens. Par Hily C., Duchêne J., Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Gigou A., Payri C., Védie F. IFRECOR 2010. (Pages 83/90 Herbiers en Nouvelle-Calédonie)
- le rapport sur l'optimisation du plan de suivi marin, INERIS 2016.

► **Période de suivi** : Février ou mars (en saison chaude où les conditions sont optimales pour les phanérogames).

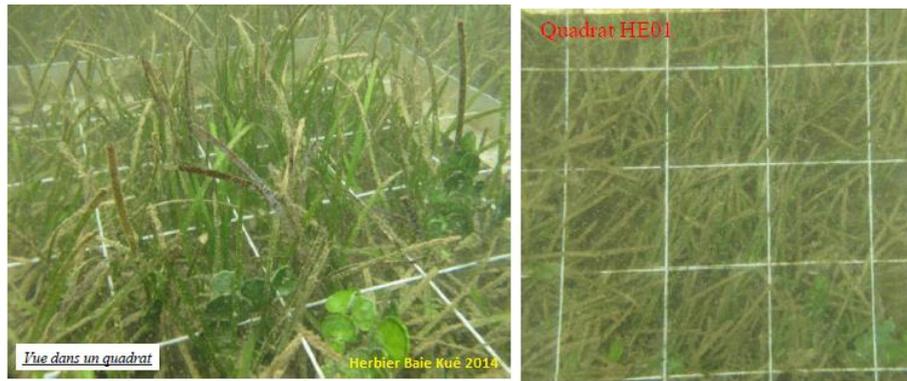
► **Fréquence** : triennale

► **Indicateurs suivis** :

Δ- Paramètres quantitatifs (sur chaque station) :

- **Nombre d'espèces** (Biodiversité en phanérogames). Indication de faible portée car seulement 2 espèces dominantes et 1 ou 2 espèces plus rares ont été identifiées en 2011 et 2014. *Cymodocea serrulata*, *Halodule uninervis*, *Halophila ovalis*.
- **% Recouvrement du substrat**. Le recouvrement du substrat est proche de 100 %, très peu de « trous » de substrat sont visibles si bien qu'une grille d'évaluation basée sur le % de recouvrement ne serait pas, à elle seule, un indicateur très sensible. Un changement significatif, peut-être cyclique, pourrait montrer un recouvrement de classes inférieures.
- **Densité de chaque espèce**: nombre de stolons au mètre carré.

Le comptage se fait sur des quadras installés puis retirés par les plongeurs biologistes



- **Quadra** : 50 cm X 50 cm (un format plus grand serait mal manipulable en plongée) soit $\frac{1}{4}$ m²

- **25 Carrés dans 1 quadra** : 25 carrés de 10 cm de côté (10 cm x 10 cm soit 1/100 m²)

Comptages (en réplicas) dans chaque carré : du nombre de pieds de phanérogame, à minima 9 carrés par quadra.

- **Autour du point fixe qui représente une station** : 5 **quadrats** sont positionnés de façon aléatoire dans un rayon de 10m

Au total le comptage pour une station est effectué sur $9 \times 4 = 36$ carrés

Le nombre de pieds (par espèce, ici : deux à trois espèces maximum) permet d'estimer la densité de l'herbier.

Exemple : en 2014. Densité au m²

	Cymodocea s.	Halodule u.	Observations
Station HO1	256	1822	
Station HE1	0	1411	

Δ-Photographies : La densité des herbiers présents ne se prête pas à un comptage photographique aisé. Cependant chaque rapport présent des prises de vue pour archivages.

Δ- Paramètre surfacique par cartographie : Détourage par cartographie effectuées par télédétection via des images aériennes ou satellitaires et vérifications par des points terrain. Tous les 10 ans à minima.

4. FLUX SEDIMENTAIRES

Une campagne d'étude des **flux verticaux des particules en circulation dans l'eau de mer est conduite sur 48 jours à minima, l'indicateur est de type intégrateur**. Le séquençage des 48 jours permet une approche plus découpée du temps intégrateur et une étude plus fine.

► **Les pièges à particules de type séquentiel (Technicap, type PPS4/3)** sont dotés d'une section efficace de 0,050 m², ils sont équipés de carrousels de 12 godets pour permettre la collecte d'une série temporelle de particules sédimentées. La collecte des particules est programmée pour débuter tel jour à 00h00 avec **un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours)** ; elle se termine tel jour à 00h00. Au total : 12 échantillons de matériel particulaire sont prélevés pour chacun des sites d'immersion, 12 X 4 jours par godet exposé= 48 jours de campagne.

Les tubes à sédiments sont bien moins performants que ce dispositif de pièges séquentiels, ils ne sont pas recommandés pour un suivi moderne, en effet les tubes immergés agrègent les informations durant toute leur immersion, sans discrimination, tandis que les pièges séquentiels sont programmés

sur un pas de temps décidé et permettent de séquencer les informations et de mieux les corrélérer à la pluviométrie ou d'autres événements. Poissons et animaux fixés ne doivent pas perturber le piégeage des sédiments, ce qui arrive avec des tubes déposés trop longtemps, tous les dispositifs immergés plus de 1 mois doivent être visités et entretenus.

Tableau 13 : Exemple de collectes de sédiments dans les flux d'eau de la baie Kwé au premier semestre 2015

Echantillon	Période de collecte
St06-KW1-1	23-26 janvier 2015
St06-KW1-2	27-30 janvier 2015
St06-KW1-3	31 janvier-3 février 2015
St06-KW1-4	4-7 février 2015
St06-KW1-5	8-11 février 2015
St06-KW1-6	12-15 février 2015
St06-KW1-7	16-19 février 2015
St06-KW1-8	20-23 février 2015
St06-KW1-9	24-27 février 2015
St06-KW1-10	28 février- 3 mars 2015
St06-KW1-11	4-7 mars 2015
St06-KW1-12	8-11 mars 2015

► **Le mouillage (pour le suivi des flux de MES)**, est constitué d'une ligne équipée du piège à particules séquentiel, d'un lest associé à un largueur acoustique et d'un flotteur de sub-surface (non visible de la surface), il est immergé sur le point de suivi puis récupéré 48 jours plus tard. Le largueur acoustique est nécessaire car aucune bouée ne doit être visible en surface, lors du largage par déclenchement acoustique, l'appareillage remonte en surface grâce au flotteur tandis que lest est perdu ou bien récupéré par un plongeur si la profondeur le permet. En cas de dysfonctionnement des largueurs acoustiques ou pour entretenir le matériel immergé, un plongeur est toujours nécessaire à bord du bateau.

- **Dans le canal de la Havannah : Le dispositif de collecte est placé à 3 mètres au-dessus du fond.** Cette cote de profondeur est particulièrement importante à respecter pour les pièges mouillés à proximité du diffuseur afin que les orifices de collecte demeurent en contact avec l'effluent, même lorsque les conditions hydrodynamiques des marées de vive-eau s'exercent. Ce prérequis est conforme aux résultats des modélisations de la dispersion de l'effluent et du traçage réalisé à la rhodamine-WT; la couche affectée par l'effluent n'étant que d'environ 5 m d'épaisseur en période de vive-eau, et de 10 m par courants faibles (marées de morte-eau). Les godets doivent être placés dans la zone la plus propice à la collecte des flux d'effluent.
- **Au niveau de la baie Kué,** le dispositif ne peut pas être placé en eaux trop peu profondes, il demande à minima 15m d'eau (Fichez et al 2005 et guide CNRT) et pour cela il est placé au centre de la baie, dans le chenal de sortie des eaux et de brassage avec les flux entrants selon les marées et le régime des vents. (Il n'est pas adapté à une zone d'estuaire très peu profonde ou en zone intertidale) Le suivi temporel des apports terrigènes issus des bassins versants de la Baie Kwé, est donc effectué dans un secteur de profondeur supérieure à 15m parce qu'il est nécessaire de s'affranchir des phénomènes mécaniques comme le charriage de grosses particules sur le fond, il n'est pris en compte dans les pièges que les fractions fines en suspension potentiellement transportables sur de longues distances par les courants, comme le suggère la modélisation.

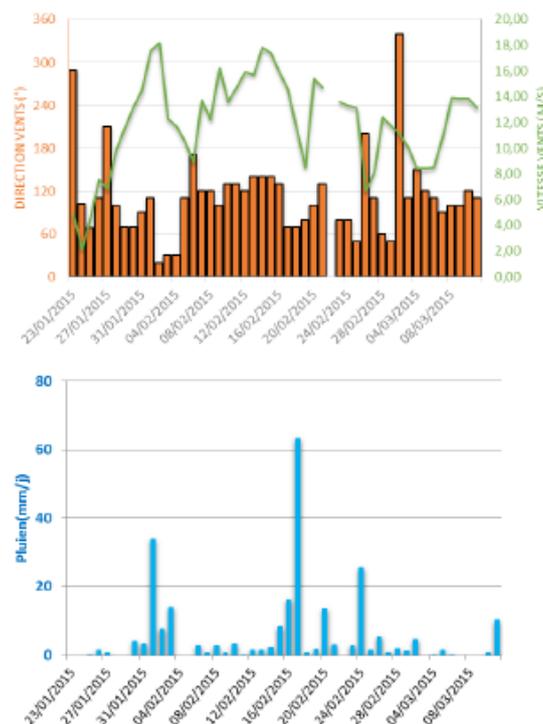
- Ce dispositif fait partie du plan de suivi du milieu marin, du lagon et des baies, mais pas de celui d'une embouchure de rivière. (15 m d'eau sont nécessaires).
- Il ne faut pas confondre les flux de MLES en circulation (ici présenté) et le taux de sédimentation, (suivi par carottage). Le dépôt sédimentaire peut être différent des flux.

► Les échantillons de MES (matière en suspension) collectés dans les godets des pièges séquentiels, sont conservés au frais (4°C) jusqu'à la phase de traitement. Ils sont traités au laboratoire et conditionnés dans des sachets à usage unique puis analysés.

- Les MES sont caractérisées de manière à évaluer les fractions d'origines terrigènes et celles d'origines marines (carbonates).
- Les flux sont estimés (g/m²/j) et confrontés aux différents régimes météorologiques.

► **Les paramètres météorologiques** (pluie journalière, direction et vitesse moyenne du vent) sont donnés par la station météo de l'usine-pilote Vale-NC ou par la station météo installée sur le récif loro, ils sont absolument nécessaires. (Cf. figure suivante). La direction des vents (et leur force) est corrélée avec la remise en suspension des sédiments fins d'origine marine à l'entrée des baies ouvertes sur le Sud, la pluviométrie n'explique pas à elle seule les flux de MES.

Figure 17 : Enregistrement journalier des taux de précipitations, de la direction des vents moyens et de la vitesse des vents moyens pour la période du 23 janvier au 11 mars 2015, durant la campagne de suivi des flux de MES



Les missions ne sont pas effectuées lors de conditions météorologiques extrêmes voire difficile pour des raisons de sécurité et d'homogénéité. Cependant en raison de la forte pluviométrie de la région, les missions d'échantillonnages qui durent 3 ou 4 jours ne peuvent pas être effectuées hors-pluies et les 5 journées avant un échantillonnage influencent aussi celui-ci ; il est donc important de bien corréler les résultats à la pluviométrie même si l'on essaye de s'affranchir des conditions extrêmes.

Pour les suivis en continue par appareillages immergés plusieurs semaines, les fortes pluies sont enregistrées et influencent les séquences de relevés associées.

► Les analyses

Le laboratoire qui effectue les analyses est externalisé comme explicité dans le chapitre 1 (qualité de l'eau de mer) Vale NC recherche des laboratoires pouvant présenter les meilleures garanties de rigueur de contrôle qualité (Certification ISO, accréditation, duplicatas d'échantillons et analyses...).

Afin d'éviter les biais, les mêmes recommandations s'appliquent au niveau des échantillonneurs de terrain, que précédemment : leur niveau de compétence, leur implication dans la suite des traitements et analyses des échantillons et leur capacité à analyser les résultats, sont importantes pour la cohérence du suivi sur toutes ses phases. Une implication des mêmes acteurs du début du processus à la fin de celui-ci permet une meilleure attention et évite des biais, l'analyse finale est plus fine et pertinente.

Sont effectués :

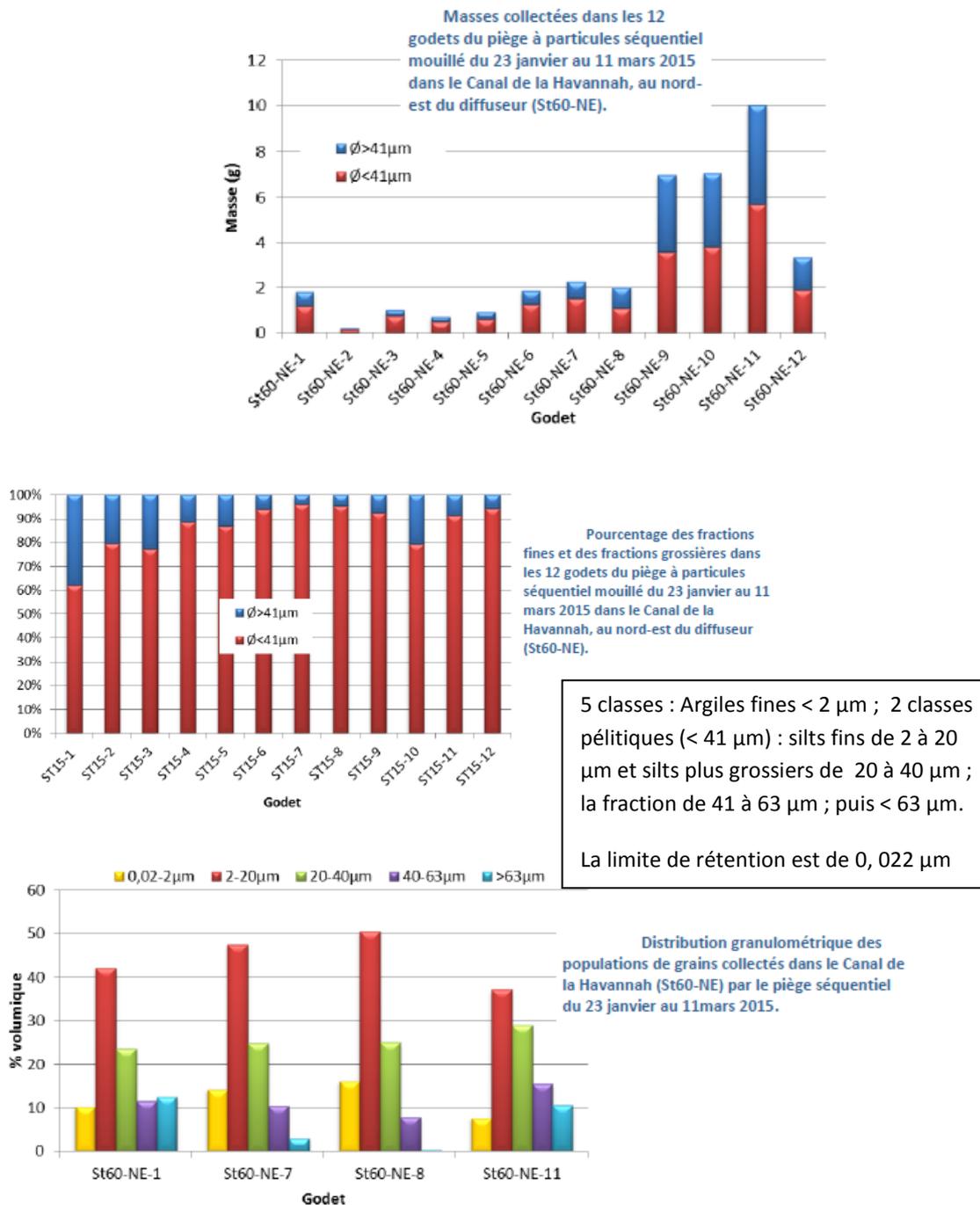
- **Teneur en carbonate** : La teneur en carbonates est calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations de Ca et Mg établies en mg/kg après attaque totale (fusion alcaline) des fractions pélitiques (fraction < 41µm) de MES.
- **Granulométrie** : L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction < 41 µm. La détermination de la distribution de ces populations est réalisée sur quatre échantillons par granulométrie laser (*Malvern master Sizer 2000*) sur la fraction inférieure à 41µm. La granulométrie laser est réalisée à **l'Université de Nouvelle-Calédonie**.
- **Minéralogie** : Les sources et l'évolution temporelle des matériaux sont estimées en fonction des espèces minérales décelées. Les déterminations de ces espèces sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur quatre échantillons. Cette analyse est confiée à **l'Université d'Auckland** (*School of Environment*), Nouvelle-Zélande.
- **Dosage des métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni), et du Ca dans les MES** : Le dosage des métaux, du Ca et Mg, nécessaire pour le suivi des flux de polluants, est conduit par attaque totale des fractions pélitiques (Ø < 41 µm) MES par fusion alcaline. Seuls, Ca, Mg et 5 métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) sont analysés par ICP-OES. Des échantillons de référence (MESS-3 et PACS-2) sont attaqués selon le même protocole pour la validation des résultats de mesures.
- **Dosage du soufre** : Le dosage du soufre est conduit par minéralisation des fractions pélitiques (Ø < 41 µm) des MES, il s'agit d'une attaque acide à haute température en conditions hyperbares. L'analyse du soufre est effectuée par ICP-OES. Ce dosage est effectué pour déterminer les éventuelles formations de gypse lors du rejet de l'effluent.
- **Dosage des HCT** : L'analyse des hydrocarbures totaux est effectuée sur le sédiment brut par la norme NF EN ISO 9377-2.

► Les résultats

- **Masse et la granulométrie de MES**

Par stations et par godets (4 jours en continue de prélèvements) sont enregistrées la masse globale de MES collectée mais aussi la différenciation par fractions entre les pélites les plus fines et des déments plus grossiers, (tout en restant dans le domaine des matières en suspension de passage).

Figure 18 : Exemple de présentation des résultats : masses collectées par godets (périodes de 4 jours) et fractions des déments fins et plus grossiers



➤ **Composition minéralogique**

- -Calcite et aragonites qui sont des indicateurs d'influence marine ;
- -Goethite qui est un indicateur d'influence terrigène.

➤ **Teneur en carbonate**

Elle indique la fraction d'origine marine des MES récoltées et corrobore la composition minéralogique afin d'évaluer le % d'influence terrigène et le % d'influence marine, ce dernier étant corrélé aux secteurs du vent et à la force de celui-ci, notamment en baie Kwé.

➤ **Composition géochimique des MES**

- Concentrations en Ni, Co, Cr, Mn et Fe + Ca
- Calculs des coefficients de corrélation : Corrélations Ni, Co, Mn et Fe (indicateurs terrigènes) et anti corrélation avec le Ca (indicateur marin)
- Ratio Ca / Fe : Il est un bon indicateur intégrateur, son évolution temporelle à la hausse ou à la baisse indique le ratio : influence marine / influence terrigène. Il ne peut pas indiquer si l'influence terrigène est naturelle, anthropique historique ou due à une activité en cours, sa corrélation avec la pluviométrie et le régime des vents est aussi nécessaire.

Les résultats doivent être présentés de façon synthétique explicite, avec un visuel permettant la corrélation avec la météorologie. Un exemple est proposé en figure suivante.

➤ **Calculs des flux de matières**

- Flux en MES (en grammes/m²/jour)
- Flux en éléments métalliques (en milligrammes/m²/jour)
- Comparaison depuis les états initiaux et l'ensemble des campagnes de suivi de ce type.
- Tendances évolutives.

Remarque :

- **Les flux de matières ne sont pas toujours corrélés au taux de sédimentation sur un même lieu.** Ces deux types d'indicateurs ne doivent pas être confondus. Par exemple en milieu côtier en saison humide un flux de particules de 45 g/m²/jour est courant, hors phénomène pluvieux exceptionnel et hors impact, pour un taux d'accumulation qui sera de 1,80 g/cm²/an.
- La pluviométrie n'est pas toujours corrélée immédiatement avec les flux de particules en aval d'un creek, en effet un décalage dans le temps peut avoir lieu, en fonction des volumes de rétention ou du relargage de lentilles de sédimentations en amont dans le lit d'un creek.
- La direction des vents et la houle remettent en suspension des matières d'origine marine (calcaire) dans de nombreuses baies. Un « coup de houle » fera grimper les flux de MES, en dehors d'un apport terrigène.

Les diagrammes tels que ceux présentés ci-dessous montrent ces phénomènes complexes, seule une analyse d'expert peut en tirer des conclusions.

Figure 19 : Station de la baie Kwé : St06. Direction et vitesse du vent, pluviométrie et flux de MES : masse par godets de 4 jours de prélèvements et sur 48 jours, concentration en nickel dans les MES et Ratio Ca/Fe.

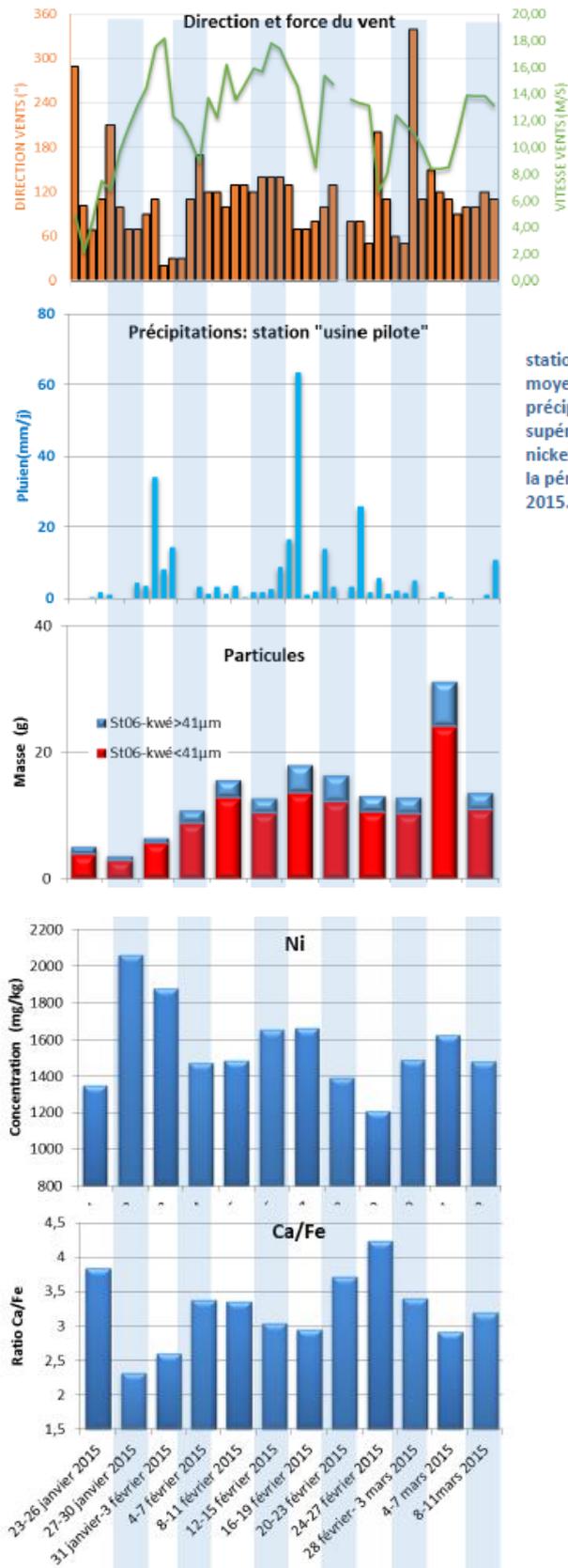


Diagramme combiné pour la station St06-KW1 : direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 μm , concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 23 janvier au 11 mars 2015.

5. QUALITE DES SEDIMENTS PRELEVES

La collecte des sédiments de surface est effectuée par benne Van-Venne en acier inoxydable de nuance 316L. Pour chaque échantillon, la couche centimétrique de surface est prélevée et conditionnée dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack) référencés. Les sédiments ainsi conditionnés sont conservés à 4°C, puis de retour au laboratoire ils sont rapidement congelés et lyophilisés.

Une séparation granulométrique des sédiments est effectuée par voie humide (Eau Milli-Q 18.6 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) afin de récupérer la fraction sédimentaire chimiquement la plus réactive (pélites = particules < 40 μm). Les tamisages sont conduits sur les aliquotes sédimentaires comprises entre 10 et 100 g selon nécessité et les fractions récoltées sont séchées à l'étuve (40°C) puis conditionnées pour leur conservation jusqu'à l'analyse des métaux.

► Analyse des compositions granulométrique

La caractérisation des sédiments est conduite par analyse granulométrique aux seuils de coupures standards pour séparer, le cas échéant, les sables moyens et grossiers ($\emptyset > 500 \mu\text{m}$), les sables fins ($500 > \emptyset > 250 \mu\text{m}$), les silts grossiers ($250 > \emptyset > 125 \mu\text{m}$), les silts moyen ($125 > \emptyset > 63 \mu\text{m}$) et les silts fins plus les argiles ($\emptyset < 63 \mu\text{m}$).

L'étude de la distribution des populations de particules composant la fraction fine (silts plus argiles inférieurs à 40 μm) est nécessaire car elles déterminent à elles seules 90% des capacités géochimiques d'échange du sédiment qui sont à relier au potentiel toxique de celui-ci.

La distribution de ces populations de particules fines est réalisée par granulométrie laser après remise en suspension des sédiments, ajout d'agent dispersant (Pyrophosphates de Na/K) et agitation aux ultrasons. **Cette analyse est confiée à l'Université d'Auckland (School of Environment), Nouvelle-Zélande.**

► Analyse des compositions minéralogique

Les espèces minérales sont déterminées par diffraction de rayons X (DRX) sur des échantillons séparés à 40 μm (pélites) modérément broyés. L'appareil utilisé est un Philips (PW1050/25) équipé d'une anticathode Cu. La recherche des minéraux est réalisée avec le code UPDSM.

Cette analyse a été confiée à l'Université d'Auckland (School of Environment), Nouvelle-Zélande.

► Dosage des métaux liés aux fractions géochimiques

Pour le suivi triennal, des extractions séquentielles sur les sédiments sont conduites de manière à séparer 4 phases géochimiques. Cette méthodologie permet de mieux appréhender les effets de l'impact d'une contamination métallique potentielle dans le milieu. Les deux premières étapes du protocole permettent de mettre en évidence les conditions sédimentaires et les influences anthropiques, les deux dernières reflètent l'évolution géochimique naturelle.

Pour chaque échantillon, les 4 formes géochimiques suivantes des métaux Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn ainsi que de Ca ont été extraites :

- **formes oxydables** : Cette fraction représente les métaux liés à la matière organique du sédiment. Leur extraction est conduite par un oxydant fort en milieu acide ;

- **formes acido-solubles** : C'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné en solution qui attaque en particulier la matrice carbonatée du sédiment. Elle contient également des éléments très faiblement liés aux autres phases géochimiques ; -

-formes réductibles : Elles sont associées aux oxy-hydroxydes de fer et manganèse principalement. Leur extraction s'opère avec un agent réducteur puissant en milieu faiblement acide ;

-formes réfractaires : Elles représentent les éléments métalliques fortement liés ou constituant la matière minérale tels que les silicates et aluminosilicates. L'analyse des métaux réfractaires a été conduite après attaque de la matrice géochimique par fusion alcaline à haute température puis solubilisation de l'amalgame avec un acide dilué.

Après mise en solution (séquentielle ou totale), les métaux et le calcium sont dosés par spectrométrie d'émission optique couplée à une torche plasma (ICP-OES Varian, modèle Vista).

Tableau 14: Méthodologie pour le suivi des sédiments

Description		Distribution des métaux dans les sédiments disponibles : granulométrie, minéralogie et concentration en métaux	
Normes et publication	Tessier et Al 1979		
Prélèvements			
Méthode	Benne à sédiments ou carottier		
Nombre de stations	14		
Fréquence	Tous les 3 ans sauf au port où le suivi est annuel		
Analyses	Méthode	Normes	Limites de détection
Granulométrie	Diffraction laser		0,01µm
Minéralogie	Diffraction aux rayons x		
Extraction séquentielle des phases organiques	Dissolution fractionnée et dosage ICP-OES	Tessier et Al 1979	Entre 0,005 et 0,02µg/L selon le métal
Métaux As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn.*	Attaque totale et dosage par ICP-OES		Entre 0,005 et 0,02µg/L selon le métal

* + Hg en 2014/2015

6. TAUX DE SEDIMENTATION

La méthodologie déployée dans le cadre de cette étude a été spécifiquement développée pour les niveaux de concentration à l'état de traces dans les milieux lagunaires tropicaux et les techniques ont été validées par des publications à comité de lecture. Les techniques analytiques estampillées NF ou ISO, ne sont pas directement applicables dans le contexte des milieux lagunaires de la Nouvelle-Calédonie. En outre, pour répondre spécifiquement aux objectifs annoncés, il a été nécessaire de mettre en œuvre des techniques de carottage adaptées pour individualiser les couches sédimentaires d'épaisseur centimétrique.

Le taux d'accumulation des sédiments dans le milieu naturel, au fond, ne doit pas être confondu avec les flux de matière (chapitre précédent).

► Les prélèvements des carottes

Ils sont effectués avec un carottier conçu pour les faibles profondeurs (< 50 m) afin que la mise en œuvre puisse s'effectuer à partir d'une embarcation à faible tirant d'eau. (Si non les zones d'embouchure et peu profondes du lagon ne pourraient pas être suivies).

Le carottier est composé de tubes amovibles de 0,60 m ou 1,20 m de longueur pour un diamètre externe de 8 cm. Des tubes en plexiglass sont utilisés afin de conserver l'intégrité géochimique des sédiments. Par ailleurs, ce type de carottier présente l'avantage d'assurer une très bonne conservation de l'interface « eau-sédiments ».

Le point de prélèvement est le plus précisément ciblé au GPS et par une position statique du bateau, cependant sur une même station, l'hétérogénéité du fond marin, à un ou deux mètres près, peut être forte et ce fait doit être pris en compte dans la variabilité des carottes.

Des carottes de 14 à 26 cm de profondeur sont extraites afin de déterminer les taux d'accumulation, **une carotte de 35 cm** est prélevée en Baie de Kwé pour estimer les apports relatifs au front de mine.

Après extraction, chaque carotte est maintenue verticalement jusqu'à son découpage intégral en **différents horizons d'une épaisseur égale à 1 cm**.

Une prise d'essai d'un volume de 10 mL de sédiment est aussi effectuée à l'aide d'une seringue dans chaque horizon pour les déterminations des densités et de la porosité des sédiments nécessaires au calcul des taux d'accumulation.

Les horizons de carotte échantillonnés sont conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-pack), congelés puis lyophilisés.

► **Les opérations réalisées sur les différents horizons sont les suivantes :**

- Détermination de la concentration totale des métaux après attaque des sédiments par fusion alcaline et analyse par spectrométrie d'émission (ICP-OES) ;
- **Détermination des taux d'accumulation** par la méthode dite du « 210Pb en excès ». Dans cet objectif, la radioactivité des radionucléides naturels 210Pb et 226Ra a été déterminée par « spectrométrie gamma basse énergie » dans chaque horizon de sédiment brut.
- Sur 4 horizons sélectionnés après un examen visuel de la carotte, une analyse des populations de grains par granulométrie laser et une détermination de la composition minéralogique par diffraction de rayons X (DRX) sont conduites.

Tableau 15 : Méthodologie pour le suivi des sédiments : Taux d'accumulation

Description	Rapidité du taux de sédimentation		
Normes et publication	Godberg ED 1963, Geochronologie with Pb-210 in radioactive dating. Internat atom Energy Agency 121-131		
Prélèvements	Carottier piston		
Analyses	Méthode	Normes	Limites de détection
Datation	Spectométrie Gamma basse énergie 46, 54 KeV (pour Pb ²¹⁰)	Faure 1986	0,003 Bq/g
Densité	Teneur en eau		0,01 mg/L
Granulométrie et minéralogie	Diffractomètre laser et Diffraction rayons x		0,1µm Traces
Métaux : Géo- chimie : As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn	Attaque totale ICP-OES		Entre 0,001 et 0,02µg/L selon les éléments

► **Les analyses supplémentaires réalisées seulement sur la carotte St16 du port de Prouy sont les suivantes**

- Analyse de la concentration en métaux associés aux différentes phases géochimiques composant les horizons. Cette étape a été conduite par extraction séquentielle (Tessier et al.,

1979 ; Quevauvillier et al., 1997), l'analyse ayant été effectuée par spectrométrie d'émission (ICP-OES) ;

- **Analyse du soufre**, dont la concentration permet le suivi du niveau d'impact des activités portuaires sur le milieu marin (opérations de déchargement).

Tous les échantillons de sédiments destinés au dosage des métaux ont été tamisés par voie humide afin de récupérer les fractions pélitiques (particules de diamètre inférieur à 40 μm) ; la fraction pélitique étant considérée de longue date, comme la fraction la plus réactive en matière d'échanges géochimiques avec les métaux (Mayer and Fink, 1979; Ackerman, 1980; Deely and Fergusson, 1994; He and Walling, 1996).

► **Méthode d'analyses :**

- **Dosage des carbonates** : Les teneurs en carbonate sont déterminées par la méthode dite du « calcimètre de Bernard ». Elle consiste en une attaque du sédiment par une solution d'acide chlorhydrique qui génère la formation de CO_2 . Le volume de gaz est titré et la concentration en carbonate de calcium est déterminée par relation stœchiométrique.
- **Granulométrie** : L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction < 2000 μm . La distribution de ces populations est réalisée par granulométrie laser (Malvern), après remise en suspension des sédiments, ajout d'agent dispersant (Pyrophosphates de Na/K) et agitation aux ultrasons.
- **Minéralogie (DRX)** : Les espèces minérales sont déterminées par diffraction de rayons X (DRX) sur des échantillons broyés. L'appareil utilisé est un Philips (PW1050/25) équipé d'une anticathode Cu. La recherche des minéraux est réalisée avec le code UPDSM.
- **Dosage de la concentration totale des métaux** : L'analyse de la concentration totale des métaux, contenus dans les horizons des différentes carottes, est conduite par attaque totale des sédiments par fusion alcaline (voir protocole « dosage des métaux dans les phases géochimiques »). Après mise en solution, les métaux Co, Cr, Fe, Mn, Ni et Ca sont dosés par ICP-OES.
- **Dosage des métaux dans les phases géochimiques** : Les étapes d'extraction séquentielles sont conduites avec un protocole modifié de type Tessier et al. (1979) comprenant 4 phases géochimiques. Pour chaque échantillon, 2 g de pérites sont nécessaires pour extraire les métaux des 4 phases géochimiques afin de séparer les formes suivantes :
 - **Formes oxydables** : Cette fraction représente les métaux liés à la matière organique ainsi aux sulfures du sédiment. Leur extraction est conduite par un oxydant fort (H_2O_2 , 110 vol) en milieu acide ;
 - **Formes acido-solubles** : C'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné en solution ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COONH}_4$) qui attaque en particulier la matrice carbonatée du sédiment. Elle contient également des éléments très faiblement liés aux autres phases géochimiques ;
 - **Formes réductibles** : Elles sont associées aux oxy-hydroxydes de fer et manganèse principalement. Leur extraction s'opère avec un agent réducteur puissant (NH_2OH , HCl) en milieu faiblement acide ;
 - **Formes réfractaires** : Elles représentent les éléments métalliques fortement liés au constituant la matière minérale tels que les silicates et aluminosilicates. L'analyse des métaux réfractaires a été conduite après attaque de la matrice géochimique par fusion

alcaline, selon le protocole en vigueur à l'IRD. Il s'agit de faire réagir du tétraborate de lithium et du sédiment à haute température (1100°C) puis, après refroidissement partiel, de dissoudre les billes d'amalgame formées dans une solution acide (HCl).

Tous les réactifs utilisés sont de marque Merck, qualité ProAnalysis. Les béchers et ustensiles sont soit en PEHD ou en Teflon®.

Après mise en solution, les huit éléments suivants sont analysés par ICP-OES : Ca, Cu, Co, Cr, Fe, Mn, Ni et Zn.

- **Dosage du soufre lixiviable** : L'extraction du soufre lixiviable est réalisée par agitation mécanique de 1g de sédiment dans 100 mL d'eau ultra-pure pendant 16 heures. Les échantillons sont ensuite centrifugés à 3000 RPM puis filtrés à 0,45 µm avant d'être analysés à l'ICP-OES.
- **Dosage du soufre échangeable selon la procédure d'extraction BCR** : L'attaque est conduite sur 1 g de sédiment sec avec 40 ml d'acide acétique 0,11 M pendant 16 h à température ambiante ; l'échantillon est ensuite centrifugé à 1500 RPM pendant 20 minutes puis filtré à 0,45 µm avant d'être analysé par ICP-OES.
- **Géochronologie : La datation des horizons sédimentaires nécessaire à l'évaluation des taux d'accumulation est obtenue par l'analyse de la radioactivité d'un radio-isotope, le 210Pb**, naturellement présent dans les sédiments.

La technique consiste à déterminer :

- le 210Pb « atmosphérique » qui provient indirectement de la désintégration du 222Rn, descendant gazeux du 226Ra contenu dans les roches qui se dégage dans l'atmosphère. Intégré aux aérosols, en quantités importantes selon un flux supposé constant, le 210Pb est d'abord entraînés par les pluies, puis transporté par les rivières jusqu'à la mer, où il va sédimenter avec les particules.
- le 210Pb « supporté » qui apparaît au sein même de la roche (ou du sédiment) et qui ne subit donc pas le cycle atmosphérique. Son apport aux sédiments découle de l'érosion des sols et de son transport fluvial vers le bassin de sédimentation.

Le 210Pb constitue un excellent outil permettant la datation des carottes sédimentaires sur une échelle de temps de l'ordre de 100 ans (He & Walling, 1996 ; Valette-Silver, 1993).

Dans les couches sédimentaires, la radioactivité du 210Pb d'origine atmosphérique décroît de manière exponentielle en fonction du temps à un taux fixé par sa période de demi-vie ($T_{1/2} = 22,26$ ans). A une profondeur donnée, sous l'interface eau-sédiment, la radioactivité du 210Pb dépend donc de la durée écoulée depuis sa déposition et du taux d'accumulation. La radioactivité propre du 210Pb en excès est calculée en soustrayant à la radioactivité totale du 210Pb celle du 210Pb « supporté », mesurée dans les niveaux les plus profonds, où la contribution atmosphérique est négligeable.

L'âge t du sédiment A est alors obtenu selon les équations suivantes (modèles CIC et CRS):

$$t_{CIC} = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{{}^{210}Pb^0}{{}^{210}Pb}_A \right) \quad \lambda = 3,11 \cdot 10^{-2} \text{ an}^{-1};$$

$$t_{CRS} = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{A(\infty)}{A(\infty) - A(t)} \right) \quad ({}^{210}Pb^0)_A = \text{la radioactivité dans le niveau de surface } (h = 0);$$

$$A(\infty) = \text{le flux total de Pb-210}; \quad ({}^{210}Pb)_A = \text{la radioactivité à la profondeur } h;$$

$$A(t) = \text{le flux de Pb-210 pour l'instant } t.$$

Le taux d'accumulation « a » ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$) est alors : $a = h/t$

La radioactivité du ${}^{210}\text{Pb}$ a été déterminée par spectrométrie gamma basse énergie à 46.54 keV. La chaîne de mesures utilisée est composée d'un spectromètre ORTEC X et d'un détecteur au béryllium de 80 % de rendement.

► Résultats

Les résultats sont donnés par les experts en océanographie, sous une présentation pédagogique et avec des résumés relativement synthétiques. Vale NC ne se permet aucune censure et une fois le cahier des charges rempli, l'expert peut exprimer ses recommandations, ses réflexions ou parfois ses

recherches propres plus approfondies pour mieux cerner un point de suivi. Le rapport intégral d'expertise est en donné annexe des bilans des suivis communiqués par Vale NC aux autorités de tutelle.

Comme pour les suivis précédents la capacité des échantillonneurs à traiter les échantillons et analyser les résultats est un plus en implication pour une rigueur méthodologique maîtrisée sur toutes les phases du processus.

Dans l'exemple ci-dessous : La composition minéralogique des sédiments reste constante le long du profil vertical jusqu'à l'horizon 17-18 cm : les minéraux comme la calcite, l'aragonite et la calcite magnésienne sont largement majoritaires et marquent la forte influence marine, par contre la présence de goethite signe l'influence d'apports terrigènes d'origine latéritique et ceux-ci sont présents même dans les sédiments les plus anciens (profonds : horizon 33/34 cm).

La composition minéralogique évolue en profondeur, avec à l'horizon 33-34 cm où la présence de kaolinite est fortement marquée.

Tableau 16 : Composition minéralogique des sédiments pour les horizons (0-1 cm), (1-2 cm), (17-18 cm) et (33-34 cm) de la carotte St06 de la baie Kué

HORIZON	MINERAL					
	Mg-Calcite	Calcite	Aragonite	Goethite	Kaolinite	autres
0 - 1 cm	-	▲	▲	▲	Δ	-
1 - 2 cm	▲	▲	▲	▲	Δ	-
17 - 18 cm	▲	▲	-	▲	Δ	-
33 - 34 cm	-	▲	▲	▲	▲	Δ

▲ = présence ; Δ = Probabilité de présence à l'état de traces (minimum 5% massique)

La présentation suivante montre les métaux dans les sédiments en fonction de la profondeur de ceux-ci, l'horizon le plus ancien étant le plus profond et en surface il s'agit des dépôts quasi actuel.

Figure 20 : Profils des concentrations totales en métaux (Co, Cr, Fe, Mn, Ni) et du calcium dans la fraction péloïtique des sédiments de la carotte St16 du port de Prony

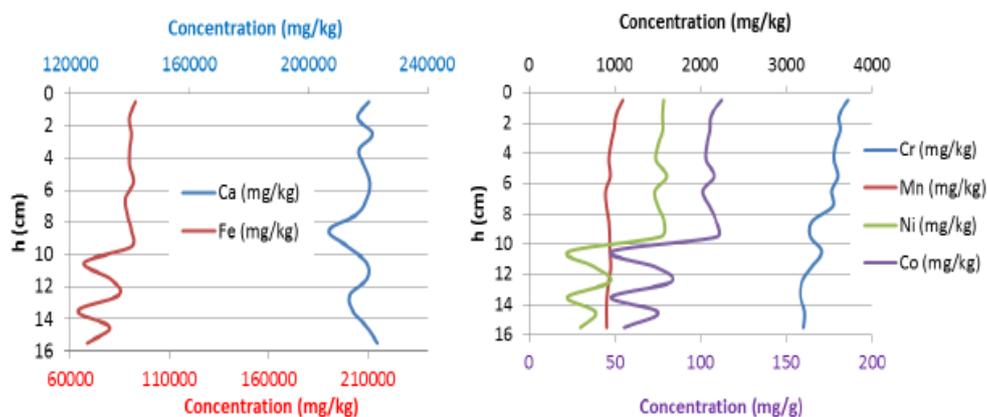
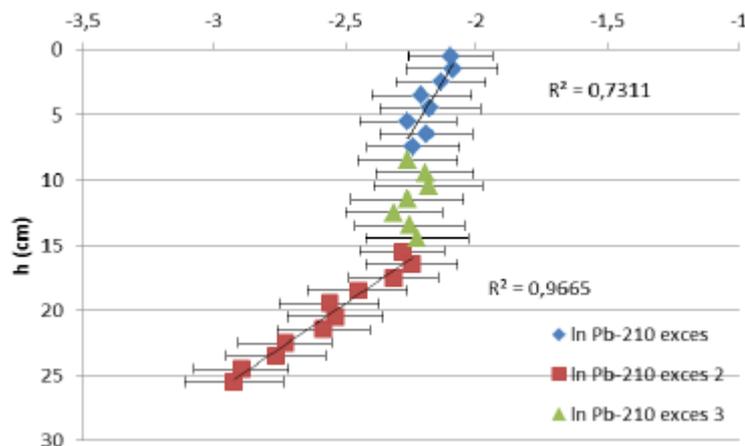


Figure 21 : Profil vertical de la radioactivité du « 210Pb en excès » dans les sédiments de la carotte St06.



Le premier épisode est constitué par les horizons de 0 à 8 cm, il présente un taux de décroissance radioactive rapide et équivaut à un taux d'accumulation de 1,23 g/cm²/an ($R^2=0,780$).

Pour le second épisode, le plus ancien, qui est identifié entre les horizons 15 et 25 cm, le taux d'accumulation calculé est de 0,37 g/cm²/an.

Ces deux épisodes de sédimentation continue sont séparés par un horizon de 7 cm d'épaisseur dont la radioactivité est relativement constante ce qui signifie un apport sédimentaire chaotique et fort en peu de temps, La présence de cette couche est la démonstration de l'irrégularité des phénomènes sédimentaires.

La datation des couches est délicate et demande plusieurs méthodologies couplées et avis d'experts, par deux modèles théoriques CIC (Robbins et Edgington, 1975) et CRS (Appleby et Oldfield, 1978) puis par une troisième approche développée sur la base du système CRS (noté CRS/MV),

7. ANALYSE TEMPORELLE DES INDICATEURS ET SYNTHÈSE

Les bilans de suivis comportent :

1. Une première partie : celle des résultats bruts et/ou agrégés au niveau de l'ensemble des indicateurs sur l'ensemble des stations imposées, au temps t de la mission.
2. Une seconde partie, exigée auprès des cocontractants spécialistes dans leur domaine : celle des analyses comparatives et des évolutions. (**Stratégie de suivi BACI = Before / After & Control / Impact**) :

2.1. **Les évolutions spatiales comparent les stations entre elles au temps t** le plus souvent par des cartes présentant un indicateur sur l'ensemble du domaine surveillé. Les stations sous influence Vale NC et leur station de contrôle homologue (témoins) doivent être

analysées de pair, autant que possible. Cela fait partie de la stratégie de suivi : Impact/Control

2.2. Les tendances évolutives temporelles : Les états initiaux et les données de référence comparatives sont rappelés dans chaque bilan semestriel. Les courbes de l'évolution d'un indicateur sur une station, depuis les états de référence jusqu' au temps t de la mission en cours, permettent de dégager (ou pas) des tendances évolutives. Cela fait partie de la stratégie de suivi : Before/After. Il est nécessaire de définir de façon de plus en plus précise, au fil des campagnes, la variabilité naturelle, saisonnière (extension de la couverture algale par exemple) ou cyclique (blanchissement corallien par exemple, en fonction des dépressions et cyclones ou des épisodes « El niño ») afin de pouvoir discerner une modification qui soit supérieure à la variabilité naturelle de l'indicateur.

2.3. Il est essentiel de raisonner en termes de tendances évolutives significatives. Il n'est pas rigoureux de tirer des conclusions uniquement à partir d'une donnée ponctuelle ; ou par seulement une comparaison avec une grille de lecture car il n'existe aucun seuil en milieu naturel et les hydro-régions marines sont nombreuses et très différentes entre elles.

2.3.1. Comme le souligne le guide CNRT/ZoNeCo (2011, en réactualisation en 2018) pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie : *Il est impossible de donner une grille de lecture de valeurs seuils*, seules des fourchettes indicatives sont proposées.

2.3.2. Une seule donnée dans une hydro-région de type a)-, ne peut pas être comparée à une donnée dans une hydro-région de type b)-, cela va à l'encontre de la méthode « Control /Impact ».

2.3.3. Un seul indicateur sur la cinquantaine d'indicateurs suivis ne peut pas à lui seul permettre de conclure sur le « bon » ou « mauvais » état global d'une zone. La santé même excellente d'un écosystème sur une zone donnée, n'exclue pas la présence d'un indice de stress (par exemple en réserve Merlet, il y a toujours un % de blanchissement corallien et des maladies sur certains coraux, en bruit de fond naturel, cela ne permet pas de dire que cette réserve est en mauvaise santé).

3. L'ensemble des indicateurs physiques, chimiques, biologiques, ponctuels et intégrateurs, doivent être conjointement analysés, pour cela une communication et une synergie sont nécessaires entre les différents spécialistes qui assurent les campagnes de surveillance : océanographes, chimistes de laboratoire, ichtyologues, spécialistes du corail, biologistes et plongeurs... doivent partager leurs connaissances et leurs questionnements. A cette fin, et sous la demande de l'ingénieur coordinateur des suivis marins, des réunions ont lieu avec l'ensemble de ces scientifiques, pour chaque campagne semestrielle. Si une alerte est donnée sur une station, cette alerte est due à une réflexion conjointe est intégrée suite à la prise en considération de tous les indicateurs. (Ex : la station sur la pointe Puka en 2013, campagnes supplémentaires conjointes physico chimie et biologie).

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES PRINCIPALES

8.1. Qualité de l'eau de mer

- Achard R, Kumar-Roiné S, Kaplan H, Pluchino S, Haddad L, Laurent A, et Fernandez JM (2015). Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony : mission janvier-mars 2015. Contrat Vale-NC/AEL n° 3052-2013, 68p.
- Ambatsian, P., Fernex, F., Bernant, M., Parron, C., Lecolle, J., 1997. High metal inputs to close seas : the New-Caledonia Lagoon. *Journal of Geochemical Exploration*. 59, 59-74.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Aminot A, Kérouel (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Bird, E.C.F., Dubois, J.P., Iltis, J.A., 1984. The impact of opencast mining on the rivers and coasts of New Caledonia. The United Nation University, NRTS-25/UNUP-505.
- Breau L, Senia A, Pangrani K, Garcia JP et Debenay JP (2009). Développement de méthodes d'évaluation de la toxicité et analyse du risque chimique de l'effluent pour l'environnement marin. Convention IRD/Goro-Ni, n°1124, « Ecotoxicologie », 117p.
- Douillet, P., Ouillon, S., Cordier, E., 2001. A numerical model for fine suspended sediment transport in the south-west lagoon of new Caledonia. *Coral Reefs*. 20, 361–372.
- Douillet P et Fernandez JM (2009). Modélisation et simulation du transport des formes particulières d'origine naturelle : Simulation annuelle de la sédimentation des particules naturelles en contact avec l'effluent. Convention IRD/Goro-Ni, n°1124, « Modélisation hydrodynamique », 55p.
- Dugas, F., 1974. La sédimentation en baie de St Vincent (Côte ouest de la Nouvelle-Calédonie). *Cah. ORSTOM, ser.Géol.* VI, 1, 41-62.
- Fanning GO, Pilson MEQ, 1973. On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters, *Analytical Chemistry*, 45 : 136-140.
- Fernandez, J-M., Ouillon, S., Chevillon, C., Douillet, P., Fichez, R., Le Gendre, R., 2006. A combined modelling and geochemical study of the fate of terrigenous inputs from mixed natural and mining sources in a coral reef lagoon (New Caledonia). *Marine Pollution Bulletin*. 52, 320-331.
- Fernandez JM, Dolbecq M, Damien P et Le Grand H (2009). Validation du modèle de transport en phase dissoute par traçage à la rhodamine-WT. Convention IRD/Vale-Inco, N° 2131, 2009, 152p.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimique des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (saison humide). Convention n°1312.
- Fernandez JM, Le Grand H, Moreton B, Dolbecq M, Damien P (2010). Suivi environnemental 2009: Qualité physico-chimique et concentrations en métaux dissous des eaux. Convention n°C2284/E13517.
- Fichez R, Moreton B, Pringault O et Viret H, 2005. Fiche : Caractéristiques physicochimiques des eaux. Convention IRD/Goro-Nickel n° 9104, 56p.
- Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources* 18 : 125-147.

Holmes RM, Aminot A, K erouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999). A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56 : 1801-1808.

Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n C2445.

Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. (St15 et St16 : mars, avril, août et novembre 2011). Convention n C2445.

Le Grand H, Moreton B, Dolbecq M, Haddad L, Roupsard F, Douchin C, Dubuc A, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. (1er semestre 2011). Convention n C2445.

Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13 : 223-227.

Mullin JB, Riley JP (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters, *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-176.

Murphy J, Riley JP, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.

Oudot C, Montel Y, 1988. A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in seawater with a Technicon Autoanalyzer II, *Marine Chemistry*, 24: 239-252.

Ouillon, S, Douillet, P, Lefebvre, JP, Le Gendre, R, Jouon, A, Bonneton, P, Fernandez, JM, Chevillon, C., Magand, O., Lefèvre, J., Le Hir, P., Laganier, R., Dumas, F., Marchesiello, P., Bel Madani, A., Andrefou t, S., Panch , J.Y., Fichez, R., 2010. Circulation and suspended sediment transport in a coral reef lagoon: the southwest lagoon of New Caledonia. *Marine Pollution Bulletin*, Special issue PNEC New-Caledonia.

Raimbault P, Coste B, Fry J (1990). Feasibility of measuring an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100 nM range: examples from field and culture. *Marine Biology* 104 : 347-351.

Strickland JDH, Parsons TR (1972). A practical handbook of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 167:207-211.

8.2. Sédiments marins

Mayer LM, Fink LK, 1979. Granulometric control of chromium accumulation in estuarine sediments in Maine. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11, pp 491–503.

Ackermann F, 1980. A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analyses of estuarine and coastal sediments. *Environment Technology Letters* 1, pp 518–527.

Deely, JM, Fergusson, JE, 1994. Heavy metal and organic matter concentrations and distribution in dated sediments of a small estuary adjacent to a small urban area. *Science of the Total Environment*, 153, pp 97–111.

He Q, Walling, DE, 1996. Interpreting particle size effects in the adsorption of Cs-137 and unsupported Pb-210 by mineral soils and sediments. *J. Environ. Radioac.*, 30 (2), pp 117-137.

Tessier A, Campbell PGC, Bisson M, 1979. Sequential procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51, pp. 844-851.

8.3. Suivis des écosystèmes coralliens et des populations associées

Aeby G.S., Tribollet A., Lasne G., Work T.M., in press. Assessing threats from coral and CCA disease on the reefs of New Caledonia. *Journal of Marine and Freshwater Research*

Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche n° 19 : Abondance des colonies coralliennes. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nickel et son environnement, pages 152-153

Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche 20 : Recouvrement corallien. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nickel et son environnement, pages 154-155

Andréfouët S., Torres-Pulliza D., 2004. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, Avril 2004, 26p + 22 planches

Arias-González J.E., Legendre P., Rodríguez-Zaragoza F. A., 2008. Scaling up beta diversity on Caribbean coral reefs *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366, 28–36

Avias J., 1959. Les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie et quelques-uns de leurs problèmes. Extrait du *Bul. Soc. Géo. Fr*, 7è série, t.I, p 424-430

Baker et Collier, 1966. Some empirical results on variance ratios under permutation in the completely randomized design. *J. Amer. Statist. Ass.* 61, 813-820

Baudry et Baudry-Lavel, 1982. La mesure de la diversité spatiale. Relation avec la diversité spécifique, utilisation dans les évaluations d'impact. *Acta Oecologica, Oecol. Applic.*, 3(2), 177-190

Bellwood D.R., Hughes T.P., 2001. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *Science* 292, 1532–1534

Bellwood D.R., Hughes T.P., Connolly S.R., Tanner J., 2005. Environmental and geometric constraints on Indo-Pacific coral reef biodiversity. *Ecology Letters* 8, 643–651

Bemvenuti C. E., Rosa-Filho J. S., Elliott M., 2002. Changes in soft-bottom macrobenthic assemblages after a sulphuric acid spill in the Rio Grande Harbor (RS, Brazil). *Braz. J. Biol.*, 63(2): 183-194, 2003. 12p

Benzoni F., Lasne G., Pichon M., Payri C., 2008. Patterns of zooxanthellate scleractinia biodiversity in New Caledonia Biodiversity and Diversification of Reef Organisms. *Coral reef symposium 2008*

Box et Andersen, 1955. Permutation theory in the derivation of robust criteria and the study of departures from assumption. *J. Roy. Statist. Soc., Ser. B* 26, 211-252

Cabioch G., Payri C. & Pichon M., 2002. Mission Nouvelle-Calédonie. Octobre–novembre 2001. Forages îlot Bayes. Morphologie générale et Communautés algo-coralliennes. In : Cabioch G., Payri C., Pichon M., Corrège T., Butscher J., Dafond

N., Escoubeyrou K, Ihilly C., Laboute P., Menou J.L. & Nowicki L., 2002. Forages sur l'îlot Bayes sur le récif barrière de Poindimié (côte Est de Nouvelle-Calédonie) du 7 septembre au 27 octobre 2001. Rapports de mission, Sciences de la Terre, Géologie - Géophysique, Centre de Nouméa, n° 47 : 22 p. + annexes

Chevalier J.P., 1964. Compte-rendu des missions effectuées dans le Pacifique en 1960 et 1962 (Mission d'étude des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie). *Cah. Pac.*, 6 : 172-175

Chevalier J.P., 1968. Géomorphologie de l'île Maré. Les récifs actuels de l'île Maré. Les Madréporaires fossiles de Maré. in : *Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie*. Paris : Singer-Polignac. 3 : 1-155

Chevalier J.P., 1971. Les Scléactiniaires de la Mélanésie française (Nouvelle-Calédonie, "les Chesterfield", "les Loyauté, Nouvelles Hébrides). 1ère partie. in : *Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie*. Paris : Singer-Polignac. 5 : 307 p

- Chevalier J.P., 1973. Coral reefs of New Caledonia. in : JONES O.A, ENDEAN R. (ed.) : Biology and geology of coral reefs. New York : Acad. Press. Vol 1, Geol. 1 : 143-166
- Chevalier J.P., 1975. Les Scléactiniaires de la Mélanésie française. 2ème partie. in : Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie. Paris : Singer-Polignac. Vol. 7 : 407 p
- Chevalier J.P., 1980. Les coraux du lagon de la Nouvelle-Calédonie. in : DUGAS F., DEBENAY J.P. Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle-Calédonie à 1/50 000. Feuille la Tontouta. Paris : ORSTOM. Not. Explic., 86 : 17-22
- Chorus I. & Bartram J., 1999. Toxic Cyanobacteria in Water : A guide to their public health consequences, monitoring and management. Geneva : World Health Organization, 416
- Clua E., Legendre P., Vigliola L., Magron F., Kulbicki M., Sarramegna S., Galzin,R., 2006. Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 333(2), 219–230
- Cochran W.G., 1947. Some consequences when the assumptions for the analysis of variance are not satisfied. Biometrics 3, 22-
- Cochran W. G., 1951. Testing a linear relation among variances. Biometrics 7: 17-32
- Condit R., Pitman N., Leigh Jr. E.G., Chave J., Terborgh J., Foster R.B., Núñez, P., Aguilar S., Valencia R., Villa G., Muller-
- Landau H.C., Losos E., Hubbell S.P., 2001. Beta-diversity in tropical forest trees. Science 295, 666–669
- Dagnelie P., 1975. Théorie et méthodes statistiques, Les Presses Agronomiques de Gembloux, (Vol II) 463 p
- Donaldson, 1968. Robustness of the F-test to error of both kinds and the correlation between the numerator and denominator of the F-ratio. J. Amer. Statist. Ass. 63. 660-676
- Douillet P. et Fernandez J.M., 2009. Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la NC. Modélisation et simulation du transport des formes particulières d'origine naturelle. Simulation annuelle de la sédimentation des particules naturelles en contact avec l'effluent. Convention IRS/Goro-Ni n°1124, 55p
- English S. and al., 1997. Survey manual for tropical marine resources (2nd Edition). Australian Institute of Marine Science. 390p
- Faure G., Thomassin B., Vasseur P., 1981. Reef coral assemblages on the windward slopes in the Noumea Lagoon (New Caledonia). Proc. 4th int. Coral Reef Symp., Manila, 18-22 May 1981. 293-301
- Fernandez J-M. et Moreton B., 2013. Rade Nord : physico-chimie de la colonne d'eau consécutivement au passage du cyclone Fréda. Rapport AEL A130117-V-002, contrat Vale-NC/AEL n°E54930, 33p
- Fisk D., 2009. Best practice for LIT survey. Coral list Vol4 Issue 28
- Fogg G.E., 1975. Algal cultures and Phytoplankton ecology. 2e éd., Univ. Wisconsin in Press.. Madison and Milwaukee, 3-175
- Friedman M., 1937. The use of ranks to avoid the normality implicit in the analysis of variance. J. Amer. Statist. Ass. (32) 675-701p
- Frontier S., 1982. Réflexions pour une théorie des écosystèmes. Bull. Ecol. 8 (4) : 445-464
- Gabriel C., Cros A., Chevillon C., Downer A. 2005. Analyse Eco-régionale marine de Nouvelle-Calédonie. Atelie d'identification des aires de conservation prioritaire. 112p
- Gabriel C., Garrigue C., Kulbicki M., Laboute P., Lebigre J.M., Lasne G., Payri C., Pichon M., Richer de Forges B., Spaggiari J.,Renoux R., Dec 2008. Analyse Eco-régionale Marine de la Nouvelle-Calédonie

- Garrigue C., 1985. Répartition et production organique et minérale de macrophytes benthiques du lagon de Nouvelle Calédonie. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 270 pp
- Garrigue C. & Tsuda R.T., 1988. Catalog of marine benthic algae from New Caledonia. *Micronesica*, 21, 53-70
- Garrigue C. & Di Matteo A., 1991. La biomasse végétale benthique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Résultats bruts : liste taxonomique, biomasses, pigments chlorophylliens. *Arch. Sci. Mer, Biol. IIIUR., ORSTOM, Noumea*, 1, 143 pp
- Geary, 1956. Test de la normalité. *Ann. Inst. Poincaré* 15, 35-65
- Ginger Soproner, 2013. Avis sur les mortalités observées en juillet 2013, Rapport final, 29p
- Goldman J.C. & Carpenter E.J., 1974. A kinetic approach to the effect of temperature on algal growth. *Limnol. Oceanogr.* 19: 756-66
- Guille A., Menou J. L., Laboute P., 1986. Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie. Édition de l'ORSTOM. 238p
- Hack, 1958. An empirical investigation into the distribution of the F-ratio in samples from two non-normal populations. *Biometrika* 45, 260-265
- Harborne A.R., Mumby P.J., Zychaluk K., Hedley J.D., Blackwell P.G., 2006. Modeling the beta diversity of coral reefs. *Ecology* 87, 2871–2881
- Harmelin-Vivien M.L., J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, R. Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, R. Chevalier, J.
- Duclerc, G. Lasserre, 1985 – Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, vol. 40 : 80p
- Hatcher B.G., 1997. Coral reef ecosystems: how much greater is the whole than the sum of the parts? *Coral Reefs* 16, S77–S91
- Hawkins Sigrid V., 2006. "Feeding Preference of the Cushion Star, *Culcita novaeguineae* in Mo'orea" (December 1, 2006). Water Resources Center Archives. Biology and Geomorphology of Tropical Islands (ESPM 107/IB 158)
- Kinne O., 1980. Introduction to the treatise and to Volume 1, in: Kinne, O.(1980). *Diseases of marine animals: 1. General aspects, Protozoa to Gastropoda*. pp. 1-11
- Kinne O., 1980. *Diseases of marine animals: general aspects*, in: Kinne, O. (1980). *Diseases of marine animals: 1. General aspects, Protozoa to Gastropoda*. pp. 13-73
- Kruskal W., Wallis W.A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583–621
- Kulbicki M., Guillemot N., Amand M., 2005 - A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. *Cybiurn* 2005, 29 (3): 235-252
- Kulbicki M., Sarramagna S., 1999. Adequacy of several density estimates obtained from underwater visual censuses: a case study of Chaetodontidae and Pomacanthidae. *Aquatic Living Resources* 12, 315±325
- Laboute P., 1988. The presence of scleractinian corals and their means of adapting to a muddy environment: the "Gail Bank", p. 107-111, graph., phot. - International Coral Reef Symposium, 1988/08/8-12, Townsville
- Laboute P., Grandperrin R., 2000. *Poissons de Nouvelle-Calédonie*, Nouméa : Catherine Ledru, 519p
- Laboute P. et Magnier Y., 1978. *Guide sous-marin de Nouvelle-Calédonie*. Ed. du Pacifique, Papeete (Polynésie Française) : 160p

- Labrosse P., Kulbicki M., Ferraris J., 2001. Comptage de poissons en plongée. Conditions d'utilisation et de mise en oeuvre. Ed. SPC Nouméa, Nouvelle-Calédonie. 54p
- Lasne G., 2006. Synthèse bibliographique des coraux de Nouvelle-Calédonie. C. de coord. CRISP / IRD p93
- Lasne G., 2007. Les coraux de Nouvelle-Calédonie : Synthèse bibliographique. Cellule de coordination CRISP, IRD, WWF, MNHN, EPHE. 93p
- Lasne G., 2009. Inventaire des coraux scléactiniaires du Grand Lagon Nord – Mission CoRalCal 3-IRD. (CRISP). 119p
- Lasne G., 2010. Inventaire des coraux scléactiniaires du Grand Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie – Campagne CORALCAL III, 10-30 mars 2009. 122p / Cellule de coordination CRISP, IRD. 120p
- Lasne G., 2014. Estimation temporelle de la colonisation biotique sur la partie rompue de l'émissaire marin et évaluation de l'état de santé des communautés récifales aux abords de cette rupture. Rap 135-2014_V02. 19p
- Lasne G. in Clua E., McKenna S., Vieux C., 2011. Contribution à l'inventaire biologique et à l'évaluation des ressources des récifs des Chesterfield – Apia, Samoa : SPREP
- Legendre P., Borcard D. and Peres-Neto R.P., 2005. Analysing Beta Diversity : Ecological Monographs, 75 (4) :435-50
- Legendre P. et Legendre L., 1998. Numerical Ecology. Ed. : Elsevier. p 852
- Le Grand H., Kaplan H., Raynal A., Fernandez J.M., 2014. Suivi renforcé de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la station Puka A. 46p
- Levi C., Bargibant G., Menou J.L., Laboute P., 1998. Sponges of the New Caledonian Lagoon. Edition de l'ORSTOM. 214p
- Météo France, 2013. Bulletin météorologique exceptionnel. <http://www.meteo.nc/actualites/364-episode-pluvieux-debut-juillet-2013>
- Mundy C., 1985. These about accuracy and precision of the LIT method. James Cook University Townsville
- Ormond R.F.G., Roberts C., 1997. The biodiversity of coral reef fishes. In: Ormond, R.F.G., Gage, J.D., Angel, M.V. (Eds.), Marine Biodiversity: Patterns and Processes. Cambridge University Press, pp. 216–257
- Ornellas A.B. and Coutinho R., 1998. Spatial and temporal patterns of distribution and abundance of a tropical fish assemblage in a seasonal Sargassumbed, Cabo Frio Island, Brazil. J. Fish Biol, 53 (A): 198-208
- Parrish J. D., 1989. Fish communities of interacting shallow-water habitats in tropical oceanic regions. Mar. Ecol. Prog. Ser. 58 : 143-160
- Payri C.E., 1988. Halimeda contribution to organic and inorganic production in a Tahitian reef system. Coral Reefs, 6,251-262
- Payri C.E. & N'Yeurt A.D.R., 1997. A revised Checklist of Polynesian benthic Marine Algae, Australian Systematic Botany, 10: 867-910
- Payri C., N'Yeurt A.R. & Orempüller J., 2001. Algae of french Polynesia -Algues de Polynésie Française. Edition Au Vent des îles - Tahiti, 320pp
- Payri C. et Richer de Forges B., 2006. Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD
- Payri C., Petek S., Menou J.L., Lasne G., Butscher J., 2007. Biodiversité et substances marines des îles Fidji (Algues, Eponges, Ascidiées, Echinodermes)
- Pearson E.S. et Hartley H.O., 1966. Biometrika tables for statisticians (Vol I) University Press, Cambridge, 264p

- Pichon M., 2006. Biodiversité des coraux scléactiniaires de Nouvelle-Calédonie. Rapport sur la mission effectuée à Nouméa/Nouvelle-Calédonie du 4 au 21 mai 2006. Rapports de mission confidentiels
- Pichon M. 2006. Scleractinia of New-Caledonia. Check list of reef dwelling species. Rapports de mission confidentiels
- 5 Pichon M., 2006. Scleractinia of New-Caledonia. in Payri C. et Richer de Forges B., (eds). Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD : 148-155
- Pichon M. et al., 2007. Biodiversité des coraux scléactiniaires de Nouvelle-Calédonie. Rapport de mission confidentiel du Diahot du 17 novembre au 12 décembre 2006 (EPHE), 26p
- Randall J.E., Allen G.R. and R.C. Steene, 1990. Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii. 506p
- Randall J.E., 2005. Reef and shore fishes of the South Pacific. University of Hawaii, Press book. 707 p
- Richer de Forges B., 1998. Thèse : La diversité du Benthos marin de Nouvelle-Calédonie : de l'espèce à la notion de patrimoine. Muséum national d'histoire naturelle. 326p
- Richer de Forges B., Laboute P., 2004. Lagons et récifs de Nouvelle-Calédonie, 1600 espèces. Edition Catherine Ledru-IRD
- Risk M.J., Risk A.C., 1997. Reef surveys as an aid in management. Proc. 8th Intl. Coral Reef Sym. 2, 1471±1474.
- Sato M., 1984. Mortality and growth of juvenile coral *Pocillopora damicornis* (Linnaeus) Univ. Ryukyus, dep. marine sci., Okinawa 903 01, JAPON
- SLE 1995. Projet Goro Nickel, Nouvelle-Calédonie. Etude de caractérisation de l'environnement. Rapp. SNC-Lavalin/INCO
- Soubeyran Y., Meyer J.Y. et le Groupe de travail « Espèces Exogènes », 2011. Expertise du « Plan opérationnel pour la maîtrise des espèces exogènes » de la société Vale Nouvelle-Calédonie. Rapport final. 34p
- Spalding M.D., Ravilious C. & Green E.P., 2001. World atlas of coral reefs. University of California Press, 424 p
- Srivastava, 1959. Effect of non-normality on the power of the analysis of variance test. *Biometrika* 46, 114-122
- Thollot P., 1992. Les poissons de mangrove du lagon Sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie. Ecologie des peuplements. Relations avec les communautés ichtyologiques côtières. Thèse Doct. : Univ. Aix-Marseille II (France) : 406p
- Thollot P. et Wantiez L., 1996. Evaluation des impacts du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la Baie Kwé et de la zone portuaire de Prony. 38p
- Trescases J.J., 1969. Premières observations sur l'altération des péridotites en Nouvelle-Calédonie. Pédologie, géochimie et géomorphologie. Cah. ORSTOM, Ser. Géol. 1 : 27-57
- UICN, 2001. Catégories et Critères de l'UICN pour la Liste Rouge : Version 3.1. Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. ii + 32pp
- Veron J.E.N., Pichon M., 1980. Scleractinia of Eastern Australia. Part 3. Families Agaricidae, Siderastreidae, Fungiidae, Oculinidae, Merulinidae, Mussidae, Pectinidae, Caryophyllidae, Dendrophylliidae. Mem. Austral. Inst. Marine Sci. 4. 422 pp
- Veron J.E.N., Wallace C.C., 1984. Scleractinia of eastern Australia. IV Family Acroporidae. Aust. Inst. Mar. Sci. Monogr. Ser. 6. 485p
- Veron J.E.N., 1986. Coral of Australia and the Indo-Pacific. Angus and Robertson Publishers. 644p

- Veron J.E.N., 1995. Corals in space and time, the biogeography and evolution of the Scleractinia. UNSW Press, Sydney. 321p
- Veron J.E.N., 2000. Corals of the world. Australian Institute of Marine Science, Townsville, 1410pp
- Wallace C., 1994. New species and a new species-group of the coral genus *Acropora* (Scleractinia: Astrocoeniina: Acroporidae) from Indo-Pacific locations. *Invert. Tax.* 8: 961–88
- Wallace C., 1997. New species of the coral genus *Acropora* and new records of recently described species from Indonesia. *Zool. J. Linn. Soc.* 120: 27–50
- Wallace C., 1999. Staghorn Corals of the World. A revision of the Genus *Acropora*. (ed) CSIRO Publishing pp. 422p
- Wallace C. & Willis B.L., 1994. Systematics of the coral genus *Acropora*: implications of new biological findings for species concepts. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 25: 237-262
- Wallace C. et Wolstenholme J., 1998. Revision of the coral genus *Acropora* in Indonesia. *Zool. J. Linn. Soc.* 123: 199–384
- Wells J.W., 1959. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 1 and 2. *Pac. Sci.*, 13 (3) : 286-290
- Wells J.W., 1961. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals, Part 3. A new reef coral from New Caledonia. *Pac. Sci.*, 15 : 189- 191
- Wells J.W., 1964. The recent solitary Mussid Scleractinian corals. *Zool. Meded., Leiden*, 39 : 375-384
- Wells J.W., 1968. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Parts 5 and 6. *Pac. Sci.*, 22 (2) : 274-276
- Wells J.W., 1971. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 7. *Pac. Sci.*, 25 (3) : 368-371
- Wells J.W., 1984. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 10. *Pac. Sci.*, 38 (3) : 205-219
- Whittaker R.H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs* 30, 279–338
- Whittaker, R. H., 1972. Evolution and measurement of species diversity *Taxon* 21 : 213-251
- Whittaker R.H., 1977. Species diversity in land communities. *Evolutionary Biology* 10, 1–67
- Wiebe W.J., 1987. Nutrient pools and dynamics in tropical, marine, coastal environments, with special reference to the Caribbean and Indo-west Pacific regions. *UNESCO Rep. Mar. Sci.*, 46 : 19-42
- Wijsman-Best M., 1972. Systematics and ecology of New Caledonia Faviidae (Coelenterata, Scleractinia). *Bijdr. Dierk.*, 42 (1) : 1-90
- Wijsman-Best M., 1973. A new species of the Pacific coral genus *Blastomussa* from New Caledonia. *Pac. Sci.*, 27 (2) : 154-155
- Wijsman-Best M., 1974. Habitat-induced modification of reef corals (Faviidae) and its consequences for taxonomy. In: *Proceedings of the Second international coral reef symposium* (Cameron-A-M editor), Volume 2; coral settlement and growth : 217-228
- Wilcoxon F., 1945. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin* 1 (6): 80–83

8.4. Herbier

E. Fontan. 2010. « Les herbiers subtidaux de Nouvelle-Calédonie » (2009) et le travail de l'IRD : « Mise au point d'outils de caractérisation et de suivi des herbiers subtidaux de Nouvelle-Calédonie » par E. Fontan, P.Dumas, C.Payri et D.Ponton (2010) ;

« Seagrass-Watch. Guidelines for Community Groups & Volunteers » (QDPI Cairns 1998) ;

Herbiers et phanérogames marines de l'Outre-Mer français et les écosystèmes associés aux récifs coralliens. Par Hily C., Duchêne J., Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Gigou A., Payri C., Védie F. IFRECOR 2010. (Pages 83/90 Herbiers en Nouvelle-Calédonie)



ANNEXE 2

SUIVI DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE MER DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE

1^{er} semestre 2018



« Analyses des métaux dans
l'environnement et expertises »

Rapport semestriel
Mars 2018

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

PO n° L06375/0001

Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle- Calédonie

1^{er} semestre 2018

Kaplan H., Laurent A., David M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L06375/0001	
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1^{er} semestre 2018.		
Auteurs	Kaplan H., Laurent A., David M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.		
Résumé	<p>Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Vale-NC a mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2018 (mars 2018) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin).</p> <p>Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO₃+NO₂ et NH₄), de matières organiques (POD, NOP et POP) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, Cr^{VI}, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations des SiO₄ et métaux latéritiques, se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini, particulièrement au niveau des eaux de surface; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Baie du Port Boisé, de la Kwé et de Prony) et les plus faibles étant relevées dans le Canal de la Havannah. Pour la salinité, cette tendance s'inverse. La dessalure dans les eaux de surface souligne que les éléments chimiques sont transportés vers la mer par les réseaux d'eau douce se déversant dans les baies. Moins contrastés, les profils de turbidité et de fluorescence permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. Par ailleurs, l'augmentation de la fluorescence avec la profondeur dans la Baie de Prony et dans celle du Canal est corrélée à l'enrichissement des eaux de fond en NH₄, COP, POD, NOP et POP. D'autres paramètres tels que les concentrations des éléments majeurs, As, la chlorophylle <i>a</i> et NOD, sont relativement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et ne montrent pas de gradient spatial.</p> <p>Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007.</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kaplan H.	HK	06/07/2018
Vérificateur	Kumar_Roiné S.	SKR	08/07/2018
Approbateur	Pousse C.	CP	17/07/2018
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport initial		20/07/2018
V1.1	Rapport final		10/08/2018
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C.	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kaplan H., Laurent A., David M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM. 2018. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1^{er} semestre 2018. PO : L06375/0001

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	8
A.	SITE D'ETUDE.....	8
B.	ECHANTILLONNAGE	10
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	10
III.	RESULTATS.....	13
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	13
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	19
C.	MATIERES EN SUSPENSION	20
D.	SELS NUTRITIFS	23
E.	MATIERES ORGANIQUES	28
F.	CHLOROPHYLLE A.....	33
G.	METAUX DISSOUS.....	35
IV.	SYNTHESE	42
A.	SELS NUTRITIFS.....	43
B.	METAUX DISSOUS.....	49
V.	CONCLUSION	59
	ANNEXES.....	66

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007¹ et 2008². La définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux marines a été réalisée entre 2005 et 2007 sur 18 stations (Fernandez *et al.*, 2006 ; Fernandez *et al.*, 2007).

Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE, Vale-NC a mis en place le programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce suivi s'exerce, sans interruption, jusqu'à nos jours sur un total optimisé à 14 stations (13 ICPE + 1 Vale-NC).

L'objectif consiste à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux de mer. A cet effet, il est effectué des prélèvements à des fins d'analyses.

L'analyse des séries temporelles permet de déceler l'évolution de tout impact des activités industrielles sur les masses d'eau dans la zone d'influence potentielle du projet Vale-NC.

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvements du 1^{er} semestre 2018 (mars 2018) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

B. OBJECTIFS

Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC:

- 4 dans la Baie du Prony ;
- 5 dans le système du Canal de la Havannah ;
- 1 dans la Baie de Port Boisé ;
- 1 dans la Baie Kwé ;
- 1 au niveau de Port Goro ;
- 1 dans le Canal Woodin ;
- 1 au nord-est de l'Île Ouen.

Ce suivi consiste à prélever de l'eau de mer afin de déterminer les principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations en métaux dissous et en sels nutritifs d'origines minérale et organique. Ces prélèvements permettent de compléter les séries temporelles acquises depuis 2005 afin de statuer sur l'impact ou non des activités industrielles sur l'ensemble du milieu marin.

Note : Les techniques de prélèvement, de conditionnement, de traitement et d'analyses sont spécifiques et reconnues pour l'analyse en milieu marin et saumâtre.

¹ Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007

² Arrêté ICPE : usine d'extraction et usine de préparation des minerais ainsi que le parc à résidus de la Kwé ouest du 09 octobre 2008.

II. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE

Les opérations de terrain ont été réalisées sur les 14 stations du suivi physico-chimique (Tableau 1 ; Figure 1). Afin de faciliter l'interprétation, les stations sont regroupées dans quatre zones subissant différentes influences :

- **Canal de la Havannah** : St02, St05, St07, St09 et St21 influencées majoritairement par les apports océaniques ;
- **Baies du Canal** : St03, St06 et St14 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks des baies adjacents ;
- **Baie du Prony** : St15, St16, St18 et St19 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks de la Baie du Prony ;
- **Ile Ouen** : St13 et St20 influencées à la fois par les apports en eaux douces et les apports océaniques.

Tableau 1: Liste et position des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude E	Latitude S	
Basse Chambeyron	St02	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	St03	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	St05	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	St06	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif Ioro	St07	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	St09	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	St16	166° 53,300	22° 21,455	42
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	St19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21	166° 55,501	22° 26,728	36



Figure 1: Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 13 au 15 mars 2018.

Pour chaque station, les prélèvements d'eau ont été effectués par bouteilles « Niskin® » pour le dosage des ions majeurs, des sels nutritifs et de la matière organique dissoute et particulaire, et les bouteilles « Go Flo®, Metal-Free » ont été utilisées pour le dosage des métaux dissous.

L'eau a été échantillonnée aux profondeurs suivantes :

- sub-surface (-3 m) ;
- mi-profondeur ;
- proximité du fond (environ 3 m du fond ou +3 m).

Lors de la campagne de prélèvements semestriels, les opérations suivantes ont été réalisées :

- enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous et azote, phosphore et carbone organiques particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr^{VI}), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

La méthodologie détaillée des différentes analyses est décrite dans l'Annexe 1.

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions météorologiques et hydro-climatiques ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de restituer chaque prélèvement dans son contexte, les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Vale-NC (Goro Usine n°98817104) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 2 et Figure 3).

Les conditions météorologiques précédant la campagne semestrielle ont été influencées par les cyclones tropicaux HOLA et LINDA, respectivement, les jours précédant et pendant la campagne.

Le cyclone tropical intense HOLA présent à l'ouest de la grande terre entre le 03 et le 11/03/2018 a généré des vents moyens de 14 ± 6 nœuds. Ainsi, lors des 5 jours précédant la campagne, soit du 08 au 12 mars, des vents moyens de 17 ± 7 nœuds de SE à SSE et de SSO ont été enregistrés et un total record de précipitation de 223 mm a été mesuré.

La campagne de prélèvement a également été influencée par la dépression tropicale modérée LINDA présente dans la zone entre le 10 et le 15/03/2018.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (13 au 15 mars 2018) sont les suivantes :

- 13/03/18: Vent d'E/NE de 16 à 18 nœuds, temps nuageux avec des pluies éparses. Présence de houle et de courant dans le canal de la Havannah ;
- 14/03/18: E/NE 16 à 17 Nœuds, temps couvert avec quelques rares averses;
- 15/03/18 : NE 10 à 12 Nœuds, temps nuageux avec quelques éclaircies.

Au total, 21 mm de précipitation sont tombées pendant cette campagne, se produisant essentiellement le 1^{er} et le 2^{ème} jour.

Les prélèvements du 1^{er} et du 2^{ème} jour ont été réalisés de la fin de marée descendante au début de la marée montante. Le 1^{er} jour, l'échantillonnage a débuté par les stations du Canal de la Havannah (St09, St02, St05, St14, St07 et St21). Le 2^{ème} jour, les prélèvements ont été effectués aux stations de l'île Ouen (St13 et St20) et de la Baie du Prony (St18, St15, St16 et St19). Enfin, le 3^{ème} jour, les prélèvements ont été réalisés à mi-marée descendante à la station de la Baie Kwé (St06) puis à celle de la Baie de Port Boisé (St03) (Figure 3).



Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant la campagne (08 au 12/03/2018 ; en bleu) et pendant la campagne semestrielle (13 au 15/03/18 ; en rouge). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "Goro usine".

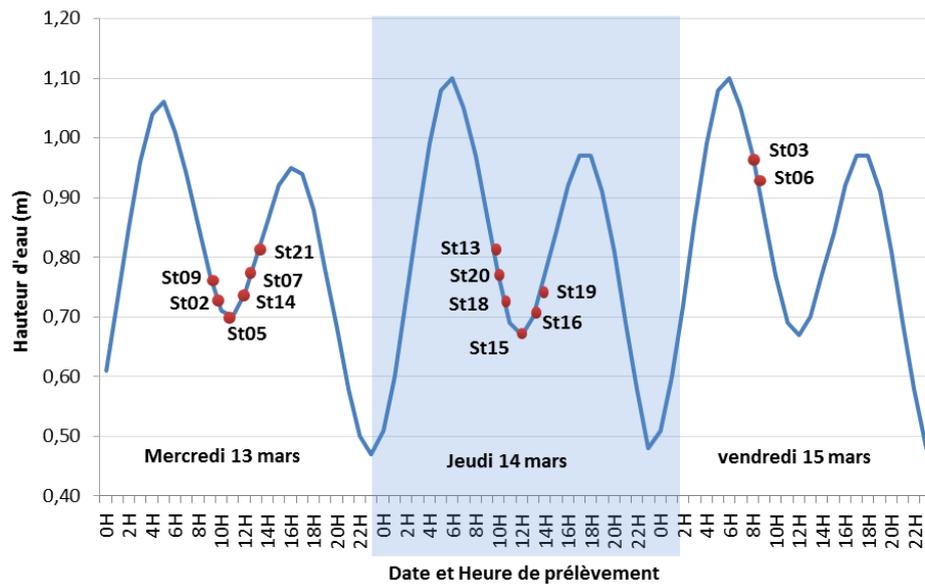


Figure 3: Chronologie des évènements de la campagne semestrielle de mars 2018 reportée sur le marégramme du 13 au 15 mars 2018.

III. RESULTATS

A. STRUCTURE DES MASSES D'EAU

Rappel : Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau et ont pour objectif principal de détecter toute modification importante des principales caractéristiques en lien ou non avec l'activité minière. En milieux côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. La turbidité est définie comme étant la « réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes » (Aminot et Kérouel, 2004) ; elle est le reflet de la charge particulaire dans l'eau. En milieux côtier et estuarien, la turbidité peut indiquer l'existence d'apports en particules provenant des rivières, d'une remise en suspension de dépôts sédimentaires ainsi que de blooms planctoniques. La fluorescence permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse phytoplanctonique. Cette mesure fournit une bonne indication de statut trophique du milieu.

Les valeurs de température, fluorescence, salinité et turbidité mesurées lors de cette campagne sont reportées dans Tableau 2, Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7 et Annexe 2.

Tableau 2: Valeurs de la température, salinité, fluorescence et turbidité enregistrées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
Canal de la Havannah	Minimum	26,15	35,03	0,00	0,20
	Maximum	26,96	35,33	1,14	7,73
	Moyenne	26,48	35,13	0,47	0,54
	Ecart-type	0,14	0,06	0,15	0,72
Baies du Canal	Minimum	25,64	31,62	0,00	0,39
	Maximum	26,79	35,33	0,89	2,89
	Moyenne	26,51	34,37	0,44	0,84
	Ecart-type	0,21	0,88	0,14	0,40
Baie du Prony	Minimum	24,58	26,26	0,20	0,38
	Maximum	27,38	35,68	0,78	5,09
	Moyenne	26,66	34,89	0,45	0,80
	Ecart-type	0,46	1,45	0,13	0,48
Ile Ouen	Minimum	26,07	35,07	0,33	0,49
	Maximum	26,58	35,30	0,63	1,89
	Moyenne	26,32	35,15	0,52	0,78
	Ecart-type	0,14	0,05	0,05	0,20

1. Température

La température moyenne globale est de $26,52 \pm 0,29^\circ\text{C}$. La zone d'étude la plus fraîche est celle de l'île Ouen, à l'opposé de la Baie du Prony où les températures sont les plus chaudes et plus variables. (Figure 4 et Tableau 2). Dans le Canal de la Havannah, la température moyenne est de $26,48 \pm 0,14^\circ\text{C}$. Les profils de température présentent peu de variation dans les premiers mètres de profondeur à l'exception de ceux des stations St21 et St07 pour lesquelles on observe une diminution régulière de la température le long de la colonne d'eau. Une strate d'eau plus fraîche est visible à partir de 20 m de profondeur aux stations St05, St07 et St21. La température aux stations St02 et St09, quant à elle, est très homogène tout le long de la colonne d'eau. Au niveau des baies du Canal, une thermocline est bien visible dans les premiers mètres des stations St03, St06 et St14 situées respectivement dans trois zones d'influence de creeks. Les stations St06 et St14 montrent moins d'écart de température entre le haut et le bas de leur colonne d'eau avec respectivement $26,40 \pm 0,10^\circ\text{C}$ et $26,56^\circ\text{C} \pm 0,10^\circ\text{C}$. A l'inverse, les températures au sein de la colonne d'eau de la station St03 diminuent progressivement avec la profondeur. Les profils de température relevés dans la baie du Prony présentent les plus grands écarts sur l'ensemble de la zone d'étude. Une thermocline est nettement visible à la station St18 avec des températures plus chaudes entre 0 à 8m de profondeur. En revanche, aux stations St16 et St19, les températures sont assez stables dans les premiers mètres de la colonne d'eau puis se refroidissent nettement à partir de 20 m de profondeur. Dans la zone de l'île Ouen, sous influence océanique, les températures moyennes sont assez homogènes et légèrement plus fraîches que la température moyenne de l'ensemble de la zone d'étude ($26,32 \pm 0,14^\circ\text{C}$). Les profils de température des stations St13 et St20 montrent une baisse légère néanmoins progressive des températures à mesure que la profondeur augmente.

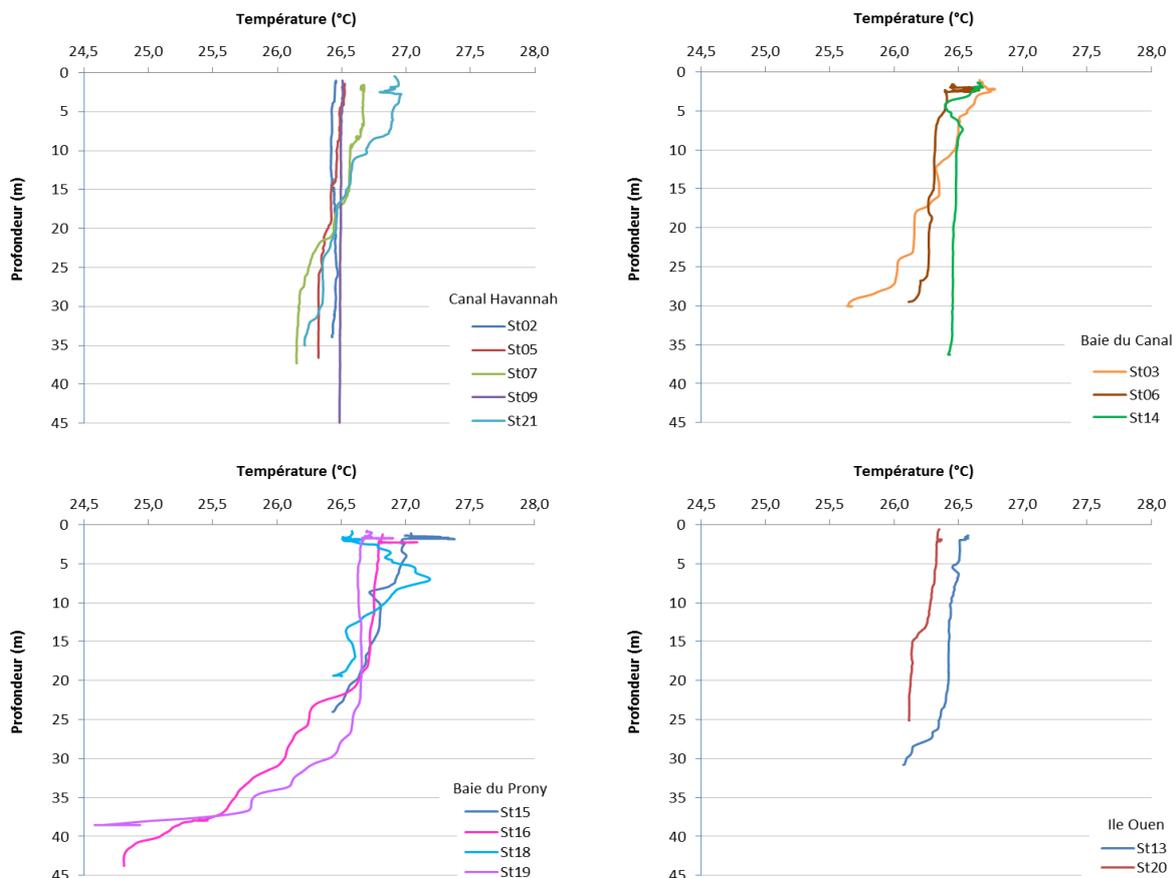


Figure 4: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

2. Salinité

Les profils de salinité du Canal de la Havannah et de l'île Ouen, où l'influence océanique est prépondérante, sont particulièrement homogènes avec respectivement $35,13 \pm 0,06 \text{ ‰}$ et $35,15 \pm 0,05 \text{ ‰}$. Les stations des baies du Canal mettent en évidence une légère dessalure en surface (0 à 4 m) générée par l'arrivée d'une importante quantité d'eau douce des creeks, dû aux fortes pluies des jours précédant la campagne. Ce phénomène est moins visible à la station St06 car le prélèvement a eu lieu à mi-marée descendante. La salinité est assez homogène sur le bas de la colonne d'eau. En baie du Prony, une importante dessalure est également visible proche de l'Ilot Casy. Ce phénomène est très fréquemment observé à la station St18 notamment lors d'épisodes pluvieux. Une résurgence d'eau douce ou une couche d'eau douce poussée par les alizés, vents dominants, peuvent être à l'origine de ce phénomène. Les autres stations dans cette baie présentent des profils de salinité relativement stables. (Figure 5 et Tableau 2).

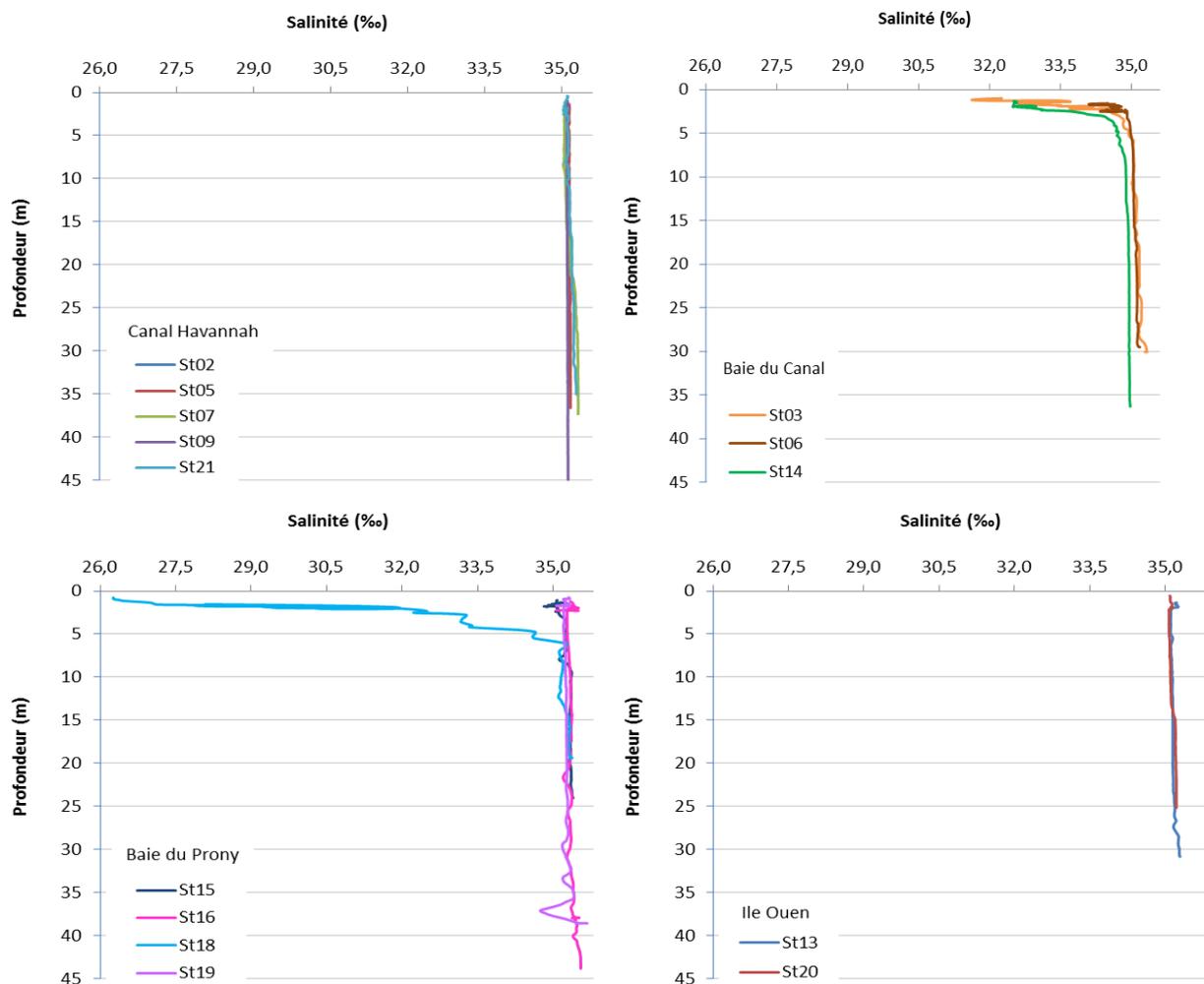


Figure 5: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

3. Fluorescence (mesure de la Chlorophylle totale)

Les profils de fluorescence montrent des moyennes relativement proches les unes des autres dans l'ensemble des zones étudiées (Figure 6 et Tableau 2).

Dans le Canal de la Havannah, les profils de fluorescence suivent la même évolution à l'exception de deux profils. Le profil de la station St07 montre une augmentation de l'intensité à mi-profondeur et celui de la station St21 augmente progressivement avec la profondeur. Cette importante fluorescence peut révéler la présence de matière organique primaire d'origine marine. A la station St07, une couche d'eau ayant une fluorescence élevée se distingue entre 10 et 20 m de profondeur, puis diminue jusqu'en bas de la colonne d'eau. Dans la Baie du Canal et dans la Baie du Prony, les valeurs de fluorescence moyennes sont similaires ($0,44 \pm 0,14 \text{ mg/m}^3$ et $0,45 \pm 0,13 \text{ mg/m}^3$). A la station St14, la fluorescence est croissante entre 6 et 20 m témoignant de potentiels apports phyto-planctoniques. En Baie du Prony, une épaisse couche est visible entre 5 et 25 m de profondeur à la station St19. A la station St18, la couche visible de fluorescence se situe entre 5 et 10 m de profondeur. A la station l'île Ouen, les profils de fluorescence sont très homogènes avec des faibles intensités ($0,52 \pm 0,05 \text{ mg/m}^3$).

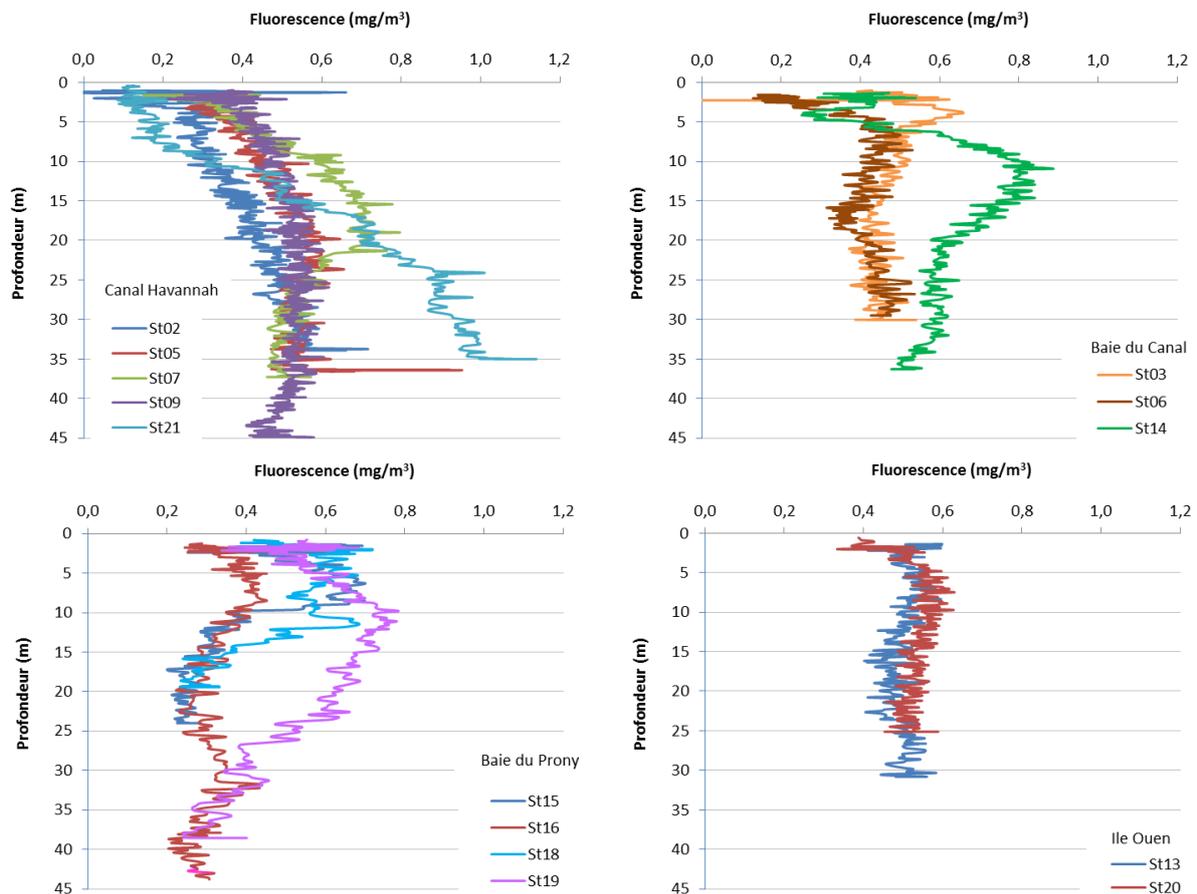


Figure 6: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

4. Turbidité

Les profils de turbidité enregistrés varient selon les zones d'étude, notamment dans la Canal de la Havannah avec une moyenne mesurée de $0,54 \pm 0,72$ NTU. En effet, les conditions météo au moment de la campagne étaient favorables au brassage des matières en suspension organiques et/ou minérales, vivantes et/ou détritiques (Figure 7 et Tableau 2)

Les grands écarts de valeurs du canal de la Havannah sont attribués à la station St02 où les turbidités oscillent de 0,25 NTU à 7,73 NTU. A cette dernière, dans les 10 premiers mètres, la turbidité décroît de 7,73 à 0,75 NTU. Quant à la station St07, la couche de turbidité s'épaissit entre 15 et 36 m de profondeur, ce qui semble être corrélé au rafraîchissement de la colonne d'eau. Les profils de turbidité des stations St05, St09 et St21 sont assez homogènes. Dans la Baie du Prony, les profils montrent une augmentation de la turbidité à mesure que la profondeur augmente. Pour les stations St16 et St19, une couche turbide est visible au-delà des 35 m de profondeur en corrélation avec les températures plus fraîches au fond. A la station St15, des couches successives de turbidité apparaissent à 8, 15 et 25 m également, en lien avec les différences de température à ces mêmes niveaux. A la station St18, une légère couche turbide et dessalée (0 à 5 m) surplombe 10 m d'eau plus claire, puis au-delà des 15 mètres de profondeur l'eau se trouble de nouveau. Les stations des baies du canal ont des profils de turbidité assez similaires. Pour les stations St03 et St06, une fine couche turbide en surface surplombe une colonne d'eau plus claire jusqu'à environ 15 à 20 m au-delà desquels des matières en suspension contenues dans l'eau plus fraîche troublent le bas de la colonne d'eau. Les valeurs moyennes de turbidité relevées à l'île Ouen sont plus homogènes ($0,78 \pm 0,20$ NTU).

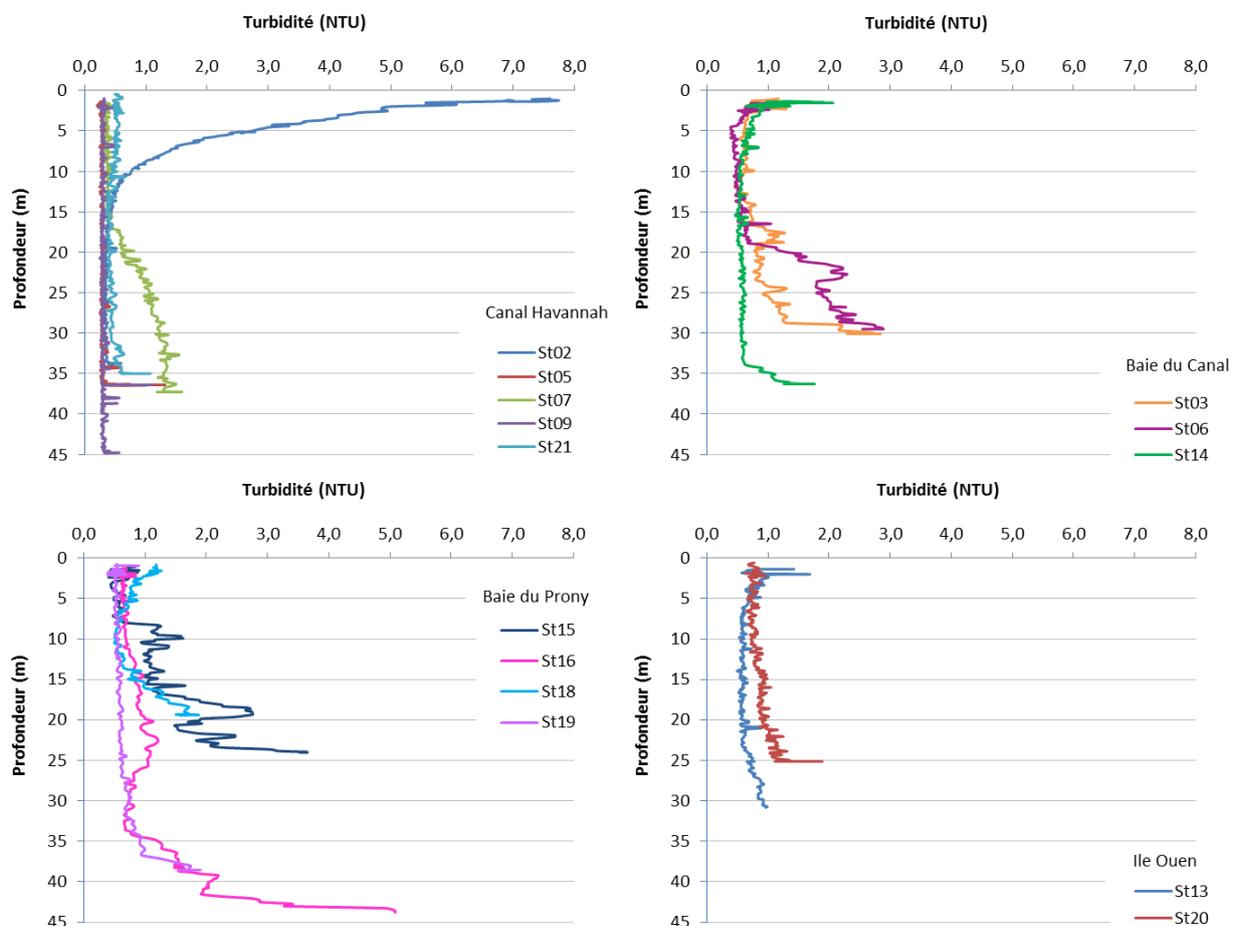


Figure 7: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence les stations influencées par les apports d'eaux douces provenant des émissaires naturels ainsi que l'influence océanique dans les stations du Canal de la Havannah pour la période du 13 au 15 mars 2018.

Les fortes précipitations sont décelables par la faible salinité des eaux de surface (-5 m) dans les baies du Canal et de Prony essentiellement aux stations St03, St14 et St18.

Les différences de température influencent la répartition des matières en suspension au sein de la colonne d'eau. Ce phénomène aussi appelé thermocline délimite les eaux douces superficielles (moins denses) de l'eau de mer, plus dense, produisant ainsi une stratification des masses d'eau. Il est nettement visible dans la Baie du Prony aux stations St16 et St19 ainsi qu'à la station St18 à partir d'environ 7 m. Dans le Canal de la Havannah, une thermocline apparaît dès 10 m de profondeur à la station St21 et aux environs de 20 m de profondeur aux stations St07 et St05. Dans la zone de l'île Ouen, la station St20 présente une couche d'eau plus fraîche à partir de 15 m de profondeur alors que celle de la station St13 ne survient que dans les derniers mètres du fond.

Les couches d'eaux turbides sont révélatrices de matières en suspension d'origines diverses. Elles se retrouvent en surface, comme à la station St02, pouvant provenir d'un upwelling dû aux vents soutenus de la semaine précédant la campagne. Au niveau des stations des baies : St03, St06, St14, St16, St19, St15 et St18, la turbidité proviendrait de la remise en suspension des particules du fond.

La fluorescence des eaux étudiées montre des concentrations proches, selon les zones, à l'exception des valeurs de la station St21. Une remontée des eaux froides, profondes, riches en nutriments pourrait signaler un bloom phytoplanctonique visible par la fluorescence, notamment en surface de la station St02. Ce phénomène est moins probable pour les stations St14 et St19 plus proches des côtes pour lesquelles l'origine serait plutôt terrigène. Les données de chlorophylle a seront à corrélérer avec ce paramètre.

B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

Les concentrations des éléments majeurs et les valeurs de pH sont regroupées dans le Tableau 3 ainsi qu'en Annexe 3.

Dans l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations en éléments majeurs sont assez homogènes à l'exception des concentrations de surface de la station St18 en, Ca, K, Na, Cl⁻, SO₄ où elles sont légèrement inférieures à la moyenne globale (Annexe 3). Les concentrations en éléments majeurs restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Tableau 3) (Le Grand *et al.*, 2010 ; Le Grand *et al.*, 2011 ; Le Grand *et al.*, 2012 ; Le Grand *et al.*, 2013 ; Le Grand *et al.*, 2014 ; Le Grand *et al.*, 2015, Kaplan *et al.*, 2016, Kaplan *et al.*, 2017).

Le pH moyen diffère peu entre les zones étudiées ($8,20 \pm 0,04$) comparativement à celui obtenu lors de la campagne précédente de mars 2017 ($8,20 \pm 0,02$) en saison chaude. La seule station à laquelle le pH est légèrement plus faible est la station St06 avec un pH=8,1 en surface. (Tableau 3).

Tableau 3 : Concentrations des éléments majeurs et valeurs du pH mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	pH	Eléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,3	408	485	1197	11130	20507	2465
	Maximum	8,3	436	508	1338	11585	23635	3400
	Moyenne	8,3	422	493	1291	11319	22375	2837
	Ecart-type	0,0	8	7	41	129	1014	270
Baies du canal	Minimum	8,1	380	440	1174	10142	20855	2390
	Maximum	8,3	430	500	1333	11432	28501	3150
	Moyenne	8,2	404	472	1291	10873	22940	2688
	Ecart-type	0,1	17	22	48	484	2306	229
Baie du Prony	Minimum	8,2	332	376	1024	8700	18074	2090
	Maximum	8,2	436	509	1343	11585	28501	3125
	Moyenne	8,2	418	486	1291	11147	23114	2725
	Ecart-type	0,0	28	36	86	787	2298	284
Ile Ouen	Minimum	8,2	411	486	1199	11166	22245	2610
	Maximum	8,2	434	505	1332	11572	25026	2925
	Moyenne	8,2	421	498	1284	11401	23172	2754
	Ecart-type	0,0	8	7	46	149	950	111

C. MATIERES EN SUSPENSION

Rappel : La mesure des matières en suspension (MES) est importante dans les milieux côtier et estuarien car elle reflète à la fois l'importance des apports terrigènes et la remise en suspension de sédiments sous l'influence des conditions météorologiques (vent, pluie...). Les MES influencent également la production primaire : une charge particulaire élevée peut, en effet, modifier l'importance de la couche euphotique. En milieux côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,5 à 5,0 mg/L (Aminot et Kérouel, 2004).

Les concentrations de matière en suspension (MES) déterminées lors de la campagne de mars 2018 sont représentées dans la Figure 8, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Les concentrations mesurées en MES sont variables dans la zone d'étude (Tableau 4). Elles sont globalement légèrement supérieures aux moyennes des années précédentes. La moyenne des MES de 2009 à 2016 est de $0,453 \pm 0,410$ mg/L contre la moyenne de mars 2018 de : $0,507 \pm 0,301$ mg/L. Les valeurs de MES moyennées de mars 2013 étaient exceptionnellement élevées ($1,103 \pm 1,075$ mg/L).

Dans les baies du canal et la Baie du Prony les concentrations moyennes en MES sont plus importantes et hétérogènes que dans les autres zones, avec respectivement $0,618 \pm 0,339$ mg/L et $0,567 \pm 0,352$ mg/L. Un gradient vertical est visible avec des concentrations plus importantes en profondeur des colonnes d'eau, en corrélation avec les profils de turbidité.

Au niveau des stations du canal de la Havannah et de l'île Ouen, les concentrations de MES sont moins importantes avec respectivement $0,438 \pm 0,274$ mg/L et $0,345 \pm 0,081$ mg/L. La répartition verticale des MES est relativement homogène aux stations St20, St13, St02 et St05, à l'exception des stations St07 et St09 où une distribution par couche est visible. L'îlot Ugo est la seule station du canal de la Havannah pour laquelle la concentration en MES est plus importante en surface.

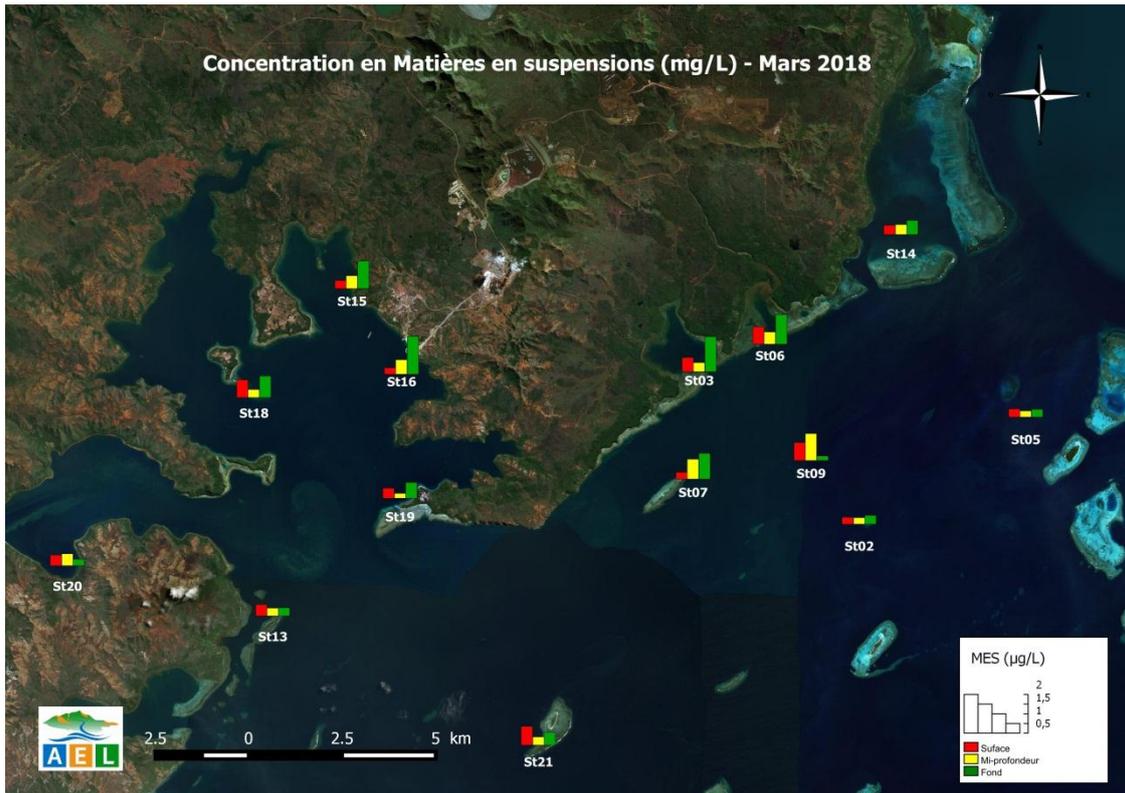


Figure 8 : Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Tableau 4 : Concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,172
	Maximum	0,992
	Moyenne	0,438
	Ecart-type	0,274
Baies du canal	Minimum	0,333
	Maximum	1,282
	Moyenne	0,618
	Ecart-type	0,339
Baie du Prony	Minimum	0,185
	Maximum	1,382
	Moyenne	0,567
	Ecart-type	0,352
Ile Ouen	Minimum	0,238
	Maximum	0,435
	Moyenne	0,345
	Ecart-type	0,081

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en éléments majeurs et le pH restent semblables aux différentes campagnes semestrielles effectuées et sont sensiblement homogènes entre les différentes zones étudiées. Deux particularités sont toutefois à retenir. Premièrement, une légère inflexion du pH est mesurée en surface de la station de la Baie Kwé en raison des fortes précipitations survenues la semaine précédant la campagne. Deuxièmement, des concentrations en éléments majeurs plus faibles sont nettement visibles en surface de la station de l'îlot Casy, comme l'a montré son profil de salinité précédemment.

Les concentrations de MES diffèrent selon les zones et sont en moyenne légèrement plus élevées que la moyenne globale calculée depuis le début du suivi. En effet, ces dernières mettent en évidence les apports terrigènes dus aux fortes précipitations, combinés à des phénomènes de remise en suspension dans les baies du Canal et du Prony. La distribution verticale en MES qui est observée sur la majorité des stations est nettement corrélée aux profils de turbidité enregistrés.

Dans le Canal de la Havannah et à l'île Ouen les concentrations de MES moyennes sont inférieures à celles des baies. L'influence majoritairement océanique apporte des matières en suspension d'origines minérales organiques et/ou inorganiques. Les concentrations de MES mesurées dans ces zones sont en lien avec les profils des stations de la Baie du Prony et de baies du Canal.

D. SELS NUTRITIFS

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle de mars 2018 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 12, le Tableau 5 et l'Annexe 4.

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	0,076	0,032	<0,05	0,500
	Maximum	0,878	0,266	<0,05	1,918
	Moyenne	0,219	0,078	-	1,054
	Ecart-type	0,243	0,065	-	0,480
Baies du canal	Minimum	0,149	0,007	0,052	1,284
	Maximum	0,842	0,415	0,112	10,690
	Moyenne	0,475	0,195	0,070	4,243
	Ecart-type	0,239	0,125	0,024	4,034
Baie du Prony	Minimum	0,144	0,126	0,050	1,109
	Maximum	1,464	0,262	0,148	26,176
	Moyenne	0,880	0,165	0,099	3,819
	Ecart-type	0,482	0,040	0,038	7,062
Ile Ouen	Minimum	0,195	0,057	<0,05	1,344
	Maximum	0,688	0,134	<0,05	4,904
	Moyenne	0,431	0,094	-	2,264
	Ecart-type	0,247	0,034	-	1,325

1. Nitrates et nitrites

Rappel : L'ion nitrate (NO₃⁻) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le NO₃). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en NO₃ variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.

Note : Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO₃ est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO₂) obtenus par réduction des ions nitrates NO₃. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrates + nitrites (NO₃+NO₂) par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

Les concentrations en NO₃+NO₂ mesurées lors de cette campagne forment un gradient côte-large. Les concentrations les plus importantes et variables se retrouvent essentiellement dans la Baie du Prony avec une concentration moyenne de 0,880 ± 0,482 µmol/L. Au niveau des baies du Canal, les NO₃+NO₂ sont mesurés aux

3 niveaux de profondeur de chacune des stations à l'exception de la station St14 où les NO_3+NO_2 sont en dessous de la limite de quantification à mi-profondeur. La concentration moyenne sur cette zone est de $0,475 \pm 0,239 \mu\text{mol/L}$. Celle-ci est quasiment équivalente à celle de l'Île Ouen avec $0,431 \pm 0,247 \mu\text{mol/L}$. En revanche, à l'Île Ouen les NO_3+NO_2 ne sont mesurés qu'en profondeur de la station St13 et en surface et à mi-profondeur de la station St20.

Les concentrations les plus faibles ont été mesurées dans le Canal de la Havannah avec une moyenne de $0,219 \pm 0,243 \mu\text{mol/L}$. Une seule concentration supérieure à la moyenne a été mesurée en profondeur de la station St07 (Figure 9 ; Tableau 5).

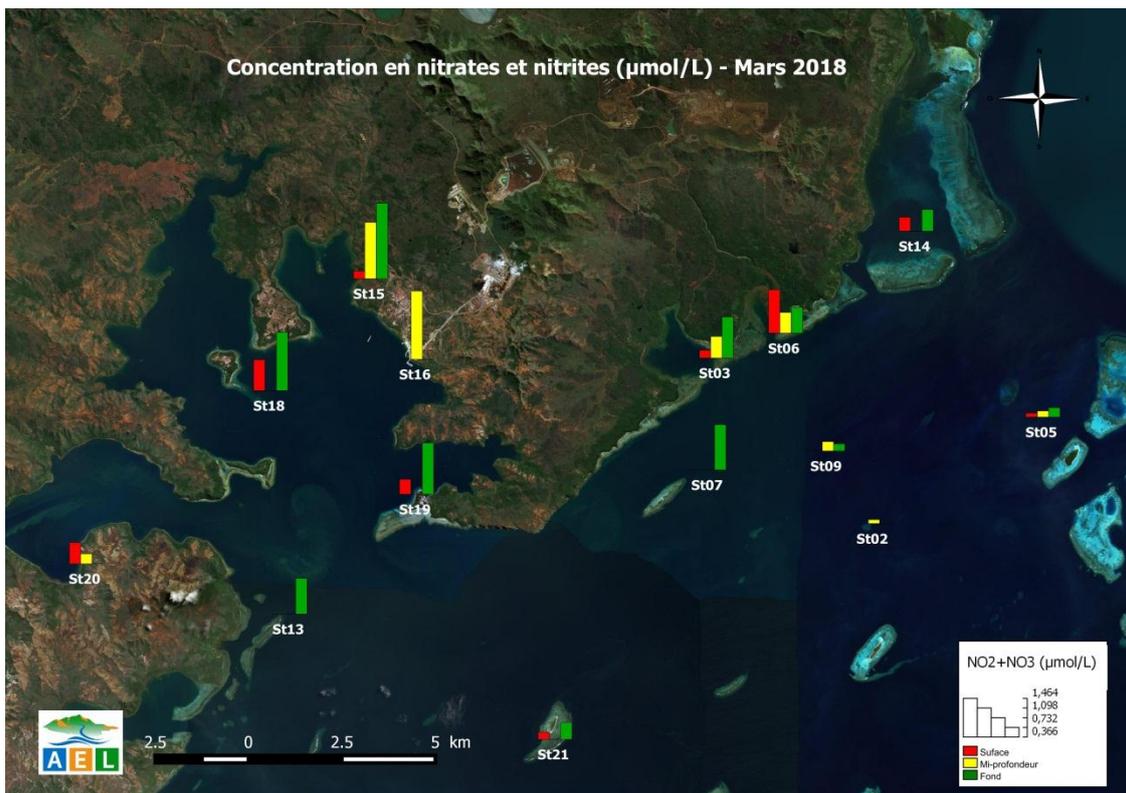


Figure 9: Concentrations en nitrates et nitrites (NO_3+NO_2) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

2. Ammonium

Rappel : Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréments animaux et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles par litre.

La répartition moyenne de l'ammonium (NH_4) dans la zone d'étude suit deux ensembles.

Le premier comprend la zone des baies avec des concentrations moyennes plus élevées dans les Baies du canal ($0,195 \pm 0,125 \mu\text{mol}$) et dans la Baie du Prony ($0,165 \pm 0,040 \mu\text{mol/L}$). Les concentrations en NH_4 sont

majoritairement plus élevées en profondeur sur chacune des stations de l'ensemble de ces deux zones. On remarque aux stations St06-S et -F, St14-S et St21-F la présence combinée des trois paramètres NH_4 , NO_3+NO_2 , et en fer, les concentrations de cet élément sont assez élevées. A la station St03-S, ne sont présents simultanément que le Fe et NH_4 . Cela est révélateur d'une production phytoplanctonique dont la dégradation est incomplète

Dans la seconde, les concentrations moyennes sont plus faibles au niveau du Canal de la Havannah ($0,078 \pm 0,065 \mu\text{mol/L}$) et de l'île Ouen ($0,094 \pm 0,034 \mu\text{mol/L}$). La distribution verticale des concentrations en NH_4 est variable mais les stations St07 et St13 présentent des concentrations nettement plus importantes en profondeur (Figure 10, Tableau 5 et Annexe 4).

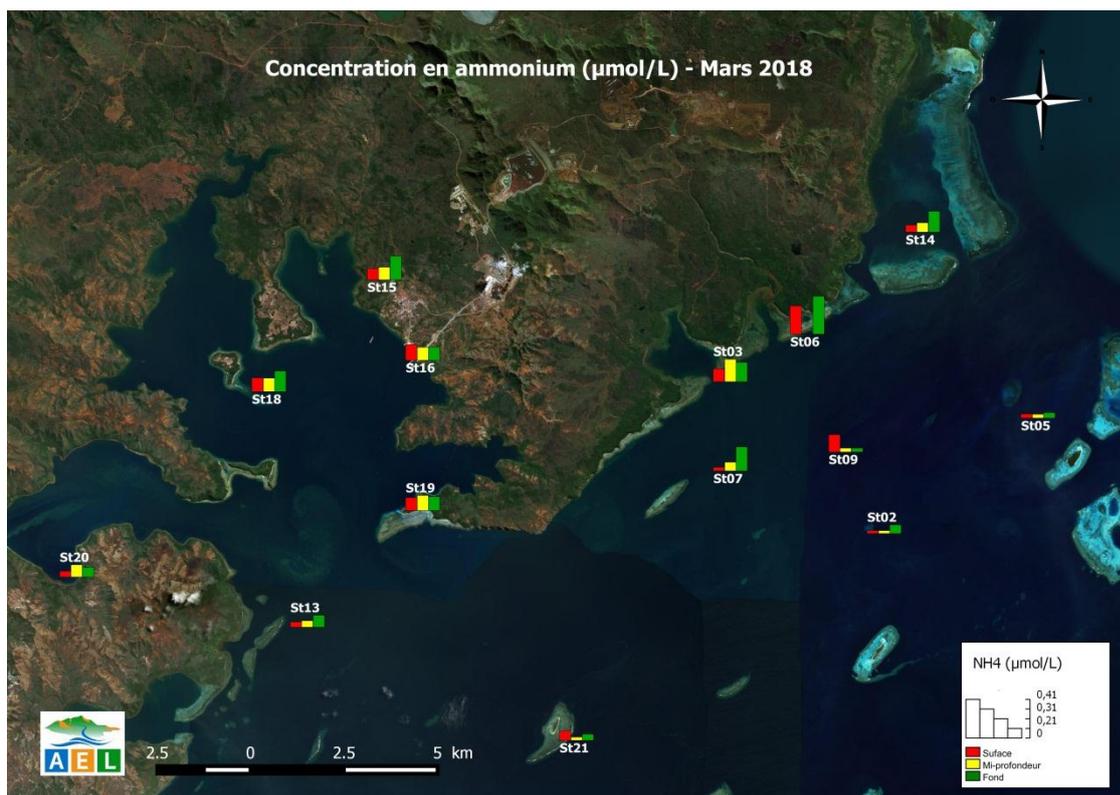


Figure 10: Concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

3. Phosphates

Rappel: Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{2-}). Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique (la zone euphotique correspond à la hauteur d'eau superficielle qui reçoit suffisamment de lumière pour que la production végétale y excède les pertes). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène et/ou anthropique.

Lors de cette campagne, les phosphates sont mesurés uniquement aux stations des baies, ils sont en dessous des limites de quantifications dans les autres zones.

Au niveau de la baie du Prony, on en retrouve au fond des stations St18 et St19, à mi-profondeur de la station St16 et au fond et à mi-profondeur de la station St15.

Dans les Baies du canal, les concentrations en phosphates sont relativement proches aux 3 niveaux de profondeur de la station St06. En revanche, ils ne sont présents qu'à mi-profondeur et au fond de la station St03 (Figure 11, Tableau 5 et Annexe 4).

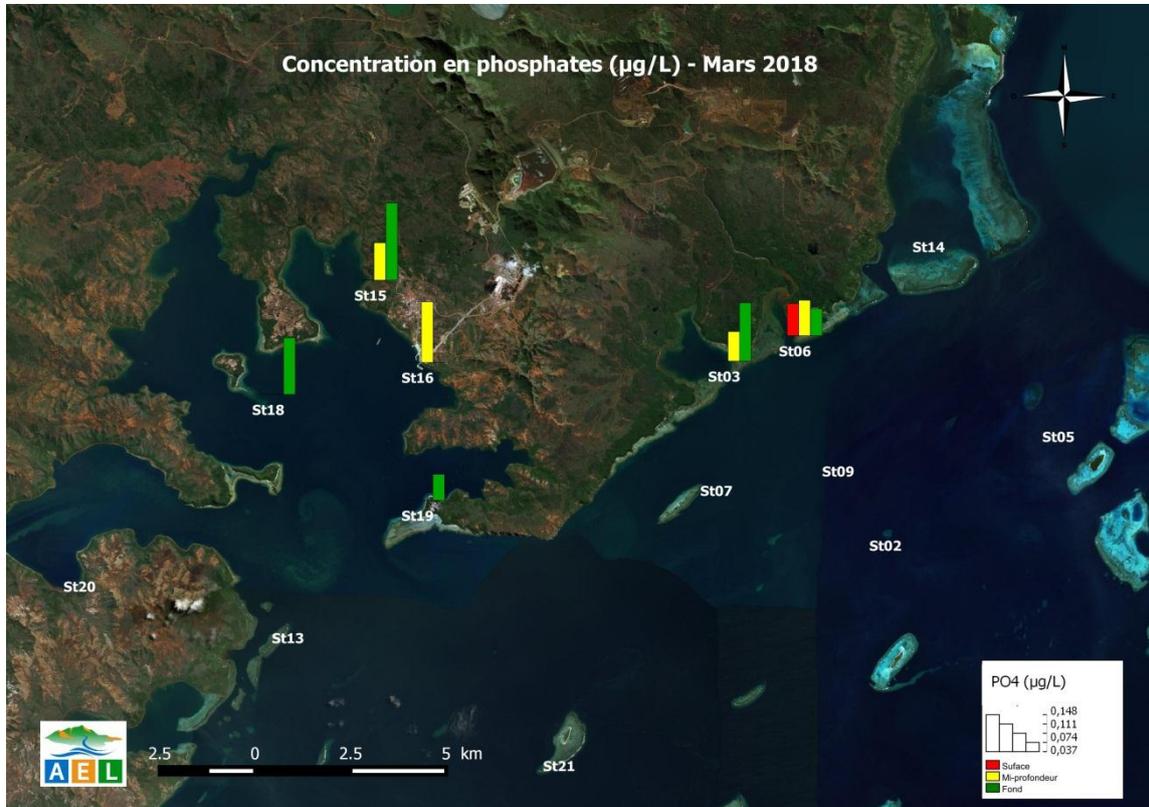


Figure 11: Concentrations en phosphates (PO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

4. Silicates

Rappel : Bien que le silicium ne soit pas un composant de la matière vivante proprement dite, il constitue l'essentiel des squelettes de divers organismes marins. Sa concentration dans l'eau de mer, sous forme de silicates (SiO_4^{2-}), qui peut devenir insuffisante en raison de sa très faible solubilité, varie en fonction de l'origine et de la nature des eaux. Ainsi, dans le domaine océanique, les concentrations en surface sont généralement très faibles mais elles augmentent progressivement à mesure que l'on se rapproche des côtes ou des fonds abyssaux. Les silicates, dans certains contextes géologiques comme en Nouvelle-Calédonie, sont aussi des traceurs de l'altération des roches terrestres.

Les concentrations mesurées en SiO_4 sont très variables sur l'ensemble de la zone d'étude. La concentration moyenne est de $2,713 \pm 4,326 \mu\text{mol/L}$ variant de 0,500 à 26,176 $\mu\text{mol/L}$. (Tableau 5)

Les concentrations en SiO_4 sont particulièrement élevées aux embouchures de creeks et en surface de la colonne d'eau au niveau des baies de la Kwé et de Port Boisé avec la valeur maximale située à l'îlot Casy. Cette observation est en corrélation avec la salinité de cette station et les vents SE qui poussent la couche eau dessalée de surface vers cette station. (Annexe 4).

Ces résultats mettent en évidence une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante. Cela s'explique par la présence des apports terrigènes provenant des bassins versants alimentant les baies Kwé et de Prony (Figure 12).

La concentration moyenne en SiO_4 obtenue dans le Canal de la Havannah est la plus faible ($1,054 \pm 0,480 \mu\text{mol/L}$).

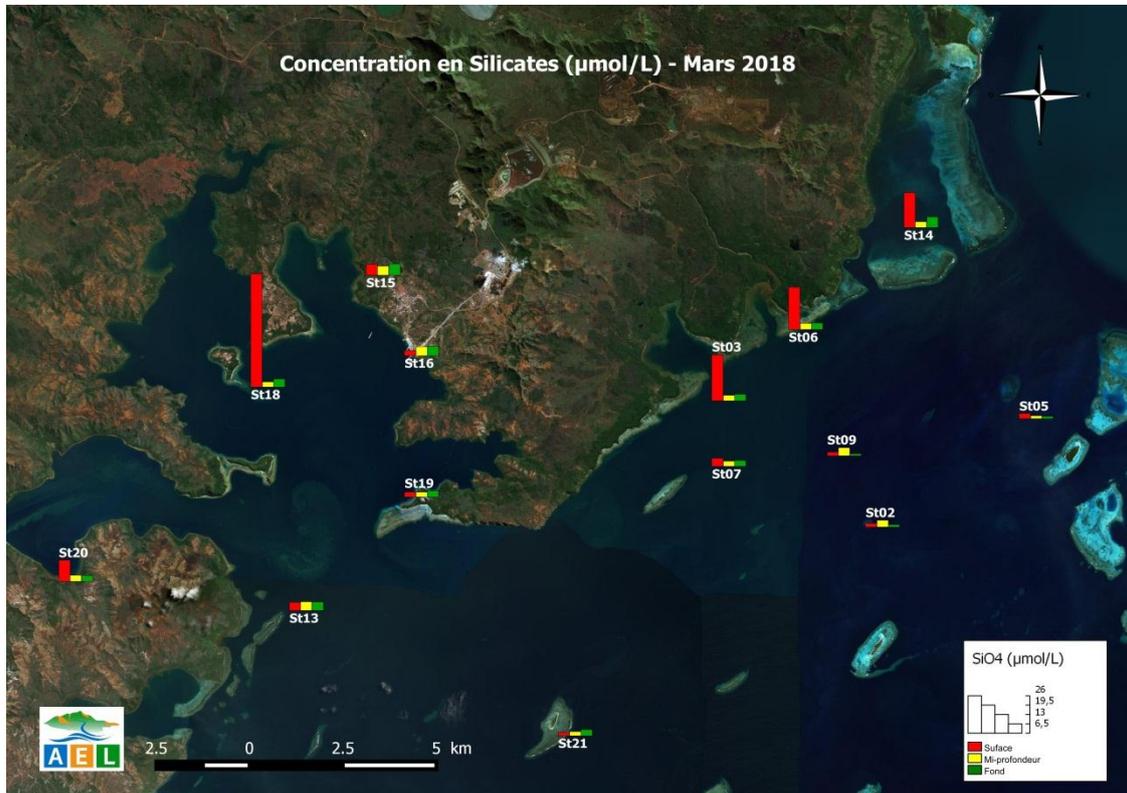


Figure 12: Concentrations en silicates (SiO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, les sels nutritifs NO_3+NO_2 , les PO_4 , les SiO_4 et le NH_4 sont particulièrement représentés dans la Baie du Prony et dans les baies du Canal. Les PO_4 sont en concentrations non quantifiables dans le canal de la Havannah et de la zone de l'Île Ouen.

Globalement, les eaux de fond concentrent plus les NH_4 , NO_3+NO_2 et les PO_4 . *A contrario*, les SiO_4 se retrouvent essentiellement en surface dans des eaux moins salines. En effet, ces valeurs reflètent les apports terrigènes provenant des roches ultrabasiqes formées de silicates de magnésium et de fer pour l'essentiel lessivés par les précipitations précédant la campagne. Les concentrations en Fe mesurées en surface des stations St03, St06 et St14. peuvent favoriser la production phytoplanctonique primaire.

La présence de ces éléments NH_4 , NO_3+NO_2 et les PO_4 témoigne de l'activité biologique animale et végétale se produisant en saison chaude dans les baies (production primaire).

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle de mars 2018 sont regroupées dans les Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17, le Tableau 5 et l'Annexe 5.

1. Azote et phosphore organiques dissous

Rappel : La contribution naturelle de l'azote et du phosphore organique provient de la dégradation de matière de nature biogénique, qu'elle soit d'origine océanique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, macro-organismes pélagiques...) ou terrestre (bactéries, débris végétaux,...) voire éolienne (bactéries, pollens, ...). D'une manière générale, la concentration en composés organiques dissous est très faible, particulièrement dans l'océan ouvert.

La concentration moyenne d'azote organique dissous (NOD) sur l'ensemble du site d'étude est de $6,882 \pm 1,355$ $\mu\text{mol/L}$. (Figure 13). Les concentrations moyennes du Canal de la Havannah ($6,729 \pm 1,698$ $\mu\text{mol/L}$), des baies du Canal ($6,779 \pm 0,715$ $\mu\text{mol/L}$) et de la baie du Prony ($6,750 \pm 1,278$ $\mu\text{mol/L}$) sont similaires, à l'exception de celle de l'île Ouen légèrement plus élevée ($7,436 \pm 1,426$ $\mu\text{mol/L}$). Aucun gradient n'est perceptible. Seules quelques concentrations sont plus élevées. Par exemple, la concentration maximale a été mesurée dans le Canal de la Havannah, à mi-profondeur de la station St09 (11,11 $\mu\text{mol/L}$). C'est également dans cette zone où les concentrations varient le plus.

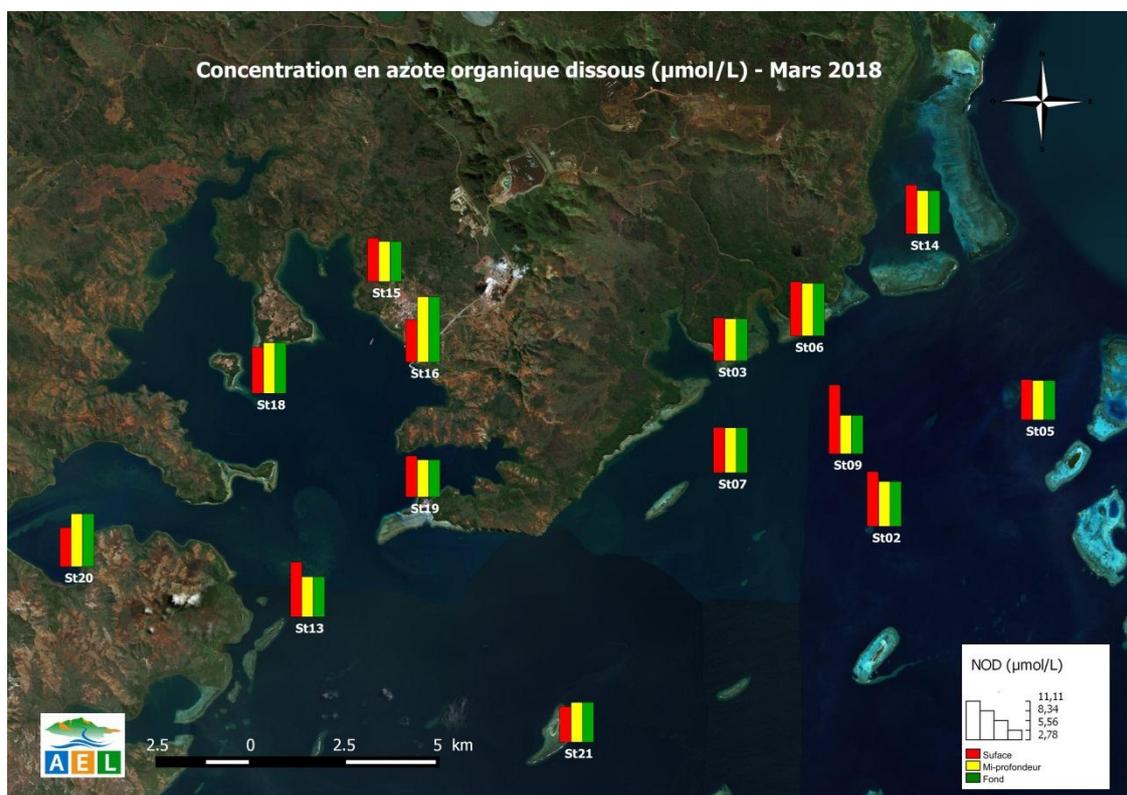


Figure 13 : Concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Le phosphore organique dissous (POD) est quantifiable dans toute la zone d'étude à l'exception de la station St13 à mi-profondeur. La concentration moyenne la plus importante se situe au niveau des Baies du Canal (0,175 ± 0,039 µmol/L). Elle est majorée par la concentration la plus élevée à la station St06 en profondeur (0,464µmol/L).

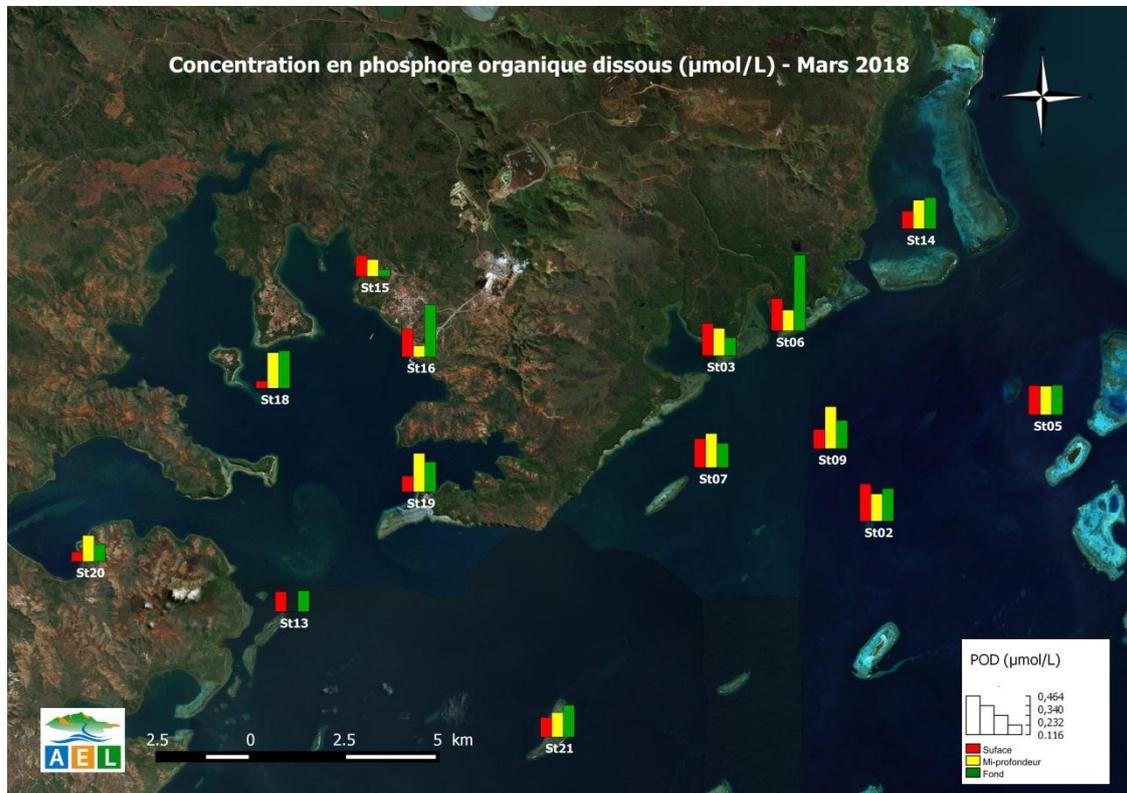


Figure 14 : Concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

2. Azote, carbone et phosphore organiques particuliers

Rappel : La fraction particulaire de ces éléments constitue des matières en suspension de tailles diverses transportées au sein des masses d'eau. Leur origine est également océanique, terrestre voire éolienne. Les concentrations présentent d'ordinaire un gradient « côte-large » et peuvent montrer des discontinuités verticales en fonction de l'existence ou non de couches turbides.

Note : La distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire. Cependant, les études environnementales fixent généralement la limite de taille à 0,45 µm (Strickland et Parsons 1972). Grâce à des filtres la charge organique particulaire est récupérée et analysée.

Les concentrations d'azote organique particulaire (NOP) sont variables sur la zone d'étude. Leur répartition est verticale avec des concentrations en surface plus élevée à l'exception des stations de l'île Ouen. Les stations St09 et St13 ont des concentrations plus importantes majorant les concentrations moyennes de ces deux zones. Les concentrations moyennes les plus faibles sont mesurées dans les baies. (Figure 15, Figure 17, Tableau 5 et Annexe 5).

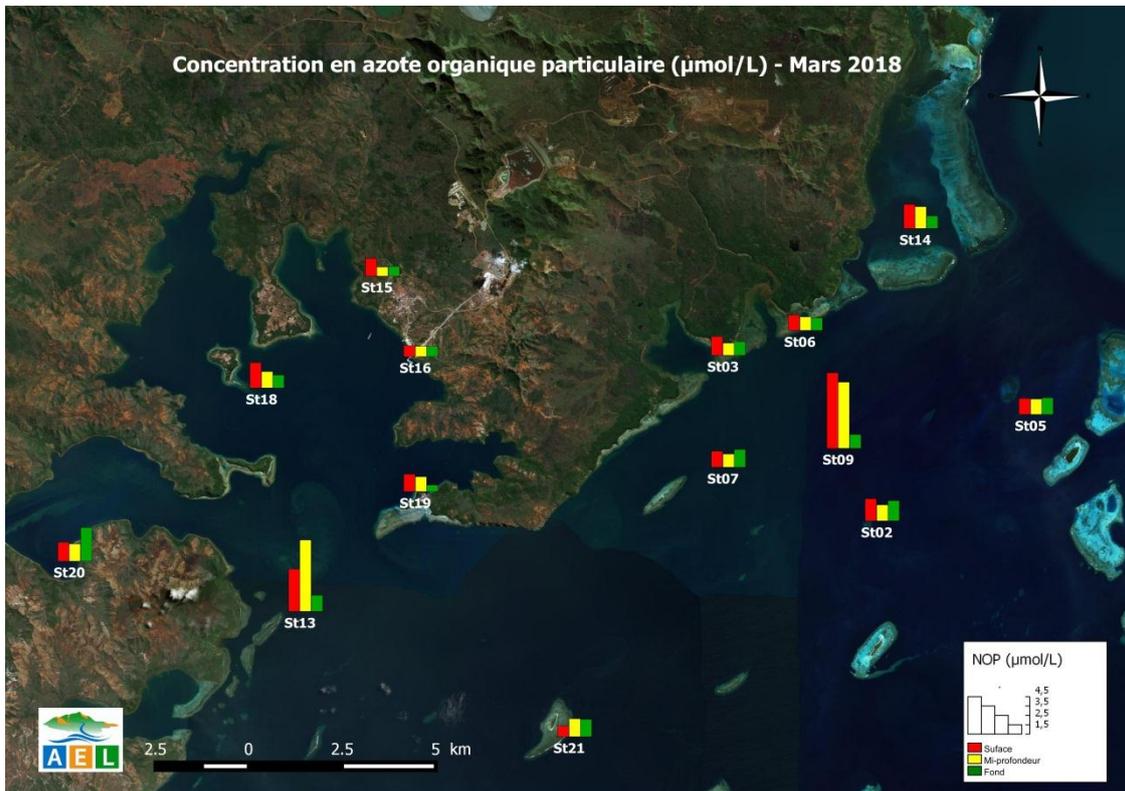


Figure 15 : Concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Le carbone organique particulaire (COP) montre une répartition hétérogène sur toute la zone d'étude avec une moyenne globale similaire à la campagne de la saison chaude dernière avec $7,0 \pm 3,7 \mu\text{mol/L}$. Toutefois, dans le Canal de la Havannah et les baies du canal les concentrations moyennes sont supérieures à celles de l'ensemble de la zone d'étude avec respectivement $8,1 \pm 5,0 \mu\text{mol/L}$ et $7,6 \pm 3,5 \mu\text{mol/L}$. La concentration maximale de COP est mesurée en surface de la station St09. Dans la baie du Prony et à l'île Ouen les concentrations moyennes de COP sont relativement proches avec $5,2 \pm 1,6 \mu\text{mol/L}$ et $6,8 \pm 1,7 \mu\text{mol/L}$. La distribution verticale est majoritairement plus élevée en surface essentiellement aux stations des baies du canal puis aux stations St09, St07, St13, St18 et St15. (Figure 16).

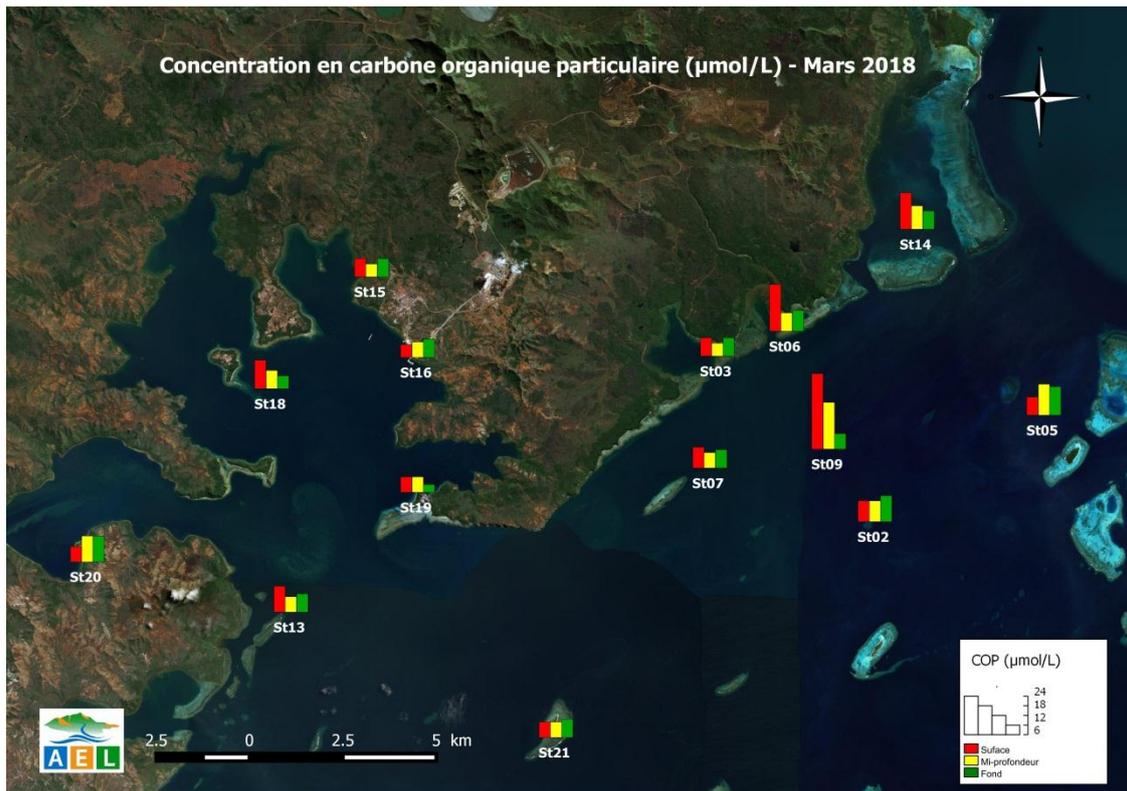


Figure 16 : Concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Le phosphore organique particulaire (POP) est présent aléatoirement dans la colonne d'eau et est réparti dans toute la zone d'étude à l'exception des stations St06, St05 et St02. Les concentrations les plus importantes sont mesurées au niveau de l'île Ouen (Figure 17).

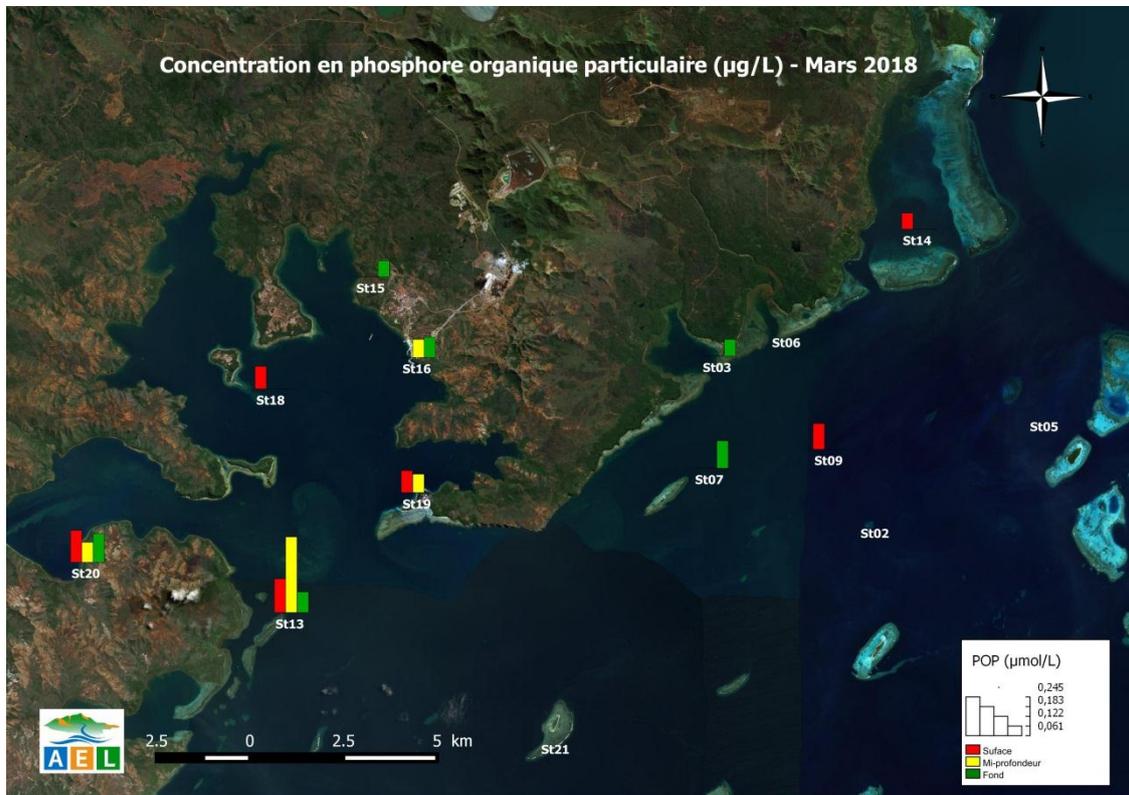


Figure 17: Concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone du lagon sud de la Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Tableau 6 : Concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	0,000	0,660	0,118	0,083	5,0
	Maximum	11,111	4,514	0,258	0,089	24,2
	Moyenne	3,610	1,373	0,175	0,085	8,1
	Ecart-type	3,540	1,137	0,039	0,004	5,0
Baies du canal	Minimum	0,000	0,732	0,109	0,052	4,2
	Maximum	7,962	1,450	0,464	0,054	15,0
	Moyenne	6,040	0,970	0,193	0,053	7,6
	Ecart-type	2,375	0,265	0,108	0,002	3,5
Baie du Prony	Minimum	0,000	0,387	0,042	0,052	2,5
	Maximum	7,450	1,528	0,321	0,073	9,2
	Moyenne	4,117	0,805	0,154	0,064	5,2
	Ecart-type	3,091	0,313	0,087	0,008	1,6
Ile Ouen	Minimum	0,000	0,965	0,000	0,065	5,0
	Maximum	7,575	4,264	0,161	0,245	8,3
	Moyenne	3,202	1,988	0,096	0,114	6,8
	Ecart-type	3,566	1,278	0,058	0,067	1,7

F. CHLOROPHYLLE A

Rappel : La chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et, de ce fait, le niveau trophique (oligotrophie/eutrophie) du milieu (Fichez et al, 2005). Sa dégradation produit de nombreux composés, dont principalement les phéopigments.

Les concentrations de chlorophylle *a* déterminées lors de la campagne de mars 2018 sont représentées dans la Figure 18 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5. Elles sont globalement, du même ordre de grandeur que celles mesurées depuis le début du suivi.

La distribution en chlorophylle *a* est relativement homogène dans les eaux des baies de canal, du canal de la Havannah et de l'île Ouen. Les concentrations moyennes y sont en effet similaires. A l'opposé, les écarts de concentrations les plus importants ont été mesurés dans la baie du Prony avec $0,453 \pm 0,206 \mu\text{g/L}$.

La concentration maximale a été mesurée en profondeur de la station St21 du Canal de la Havannah (0,918 $\mu\text{g/L}$). (Tableau 7, Figure 18).

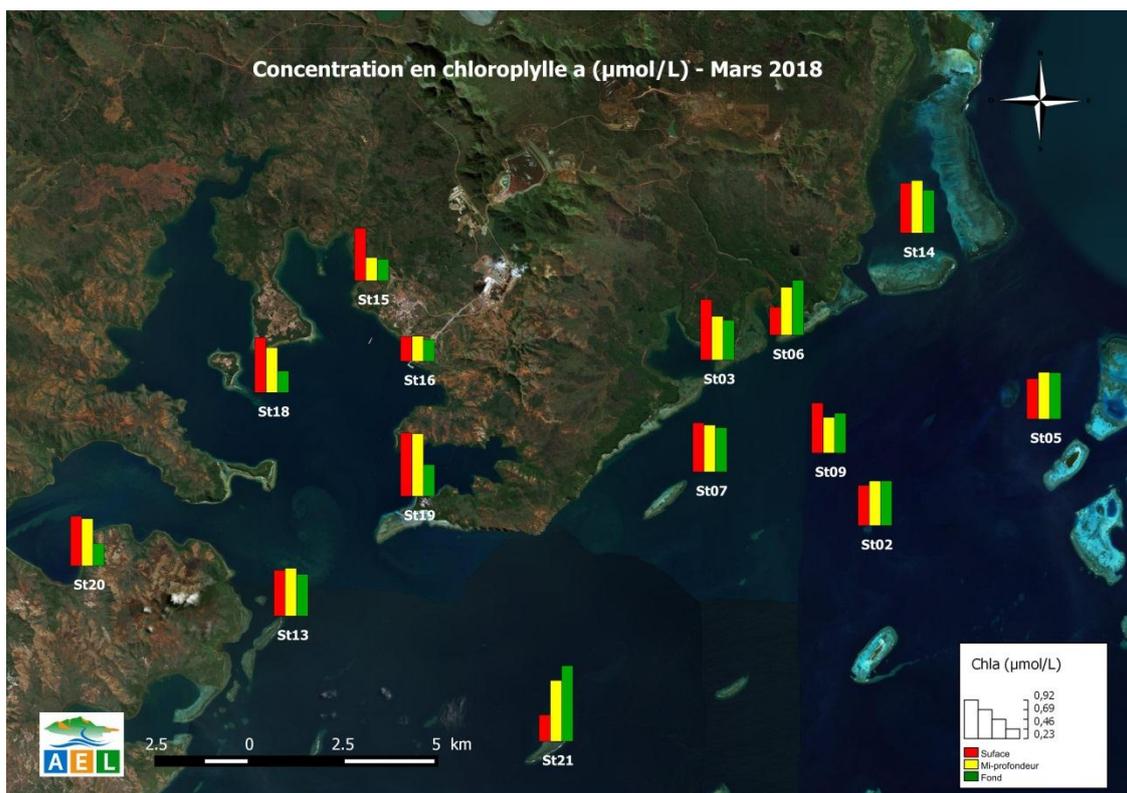


Figure 18 : Concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Tableau 7: Concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,322
	Maximum	0,918
	Moyenne	0,546
	Ecart-type	0,143
Baies du canal	Minimum	0,339
	Maximum	0,738
	Moyenne	0,568
	Ecart-type	0,116
Baie du Prony	Minimum	0,261
	Maximum	0,768
	Moyenne	0,453
	Ecart-type	0,206
Ile Ouen	Minimum	0,270
	Maximum	0,605
	Moyenne	0,516
	Ecart-type	0,124

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en azote, carbone et phosphore organiques particulaires sont contrôlées par des processus biogéochimiques. Ils dépendent des apports en matières en suspension d'origines minérales et organiques présentes dans la colonne d'eau et sont influencés par les apports atmosphériques, fluviaux et le mélange vertical des masses d'eau.

Les COP et NOP ont une distribution spatiale « côte-large » décroissante avec des concentrations plus importantes dans le canal de la Havannah notamment à la station St09.

Les concentrations plus importantes en COP et en Chlorophylle *a* se retrouvent majoritairement en surface de la colonne d'eau à l'exception de la station de la baie Kwé pour la Chl*a*. En effet, l'activité photosynthétique du phytoplancton s'effectue dans la zone exposée à une lumière suffisante pour que la photosynthèse se produise. La profondeur de cette zone photique peut être grandement affectée par la turbidité saisonnière.

Le phosphore particulaire (POP) est partiellement représenté au sein de la colonne d'eau.

Les concentrations en NOP et POP sont essentiellement présentes au niveau de l'Ile Ouen. Globalement, les concentrations de NOP, POP et COP mesurées lors de la campagne de mars 2018 restent dans le même ordre de grandeur que celui des campagnes « saison chaude » depuis 2007.

A l'inverse des formes particulaires, les formes dissoutes de phosphore et d'azote (NOD et POD) se retrouvent essentiellement dans les baies.

G. METAUX DISSOUS

Rappel : L'usage des limites de quantification (LQ) permet de garantir le niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements numériques lorsque les éléments sont en très faibles concentrations, mais supérieures aux limites instrumentales. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées.

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle de mars 2018 sont regroupées dans les Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24 et Figure 25 et dans les Tableau 8 et Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Aucune concentration de Cd et en Zn n'ont été détectées. Le Cd n'est présent qu'à l'état d'ultra-traces dans les roches latéritiques du sud calédonien ([Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981](#)). Le Zn est habituellement peu détecté également (Tableau 8 et Tableau 9).

Seulement deux concentrations en Pb présentent en surface ont été quantifiables. La première au niveau de la station St14 (0,289 µg/L) et la seconde à la station St19 (0,156 µg/L) (Tableau 9).

Le Cu se retrouve en faible quantité au niveau de 3 stations et uniquement en surface. Ainsi, il a été mesuré aux stations St09 (0,025 µg/L), St13 (0,055 µg/L) et à la station St14 (0,041 µg/L) (Tableau 8).

Les concentrations moyennes d'As sur l'ensemble de la zone d'étude sont assez stables ($1,6 \pm 0,2$ µg/L) (Tableau 8). Deux stations présentent un maximal de 1,9 µg/L (St07-S et St14-F) et une seule n'a pas pu être quantifiable (St18-S). Aucune tendance spatiale ni verticale claire n'est constatée, les concentrations étant très homogènes (Figure 19). L'arsenic étant un élément ubiquiste, les variations sans un apport tiers, sont à lier avec les évolutions naturelles du milieu.

Le Co est le Fe ne sont pas mesurés dans toutes les zones étudiées. (Tableau 8 et Tableau 9) Ainsi, des concentrations en Co sont quantifiables uniquement au niveau des baies du Canal (St03, St06 et St14) et du Prony (St15, St18 et St19). La concentration maximale se situe en surface de la station St03 avec 0,130 µg/L (Figure 20).

Le Fe est quantifiable au niveau des baies du canal (St03-S, St06-S et -F et St14-S et -M), du canal de la Havannah (St07-M, St09-M et St21-F) et à l'île Ouen (St13-S et -F). Les concentrations moyennes sont identiques pour la Baie du canal et l'île Ouen avec respectivement ($0,105 \pm 0,033$ µg/L et $0,107 \pm 0,030$ µg/L) où les concentrations sont plus importantes en surface des colonnes d'eau (Figure 23).

Les métaux latéritiques: Mn, Ni, Cr^{VI}, et Cr-total, sont présents dans toute la zone d'étude. Ils présentent dans l'ensemble, une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante bien définie qui concorde avec les profils de salinité. Ce gradient « côte-large » décroissant est confirmé par des concentrations moyennes plus faibles dans le canal Havannah (Tableau 8 et Tableau 9). Ces métaux sont majoritairement décelables dans les baies du canal et dans la Baie du Prony avec une distribution verticale qui disparaît au niveau des stations plus éloignées de la côte. De surcroît, les concentrations sont plus importantes en surface à l'exception du Mn dont la concentration est maximale en profondeur de la station St06. La concentration moyenne de Ni ($0,380 \pm 0,505$ µg/L) y est majorée par une forte concentration en surface de la station St18. Le Cr^{VI} et le Cr-total sont quantifiés dans l'ensemble de la zone d'étude. Leurs concentrations en surface sont plus importantes en surface des stations des baies du canal ainsi qu'aux stations St15 et St18 de la baie du Prony. Comme pour le Ni, une concentration particulièrement élevée en Cr-total est visible en surface de la station St18 en lien avec la forte dessalure (Figure 21, Figure 22, Figure 24 et Figure 25).

Tableau 8 : Concentrations de métaux dissous (As, Cd, Cr(VI), Cr-total, Co et Cu) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Cr ^{VI}	Cr-total	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,40	<0,025	0,060	0,142	<0,027	0,025
	Maximum	1,90	<0,025	0,150	0,214	<0,027	0,025
	Moyenne	1,60	-	0,126	0,172	-	(n=1) 0,025
	Ecart-type	0,20	-	0,030	0,022	-	-
Baies du Canal	Minimum	1,30	<0,025	0,134	0,160	0,045	0,041
	Maximum	1,90	<0,025	1,004	1,116	0,130	0,041
	Moyenne	1,60	-	0,292	0,414	0,077	(n=1) 0,041
	Ecart-type	0,20	-	0,284	0,348	0,039	-
Baie du Prony	Minimum	1,30	<0,025	0,133	0,140	0,029	<0,025
	Maximum	1,70	<0,025	0,422	2,970	0,081	<0,025
	Moyenne	1,50	-	0,227	0,510	0,048	-
	Ecart-type	0,10	-	0,096	0,797	0,022	-
Ile Ouen	Minimum	1,50	<0,025	0,154	0,158	<0,027	0,055
	Maximum	1,70	<0,025	0,236	0,276	<0,027	0,055
	Moyenne	1,60	-	0,205	0,229	-	(n=1) 0,055
	Ecart-type	0,10	-	0,032	0,040	-	-

Tableau 9 : Concentrations de métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	0,079	0,033	0,041	<0,100	<1,000
	Maximum	0,093	0,212	0,155	<0,100	<1,000
	Moyenne	0,084	0,069	0,081	-	-
	Ecart-type	0,007	0,046	0,032	-	-
Baies du canal	Minimum	0,069	0,055	0,095	0,289	<1,000
	Maximum	0,138	0,547	1,438	0,289	<1,000
	Moyenne	0,105	0,233	0,416	(n=1) 0,289	-
	Ecart-type	0,033	0,200	0,466	-	-
Baie du Prony	Minimum	<0,059	0,033	0,085	0,156	<1,000
	Maximum	<0,059	0,165	1,861	0,156	<1,000
	Moyenne	-	0,095	0,380	(n=1) 0,156	-
	Ecart-type	-	0,043	0,505	-	-
Ile Ouen	Minimum	0,086	0,039	0,101	<0,100	<1,000
	Maximum	0,129	0,191	0,306	<0,100	<1,000
	Moyenne	0,107	0,089	0,172	-	-
	Ecart-type	0,030	0,055	0,070	-	-

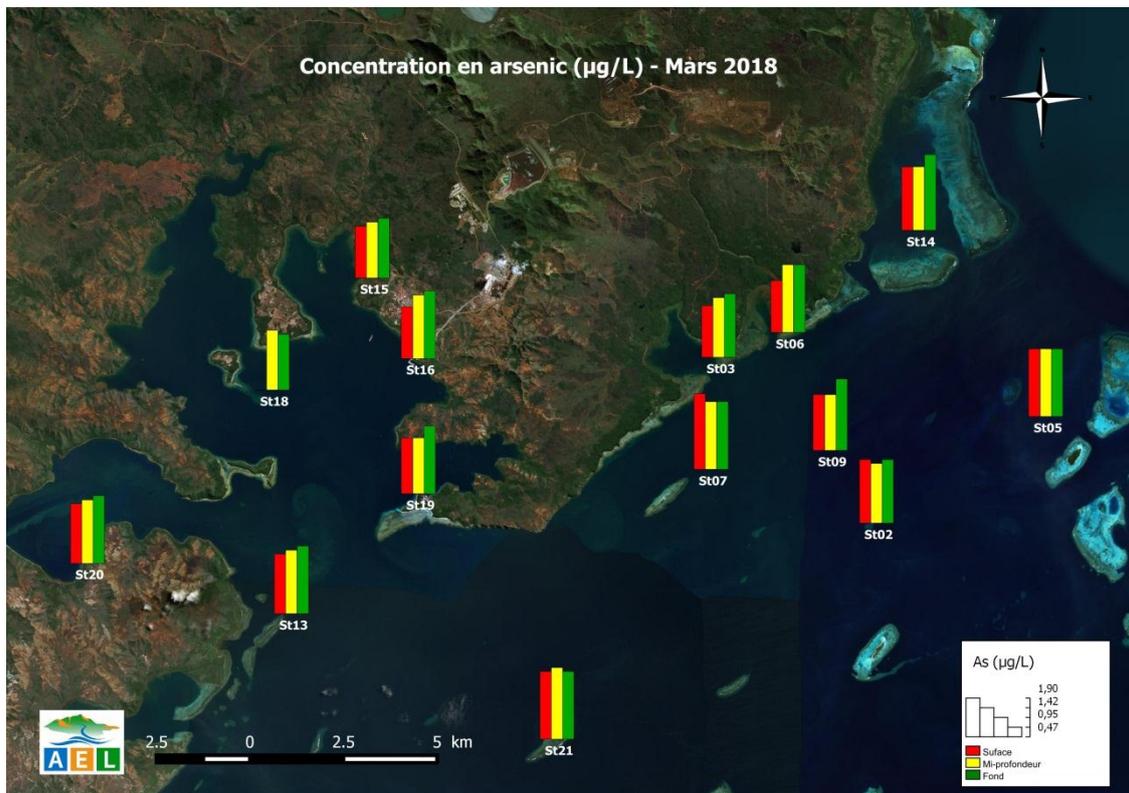


Figure 19 : Concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

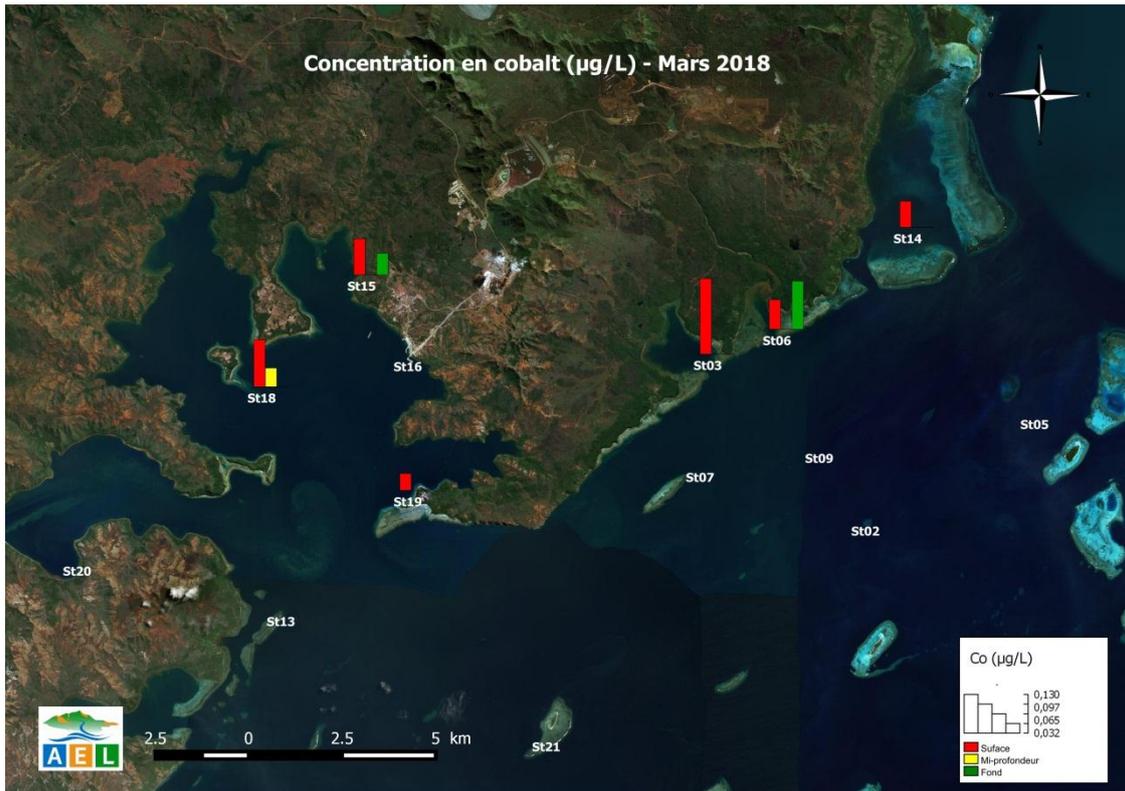


Figure 20: Concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

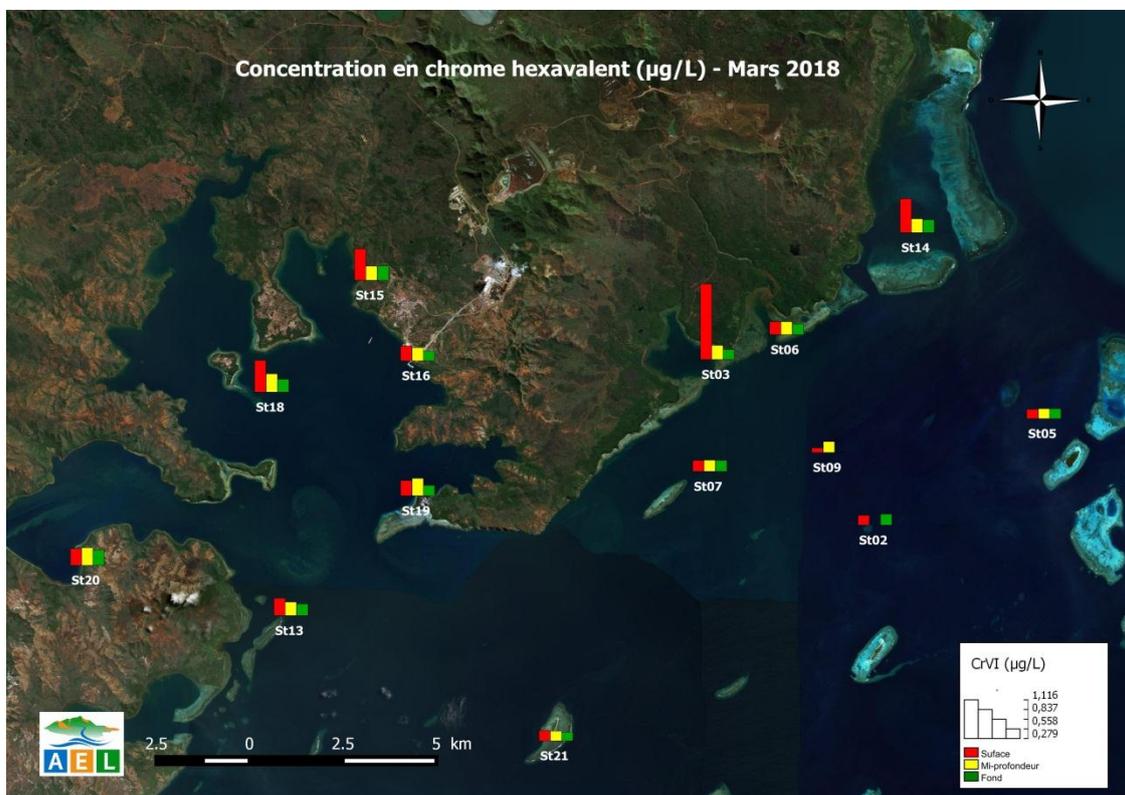


Figure 21 : Concentrations en chrome (CrVI) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

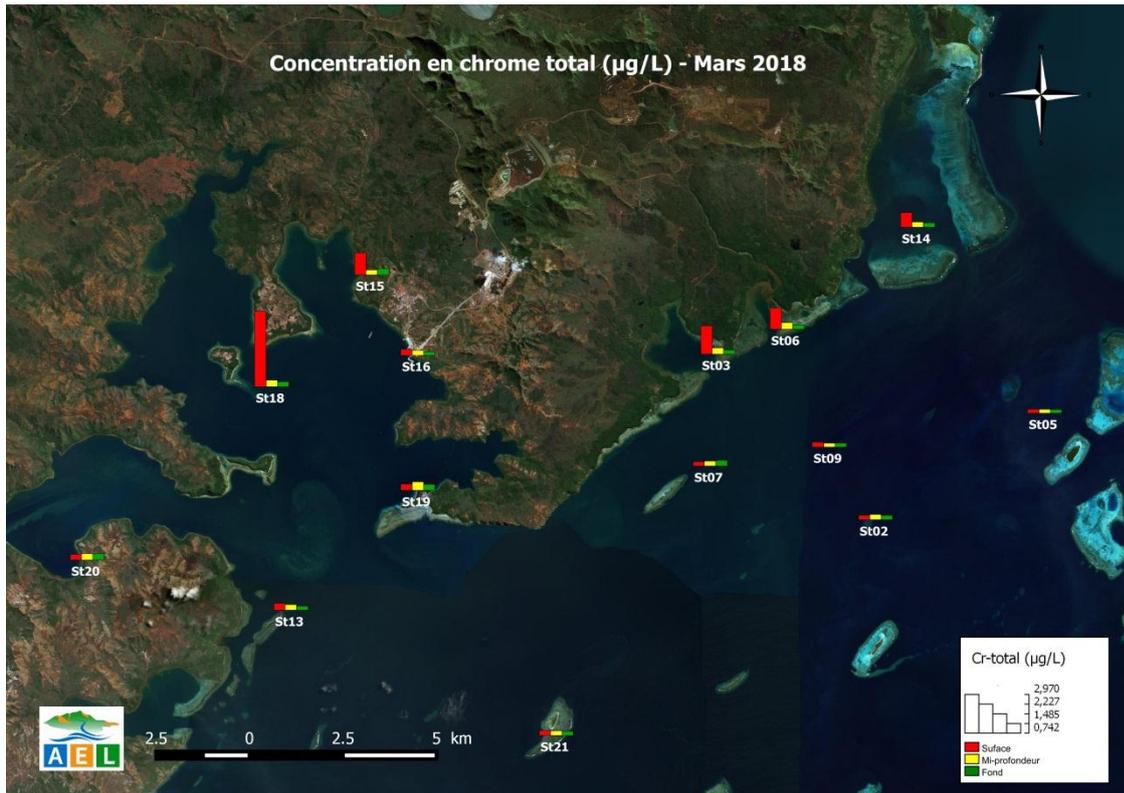


Figure 22: Concentrations en chrome total (Cr-total) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

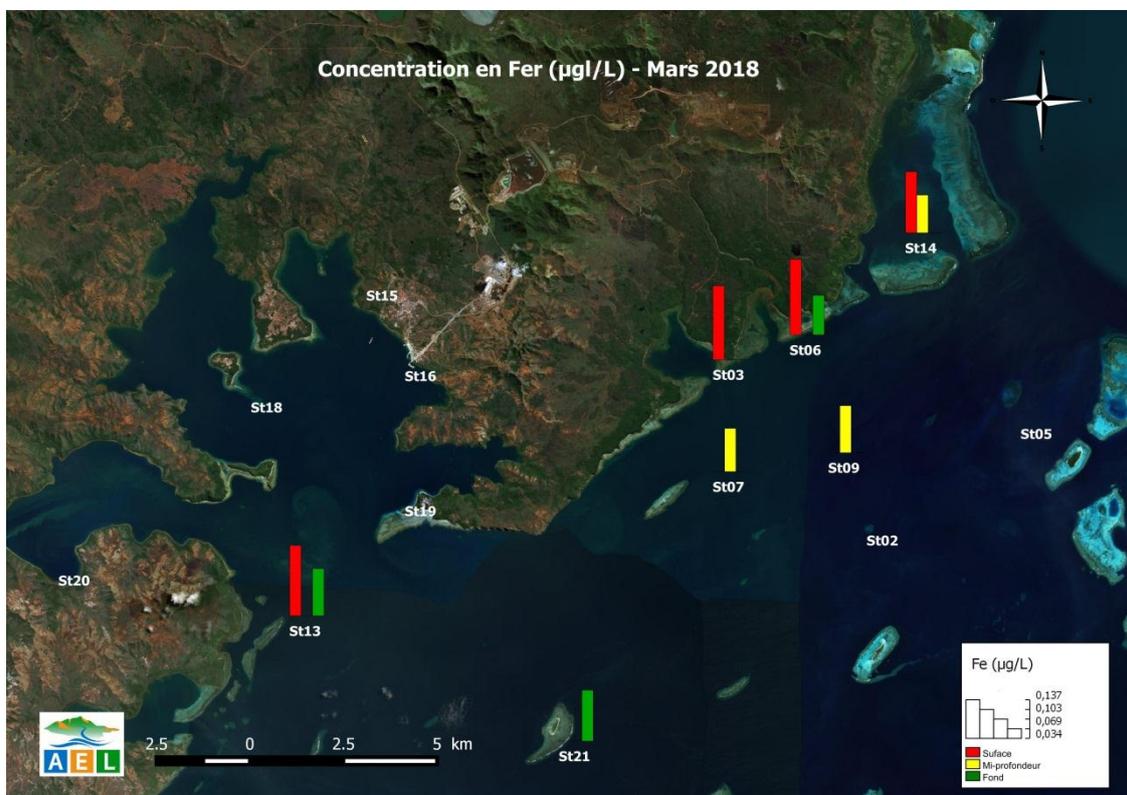


Figure 23: Concentrations en (Fe) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018

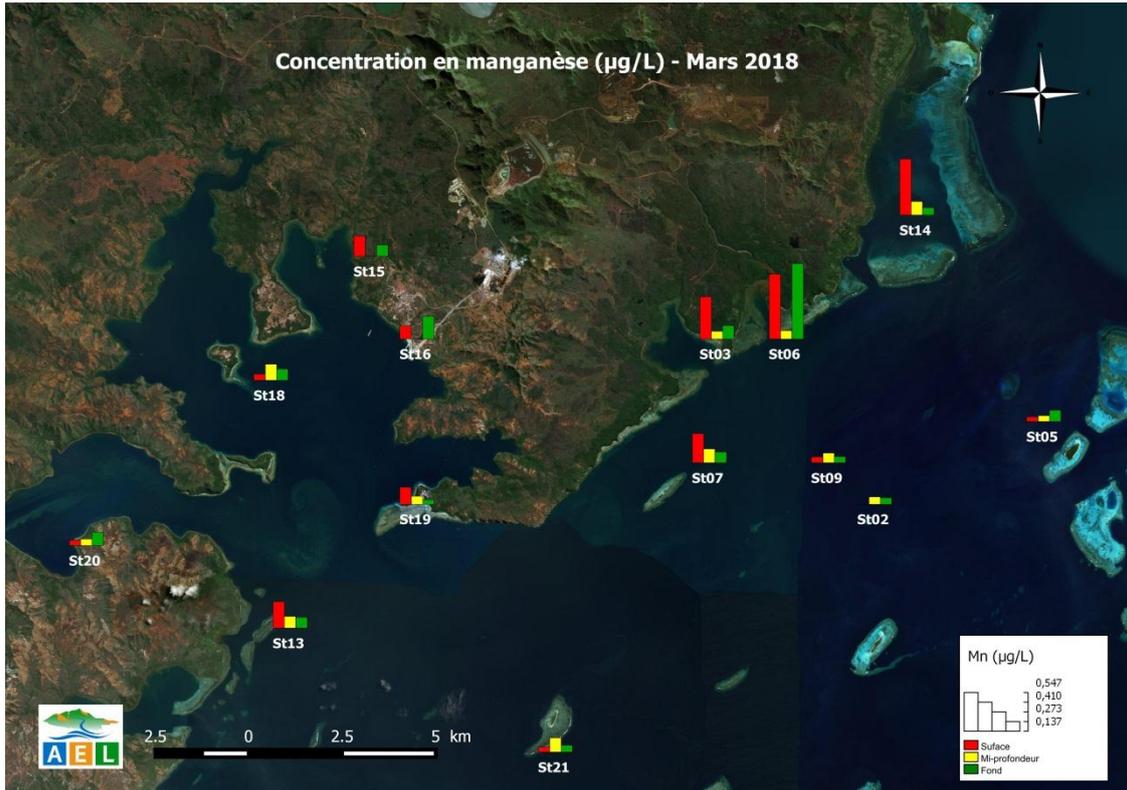


Figure 24 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

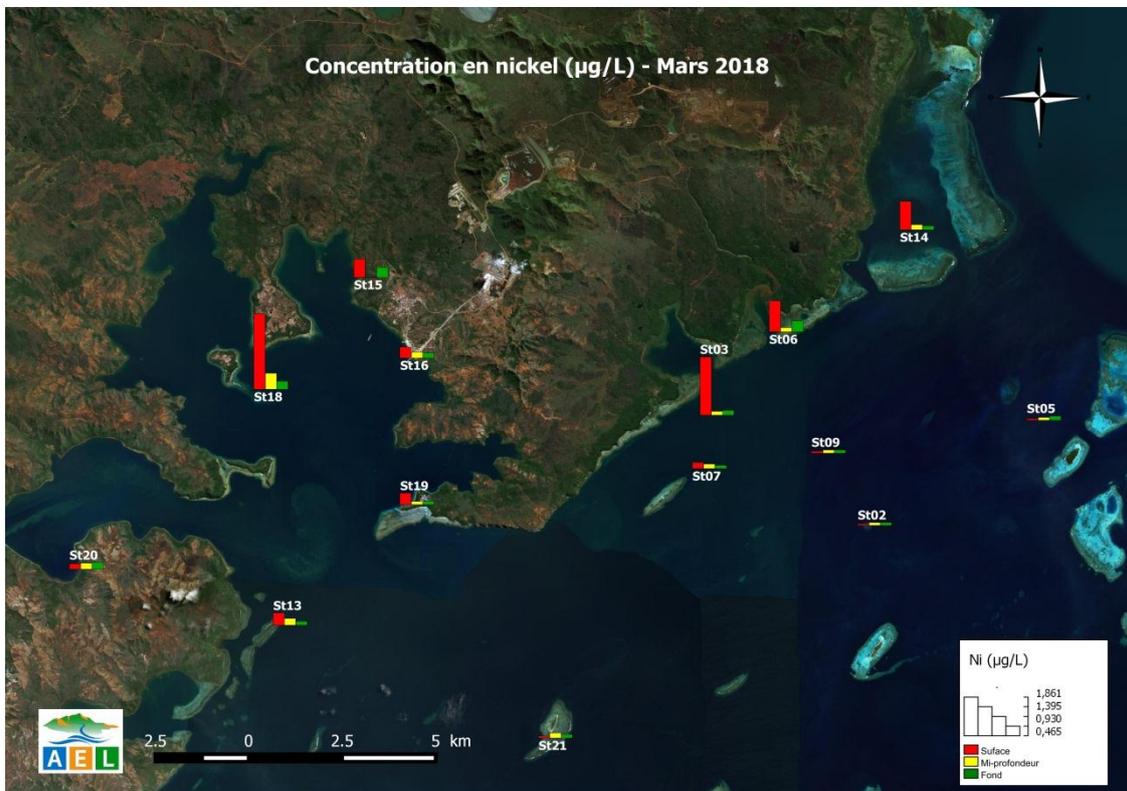


Figure 25 : Concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Ce qu'il faut retenir :

Les métaux dissous Co, Cr^{VI}, Cr-total, Mn et Ni présentent une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante. Ces métaux proviennent directement du sol latéritique dans lequel ils sont prédominants dans cette zone géographique. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau dans les baies du Canal et la Baie du Prony, correspondant aux premiers mètres de dessalures dues à l'arrivée d'eaux douces des creeks. Cette influence est particulièrement visible à la station St18 lors de cette campagne. Sous l'influence d'un pH plus faible, ils se retrouvent sous formes dissoutes.

Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du Canal de la Havannah et de l'île Ouen qui sont majoritairement influencées par les apports océaniques.

Les concentrations de Cd et Zn sont non quantifiables. Celles de l'As ne présentent pas de distribution particulière du fait de sa présence ubiquiste dans l'environnement marin calédonien.

Seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées pour le Co, Cu, Fe et le Pb.

Globalement, les concentrations d'As, Cr^{VI}, Cr-total, Co, Mn et Ni mesurées lors de la campagne de mars 2018 restent dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des campagnes « saison chaude » depuis 2007.

IV. SYNTHÈSE

Rappel : Cette synthèse regroupe les concentrations des sels nutritifs et des métaux dissous mesurées aux 4-6 stations sentinelles depuis 2007 : St03 (Port Boisé), St05 (ilot Kié), St06 (Baie Kwé), St07 (Récif Ioro), St09 (Canal de la Havannah) et St15 (Prony Creek Rade Nord) pour les campagnes de suivi « **saison chaude** ». Ces stations reflètent deux différents types d'influence dénombrés dans la zone d'étude i) influence terrigène des creeks des baies de Port Boisé (St03), de la Kwé (St06) et du Prony (St15) et (ii) influence océanique dans le Canal de la Havannah (St05 et St07). La station St09 est suivie en raison de la proximité du diffuseur (influence industrielle).

Les conditions météorologiques, notamment les précipitations, ont une influence sur la physico-chimie des eaux et sur la concentration en métaux dissous. L'historique des cumuls de précipitations, avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes entre 2007 et 2018, a été reporté, pour rappel, dans la Figure 26.

Il est à noter que les campagnes de 2017 et 2018 sont caractérisées par des très fortes pluviométries inégalées depuis 2007

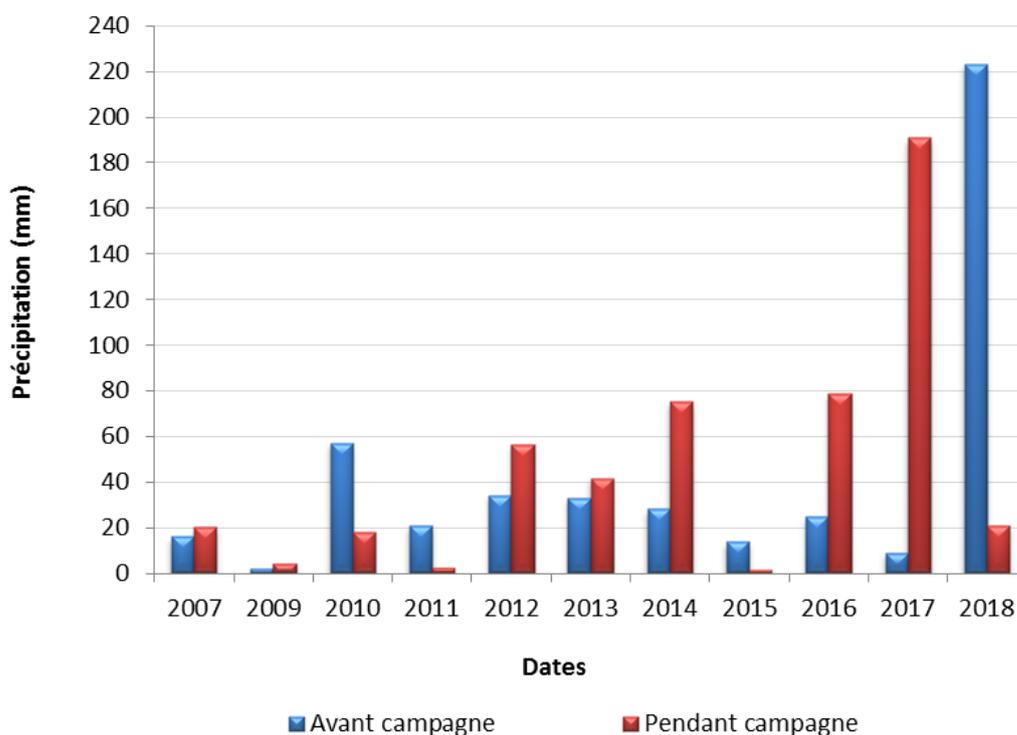


Figure 26 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2018; données météorologiques enregistrées à la station d'observation de GORO USINE.

A. SELS NUTRITIFS

L'évolution des concentrations de NH_4 et de NO_3+NO_2 entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 a été reportée dans les Figure 27, Figure 28, Figure 29, Figure 30.

Leur évolution a été étudiée aux 4 « stations sentinelles » St05, St09, St06 et St15.

1. Ammonium

A la station St05, à l'exception des valeurs de 2010, les concentrations en NH_4 diffèrent peu d'une année à l'autre et d'un niveau à l'autre en raison du fort hydrodynamisme et malgré sa proximité avec le récif barrière ; les concentrations restent très faibles.

De la même manière, à la station St09, les concentrations de NH_4 mesurées en « saison chaude » depuis le début des campagnes sont globalement dans le même ordre de grandeur.

En ce qui concerne les stations St06 et St15, les concentrations en NH_4 ne montrent pas de tendance particulière entre les campagnes. Il est, cependant possible de remarquer que les concentrations sont beaucoup plus variables entre les campagnes ainsi qu'au sein même de la colonne d'eau ; par exemple, en St06 pour 2010, 2012, 2017 et 2018 et en St15 pour 2010, 2011, 2014, 2015 et 2017 et 2018. Ces observations seraient en partie à lier avec la présence de matières organiques issues essentiellement de la dégradation des débris végétaux terrigènes apportés par les creeks de manière événementielle (précipitations atmosphériques).

Globalement, les valeurs mesurées dans le Canal montrent peu de variations, malgré cela une légère tendance à l'augmentation des concentrations en NH_4 est visible au niveau de la surface de la station St09 avec un coefficient de variation de 0,42. Cette hausse n'est visible que depuis 2017. Son évolution sera à vérifier lors des prochaines campagnes.

Au niveau des stations de baies, cette légère augmentation se remarque essentiellement au fond de la station St06 avec un coefficient de variation de 0,43. En surface des deux stations, les coefficients de variations sont légèrement plus faibles mais restent proches (St06-S, $R^2=0,31$ et St15-S, $R^2=0,33$). A l'opposé les coefficients de variations à mi-profondeur sont entre 0,07 et 0,14, donc inférieurs. Cette faible évolution est, en revanche, le résultat de concentrations très variables d'une année sur l'autre.

La présence d'ammonium traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique pouvant être révélateur de l'évolution d'un milieu.

Note : Au niveau des baies du Canal, une vérification des concentrations de NH_4 a été réalisée à la station St03 malgré le fait qu'elle ne fasse pas partie du suivi temporel. L'évolution des concentrations montre une légère augmentation en NH_4 à tous les niveaux depuis 2011, sans toutefois, atteindre des seuils préoccupants. (St03-S, $R^2=0,3$; St03-M, $R^2=0,5$ et St03-F, $R^2=0,4$).

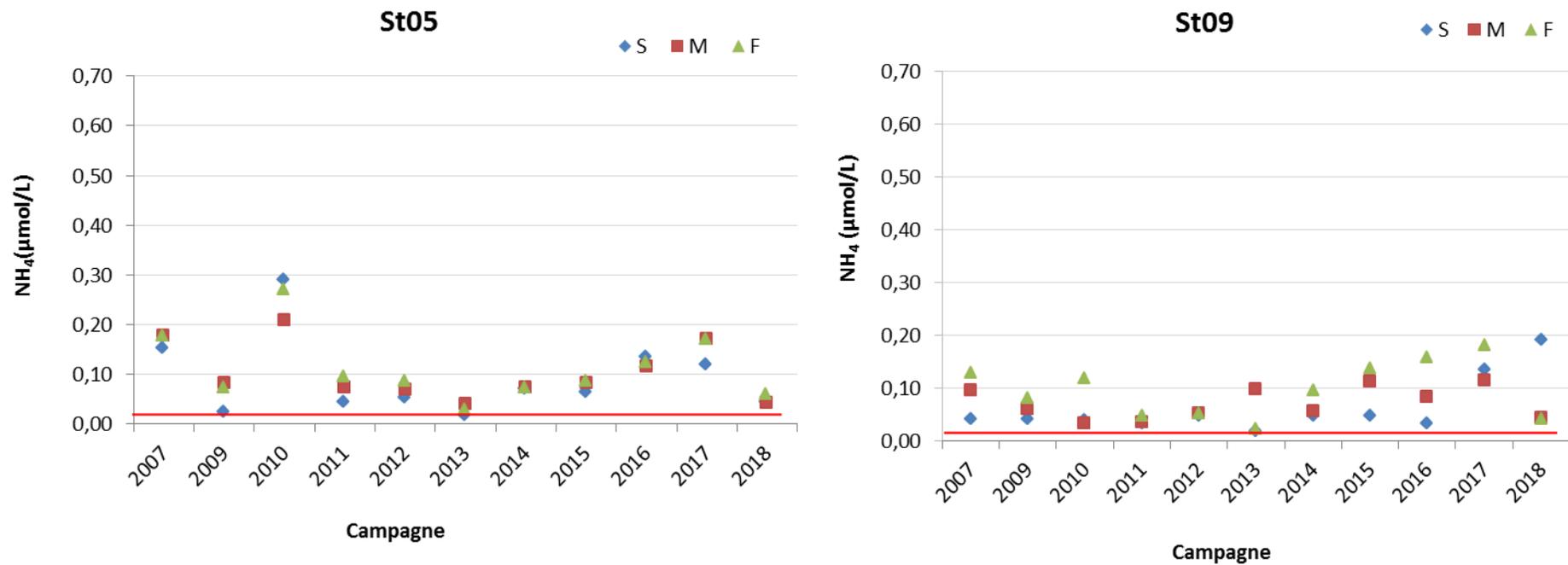


Figure 27: Concentrations d'ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 µmol/L).

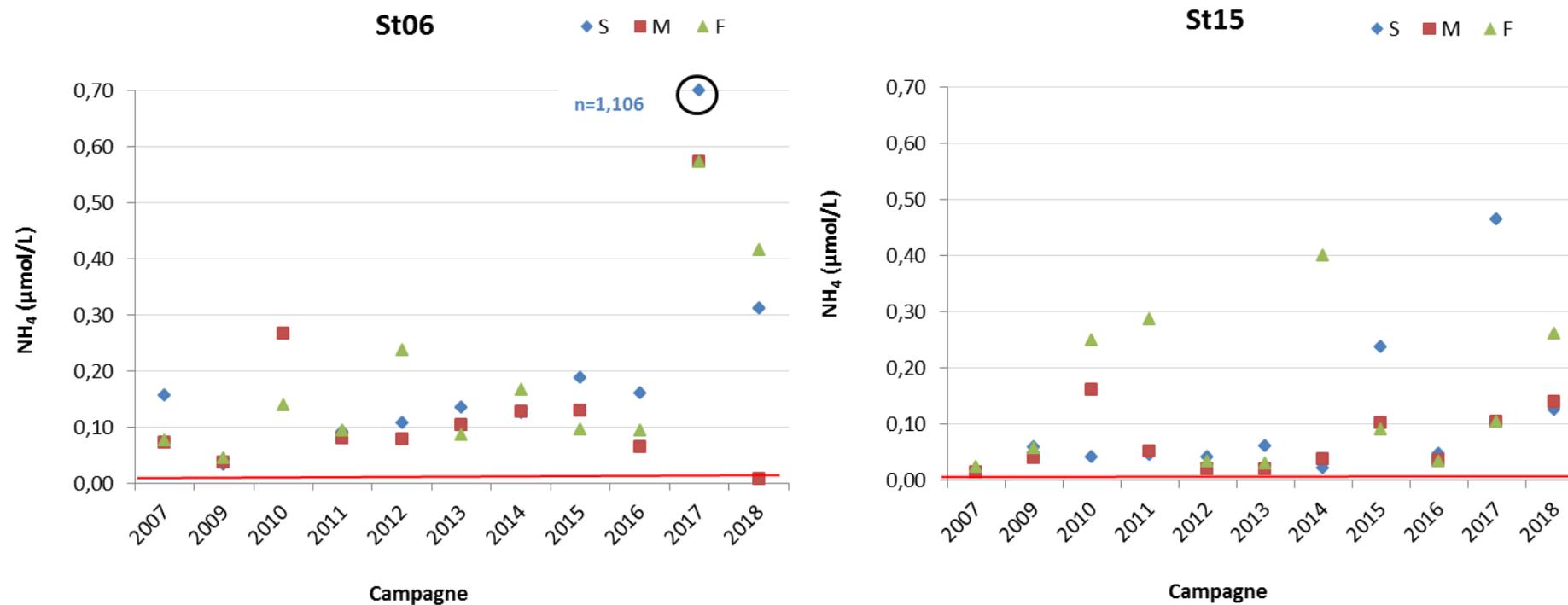


Figure 28: Concentrations d'ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 μmol/L).

2. Nitrates et nitrites

A la station St05, les concentrations de NO_3+NO_2 ne montrent pas de tendance particulière. A la station St09, les concentrations étant également très faibles, la variation observée ne semble pas significative. En effet, à l'exception de la concentration haute mesurée au fond en 2009, les concentrations restent dans le même ordre de grandeur entre les différentes campagnes. Toutefois, il semblerait qu'à cette station, le NO_3+NO_2 se concentre plus au fond, comme constaté également pour le NH_4 .

Pour les stations St06 et St15, les concentrations en NO_3+NO_2 sont assez variables dans le temps. Quelques augmentations importantes sont visibles en 2013 et 2017 à la station St06-S. A la station St15, c'est en 2007, 2017 et 2018 que les plus fortes concentrations ont été mesurées à tous les niveaux de la colonne d'eau. La disparité des concentrations dans la colonne d'eau ne permet pas de voir de tendance significative.

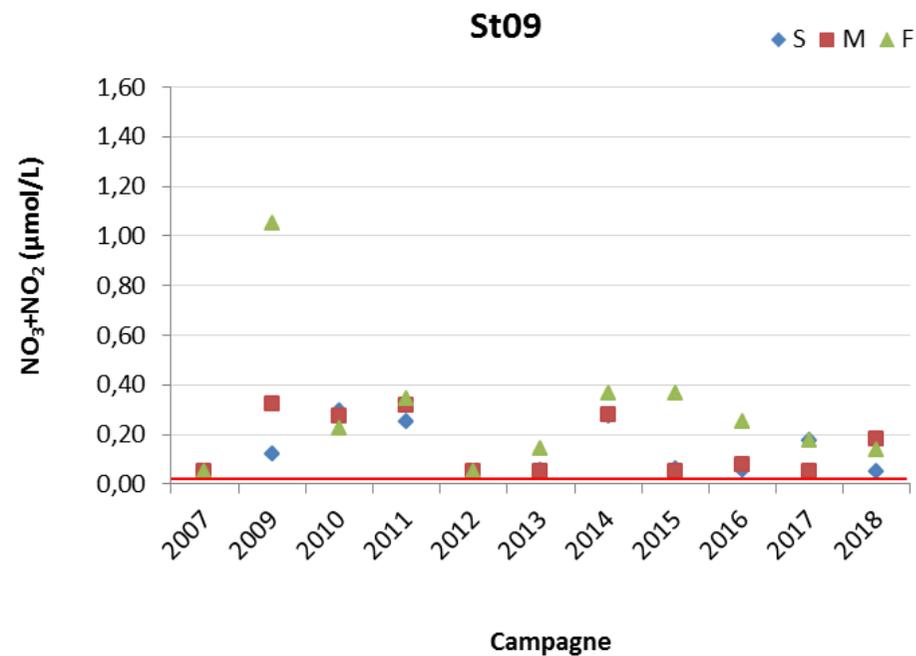
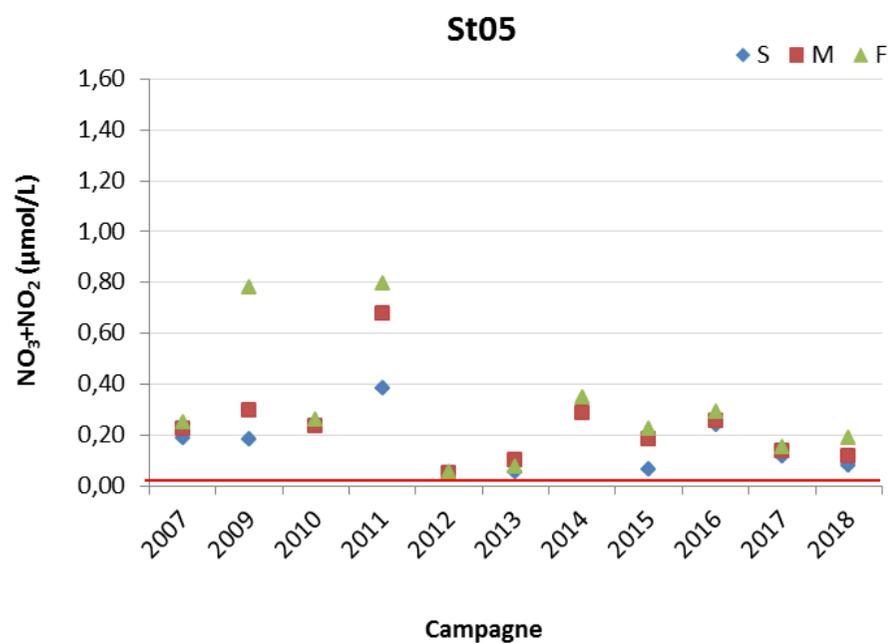


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

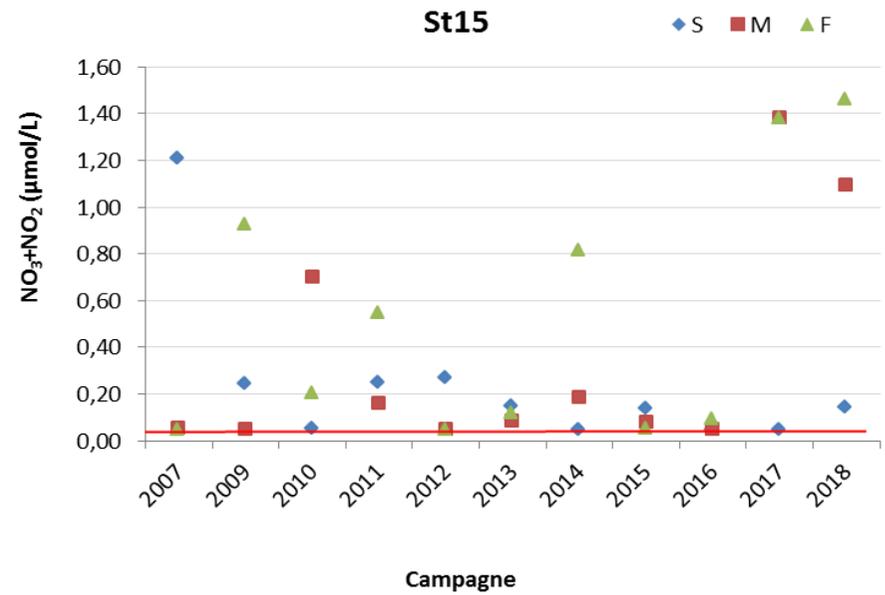
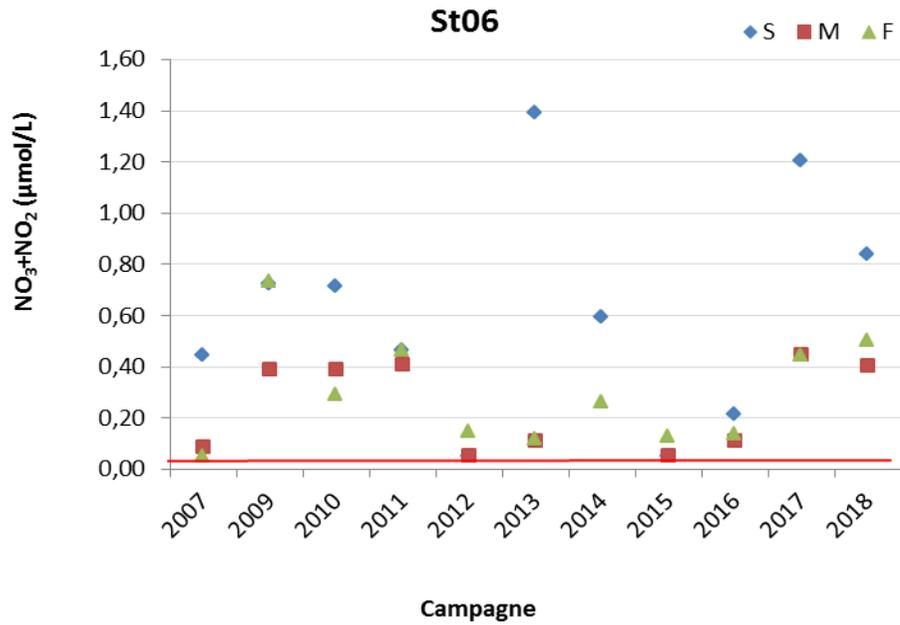


Figure 30 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

B. METAUX DISSOUS

L'étude des évolutions spatio-temporelles des concentrations de Co, Cr^{VI}, Mn et Ni dissous entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 a été compartimentée en deux ensembles comparables ; les stations soumises aux influences terrigènes (St03, St06 et St15) et les stations soumises aux influences océaniques (St05, St07 et St09). Cette étude est reportée dans les Figure 31, Figure 32, Figure 33, Figure 34, Figure 35, Figure 36 et Figure 37.

1. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations de baies

Les concentrations des différents métaux dissous mesurées aux 3 stations des baies présentent une relative variabilité inter-campagne, notamment au niveau des couches de surface. La répartition verticale des concentrations de Mn est plus hétérogène dans la colonne d'eau que les autres métaux. En effet, Co, Mn, Ni et le Cr^{VI}, sont davantage concentrés dans les eaux de surface et les valeurs diminuent avec la profondeur (Figure 31 à Figure 34).

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations de baies depuis 2007, les concentrations de :

- Cr^{VI} montrent une grande variation observée uniquement dans les eaux de surface. Dans les eaux intermédiaires et de fond, les concentrations sont remarquablement constantes. Lors de cette campagne, les concentrations en Cr^{VI} dans les eaux de surface ont été les plus élevées mesurées à la station St03;
- Co montrent des valeurs variables essentiellement dans les eaux de surface. Quelques concentrations particulièrement élevées ont été mesurées en mars 2010 en surface et en mars 2011 en profondeur.
- Ni sont variables essentiellement en surface aux stations St03 et St15. A la station St06, les concentrations en surface sont relativement proches de la courbe de tendance. Les concentrations les plus importantes relevées depuis le début du suivi ont été mesurées en surface cette année à la station St03. L'évolution des concentrations de Ni à la station ST03-S avec un coefficient de variation de 0,41 sera à vérifier par la suite. A la station St15, les concentrations les plus importantes relevées depuis le début du suivi ont été mesurées en surface en 2011;
- Mn sont dispersées peu importe la hauteur de la colonne. Cette variabilité est liée au comportement intrinsèque du Mn naturellement présent dans les MES et qui se retrouve sous forme dissoute dans les eaux moins salines de surface ;

Dans l'ensemble, comparées aux stations ST03 et ST06, les concentrations en Co, Cr^{VI}, Mn et Ni sont très variables au sein de la colonne d'eau de la station St15. Cette variabilité est due aux concentrations de surface et de fond plus fortes mesurées entre 2011 et 2015. Depuis les concentrations suivent une courbe de tendance à la baisse.

En 2018, les concentrations en Co, Cr^{VI} et Ni dans les eaux de surface à la ST03 ont été les plus importantes. Avec un coefficient de variation entre 0,31 à 0,56, leurs évolutions seront à vérifier lors des prochaines campagnes. Pour ces stations alimentées par les apports en eaux douces, ces concentrations élevées peuvent être attribuées à la forte pluviométrie de 2018.

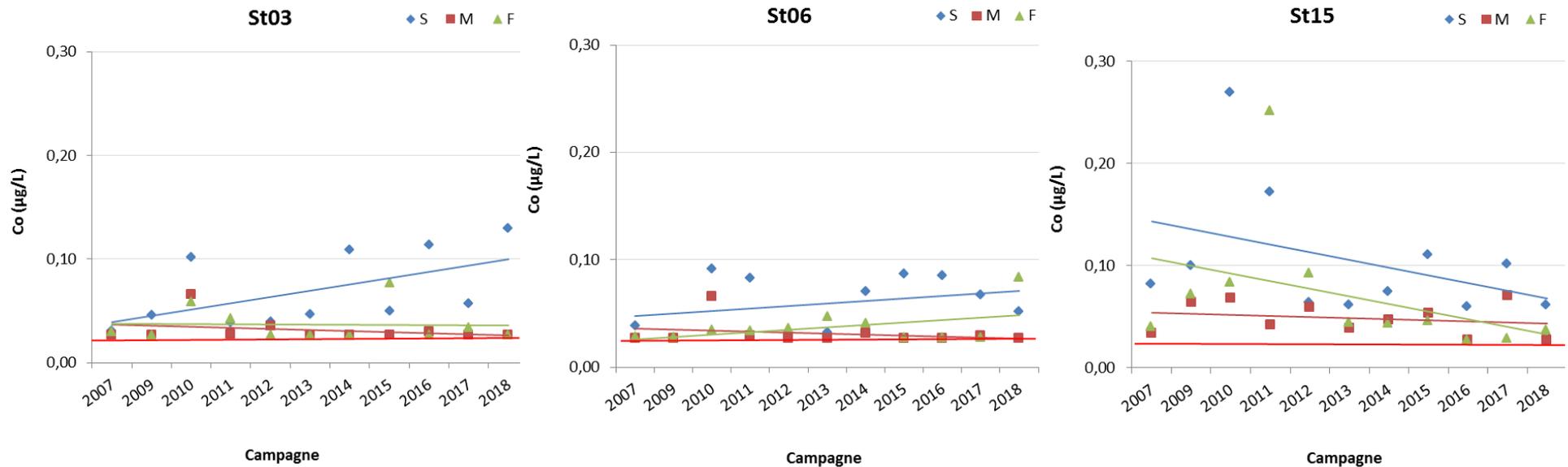


Figure 31 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = 0,0061x + 0,0331, R^2 = 0,305$

Surface : $y = 0,0023x + 0,0455, R^2 = 0,094$

Surface : $y = -0,0076x + 0,1508, R^2 = 0,1552$

Mi-profondeur : $y = -0,0011x + 0,038, R^2 = 0,0911$

Mi-profondeur : $Y = -0,001x + 0,0373, R^2 = 0,0796$

Mi-profondeur : $y = -0,0076x + 0,1508, R^2 = 0,1552$

Fond : $y = -0,0001x + 0,0376, R^2 = 0,0007$

Fond : $y = -0,001x + 0,0373, R^2 = 0,0796$

Fond : $y = -0,0074x + 0,1144, R^2 = 0,1474$

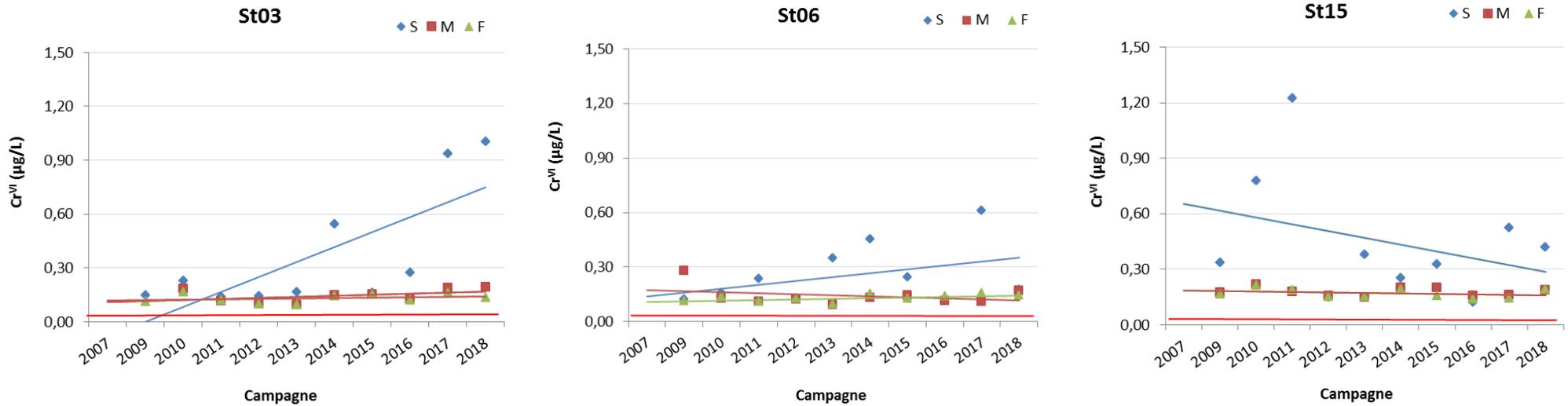


Figure 32 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{g/L}$).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = 0,0832x - 0,167, R^2 = 0,5597$

Surface $y = 0,0215x + 0,1173, R^2 = 0,1564$

Surface $y = -0,037x + 0,6908, R^2 = 0,1149$

Mi-profondeur : $y = 0,0059x + 0,1028, R^2 = 0,186$

Mi-profondeur $y = -0,0058x + 0,1793, R^2 = 0,1097$

Mi-profondeur $y = -0,0025x + 0,1853, R^2 = 0,0952$

Fond : $y = 0,0022x + 0,1157, R^2 = 0,0675$

Fond : $y = 0,0035x + 0,1043, R^2 = 0,3002$

Fond : $y = -0,0025x + 0,1853, R^2 = 0,0952$

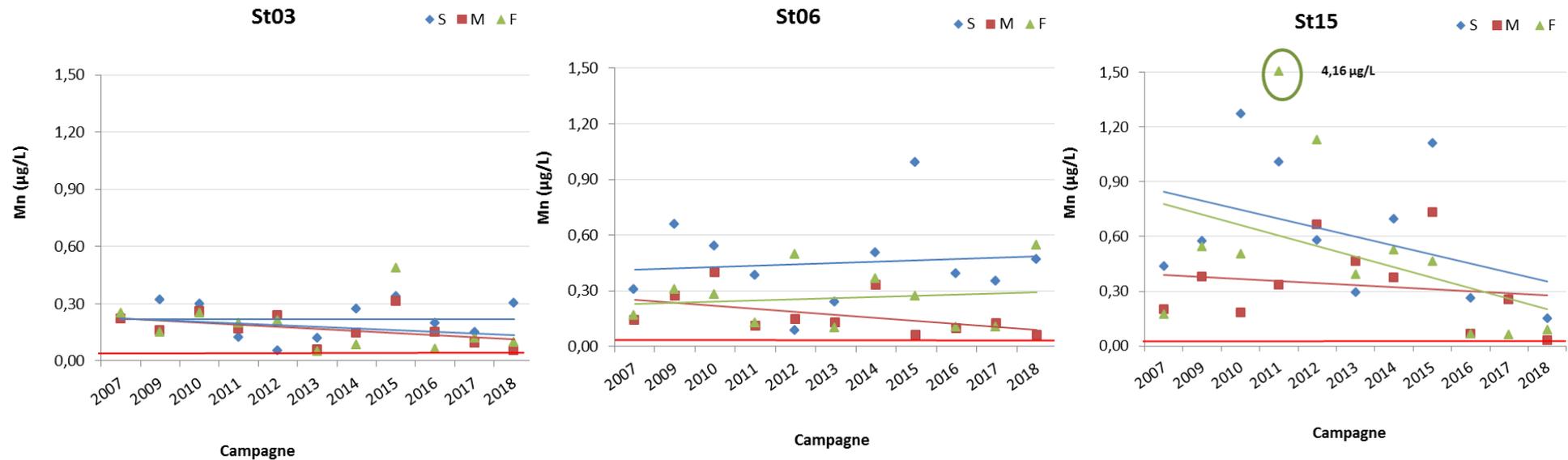


Figure 33 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -6E-05x + 0,2203, R^2 = 4E-06$

Surface $y = 0,007x + 0,4063, R^2 = 0,0097$

Surface $y = -0,0491x + 0,8943, R^2 = 0,1831$

Mi-profondeur : $y = -0,0109x + 0,2356, R^2 = 0,1932$

Mi-profondeur $y = -0,0164x + 0,2671, R^2 = 0,2307$

Mi-profondeur $y = -0,011x + 0,3997, R^2 = 0,0264$

Fond : $y = -0,009x + 0,2326, R^2 = 0,057$

Fond : $y = 0,0062x + 0,2243, R^2 = 0,0169$

Fond : $y = -0,0579x + 0,8387, R^2 = 0,1773$

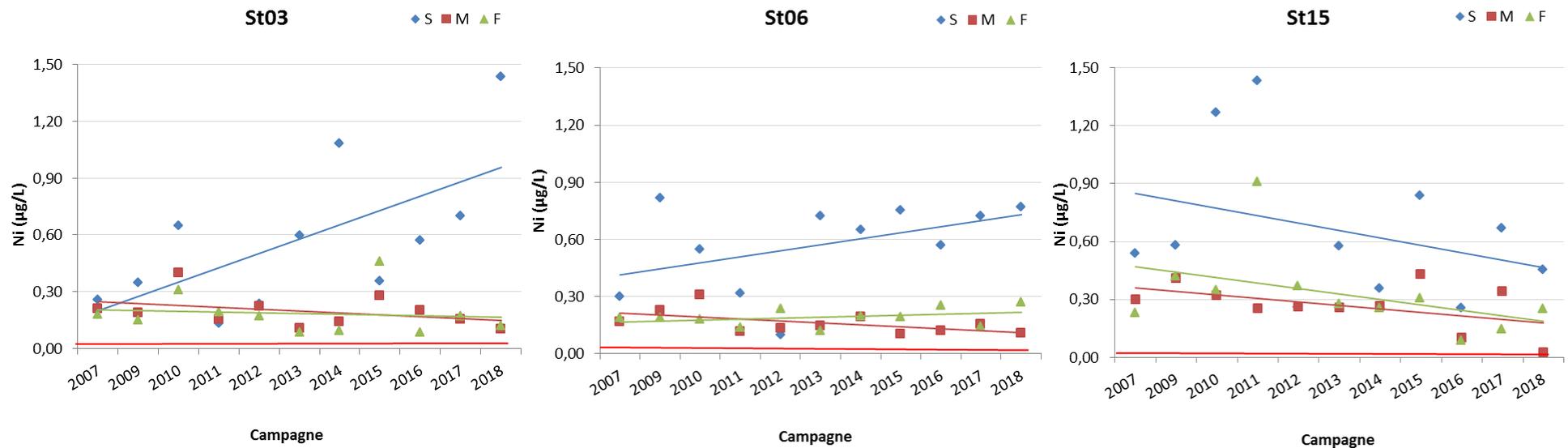


Figure 34 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = 0,0758x + 0,1242, R^2 = 0,4133$

Surface : $y = 0,0315x + 0,3823, R^2 = 0,1976$

Surface : $y = -0,0383x + 0,8879, R^2 = 0,1083$

Mi-profondeur : $y = -0,0101x + 0,2577, R^2 = 0,156$

Mi-profondeur : $y = -0,0104x + 0,2252, R^2 = 0,3075$

Mi-profondeur : $y = -0,0179x + 0,3762, R^2 = 0,245$

Fond : $y = -0,0039x + 0,2071, R^2 = 0,0133$

Fond : $y = 0,0048x + 0,1636, R^2 = 0,1099$

Fond : $y = -0,0281x + 0,496, R^2 = 0,1873$

2. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations du Canal de la Havannah

Note : Etant donné le peu de valeurs de concentration de Co supérieures à la limite de quantification, celles-ci ne sont plus illustrées graphiquement.

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations du Canal, les concentrations de Co restent régulièrement en dessous des limites de quantification (<0,027 µg/L). Les concentrations obtenues de Cr^{VI}, quelle que soit la profondeur, sont également peu dispersées.

Les concentrations en Cr^{VI} et en Co mesurées aux 3 stations du Canal demeurent d'une grande constance inter-campagne, ainsi qu'à l'intérieur des masses d'eau. En revanche, on remarque des concentrations variables en Mn et Ni au sein de la colonne d'eau. Elles sont particulièrement élevées au fond de la station St05 en 2017.

Dans l'ensemble, à la station St05, les concentrations en Cr, Mn et Ni présentes dans la colonne d'eau sont dans l'ensemble plus stables que celles des stations St07 et St09.

Enfin globalement, les concentrations mesurées à ces stations d'influence océanique, sont bien plus faibles que celles mesurées aux stations St03, St06 et St15, d'influence terrigène, notamment pour le Co, Ni et Mn.

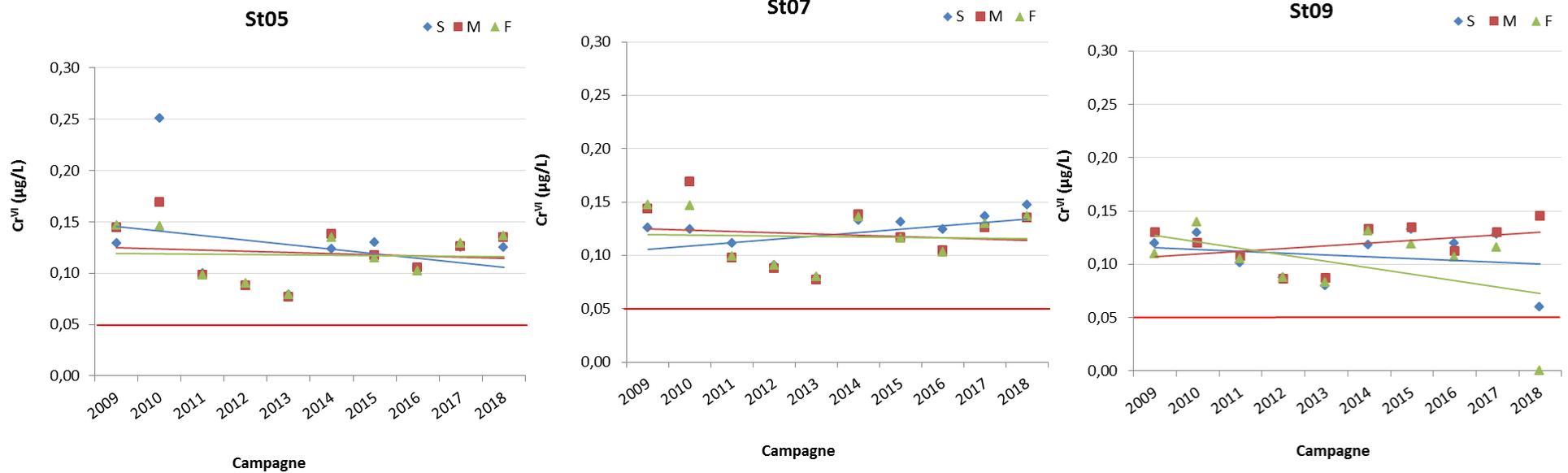


Figure 35 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -0,0044x + 0,1498, R^2 = 0,0791$

Surface $y = 0,0032x + 0,1023, R^2 = 0,2078$

Surface $y = -0,0017x + 0,1173, R^2 = 0,0459$

Mi-profondeur : $y = -0,0012x + 0,1263, R^2 = 0,0167$

Mi-profondeur $y = -0,0012x + 0,1263, R^2 = ,0167$

Mi-profondeur $y = 0,0025x + 0,1046, R^2 = 0,1445$

Fond : $y = -0,0004x + 0,1201, R^2 = 0,0028$

Fond : $y = -0,0004x + 0,1201, R^2 = 0,0028$

Fond : $y = -0,0061x + 0,1335, R^2 = 0,2231$

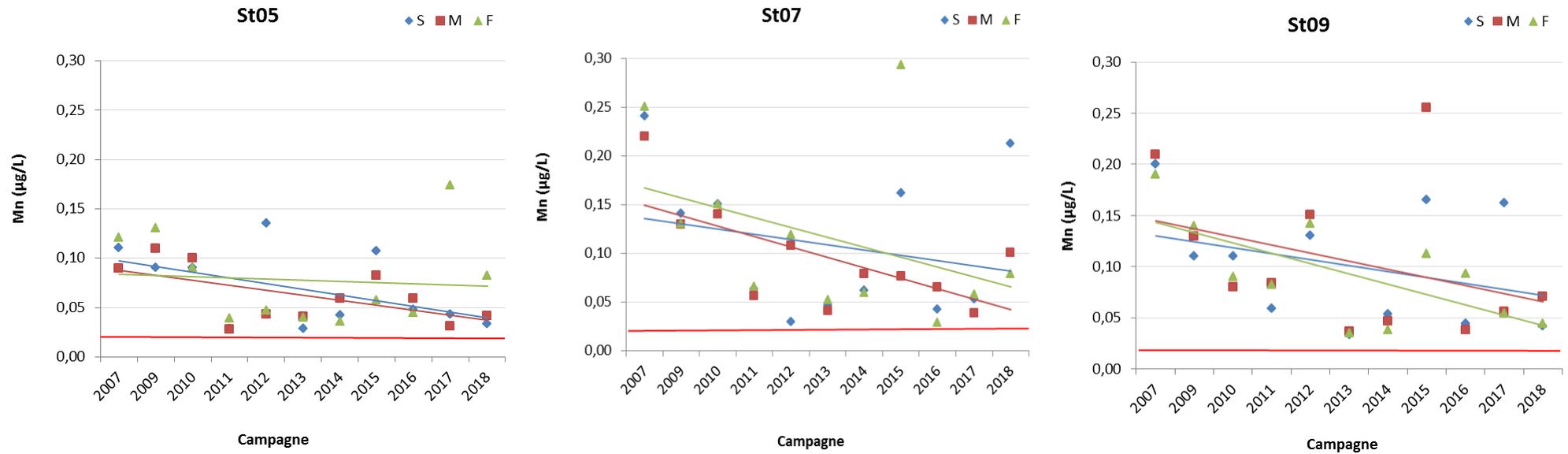


Figure 36 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -0,0058x + 0,1032, R^2 = 0,2485$

Surface : $y = -0,0053x + 0,1408, R^2 = 0,0563$

Surface : $y = -0,0058x + 0,136, R^2 = 0,1105$

Mi-profondeur : $y = -0,005x + 0,0925, R^2 = 0,3353$

Mi-profondeur : $y = -0,0107x + 0,16, R^2 = 0,4459$

Mi-profondeur : $y = -0,008x + 0,1531, R^2 = 0,131$

Fond : $y = -0,0012x + 0,0849, R^2 = 0,0073$

Fond : $y = -0,0102x + 0,1776, R^2 = 0,1568$

Fond : $y = -0,0101x + 0,1533, R^2 = 0,4498$

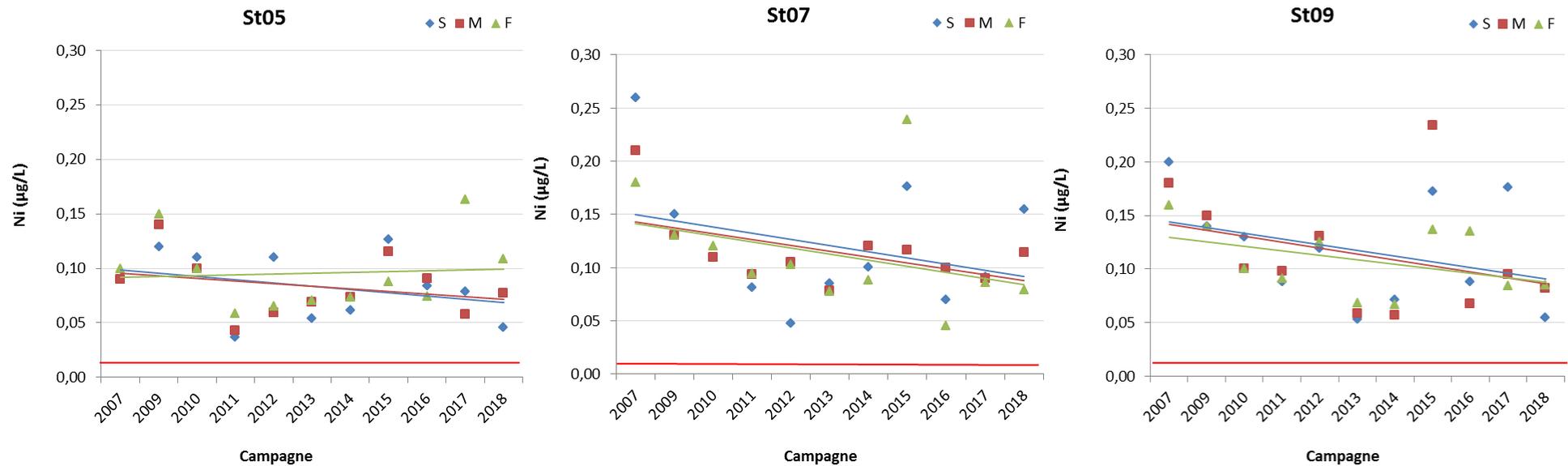


Figure 37 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -0,003x + 0,1016, R^2 = 0,1034$

Surface : $y = -0,0058x + 0,1554, R^2 = 0,1011$

Surface : $y = -0,0053x + 0,1495, R^2 = 0,12$

Mi-profondeur : $y = -0,0024x + 0,0976, R^2 = 0,0802$

Mi-profondeur : $y = -0,0055x + 0,1485, R^2 = ,2797$

Mi-profondeur : $y = -0,0055x + 0,1471, R^2 = 0,1092$

Fond : $y = 0,0008x + 0,0909, R^2 = 0,0057$

Fond : $y = -0,0057x + 0,1473, R^2 = 0,1221$

Fond : $y = -0,0042x + 0,1336, R^2 = 0,1874$

Ce qu'il faut retenir :

En ce qui concerne les sels nutritifs (NH_4 et NO_3+NO_2), aux stations du large, hormis certaines valeurs de concentrations ponctuelles, aucune tendance dans la colonne d'eau, voire dans le temps, ne semble se dessiner. Les quelques variations temporelles modérées observées à la station St05, située à proximité du récif barrière, et à la station St09, située dans le Canal de la Havannah, sont en lien avec l'activité de la production primaire et/ou accompagnées de remontées d'eaux profondes riches en nutriments (upwelling) déjà mentionnées dans les rapports précédents. La moins grande variabilité temporelle et verticale que l'on enregistre à ces stations du large sont, en grande partie, explicable par l'éloignement à la côte et les mécanismes de brassage qui tendent à homogénéiser les eaux. Toutefois, et en dépit des conditions hydrodynamiques à la station St09, l'étude chronologique met en évidence un léger gradient « surface-fond » croissant en lien avec la stratification des eaux.

En revanche, les concentrations en NH_4 et NO_3+NO_2 , sont plus variables aux stations des baies. En effet, temporairement les stations St06 et St15 peuvent subir différentes contributions terrigènes ou de production primaire se révélant comme lors de cette campagne.

Concernant les métaux dissous au niveau des stations des baies du Canal, (Co, Cr^{VI} , et Ni), les courbes de tendance de la station St03 attirent l'attention sur une éventuelle évolution croissante depuis 2007 restant à vérifier. Les concentrations en Mn restent très hétérogènes au sein de la colonne d'eau ne permettant pas de voir une quelconque évolution. Hormis quelques concentrations en Co, Cr^{VI} , Ni et Mn particulièrement élevées à la station St15 en 2010 et 2011, les concentrations en métaux se sont maintenues stables.

Aux stations du Canal, les concentrations demeurent faibles en Cr^{VI} voire en dessous de la LQ pour le Co et sont particulièrement stables dans la colonne d'eau depuis la mise en place du début du suivi marin. Les valeurs mesurées en Mn et Ni varient légèrement d'une campagne à une autre et au sein de la colonne d'eau mais elles restent globalement dans le même ordre de grandeur. Les stations St07 et St09 qui montrent une variabilité la plus importante correspondent à une aire de mélange des eaux d'influences océanique et terrigène. En raison de l'influence nettement océanique qu'elle subit, la station St05, (en particulier) montre peu de variation des concentrations en métaux dissous.

Enfin, les concentrations obtenues aux différentes stations lors de la campagne de 2018 sont globalement dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des précédentes campagnes de « saison chaude » depuis 2007. Toutefois, mes concentrations en Co, Cr^{VI} et Ni ont été plus élevées cette année en surface de la station St03. Ainsi, une très légère tendance linéaire positive a pu être observée pour cette station, probablement en lien avec les fortes précipitations de cette campagne. Cette tendance sera vérifiée lors de prochaines campagnes.

V. CONCLUSION

Comme relaté lors des précédentes campagnes semestrielles « saison chaudes », les principales variations des paramètres physico-chimiques (ex : salinité, turbidité et fluorescence), des concentrations en sels nutritifs tels que les SiO_4 ou en métaux latéritiques dissous (ex. : Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni) observées en 2018, mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Il est à retenir qu'un cyclone tropical intense nommé HOLA a influencé la zone d'étude la semaine précédant la campagne avec de fortes précipitations.

Ainsi, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations de ces paramètres chimiques se distribuent selon un même gradient « côte-large » de manière évidente. Les concentrations en Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni dissous sont plus élevées près des côtes (Baie de Port Boisé, de la Kwé et du Prony) et plus faibles dans le Canal de la Havannah. Pour ces stations de côte, les concentrations de métaux, de SiO_4 et de $\text{Chl } a$, se distribuent selon un gradient « surface-fond »; les eaux de surface étant plus riches. Les concentrations de Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni dissous, élevées dans les eaux de surface, sont corrélées avec les profils de salinité; une couche dessalée ayant été observée dans les eaux de surface dans ces baies à l'issue des fortes précipitations observées le 09 mars.

Pour ce qui est des profils de turbidité et de fluorescence, c'est plutôt par leur degré d'homogénéité qu'ils permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. Les concentrations en $\text{Chl } a$ en lien avec les profils de fluorescence reflètent bien cette incidence. En effet, contrairement aux stations de la côte où les profils de turbidité montrent des gradients avec la profondeur, ceux du Canal sont relativement constants en raison de la proximité de la passe de la Havannah par laquelle les apports océaniques s'effectuent.

Pour les sels nutritifs et les matières organiques, plusieurs termes sources peuvent agir simultanément dans une zone d'étude donnée: le ruissellement naturel et forcé des sols, les activités biologiques (l'absorption d'azote et phosphore minérales, la production d'azote et de phosphore *via* la fixation du N_2 et par la dégradation des formes organiques) et enfin la remontée d'eaux profondes riches en minéraux (upwelling) ; à cette énumération peuvent s'ajouter les diverses activités anthropiques (base vie,...).

En raison de leurs multiples termes sources, en plus de la labilité chimique de certains éléments (par exemple, la réduction et l'oxydation rapide de NH_4 et NO_2) et le court temps de résidence dans l'environnement (par exemple, absorption de NO_3 par les organismes), la répartition spatio-temporelle de ces éléments au débouché d'un bassin versant peut fortement diverger au sein et au fil des campagnes. En effet, aucune tendance spatiale véritable n'a pu être dégagée pour les sels nutritifs et les matières organiques lors de cette campagne

En ce qui concerne les concentrations en métaux dissous, celles-ci sont plus importantes en Co, Cr^{VI} , Mn, Ni dans les eaux superficielles et en particulier dans les baies du Canal (St03 et St06) et du Prony (St18) en lien avec leur profil de salinité, température et turbidité.

Pour d'autres paramètres tels que les éléments majeurs et l'As, les concentrations sont relativement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et ne montrent pas, ni de gradient horizontal, ni de gradient vertical (distribution ubiquiste).

L'étude des variations inter-campagnes des sels nutritifs (NO_3+NO_2 et NH_4) aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15) ne met pas en évidence d'évolution temporelle depuis le début des campagnes. Pour les métaux

dissous (Co, Cr^{VI}, Mn et Ni), cette étude n'a pas non plus montré d'évolution temporelle significative pour les stations de baies (St03, St06 et St15), ni pour les stations du Canal (St05, St07 et St09). A la station ST03, en Baie de Port Boisé, les concentrations en Co, Cr^{VI} et Ni en surface cette année ont cependant été mesurées à la hausse. Cette tendance reste à vérifier lors des prochaines campagnes.

Enfin, les variations des concentrations de Co, Cr^{VI} et Ni observées entre les campagnes aux stations sentinelles semblent être vérifiées avec les fortes précipitations de cette année. Toutefois, elles n'ont pu être corrélées formellement avec les précipitations uniquement. En effet, ces niveaux de concentrations doivent probablement être le résultat de la combinaison des plusieurs facteurs d'ordres météorologique (vitesse et direction des vents), mais aussi hydrodynamique (courants, marées, horaire de prélèvement), biologique (efflorescence) et anthropique (activité minière, portuaire, hôtelière,...).

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n° 9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n° 1312.
- Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Roupsard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n° T1368, 85p.
- Kaplan H, Laurent A, Hubert M, Moreton, Kumar-Roiné, Fernandez JM (2016). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n°3052, 90p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13: 223-227.
- Moreton B, Fernandez JM, Dolbecq M (2009). Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia lagoon. *Geostandards and Geoanalytical Research* 33 (2) : 205-218.
- Mullin JB, Riley JP (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-176.

Murphy J, Riley JP (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.

NF EN ISO 17294-2 : Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage de 62 élément.

Oudot C, Montel Y (1988). A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in seawater with a Technicon Autoanalyzer II. *Marine Chemistry*, 24: 239-252.

Raimbault P, Coste B, Fry J (1990) Feasibility of measuring an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100nM range: examples from field and culture. *Mar. Biol* 104: 347-351.

Strickland JDH, Parsons TR (1972). A practical handbook of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 167: 207-211.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHEMIE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	9
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (08 AU 12/03/2018; EN BLEU) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (13 AU 15/03/18; EN ROUGE). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE".	11
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 13 AU 15 MARS 2018.....	12
FIGURE 4: PROFILS DE TEMPERATURE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	14
FIGURE 5: PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	15
FIGURE 6: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	16
FIGURE 7: PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	17
FIGURE 8 : CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	21
FIGURE 9: CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES (NO ₃ +NO ₂) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	24
FIGURE 10: CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	25
FIGURE 11: CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO ₄ ²⁻) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	26
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	27
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	28
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	29
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	30
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	31
FIGURE 17: CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE DU LAGON SUD DE LA NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	33
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	37
FIGURE 20: CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	38
FIGURE 21 : CONCENTRATIONS EN CHROME (CrVI) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	38

FIGURE 22: CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL (CR-TOT) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	39
FIGURE 23: CONCENTRATIONS EN (Fe) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	39
FIGURE 24 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	40
FIGURE 25 : CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	40
FIGURE 26 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON CHAUDE » DE 2007 A 2018; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».	42
FIGURE 27 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 µMOL/L).....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 28: CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 µMOL/L).....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 29 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018); LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	47
FIGURE 30 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018); LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	48
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	50
FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (CR ^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	51
FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	52
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	53
FIGURE 35 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (CR ^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	55
FIGURE 36 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	56
FIGURE 37 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).....	57

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	8
TABLEAU 2 : VALEURS DE LA TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE ENREGISTREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	13
TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS ET VALEURS DU PH MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	19
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	21
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	23
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	32
TABLEAU 7 : CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	34
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (As, Cr(VI), Cr-TOTAL, Co ET Cu) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	36
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (Fe, Mn, Ni, Pb ET Zn) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	37

ANNEXES

ANNEXE 1.....	67
ANNEXE 2.....	72
ANNEXE 3.....	74
ANNEXE 4.....	76
ANNEXE 5.....	78
ANNEXE 6.....	80
ANNEXE 7.....	82
ANNEXE 8.....	86
ANNEXE 9.....	91
ANNEXE 10.....	92

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

STRUCTURES DES MASSES D'EAU

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnée a été obtenue grâce aux profils verticaux réalisés avec une sonde CTD SBE19 équipée de capteurs additionnels. La fréquence d'acquisition des données étant de 0,5 secondes et la vitesse de descente d'environ 0,5 m/s, une série d'acquisition est générée tous les 25 cm environ.

Les paramètres de la sonde CTD et leurs spécifications sont les suivants (Tableau 1) :

- la pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- la salinité (‰), déduite de la mesure de la conductivité ;
- la température (°C) ;
- la turbidité par mesure de la néphélométrie, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- la fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m³, qui permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

Paramètres	Gamme	Précision initiale	Résolution
Conductivité (S.m ⁻¹)	0 - 9	0,0005	0,0007
Température (°C)	-5 à +35	0,005	0,0001
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (mg/m ³)	0 - 50	NA*	0,025

ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS, PH ET MATIERE EN SUSPENSION (MES)

Un sous-échantillonnage à partir des prélèvements en bouteilles Niskin® a été effectué pour :

- le dosage des ions calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) qui ont été déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- le dosage des ions chlorures (Cl⁻), réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- le dosage des ions sulfates (SO₄²⁻), réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- la mesure du pH (pHmètre Consort) ;
- la détermination de la concentration en MES (Matière En Suspension) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore® de 0,45 µm de porosité).

Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en polyéthylène haute densité et les échantillons sont conservés à 4 °C jusqu'à leur analyse de retour au laboratoire.

ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

Les échantillons d'eau nécessaires aux différentes déterminations analytiques ont été directement conditionnés à bord du « Slavco » dans du flaconnage soit en :

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH_4) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) et de phosphates (PO_4) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatmaⁿ® GF/F (porosité $0,7 \mu\text{m}$) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20°C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_3) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO_3 est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenus par réduction des ions NO_3 . Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ par photométrie (Oudot et Montel, 1988). Cependant, les concentrations en NO_2 dans les eaux de surface restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et $1 \mu\text{M}$ avec des limites de quantification d'environ $0,05 \mu\text{mol/L}$.

b) Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac (NH_3) et d'ion ammonium (NH_4^+), ce dernier étant prépondérant dans le milieu marin. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles et la méthode décrite par Holmes *et al.*, (1999) est la plus adaptée. Il s'agit d'une méthode manuelle basée sur le principe d'une mesure fluorométrique qui permet de doser des quantités infimes de NH_4 . Les proportions de réactifs ont été déterminées pour des concentrations maximales d'ammonium de $3 \mu\text{mol/L}$, la limite de quantification de la méthode est de $1,5 \text{ nmol/L}$.

c) Phosphates

Le dosage des PO_4 a été effectué selon la méthode de Murphy et Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide ($\text{pH} < 1$) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et $0,75 \mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification d'environ $0,05 \mu\text{mol/L}$.

e) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de [Mullin et Riley, 1955](#), modifiée par [Fanning et Pilson \(1973\)](#). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0 à 140 µmol/L, la limite de quantification est de 0,05 µmol/L et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µmol/L de SiO₄.

ANALYSE DE MATIERE ORGANIQUE

a) Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique dissoute ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)). Cette méthode dite « méthode d'oxydation par voie humide », est simple et rapide à mettre en œuvre. Les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄ ; à savoir par l'auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

Les valeurs brutes obtenues correspondent à la concentration de matière totale. Les valeurs de la matière organique dissoute sont alors calculées par la différence entre les valeurs de matière totale et celles de formes minérale et particulaire.

Pour l'azote total (NT), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 30 µmol/L et la limite de quantification est de 0,130 µmol/L. Pour le phosphore total (PT), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 3 µmol/L et la limite de quantification est de 0,050 µmol/L.

b) Azote et phosphore organiques particulaires

Comme pour les matières organiques dissoutes, le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)) et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. Les valeurs de la matière organique particulaire sont alors calculées de la façon suivante :

$$[\text{NOP}] = [\text{NO}_3 + \text{NO}_2]_t \times V_1/V_2$$

$$[\text{POP}] = [\text{PO}_4]_t \times V_1/V_2$$

Soit :

- [NOP] et [POP] = les concentrations respectives en azote et phosphate organiques particulaires ;
- [NO₃ + NO₂]_t et [PO₄]_t = les concentrations respectives en nitrates+nitrites et phosphates mesurées après oxydation au persulfate ;
- V₁ = le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V₂ le volume d'eau de mer filtré (mL).

Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et 30 µmol/L avec des limites de quantification de 0,130 µmol/L pour le NOP et entre 0,5 et 3 µmol/L avec des limites de quantification de 0,050 µmol/L pour POP.

c) Carbone organique particulaire

L'analyse des filtres a été conduite sur un analyseur CHN (Carbone, Hydrogène, Azote) selon le principe de la combustion de la matière organique par l'oxygène, suivi d'un dosage du dioxyde de carbone et de l'azote formés. L'analyse de carbone organique particulaire (COP) a été effectuée par le laboratoire des moyens analytiques de l'IRD de Dakar.

ANALYSE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

La concentration de pigments chlorophylliens est déterminée sur des échantillons d'eau collectés puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

Les dosages ont été effectués par la méthode fluorométrique de Lorenzen (1966) qui présente une très grande sensibilité. Les pigments chlorophylliens sont extraits du filtre par un solvant organique, leur détection s'effectue, après excitation dans un faisceau lumineux à 450 nm, par mesure de la fluorescence émise à 670 nm (ce principe est identique à celui utilisé par le capteur de fluorescence in-situ équipant la sonde multiparamétrique SBE 19). Sur chaque extrait, la mesure de fluorescence est effectuée deux fois, avant et après acidification.

L'écart de fluorescence observé entre ces deux lectures est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle a + Phéophytine a. Etant données les interférences dues aux chlorophylles b et c, la précision des mesures dépend de la nature même des communautés de producteurs primaires. La limite de quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 0,01 µg/L.

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

A) PRETRAITEMENT ET ANALYSE

Pour chacune des 14 stations de la campagne semestrielle, les trois profondeurs (surface, mi-profondeur et fond) sont prélevées en trois lots destinés à différents type d'analyse :

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments dissous **Cr^{VI}/Cr-total** effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de Rouen pour l'analyse de l'**As** dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) (NF EN ISO 17294-2).
- les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à 0,45 µm en ligne (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les pré-concentrations terminées, chaque colonne de résine est bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer[®]) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux sont élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2 mol/L). L'analyse des éléments dissous **Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn** est ensuite effectuée par spectrométrie d'émission optique par torche à plasma (ICP-OES ; Marque Varian, modèle Vista). Cette méthode a été développée par [Moreton et al., \(2009\)](#).

Les limites de quantification (LQ) des métaux dissous sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.

Element	LQ (µg/L)
As	1,000
Cd	0,025
Co	0,027
Cr ^{VI}	0,050
Cr-total	0,050
Cu	0,025
Fe	0,059
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,100
Zn	1,000

ANNEXE 2

Variables physico-chimiques

Minimums, maximums, moyennes et écart-types des données physico-chimiques mesurées dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Station	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
St02	Minimum	26,42	35,09	0,00	0,30
	Maximum	26,47	35,17	0,72	7,73
	Moyenne	26,44	35,14	0,44	0,99
	Ecart-type	0,01	0,03	0,12	1,44
St05	Minimum	26,32	35,13	0,19	0,20
	Maximum	26,52	35,18	0,95	3,54
	Moyenne	26,38	35,16	0,53	0,44
	Ecart-type	0,07	0,01	0,11	0,38
St07	Minimum	26,15	35,03	0,15	0,28
	Maximum	26,68	35,33	0,80	1,59
	Moyenne	26,54	35,11	0,44	0,55
	Ecart-type	0,19	0,10	0,13	0,36
St09	Minimum	26,48	35,10	0,22	0,22
	Maximum	26,51	35,14	0,62	2,30
	Moyenne	26,50	35,11	0,47	0,32
	Ecart-type	0,01	0,01	0,08	0,19
St21	Minimum	26,21	35,03	0,09	0,35
	Maximum	26,96	35,29	1,14	1,07
	Moyenne	26,59	35,17	0,53	0,49
	Ecart-type	0,26	0,07	0,35	0,09
St03	Minimum	25,64	31,62	0,00	0,46
	Maximum	26,79	35,33	0,66	2,84
	Moyenne	26,56	34,45	0,50	0,84
	Ecart-type	0,31	0,63	0,05	0,40
St06	Minimum	26,11	34,10	0,13	0,39
	Maximum	26,66	35,18	0,54	2,89
	Moyenne	26,40	34,87	0,30	0,80
	Ecart-type	0,10	0,20	0,10	0,47
St14	Minimum	26,40	32,50	0,25	0,46
	Maximum	26,69	34,98	0,89	2,06
	Moyenne	26,56	33,77	0,51	0,87
	Ecart-type	0,10	1,11	0,14	0,31

Station	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
St15	Minimum	26,43	34,82	0,20	0,40
	Maximum	27,38	35,40	0,70	3,65
	Moyenne	26,98	35,14	0,47	0,85
	Ecart-type	0,22	0,15	0,12	0,58
St16	Minimum	24,81	35,06	0,20	0,55
	Maximum	27,09	35,55	0,46	5,09
	Moyenne	26,57	35,34	0,33	0,82
	Ecart-type	0,53	0,08	0,05	0,51
St18	Minimum	26,44	26,26	0,23	0,50
	Maximum	27,19	35,38	0,72	1,88
	Moyenne	26,62	32,53	0,48	1,11
	Ecart-type	0,17	2,99	0,14	0,35
St19	Minimum	24,58	34,75	0,24	0,38
	Maximum	26,88	35,68	0,78	1,90
	Moyenne	26,54	35,26	0,53	0,62
	Ecart-type	0,49	0,08	0,10	0,30
St13	Minimum	26,07	35,11	0,40	0,49
	Maximum	26,58	35,30	0,60	1,69
	Moyenne	26,41	35,16	0,50	0,68
	Ecart-type	0,11	0,05	0,04	0,16
St20	Minimum	26,12	35,07	0,33	0,63
	Maximum	26,37	35,22	0,63	1,89
	Moyenne	26,23	35,15	0,53	0,88
	Ecart-type	0,09	0,06	0,05	0,19

ANNEXE 3

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations des matières en suspension (MES)

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST02	S	422	492	1296	11308	22940	2880	0,257	8,3
	M	421	497	1295	11379	22245	2745	0,239	8,3
	F	424	493	1294	11338	22940	2875	0,317	8,3
ST03	S	386	444	1302	10272	21550	2390	0,522	8,2
	M	405	486	1301	11183	21550	2765	0,333	8,2
	F	406	483	1303	11171	28501	3150	1,282	8,2
ST05	S	432	501	1329	11510	21550	3250	0,297	8,3
	M	431	500	1329	11450	23635	2615	0,233	8,3
	F	420	489	1294	11217	22940	2465	0,285	8,3
ST06	S	388	448	1174	10326	23635	2450	0,640	8,1
	M	418	483	1264	11161	22940	2820	0,453	8,2
	F	417	485	1317	11160	22245	2710	1,088	8,2
ST07	S	418	485	1282	11166	22245	2715	0,249	8,3
	M	427	496	1316	11386	22940	2770	0,728	8,3
	F	436	508	1338	11585	23635	3290	0,943	8,3
ST09	S	422	488	1281	11267	21550	2845	0,663	8,3
	M	421	489	1320	11294	20507	2890	0,992	8,3
	F	408	489	1306	11269	22940	2755	0,172	8,3
ST13	S	411	498	1315	11365	25026	2715	0,417	8,2
	M	418	486	1289	11166	22940	2610	0,284	8,2
	F	418	504	1332	11551	22940	2675	0,300	8,2
ST14	S	380	440	1315	10142	20855	2500	0,349	8,3
	M	411	477	1333	11013	21550	2720	0,372	8,3
	F	430	500	1312	11432	23635	2685	0,525	8,3
ST15	S	425	494	1024	11345	22940	3060	0,293	8,2
	M	418	486	1289	11163	22940	2675	0,472	8,2
	F	436	509	1341	11585	24330	3010	1,010	8,2
ST16	S	433	504	1315	11530	23635	2755	0,240	8,2
	M	429	499	1291	11420	22940	2455	0,537	8,2
	F	434	501	1343	11535	22940	2655	1,382	8,2

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST18	S	332	376	1336	8700	18074	2090	0,653	8,2
	M	418	485	1322	11152	22245	2725	0,302	8,2
	F	435	507	1326	11578	23635	2875	0,789	8,2
ST19	S	407	486	1295	11212	22245	3125	0,370	8,2
	M	423	491	1304	11280	28501	2560	0,185	8,2
	F	424	490	1302	11259	22940	2710	0,575	8,2
ST20	S	427	500	1199	11405	22940	2800	0,396	8,2
	M	434	505	1284	11572	22245	2800	0,435	8,2
	F	421	495	1284	11344	22940	2925	0,238	8,2
ST21	S	417	485	1197	11130	22245	3400	0,690	8,3
	M	427	497	1298	11398	21550	2740	0,300	8,3
	F	424	491	1293	11283	23635	2690	0,467	8,3

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
ST02	S	<0,05	0,032	<0,05	0,84
	M	0,078	0,033	<0,05	1,62
	F	<0,05	0,097	<0,05	0,57
ST03	S	0,149	0,144	<0,05	10,69
	M	0,417	0,249	0,057	1,28
	F	0,798	0,214	0,112	1,48
ST05	S	0,076	0,046	<0,05	1,21
	M	0,118	0,043	<0,05	0,70
	F	0,183	0,061	<0,05	0,55
ST06	S	0,842	0,310	0,062	9,80
	M	0,401	0,007	0,068	1,47
	F	0,502	0,415	0,052	1,53
ST07	S	<0,05	0,041	<0,05	1,87
	M	<0,05	0,096	<0,05	1,22
	F	0,878	0,266	<0,05	1,34
ST09	S	<0,05	0,192	<0,05	0,81
	M	0,183	0,045	<0,05	1,92
	F	0,139	0,043	<0,05	0,50
ST13	S	<0,05	0,057	<0,05	1,92
	M	<0,05	0,072	<0,05	2,06
	F	0,688	0,132	<0,05	1,93
ST14	S	0,269	0,079	<0,05	8,09
	M	<0,05	0,104	<0,05	1,36
	F	0,42	0,230	<0,05	2,48
ST15	S	0,144	0,126	<0,05	2,57
	M	1,096	0,140	0,072	2,13
	F	1,464	0,262	0,148	2,60
ST16	S	<0,05	0,175	<0,05	1,25
	M	1,322	0,144	0,116	2,13
	F	<0,05	0,146	<0,05	2,22

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
ST18	S	0,598	0,153	<0,05	26,18
	M	<0,05	0,149	<0,05	1,22
	F	1,128	0,227	0,109	1,86
ST19	S	0,29	0,144	<0,05	1,11
	M	<0,05	0,167	<0,05	1,15
	F	0,995	0,152	0,05	1,42
ST20	S	0,411	0,065	<0,05	4,90
	M	0,195	0,134	<0,05	1,44
	F	<0,05	0,106	<0,05	1,34
ST21	S	0,138	0,108	<0,05	0,76
	M	<0,05	0,036	<0,05	0,99
	F	0,325	0,068	<0,05	1,45

ANNEXE 5

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle *a*

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle *a* du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)						Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)	
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
ST02	S	0,00	1,34	0,228	<0,05	6,7	6,68	0,228	0,488
	M	5,94	0,96	0,167	<0,05	6,7	5,02	0,167	0,543
	F	0,00	1,21	0,201	<0,05	8,3	5,29	0,201	0,541
ST03	S	6,33	1,13	0,197	<0,05	5,8	5,21	0,197	0,738
	M	5,90	0,73	0,168	<0,05	4,2	5,33	0,225	0,532
	F	6,19	0,84	0,111	0,054	5,8	5,93	0,277	0,484
ST05	S	5,96	0,96	0,179	<0,05	5,8	5,03	0,179	0,493
	M	5,59	0,93	0,175	<0,05	10,0	4,74	0,175	0,570
	F	5,81	0,99	0,182	<0,05	9,2	4,93	0,182	0,566
ST06	S	7,96	0,93	0,198	<0,05	15,0	7,56	0,260	0,339
	M	6,66	0,82	0,126	<0,05	5,8	6,24	0,194	0,580
	F	7,76	0,76	0,464	<0,05	6,7	7,09	0,516	0,666
ST07	S	0,00	0,96	0,177	<0,05	6,7	5,66	0,177	0,597
	M	0,00	0,80	0,210	<0,05	5,0	6,45	0,210	0,571
	F	6,59	1,06	0,149	0,089	5,8	6,15	0,238	0,538
ST09	S	0,00	4,51	0,118	0,083	24,2	5,42	0,201	0,607
	M	11,11	3,96	0,258	<0,05	15,0	7,29	0,258	0,434
	F	5,69	0,84	0,173	<0,05	5,0	4,95	0,173	0,484
ST13	S	0,00	2,53	0,123	0,109	8,3	5,48	0,232	0,558
	M	0,00	4,26	0,000	0,245	5,0	5,20	0,190	0,580
	F	5,88	0,97	0,129	0,067	5,8	5,47	0,197	0,508
ST14	S	7,21	1,45	0,109	0,052	11,7	5,95	0,161	0,610
	M	0,00	1,31	0,175	<0,05	7,5	5,23	0,175	0,638
	F	6,35	0,76	0,192	<0,05	5,8	5,78	0,192	0,522
ST15	S	6,41	1,07	0,128	<0,05	5,8	5,36	0,128	0,640
	M	5,30	0,54	0,104	<0,05	4,2	5,72	0,176	0,283
	F	5,90	0,59	0,042	0,052	5,8	6,52	0,242	0,261
ST16	S	0,00	0,66	0,172	<0,05	4,2	5,41	0,172	0,302
	M	6,03	0,62	0,068	0,059	5,0	6,59	0,243	0,306
	F	0,00	0,62	0,321	0,066	5,8	8,87	0,387	0,266

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)						Chlorophylle a (µg/L)	
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
ST18	S	6,79	1,53	0,045	0,073	9,2	5,70	0,118	0,669
	M	0,00	0,98	0,219	<0,05	5,8	6,09	0,219	0,545
	F	7,45	0,77	0,231	<0,05	4,2	7,59	0,340	0,262
ST19	S	6,05	1,04	0,098	0,071	5,0	5,15	0,169	0,768
	M	0,00	0,88	0,237	0,060	5,0	7,46	0,297	0,758
	F	5,47	0,39	0,183	<0,05	2,5	5,92	0,233	0,382
ST20	S	5,76	1,13	0,057	0,103	5,0	4,98	0,160	0,605
	M	7,58	1,04	0,161	0,065	8,3	6,60	0,226	0,573
	F	0,00	2,01	0,105	0,093	8,3	5,69	0,198	0,270
ST21	S	5,23	0,66	0,121	<0,05	5,0	4,60	0,121	0,322
	M	0,00	1,08	0,150	<0,05	5,0	4,78	0,150	0,742
	F	5,85	1,04	0,195	<0,05	5,8	5,06	0,195	0,918

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Cr ^{VI}	Cr _{total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST02	S	1,60	<0,025	0,131	0,170	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	0,041	<0,100	<1,000
	M	1,50	<0,025	ND	0,202	<0,027	<0,025	<0,059	0,055	0,075	<0,100	<1,000
	F	1,60	<0,025	0,146	0,168	<0,027	<0,025	<0,059	0,047	0,072	<0,100	<1,000
ST03	S	1,30	<0,025	1,004	1,116	0,130	<0,025	0,135	0,306	1,438	<0,100	<1,000
	M	1,50	<0,025	0,191	0,242	<0,027	<0,025	<0,059	0,056	0,102	<0,100	<1,000
	F	1,60	<0,025	0,134	0,160	<0,027	<0,025	<0,059	0,098	0,121	<0,100	<1,000
ST05	S	1,70	<0,025	0,125	0,158	<0,027	<0,025	<0,059	0,033	0,046	<0,100	<1,000
	M	1,70	<0,025	0,135	0,158	<0,027	<0,025	<0,059	0,042	0,077	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,136	0,142	<0,027	<0,025	<0,059	0,082	0,109	<0,100	<1,000
ST06	S	1,30	<0,025	0,173	0,832	0,051	<0,025	0,138	0,471	0,769	<0,100	<1,000
	M	1,70	<0,025	0,173	0,258	<0,027	<0,025	<0,059	0,062	0,108	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,141	0,170	0,083	<0,025	0,072	0,547	0,270	<0,100	<1,000
ST07	S	1,90	<0,025	0,147	0,174	<0,027	<0,025	<0,059	0,212	0,155	<0,100	<1,000
	M	1,70	<0,025	0,150	0,192	<0,027	<0,025	0,079	0,101	0,114	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,147	0,214	<0,027	<0,025	<0,059	0,078	0,079	<0,100	<1,000
ST09	S	1,40	<0,025	0,060	0,194	<0,027	0,025	<0,059	0,042	0,055	<0,100	<1,000
	M	1,40	<0,025	0,145	0,154	<0,027	<0,025	0,086	0,071	0,082	<0,100	<1,000
	F	1,80	<0,025	ND	0,156	<0,027	<0,025	<0,059	0,044	0,085	<0,100	<1,000
ST13	S	1,50	<0,025	0,230	0,276	<0,027	0,055	0,129	0,191	0,306	<0,100	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,180	0,224	<0,027	<0,025	<0,059	0,084	0,168	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,154	0,158	<0,027	<0,025	0,086	0,077	0,101	<0,100	<1,000
ST14	S	1,60	<0,025	0,454	0,570	0,045	0,041	0,112	0,406	0,707	0,289	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,185	0,202	<0,027	<0,025	0,069	0,098	0,130	<0,100	<1,000
	F	1,90	<0,025	0,171	0,176	<0,027	<0,025	<0,059	0,055	0,095	<0,100	<1,000
ST15	S	1,30	<0,025	0,420	0,856	0,062	<0,025	<0,059	0,147	0,454	<0,100	<1,000
	M	1,40	<0,025	0,188	0,200	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<0,100	<1,000
	F	1,50	<0,025	0,193	0,248	0,037	<0,025	<0,059	0,082	0,253	<0,100	<1,000
ST16	S	1,30	<0,025	0,196	0,246	<0,027	<0,025	<0,059	0,097	0,275	<0,100	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,177	0,194	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	0,145	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,133	0,140	<0,027	<0,025	<0,059	0,165	0,133	<0,100	<1,000

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr ^{VI}	Cr _{total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST18	S	<1,00	<0,025	0,422	2,970	0,081	<0,025	<0,059	0,044	1,861	<0,100	<1,000
	M	1,50	<0,025	0,245	0,256	0,032	<0,025	<0,059	0,117	0,394	<0,100	<1,000
	F	1,40	<0,025	0,173	0,198	<0,027	<0,025	<0,059	0,083	0,200	<0,100	<1,000
ST19	S	1,40	<0,025	0,200	0,242	0,029	<0,025	<0,059	0,123	0,285	0,156	<1,000
	M	1,40	<0,025	0,232	0,338	<0,027	<0,025	<0,059	0,060	0,085	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,140	0,232	<0,027	<0,025	<0,059	0,033	0,090	<0,100	<1,000
ST20	S	1,50	<0,025	0,222	0,224	<0,027	<0,025	<0,059	0,039	0,136	<0,100	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,236	0,250	<0,027	<0,025	<0,059	0,047	0,151	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,207	0,244	<0,027	<0,025	<0,059	0,096	0,171	<0,100	<1,000
ST21	S	1,70	<0,025	0,138	0,192	<0,027	<0,025	<0,059	0,037	0,052	<0,100	<1,000
	M	1,80	<0,025	0,128	0,180	<0,027	<0,025	<0,059	0,104	0,130	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,119	0,154	<0,027	<0,025	0,093	0,050	0,087	<0,100	<1,000

ANNEXE 7

Compilation des concentrations des sels nutritifs des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO₃+NO₂), ammonium (NH₄), phosphates (PO₄) et silicates (SiO₄) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NO ₂ +NO ₃ (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,103	0,086	0,170	0,117	<0,050	<0,050	0,060	0,055	<0,017	0,076
	Maximum	4,921	1,050	0,309	1,040	0,318	0,263	0,469	0,406	0,312	0,291	0,878
	Moyenne	0,422	0,395	0,212	0,473	0,184	0,084	0,251	0,189	0,239	0,120	0,219
	Ecart-type	0,853	0,318	0,073	0,242	0,116	0,073	0,119	0,118	0,075	0,074	0,243
Baies du Canal	Minimum	<0,050	0,233	0,194	0,060	0,146	<0,050	0,123	0,065	0,053	<0,017	0,149
	Maximum	0,445	0,735	0,717	0,720	0,146	1,393	0,596	0,522	0,268	1,205	0,842
	Moyenne	0,205	0,491	0,355	0,374	0,146 (n=1)	0,233	0,253	0,313	0,158	0,391	0,475
	Ecart-type	0,165	0,187	0,167	0,196		0,439	0,158	0,203	0,075	0,338	0,239
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	0,060	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,022	<0,017	0,144
	Maximum	1,212	1,740	0,700	1,860	0,270	0,148	0,818	0,258	0,224	1,806	1,464
	Moyenne	0,259	0,378	0,108	0,402	0,129	0,070	0,252	0,077	0,090	0,883	0,880
	Ecart-type	0,439	0,532	0,194	0,526	0,098	0,042	0,242	0,067	0,072	0,699	0,482
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,349	0,056	0,100	<0,050	<0,050	0,055	<0,050	0,023	<0,017	0,195
	Maximum	0,252	1,470	0,286	0,770	0,080	0,465	0,727	0,257	0,257	0,226	0,688
	Moyenne	0,124	0,719	0,131	0,322	0,060	0,160	0,273	0,077	0,102	0,094	0,431
	Ecart-type	0,113	0,389	0,085	0,251	0,028	0,176	0,261	0,100	0,085	0,074	0,247

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (μmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,009	0,026	0,034	0,010	0,018	0,019	0,044	0,039	0,034	0,115	0,032
	Maximum	0,413	0,125	0,292	0,262	0,088	0,135	0,114	0,610	0,211	0,260	0,266
	Moyenne	0,396	0,059	0,135	0,071	0,050	0,047	0,069	0,132	0,122	0,167	0,078
	Ecart-type	0,100	0,029	0,092	0,062	0,020	0,032	0,020	0,136	0,046	0,045	0,065
Baies du Canal	Minimum	0,054	0,009	0,064	0,014	0,025	0,022	0,043	0,065	0,050	0,207	0,007
	Maximum	0,157	0,136	0,266	0,230	0,237	0,135	0,166	0,323	0,267	1,106	0,415
	Moyenne	0,094	0,045	0,169	0,102	0,112	0,079	0,096	0,160	0,126	0,500	0,195
	Ecart-type	0,036	0,038	0,074	0,065	0,058	0,032	0,040	0,080	0,070	0,327	0,125
Baie du Prony	Minimum	0,012	0,004	0,018	0,012	0,016	0,014	0,014	0,066	0,029	0,105	0,126
	Maximum	0,168	0,114	0,249	0,287	0,199	0,073	0,595	0,276	0,279	1,721	0,262
	Moyenne	0,044	0,042	0,111	0,079	0,058	0,036	0,139	0,136	0,085	0,338	0,165
	Ecart-type	0,046	0,028	0,078	0,094	0,057	0,021	0,181	0,073	0,073	0,449	0,040
Ile Ouen	Minimum	0,029	0,005	0,043	0,018	0,061	0,022	0,064	0,059	0,042	0,195	0,057
	Maximum	0,113	0,163	0,389	0,216	0,162	0,246	0,137	0,339	0,141	0,606	0,134
	Moyenne	0,066	0,063	0,155	0,066	0,104	0,118	0,098	0,155	0,082	0,307	0,094
	Ecart-type	0,043	0,070	0,128	0,075	0,039	0,103	0,030	0,100	0,041	0,152	0,034

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,010	0,020	0,031	<0,010	<0,010	0,012	0,055	0,127	0,070	<0,017	<0,05
	Maximum	0,125	0,061	0,074	0,102	0,093	0,051	0,091	0,127	0,139	0,291	<0,05
	Moyenne	0,038	0,041	0,050	0,038	0,042	0,032	0,066	0,127 (n=1)	0,100	0,120	-
	Ecart-type	0,028	0,015	0,011	0,027	0,028	0,014	0,011		0,017	0,074	-
Baies du Canal	Minimum	0,018	0,013	0,052	0,019	<0,010	0,012	0,064	0,014	0,047	<0,017	0,052
	Maximum	0,048	0,060	0,072	0,120	0,096	0,038	0,072	0,014	0,113	1,205	0,112
	Moyenne	0,035	0,040	0,062	0,047	0,038	0,024	0,069	0,014 (n=1)	0,075	0,391	0,070
	Ecart-type	0,011	0,016	0,008	0,036	0,028	0,009	0,004		0,021	0,338	0,024
Baie du Prony	Minimum	<0,010	0,023	0,039	0,015	0,034	0,026	0,068	<0,010	0,024	<0,017	0,050
	Maximum	0,058	0,171	0,202	0,185	0,094	0,063	0,273	<0,010	0,112	1,806	0,148
	Moyenne	0,037	0,055	0,071	0,058	0,068	0,041	0,126	<0,010	0,060	0,883	0,099
	Ecart-type	0,017	0,045	0,043	0,054	0,019	0,012	0,066		0,026	0,699	0,038
Ile Ouen	Minimum	0,026	0,044	0,026	0,019	0,048	0,022	0,056	<0,010	0,030	<0,017	<0,05
	Maximum	0,062	0,082	0,073	0,070	0,115	0,038	0,088	<0,010	0,072	0,226	<0,05
	Moyenne	0,043	0,062	0,045	0,041	0,080	0,030	0,072	<0,010	0,052	0,094	-
	Ecart-type	0,018	0,015	0,015	0,018	0,027	0,006	0,016		0,016	0,074	-

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,43	0,97	0,02	<0,050	1,12	0,74	0,60	0,99	0,80	1,73	0,500
	Maximum	1,80	1,58	0,94	1,62	2,53	1,16	1,06	1,38	2,91	3,15	1,918
	Moyenne	0,96	1,21	0,34	0,41	1,86	0,94	0,81	1,13	1,45	2,21	1,054
	Ecart-type	0,36	0,17	0,26	0,40	0,55	0,15	0,15	0,13	0,64	0,44	0,480
Baies du Canal	Minimum	0,79	1,34	0,52	0,14	1,50	1,14	1,03	1,24	1,27	2,30	1,284
	Maximum	1,89	4,79	4,69	2,84	4,15	12,34	8,14	4,22	3,98	18,43	10,690
	Moyenne	1,20	2,13	1,81	1,07	2,57	3,12	2,58	1,88	1,82	6,17	4,243
	Ecart-type	0,33	1,13	1,28	1,12	0,82	3,67	2,68	0,93	0,89	5,68	4,034
Baie du Prony	Minimum	1,25	1,55	1,32	<0,050	1,47	1,19	1,81	1,36	0,49	3,01	1,109
	Maximum	4,07	4,21	6,64	9,95	3,25	12,96	6,62	4,48	3,99	8,18	26,176
	Moyenne	2,38	2,63	2,43	4,78	2,16	2,68	2,68	2,16	1,57	4,28	3,819
	Ecart-type	0,89	1,01	1,45	4,21	0,55	3,32	1,43	1,07	0,91	1,49	7,062
Ile Ouen	Minimum	1,56	1,31	0,54	0,21	1,64	1,21	1,05	1,25	0,63	1,92	1,344
	Maximum	1,97	1,67	1,34	0,40	2,24	1,47	1,75	2,01	2,72	4,45	4,904
	Moyenne	1,79	1,50	0,98	0,32	1,93	1,36	1,47	1,59	1,44	3,14	2,264
	Ecart-type	0,21	0,14	0,28	0,08	0,23	0,09	0,28	0,26	0,76	0,89	1,325

ANNEXE 8

Compilation des concentrations de la matière organique des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD) et du carbone, de l'azote et du phosphore organiques particuliers (COP, NOP et POP) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NOD (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	4,50	0,68	0,38	2,92	2,81	0,96	3,62	3,03	2,24	5,25	0,000
	Maximum	9,89	3,51	6,83	5,48	4,72	4,72	5,24	6,02	8,30	7,89	11,111
	Moyenne	5,19	2,52	2,30	4,40	3,52	3,42	4,59	4,06	3,33	6,31	3,610
	Ecart-type	0,91	0,90	1,94	0,72	0,56	1,03	0,52	0,83	1,48	0,63	3,540
Baies du Canal	Minimum	3,97	0,95	0,87	4,23	1,09	3,26	4,11	3,55	3,84	5,06	0,000
	Maximum	5,61	3,79	3,32	5,55	3,80	4,27	5,83	5,58	7,49	7,00	7,962
	Moyenne	4,84	2,56	2,13	4,99	3,24	3,72	4,89	4,21	4,86	5,96	6,040
	Ecart-type	0,47	0,86	0,76	0,41	0,99	0,31	0,46	0,61	1,19	0,63	2,375
Baie du Prony	Minimum	4,48	1,51	1,07	3,79	1,78	2,98	4,31	3,36	2,92	4,84	0,000
	Maximum	6,32	4,46	2,90	5,78	4,45	4,05	6,39	5,61	5,74	8,00	7,450
	Moyenne	5,11	2,68	2,07	4,82	3,54	3,66	5,36	4,57	4,02	6,03	4,117
	Ecart-type	0,54	0,80	0,67	0,65	0,69	0,32	0,65	0,80	0,79	0,82	3,091
Ile Ouen	Minimum	5,05	2,03	0,83	2,85	3,31	2,39	5,33	3,15	3,64	5,35	0,000
	Maximum	5,19	3,73	3,08	5,39	4,94	3,87	6,69	5,07	6,08	6,80	7,575
	Moyenne	5,12	3,09	1,73	4,24	4,01	3,32	5,81	4,33	4,39	6,00	3,202
	Ecart-type	0,07	0,63	0,97	0,85	0,57	0,50	0,48	0,75	3,64	0,50	3,566

Zone d'étude	Statistique	POD (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,159	0,132	0,671	0,470	0,107	0,165	0,121	0,049	0,000	0,01	0,000
	Maximum	0,279	0,322	0,953	0,710	0,294	0,327	0,273	0,178	0,531	0,25	0,000
	Moyenne	0,346	0,195	0,837	0,604	0,196	0,230	0,195	0,116	0,092	0,16	0,000
	Ecart-type	0,027	0,077	0,100	0,071	0,056	0,051	0,051	0,043	0,132	0,06	0,000
Baies du Canal	Minimum	0,155	0,064	0,708	0,440	0,164	0,130	0,093	0,009	0,040	0,00	0,000
	Maximum	0,238	0,220	0,920	0,700	0,253	0,251	0,216	0,269	0,224	0,18	0,111
	Moyenne	0,204	0,127	0,847	0,607	0,228	0,162	0,158	0,109	0,131	0,04	0,012
	Ecart-type	0,025	0,048	0,064	0,081	0,030	0,041	0,042	0,077	0,056	0,06	0,037
Baie du Prony	Minimum	0,172	0,124	0,596	0,550	0,079	0,128	0,139	0,023	0,000	0,00	0,000
	Maximum	0,230	0,374	0,942	0,720	0,240	0,238	0,253	0,176	0,241	0,25	0,068
	Moyenne	0,201	0,228	0,776	0,624	0,163	0,167	0,218	0,080	0,087	0,05	0,009
	Ecart-type	0,017	0,085	0,105	0,048	0,053	0,037	0,032	0,053	0,070	0,10	0,022
Ile Ouen	Minimum	0,211	0,105	0,792	0,550	0,067	0,174	0,207	0,033	0,000	0,08	0,000
	Maximum	0,228	0,329	1,050	0,710	0,161	0,203	0,303	0,159	0,180	0,32	0,000
	Moyenne	0,218	0,211	0,875	0,620	0,120	0,191	0,249	0,128	0,064	0,19	0,000
	Ecart-type	0,009	0,104	0,092	0,068	0,036	0,011	0,035	0,047	0,000	0,08	0,000

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	4,1	10,8	6,4	8,5	ND	6,2	9,5	6,9	1,3	3,3	5,0
	Maximum	12,5	28,1	12,1	18,3	ND	15,1	21,5	11,4	13,7	18,3	24,2
	Moyenne	6,8	17,6	8,0	11,9	ND	11,3	14,1	8,2	6,4	8,2	8,1
	Ecart-type	2,0	5,1	1,5	3,1	ND	2,9	4,1	1,1	3,4	3,4	5,0
Baies Canal	Minimum	4,7	8,9	5,2	10,8	ND	9,5	11,4	7,8	7,7	5,8	4,2
	Maximum	13,4	26,0	11,5	16,0	ND	61,8	22,2	13,8	16,0	19,1	15,0
	Moyenne	8,4	17,2	6,9	12,7	ND	17,2	16,2	9,3	10,5	10,1	7,6
	Ecart-type	2,8	5,6	2,2	1,9	ND	16,9	4,3	1,8	2,9	4,6	3,5
Baie du Prony	Minimum	4,5	8,4	5,7	7,9	ND	9,8	8,6	5,6	5,5	3,3	2,5
	Maximum	10,6	18,6	10,9	27,1	ND	21,4	18,9	10,5	8,9	10,0	9,2
	Moyenne	7,1	12,4	8,4	12,4	ND	12,4	13,3	7,8	7,5	6,6	5,2
	Ecart-type	2,2	2,9	1,5	4,9	ND	3,1	3,0	1,6	1,1	1,9	1,6
Ile Ouen	Minimum	8,0	11,8	6,7	9,4	ND	11,9	12,8	10,0	8,1	5,0	5,0
	Maximum	8,9	17,8	27,9	20,1	ND	16,8	34,7	22,6	14,4	7,5	8,3
	Moyenne	8,4	14,3	13,6	13,6	ND	13,7	18,6	15,4	10,7	5,8	6,8
	Ecart-type	0,5	2,5	7,9	4,3	ND	1,7	8,1	5,5	2,3	1,1	1,7

ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	NOP (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,13	1,12	0,92	0,78	0,75	0,54	0,82	0,70	0,56	0,70	0,66
	Maximum	1,70	3,54	3,11	1,35	1,23	0,93	1,90	1,14	1,15	2,73	4,51
	Moyenne	0,66	1,75	1,85	1,03	0,91	0,72	1,19	0,86	0,80	1,41	1,37
	Ecart-type	0,41	0,79	0,77	0,17	0,13	0,12	0,36	0,14	0,16	0,53	1,14
Baies du Canal	Minimum	<0,13	0,96	0,78	0,95	0,85	0,59	0,74	0,71	0,88	0,61	0,73
	Maximum	1,75	5,01	3,01	1,69	1,32	1,33	1,82	1,18	1,61	1,93	1,45
	Moyenne	0,69	2,12	1,35	1,22	1,08	0,90	1,20	0,86	1,17	1,08	0,97
	Ecart-type	0,64	1,24	0,68	0,24	0,17	0,25	0,31	0,14	0,26	0,40	0,27
Baie du Prony	Minimum	<0,13	1,02	0,83	0,83	0,87	0,82	0,91	0,86	0,49	0,67	0,39
	Maximum	<0,13	3,82	2,53	1,52	1,35	1,25	2,24	1,38	1,82	1,65	1,53
	Moyenne		1,65	1,49	1,08	1,05	0,99	1,37	1,08	1,26	1,05	0,81
	Ecart-type		0,78	0,49	0,21	0,16	0,12	0,44	0,16	0,33	0,29	0,31
Ile Ouen	Minimum	<0,13	1,17	1,37	0,80	1,00	0,73	1,02	0,93	1,00	0,95	0,97
	Maximum	<0,13	1,57	6,25	3,53	1,33	1,05	2,69	1,58	1,32	1,43	4,26
	Moyenne		1,42	3,40	1,51	1,19	0,93	1,37	1,28	1,18	1,11	1,99
	Ecart-type		0,15	2,30	1,02	0,12	0,13	0,65	0,22	0,12	0,17	1,28

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,013	0,051	<0,010	<0,010	0,038	0,053	0,038	0,029	0,049	0,061	0,083
	Maximum	0,099	0,080	0,107	0,083	0,091	0,094	0,089	0,100	0,119	0,120	0,089
	Moyenne	0,053	0,061	0,056	0,025	0,059	0,065	0,053	0,052	0,070	0,088	0,085
	Ecart-type	0,015	0,010	0,029	0,024	0,019	0,010	0,014	0,019	0,017	0,018	0,004
Baies du Canal	Minimum	0,041	0,069	0,034	0,012	0,052	0,060	0,051	0,030	0,077	0,047	0,052
	Maximum	0,107	0,119	0,141	0,045	0,087	0,123	0,087	0,115	0,140	0,117	0,054
	Moyenne	0,065	0,089	0,080	0,025	0,066	0,091	0,068	0,047	0,107	0,080	0,053
	Ecart-type	0,022	0,019	0,033	0,012	0,014	0,022	0,013	0,026	0,023	0,023	0,002
Baie du Prony	Minimum	<0,010	0,056	0,021	<0,010	0,047	0,064	0,051	0,094	0,046	0,039	0,052
	Maximum	0,058	0,111	0,090	0,039	0,068	0,107	0,096	0,143	0,145	0,100	0,073
	Moyenne	0,037	0,080	0,054	0,026	0,060	0,087	0,070	0,111	0,103	0,066	0,064
	Ecart-type	0,017	0,017	0,022	0,011	0,007	0,014	0,015	0,015	0,028	0,018	0,008
Ile Ouen	Minimum	0,026	0,062	0,020	0,015	0,059	0,063	0,054	0,051	0,108	0,073	0,065
	Maximum	0,062	0,105	0,072	0,106	0,084	0,101	0,076	0,112	0,151	0,109	0,245
	Moyenne	0,043	0,081	0,054	0,053	0,073	0,079	0,065	0,075	0,128	0,086	0,114
	Ecart-type	0,018	0,020	0,018	0,043	0,011	0,014	0,009	0,024	0,015	0,013	0,067

ANNEXE 9

Compilation des concentrations de chlorophylle a des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de la chlorophylle a mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,20	0,38	0,50	0,26	0,01	0,39	0,25	0,33	0,02	0,09	0,32
	Maximum	0,59	0,77	1,12	1,17	0,43	0,60	0,64	0,65	0,49	0,23	0,92
	Moyenne	0,40	0,53	0,89	0,64	0,26	0,49	0,43	0,45	0,27	0,17	0,55
	Ecart-type	0,10	0,12	0,18	0,25	0,13	0,07	0,14	0,09	0,13	0,04	0,14
Baies du canal	Minimum	0,30	0,36	0,32	0,24	0,02	0,31	0,07	0,28	0,26	0,14	0,34
	Maximum	0,56	0,80	0,95	1,21	0,41	0,69	0,45	0,54	0,87	0,33	0,74
	Moyenne	0,44	0,56	0,61	0,64	0,28	0,54	0,31	0,43	0,57	0,24	0,57
	Ecart-type	0,08	0,15	0,25	0,28	0,14	0,11	0,12	0,09	0,16	0,07	0,12
Baie du Prony	Minimum	0,27	0,27	0,52	0,24	0,17	0,28	0,10	0,28	0,03	0,17	0,26
	Maximum	0,59	1,20	1,05	3,34	0,66	0,88	1,34	0,64	1,13	0,55	0,77
	Moyenne	0,43	0,61	0,76	0,82	0,35	0,55	0,63	0,41	0,30	0,33	0,45
	Ecart-type	0,11	0,34	0,14	0,97	0,17	0,19	0,37	0,11	0,29	0,14	0,21
Ile Ouen	Minimum	0,50	0,33	0,63	0,26	0,14	0,48	0,22	0,25	0,14	0,19	0,27
	Maximum	0,97	1,01	0,92	0,95	0,36	0,77	0,61	0,54	0,64	0,32	0,60
	Moyenne	0,76	0,76	0,77	0,56	0,26	0,67	0,32	0,34	0,45	0,25	0,52
	Ecart-type	0,24	0,26	0,10	0,26	0,07	0,10	0,15	0,11	0,21	0,05	0,12

ANNEXE 10

Compilation des concentrations des métaux dissous des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Cr-total, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	1,20	0,15	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,40	1,20	1,20	1,40
	Maximum	1,47	0,47	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,50	2,60	2,40	1,90
	Moyenne	1,29	0,32	ND	ND	ND	1,79	1,50	1,84	1,90	1,82	1,64
	Ecart-type	0,06	0,09	ND	ND	ND	0,07	0,52	0,33	0,45	0,41	0,15
Baies du Canal	Minimum	1,20	0,16	ND	ND	ND	1,60	2,00	1,50	1,20	1,60	1,30
	Maximum	1,41	0,48	ND	ND	ND	2,00	2,00	2,40	3,10	2,80	1,90
	Moyenne	1,31	0,35	ND	ND	ND	1,79	2,00	1,95	1,81	1,93	1,58
	Ecart-type	0,06	0,10	ND	ND	ND	0,15	0,00	0,31	0,60	0,40	0,19
Baie du Prony	Minimum	1,07	0,17	ND	ND	ND	1,50	1,00	1,50	1,10	1,20	1,30
	Maximum	1,32	0,62	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,40	2,50	2,10	1,70
	Moyenne	1,20	0,39	ND	ND	ND	1,70	1,80	1,80	1,65	1,72	1,47
	Ecart-type	0,07	0,13	ND	ND	ND	0,13	0,42	0,30	0,44	0,29	0,14
Ile Ouen	Minimum	1,29	0,33	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,30	1,20	1,10	1,50
	Maximum	1,31	0,50	ND	ND	ND	1,80	3,00	1,70	2,30	1,50	1,70
	Moyenne	1,30	0,40	ND	ND	ND	1,77	2,00	1,47	1,85	1,40	1,60
	Ecart-type	0,01	0,06	ND	ND	ND	0,05	0,71	0,14	0,47	0,20	0,09

Zone d'étude	Statistique	Co (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	0,046	<0,027	0,044	0,042	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Moyenne	0,019	-	0,025	0,023	-	-	-	-	-	-	-
	Ecart-type	0,010	-	0,011	0,011	-	-	-	-	-	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,027	<0,027	0,029	<0,027	<0,027	<0,027	0,032	0,050	<0,027	<0,027	0,045
	Maximum	0,046	0,102	0,102	0,082	0,058	0,046	0,109	0,086	0,069	0,067	0,130
	Moyenne	0,028	0,034	0,057	0,036	0,030	0,032	0,063	0,071	0,039	0,035	0,077
	Ecart-type	0,011	0,027	0,027	0,020	0,015	0,014	0,035	0,019	0,037	0,017	0,039
Baie du Prony	Minimum	<0,027	0,031	0,055	<0,027	0,032	<0,027	<0,027	0,027	<0,027	<0,027	0,029
	Maximum	0,082	0,100	0,270	0,252	0,092	0,061	0,075	0,111	0,069	0,102	0,081
	Moyenne	0,044	0,053	0,085	0,075	0,048	0,028	0,040	0,052	0,028	0,037	0,048
	Ecart-type	0,019	0,023	0,059	0,075	0,017	0,017	0,019	0,026	0,019	0,025	0,022
Ile Ouen	Minimum	0,027	<0,027	0,039	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,039	<0,027	<0,009	<0,027
	Maximum	0,036	0,048	0,058	0,054	0,052	<0,027	0,031	0,061	0,032	0,040	<0,027
	Moyenne	0,031	0,036	0,050	0,027	0,033	0,013	0,026	0,053	0,032 (n=1)	0,021	-
	Ecart-type	0,005	0,009	0,008	0,015	0,010	0,000	0,003	0,012	-	0,012	-

Zone d'étude	Statistique	Cr ^{VI} (µg/L)									
		mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,113	0,106	0,098	0,086	0,067	0,096	0,115	0,102	0,116	0,060
	Maximum	0,147	0,251	0,231	0,116	0,123	0,160	0,144	0,132	0,145	0,150
	Moyenne	0,131	0,141	0,113	0,093	0,081	0,126	0,127	0,116	0,131	0,126
	Ecart-type	0,012	0,035	0,032	0,011	0,013	0,017	0,009	0,010	0,007	0,030
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,110	0,107	0,098	0,079	0,119	0,124	0,115	0,112	0,134
	Maximum	0,277	0,230	0,232	0,264	0,348	0,546	0,243	0,272	0,934	1,004
	Moyenne	0,144	0,153	0,133	0,133	0,130	0,218	0,154	0,157	0,299	0,292
	Ecart-type	0,057	0,036	0,039	0,051	0,086	0,161	0,035	0,057	0,281	0,284
Baie du Prony	Minimum	0,163	0,182	0,115	0,114	0,095	0,080	0,129	0,122	0,107	0,133
	Maximum	0,409	0,776	1,222	0,218	0,380	0,638	0,325	0,295	0,524	0,422
	Moyenne	0,216	0,280	0,431	0,148	0,167	0,220	0,201	0,173	0,218	0,227
	Ecart-type	0,077	0,168	0,422	0,027	0,087	0,139	0,058	0,046	0,140	0,096
Ile Ouen	Minimum	0,089	0,136	0,136	0,088	0,083	0,079	0,134	0,115	0,136	0,154
	Maximum	0,219	0,160	0,238	0,138	0,096	0,203	0,190	0,147	0,214	0,236
	Moyenne	0,142	0,149	0,162	0,118	0,090	0,147	0,166	0,130	0,191	0,205
	Ecart-type	0,047	0,008	0,039	0,021	0,006	0,053	0,021	0,011	0,030	0,032

Zone d'étude	Statistique	Cr-total (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,023	0,177	0,150	0,127	ND	0,097	0,135	0,127	0,137	0,142	0,142
	Maximum	0,175	0,676	0,270	0,702	ND	0,255	0,176	0,203	0,255	0,249	0,214
	Moyenne	0,107	0,372	0,179	0,278	ND	0,142	0,153	0,164	0,154	0,163	0,172
	Ecart-type	0,037	0,181	0,037	0,181	ND	0,048	0,013	0,024	0,028	0,026	0,022
Baies du Canal	Minimum	0,071	0,187	0,150	0,184	ND	0,103	0,147	0,172	0,153	0,162	0,160
	Maximum	0,173	0,730	0,170	0,488	ND	0,425	0,584	0,334	0,329	1,058	1,116
	Moyenne	0,128	0,383	0,160	0,320	ND	0,177	0,240	0,207	0,235	0,382	0,414
	Ecart-type	0,035	0,177	0,008	0,112	ND	0,102	0,165	0,052	0,072	0,304	0,348
Baie du Prony	Minimum	0,049	0,174	0,200	0,200	ND	0,142	0,197	0,196	0,165	0,142	0,140
	Maximum	0,136	0,579	0,450	1,857	ND	0,414	1,670	0,344	0,319	0,622	2,970
	Moyenne	0,101	0,321	0,258	0,640	ND	0,199	0,375	0,244	0,224	0,327	0,510
	Ecart-type	0,027	0,123	0,078	0,534	ND	0,087	0,432	0,048	0,051	0,178	0,797
Ile Ouen	Minimum	0,154	0,236	0,170	0,194	ND	0,119	0,133	0,164	0,145	0,188	0,158
	Maximum	0,182	0,404	0,250	1,000	ND	0,168	0,239	0,217	0,185	0,257	0,276
	Moyenne	0,170	0,302	0,195	0,579	ND	0,138	0,196	0,195	0,163	0,225	0,229
	Ecart-type	0,014	0,057	0,028	0,312	ND	0,023	0,037	0,022	0,015	0,024	0,040

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	<0,025	0,030	<0,025	<0,025	<0,025	0,047	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,150	<0,100	0,330	0,182	0,254	0,043	0,049	0,048	0,026	0,079	0,025
	Moyenne	0,090	0,100 (n=1)	0,093	0,055	0,114	0,024	0,047	0,048 (n=1)	0,026 (n=1)	0,023	(n=1) 0,025
	Ecart-type	0,025	-	0,092	0,054	0,107	0,008	0,001	-	-	0,026	-
Baies du Canal	Minimum	0,050	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,038	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,120	<0,100	0,230	0,093	0,159	0,065	0,176	<0,025	<0,025	1,318	0,041
	Moyenne	0,080	0,100 (n=1)	0,060	0,038	0,125	0,032	0,107	<0,025		0,232	(n=1) 0,041
	Ecart-type	0,019		0,069	0,028	0,054	0,016	0,098	-		0,462	-
Baie du Prony	Minimum	0,070	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,029	0,027	<0,025	<0,025
	Maximum	0,090	<0,025	0,130	0,052	0,483	0,075	<0,087	0,266	0,043	0,027	<0,025
	Moyenne	0,079		0,054	0,033	0,179	0,034	0,087 (n=1)	0,118	0,036	0,014	-
	Ecart-type	0,007	-	0,043	0,015	0,128	0,021	-	0,105	0,006	0,007	-
Ile Ouen	Minimum	0,080	0,070	0,060	<0,025	0,098	<0,025	0,045	0,060	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,140	0,160	0,860	0,123	0,630	0,047	0,275	0,067	0,203	0,111	0,055
	Moyenne	0,103	0,120	0,245	0,074	0,241	0,033	0,160	0,064	0,203 (n=1)	0,039	(n=1) 0,055
	Ecart-type	0,032	0,046	0,308	0,056	0,194	0,011	0,163	0,004	-	0,042	-

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,059	0,070	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,076	<0,059	<0,059	0,079
	Maximum	0,410	1,020	0,160	<0,059	0,204	<0,059	<0,059	0,201	<0,059	1,203	0,093
	Moyenne	0,132	0,190	0,098	<0,059	0,057	<0,059	<0,059	0,128	<0,059	0,162	0,084
	Ecart-type	0,062	0,276	0,032	-	0,048	-	-	0,043		0,294	0,007
Baies du Canal	Minimum	0,090	0,100	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,104	<0,059	<0,059	0,069
	Maximum	0,140	0,450	0,290	0,178	0,135	<0,059	0,166	0,243	<0,059	0,185	0,138
	Moyenne	0,118	0,199	0,166	0,044	0,070	0,037	0,084	0,137		0,092	0,105
	Ecart-type	0,018	0,108	0,071	0,054	0,030	0,011	0,048	0,048	-	0,058	0,033
Baie du Prony	Minimum	<0,059	0,100	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,071	<0,059	<0,068	<0,059
	Maximum	0,100	0,140	0,120	<0,059	0,140	<0,059	<0,059	0,112	0,088	0,163	<0,059
	Moyenne	0,060	0,110	0,090	<0,059	0,062	<0,059	<0,059	0,096	0,088 (n=1)	0,043	-
	Ecart-type	0,017	0,015	0,017	-	0,035	-	-	0,014	-	0,039	-
Ile Ouen	Minimum	0,120	0,100	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,090	<0,059	<0,059	0,086
	Maximum	0,220	0,150	0,190	<0,059	0,230	<0,059	0,143	0,443	<0,059	0,197	0,129
	Moyenne	0,157	0,125	0,122	<0,059	0,097	<0,059	0,093	0,243		0,097	0,107
	Ecart-type	0,055	0,024	0,047	-	0,068	-	0,036	0,165	-	0,060	0,030

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	0,090	0,080	<0,028	0,029	<0,028	0,029	0,057	0,030	<0,028	0,033
	Maximum	0,250	0,140	0,150	0,134	0,150	0,052	0,082	0,292	0,093	0,239	0,212
	Moyenne	0,204	0,126	0,108	0,046	0,086	0,038	0,049	0,162	0,047	0,075	0,069
	Ecart-type	0,064	0,015	0,025	0,035	0,045	0,010	0,016	0,073	0,017	0,064	0,046
Baies du Canal	Minimum	0,030	0,130	0,180	0,098	0,053	0,039	0,087	0,061	0,034	0,095	0,055
	Maximum	0,310	0,660	0,540	0,383	0,496	0,251	0,504	0,992	0,279	0,353	0,547
	Moyenne	0,178	0,253	0,291	0,186	0,180	0,116	0,226	0,357	0,140	0,205	0,233
	Ecart-type	0,077	0,171	0,114	0,109	0,132	0,080	0,148	0,264	0,060	0,106	0,200
Baie du Prony	Minimum	0,170	0,190	0,180	<0,028	0,206	0,072	0,060	0,281	<0,028	0,057	0,033
	Maximum	0,430	0,570	1,270	4,157	1,127	0,462	0,692	1,107	0,396	0,253	0,165
	Moyenne	0,240	0,341	0,357	0,615	0,439	0,197	0,267	0,481	0,168	0,147	0,095
	Ecart-type	0,071	0,135	0,299	1,163	0,252	0,123	0,184	0,255	0,124	0,068	0,043
Ile Ouen	Minimum	0,200	0,180	0,210	<0,028	0,234	0,052	0,110	0,173	0,054	<0,028	0,039
	Maximum	0,250	0,330	0,330	0,258	0,422	0,136	0,285	0,525	0,143	0,268	0,191
	Moyenne	0,227	0,255	0,243	0,129	0,290	0,099	0,197	0,297	0,097	0,110	0,089
	Ecart-type	0,025	0,056	0,044	0,078	0,068	0,029	0,075	0,130	0,030	0,099	0,055

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,040	0,120	0,090	0,025	0,048	0,041	0,051	0,088	0,045	0,058	0,041
	Maximum	0,260	0,160	0,130	0,215	0,131	0,085	0,120	0,239	0,453	0,262	0,155
	Moyenne	0,177	0,141	0,106	0,071	0,088	0,066	0,076	0,166	0,101	0,107	0,081
	Ecart-type	0,056	0,011	0,010	0,046	0,029	0,014	0,020	0,048	0,096	0,054	0,032
Baies du Canal	Minimum	0,140	0,150	0,150	0,116	0,099	0,074	0,096	0,104	0,053	0,145	0,095
	Maximum	0,300	0,820	0,650	0,316	0,235	0,726	1,082	0,755	0,571	0,726	1,438
	Moyenne	0,206	0,277	0,322	0,175	0,168	0,261	0,306	0,309	0,214	0,325	0,416
	Ecart-type	0,055	0,212	0,180	0,076	0,052	0,247	0,337	0,197	0,179	0,233	0,466
Baie du Prony	Minimum	0,210	0,230	0,240	0,056	0,215	0,109	0,124	0,260	0,075	0,108	0,085
	Maximum	0,540	0,630	1,060	1,435	0,369	0,578	0,702	0,838	0,453	0,670	1,861
	Moyenne	0,346	0,350	0,383	0,495	0,261	0,241	0,264	0,410	0,199	0,236	0,380
	Ecart-type	0,124	0,134	0,226	0,509	0,042	0,143	0,148	0,171	0,116	0,161	0,505
Ile Ouen	Minimum	0,170	0,170	0,170	0,048	0,194	0,073	0,118	0,240	0,102	<0,022	0,101
	Maximum	0,270	0,340	0,280	0,287	0,300	0,403	0,247	1,128	0,184	0,264	0,306
	Moyenne	0,233	0,268	0,220	0,160	0,230	0,175	0,186	0,510	0,141	0,154	0,172
	Ecart-type	0,055	0,061	0,037	0,082	0,037	0,115	0,054	0,360	0,027	0,105	0,070



ANNEXE 3

SUIVI DE L'ETAT DES PEUPELEMENTS RECIFAUX ET
ORGANISMES ASSOCIES EN BAIE DE PRONY ET CANAL
DE LA HAVANNAH

Mission de mai 2018

PROJET GORO NICKEL

VALE NOUVELLE CALEDONIE





Caractéristiques du dossier :

Référence du document	Rap 014-18_Ver00	
Référence du contrat	PO n°L06374 / 0001 du 01/01/18	
Numéro de l'affaire	047-17	
Client	Vale Nouvelle-Calédonie	
Commune	Mont Dore	
Coordonnées (WGS 84 UTM58)	X	696 000
	Y	7 528 000
Mots clés	projet Goro Nickel, ichtyologie, communautés récifales, biocénoses marines, suivis environnementaux, mine, port	

Suivi des modifications :

N° de version	Transmis à	Action / Etat	Date
00	AQUA TERRA	En interne : pour relecture pour contrôle qualité	Juin 2018
	Experts partenaires	Rapport remis (format électronique) : version préliminaire (draft) pour relecture du fond	
	VALE NC	Rapport remis au Client (format électronique) : version préliminaire (draft) pour relecture de la forme	31/07/ 2018
00	VALE NC	Rapport final remis au Client (1 CDRom)	29/08/2018

Les responsables du suivi des modifications sont :

Maître d'Ouvrage	Céline CASALIS (Vale NC)
Entreprise	Valérie VAILLET (AQUA TERRA)

N° Document	Émis le	Par	Approuvé par	Le
Rap 014-18_Ver00	31/07/ 2018	AQUA TERRA	Vale NC	20/08/2018



Dans un souci constant de préserver l'environnement, nos rapports sont imprimés sur du papier certifié , en recto-verso et nos toners sont éliminés via une filière agréée.



, en recto-verso et nos toners sont éliminés via une filière agréée.



E q u i p e d e t r a v a i l

Le Mandataire pour cette étude est la SARL AQUA TERRA, avec Valérie VAILLET comme chef de projet, avec l'aide d'experts scientifiques.

Les principaux intervenants étaient donc :

Pour AQUA TERRA :



↳ **Valérie VAILLET** : gérante de la société (Ingénierie de l'environnement et de la réhabilitation), ingénieur biologiste (DEA Océanographie biologique, Paris VI). Grande expérience en gestion de l'environnement et notamment à travers des campagnes d'échantillonnage sous-marin. A réalisé plusieurs missions dans le cadre du suivi des communautés coralliennes pour le projet Goro Nickel, depuis 2005. Plongeur niveau III.

Pour cette étude : responsable logistique et technique ; échantillonnage du substrat (LIT) et traitement/analyses des résultats liés, photographie sous-marine ; synthèse des données, rédaction des rapports.

Pour ACREM :



↳ **Claude CHAUVET** : professeur émérite des Universités à l'Université de Nouvelle Calédonie, biologiste marin, intervenant pour l'ACREM.

A participé à de nombreuses campagnes d'échantillonnage du milieu marin et notamment dans cette zone et pour le projet Goro Nickel. Plongeur niveau III.

Pour cette étude : inventaire des communautés ichthyologiques et traitements/analyses des résultats liés ; enregistrements vidéo (films).

Pour BIOCENOSE MARINE :



↳ **Grégory LASNE** : gérant de la société (Etude environnementale marine), master recherche en Environnement Océanographique Littoral et Hauturier (Bordeaux I). Compétences reconnues pour la taxonomie corallienne et l'inventaire des biocénoses benthiques marines, ainsi que la description géomorphologique et environnementale de site sous marin. Plongeur niveau III, CAH IIB, Nitrox et TDI (recycleur).

Pour cette étude : inventaire des communautés benthiques et particulièrement des coraux, ainsi que l'analyse des résultats liés ; description des habitats ; atlas photographique (photographies *in situ*).

Personne physique :

Pilote, sécurité surface, « installateur » des rubans métrés, gonfleur des blocs.

Table des Matières

EQUIPE DE TRAVAIL	3
TABLE DES MATIERES	4
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES	10
LISTE DES CARTES	12
LISTE DES PHOTOS	13
1 PREAMBULE	14
2 OBJECTIF DE L'ETUDE	15
3 METHODOLOGIE	16
3.1 ZONE D'ETUDE	16
3.1.1 <i>Contexte général</i>	16
3.1.2 <i>Présentation des stations</i>	16
3.1.2.1 Les stations	16
3.1.2.2 Les transects	18
3.2 LES TRAVAUX D'ECHANTILLONNAGE	19
3.2.1 <i>Vérification des stations</i>	19
3.2.1.1 Positionnement	19
3.2.1.2 Matérialisation	19
3.2.1.2.1 Organisation « matérielle »	19
3.2.1.2.2 Organisation « temporelle »	19
3.2.2 <i>Protocole pour l'étude du substrat</i>	20
3.2.3 <i>Protocole pour l'étude du benthos</i>	20
3.2.4 <i>Protocole pour l'étude des poissons</i>	23
3.3 PERIODE D'ECHANTILLONNAGE	24
3.4 LE TRAITEMENT DES DONNEES	25
3.4.1 <i>Pour le substrat</i>	25
3.4.2 <i>Pour le benthos</i>	26
3.4.3 <i>Pour les poissons</i>	28
4 RESULTATS BRUTS PAR STATION	32
4.1 STATION 01 = CASY	32
4.1.1 <i>Le substrat (ST01)</i>	36
4.1.2 <i>Le benthos (ST01)</i>	37
4.1.2.1 Benthos Transect 01 A	38
4.1.2.2 Benthos Transect 01 B	39
4.1.3 <i>Les poissons (ST01)</i>	40
4.2 STATION 02 = CREEK BAIE NORD	46
4.2.1 <i>Le substrat (ST02)</i>	49
4.2.2 <i>Le benthos (ST02)</i>	50
4.2.2.1 Benthos Transect 02 A	50
4.2.2.2 Benthos Transect 02 B	51
4.2.3 <i>Les poissons (ST02)</i>	53
4.3 STATION 03 = PORT	58
4.3.1 <i>Le substrat (ST03)</i>	62
4.3.2 <i>Le benthos (ST03)</i>	63
4.3.2.1 Benthos Transect 03 A	63
4.3.2.2 Benthos Transect 03 B	64
4.3.2.3 Benthos Transect 03 C	65
4.3.3 <i>Les poissons (ST03)</i>	66
4.4 STATION 04 = WOODIN	71
4.4.1 <i>Le substrat (ST04)</i>	75
4.4.2 <i>Le benthos (ST04)</i>	76
4.4.2.1 Benthos Transect 04 A	76
4.4.2.2 Benthos Transect 04 B	77
4.4.2.3 Benthos Transect 04 C	78
4.4.3 <i>Les poissons (ST04)</i>	79
4.5 STATION 05 = RECIF IORO	86
4.5.1 <i>Le substrat (ST05)</i>	89
4.5.2 <i>Le benthos (ST05)</i>	90
4.5.2.1 Benthos Transect 05 A	90
4.5.2.2 Benthos Transect 05 B	91
4.5.2.3 Benthos Transect 05 C	92

4.5.3	Les poissons (ST05).....	93
4.6	STATION 06 = BANC IONONTEA	99
4.6.1	Le substrat (ST06).....	102
4.6.2	Le benthos (ST06).....	103
4.6.2.1	Benthos Transect 06 A	103
4.6.2.2	Benthos Transect 06 B	104
4.6.2.3	Benthos Transect 06 C	105
4.6.3	Les poissons (ST06).....	106
4.7	STATION 07 = BASSE CHAMBEYRON	113
4.7.1	Le substrat (ST07).....	116
4.7.2	Le benthos (ST07).....	117
4.7.2.1	Benthos Transect 07 A	117
4.7.2.2	Benthos Transect 07 B	118
4.7.2.3	Benthos Transect 07 C	119
4.7.3	Les poissons (ST07).....	119
4.8	STATION 08 = POINTE PUKA	120
4.8.1	Le substrat (ST08).....	124
4.8.2	Le benthos (ST08).....	125
4.8.2.1	Benthos Transect 08 A	125
4.8.2.2	Benthos Transect 08 B	126
4.8.3	Les poissons (ST08).....	128
4.9	STATION 09 = BANCS KIE	134
4.9.1	Le substrat (ST09).....	138
4.9.2	Le benthos (ST09).....	139
4.9.2.1	Benthos Transect 09 A	139
4.9.2.2	Benthos Transect 09 B	140
4.9.2.3	Benthos Transect 09 C	141
4.9.3	Les poissons (ST09).....	142
4.10	STATION 11 = RECIF TOEMO	148
4.10.1	Le substrat (ST11).....	152
4.10.2	Le benthos (ST11).....	153
4.10.2.1	Benthos Transect 11 A	153
4.10.2.2	Benthos Transect 11 B	154
4.10.2.3	Benthos Transect 11 C	155
4.10.3	Les poissons (ST11).....	156
4.11	STATION 12 = ILOT UGO	163
4.11.1	Le substrat (ST12).....	167
4.11.2	Le benthos (ST12).....	168
4.11.2.1	Benthos Transect 12 A	168
4.11.2.2	Benthos Transect 12 B	169
4.11.3	Les poissons (ST12).....	171
5	RESULTATS GENERAUX / SYNTHESE	177
5.1	SUBSTRAT.....	177
5.2	BENTHOS	178
5.2.1	Biodiversité du benthos : généralités	178
5.2.1.1	Les contraintes en termes de potentiel « indicateur » et « réactivité »	178
5.2.1.2	Les contraintes naturelles de la zone d'étude	179
5.2.1.3	Les contraintes anthropiques de la zone d'étude	180
5.2.2	Répartition des 4 groupes biotiques par transect.....	180
5.2.3	Composition spécifique par site	181
5.2.3.1	Assemblage spécifique du benthos dans le canal de la Havannah.....	181
5.2.3.2	Assemblage spécifique du benthos dans le canal Woodin	182
5.2.3.3	Assemblage spécifique du benthos dans la baie de Prony	183
5.2.4	Répartition spatiale de la diversité benthique.....	184
5.2.4.1	La biodiversité des invertébrés.....	184
5.2.4.2	La biodiversité des macrophytes.....	184
5.3	ICHTYOLOGIE	187
5.4	ESPECES EXOGENES / ESPECES INVASIVES / ENVAHISSANTES.....	189
5.4.1	Définitions.....	189
5.4.2	Espèces exogènes / invasives.....	189
5.4.3	Espèces envahissantes.....	190
5.4.3.1	Asparagopsis taxiformis	190
5.4.3.2	Lobophora variegata	191
6	COMPARAISON AVEC LES DONNEES HISTORIQUES.....	194

6.1	SUBSTRAT.....	194
6.2	BENTHOS	195
6.2.1	<i>Variation de la biodiversité α dans le temps.....</i>	<i>195</i>
6.2.1.1	Pour les invertébrés, généralités.....	196
6.2.1.2	Pour les invertébrés, depuis la dernière mission.....	196
6.2.1.3	Pour les invertébrés, depuis le début.....	197
6.2.1.3.1	Analyse par Anovar.....	197
6.2.1.3.2	Analyse par le test de Friedman.....	199
6.2.1.4	Pour les macrophytes, généralités.....	200
6.2.1.5	Pour les macrophytes, depuis le début.....	201
6.2.1.5.1	Analyse par Anovar.....	201
6.2.1.5.2	Analyse par le test de Friedman.....	202
6.2.2	<i>Indicateurs de l'état de santé des récifs de la zone d'étude.....</i>	<i>205</i>
6.2.2.1	Le blanchissement des coraux.....	205
6.2.2.2	Les maladies et les lésions coralliennes.....	207
6.2.2.2.1	Les maladies ou lésions les plus fréquemment rencontrées dans la zone d'étude.....	207
6.2.2.2.2	Les lésions rencontrées de manière épisodique dans la zone d'étude.....	210
6.2.2.3	Les principales espèces concurrentes.....	212
6.2.3	<i>Evolution globale des stations par rapport à septembre 2017.....</i>	<i>216</i>
6.3	ICHTYOLOGIE	225
6.3.1	<i>Test paramétrique par analyse des variances (ANOVAR).....</i>	<i>225</i>
6.3.1.1	Variance temporelle : comparaison entre les missions.....	226
6.3.1.1.1	En baie de Prony.....	226
6.3.1.1.2	Dans le canal de la Havannah / Woodin.....	227
6.3.1.2	Variance spatiale : comparaison entre les stations.....	232
6.3.1.2.1	En baie de Prony.....	232
6.3.1.2.2	Dans le canal de la Havannah / Woodin.....	233
6.3.1.3	Commentaires.....	234
6.3.2	<i>Test non paramétrique.....</i>	<i>235</i>
6.3.3	<i>Indice Annuel par Station (IAS) et Indice Global de mission (IGm).....</i>	<i>237</i>
6.3.4	<i>Résumé.....</i>	<i>239</i>
6.3.4.1	Synopsis des résultats par station.....	239
6.3.4.2	Synopsis des résultats par mission.....	239
6.3.4.3	Le peuplement de poissons.....	240
7	SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	242
7.1	SYNTHESE DES EVENEMENTS CLIMATOLOGIQUES SUR LA PERIODE D'ETUDE	243
7.1.1	<i>Les événements météorologiques marquants par année.....</i>	<i>243</i>
7.1.1.1	2011.....	243
7.1.1.2	2013.....	244
7.1.1.3	2015.....	244
7.1.1.4	2016.....	246
7.1.1.5	2017.....	248
7.1.1.1	2018.....	249
7.1.2	<i>Le phénomène ENSO.....</i>	<i>250</i>
7.1.2.1	Généralités.....	250
7.1.2.2	El Niño.....	251
7.1.2.3	La Niña.....	251
7.2	CONTEXTE REGLEMENTAIRE	253
7.2.1	<i>Liste rouge UICN.....</i>	<i>253</i>
7.2.2	<i>Code de l'Environnement de la Province Sud.....</i>	<i>254</i>
7.2.2.1	Ecosystèmes patrimoniaux.....	254
7.2.2.2	Espèces endémiques, rares ou menacées.....	255
7.2.2.3	Espèces protégées.....	256
7.2.2.4	Espèces exotiques envahissantes.....	257
8	CONCLUSION.....	258
8.1	LE SUBSTRAT	258
8.2	LES COMMUNAUTES BENTHIQUES	258
8.2.1	<i>Etat général.....</i>	<i>258</i>
8.2.2	<i>Les perturbations.....</i>	<i>261</i>
8.2.3	<i>Synthèse.....</i>	<i>264</i>
8.3	LES POPULATIONS ICHTYOLOGIQUES.....	265
8.3.1	<i>Résultats.....</i>	<i>265</i>
8.3.2	<i>Discussion.....</i>	<i>267</i>
9	DISCUSSION	269
9.1	AMELIORATIONS PROPRES A CE SUIVI	269

9.2	AMELIORATIONS AU CAHIER DES CHARGES	270
9.3	SUGGESTIONS AU NIVEAU PROVINCIAL OU TERRITORIAL.....	273
9.4	SUGGESTIONS AU NIVEAU DES ACTIVITES ANTHROPIQUES	274
10	SOURCES.....	275
A N N E X E S		282
ANNEXE N°01.....		283
METHODOLOGIE GENERALE D'ECHANTILLONNAGE DES COMMUNAUTES RECIFALES.....		283
ANNEXE N°02.....		286
CARACTERISTIQUES TERRAIN DE LA CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE DE MAI 2018.....		286
ANNEXE N°03.....		287
RESULTATS BRUTS DE L'ECHANTILLONNAGE LIT DE MAI 2018.....		287
ANNEXE N°04.....		288
RESULTATS BRUTS DE L'ECHANTILLONNAGE DU BENTHOS DE MAI 2018		288
ANNEXE N°05.....		295
NOMENCLATURE UICN.....		295

L i s t e d e s T a b l e a u x

Tableau n°01 :	<i>Coordonnées des stations d'échantillonnage.....</i>	<i>17</i>
Tableau n°02 :	<i>Caractéristiques des transects selon les stations</i>	<i>18</i>
Tableau n°03 :	<i>Indices semi-quantitatifs d'abondance – cas classique.....</i>	<i>22</i>
Tableau n°04 :	<i>Indices semi-quantitatifs d'abondance – présence de grandes colonies (plusieurs m²)</i>	<i>22</i>
Tableau n°05 :	<i>Degré de blanchissement pour une espèce (/ 100 m²).....</i>	<i>22</i>
Tableau n°06 :	<i>Exemple de calcul pour le recouvrement du substrat</i>	<i>25</i>
Tableau n°07 :	<i>Code couleur pour la comparaison temporelle de chaque transect.....</i>	<i>26</i>
Tableau n°08 :	<i>Grille de lecture des tableaux de variations de la composition du benthos.....</i>	<i>27</i>
Tableau n°09 :	<i>Lexique des abréviations des familles</i>	<i>29</i>
Tableau n°10 :	<i>Exemple de calcul pour « poisson ».....</i>	<i>30</i>
Tableau n°11 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST01A).....</i>	<i>38</i>
Tableau n°12 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST01B).....</i>	<i>39</i>
Tableau n°13 :	<i>Données sur les poissons (ST01).....</i>	<i>40</i>
Tableau n°14 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST01)</i>	<i>41</i>
Tableau n°15 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST01)</i>	<i>41</i>
Tableau n°16 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST01).....</i>	<i>43</i>
Tableau n°17 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST01) ..</i>	<i>44</i>
Tableau n°18 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST02A).....</i>	<i>51</i>
Tableau n°19 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST02B).....</i>	<i>52</i>
Tableau n°20 :	<i>Données sur les poissons (ST02).....</i>	<i>53</i>
Tableau n°21 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST02)</i>	<i>53</i>
Tableau n°22 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST02)</i>	<i>55</i>
Tableau n°23 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST02).....</i>	<i>55</i>
Tableau n°24 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST02) ..</i>	<i>56</i>
Tableau n°25 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST03A).....</i>	<i>63</i>
Tableau n°26 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST03B).....</i>	<i>64</i>
Tableau n°27 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST03C).....</i>	<i>65</i>
Tableau n°28 :	<i>Données sur les poissons (ST03).....</i>	<i>66</i>
Tableau n°29 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST03)</i>	<i>66</i>
Tableau n°30 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST03)</i>	<i>67</i>
Tableau n°31 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST03).....</i>	<i>68</i>
Tableau n°32 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST03) ..</i>	<i>69</i>
Tableau n°33 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST04A).....</i>	<i>76</i>
Tableau n°34 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST04B).....</i>	<i>77</i>
Tableau n°35 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST04C).....</i>	<i>78</i>
Tableau n°36 :	<i>Données sur les poissons (ST04).....</i>	<i>79</i>
Tableau n°37 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST04)</i>	<i>81</i>
Tableau n°38 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST04)</i>	<i>83</i>
Tableau n°39 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST04).....</i>	<i>83</i>

Tableau n°40 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST04) ..</i>	84
Tableau n°41 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST05A).....</i>	90
Tableau n°42 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST05B).....</i>	91
Tableau n°43 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST05C).....</i>	92
Tableau n°44 :	<i>Données sur les poissons (ST05).....</i>	93
Tableau n°45 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST05)</i>	94
Tableau n°46 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST05)</i>	95
Tableau n°47 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST05).....</i>	96
Tableau n°48 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST05) ..</i>	97
Tableau n°49 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST06A).....</i>	103
Tableau n°50 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST06B).....</i>	104
Tableau n°51 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST06C).....</i>	105
Tableau n°52 :	<i>Données sur les poissons (ST06).....</i>	106
Tableau n°53 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST06)</i>	107
Tableau n°54 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST06)</i>	108
Tableau n°55 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST06).....</i>	110
Tableau n°56 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST06) ..</i>	111
Tableau n°57 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST07A).....</i>	117
Tableau n°58 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST07B).....</i>	118
Tableau n°59 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST07C).....</i>	119
Tableau n°60 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST08A).....</i>	125
Tableau n°61 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST08B).....</i>	126
Tableau n°62 :	<i>Données sur les poissons (ST08).....</i>	128
Tableau n°63 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST08)</i>	129
Tableau n°64 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST08)</i>	130
Tableau n°65 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST08).....</i>	131
Tableau n°66 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST08) ..</i>	132
Tableau n°67 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST09A).....</i>	139
Tableau n°68 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST09B).....</i>	140
Tableau n°69 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST09C).....</i>	141
Tableau n°70 :	<i>Données sur les poissons (ST09).....</i>	142
Tableau n°71 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST09)</i>	143
Tableau n°72 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST09)</i>	144
Tableau n°73 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST09).....</i>	146
Tableau n°74 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST09) ..</i>	146
Tableau n°75 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST11A).....</i>	153
Tableau n°76 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST11B).....</i>	154
Tableau n°77 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST11C).....</i>	155
Tableau n°78 :	<i>Données sur les poissons (ST11).....</i>	156
Tableau n°79 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST11)</i>	157
Tableau n°80 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST11)</i>	158
Tableau n°81 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST11).....</i>	160
Tableau n°82 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST11) ..</i>	161
Tableau n°83 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST012A).....</i>	168
Tableau n°84 :	<i>Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST012B).....</i>	169
Tableau n°85 :	<i>Données sur les poissons (ST12).....</i>	171
Tableau n°86 :	<i>Liste des espèces complémentaires (ST12)</i>	172
Tableau n°87 :	<i>Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST12)</i>	173
Tableau n°88 :	<i>Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST12).....</i>	174
Tableau n°89 :	<i>Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST12) ..</i>	175
Tableau n°90 :	<i>Récapitulatif des paramètres biologiques pour l'ichtyofaune.....</i>	187
Tableau n°91 :	<i>Valeur de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) pour tous les transects depuis 2010 ..</i>	197
Tableau n°92 :	<i>Analyse de la Variance de la biodiversité α des invertébrés (hors coraux durs), depuis 2010 ..</i>	198
Tableau n°93 :	<i>Analyse de la Variance de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) pour tous</i>	

les transects depuis 2010.....	198
Tableau n°94 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2010.....	199
Tableau n°95 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2010.....	199
Tableau n°96 : Valeur de la richesse spécifique des macrophytes pour tous les transects depuis 2010.....	201
Tableau n°97 : Analyse de la Variance de la biodiversité α des macrophytes depuis 2010	202
Tableau n°98 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des macrophytes pour tous les transects depuis 2010	202
Tableau n°99 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique des macrophytes depuis 2010.....	202
Tableau n°100 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des macrophytes depuis 2010	203
Tableau n°101 : Evolution du taux de recouvrement du substrat entre septembre 2017 et mai 2018 (différence en %)	219
Tableau n°102 : Evolution de la richesse spécifique du benthos (hors coraux durs) entre septembre 2017 et mai 2018 (gain/perte en taxa).....	219
Tableau n°103 : Particularités de chaque station et évolution entre septembre 2017 et mai 2018	220
Tableau n°104 : Analyse de la Variance temporelle des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) en baie de Prony.....	226
Tableau n°105 : Analyse de la Variance temporelle des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) dans le canal de la Havannah / Woodin.....	227
Tableau n°106 : Densités moyennes ichthyologiques (ind./m ²) par campagne et station.....	229
Tableau n°107 : Biomasses ichthyologiques (g/m ²) moyennes par campagne et station.....	229
Tableau n°108 : Biodiversités 1 ichthyologiques par campagne et station	230
Tableau n°109 : Biodiversités 3 ichthyologiques par campagne et station	231
Tableau n°110 : Analyse de la Variance spatiale des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) en baie de Prony.....	232
Tableau n°111 : Analyse de la Variance spatiale des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) dans le canal de la Havannah / Woodin.....	233
Tableau n°112 : Fréquence moyenne de l'observation des espèces ichthyologiques.....	234
Tableau n°113 : Valeur des écrats (quadratiques moyens) des structures de peuplement par rapport à la structure moyenne (depuis 2007).....	234
Tableau n°114 : Test de Friedman (analyses spatiales et temporelles) des paramètres ichthyologiques suivis	236
Tableau n°115 : Classement des stations (A) et des missions (B) (ichthyologie)	237
Tableau n°116 : Clé de cotation des Indices ichthyologiques	238
Tableau n°117 : Cotation des stations : IAS, depuis 2012 b (ichthyologie)	238
Tableau n°118 : Cotation des missions : IGm, depuis 2007 (ichthyologie).....	238
Tableau n°119 : Nouvelles espèces de poissons observées lors de cette mission	239
Tableau n°120 : Moyennes des paramètres ichthyologiques étudiés (calculées sur l'ensemble des missions) par station	239
Tableau n°121 : Moyennes des paramètres ichthyologiques étudiés (calculées sur l'ensemble des stations) par mission	239
Tableau n°122 : Qualité du peuplement ichthyologique depuis 2007	241
Tableau n°123 : Principaux phénomènes dépressionnaires dans la zone d'étude depuis 2003	243
Tableau n°124 : Invertébrés inscrits sur la liste UICN et échantillonnés en mai 2018.....	253
Tableau n°125 : Extrait de la liste des espèces endémiques, rares ou menacées en Province Sud, potentiellement présentes sur la zone d'étude.....	256
Tableau n°126 : Note de chaque station selon la qualité du peuplement de poissons.....	265
Tableau n°127 : Classement par groupes des stations (ichthyologie).....	265
Tableau n°128 : Qualité du peuplement ichthyologique depuis 2007	267
Annexe 01 : Tableau a : Catégories et composantes de substrat retenues pour l'échantillonnage et le traitement des données	283
Annexe 01 : Tableau b : Liste des poissons indicateurs.....	284
Annexe 02 : Tableau a : Rapport de plongée.....	286
Annexe 02 : Tableau b : Corrections des marées	286

Annexe 02 : Tableau c : Agenda des marées (corrigées selon le lieu).....	286
Annexe 03 : Tableau a : Recouvrement du substrat (en %) pour toutes les catégories.....	287
Annexe 03 : Tableau b : Répartition du recouvrement (en %) du substrat, partie biotique/abiotique.....	287
Annexe 04 : Tableau a : Inventaire des Macrophytes et des Invertébrés et leur abondance (1 à 5) (stations baie de Prony et du canal Woodin).....	288
Annexe 04 : Tableau b : Inventaire des Macrophytes et des Invertébrés et leur abondance (1 à 5) (stations du canal de la Havannah).....	289
Annexe 04 : Tableau c : Richesse spécifique des biocénoses* benthiques par groupes et transect (*hors coraux durs).....	291
Annexe 04 : Tableau d : Richesse spécifique des biocénoses* benthiques par groupes et station (*hors coraux durs).....	292
Annexe 04 : Tableau e : Richesse spécifique du macrobenthos par site.....	292
Annexe 04 : Tableau f : Liste des espèces cibles (CdC DENV) et leur abondance (1 à 5) (stations de la baie de Prony et du canal Woodin).....	292
Annexe 04 : Tableau g : Liste des espèces cibles (CdC DENV) et leur abondance (1 à 5) (stations du canal de la Havannah).....	293
Annexe 05 : Tableau a : Définitions des catégories UICN.....	295

L i s t e d e s F i g u r e s

Figure n°01 : Schéma théorique d'une station composée de 3 transects (A, B, C), de 20 m de long.....	18
Figure n°02 : Diagramme schématique d'un transect.....	20
Figure n°03 : Comptage visuel des poissons : méthode des transects à largeur variable.....	23
Figure n°04 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST01A.....	36
Figure n°05 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST01B.....	36
Figure n°06 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST01).....	37
Figure n°07 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST01).....	42
Figure n°08 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST01).....	45
Figure n°09 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST01).....	45
Figure n°10 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST02A.....	49
Figure n°11 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST02B.....	49
Figure n°12 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST02).....	50
Figure n°13 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST02).....	54
Figure n°14 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST02).....	57
Figure n°15 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST02).....	57
Figure n°16 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03A.....	62
Figure n°17 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03B.....	62
Figure n°18 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03C.....	62
Figure n°19 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST03).....	63
Figure n°20 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST03).....	68
Figure n°21 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST03).....	70
Figure n°22 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST03).....	70
Figure n°23 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST04A.....	75
Figure n°24 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST04B.....	75
Figure n°25 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST04C.....	75
Figure n°26 : Répartition par famille de la richesse spécifique corallienne (ST04).....	76
Figure n°27 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST04).....	82
Figure n°28 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST04).....	85
Figure n°29 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST04).....	85
Figure n°30 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST05A.....	89
Figure n°31 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST05B.....	89
Figure n°32 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST05C.....	89
Figure n°33 : Répartition par famille de la richesse spécifique corallienne (ST05).....	90

Figure n°34 :	Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST05).....	96
Figure n°35 :	Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST05).....	98
Figure n°36 :	Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST05)	98
Figure n°37 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06A	102
Figure n°38 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06B.....	102
Figure n°39 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06C.....	102
Figure n°40 :	Répartition par famille de la richesse spécifique corallienne (ST06).....	103
Figure n°41 :	Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST06).....	109
Figure n°42 :	Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST06).....	112
Figure n°43 :	Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST06)	112
Figure n°44 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07A	116
Figure n°45 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07B.....	116
Figure n°46 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07C.....	116
Figure n°47 :	Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST07)	117
Figure n°48 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST08A.....	124
Figure n°49 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST08B.....	124
Figure n°50 :	Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST08)	125
Figure n°51 :	Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST08).....	130
Figure n°52 :	Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST08).....	133
Figure n°53 :	Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST08)	133
Figure n°54 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09A	138
Figure n°55 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09B.....	138
Figure n°56 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09C.....	138
Figure n°57 :	Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST09)	139
Figure n°58 :	Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST09).....	145
Figure n°59 :	Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST09).....	147
Figure n°60 :	Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST09)	147
Figure n°61 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST11A	152
Figure n°62 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST11B.....	152
Figure n°63 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03C.....	152
Figure n°64 :	Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST11)	153
Figure n°65 :	Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST11).....	159
Figure n°66 :	Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST11).....	162
Figure n°67 :	Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST11)	162
Figure n°68 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST12A	167
Figure n°69 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST12B.....	167
Figure n°70 :	Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST12)	168
Figure n°71 :	Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST12).....	174
Figure n°72 :	Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2009 (ST12).....	176
Figure n°73 :	Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2009 (ST12)	176
Figure n°74 :	Représentation du recouvrement (en %) du substrat partie biotique/abiotique	177
Figure n°75 :	Richesse taxonomique du benthos dans 2 groupes clés	181
Figure n°76 :	Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le canal de la Havannah.....	182
Figure n°77 :	Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le canal Woodin.....	182
Figure n°78 :	Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour la baie de Prony	183
Figure n°79 :	Assemblage des invertébrés (hors coraux durs) et des macrophytes par groupe pour les trois sites	185
Figure n°80 :	Richesse spécifique des biocénoses* benthiques selon les groupes par station.....	185

Figure n°81 :	Richesse spécifique des biocénoses* benthiques selon les groupes par transect.....	186
Figure n°82 :	Richesse spécifique de l'ichtyofaune par station.....	188
Figure n°83 :	Densité (nb ind/m ²) de l'ichtyofaune par station.....	188
Figure n°84 :	Biomasse (g/m ²) de l'ichtyofaune par station.....	188
Figure n°85 :	Abondance semi quantitative (1 à 5) d' <i>Asparagopsis taxiformis</i> et de <i>Lobophora variegata</i> entre septembre 2013 et mai 2018.....	190
Figure n°86 :	Valeur de la richesse spécifique moyenne des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2010.....	199
Figure n°87 :	Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes depuis 2010.....	202
Figure n°88 :	Abondance semi-quantitative (1 à 5) des principales espèces cibles depuis septembre 2013 ...	212
Figure n°89 :	Comparaison du recouvrement de corail blanchi, par transect, depuis 2012.....	217
Figure n°90 :	Comparaison des richesses spécifiques (invertébrés, hors coraux durs), par transect, depuis 2010	218
Figure n°91 :	Comparaison des richesses spécifiques (macrophytes), par transect, depuis 2010.....	218
Figure n°92 :	Evolution de la moyenne des paramètres ichtyologiques depuis 2007, par campagne et station (baie de Prony).....	227
Figure n°93 :	Evolution de la moyenne des paramètres ichtyologiques depuis 2007, par campagne et station (canal de la Havannah / Woodin).....	228
Figure n°94 :	Evolution de la moyenne des paramètres ichtyologiques depuis 2007, par station et campagne (baie de Prony).....	232
Figure n°95 :	Evolution de la moyenne des paramètres ichtyologiques depuis 2007, par station et campagne (canal de la Havannah / Woodin).....	233
Figure n°96 :	Evolution des moyennes des paramètres ichtyologiques étudiés, par mission.....	240
Figure n°97 :	Météorologie dans la zone d'étude durant le mois de mars 2015.....	246
Figure n°98 :	Trajectoire du cyclone Winston entre le 22 et le 26 février 2016.....	247
Figure n°99 :	Cartes des anomalies de température de surface de la mer dans le Pacifique, début 2016.....	248
Figure n°100 :	Trajectoire des cyclones Cook et Donna (début 2017).....	249
Figure n°101 :	Anomalies de températures de surface de la mer (9 et le 15 novembre 2017).....	252
Figure n°102 :	Ecarts des valeurs obtenues en mai 2018 à chaque station, avec la moyenne depuis 2007 (Ichtyologie)	266
Figure n°103 :	Ecarts par mission des résultats ichtyologiques en mai 2018 de l'ensemble des stations, avec la moyenne depuis 2007 (Ichtyologie).....	266
Figure n°104 :	Exemple de schéma descriptif d'une station.....	270
Annexe 05 :	Figure a : Classification de la liste rouge UICN.....	295

Liste des Cartes

Carte n°01 :	Localisation des stations sur carte topographique (source DITTT).....	16
Carte n°02 :	Localisation des stations sur photographie aérienne (source Google Earth).....	17
Carte n°03 :	Localisation de la station 01 (Casy).....	34
Carte n°04 :	Localisation de la station 02 (Creek baie nord).....	47
Carte n°05 :	Localisation de la station 03 (Port).....	60
Carte n°06 :	Localisation de la station 04 (Woodin).....	73
Carte n°07 :	Localisation de la station 05 (Ioro).....	87
Carte n°08 :	Localisation de la station 06 (Ionontea).....	100
Carte n°09 :	Localisation de la station 07 (Basse Chambeyron).....	114
Carte n°10 :	Localisation de la station 08 (Pointe Puka).....	122
Carte n°11 :	Localisation de la station 09 (Bancs Kié).....	136
Carte n°12 :	Localisation de la station 11 (Toémo).....	150
Carte n°13 :	Localisation de la station 12 (Ilot Ugo).....	165
Carte n°14 :	Résultats généraux : ichtyofaune, communautés benthiques, substrat par station de la baie de Prony – canal Woodin.....	192
Carte n°15 :	Résultats généraux : ichtyofaune, communautés benthiques, substrat par station pour le canal de la Havannah.....	193



Liste des Photos

Photo n°01 :	Mise en place d'un piquet.....	25
Photo n°02 :	Piquets doublés en début de transect A avec le ruban métré déroulé.....	25
Photo n°03 :	Echantillonnage poissons.....	25
Photo n°04 :	Echantillonnage LIT.....	25
Photo n°05 :	Echantillonnage benthos.....	25
Photo n°06 :	Vidéo.....	25
Photo n°07 :	Position en surface par rapport à la pointe sud de l'îlot (ST01).....	34
Photo n°08 :	Vue d'ensemble des transects (ST01).....	35
Photo n°09 :	Position en surface par rapport à la côte (ST02).....	47
Photo n°10 :	Vue d'ensemble des transects (ST02).....	48
Photo n°11 :	Vue aérienne : emplacement par rapport aux structures portuaires (ST03).....	59
Photo n°12 :	Position en surface par rapport aux structures portuaires (ST03).....	60
Photo n°13 :	Vue d'ensemble des transects (ST03).....	61
Photo n°14 :	Position en surface par rapport à la côte (ST04).....	73
Photo n°15 :	Vue d'ensemble des transects (ST04).....	74
Photo n°16 :	Position en surface par rapport au feu signal (ST05).....	87
Photo n°17 :	Vue d'ensemble des transects (ST05).....	88
Photo n°18 :	Position en surface (ST06).....	100
Photo n°19 :	Vue d'ensemble des transects (ST06).....	101
Photo n°20 :	Position en surface (ST07).....	114
Photo n°21 :	Vue d'ensemble des transects (ST07).....	115
Photo n°22 :	Position en surface par rapport à la côte (ST08).....	122
Photo n°23 :	Vue d'ensemble des transects (ST08).....	123
Photo n°24 :	Position en surface (ST09).....	136
Photo n°25 :	Vue d'ensemble des transects (ST09).....	137
Photo n°26 :	Position en surface par rapport à la côte (ST11).....	150
Photo n°27 :	Vue d'ensemble des transects (ST011).....	151
Photo n°28 :	Position en surface par rapport à la côte (ST12).....	165
Photo n°29 :	Vue d'ensemble des transects (ST12).....	166
Photo n°30 :	Evolution du blanchissement sur les 5 dernières missions (ST04A).....	210
Photo n°31 :	Station 08 : fin de transect A : 3 autres piquets formant un quadrat.....	269

Crédit photographique : Grégory Lasne 2018 pour Biocénose Marine, Valérie Vaillet 2018, pour AQUA TERRA.

Photographies aériennes : Google Earth





1 Préambule

La société Goro Nickel S.A.S. a réalisé un « état de référence » des habitats coralliens en 2005 dans le cadre de l'application de l'arrêté d'autorisation de mise en fonctionnement des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) n° 1769-2004/PS du 15 octobre 2004.

Cette étude de référence a été réalisée sur un réseau de 11 stations de mesures localisées dans la baie de Prony, le canal de la Havannah et l'entrée du canal Woodin.

En l'absence de référence méthodologique officielle, la société Goro Nickel avait alors préconisé l'utilisation d'une variante de la méthode du Line Intercept Transect (LIT) de English & al (1997) [01] pour cette étude. Cette méthode d'échantillonnage est largement utilisée par les experts pour l'évaluation de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés.

Suite à la transmission des résultats de l'étude, la Direction de l'Environnement (DENV) a émis un certain nombre de commentaires notamment sur la méthodologie employée. La DENV a demandé à la société Goro Nickel SAS d'organiser un atelier de travail spécifique afin d'établir un protocole de référence pour le suivi temporel futur des communautés marines.

Cet atelier de travail s'est tenu le 3 mars 2006 à Nouméa avec la participation des experts institutionnels (Institut de Recherche pour le Développement, Université de Nouvelle Calédonie, Commission du Pacifique Sud) et des bureaux d'études locaux, et une démarche méthodologique d'échantillonnage et d'analyse a été proposée au regard des objectifs fixés.

Un programme détaillé pour réaliser le suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés sur un ensemble de 11 stations de mesures prédéfinies et suivant le protocole d'échantillonnage et les méthodes d'analyse validés à l'issue de l'atelier de travail précité a donc été rédigé pour servir de cahier des charges (cf. [annexe 01](#)).

La société Goro Nickel S.A.S., puis Vale Inco Nouvelle-Calédonie et dernièrement Vale Nouvelle-Calédonie, a alors fait réaliser une nouvelle campagne en septembre 2007, en octobre 2008, en juin 2009, en mars-avril et septembre 2010, en mars et septembre 2011, en avril et octobre 2012, en avril et septembre 2013, en avril et octobre 2014, en mars et octobre - novembre 2015, en avril et novembre 2016 puis en avril et septembre 2017 sur la base de ce cahier des charges, dans le cadre de la mise en place d'une base de données en vue d'une surveillance du milieu marin au démarrage de l'usine Goro Nickel.

Ce rapport présente les résultats de la campagne réalisée en mai 2018 (S19) et répond aux exigences du cahier des charges initial, transmis lors de l'appel d'offre¹.

Le Mandataire est ici la SARL AQUA TERRA, représentée par Valérie VAILLET, aidé par deux partenaires majeurs : ACREM pour la partie Ichtyologique et BIOCENOSE MARINE pour la partie Benthique².

¹ Avec le rajout d'une nouvelle station : ST12, près de l'îlot Ugo depuis juin 2009 et la suppression d'une station : ST10, près de l'îlot Kié à partir de 2017 sur demande de Vale NC (possédant l'accord de la DENV) / commande trop tardive pour que l'autorisation de pénétrer dans la réserve soit accordée dans les temps

² Les données fournies par ces deux sociétés, le sont sous leur entière responsabilité. La SARL AQUA TERRA ne peut être tenue à une quelconque implication dans leurs résultats





2 Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'effectuer un suivi de l'état des communautés coralliennes sur un ensemble de stations de mesures afin d'alimenter une base de données qui permettra de :

- Evaluer la variabilité naturelle des stations et d'optimiser l'effort d'échantillonnage par une étude de puissance ;
- Suivre dans le temps les effets potentiels des activités industrielles du projet Goro Nickel.

Ce suivi se fait à travers l'échantillonnage de 3 thèmes : l'habitat (le substrat), les macro-invertébrés épibenthiques (simplifié par la suite en « benthos ») et les poissons.

Pour le substrat, l'analyse temporelle doit permettre de montrer les variations entre les pourcentages de couverture corallienne, de végétaux, d'éponges,

Les pourcentages de substrat biotique et de substrat abiotique doivent également être mis en évidence.

L'échantillonnage du benthos doit permettre de montrer si des changements ont lieu sur des taxons cibles.

Enfin, l'échantillonnage des poissons doit permettre d'évaluer les variations de divers paramètres liés à la structure des populations ciblées, en relation avec l'impact potentiel de l'usine et de ses activités ou toute autre cause de changements.

L'analyse temporelle a été faite selon les données historiques disponibles des campagnes précédentes réalisées depuis 2007.

Du fait de la participation de 2 autres spécialistes (ACREM en ichtyologie et BIOCENOSE MARINE en benthos), une partie de leurs données ou commentaires généraux est reprise dans le corps du rapport. Par ailleurs, leurs résultats sont retranscrits intégralement, sous leur responsabilité, dans les paragraphes concernés.

3 Méthodologie

Les méthodologies appliquées dans le cadre de cette étude ont rigoureusement respecté le cahier des charges élaboré sous contrôle de la DENV et fourni par Vale Nouvelle-Calédonie pour l'appel d'offre préalable à ce contrat.

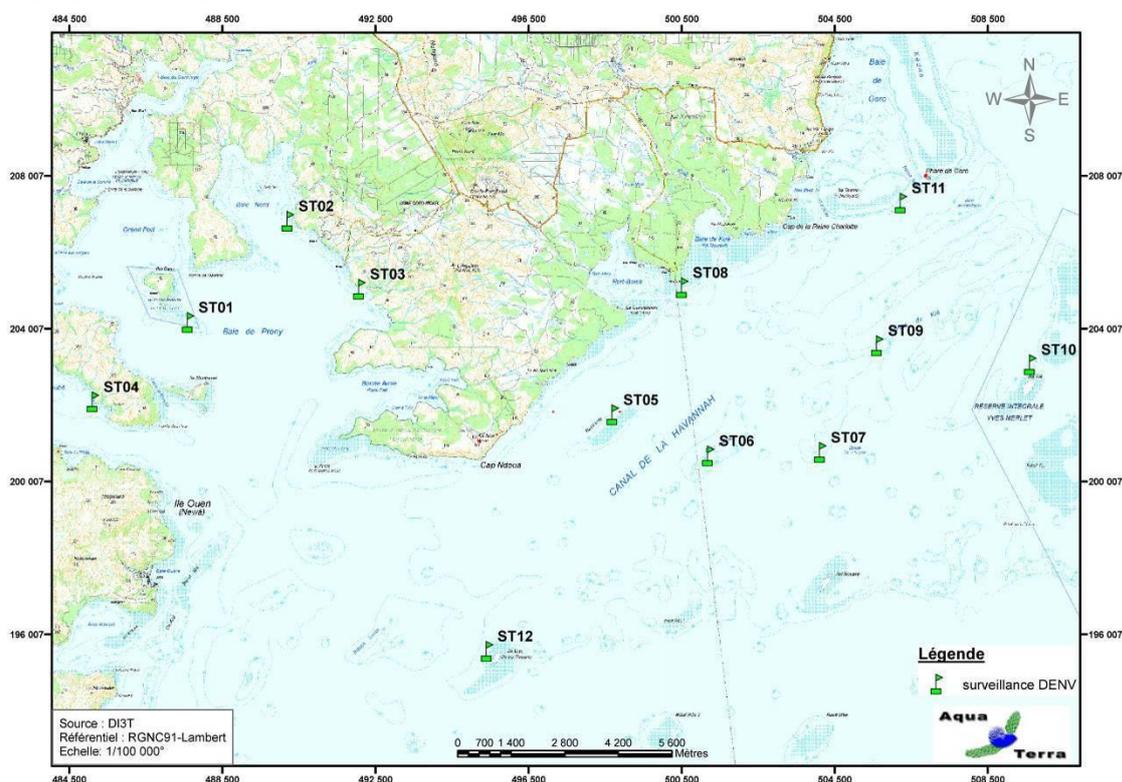
3.1 Zone d'étude

3.1.1 Contexte général

La zone d'étude générale comprend la zone principale du lagon pouvant être influencée par le projet (de manière directe ou indirecte) ainsi que des stations de référence.

C'est donc, dans le Sud de la Grande Terre : la baie de Prony, le canal Woodin et le canal de la Havannah.

Le contexte géographique général est présenté sur la [carte 01](#).



Carte n°01 : *Localisation des stations sur carte topographique (source DITTT)*

3.1.2 Présentation des stations

3.1.2.1 Les stations

Au début, l'étude portait sur les 11 stations de mesures prédéfinies.

A partir de la campagne de juin 2009, à la demande de la tribu de l'île Ouen, une station supplémentaire (ST12, Ugo) a été ajoutée.

Les 12 stations sont donc localisées ainsi :

- 7 + 1 = 8 stations dans le canal de la Havannah,
- 3 stations dans la baie du Prony,
- 1 station à l'entrée du canal Woodin.

Depuis le début de 2017, la ST10 n'a pas été échantillonnée (décision Client).

Cette station est située dans la réserve intégrale Y. Merlet. Elle constituait du fait de sa préservation totale - interdite d'accès - une véritable station de référence puisqu'elle n'est soumise à aucun facteur anthropique direct.

Elle était ainsi la seule station pouvant être considérée comme une véritable référence.

Depuis, l'ensemble des stations du réseau de suivi (les 11 maintenues) se trouvent dans la zone d'influence de l'usine et/ou de l'émissaire du projet ainsi il n'y a pas de zone témoin existante à ce jour.

→ La méthode de comparaison BACI n'est ainsi pas utilisable. Les statistiques ne peuvent se baser que sur des changements au cours du temps avec des modèles de type analyse de tendance en s'appuyant sur des séries de données assez longues [02, 03].

Par ailleurs, la réduction d'un élément du lot de stations du protocole expérimental de suivi, n'est pas sans influencer certains tests statistiques notamment les comparaisons globales temporelles.

Les coordonnées de ces stations sont données dans le [tableau 01](#).

Par défaut, elles correspondent au piquet de départ (0 mètre) du transect A.

Tableau n°01 : *Coordonnées des stations d'échantillonnage*

STATIONS			Coordonnées (RGNC 91-93 Lambert)	
			LONGITUDE	LATITUDE
Baie de Prony	Ilot Casy	01	166°51.033	22°21.799
	Creek Baie Nord	02	166°52.546	22°20.356
	Port	03	166°53.639	22°21.312
Canal Woodin	Woodin	04	166°49.593	22°22.933
Canal de la Havannah	Récif Ioro	05	166°57.507	22°23.072
	Banc Ionontea	06	166°58.995	22°23.650
	Basse Chambeyron	07	167°00.671	22°23.591
	Récif pointe Puka	08	166°58.554	22°21.264
	Bancs de Kié	09	167°01.529	22°22.070
	Hot Kié	10	167°03.862	22°22.324
	Récif Toémo	11	167°01.875	22°20.046
	Ugo	12	166°55.615	22°26.438

Les stations sont positionnées sur la photographie aérienne en [carte 02](#).



Carte n°02 : *Localisation des stations sur photographie aérienne (source Google Earth)*

3.1.2.2 Les transects

En accord avec le cahier des charges de la méthodologie générale applicable pour le projet Goro Nickel et adapté aux caractéristiques morphologiques des stations, plusieurs transects ont été définis, comme décrits dans le [tableau 02](#).

Le cahier des charges prévoit de travailler sur des transects (ligne) de 20 mètres de long.

Ainsi, à chaque station, trois transects de 20 m sont positionnés, en fonction de la profondeur :

- sur le haut du tombant (noté A),
- sur le milieu du tombant (noté B),
- sur le bas du tombant (mais au maximum à 20 m de profondeur, et à l'exclusion des zones de vase et dans ce cas, le transect est effectué avant la zone de vase) (noté C).

Quatre stations n'ont que 2 transects (ST01, ST02, ST08 et ST12) et la profondeur de chacun des transects ([tableau 02](#)) provient des relevés *in situ*.

Tableau n°02 : Caractéristiques des transects selon les stations

STATION	LOCALISATION	NOMBRE DE TRANSECTS	PROFONDEUR (m) DES TRANSECTS		
			A	B	C
01	Ilot Casy	2	7,5	10,5	-
02	Creek Baie Nord	2	10	11	-
03	Port	3	4,5	10	13,5
04	Woodin	3	4	11	20,5
05	Récif Ioro	3	5,5	10	20
06	Banc Ionontea	3	8,5	15,5	21,5
07	Basse Chambeyron	3	8	18	22
08	Récif pointe Puka	2	9	12	-
09	Bancs de Kié	3	8	17	20,5
11	Récif Toémo	3	6	10,5	20
12	Ugo	2	6	13,5	-

Pour matérialiser les transects, 3 piquets permanents ont été positionnés sur chacun : au départ, soit 0 m ; à 10 m et à la fin, soit 20 m. Par ailleurs un 2^{ème} piquet a été posé au point 0 m du 1^{er} transect (le plus haut).

Une station classique (avec 3 transects) peut donc être schématisée comme dans la [figure 01](#).

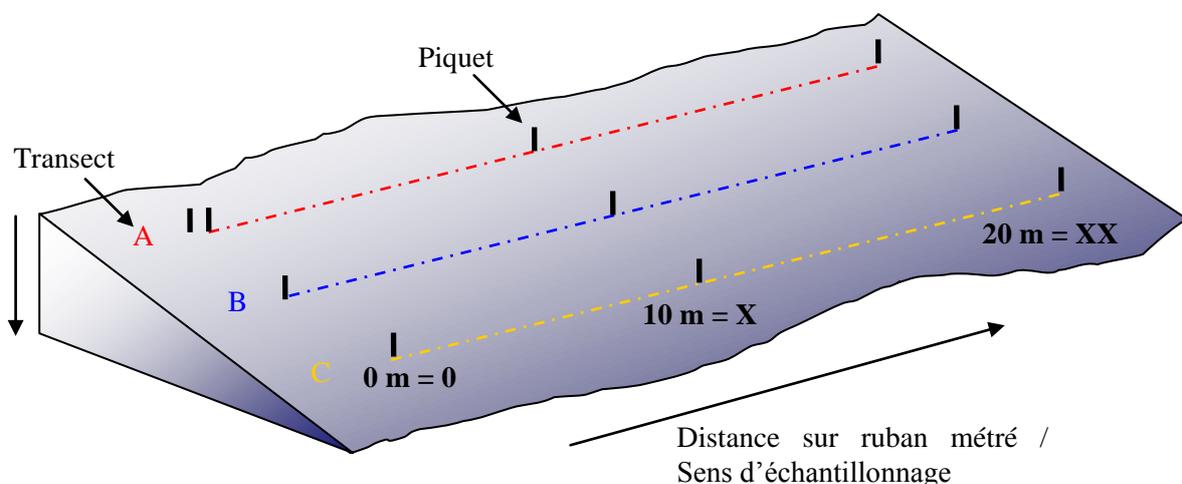


Figure n°01 : Schéma théorique d'une station composée de 3 transects (A, B, C), de 20 m de long



Par mesure de commodité, dans la suite du rapport, les photos, figures etc. seront notées en abrégé par rapport à leur situation : le numéro de la station, la lettre du transect et le chiffre (en romain) de la longueur par rapport au ruban. Ainsi une photo prise sur le piquet de fin (à 20 m de distance) du transect du milieu de la station de Casy, sera abrégée en : ST01BXX.

3.2 Les travaux d'échantillonnage

3.2.1 Vérification des stations

Les travaux d'échantillonnages sur site peuvent être séparés en deux grandes phases :

- il faut au préalable localiser les stations sur le terrain (coordonnées GPS) et les vérifier sous l'eau,
- ensuite l'échantillonnage lui-même a été réalisé, selon le cahier des charges de la méthodologie générale applicable pour le projet Goro Nickel. La récolte des données a porté sur l'habitat (le substrat), le benthos et les poissons ainsi qu'en la réalisation de vidéos et de photos.

3.2.1.1 Positionnement

Les coordonnées des stations, ont été préalablement rentrées dans le GPS (appareil Garmin GPSmap 60CSx), dont la précision est métrique.

Une fois rendue sur place, l'équipe a vérifié la concordance entre ces coordonnées et les profondeurs aussi prévues selon les cartes, grâce au sondeur du bateau.

Une reconnaissance en PMT (palmes / masque / tuba, de la surface) a alors été effectuée afin de repérer les piquets marquant les transects de la station.

Les plongeurs emmènent à cette occasion une bouée qu'ils attachent au 1^{er} piquet (0 m) du 1^{er} transect haut (le A), afin de permettre la prise des coordonnées exactes par GPS.

Lorsque les transects sont éloignés les uns des autres, cette manœuvre est répétée pour chacun.

3.2.1.2 Matérialisation

La méthode de suivi temporel statistique retenue pour le projet Goro Nickel, exige que les échantillonnages soient toujours réalisés sur les mêmes zones.

Cette précision implique la matérialisation physique de la station sous l'eau.

Les stations avaient toutes été matérialisées en 2005 puis vérifiées ou rematérialisées en 2007 & 2008.

Elles sont, depuis, entretenues à chaque mission (remplacement des piquets quand nécessaire).

3.2.1.2.1 Organisation « matérielle »

Le parfait état du marquage des stations étant primordial pour un suivi temporel, les piquets absents, tombés, branlants, etc. ont été systématiquement remplacés (cf. [tableau a](#) en [annexe 02](#)).

Pour « planter » un piquet, les consignes importantes à respecter sont :

- choisir obligatoirement un substrat abiotique,
- enfoncés suffisamment les piquets pour que ceux-ci ne puissent plus bouger.

Pour la résistance à l'oxydation, au recouvrement par les organismes marins, ... et faciliter leur perception visuelle sous l'eau, les piquets employés pour cette campagne étaient en acier galvanisé dont les caractéristiques sont les suivantes :

- longueur : 2 mètres,
- diamètre : 12 mm,
- peinture de protection grise et bande de marquage visuel (20 cm) en haut orange fluo,
- une pointe effilée.

Pour placer à bonne distance les piquets, un ruban métré est déroulé.

3.2.1.2.2 Organisation « temporelle »

L'échantillonnage du substrat étant basé sur la méthode en continu sur une ligne fixe, il est primordial pour la fiabilité du suivi de retrouver les transects placés précédemment et de les entretenir.

Cependant, cette maintenance peut influencer sur la biocénose : les mouvements des plongeurs et le bruit occasionné



par les coups sur les piquets peuvent perturber la faune pélagique (attraction ou au contraire fuite). Par ailleurs, selon le substrat, cet effort peut rendre la visibilité très mauvaise du fait de la mise en suspension de sédiments fins du fond.

Pour éviter de fausser les données d'échantillonnage, elle a donc été pratiquée en 2 temps :

- Une première plongée préalable a permis de rechercher et retrouver les stations et leurs transects et de vérifier soigneusement leur état. Les opérations de maintenance nécessaires ont alors été réalisées.
- La plongée d'échantillonnage a été effectuée ultérieurement.

3.2.2 Protocole pour l'étude du substrat

L'analyse temporelle doit permettre de montrer les variations entre les pourcentages de couverture corallienne, de végétaux, d'éponges,

Les pourcentages de substrat biotique et de substrat abiotique doivent aussi bien être mis en évidence.

Pour cela, c'est la méthode dite « LIT » qui a été appliquée.

La méthode du Line Intercept Transect (LIT) de English & al (1997) [01] est largement utilisée par les experts locaux pour l'évaluation de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés.

Cette méthode est dite à points fixes car seules les espèces et le substrat sous le transect sont notés.

Cette méthode permet d'évaluer la variabilité du substrat (suivi environnemental tous les semestres et/ou tous les ans). Cependant le LIT n'est pas représentatif de la biodiversité de la zone car les données prises en compte sont exclusivement celles sous le ruban.

L'évaluation du substrat a été faite le long du transect (sous le ruban) selon le principe des classes continues, avec une résolution de 10 cm.

Le principe est de noter à chaque changement de catégorie de substrat (= classe) la distance donnée par le ruban, comme schématisé dans la [figure 02](#) : le diagramme montre les points de transition (D) de chaque catégorie de substrat rencontré sous le transect. La différence entre deux points de transition est la "longueur" correspondante à cette catégorie.

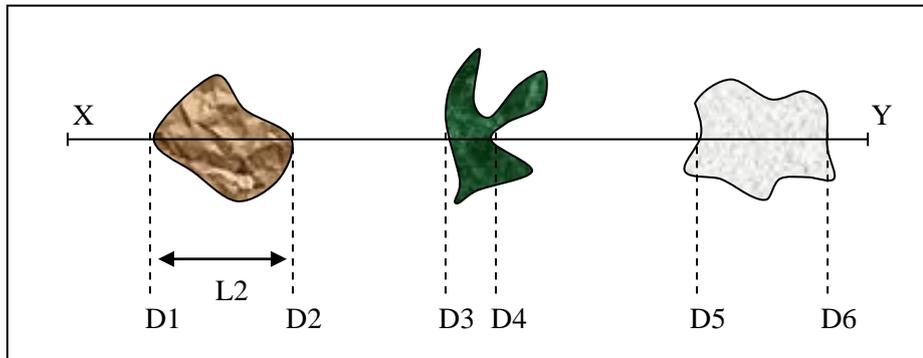


Figure n°02 : Diagramme schématisique d'un transect

Les classes retenues (au nombre de 28) sont adaptées de celles préconisées par English et al. [01] pour le « Line Intercept Transect » (« life forms »), et présentées dans le [tableau a](#) en [annexe 01](#).

Une vidéo de chaque transect, ainsi que des photographies des objets représentatifs, ont été effectuées à des fins de stockage, permettant de revenir ultérieurement de façon qualitative sur des variations ayant été démontrées quantitativement avec le LIT.



3.2.3 Protocole pour l'étude du benthos

Cet échantillonnage doit permettre de quantifier la richesse spécifique (biodiversité) et de montrer si des changements ont lieu sur **des taxons cibles** (cf. cahier des charges, [annexe 01](#)).



Pour cela, c'est la méthode d'observation sur couloirs qui a été appliquée.

Le couloir fait une largeur de 5 mètres (2.5 mètres de part et d'autre de chaque transect de 20 mètres de longueur). Cette méthode donne une bonne représentation des communautés benthiques (inventaires faune et flore) car une zone importante est prospectée et étudiée (100 m² pour chaque transect soit 300 m² par station théorique).

Les taxons cibles retenus sont :

- les algues et phanérogames (présence / absence), à déterminer au niveau du genre,
- les étoiles de mer, les oursins et les holothuries (abondance), à déterminer au niveau de l'espèce,
- les crinoïdes (présence / absence),
- les clones (abondance),
- les bédouilles et les trocas (abondance).

Prestations complémentaires

1/ Listes d'inventaire détaillées et détermination au niveau taxonomique le plus bas possible

Par rapport au cahier des charges, le travail d'inventaire a été approfondi :

L'objectif proposé est de caractériser les assemblages et d'identifier les invertébrés et la flore benthiques qui contribuent le plus à la composition caractéristique unique de chaque récif.

Ainsi, la liste d'inventaire a été largement augmentée par rapport au cahier des charges. Les grands groupes d'organismes macrobenthiques (et non que les taxons cibles) ont été étudiés et leur identification a été réalisée au niveau taxonomique le plus bas possible *in situ* (sans prélèvement).

Jusqu'en novembre 2016, l'échantillonnage des stations comprenait donc : les communautés biotiques (les coraux durs dont les coraux scléactiniaires, les autres invertébrés et les macrophytes) et une description géomorphologique (le substratum).

Depuis la mission d'avril 2017 : suite aux restrictions budgétaires, Vale NC n'a pas élargie outre mesure les demandes du cahier des charges et les scléactiniaires ainsi que le substratum n'ont pas été étudiés.

Cependant, les inventaires de cette étude ne sont pas exhaustifs : de nombreuses espèces peuvent être identifiés directement sous l'eau avec certitude (ce qui nécessite une grande expertise de l'échantillonneur) au niveau du genre et de l'espèce (liste conservative) mais d'autres nécessitent d'être prélevées afin d'être observées à la binoculaire ou faire des analyses ADN (hors, aucun prélèvement n'a été réalisé pour cette étude).

L'identification s'est également appuyée sur divers ouvrages, guides de terrain et rapports [04 à 09] et la visualisation de toutes les photographies *in situ*.

Cependant, l'objectif proposé dans cette étude n'est pas de fournir une liste exhaustive de toute la diversité des récifs, mais d'évaluer l'état de santé des récifs, la composition des assemblages et d'identifier les invertébrés et la flore benthique qui contribuent le plus à la composition caractéristique unique de chacun d'eux. A travers ce travail, il est ensuite possible de réaliser une étude comparative à travers le temps et de cibler les potentiels changements de biocénoses benthiques selon les perturbations (naturelles ou anthropiques) des différents milieux.

Par ailleurs, la densité en organismes dans une zone d'étude étendue est difficile à évaluer précisément et peut conduire à de nombreuses erreurs. Aussi, afin de simplifier les opérations sous-marines et d'éviter les erreurs d'abondance, une échelle de recouvrement de 1 à 5 ([tableau 03](#)) a été mise en place au sein des groupes faunistiques suivant (détermination au niveau taxonomique le plus bas possible : générique et si possible spécifique) :

- Scléactiniaires, Millépores, Antipathaires, Gorgones, Stolonifères (coraux durs),
- Alcyonaires (coraux mous),
- Algues (macrophytes),
- Spongiaires,
- Ascidiées,
- Mollusques (bivalves, gastéropodes, nudibranches),
- Echinodermes (étoiles de mer, oursins, holothuries, crinoïdes).

Cette échelle d'abondance a été modifiée par rapport à l'échelle d'abondance de English et al, 1997 [01]. Elle a été élaborée afin de caractériser l'abondance spécifique ou générique des biocénoses marines. Ainsi les pourcentages de recouvrement ont été réduits pour les indices (numéroté de 1 à 5) afin de pouvoir décrire les scléactiniaires, les macrophytes et les invertébrés sur l'ensemble de l'échelle.



Tableau n°03 : *Indices semi-quantitatifs d'abondance – cas classique*

ECHELLE	RECOUVREMENT	ABONDANCE (nb individus ou colonies / 100 m ²)
1	Rare	1
2	Faible	2 à 10
3	Moyen	11 à 20
4	Fort	21 à 41
5	Important	plus de 41

Certains genres de scléactiniaires (coraux durs) s'édifient en de grandes colonies de plusieurs mètres carrés (en particulier les formes massives, *Porites* spp., *Lobophyllia* spp., *Platygyra* spp., *Diploastrea heliopora*). Une seule de ces colonies peut ainsi construire un massif atteignant jusqu'à 10 mètres de diamètre. Dans ce cas, le fait d'indiquer le nombre de colonies n'a pas de sens. Pour ces espèces, une échelle paramétrée supplémentaire de 1 à 5 tient compte des mètres carrés colonisés par les colonies sur le couloir (pourcentage de recouvrement) (tableau 04).

Tableau n°04 : *Indices semi-quantitatifs d'abondance – présence de grandes colonies (plusieurs m²)*

ECHELLE	RECOUVREMENT	ABONDANCE (surface / 100 m ²)
1	Rare	< 0.5% (soit < 0.5 m ² / 100 m ²)
2	Faible	> 0.5% (soit > 0.5 m ² / 100 m ²)
3	Moyen	> 5% (soit > 5 m ² / 100 m ²)
4	Fort	> 10% (soit > 10 m ² / 100 m ²)
5	Important	> 15% (soit > 15 m ² / 100 m ²)

Des photographies et des vidéos ont été réalisées afin d'illustrer les observations terrain.

2/ Evaluation du blanchissement

Si les espèces recensées sont influencées par le blanchissement, elles sont alors mises en valeur dans les tableaux d'inventaire taxonomique par un surlignage de couleur rouge et une échelle de degré de blanchissement (numérotée de B1 à B5) est annotée à côté de l'abondance (cf. tableau 05).

Tableau n°05 : *Degré de blanchissement pour une espèce (/ 100 m²)*

ECHELLE	DEGRE DE BLANCHISSEMENT	ABONDANCE (nb individus ou colonies / 100 m ²)
B1	Présence de blanchissement	1
B2	Blanchissement faible	2 à 10
B3	Blanchissement moyen	11 à 20
B4	Blanchissement fort	21 à 40
B5	Blanchissement important	41 et plus

Par ailleurs, une estimation du pourcentage de blanchissement par estimation visuelle est aussi donnée (% de recouvrement sur le couloir de 100 m²).

Jusqu'en novembre 2016, le blanchissement corallien spécifique était noté, en liant avec l'inventaire des coraux. Depuis la mission d'avril 2017 : suite aux restrictions budgétaires, Vale NC n'a pas élargie outre mesure les demandes du cahier des charges et les scléactiniaires n'étant plus inventoriés, le blanchissement n'a été évalué que par estimation visuelle du recouvrement.

3/ Les autres indicateurs à suivre

En plus des éléments cités ci-dessus, les plongeurs ont relevé tous les autres indices (négatifs ou positifs) pouvant

permettre d'affiner le diagnostic de l'état de santé du milieu, notamment :

- Les cyanobactéries qui font l'objet d'un suivi de leur abondance, de leur localisation et des substrats recouverts
- Les espèces corallivores (prédatrice de coraux), qui sont particulièrement surveillées
- Les espèces exogènes et/ou envahissantes qui sont recherchées
- Le blanchissement des espèces coralliennes est noté et quantifié, au niveau de tous les taxons observés (B1 à B5) (*indicateur non relevé depuis la mission d'avril 2017*)
- Le recouvrement de coraux blanchis est également estimé (pourcentage visuel de blanchissement de la surface récifale étudiée)
- Les maladies coralliennes (particulièrement la maladie de la bande blanche et les anomalies de croissance) sont notées au niveau de tous les taxons observés
- Les perturbations récifales : dégradations mécanique et hyper sédimentation sont relevées.

3.2.4 Protocole pour l'étude des poissons

Ce protocole doit permettre d'évaluer les variations de divers paramètres liés à la structure des populations ciblées, en relation avec l'impact potentiel de l'usine et de ses activités ou toute autre cause de changements.

Pour cela, c'est la méthode dite des Transects à Largeur Variable « TLV » qui a été appliquée.

Les poissons sont échantillonnés par comptage visuel sous-marin comme précisé dans la [figure 03](#) : un ou deux plongeurs progressent le long du transect et comptent les espèces retenues de part et d'autre.

Au cours de cette opération les plongeurs notent pour chaque espèce le nombre d'individus et estiment leur taille et leur distance perpendiculaire au transect.

Lorsque que les individus d'une même espèce sont en banc, le plongeur note la distance du poisson le plus proche (D1) et la distance du poisson le plus éloigné (D2).

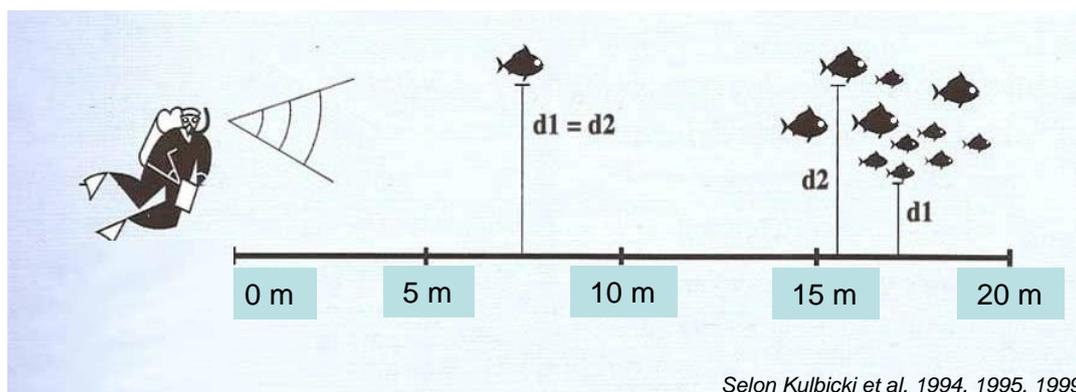


Figure n°03 : Comptage visuel des poissons : méthode des transects à largeur variable

Les poissons qui doivent être comptabilisés sont listés dans le [tableau b](#) de l'[annexe 01](#).

Ils correspondent aux taxons indicateurs de la santé des récifs, ainsi qu'aux espèces comestibles.

Le fait d'utiliser le TLV dans le cas présent est critiquable pour plusieurs raisons.

Les raisons en sont développées en [annexe 03](#) du rapport de la mission de novembre 2016 [10].

Un résumé des limites du protocole est rappelé ci-dessus :

La collecte des données *in situ* est faite par estimation visuelle en plongées [11]. Le cahier des charges de la DENV impose donc la méthode des [12] pour le suivi poissons. Toutefois, ce même cahier des charges demande à ce que les transects d'une station soient parallèles entre eux ce qui en pratique est incompatible avec le TLV. En effet, les transects ont été placés à quelques mètres les uns des autres si bien que les distances de visibilité se chevauchent largement. De plus le TLV préconise des transects de 50 m, or le cahier des charges fixe leur longueur à 20 m. Cette faible longueur amplifie la variabilité des comptages déjà très variables par nature.

Tout cela, fait que les données obtenues correspondent à des indices d'abondances très approximatifs et oblige à considérer, non pas les estimations par transect mais une moyenne par station.



Prestations complémentaires

1/ Liste complète

Le biologiste responsable de cet échantillonnage est spécialisé en écologie marine et notamment dans les poissons récifaux. Il a donc échantillonné l'ichtyofaune pour toutes les espèces présentes.

2/ Zone complète

Par ailleurs la superficie échantillonnée a été agrandie à la station complète et non seulement aux seuls transects : Les poissons ont donc été repérés sur une surface de 25 ares environ. Elle comprend la zone où ont été placés les transects et deux zones équivalentes de part et d'autre de cette dernière. Le plongeur se déplace lentement en notant les nouvelles espèces et cesse lorsque plus aucune nouvelle espèce n'est repérée depuis au moins 5 mn. Il peut donc repérer des espèces supplémentaires sur la zone des transects, espèces qui étaient restées invisibles depuis la ligne matérialisée par le pentadécamètre - où se tient obligatoirement le plongeur qui réalise un TLV - et repérer également des espèces du voisinage qui dans d'autres conditions auraient pu se trouver sur le transect. Ce complément de biodiversité permet de limiter les erreurs d'interprétation des « absences » faites à partir de la biodiversité de la première partie.

3.3 Période d'échantillonnage

La mission terrain a été déclenchée par la date de l'appel d'offre puis celle de la commande du présent contrat. La période a été ensuite ajustée en fonction des coefficients de marée ainsi que de la lune (vives eaux ou mortes eaux) (détails dans les tableaux de l'[annexe 02](#)).

Pour cette mission, l'échantillonnage a été effectué du 07 au 11 mai 2018 (semaines 19).

Les paramètres de chaque plongée ont été notés par la personne de surface, au fur et à mesure. Ils comprenaient notamment (liste non exhaustive) :

- le numéro de la station,
- le nom du site,
- les coordonnées de la station en degrés, minutes et dixièmes de minute pour la longitude et pour la latitude,
- la date de la plongée,
- l'heure du début de la plongée sur la station,
- les conditions météorologiques lors de cette mission (vent, force et direction, pluie ou ensoleillement),
- la profondeur maximale et le temps de plongée,
- l'horaire des marées et les coefficients,
- le courant, la force approximative et la direction,
- la houle ou les vagues et le ressac qui peuvent gêner la mission,
- la visibilité,
- l'état de la station, la maintenance effectuée et les difficultés ou remarques éventuelles,
- la tâche effectuée par l'équipe et par chaque personne.

Ces données ont été regroupées dans un rapport de plongée présenté dans l'[annexe 02](#).

Des photos représentatives des différentes étapes de la mission d'échantillonnage sont présentées ci-dessous ([photographies 01 à 06](#)).





Photo n°01 : Mise en place d'un piquet



Photo n°02 : Piquets doublés en début de transect A avec le ruban métré déroulé



Photo n°03 : Echantillonnage poissons



Photo n°04 : Echantillonnage LIT



Photo n°05 : Echantillonnage benthos



Photo n°06 : Prise de vidéo

3.4 Le traitement des données

3.4.1 Pour le substrat

Comme vu sur la [figure 02](#), paragraphe 3.2.2, le principe d'échantillonnage par LIT est de noter à chaque changement de catégorie de substrat (= classe) la distance donnée par le ruban. La différence entre deux points de transition est alors la "longueur" correspondante à cette catégorie.

Le traitement consiste ici à faire le calcul du pourcentage de recouvrement de chaque classe, qui est obtenu par la somme de "ses longueurs" divisée par la longueur du substrat multipliée par 100, comme montré dans l'exemple ([tableau 06](#)) ci-dessous (qui se réfère à la [figure 02](#)).

Tableau n°06 : Exemple de calcul pour le recouvrement du substrat

DISTANCE	LONGUEUR	CLASSE
X - D1	L1 = D1-0	S
D1 - D2	L2 = D2-D1	RC
D2 - D3	L3 = D3-D2	S
D3 - D4	L4 = D4-D3	MA
D4 - D5	L5 = D5-D4	S
D5 - D6	L6 = D6-D5	DC
D6 - Y	L7 = Y-D6	S

Ainsi, par exemple, le pourcentage de couverture en sable (S) = $(L1+L3+L5+L7) / XY * 100$



Les classes qui sont au nombre de 28 ([tableau a](#) de l'[annexe 01](#)) ont été regroupées en 12 principales composantes comme montrées aussi dans ce tableau, afin de pouvoir simplifier les interprétations.

Ces composantes reprennent les groupes faunistiques (coraux scléactiniaires, autres coraux, alcyonaires, autres organismes, algues, algues sur corail mort) ainsi que le matériel composant le substrat (corail mort, débris, sable, dalle, vase, eau).

Elles sont alors exprimées en pourcentages pour chaque transect et présentées sous forme de graphiques pour permettre une comparaison visuelle rapide.

Les comparaisons insistent sur les rapports entre :

- Corail vivant / Corail mort ;
- Corail vivant / Algues + autres invertébrés ;
- Abiotique total / Biotique total, dont Coraux scléactiniaires.

3.4.2 Pour le benthos

La recherche de paramètres écologiques types (et représentatifs) ont été réalisés sur les taxons cibles :

- listing au niveau taxinomique demandé,
- richesse spécifique (le cas échéant),
- abondance (semi-quantitative).

Ces résultats seront comparés entre les transects, les stations et les sites.

Par ailleurs, afin de pouvoir évaluer rapidement le changement d'état d'une station d'une mission à une autre (recrutement, mortalité, blanchissement et abondance), un code couleur simple à été établi, comme décrit dans le [tableau 07](#).

Tableau n°07 : Code couleur pour la comparaison temporelle de chaque transect

Nouvelle espèce recensée	Recrutement si la colonie est juvénile et/ou nouvelle espèce recensée dans le couloir ou la zone prospectée par rapport à la dernière mission
Mortalité	Espèce absente dans le couloir par rapport à la dernière mission
Blanchissement	Espèce influencée par le blanchissement et de couleur blanche
Espèce cible	Espèce cible (biocénoses benthiques hors coraux durs)
Echelle (1 à 5)	Augmentation de l'abondance par rapport à la dernière mission
Echelle (1 à 5)	Diminution de l'abondance par rapport à la dernière mission
Echelle (1 à 5)	Pas de changement de l'abondance par rapport à la dernière mission



Prestations complémentaires

Le biologiste responsable de cet échantillonnage est spécialisé dans l'inventaire des biocénoses benthiques marines et particulièrement en taxonomie corallienne. Il a donc échantillonné le milieu pour tous les organismes (liste conservative) et ce, jusqu'au niveau taxinomique le plus bas possible.

La restitution des données comprend donc aussi :

- La liste taxinomique des biocénoses benthiques (liste conservative)
- Les tableaux (biodiversité) des groupes biotiques par sites, stations et transects
- Les tableaux (abondance) des groupes biotiques par transect
- Les tableaux de variations spécifiques des biocénoses et de l'état de santé des coraux scléactiniaires entre 2 missions
- Les particularités et commentaires des biocénoses benthiques
- La liste d'espèces classées sur la liste rouge de l'UICN
- L'analyse des indicateurs de l'état de santé des récifs :
 - a) Coraux scléactiniaires (recrutement, mortalité, maladies),
 - b) Blanchissement corallien en termes de nombre d'espèces et de recouvrement (en %),
 - c) Espèces cibles (a minima Cyanobactéries, *Drupella cornus*, *Acanthaster planci*, *Culcita novaeguineae*, *Cliona orientalis* et *C. jullieni*).



Les données sont comparées aux missions précédentes.

La grille de lecture des tableaux de variations entre 2 missions (mission actuelle vs mission précédente) est donnée dans le [tableau 08](#). Pour cette étude, il est fait une différence entre les Biocénoses* et les Coraux*.

Tableau n°08 : Grille de lecture des tableaux de variations de la composition du benthos

Glossaire des tableaux comparatifs de l'évolution de biodiversité, d'abondance et de l'état de santé	
Biocénoses	Ensembles des espèces vivantes coexistant dans un espace défini
Biocénoses*	Englobe l'ensemble des espèces benthiques hors Coraux* à exosquelette
Coraux*	Coraux à exosquelette (scléactiniaires, millépores, antipathaires, gorgones, stolonifères)
n	Nombre d'espèce
i	Degré d'abondance compris entre 1 et 5 (échelle semi-quantitative relative au nombre de colonie par unité de surface)
A	Abondance (nombre de colonie par unité de surface)
B	Blanchissement (nombre de colonies blanchies par unité de surface)
Genre espèce	Identification se référant à la liste taxonomique
sp.	Spécimen sans identification spécifique
spp.	Plusieurs spécimens du même genre mais pas de la même espèce sans identification spécifique
• Evolution de la richesse spécifique des Coraux* et des Biocénoses*	
Genre sp. (+n spp.)	n espèce(s) du genre cité ont nouvellement été recensée(s)
Genre sp. (-n spp.)	n espèce(s) du genre cité ont disparu
• Variation d'abondance « A »	
Ai	L'espèce est abondante au degré « i » compris entre A1 à A5
ΔAi /+ x	L'espèce est abondante au degré « i » mais a augmenté d'abondance de «+x» degré(s) depuis la mission précédente
ΔAi /- x	L'espèce est abondante au degré « i » mais a diminué d'abondance de «-x» degré(s) depuis la mission précédente
• Blanchissement corallien « B »	
n blanchies	Nombre d'espèce(s) blanchie(s)
% d'espèces blanchies	(n espèces scléactiniaires blanchies / n espèces scléactiniaires)*100
Bi	L'espèce est blanchie au degré « i » compris entre B1 à B5
• Evolution du nombre d'espèce(s) blanchie(s)	
N	Espèce nouvellement blanchie depuis à la mission précédente
+n spp. B*	Augmentation du nombre d'espèces blanchies au sein d'un genre
-n spp. B*	Diminution du nombre d'espèces blanchies au sein d'un genre
• Evolution du degré de blanchissement	
ΔB +i	Le blanchissement de l'espèce à augmenté de « i » degré(s) depuis la mission précédente (le degré actuel apparait dans les espèces blanchies)
ΔB -i	Le blanchissement de l'espèce à diminué de « i » degré(s) depuis la mission précédente (le degré actuel apparait dans les espèces blanchies)
∞	Espèce toujours blanchie mais pas de changement par rapport à la dernière mission
Øβ	L'espèce n'est plus blanchie par rapport à la mission précédente

Jusqu'en novembre 2016, l'échantillonnage des stations comprenait aussi les scléactiniaires.

Depuis la mission d'avril 2017 : suite aux restrictions budgétaires, Vale NC n'a pas élargie outre mesure les demandes du cahier des charges et les scléactiniaires n'ont pas été étudiés. La liste des biocénoses et leur description ne concernent que les invertébrés hors coraux durs.



Approche statistique

L'approche statistique s'est intéressée à la variation de la biodiversité α dans le temps, en considérant que la biodiversité α d'une station la caractérise.

Ce rapport présente les résultats obtenus lors de la dernière mission sur le peuplement benthique (coraux à



exosquelette, invertébrés hors coraux durs et macrophytes) et les comparent aux résultats des missions précédentes qui lui sont comparables.

Deux analyses statistiques sont proposées : par Anovar et le test de Friedman.

ANOVAR (comparaisons temporelles) : La prise en considération de l'ensemble des transects et stations de la zone donne une série statistique exploitable et permet une analyse temporelle. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée :

- 1) par l'amélioration du protocole au fur et à mesure des missions,
- 2) par un choix de stations très hétérogènes : baie de Prony *versus* canal Woodin et canal de la Havannah. Les stations du canal de la Havannah montrent également une grande hétérogénéité des paramètres environnementaux (stations sur des bancs à fort courant, stations exposées aux alizés et d'autres au contraire protégées à plus faible hydrodynamisme).

Test de Friedman (test de rang) : Le test de Friedman a dans le cas présent plus d'intérêt que celui de Kruskal & Wallis. Ce test, appelé «test en blocs aléatoires complets », a pour préalable d'ordonner les résultats des différents traitements à l'intérieur de chaque bloc préétablis.

Ici, sera considéré que les « traitements » sont les conditions environnementales propres à chacune des années de la série historique et que les « blocs » sont les transects qui sont chaque année réévalués, et dans ce cas, ce sera une analyse en colonnes :

$$\chi^2_{\text{obs}} = \frac{12}{pq(p+1)} \cdot \sum Y_i^2 - \frac{3q(p+1)}{p}$$

p et *q* désignant respectivement le nombre d'années (donc de colonnes) et le nombre de transects (donc de lignes).
Le degré de liberté *ddl* = *p*-1 pour l'analyse par années

L'hypothèse (H_0) du test est de s'assurer que les variations observées de mission en mission au niveau de chacune des stations sont bien aléatoires et donc pour chacune, le fruit du hasard et non qu'il existerait au cours du temps, une tendance globale à la hausse ou à la baisse des valeurs des paramètres choisis pour caractériser ces stations.

Les données quantitatives sont obtenues sans réplicat et sont donc sans intervalle de confiance. Les stations ne peuvent donc être comparées individuellement, ni entre elles, ni d'une année sur l'autre.

Seule la considération de l'ensemble des stations de la zone comme une série statistique permet le calcul d'un intervalle de confiance. Avec ce subterfuge la comparaison temporelle de la zone (et uniquement temporelle) peut alors être faite. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée par l'hétérogénéité des stations et les fortes variances que cette hétérogénéité entraîne.

3.4.3 Pour les poissons



Analyse des données

Les résultats des comptages par TLV reprennent la nomenclature et l'orthographe des espèces, des genres et des familles de Randall J. E. [13] ou Fish Base [14].

Le nom des familles est abrégé dans les différents tableaux, tel que défini dans le [tableau 09](#).

Tableau n°09 : *Lexique des abréviations des familles*

FAMILLES	ABREVIATIONS	FAMILLES	ABREVIATIONS	FAMILLES	ABREVIATIONS
Acanthuridae	Aca	Epinephelinae	Epi (Serranidae)	Ophidiidae	Oph
Anthiidae	Ant (Serranidae)	Fistulariidae	Fist	Ostraciidae	Ost
Apogonidae	Apo	Gobiidae *	Gob	Pinguipedidae	Pin
Atherinidae	Ath	Grammistidae	Gra (Serranidae)	Platacidae	Pla
Aulostomidae	Aul	Haemulidae	Hae	Plesiopidae	Ple
Balistidae *	Bal	Holocentridae	Hol	Pomacanthidae	Poc
Blenniidae *	Ble	Kyphosidae	Kyp	Pomacentridae *	Pom
Caesionidae	Cae	Labridae *	Lab	Priacanthidae	Pri
Canthigasteridae *	Can	Latridae	Lat	Pseudochromidae *	Pse
Carangidae	Car	Leiognathidae	Lei	Ptereleotridae	Pte
Carcharhinidae	Carc	Lethrinidae	Let	Scaridae	Sca
Centriscidae	Cen	Lutjanidae	Lut	Scombridae	Scom
Chaetodontidae	Cha	Malacanthidae	Mal	Scorpaenidae *	Sco
Cirrhitidae	Cir	Microdesmidae	Mic	Siganidae	Sig
Dasyatidae	Das	Monacanthidae	Mon	Sphyraenidae	Sph
Diodontidae	Dio	Mullidae	Mul	Synodontidae	Syn
Dussumieriidae	Dus	Muraenidae	Mur	Tetraodontidae	Tet
Echeneidae	Ech	Myliobatidae	Myl	Uranoscopidae	Ura
Ephippidae	Eph	Nemipteridae *	Nem	Zanclidae	Zan

Les familles retenues par la DENV (cahier des charges) sont en caractères gras

* Familles dont les espèces de ne sont pas toutes retenues au cahier des charges

La densité et la biomasse des poissons sont calculées selon les formules théoriques suivantes :

$$\text{- Densité (poissons/m}^2\text{)} \quad \mathbf{D} = (2L)^{-1} \sum_{i=1}^p n_i d_i^{-1} =$$

$$\text{- Biomasse (g/m}^2\text{)} = \quad \mathbf{W} = (2L)^{-1} \sum_{i=1}^p w_i d_i^{-1}$$

Où :

- L : longueur du transect (20 m)
- n_i : nombre d'individus de l'espèce i
- w_i : poids de l'espèce i (g) (de l'espèce i : donc de tous les individus i de cette espèce)
- d_i : distance moyenne de l'espèce i au transect (m)
- p : nombre d'espèces.

Le poids des individus (en g) a été estimé d'après leur taille en utilisant une relation d'allométrie taille-poids, du type :

$$w_i = a l_i^b$$

Où :

- l_i = longueur du poisson
- a et b = variables

Ces variables sont des coefficients mis au point par Kulbicki & al. [13] pour environ 350 poissons du lagon. Ils sont utilisés couramment et notamment par la CPS dans le logiciel de traitement qu'ils ont élaboré.

Donc, dans le cas présent, par rapport aux tableaux et aux variables qui sont présentés, voici un exemple de calcul (tableau 10).

Tableau n°10 : Exemple de calcul pour « poisson »

Espèce	Nombre (ni)	Longueur (li) cm	Poids (wi) g	D1	D2	Surf m ²	Densité (D) / m ²	Biomasse (W) g/m ²	a	b
<i>Pomacentrus aurifrons</i>	20	3	15,52	1	1,5	25	0,8	0,621	0,028	3,02

ni = nombre de poissons observés de cette espèce = 20

li = longueur moyenne de chaque individu = 3 cm

wi = poids de tous les individus de cette espèce = $(0.028 * 3^{3.02}) * 20 = 15.52$ g

D1 et D2 sont les distances minimale et maximale des individus observés = 1 m et 1.5 m

Surf = surface d'échantillonnage = $di * L = (1+1.5) / 2 * 20 = 25$ m²

D = densité eg. le nombre de poissons par m² = $20 / 25 = 0.8$ individu au m²

W = biomasse = $15.52 / 25 = 0.621$ g/m²

La stabilité spatiale et temporelle des résultats sur la zone est alors testée par des analyses paramétriques (ANOVA) et des analyses non-paramétriques de type χ^2 de Pearson et dérivés (tests de rangs de Friedman et de Kruskal-Wallis).

Une critique des méthodes employées pour l'analyse des données est présentée en [annexe 03](#) du rapport de la mission de novembre 2016 [10].

Prestations complémentaires

Le biologiste responsable de cet échantillonnage est spécialisé en écologie marine et notamment dans les poissons récifaux. Il a donc échantillonné l'ichtyofaune pour toutes les espèces.

En effet, en notant les effectifs de chacune des espèces rencontrées, il est possible (en plus) de calculer la biodiversité par station ce qui permet d'obtenir les **biodiversités alpha, bêta et gamma** sur la zone ; ainsi que **l'équitabilité** (Indice de Shannon relatif)³.

Dans l'ensemble des résultats, quand cela n'est pas précisé, les calculs ont été fait d'après le listing simplifié du cahier des charges (tableau b en [annexe 01](#)).

Présentation des données

Les données recueillies sont présentées par station avec un rappel des résultats des missions précédentes.

Chaque fiche-station se décline selon 4 tableaux :

- Un premier tableau donne les **résultats quantitatifs obtenus sur les TLV** (Densité et Biomasse/m²) et la Biodiversité relative à la liste du cahier des charges de la DENV.

Ce tableau présente une moyenne pour la station.

En effet, nous avons au cours des rapports précédents montré que la proximité des transects les uns par rapport aux autres, ne permettait pas d'isoler, dans le peuplement de la station, les individus par tranche bathymétrique et donc par transect. La majorité des espèces, notamment les plus grosses (loches, dawas, carangues, etc.), n'ont pas de préférence bathymétrique sur l'intervalle de profondeurs des stations, c'est-à-dire entre 4 et 20 m. Seules, de petites espèces sont inféodées à la profondeur – essentiellement entre la surface et 5 m et au-delà de 5 m – mais la plupart d'entre-elles ne figurent pas sur la liste de la DENV (gobies, blennies, syngnathes, parapercis, etc.).

³ L'indice de Shannon est fondé sur la théorie de l'information qui considère 2 composantes de la diversité : le nombre d'espèces et la régularité de leur distribution de fréquence. Il mesure "l'indétermination" de l'échantillonnage. C'est-à-dire l'indétermination d'un tirage limité d'individus dans un ensemble qui en contient beaucoup.

L'indice d'Équitabilité équivaut à la répartition des effectifs entre S espèces présentes. L'indice varie entre 0 et 1. Il tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs appartient à 1 seule espèce. Il tend vers 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance. Il est calculé en fonction de l'indice de Shannon (il est donc l'indice de Shannon de la zone exprimé relativement à sa valeur maximale, celle qu'il pourrait au maximum avoir sur cette zone et qui correspond à la situation où toutes les espèces présentes sont en effectif identique).

La biodiversité est une donnée semi-quantitative

On définit 3 niveaux de biodiversité :

La biodiversité dite α est le nombre d'espèces n présentes sur une station.

$$B_{\alpha_i} = n_i$$

La biodiversité β (B_{β}) est la diversité des valeurs de diversités α ;

La biodiversité γ (B_{γ}) est la biodiversité totale de la zone

$$B_{\gamma} = \cup B_{\alpha_{iii}}$$



- Un second tableau donne **l'ensemble des espèces** (c'est-à-dire qui appartiennent ou non à la liste DENV) repérées sur la station.
- Un troisième tableau regroupe **les espèces (liste DENV) en familles** et donne une comparaison des structures par famille depuis 2007.

Attention : Fort des remarques pertinentes de la mission INERIS nous avons modifié cette comparaison. Celle-ci se faisait à l'aide d'un χ^2 de Pearson global, en ce sens qu'il portait sur l'ensemble des données obtenues depuis 2007. Le tableau ainsi analysé comportait un grand nombre de 0 et un grand nombre de valeurs < 5 , soit deux travers qui nuisent à la signification du test.

Nous procéderons dorénavant à une transformée de variables en mettant à profit la série de données obtenue depuis 2007, et cela de la manière suivante :

Supposons qu'en octobre 2017, 13 espèces de Pomacentridés aient été observées sur une station particulière Sti et que sur toute la série historique 55 espèces aient été observées sur cette Sti - bien que le lagon néocalédonien en contienne 93. La valeur 13 sera alors transformée en la rapportant à son maximum possible (55) soit 23,6 (%).

En revanche, s'il s'agit des Siganidés, qui ne sont que 12 espèces en Calédonie et 10 dans le sud, à supposer que sur cette même Sti, 6 aient été dénombrées le même mode de transformation aboutira à la valeur 60 (%).

Notons que ces nouvelles valeurs ne sont pas de véritables % ce qui obérerait l'utilisation raisonnable d'un test de χ^2 . En effet, elles ne correspondent pas à des pourcentages pour la mission j à la station i, mais pour l'item Pomacentridae, Siganidae, etc., à la Sti... leur somme ne fait d'ailleurs pas 100 sur la Sti. Ces valeurs sont donc indépendantes et répondent aux critères d'utilisation du test de χ^2 .

En substance cette transformation a plusieurs avantages :

1° - Elle gomme les disparités naturelles entre familles. En effet, dans l'exemple précédent 13 espèces de Pomacentridés a l'air d'être une valeur forte par rapport à la valeur 8 des espèces de Siganidés. Mais en fait, si l'on considère que ces dernières ne peuvent pas dépasser 10 sur notre aire de surveillance et même 12 pour le lagon calédonien tout entier, alors que les Pomacentridés sont 55 sur cette aire de surveillance et 93 sur l'ensemble du lagon, il apparaît alors que les Siganidés sont mieux représentés que les Pomacentridés... ce qui est correctement traduit par la nouvelle variable.

2° - Elle réduit considérablement le nombre de zéros et de valeurs faibles (i.e. < 5), et écarte ainsi le risque d'avoir une matrice de données dégénérée.

3° - Elle procure des valeurs indépendantes qui peuvent donc être traitées par des tests statistiques.

- Un quatrième tableau reprend **l'historique de l'ensemble des données quantitatives**, auquel fait suite leurs **représentations graphiques**.



4 Résultats bruts par station

4.1 Station 01 = Casy

Localisation géographique	Sud du platier de l'îlot Casy. Attention, la bouée de balisage de réserve (croix jaune) a été déplacée en raison d'un élargissement de la zone de réserve. La station biologique n'est plus localisable grâce à ce repère.
Nombre transects	2 transects positionnés sur la pente sédimentaire proche du platier (pente très douce). La pente est trop faible pour pouvoir installer un troisième transect (à 20 m de profondeur) à une distance raisonnable.
Description transects	Sont installés à une cinquantaine de mètres l'un de l'autre afin d'atteindre une profondeur de 7 et 10 mètres avec une orientation sud-est / nord-ouest.
	Une colonie de <i>Lobophyllia corymbosa</i> , de 2 m de diamètre, sert de point de repérage pour la fin du transect A.

Description générale

La pente douce récifale est constituée de sable coquillé sur lequel repose de nombreux massifs coralliens ainsi que de nombreux débris. Les organismes benthiques colonisent préférentiellement ce substrat dur. Les alcyonaires du genre *Sarcophyton* sont particulièrement bien développés et les algues brunes *Sargassum* spp. peuvent être présentes sur le transect B.

Cette station se caractérise par un recouvrement important en algues brunes (*Lobophora variegata*, *Sargassum*, *Distromium*, *Dictyota* et quelques *Padina*). Les macrophytes se distribuent sur du sable coquillé et sur des petits massifs coralliens répartis de manière hétérogène. Les alcyonaires occupent également une part importante du recouvrement (principalement *Sarcophyton*, *Sinularia* et *Lobophytum* et dans une moindre mesure *Dendronephthya*).

La taille des colonies coralliennes scléractiniaires reste de taille décimétrique (*Pocillopora damicornis*, *Barabattoia amicornum*, *Galaxea fascicularis*, *Acanthastrea echinata*, *Goniastrea* cf. *pectinata*). Seuls les genres *Acropora* de forme tabulaire et une colonie de *Lobophyllia corymbosa* réussissent à s'édifier et dépasser la taille métrique. La richesse spécifique et le recouvrement corallien sont relativement faibles en B (pente sédimentaire sableuse, manque de substrats durs).

Par ailleurs, de nombreuses colonies coralliennes juvéniles s'édifient sur les massifs et même sur les piquets des transects.

Caractéristiques principales

- ↪ Etude de croissance de 7 colonies de *Pocillopora damicornis* colonisant les piquets du transect A d'octobre 2008 à novembre 2016. En novembre 2016, il reste 5 colonies : colonies B et G mortes suite aux anomalies de températures dues à el Niño du début d'année. La croissance diminue avec le temps, cependant elle n'est pas linéaire durant l'année (saisonnalité) et les périodes hivernales sont plus favorables au développement de l'exosquelette carbonaté
- ↪ Régression de la maladie de la bande blanche qui affectait de nombreuses colonies d'*Acropora* tabulaires au transect A
- ↪ Recouvrement corallien faible au transect B
- ↪ Sédimentation importante (la faune et flore sont adaptées à cette contrainte)
- ↪ Les colonies coralliennes sont majoritairement de petites tailles (hyper sédimentation et turn over important)
- ↪ Recouvrement des alcyonaires très important (particulièrement le genre *Sarcophyton*)
- ↪ Compétition spatiale entre les alcyonaires, les éponges encroûtantes et les coraux
- ↪ Recouvrement modéré des éponges encroûtantes (*Cliona*)
- ↪ Richesse spécifique importante des macrophytes et des alcyonaires
- ↪ Présence des algues brunes *Sargassum* spp. (selon les saisons)
- ↪ Prolifération d'*Acanthaster planci* en 2017 aux transects A et B, (présence d'1 seul spécimen en novembre 2016 en A). Légère baisse mais toujours présence en A en 2018





Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 1% au transect A et 1.5% en B
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0.15% ; Avril 2016 : 2.6% ; Novembre 2016 : 0.6% ; Avril 2017 : 1.9% ; Septembre 2017 : 2.5% (lié à *Acanthaster planci*) ; Mai 2018 : 0.6% (lié à *Acanthaster planci*)*

De nombreuses colonies coralliennes sont mortes en place (partiellement ou entièrement) suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, à la maladie de la bande blanche et à la prolifération d'*Acanthaster* (depuis novembre 2016)

- Lésions coralliennes : les colonies blanchies (en A : 1.2 m²) sont mortes en place et sans polype. Elles ont été dévorées par les *Acanthaster planci* (7 spécimens)

Absence de la maladie de la bande blanche. En fait, si cette maladie est présente elle ne pourrait pas être recensée car les *Acanthaster* mangent préférentiellement les *Acropora* tabulaires

- Perturbations sédimentaires : RAS pour cette mission, absence de dépôt sédimentaire sur les colonies coralliennes

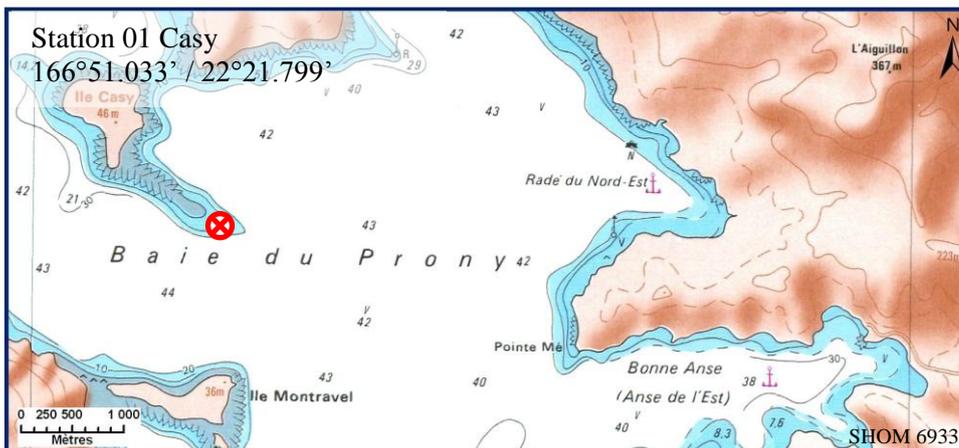
Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : recouvrement en baisse en A (niveau 3 à 2) et en hausse en B (niveau 0 à 2). Elles colonisent des colonies coralliennes mortes en place (*Acropora* tabulaire et branchu)
- Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies coralliennes mortes en place au fur et à mesure de leur dégradation
- Algues brunes *Lobophora* : présence en A et B, le recouvrement est stable
- Algues rouges *Asparagopsis taxiformis* : absente
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

- Absence de *Culcita novaeguineae*
- Prolifération d'*Acanthaster planci* : 7 spécimens en A en mai 2018 (13 et 3 spécimens en A & B en septembre 2017 ; 12 spécimens en A en avril 2017 ; 1 seul spécimen en A en novembre 2016)
- Absence de *Drupella cornus*





Carte n°03 : Localisation de la station 01 (Casy)

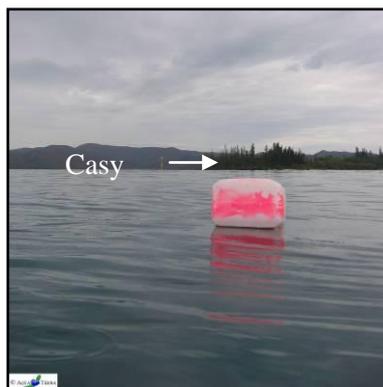


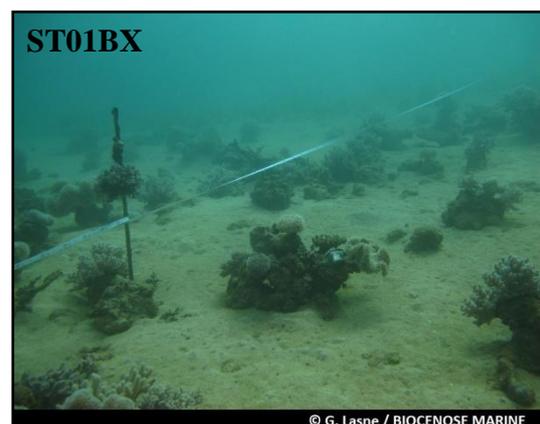
Photo n°07 : Position en surface par rapport à la pointe sud de l'îlot (ST01)



Pente sédimentaire avec nombreux massifs coralliens et alcyonaires



Très nombreuses colonies coralliennes mortes en place (polypes mangés par les *Acanthaster planci*)



Pente sédimentaire recouverte par *Sarcophyton* sp. et petits massifs coralliens dispersés

Photo n°08 : Vue d'ensemble des transects (ST01)

4.1.1 Le substrat (ST01)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 04](#) pour le transect A et dans la [figure 05](#) pour le transect B.

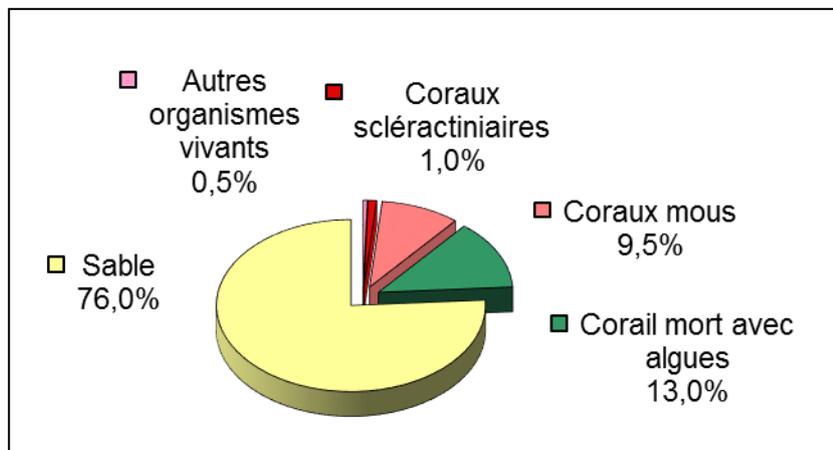


Figure n°04 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST01A

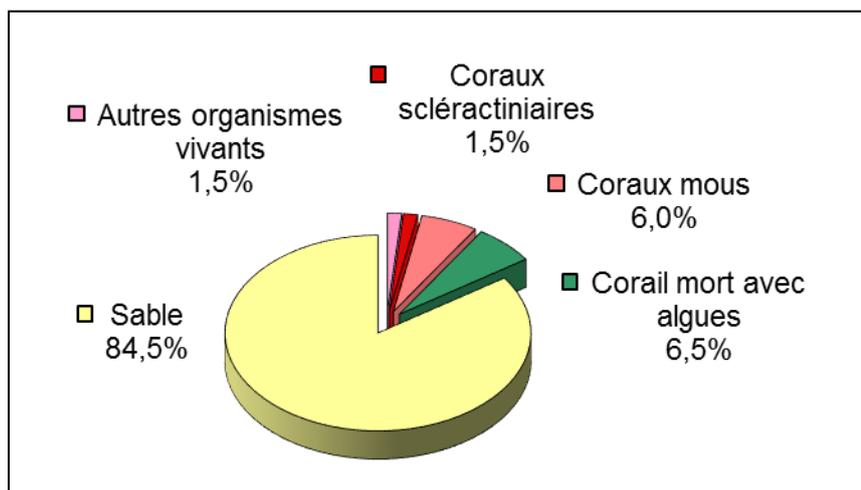


Figure n°05 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST01B

Le sable est prédominant avec respectivement 76% et de 84.5% de recouvrement pour les 2 transects.

Cela entraîne évidemment que le substrat est majoritairement abiotique sur cette station.

Pour cette mission, le recouvrement des coraux scléactiniaires continue à diminuer du fait des conséquences de la prolifération des *Acanthaster planci*. Le reste de la partie biotique est constituée essentiellement par des alcyonaires et la classe « coraux mort recouverts d'algues ».

Il faut noter que les sargasses (algues brunes qui étaient une caractéristique de cette station) disparues lors de la campagne d'octobre 2011 ne sont pas revenues.

A noter : Les cyanobactéries sont totalement absentes aux 2 transects depuis plus de 5 missions.

Les transects sont stables dans l'ensemble. Il faut cependant noter que le transect A est dégradé pour ce qui est du recouvrement en scléactiniaires depuis 4 missions (début de la baisse enregistrée en novembre 2016). Actuellement tous les coraux sont morts à part quelques rares *Pocillopora* sp. Cela est imputable à la présence de plusieurs *Acanthaster planci*.

4.1.2 Le benthos (ST01)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Casy (ST01) est composée de :

- **44 espèces d'invertébrés** dont 11 espèces de mollusques ; 8 espèces de cnidaires : alcyonaires (6 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 14 espèces d'échinodermes : astéries (4 taxons), échinides (4 taxons), holothurides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- **4 espèces de macrophytes** : algues vertes (3 taxons), algues brunes (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries**.

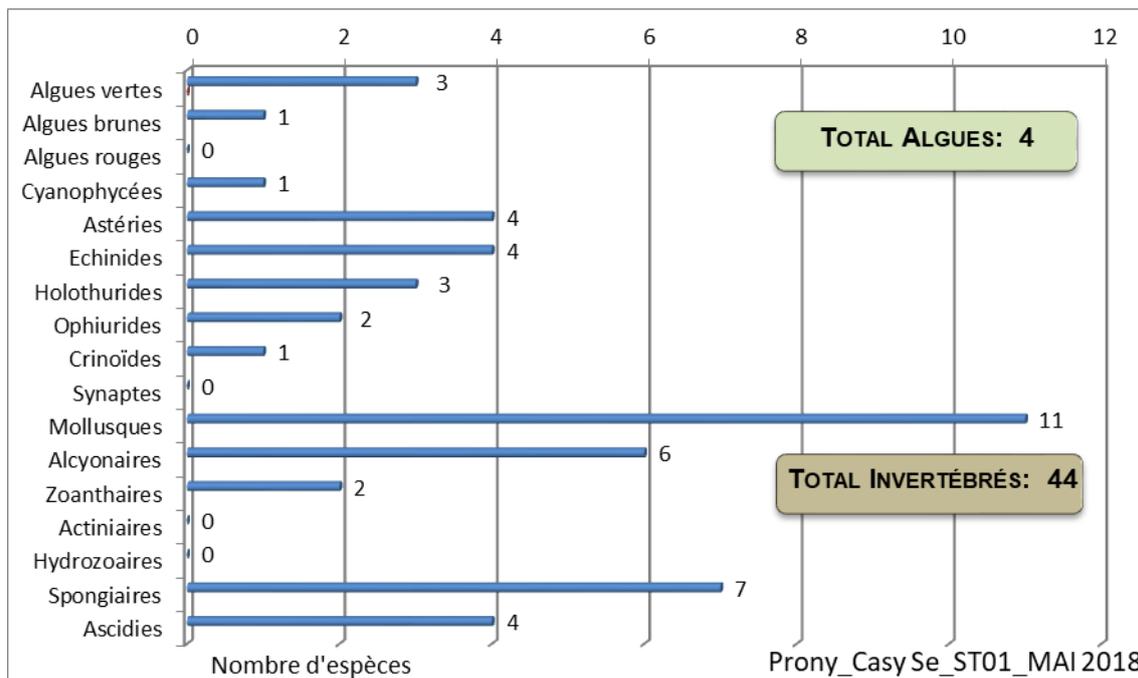


Figure n°06 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST01)



4.1.2.1 Benthos Transect 01 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST01A est composée de :

- 36 espèces d'invertébrés dont 8 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (5 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 12 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), échinides (3 taxons), holothurides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- 3 espèces de macrophytes : algues vertes (2 taxons), algues brunes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°11 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST01A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée Aucune espèce d'algues n'a disparue	Aucune espèce d'algues n'augmente Aucune espèce d'algues ne diminue
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cyanobactéries diminue d'abondance : • <i>Phormidium</i> sp. (A2/- 1).
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Xenia</i> sp. (A2).	Une espèce de cnidaires augmente d'abondance : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Nephthea</i> sp. (A3/+ 1).
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Fromia milleporrella</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Holothuria whitmaei</i> (A1). 2 espèces d'échinodermes disparues : ➤ pour les astéries (-1 espèce) : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A0/-1) ; ➤ pour les holothurides (-1 espèce) : • <i>Actinopyga lecanora</i> (A0/-1).	Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Acanthaster planci</i> (A2/- 1).
Mollusques	
2 espèces de mollusques disparues : ➤ pour les bivalves (-1 espèce) : • <i>Tridacna squamosa</i> (A0/-1) ; ➤ pour les gastéropodes (-1 espèce) : • <i>Strombus luhuanus</i> (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Dysidea herbacea</i> (A2).	Une espèce d'éponges augmente d'abondance : • <i>Spheciospongia vagabunda</i> (A3/+ 1).
Ascidies	
2 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Polycarpa nigricans</i> (A4), • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A2)	Une espèce d'ascidies augmente d'abondance : • <i>Polycarpa aurita</i> (A4/+ 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



4.1.2.2 Benthos Transect 01 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST01B est composée de :

- 38 espèces d'invertébrés dont 9 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (5 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 12 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), échinides (3 taxons), holothurides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 6 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- 4 espèces de macrophytes : algues vertes (3 taxons), algues brunes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°12 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST01B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
2 nouvelles espèces d'algues recensées, dont 2 espèces d'algues vertes : • <i>Codium</i> sp. (A2), • <i>Neomeris vanbosseae</i> (A2) ; Aucune espèce d'algues n'a disparue	Aucune espèce d'algues n'augmente. Une espèce d'algue diminue : l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (A1/- 1)
Cyanobactéries	
1 nouvelle espèce de cyanobactéries recensée : • <i>Phormidium</i> sp. (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
2 nouvelles espèces de cnidaires recensées : ➤ pour les alcyonaires (2 espèces) : • <i>Xenia</i> sp. (A2), • <i>Chironophthya</i> sp. (A1)	Une espèce de cnidaires diminue d'abondance : ➤ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Zoanthidae</i> ind.sp. (A1/- 1)
Echinodermes	
5 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les échinides (2 espèces) : • <i>Diadema setosum</i> (A1), • <i>Echinostrephus aciculatus</i> (A2) ; ➤ pour les holothurides (2 espèces) : • <i>Holothuria fuscopunctata</i> (A1), • <i>Holothuria whitmaei</i> (A1) ; ➤ pour les ophiurides (1 espèce) : • <i>Ophiomastix caryophyllata</i> (A2). 2 espèces d'échinodermes disparues : ➤ pour les astéries (-2 espèce) : • <i>Acanthaster planci</i> (A0/-2), • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A0/-1).	3 espèces d'échinodermes augmentent d'abondance : ➤ pour les astéries (2 espèces) : • <i>Fromia milleporrella</i> (A2/+ 1), • <i>Linckia multifora</i> (A2/+ 1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Holothuria edulis</i> (A2/+ 1). Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Nardoa gomophia</i> (A1/- 1).
Mollusques	
2 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Pinna</i> sp. (A1) ; ➤ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Astraea rhodostoma</i> (A1)	2 espèces de mollusques augmentent d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Pedum spondyloideum</i> (A3/+ 1) ; ➤ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Strombus luhuanus</i> (A3/+ 1)
Eponges	
2 nouvelles espèces d'éponges recensées : •Spongiaires ind. (noire) (A2) • <i>Clathria rugosa</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
<input checked="" type="checkbox"/>	3 espèces d'ascidies augmentent d'abondance : • <i>Polycarpa aurita</i> (A3/+ 1), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A4/+ 2), • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A2/+ 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.1.3 Les poissons (ST01)

La liste des espèces observées⁴ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 13](#).

Tableau n°13 : Données sur les poissons (ST01)

Ilot Casy ST01		Transect			Transect			Station		
		A			B			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	2	0,03	3,28				1,00	0,02	1,64
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	1	0,02	1,13				0,50	0,01	0,56
Can	<i>Canthigaster valentini</i>	1	0,02	1,13				0,50	0,01	0,56
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	2	0,03	0,49				1,00	0,02	0,24
Cha	<i>Chaetodon bennetti</i>	3	0,05	0,73				1,50	0,03	0,36
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	2	0,08	0,57				1,00	0,04	0,29
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	2	0,03	0,23				1,00	0,02	0,11
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	4	0,07	2,30				2,00	0,03	1,15
Epi	<i>Anyperodon leucogrammicus</i>	1	0,02	1,13				0,50	0,01	0,56
Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>	1	0,02	1,13				0,50	0,01	0,56
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	3	0,03	54,58				1,50	0,02	27,29
Gob	<i>Amblygobius phalaena</i>	1	0,02	0,11	2	0,05	0,34	1,50	0,03	0,23
Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	2	0,03	1,15	1	0,03	0,86	1,50	0,03	1,01
Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	2	0,03	4,57				1,00	0,02	2,29
Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	6	0,10	1,46	3	0,08	0,51	4,50	0,09	0,99
Mic	<i>Ptereleotris evides</i>	4	0,07	2,30	4	0,10	0,43	4,00	0,08	1,37
Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	6	0,10	4,39	2	0,05	1,00	4,00	0,08	2,70
Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	3	0,05	0,13				1,50	0,03	0,06
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	4	0,07	0,17				2,00	0,03	0,08
Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>	7	0,12	0,29				3,50	0,06	0,15
Pom	<i>Chromis viridis</i>	20	0,33	0,18				10,00	0,17	0,09
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	5	0,08	0,05				2,50	0,04	0,02
Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>	10	0,17	0,21				5,00	0,08	0,11
Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>	10	0,17	0,09	10	0,25	0,04	10,00	0,21	0,07
Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>	20	0,33	0,18	15	0,38	0,06	17,50	0,35	0,12
Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>	25	0,42	0,23	20	0,50	0,08	22,50	0,46	0,15
Pom	<i>Pomacentrus coelestis</i>	2	0,08	0,05	5	0,13	0,02	3,50	0,10	0,03
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	3	0,05	0,06				1,50	0,03	0,03
Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>	4	0,07	1,33				2,00	0,03	0,67
Sca	<i>Scarus bleekeri</i>	2	0,03	13,12				1,00	0,02	6,56
Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>	5	0,08	8,19	2	0,05	0,73	3,50	0,07	4,46
Sca	<i>Scarus ghobban</i>	1	0,02	1,13				0,50	0,01	0,56
Sig	<i>Siganus doliatus</i>	2	0,03	1,83				1,00	0,02	0,91
Sig	<i>Siganus vulpinus</i>	3	0,05	1,33				1,50	0,03	0,67
Total		169	2,90	109,2	64	1,60	4,08	116,5	2,25	56,65
Biodiversité		34			10			34		
Indice de Shannon =		4,211								
Equitabilité =		0,828								

⁴ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)

Sur l'ensemble des transects de la station, 233 individus appartenant à 34 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 2.25 poissons/m² pour une biomasse de 56.65 g/m². 77 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 14](#)).

Tableau n°14 : Liste des espèces complémentaires (ST01)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Epi	<i>Epinephelus howlandi</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon curacao</i>
Aca	<i>Acanthurus mata</i>	Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon orbicularis</i>
Aca	<i>Acanthurus nigricans</i>	Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Pom	<i>Chromis retrofasciata</i>
Aca	<i>Naso unicornis</i>	Gob	<i>Amblygobius phalaena</i>	Pom	<i>Chromis viridis</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Anampses femininus</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Apo	<i>Apogon doederleini</i>	Lab	<i>Anampses neoguinaicus</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Apo	<i>Apogon fucata</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>
Apo	<i>Archamia leai</i>	Lab	<i>Coris batuensis</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>
Apo	<i>Cheilodipterus macrodon</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon melas</i>
Apo	<i>Cheilodipterus quinquelineatus</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopion</i>	Pom	<i>Pomacentrus adelus</i>
Apo	<i>Ostorhinchus aureus</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Pomacentrus amboinesis</i>
Bal	<i>Sufflamen fraenatus</i>	Lab	<i>Oxycheilinus celebicus</i>	Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>
Cae	<i>Caesio marri</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Pom	<i>Pomacentrus coelestis</i>
Can	<i>Canthigaster valentini</i>	Mic	<i>Gunnellichthys curiosus</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Mic	<i>Ptereleotris evides</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Cha	<i>Chaetodon bennetti</i>	Nem	<i>Pentapodus aureofasciatus</i>	Sca	<i>Scarus bleekeri</i>
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>
Cha	<i>Chaetodon melannotus</i>	Nem	<i>Scolopsis lineatus</i>	Sca	<i>Scarus ghobban</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Ost	<i>Ostracion cubicus</i>	Sca	<i>Scarus rivulatus</i>
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	Pin	<i>Parapercis clathrata</i>	Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	Pin	<i>Parapercis hexophthalma</i>	Sca	<i>Scarus spinus</i>
Cha	<i>Chaetodon vagabundus</i>	Pin	<i>Parapercis snyderi</i>	Sig	<i>Siganus doliatus</i>
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>
Cha	<i>Heniochus monoceros</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	Syn	<i>Synodus variegatus</i>
Epi	<i>Anyperodon leucogrammicus</i>	Pom	<i>Abudefduf whiteleyi</i>		

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 15](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 07](#).

Tableau n°15 : Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST01)

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	2	1,21	5,00	3,03
Chaetodontidae	30	5	1,63	16,67	5,43
Epinephelinae	26	3	1,32	11,54	5,08
Labridae	97	3	2,37	3,09	2,44
Lethrinidae	16	0	0,00	0,00	0,00
Lutjanidae	22	0	0,00	0,00	0,00
Mullidae	14	0	0,26	0,00	1,86



Pomacanthidae	14	2	0,47	14,29	3,36
Pomacentridae	92	9	5,42	9,78	5,89
Scaridae	23	4	1,42	17,39	6,17
Siganidae	10	2	0,47	20,00	4,70
Autres	257	4	2,54	1,56	0,99
Khi2 obs		5,7		38,9	
Khi2 tab				19,17	

Sous l'angle de vue des effectifs, les décomptes de mai 2018 ne diffèrent pas de la moyenne sur la période de suivi (2007-2017). A l'inverse, sous l'angle de vue des proportions, la structure observée n'est pas assimilable à la structure moyenne. Si toutes les missions de la série historique sont reprises, seuls les résultats des missions 2010 b, 2014 b et 2015 b se rapprochent de la moyenne avec une probabilité toutefois > à 85 %. Toutes les autres sont à des valeurs > 95% et diffèrent donc d'un résultat moyen (cf. [tableau](#) synoptique 113).

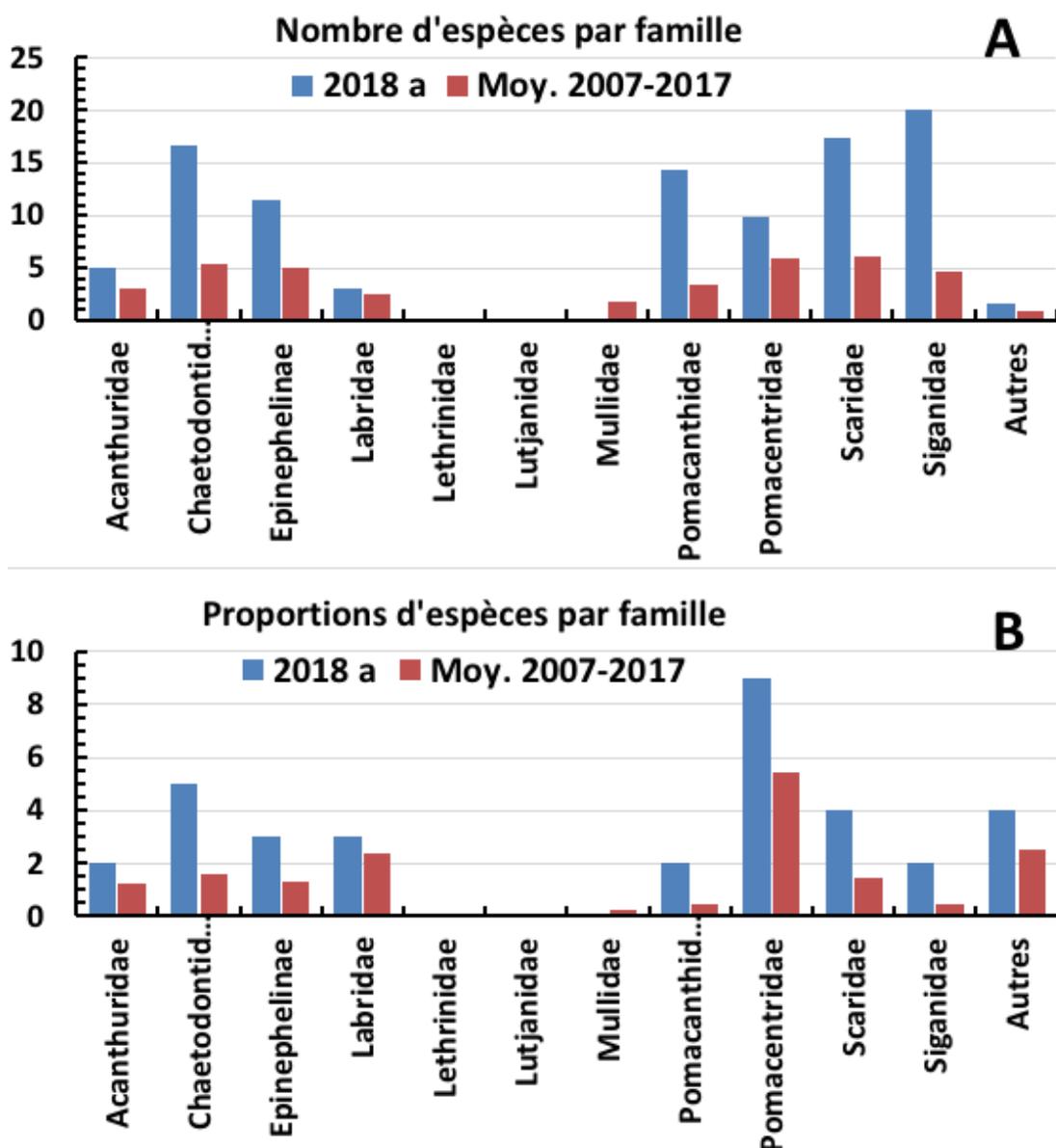


Figure n°07 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST01)



L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 16](#) et la [figure 08](#).

Tableau n°16 : *Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST01)*

Ilot Casy ST01		Liste restreinte				Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018 a	Transect A	169	2,90	109,22	29		
	Transect B	64	1,60	4,08	11		
	Moy. AB	116,50	2,25	56,65	34	50	77
2017 b	Moy. AB	115,50	1,28	29,91	31	46	82
2017 a	Moy. AB	136,00	2,27	12,04	24	47	75
2016 b	Moy. AB	135,50	0,90	11,57	287	44	8
2016 a	Moy. AB	159,00	1,47	21,76	20	44	76
2015 b	Moy. AB	116,50	1,50	5,17	19	50	73
2015 a	Moy. AB	147,50	1,75	30,37	30	46	76
2014 b	Moy. AB	74,50	0,85	21,61	21	41	75
2014 a	Moy. AB	76,0	0,60	20,21	20	43	72
2013 b	Moy. AB	49,00	0,56	2,43	9	21	39
2013 a	Moy. AB	98,00	1,09	26,75	18	33	58
2012 b	Moy. AB	67,00	0,80	2,70	12	24	49
2012 a	Moy. AB	26,50	0,33	0,82	8	35	55
2011 b	Moy. AB	27,00	0,36	3,97	13	27	37
2011 a	Moy. AB	23,50	0,30	1,01	12	25	37
2010 b	Moy. AB	21	0,33	2,30	11	35	55
2010 a	Moy. AB	18,50	0,93	5,79	13	43	66
2009	Moy. AB	21,00	3,50	13,08	11	28	56
2008	Moy. AB	15,50	0,87	6,68	9	17	47
2007	Moy. AB	17,30	2,63	14,86	16	21	34

L'écart relatif à la moyenne [$Er_i = (X_i - X_m) / X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 17](#) et représentation [figure 09](#).

Tableau n°17 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST01)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	2 621,7	0,7	102,0	51,1	109,6	256,8
Ecart type	51,2	0,9	10,1	7,2	10,5	16,0
Moyenne	70,8	1,2	12,3	17,2	35,2	59,9
Coef. de Var.	0,7	0,7	0,8	0,4	0,3	0,3

Commentaires :

- La valeur de la biodiversité est stable depuis plus de 4 ans.
- Le nombre d'espèces de la liste DENV et présentes sur les transects ne représentent que le 3/8 des espèces totales.
- La plupart des espèces sont représentées par des juvéniles.
- La biomasse dépasse de beaucoup le précédent maximum de 2015 a.
- Le nombre d'espèces de Chaetodontidae est toujours élevé.
- Cette station longtemps pauvre, présente depuis mars 2014 des valeurs plutôt fortes notamment en ce qui concerne la biodiversité et tous les paramètres ont des valeurs supérieures à la moyenne.
- L'augmentation sensible du paramètre « nombre d'individus. » vient en partie des Pomacentridae qui se sont installés dans les nouveaux madrépores apparus sur les piquets des transects.
- Au cours des missions successives, les valeurs des paramètres du nombre d'individus, densité et biomasse présentent des écarts à la moyenne importants : plus de 150 %. Et elles dépassent 200 % pour la densité, tandis que les paramètres de biodiversité sont plus stables, notamment la biodiversité 3, surtout depuis 2014.

Toutefois, si le chiffre qui mesure la biodiversité semble stable, la structure de cette biodiversité ne l'est pas. Nous avons déjà montré dans les précédents rapports qu'un grand nombre d'espèces disparaissaient des listes au profit d'autres, puis revenaient dans les comptages plusieurs missions plus tard. L'analyse de la structure du peuplement (i.e., nombre vu par rapport au nombre possible cf. [tableau 15](#)) montre que très peu de missions se ressemblent en structure, seules les missions 2010 b, 2014 b et 2015 b sur cette station s'accordent avec la distribution moyenne. Les autres sont distinctes entre-elles et significativement distinctes de la structure moyenne (cf. [tableau synoptique 113](#)).

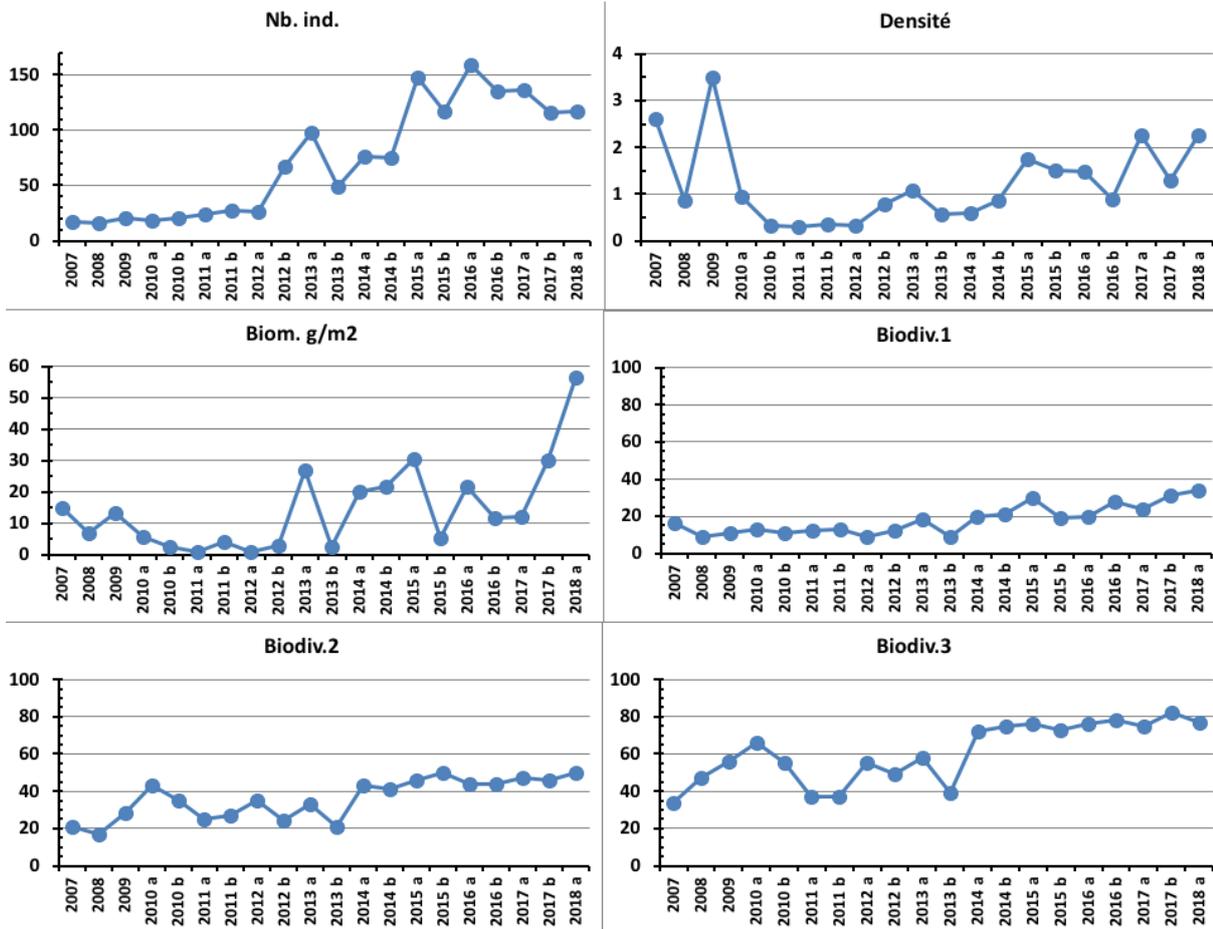


Figure n°08 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST01)

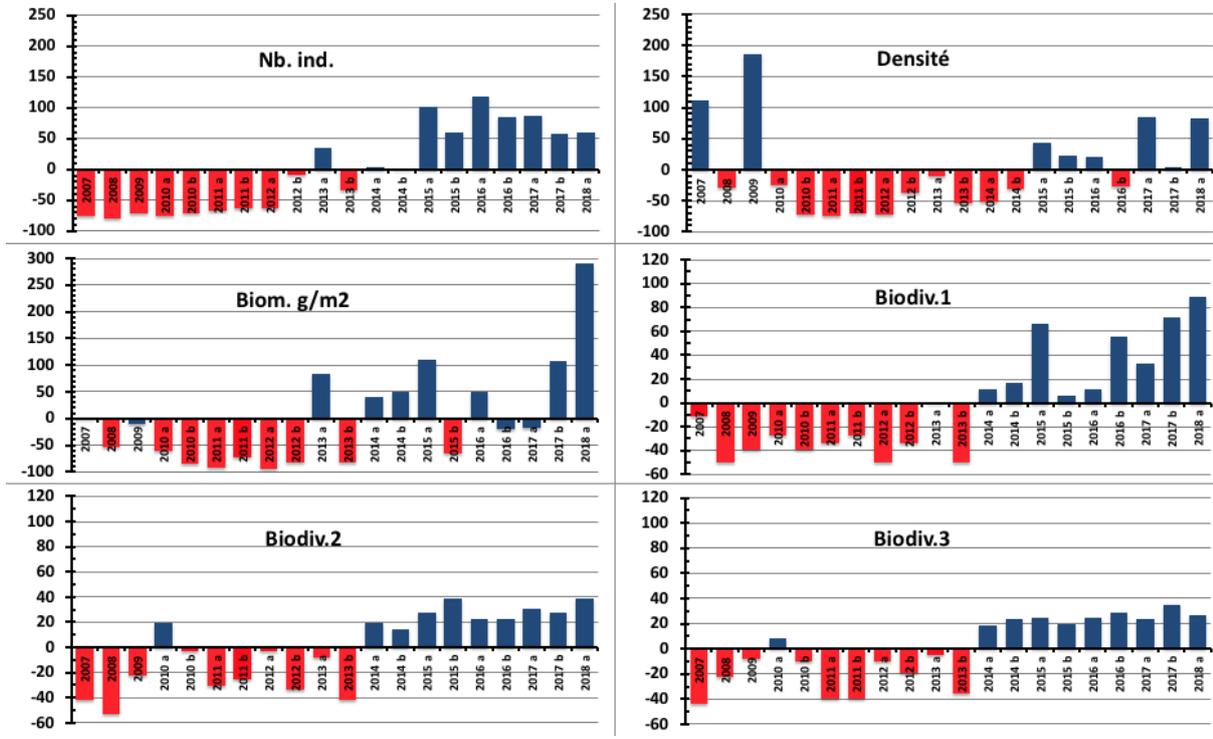


Figure n°09 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST01)



4.2 Station 02 = Creek baie nord

Localisation géographique	Au sud de l'embouchure du creek de la Baie nord, à proximité d'un petit récif (langue récifale), face à un amas rocheux sur la plage (photographie 09).
Nombre transects	2 transects.
Description transects	Ils ont été installés à 10 et 12 mètres de profondeur, avec une orientation du sud vers le nord.

Description générale

Cette station est originale par l'importance de la richesse spécifique corallienne, la rareté des espèces coralliennes qui lui sont inféodées et par une multitude d'alcyonaires recouvrant le substratum (particulièrement le genre *Sarcophyton*). Les espèces benthiques vivant dans ce biotope sont adaptées aux conditions de turbidité soutenues et à un taux de sédimentation important (elles développent différentes stratégies d'adaptation pour s'édifier et survivre : peu demandeuses de lumière, grands polypes, sécrétion de mucus et/ou croissance rapide).

Caractéristiques principales

- ↪ Richesse spécifique importante des coraux (la plus importante de toutes les stations de suivi environnemental de la baie de Prony)
- ↪ Le recouvrement corallien du transect A est particulièrement représenté par des grands massifs de coraux branchus (*Acropora* et *Anacropora*) et celui du transect B est plutôt constitué de petites colonies éparpillées sur les blocs coralliens
- ↪ Les colonies d'*Acropora* et *Anacropora* au transect A forment de grands massifs plurimétriques de plus en plus denses (croissance importante)
- ↪ Recouvrement important des alcyonaires sur l'ensemble de la zone (*Sarcophyton*)
- ↪ Hyper sédimentation : les petites colonies coralliennes ont tendance à s'envaser mais les espèces sont adaptées à ce milieu
- ↪ Originalité des espèces coralliennes adaptées à un milieu turbide et à la faible pénétration de la lumière dans l'eau par une croissance rapide, la sécrétion de mucus et/ou de grands polypes pour se dégager de la sédimentation
- ↪ Compétition spatiale importante entre les alcyonaires, les algues vertes/brunes et les coraux

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 25.5% au transect A et 28.5% en B
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0.23% ; Avril 2016 : 3.35% ; Novembre 2016 : 0.15% ; Avril 2017 : 0.35% ; Septembre 2017 : 0% ; Mai 2018 : 0.4%*
- Lésions coralliennes : une colonie affectée par la bande blanche (*Montipora*), quelques tches noires (hypermycose endolithique) induites ponctuellement par la sédimentation et quelques colonies sont dégradées partiellement par la sédimentation en B
- Perturbations sédimentaires : fine couche sédimentaire sur les colonies coralliennes dégradées partiellement en B (*Acropora* spp. (branchu), *Merulina ampliata*, *Porites* et *Coscinaraea columna*)

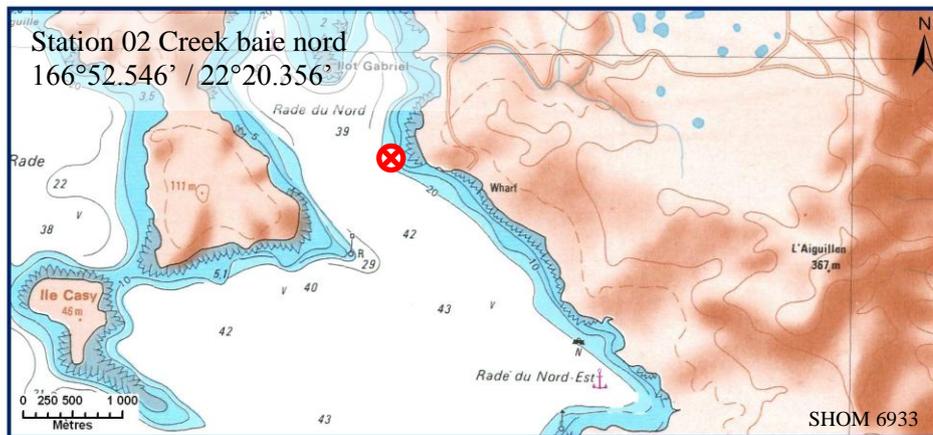
Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : recouvrement en hausse pour A & B (niveau 1 à 2). Elles se développent sur les algues vertes *Halimeda* qui sont entremêlées dans les colonies d'*Acropora* branchus
- Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens
- Algue brune *Lobophora* : le recouvrement est stable : il est important en A (niveau 4) et modéré en B (niveau 3) → caractère envahissant potentiel
- Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* : absente
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable



**Les corallivores :**

- Absence des *Culcita novaeguineae*
- Présence de 2 *Acanthaster planci* en A en mai 2018
- Absence de *Drupella cornus*



Carte n°04 : Localisation de la station 02 (Creek baie nord)



Photo n°09 : Position en surface par rapport à la côte (ST02)

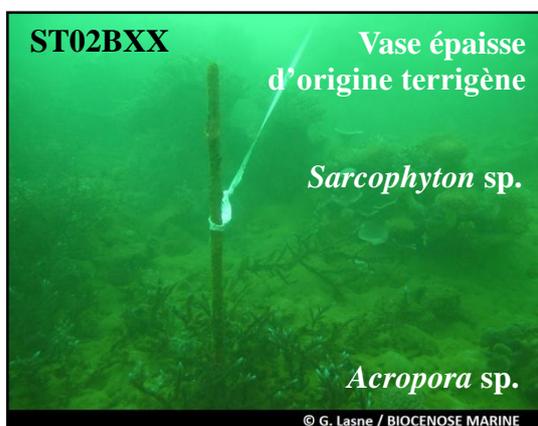


Photo n°10 : Vue d'ensemble des transects (ST02)

4.2.1 Le substrat (ST02)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 10](#) pour le transect A et dans la [figure 11](#) pour le transect B.

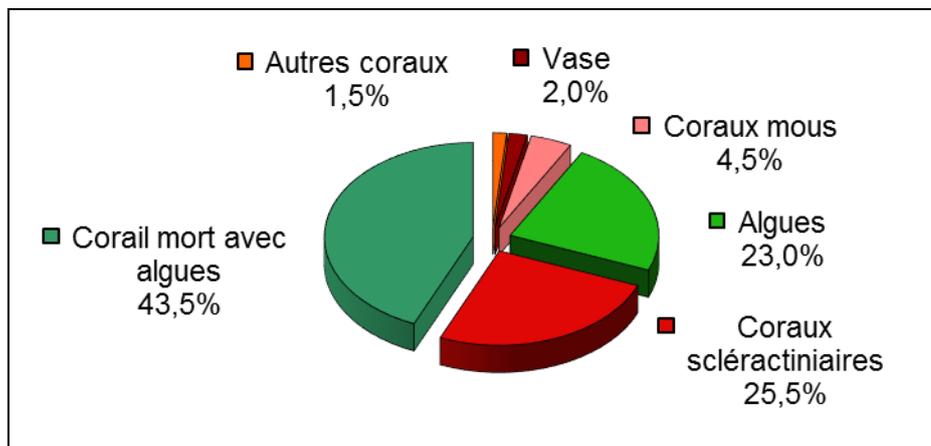


Figure n°10 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST02A*

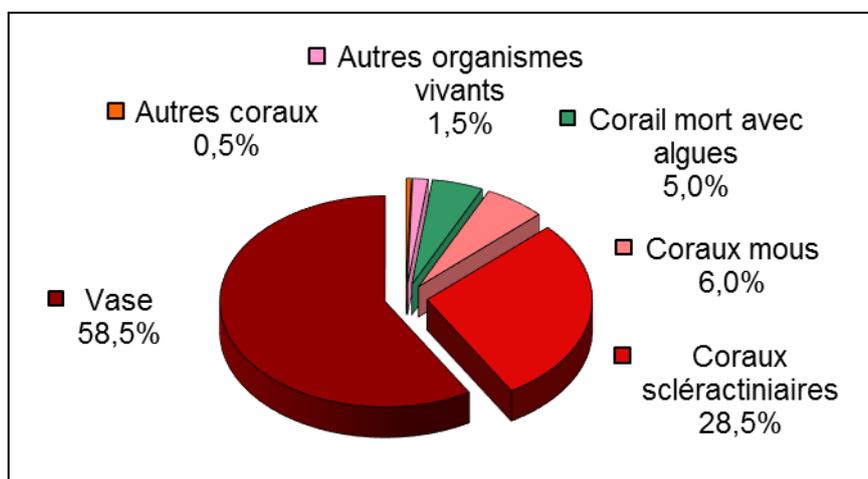


Figure n°11 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST02B*

Le transect A est caractérisé par un substrat fortement biotique (98%). **Les dégradations enregistrées lors de la mission de début d'année 2016 ont cessé.** Le recouvrement des coraux scléactiniaires reste bas, mais stable ; la mortalité a stoppé et il n'y a plus de blanchissement. Par ailleurs, les cyanobactéries sont toujours absentes. Le substrat au transect B est aussi majoritairement abiotique (58.5%), avec cependant 28.5% de coraux scléactiniaires, sur un fond de vase.

Historiquement, le recouvrement est globalement stable (avec des fluctuations saisonnières des algues en A).

Les missions de 2016 avaient permis d'observer sur les 2 transects une mortalité élevée des coraux accompagnée d'un développement important des cyanobactéries. L'absence d'indicateur de mauvais état de santé et des taux de recouvrement des scléactiniaires stables pour cette mission à nouveau (voire en légère augmentation en B) confirme que les dégradations sont terminées.

4.2.2 Le benthos (ST02)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en [annexe 04](#).

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Creek baie nord (ST02) est composée de :

- **43 espèces d'invertébrés** dont 13 espèces de mollusques ; 9 espèces de cnidaires : alcyonaires (7 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 11 espèces d'échinodermes : astéries (4 taxons), échinides (2 taxons), holothurides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- **5 espèces de macrophytes** : algues brunes (2 taxons), algues vertes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries**.

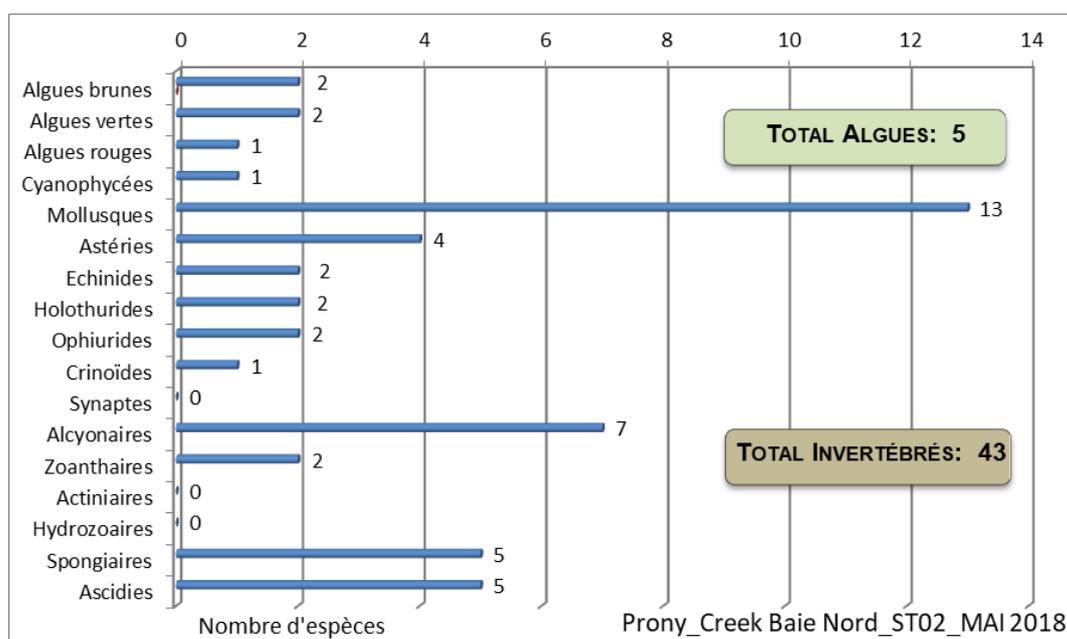


Figure n°12 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST02)

4.2.2.1 Benthos Transect 02 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST02A est composée de :

- 36 espèces d'invertébrés dont 9 espèces de mollusques ; 8 espèces de cnidaires : alcyonaires (7 taxons), zoanthaires (1 taxon) ; 9 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), échinides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- 5 espèces de macrophytes : algues brunes (2 taxons), algues vertes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°18 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST02A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. Une espèce d'algue disparue, l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (2spp./-1spp., A5/-0).	Aucune espèce d'algues n'augmente ni ne diminue
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cyanobactéries augmente d'abondance : • <i>Phormidium</i> sp. (A2/+ 1).
Cnidaires	
Une espèce de cnidaires disparue : ➤ pour les zoanthaires (-1 espèce) : • <i>Zoanthidae</i> ind.sp. (A0/-2).	2 espèces de cnidaires augmentent d'abondance : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Nephthea</i> sp. (A2/+ 1) ; ➤ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Palythoa tuberculosa</i> (A2/+ 1).
Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (3 espèces) : • <i>Acanthaster planci</i> (A2), • <i>Celerina heffernani</i> (A1), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
Une nouvelle espèce de mollusques recensée : ➤ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Lambis lambis</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
1 nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Clathria rugosa</i> (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
2 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Citorclinum laboutei</i> (A1), • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A1)	Une espèce d'ascidies augmente d'abondance : • <i>Polycarpa nigricans</i> (A3/+ 1)
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.2.2.2 Benthos Transect 02 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST02B est composée de :

- 32 espèces d'invertébrés dont 9 espèces de mollusques ; 6 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 8 espèces d'échinodermes : astéries (2 taxons), holothurides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), échinides (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- 4 espèces de macrophytes : algues brunes (2 taxons), algues rouges (1 taxon), algues vertes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°19 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST02B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. Une espèce d'algue disparue, l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (1 spp./-1 spp., A2/-0)	Aucune espèce d'algues n'augmente. 1 espèce d'algue diminue, l'algue brune : • <i>Dictyota</i> sp. (A2/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cyanobactéries augmente d'abondance : • <i>Phormidium</i> sp. (A2/+ 1).
Cnidaires	
2 nouvelles espèces de cnidaires recensées : ➢ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Chironophthya</i> sp. (A1) ; ➢ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Palythoa tuberculosa</i> (A2).	2 espèces de cnidaires diminuent d'abondance : ➢ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Simularia dura</i> (A3/- 1) ; ➢ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Zoanthidae</i> ind.sp. (A1/- 1)
Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➢ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1) ; ➢ pour les crinoïdes (1 espèce) : •Crinoïdes ind. (A2) ; ➢ pour les échinides (1 espèce) : • <i>Diadema setosum</i> (A2). Une espèce d'échinodermes disparue : ➢ pour les échinides (-1 sp) : • <i>Echinometrix diadema</i> (A0/-1)	Une espèce d'échinodermes augmente d'abondance : ➢ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Nardoa gomophia</i> (A2/+ 1). 2 espèces d'échinodermes diminuent d'abondance : ➢ pour les holothurides (2 espèces) : • <i>Holothuria edulis</i> (A2/- 1), • <i>Holothuria flavomaculata</i> (A2/- 1).
Mollusques	
4 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➢ pour les bivalves (2 espèces) : • <i>Pteria</i> sp. (A1), • <i>Tridacna squamosa</i> (A1) ; ➢ pour les gastéropodes (2 espèces) : • <i>Conus miles</i> (A1), • <i>Lambis scorpius</i> (A1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
2 nouvelles espèces d'éponges recensées : •Spongiaires ind. (noire) (A2), • <i>Clathria rugosa</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
<input checked="" type="checkbox"/>	3 espèces d'ascidies augmentent d'abondance : • <i>Polycarpa cryptocarpa</i> (A2/+ 1), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A3/+ 1), • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A2/+ 1)
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.2.3 Les poissons (ST02)

La liste des espèces observées⁵ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 20](#).

Tableau n°20 : Données sur les poissons (ST02)

Creek baie nord ST02		Transect			Transect			Station		
		A			B			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>				1	0,03	0,26	0,50	0,01	0,13
Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>	5	0,13	0,31	3	0,08	0,19	4,00	0,10	0,25
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	2	0,05	0,027	3	0,08	0,04	2,50	0,06	0,03
Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>				4	0,10	0,05	2,00	0,05	0,03
Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>	20	0,50	0,27	12	0,30	0,16	16,00	0,40	0,22
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	6	0,15	0,08				3,00	0,08	0,04
Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>	3	0,08	1,50				1,50	0,04	0,75
Total		36	0,90	2,19	23	0,58	0,70	29,50	0,74	1,45
Biodiversité		5			5			7		
Indice de Shannon =		2,088								
Equitabilité =		0,744								

Sur l'ensemble des transects de la station, 59 individus appartenant à 7 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 0.74 poisson/m² pour une biomasse de 1.45 g/m².

30 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 21](#)).

Tableau n°21 : Liste des espèces complémentaires (ST02)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Hol	<i>Myripristis kuntee</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Apo	<i>Cheilodipterus macrodon</i>	Lab	<i>Choerodon fasciatus</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Cha	<i>Chaetodon flaviviridis</i>	Lab	<i>Coris gaimard</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon melas</i>
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	Lab	<i>Epibulus insidiator</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon nigroris</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Lab	<i>Labropsis australis</i>	Pom	<i>Neopomacentrus azyron</i>
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>
Epi	<i>Anyperodon leucogrammicus</i>	Lut	<i>Lutjanus ehrenbergii</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>	Mic	<i>Gunnellichthys viridescens</i>	Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>
Gra	<i>Diploprion bifasciatum</i>	Ple	<i>Assessor macneilli</i>	Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>
Hae	<i>Plectorhinchus lessonii</i>	Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 22](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 13](#).

Sous l'angle de vue des effectifs, les décomptes de mai 2018 ne diffèrent pas de la moyenne sur la période de suivi (2007-2017). (Il faut toutefois reconnaître que les effectifs observés se prêtent mal à une telle analyse). A l'inverse, sous l'angle de vue des proportions la structure observée n'est pas assimilable à la structure moyenne. Si toutes les missions de la série historique sont reprises, aucune d'elles ne peut être rapprochée d'une autre. Toutes présentent une valeur de K_{hi}^2 , établi par rapport à la moyenne, considérablement supérieure à la valeur tabulée à 95% (cf. [tableau](#) synoptique 113).

⁵ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)

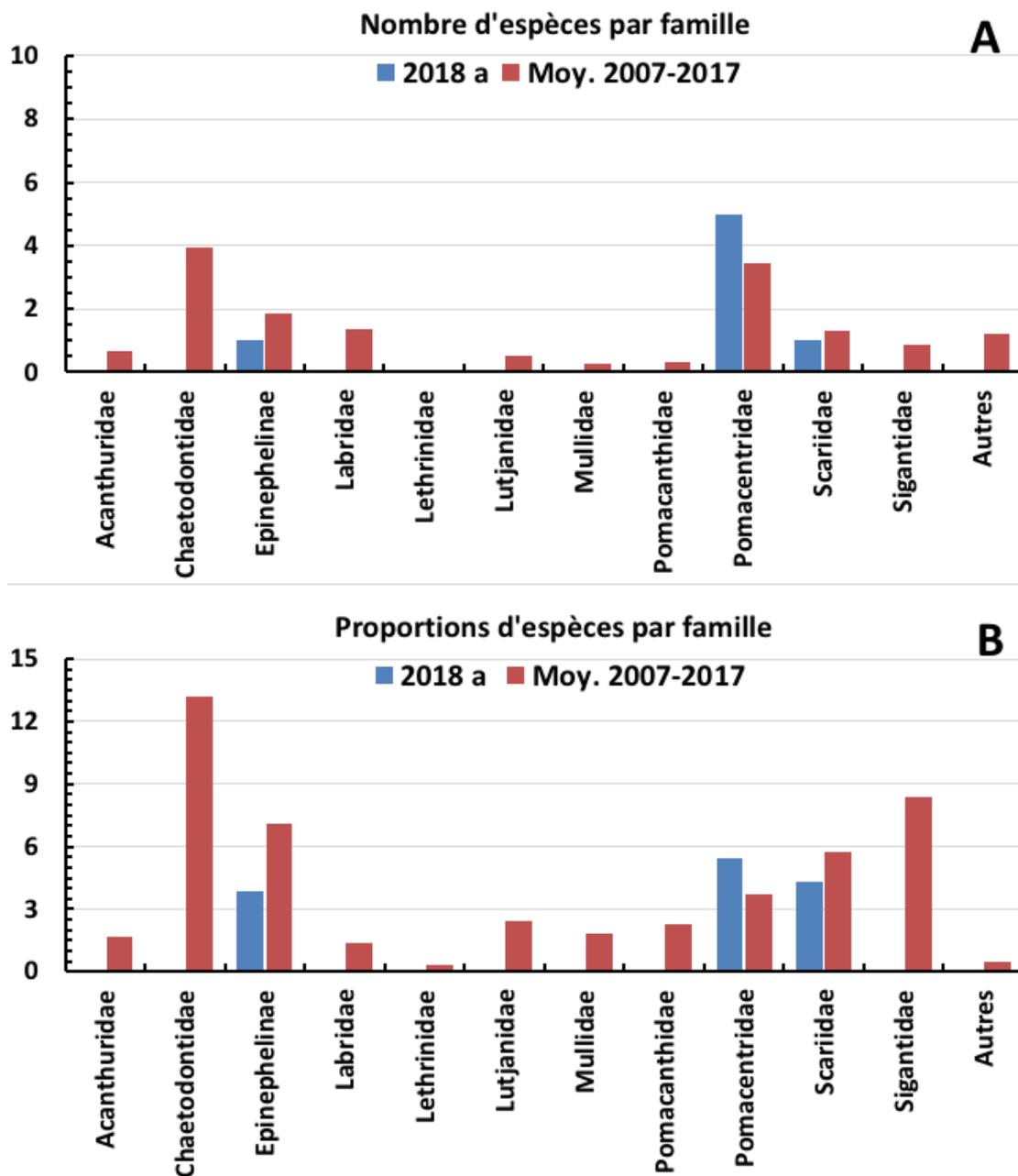


Figure n°13 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST02)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Tableau n°22 : *Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST02)*

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	0	0,68	0,00	1,70
Chaetodontidae	30	0	3,95	0,00	13,17
Epinephelinae	26	1	1,84	3,85	7,08
Labridae	97	0	1,37	0,00	1,41
Lethrinidae	16	0	0,05	0,00	0,31
Lutjanidae	22	0	0,53	0,00	2,41
Mullidae	14	0	0,26	0,00	1,86
Pomacanthidae	14	0	0,32	0,00	2,29
Pomacentridae	92	5	3,42	5,43	3,72
Scaridae	23	1	1,32	4,35	5,74
Siganidae	10	0	0,84	0,00	8,40
Autres	257	0	1,21	0,00	0,47
Khi2 obs		12,1		87,4	
Khi2 tab		19,17			

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 23](#) et la [figure 14](#).

Tableau n°23 : *Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST02)*

Creek baie nord ST02		Liste DENV					Toutes espèces
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018	Transect A	36	0,90	2,19	5		
	Transect B	23	0,58	0,70	5		
	Moy. AB	29,50	0,74	1,45	7	19	30
2017 b	Moy. AB	51,50	0,43	4,29	14	44	72
2017 a	Moy. AB	88,50	0,98	15,73	20	30	53
2016 b	Moy. AB	84,5	0,74	6,62	22	43	66
2016 a	Moy. AB	116,00	0,89	39,32	20	41	63
2015 b	Moy. AB	88,00	1,03	20,65	17	45	70
2015 a	Moy. AB	108,00	1,06	45,06	30	45	69
2014 b	Moy. AB	292,50	6,17	71,48	27	40	69
2014 a	Moy. AB	57,00	0,71	3,59	10	39	54
2013 b	Moy. AB	103,00	1,14	21,17	29	45	61



2013 a	Moy. AB	152,50	1,91	45,07	8	49	68
2012 b	Moy. AB	88,50	1,36	20,09	16	36	51
2012 a	Moy. AB	89,00	1,10	23,17	14	41	52
2011 b	Moy. AB	134,00	1,18	100,16	16	38	54
2011 a	Moy. AB	35,50	0,45	56,40	13	27	38
2010 b	Moy. AB	45	1,41	4,23	8	39	51
2010 a	Moy. AB	33,50	1,68	6,71	10	33	47
2009	Moy. AB	29,50	1,49	6,73	9	13	34
2008	Moy. AB	35,50	1,76	26,05	12	19	30
2007	Moy. AB	33,50	1,12	5,46	6	23	33

L'écart relatif à la moyenne [$E_r_i = (X_i - X_m) / X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 24](#) et représentation [figure 15](#).

Tableau n°24 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST02)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	3 831,2	1,4	694,1	54,7	105,7	198,8
Ecart type	61,9	1,2	26,3	7,4	10,3	14,1
Moyenne	84,9	1,4	26,2	15,4	35,5	53,4
Coef. de Var.	0,7	0,9	1,0	0,5	0,3	0,3

Commentaires :

L'eau était extrêmement turbide.

- La plupart des espèces sont à l'état de juvéniles.
- Les paramètres DENV ont les valeurs les plus basses de la série historique.
- Les nombres d'espèces et d'individus sur les transects et ainsi que de familles sont à des valeurs très basses.
- Seuls les Poissons demoiselles sont correctement représentés.
- La diversité 1 est encore plus faible qu'en 2017 et la diversité totale (biodiversité 3) est au plus bas !
- La demoiselle *Pomacentrus aurifrons* constitue toujours l'essentiel du peuplement des transects et maintient artificiellement les valeurs des paramètres de densité et de nombre d'individus.

Sur un aussi faible nombre d'espèces, l'utilisation des tests statistiques pour cette station est critiquable. Toutefois, les observations, mission après mission, montrent des structures de peuplements très instables. Nous avons déjà montré qualitativement dans les précédents rapports qu'un grand nombre d'espèces disparaissent des listes au profit d'autres, puis réapparaissent dans les comptages plusieurs missions plus tard. Il y a des changements naturels profonds d'organisation de la B α . Sur cette station les écarts de structures sont considérables puisque certains K_{hi}^2 dépassent la valeur 100, voire même 1 150 pour la mission d'octobre 2015 (cf. [tableau synoptique 113](#)).

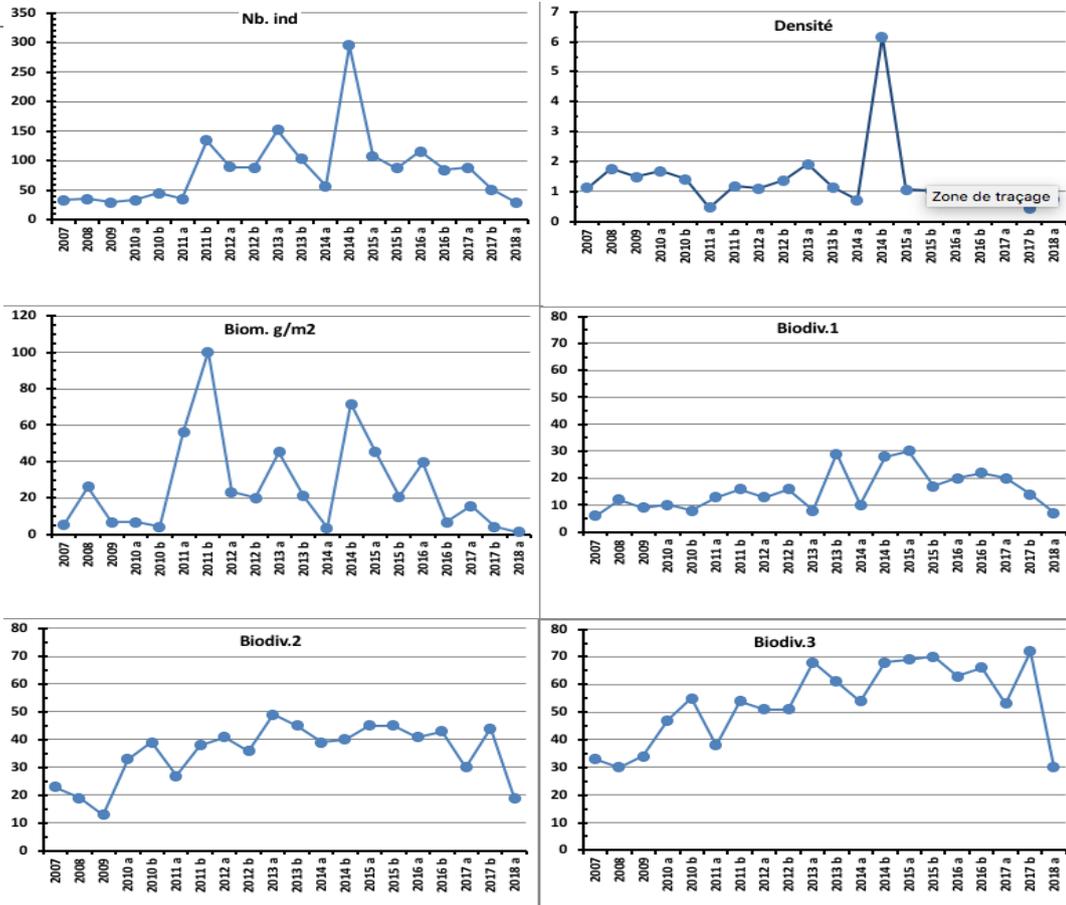


Figure n°14 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST02)

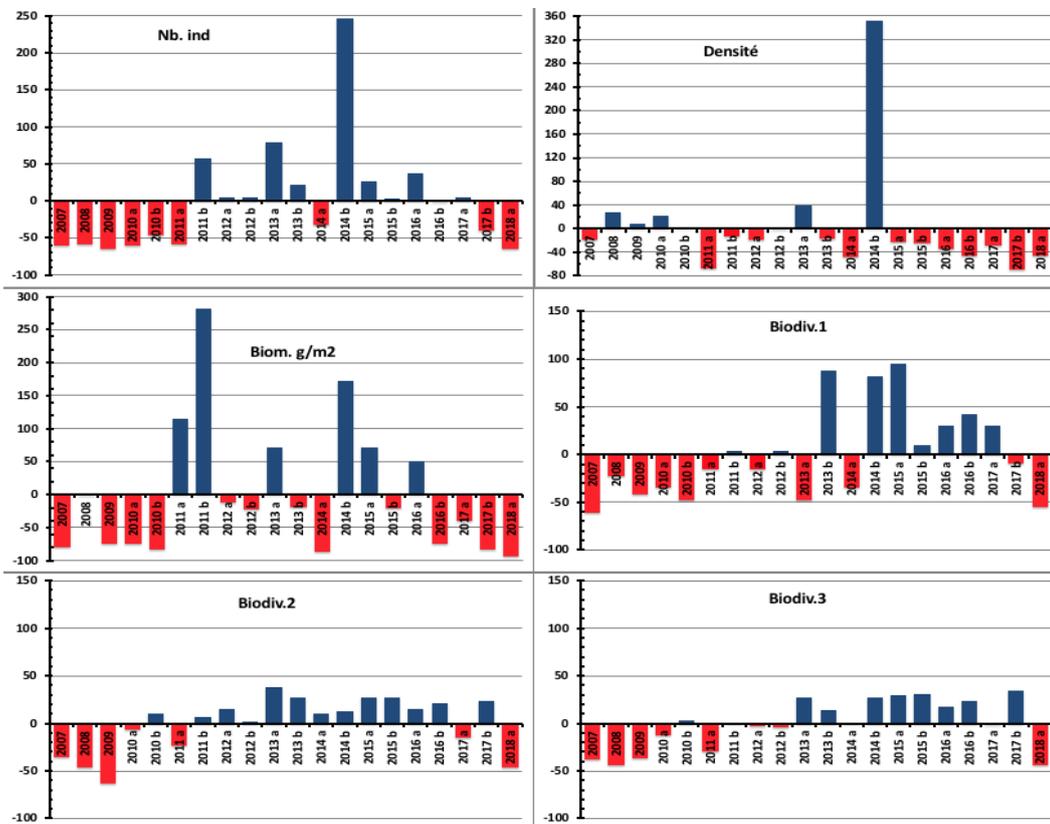


Figure n°15 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST02)



4.3 Station 03 = Port

Localisation géographique	Au sud-est des quais du projet Goro Nickel (à +/- 150 m au plus près). Un petit creek (visible sur la photographie aérienne de la carte 05) débouche sur la côte, légèrement à l'est.
Nombre transects	3 transects.
Description transects	Ils ont été installés perpendiculairement à la pente à 5, 10 et 13 mètres de profondeur, dans une direction est-ouest.
	Le sommet de la pente sédimentaire a une inclinaison faible (entre 10 et 15°) puis cette inclinaison augmente de manière importante (35° à 40°) pour les profondeurs avoisinant les 15 mètres. Le transect A est sur un substrat peu colonisé et composé de vase sableuse avec des débris coralliens. Le transect B est en milieu de pente récifale et il est composé principalement par des coraux branchus et des débris coralliens recouverts d'algues. Le transect C est situé en bas de pente et il est composé par de la vase d'origine terrigène et des petits massifs coralliens.

Description générale

Cette station est située sur la pente récifale bordant un petit récif frangeant relativement bien préservé, mais la zone est fortement envasée. Cette sédimentation provient des apports terrigènes qui sont charriés par les creek et les rivières autour de cette zone. Lors de précipitations de nombreuses particules terrestres sont entraînées par ruissellement dans les cours d'eau créant un panache turbide se répartissant dans la baie selon les courants. En surface la visibilité peut être réduite à cause de l'apport d'eau douce de la rivière et de résurgences avec des matières en suspension (halocline : masse d'eau douce sur masse d'eau salée).

Le haut de la pente récifale (entre 3 et 6 m de profondeur) est composé de vase sableuse sur laquelle se développent des massifs coralliens épars et des *Halimeda gigas*. Ces blocs coralliens sont dispersés de manière hétérogènes et sont recouverts principalement par des algues brunes et de petites colonies coralliennes. Puis, à partir de 6 m de profondeur jusqu'en bas de pente, la pente récifale devient plus inclinée et le dépôt sédimentaire est de plus en plus important avec la profondeur. Le développement corallien va être en relation avec ce facteur limitant :

→ Les coraux branchus et les coraux à longs polypes vont se développer préférentiellement.

Pour les coraux branchus, la croissance est plus rapide que l'envasement, les colonies ne sont jamais recouvertes. Pour les coraux à longs polypes, les colonies coralliennes peuvent se dégager des dépôts vaseux par l'intermédiaire de leurs longs polypes.

→ Les colonies vont être de plus en plus petites avec la profondeur : en bas de pente récifale les colonies coralliennes sont la plupart du temps de taille décimétrique et leur assemblage caractérise un milieu turbide.

Cette station est à surveiller car la proximité du port et les mouvements de gros bateaux peuvent occasionner une remobilisation des particules sédimentaires et un envasement plus conséquent des colonies coralliennes (pouvant entraîner des proliférations de cyanobactéries et la présence de *Culcita*, astérie corallivore).

Caractéristiques principales

- ↳ Originalité des espèces coralliennes adaptées à un milieu turbide :
 - Présence potentielle de *Heliofungia actiniformis* aux transects A & B
 - Présence d'une colonie métrique de *Blastomussa merleti* au transect C (rare)
- ↳ La mortalité corallienne est induite par l'apport d'eau douce au niveau bathymétrique supérieur et par l'hyper sédimentation en profondeur
- ↳ Le turn over corallien est conséquent (colonies de petite taille surtout en C). Malgré les conditions turbides importantes, les colonies juvéniles remplacent progressivement les colonies envasées
- ↳ Présence en grand nombre d'espèces à longs polypes *Alveopora* spp., *Alveopora catalai*, *Goniopora* spp. et





- ↳ d'espèces à croissance rapide *Acropora* spp. à mi pente
- ↳ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, de nombreuses colonies d'*Acropora* tabulaires et branchues sont mortes en place dans les pourtours du transect A
- ↳ Les alcyonnaires (*Sarcophyton*) sont nombreux
- ↳ Le *Tridacna squamosa* au transect A est mort en octobre 2014
- ↳ Présence occasionnelle de *Culcita novaeguineae*
- ↳ Recouvrement très important et en constante augmentation de l'algue brune (genre *Lobophora*) pour les 3 transects

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 6,5% au transect A, 29% en B et 12,5% en C
 - Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0% ; Avril 2016 : 1.33% ; Novembre 2016 : 0.53% ; Avril 2017 : 0% ; Septembre 2017 : 0% ; Mai 2018 : 0.17%*
 - Lésions coralliennes : une colonie affectée par la maladie de la bande blanche (*Montipora*) en B
- De plus, la sédimentation et le développement très important des algues brunes (*Lobophora*), entraînent des lésions irréversibles sur de nombreuses colonies coralliennes (surtout en B & C)
- Perturbations sédimentaires : dépôts sédimentaires sur des colonies coralliennes dégradées partiellement ou entièrement aux 3 transects (*Acropora* spp. tabulaire et branchu, *Montipora* spp., *Leptoseris scabra*, *Leptoseris explanata*, *Cyphastrea japonica*, *Blastomussa merleti*, *Porites*)

Autres indicateurs :

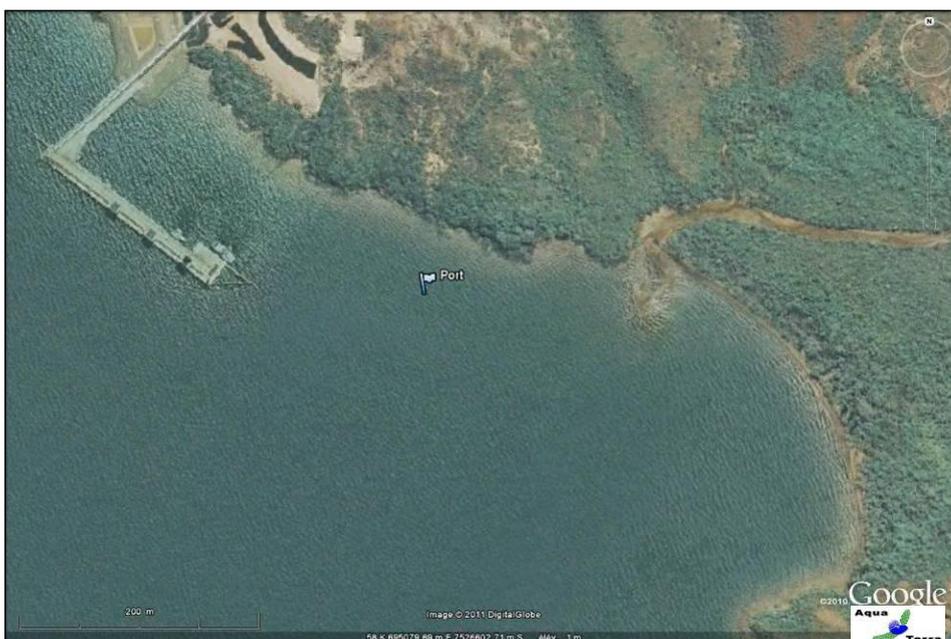
- Cyanobactéries : recouvrement stable en A (niveau 2) et en augmentation en B (niveau 0 et 2). Elles se développent sur les débris coralliens et le substrat d'origine terrigène
- Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies mortes en place
- Algue brune *Lobophora* : présence aux 3 transect. Recouvrement est important et en augmentation sur l'ensemble de la station (respectivement niveau 2/5/3 à 3/5/4) → **caractère envahissant potentiel**
- Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* : absente
- *Cliona orientalis* : stable en A & B et augmentation en C (niveau 0 à 2)
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

- Absence des *Acanthaster planci* et *Culcita novaeguineae*
- *Drupella cornus* : absence



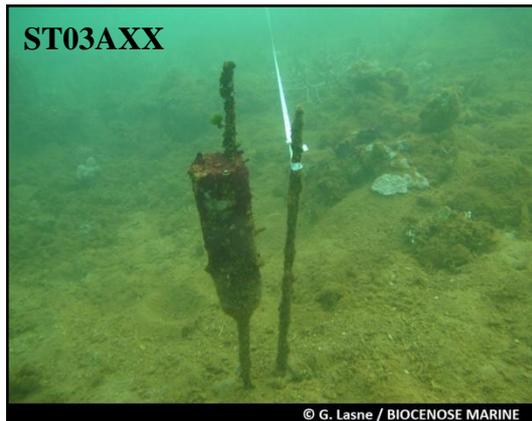
Photo n°11 : Vue aérienne : emplacement par rapport aux structures portuaires (ST03)



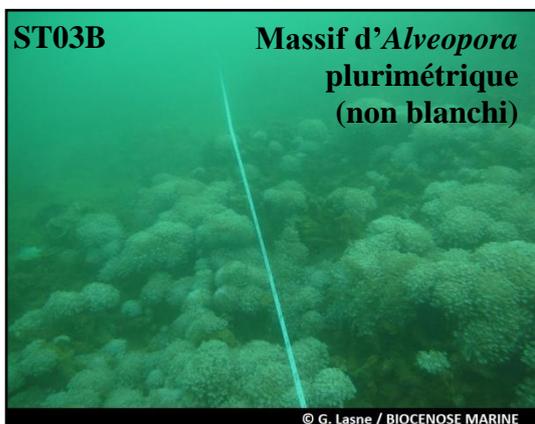
Carte n°05 : Localisation de la station 03 (Port)



Photo n°12 : Position en surface par rapport aux structures portuaires (ST03)



Nombreuses colonies coralliennes dégradées (sédimentation)
Substrat composé de sable vaseux à articles d'*Halimeda* et de nombreux débris



Nombreuses colonies coralliennes mortes en place.
Colonisation très importante de l'algue brune *Lobophora* dans les coraux

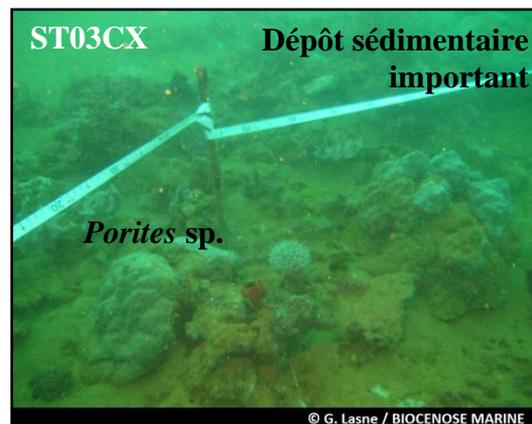


Photo n°13 : Vue d'ensemble des transects (ST03)

4.3.1 Le substrat (ST03)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 16](#) pour le transect A, dans la [figure 17](#) pour le transect B et dans la [figure 18](#) pour le transect C.

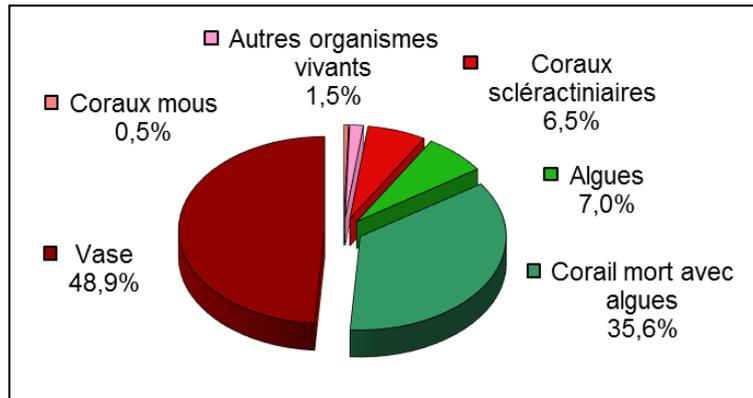


Figure n°16 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03A

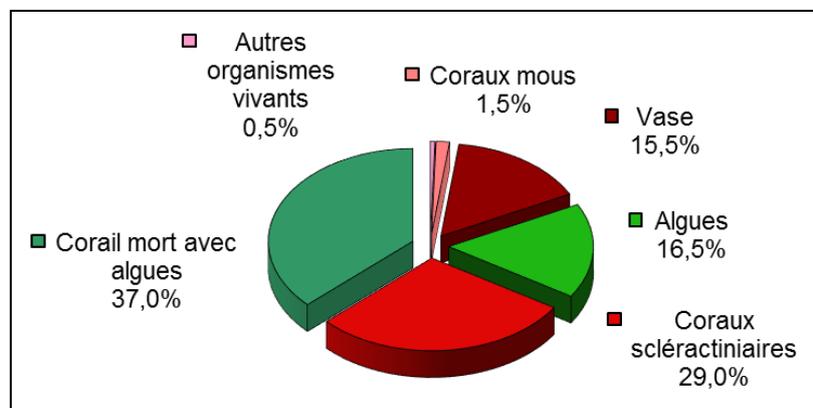


Figure n°17 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03B

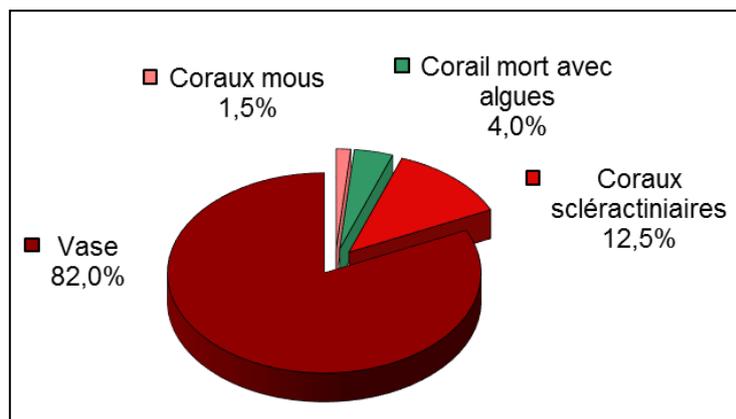


Figure n°18 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03C

Le transect A est caractérisé habituellement par des fonds abiotiques dus à la vase qui sont en diminution pour cette mission (48.9% vs 74,5% en septembre 2017, par augmentation de la classe « corail mort avec algues »). Les coraux scléactiniaires sont faiblement présents (6.5%).

Le transect B a un recouvrement biotique important (84.5%) dû en partie aux coraux scléactiniaires qui sont à mi-pente correctement représentés (29%).

Le transect C est très vaseux (82% de vase et d'abiotique), avec un peu de coraux scléactiniaires (12.5%).

La station dans son ensemble est stable, avec des fluctuations saisonnières dans le recouvrement algal.

4.3.2 Le benthos (ST03)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Port (ST03) est composée de :

- **36 espèces d'invertébrés** dont 7 espèces de mollusques ; 9 espèces de cnidaires : alcyonaires (6 taxons), zoanthaires (2 taxons), actiniaires (1 taxon) ; 9 espèces d'échinodermes : astéries (4 taxons), holothurides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), échinides (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- **7 espèces de macrophytes** : algues vertes (4 taxons), algues brunes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

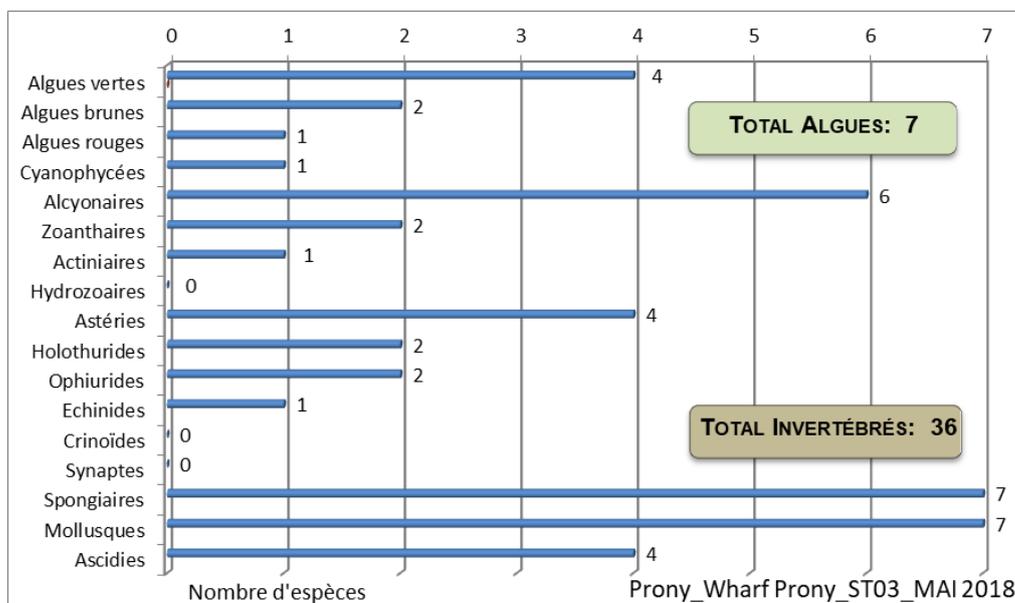


Figure n°19 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST03)

4.3.2.1 Benthos Transect 03 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST03A est composée de :

- 29 espèces d'invertébrés dont 6 espèces de mollusques ; 4 espèces de cnidaires : alcyonaires (3 taxons), zoanthaires (1 taxon) ; 8 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), holothurides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), échinides (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- 6 espèces de macrophytes : algues vertes (4 taxons), algues brunes (2 taxons)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°25 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST03A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Une nouvelle espèce d'algue recensée, l'algue verte : • <i>Chlorodesmis fastigiata</i> (A2) Aucune espèce d'algues n'a disparue	Une espèce d'algue recensée une espèce algues brunes : • <i>Lobophora variegata</i> (A3/+ 1). Aucune espèce d'algues ne diminue
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Palythoa tuberculosa</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1) ; ➤ pour les ophiurides (2 espèces) :	2 espèces d'échinodermes diminuent d'abondance : ➤ pour les holothurides (2 sp) : • <i>Holothuria edulis</i> (A2/- 1), • <i>Holothuria flavomaculata</i> (A1/- 1)



• <i>Ophiomastix caryophyllata</i> (A2), •Ophiure ind. (A2). Une espèce d'échinodermes disparue : ➤ pour les astéries (-1 espèce) : • <i>Culcita novaeguineae</i> (A0/-2)	
Mollusques	
2 espèces de mollusques disparues : ➤ pour les bivalves (-1 espèce) : • <i>Tridacna squamosa</i> (A0/-1) ; ➤ pour les gastéropodes (-1 espèce) : • <i>Astraea rhodostoma</i> (A0/-2).	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 sp) : • <i>Isognomon isognomon</i> (A3/+ 1)
Eponges	
3 nouvelles espèces d'éponges recensées : • <i>Cymbastella cantharella</i> (A2), • <i>Dactylia delicata</i> (A1), • <i>Clathria rugosa</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.3.2.2 Benthos Transect 03 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST03B est composée de :

- 26 espèces d'invertébrés dont 3 espèces de mollusques ; 8 espèces de cnidaires : alcyonaires (6 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 8 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), holothurides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), échinides (1 taxon) ; 4 espèces d'éponges ; 3 espèces d'ascidies,
- 3 espèces de macrophytes : algues brunes (1 taxon), algues rouges (1 taxon), algues vertes (1 taxon),
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°26 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST03B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. 1 sp d'algue disparue, l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (1spp./-1spp., A3/-0)	Aucune espèce d'algues n'augmente ni ne diminue
Cyanobactéries	
1 nouvelle espèce de cyanobactéries recensée : • <i>Phormidium</i> sp. (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
3 nouvelles espèces de cnidaires recensées : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Chironophthya</i> sp. (A1) ; ➤ pour les zoanthaires (2 espèces) : • <i>Zoanthidae</i> ind.sp. (A2), • <i>Palythoa tuberculosa</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (2 espèces) : • <i>Celerina heffermani</i> (A1), • <i>Fromia milleporrella</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Holothuria edulis</i> (A2).	Une espèce d'échinodermes augmente d'abondance : ➤ pour les échinides (1 espèce) : • <i>Diadema setosum</i> (A3/+ 1)
Mollusques	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
1 nouvelle sp d'éponges recensée : • <i>Spheciospongia vagabunda</i> (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
3 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Polycarpa aurita</i> (A2), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A3), • <i>Polycarpa</i> spl. (blanche) (A1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



4.3.2.3 Benthos Transect 03 C

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST03C est composée de :

- 26 espèces d'invertébrés dont 4 espèces de mollusques ; 8 espèces de cnidaires : alcyonaires (6 taxons), actiniaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 8 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), holothurides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), échinides (1 taxon) ; 4 espèces d'éponges ; 2 espèces d'ascidies
- 3 espèces de macrophytes : algues brunes (1 taxon), algues rouges (1 taxon), algues vertes (1 taxon)
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°27 : *Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST03C)*

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. 2 espèces d'algues disparues, dont l'algue brune : • <i>Padina</i> sp. (A0/-1) et l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (1 spp./-1 spp., A2/-1)	Une espèce d'algue recensée une espèce algues brunes : • <i>Lobophora variegata</i> (A4/+ 1). 1 sp d'algue diminue : l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (A2/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Chironophthya</i> sp. (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
Une nouvelle espèce d'échinodermes recensée : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Celerina heffernani</i> (A1)	2 espèces d'échinodermes diminuent d'abondance : ➤ pour les astéries (1 sp) : • <i>Nardoa gomophia</i> (A1/- 1) ➤ pour les holothurides (1 sp) : • <i>Holothuria flavomaculata</i> (A2/-1)
Mollusques	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
1 nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Cliona orientalis</i> (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
2 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Polycarpa nigricans</i> (A2), • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.3.3 Les poissons (ST03)

La liste des espèces observées⁶ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 28](#).

Tableau n°28 : Données sur les poissons (ST03)

Port ST03		Transect			Transect			Transect			Station		
		A			B			C			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>				2	0,10	0,43				0,67	0,03	0,14
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	1	0,03	0,01							0,33	0,01	0,00
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>				1	0,05	0,13	3	0,05	0,13	1,33	0,03	0,08
Epi	<i>Epinephelus polyphekadion</i>							1	0,05	0,73	0,33	0,02	0,24
Gob	<i>Amblygobius phalaena</i>	1	0,02	0,04							0,33	0,01	0,01
Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	3	0,05	0,13							1,00	0,02	0,04
Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>							2	0,03	0,12	0,67	0,01	0,04
Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>				2	0,01	0,02				0,67	0,00	0,01
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>				1	0,01	0,02				0,33	0,00	0,01
Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>	4	0,07	0,68	6	0,30	1,30				3,33	0,12	0,66
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	4	0,07	0,01	3	0,15	0,08	3	0,04	0,02	3,33	0,09	0,04
Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>	13	0,65	0,35							4,33	0,22	0,12
Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>	8	0,13	0,02	10	0,50	0,27				6,00	0,21	0,10
Pom	<i>Neopomacentrus azysron</i>	20	1,00	0,54	20	1,00	0,54				13,33	0,67	0,36
Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>	30	0,50	0,27	15	0,75	0,41	20	0,29	0,15	21,67	0,51	0,28
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	5	0,08	0,11	4	0,20	0,50				3,00	0,09	0,20
Sig	<i>Siganus vulpinus</i>				2	0,10	0,25				0,67	0,03	0,08
Total		89	2,59	2,16	66	3,17	3,94	29	0,46	1,15	61,33	2,07	2,42
Biodiversité		10			11			5			17		
Indice de Shannon =		2,941											
Equitabilité =		0,719											

Sur l'ensemble des transects de la station, 184 individus appartenant à 17 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 2.07 poissons/m² pour une biomasse de 2.42 g/m².

59 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 29](#)).

Tableau n°29 : Liste des espèces complémentaires (ST03)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Chromis caudalis</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopion</i>	Pom	<i>Chromis viridis</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Oxycheilinus celebicus</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Apo	<i>Cheilodipterus macrodon</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Apo	<i>Cheilodipterus quinquelineatus</i>	Let	<i>Lethrinus harak</i>	Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Mic	<i>Gunnellichthys viridescens</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	Mic	<i>Ptereleotris evides</i>	Pom	<i>Neopomacentrus azysron</i>
Cha	<i>Chaetodon melannotus</i>	Mic	<i>Ptereleotris microlepis</i>	Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>	Pom	<i>Pomacentrus bankanensis</i>
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	Mul	<i>Parupeneus multifasciatus</i>	Pom	<i>Pomacentrus chrysurus</i>
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>	Mul	<i>Upeneus tragula</i>	Pom	<i>Pomacentrus coelestis</i>
Epi	<i>Epinephelus Howlandi</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Epi	<i>Epinephelus polyphekadion</i>	Pin	<i>Parapercis australis</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>

⁶ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)



Fis	<i>Fistularia commersonii</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	Sca	<i>Scarus ghobban</i>
Gob	<i>Amblygobius phalaena</i>	Poc	<i>Pomacanthus sexstriatus</i>	Sig	<i>Siganus fuscescens</i>
Gob	<i>Valenciennea strigata</i>	Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>	Sig	<i>Siganus puellus</i>
Gra	<i>Diploprion bifasciatum</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon curacao</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>
Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon leucogaster</i>	Zan	<i>Zanclus cornutus</i>
Lab	<i>Epibulus insidiator</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon orbicularis</i>		

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 30](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 20](#).

Tableau n°30 : *Nombre d'espèces par famille ichtyologique (ST03)*

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	0	1,05	0,00	2,63
Chaetodontidae	30	2	2,53	6,67	8,43
Epinephelinae	26	2	1,16	7,69	4,46
Labridae	97	1	1,05	1,03	1,08
Lethrinidae	16	0	0,05	0,00	0,31
Lutjanidae	22	0	0,00	0,00	0,00
Mullidae	14	0	0,95	0,00	6,79
Pomacanthidae	14	0	0,11	0,00	0,79
Pomacentridae	92	7	4,53	7,61	4,92
Scaridae	23	0	1,47	0,00	6,39
Siganidae	10	1	1,16	10,00	11,60
Autres	257	2	3,20	0,78	1,25
Khi2 obs		57,3		172,8	
Khi2 tab		19,17			

Sous l'angle de vue des effectifs, même les décomptes de mai 2018 diffèrent de la moyenne sur la période de suivi (2007-2017). (Il faut toutefois reconnaître que les effectifs observés se prêtent mal à une telle analyse). Sous l'angle de vue des proportions la structure observée est très différente de la structure moyenne.

Si l'on reprend toutes les missions de la série historique aucune d'elles ne peut être rapprochée d'une autre. Toutes présentent une valeur de Khi^2 , établi par rapport à la moyenne, considérablement supérieure à la valeur tabulée à 95% (cf. [tableau](#) synoptique 113).

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 31](#) et la [figure 21](#).

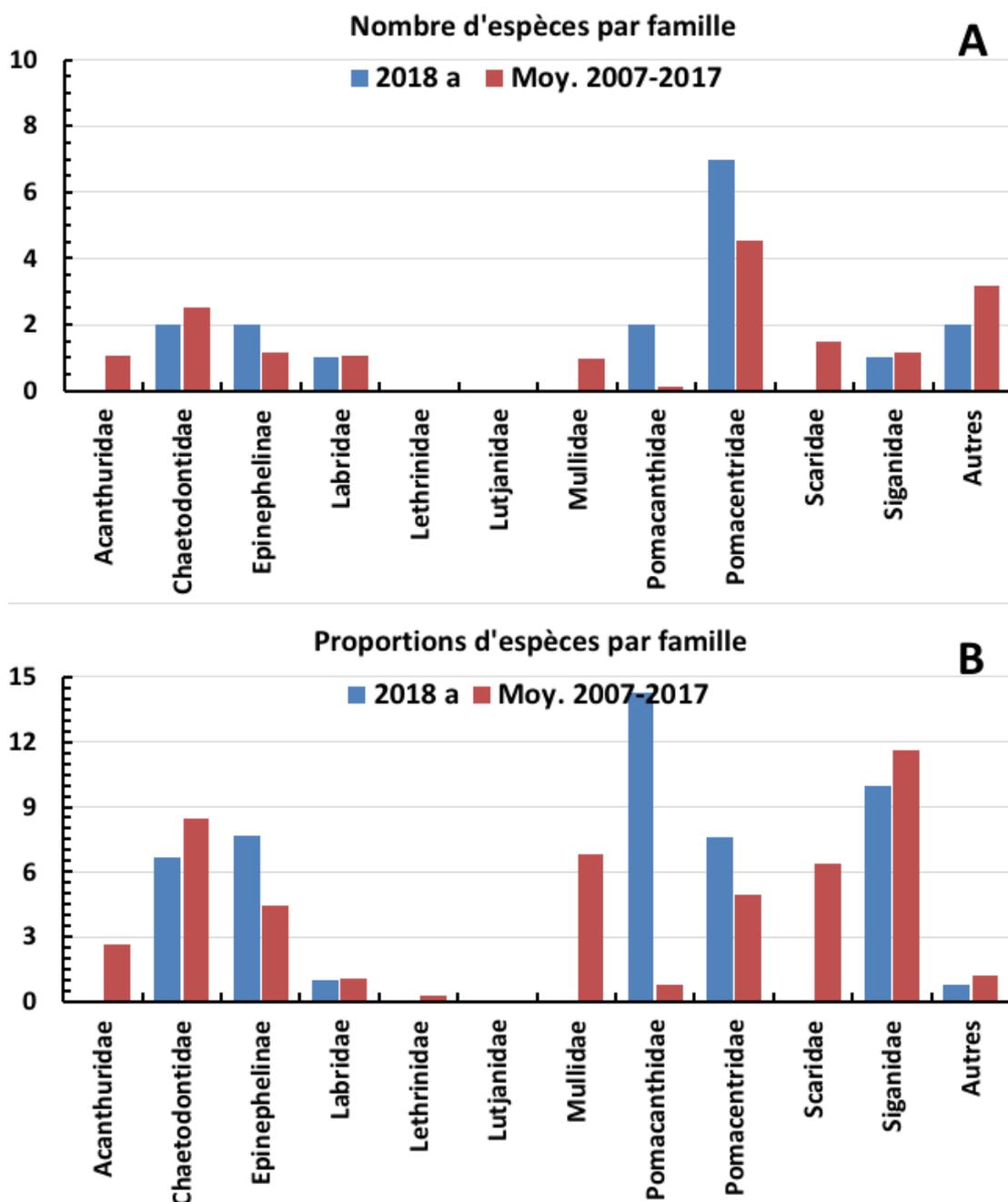


Figure n°20 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST03)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Tableau n°31 : Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST03)

Port ST03		Liste DENV					Toutes espèces
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018 a	Transect A	89	2,59	2,16	10		
	Transect B	66	3,17	3,94	11		
	Transect C	29	0,46	1,15	5		
	Moy. ABC	61,33	2,07	2,42	17	41	59



2017 b	Moy. ABC	50,33	0,82	1,33	16	46	69
2017 a	Moy. ABC	61,33	1,00	2,05	16	43	60
2016 b	Moy. ABC	43,67	0,57	1,06	23	57	72
2016 a	Moy. ABC	79,00	1,02	5,25	23	41	63
2015 b	Moy. ABC	77,33	0,99	7,54	30	56	74
2015 a	Moy. ABC	124,33	1,56	9,21	27	48	74
2014 b	Moy. ABC	58,67	1,12	6,24	20	41	66
2014 a	Moy. ABC	43,00	0,52	0,62	22	40	53
2013 b	Moy. ABC	42,00	0,51	2,54	23	32	53
2013 a	Moy. ABC	22,00	0,28	1,14	13	46	62
2012 b	Moy. ABC	32,33	0,41	1,62	18	34	55
2012 a	Moy. ABC	19,33	0,24	0,80	14	42	59
2011 b	Moy. ABC	17,67	0,22	1,50	13	46	66
2011 a	Moy. ABC	64,00	0,86	19,13	16	43	64
2010 b	Moy. ABC	31	0,31	1,26	11	43	64
2010 a	Moy. ABC	39,00	1,95	5,13	10	33	50
2009	Moy. ABC	60,66	3,03	4,55	9	16	39
2008	Moy. ABC	18,33	0,92	14,05	14	22	47
2007	Moy. ABC	32,30	1,59	14,73	15	19	34

L'écart relatif à la moyenne [$Er_i = (X_i - X_m) / X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 32](#) et représentation [figure 22](#).

Tableau n°32 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST03)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	690,38	0,53	28,71	32,57	128,03	117,04
Ecart type	26,28	0,73	5,36	5,71	11,31	10,82
Moyenne	48,96	1,00	5,13	17,40	39,85	59,10
Coef. de Var.	0,54	0,73	1,04	0,33	0,28	0,18

Commentaires :

- C'est la première fois que nous voyons des Centropyges sur les transects et un *Pomacanthus sexstriatus* au voisinage du transect A.
- A contrario, *Dascyllus aruanus* et *Chrysoptera taupu* ont disparu des transects.
- La quasi-totalité des poissons vus sur les transects sont des juvéniles.
- Le nombre de poissons vu sur les transects est moyen, la densité plutôt forte mais la biomasse très faible.
- La biodiversité sur les transects est faible,
- En revanche, les autres paramètres de biodiversité sont moyens plus.

Les observations montrent ici aussi, des structures de peuplements très instables. Il y a des changements naturels d'organisation de la Bα. Sur cette station les écarts de structures sont importants mais moins que sur les autres stations de la baie. Sur les 20 missions, 9 ont des structures de peuplement qui diffèrent de la structure moyenne et qui diffèrent entre elles, tandis que 10 sont semblables, dont notamment les 7 dernières (depuis septembre 2014) (cf. [tableau synoptique 113](#)).

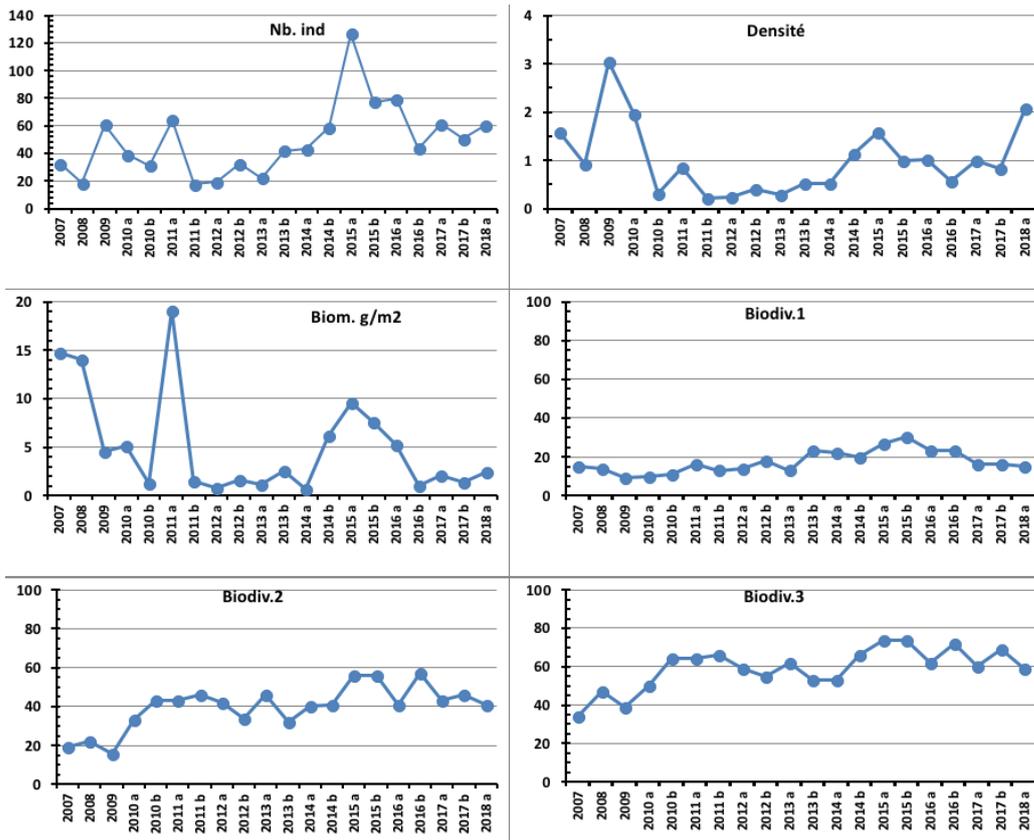


Figure n°21 : Evolution des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST03)

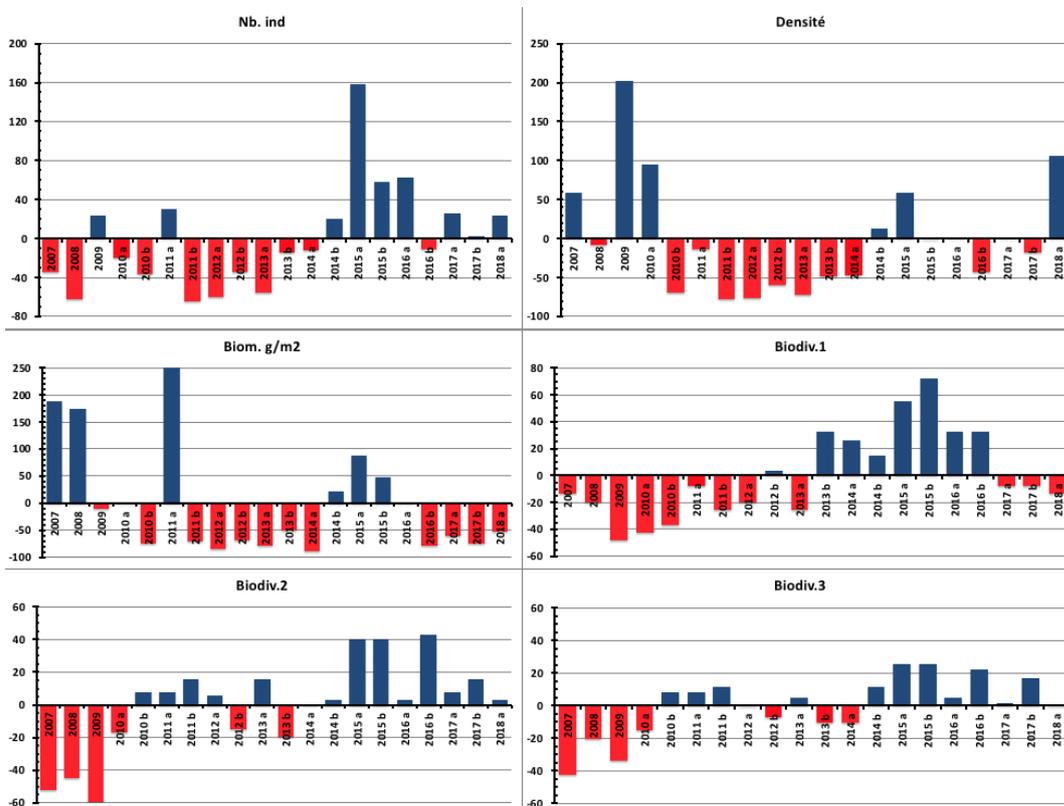


Figure n°22 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST03)



4.4 Station 04 = Woodin

Localisation géographique	Face à un rocher blanc qui se trouve en bordure du rivage est du canal Woodin (photographie 14). Le canal Woodin proche de la baie du Prony sépare la « Grande Terre » de l'île Ouen. Ce canal est non seulement un passage privilégié pour la navigation, mais aussi pour une faune marine très importante (baleines, requins, ...). Il constitue un passage reliant les eaux du large au sud du lagon, et les courants de marées y sont permanents et souvent très forts. Les fonds sont détritiques grossiers et sont colonisés par de nombreux coraux (cependant la richesse spécifique est modérée).
Nombre transects	3 transects.
Description transects	Ils ont été positionnés à 4, 11 et 21 mètres de profondeur afin de décrire chaque zone, en parallèle à la pente et dans une direction du sud-est vers le nord-ouest.
	Sur le transect A la colonisation des <i>Millepora</i> et de <i>Seriatopora hystrix</i> est importante. Le transect B est installé dans une zone à éboulis de blocs et débris coralliens branchus. La zone a subi un effondrement gravitaire provenant de l'étage supérieur. Un cyclone a certainement arraché les massifs du sommet de la pente. Les conditions hydrodynamiques sont encore importantes (courants de marées) et la luminosité réduite de manière significative avec la profondeur. Le transect C est en bas de pente dans une zone sableuse où de grandes colonies de <i>Tubastrea micrantha</i> s'édifient et dominant le paysage.

Description générale

La station est installée sur le front récifal d'un récif frangeant. La pente est abrupte (40°), nivelée par trois étages de communautés coralliennes distinctes.

Cette station présente un écosystème qui est singulier en Nouvelle-Calédonie : en sommet de récif frangeant, les *Millepora* forment de grands massifs de 3 mètres de diamètre et les *Seriatopora hystrix* se répartissent uniformément sur le substrat dur avec un recouvrement important. Le tombant est jalonné de blocs rocheux et de débris coralliens où s'édifient de petites colonies coralliennes ainsi que des massifs de *Millepora* et des *Tubastrea micrantha*. En bas de tombant, les colonies de *Tubastrea micrantha* sont remarquablement bien développées.

Attention : Le courant dans ce canal peut être très fort et il est impératif de se présenter à un étale pour pouvoir échantillonner cette station.



Caractéristiques principales

- ↪ Le recouvrement corallien au transect A est composé particulièrement par les colonies de *Millepora* sp., *Seriatopora hystrix* et *Acropora* spp. (branchu)
- ↪ Les colonies coralliennes de la famille des Pocilloporidae ont une croissance importante (*Seriatopora hystrix* et *Pocillopora damicornis*, *Stylophora pistillata*)
- ↪ Présence en grand nombre de *Millepora* et *Tubastraea micrantha* (taille plurimétrique). Les autres espèces sont de taille décimétrique
- ↪ La richesse spécifique des coraux diminue nettement avec la profondeur
- ↪ Originalité des espèces benthiques adaptées à un milieu d'hydrodynamisme important (courant de marée) avec une turbidité soutenue
- ↪ Mortalité corallienne et nombreux débris (hydrodynamisme important)
- ↪ Recouvrement important en B des éponges encroûtantes (*Cliona*)
- ↪ Les macrophytes ont une faible couverture
- ↪ Les crinoïdes sont nombreuses et installées sur les promontoires ou les colonies de *Tubastraea* exposées aux courants de marée
- ↪ Dégradations mécaniques depuis mars 2015 (cyclone Pam) : formation d'un petit couloir d'effondrement aux transects A & B et quelques grandes colonies de *Tubastraea micrantha* se sont effondrées au C mais elles continuent de s'édifier
- ↪ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, de nombreuses colonies sont mortes en place en A & B. La mortalité concerne principalement les colonies *Seriatopora hystrix*, *Pocillopora damicornis* et des *Acropora* spp.
- ↪ Selon les précipitations un petit creek se déverse sur le platier au-dessus de la station. Les transects A & B peuvent être perturbés par les particules sédimentaires (colonies mortes en place ou nécrosées)

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 37% au transect A, 32% en B et 6.5% en C

La reprise au transect A est confirmée

- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0.37% ; Avril 2016 : 11.57% ; Novembre 2016 : 0.43% ; Avril 2017 : 1.07% ; Septembre 2017 : 0.17% ; Mai 2018 : 0.63%*

- Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche affecte deux colonies coralliennes (*Acropora* tabulaires) aux transects A et B (respectivement 0.6 et 1.1 m²). Les colonies anciennement affectées sont mortes en place

- Perturbations mécaniques et sédimentaires : absence de dépôt sédimentaire sur les colonies coralliennes. Les colonies blanchies en C (0.2 m²) résultent de fragmentation (hydrodynamisme)

Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : présence en A & B (niveau 2) (recouvrement en augmentation pour A (niveau 0 précédemment). Elles se développent sur les colonies coralliennes mortes en place

- Le turf algal se développe en A & B sur les colonies anciennement blanchies (*Seriatopora hystrix*, *Pocillopora damicornis*, *Stylophora pistillata* ...) et les colonies coralliennes mortes en place. Son développement est modéré sur les débris coralliens

- Algue brune *Lobophora* : recouvrement stable en B

- Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* : absente

- *Cliona orientalis* : stable

- *Cliona jullieni* : absent en A et stable en B & C

Les corallivores :

- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*

- Absence de *Drupella cornus*





Carte n°06 : Localisation de la station 04 (Woodin)



Photo n°14 : Position en surface par rapport à la côte (ST04)



Photo n°15 : Vue d'ensemble des transects (ST04)

4.4.1 Le substrat (ST04)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 23](#) pour le transect A, dans la [figure 24](#) pour le transect B et dans la [figure 25](#) pour le transect C.

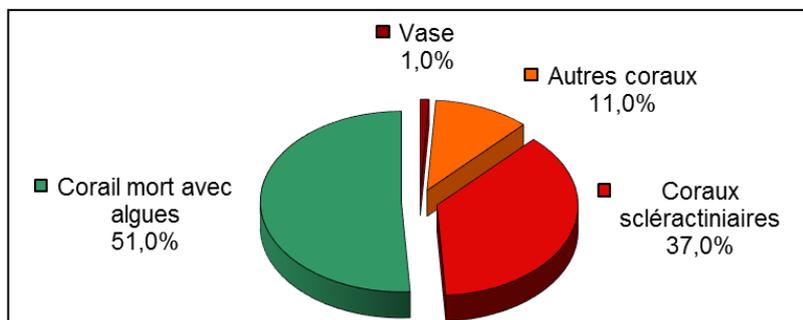


Figure n°23 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST04A

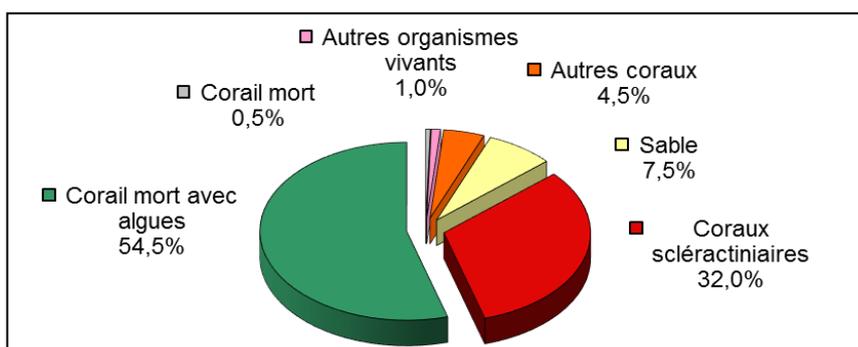


Figure n°24 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST04B

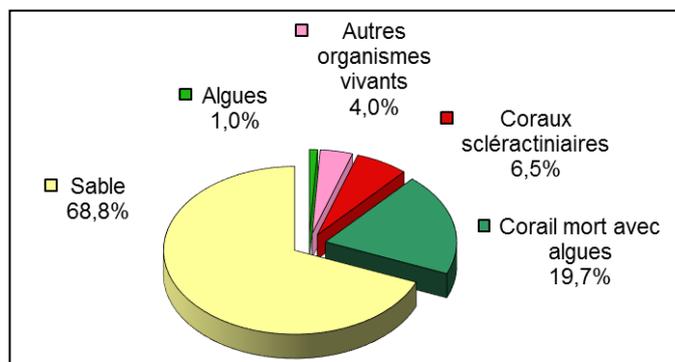


Figure n°25 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST04C

Les transects A et B ont classiquement un fort recouvrement biotique total (99% et 92%), dû en grande partie au « Corail mort avec algues ».

Le très fort blanchissement observé en avril 2016 au transect A, un provoquant une baisse de 23.5% du recouvrement des scléactiniaires paraît dépassé : les coraux avaient retrouvé un recouvrement de 40.5% en avril et 42% en septembre 2017 et 37% pour cette mission. Au transect B, leur recouvrement est stable et le meilleur résultat (32%) depuis le début du suivi (2007). Le recouvrement du substrat du transect C est majoritairement abiotique (68.8%) du fait de la dominance du sable. Toujours peu de coraux (6.5%).

A noter : **disparition des cyanobactéries pour cette mission aux 3 transects et que 0.5% d'*Acropora tabulaire blanchi* en B.**

La station est globalement stable dans le temps, les fluctuations principales étant dues aux mouvements du sable qui paraissent cycliques.

Au transect A, la résilience observée en avril 2017 (indicateurs de mauvais état de santé enregistrés lors de la mission de début d'année 2016) est confirmée depuis 2 missions.



4.4.2 Le benthos (ST04)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Woodin (ST04) est composée de :

- **49 espèces d'invertébrés** dont 15 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 10 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), échinides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon) ; 9 espèces d'éponges ; 8 espèces d'ascidies
- **3 espèces de macrophytes** : algues vertes (2 taxons), algues brunes (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

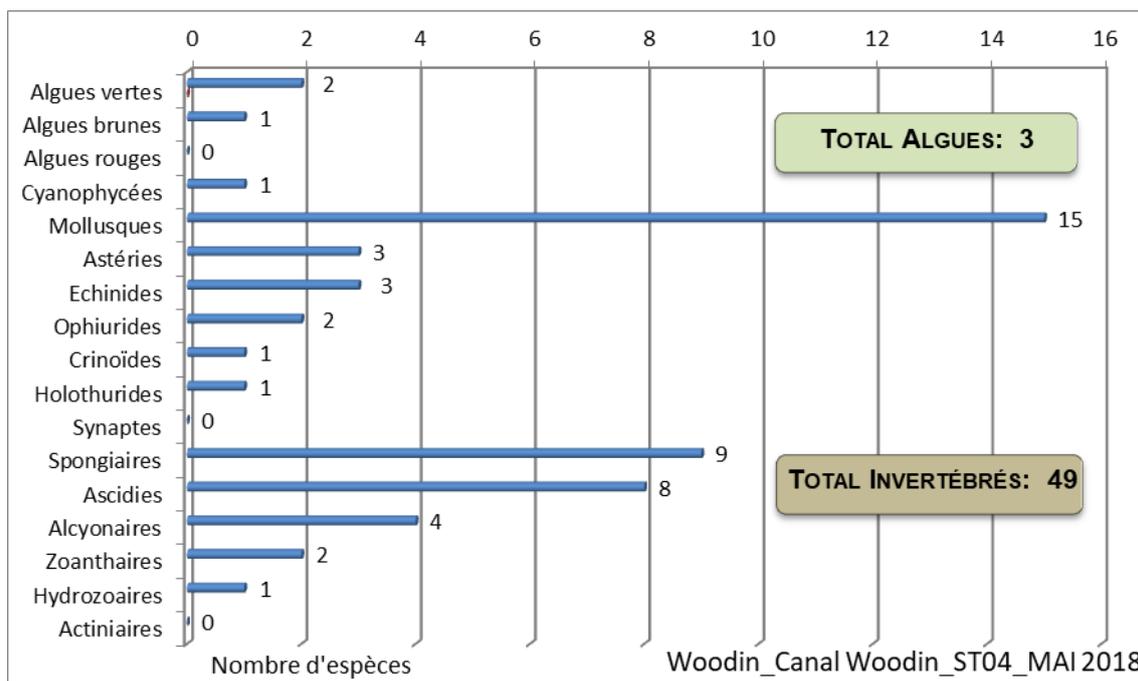


Figure n°26 : Répartition par famille de la richesse spécifique corallienne (ST04)

4.4.2.1 Benthos Transect 04 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST04A est composée de :

- 22 espèces d'invertébrés dont 6 espèces de mollusques ; 3 espèces de cnidaires : alcyonaires (2 taxons), zoanthaires (1 taxon) ; 6 espèces d'échinodermes : échinides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), astéries (1 taxon), crinoïdes (1 taxon) ; 4 espèces d'éponges ; 3 espèces d'ascidies
- 2 espèces de macrophytes : algues vertes (2 taxons)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°33 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST04A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. Aucune espèce d'algues n'a disparue.	Aucune espèce d'algues n'augmente. 1 sp d'algue diminue : l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (A1/- 1)
Cyanobactéries	
1 nouvelle sp de cyanobactéries recensée : • <i>Phormidium</i> sp. (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Palythoa tuberculosa</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>





Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1) ; ➤ pour les échinides (2 espèces) : • <i>Diadema setosum</i> (A1), • <i>Echinometra mathaei</i> (A1)	☑
Mollusques	
☑	☑
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Spheciospongia vagabunda</i> (A2). Une espèce d'éponges disparue : • <i>Dactylia delicata</i> (A0/-2).	☑
Ascidies	
2 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Clavelina detorta</i> (A2), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A2).	☑
Bryozoaires	
☑	☑

4.4.2.2 Benthos Transect 04 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST04B est composée de :

- 46 espèces d'invertébrés dont 13 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 10 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), échinides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon) ; 9 espèces d'éponges ; 7 espèces d'ascidies
- 3 espèces de macrophytes : algues vertes (2 taxons), algues brunes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°34 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST04B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Une nouvelle espèce d'algue recensée, l'algue verte : • <i>Chlorodesmis fastigiata</i> (A1) ; Une espèce d'algue disparue, l'algue brune <i>Dictyota</i> sp. (A0/-2).	Une espèce d'algue recensée une espèce algues brunes : • <i>Lobophora variegata</i> (A3/+ 1). Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
☑	☑
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Dendronephthya</i> sp. (A2).	2 espèces de cnidaires augmentent d'abondance : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Sarcophyton</i> sp. (A3/+ 1) ➤ pour les zoanthaires (1 sp) : • <i>Palythoa tuberculosa</i> (A2/+1)
Echinodermes	
Une nouvelle espèce d'échinodermes recensée : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Celerina heffermani</i> (A1).	2 espèces d'échinodermes augmentent d'abondance : ➤ pour les échinides (2 espèces) : • <i>Echinometra mathaei</i> (A2/+ 1), • <i>Parasalenia gratiosa</i> (A2/+ 1). 2 espèces d'échinodermes diminuent d'abondance : ➤ pour les astéries (2 espèces) : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1/-1), • <i>Nardoia gomophia</i> (A1/-1)
Mollusques	
4 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les gastéropodes (2 espèces) : • <i>Conus virgo</i> (A1), • <i>Lambis lambis</i> (A1) ; ➤ pour les nudibranches (2 espèces) : • <i>Phyllidiella pustulosa</i> (A1), • <i>Pteraeolidia ianthina</i> (A1)	☑
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Clathria rugosa</i> (A2)	Une espèce d'éponges diminue d'abondance :



	• <i>Hamigera strongylata</i> (A2/- 1).
Ascidies	
1 nouvelle sp d'ascidies recensée : • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A1)	Une espèce d'ascidies augmente d'abondance : • <i>Polycarpa nigricans</i> (A3/+1)
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.4.2.3 Benthos Transect 04 C

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST04C est composée de :

- 25 espèces d'invertébrés dont 5 espèces de mollusques ; 4 espèces de cnidaires : alcyonaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 7 espèces d'échinodermes : astéries (2 taxons), échinides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 6 espèces d'éponges ; 3 espèces d'ascidies
- aucune espèce de macrophyte
- aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°35 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST04C)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée ni n'a disparue	Aucune espèce d'algues n'augmente ni ne diminue
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
2 nouvelles espèces de cnidaires recensées : ➢ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Sarcophyton</i> sp. (A2) ; ➢ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Zoanthidae</i> ind.sp. (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➢ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Celerina heffernani</i> (A1) ; ➢ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Holothuria edulis</i> (A2).	Une espèce d'échinodermes augmente d'abondance : ➢ pour les crinoïdes (1 espèce) : • <i>Crinoïdes</i> ind. (A5/+ 1). Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➢ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Nardoa gomophia</i> (A1/- 2).
Mollusques	
4 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➢ pour les bivalves (3 espèces) : • <i>Isognomon isognomon</i> (A2), • <i>Pteria</i> sp. (A2), • <i>Spondylus</i> sp. (A2) ➢ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Cerithium</i> sp. (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
<input checked="" type="checkbox"/>	2 sp d'éponges diminuent d'abondance : • <i>Hamigera strongylata</i> (A2/- 1), • <i>Spongiaires</i> ind. (noire) (A2/- 1)
Ascidies	
2 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Polycarpa aurita</i> (A1), • <i>Polycarpa cryptocarpa</i> (A2). Une espèce d'ascidies disparue : • <i>Polycarpa clavata</i> (A0/-1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



4.4.3 Les poissons (ST04)

La liste des espèces observées⁷ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 36](#).

Tableau n°36 : Données sur les poissons (ST04)

Canal Woodin ST04		Transect A			Transect B			Transect C			Station Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	<i>Acanthurus dussumieri</i>				1	0,03	9,84				0,33	0,01	3,28
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	3	0,08	3,30							1,00	0,03	1,10
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	4	0,10	3,46	3	0,08	2,00				2,33	0,06	1,82
Aca	<i>Naso hexacanthus</i>				50	0,17	243,00	50	0,13	182,25	33,33	0,10	141,75
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	4	0,10	2,00	5	0,13	1,82				3,00	0,08	1,27
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	1	0,03	1,69							0,33	0,01	0,56
Cae	<i>Caesio cuning</i>							30	0,38	55,57	10,00	0,13	18,52
Cae	<i>Caesio marri</i>				100	1,25	68,60	70	0,50	17,58	56,67	0,58	28,73
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	2	0,05	10,65				1	0,01	0,07	1,00	0,02	3,57
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	2	0,05	0,51	2	0,05	0,51				1,33	0,03	0,34
Cha	<i>Chaetodon bennetti</i>	1	0,03	0,26							0,33	0,01	0,09
Cha	<i>Chaetodon ephippium</i>	2	0,05	0,73	3	0,08	0,77				1,67	0,04	0,50
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>				6	0,15	3,00				2,00	0,05	1,00
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	5	0,13	0,86	5	0,13	0,86				3,33	0,08	0,57
Cha	<i>Chaetodon melanotus</i>				1	0,03	0,17				0,33	0,01	0,06
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	5	0,13	0,31	6	0,15	0,38				3,67	0,09	0,23
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	3	0,08	0,77	2	0,05	0,34				1,67	0,04	0,37
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	2	0,05	0,22							0,67	0,02	0,07
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>				2	0,05	0,51				0,67	0,02	0,17
Cha	<i>Chaetodon unimaculatus</i>				3	0,08	0,77				1,00	0,03	0,26
Cha	<i>Chaetodon vagabundus</i>	2	0,05	0,51	2	0,05	0,73				1,33	0,03	0,41
Cha	<i>Coradion altivelis</i>				2	0,05	1,00	1	0,01	0,10	1,00	0,02	0,37
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>				3	0,08	2,00	2	0,03	0,88	1,67	0,03	0,96
Cha	<i>Heniochus monoceros</i>				1	0,03	2,05				0,33	0,01	0,68
Epi	<i>Anypserodon leucogrammicus</i>				1	0,03	9,84				0,33	0,01	3,28
Epi	<i>Cromileptes altivelis</i>				1	0,03	16,38				0,33	0,01	5,46
Epi	<i>Epinephelus cyanopodus</i>							1	0,01	33,28	0,33	0,00	11,09
Epi	<i>Epinephelus Howlandi</i>	1	0,03	1,69							0,33	0,01	0,56
Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>							1	0,01	8,58	0,33	0,00	2,86
Epi	<i>Epinephelus merra</i>	2	0,05	2,74	2	0,05	1,33				1,33	0,03	1,36
Epi	<i>Epinephelus ongus</i>	1	0,03	1,37	1	0,03	0,50				0,67	0,02	0,62
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>							4	0,03	98,74	1,33	0,01	32,91
Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	1	0,03	0,86	1	0,03	0,68	2	0,03	1,10	1,33	0,03	0,88
Lab	<i>Cheilinus trilobatus</i>	1	0,03	1,10	1	0,03	1,37				0,67	0,02	0,82
Lab	<i>Coris aygula</i>				1	0,01	0,69				0,33	0,00	0,23
Lab	<i>Coris gaimard</i>	1	0,03	0,50							0,33	0,01	0,17
Lab	<i>Gomphosus varius</i>	2	0,05	0,51							0,67	0,02	0,17
Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	1	0,03	1,37	2	0,05	4,91				1,00	0,03	2,10
Lab	<i>Labroides bicolor</i>	3	0,08	0,10							1,00	0,03	0,03
Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	5	0,13	0,16	5	0,13	0,54				3,33	0,08	0,23
Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	10	0,25	2,56							3,33	0,08	0,85

⁷ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)



Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	15	0,38	2,57	4	0,10	0,69				6,33	0,16	1,09
Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	5	0,13	1,28							1,67	0,04	0,43
Lut	<i>Aprion virescens</i>							7	0,03	77,64	2,33	0,01	25,88
Lut	<i>Lutjanus fulviflamma</i>	1	0,03	3,43	2	0,05	1,73				1,00	0,03	1,72
Lut	<i>Lutjanus russellii</i>							3	0,04	2,95	1,00	0,01	0,98
Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>				1	0,03	0,50				0,33	0,01	0,17
Mul	<i>Parupeneus barberinus</i>	4	0,10	8,19	3	0,08	6,14				2,33	0,06	4,78
Mul	<i>Parupeneus indicus</i>	2	0,05	15,63	3	0,08	18,25				1,67	0,04	11,29
Mul	<i>Parupeneus spilurus</i>				4	0,10	16,00				1,33	0,03	5,33
Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	8	0,20	10,98	7	0,18	4,66				5,00	0,13	5,21
Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	6	0,15	0,38	4	0,10	0,25	5	0,06	0,13	5,00	0,10	0,25
Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	4	0,10	0,25	4	0,07	0,17				2,67	0,06	0,14
Poc	<i>Centropyge flavissima</i>	2	0,05	0,13	2	0,05	0,13				1,33	0,03	0,08
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	4	0,10	0,25	5	0,13	0,31	6	0,08	0,15	5,00	0,10	0,24
Poc	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>				1	0,01	3,91				0,33	0,00	1,30
Poc	<i>Pomacanthus sexstriatus</i>							1	0,01	2,13	0,33	0,00	0,71
Poc	<i>Pygoplites diacanthus</i>				1	0,03	2,92				0,33	0,01	0,97
Pom	<i>Abudefduf septemfasciatus</i>	8	0,20	2,92							2,67	0,07	0,97
Pom	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	8	0,20	2,92							2,67	0,07	0,97
Pom	<i>Abudefduf whiteleyi</i>	10	0,25	3,65	8	0,20	5,32				6,00	0,15	2,99
Pom	<i>Amphiprion clarkii</i>	4	0,10	0,43							1,33	0,03	0,14
Pom	<i>Chromis fumea</i>	15	0,38	0,48							5,00	0,13	0,16
Pom	<i>Chromis viridis</i>	30	0,75	0,41							10,00	0,25	0,14
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	7	0,18	0,09	4	0,10	0,13				3,67	0,09	0,07
Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>				12	0,30	0,38				4,00	0,10	0,13
Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>	20	0,50	0,25	10	0,25	0,14	20	0,25	0,11	16,67	0,33	0,17
Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>	10	0,25	0,14	25	0,63	0,34				11,67	0,29	0,16
Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>				12	0,30	0,38	15	0,19	0,19	9,00	0,16	0,19
Pom	<i>Neopomacentrus azysron</i>	25	0,63	0,34							8,33	0,21	0,11
Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>	10	0,25	0,32							3,33	0,08	0,11
Pom	<i>Pomacentrus coelestis</i>				10	0,25	0,14				3,33	0,08	0,05
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	5	0,13	0,54				6	0,08	0,26	3,67	0,07	0,27
Pse	<i>Pictichromis coralensis</i>							4	0,05	0,41	1,33	0,02	0,14
Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>	4	0,10	2,00	4	0,10	2,00				2,67	0,07	1,33
Sca	<i>Scarus chameleon</i>							3	0,04	2,03	1,00	0,01	0,68
Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>	4	0,10	6,75				5	0,06	2,74	3,00	0,05	3,16
Sca	<i>Scarus ghobban</i>							2	0,02	4,17	0,67	0,01	1,39
Sca	<i>Scarus niger</i>	2	0,05	4,10	1	0,03	4,63	2	0,02	2,13	1,67	0,03	3,62
Sca	<i>Scarus rivulatus</i>				1	0,03	7,81				0,33	0,01	2,60
Sca	<i>Scarus schlegeli</i>				4	0,10	35,15				1,33	0,03	11,72
Sco	<i>Scomberomorus commerson</i>							2	0,01	116,64	0,67	0,00	38,88
Scr	<i>Pterois radiata</i>							1	0,01	0,35	0,33	0,00	0,12
Sig	<i>Siganus corallinus</i>	2	0,05	2,20	2	0,05	1,00				1,33	0,03	1,07
Sig	<i>Siganus doliatus</i>	3	0,08	3,30	2	0,05	1,33				1,67	0,04	1,54
Sig	<i>Siganus puellus</i>	2	0,05	1,73							0,67	0,02	0,58
Sig	<i>Siganus vulpinus</i>	4	0,10	2,00							1,33	0,03	0,67
Zan	<i>Zanclus cornutus</i>				1	0,01	0,25	1	0,01	0,16	0,67	0,01	0,14
Total		288	7,2	115,8	349	6,3	489,2	245	2,1	610,3	294,0	5,2	405,1
Biodiversité			53			54			26			89	
Indice de Shannon =		5,132											
Equitabilité =		0,794											

Sur l'ensemble des transects de la station, 882 individus appartenant à 89 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 5.2 poissons/m² pour une biomasse de 405.1 g/m².

141 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 37](#)).

Tableau n°37 : *Liste des espèces complémentaires (ST04)*

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus albipectoralis</i>	Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Gra	<i>Diploprion bifasciatum</i>	Poc	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>
Aca	<i>Acanthurus dussumieri</i>	Hae	<i>Plectorhinchus chaetodonoides</i>	Poc	<i>Pomacanthus sexstriatus</i>
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus lessonii</i>	Poc	<i>Pygoplites diacanthus</i>
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus picus</i>	Pom	<i>Abudefduf septemfasciatus</i>
Aca	<i>Naso caesioides</i>	Hol	<i>Neoniphon sammara</i>	Pom	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>
Aca	<i>Naso hexacanthus</i>	Hol	<i>Sargocentron spiniferum</i>	Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>
Aca	<i>Naso lituratus</i>	Lab	<i>Anampses femininus</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon aureus</i>
Aca	<i>Naso unicornis</i>	Lab	<i>Bodianus axillaris</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon curacao</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Lab	<i>Bodianus diana</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon leucogaster</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon orbicularis</i>
Apo	<i>Apogon aureus</i>	Lab	<i>Cheilinus trilobatus</i>	Pom	<i>Amphiprion clarkii</i>
Apo	<i>Apogon doederleini</i>	Lab	<i>Choerodon fasciatus</i>	Pom	<i>Chromis atripectoralis</i>
Apo	<i>Apogon novemfasciatus</i>	Lab	<i>Coris aygula</i>	Pom	<i>Chromis fumea</i>
Apo	<i>Ostorhinchus flavus</i>	Lab	<i>Coris gaimard</i>	Pom	<i>Chromis leucura</i>
Aul	<i>Aulostomus chinensis</i>	Lab	<i>Epibulus insidiator</i>	Pom	<i>Chromis margaritifer</i>
Bal	<i>Pseudobalistes fuscus</i>	Lab	<i>Gomphosus varius</i>	Pom	<i>Chromis viridis</i>
Bal	<i>Sufflamen fraenatus</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Ble	<i>Ecsenius bicolor</i>	Lab	<i>Halichoeres melanurus</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopion</i>	Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>
Cac	<i>Triaenodon obesus</i>	Lab	<i>Hemigymnus fasciatus</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>
Cae	<i>Caesio cunning</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>
Cae	<i>Caesio marri</i>	Lab	<i>Labroides bicolor</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon melas</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	Pom	<i>Neopomacentrus azysron</i>
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	Lab	<i>Labropsis australis</i>	Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>
Cha	<i>Chaetodon bennetti</i>	Lab	<i>Oxycheilinus bimaculatus</i>	Pom	<i>Pomacentrus coelestis</i>
Cha	<i>Chaetodon ephippium</i>	Lab	<i>Oxycheilinus diagrammus</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Pom	<i>Pomacentrus simsiang</i>
Cha	<i>Chaetodon melannotus</i>	Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	Pri	<i>Priacanthus hamrur</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Lab	<i>Thalassoma nigrofasciatum</i>	Pse	<i>Pictichromis coralensis</i>
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	Lut	<i>Aprion virescens</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	Lut	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	Sca	<i>Scarus chameleon</i>
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	Lut	<i>Lutjanus bohar</i>	Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>
Cha	<i>Chaetodon unimaculatus</i>	Lut	<i>Lutjanus fulviflamma</i>	Sca	<i>Scarus ghobban</i>
Cha	<i>Chaetodon vagabundus</i>	Lut	<i>Lutjanus fulvus</i>	Sca	<i>Scarus niger</i>
Cha	<i>Coradion altivelis</i>	Lut	<i>Lutjanus quinquelineatus</i>	Sca	<i>Scarus rivulatus</i>
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	Lut	<i>Lutjanus russellii</i>	Sca	<i>Scarus schlegeli</i>
Cha	<i>Heniochus monoceros</i>	Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>	Sco	<i>Scomberomorus commerson</i>
Cha	<i>Heniochus varius</i>	Mul	<i>Parupeneus barberinus</i>	Scr	<i>Pterois radiata</i>
Epi	<i>Anyperodon leucogrammicus</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>	Sig	<i>Siganus corallinus</i>
Epi	<i>Cromileptes altivelis</i>	Mul	<i>Parupeneus spilurus</i>	Sig	<i>Siganus doliatus</i>
Epi	<i>Epinephelus cyanopodus</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	Sig	<i>Siganus puellus</i>



Epi	<i>Epinephelus Howlandi</i>	Pin	<i>Parapercis hexophthalma</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>
Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	Syn	<i>Saurida gracilis</i>
Epi	<i>Epinephelus merra</i>	Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	Syn	<i>Synodus variegatus</i>
Epi	<i>Epinephelus ongus</i>	Poc	<i>Centropyge flavissima</i>	Zan	<i>Zanclus cornutus</i>

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 38](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 27](#).

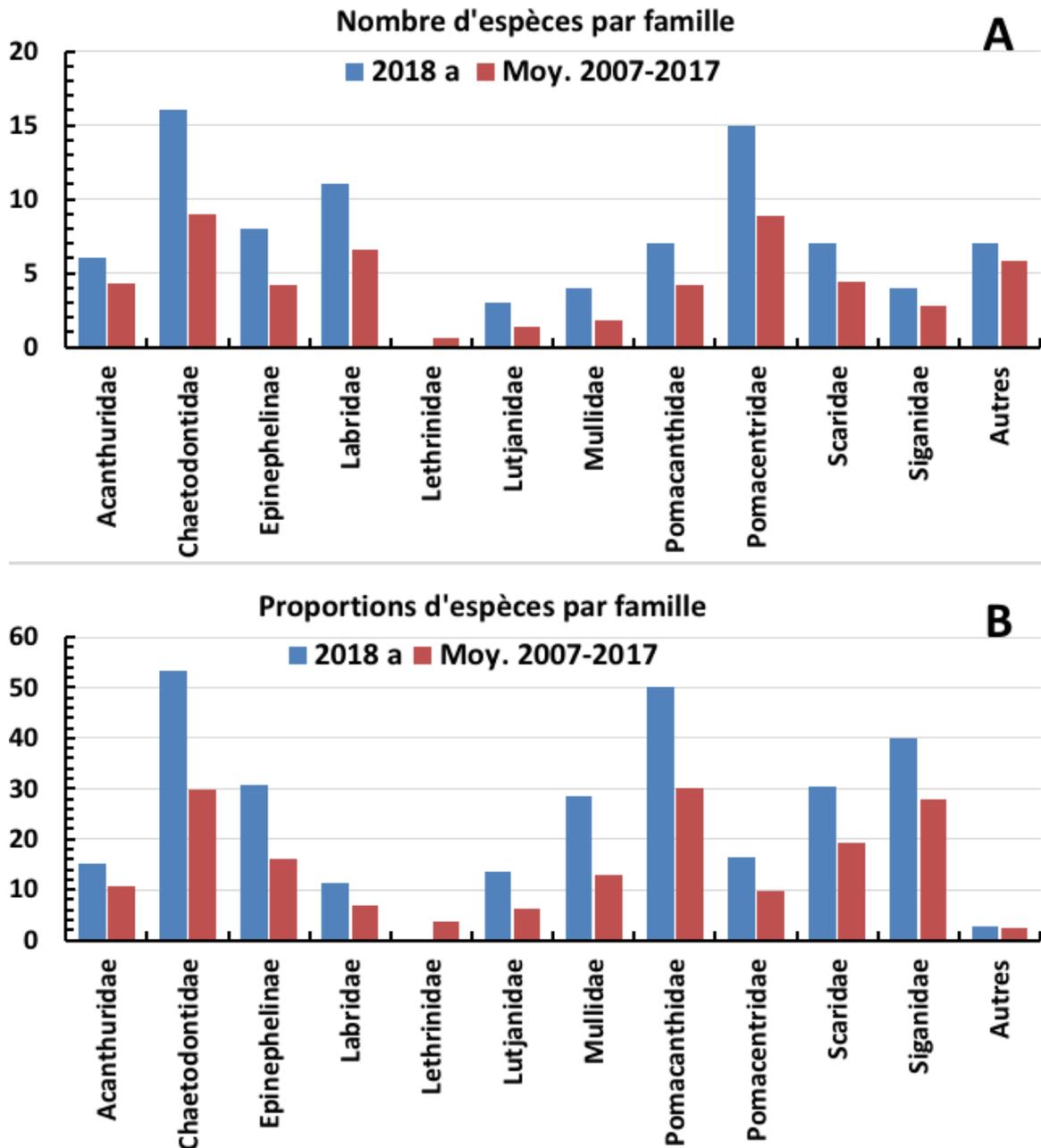


Figure n°27 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST04)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Tableau n°38 : *Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST04)*

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	6	4,32	15,00	10,80
Chaetodontidae	30	16	8,95	53,33	29,83
Epinephelinae	26	8	4,21	30,77	16,19
Labridae	97	11	6,63	11,34	6,84
Lethrinidae	16	0	0,58	0,00	3,63
Lutjanidae	22	3	1,37	13,64	6,23
Mullidae	14	4	1,83	28,57	13,07
Pomacanthidae	14	7	4,21	50,00	30,07
Pomacentridae	92	15	8,84	16,30	9,61
Scaridae	23	7	4,42	30,43	19,22
Siganidae	10	4	2,79	40,00	27,90
Autres	257	7	5,85	2,72	2,28
Khi2 obs		2,8		11,8	
Khi2 tab		19,17			

Quel que soit l'angle de vue, des effectifs ou des proportions, la structure de mai 2018 ne diffère pas de la structure moyenne obtenue sur la période de suivi.

Si les 20 missions de la série historique sont reprises, 7 d'entre elles peuvent être rapprochées de la moyenne sur la série : 2010a, 2012a, 2014b, 2015b, 2016a et b, 2017b. Et globalement elles sont hétérogènes sous l'angle de vue de leur structure (cf. [tableau](#) synoptique 113).

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 39](#) et la [figure 28](#).

L'écart relatif à la moyenne [$E_{ri} = (X_i - X_m) / X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 40](#) et représentation [figure 29](#).

Tableau n°39 : *Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST04)*

Canal Woodin ST04		Liste DENV					Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	Station	
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3	
2018 a	Transect A	288	7,2	115,8	53			
	Transect B	349	6,3	489,2	54			
	Transect C	245	2,1	610,3	26			
	Moy. ABC	294,00	5,20	405,10	88	104	141	
2017 b	Moy. ABC	367,67	7,68	195,95	77	103	145	
2017 a	Moy. ABC	472,00	5,65	250,00	73	97	126	
2016 b	Moy. ABC	315,67	3,56	108,03	68	96	117	



2016 a	Moy. ABC	524,00	5,18	747,37	78	102	124
2015 b	Moy. ABC	586,67	4,64	609,65	72	90	120
2015 a	Moy. ABC	659,00	5,90	510,16	71	95	140
2014 b	Moy. ABC	177,67	2,21	392,32	50	75	115
2014 a	Moy. ABC	175,00	1,86	85,59	52	74	122
2013 b	Moy. ABC	134,57	1,32	97,56	46	72	92
2013 a	Moy. ABC	237,00	2,71	87,47	47	80	110
2012 b	Moy. ABC	99,00	1,09	105,52	46	64	90
2012 a	Moy. ABC	249,33	2,58	446,85	51	83	108
2011 b	Moy. ABC	95,33	0,95	65,36	42	68	88
2011 a	Moy. ABC	169,00	2,11	730,66	64	89	111
2010 b	Moy. ABC	81	0,84	38,60	25	70	92
2010 a	Moy. ABC	107,00	3,38	460,91	54	79	110
2009	Moy. ABC	45,00	4,07	456,26	35	55	81
2008	Moy. ABC	52,00	2,71	267,80	39	49	89
2007	Moy. ABC	95,00	5,45	408,31	37	40	54

Tableau n°40 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST04)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	34 576	4,00	50 651	290	334	515
Ecart type	185,95	1,94	225,06	17,03	18,28	22,69
Moyenne	246,82	3,45	323,47	56,05	79,25	108,75
Coef. de Var.	0,75	0,56	0,70	0,30	0,23	0,21

Commentaires :

- Le nombre d'espèces sur les transects (biodiversité 1) est un peu au-dessus de la moyenne de la station.
- La biodiversité totale (biodiversité 3) est restée à une forte valeur, proche de celle de la mission septembre 2017.
- Les 4 familles, Acanthuridae, Chaetodontidae, Pomacentridae et Labridae, représentent plus de 50 % de la biodiversité. C'est également vrai si l'on considère la biodiversité 3.
- La biomasse est plutôt importante. L'essentiel de la biomasse (60%) est dû à 4 espèces : *Nazo Hexacanthus* (et non pas *Nazo lopezi* comme lors de la dernière mission), quelques mékoua *Aprion virescens*, les saumonées *Plectropomus leopardus*, le *Caesio marri* (et non *C. pisang* et *C. caerulea* comme lors de la dernière mission... il est d'ailleurs à noter que tous les casios longilignes des stations du canal étaient des *C. marri* alors qu'ordinairement on trouve 2 ou 3 espèces différentes en plus de *C. cuning*).

Les observations montrent des structures de peuplements instables, cependant moins que dans la baie de Prony. Les espèces nomades induisent des changements naturels d'organisation de la Bα.

Sur les 20 missions, 7 ont des structures de peuplement qui ne diffèrent pas significativement de la structure moyenne : 2010a, 2012a, 2014b, 2015b, 2016a et b, 2017b. Mais, depuis 2007 et dans leur ensemble, toutes les structures de peuplement diffèrent très significativement les unes des autres (cf. [tableau synoptique 113](#)).

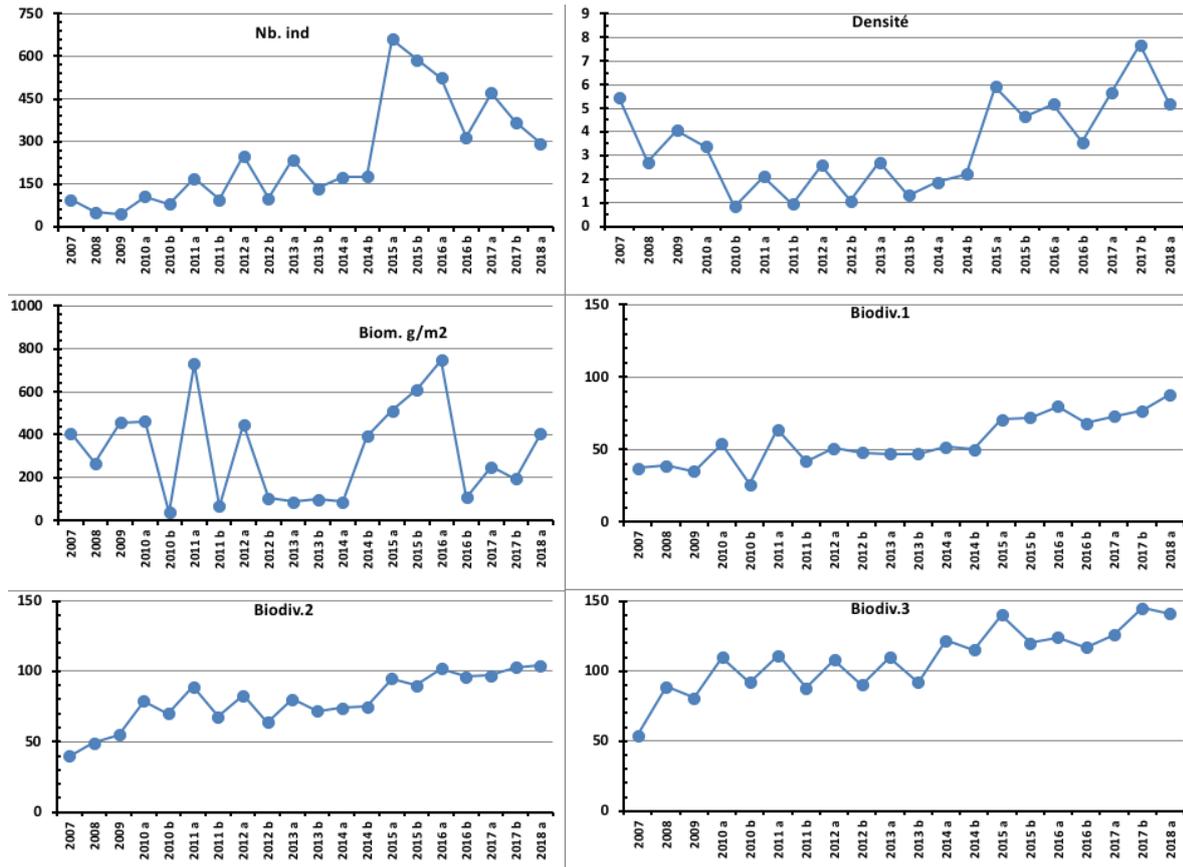


Figure n°28 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST04)

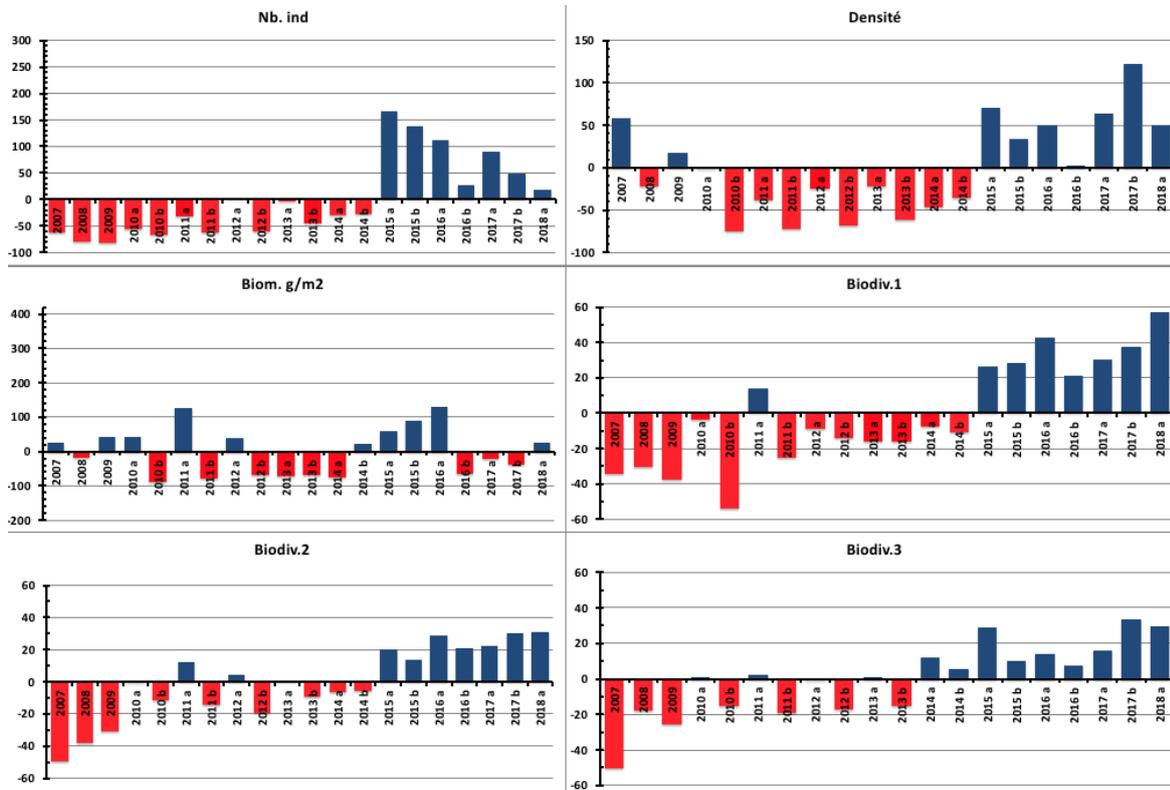


Figure n°29 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST04)



4.5 Station 05 = Récif Ioro

Localisation géographique	Façade nord-ouest du récif de Ioro, sous le vent, à environ 200 mètres dans le sud-ouest du feu signal de Ioro (photographie 16). Ce récif est ennoyé et soumis aux courants de marée et subit sur sa façade sud-est l'assaut des vagues dues aux alizés et à son exposition au large, alors que sa façade ouest est plus protégée.
Nombre transects	3 transects.
Description transects	Ils ont été positionnés perpendiculairement à la pente à 5, 10 et 20 mètres de profondeur et sont orientés du sud-ouest vers le nord-est.
	Le transect A est installé sur la zone sommitale du récif qui est constituée par du sable fin sur lequel sont disposés de nombreux débris, des grandes colonies massives de <i>Porites</i> et des massifs coralliens épars. Ces derniers sont recouverts principalement par des corallines et des colonies coralliennes de taille décimétrique. Des <i>Cliona</i> encroûtent quelques coraux massifs (taille métrique). Le transect B se caractérise par un recouvrement important de débris, de blocs coralliens et de colonies de <i>Porites</i> (taille métrique) sur du sable coquillé. Les massifs coralliens sont épars, encore en place mais peu colonisés. Le transect C se situe en bas de pente sédimentaire (substrat sableux).

Description générale

La façade nord-ouest du récif est composée par une pente sédimentaire détritique (sable, débris et blocs coralliens) inclinée à environ 35°.

Des massifs coralliens de forme massive se développent particulièrement de la surface jusqu'à mi-pente, laissant la place au fur et à mesure de la profondeur aux coraux branchus *Tubastrea micrantha* qui affectionnent les zones de courants.

Caractéristiques principales

- ↪ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme important (courant de marée et relativement protégé de la houle et du ressac)
- ↪ Présence en grand nombre de *Porites* massifs et branchus (diversité des Poritidae), *Millepora*, *Tubastrea micrantha* et d'une grande colonie pluri métrique de *Diploastrea heliopora*
- ↪ Mortalité corallienne (colonies en place) et nombreux débris
- ↪ Les spongiaires (*Cliona jullieni* et *C. orientalis*) sont relativement bien développées et colonisent les massifs coralliens vivants et les blocs coralliens
- ↪ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques
- ↪ Présence occasionnelle d'*Acanthaster planci*

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 32.5% au transect A, 29% en B et 0.5% en C
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0% ; Avril 2016 : 0.17% ; Novembre 2016 : 0% ; Avril 2017 : 0.13% ; Septembre 2017 : 0% ; Mai 2018 : 0.4%*
- Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche affecte des colonies d'*Acropora* tabulaires en B (0.9 m²). Les colonies anciennement affectées sont mortes en place. Très nombreuses anomalies de croissance sur la grande colonie de *Diploastrea heliopora* (transect B). Les lésions induites par les corallivores sont très restreintes (1 spécimen d'*Acanthaster* en A & B, respectivement 0.3 et 0.2 m²)
- Perturbations mécaniques et sédimentaires : RAS pour cette mission

Autres indicateurs :

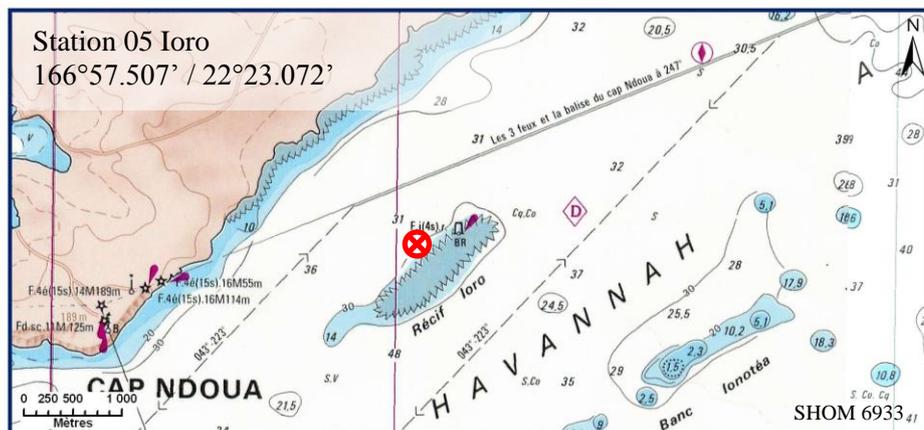
- Cyanobactéries : recouvrement en augmentation pour A & B (respectivement niveau 1 à 2 et 0 à 1). Elles se développent sur les débris coralliens
- Le turf algal se développe modérément sur les débris et les colonies coralliennes mortes en place au fur et à mesure de leur dégradation.
- Algues brunes *Lobophora* : recouvrement en augmentation en B (niveau 0 à 2)



- Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* : absente
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

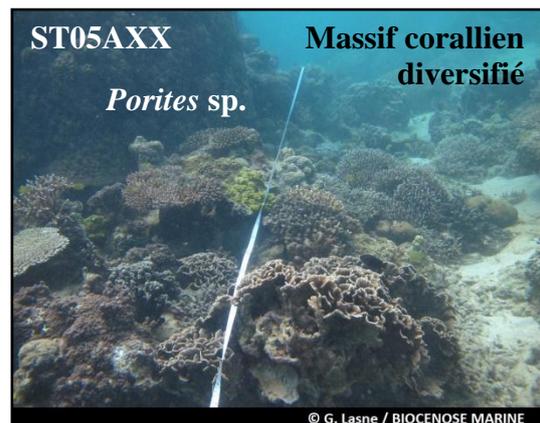
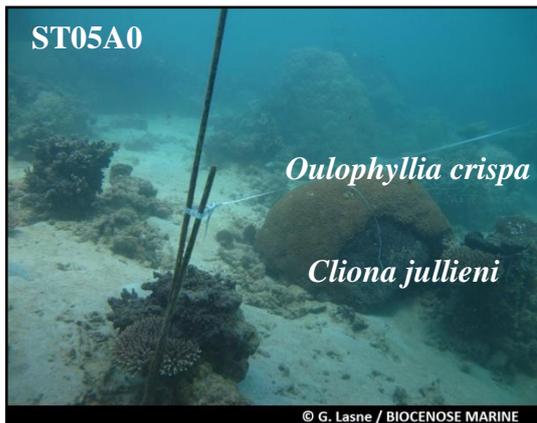
- Absence de *Culcita novaeguineae*
- Présence d'1 spécimen d'*Acanthaster planci* en A & B
- Absence de *Drupella cornus*



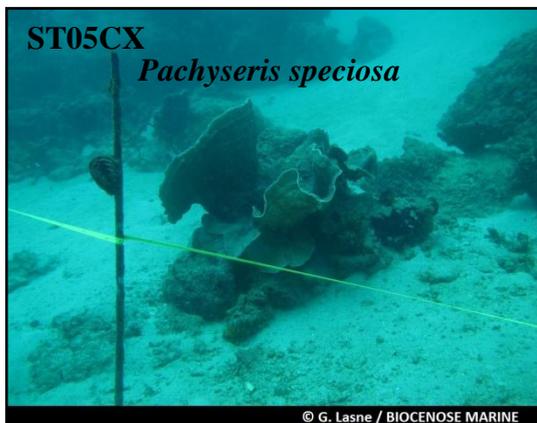
Carte n°07 : Localisation de la station 05 (Ioro)



Photo n°16 : Position en surface par rapport au feu signal (ST05)



Nombreuses espèces d'holothuries colonisent le niveau bathymétrique supérieur (STA)



Pente sédimentaire de sable carbonaté et quelques massifs coralliens métriques à plurimétriques colonisés par colonies coralliennes décimétriques et par *Tubastraea micrantha*

Photo n°17 : Vue d'ensemble des transects (ST05)

4.5.1 Le substrat (ST05)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 30](#) pour le transect A, dans la [figure 31](#) pour le transect B et dans la [figure 32](#) pour le transect C.

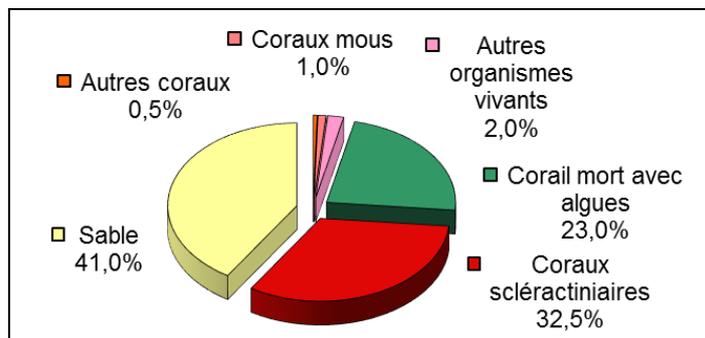


Figure n°30 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST05A*

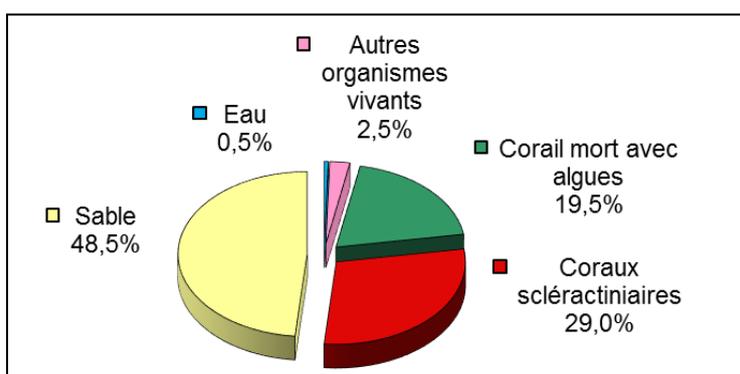


Figure n°31 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST05B*

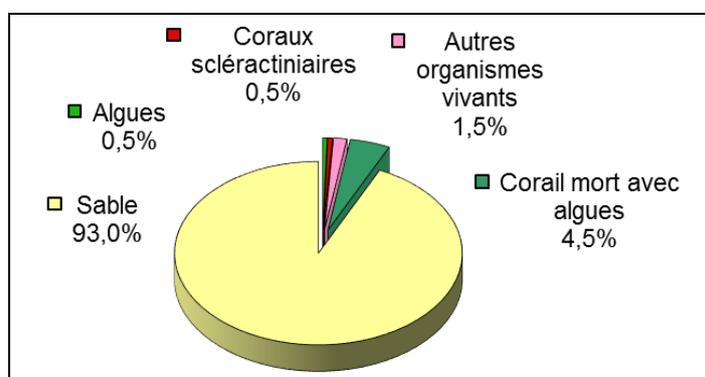


Figure n°32 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST05C*

Le substrat est majoritairement abiotique à cette station, avec une proportion de sable qui augmente avec la profondeur (41%, 48,5% puis 93%).

Les coraux scléactiniaires ne sont correctement représentés que sur les deux premiers transects (respectivement 32,5% et 29%), contre que 0,5% au transect C.

Le transect C est remarquable par sa quasi absence de vie : il est positionné au-dessus du sable et croise seulement un massif corallien mort (avec turf algal) sur sa fin. Même si à cet étage le substrat est peu colonisé, ce transect n'est cependant pas représentatif de cette zone, où de très beaux *Tubastrea micrantha* peuvent notamment être observés.

Globalement cette station est stable.

4.5.2 Le benthos (ST05)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Ioro (ST05) est composée de :

- **58 espèces d'invertébrés** dont 18 espèces de mollusques ; 9 espèces de cnidaires : alcyonaires (5 taxons), actiniaires (2 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 17 espèces d'échinodermes : holothurides (6 taxons), astéries (5 taxons), échinides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 9 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- **8 espèces de macrophytes** : algues vertes (5 taxons), algues brunes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

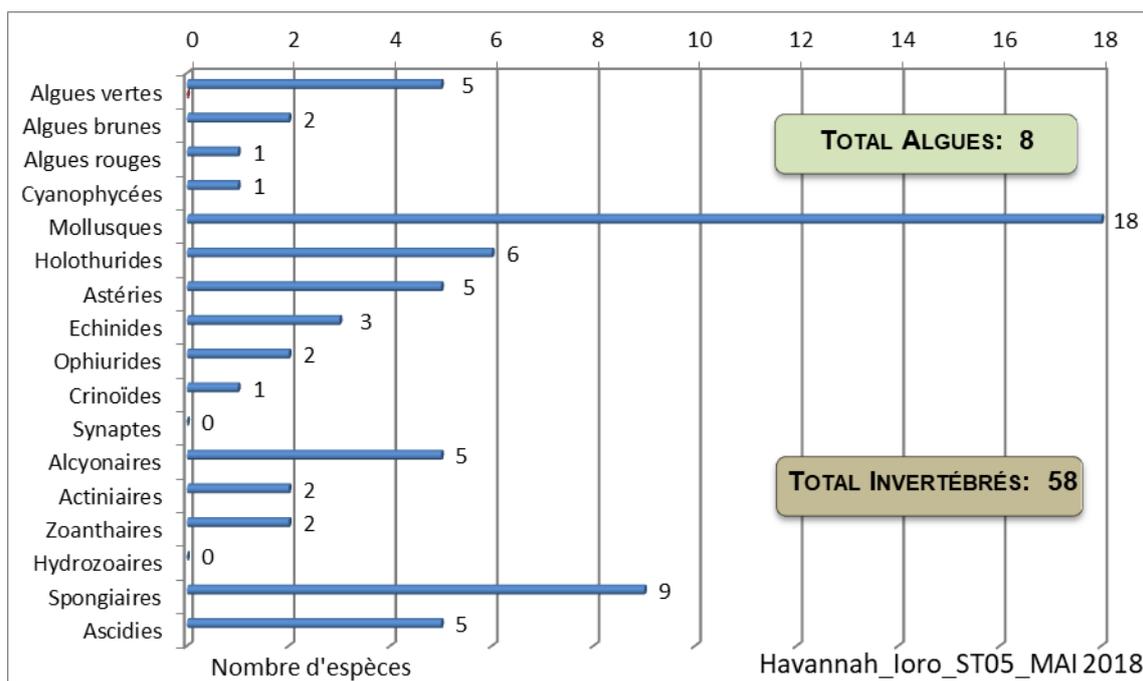


Figure n°33 : Répartition par famille de la richesse spécifique corallienne (ST05)

4.5.2.1 Benthos Transect 05 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST05A est composée de :

- 45 espèces d'invertébrés dont 13 espèces de mollusques ; 6 espèces de cnidaires : alcyonaires (3 taxons), zoanthaires (2 taxons), actiniaires (1 taxon) ; 16 espèces d'échinodermes : astéries (5 taxons), holothurides (5 taxons), échinides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 6 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- 8 espèces de macrophytes : algues vertes (5 taxons), algues brunes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°41 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST05A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
3 nouvelles espèces d'algues recensées, dont l'algue brune : • <i>Turbinaria ornata</i> (A2), l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) et l'algue verte : • <i>Codium platyclados</i> (A2) Aucune espèce d'algues n'a disparue	Aucune espèce d'algues n'augmente. Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cyanobactéries augmente d'abondance : • <i>Phormidium</i> sp. (A2/+ 1).



Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	2 espèces de cnidaires augmentent d'abondance : ➤ pour les alcyonaires (2 espèces) : • <i>Lobophytum</i> sp. (A2/+ 1), • <i>Sarcophyton</i> sp. (A3/+ 1).
Echinodermes	
4 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (3 espèces) : • <i>Acanthaster planci</i> (A1), • <i>Celerina heffernani</i> (A1), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A2). 2 espèces d'échinodermes disparues : ➤ pour les holothurides : • <i>Bohadschia argus</i> (A0/-1), • <i>Thelenota ananas</i> (A0/-1)	Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Holothuria fuscopunctata</i> (A1/- 1)
Mollusques	
3 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna squamosa</i> (A1) ; ➤ pour les gastéropodes (2 espèces) : • <i>Lambis lambis</i> (A1), • <i>Astraea rhodostoma</i> (A2). Une espèce de mollusques disparue : ➤ pour les nudibranches : • <i>Chromodoris leopardus</i> (A0/-1).	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna maxima</i> (A3/+ 1).
Eponges	
2 nouvelles espèces d'éponges recensées : • <i>Hamigera strongylata</i> (A2), • <i>Dysidea herbacea</i> (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.5.2.2 Benthos Transect 05 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST05B est composée de :

- 47 espèces d'invertébrés dont 13 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons), actiniaires (1 taxon) ; 14 espèces d'échinodermes : astéries (5 taxons), échinides (3 taxons), holothurides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 8 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- 3 espèces de macrophytes : algues vertes (2 taxons), algues brunes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°42 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST05B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Une nouvelle espèce d'algue recensée, l'algue brune : • <i>Lobophora variegata</i> (A3). Aucune espèce d'algues n'a disparue.	Aucune espèce d'algues n'augmente. 1 espèce d'algue diminue : l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (A1/- 1)
Cyanobactéries	
1 nouvelle espèce de cyanobactéries recensée : • <i>Phormidium</i> sp. (A1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
2 nouvelles espèces de cnidaires recensées : ➤ pour les actiniaires (1 espèce) : • <i>Discosoma</i> sp. (A1) ; ➤ pour les zoanthaires (1 espèce) : • <i>Palythoa tuberculosa</i> (A2).	2 espèces de cnidaires augmentent d'abondance : ➤ pour les alcyonaires (2 espèces) : • <i>Sarcophyton</i> sp. (A3/+ 1), • <i>Simularia</i> sp. (A2/+ 1).
Echinodermes	
4 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (2 espèces) : • <i>Acanthaster planci</i> (A1), • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1) ; ➤ pour les échinides (1 espèce) : • <i>Echinometra mathaei</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1).	Une espèce d'échinodermes augmente d'abondance : ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Holothuria edulis</i> (A2/+ 1)
Mollusques	



2 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna maxima</i> (A2) ; ➤ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Cypraea</i> sp. (A1). Une espèce de mollusques disparue : ➤ pour les gastéropodes (-1 espèce) : • <i>Astraea rhodostoma</i> (A0/-1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
2 nouvelles espèces d'éponges recensées : • <i>Cymbastella cantharella</i> (A2), • <i>Dactylia delicata</i> (A1).	Une espèce d'éponges augmente d'abondance : • <i>Sphaciospongia vagabunda</i> (A3/+ 1).
Ascidies	
Une nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Didemnum molle</i> (A2).	Une espèce d'ascidies augmente d'abondance : • <i>Polycarpa nigricans</i> (A4/+ 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.5.2.3 Benthos Transect 05 C

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST05C est composée de :

- 22 espèces d'invertébrés dont 6 espèces de mollusques ; 4 espèces de cnidaires : alcyonaires (3 taxons), zoanthaires (1 taxon) ; 3 espèces d'échinodermes : crinoïdes (1 taxon), échinides (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 6 espèces d'éponges ; 3 espèces d'ascidies
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des macrophytes et des cyanobactéries.

Tableau n°43 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST05C)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée ni n'a disparue	Aucune espèce d'algues n'augmente ni ne diminue
Cyanobactéries	
1 sp de cyanobactéries disparue : • <i>Phormidium</i> sp. (A0/-2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
Une nouvelle espèce d'échinodermes recensée : ➤ pour les échinides (1 espèce) : • <i>Diadema setosum</i> (A1). 2 espèces d'échinodermes disparues : ➤ pour les astéries (-1 sp) : • <i>Celerina heffernani</i> (A0/-1) ➤ pour les holothurides (-1 sp) : • <i>Actinopyga lecanora</i> (A0/-1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
Une nouvelle espèce de mollusques recensée : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Pinna</i> sp. (A1).	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Hyotissa hyotis</i> (A2/+ 1).
Eponges	
1 nouvelle sp d'éponges recensée : • <i>Cymbastella cantharella</i> (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
1 nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Polycarpa aurita</i> (A1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.5.3 Les poissons (ST05)

La liste des espèces observées⁸ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 44](#).

Tableau n°44 : Données sur les poissons (ST05)

Banc Ioro ST05		Transect			Transect			Transect			Station		
		A			B			C			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	2	0,02	2,74				1	0,00	0,40	1,00	0,01	1,05
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	1	0,01	0,55							0,33	0,00	0,18
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	3	0,04	1,65	1	0,01	0,17				1,33	0,02	0,60
Aca	<i>Naso unicornis</i>	2	0,01	16,00							0,67	0,00	5,33
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	2	0,02	0,17							0,67	0,01	0,06
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	1	0,01	0,29							0,33	0,00	0,10
Ble	<i>Ecsenius bicolor</i>	1	0,01	0,00				1	0,01	0,01	0,67	0,01	0,00
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	1	0,01	0,00				2	0,03	0,03	1,00	0,01	0,01
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	2	0,02	0,07							0,67	0,01	0,02
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	2	0,02	0,17							0,67	0,01	0,06
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	4	0,03	0,67							1,33	0,01	0,22
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	4	0,03	0,08	2	0,03	0,11				2,00	0,02	0,06
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	3	0,03	0,03	3	0,04	0,09				2,00	0,02	0,04
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>				1	0,01	0,05				0,33	0,00	0,02
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	2	0,02	0,11	2	0,03	0,06				1,33	0,01	0,06
Cha	<i>Forcipiger flavissimus</i>				1	0,01	0,05				0,33	0,00	0,02
Das	<i>Dasyatis kuhlii</i>				4	0,03	21,44				1,33	0,01	7,15
Epi	<i>Epinephelus merra</i>	2	0,03	0,67							0,67	0,01	0,22
Epi	<i>Epinephelus ongus</i>				1	0,01	0,22				0,33	0,00	0,07
Hae	<i>Plectorhinchus flavomaculatus</i>							1	0,01	6,40	0,33	0,00	2,13
Lab	<i>Bodianus loxozonus</i>				1	0,01	0,68				0,33	0,00	0,23
Lab	<i>Bodianus perditio</i>							1	0,01	2,60	0,33	0,00	0,87
Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	1	0,01	0,55							0,33	0,00	0,18
Lab	<i>Gomphosus varius</i>	2	0,03	0,26							0,67	0,01	0,09
Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	2	0,03	1,69	1	0,01	1,71				1,00	0,01	1,13
Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>				3	0,04	0,09				1,00	0,01	0,03
Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	5	0,06	0,43	4	0,05	0,34				3,00	0,04	0,26
Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	8	0,10	0,69	5	0,06	0,27	4	0,05	0,03	5,67	0,07	0,33
Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	2	0,03	0,17	5	0,06	0,64				2,33	0,03	0,27
Mul	<i>Parupeneus ciliatus</i>				3	0,05	5,83				1,00	0,02	1,94
Mul	<i>Upeneus tragula</i>							5	0,06	7,29	1,67	0,02	2,43
Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	6	0,08	2,00	3	0,04	1,30				3,00	0,04	1,10
Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	3	0,04	0,05	2	0,03	0,06				1,67	0,02	0,04
Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	4	0,05	0,06							1,33	0,02	0,02
Poc	<i>Centropyge flavissima</i>	2	0,03	0,03							0,67	0,01	0,01
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	3	0,04	0,05	4	0,05	0,13	3	0,04	0,05	3,33	0,04	0,07
Poc	<i>Pomacanthus imperator</i>							1	0,01	1,77	0,33	0,00	0,59
Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>	8	0,10	1,02	10	0,13	0,54				6,00	0,08	0,52
Pom	<i>Amphiprion chrysopterus</i>	5	0,04	0,10	5	0,08	0,21				3,33	0,04	0,10
Pom	<i>Chromis viridis</i>	20	0,20	0,11	20	0,33	0,18				13,33	0,18	0,10
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	4	0,05	0,03							1,33	0,02	0,01
Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>	10	0,13	0,07	8	0,13	0,07				6,00	0,09	0,05
Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>	15	0,15	0,08	15	0,25	0,14	15	0,19	0,47	15,00	0,20	0,23
Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>				20	0,33	0,18	15	0,19	0,24	11,67	0,17	0,14
Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	8	0,08	0,20	10	0,17	0,21	10	0,13	0,54	9,33	0,12	0,32
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	4	0,05	0,06	4	0,07	0,09				2,67	0,04	0,05
Sca	<i>Chlorurus bleekeri</i>	1	0,01	2,13							0,33	0,00	0,71
Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>	5	0,05	1,33	4	0,07	2,93				3,00	0,04	1,42
Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>	7	0,07	1,86	4	0,05	3,38				3,67	0,04	1,75

⁸ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)



Sca	<i>Scarus ghobban</i>	2	0,02	2,33						0,67	0,01	0,78	
Sca	<i>Scarus niger</i>	1	0,01	0,98						0,33	0,00	0,33	
Sca	<i>Scarus rivulatus</i>	1	0,01	1,60						0,33	0,00	0,53	
Sca	<i>Scarus schlegeli</i>	4	0,04	5,49						1,33	0,01	1,83	
Sig	<i>Siganus doliatus</i>	2	0,02	0,69	2	0,03	0,89			1,33	0,02	0,53	
Sig	<i>Siganus vulpinus</i>	3	0,03	0,31						1,00	0,01	0,10	
Zan	<i>Zanclus cornutus</i>				1	0,01	0,35			0,33	0,00	0,12	
Total		170	1,82	47,58	149	2,20	42,41	59	0,71	19,83	126,0	1,58	36,61
Biodiversité		43		30			12			56			
Indice de Shannon =		4,879											
Equitabilité =		0,840											

Sur l'ensemble des transects de la station, 378 individus appartenant à 56 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 1.58 poissons/m² pour une biomasse de 36.61 g/m².

100 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 45](#)). En vert, les espèces nouvelles dans la liste.

Tableau n°45 : Liste des espèces complémentaires (ST05)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Lab	<i>Bodianus loxozonus</i>	Poc	<i>Centropyge flavissima</i>
Aca	<i>Acanthurus dussumieri</i>	Lab	<i>Bodianus perditio</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Poc	<i>Pomacanthus imperator</i>
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Lab	<i>Coris batuensis</i>	Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>
Aca	<i>Naso unicornis</i>	Lab	<i>Coris dorsomacula</i>	Pom	<i>Amphiprion chrysopterus</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Lab	<i>Gomphosus varius</i>	Pom	<i>Chromis chrysur</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Chromis lepidolepsis</i>
Apo	<i>Apogon aureus</i>	Lab	<i>Halichoeres margaritaceus</i>	Pom	<i>Chromis margaritifer</i>
Apo	<i>Apogon doederleini</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopion</i>	Pom	<i>Chromis nitida</i>
Apo	<i>Apogon fuscus</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Chromis viridis</i>
Apo	<i>Apogon indicus</i>	Lab	<i>Hologymnosus doliatus</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Aul	<i>Aulostomus chinensis</i>	Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Bal	<i>Sufflamen bursa</i>	Lab	<i>Oxycheilinus celebicus</i>	Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>
Ble	<i>Ecsenius bicolor</i>	Lab	<i>Pseudodax moluccanus</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon nigroris</i>
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon johnstonianus</i>
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	Lab	<i>Wetmorella nigropinnata</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	Let	<i>Gymnocranius euanus</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Lut	<i>Lutjanus adetii</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	Lut	<i>Lutjanus fulvus</i>	Pri	<i>Priacanthus hamrur</i>
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	Lut	<i>Macolor niger</i>	Sca	<i>Chlorurus bleekeri</i>
Cha	<i>Forcipiger flavissimus</i>	Mon	<i>Oxymonacanthus longirostris</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Das	<i>Dasyatis kuhlii</i>	Mon	<i>Paramonacanthus curtorhynchus</i>	Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>
Epi	<i>Epinephelus fasciatus</i>	Mul	<i>Parupeneus ciliatus</i>	Sca	<i>Scarus ghobban</i>
Epi	<i>Epinephelus merra</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>	Sca	<i>Scarus niger</i>
Epi	<i>Epinephelus ongus</i>	Mul	<i>Upeneus tragula</i>	Sca	<i>Scarus rivulatus</i>
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	Sca	<i>Scarus schlegeli</i>
Gob	<i>Amblyeleotris stenotaeniata</i>	Pin	<i>Parapercis hexophtalma</i>	Sca	<i>Scarus spinus</i>
Gob	<i>Amblygobius phalaena</i>	Pin	<i>Parapercis multiplicata</i>	Sig	<i>Siganus doliatus</i>



Gra	<i>Diploprion bifasciatum</i>	Ple	<i>Assessor macneilli</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>
Hae	<i>Plectorhinchus flavomaculatus</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	Syn	<i>Saurida gracilis</i>
Lab	<i>Anampses caeruleopunctatus</i>	Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	Zan	<i>Zanclus cornutus</i>
Lab	<i>Anampses geographicus</i>				

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 46](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 34](#).

Tableau n°46 : *Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST05)*

Familles	Nb d'espèces vues (zone 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	6	4,68	15,00	11,70
Chaetodontidae	30	8	5,58	26,67	18,60
Epinephelinae	26	2	2,58	7,69	9,92
Labridae	97	9	5,63	9,28	5,80
Lethrinidae	16	0	0,84	0,00	5,25
Lutjanidae	22	0	0,95	0,00	4,32
Mullidae	14	2	2,00	14,29	14,29
Pomacanthidae	14	5	3,37	35,71	24,07
Pomacentridae	92	9	8,74	9,78	9,50
Scaridae	23	7	3,58	30,43	15,57
Siganidae	10	2	1,37	20,00	13,70
Autres	257	6	5,42	2,33	2,11
Khi2 obs		5,5		23,3	
Khi2 tab		19,17			

Sous l'angle de vue des proportions, la structure de mai 2018 diffère significativement de la structure moyenne obtenue sur la période de suivi (2007-2017).

Si les missions de la série historique sont reprises, 6 d'entre-elles sont similaires à la structure moyenne : ce sont les structures de 2008, 2010a, 2011a, 2012a et b, et 2017a. Globalement elles forment un ensemble hétérogène sous l'angle de vue de leur structure (cf. [tableau synoptique 113](#)).

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 47](#) et la [figure 35](#).

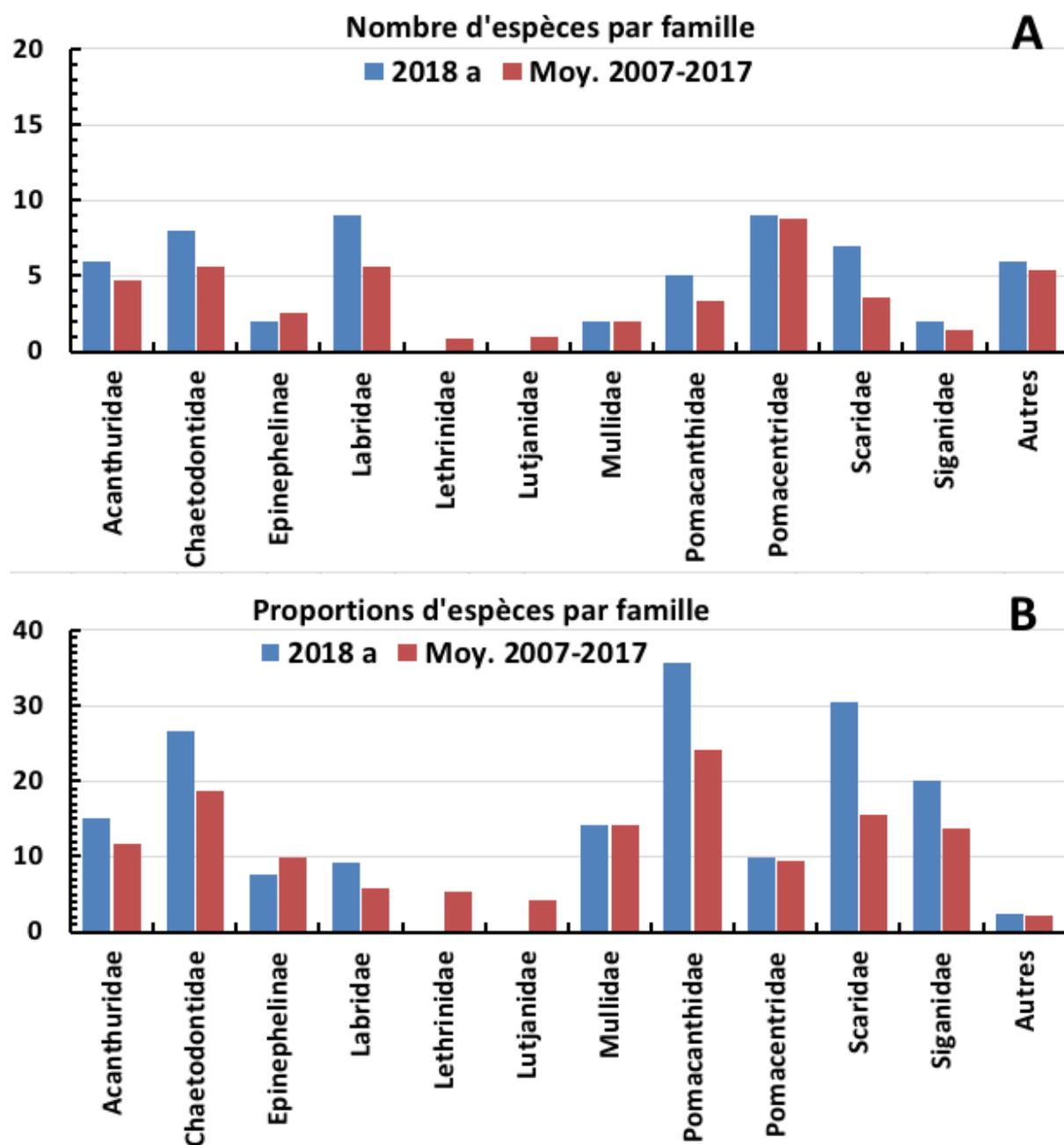


Figure n°34 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST05)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Tableau n°47 : Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST05)

Banc Ioro ST05		Liste DENV					Toutes espèces
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018 a	Transect A	170	1,82	47,58	43		
	Transect B	149	2,20	42,41	30		
	Transect C	59	0,71	19,83	12		
	Moy. ABC	126,00	1,58	36,61	56	66	100



2017 b	Moy. ABC	111,00	1,20	23,51	50	74	109
2017 a	Moy. ABC	131,33	0,96	169,61	43	67	94
2016 b	Moy. ABC	91,67	0,72	52,48	53	72	102
2016 a	Moy. ABC	122,67	1,80	126,83	62	74	108
2015 b	Moy. ABC	143,00	1,53	240,79	56	80	109
2015 a	Moy. ABC	115,67	1,19	173,89	63	81	113
2014 b	Moy. ABC	275,33	3,00	415,97	49	63	91
2014 a	Moy. ABC	93,00	1,12	83,80	45	81	114
2013 b	Moy. ABC	71,76	0,94	125,51	44	72	101
2013 a	Moy. ABC	140,33	1,80	130,43	43	87	115
2012 b	Moy. ABC	107,00	1,22	99,73	40	69	96
2012 a	Moy. ABC	76,67	0,87	51,11	36	66	88
2011 b	Moy. ABC	71,00	0,81	41,01	43	59	84
2011 a	Moy. ABC	141,33	1,56	661,47	55	67	94
2010 b	Moy. ABC	100	1,23	37,89	24	50	66
2010 a	Moy. ABC	71,00	2,37	93,78	42	63	79
2009	Moy. ABC	45,50	4,09	315,96	44	56	69
2008	Moy. ABC	57,30	2,02	57,97	30	41	52
2007	Moy. ABC	26,30	0,73	47,65	22	37	50

L'écart relatif à la moyenne [$Er_i=(X_i-X_m)/X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 48](#) et représentation [figure 36](#).

Tableau n°48 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST05)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	2 659	0,70	24 853	139	170	392
Ecart type	51,57	0,84	157,65	11,79	13,04	19,79
Moyenne	105,3	1,5	149,3	44,6	66,4	91,9
Coef. de Var.	0,49	0,54	1,06	0,26	0,20	0,22

Commentaires :

- La densité est légèrement plus importante que la moyenne.
- La valeur de la biomasse est toujours faible.
- Les valeurs de biodiversité sont stables et supérieures à la moyenne.

Les observations montrent des structures de peuplements instables, cependant moins que dans la baie de Prony. Les espèces nomades induisent des changements naturels d'organisation de la B α .

Sur les 20 missions, 6 ont des structures de peuplement qui ne diffèrent pas significativement de la structure moyenne : 2008, 2010a, 2011a, 2012a et b, 2017a. Mais, depuis 2007 et dans leur ensemble, toutes les structures de peuplement diffèrent très significativement les unes des autres (cf. [tableau](#) synoptique 113).

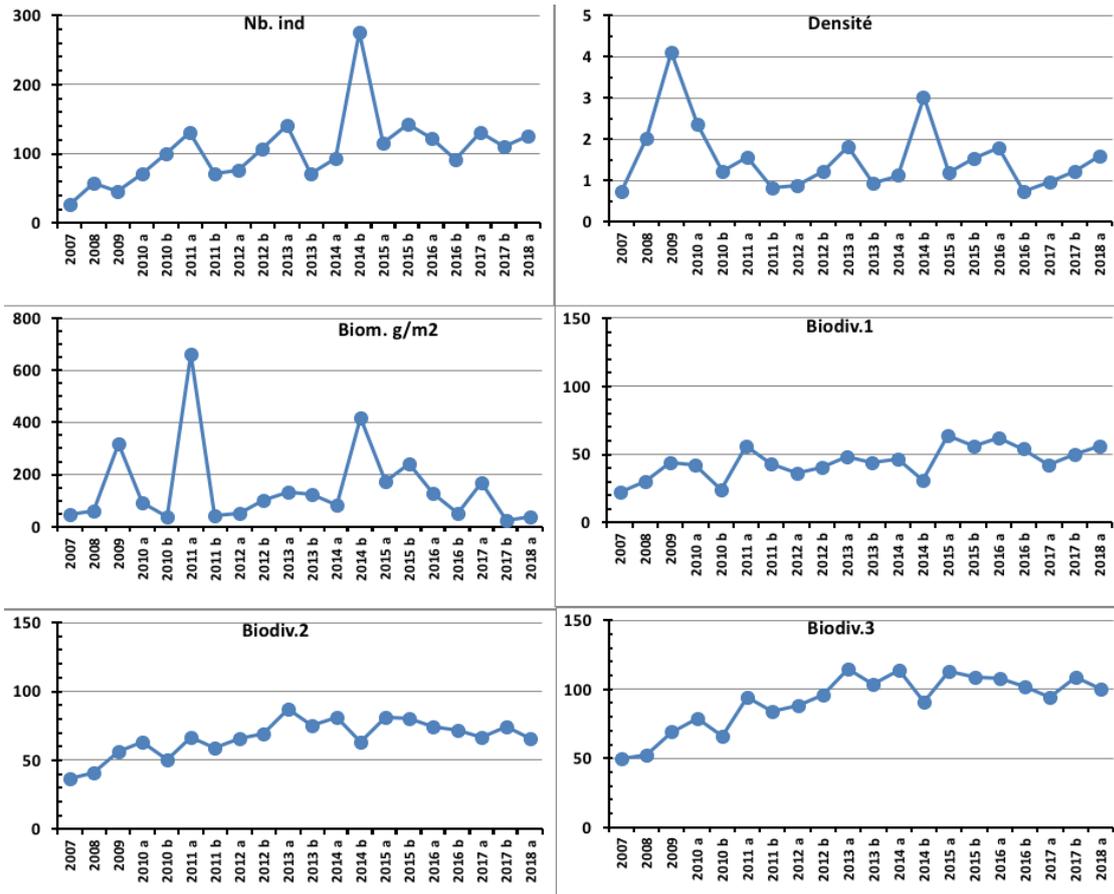


Figure n°35 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST05)

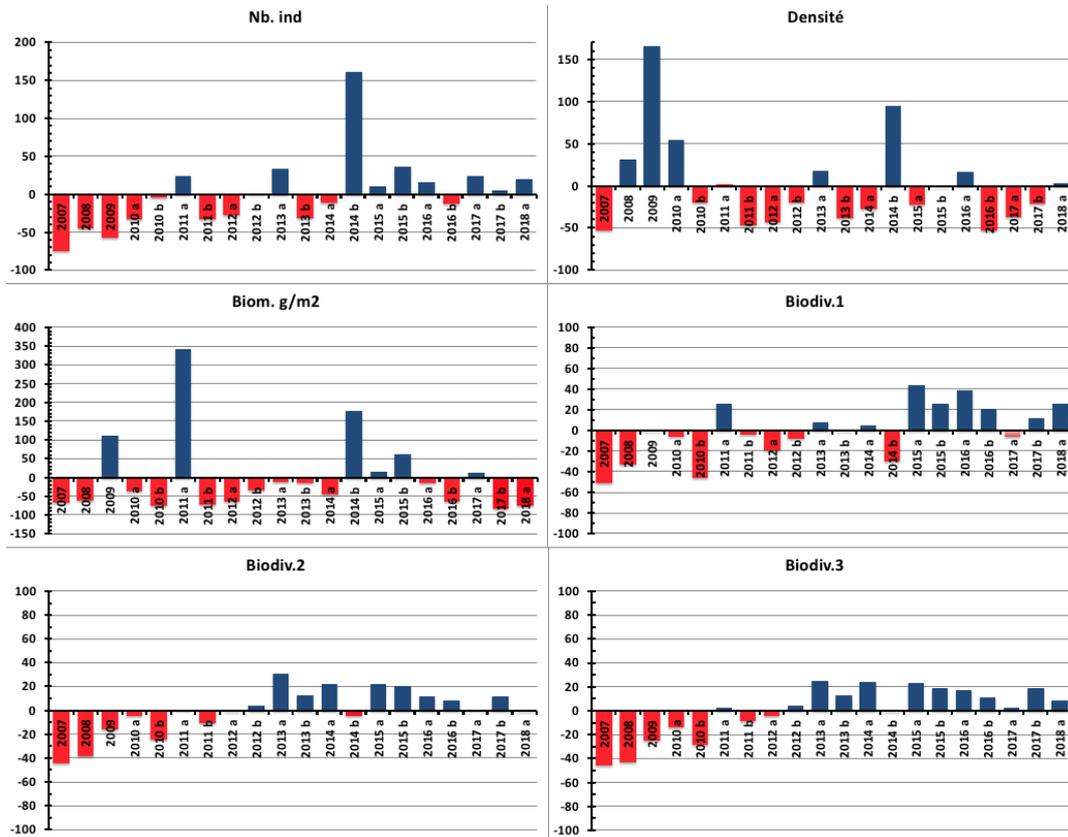


Figure n°36 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST05)



4.6 Station 06 = Banc Ionotea

Localisation géographique	Au nord-est du banc Ionotea. Le banc Ionotea se situe au milieu du canal de la Havannah. Ce récif est totalement immergé (cf. photographie 18) et subit les forts courants de marée, l'assaut des trains de houle et le ressac. Selon les conditions et l'heure de marée il peut même se former un mascaret. Aucun abri n'est possible.
Nombre transects	3 transects.
Description transects	Ils ont été positionnés parallèlement à la rupture de pente sous une orientation du sud-ouest vers le nord-est à 9, 15 et 21 mètres de profondeur.
	Le transect A se situe au début de la rupture de pente du récif. Le transect B se trouve au milieu de la pente qui est abrupte. Cette déclivité et les conditions hydrodynamiques intenses ont généré des effondrements de débris et de blocs coralliens (10 cm à 1 m) et retourné des <i>Acropora</i> tabulaires. Le transect C se situe en bas de pente. Au-delà, les massifs coralliens sont beaucoup plus espacés et le sable parsemé de débris, représente plus de 70 % du recouvrement.

Description générale

La station est positionnée sur une pente abrupte inclinée entre 40-50° pour les profondeurs de 6 et 20 mètres. Le banc est recouvert à son sommet principalement par des coraux du genre *Acropora* tabulaires et sub massif *Pocillopora* puis par une algueraie d'algues brunes des genres *Turbinaria* et *Sargassum*. Cette zone est fréquentée par de nombreuses tortues qui viennent se nourrir de ces algues. On note également la présence de deux couloirs d'avalanches avec des débris coralliens où les madrépores sont quasiment inexistantes.

Caractéristiques principales

- ↪ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme très important (courant de marée, houle et ressac)
- ↪ Dégradation des communautés benthiques sur l'ensemble de la station à cause de l'hydrodynamisme important : arrachement et casse des colonies coralliennes au transect A, puis remobilisation et accumulation de débris et de blocs coralliens pour les autres transects B & C (2015)
- ↪ Nombreux coraux tabulaires retournés sur l'ensemble de la station (mortalité conséquente par arrachement)
- ↪ Présence de grandes colonies de *Porites* massifs à mi pente (transect B)
- ↪ Les spongiaires (*Cliona jullieni* et *C. orientalis*) se développent relativement bien et colonisent les blocs coralliens et les massifs coralliens vivants
- ↪ Fortes compétition spatiale entre les coraux, les alcyonaires et les spongiaires
- ↪ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques
- ↪ Absence de l'algue brune *Lobophora variegata*
- ↪ Présence de *Blastomussa wellsi* en C
- ↪ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 30.5% au transect A, 31% en B et 10.5% en C
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015* : 0.33% ; *Avril 2016* : 0.5% ; *Novembre 2016* : 0.15% ; *Avril 2017* : 1.07% ; *Septembre 2017* : 0.17% ; *Mai 2018* : 0.6%
- Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.9 m² et 0.6 m²). Les espèces concernées sont *Acropora* tabulaire et branchu et *Seriatopora hystrix*
- Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation aux transects inférieurs (B & C). De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation de débris, blocs, colonies coralliennes et de sable carbonaté par la houle et le ressac)



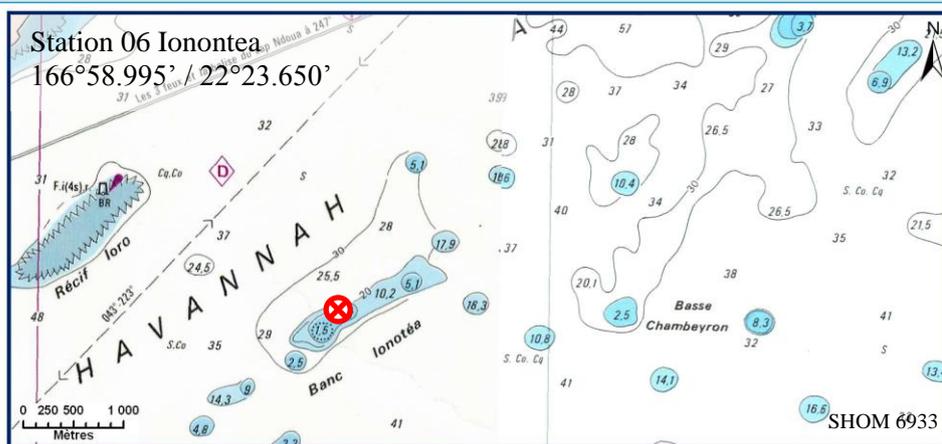


Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : présence en B (niveau 2). Elles se développent sur les colonies mortes en place (surtout *Acropora*)
- Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies coralliennes au fur et à mesure de leur dégradation (effondrement de débris)
- Algues brunes *Lobophora* : absente
- Algues rouges *Asparagopsis taxiformis* : recouvrement en augmentation en B (niveau 0 à 2)
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*
- Absence de *Drupella cornus*



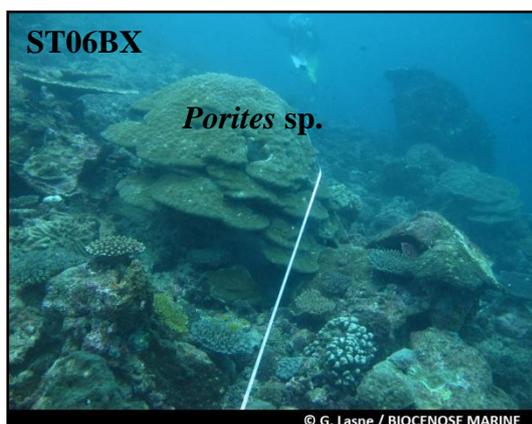
Carte n°08 : Localisation de la station 06 (Ionotea)



Photo n°18 : Position en surface (ST06)



Les colonies coralliennes déstabilisées du substrat dévalent la pente récifale



Nombreux débris coralliens et colonies mortes et arrachées du substrat (milieu et bas de pente récifale)

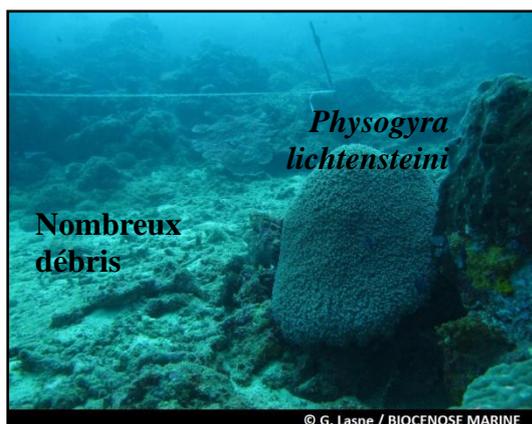


Photo n°19 : Vue d'ensemble des transects (ST06)

4.6.1 Le substrat (ST06)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 37](#) pour le transect A, dans la [figure 38](#) pour le transect B et dans la [figure 39](#) pour le transect C.

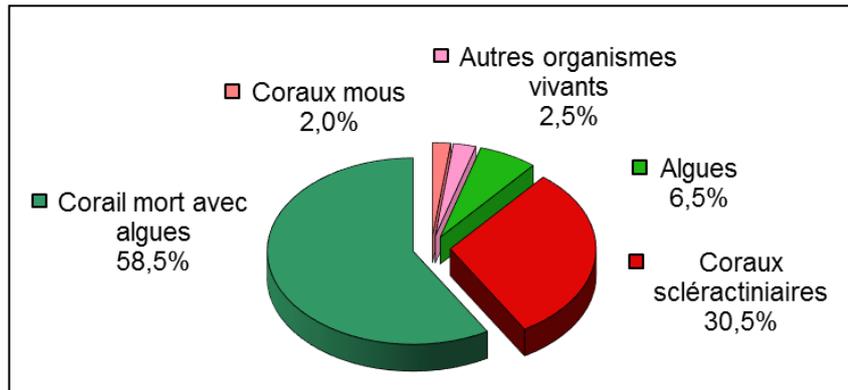


Figure n°37 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06A

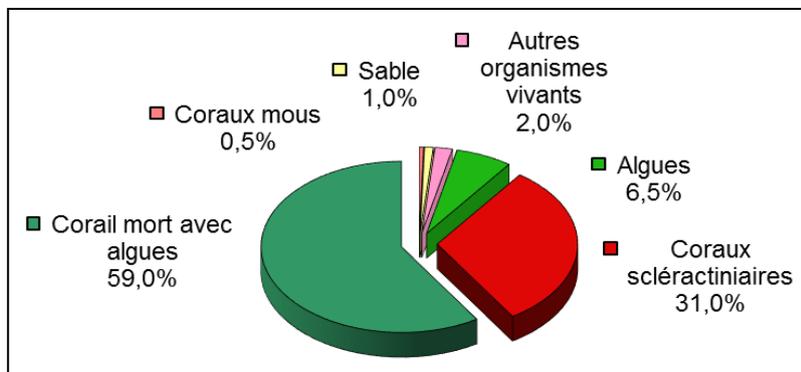


Figure n°38 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06B

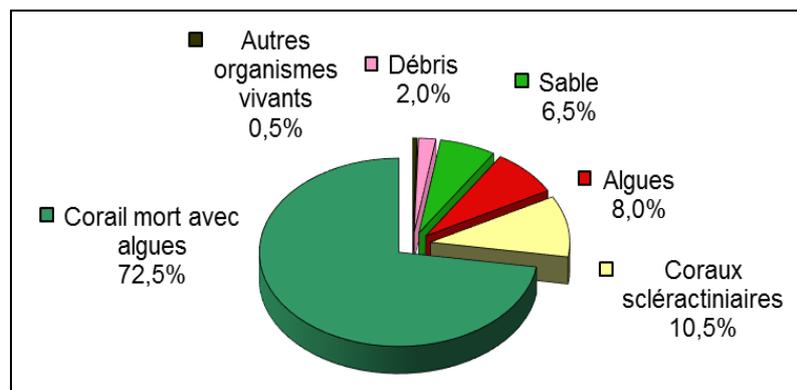


Figure n°39 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06C

Le substrat est très recouvert à cette station, notamment de coraux morts anciennement et colonisés par des algues calcaires encroûtantes (avec ainsi 100% de substrat biotique au transect A, 99% en B et 91.5% en C).

Les coraux scléactiniaires sont bien représentés particulièrement sur les 2 transects haut (30.5% en A, 31% en B et 10.5% en C).

A noter : Aucun blanchissement pour cette mission, et disparition des cyanobactéries.

Les trois transects sont globalement stables.



4.6.2 Le benthos (ST06)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Banc Ionotea (ST06) est composée de :

- 49 espèces d'invertébrés dont 11 espèces de mollusques ; 9 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), actiniaires (2 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 14 espèces d'échinodermes : astéries (7 taxons), échinides (3 taxons), holothurides (3 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 8 espèces d'ascidies
- 5 espèces de macrophytes : algues rouges (3 taxons), algues vertes (2 taxons)
- 1 espèce de cyanobactéries.

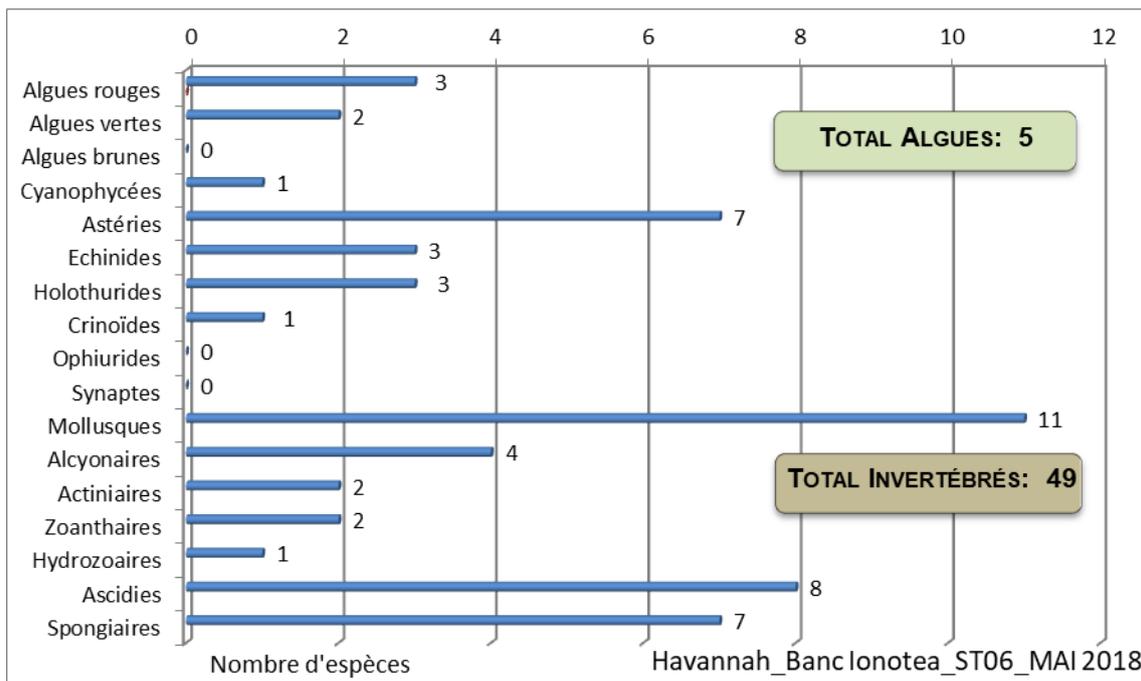


Figure n°40 : Répartition par famille de la richesse spécifique corallienne (ST06)

4.6.2.1 Benthos Transect 06 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST06A est composée de :

- 24 espèces d'invertébrés dont 5 espèces de mollusques ; 2 espèces de cnidaires : alcyonaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 7 espèces d'échinodermes : astéries (5 taxons), crinoïdes (1 taxon), échinides (1 taxon) ; 4 espèces d'éponges ; 6 espèces d'ascidies
- 4 espèces de macrophytes : algues rouges (3 taxons), algues vertes (1 taxon)
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°49 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST06A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
2 nouvelles sp d'algues recensées, dont l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) et l'algue verte : • <i>Chlorodesmis fastigiata</i> (A1) Aucune espèce d'algues n'a disparue	Aucune espèce d'algues n'augmente ni ne diminue
Cyanobactéries	
Une espèce de cyanobactéries disparue : • <i>Phormidium</i> sp. (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées :	2 espèces d'échinodermes diminuent d'abondance :





➤ pour les astéries (3 espèces) : • <i>Fromia indica</i> (A1), • <i>Linckia multifora</i> (A1), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1). 3 espèces d'échinodermes disparues : ➤ pour les astéries (-2 espèce) : • <i>Fromia milleporrella</i> (A0/-1), • <i>Fromia monilis</i> (A0/-1) ; ➤ pour les échinides (-1 espèce) : • <i>Diadema setosum</i> (A0/-1).	➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1/- 1) ; ➤ pour les crinoïdes (1 espèce) : •Crinoïdes ind. (A2/- 1).
Mollusques	
2 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Septifer bilocularis</i> (A2) ; ➤ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Conus miles</i> (A1).	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna maxima</i> (A2/+ 1).
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Dysidea herbacea</i> (A2). 1 espèce d'éponges disparue : • <i>Spheciospongia vagabunda</i> (A0/-2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
Une nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Didemnum molle</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.6.2.2 Benthos Transect 06 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST06B est composée de :

- 36 espèces d'invertébrés dont 10 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (3 taxons), actiniaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 9 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), holothurides (3 taxons), échinides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- 4 espèces de macrophytes : algues rouges (3 taxons), algues vertes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°50 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST06B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
1 nouvelle sp d'algue recensée : l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) Aucune espèce d'algues n'a disparue.	Aucune espèce d'algues n'augmente. Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
4 nouvelles espèces de cnidaires recensées : ➤ pour les alcyonaires (2 espèces) : • <i>Dendronephthya</i> sp. (A2), • <i>Nephthea</i> sp. (A2) ; ➤ pour les actiniaires (2 espèces) : • <i>Discosoma</i> sp. (A2), • <i>Cryptodendrum adhaesivum</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Linckia multifora</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A2).	Une espèce d'échinodermes augmente d'abondance : ➤ pour les échinides : • <i>Diadema setosum</i> (A2/+ 1). Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➤ pour les astéries : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1/- 1)
Mollusques	
4 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (2 sp) : • <i>Pinna</i> sp. (A1), • <i>Tridacna maxima</i> (A1) ; ➤ pour les nudibranches (2 espèces) : • <i>Chromodoris elisabethina</i> (A1), • <i>Chromodoris</i> sp. (A1)	Une espèce de mollusques diminue d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 sp) : • <i>Pteria peguin</i> (A2/- 1)
Eponges	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce d'éponges augmente d'abondance : • <i>Hamigera strongylata</i> (A2/+ 1).
Ascidies	



2 espèces d'ascidies disparues : • <i>Clavelina detorta</i> (A0/-2), • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A0/-1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.6.2.3 Benthos Transect 06 C

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST06C est composée de :

- 24 espèces d'invertébrés dont 2 espèces de mollusques ; 5 espèces de cnidaires : alcyonaires (2 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 8 espèces d'échinodermes : astéries (4 taxons), échinides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- 1 espèce de macrophyte : algue brune (1 taxon)
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°51 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST06C)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. Une espèce d'algue disparue : l'algue brune : • <i>Dictyota</i> sp. (A0/-2).	Aucune espèce d'algues n'augmente. Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
Une espèce de cyanobactéries disparue : • <i>Phormidium</i> sp. (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Dendronephthya</i> sp. (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
4 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (3 espèces) : • <i>Linckia multifora</i> (A2), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1), • <i>Neoferdina cumingi</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce d'ascidies diminue d'abondance : • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A1/- 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



4.6.3 Les poissons (ST06)

La liste des espèces observées⁹ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 52](#).

Tableau n°52 : Données sur les poissons (ST06)

Iononotea ST06		Transect			Transect			Transect			Station		
Fam	Espèces	A			B			C			Moyenne		
		Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	1	0,03	3,43				1	0,01	2,32	0,67	0,01	1,91
Aca	<i>Acanthurus dussumieri</i>							1	0,01	7,45	0,33	0,00	2,48
Aca	<i>Acanthurus mata</i>	10	0,25	24,57	15	0,25	40,0	20	0,20	32,0	15,00	0,23	32,19
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	2	0,05	1,33							0,67	0,02	0,44
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	3	0,08	2,59	3	0,05	1,33	2	0,03	1,10	2,67	0,05	1,67
Aca	<i>Naso annulatus</i>	3	0,08	0,77							1,00	0,03	0,26
Aca	<i>Naso unicornis</i>							2	0,02	55,5	0,67	0,01	18,49
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	3	0,08	1,09				1	0,01	0,25	1,33	0,03	0,45
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	1	0,03	0,86							0,33	0,01	0,29
Ant	<i>Pseudanthias dispar</i>				10	0,17	1,14				3,33	0,06	0,38
Cae	<i>Pterocaesio marri</i>	30	0,75	19,97				25	0,21	65,1	18,33	0,32	28,36
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	2	0,05	0,51							0,67	0,02	0,17
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>				2	0,03	0,49				0,67	0,01	0,16
Cha	<i>Chaetodon citrinellus</i>	6	0,15	0,65							2,00	0,05	0,22
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>				5	0,08	2,88				1,67	0,03	0,96
Cha	<i>Chaetodon kleinii</i>	4	0,10	0,43							1,33	0,03	0,14
Cha	<i>Chaetodon pelewensis</i>	3	0,08	0,32							1,00	0,03	0,11
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	2	0,05	0,51							0,67	0,02	0,17
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	2	0,05	0,34							0,67	0,02	0,11
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	3	0,08	0,77							1,00	0,03	0,26
Cha	<i>Coradion altivelis</i>	2	0,05	1,73							0,67	0,02	0,58
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	3	0,08	6,14	1	0,02	0,91				1,33	0,03	2,35
Cha	<i>Heniochus varius</i>				2	0,03	3,28				0,67	0,01	1,09
Epi	<i>Cromileptes altivelis</i>				1	0,02	7,32				0,33	0,01	2,44
Epi	<i>Epinephelus fasciatus</i>	2	0,05	9,26	2	0,03	5,33				1,33	0,03	4,86
Epi	<i>Epinephelus merra</i>	3	0,08	3,30							1,00	0,03	1,10
Epi	<i>Plectropomus laevis</i>				1	0,02	9,00				0,33	0,01	3,00
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	2	0,05	132,7	4	0,05	125,0	5	0,06	231,5	3,67	0,05	163,0
Hae	<i>Plectorhinchus chaetodonoides</i>				1	0,03	45,56				0,33	0,01	15,19
Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	1	0,03	4,63				1	0,01	1,52	0,67	0,01	2,05
Lab	<i>Cheilinus undulatus</i>							1	0,01	30,9	0,33	0,00	10,29
Lab	<i>Coris aygula</i>	1	0,03	2,92							0,33	0,01	0,97
Lab	<i>Gomphosus varius</i>	2	0,05	0,51	1	0,02	0,24				1,00	0,02	0,25
Lab	<i>Halichoeres hortulanus</i>	1	0,03	2,92	1	0,02	0,33				0,67	0,01	1,08
Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	2	0,05	6,86	1	0,02	0,91	1	0,01	2,00	1,33	0,03	3,26
Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>				4	0,07	0,17	5	0,06	0,27	3,00	0,04	0,15
Lab	<i>Thalassoma amblycephalum</i>	30	0,75	7,68							10,00	0,25	2,56
Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	10	0,25	2,56							3,33	0,08	0,85
Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	10	0,25	1,72	5	0,08	0,57	4	0,05	0,34	6,33	0,13	0,88
Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	10	0,25	2,56	3	0,05	0,51				4,33	0,10	1,02
Let	<i>Lethrinus atkinsoni</i>							1	0,01	3,04	0,33	0,00	1,01
Lut	<i>Aprion virescens</i>							6	0,04	178,7	2,00	0,01	59,6
Lut	<i>Lutjanus adetii</i>				20	0,50	68,59	20	0,20	37,04	13,33	0,23	35,2
Lut	<i>Lutjanus bohar</i>	2	0,05	2,74							0,67	0,02	0,91
Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>	3	0,08	3,30							1,00	0,03	1,10
Mul	<i>Parupeneus spilurus</i>	2	0,05	4,91							0,67	0,02	1,64
Ne	<i>Scolopsis bilineatus</i>	8	0,20	5,32	5	0,08	1,67	5	0,06	1,66	6,00	0,12	2,88
Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	4	0,10	0,43	4	0,07	0,09				2,67	0,06	0,17

⁹ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)



Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	3	0,08	0,32	3	0,05	0,06	3	0,04	0,09	3,00	0,05	0,16
Poc	<i>Centropyge flavissima</i>	2	0,05	0,51				2	0,03	0,11	1,33	0,03	0,21
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	3	0,08	0,32	3	0,05	0,06	4	0,05	0,06	3,33	0,06	0,15
Pom	<i>Amphiprion clarkii</i>	5	0,13	0,31							1,67	0,04	0,10
Pom	<i>Chromis fumea</i>	20	0,50	0,64	25	0,42	0,53	20	0,25	0,32	21,67	0,39	0,50
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	4	0,10	0,05	4	0,07	0,04	4	0,05	0,03	4,00	0,07	0,04
Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>	10	0,25	0,14	10	0,17	0,09				6,67	0,14	0,08
Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>	50	1,25	0,68	20	0,33	0,18	15	0,19	0,10	28,33	0,59	0,32
Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>				10	0,17	0,21	6	0,08	0,04	5,33	0,08	0,08
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	5	0,13	0,31	5	0,08	0,11	4	0,05	0,06	4,67	0,09	0,16
Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>	6	0,15	5,18	4	0,07	4,50	4	0,05	8,00	4,67	0,09	5,89
Sca	<i>Scarus ghobban</i>	2	0,05	64,0				2	0,01	6,27	1,33	0,02	23,42
Sca	<i>Scarus niger</i>	2	0,05	8,00	2	0,03	7,10	1	0,01	3,52	1,67	0,03	6,20
Sca	<i>Scarus psittacus</i>	3	0,08	15,97							1,00	0,03	5,32
Sca	<i>Scarus rivulatus</i>	2	0,05	15,63							0,67	0,02	5,21
Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>	4	0,10	48,8							1,33	0,03	16,26
Sca	<i>Scarus schlegeli</i>	1	0,03	4,63							0,33	0,01	1,54
Sco	<i>Scomberomorus commerson</i>							2	0,01	250,0	0,67	0,00	83,33
Scr	<i>Pterois volitans</i>							1	0,01	0,69	0,33	0,00	0,23
Sig	<i>Siganus corallinus</i>	4	0,10	4,39							1,33	0,03	1,46
Sig	<i>Siganus dolliatius</i>	2	0,05	2,20							0,67	0,02	0,73
Sig	<i>Siganus puellus</i>	3	0,08	2,59							1,00	0,03	0,86
Sig	<i>Siganus punctatus</i>	2	0,05	13,82							0,67	0,02	4,61
Sig	<i>Siganus vulpinus</i>	3	0,08	2,59							1,00	0,03	0,86
Zan	<i>Zanclus cornutus</i>	1	0,03	1,69							0,33	0,01	0,56
Total		310	7,75	453,1	177	3,11	328,2	169	1,83	919,9	218,7	4,23	567,1
Biodiversité		56		31		30		73					
Indice de Shannon =		5,055											
Equitabilité =		0,817											

Sur l'ensemble des transects de la station, 656 individus appartenant à 73 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 4.23 poissons/m² pour une biomasse de 567.1 g/m².

134 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 53](#)).

Tableau n°53 : Liste des espèces complémentaires (ST06)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Hae	<i>Plectorhinchus picus</i>	Poc	<i>Centropyge flavissima</i>
Aca	<i>Acanthurus dussumieri</i>	Hol	<i>Sargocentron ensifer</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>
Aca	<i>Acanthurus mata</i>	Lab	<i>Anampses femininus</i>	Poc	<i>Genicanthus melanospilos</i>
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	Lab	<i>Anampses neoguinaicus</i>	Poc	<i>Genicanthus watanabei</i>
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Lab	<i>Bodianus axillaris</i>	Poc	<i>Pomacanthus imperator</i>
Aca	<i>Naso annulatus</i>	Lab	<i>Bodianus diana</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon leucogaster</i>
Aca	<i>Naso unicornis</i>	Lab	<i>Bodianus perditio</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon orbicularis</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Amphiprion clarkii</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Cheilinus undulatus</i>	Pom	<i>Chromis atripes</i>
Ant	<i>Pseudanthias dispar</i>	Lab	<i>Cirrhilabrus punctatus</i>	Pom	<i>Chromis chrysurus</i>
Ant	<i>Pseudanthias pascalus</i>	Lab	<i>Coris aygula</i>	Pom	<i>Chromis fumea</i>
Ant	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	Lab	<i>Coris batuensis</i>	Pom	<i>Chromis leucura</i>
Apo	<i>Apogon aureus</i>	Lab	<i>Coris gaimard</i>	Pom	<i>Chromis margaritifera</i>
Apo	<i>Apogon doederleini</i>	Lab	<i>Gomphosus varius</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Apo	<i>Apogon fucata</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Aul	<i>Aulostomus chinensis</i>	Lab	<i>Halichoeres hortulanus</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>



Bal	<i>Sufflamen chrysopterus</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopeion</i>	Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>
Bal	<i>Sufflamen fraenatus</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon johnstonianus</i>
Cae	<i>Pterocaesio marri</i>	Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Lab	<i>Oxycheilinus celebicus</i>	Pom	<i>Pomacentrus adelus</i>
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	Lab	<i>Thalassoma amblycephalum</i>	Pom	<i>Pomacentrus bankanensis</i>
Cha	<i>Chaetodon citrinellus</i>	Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon kleinii</i>	Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon pelewensis</i>	Lab	<i>Thalassoma nigrofasciatum</i>	Pom	<i>Pomacentrus simsiang</i>
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	Let	<i>Lethrinus atkinsoni</i>	Pri	<i>Priacanthus hamrur</i>
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	Let	<i>Monotaxis grandoculis</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	Let	<i>Monotaxis heterodon</i>	Sca	<i>Scarus ghobban</i>
Cha	<i>Chaetodon vagabundus</i>	Lut	<i>Aprion virescens</i>	Sca	<i>Scarus niger</i>
Cha	<i>Coradion altivelis</i>	Lut	<i>Lutjanus adetii</i>	Sca	<i>Scarus oviceps</i>
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	Lut	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	Sca	<i>Scarus psittacus</i>
Cha	<i>Heniochus varius</i>	Lut	<i>Lutjanus bohar</i>	Sca	<i>Scarus rivulatus</i>
Cir	<i>Cirrhitichthys falco</i>	Lut	<i>Lutjanus fulviflamma</i>	Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>
Cir	<i>Paracirrhites arcatus</i>	Lut	<i>Lutjanus fulvus</i>	Sca	<i>Scarus schlegeli</i>
Cir	<i>Paracirrhites forsteri</i>	Lut	<i>Macolor niger</i>	Sco	<i>Scomberomorus commerson</i>
Epi	<i>Cephalopholis miniata</i>	Mic	<i>Gunnellichthys viridescens</i>	Scr	<i>Inimicus didactylus</i>
Epi	<i>Cromileptes altivelis</i>	Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>	Scr	<i>Pterois volitans</i>
Epi	<i>Epinephelus coioides</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>	Sig	<i>Siganus corallinus</i>
Epi	<i>Epinephelus cyanopodus</i>	Mul	<i>Parupeneus spilurus</i>	Sig	<i>Siganus dolliatius</i>
Epi	<i>Epinephelus fasciatus</i>	Nem	<i>Pentapodus aureofasciatus</i>	Sig	<i>Siganus puellus</i>
Epi	<i>Epinephelus merra</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	Sig	<i>Siganus punctatus</i>
Epi	<i>Plectropomus laevis</i>	Pin	<i>Parapercis hexophtalma</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Ple	<i>Assessor macneilli</i>	Syn	<i>Synodus variegatus</i>
Hae	<i>Plectorhinchus chaetodonoides</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	Zan	<i>Zanclus cornutus</i>
Hae	<i>Plectorhinchus lessonii</i>	Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>		

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 54](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 41](#).

Tableau n°54 : Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST06)

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	9	6,89	22,50	17,23
Chaetodontidae	30	12	6,79	40,00	22,63
Epinephelinae	26	5	3,89	19,23	14,96
Labridae	97	11	8,11	11,34	8,36
Lethrinidae	16	1	0,79	6,25	4,94
Lutjanidae	22	3	1,84	13,64	8,36
Mullidae	14	2	1,37	14,29	9,79
Pomacanthidae	14	4	4,16	28,57	29,71
Pomacentridae	92	7	5,37	7,61	5,84
Scaridae	23	7	4,26	30,43	18,52



Siganidae	10	5	1,16	50,00	11,60
Autres	257	7	5,84	2,72	2,27
Khi2 obs		8,4		64,5	
Khi2 tab				19,17	

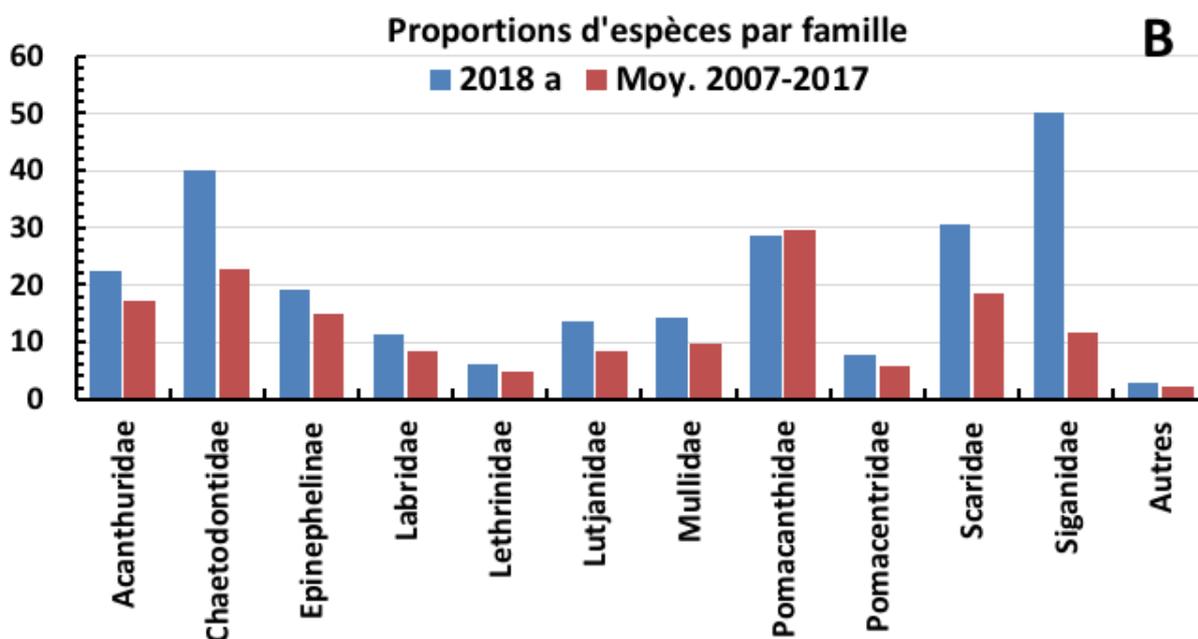
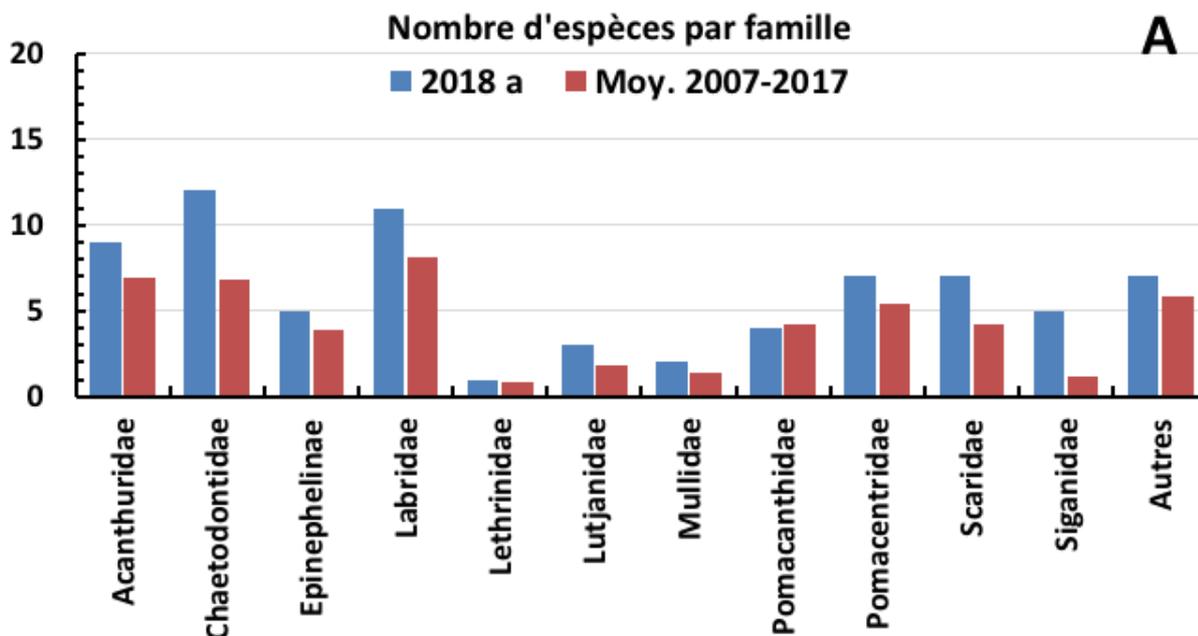


Figure n°41 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST06)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Sous l'angle de vue des proportions, la structure du peuplement de mai 2018 diffère significativement de la structure moyenne obtenue sur la période de suivi.

Dans l'ensemble des missions de la série historique, 5 structures de peuplements sont similaires à la structure



moyenne. Ce sont : 2007, 2011b, 2014a, 2015a, 2017a. Et globalement, toujours sous l'angle de vue de leur structure, elles forment un ensemble très significativement hétérogène (cf. [tableau](#) synoptique 113).

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 55](#) et la [figure 42](#).

Tableau n°55 : *Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST06)*

Ionontea ST06		Liste DENV				Toutes espèces	
		Transect TLV			Station	Station	
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018 a	Transect A	310	7,75	453,05			
	Transect B	177	3,11	328,21			
	Transect C	169	1,83	919,94			
	Moy. ABC	218,67	4,23	567,07	73	91	134
2017 b	Moy. ABC	238,00	4,47	667,45	66	88	132
2017 a	Moy. ABC	290,67	3,48	527,28	66	85	125
2016 b	Moy. ABC	184,33	1,84	149,24	53	85	118
2016 a	Moy. ABC	189,67	1,89	150,71	54	87	119
2015 b	Moy. ABC	187,00	2,27	210,72	58	87	112
2015 a	Moy. ABC	270,00	3,00	750,00	48	104	156
2014 b	Moy. ABC	226,00	2,87	622,19	46	81	126
2014 a	Moy. ABC	101,00	1,19	68,63	39	78	113
2013 b	Moy. ABC	190,33	1,98	191,60	55	87	117
2013 a	Moy. ABC	284,00	2,80	760,11	77	97	140
2012 b	Moy. ABC	142,33	1,64	151,8	53	93	125
2012 a	Moy. ABC	142,33	1,64	151,8	42	93	125
2011 b	Moy. ABC	62,33	0,75	76,87	44	88	124
2011 a	Moy. ABC	178,30	2,23	687,67	50	75	102
2010 b	Moy. ABC	190	1,91	92,96	37	58	81
2010 a	Moy. ABC	76,00	2,05	487,76	42	71	94
2009	Moy. ABC	27,00	1,17	226,52	31	33	81
2008	Moy. ABC	43,67	2,99	385,65	40	54	67
2007	Moy. ABC	42,67	2,45	1322,4	44	51	60

L'écart relatif à la moyenne [$E_{ri} = (X_i - X_m) / X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 56](#) et représentation [figure 43](#).

Tableau n°56 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST06)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	6 800,7	0,9	102 908	151,2	306,1	607,5
Ecart type	82,5	1,0	320,8	12,3	17,5	24,6
Moyenne	167,4	2,4	422,5	52,0	79,0	112,4
Coef. de Var.	0,5	0,4	0,8	0,2	0,2	0,2

Commentaires :

- La densité est toujours forte et cela depuis avril 2017.
- La biomasse est au-dessus de la moyenne. Le 1/3 est dû aux Saumonées *Plectopomus leopardus*. L'essentiel du banc de rougets de nuit (*Lutjanus adetii*) est resté proche du massif contaminant situé par le travers du transect C.
- Ces fluctuations du paramètre de biomasse sont dues au comportement vis-à-vis du plongeur de quelques espèces, au premier rang desquelles se trouvent les saumonées, les carangues et les mékouas.
- La biodiversité est toujours importante et stable.

Les observations montrent des structures de peuplements sur les transects changeantes comme sur la plupart des stations du canal de la Havannah. Non seulement, des espèces nomades induisent des changements naturels dans l'organisation de la B α , mais beaucoup d'espèces font des aller-retours entre la zone de transects et un énorme massif corallien, voisin de la zone, où ces espèces passent le plus clair de leur temps.

Sur les 20 missions, 5 ont des structures de peuplement qui ne diffèrent pas significativement de la structure moyenne (2007, 2011b, 2014a, 2015a et 2017a.). Mais, depuis 2007 et dans leur ensemble, toutes les structures de peuplement diffèrent très significativement les unes des autres (cf. [tableau synoptique 113](#)).

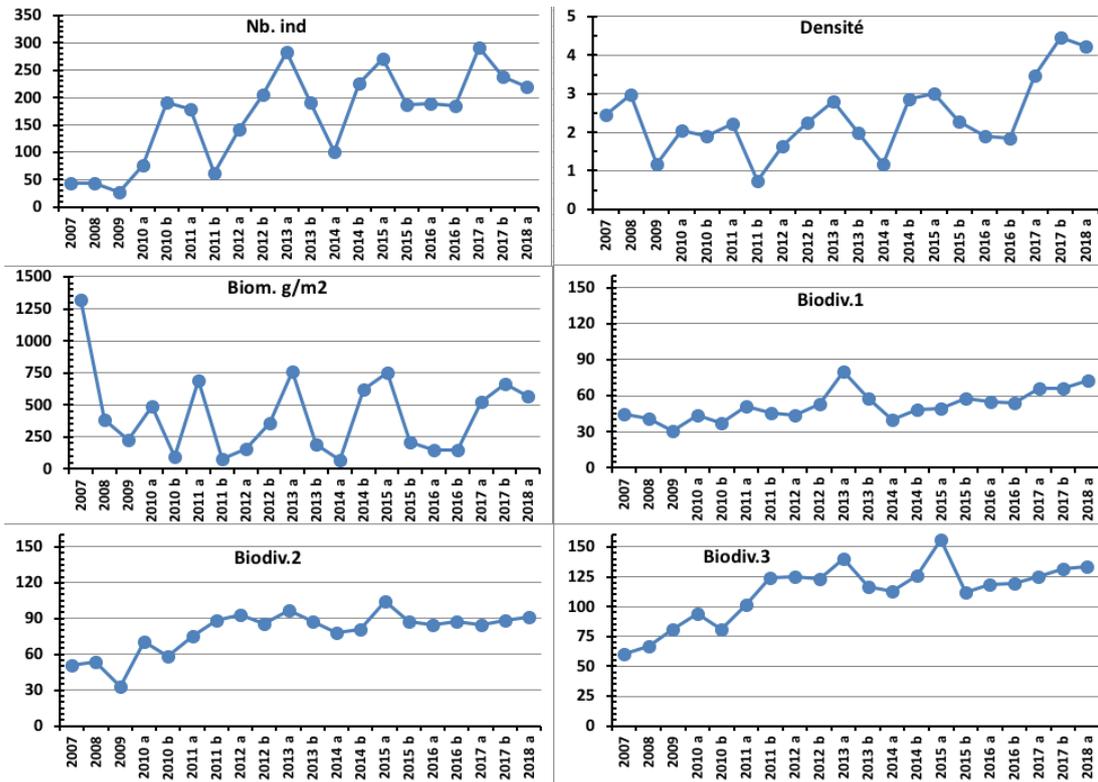


Figure n°42 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST06)

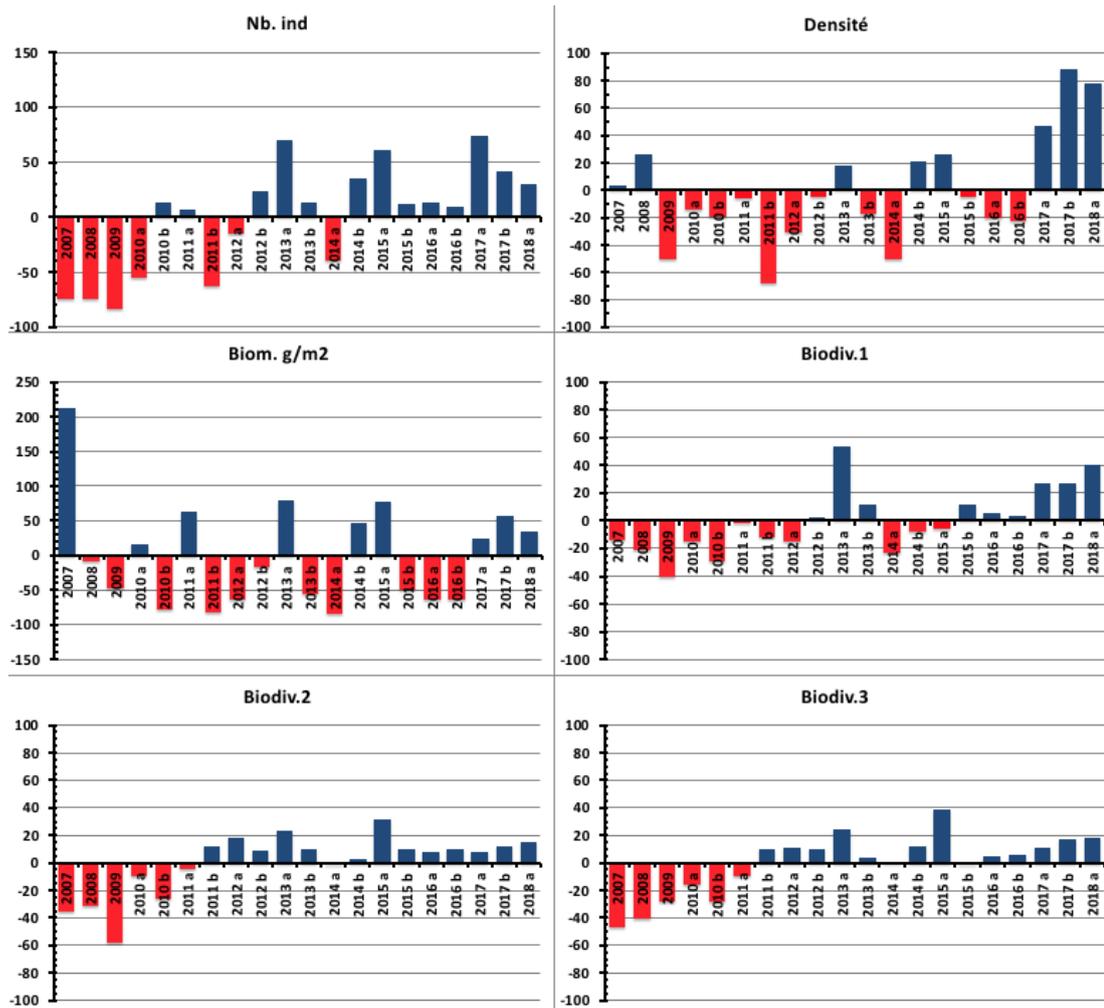


Figure n°43 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST06)





4.7 Station 07 = Basse Chambeyron

Localisation géographique	Dans la partie ouest du récif ennoyé de Basse Chambeyron. C'est un banc isolé, totalement ennoyé (cf. photographie 20) et qui subit les forts courants de marée, l'assaut des trains de houle et le ressac. Aucun abri n'est possible.
Nombre transects	3 transects.
Description transects	Ils ont été positionnés aux profondeurs de 7, 17 et 22 mètres, avec une orientation du nord-est vers le sud-ouest.
	Ils se placent depuis la rupture du tombant récifal jusqu'à la pente sédimentaire (zone d'accumulation de débris et de roche). Cette pente est d'environ 40°.

Description générale

Le haut du plateau est soumis à de violents ressacs et courants : la majeure partie du banc est arasée et les quelques scléractiniaires qui s'y maintiennent développent des morphoses robustes.

Sur le dessus du banc (3-5 mètres), les espèces sont adaptées au ressac et sont encore en place. Juste avant la rupture de pente (5 à 7 mètres) on trouve une zone d'*Acropora* branchu (*Acropora* cf. *formosa*) monospécifique, qui résistait paradoxalement depuis plusieurs années mais qui a été très dégradée lors des événements cycloniques du début d'année 2011. Au delà de 6-7 mètres, la pente est inclinée à 40°, la zone présente des séquelles de dégradations mécaniques (tempêtes et cyclones) comme l'atteste un nombre conséquent de roches et de débris coralliens de tailles variées. Par le phénomène d'avalanches, les grosses colonies fixées à l'origine vers 6-7 mètres (gros *Acropora* tabulaires, *Porites* massifs, ...) ont été arrachées, détruisant les organismes fixés sur leur passage.

Caractéristiques principales

- ↪ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme très important (courant de marée, houle et ressac) et taille relativement petite des colonies
- ↪ Dégradation des communautés benthiques sur l'ensemble de la station à cause de l'hydrodynamisme important : arrachement et casse des colonies coralliennes au transect A et accumulation de débris et blocs coralliens pour les autres transects B & C
- ↪ La station présente de nombreuses zones d'accumulation de débris et de coraux tabulaires retournés (conditions hydrodynamiques exceptionnelles). Couloirs d'effondrement de part et d'autre des transects et en bas de pente récifale (mortalité corallienne importante)
- ↪ Les spongiaires (*Cliona jullieni* et *C. orientalis*) sont relativement bien développées et colonisent les blocs coralliens et les massifs coralliens vivants
- ↪ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques (diversité et abondance variables selon les missions)
- ↪ Les crinoïdes privilégient également ce type de biotope balayé par les courants de marée
- ↪ Richesse spécifique et abondance des macrophytes qui varient selon les saisons
- ↪ Absence de l'algue brune *Lobophora variegata*
- ↪ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 26.5% au transect A, 12.5% en B et 1.5% en C
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015* : 0.47% ; *Avril 2016* : 0.67% ; *Novembre 2016* : 0.03% ; *Avril 2017* : 0.13% ; *Septembre 2017* : 0.43% ; *Mai 2018* : 0.5%
- Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.8 m² et 0.4 m²). Le genre concerné est particulièrement *Acropora* tabulaires et dans une moindre mesure *Acropora* branchus
- Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation en B & C. De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation des débris et colonies par la houle et le ressac)

Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : présence très importante (augmentation) en B & C (respectivement niveau 3 et 5). Recouvrement en diminution pour A (niveau 2 à 0). Elles se développent principalement sur le sable carbonaté, les débris et les colonies mortes en place

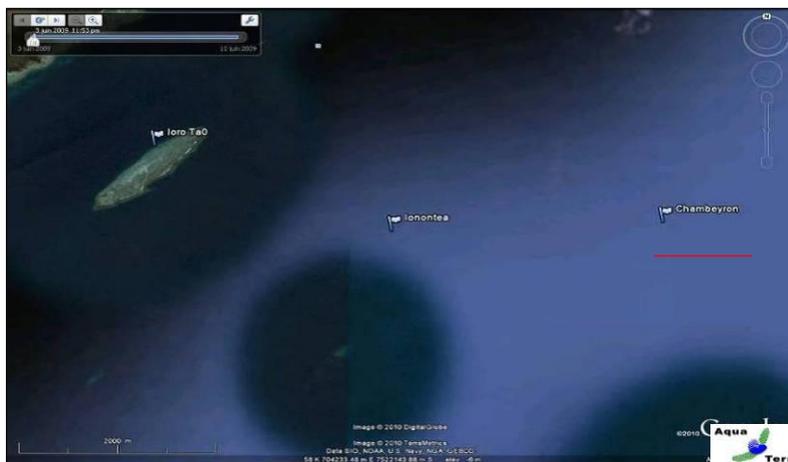
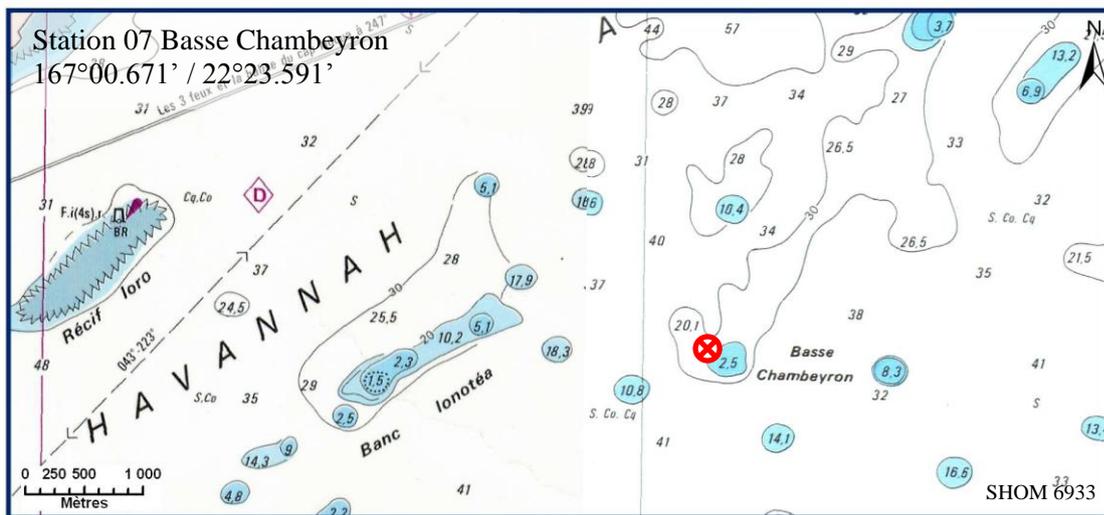




- Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies coralliennes au fur et à mesure de leur dégradation (effondrement de débris)
- Algue brune *Lobophora* : absente
- Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* : le recouvrement est en forte diminution aux 3 transects (respectivement 5/3/2 à 2/2/0)
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

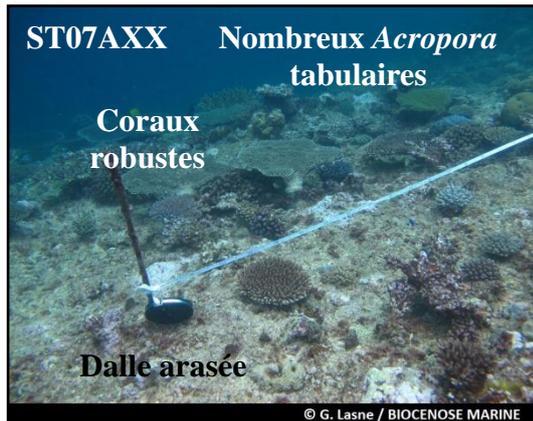
- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*
- Présence de *Drupella cornus* en A & B (niveau 2)



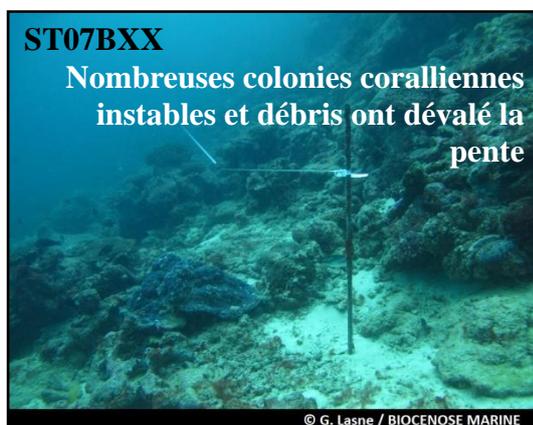
Carte n°09 : Localisation de la station 07 (Basse Chambeyron)



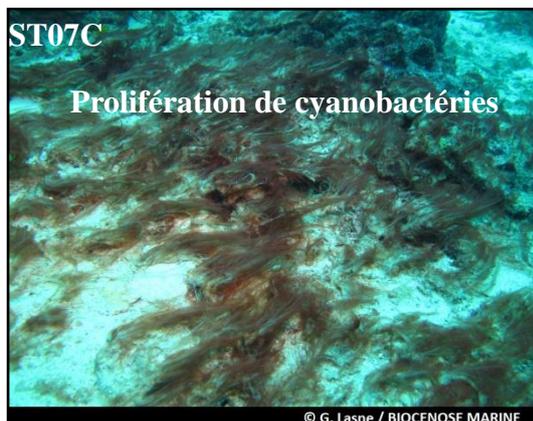
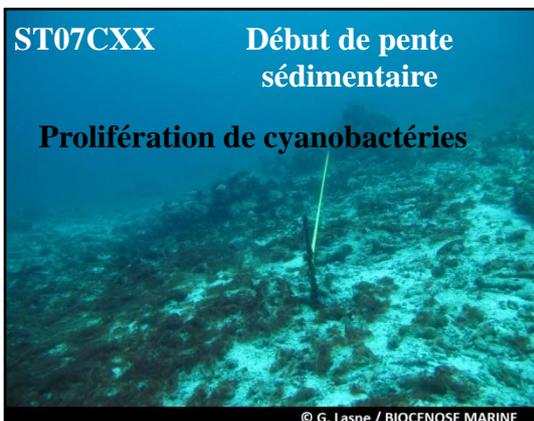
Photo n°20 : Position en surface (ST07)



Deux couloirs d'effondrement de débris se déversent de part et d'autre de la station



Nombreux débris et colonies coralliennes arrachées et remobilisées



Prolifération de cyanobactéries sur les débris et le sable carbonaté en bas de pente récifale

Photo n°21 : Vue d'ensemble des transects (ST07)

4.7.1 Le substrat (ST07)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 44](#) pour le transect A, dans la [figure 45](#) pour le transect B et dans la [figure 46](#) pour le transect C.

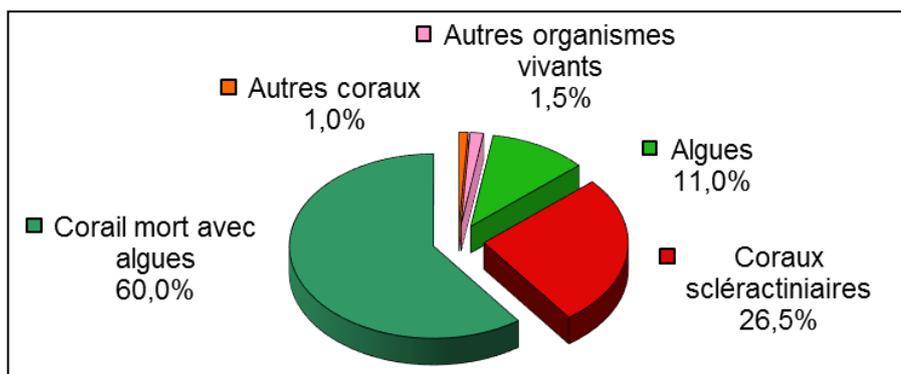


Figure n°44 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07A*

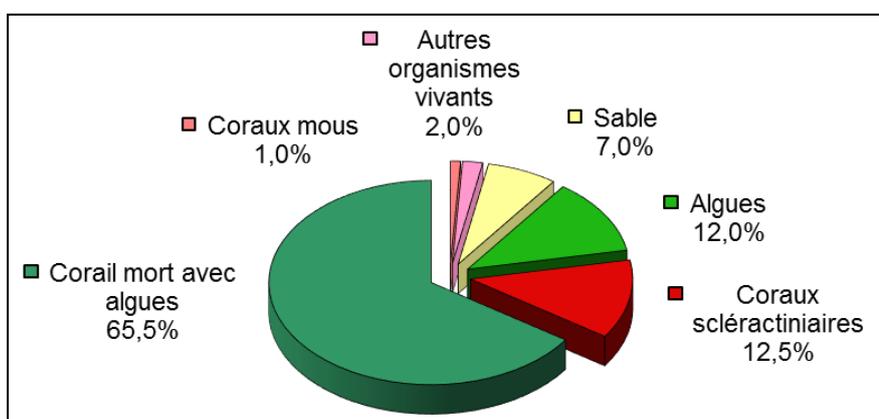


Figure n°45 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07B*

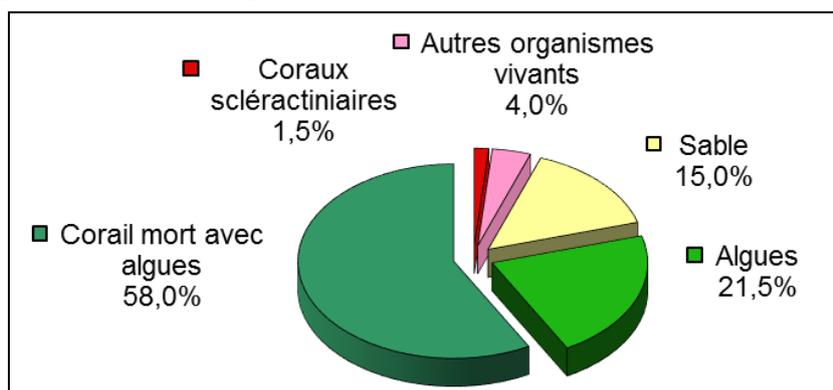


Figure n°46 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07C*

Cette station a un substrat qui est très biotique (100%, puis 93% et 85%). Cela est dû en partie aux coraux morts - et aux débris, classés alors dans cette catégorie - recouverts d'algues et particulièrement d'algues calcaires encroûtantes, ainsi qu'aux algues en elles-mêmes.

Les coraux scléactiniaires sont moyennement représentés en A et faiblement en dessous (respectivement 26.5%, 12.5% et 1.5%).

A noter : prolifération des cyanobactéries qui forment des nappes : 5% en B et 15% en C.

La station est globalement stable.

4.7.2 Le benthos (ST07)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Basse Chambeyron (ST07) est composée de :

- **47 espèces d'invertébrés** dont 18 espèces de mollusques ; 5 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), zoanthaires (1 taxon) ; 11 espèces d'échinodermes : astéries (5 taxons), holothurides (3 taxons), crinoïdes (1 taxon), échinides (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 8 espèces d'ascidies
- **5 espèces de macrophytes** : algues rouges (2 taxons), algues vertes (2 taxons), algues brunes (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

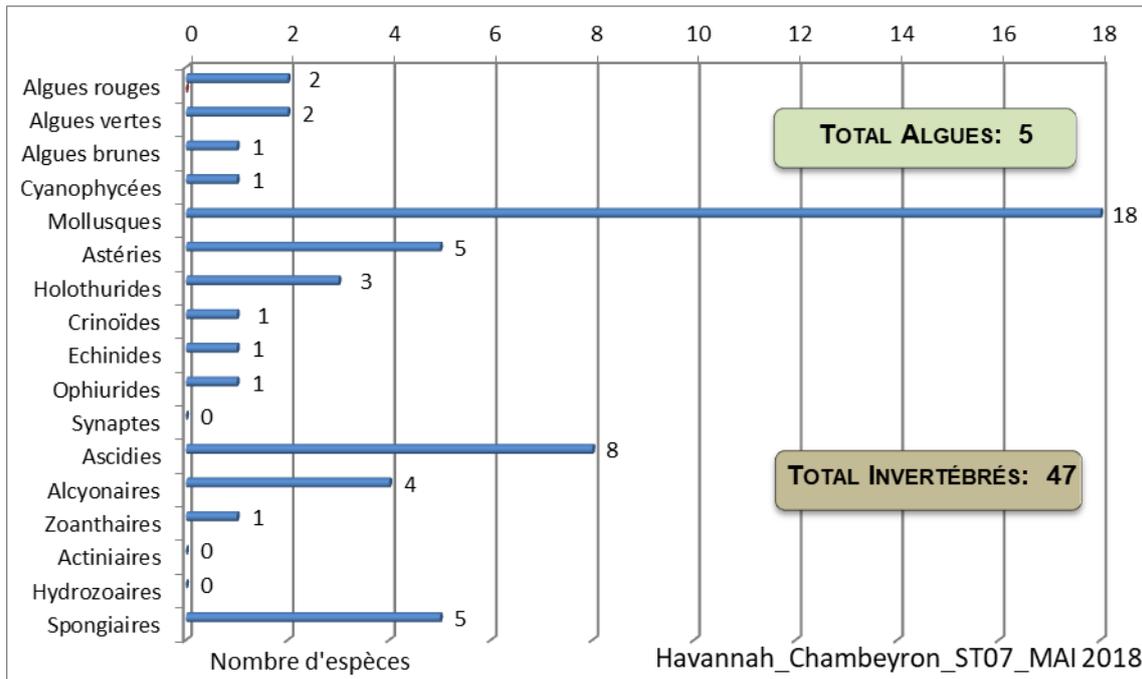


Figure n°47 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST07)

4.7.2.1 Benthos Transect 07 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST07A est composée de :

- 24 espèces d'invertébrés dont 8 espèces de mollusques ; 2 espèces de cnidaires : alcyonaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 5 espèces d'échinodermes : astéries (1 taxon), crinoïdes (1 taxon), échinides (1 taxon), holothurides (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 3 espèces d'éponges ; 6 espèces d'ascidies
- 4 espèces de macrophytes : algues rouges (2 taxons), algues brunes (1 taxon), algues vertes (1 taxon)
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°57 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST07A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
2 nouvelles espèces d'algues recensées, dont l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) et l'algue verte : • <i>Chlorodesmis fastigiata</i> (A1) Une espèce d'algue disparue : l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (A0/-2).	Aucune espèce d'algues n'augmente. Une espèce d'algue diminue : l'algue rouge : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A2/- 3).
Cyanobactéries	
Une espèce de cyanobactéries disparue : • <i>Phormidium</i> sp. (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	



2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1) ; ➤ pour les ophiurides (1 espèce) : • <i>Ophiure ind.</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
2 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Septifer bilocularis</i> (A2) ; ➤ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Drupella cornus</i> (A2).	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna squamosa</i> (A2/+ 1).
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Spheciospongia vagabunda</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce d'ascidies augmente d'abondance : • <i>Polycarpa cryptocarpa</i> (A2/+ 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.7.2.2 Benthos Transect 07 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST07B est composée de :

- 41 espèces d'invertébrés dont 16 espèces de mollusques ; 4 espèces de cnidaires : alcyonaires (3 taxons), zoanthaires (1 taxon) ; 9 espèces d'échinodermes : astéries (4 taxons), holothurides (3 taxons), crinoïdes (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 7 espèces d'ascidies
- 3 espèces de macrophytes : algues rouges (2 taxons), algues vertes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°58 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST07B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
1 nouvelle sp d'algue recensée, l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) Une espèce d'algue disparue, l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (1 spp./-1 spp., A2/-0)	Aucune espèce d'algues n'augmente. Une espèce d'algue diminue, l'algue rouge : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A2/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cyanobactéries augmente d'abondance : • <i>Phormidium</i> sp. (A3/+ 1).
Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries : • <i>Fromia monilis</i> (A1), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1)	2 espèces d'échinodermes augmentent d'abondance : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Linckia multifora</i> (A2/+ 1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Holothuria edulis</i> (A2/+ 1).
Mollusques	
11 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (3 espèces) : • <i>Athrina</i> sp. (A2), • <i>Pinna</i> sp. (A1), • <i>Tridacna maxima</i> (A2) ; ➤ pour les gastéropodes (5 espèces) : • <i>Conus virgo</i> (A1), • <i>Coralliophila violacea</i> (A2), • <i>Cypraea talpa</i> (A1), • <i>Drupella cornus</i> (A2), • <i>Lambis scorpius</i> (A1) ; ➤ pour les nudibranches (3 espèces) : • <i>Halgerda</i> sp. (A1), • <i>Phyllidiella pustulosa</i> (A1), • <i>Reticulia halgerda</i> (A1) Une espèce de mollusques disparue : ➤ pour les gastéropodes (-1 espèce) : • <i>Charonia tritonis</i> (A0/-1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Dactylia delicata</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	



Une nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Polycarpa clavata</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.7.2.3 Benthos Transect 07 C

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST07C est composée de :

- 19 espèces d'invertébrés dont 3 espèces de mollusques ; une espèce de cnidaires ; 6 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 4 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des macrophytes
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°59 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST07C)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. 1 sp d'algue disparue, l'algue rouge : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A0/-2)	Aucune espèce d'algues n'augmente. Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
1 nouvelle espèce de cyanobactéries recensée : • <i>Phormidium</i> sp. (A5)	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➢ pour les astéries (2 espèces) : • <i>Linckia multifora</i> (A1), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1) ; ➢ pour les holothurides (1 espèce) ; • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1) 2 espèces d'échinodermes disparues : ➢ pour les holothurides : • <i>Holothuria atra</i> (A0/-2), • <i>Thelenota anax</i> (A0/-1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
Une espèce d'éponges disparue : •Spongiaires ind. (orange) (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
Une espèce d'ascidies disparue : • <i>Clavelina detorta</i> (A0/-2).	3 espèces d'ascidies diminuent d'abondance : • <i>Polycarpa aurita</i> (A2/- 1), • <i>Polycarpa clavata</i> (A1/- 1), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A2/- 2).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.7.3 Les poissons (ST07)

La force du courant a rendu le dénombrement des poissons impossible.



4.8 Station 08 = Pointe Puka

Localisation géographique	Bordure du récif frangeant de la pointe Puka, au droit d'un gros amas rocheux proéminent sur le rivage, avec une petite tâche blanche (photographie 22).
Nombre transects	2 transects.
Description transects	Ils ont été positionnés perpendiculairement à la pente du récif frangeant à 9 et 12 mètres de profondeur dans un alignement du sud-ouest vers le nord-est.
	Le transect A a été installé au pied de deux éperons et traverse un sillon. Le transect B est éloigné d'une cinquantaine de mètres vers le sud du 1 ^{er} transect. Il est positionné sur la pente sédimentaire qui est composée de sable et de débris coralliens plus importants par rapport au transect supérieur (rupture de faciès). De grandes colonies de <i>Porites lobata</i> de taille pluri métrique permettent de repérer ce transect.

Description générale

La morphologie de cette station est composée de plusieurs éperons séparés par des vallées d'une dizaine de mètres de largeur jusqu'à 9 m de profondeur. Le recouvrement le plus important des madrépores se situe sur les flancs et le dessus des éperons mais la richesse spécifique est moindre. Sur le fond des vallées le sable et les débris dominent mais une multitude d'espèces coralliennes de petites tailles s'épanouissent.

Au-delà du système éperon-sillon, la pente sédimentaire recèle une richesse spécifique corallienne importante. Les colonies sont généralement de taille décimétrique et quelques grandes colonies pluri métrique de *Porites* s'éparpillent sur cette pente douce sédimentaire.

Ensuite sous le niveau bathymétrique de 11-15 mètres de profondeur, la pente sédimentaire est toujours peu inclinée. Elle est composée de sable coquillé et de grosses patates coralliennes dispersées (*Porites lobata* et *Acropora tabulaire*) ainsi que des petites colonies coralliennes adaptées à peu de luminosité et de nombreux blocs coralliens morts, de taille décimétrique.

Cette station subit des dégradations depuis 2011. Les perturbations sont d'ordre sédimentaire, mécanique et dans une moindre mesure bactérien. Du fait de réactions en chaîne, la maladie de la bande blanche, les corallivores et les cyanobactéries ont également décimé de nombreuses colonies d'*Acropora* mortes en place.

Caractéristiques principales

- ↪ Cette station est située en bordure du récif frangeant du canal de la Havannah entre les baies de Port Boisée et de Kwé. Ainsi l'influence terrigène est très importante (dépôts de particule fines) mais l'hydrodynamisme peut être également soutenu (houle et ressac)
- ↪ Croissance de grandes colonies de *Porites lobata* (avec des anomalies de croissance en B)
- ↪ Présence de *Tubipora musica* en B
- ↪ Les spongiaires (*Cliona orientalis* et *Cliona jullieni*) sont relativement bien développées et colonisent les débris coralliens et les colonies coralliennes vivantes
- ↪ **Dégradations importantes depuis la mission de mars 2011 :**
 - accentuées par les tempêtes tropicales (Vania, Zelia, Fréda, Pam)
 - baisse recouvrement et diversité corallienne : mortalité importante, coraux tabulaires retournés et nombreux débris coralliens
 - maladies coralliennes affectant un grand nombre d'espèce depuis mars 2011
 - développement des spongiaires (*Cliona*)
 - développement des corallivores (*Drupella cornus*)
 - développement de turf algal et de cyanobactéries

Les colonies coralliennes malades sont pour la plupart mortes en place en octobre 2014 (maladie de la bande blanche et perte de tissu)

- **Désormais la richesse corallienne augmente avec la présence de colonies juvéniles. Les nouvelles espèces sont adaptées à la turbidité**
- **Les dépôts sédimentaires peuvent être soutenus selon les missions. Ils entraînent des nécroses sur les**



**colonies coralliennes (source particulière : baie Kwé)**

Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A & B

Variations entre septembre 2017 et mai 2018**Indicateur Corail :**

- Le recouvrement corallien est de 20.5% au transect A et 2% en B
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0.13% ; Avril 2016 : 1% ; Novembre 2016 : 0.23% ; Avril 2017 : 1.25% ; Septembre 2017 : 1.15% ; Mai 2018 : 0.9%*
- Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.7 m² et 1.1 m²). Le genre concerné est *Acropora* tabulaire (mortalité en B)

La maladie de la tâche noire (hypermycose endolithique) ne paraît pas être une cause de mortalité. Cette lésion persiste sur quelques Fungiidae et colonies encroûtantes (A > B). En B, les anomalies de croissance de la colonie de *Porites* plurimétrique sont toujours importantes mais elles évoluent peu

- Perturbations sédimentaires : dépôts sédimentaires sur des colonies coralliennes dégradées partiellement ou entièrement en A & B (*Acropora* spp. tabulaire et branchu, *Montipora* spp., *Porites*). Les nécroses sur les colonies coralliennes en B sont surtout induites par les dépôts sédimentaires successifs

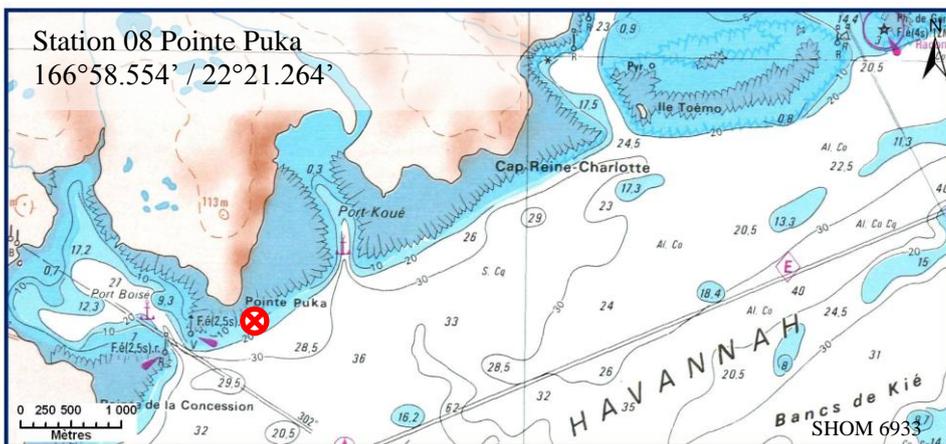
Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : recouvrement en diminution en A (niveau 4 à 2). Elles colonisent principalement les colonies coralliennes mortes en place et les débris coralliens recouvert de sédiment terrigène
- Le turf algal se développe abondamment sur les débris coralliens et les colonies coralliennes mortes en place
- Algues brunes *Lobophora* : le recouvrement est stable en A & B (niveau 2)
- Algues rouges *Asparagopsis taxiformis* : le recouvrement est en diminution en A & B (niveau 3 à 2)
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*
- Présence de *Drupella cornus* en A (niveau 1)

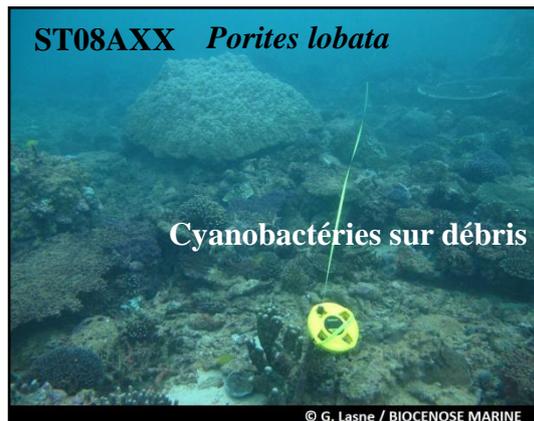




Carte n°10 : Localisation de la station 08 (Pointe Puka)



Photo n°22 : Position en surface par rapport à la côte (ST08)



Le récif était en lente résilience mais les développements de la maladie de la bande blanche et des cyanobactéries depuis le début d'année 2017 marquent une nouvelle régression de l'état de santé du récif

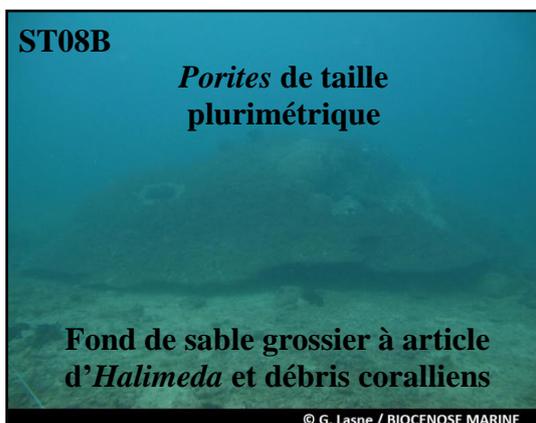


Photo n°23 : Vue d'ensemble des transects (ST08)

4.8.1 Le substrat (ST08)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 48](#) pour le transect A et dans la [figure 49](#) pour le transect B.

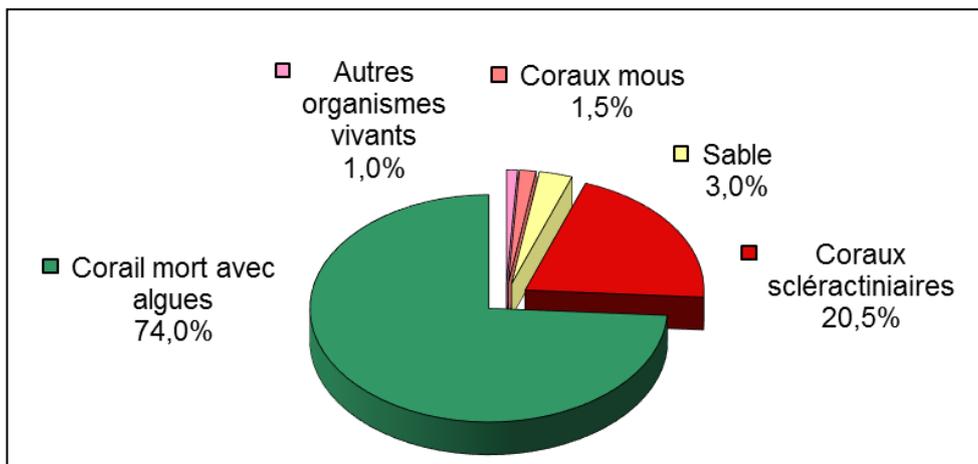


Figure n°48 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST08A*

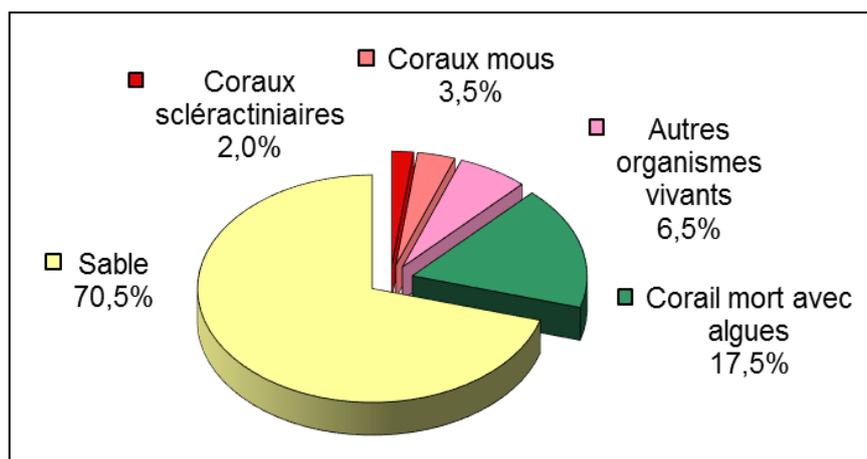


Figure n°49 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST08B*

Le substrat du transect haut est composé d'une large part de coraux morts recouverts d'algues (74%) avec un taux correct de coraux scléactiniaires vivants (20.5%). Il présente pour cette mission 97% de recouvrement biotique. A l'inverse, sur le transect B, c'est le sable qui domine (70.5%) ce qui fait que le substrat est majoritairement abiotique (70.5%). Ce transect ne possède que 2% de coraux scléactiniaires. A noter : Disparition des cyanobactéries sous les transects, mais quelques patches aux alentours du B et du C.

Hormis les fluctuations cycliques du sable (avec les coraux morts recouverts d'algues), globalement, la station est stable.

4.8.2 Le benthos (ST08)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Puka (ST08) est composée de :

- **62 espèces d'invertébrés** dont 13 espèces de mollusques ; 12 espèces de cnidaires : alcyonaires (6 taxons), actiniaires (3 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 19 espèces d'échinodermes : holothurides (8 taxons), astéries (5 taxons), échinides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 10 espèces d'éponges ; 8 espèces d'ascidies
- **7 espèces de macrophytes** : algues brunes (3 taxons), algues rouges (2 taxons), algues vertes (2 taxons)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

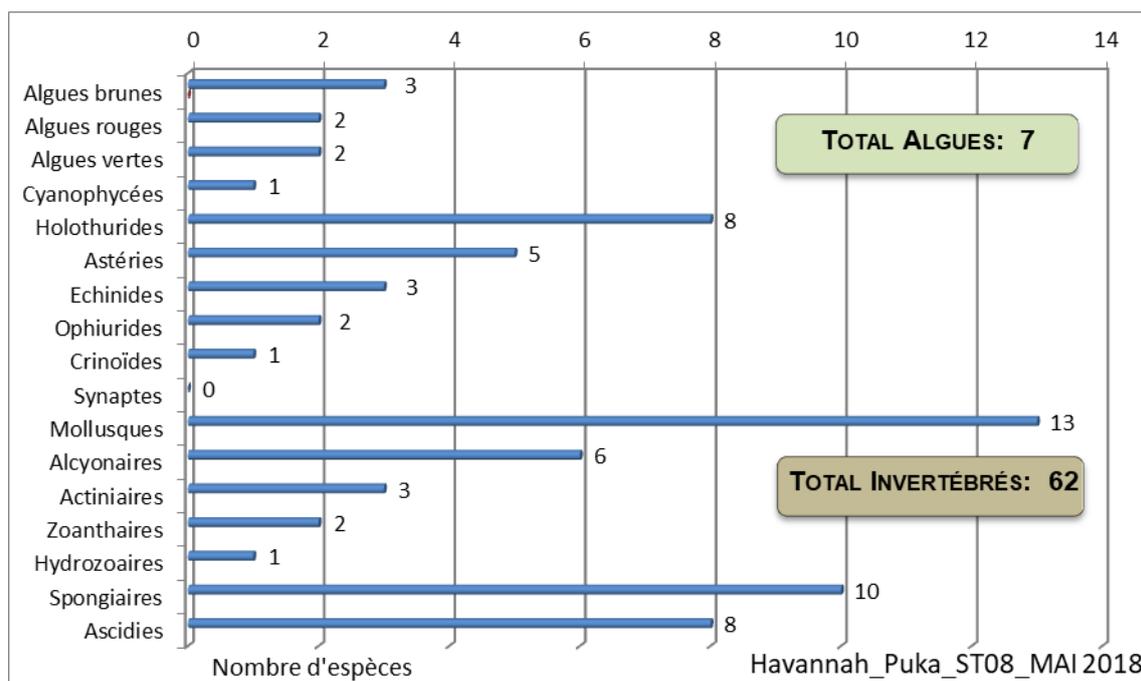


Figure n°50 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST08)

4.8.2.1 Benthos Transect 08 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST08A est composée de :

- 56 espèces d'invertébrés dont 12 espèces de mollusques ; 10 espèces de cnidaires : alcyonaires (6 taxons), actiniaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 16 espèces d'échinodermes : astéries (5 taxons), holothurides (5 taxons), échinides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 10 espèces d'éponges ; 8 espèces d'ascidies
- 7 espèces de macrophytes : algues brunes (3 taxons), algues rouges (2 taxons), algues vertes (2 taxons)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°60 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST08A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
2 nouvelles espèces d'algues recensées, dont l'algue brune : • <i>Turbinaria ornata</i> (A2) et l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) Aucune espèce d'algues n'a disparue.	Aucune espèce d'algues n'augmente. Une espèce d'algue diminue, l'algue rouge : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A2/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cyanobactéries diminue d'abondance : • <i>Phormidium</i> sp. (A2/- 2).



Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les actiniaires (1 espèce) : • <i>Heteractis aurora</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
5 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Fromia monilis</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (4 espèces) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1), • <i>Holothuria flavomaculata</i> (A1), • <i>Holothuria fuscopunctata</i> (A1), • <i>Holothuria whitmaei</i> (A1).	2 espèces d'échinodermes diminuent d'abondance : ➤ pour les astéries (2 espèces) : • <i>Celerina heffernani</i> (A1/- 1), • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1/- 1).
Mollusques	
6 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (2 sp) : • <i>Arca ventricosa</i> (A2), • <i>Tridacna maxima</i> (A1) ➤ pour les gastéropodes (2 sp) : • <i>Drupella cornus</i> (A1), • <i>Strombus sinuatus</i> (A1) ; ➤ pour les nudibranches (2 sp) : • <i>Cheilidonura inornata</i> (A1), • <i>Risbecia tryoni</i> (A1). Une espèce de mollusques disparue : ➤ pour les gastéropodes (-1 espèce) : • <i>Lambis truncata</i> (A0/-1).	2 espèces de mollusques augmentent d'abondance : ➤ pour les bivalves (2 espèces) : • <i>Isognomon isognomon</i> (A3/+ 1), • <i>Septifer bilocularis</i> (A3/+ 1).
Eponges	
4 nouvelles espèces d'éponges recensées : • <i>Hamigera strongylata</i> (A2), • <i>Dactylia delicata</i> (A1), • <i>Dysidea herbacea</i> (A2), • <i>Clathria rugosa</i> (A2).	2 espèces d'éponges augmentent d'abondance : • <i>Cymbastella cantharella</i> (A2/+ 1), • <i>Sphaciospongia vagabunda</i> (A3/+ 1). Une espèce d'éponges diminue d'abondance : •Spongiaires ind. (orange) (A2/- 1)
Ascidies	
Une nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Didemnum molle</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.8.2.2 Benthos Transect 08 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST08B est composée de :

- 42 espèces d'invertébrés dont 7 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), actiniaires (1 taxon), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 12 espèces d'échinodermes : holothurides (7 taxons), astéries (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), échinides (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 8 espèces d'éponges ; 8 espèces d'ascidies
- 4 espèces de macrophytes : algues rouges (2 taxons), algues brunes (1 taxon), algues vertes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°61 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST08B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Une nouvelle espèce d'algue recensée, l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) 2 espèces d'algues disparues, l'algue brune : • <i>Dictyota</i> sp. (A0/-3) et l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (1spp./-1spp., A2/-0)	Aucune espèce d'algues n'augmente. Une espèce d'algue diminue, l'algue rouge : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A2/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les zoanthaires (1 espèce) : •Zoanthidae ind.sp. (A2). 2 espèces de cnidaires disparues : ➤ pour les actiniaires : • <i>Heteractis aurora</i> (A0/-1), • <i>Cryptodendrum adhaesivum</i> (A0/-1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les holothurides :	<input checked="" type="checkbox"/>



• <i>Holothuria flavomaculata</i> (A1), • <i>Neothyonidium magnum</i> (A1)	
Mollusques	
Une nouvelle espèce de mollusques recensée : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Pinna</i> sp. (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Clathria rugosa</i> (A2).	1 sp d'éponges diminue d'abondance : •Spongiaires ind. (noire) (A2/-1)
Ascidies	
3 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Didemnum molle</i> (A2), • <i>Polycarpa cryptocarpa</i> (A2), • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A2)	Une espèce d'ascidies diminue d'abondance : • <i>Polycarpa aurita</i> (A2/- 1).
Bryozoaires	
Une nouvelle espèce de bryozoaires recensée : • <i>Alcyonidium</i> sp. (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>

4.8.3 Les poissons (ST08)

La liste des espèces observées¹⁰ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 62](#).

Tableau n°62 : Données sur les poissons (ST08)

Puka ST08		Transect			Transect			Station		
		A			B			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	7	0,07	17,03	7	0,07	12,97	7,0	0,07	15,00
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	1	0,01	0,01				0,5	0,01	0,01
Cae	<i>Pterocaesio marri</i>	50	0,42	14,40				25,0	0,21	7,20
Can	<i>Canthigaster valentini</i>				1	0,05	0,03	0,5	0,03	0,01
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	1	0,01	0,10				0,5	0,01	0,05
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	2	0,02	0,29				1,0	0,01	0,15
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	3	0,03	1,04	5	0,06	2,16	4,0	0,05	1,60
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	4	0,04	0,41				2,0	0,02	0,20
Cha	<i>Chaetodon pelewensis</i>	2	0,02	0,14				1,0	0,01	0,07
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	4	0,04	0,17				2,0	0,02	0,09
Cha	<i>Chaetodon vagabundus</i>	2	0,02	0,20				1,0	0,01	0,10
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>				1	0,05	1,33	0,5	0,03	0,67
Cha	<i>Heniochus monoceros</i>				1	0,05	2,20	0,5	0,03	1,10
Epi	<i>Plectropomus laevis</i>				1	0,02	14,29	0,5	0,01	7,15
Gob	<i>Amblygobius phalaena</i>				2	0,10	0,25	1,0	0,05	0,13
Lab	<i>Bodianus perditio</i>				1	0,05	10,65	0,5	0,03	5,32
Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	1	0,01	0,68				0,5	0,01	0,34
Lab	<i>Coris gaimard</i>				1	0,05	1,00	0,5	0,03	0,50
Lab	<i>Halichoeres hortulanus</i>				1	0,05	1,33	0,5	0,03	0,67
Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>				3	0,15	0,19	1,5	0,08	0,10
Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	3	0,03	0,21	4	0,20	1,37	3,5	0,12	0,79
Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	3	0,03	0,31				1,5	0,02	0,15
Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>	2	0,02	0,69				1,0	0,01	0,35
Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	1	0,01	0,20				0,5	0,01	0,10
Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	2	0,02	0,05	3	0,15	0,65	2,5	0,09	0,35
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	3	0,03	0,08	4	0,20	0,26	3,5	0,12	0,17
Pom	<i>Amphiprion chrysopterus</i>				5	0,25	0,63	2,5	0,13	0,31
Pom	<i>Amphiprion perideraion</i>				2	0,10	0,13	1,0	0,05	0,06
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	3	0,03	0,02	3	0,15	0,08	3,0	0,09	0,05
Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>				7	0,35	0,19	3,5	0,18	0,09
Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>				10	0,50	0,27	5,0	0,25	0,14
Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>				12	0,60	1,50	6,0	0,30	0,75
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	4	0,04	0,05				2,0	0,02	0,03
Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>	3	0,03	1,04				1,5	0,02	0,52
Sca	<i>Scarus rivulatus</i>	2	0,02	2,33				1,0	0,01	1,17
Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>	3	0,03	4,80				1,5	0,02	2,40
Sca	<i>Scarus schlegeli</i>				2	0,10	16,00	1,0	0,05	8,00
Sig	<i>Siganus corallinus</i>	2	0,02	1,10				1,0	0,01	0,55

¹⁰ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)



Sig	<i>Siganus vulpinus</i>	2	0,02	0,40				1,0	0,01	0,20
Total		110	1,02	45,74	76	3,30	67,46	93,00	2,16	56,60
Biodiversité		24			21			39		
Indice de Shannon =		4,333								
Equitabilité =		0,820								

Sur l'ensemble des transects de la station, 186 individus appartenant à 39 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 2.16 poissons/m² pour une biomasse de 56.60 g/m².

102 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 63](#)).

Tableau n°63 : Liste des espèces complémentaires (ST08)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Gob	<i>Amblygobius phalaena</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>
Aca	<i>Acanthurus nigricauda</i>	Gra	<i>Diploprion bifasciatum</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>
Aca	<i>Acanthurus reversus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus chaetodonoides</i>	Pem	<i>Pempheris oualensis</i>
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus lessonii</i>	Pin	<i>Parapercis cylindrica</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Hae	<i>Plectorhinchus lineatus</i>	Ple	<i>Assessor macneilli</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Hol	<i>Myripristis kuntee</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>
Apo	<i>Cheilodipterus macrodon</i>	Hol	<i>Sargocentron ensifer</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>
Apo	<i>Cheilodipterus quinquelineatus</i>	Hol	<i>Sargocentron rubrum</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon orbicularis</i>
Aul	<i>Aulostomus chinensis</i>	Kyp	<i>Kyphosus cinerascens</i>	Pom	<i>Amphiprion chrysopterus</i>
Bal	<i>Sufflamen chrysopterus</i>	Lab	<i>Anampses femininus</i>	Pom	<i>Amphiprion perideraion</i>
Bal	<i>Sufflamen fraenatus</i>	Lab	<i>Bodianus loxozonus</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	Lab	<i>Bodianus perditio</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Cae	<i>Pterocaesio marri</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>
Can	<i>Canthigaster valentini</i>	Lab	<i>Cheilinus fasciatus</i>	Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Lab	<i>Choerodon graphicus</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon nigroris</i>
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	Lab	<i>Coris batuensis</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon polyacanthus</i>
Cha	<i>Chaetodon bennetti</i>	Lab	<i>Coris gaimard</i>	Pom	<i>Neopomacentrus azysron</i>
Cha	<i>Chaetodon ephippium</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	Lab	<i>Halichoeres hortulanus</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopieion</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon melannotus</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Pomacentrus philippinus</i>
Cha	<i>Chaetodon pelewensis</i>	Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	Pri	<i>Priacanthus hamrur</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Lab	<i>Labropsis australis</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	Lab	<i>Oxycheilinus celebicus</i>	Sca	<i>Scarus ghobban</i>
Cha	<i>Chaetodon ulietensis</i>	Lab	<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>	Sca	<i>Scarus niger</i>
Cha	<i>Chaetodon vagabundus</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Sca	<i>Scarus rivulatus</i>
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>
Cha	<i>Heniochus monoceros</i>	Lut	<i>Lutjanus bohar</i>	Sca	<i>Scarus schlegeli</i>
Cha	<i>Heniochus varius</i>	Lut	<i>Lutjanus fulviflamma</i>	Sig	<i>Siganus corallinus</i>
Cir	<i>Cirrhitichthys falco</i>	Lut	<i>Lutjanus fulvus</i>	Sig	<i>Siganus doliatus</i>
Epi	<i>Epinephelus Howlandi</i>	Mic	<i>Ptereleotris evides</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>
Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>	Mic	<i>Ptereleotris microlepis</i>	Syn	<i>Synodus variegatus</i>
Epi	<i>Plectropomus laevis</i>	Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>	Tet	<i>Arothron mappa</i>
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Mul	<i>Parupeneus ciliatus</i>	Zan	<i>Zanclus cornutus</i>



Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 64](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 51](#).

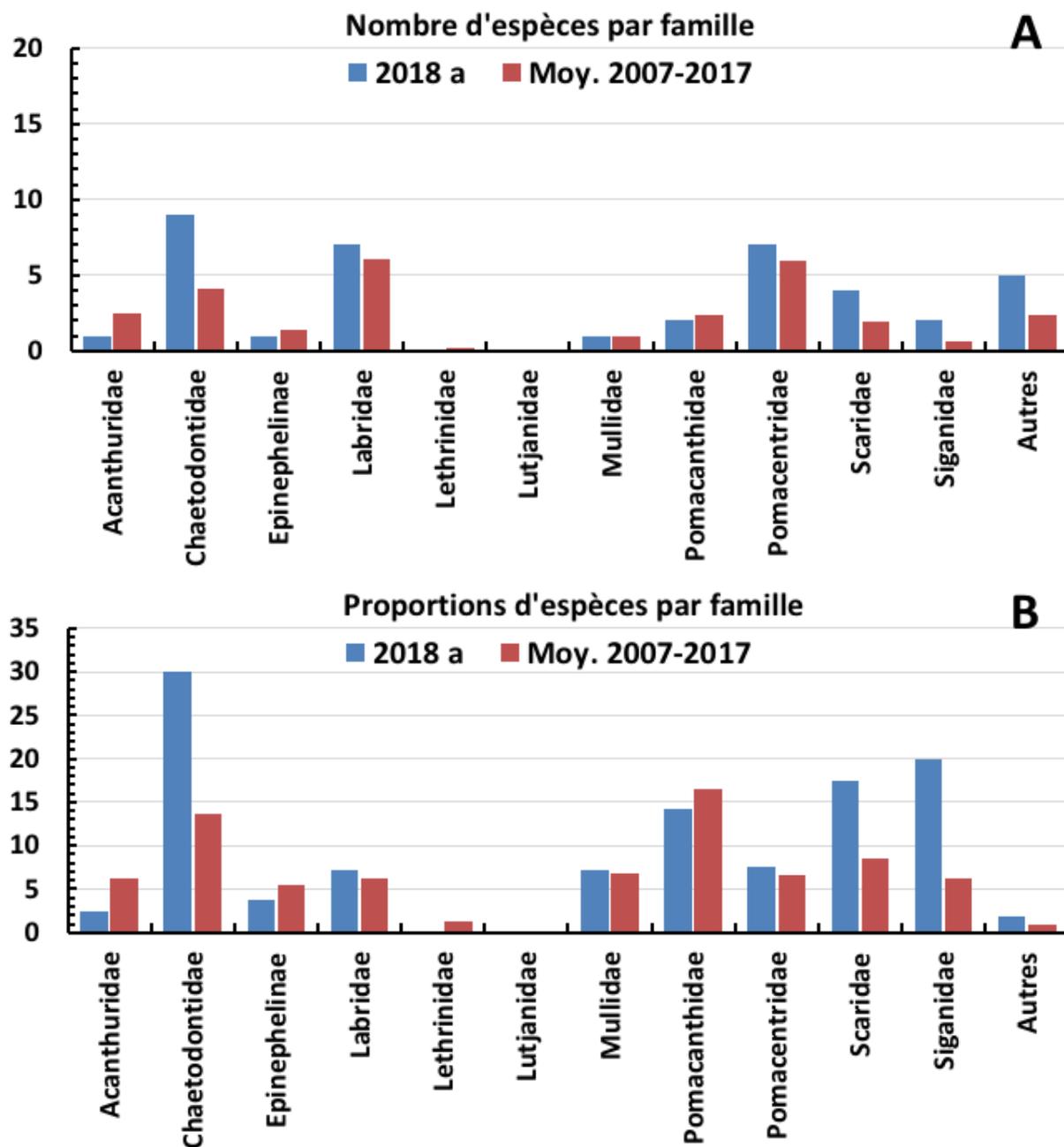


Figure n°51 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST08)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Tableau n°64 : Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST08)

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	1	2,47	2,50	6,18
Chaetodontidae	30	9	4,11	30,00	13,70



Epinephelinae	26	1	1,42	3,85	5,46
Labridae	97	7	6,05	7,22	6,24
Lethrinidae	16	0	0,21	0,00	1,31
Mullidae	14	1	0,95	7,14	6,79
Pomacanthidae	14	2	2,32	14,29	16,57
Pomacentridae	92	7	6,00	7,61	6,52
Scaridae	23	4	1,95	17,39	8,48
Siganidae	10	2	0,63	20,00	6,30
Autres	257	5	2,36	1,95	0,92
Khi2 obs		8,2		35,1	
Khi2 tab				18,3	

Sous l'angle de vue des proportions, la structure de mai 2018 diffère significativement de la structure moyenne obtenue sur la période de suivi (2007-2017).

Dans l'ensemble des missions de la série historique, 7 structures de peuplements sont similaires à la structure moyenne établie sur la série. Ce sont : 2009, 2010a, 2012a et b, 2014b, 2016a et b. Globalement, et toujours sous l'angle de vue de leur structure, les missions forment un ensemble très significativement hétérogène (cf. [tableau synoptique 113](#)).

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 65](#) et la [figure 52](#).

Tableau n°65 : *Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST08)*

Puka ST08		Liste DENV					Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	Station	
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3	
2018 a	Transect A	110	1,02	45,74	17			
	Transect B	76	3,30	67,46	17			
	Moy. ABC	93,00	2,16	56,60	39	70	102	
2017 b	Moy. ABC	40,00	0,78	9,98	31	74	104	
2017 a	Moy. ABC	61,00	1,15	56,92	31	64	88	
2016 b	Moy. ABC	89,00	1,68	10,14	30	69	92	
2016 a	Moy. ABC	82,00	0,94	12,41	33	71	98	
2015 b	Moy. ABC	99,00	0,99	20,37	31	60	79	
2015 a	Moy. ABC	109,00	1,17	27,59	38	70	101	
2014 b	Moy. ABC	71,50	1,40	135,16	29	72	103	
2014 a	Moy. ABC	58,00	0,47	9,29	26	58	95	
2013 b	Moy. ABC	47,50	0,64	12,87	28	42	61	
2013 a	Moy. ABC	78,50	0,68	27,28	26	48	76	
2012 b	Moy. ABC	50,50	0,63	7,00	23	49	77	
2012 a	Moy. ABC	77,00	0,70	4,93	26	64	98	



2011 b	Moy. ABC	85,00	1,30	39,80	33	62	101
2011 a	Moy. ABC	87,50	0,68	28,37	26	48	76
2010 b	Moy. ABC	31	0,46	11,73	15	32	41
2010 a	Moy. ABC	91,50	3,05	57,64	29	51	80
2009	Moy. ABC	55,00	3,50	53,22	28	48	66
2008	Moy. ABC	45,00	1,84	87,54	30	41	68
2007	Moy. ABC	64,50	2,32	67,39	28	31	44

L'écart relatif à la moyenne [$Er_i=(X_i-X_m)/X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 66](#) et représentation [figure 53](#).

Tableau n°66 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST08)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	469,14	0,74	1 110,39	27,47	182,51	366,16
Ecart type	21,66	0,86	33,32	5,24	13,51	19,14
Moyenne	70,78	1,33	36,81	29,00	56,25	82,45
Coef. de Var.	0,31	0,65	0,91	0,18	0,24	0,23

Commentaires :

- La densité et la biomasse ont retrouvé des valeurs moyennes.
- Les paramètres de biodiversité présentent des valeurs fortes, notamment la biodiversité 3.
- Le peuplement sur les transects est composé de nombreux juvéniles.
- *Acanthurus reversus* dans le massif de *Porites lobata* n'a pas été revu, ni *Epinephelus lanceolatus* (Loche carite).

Les observations montrent des structures de peuplements sur les transects changeantes comme sur la plupart des stations du canal de la Havannah. Non seulement, des espèces nomades induisent des changements naturels dans l'organisation de la B α , mais beaucoup d'espèces font des allers-retours entre les spectaculaires massifs de *Porites lobata* qui avoisinent la zone de transects.

Sur les 20 missions, 7 ont des structures de peuplement qui ne diffèrent pas significativement de la structure moyenne (2009, 2010a, 2012a et b, 2014b et 2016a et b). Mais, depuis 2007 dans leur ensemble, toutes les structures de peuplement diffèrent très significativement les unes des autres (cf. [tableau synoptique 113](#)).

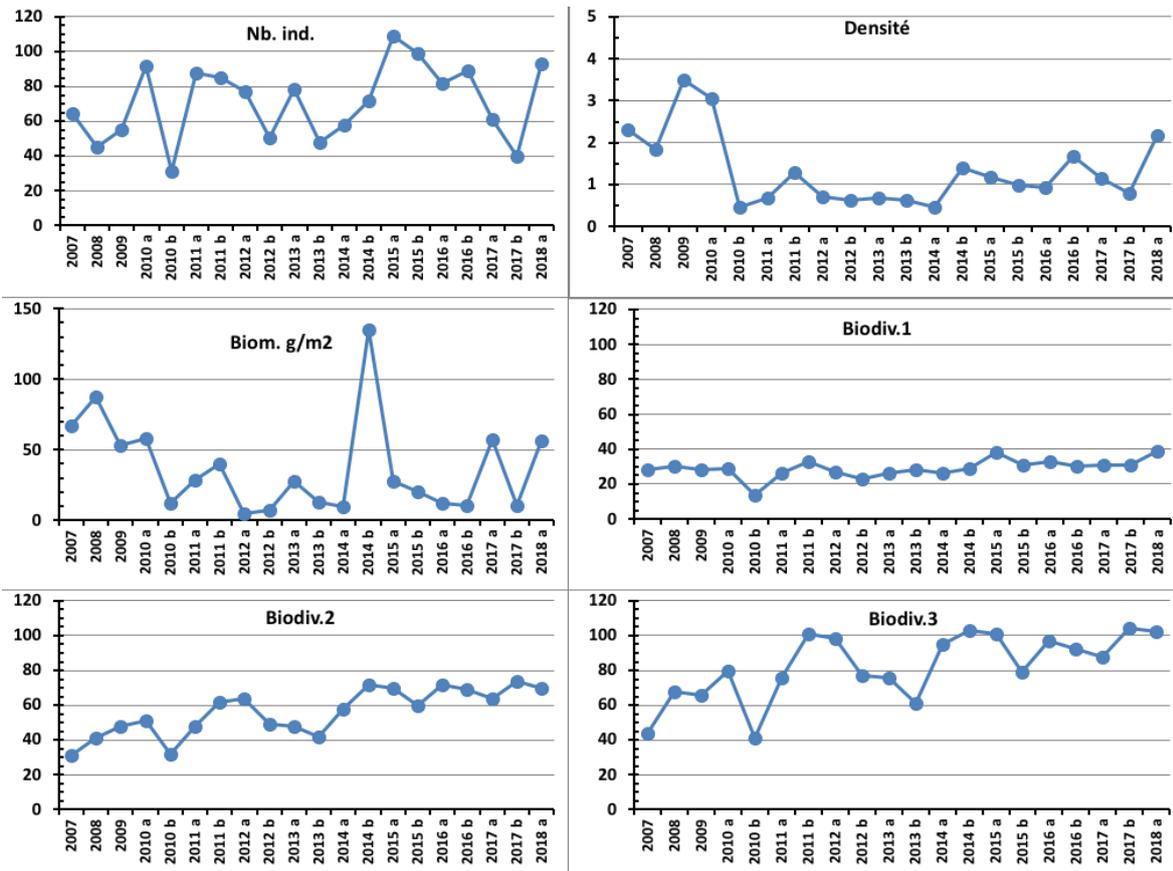


Figure n°52 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST08)

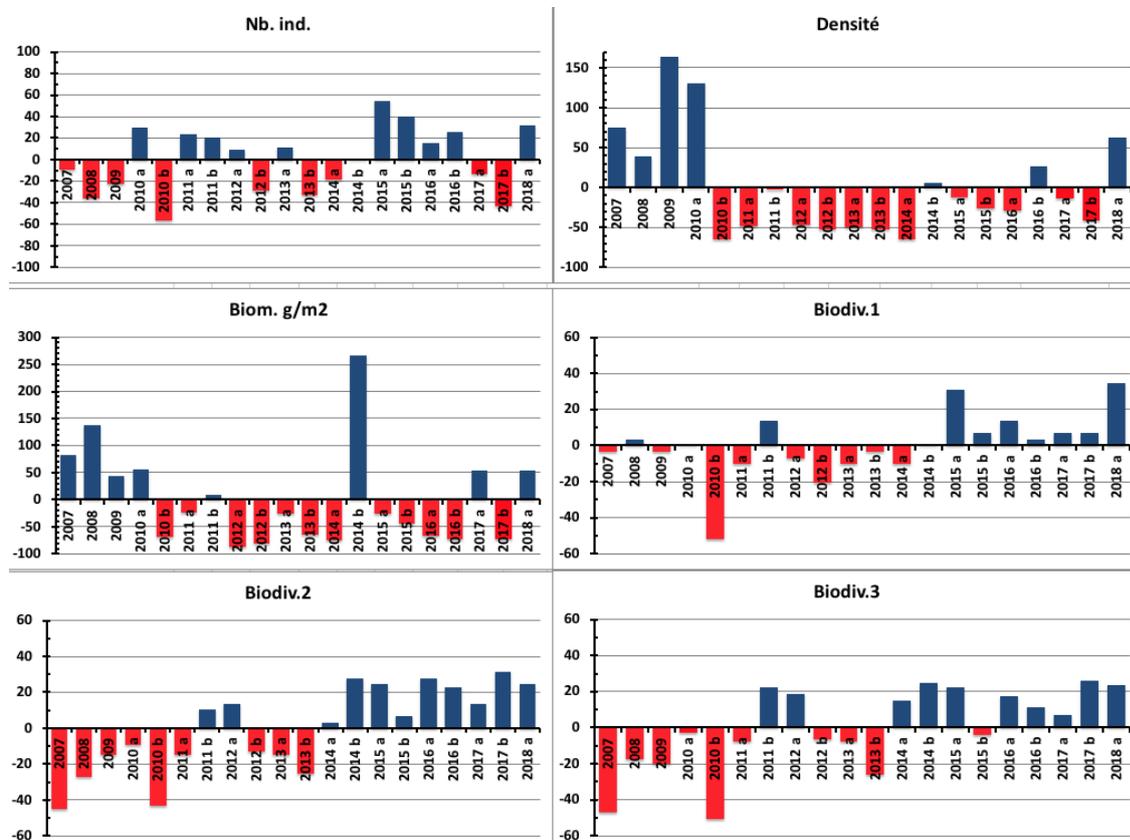


Figure n°53 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST08)



4.9 Station 09 = Bancs Kié

Localisation géographique	Les bancs Kié sont isolés dans la partie centrale du canal de la Havannah. La station est située au sud du banc le plus ouest, qui est totalement immergé (cf. photographie 24).
Nombre transects	3 transects.
Description transects	Ils ont été positionnés à partir de la rupture de pente du récif à 7, 17 et 20 mètres de profondeur, avec une direction quasi sud-nord.
	Le transect A est installé au pied d'un petit éperon et se termine au milieu d'un sillon. Au niveau du transect B les courants de marée sont encore conséquents mais le ressac n'a plus d'influence à cette profondeur. Le transect C est situé en bas de pente.

Description générale

La partie haute du banc est à 5 mètres de profondeur. On y retrouve de grandes superficies arasées, des colonies coralliennes robustes puis des algues résistantes au ressac et au courant comme l'espèce *Dictyosphaeria verluysii* qui est omniprésente et fixée à même la dalle puis, dans une moindre mesure, les autres genres *Asparagopsis*, *Amphiroa* et *Chlorodesmis* (caractérisant un milieu où l'hydrodynamisme est intense).

La pente est relativement abrupte (45°) et recouverte par de nombreux débris coralliens branchus. Seules les plus grosses colonies massives, branchues robustes et foliacées semblent avoir résisté au cyclone « Erica » et à la série de tempêtes et cyclones du début d'année 2011. La majorité des colonies coralliennes est de taille décimétrique.

Cette zone semble être soumise de manière quasi permanente aux très forts courants de marées auxquels se rajoutent de très violents ressacs dus aux houles fréquentes.

Caractéristiques principales

- ↪ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme important (courant de marée, houle et ressac) et taille majoritairement petite des colonies. Cependant présence d'une colonie de taille métrique de *Turbinaria stellulata* au transect B
- ↪ Un grand nombre de gorgones s'est développé aux pourtours de la station depuis avril 2016
- ↪ Le développement des coraux est restreint par la contrainte hydrodynamique
- ↪ La pente récifale est abrupte et la dalle est arasée par les courants de marée et la houle
- ↪ De nombreuses colonies coralliennes ont été retournées par les agents hydrodynamiques sur l'ensemble de la station lors de la dépression Fréda (début d'année 2013) et le passage plus ou moins éloigné du cyclone Pam (mars 2015). Ces colonies désolidarisées de leur substrat dévalent progressivement la pente récifale
- ↪ Abondance des alcyonaires, macrophytes et ascidies sur le sommet du récif :
 - Les alcyonaires ont un recouvrement important (*Lobophytum*) et une richesse spécifique élevée
 - Les macrophytes ont un recouvrement et une richesse spécifique élevés
 - Saisonnalité des algues rouges (*Trichogloea requienii* et d'*Asparagopsis taxiformis*)
 - La richesse spécifique des ascidies est élevée
- ↪ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques (diversité et abondance)
- ↪ Les crinoïdes affectionnent ce milieu balayé par les courants de marée
- ↪ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 19.5% au transect A, 15% en B et 17 % en C
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0.1% ; Avril 2016 : 0.27% ; Novembre 2016 : 0.27% ; Avril 2017 : 1.1% ; Septembre 2017 : 0.2% ; Mai 2018 : 0.63%*
- Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche réapparaît aux 3 transects (respectivement 0.7 m², 0.6 m² et 0.6 m²). Elle affecte les colonies d'*Acropora* tabulaires
- Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation aux 2 transects inférieurs. De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation des débris, blocs, colonies coralliennes et sable carbonaté par la houle et le ressac)



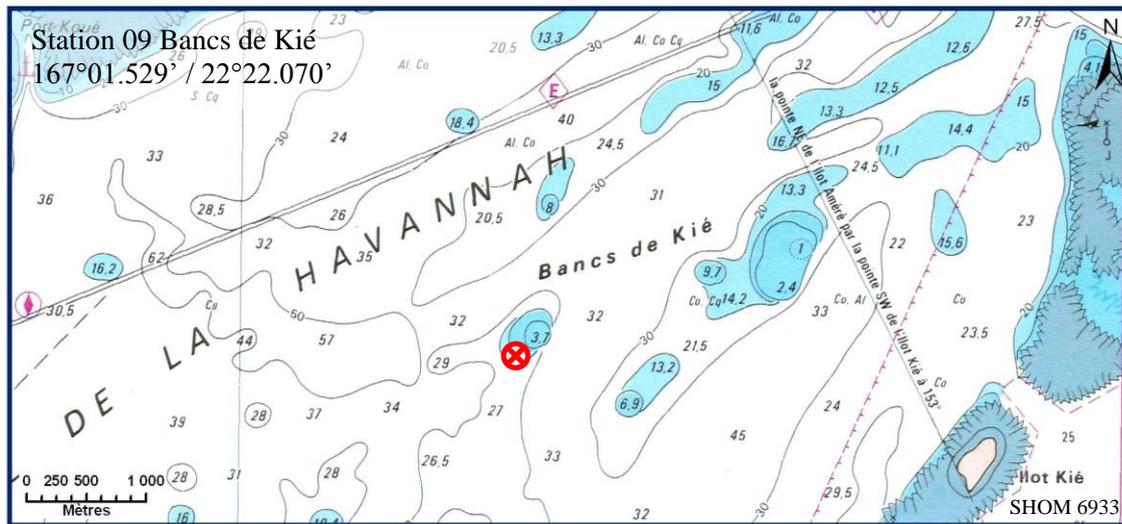
**Autres indicateurs :**

- Cyanobactéries : recouvrement stable aux 3 transects (respectivement niveau 0/2/0). Elles colonisent quelques colonies coralliennes mortes en place (surtout *Acropora*) et les débris coralliens
- Le turf algal se développe sur les débris coralliens et la dalle
- Algue brune *Lobophora* : absente
- Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* : le recouvrement est en diminution aux 3 transects (niveau 3/4/4 à 2)
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*
- Absence de *Drupella cornus*

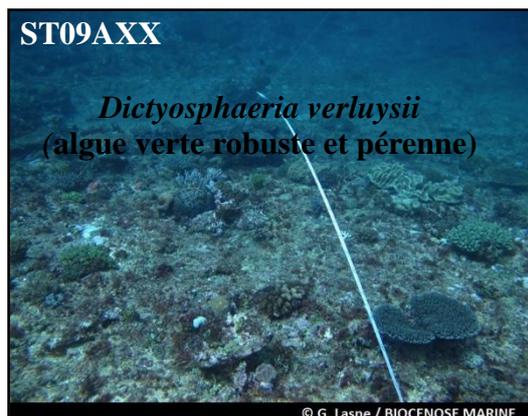




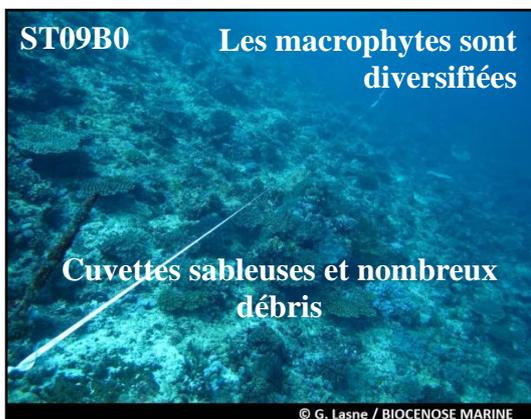
Carte n°11 : Localisation de la station 09 (Bancs Kié)



Photo n°24 : Position en surface (ST09)



Les biocénoses benthiques sont robustes et adaptées aux conditions hydrodynamiques intenses toute l'année



La partie médiane du récif a subi des effondrements de débris et de colonies en amont



Photo n°25 : Vue d'ensemble des transects (ST09)

4.9.1 Le substrat (ST09)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 54](#) pour le transect A, dans la [figure 55](#) pour le transect B et dans la [figure 56](#) pour le transect C.

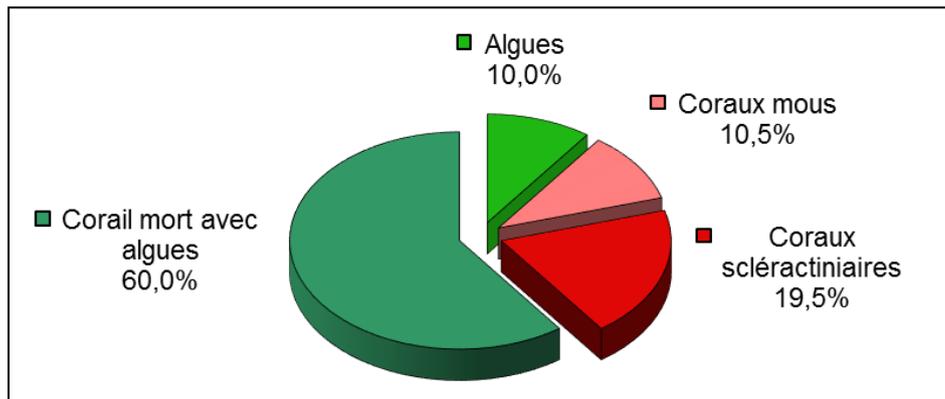


Figure n°54 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09A

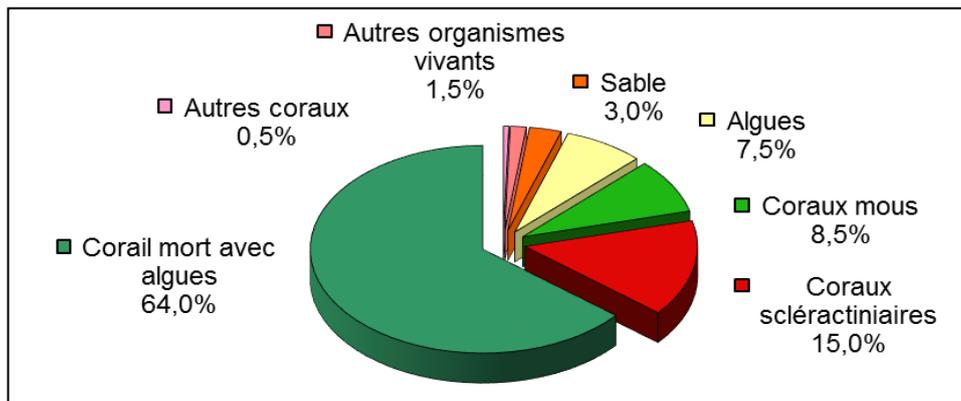


Figure n°55 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09B

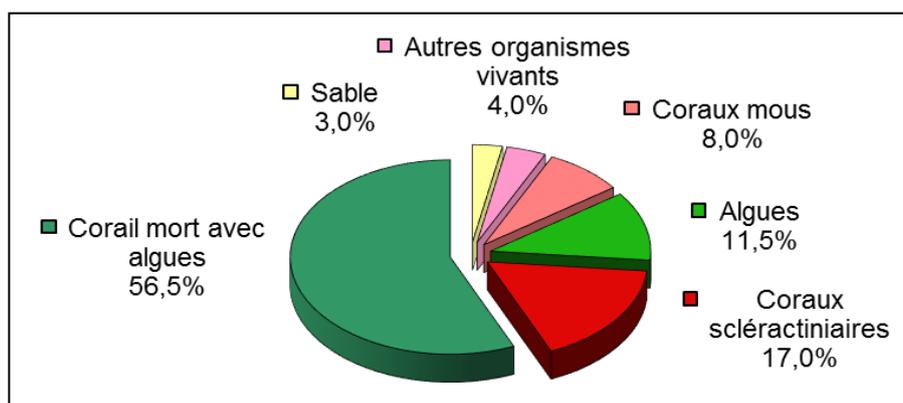


Figure n°56 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09C

A cette station, le substrat est majoritairement composé de coraux morts (respectivement 60%, 64%, 56,5%) encroûtés par une multitude d'organismes vivants (dont des algues calcaires) : de ce fait, cette station est remarquable par sa couverture biotique, respectivement : 100%, 97% et 97%, le complément étant surtout du fait des algues.

Les coraux sclérentiniaires sont moyennement représentés avec respectivement 19,5%, 15% et 17%.

A noter : **0.5% de cyanobactéries en B.**

Globalement, la station est stable.

4.9.2 Le benthos (ST09)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Bancs Kié (ST09) est composée de :

- **73 espèces d'invertébrés** dont 16 espèces de mollusques ; 17 espèces de cnidaires : alcyonaires (10 taxons), actiniaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 19 espèces d'échinodermes : astéries (7 taxons), échinides (6 taxons), holothurides (4 taxons), crinoïdes (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 9 espèces d'éponges ; 12 espèces d'ascidies
- **22 espèces de macrophytes** : algues vertes (13 taxons), algues rouges (7 taxons), algues brunes (2 taxons)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

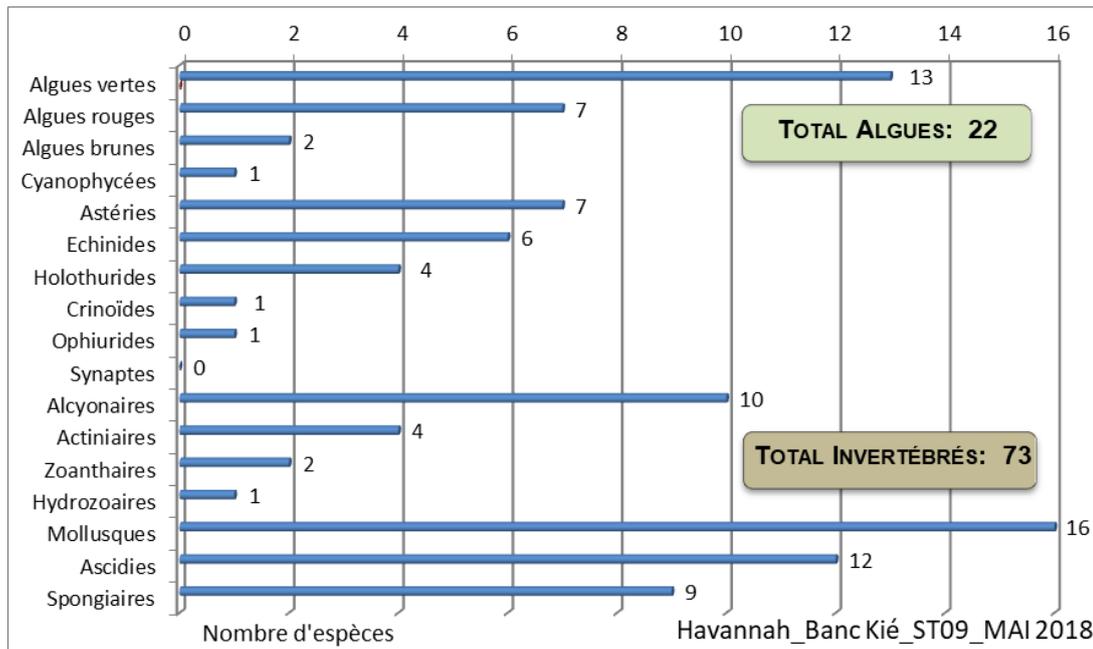


Figure n°57 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST09)

4.9.2.1 Benthos Transect 09 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST09A est composée de :

- 46 espèces d'invertébrés dont 11 espèces de mollusques ; 10 espèces de cnidaires : alcyonaires (8 taxons), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 10 espèces d'échinodermes : astéries (4 taxons), échinides (4 taxons), crinoïdes (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 5 espèces d'éponges ; 10 espèces d'ascidies
- 14 espèces de macrophytes : algues vertes (7 taxons), algues rouges (5 taxons), algues brunes (2 taxons)
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°67 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST09A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
3 nouvelles espèces d'algues recensées, dont l'algue rouge : • <i>Plocamium armatum</i> (A2) et 2 espèces d'algues vertes : • <i>Chlorodesmis fastigiata</i> (A1), • <i>Ventricaria ventricosa</i> (A2) Aucune espèce d'algues n'a disparue.	Aucune espèce d'algues n'augmente. 3 espèces d'algues diminuent, dont 2 espèces d'algues brunes : • <i>Dictyota</i> sp. (A2/- 1), • <i>Turbinaria ornata</i> (A2/- 1) et l'algue rouge : <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A2/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée :	<input checked="" type="checkbox"/>



➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Sarcophyton</i> sp. (A2).	
Echinodermes	
3 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1) ; ➤ pour les échinides (2 espèces) : • <i>Diadema savignyi</i> (A1), • <i>Echinometrix diadema</i> (A1).	2 espèces d'échinodermes augmentent d'abondance : ➤ pour les astéries : • <i>Fromia indica</i> (A2/+ 1), • <i>Linckia multifora</i> (A2/+ 1) Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Linckia laevigata</i> (A1/- 1).
Mollusques	
2 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna crocea</i> (A2) ; ➤ pour les gastéropodes (1 espèce) : • <i>Conus virgo</i> (A1). 2 espèces de mollusques disparues : ➤ pour les gastéropodes : • <i>Lambis chiragra</i> (A0/-1), • <i>Lambis scorpius</i> (A0/-1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Dysidea herbacea</i> (A2). Une espèce d'éponges disparue : • <i>Stellata globostellata</i> (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
Une nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Citorclinum laboutei</i> (A1).	2 espèces d'ascidies augmentent d'abondance : • <i>Polycarpa aurita</i> (A4/+ 1), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A5/+ 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.9.2.2 Benthos Transect 09 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST09B est composée de :

- 68 espèces d'invertébrés dont 13 espèces de mollusques ; 17 espèces de cnidaires : alcyonaires (10 taxons), actiniaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 17 espèces d'échinodermes : astéries (6 taxons), échinides (6 taxons), holothurides (3 taxons), crinoïdes (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 9 espèces d'éponges ; 12 espèces d'ascidies
- 20 espèces de macrophytes : algues vertes (13 taxons), algues rouges (6 taxons), algues brunes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°68 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST09B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. Une espèce d'algue disparue, l'algue verte : • <i>Caulerpa</i> sp. (1spp./-1spp., A2/-0)	Aucune espèce d'algues n'augmente. 3 espèces d'algues diminuent, dont 2 espèces d'algues rouges : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A2/- 2), • <i>Plocamium</i> sp. (A2/- 1) et l'algue verte : • <i>Avrainvillea obscura</i> (A1/- 1).
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cnidaires augmente d'abondance : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Dendronephthya</i> sp. (A4/+1)
Echinodermes	
6 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (2 sp) : • <i>Celerina heffernani</i> (A1), • <i>Fromia monilis</i> (A1) ➤ pour les échinides (1 espèce) : • <i>Parasalenia gratiosa</i> (A2) ; ➤ pour les holothurides (3 espèces) : • <i>Actinopyga miliaris</i> (A1), • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1), • <i>Holothuria whitmaei</i> (A1)	Une espèce d'échinodermes augmente d'abondance : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Fromia indica</i> (A2/+ 1).
Mollusques	
3 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna squamosa</i> (A1) ;	<input checked="" type="checkbox"/>



➤ pour les gastéropodes (2 sp) : • <i>Lambis chiragra</i> (A1), • <i>Astraea rhodostoma</i> (A1)	
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Dysidea herbacea</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
<input checked="" type="checkbox"/>	3 espèces d'ascidies augmentent d'abondance : • <i>Encroutante verte</i> (A3/+1), • <i>Encroutante violetblanc</i> (A3/+ 1), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A5/+ 1). 1 sp d'ascidies diminue d'abondance : • <i>Citorclinum laboutei</i> (A1/-1)
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de bryozoaires augmente d'abondance : • <i>Alcyonidium</i> sp. (A3/+ 1).

4.9.2.3 Benthos Transect 09 C

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST09C est composée de :

- 43 espèces d'invertébrés dont 5 espèces de mollusques ; 10 espèces de cnidaires : alcyonaires (7 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 11 espèces d'échinodermes : échinides (4 taxons), astéries (3 taxons), holothurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 10 espèces d'ascidies
- 18 espèces de macrophytes : algues vertes (11 taxons), algues rouges (6 taxons), algues brunes (1 taxon)
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°69 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST09C)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Aucune nouvelle espèce d'algues recensée. 1 sp d'algue disparue, l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (1spp./-1spp., A2/-1)	Aucune espèce d'algues n'augmente. 3 espèces d'algues diminuent, 2 espèces d'algues rouges : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A2/- 2), • <i>Plocamium</i> sp. (A2/- 1) et l'algue verte : • <i>Halimeda</i> sp. (A2/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une espèce de cnidaires disparue : ➤ pour les actiniaires (-1 espèce) : • <i>Discosoma</i> sp. (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
4 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (3 sp) : • <i>Fromia indica</i> (A1), • <i>Linckia multifora</i> (A2), • <i>Neoferdina cumingi</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 sp) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1)	Une espèce d'échinodermes augmente d'abondance : ➤ pour les échinides (1 espèce) : • <i>Diadema savignyi</i> (A2/+ 1). Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➤ pour les crinoïdes (1 espèce) : •Crinoïdes ind. (A2/- 1).
Mollusques	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Cymbastella cantharella</i> (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
1 nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Didemnum molle</i> (A2). Une espèce d'ascidies disparue : • <i>Clavelina detorta</i> (A0/-2).	Une espèce d'ascidies diminue d'abondance : • <i>Polycarpa clavata</i> (A1/- 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



4.9.3 Les poissons (ST09)

La liste des espèces observées¹¹ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 70](#).

Tableau n°70 : *Données sur les poissons (ST09)*

Banc Kié ST09		Transect			Transect			Transect			Station		
		A			B			C			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>							2	0,05	10,65	0,67	0,02	3,55
Aca	<i>Acanthurus mata</i>							15	0,38	25,31	5,00	0,13	8,44
Aca	<i>Acanthurus olivaceus</i>							1	0,03	4,00	0,33	0,01	1,33
Aca	<i>Acanthurus pyroferus</i>	1	0,03	2,05							0,33	0,01	0,68
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	2	0,05	1,33	1	0,03	0,86				1,00	0,03	0,73
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	3	0,08	2,59	3	0,08	2,59	3	0,08	3,30	3,00	0,08	2,83
Aca	<i>Naso unicornis</i>							1	0,03	45,56	0,33	0,01	15,19
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>				4	0,10	0,00				1,33	0,03	0,00
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>				1	0,03	0,67				0,33	0,01	0,22
Ant	<i>Pseudanthias cooperi</i>	10	0,25	2,56							3,33	0,08	0,85
Ant	<i>Pseudanthias dispar</i>							15	0,38	3,84	5,00	0,13	1,28
Ant	<i>Pseudanthias hypselosoma</i>							15	0,38	3,84	5,00	0,13	1,28
Ant	<i>Pseudanthias pictilis</i>	12	0,30	2,06							4,00	0,10	0,69
Ant	<i>Pseudanthias pleurotaenia</i>				20	0,50	5,12	20	0,50	5,12	13,33	0,33	3,41
Ant	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	15	0,38	2,57							5,00	0,13	0,86
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>				1	0,03	0,26				0,33	0,01	0,09
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	2	0,05	0,51				2	0,05	0,73	1,33	0,03	0,41
Cha	<i>Chaetodon citrinellus</i>				2	0,05	0,34				0,67	0,02	0,11
Cha	<i>Chaetodon kleinii</i>	3	0,08	0,32	4	0,10	0,43	3	0,08	0,32	3,33	0,08	0,36
Cha	<i>Chaetodon melannotus</i>	4	0,10	0,43							1,33	0,03	0,14
Cha	<i>Chaetodon mertensii</i>	2	0,05	0,34	2	0,05	0,34				1,33	0,03	0,23
Cha	<i>Chaetodon pelewensis</i>	3	0,08	0,19	4	0,10	0,43				2,33	0,06	0,21
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	3	0,08	0,10	3	0,08	0,10	4	0,10	0,43	3,33	0,08	0,21
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	2	0,05	0,34							0,67	0,02	0,11
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	2	0,05	0,51	2	0,05	0,51				1,33	0,03	0,34
Cha	<i>Chaetodon unimaculatus</i>	1	0,03	0,36	2	0,05	0,51				1,00	0,03	0,29
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>							1	0,03	0,50	0,33	0,01	0,17
Epi	<i>Cephalopholis urodeta</i>	1	0,03	0,86	2	0,05	3,38	1	0,03	1,69	1,33	0,03	1,98
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	2	0,05	125,0				3	0,08	165,89	1,67	0,04	96,96
Epi	<i>Variola louti</i>				1	0,03	45,56	1	0,03	9,84	0,67	0,02	18,47
Lab	<i>Bodianus perditio</i>							1	0,03	2,92	0,33	0,01	0,97
Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	2	0,05	1,73	2	0,05	3,38				1,33	0,03	1,70
Lab	<i>Coris gaimard</i>							1	0,03	0,36	0,33	0,01	0,12
Lab	<i>Gomphosus varius</i>	4	0,10	6,75							1,33	0,03	2,25
Lab	<i>Halichoeres hortulanus</i>	1	0,03	0,50							0,33	0,01	0,17
Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	2	0,05	2,20							0,67	0,02	0,73
Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>				2	0,05	0,22				0,67	0,02	0,07
Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	8	0,20	2,92							2,67	0,07	0,97
Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	10	0,25	2,56	5	0,13	1,28	5	0,13	0,86	6,67	0,17	1,57
Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	10	0,25	3,65	5	0,13	0,86	5	0,13	0,86	6,67	0,17	1,79
Mul	<i>Parupeneus ciliatus</i>				2	0,05	15,63				0,67	0,02	5,21
Mul	<i>Parupeneus indicus</i>				3	0,08	23,44				1,00	0,03	7,81
Mul	<i>Parupeneus multifasciatus</i>							3	0,08	6,14	1,00	0,03	2,05
Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	5	0,13	2,50	3	0,08	3,30	5	0,13	2,50	4,33	0,11	2,77
Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	4	0,10	0,25	4	0,10	0,43	2	0,05	0,13	3,33	0,08	0,27
Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	3	0,08	0,19	2	0,05	0,22	4	0,10	0,25	3,00	0,08	0,22
Poc	<i>Centropyge flavissima</i>	2	0,05	0,22	2	0,05	0,22	2	0,05	0,22	2,00	0,05	0,22
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	6	0,15	0,38	3	0,08	0,32	4	0,10	0,13	4,33	0,11	0,28
Poc	<i>Pomacanthus imperator</i>	1	0,03	2,05							0,33	0,01	0,68
Poc	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>				1	0,03	8,79				0,33	0,01	2,93

¹¹ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)



Pom	<i>Amphiprion chrysopterus</i>	10	0,25	1,08	4	0,10	0,25				4,67	0,12	0,44
Pom	<i>Amphiprion clarkii</i>	6	0,15	0,65							2,00	0,05	0,22
Pom	<i>Amphiprion perideraion</i>				2	0,05	0,13				0,67	0,02	0,04
Pom	<i>Chromis fumea</i>				30	0,75	0,96	25	0,63	0,80	18,33	0,46	0,59
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>				6	0,15	0,08				2,00	0,05	0,03
Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>	12	0,30	0,16	10	0,25	0,14	10	0,25	0,14	10,67	0,27	0,14
Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>	25	0,63	0,34	35	0,88	0,47	15	0,38	0,20	25,00	0,63	0,34
Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>				15	0,38	0,94	10	0,25	0,63	8,33	0,21	0,52
Pom	<i>Neopomacentrus azyrson</i>				25	0,63	0,34				8,33	0,21	0,11
Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>	3	0,08	1,50	5	0,13	5,49	6	0,15	6,59	4,67	0,12	4,53
Sca	<i>Scarus chameleon</i>							2	0,05	3,38	0,67	0,02	1,13
Sca	<i>Scarus forsteni</i>	2	0,05	1,33	2	0,05	4,91				1,33	0,03	2,08
Sca	<i>Scarus ghobban</i>				1	0,03	10,98				0,33	0,01	3,66
Sca	<i>Scarus psittacus</i>	2	0,05	1,73							0,67	0,02	0,58
Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>							4	0,10	13,72	1,33	0,03	4,57
Sca	<i>Scarus spinus</i>	3	0,08	2,59							1,00	0,03	0,86
Sig	<i>Siganus fuscescens</i>				2	0,05	3,38	6	0,15	5,18	2,67	0,07	2,85
Sig	<i>Siganus punctatus</i>	2	0,05	3,38							0,67	0,02	1,13
	Total	191	4,78	180,7	223	5,58	147,2	197	4,93	326,01	203,67	5,09	218,0
	Biodiversité		39			39			33			68	
	Indice de Shannon =		5,188										
	Equitabilité =		0,852										

Sur l'ensemble des transects de la station, 611 individus appartenant à 69 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 5.09 poissons/m² pour une biomasse de 218 g/m².

121 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 71](#)).

Tableau n°71 : Liste des espèces complémentaires (ST09)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Hae	<i>Plectorhinchus lessonii</i>	Pom	<i>Amphiprion chrysopterus</i>
Aca	<i>Acanthurus dussumieri</i>	Lab	<i>Anampses femininus</i>	Pom	<i>Amphiprion clarkii</i>
Aca	<i>Acanthurus mata</i>	Lab	<i>Anampses melanurus</i>	Pom	<i>Amphiprion perideraion</i>
Aca	<i>Acanthurus nigricans</i>	Lab	<i>Bodianus diana</i>	Pom	<i>Chromis agilis</i>
Aca	<i>Acanthurus olivaceus</i>	Lab	<i>Bodianus perditio</i>	Pom	<i>Chromis amboinensis</i>
Aca	<i>Acanthurus pyroferus</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Chromis atripes</i>
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	Lab	<i>Cirrhilabrus lineatus</i>	Pom	<i>Chromis chrysur</i>
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Lab	<i>Cirrhilabrus punctatus</i>	Pom	<i>Chromis fumea</i>
Aca	<i>Naso unicornis</i>	Lab	<i>Coris aygula</i>	Pom	<i>Chromis iomelas</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Lab	<i>Coris batuensis</i>	Pom	<i>Chromis leucura</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Coris gaimard</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Ant	<i>Pseudanthias cooperi</i>	Lab	<i>Gomphosus varius</i>	Pom	<i>Chrysiptera starcki</i>
Ant	<i>Pseudanthias dispar</i>	Lab	<i>Halichoeres hortulanus</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Ant	<i>Pseudanthias hypselosoma</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>
Ant	<i>Pseudanthias pictilis</i>	Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>
Ant	<i>Pseudanthias pleurotaenia</i>	Lab	<i>Labropsis australis</i>	Pom	<i>Lepidozygus tapeinosoma</i>
Ant	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	Lab	<i>Macropharyngodon meleagris</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon nigroris</i>
Aul	<i>Aulostomus chinensis</i>	Lab	<i>Pseudodax moluccanus</i>	Pom	<i>Neopomacentrus azyrson</i>
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	Lab	<i>Pseudojuloides cerasinus</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon johnstonianus</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>
Cha	<i>Chaetodon citrinellus</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon kleinii</i>	Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	Pom	<i>Pomacentrus nigromarginatus</i>
Cha	<i>Chaetodon lineolatus</i>	Lab	<i>Thalassoma nigrofasciatum</i>	Pom	<i>Pomacentrus philippinus</i>



Cha	<i>Chaetodon melannotus</i>	Lut	<i>Lutjanus bohar</i>	Pom	<i>Pomacentrus simsiang</i>
Cha	<i>Chaetodon mertensii</i>	Lut	<i>Macolor niger</i>	Pom	<i>Stegastes albifasciatus</i>
Cha	<i>Chaetodon pelewensis</i>	Mic	<i>Pervagor aspricaudus</i>	Sca	<i>Chlorurus microrhinus</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Mul	<i>Parupeneus ciliatus</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	Mul	<i>Parupeneus cyclostomus</i>	Sca	<i>Scarus chameleon</i>
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>	Sca	<i>Scarus dimidiatus</i>
Cha	<i>Chaetodon unimaculatus</i>	Mul	<i>Parupeneus multifasciatus</i>	Sca	<i>Scarus forsteni</i>
Cha	<i>Heniochus varius</i>	Mur	<i>Gymnothorax nudivomer</i>	Sca	<i>Scarus ghobban</i>
Cir	<i>Cirrhitichthys falco</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	Sca	<i>Scarus psittacus</i>
Cir	<i>Cyprinocirrhites polyactis</i>	Pin	<i>Parapercis flavissimus</i>	Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>
Cir	<i>Paracirrhites arcatus</i>	Pin	<i>Parapercis hexoptalma</i>	Sca	<i>Scarus schlegeli</i>
Cir	<i>Paracirrhites forsteri</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	Sca	<i>Scarus spinus</i>
Epi	<i>Cephalopholis argus</i>	Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>	Sig	<i>Siganus fuscescens</i>
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>	Poc	<i>Centropyge flavissima</i>	Sig	<i>Siganus puellus</i>
Epi	<i>Cephalopholis urodeta</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	Sig	<i>Siganus punctatus</i>
Epi	<i>Epinephelus fasciatus</i>	Poc	<i>Pomacanthus imperator</i>	Syn	<i>Saurida gracilis</i>
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Poc	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>	Syn	<i>Synodus variegatus</i>
Epi	<i>Variola louti</i>				

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 72](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 58](#).

Tableau n°72 : Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST09)

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	9	5,68	22,50	14,20
Chaetodontidae	30	10	7,32	33,33	24,40
Epinephelinae	26	4	2,74	15,38	10,54
Labridae	97	10	7,89	10,31	8,13
Lethrinidae	16	0	0,05	0,00	0,31
Lutjanidae	22	0	0,32	0,00	1,45
Mullidae	14	3	1,26	21,43	9,00
Pomacanthidae	14	6	4,32	42,86	30,86
Pomacentridae	92	9	5,11	9,78	5,55
Scaridae	23	7	3,00	30,43	13,04
Siganidae	10	2	0,63	20,00	6,30
Autres	257	8	6,00	3,11	2,33
Khi2 obs		4,4		21,9	
Khi2 tab		19,7			

Sous l'angle de vue des proportions, la structure du peuplement de mai 2018 diffère significativement de la structure moyenne obtenue sur la période de suivi (2007-2017).

Dans l'ensemble des missions de la série historique, 5 structures de peuplements sont similaires à la structure moyenne établie sur la série. Ce sont : 2009, 2013b, 2014a et b, 2015b. Globalement, et toujours sous l'angle de vue de leur structure, les missions forment un ensemble très significativement hétérogène (cf. [tableau synoptique 113](#)).

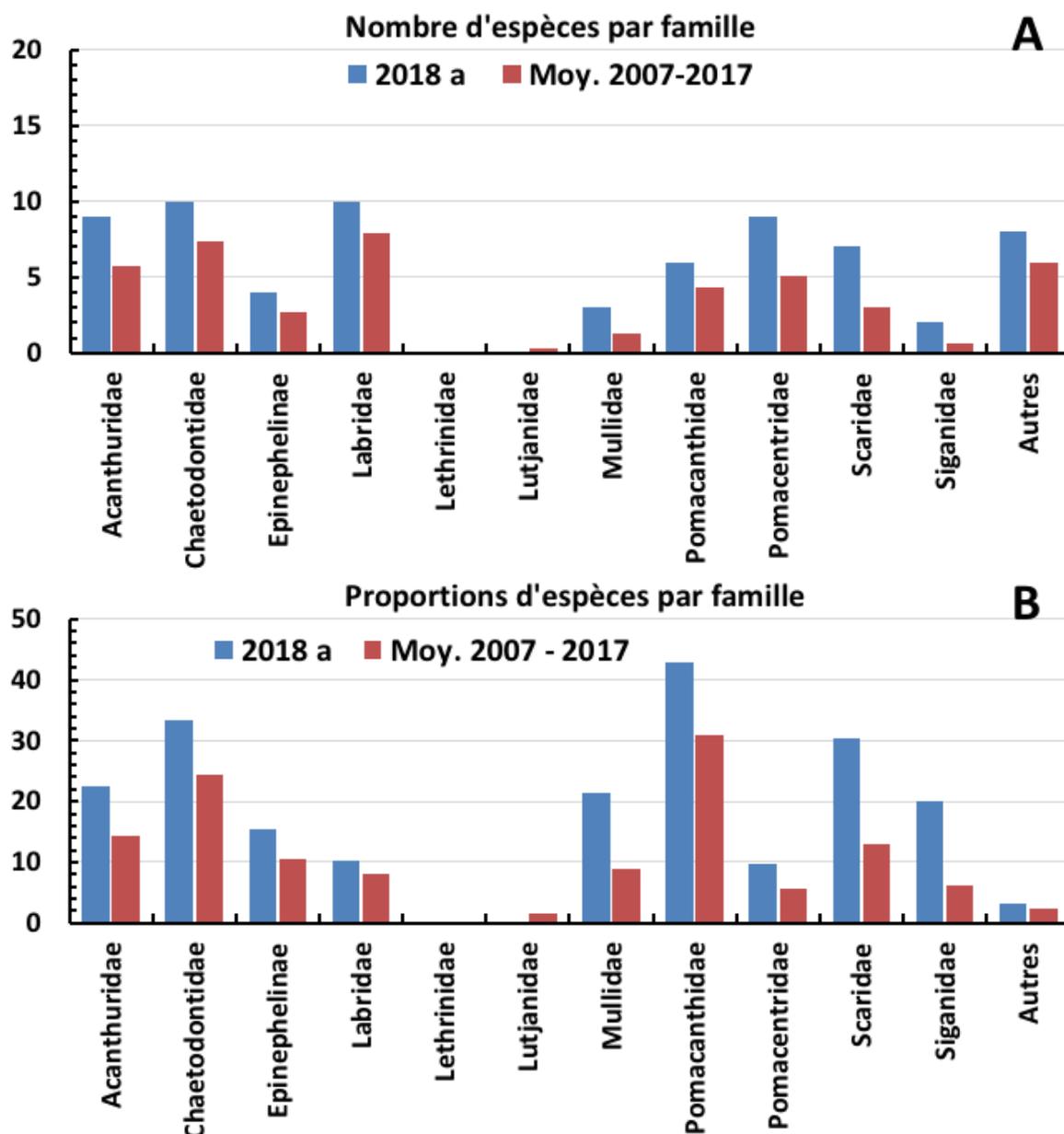


Figure n°58 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST09)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 73](#) et la [figure 59](#).

Tableau n°73 : *Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST09)*

Peuplement de poissons ST09 – Banc KIE		Liste DENV					Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	Station	
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3	
2018 a	Transect A	191	4,78	180,77	39			
	Transect B	223	5,58	147,22	39			
	Transect C	197	4,93	326,01	33			
	Moy. ABC	203,67	5,09	218,00	68	83	121	
2017 b	Moy. ABC	174,33	2,42	64,47	64	86	116	
2017 a	Moy. ABC	188	2,35	39,59	52	77	114	
2016 b	Moy. ABC	212,00	2,65	29,76	46	83	119	
2016 a	Moy. ABC	209,00	2,64	75,42	49	82	117	
2015 b	Moy. ABC	183,33	1,95	149,23	50	84	113	
2015 a	Moy. ABC	230,67	1,65	158,28	62	81	118	
2014 b	Moy. ABC	208,00	3,20	376,55	52	72	117	
2014 a	Moy. ABC	115,33	1,44	108,69	39	68	113	
2013 b	Moy. ABC	161,33	1,71	79,14	47	70	98	
2013 a	Moy. ABC	244,00	3,04	40,63	43	82	98	
2012 b	Moy. ABC	157,67	1,96	99,48	37	66	95	
2012 a	Moy. ABC	176,67	2,18	96,25	45	75	100	
2011 b	Moy. ABC	117,00	1,42	118,86	48	66	91	
2011 a	Moy. ABC	154,00	1,81	593,06	43	58	89	
2010 b	Moy. ABC	133	1,35	10,62	28	53	75	
2010 a	Moy. ABC	61,33	1,66	303,36	34	43	66	
2009	Moy. ABC	22	4,01	62,69	35	58	60	
2008	Moy. ABC	208,67	4,21	273,92	32	50	62	
2007	Moy. ABC	145,33	4,13	607,71	36	48	55	

L'écart relatif à la moyenne [$Er_i = (X_i - X_m)/X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 74](#) et représentation [figure 60](#).

Tableau n°74 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST09)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	3 194,3	1,2	30 295,3	117,4	185,0	492,8
Ecart type	56,5	1,1	174,1	10,8	13,6	22,2
Moyenne	165,0	2,5	175,2	45,6	69,3	96,6
Coef. de Var.	0,3	0,4	1,0	0,2	0,2	0,2

Commentaires :

- La densité présente une valeur très forte.
- La biomasse est voisine de la moyenne.
- La biodiversité sur les transects (biodiversité 1) est au plus fort.

La série historique 2007-2017 montre des structures de peuplements changeantes comme sur toutes les stations du canal de la Havannah. Non seulement, des espèces nomades induisent des changements naturels dans l'organisation de la B α , mais beaucoup d'individus font des allers-retours entre les zones qui avoisinent la zone de transects et la station du simple fait de la présence du plongeur.

Sur les 20 missions, 5 ont des structures de peuplement qui ne diffèrent pas significativement de la structure moyenne (2009, 2013b, 2014a et b et 2015b), mais dans leur ensemble, tous les peuplements observés diffèrent très significativement en structure, les uns des autres, depuis 2007 (cf. [tableau synoptique 113](#)).

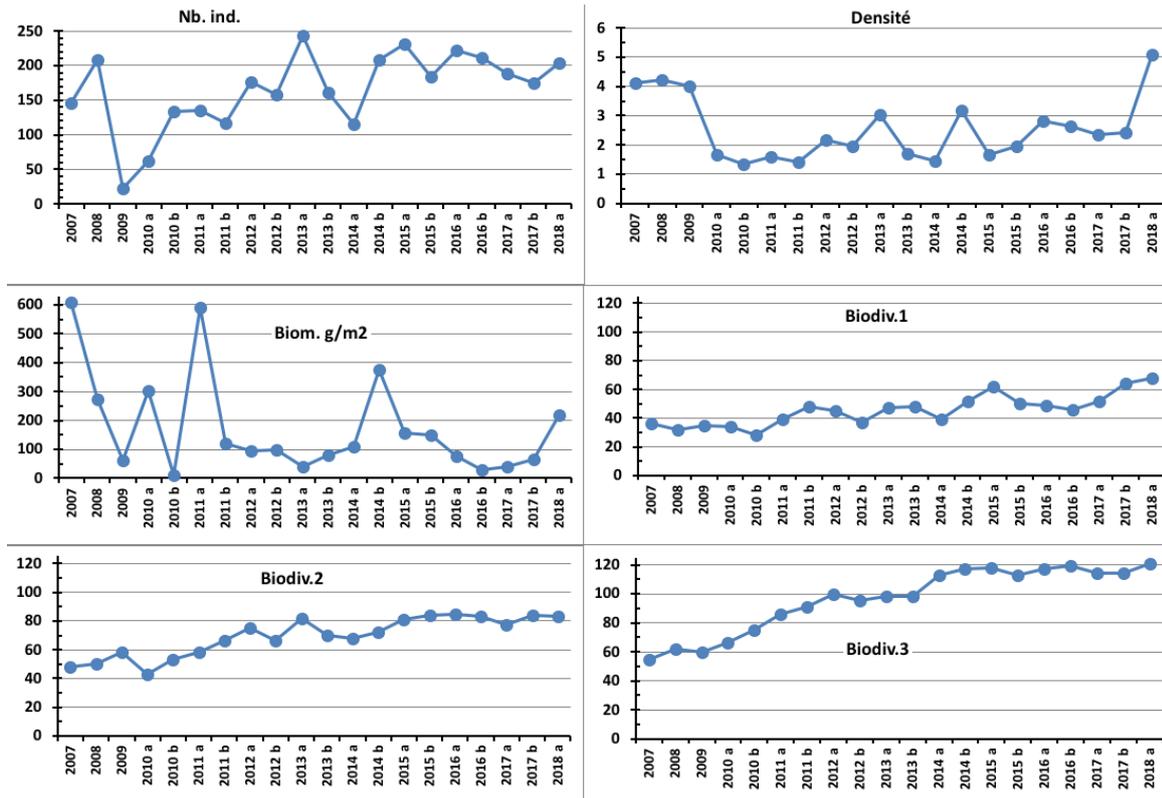


Figure n°59 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST09)

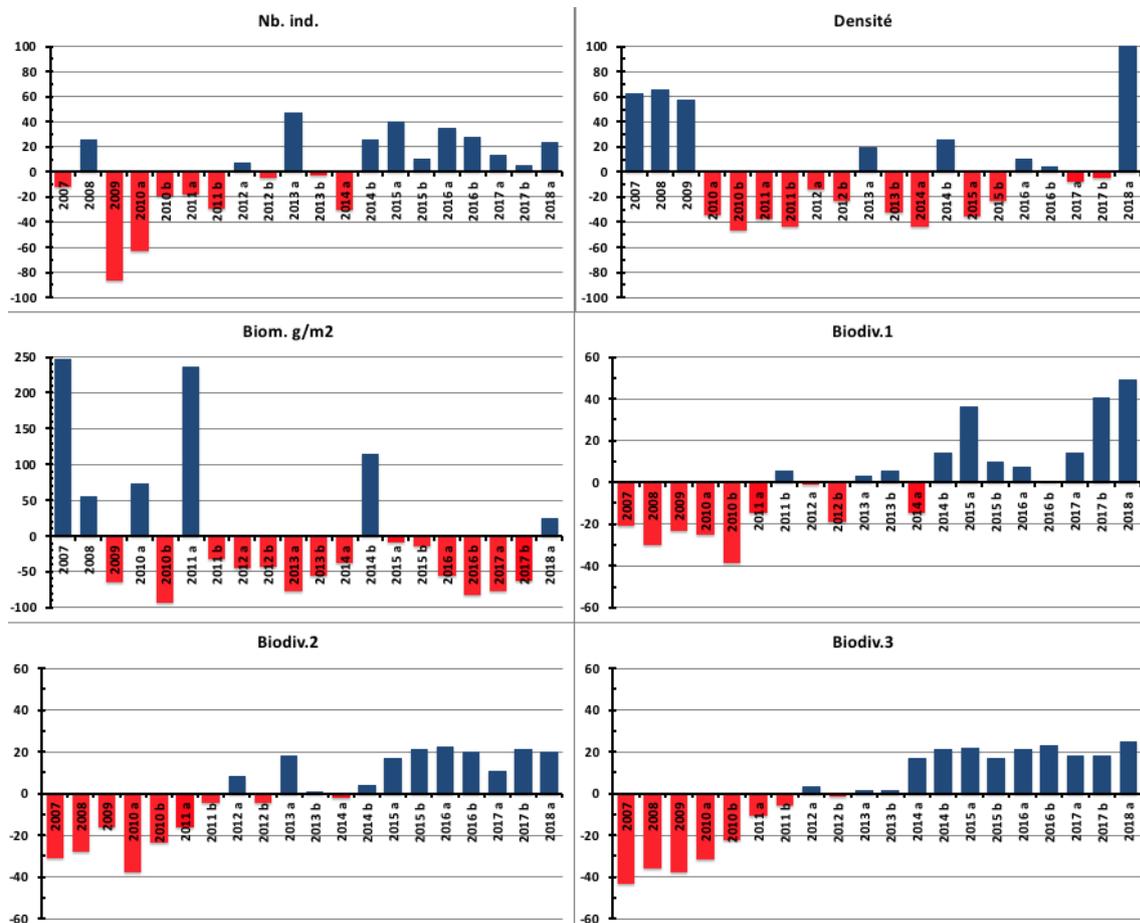


Figure n°60 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST09)



4.10 Station 11 = Récif Toémo

Localisation géographique	A l'ouest de la passe du récif de Toémo, parallèlement au récif. Elle est repérable de la surface grâce à l'alignement d'un talweg sur la falaise du rivage avec le pic au sommet de la colline (photographie 26).
Nombre transects	3 transects.
Description transects	Ils ont été positionnés à 6, 11 et 20 mètres de profondeur, avec un alignement du nord-est vers le sud-ouest.
	<p>Le transect A est positionné au sommet du récif : il se situe en amont de la pente et proche du bourrelet de débris coralliens. Un <i>Platygyra daedalea</i> d'un mètre de diamètre permet de repérer la fin du transect.</p> <p>Le transect B est positionné sur la pente récifale. De nombreux débris et massifs coralliens ont dévalé la pente, détruisant une grande partie des communautés coralliennes. Cet événement a certainement comme origine le cyclone Erica (mars 2003). Toutefois de petites colonies coralliennes recolonisent ces débris.</p> <p>Le transect C se situe à la rupture entre le bas du tombant récifal et le début de la pente sédimentaire. C'est une zone d'accumulation de débris et de blocs coralliens provenant du récif (dégradation des fortes houles et des cyclones).</p>

Description générale

Le récif de Toémo est un récif intermédiaire de lagon, situé au nord-ouest du canal de la Havannah, à proximité de la grande passe de Goro. Sa position géographique et les conditions hydrodynamiques soutenues permettent d'assimiler ce récif à une pente externe proche d'une passe.

Le sommet du récif est riche en coraux encroûtants, branchus et tabulaires (*Acropora*, *Pocillopora*, *Isopora*, *Seriatopora*, *Galaxea* et *Montipora*). Un bourrelet composé de débris coralliens se démarque juste avant la cassure de la pente. Ce dernier est assez pentu (40°) et recouvert par endroits par de nombreux éboulis et des massifs coralliens retournés (coraux tabulaires et massifs). La majorité des débris coralliens finissent leur course en bas de pente.

La pente sédimentaire à une inclinaison douce, cette dernière est composée de sable coquillé et de débris coralliens qui deviennent de moins en moins abondants en fonction de l'éloignement du récif. Quelques grands massifs se répartissent à proximité du tombant récifal mais leur recouvrement en organismes benthiques est fragmentaire.

Caractéristiques principales

- ↪ Les conditions hydrodynamiques sont soutenues durant toute l'année (courant, ressac, houle)
- ↪ Ce récif a subi des dégradations durant les événements cycloniques du début d'année 2011 (Vania, Zelia), le cyclone de janvier 2013 (Fréda) et dans une moindre mesure les cyclones Pam en mars 2015 et Winston en février 2016
 - Dégradations des communautés benthiques d'ordre mécanique sur l'ensemble de la station à cause de l'hydrodynamisme important : arrachement et casse des colonies coralliennes au transect A et accumulation de débris et de blocs coralliens pour les autres transects B & C
- ↪ Les sclérectiniaires développent des morphologies robustes
- ↪ La richesse spécifique des coraux est relativement élevée pour les niveaux bathymétriques supérieurs et plus importante au transect B que en A (dégradation en sommet de récif par les agents hydrodynamiques intenses)
- ↪ Saisonnalité des macrophytes et caractère envahissant : les algues rouges (particulièrement *Asparagopsis*) présentent un développement saisonnier qui peut être très important sur l'ensemble de la station
- ↪ Les ascidies sont variées et abondantes
- ↪ Les spongiaires sont relativement abondantes (*Cliona*)
- ↪ Les alcyonaires ont un recouvrement relativement élevé
- ↪ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques



Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

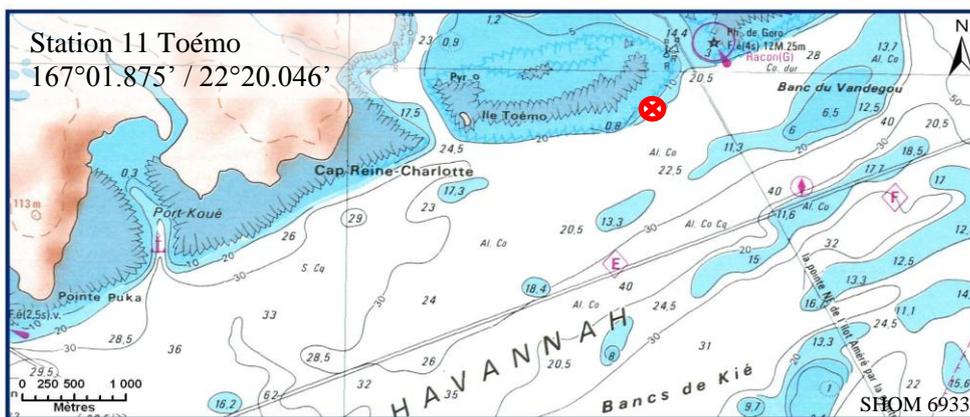
- Le recouvrement corallien est de 48.5% au transect A (plus fort recouvrement de tous les transects), 33.5% en B et 6.5% en C
- Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0.4% ; Avril 2016 : 0.57% ; Novembre 2016 : 0.2% ; Avril 2017 : 0.1% ; Septembre 2017 : 0.1% ; Mai 2018 : 0.4%*
- Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche réapparaît aux 3 transects (respectivement 0.4 m², 0.6 m² et 0.2 m²). Elle affecte les colonies d'*Acropora* tabulaires et branchus, *Stylophora pistillata*, *Seriatopora caliendrum* et *Merulina ampliata*
- Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation en B. De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation des débris, blocs, colonies coralliennes et sable carbonaté par la houle et le ressac, particulièrement en A & B pour s'accumuler en C)

Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : recouvrement en diminution en C (niveau 2 à 0) et en augmentation en A (niveau 0 à 2). Elles colonisent quelques colonies coralliennes mortes en place (surtout *Acropora*) et les débris coralliens
- Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens particulièrement en B & C
- Algues brunes *Lobophora* : absente (stable)
- Algues rouges *Asparagopsis taxiformis* : le recouvrement est stable en A & B (niveau 2) et disparaît en C
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

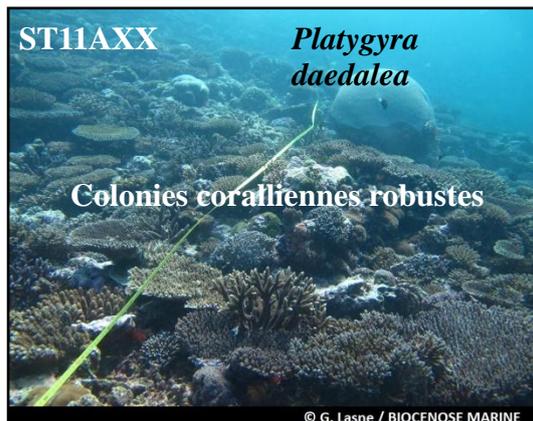
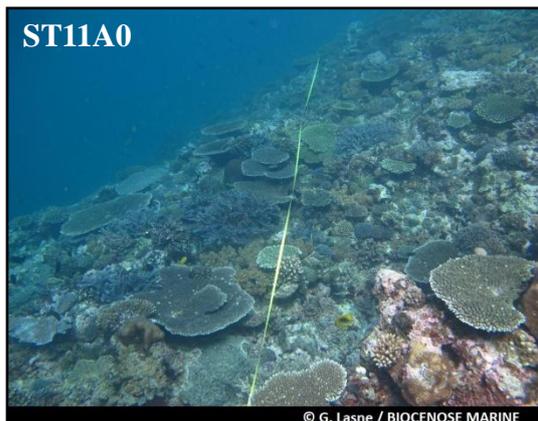
- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*
- Présence de *Drupella cornus* en A (niveau 2)



Carte n°12 : Localisation de la station 11 (Toémo)



Photo n°26 : Position en surface par rapport à la côte (ST11)



Les parties haute et médiane du récif sont très diversifiées et composées de colonies coralliennes robustes

Colonies abondantes (*Acropora* spp., *Seriatopora caliendrum* et *Galaxea fascicularis*)



Le turf algal se développe sur les nombreux débris et des nécroses de colonies coralliennes



Accumulation de débris coralliens en bas de pente récifale, dépôt et cuvettes sableuses carbonatés

Photo n°27 : Vue d'ensemble des transects (ST011)

4.10.1 Le substrat (ST11)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 61](#) pour le transect A, dans la [figure 62](#) pour le transect B et dans la [figure 63](#) pour le transect C.

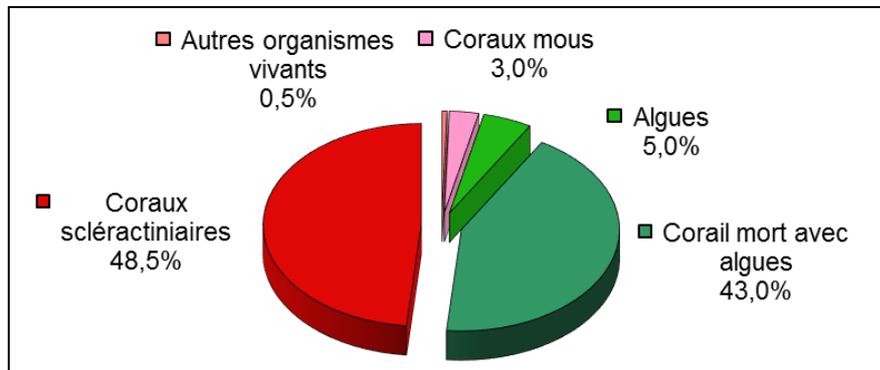


Figure n°61 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST11A*

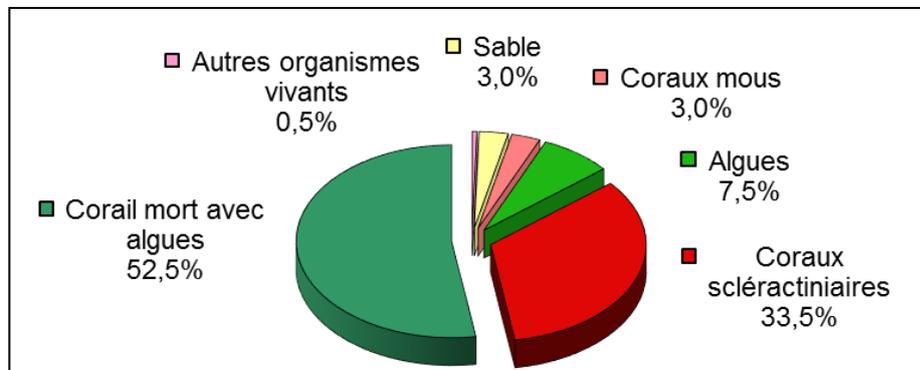


Figure n°62 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST11B*

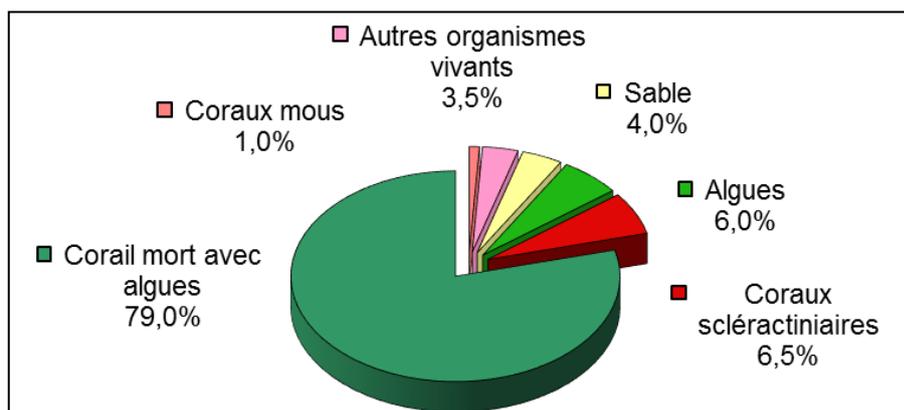


Figure n°63 : *Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST03C*

Cette station possède, parmi les plus forts recouvrements biotiques : 100%, 97% et 96% respectivement du haut vers le bas. Cela est dû essentiellement à la classe « coraux morts avec algues » qui est dominante.

Mais les coraux scléactiniaires y sont particulièrement aussi bien représentés, surtout sur les 2 premiers transects (48.5% et 33.5%), résultats parmi les plus élevés de toutes les stations (1^{er} rang pour cette mission).

A noter : **0.5% de cyanobactéries en B.**

Globalement, la station est stable.

4.10.2 Le benthos (ST11)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Récif Toémo (ST11) est composée de :

- **54 espèces d'invertébrés** dont 14 espèces de mollusques ; 10 espèces de cnidaires : alcyonaires (7 taxons), actiniaires (1 taxon), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 13 espèces d'échinodermes : astéries (5 taxons), holothurides (3 taxons), échinides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 10 espèces d'éponges ; 7 espèces d'ascidies
- **10 espèces de macrophytes** : algues vertes (5 taxons), algues rouges (4 taxons), algues brunes (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

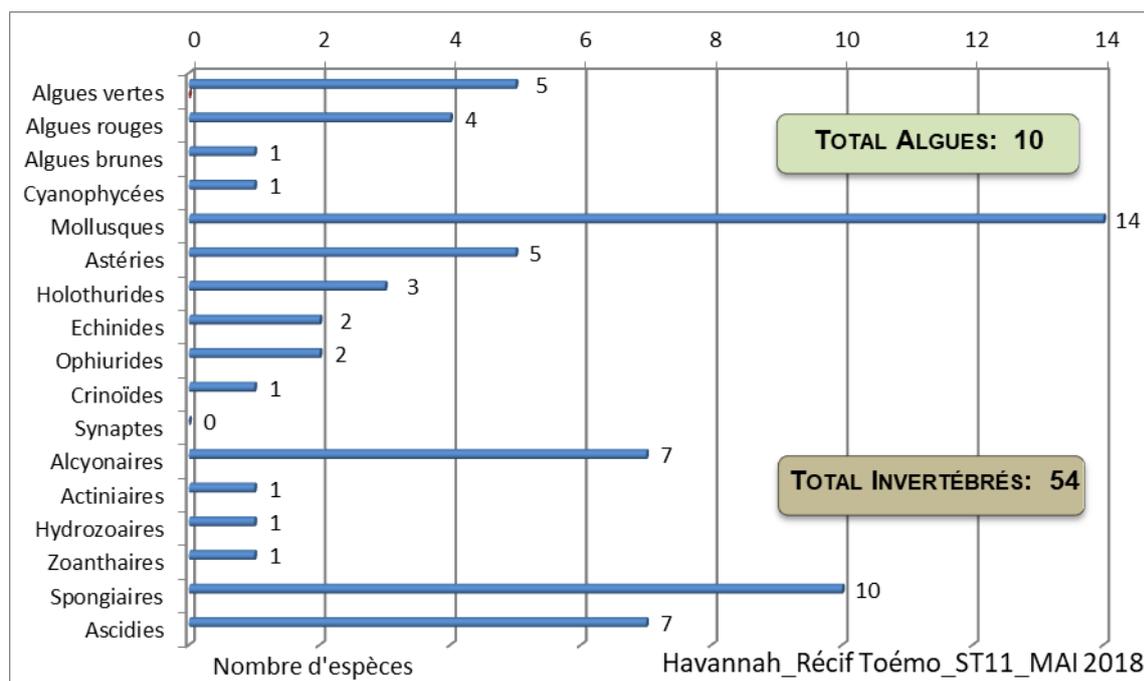


Figure n°64 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST11)

4.10.2.1 Benthos Transect 11 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST11A est composée de :

- 28 espèces d'invertébrés dont 6 espèces de mollusques ; 6 espèces de cnidaires : alcyonaires (3 taxons), actiniaires (1 taxon), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 7 espèces d'échinodermes : astéries (4 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 4 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- 7 espèces de macrophytes : algues vertes (4 taxons), algues rouges (2 taxons), algues brunes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°75 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST11A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
3 nouvelles espèces d'algues recensées, dont l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) et 2 espèces d'algues vertes : • <i>Codium</i> sp. (A2), • <i>Neomeris vanbosseae</i> (A2) 1 espèce d'algue disparue, l'algue rouge : • <i>Actinotrichia</i> sp. (A0/-2)	Aucune espèce d'algues n'augmente. Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
1 nouvelle sp de cyanobactéries recensée : • <i>Phormidium</i> sp. (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>



Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Dendronephthya</i> sp. (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
3 espèces de cnidaires disparues : ➤ pour les alcyonaires : • <i>Lobophytum</i> sp. (A0/-2), • <i>Sarcophyton</i> sp. (A0/-2), • <i>Sinularia</i> sp. (A0/-2)	
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries : • <i>Fromia indica</i> (A1), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
3 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les gastéropodes (2 espèces) : • <i>Drupella cornus</i> (A2), • <i>Astraea rhodostoma</i> (A2) ; ➤ pour les nudibranches (1 espèce) : • <i>Pteraeolidia ianthina</i> (A1)	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna maxima</i> (A2/+ 1)
Eponges	
1 nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Leucetta chagosensis</i> (A2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
Une nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Clavelina detorta</i> (A2).	1 espèce d'ascidies diminue d'abondance : • <i>Polycarpa</i> sp1. (blanche) (A1/- 1)
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.10.2.2 Benthos Transect 11 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST11B est composée de :

- 53 espèces d'invertébrés dont 13 espèces de mollusques ; 10 espèces de cnidaires : alcyonaires (7 taxons), actiniaires (1 taxon), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 13 espèces d'échinodermes : astéries (5 taxons), holothurides (3 taxons), échinides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 10 espèces d'éponges ; 7 espèces d'ascidies
- 9 espèces de macrophytes : algues rouges (4 taxons), algues vertes (4 taxons), algues brunes (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°76 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST11B)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
3 nouvelles espèces d'algues recensées, dont l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) et 2 espèces d'algues vertes : • <i>Codium</i> sp. (A2), • <i>Ventricaria ventricosa</i> (A2) Aucune espèce d'algues n'a disparue.	Aucune espèce d'algues n'augmente. Une espèce d'algue diminue, l'algue verte : • <i>Chlorodesmis fastigiata</i> (A1/- 1)
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une espèce de cnidaires disparue : ➤ pour les actiniaires (-1 espèce) : • <i>Cryptodendrum adhaesivum</i> (A0/-1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
6 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (3 espèces) : • <i>Fromia indica</i> (A1), • <i>Gomophia egyptiaca</i> (A1), • <i>Nardoa gomophia</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (3 espèces) : • <i>Actinopyga palauensis</i> (A1), • <i>Holothuria edulis</i> (A2), • <i>Thelenota ananas</i> (A1).	3 espèces d'échinodermes augmentent d'abondance : ➤ pour les astéries (1 sp) : • <i>Linckia multifora</i> (A2/+ 1) ; ➤ pour les crinoïdes (1 sp) : •Crinoïdes ind. (A3/+ 1) ; ➤ pour les échinides (1 sp) : • <i>Diadema setosum</i> (A2/+ 1).
Mollusques	
5 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Pteria</i> sp. (A2) ; ➤ pour les gastéropodes (3 espèces) : • <i>Cerithium nodulosum</i> (A1),	<input checked="" type="checkbox"/>



• <i>Lambis lambis</i> (A1), • <i>Astraea rhodostoma</i> (A1) ; ➤ pour les nudibranches (1 espèce) : • <i>Pteraeolidia ianthina</i> (A1).	
Eponges	
2 nouvelles espèces d'éponges recensées : • <i>Dactylia delicata</i> (A1), • <i>Leucetta chagosensis</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
2 nouvelles espèces d'ascidies recensées : • <i>Clavelina detorta</i> (A2), • <i>Polycarpa cryptocarpa</i> (A2).	Une espèce d'ascidies diminue d'abondance : • <i>Polycarpa clavata</i> (A1/- 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.10.2.3 Benthos Transect 11 C

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST11C est composée de :

- 30 espèces d'invertébrés dont 7 espèces de mollusques ; 5 espèces de cnidaires : alcyonaires (3 taxons), hydrozoaires (1 taxon), zoanthaires (1 taxon) ; 5 espèces d'échinodermes : astéries (1 taxon), crinoïdes (1 taxon), échinides (1 taxon), holothurides (1 taxon), ophiurides (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 6 espèces d'ascidies
- 3 espèces de macrophytes : algues rouges (2 taxons), algues vertes (1 taxon)
- Aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°77 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST11C)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
1 nouvelle sp d'algue recensée, l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) 2 espèces d'algues disparues, l'algue brune : • <i>Dictyota</i> sp. (A0/-2) et l'algue rouge : • <i>Asparagopsis taxiformis</i> (A0/-2)	Aucune espèce d'algues n'augmente. Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
Une espèce de cyanobactéries disparue : • <i>Phormidium</i> sp. (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Chironophthya</i> sp. (A1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
Une nouvelle espèce d'échinodermes recensée : ➤ pour les ophiurides (1 espèce) : • <i>Ophiure</i> ind. (A2). Une espèce d'échinodermes disparue : ➤ pour les astéries (-1 espèce) : • <i>Gomophia</i> sp. (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves : • <i>Hyotissa hyotis</i> (A2/+ 1).
Eponges	
Une nouvelle espèce d'éponges recensée : • <i>Clathria rugosa</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
Une nouvelle espèce d'ascidies recensée : • <i>Polycarpa cryptocarpa</i> (A2).	2 espèces d'ascidies augmentent d'abondance : • <i>Polycarpa aurita</i> (A3/+ 1), • <i>Polycarpa nigricans</i> (A4/+ 1). Une espèce d'ascidies diminue d'abondance : • <i>Polycarpa clavata</i> (A1/- 1).
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.10.3 Les poissons (ST11)

La liste des espèces observées¹² sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 78](#).

Tableau n°78 : *Données sur les poissons (ST11)*

Récif Toémo ST11		Transect			Transect			Transect			Station		
		A			B			C			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	Acanthurus albipectoralis	1	0,01	1,52							0,33	0,00	0,51
Aca	Acanthurus blochii				3	0,03	3,50				1,00	0,01	1,17
Aca	Acanthurus lineatus	10	0,07	11,43							3,33	0,02	3,81
Aca	Acanthurus nigricans	2	0,01	0,96							0,67	0,00	0,32
Aca	Acanthurus nigricauda				1	0,01	0,68	1	0,01	0,46	0,67	0,01	0,38
Aca	Acanthurus olivaceus				1	0,01	1,17				0,33	0,00	0,39
Aca	Ctenochaetus cyanocheilus	1	0,01	0,31	2	0,02	0,88				1,00	0,01	0,40
Aca	Ctenochaetus striatus	3	0,02	0,74	3	0,03	1,04				2,00	0,02	0,59
Aca	Naso brachycentron	6	0,04	32,16	4	0,03	24,50				3,33	0,02	18,89
Aca	Naso lituratus	2	0,01	4,46							0,67	0,00	1,49
Aca	Naso unicornis				2	0,02	30,38				0,67	0,01	10,13
Aca	Zebrasoma scopas	4	0,03	1,26	6	0,06	0,61				3,33	0,03	0,62
Aca	Zebrasoma veliferum	1	0,01	0,48	2	0,02	0,40				1,00	0,01	0,29
Ant	Pseudanthias hypselosoma				10	0,10	0,69				3,33	0,03	0,23
Ant	Pseudanthias squamipinnis				20	0,20	2,05				6,67	0,07	0,68
Caec	Pterocaesio marri				50	0,50	27,44	30	0,25	13,72	26,67	0,25	13,72
Can	Canthigaster valentini	1	0,01	0,03	1	0,01	0,03				0,67	0,01	0,02
Cha	Chaetodon auriga	2	0,01	0,15	2	0,02	0,09	1	0,01	0,04	1,67	0,01	0,09
Cha	Chaetodon citrinellus	3	0,02	0,09							1,00	0,01	0,03
Cha	Chaetodon ephippium	2	0,01	0,21							0,67	0,00	0,07
Cha	Chaetodon flavirostris				4	0,04	0,80				1,33	0,01	0,27
Cha	Chaetodon kleinii	2	0,01	0,06							0,67	0,00	0,02
Cha	Chaetodon melannotus	1	0,01	0,05							0,33	0,00	0,02
Cha	Chaetodon ornatissimus	2	0,01	0,49							0,67	0,00	0,16
Cha	Chaetodon pelewensis	2	0,01	0,15	2	0,02	0,09				1,33	0,01	0,08
Cha	Chaetodon plebeius	3	0,02	0,09							1,00	0,01	0,03
Cha	Chaetodon speculum	2	0,01	0,10	2	0,02	0,20				1,33	0,01	0,10
Cha	Chaetodon trifascialis	3	0,02	0,09							1,00	0,01	0,03
Cha	Chaetodon vagabundus				2	0,02	0,20				0,67	0,01	0,07
Cha	Forcipiger flavissimus	1	0,01	0,03							0,33	0,00	0,01
Epi	Cephalopholis argus				1	0,01	1,37				0,33	0,00	0,46
Epi	Cephalopholis urodeta				2	0,02	1,35				0,67	0,01	0,45
Epi	Epinephelus fasciatus	1	0,01	0,39							0,33	0,00	0,13
Epi	Epinephelus maculatus				1	0,01	3,13				0,33	0,00	1,04
Epi	Plectropomus leopardus				5	0,05	39,30	6	0,03	54,68	3,67	0,03	31,33
Epi	Variola louti				1	0,01	8,58	1	0,01	8,00	0,67	0,01	5,53
Lab	Aprion virescens							5	0,02	44,64	1,67	0,01	14,88
Lab	Coris gaimard	1	0,01	0,07							0,33	0,00	0,02
Lab	Halichoeres hortulanus				1	0,01	0,44				0,33	0,00	0,15
Lab	Hemigymnus fasciatus				1	0,01	0,55				0,33	0,00	0,18
Lab	Hemigymnus melapterus				2	0,02	3,20	2	0,02	5,21	1,33	0,01	2,80
Lab	Labroides dimidiatus				6	0,06	0,08	5	0,04	0,18	3,67	0,03	0,09
Lab	Macropharyngodon meleagris	2	0,01	0,10	1	0,01	0,03				1,00	0,01	0,04
Lab	Thalassoma amblycephalum	15	0,11	0,46							5,00	0,04	0,15
Lab	Thalassoma hardwicke	10	0,07	0,31							3,33	0,02	0,10
Lab	Thalassoma lunare	7	0,05	0,34				6	0,05	0,34	4,33	0,03	0,23
Lab	Thalassoma lutescens	8	0,06	0,39	5	0,05	0,22	6	0,05	0,34	6,33	0,05	0,32
Mic	Ptereleotris evides				6	0,06	0,41	4	0,03	0,04	3,33	0,03	0,15

¹² Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)



Mic	Ptereleotris microlepis				4	0,04	0,05				1,33	0,01	0,02
Mul	Parupeneus barberinoides				2	0,02	0,40				0,67	0,01	0,13
Mul	Parupeneus ciliatus				5	0,05	4,10				1,67	0,02	1,37
Mul	Parupeneus cyclostomus				4	0,04	4,67				1,33	0,01	1,56
Mul	Parupeneus indicus				1	0,01	1,17				0,33	0,00	0,39
Nem	Scolopsis bilineatus	5	0,04	1,23	5	0,05	2,74	5	0,04	1,11	5,00	0,04	1,70
Poc	Centropyge bicolor	3	0,02	0,09	4	0,04	0,17	2	0,02	0,04	3,00	0,03	0,10
Poc	Centropyge bispinosa	2	0,01	0,06	4	0,04	0,10	3	0,03	0,06	3,00	0,03	0,07
Poc	Centropyge flavissima	2	0,01	0,10	2	0,02	0,14				1,33	0,01	0,08
Poc	Centropyge tibicen	4	0,03	0,20	3	0,03	0,08				2,33	0,02	0,09
Pom	Abudefduf whitleyi	10	0,07	0,73	7	0,07	0,72				5,67	0,05	0,48
Pom	Amphiprion clarkii				5	0,05	0,22				1,67	0,02	0,07
Pom	Chromis fumea	10	0,07	0,18	15	0,15	0,38	8	0,07	0,29	11,00	0,10	0,28
Pom	Chrysiptera rollandi	12	0,09	0,11	5	0,05	0,06	3	0,03	0,03	6,67	0,05	0,07
Pom	Chrysiptera taupou							10	0,08	0,11	3,33	0,03	0,04
Pom	Dascyllus reticulatus	15	0,11	0,14	15	0,15	0,19	10	0,08	0,05	13,33	0,11	0,12
Pom	Pomacentrus coelestis	20	0,14	0,18							6,67	0,05	0,06
Pom	Pomacentrus moluccensis	10	0,07	0,09	7	0,07	0,09	6	0,05	0,06	7,67	0,06	0,08
Sca	Chlorurus sordidus				6	0,06	4,92	5	0,04	0,61	3,67	0,03	1,84
Sca	Scarus forsteni	3	0,02	2,11	2	0,02	3,20	5	0,04	1,83	3,33	0,03	2,38
Sca	Scarus schlegeli				4	0,04	6,40				1,33	0,01	2,13
Sig	Siganus doliatius				3	0,03	2,95				1,00	0,01	0,98
Sig	Siganus fuscescens				8	0,08	5,40	10	0,08	2,88	6,00	0,05	2,76
Zan	Zanclus cornutus	1	0,01	0,48				1	0,01	0,37	0,67	0,01	0,28
Total		195	1,39	62,64	260	2,59	191,50	135	1,08	135,08	196,67	1,68	129,74
Biodiversité		41			51			23			72		
Indice de Shannon =		5,331											
Equitabilité =		0,864											

Sur l'ensemble des transects de la station, 590 individus appartenant à 72 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 1.68 poissons/m² pour une biomasse de 129.74 g/m².

141 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 79](#)).

Tableau n°79 : *Liste des espèces complémentaires (ST11)*

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus albipectoralis</i>	Epi	<i>Cephalopholis microprion</i>	Mic	<i>Ptereleotris evides</i>
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Epi	<i>Cephalopholis urodeta</i>	Mic	<i>Ptereleotris microlepis</i>
Aca	<i>Acanthurus lineatus</i>	Epi	<i>Epinephelus fasciatus</i>	Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>
Aca	<i>Acanthurus nigricans</i>	Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>	Mul	<i>Parupeneus ciliatus</i>
Aca	<i>Acanthurus nigricauda</i>	Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Mul	<i>Parupeneus cyclostomus</i>
Aca	<i>Acanthurus olivaceus</i>	Epi	<i>Variola louti</i>	Mul	<i>Parupeneus indicus</i>
Aca	<i>Acanthurus pyroferus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus chaetodonoides</i>	Nem	<i>Pentapodus aureofasciatus</i>
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus flavomaculatus</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus lessonii</i>	Ost	<i>Ostracion cubicus</i>
Aca	<i>Naso brachycentron</i>	Hol	<i>Myripristis kuntee</i>	Pin	<i>Parapercis flavissimus</i>
Aca	<i>Naso lituratus</i>	Hol	<i>Myripristis murdjan</i>	Pin	<i>Parapercis hexoptalma</i>
Aca	<i>Naso unicornis</i>	Hol	<i>Neoniphon sammara</i>	Pla	<i>Cymbacephalus beauforti</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Hol	<i>Sargocentron spiniferum</i>	Ple	<i>Assessor macneilli</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Anampses caeruleopunctatus</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>
Ant	<i>Pseudanthias hypselosoma</i>	Lab	<i>Anampses femininus</i>	Poc	<i>Centropyge bispinosa</i>
Ant	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	Lab	<i>Anampses neoguinaicus</i>	Poc	<i>Centropyge flavissima</i>
Apo	<i>Archamia leai</i>	Lab	<i>Aprion virescens</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>



Apo	<i>Cheilodipterus macrodon</i>	Lab	<i>Bodianus axillaris</i>	Poc	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>
Apo	<i>Cheilodipterus quinquelineatus</i>	Lab	<i>Bodianus loxozonus</i>	Poc	<i>Pomacanthus sexstriatus</i>
Apo	<i>Ostorhinchus aureus</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Abudefduf vaigiensis</i>
Bal	<i>Sufflamen chrysopterum</i>	Lab	<i>Cheilinus trilobatus</i>	Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>
Bal	<i>Sufflamen fraenatus</i>	Lab	<i>Cirrhilabrus punctatus</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon orbicularis</i>
Cae	<i>Pterocaesio marri</i>	Lab	<i>Coris aygula</i>	Pom	<i>Amphiprion clarkii</i>
Can	<i>Canthigaster valentini</i>	Lab	<i>Coris centralis</i>	Pom	<i>Chromis fumea</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Lab	<i>Coris gaimard</i>	Pom	<i>Chromis iomelas</i>
Cha	<i>Chaetodon citrinellus</i>	Lab	<i>Epibulus insidiator</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Cha	<i>Chaetodon ephippium</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Chrysiptera taupou</i>
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	Lab	<i>Halichoeres hortulanus</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>
Cha	<i>Chaetodon kleinii</i>	Lab	<i>Halichoeres melanurus</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon dickii</i>
Cha	<i>Chaetodon melannotus</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopeion</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon johnstonianus</i>
Cha	<i>Chaetodon mertensii</i>	Lab	<i>Hemigymnus fasciatus</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>
Cha	<i>Chaetodon ornatissimus</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon leucozonus</i>
Cha	<i>Chaetodon pelewensis</i>	Lab	<i>Hologymnosus doliatus</i>	Pom	<i>Pomacentrus bankanensis</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	Pom	<i>Pomacentrus coelestis</i>
Cha	<i>Chaetodon speculum</i>	Lab	<i>Labropsis australis</i>	Pom	<i>Pomacentrus lepidogenys</i>
Cha	<i>Chaetodon trifascialis</i>	Lab	<i>Macropharyngodon meleagris</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Cha	<i>Chaetodon vagabundus</i>	Lab	<i>Oxycheilinus celebicus</i>	Pom	<i>Pomacentrus simsiang</i>
Cha	<i>Coradion altivelis</i>	Lab	<i>Pseudojuloides cerasinus</i>	Pri	<i>Priacanthus hamrur</i>
Cha	<i>Forcipiger flavissimus</i>	Lab	<i>Stethojulis bandanensis</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	Lab	<i>Thalassoma amblycephalum</i>	Sca	<i>Scarus forsteni</i>
Cha	<i>Heniochus chrysostomus</i>	Lab	<i>Thalassoma hardwicke</i>	Sca	<i>Scarus schlegeli</i>
Cha	<i>Heniochus monoceros</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Scr	<i>Inimicus caledonicus</i>
Cir	<i>Cirrhitichthys falco</i>	Lab	<i>Thalassoma lutescens</i>	Sig	<i>Siganus doliatus</i>
Cir	<i>Paracirrhites arcatus</i>	Lab	<i>Thalassoma nigrofasciatum</i>	Sig	<i>Siganus fuscescens</i>
Cir	<i>Paracirrhites forsteri</i>	Lut	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	Sig	<i>Siganus punctatus</i>
Cli	<i>Diademichthys lineatus</i>	Lut	<i>Lutjanus ehrenbergii</i>	Syn	<i>Synodus variegatus</i>
Epi	<i>Cephalopholis argus</i>	Lut	<i>Lutjanus monostigma</i>	Zan	<i>Zanclus cornutus</i>

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 80](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 65](#).

Tableau n°80 : *Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST11)*

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	13	5,89	32,50	14,74
Chaetodontidae	30	13	9,11	43,33	30,35
Epinephelinae	26	6	1,89	23,08	7,29
Labridae	97	11	8,84	11,34	9,12
Lethrinidae	16	0	0,00	0,00	0,00
Lutjanidae	22	0	0,05	0,00	0,24
Mullidae	14	4	1,68	28,57	12,03
Pomacanthidae	14	4	3,79	28,57	27,07
Pomacentridae	92	8	5,53	8,70	6,01



Scaridae	23	3	4,21	13,04	18,31
Siganidae	10	2	0,37	20,00	3,68
Autres	257	8	5,00	3,11	1,95
Khi2 obs			12,4		67,6
Khi2 tab					19,7

Sous l'angle de vue des proportions, la structure du peuplement de mai 2018 diffère très significativement de la structure moyenne obtenue sur la période de suivi 2007-2017.

Dans l'ensemble des missions de la série historique, 11 structures de peuplements sont similaires à la structure moyenne établie sur la série. Ce sont : 2007, 2010a et b, 2011a et b, 2012a et b, 2014b, 2015b, 2016b, 2017a. Globalement, et toujours sous l'angle de vue de leur structure, les missions forment un ensemble très significativement hétérogène (cf. [tableau synoptique 113](#)).

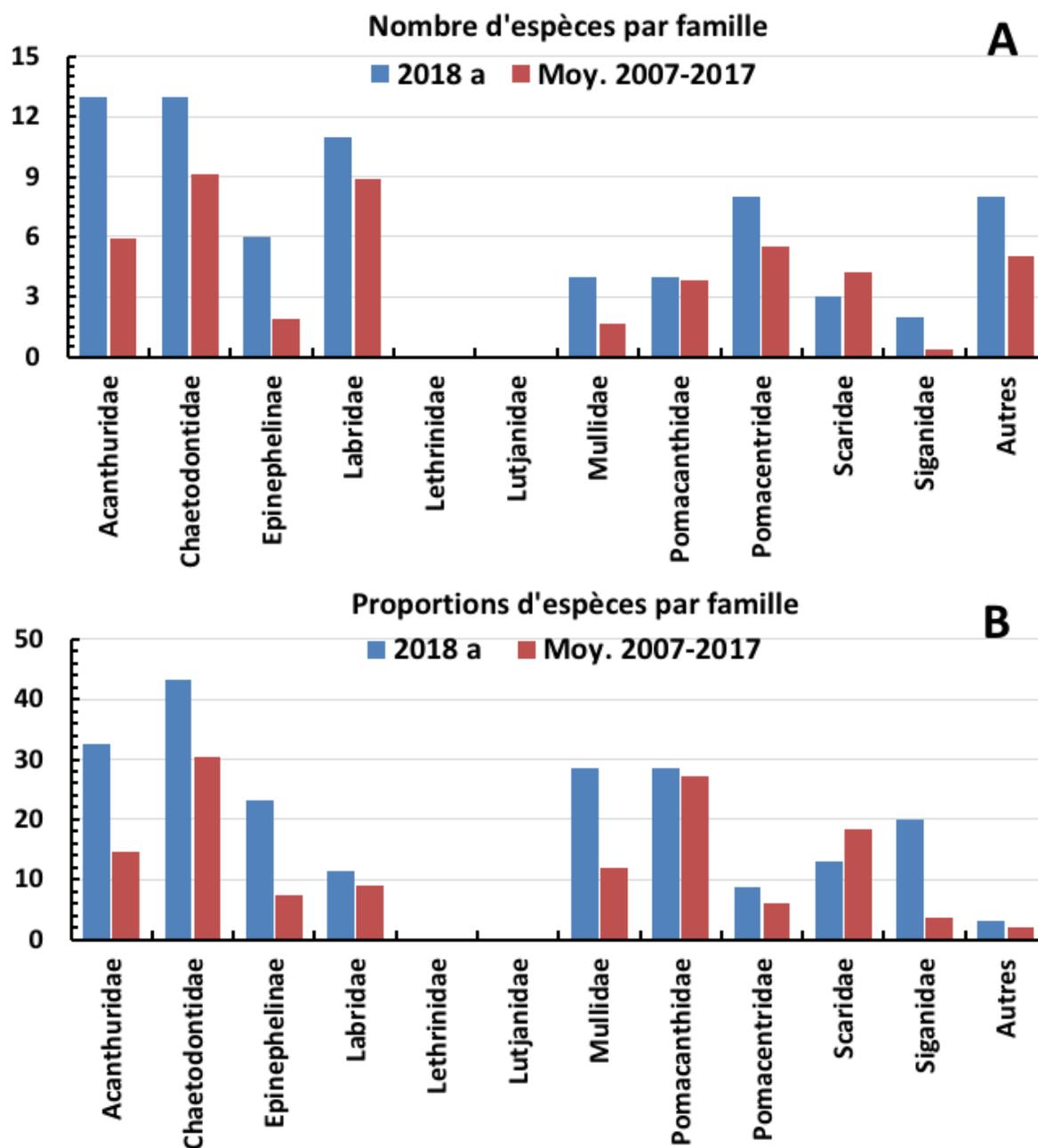


Figure n°65 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST11)



L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 81](#) et la [figure 66](#).

Tableau n°81 : *Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST11)*

Récif Toémo ST11		Liste DENV				Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018 a	Transect A	195,0	1,39	62,64	41		
	Transect B	260,0	2,59	191,50	51		
	Transect C	135,0	1,08	135,08	23		
	Moy. ABC	196,67	1,68	129,74	72	90	141
2017 b	Moy. ABC	150,67	2,26	51,02	51	79	110
2017 a	Moy. ABC	215,33	1,84	19,50	53	77	111
2016 b	Moy. ABC	155,33	1,15	31,08	45	92	122
2016 a	Moy. ABC	166,00	1,67	121,78	57	79	111
2015 b	Moy. ABC	183,00	1,78	57,17	59	81	109
2015 a	Moy. ABC	184,67	1,64	134,53	68	80	107
2014 b	Moy. ABC	100,00	1,27	73,96	51	74	105
2014 a	Moy. ABC	95,00	1,08	44,99	49	68	98
2013 b	Moy. ABC	140,33	1,64	52,11	37	54	94
2013 a	Moy. ABC	110,00	1,35	60,53	42	55	92
2012 b	Moy. ABC	97,33	1,27	108,09	43	70	110
2012 a	Moy. ABC	122,33	1,70	114,66	45	85	116
2011 b	Moy. ABC	74	0,90	38,56	48	67	109
2011 a	Moy. ABC	129,33	2,50	188,39	50	79	116
2010 b	Moy. ABC	180	1,59	75,10	44	61	88
2010 a	Moy. ABC	93,33	1,86	75,42	42	65	95
2009	Moy. ABC	74,67	3,12	79,63	31	50	74
2008	Moy. ABC	111,33	1,90	61,85	39	57	71
2007 ¹³	Moy. ABC	123,67	1,64	174,47	28	37	53

L'écart relatif à la moyenne [$Er_i = (X_i - X_m) / X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 82](#) et représentation [figure 67](#).

¹³ Les données 2007 ont été reprises en éliminant les espèces qui ne figurent pas sur cette liste car le rapport 2007 ne tient pas compte de la liste DENV sur le TLV.

Tableau n°82 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST11)

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	1 765,63	0,26	2 176,46	114,68	204,16	383,84
Ecart type	42,02	0,51	46,65	10,71	14,29	19,59
Moyenne	135,15	1,69	84,63	48,05	69,95	101,50
Coef. de Var.	0,31	0,30	0,55	0,22	0,20	0,19

Commentaires :

- La densité est nettement remontée.
- La biomasse est faible.
- La biodiversité est plutôt élevée avec des valeurs au-dessus de la moyenne.
- Rappelons que c'est la seule station où l'on trouve *Acanthurus lineatus* qui est un Acanthuridae de la côte Est et classiquement absent de la côte Ouest.

NB : Les données d'abondances recueillies sur cette station côtière, notamment sur le transect A, dépendent en grande partie de l'heure de la visite par rapport à la marée et de l'incidence et importance des houles et des vagues :

- plus la marée est haute plus la ligne de déferlement s'éloigne du transect et
- plus les houles ou les vagues sont fortes et d'incidence oblique et plus le courant littoral est fort.

La série historique 2007-2017 montre des structures de peuplement changeantes comme sur toutes les stations du canal de la Havannah. Non seulement, des espèces nomades induisent des changements naturels dans l'organisation de la B α , mais cette station présente un hydrodynamisme violent induisant une agitation fébrile de l'ichtyofaune. Beaucoup d'espèces font des aller-retours entre la zone du déferlement et la zone des transects.

Sur les 20 missions, 11 ont des structures de peuplement qui ne diffèrent pas significativement de la structure moyenne (2007, 2010a et b, 2011a et b, 2012a et b, 2014b, 2015b, 2016a et 2017a.). Mais dans leur ensemble, toutes les structures de peuplement diffèrent très significativement les unes des autres (cf. [tableau synoptique 113](#)).

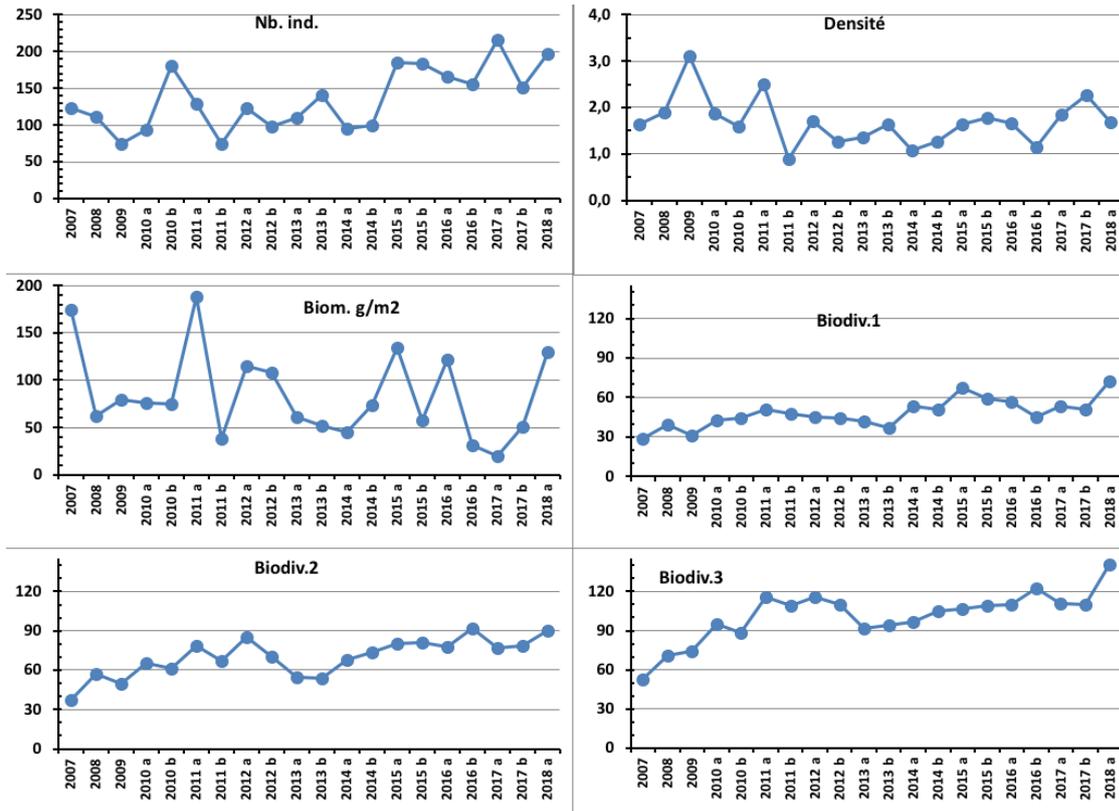


Figure n°66 : Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST11)

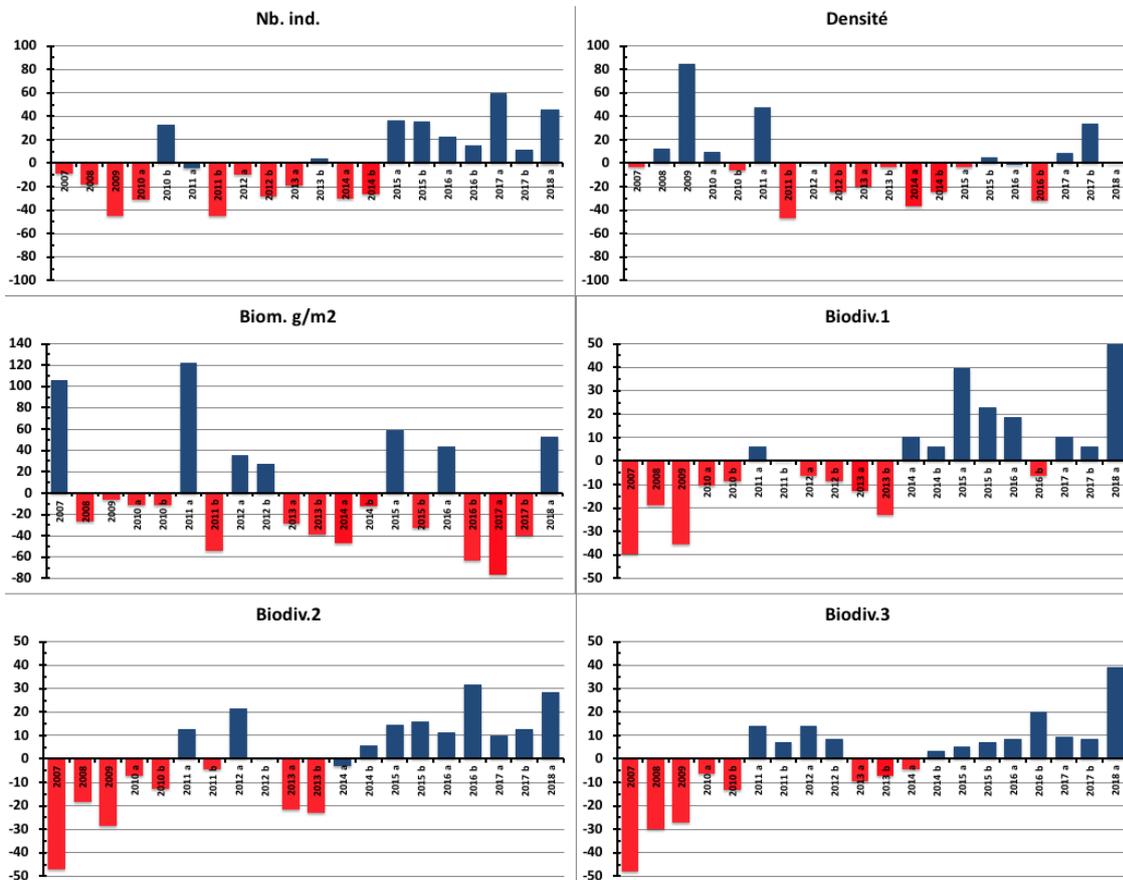


Figure n°67 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST11)



4.11 Station 12 = Ilot Ugo

Localisation géographique	Partie nord de la façade ouest du récif frangeant sous le vent de l'îlot Ugo (photographie 28).
Nombre transects	2 transects.
Description transects	<p>Ils ont été positionnés à 5 et 13 mètres de profondeur, perpendiculairement à la pente du récif frangeant dans un alignement du nord-est vers le sud-ouest.</p> <p>Il n'y a que 2 transects car sous 14 m de profondeur, les constructions coralliennes deviennent de plus en plus restreintes (gros blocs rocheux et débris coralliens qui ont dévalés la pente). Puis, vers 17 m de profondeur, la pente sédimentaire, composée de sable et inclinée à 35°, peut être colonisée principalement par une grande variété d'holothuries (<i>Holothuria fuscopunctata</i>, <i>Bohadschia argus</i>, <i>Stichopus stichopus</i>, <i>S. variegatus</i>, <i>Thekenota ananas</i>). Ces dernières s'éparpillent à travers le substrat meuble et les quelques débris. Un transect à 20 m n'aurait donc pas été pertinent en termes de suivi (recouvrement biotique très faible et recouvrement corallien proche de nul).</p> <p>Le transect A est installé dans le haut du tombant récifal. Il est composé par de grandes colonies plurimétriques de <i>Porites</i>, d'<i>Acropora</i> branchus et <i>Lobophyllia corymbosa</i>. Cette dernière est disloquée et une partie s'est effondrée sur le niveau inférieur. Le reste des colonies coralliennes sont de taille décimétrique et les débris coralliens sont très nombreux.</p> <p>Deux grands couloirs d'effondrement traversent la pente récifale jusqu'au pied du 2^{ème} transect. Ces derniers sont parsemés par de multiples espèces de Fungiidae.</p> <p>Le niveau bathymétrique du transect B se caractérise par un recouvrement important de débris, de blocs coralliens sur du sable coquillé, avec un couloir d'effondrement sous le début du transect. Un massif corallien du genre <i>Goniopora</i> de taille pluri métrique s'étale sur les débris coralliens. Les autres colonies de madrépores sont de taille décimétrique et sont dispersées de manière éparse.</p>

Description générale

Ce récif est soumis aux courants de marées et subi sur sa façade sud-est l'assaut des vagues dues aux alizés, alors que sa façade nord et nord-ouest est plus protégée.

La station est positionnée sur le front récifal du récif frangeant. Le platier récifal est large, arasé et peu colonisé par les coraux.

Le haut du tombant récifal est structuré en marches d'escalier délimitées par de grandes colonies de *Porites* sp.. Ce niveau bathymétrique est bien colonisé par les scléactiniaires de tailles hétérogènes (décimétrique à plurimétrique). Les massifs coralliens de forme massive se développent particulièrement en haut de récif jusqu'à mi pente, laissant la place au fur et à mesure aux coraux branchus. Cependant, la structure récifale présente deux couloirs d'effondrement avec par place de grandes accumulations de débris et de blocs coralliens. Ces derniers sont recouverts principalement par des corallines. De très nombreux Fungiidae (coraux libres) sont éparpillés et enchevêtrés à travers cette structure mouvante.

Caractéristiques principales

- ↪ Croissance de grandes colonies de *Porites* sp., *Lobophyllia corymbosa* et de grands massifs d'*Alveopora* sp., *Goniopora* sp. et *Acropora* spp.
- ↪ Le reste des colonies coralliennes sont de taille décimétrique (turn over important)
- ↪ Grande diversité et abondance des coraux libre (famille Fungiidae) qui affectionnent particulièrement ce substrat détritique
- ↪ Accumulation de débris importante sous le transect et en périphérie de la station (grands couloirs d'effondrement qui deviennent de plus en plus large)
- ↪ Mortalité corallienne, couloir d'effondrement et nombreux débris (lors des périodes dépressionnaires)
- ↪ Sédimentation importante de particules fines carbonatées en bas du tombant (début de pente sédimentaire)
- ↪ Recouvrement très important de *Sarcophyton* (alcyonaires)
- ↪ Recouvrement algal très faible





- ↳ Les spongiaires (*Cliona jullieni* et *C. orientalis*) sont relativement bien développées et colonisent les massifs coralliens vivants et les blocs coralliens

Variations entre septembre 2017 et mai 2018

Indicateur Corail :

- Le recouvrement corallien est de 36.5% au transect A et 18% en B
 - Blanchissement corallien (surface totale observée) : *Octobre 2015 : 0.5% ; Avril 2016 : 0.25% ; Novembre 2016 : 0.5% ; Avril 2017 : 0.2% ; Septembre 2017 : 1.35% ; Mai 2018 : 0.75%*
 - Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.3 m² et 0.6 m²). Les genres concernés sont *Acropora* tabulaires et branchus.
- Il y a également quelques anomalies de croissance sur des colonies de *Porites* en A.
Les lésions induites par les corallivores sont très restreintes (1 spécimen d'*Acanthaster* et quelques *Drupella cornus* en A : 0.6 m² de corail blanchi)
- Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation en A & B. Les débris du couloir d'effondrement sont régulièrement remobilisés par la houle

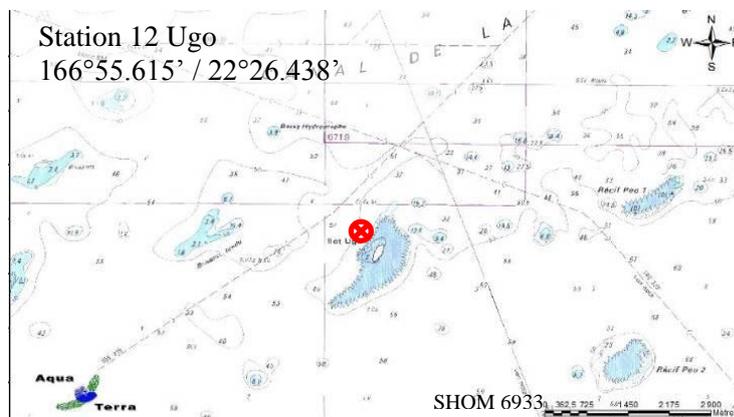
Autres indicateurs :

- Cyanobactéries : recouvrement en diminution en B (niveau 2 à 0) et stable en A (niveau 2). Elles se développent sur les débris coralliens remobilisés dans les couloirs d'effondrements
- Le turf algal se développe abondamment sur les débris coralliens et les colonies coralliennes mortes en place au fur et à mesure de leur dégradation
- Algues brunes *Lobophora* : le recouvrement est en diminution en B (niveau 3 à 2)
- Algues rouges *Asparagopsis taxiformis* : absente (stable)
- *Cliona orientalis* : stable
- *Cliona jullieni* : stable

Les corallivores :

- Absence de *Culcita novaeguineae*
- Présence d'1 spécimen d'*Acanthaster planci* en A
- Présence de *Drupella cornus* en A (niveau 2)





Carte n°13 : Localisation de la station 12 (Ilot Ugo)



Photo n°28 : Position en surface par rapport à la côte (ST12)



De nombreuses colonies coralliennes sont mortes en place. Elles ont été dévorées par les corallivores depuis quelques missions (*Drupella cornus* et *Acanthaster planci*)

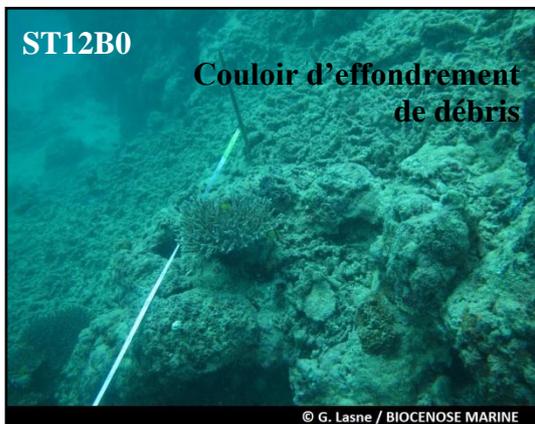
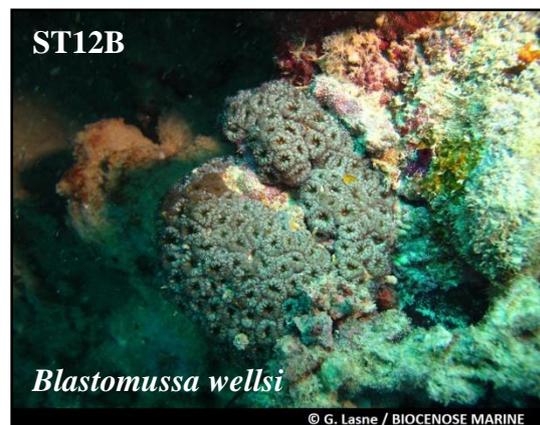


Photo n°29 : Vue d'ensemble des transects (ST12)

4.11.1 Le substrat (ST12)

Le pourcentage de couverture de chaque composante est donné dans la [figure 68](#) pour le transect A et dans la [figure 69](#) pour le transect B.

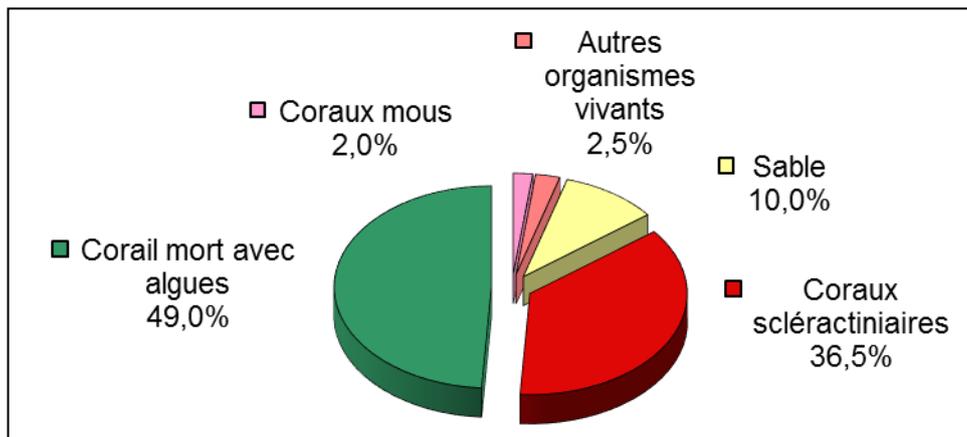


Figure n°68 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST12A

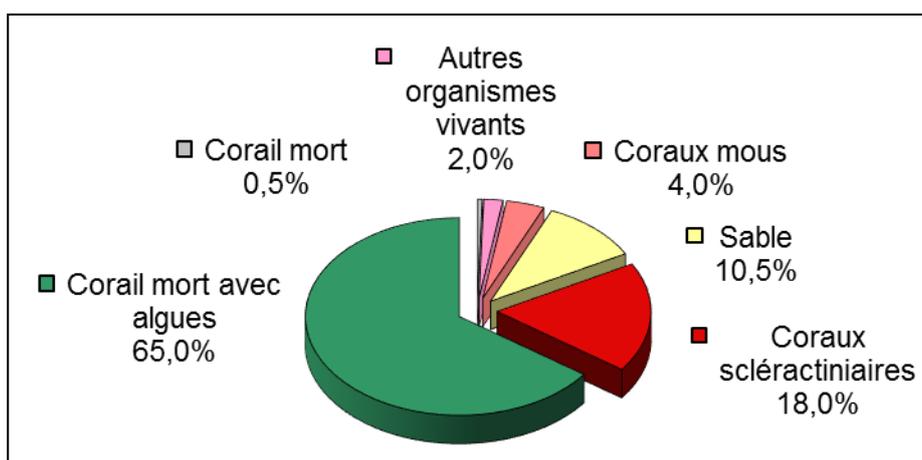


Figure n°69 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST12B

La hausse du recouvrement des coraux scléactiniaires vivants en A est confirmée avec 36.5% (meilleur taux depuis le début du suivi) et a contrario une légère baisse en B (18% vs 24%).

Le reste du substrat fait une large part aux coraux morts recouverts d'algues (49% et 65%).

Ainsi, le recouvrement est majoritairement biotique pour chaque transect (90% et 89%).

A noter : **0.5% d'Acropora blanc** au transect B.

La station est globalement stable.

4.11.2 Le benthos (ST12)

La liste des taxons cibles (cf. § 3.2.3) échantillonnés sur cette station et la liste complète des résultats bruts sont données en annexe 04.

En mai 2018, la richesse spécifique de la station Ugo (ST12) est composée de :

- **45 espèces d'invertébrés** dont 14 espèces de mollusques ; 10 espèces de cnidaires : alcyonaires (6 taxons), zoanthaires (2 taxons), actiniaires (1 taxon), hydrozoaires (1 taxon) ; 9 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), échinides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon) ; 8 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- **6 espèces de macrophytes** : algues vertes (3 taxons), algues brunes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

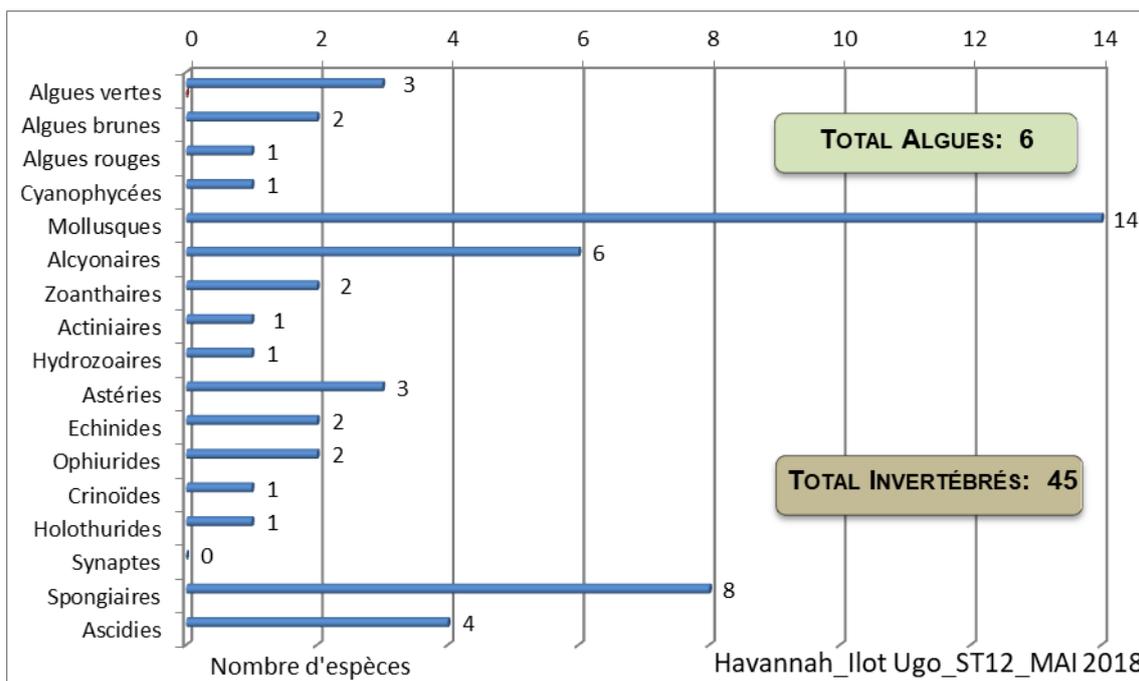


Figure n°70 : Répartition par sous groupe de la richesse spécifique des macrophytes et des invertébrés (hors coraux durs) (ST12)

4.11.2.1 Benthos Transect 12 A

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST12A est composée de :

- 37 espèces d'invertébrés dont 13 espèces de mollusques ; 8 espèces de cnidaires : alcyonaires (5 taxons), zoanthaires (2 taxons), actiniaires (1 taxon) ; 7 espèces d'échinodermes : astéries (2 taxons), échinides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 2 espèces d'ascidies
- 6 espèces de macrophytes : algues vertes (3 taxons), algues brunes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- 1 espèce de cyanobactéries.

Tableau n°83 : Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST012A)

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
5 nouvelles espèces d'algues recensées, l'algue brune : • <i>Turbinaria ornata</i> (A2) et l'algue rouge : • <i>Plocamium</i> sp. (A2) et 3 espèces d'algues vertes : • <i>Codium</i> sp. (A2), • <i>Neomeris vanbosseae</i> (A2), • <i>Ventricaria ventricosa</i> (A2) Une espèce d'algue disparue, l'algue brune : • <i>Dictyota</i> sp. (A0/-2).	Aucune espèce d'algues n'augmente. Aucune espèce d'algues ne diminue.
Cyanobactéries	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	

Une nouvelle espèce de cnidaires recensée : ➤ pour les alcyonaires (1 espèce) : • <i>Xenia</i> sp. (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries : • <i>Acanthaster planci</i> (A1), • <i>Nardoia gomophia</i> (A1)	<input checked="" type="checkbox"/>
Mollusques	
3 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna squamosa</i> (A1) ; ➤ pour les gastéropodes (2 sp) : • <i>Conus miles</i> (A1), • <i>Lambis chiragra</i> (A1)	Une espèce de mollusques augmente d'abondance : ➤ pour les bivalves (1 espèce) : • <i>Tridacna maxima</i> (A2/+ 1).
Eponges	
2 nouvelles espèces d'éponges recensées : • <i>Cymbastella cantharella</i> (A2), • <i>Dysidea herbacea</i> (A2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Ascidies	
Une espèce d'ascidies disparue : • <i>Polycarpa cryptocarpa</i> (A0/-1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Bryozoaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

4.11.2.2 Benthos Transect 12 B

En mai 2018, la richesse spécifique du transect ST12B est composée de :

- 33 espèces d'invertébrés dont 8 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 7 espèces d'échinodermes : échinides (2 taxons), ophiurides (2 taxons), astéries (1 taxon), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon) ; 7 espèces d'éponges ; 4 espèces d'ascidies
- 2 espèces de macrophytes : algues brunes (1 taxon), algues vertes (1 taxon)
- aucun taxon n'a été recensé dans le groupe des cyanobactéries.

Tableau n°84 : *Variations entre septembre 2017 et mai 2018 : Les biocénoses* (ST012B)*

Evolution de la richesse spécifique des biocénoses*	Evolution de l'abondance
Algues	
Une nouvelle espèce d'algue recensée, l'algue verte : • <i>Ventricaria ventricosa</i> (A1) Une espèce d'algue disparue, l'algue brune : • <i>Dictyota</i> sp. (A0/-2).	Aucune espèce d'algues n'augmente. Une espèce d'algue diminue, l'algue brune : • <i>Lobophora variegata</i> (A2/-1)
Cyanobactéries	
Une espèce de cyanobactéries disparue : • <i>Phormidium</i> sp. (A0/-2).	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnidaires	
<input checked="" type="checkbox"/>	Une espèce de cnidaires diminue d'abondance : ➤ pour les alcyonaires : • <i>Nephtea</i> sp. (A2/- 1)
Echinodermes	
2 nouvelles espèces d'échinodermes recensées : ➤ pour les astéries (1 espèce) : • <i>Celerina heffernani</i> (A1) ; ➤ pour les holothurides (1 espèce) : • <i>Thelenota ananas</i> (A1).	2 espèces d'échinodermes augmentent d'abondance : ➤ pour les échinides : • <i>Diadema setosum</i> (A3/+ 2), • <i>Echinostrephus aciculatus</i> (A2/+ 1). Une espèce d'échinodermes diminue d'abondance : ➤ pour les crinoïdes : •Crinoïdes ind. (A2/- 1).
Mollusques	
3 nouvelles espèces de mollusques recensées : ➤ pour les bivalves (1 sp) : • <i>Septifer bilocularis</i> (A2) ; ➤ pour les gastéropodes (1 sp) : • <i>Coralliophila violacea</i> (A2) ➤ pour les nudibranches (1 sp) : • <i>Cheilidonura inornata</i> (A1) Une espèce de mollusques disparue : ➤ pour les gastéropodes (-1 espèce) : • <i>Tectus niloticus</i> (A0/-1).	<input checked="" type="checkbox"/>
Eponges	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Ascidies**

4 nouvelles sp d'ascidies recensées : •*Polycarpa aurita* (A2),
•*Polycarpa clavata* (A2), •*Polycarpa cryptocarpa* (A1),
•*Polycarpa nigricans* (A2)

**Bryozoaires**

4.11.3 Les poissons (ST12)

La liste des espèces observées¹⁴ sur les transects et les résultats bruts sont fournis dans le [tableau 85](#).

Tableau n°85 : Données sur les poissons (ST12)

Ugo ST12		Transect			Transect			Station		
		A			B			Moyenne		
Fam	Espèces	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom	Nb	Dens	Biom
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	1	0,02	0,33				0,50	0,01	0,17
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	1	0,02	0,58	1	0,02	0,44	1,00	0,02	0,51
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>				3	0,05	0,03	1,50	0,03	0,01
Can	<i>Canthigaster valentini</i>				1	0,02	0,02	0,50	0,01	0,01
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	1	0,02	0,17	2	0,03	0,67	1,50	0,03	0,42
Cha	<i>Chaetodon ephippium</i>				2	0,03	0,67	1,00	0,02	0,33
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	2	0,03	0,49				1,00	0,02	0,24
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	2	0,03	0,14	3	0,05	0,34	2,50	0,04	0,24
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	3	0,05	0,13	4	0,07	0,17	3,50	0,06	0,15
Das	<i>Dasyatis kuhlii</i>				4	0,07	85,33	2,00	0,03	42,67
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>	1	0,02	0,17				0,50	0,01	0,09
Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>				1	0,02	21,33	0,50	0,01	10,67
Epi	<i>Epinephelus ongus</i>				1	0,02	1,13	0,50	0,01	0,56
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	1	0,02	14,29				0,50	0,01	7,15
Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	1	0,02	0,58				0,50	0,01	0,29
Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	2	0,03	0,08				1,00	0,02	0,04
Lab	<i>Stethojulis bandanensis</i>	1	0,02	0,04				0,50	0,01	0,02
Lab	<i>Thalassoma lunare</i>				5	0,08	0,57	2,50	0,04	0,29
Mul	<i>Parupeneus barberinus</i>	2	0,03	0,89				1,00	0,02	0,44
Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	3	0,05	1,33	4	0,07	1,33	3,50	0,06	1,33
Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	2	0,03	0,04	2	0,03	0,04	2,00	0,03	0,04
Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	2	0,03	0,04	3	0,05	0,06	2,50	0,04	0,05
Poc	<i>Pygoplites diacanthus</i>	1	0,02	0,58				0,50	0,01	0,29
Pom	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	5	0,08	0,57	5	0,08	0,57	5,00	0,08	0,57
Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>	20	0,33	2,29	8	0,13	0,91	14,00	0,23	1,60
Pom	<i>Chromis fumea</i>	15	0,25	0,14	15	0,25	0,14	15,00	0,25	0,14
Pom	<i>Chromis viridis</i>	30	0,50	0,27	20	0,33	0,18	25,00	0,42	0,23
Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>	4	0,07	0,04	3	0,05	0,03	3,50	0,06	0,03
Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>	7	0,12	0,06	8	0,13	0,07	7,50	0,13	0,07
Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>	10	0,17	0,09	10	0,17	0,09	10,00	0,17	0,09
Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>	20	0,33	0,18				10,00	0,17	0,09
Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>	3	0,05	0,06	2	0,03	0,04	2,50	0,04	0,05
Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>	2	0,03	0,67				1,00	0,02	0,33
Sca	<i>Scarus dimidiatus</i>	1	0,02	0,91				0,50	0,01	0,46
Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>	2	0,03	3,89				1,00	0,02	1,94
Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>	1	0,02	5,21				0,50	0,01	2,60
Sig	<i>Siganus doliatus</i>	2	0,03	1,15				1,00	0,02	0,58
Sig	<i>Siganus vulpinus</i>				2	0,03	0,34	1,00	0,02	0,17

¹⁴ Données par rapport à la liste restreinte du cahier des charges, cf. [annexe 01](#)

Zan	<i>Zanclus cornutus</i>				1	0,02	0,91	0,50	0,01	0,46
Total		117	1,46	15,45	75	1,54	5,94	96,00	1,50	10,70
Biodiversité		30			24			39		
Indice de Shannon =		4,222								
Equitabilité =		0,799								

Sur l'ensemble des transects de la station, 192 individus appartenant à 39 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 1.50 poissons/m² pour une biomasse de 10.70 g/m².

93 espèces complémentaires (e.g. hors des transects et hors liste restreinte [*en rouge*]) ont été observées sur la station (cf. [tableau 86](#)).

Tableau n°86 : Liste des espèces complémentaires (ST12)

Fam	Espèces	Fam	Espèces	Fam	Espèces
Aca	<i>Acanthurus blochii</i>	Gra	<i>Diploprion bifasciatum</i>	Poc	<i>Pygoplites diacanthus</i>
Aca	<i>Ctenochaetus cyanocheilus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus flavomaculatus</i>	Pom	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>
Aca	<i>Ctenochaetus striatus</i>	Hae	<i>Plectorhinchus lessonii</i>	Pom	<i>Abudefduf whitleyi</i>
Aca	<i>Zebrasoma scopas</i>	Lab	<i>Anampses femininus</i>	Pom	<i>Amblyglyphidodon curacao</i>
Aca	<i>Zebrasoma veliferum</i>	Lab	<i>Bodianus axillaris</i>	Pom	<i>Chromis fumea</i>
Apo	<i>Apogon doederleini</i>	Lab	<i>Bodianus mesothorax</i>	Pom	<i>Chromis leucura</i>
Apo	<i>Cheilodipterus artus</i>	Lab	<i>Bodianus perditio</i>	Pom	<i>Chromis margaritifer</i>
Apo	<i>Cheilodipterus macrodon</i>	Lab	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Pom	<i>Chromis viridis</i>
Apo	<i>Cheilodipterus quinquelineatus</i>	Lab	<i>Cheilinus fasciatus</i>	Pom	<i>Chrysiptera rollandi</i>
Apo	<i>Ostorhinchus aureus</i>	Lab	<i>Cheilinus trilobatus</i>	Pom	<i>Dascyllus aruanus</i>
Apo	<i>Ostorhinchus capricornis</i>	Lab	<i>Choerodon fasciatus</i>	Pom	<i>Dascyllus reticulatus</i>
Apo	<i>Ostorhinchus compressus</i>	Lab	<i>Epibulus insidiator</i>	Pom	<i>Dascyllus trimaculatus</i>
Aul	<i>Aulostomus chinensis</i>	Lab	<i>Gomphosus varius</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon melas</i>
Ble	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>	Lab	<i>Halichoeres argus</i>	Pom	<i>Neoglyphidodon nigroris</i>
Cae	<i>Pterocaesio marri</i>	Lab	<i>Halichoeres prosopoeion</i>	Pom	<i>Plectroglyphidodon dickii</i>
Can	<i>Canthigaster valentini</i>	Lab	<i>Hemigymnus fasciatus</i>	Pom	<i>Pomacentrus aurifrons</i>
Cha	<i>Chaetodon auriga</i>	Lab	<i>Hemigymnus melapterus</i>	Pom	<i>Pomacentrus moluccensis</i>
Cha	<i>Chaetodon baronessa</i>	Lab	<i>Labroides dimidiatus</i>	Pom	<i>Pomacentrus nagasakiensis</i>
Cha	<i>Chaetodon ephippium</i>	Lab	<i>Labropsis australis</i>	Sca	<i>Chlorurus sordidus</i>
Cha	<i>Chaetodon flavirostris</i>	Lab	<i>Stethojulis bandanensis</i>	Sca	<i>Scarus dimidiatus</i>
Cha	<i>Chaetodon lunulatus</i>	Lab	<i>Thalassoma lunare</i>	Sca	<i>Scarus flavipectoralis</i>
Cha	<i>Chaetodon plebeius</i>	Let	<i>Gymnocranius euanus</i>	Sca	<i>Scarus niger</i>
Cha	<i>Forcipiger longirostris</i>	Let	<i>Lethrinus atkinsoni</i>	Sca	<i>Scarus rivulatus</i>
Cha	<i>Heniochus acuminatus</i>	Mon	<i>Amanes scopas</i>	Sca	<i>Scarus rubroviolaceus</i>
Das	<i>Dasyatis kuhlii</i>	Mul	<i>Parupeneus barberinoides</i>	Sig	<i>Siganus corallinus</i>
Epi	<i>Cephalopholis boenak</i>	Mul	<i>Parupeneus barberinus</i>	Sig	<i>Siganus doliatus</i>
Epi	<i>Epinephelus maculatus</i>	Mul	<i>Parupeneus ciliatus</i>	Sig	<i>Siganus fuscescens</i>
Epi	<i>Epinephelus merra</i>	Mul	<i>Parupeneus spilurus</i>	Sig	<i>Siganus puellus</i>
Epi	<i>Epinephelus ongus</i>	Nem	<i>Scolopsis bilineatus</i>	Sig	<i>Siganus vulpinus</i>
Epi	<i>Plectropomus leopardus</i>	Poc	<i>Centropyge bicolor</i>	Syn	<i>Saurida gracilis</i>
Fis	<i>Fistularia commersonii</i>	Poc	<i>Centropyge tibicen</i>	Zan	<i>Zanclus cornutus</i>

Le nombre d'espèces présentes pour chaque famille (observée depuis 2007) est donné dans le [tableau 87](#) et spécifiquement pour cette campagne sur la [figure 71](#).

Sous l'angle de vue des proportions, la structure du peuplement de mai 2018 diffère significativement de la

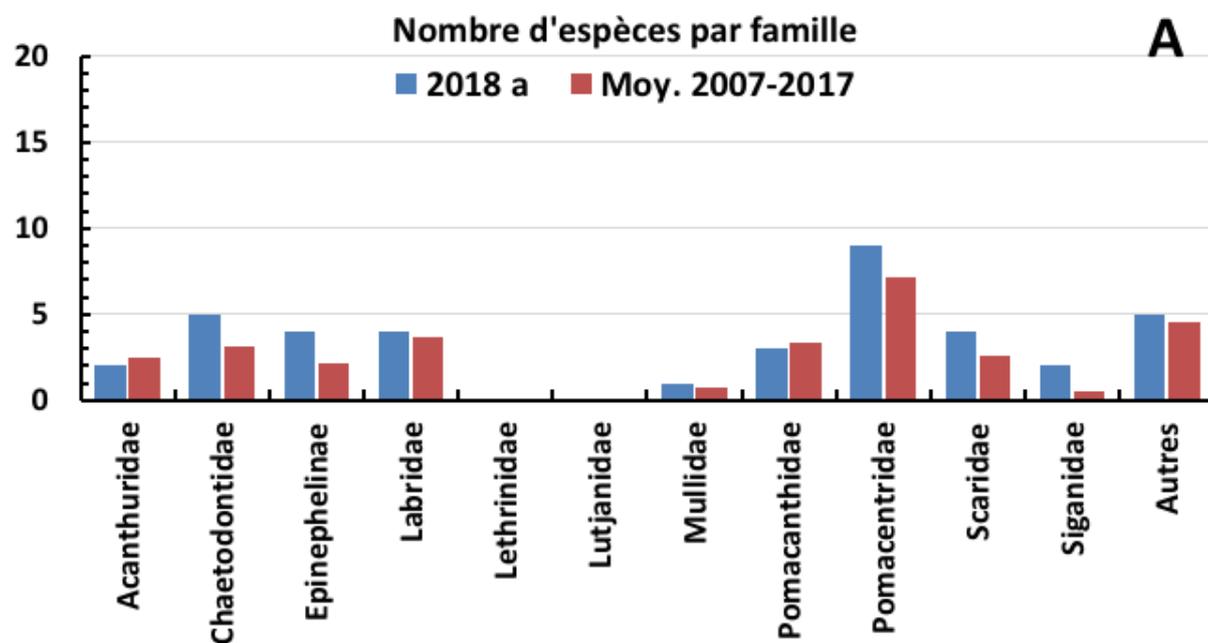


structure moyenne obtenue sur la période de suivi 2007-2017.

Dans l'ensemble des missions de la série historique, aucune (0) structure de peuplements ne peut être assimilée à la structure moyenne sur la série. De plus et globalement, toujours sous l'angle de vue de leur structure, la série historique forme un ensemble très significativement hétérogène (cf. [tableau synoptique 113](#)).

Tableau n°87 : *Nombre d'espèces par famille ichthyologique (ST12)*

Familles	Nb d'espèces vues (zone, 2007-2017)	Nb d'espèces		Proportions	
		2018 a	Moy.	2018 a	Moy.
Acanthuridae	40	2	2,47	5,00	6,18
Chaetodontidae	30	5	3,18	16,67	10,60
Epinephelinae	26	4	2,18	15,38	8,38
Labridae	97	4	3,65	4,12	3,76
Lethrinidae	16	0	0,06	0,00	0,38
Lutjanidae	22	0	0,12	0,00	0,55
Mullidae	14	1	0,78	7,14	5,57
Pomacanthidae	14	3	3,29	21,43	23,50
Pomacentridae	92	9	7,12	9,78	7,74
Scaridae	23	4	2,53	17,39	11,00
Siganidae	10	2	0,55	20,00	5,50
Autres	257	5	4,54	1,95	1,77
Khi2 obs		4,5		28,6	
Khi2 tab				19,7	



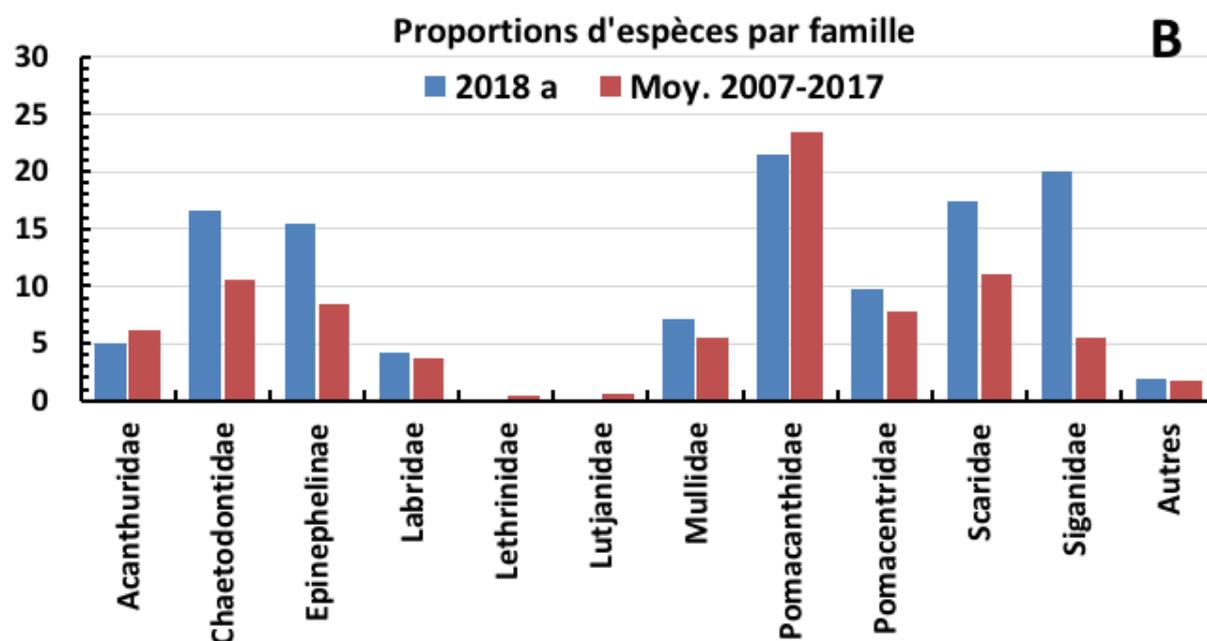


Figure n°71 : Structure du peuplement pour cette mission relativement à la moyenne 2007-2017 (ST12)

L'histogramme A compare pour une famille les effectifs vus en 2018 a avec la moyenne et l'histogramme B compare les proportions de cet effectif vu par rapport à l'effectif total d'espèces vu pour cette même famille, sur la zone sud depuis les premières missions

Le récapitulatif des résultats en terme de :

- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte)),

pour toutes les campagnes depuis 2007 sont présentés dans le [tableau 88](#) et la [figure 72](#).

Tableau n°88 : Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (ST12)

Ugo ST12		Liste DENV				Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2018 a	Transect A	148	2,47	35,40	25		
	Transect B	110	1,83	115,43	21		
	Moy. ABC	129,00	2,15	75,42	39	64	93
2017 b	Moy. ABC	96,00	1,50	10,70	38	51	82
2017 a	Moy. ABC	151,00	2,82	20,19	31	60	87
2016 b	Moy. ABC	101,50	1,44	6,93	36	59	88
2016 a	Moy. ABC	204,00	2,59	42,45	28	52	80
2015 b	Moy. ABC	269,00	2,34	191,45	26	57	87
2015 a	Moy. ABC	171,00	2,15	46,44	30	60	91
2014 b	Moy. ABC	139,00	1,54	189,24	28	52	94
2014 a	Moy. ABC	90,50	1,13	71,86	28	55	91



2013 b	Moy. ABC	147,00	2,13	94,55	37	58	82	
2013 a	Moy. ABC	115,50	1,60	57,85	35	52	86	
2012 b	Moy. ABC	122,50	1,46	49,33	32	48	81	
2012 a	Moy. ABC	114	1,40	326,70	32	46	75	
2011 b	Moy. ABC	48,00	0,60	14,42	25	48	80	
2011 a	Moy. ABC	115,50	2,36	79,86	30	43	81	
2010 b	Moy. ABC	108	1,44	13,93	18	28	50	
2010 a	Moy. ABC	93,00	3,01	63,58	41	58	90	
2009	Moy. ABC	100,50	3,49	73,03	23	40	70	
2008	Moy. ABC	<i>Pas d'échantillonnage</i>						
2007	Moy. ABC	<i>Pas d'échantillonnage</i>						

L'écart relatif à la moyenne [$Er_i = (X_i - X_m)/X_m$] pour ces paramètres biologiques peut alors être calculé : cf. [tableau 89](#) et représentation [figure 73](#).

Tableau n°89 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST12)*

	Nb ind.	Densité	Biom.	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
Variance	9 727,7	0,8	6 890,7	33,2	67,4	94,7
Ecart type	98,63	0,92	83,01	5,76	8,21	9,73
Moyenne	143,53	2,08	74,71	31,17	51,67	82,56
Coef. de Var.	0,69	0,44	1,11	0,18	0,16	0,12

Commentaires :

- La densité et la biomasse sont faibles et proches de leur valeur moyenne.
- La biodiversité sur les transects est plus forte qu'ordinairement, mais cette station reste cependant, la plus pauvre du canal de la Havannah.

La série historique 2007-2017 montre des structures de peuplement encore plus changeantes que sur les autres stations du canal de la Havannah. Les espèces sédentaires y sont rares. L'absence d'hydrodynamisme entretient la pauvreté de la B α .

Au cours des 18 missions, toutes les structures de peuplement observées diffèrent entre elles significativement et diffèrent également de la structure moyenne (cf. [tableau synoptique 113](#)).

Le fait de réaliser l'analyse des structures de peuplement en tenant compte de l'importance de chaque famille dans le lagon calédonien, fait que Ugo apparaît très instable. Hormis quelques Apogons, Ugo apparaît comme une zone de transit et donc de peu d'intérêt pour le suivi du peuplement ichtyologique.

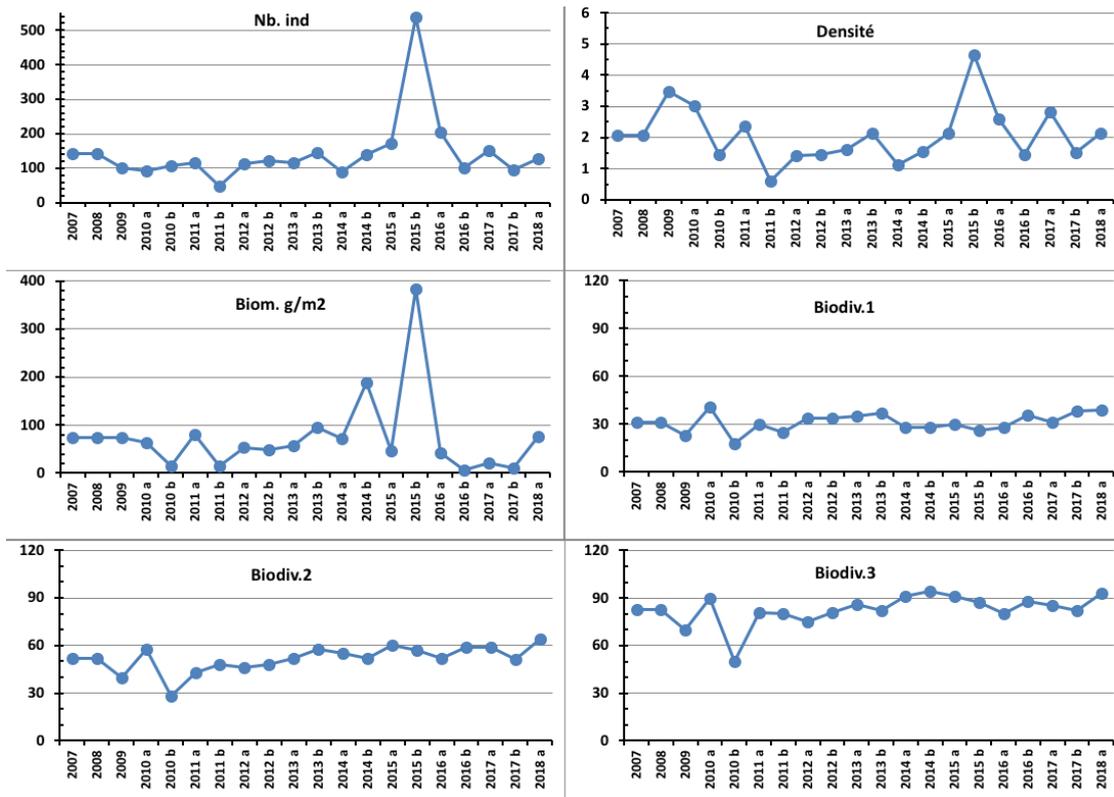


Figure n°72 : *Evolution des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2009 (ST12)*

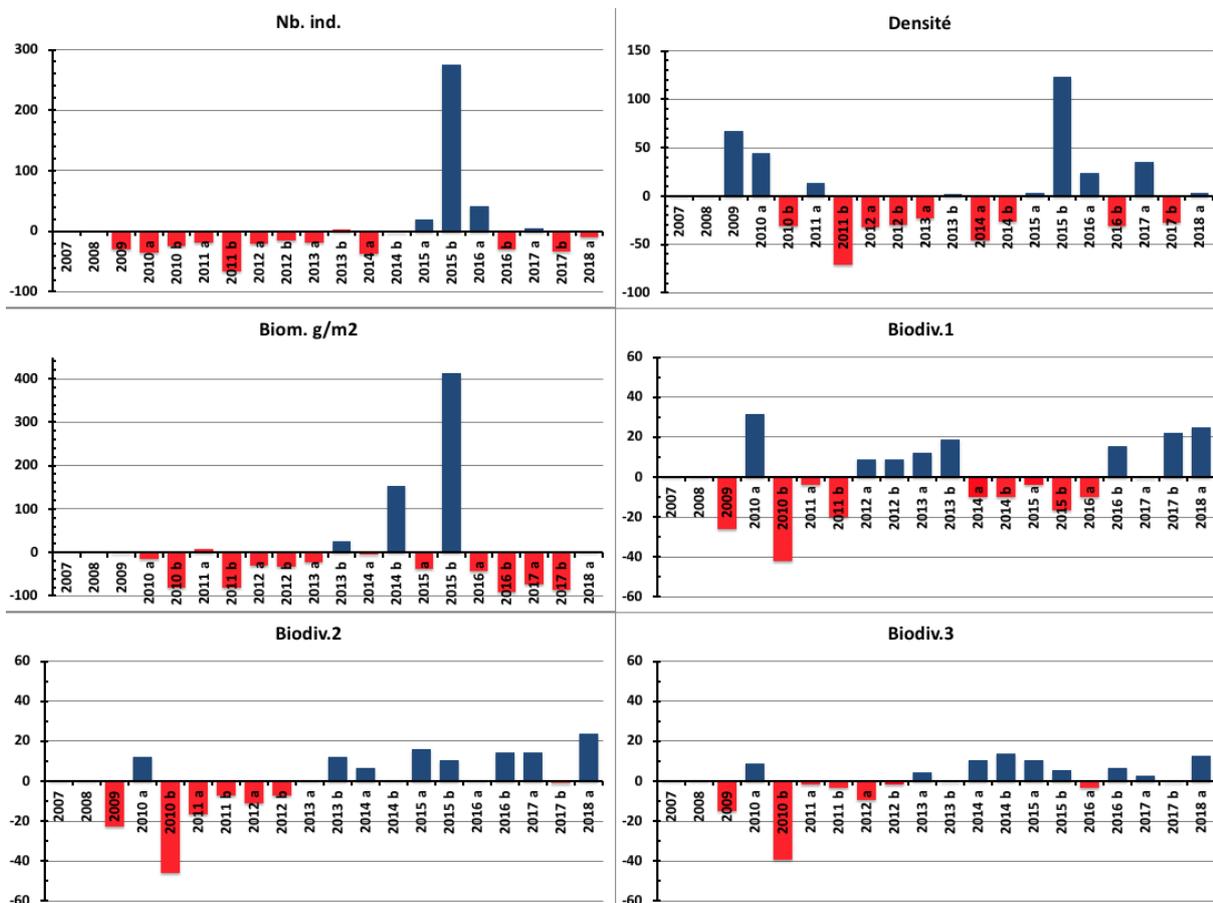


Figure n°73 : *Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2009 (ST12)*



5 Résultats généraux / Synthèse

Les cartes 14 et 15 présentent la synthèse des résultats bruts pour cette mission à chaque station, à savoir :

- pour le substrat : le pourcentage de recouvrement de 3 composantes clés : la partie abiotique et les coraux puis le reste (c'est-à-dire, les macrophytes, invertébrés, autres coraux, etc. regroupés sous « macrophytes & invertébrés »), ces deux groupes formant la partie biotique,
- pour les communautés benthiques : la richesse taxonomique (nombre d'espèces) des 2 groupes clés : les macrophytes et les invertébrés,
- pour la faune ichtyologique : la diversité spécifique (nombre d'espèces observées, liste restreinte), la densité (nb. individus/m²) et la biomasse (g/m²).

Les résultats bruts de chaque thème sont détaillés par ailleurs ci-dessous.

5.1 Substrat

Les pourcentages de recouvrement du substrat, pour toutes les catégories, sont présentés dans le tableau a en annexe 03 (résultats par transect pour toutes les stations).

Le tableau b en annexe 03 et la figure 74 ci-dessous, récapitulent les pourcentages de couverture du substrat aux différents transects de chaque station pour :

- ↳ la partie biotique, qui est divisée en deux groupes : les coraux scléactiniaires et le reste (c'est-à-dire, les macrophytes, invertébrés, autres coraux, etc. regroupés sous « macrophytes & invertébrés »),
- ↳ la partie abiotique.

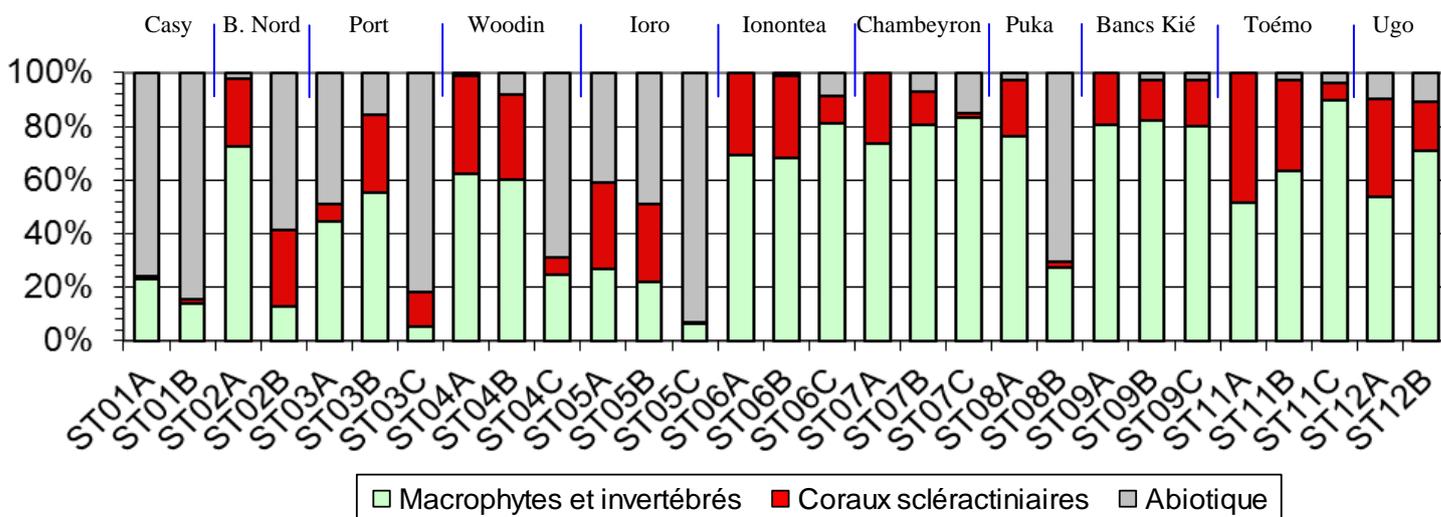


Figure n°74 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat partie biotique/abiotique

Analyse par site :

Les stations situées en **baie de Prony et canal Woodin** (à l'exception notable des transects ST02A, ST03B et ST04A&B) ont globalement un substrat à majorité abiotique (moyenne de près de 70%).

La résilience observée après les dégradations du début d'année 2016 en 2017 s'est maintenue et le taux de recouvrement corallien est stable pour cette mission (18%).

Les stations (et les transects dans chaque station) dans le **canal de la Havannah** sont très diversifiés. Il ressort cependant une dominance du substrat biotique (excepté pour le transect C de la station ST05 qui est installé sur une pente sédimentaire composée principalement de sable coquillé et pour le transect ST08B). Ainsi, l'abiotique représente seulement 17% en moyenne du recouvrement. La moyenne du taux de recouvrement corallien dans le canal de la Havannah est stable à 20.6%.

Analyse par station :

C'est le transect A de la station ST11 (Toémo) qui présente pour cette mission le plus fort taux de recouvrement corallien scléactiniaire (48.5%). La moyenne sur la station est de 29.5% pour les 3 transects et de 41% en ne



prenant en compte que les 2 transects supérieurs. Le 2^{ème} rang est tenu par la ST04 (Woodin) avec 25.2% pour les 3 transects et 34.5% pour les 2 du haut.

La station la plus pauvre est la ST01 (Casy) avec seulement 1% et 1.5% de scléractiniaires sur ces transects.

Les variations de recouvrement sur la globalité de la zone d'étude sont à une échelle infime en général et après les perturbations enregistrées en 2016, les stations retrouvent une certaine stabilité avec un retour progressif aux valeurs antérieures (résilience) en 2017.

Attention cependant à la ST01 (Casy) qui est l'objet d'une invasion d'*Acanthaster planci* qui provoquent le blanchissement et la mort des coraux branchus présents. Il n'est plus que quelques *Pocillopora* sp. encore en vie

Tous les transects les plus profonds ont un taux de recouvrement biotique significativement plus bas que sur les transects supérieurs.

5.2 Benthos

Les résultats bruts (listing et abondance) du dénombrement du benthos, sont présentés en [annexe 04](#) (résultats par transect pour toutes les stations).

5.2.1 Biodiversité du benthos : généralités

5.2.1.1 Les contraintes en termes de potentiel « indicateur » et « réactivité »

Afin d'évaluer les dégradations éventuelles de la zone sous l'influence potentielle du projet Vale Nouvelle-Calédonie, une étude sur la biodiversité et l'abondance des biocénoses benthiques est réalisée sur 11 à 12 stations réparties en baie de Prony, canal Woodin et canal de la Havannah.

Cette étude doit permettre :

- 1) D'évaluer la variabilité naturelle et la vulnérabilité : la diversité et l'abondance renseignent sur la vulnérabilité du site et l'adaptation des espèces aux différents biotopes. L'ensemble des espèces benthiques est suivi car tous les taxons peuvent selon le contexte devenir une espèce invasive ;
- 2) D'effectuer une synthèse comparative de l'état des stations et de leur évolution dans le temps et l'espace : la comparaison des données dans le temps, permet d'évaluer la variabilité naturelle (saisonnalité, turn over, événements exceptionnels) et d'appréhender de potentielles perturbations anthropiques ;
- 3) De suivre dans le temps les effets potentiels des activités industrielles de Vale Nouvelle-Calédonie : l'objectif principal est d'évaluer les effets potentiels des activités industrielles de Vale Nouvelle-Calédonie et de tirer une sonnette d'alarme, le plus rapidement possible dans le cas de perturbations anthropiques.

Pour ce faire, l'ensemble des biocénoses benthiques (fixes et mobiles) sont inventoriées depuis 2007 et plusieurs **indicateurs** particulièrement suivis :

Certaines espèces dites « **espèces cibles** » permettent selon leur variation d'abondance d'évaluer l'état de santé du milieu. En effet, la présence des invertébrés mobiles (astéries, échinides, holothuries, mollusques...), est un indicateur du fonctionnement de l'écosystème. Cependant, l'absence ou la diminution d'abondance des invertébrés mobiles d'une mission à une autre n'est pas un indicateur de dégradation environnementale. Leur absence peut être momentanée et n'est pas synonyme de dégradation ou de mortalité car leur mobilité leur permet de migrer du couloir d'inventaire pour rechercher de la nourriture ou un abri ...

Les observations **d'organismes morts** permettent de donner une alerte mais elles sont peu fréquentes car ils sont rapidement consommés dans la chaîne alimentaire.

Les proliférations d'espèces corallivores sont bien entendu un indicateur du dérèglement de l'écosystème mais cette manifestation n'est pas forcément la source initiale des perturbations.

Les espèces exogènes et les espèces envahissantes sont également recherchées quelle que soit l'embranchement. Quelques espèces mobiles (particulièrement les corallivores pour les gastéropodes et les astéries) ont été sélectionnées comme espèces cibles et caractérisent si leur abondance est excessive des perturbations récifales (Gastéropodes : *Drupella cornus*, *Coralliophila violacea* ; Astéries : *Acanthaster planci*, *Culcita novaeguineae*, Spongiaires : *Cliona orientalis* et *C. jullieni* ; Cyanobactéries...). Mais encore une fois, tous les taxons peuvent selon le contexte devenir une espèce invasive (espèce envahissante exogène).

Ce suivi est donc un **suivi à long terme** : l'étude des biocénoses benthiques mobiles doit être appréhendée sur





plusieurs périodes de suivi ou de manière complémentaire suite à une dégradation de l'habitat (étude des coraux).

Cependant, la **variabilité saisonnière des macrophytes** est importante et chaque groupe algal a un rythme de développement spécifique durant l'année. De ce fait, la périodicité d'échantillonnage semestrielle des relevés de suivi biologique n'est pas adaptée aux cycles de développement des macrophytes car les valeurs maximales et minimales de diversité et de recouvrement ne sont pas forcément prises en compte. Les proliférations de macroalgues dans les écosystèmes littoraux des zones tropicales et subtropicales sont une menace sérieuse pour la diversité biologique de ces milieux. Typiquement une croissance excessive des algues est le résultat d'une variété insuffisante d'animaux consommateurs d'algues et/ou de nutriments excessifs. L'apport important de matière en suspension peut être un facteur de perturbation.

Il est alors important de considérer, pour chaque groupe biologique, le potentiel « **indicateur** » mais également le potentiel « **réactivité** » pour émettre des conclusions de l'évaluation de l'état de santé d'un récif le plus rapidement possible.

En considérant cette notion de variabilité saisonnière des macrophytes et de mobilité de certaines espèces d'invertébrés (particulièrement les échinodermes et les mollusques), il est très important de s'attacher aux variations d'abondance et de richesse spécifique des organismes fixés et présentant des variations épisodiques relativement faibles : alcyonaires, clones et plus particulièrement les coraux scléactiniaires.

En effet, **les coraux** ont un rôle clé dans le maintien de la biodiversité du récif (habitat et source de nourriture). Par ailleurs, ils ont de nombreux avantages pour les suivis environnementaux :

- Pour les études comparatives : la majorité des coraux sont sessiles ce qui entraîne une fiabilité dans la comparaison de données ;
- Lors de suivi à court terme : ce sont des "Sentinelles avancées" car ils sont sensibles aux variations des conditions environnementales pour détecter les effets des perturbations, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle (analyse du recrutement, mortalité, blanchissement, maladies coralliennes) ;
- Lors de suivi à long terme : les coraux ont une longévité particulièrement élevée, ce qui permet d'intégrer des conditions environnementales sur de longues périodes de temps

Dans ce contexte l'étude des coraux répond de manière incontestable à tous les questionnements sur l'état de santé des récifs. Et les informations sur les invertébrés, les espèces cibles et les macrophytes viennent confirmer les hypothèses.

Cependant, le cahier des charges imposé par la DENV ne prend pas en compte cet indicateur. Malgré cela, ce compartiment clé a été étudié depuis le début (2007) sur décision volontaire de Vale NC. Malheureusement, les contraintes économiques actuelles font que le budget alloué aux suivis environnementaux a été diminué et donc depuis 2017, il n'a été appliqué que les demandes réglementaires : les coraux n'ont donc pas été inventoriés pour cette mission.

5.2.1.2 Les contraintes naturelles de la zone d'étude

Les biocénoses benthiques se sont adaptées aux conditions environnementales par la sélection d'espèces colonisant les milieux fortement agités pour le canal de la Havannah (houle, ressac et courants de marée) et le canal Woodin (principalement courants de marée) et pour les milieux calmes en baie de Prony (dessalure des eaux de surface et sédimentation importante).

Les assemblages des biocénoses marines de ces trois sites sont donc différents et chacun est en équilibre avec les paramètres physico-chimiques du milieu. Malgré l'adaptation des espèces aux paramètres environnementaux de chaque biotope, des événements exceptionnels (climatiques, dépressionnaires et activités anthropiques) font généralement dépasser les seuils de tolérance de survie pour les espèces les plus sensibles.

- ↳ **De manière générale, les récifs étudiés dans les niveaux supérieurs et médians ont une diversité élevée.** Pourtant ces niveaux bathymétriques sont perturbés par les agents hydrodynamiques, par les anomalies de salinité de surface, par les panaches turbides et les événements exceptionnels (naturel ou anthropique).
- ↳ **La biodiversité est plus faible pour les niveaux bathymétriques les plus profonds.** Cela s'expliquant entre autre par la sédimentation, l'effondrement et l'accumulation de débris par gravité et par la baisse de la pénétration de la lumière dans l'eau en fonction de la profondeur. Ce dernier phénomène entraîne une





diminution de la photosynthèse, principalement pour les coraux scléactiniaires hermatypiques et les macrophytes qui représentent les habitats principaux de la faune récifale.

Dans le canal de la Havannah et le canal Woodin, les principales dégradations sont d'origine mécanique : nombreux débris, mortalité importante et blanchissement corallien induit par les effondrements. Malgré les courants de marée conséquents dans le canal Woodin, les dégradations mécaniques sont moindres que dans le canal de la Havannah car les récifs sont moins exposés au ressac et à la houle.

Dans la baie de Prony (milieu calme et protégé), les principales dégradations sont originaires d'une dessalure des eaux de surface (colonies blanchies encore en place, mortalité importante pour les niveaux bathymétriques supérieurs des récifs frangeants à proximité des embouchures des creeks et des rivières et des résurgences d'eau douce). La sédimentation influe surtout sur les niveaux bathymétriques inférieurs où les particules sédimentaires ne sont plus remobilisées.

Une synthèse des principaux événements climatiques qui ont pu influencer les biocénoses lors de cette période d'étude est présentée § 7.1.

5.2.1.3 Les contraintes anthropiques de la zone d'étude

Les activités anthropiques, dans la baie de Prony, le canal de la Havannah et le canal Woodin, sont susceptibles d'interagir sur la mobilisation des particules terrigène et sédimentaires (activités minière et portuaire ainsi que le trafic maritime).

L'exploitation des latérites nickélifères de Nouvelle-Calédonie a conduit Vale Nouvelle-Calédonie à mettre en place un procédé de solubilisation du minerai par voie acide produisant des effluents. Le rejet est réalisé à partir d'un émissaire marin d'une longueur de 21 km et composé à son extrémité d'un diffuseur de 1 km. Ce rejet se fait dans le canal de la Havannah, milieu relativement profond, où les courants semblent suffisamment importants pour assurer la dispersion des effluents industriels. Cette pression sur le milieu marin a nécessité de développer des études et un programme intégré ayant pour objectifs de définir avec précision les états de référence biologique et physico-chimique, de comprendre le comportement géochimique de l'effluent avec le milieu naturel, de prédire ses effets biologiques et de modéliser les phénomènes de dispersion.

La mise en place d'un réseau de surveillance permet actuellement de conduire un suivi environnemental du milieu marin d'un point de vue physico-chimique, écotoxicologique et biologique (l'étude des communautés récifales étant l'objet d'une partie de ce rapport).

De plus l'installation de l'usine d'acide en amont du Creek baie nord peut être une source de perturbations à l'embouchure du creek et en périphérie (accident d'acide du 1 avril 2009). L'activité de cette usine peut également augmenter le débit d'eau douce du creek et de ce fait, perturber les communautés récifales (blanchissement corallien par dessalure des eaux de surface).

Les sites potentiellement impactés par le projet minier, sont : le canal de la Havannah (rejet d'effluents et apports en particules), la baie du Prony (en Rade nord : influences des installations portuaires et industrielles), la baie Kwé (par la rivière Kwé qui capte les eaux des bassins versants sur lesquels la mine est en activité).

5.2.2 Répartition des 4 groupes biotiques par transect

Les [tableaux](#) en [annexe 04](#) et la [figure 75](#) ci-dessous, récapitulent la richesse spécifique par niveau bathymétrique (le nombre de taxa aux différents transects) de chaque station pour le benthos.

Ce dernier a été réparti en 4 grands groupes :

- ↗ les coraux scléactiniaires
- ↗ les autres coraux durs (millépores, antipathaires, stolonifères, gorgones)
- ↗ les macrophytes
- ↗ les invertébrés (hors coraux durs).

Entre 2007 et 2016, les 4 grands groupes ont été étudiés.

Pour cette mission, seuls les 2 groupes suivants sont présentés :

- ↗ les invertébrés (hors coraux durs)
- ↗ les macrophytes.

La richesse spécifique des invertébrés est comprise entre 16 à 89 taxa par transect pour l'ensemble de la zone





(avec une moyenne de 35.7 taxa par transect vs 28.8 et 30 en 2017 : légère hausse).

La richesse spécifique des macrophytes est comprise entre 0 à 20 taxa par transect pour l'ensemble de la zone (avec une moyenne de 5.2 taxa par transect vs 4.7 et 5.3 pour 2017 : stable).

De manière générale, la biodiversité est plus faible pour les niveaux bathymétriques les plus profonds. Cela s'expliquant entre autres par la baisse de la pénétration de la lumière dans l'eau par rapport à la profondeur. Ce phénomène entraîne une diminution de la photosynthèse, principalement pour les coraux scléactiniaires hermatypiques et les macrophytes qui représentent les habitats principaux de la faune récifale.

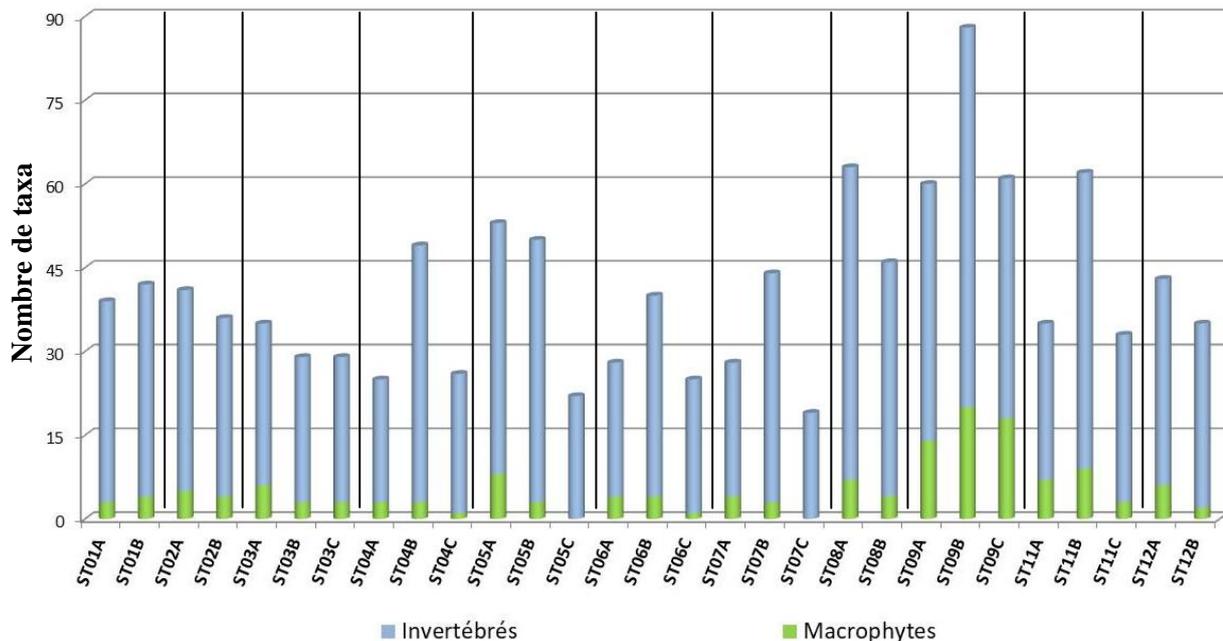


Figure n°75 : Richesse taxonomique du benthos dans 2 groupes clés

5.2.3 Composition spécifique par site

Les biocénoses benthiques se sont adaptées aux conditions environnementales par la sélection d'espèces colonisant les milieux agités (canal de la Havannah et canal Woodin) et les milieux calmes et turbides (baie de Prony). Les macrophytes, spongiaires et alcyonaires sont en compétition spatiale avec les coraux scléactiniaires pour toutes les stations sauf en ST04 (Woodin) où le recouvrement biotique est particulièrement représenté par les coraux (les autres groupes sont très minoritaires). Ces observations rentrent dans le cycle naturel. Cependant, l'évolution de ces groupes biotiques est à surveiller au regard des perturbations potentielles dans cette zone (perturbations d'origine anthropique et/ou d'origine naturelle exceptionnelle).

Le degré d'exposition des habitats à l'hydrodynamisme conduit à distinguer les milieux de mode battu du mode calme. L'agitation de l'eau crée des forces variant en fonction de son intensité (courants de marées, de houle et ressac). De ce fait, les organismes sont sélectionnés sur les récifs du canal de la Havannah et du canal Woodin par leur capacité à résister aux forces d'arrachement. La zone de balancement des marées et de vagues constitue l'étage supérieur du système récifal.

D'autre part, la baie de Prony est un regroupement de rades (Grande Rade, Rade du Nord et Rade de l'Est), qui constitue une baie semi-fermée qui est particulièrement protégée des agents hydrodynamiques. De nombreux creeks et rivières se déversent dans cette baie charriant des particules sédimentaires (apports conséquents). Les organismes sont sélectionnés sur ces récifs par leur capacité à résister aux dépôts sédimentaires, à la diminution de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et par endroit à la dessalure des eaux de surface.

5.2.3.1 Assemblage spécifique du benthos dans le canal de la Havannah

En mai 2018, la richesse spécifique du site Havannah est composée de :

- **112 espèces d'invertébrés** dont 37 espèces de mollusques ; 21 espèces de cnidaires : alcyonaires (11 taxons), actiniaires (7 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 30 espèces d'échinodermes : holothurides (12 taxons), astéries (9 taxons), échinides (6 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 12 espèces d'éponges ; 12 espèces d'ascidies



- **24 espèces de macrophytes** : algues vertes (13 taxons), algues rouges (8 taxons), algues brunes (3 taxons)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

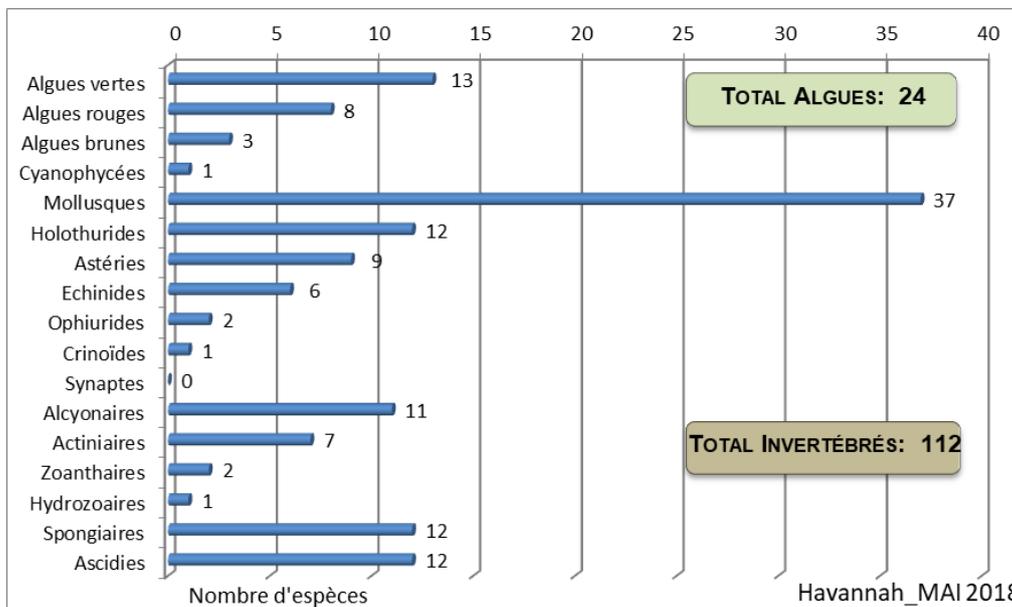


Figure n°76 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le canal de la Havannah

5.2.3.2 Assemblage spécifique du benthos dans le canal Woodin

En mai 2018, la richesse spécifique du site Woodin est composée de :

- **49 espèces d'invertébrés** dont 15 espèces de mollusques ; 7 espèces de cnidaires : alcyonaires (4 taxons), zoanthaires (2 taxons), hydrozoaires (1 taxon) ; 10 espèces d'échinodermes : astéries (3 taxons), échinides (3 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon), holothurides (1 taxon) ; 9 espèces d'éponges ; 8 espèces d'ascidies
- **3 espèces de macrophytes** : algues vertes (2 taxons), algues brunes (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**

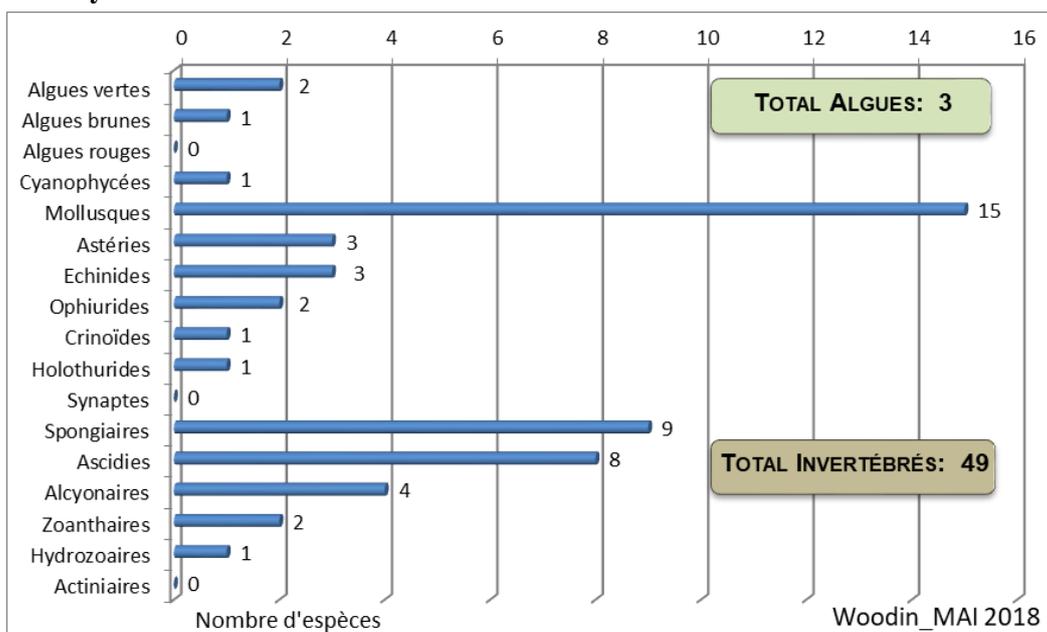
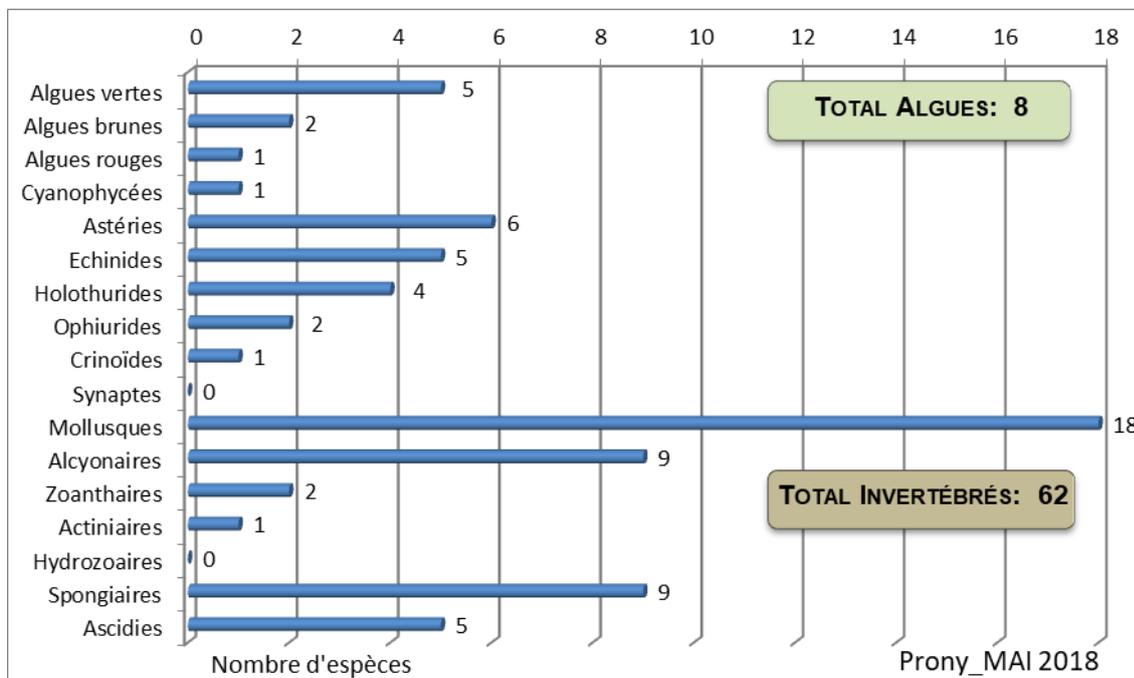


Figure n°77 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le canal Woodin

5.2.3.3 Assemblage spécifique du benthos dans la baie de Prony

En mai 2018, la richesse spécifique du site Prony est composée de :

- **62 espèces d'invertébrés** dont 18 espèces de mollusques ; 12 espèces de cnidaires : alcyonaires (9 taxons), zoanthaires (2 taxons), actiniaires (1 taxon) ; 18 espèces d'échinodermes : astéries (6 taxons), échinides (5 taxons), holothurides (4 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 9 espèces d'éponges ; 5 espèces d'ascidies
- **8 espèces de macrophytes** : algues vertes (5 taxons), algues brunes (2 taxons), algues rouges (1 taxon)
- **1 espèce de cyanobactéries.**





5.2.4 Répartition spatiale de la diversité benthique

La biodiversité de chaque site est dépendante des conditions du milieu mais également du nombre de stations échantillonnées car les espèces se répartissent à travers le récif (ainsi le nombre potentiel d'espèces recensées augmente généralement avec la surface prospectée).

Le plan d'échantillonnage est très disparate dans la zone d'étude car 7 à 8 stations sont étudiées dans le canal de la Havannah, 3 stations dans la baie de Prony et une station seulement dans le canal Woodin.

5.2.4.1 La biodiversité des invertébrés

La liste complète des invertébrés comprend les sous-groupes suivants : alcyonaires, spongiaires, mollusques, ascidies, échinodermes (astéries, crinoïdes, échinides, holothurides, ophiurides, synaptés), actiniaires, zoothéciaires, hydrozoaires et bryozoaires.

L'assemblage spécifique est composé principalement par les mollusques, les alcyonaires, les spongiaires et les échinodermes (astéries, holothuries, échinides). Les ascidies sont également très diversifiées dans le canal de la Havannah. Ces assemblages sont décrits précisément dans les § 4.x.2 précédents.

Cette diversité des invertébrés est contrastée dans la zone d'étude :

Selon les sites : Havannah : 112 taxons, Prony : 71 taxons et Woodin : 53.

Selon les stations : 36 à 73 espèces ont été dénombrées (respectivement ST03 et ST09).

Selon les transects : 19 à 69 espèces ont été dénombrées (respectivement ST07C et ST09B).

Pour cette mission, la diversité moyenne sur tous les sites (baie de Prony, canal Woodin et canal de la Havannah) par transect est de **35.65 (+/- 11.70) taxons**.

La station ST09 a une richesse spécifique importante pour les invertébrés (avec 46, 68 et 43 espèces respectivement pour les transects A, B et C soit 73 espèces au total pour la station).

Il est à noter que les organismes mobiles présents dans les pourtours des stations ne sont pas comptabilisés car ils ne sont pas localisés dans les couloirs de comptage.

5.2.4.2 La biodiversité des macrophytes

Les macrophytes ont un assemblage spécifique composé par les algues rouges, vertes et brunes.

Ces assemblages sont décrits précisément dans les § 4.x.2 précédents. **Cette diversité des macrophytes est contrastée dans la zone d'étude.**

Selon les sites : Havannah : 24 taxons, Prony : 8 taxons et Woodin : 3 taxons.

Selon les stations : 3 à 22 espèces ont été dénombrées (respectivement ST04 et ST09).

Selon les transects : 0 à 20 espèces ont été dénombrées (respectivement ST05C = ST07C et ST09B).

Pour cette mission, la moyenne du nombre d'espèce de macrophytes par transect pour l'ensemble de la zone (baie de Prony, canal Woodin et canal de la Havannah) est de **5.24 (+/-4.77) taxons**.

Aucune espèce de macrophytes identifiable *in situ* n'a été comptabilisée pour les transects ST05C et ST07C.

La station ST09 a une richesse spécifique importante pour les macrophytes (avec 20, 18 et 7 espèces respectivement pour les transects A, B et C soit 22 espèces au total pour la station).

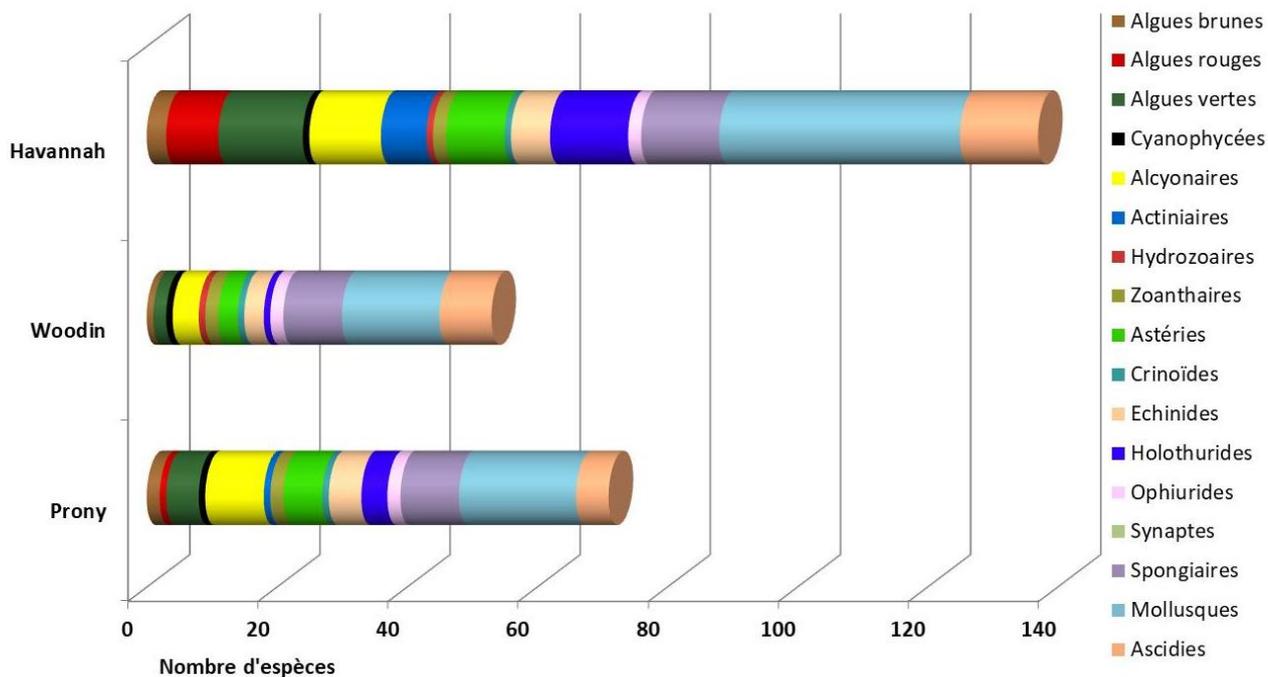


Figure n°79 : Assemblage des invertébrés (hors coraux durs) et des macrophytes par groupe pour les trois sites

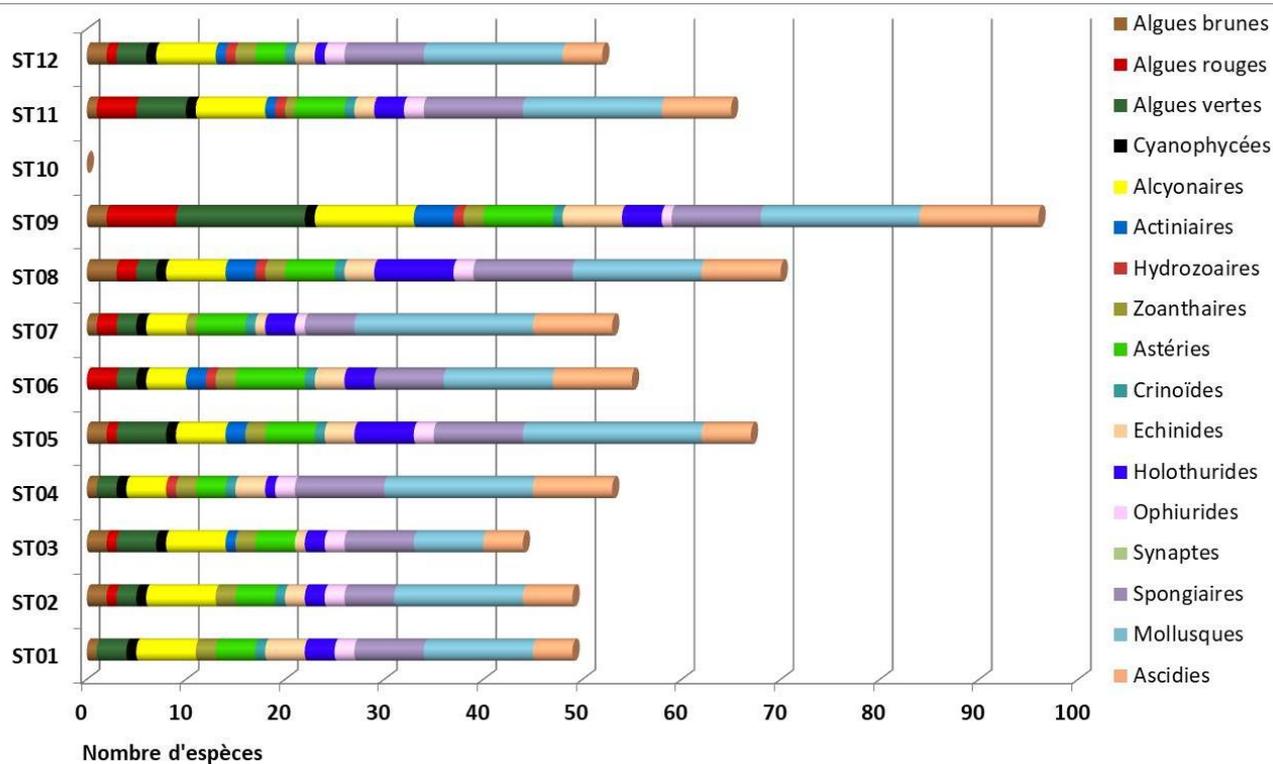


Figure n°80 : Richesse spécifique des biocénoses* benthiques selon les groupes par station

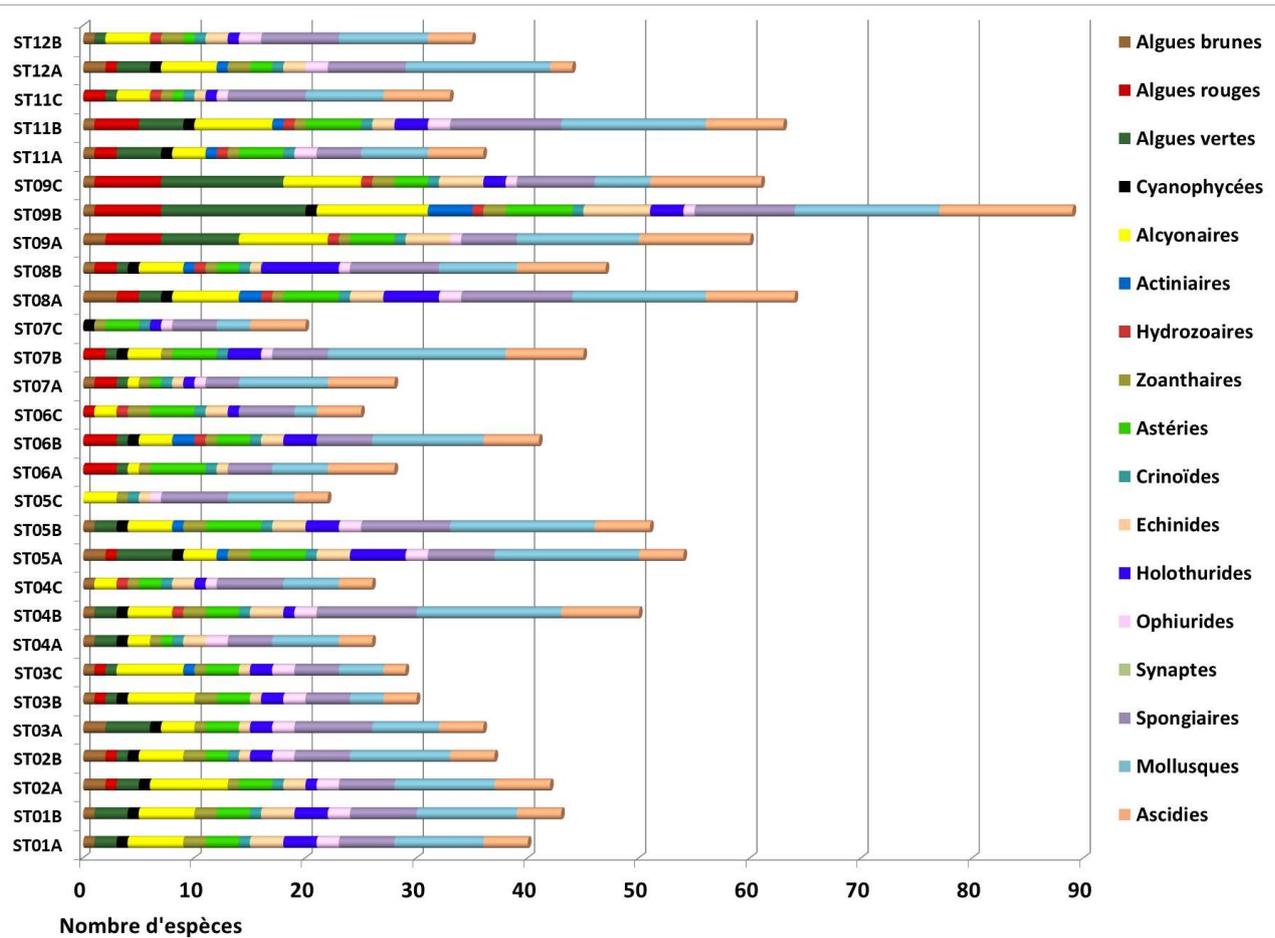


Figure n°81 : *Richesse spécifique des biocénoses* benthiques selon les groupes par transect*

5.3 Ichtyologie

Les paramètres biologiques globaux concernant les stations sont présentés dans le [tableau 90](#) et les [figures 82 à 84](#) (rappel : liste restreinte, cf. § 6.3).

Tableau n°90 : Récapitulatif des paramètres biologiques pour l'ichtyofaune

	Stations	Nb	Dens	Biom	Biod.1	Biod.2	Biod.3	Ish	Eq	
Baie de PRONY	ST01 ILOT CASY	116,50	2,25	56,65	34	50	77	4,211	0,828	
	ST02 CREEK BAIE NORD	29,50	0,74	1,45	7	19	30	2,088	0,744	
	ST03 PORT	61,33	2,07	2,42	17	41	59	2,941	0,719	
	Variances (σ^2)	1 937,62	0,68	998,38	186,33	254,33	562,33	1,141	0,003	
	Ecart types (σ)	44,02	0,83	31,60	13,65	15,95	23,71	1,068	0,057	
	Moyennes (μ)	69,11	1,69	20,17	19,33	36,67	55,33	3,080	0,764	
	Coef. de Var(σ/μ)	0,64	0,49	1,57	0,71	0,43	0,43	0,347	0,074	
	Int. de Conf. 95%	50,83	0,95	36,49	15,76	18,41	27,38	1,234	0,066	
Canal de la HAVANNAH	ST04 WOODIN	294,00	5,20	405,13	88	104	141	5,132	0,794	
	ST05 IORO	126,00	1,58	36,61	56	66	100	4,879	0,840	
	ST06 IONONTEA	218,67	4,23	567,07	73	91	134	5,055	0,817	
	ST07 B. CHAMBEYRON	210,78	2,27	335,31	71	87	125	5,083	0,829	
	ST08 PUKA	93,00	2,16	56,60	39	70	102	4,333	0,820	
	ST09 BANCS KIE	203,67	5,09	218,00	68	83	121	5,188	0,852	
	ST11 TOEMO	196,67	1,68	129,74	72	90	141	5,331	0,864	
	ST12 UGO	129,00	2,15	75,42	39	64	93	4,222	0,799	
		Variances (σ^2)	4 176,59	2,35	36 700,3	299,36	196,98	365,13	0,166	0,001
		Ecart types (σ)	64,63	1,53	191,6	17,30	14,04	19,11	0,407	0,024
	Moyennes (μ)	183,97	3,04	228,0	63,25	81,88	119,63	4,903	0,827	
	Coef. de Var(σ/μ)	0,35	0,50	0,8	0,27	0,17	0,16	0,083	0,030	
	Int. de Conf. 95%	45,70	1,08	135,5	12,23	9,92	13,51	0,288	0,017	

Nb : nombre moyen de poissons sur un transect ; **Dens.** : Densité (Nb/m^2) moyenne sur la station ; **Biom.** : Biomasse (g/m^2) moyenne sur la station ; **Biod.1** : Espèces de la liste du Cahier des charges présentes sur les transects ; **Biod.2** : Espèces de la liste du Cahier des charges présentes sur la station ; **Biod.3** : Toutes espèces présentes sur la station ; **Ish** : Indice de Shannon ; **Eq** : Indice d'équitabilité ; **Int. de Conf.** : Intervalle de confiance de la moyenne au risque $\alpha = 0,025$.

C'est la station ST02 (Creek baie nord) qui présente les plus faibles chiffres pour toutes les variables exceptée l'équitabilité (qui est la plus basse pour la station ST03).

Pour cette mission c'est la station ST04 qui est particulièrement riche en abondance et richesse spécifique et c'est la ST06 qui se distingue comme régulièrement pour la biomasse. La station ST11 présente les meilleurs taux pour l'indice de Shannon et l'équitabilité : c'est donc une station avec une structure des populations très homogène. Mais c'est aussi le cas de toutes les stations (tous les indices d'équitabilité sont $> 0,6$).

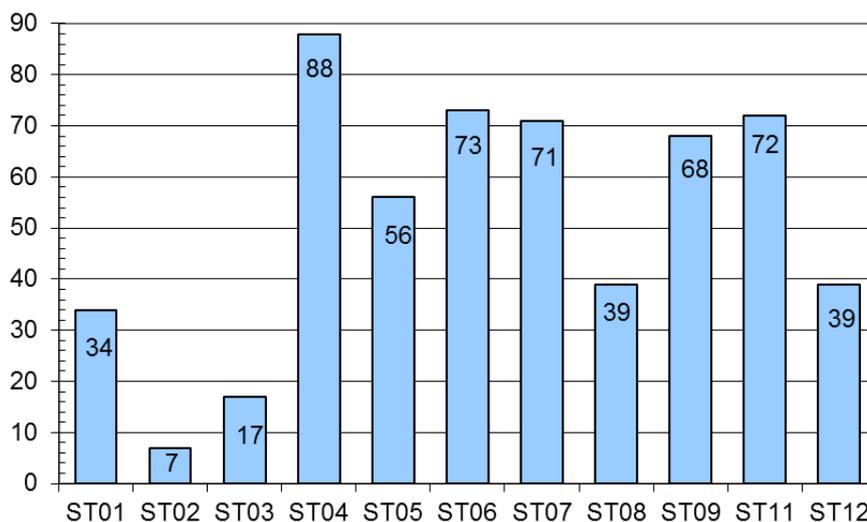
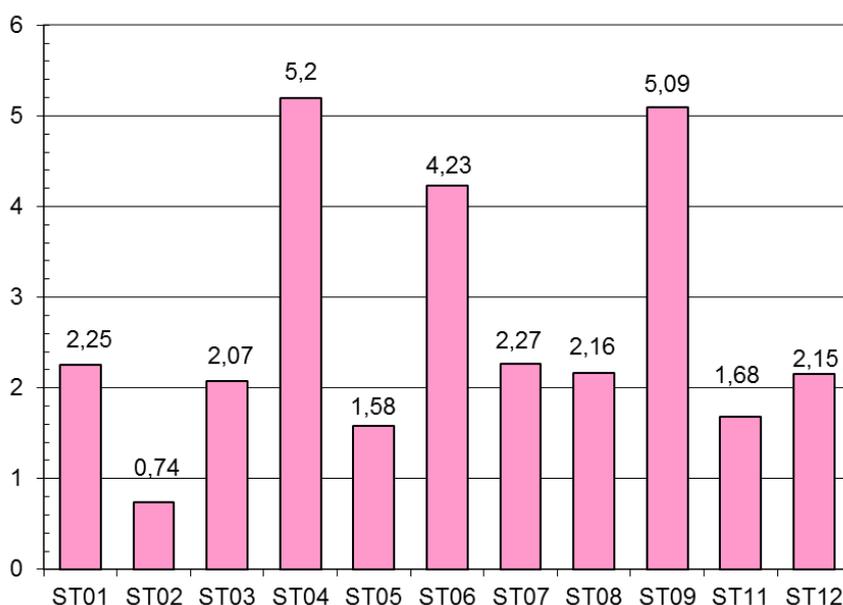


Figure n°82 : Richesse spécifique de l'ichtyofaune par station



ST01	Casy
ST02	Creek baie nord
ST03	Port
ST04	Woodin
ST05	Ioro
ST06	Ionontea
ST07	Chambeyron
ST08	Puka
ST09	Bancs Kié
ST10	Ilot Kié
ST11	Toémo
ST12	Ugo

Figure n°83 : Densité (nb ind/m²) de l'ichtyofaune par station

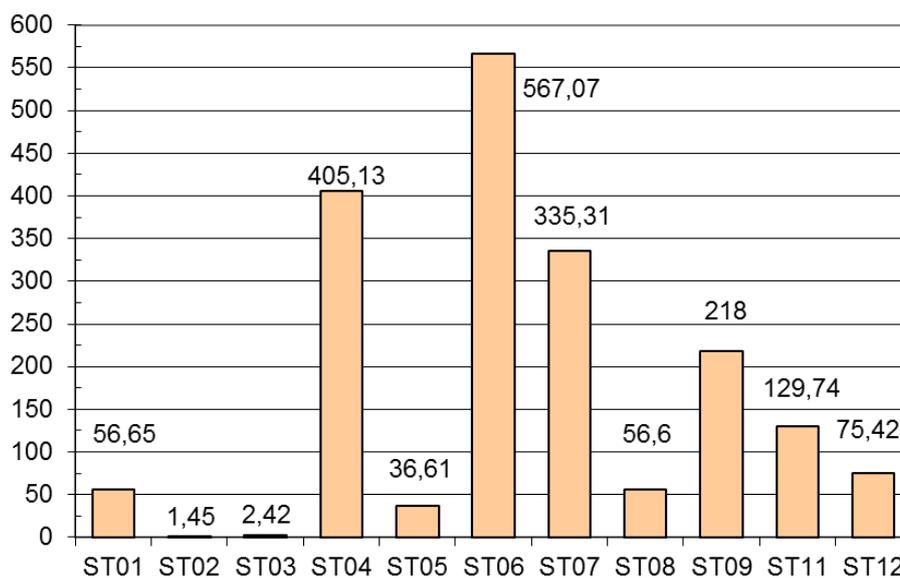


Figure n°84 : Biomasse (g/m²) de l'ichtyofaune par station



5.4 Espèces exogènes / espèces invasives / envahissantes

5.4.1 Définitions

L'introduction d'espèce exogène est préoccupante car **tous les taxons peuvent selon le contexte devenir une espèce invasive** (espèce envahissante exogène). **Les espèces invasives peuvent réguler leur croissance et s'étendre dans leur nouvel habitat en causant des perturbations dans les communautés biologiques locales.**

Espèce exogène (espèce exotique ou espèce non indigène ou espèce allochtone) : Se dit d'une espèce qui provient d'un autre pays, d'une autre région du monde, qui n'est pas native de l'endroit.

Espèce indigène (ou espèce native ou espèce autochtone) : Qualifie la nature d'une espèce particulière native d'une région particulière ; se dit d'un organisme ou d'une espèce qui est naturellement originaire (indigène, autochtone) d'un environnement ou d'une région. Son contraire est espèce non indigène ou espèce exogène ou espèce allochtone.

La notion écologique d'espèce invasive et d'espèce envahissante est récente : Pour la comprendre, il faut savoir que les équilibres entre espèces au sein des écosystèmes, à l'échelle de temps humaine au moins, sont relativement bien établis. Sans intervention humaine, les phénomènes d'extension brutale de l'aire de répartition d'une espèce sont extrêmement rares. Les besoins des sociétés humaines conduisent à l'exploitation plus ou moins intense des écosystèmes et affectent la biodiversité.

Les auteurs ne sont pas encore d'accord sur l'emploi et la définition exacte des deux termes « espèce envahissante ou invasive », ce dernier mot étant en plus un anglicisme.

Cependant, pour plus de clarté, nous arrêterons dans le présent rapport les définitions suivantes :

Espèce invasive : Une espèce invasive ou espèce envahissante exogène ou espèce exotique envahissante est une espèce non native de la zone concernée (introduite) et qui devient un agent de perturbation nuisible à la biodiversité autochtone des écosystèmes naturels ou semi-naturels parmi lesquels elle s'est établie.

Les espèces invasives peuvent réguler leur croissance et s'étendre dans leur nouvel habitat en causant des perturbations dans leur communauté biologique locale. Tous les taxons peuvent selon le contexte devenir une espèce invasive.

Espèce envahissante : espèce indigène dont le potentiel de reproduction est important et qui lors d'un développement excessif (dû à des facteurs x) pourra alors déséquilibrer son milieu.

Il faut donc bien faire la différence entre une espèce invasive (exogène à la base) et envahissante (indigène), même si les 2 phénomènes sont à surveiller du fait de leurs conséquences néfastes sur l'environnement.

5.4.2 Espèces exogènes / invasives

Les activités minières et industrielles de la société Vale Nouvelle-Calédonie génèrent un haut niveau de risque d'introduction, d'installation et de diffusion d'espèces exogènes notamment par l'importance du trafic de marchandises (en particulier via le port de Prony) et par les nombreuses voies de pénétration ouvertes dans les milieux naturels.

Au vu de l'étendue de la zone géographique (baie de Prony, canal Woodin et canal de la Havannah), de la complexité et la multiplicité des habitats présents et à la diversité importante des taxons potentiels, nos observations sur les stations d'étude biologique sont mineures et seraient à préciser et renforcer avec un plan d'échantillonnage et une méthodologie plus adaptés à la problématique des espèces exogènes, si celle-ci venait à être identifiée par les administrations compétentes.

Cependant, au cours des différentes plongées, au fur et à mesure de la détermination des espèces rencontrées, quel que soit l'embranchement, nous essayons de détecter la présence d'espèces exogènes, invasives ou non.

A ce jour aucune nouvelle espèce exogène n'a été répertoriée dans les stations de suivi biologique de la zone d'étude.

Il n'y a pas, au vu de la taille de notre échantillon, de phénomène d'invasion actuellement.



5.4.3 Espèces envahissantes

Par rapport aux taxons (indigènes) qui sont observés durant ces suivis :

- L'abondance des espèces indigènes et les variations de leur recouvrement durant l'année (depuis le suivi d'août 2007), ne présentent pas, de manière permanente, d'anomalie caractéristique d'espèce envahissante qui pourrait nuire à l'environnement.
- Cependant, une attention particulière doit être portée sur l'évolution du recouvrement de deux genres de macrophytes (*Asparagopsis* et *Lobophora*). Des investigations complémentaires seraient à mettre en place avec un pas de temps plus court (trimestriel) et une méthodologie adaptée (quadras) afin d'évaluer leur potentielle nuisance sur l'environnement ainsi que leur développement dans le temps et dans l'espace.
- **Par ailleurs, pour la première fois depuis le début du suivi, une prolifération d'*Acanthaster planci* est constatée sur 3 missions successives sur une station (ST01, Casy). Le transect A présente une prolifération d'*Acanthaster planci* depuis avril 2017 (12, 13 et 7 spécimens / 100m²). Lors du suivi de novembre 2016 un seul spécimen avait été observé (cf. § 6.2.2.3).**

Les proliférations de macro-algues dans les écosystèmes littoraux des zones tropicales et subtropicales sont une menace sérieuse pour la diversité biologique de ces milieux. Typiquement, une croissance excessive des algues est le résultat d'une variété insuffisante d'animaux consommateurs d'algues et/ou de nutriments excessifs. L'apport important de matière en suspension peut être un facteur de perturbation.

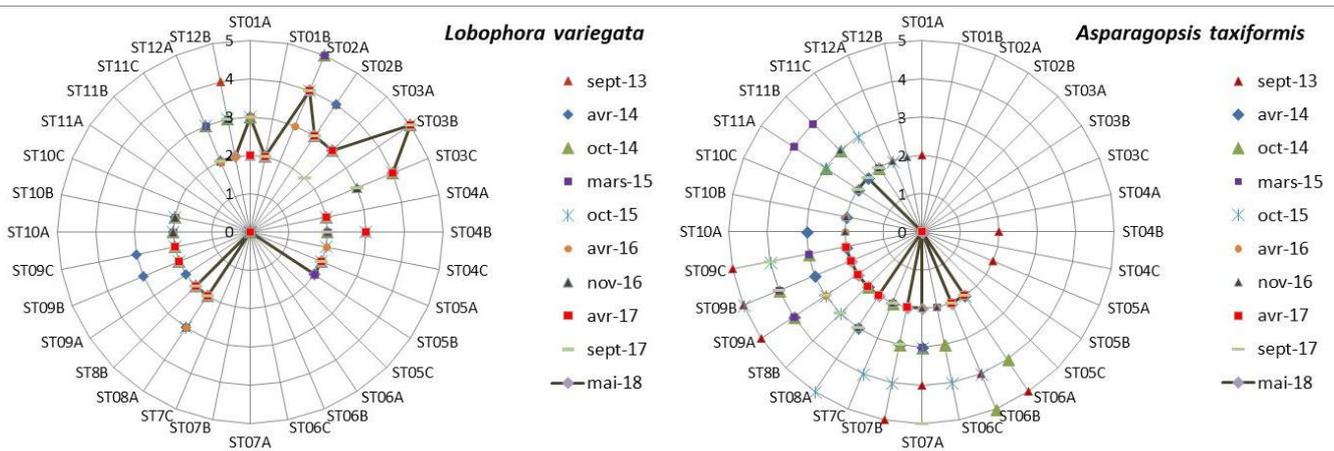


Figure n°85 : Abondance semi quantitative (1 à 5) d'*Asparagopsis taxiformis* et de *Lobophora variegata* entre septembre 2013 et mai 2018

5.4.3.1 *Asparagopsis taxiformis*

L'algue rouge du genre *Asparagopsis* présente un développement saisonnier très important (particulièrement durant la fin de l'hiver austral et le début de l'été austral : mission septembre/octobre), dans les zones caractérisées par un hydrodynamisme intense du canal de la Havannah comme le banc Ionontea (ST06), le banc de Chambeyron (ST07), les bancs Kié (ST09) et le récif Toémo (ST11). Son développement peut également être très important durant les mois de novembre/décembre sur la station de Puka (ST08). Du fait de sa prolifération, cette algue rouge pourrait entraîner des perturbations non négligeables sur les coraux durant cette période (compétition spatiale non négligeable).

Il faut noter qu'à contrario, cette algue ne se développe presque pas en baie de Prony et dans le canal Woodin.

En avril 2017, l'algue rouge *Asparagopsis* est absente dans la baie de Prony et le canal Woodin. Son recouvrement diminue largement dans le canal de la Havannah et elle est nouvellement absente des transects ST06C, ST07AC, ST11 et ST12.

En septembre 2017 l'algue rouge *Asparagopsis* est toujours absente dans la baie de Prony et le canal Woodin (milieux non adaptés au développement de cette algue). Elle se développe de manière modérée dans le canal de la Havannah (abondance en moyenne \leq niveau 3), avec des relevés plus importants en ST07A (niveau 5) et ST09BC



(niveau 4).

En mai 2018 l'algue rouge *Asparagopsis* est toujours absente dans la baie de Prony et le canal Woodin (milieux non adaptés au développement de cette algue). Depuis la mission précédente, l'abondance est en diminution pour de nombreux couloirs du réseau de suivi du canal de la Havannah (abondance \leq niveau 2).

5.4.3.2 *Lobophora variegata*

L'algue brune du genre *Lobophora* est également à surveiller avec une grande attention car elle constitue un compétiteur spatial important pour les coraux.

En effet, il s'avère que le genre *Lobophora* se développe abondamment et de manière permanente **en baie de Prony**. Pour l'instant son développement est régulier et non prolifique mais si les conditions environnementales venaient à évoluer (principalement augmentation de la turbidité), ce genre pourrait ainsi se développer à la défaveur des coraux puis étouffer une grande partie des récifs. A ce stade, le genre *Lobophora*, pourrait avoir des caractéristiques d'une espèce envahissante.

Les zones à risque sont la station du Port (ST03) et l'embouchure du creek de la baie Nord (ST02). Cette dernière station (ST02) présente une très bonne résilience du récif car les coraux branchus (*Acropora* et *Anacropora*) ont eu une croissance particulièrement importante durant l'année 2015 et ce développement a fait régresser la surface recouverte par *Lobophora*.

Dans le canal de la Havannah, le développement de cette algue reste très localisé. Son développement a augmenté lors de la mission de septembre 2013 pour les stations Puka (ST08) et Ugo (ST12), la mission d'avril 2014 pour le banc Kié (ST09) et la mission de mai 2018 pour le banc de Ioro (ST05A). Cependant, une grande partie du recouvrement algale peut être balayé lors de la sénescence des thalles pour les stations soumises régulièrement à des agents hydrodynamiques importants du canal de la Havannah. Cette algue est absente des stations ST06, ST07, ST11.

Dans le canal Woodin, le développement de cette algue était jusqu'à présent restreint. Cependant, le récif a subi un effondrement de débris occasionné par la houle résiduelle de Pam (cyclone) en mars 2015. De fait, il y a depuis un développement modéré et pérenne de l'algue *Lobophora* sur les débris (particulièrement en ST04B).

En avril 2017, le recouvrement de *Lobophora* est stable par rapport à la mission précédente. Seul le transect ST03C (niveau 4) présente une augmentation du recouvrement.

En septembre 2017, le recouvrement de *Lobophora* a tendance à évoluer par rapport à la mission précédente : hausse pour les transects ST01A et ST12AB et baisse pour ST3AC, ST04B et ST09BC.

Les transects présentant le plus fort recouvrement de *Lobophora* sont ST02A (niveau 4) et ST03B (niveau 5).

En mai 2018, le recouvrement de *Lobophora* est +/- stable par rapport à la mission précédente à part pour les transects ST05A (augmentation au niveau 2) et ST12B (diminution au niveau 2). Par ailleurs, la station du Port (ST03) enregistre encore une hausse non négligeable pour les 3 transects (respectivement niveau 3, 5, 4). La sédimentation et la turbidité affaiblissent les coraux et les thalles de cette algue brune se développent sur les colonies mortes en place

La station du Creek baie nord (ST02) présente des thalles de *Lobophora* qui se développent à la base et à travers les coraux branchus (vivants et morts). Cependant, la croissance des coraux branchus (*Acropora*, *Anacropora* et *Seriatopora*) est telle que les branches coralliennes s'accroissent par-dessus et plus vite que les algues brunes (de même pour le genre d'algue verte *Halimeda*).

→ Cette constatation caractérise un bon état de santé du récif, les paramètres environnementaux sont favorables à une croissance importante des coraux.

La station du port (ST03) ne présente pas une croissance des coraux branchus aussi importante. Les thalles de *Lobophora* sont très abondants et se développent abondamment sur les débris coralliens, les colonies mortes en place et à la base des coraux dégradées par la sédimentation.

La compétition spatiale est soutenue entre les coraux et les algues brunes (surtout en ST03B)

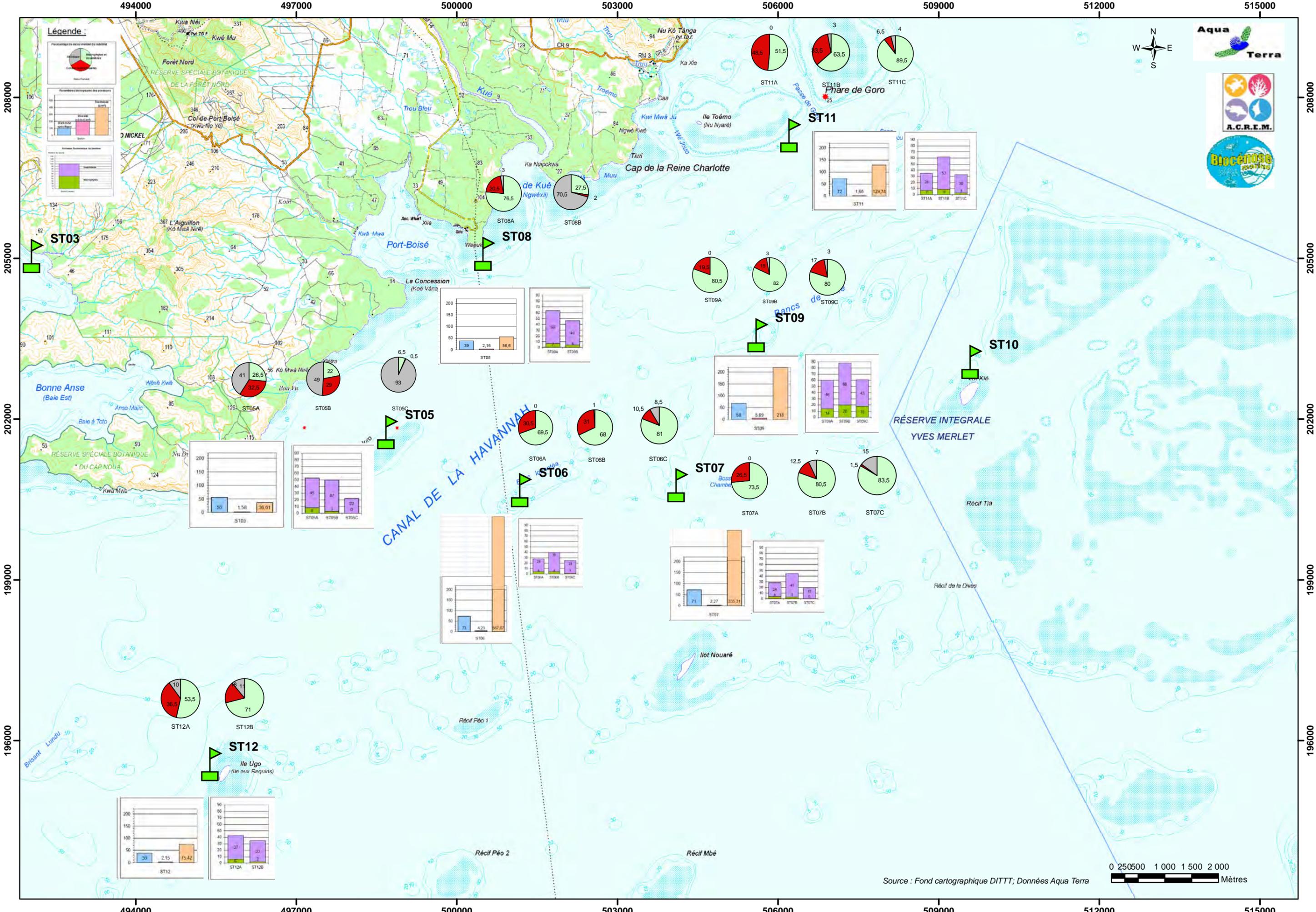
→ L'apport de particules terrigènes paraît être le facteur perturbant à la croissance corallienne pour la station ST03.

Ces deux genres sont actuellement suivis avec attention à chaque campagne.



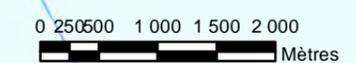


Carte n°14 : Résultats généraux - Mai 2018 : ichtyofaune, communautés benthiques, substrat par station de la baie de Prony – canal Woodin



Carte n°15 : Résultats généraux - Mai 2018 : ichtyofaune, communautés benthiques, substrat par station pour le canal de la Havannah

Source : Fond cartographique DITTT; Données Aqua Terra





6 Comparaison avec les données historiques

6.1 Substrat

Pour suivre une évolution globale, les résultats (en pourcentage de recouvrement) du biotique (en deux groupes : les coraux scléactiniaires et les autres organismes vivants, rangés sous le terme de « macrophytes et invertébrés ») et des fonds abiotiques sont comparés entre la mission actuelle et la précédente (cf. [tableau 101](#)).

Selon plusieurs études [15, 16], le LIT est une méthode présentant des variations moyennes de l'ordre de 20%, y compris pour un même opérateur.

Par ailleurs, pour les études à des fins de gestion (et non de recherche), les résultats d'enquête ne nécessitent qu'une précision de 20% et les efforts pour parvenir à une plus grande précision sont considérés par certains auteurs/chercheurs comme « une perte de temps et d'argent » [17].

Pour ces raisons et les différences dans les conditions d'exécution des différentes campagnes, seule la marge supérieure à 20% de fluctuation est conservée comme indicateur significatif.

Rappel des résultats des comparaisons pour les missions précédentes :

En avril 2016 (vs octobre 2015), globalement, il y avait très peu de variations, avec toutefois une exception marquée pour les transects supérieurs des stations ST02 (Creek baie nord) et ST04 (Woodin), où une baisse significative dans le recouvrement par les coraux scléactiniaires avait été mesurée (- 21% et - 23.5%).

Le phénomène de blanchissement (conséquence d'une anomalie positive de température de l'eau, cf. § 7.1) qui a touché la Nouvelle-Calédonie en début d'année 2016 avait été particulièrement enregistré ici.

En novembre 2016 (vs avril 2016), de façon globale les stations étaient stables, y compris pour ce qui est du recouvrement en scléactiniaires, sur les 2 transects particulièrement touchés en début d'année (ST02A et ST04A) (+1% pour chacun). Par contre le transect B de la ST02 voyait son recouvrement en coraux diminuer de 14.5%. Il fallait aussi noter -7.5% pour le transect haut (A) de ST08 (Puka). A contrario, le recouvrement corallien en ST07A (Basse Chambeyron) augmentait de 7%.

Les baisses de cette mission étaient les suites à long terme du phénomène de blanchissement du début d'année 2016. L'état de santé de la majorité des stations était cependant stable voire en légère augmentation par rapport à la mission précédente (avril 2016), ce qui laissait supposer que les dégradations étaient terminées et que le récif allait progressivement se rétablir (résilience), en l'absence d'un autre stress.

En avril 2017 (vs novembre 2016), il y avait comme régulièrement des inversions dans les taux biotique / abiotique dû à des changements dans le recouvrement du couple vase - « corail mort avec algues » pour certaines stations, mais une tendance générale à la stabilité. Pour ce qui est du recouvrement en scléactiniaires, les 2 stations touchées 1 an auparavant, voyaient l'enregistrement d'une bonne croissance globalement. Ainsi, la moyenne des variations du recouvrement en scléactiniaires par rapport à la mission précédente était un gain de 1.7%. Cela contrebalançait les pertes enregistrées en 2016 (-1.4% en avril et -0.6% en novembre) et prouvait la résilience des récifs de la zone d'étude.

En septembre 2017 :

Par rapport à la mission précédente (avril 2017), globalement les stations étaient stables : il n'y avait même (1^{ère} fois depuis le début du suivi) aucune variation significative ($\geq 20\%$).

Pour ce qui est du recouvrement en scléactiniaires, les variations se situaient entre -7% pour le transect A de la ST01 (Casy) - baisse due à la prolifération des *Acanthaster planci* - et +12% au transect A de la ST11 (Toémo). En moyenne, c'est un gain qui était enregistré (+1.86%).

L'analyse de ces résultats avec ceux de la campagne d'octobre 2015 est intéressante puisque les dernières grandes dégradations enregistrées l'avaient été en début 2016. La mission d'octobre 2015 devient ainsi la dernière référence pour un état de santé global bon.

A part deux inversions cycliques (couple sable / « corail mort avec algues » en ST04C et ST08B), il n'y avait pas de différence significative ($> 20\%$). Ainsi les taux de cette mission rejoignaient bien les moyennes observées avant les dégradations enregistrées en 2016 (résilience globale du récif).

Cependant, il faut noter que 2 transects avaient des taux de recouvrement en scléactiniaires beaucoup plus bas :

- En ST02A (-20% en septembre 2017 vs octobre 2015) : ce transect ne s'était pas « remis » du blanchissement de début 2016 et les coraux atteints étaient morts.
- En ST01A (-11.5% en septembre 2017 vs octobre 2015) : cette dégradation avait une autre cause. Elle





était récente (de l'année 2017) et était due à une attaque massive (prolifération) des *Acanthaster planci* sur la station.

En mai 2018 : (vs septembre 2017), il y a, comme régulièrement, des inversions dans les taux biotique / abiotique dû à des changements dans le recouvrement du couple vase - « corail mort avec algues » pour certaines stations (augmentation de la vase en ST02B et diminution en ST03A), mais une tendance générale à la stabilité. Pour ce qui est du recouvrement en scléactiniaires, la moyenne des variations du recouvrement en scléactiniaires par rapport à la mission précédente est une perte de 0,65%.

6.2 Benthos

6.2.1 Variation de la biodiversité α dans le temps

La biodiversité α est étudiée car c'est un paramètre biologique fort qui caractérise une station.

Les résultats obtenus de biodiversité α sur le peuplement benthique (invertébrés hors coraux durs et macrophytes) sont présentés pour chaque groupe en deux temps :

- 1/ les données de cette présente mission sont comparées directement avec les données de la mission précédente,
- 2/ l'ensemble des résultats comparables des 16 missions précédentes (à savoir celles depuis 2010) est soumis à deux tests statistiques.

Les deux analyses statistiques proposées sont : Anovar et le test de Friedman.

ANOVAR (comparaisons temporelles) : La prise en considération de l'ensemble des transects et stations de la zone donne une série statistique exploitable permet une analyse temporelle. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée 1) par l'amélioration du protocole au fur et à mesure des missions et 2) par un choix de stations très hétérogènes : baie de Prony contre canal Woodin et canal de la Havannah, et même au sein du canal de la Havannah, des stations sur des bancs à fort courant, des stations exposées aux alizés et d'autres au contraire protégées et donc à plus faible hydrodynamisme.

Test de Friedman : Le test de Friedman a sans doute dans le cas présent plus d'intérêt que celui de Kruskal & Wallis. Ce test, appelé « *test en blocs aléatoires complets* », a pour préalable d'ordonner les résultats des différents traitements à l'intérieur de chaque bloc préétablis.

Ici, sera considéré que les « traitements » sont les conditions environnementales propres à chacune des années de la série historique et que les « blocs » sont les stations qui sont chaque année réévaluée, et dans ce cas, ce sera une analyse en colonnes,

$$\chi^2_{\text{obs}} = 12 / pq(p+1) \cdot \sum Y_i^2 - 3q(p+1)$$

p et q désignant respectivement le nombre d'années (donc de colonnes) et le nombre de transects (donc de lignes). Le degré de liberté $ddl = p-1$

L'hypothèse (H_0) du test est de s'assurer que les variations observées d'année en année au niveau de chacune des stations sont bien aléatoires et donc pour chacune, le fruit du hasard et non qu'il existerait au cours du temps, une tendance globale à la hausse ou à la baisse des valeurs des paramètres choisis pour caractériser ces stations.

Il n'est pas concevable de prendre les différents niveaux bathymétriques comme réplicats pour une station du fait de leur grande hétérogénéité liée à la profondeur justement. Les données quantitatives par transect sont donc obtenues sans réplicat : il n'y a donc pas d'intervalle de confiance pour les niveaux bathymétriques.

→ Les stations ne peuvent être comparées individuellement, ni entre elles, ni d'une année sur l'autre.

Seule la considération de l'ensemble des transects de la zone comme une série statistique permet le calcul d'un intervalle de confiance. Avec ce subterfuge la comparaison temporelle de la zone (et uniquement temporelle) peut alors être faite. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée par l'hétérogénéité des stations et les fortes variances que cette hétérogénéité entraîne.



Nota Bene :

- La **station Ugo** (ST12) n'a pas été échantillonnée pour les missions de 2007 et 2008. Lorsque les résultats de Biodiversité α des missions de 2007 et 2008 sont introduits dans les tests, ces valeurs correspondent à la moyenne des missions suivantes.
- Par ailleurs, les premières années (2007 et 2008), l'augmentation de diversité des **coraux** est corrélée à la régénération du récif (résilience) mais aussi à une amélioration du protocole (jusqu'en juin 2009). Par la suite, le protocole n'a plus évolué, l'enregistrement indique seulement la croissance naturelle du récif.
NB : Depuis la mission d'avril 2017 : les coraux (sclérentiniaux et autres) (non demandés dans le cahier des charges) ne sont plus étudiés.
- De même, pour les **invertébrés** : au fur et à mesure des missions le protocole d'échantillonnage des biocénoses benthiques a été amélioré :
 - En octobre 2008 avec l'inventaire supplémentaire des actiniaires et des ascidies ;
 - En octobre 2011 avec l'inventaire plus détaillé des mollusques (gastéropodes, bivalves et nudibranches) et des ophiures (présence/absence). Le protocole d'échantillonnage est inchangé depuis ce suivi.
- A contrario, le protocole n'a jamais évolué pour les **macrophytes** : les valeurs des biodiversités α des macrophytes sont donc comparables entre toutes les missions.

6.2.1.1 Pour les invertébrés, généralités

La richesse spécifique des invertébrés est un indicateur pour évaluer l'état de santé des récifs mais les informations sont à interpréter avec une grande précaution et généralement sur une échelle de temps plus grande que celles acquises pour les coraux sclérentiniaux (indicateur le plus performant). De plus, contrairement aux coraux, les mêmes individus sont très rarement observés d'une mission à l'autre (grande mobilité et turn over des invertébrés).

En effet, les variations de mobilités des invertébrés (particulièrement : échinides, astéries, holothuries, gastéropodes et nudibranches) sont très importantes naturellement. Les espèces mobiles sont constamment à la recherche de nourriture et lorsque les conditions environnementales sont défavorables, elles ont la capacité de se déplacer vers un milieu moins perturbé. Leur absence n'est pas forcément un indicateur de perturbation et leur abondance ou présence n'est pas non plus un indicateur de bon état de santé. Il faut généralement que les perturbations soient majeures pour que le signal soit perceptible ou alors retrouver des individus ou des tests morts pour déterminer une perturbation.

Les événements hydrodynamiques (cyclone, dépression, tempête) et climatiques (Enso), la prédation, la disponibilité en nourriture et la grande mobilité des organismes benthiques sont principalement à l'origine de variation de diversité et d'abondance d'une mission à l'autre, surtout lorsque ces événements deviennent extrêmes.

Lors des événements dépressionnaires, les invertébrés sont balayés, arrachés du substrat et/ou ils se déplacent vers des zones moins perturbées (plus en profondeur). Ces perturbations subies par les récifs génèrent aussi une remobilisation du matériel corallien et sédimentaire (colonies, débris, sédiments) et par la suite le développement de cyanobactéries et de turf algal. Ces éléments remobilisés et mis à disposition sont une source de nourriture non négligeable pour les invertébrés.

D'autre part, il apparaît également qu'un nombre important d'invertébrés mobiles se protègent et se cachent sous les débris, des anfractuosités ou dans le sédiment (mollusques, astéries, ophiures, crustacés...) ainsi ils ne peuvent pas être comptabilisés dans les inventaires.

6.2.1.2 Pour les invertébrés, depuis la dernière mission

La **liste des invertébrés demandée dans le cahier des charges** ne concerne que les échinodermes (astéries, crinoïdes, échinides, holothurides), les clones, les bénitiers et les trocas. Cela n'est pas suffisant pour une bonne appréciation de la qualité des biocénoses.

De ce fait, la **liste des invertébrés traités dans cette étude** est bien plus complète et comprend les sous-groupes qui contribuent le plus à la composition caractéristique et unique de chaque récif, soient : alcyonaires, spongiaires, mollusques, ascidies, échinodermes (astéries, crinoïdes, échinides, holothurides, ophiurides, synaptes), actiniaires, zoanthaires et hydrozoaires. Elle **ne comprend plus les coraux durs**.

Par ailleurs, dans les données de richesses spécifiques, depuis octobre 2012 (compris), les décapodes et les



crustacés ne sont plus pris en compte (impossibilité sur le terrain d'échantillonner tous ces organismes, donc leur biodiversité était obligatoirement largement sous-estimée). Les moyennes pour les années précédentes ont été reprises aussi de fait.

De septembre 2017 à mai 2018, la richesse spécifique absolue des invertébrés a évolué de -1 à +16 espèces selon les transects. **Cette évolution est majoritairement positive sur l'ensemble des niveaux bathymétriques.**

- Seul le transect ST07C présente une diversité absolue négative des invertébrés (hors coraux durs) par rapport à la dernière mission (-1 taxa).

- Les transects présentant la plus grande **augmentation de diversité absolue** (comprise entre +6 et +16 espèces) sont ST01B, ST02AB, ST03B, ST04ABC, ST05AB, ST06B, ST07B, ST08AB, ST09B, ST11B et ST12AB.

6.2.1.3 Pour les invertébrés, depuis le début

Les valeurs des biodiversités α des invertébrés selon les différents transects pour toutes les missions sont résumées dans le [tableau 91](#).

Tableau n°91 : Valeur de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) pour tous les transects depuis 2010

Biodiv. α	Mai 2018*	Sept. 2017*	Avril 2017*	Nov. 2016	Avril 2016*	Oct. 2015	Mars 2015*	Oct. 2014	Avril 2014	Sept. 2013	Avril 2013*	Oct. 2012	Mars 2012	Sept. 2011	Mars 2011*	Sept. 2010	Mars 2010
ST01A	36	34	38	44	44	51	44	47	48	48	39	42	32	27	24	23	23
ST01B	38	29	32	39	35	42	46	39	37	41	29	33	28	23	18	17	18
ST02A	36	30	33	38	34	40	40	38	38	37	33	27	25	21	20	15	17
ST02B	32	22	22	27	30	32	29	28	31	28	26	30	26	24	19	17	19
ST03A	29	25	25	30	34	32	33	35	38	31	25	32	20	20	16	17	15
ST03B	26	16	21	27	30	35	29	28	35	33	26	26	22	15	9	7	5
ST03C	26	21	21	25	29	25	22	24	28	24	18	30	23	19	17	15	13
ST04A	22	16	25	24	19	30	23	28	31	24	19	22	21	22	16	18	17
ST04B	46	38	42	42	40	44	44	43	47	45	35	32	28	26	20	21	20
ST04C	25	16	23	22	23	28	24	22	28	20	18	20	24	26	24	21	19
ST05A	45	39	38	40	39	45	42	39	42	42	27	28	24	23	15	17	16
ST05B	47	36	37	42	30	32	36	34	35	40	30	33	30	31	23	22	23
ST05C	22	20	14	16	16	16	20	20	21	21	20	19	20	21	21	19	20
ST06A	24	21	18	16	17	17	13	20	26	15	19	16	20	20	7	11	15
ST06B	36	28	26	33	36	42	39	45	38	41	36	34	26	28	16	14	17
ST06C	24	19	23	32	31	28	21	28	29	38	27	26	25	25	13	14	16
ST07A	24	19	20	25	29	20	25	20	18	15	26	14	17	14	8	17	17
ST07B	41	27	36	35	39	44	36	40	38	39	31	25	27	27	20	19	19
ST07C	19	20	33	35	40	33	28	31	27	32	24	18	25	28	18	19	21
ST08A	56	40	37	41	36	39	42	42	39	34	35	50	39	34	23	24	26
ST08B	42	36	28	43	36	31	36	34	36	29	23	29	30	27	24	24	27
ST09A	46	41	36	43	39	37	44	49	46	43	39	34	32	31	20	22	26
ST09B	68	58	56	67	60	66	71	78	80	64	63	49	44	38	25	26	26
ST09C	43	39	35	40	40	47	56	57	53	54	45	44	37	36	24	25	26
ST11A	28	23	17	18	18	29	23	31	30	33	27	30	42	43	18	15	19
ST11B	53	39	37	49	41	47	53	53	50	48	45	37	45	39	22	20	24
ST11C	30	27	30	35	36	38	38	39	39	29	35	31	35	34	24	25	25
ST12A	37	30	34	44	37	46	53	41	39	40	37	38	30	20	14	19	19
ST12B	33	25	33	42	40	39	47	40	37	34	37	36	22	23	21	18	19

* Les étoiles rouges indiquent que les missions succèdent à une phase dépressionnaire

6.2.1.3.1 Analyse par Anovar

Une ANOVAR sur ce tableau de biodiversité α des invertébrés est donnée [tableau 92](#).

L'analyse des variances de la richesse spécifique des invertébrés pour les 17 dernières campagnes ne montre pas de similarité, même pour une valeur de F à 99%. Le rejet est total et l'ANOVAR n'accrédite pas l'hypothèse d'identité H_0 . Toutes les séries ont des variances différentes.

Tableau n°92 : *Analyse de la Variance de la biodiversité α des invertébrés (hors coraux durs), depuis 2010*

k1=p-1	16	F obs.	13.02
K2=n-p	476	F95%	1.66
		F99%	2.04

Tableau n°93 : *Analyse de la Variance de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) pour tous les transects depuis 2010*

	05/18*	09/17*	04/17*	11/16	04/16*	10/15	03/15*	10/14	04/14	09/13	04/13*	10/12	03/12	10/11	03/11*	09/10	03/10
Richesse spécifique moyenne	35,66	28.76	30,00	34,97	33,72	36,38	36,45	37,00	37,38	35,24	30,83	30,52	28,24	26,38	18,59	18,66	19,55
Ecart type	11,70	9.88	9,07	11,08	9,24	10,72	12,94	12,58	11,66	11,21	9,85	8,97	7,47	7,09	4,95	4,39	4,82
Intervalle de confiance (IC:0,95)	4,35	3.67	3,37	4,11	3,43	3,98	4,81	4,67	4,33	4,16	3,66	3,33	2,77	2,63	1,84	1,63	1,79
Coefficient de Variation	0,33	0.34	0,30	0,32	0,27	0,29	0,36	0,34	0,31	0,32	0,32	0,29	0,26	0,27	0,27	0,24	0,25

* Les étoiles rouges indiquent que les missions succèdent à une phase dépressionnaire

Les récifs ont subi des dégradations induites par les événements dépressionnaires Vania et Zelia (janvier 2011), Fréda (janvier 2013), Pam (mars 2015), Winston (février 2016), Cook (avril 2017), Donna (mai 2017), Fehi, Gita, Hola, Linda, Iris (janvier à mars 2018) et les événements climatiques (El Niño 2015/2016 et la Niña en 2017-2018). Selon l'intensité du phénomène et la période écoulée entre la perturbation et la mission faisant suite au phénomène, des variations (soit une baisse, soit une hausse de diversité) sont constatées pour les invertébrés selon les zones. En effet, les invertébrés peuvent être arrachés, remobilisés (capacités réduites de fixation au substrat), se déplacer ou mourir lors du phénomène perturbateur mais ils peuvent aussi recoloniser très vite les sites dégradés pour les espèces mobiles (recherche de nourriture).

Ainsi, les assemblages d'espèces par transect au sein des différents groupes d'invertébrés peuvent être très fluctuants.

Malgré ces contraintes il peut être constaté que :

- Entre juin 2009 et mars 2011, la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) paraît stable.
- Puis la diversité augmente de manière très importante pour la mission de septembre 2011, 2013 et 2016 car les invertébrés recolonisent les récifs suite aux événements dépressionnaires de ces débuts d'années. Il faut noter que cette augmentation est accentuée également par l'amélioration du protocole en 2011 avec l'inventaire plus détaillé des mollusques.
- Entre septembre 2013 et octobre 2015, la diversité absolue des invertébrés reste +/- stable.
- En avril 2016, la diversité absolue des invertébrés tend vers une légère diminution (cyclone Winston).
- En novembre 2016, la diversité absolue des invertébrés tend vers une légère hausse. Par contre, les assemblages d'espèce subissent des changements (grande mobilité des échinodermes et des gastéropodes).
- En avril 2017, la diversité absolue des invertébrés tend vers une diminution (cyclone Cook). Les perturbations ne sont pas les mêmes selon la géolocalisation mais l'ensemble du réseau de suivi est perturbé.
- En septembre 2017, la diversité absolue des invertébrés tend encore vers une légère diminution (cyclone Donna). Les perturbations ne sont pas les mêmes selon la géolocalisation : dans la baie de Prony et le canal Woodin, les groupes biotiques présentant une diminution spécifique sont plutôt les macroalgues, ascidies, éponges, échinides, holothuries et les mollusques alors que dans le canal de la Havannah ces groupes sont plutôt les astéries, échinides et gastéropodes.

En mai 2018, la diversité absolue des invertébrés augmente quasiment sur tous les transects, principalement du fait des groupes faunistiques suivants : espèces mobiles (mollusques et échinodermes : astéries, échinides, holothuries) et des espèces sessiles à faible fixation au substrat (ascidies et spongiaires).



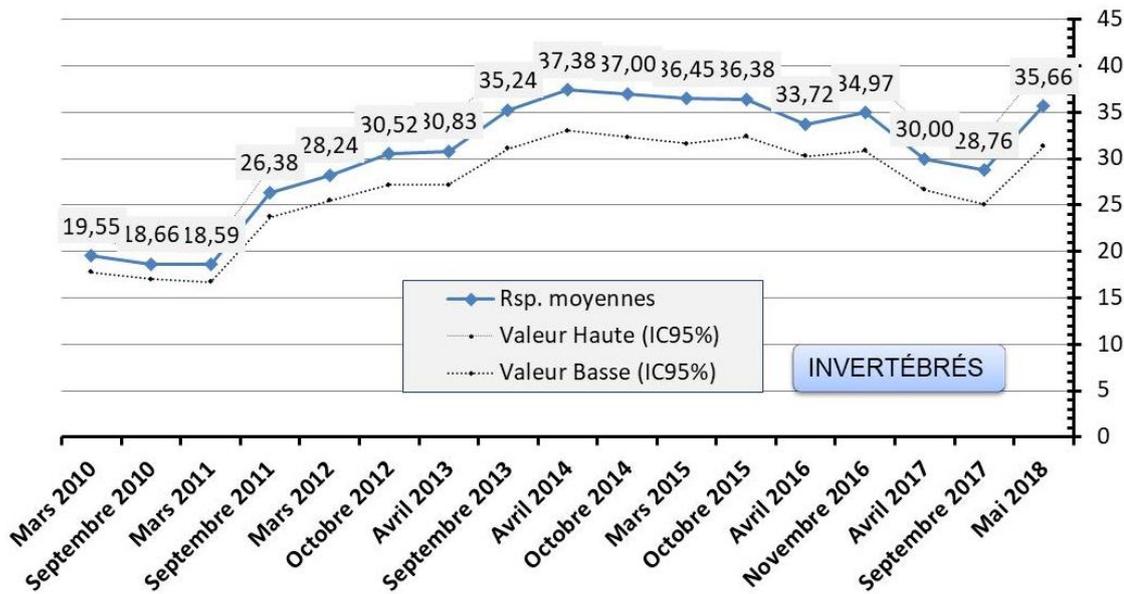


Figure n°86 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2010

Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance

6.2.1.3.2 Analyse par le test de Friedman

Il devient alors intéressant de voir s'il y a un classement des séries au cours du temps et le test de Friedman permet de répondre à ce questionnement. Pour cela, le [tableau 91](#) est considéré en classant les valeurs en ligne (de 1 à 17).

Tableau n°94 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2010

KHI 2 obs.	258.8			
Ddl = 14	Khi ² 95%	Khi ² 97,5%	Khi ² 99%	Khi ² 99,5%
Valeur Khi²	26,296	28,845	32,000	34,267

Le rejet est total et le résultat s'accorde avec celui de l'ANOVAR. La diversité des invertébrés montre des évolutions dans le temps.

Le test de Friedman permet de classer les années les unes par rapport aux autres.

L'ordonnement des séries de données marque des ruptures à chaque période dépressionnaire. Une augmentation peut également être observée en septembre 2011 (élargissement de la liste d'échantillonnage des espèces) puis toujours une tendance à l'augmentation jusqu'en octobre 2015 (résilience du récif). Ensuite, depuis avril 2016, il y a une tendance à la régression de l'ordonnement qui pourrait être liée (en partie) à la fréquence de plus en plus importante des événements dépressionnaires et climatiques.

L'ordonnement de la mission de mai 2018 est haut (niveau 13). Il n'y a pas de rupture de biodiversité suite aux dépressions. Malgré un nombre très important d'événements dépressionnaires en début d'année 2018, le recrutement et la colonisation des invertébrés (hors coraux durs) sont importants. Les raisons peuvent être la disponibilité en nourriture et le temps écoulé entre les dépressions et cette mission (un trimestre).

Tableau n°95 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2010

Rang Invertébrés	Mai 2018*	Sept. 2017*	Avril 2017*	Nov. 2016	Avril 2016*	Oct. 2015	Mars 2015*	Oct. 2014	Avril 2014	Sept. 2013	Avril 2013*	Oct. 2012	Mars 2012	Sept. 2011	Mars 2011*	Sept. 2010	Mars 2010
ST01A	7	6	8	12	12	17	12	15	15	15	9	10	5	2,5	2,5	2,5	2,5
ST01B	13,5	6	8	13,5	10	16	17	13,5	11	13,5	6	9	6	4	2	2	2
ST02A	11	7	8,5	13,5	10	16,5	16,5	13,5	13,5	13,5	8,5	6	5	4	3	1	2
ST02B	16	4,5	4,5	8	13,5	16	12	10,5	16	10,5	8	13,5	8	6	2	2	2
ST03A	9,5	7	7	9,5	15	12,5	12,5	16	17	12,5	7	12,5	4,5	4,5	1,5	3	1,5
ST03B	10	4,5	6	10	13,5	16,5	13,5	10	16,5	15	10	10	7	4,5	2	2	2
ST03C	13	6,5	6,5	13	16,5	13	8,5	10,5	15	10,5	4	16,5	8,5	5	3	2	1

ST04A	10,5	1,5	14	10,5	5,5	16	10,5	15	17	10,5	5,5	10,5	7	10,5	1,5	3,5	3,5
ST04B	14	8	10,5	10,5	9	14	14	14	17	14	7	6	5	4	2	2	2
ST04C	14	1	9,5	7,5	9,5	16,5	12	7,5	16,5	4,5	2,5	4,5	12	15	12	6	2,5
ST05A	16,5	9,5	9,5	13,5	9,5	16,5	13,5	9,5	13,5	13,5	5,5	5,5	5,5	5,5	2	2	2
ST05B	17	12	14	16	5,5	8	12	10	12	15	5,5	9	5,5	5,5	2	2	2
ST05C	15	8,5	1	3	3	3	8,5	8,5	15	15	8,5	8,5	8,5	15	15	8,5	8,5
ST06A	16,5	13,5	10	5,5	8,5	8,5	3	13,5	16,5	5,5	11	5,5	13,5	13,5	1	2	5,5
ST06B	10,5	5,5	5,5	8	10,5	15,5	13,5	17	13,5	15,5	10,5	10,5	5,5	5,5	2	2	2
ST06C	6,5	4	6,5	16	15	12	5	12	14	17	12	9	9	9	1,5	1,5	3
ST07A	14,5	10	10	14,5	17	10	14,5	10	10	4	14,5	2,5	6	2,5	1	6	6
ST07B	16	5,5	10,5	9	13	17	10,5	15	13	13	8	5,5	5,5	5,5	2	2	2
ST07C	3	3	14,5	14,5	17	14,5	10,5	12	8,5	14,5	7	3	8,5	10,5	3	3	6
ST08A	17	13,5	7,5	13,5	7,5	10	13,5	13,5	10	5	5	16	10	5	2	2	2
ST08B	16,5	13	5	16,5	13	10	13	13	13	8	2	8	8	5	2	2	5
ST09A	15,5	11	7	12,5	9,5	8	14	17	15,5	12,5	9,5	6	5	4	1	2	3
ST09B	13,5	8	7	13,5	9	12	15	16	17	10,5	10,5	6	5	4	2	2	2
ST09C	10,5	7	4	8,5	8,5	12,5	15,5	15,5	15,5	15,5	12,5	10,5	5,5	5,5	2	2	2
ST11A	10	7,5	4	4	4	10	7,5	13	13	15	10	13	16,5	16,5	4	1	4
ST11B	16	5,5	5,5	13	8	11	16	16	13	13	9,5	5,5	9,5	5,5	2	2	2
ST11C	7	4	7	10,5	13	14,5	14,5	16,5	16,5	5	10,5	7	10,5	10,5	2	2	2
ST12A	9,5	5,5	7	15	9,5	16	17	14	12,5	12,5	9,5	9,5	5,5	4	1	2,5	2,5
ST12B	8	6	8	16	14	14	17	14	11	8	11	11	3	5	3	1	3
Somme des rangs (ΣRg)	357,5	204,5	226	331	309,5	377	362,5	381,5	407,5	337,5	240	250	214	197,5	82	73,5	85,5
Ordonnement	13	5	7	11	10	15	14	16	17	12	8	9	6	4	2	1	3

* Les étoiles rouges indiquent que les missions succèdent à une phase dépressionnaire

6.2.1.4 Pour les macrophytes, généralités

La richesse spécifique et l'abondance des algues sont très variables dans l'année et dans le temps et dépendent : 1) du cycle de développement des espèces ; 2) des variations des paramètres environnementaux (saisonnalité) ; 3) du degré d'exposition des récifs par rapport aux agents hydrodynamiques, ainsi que 4) des facteurs environnementaux exceptionnels tels que les événements dépressionnaires et les phénomènes climatiques.

De manière générale, la **biodiversité** est plus faible pour les niveaux bathymétriques les plus profonds. Cela s'expliquant entre autre par la baisse de la pénétration de la lumière dans l'eau par rapport à la profondeur. Les niveaux supérieur et médian sont généralement très similaires selon chaque site et le recouvrement des macrophytes dépendra de leur degré d'exposition aux agents hydrodynamiques, de la sédimentation et de la dessalure des eaux de surface.

Certaines espèces vont être typiques pour un biotope considéré et selon la saisonnalité, elles vont plus ou moins dominer (l'hydrodynamisme et la température de l'eau vont influencer leur développement et/ou la sénescence).

L'**abondance** des principales macrophytes se répartie de la manière suivante :

- Les **algues rouges** sont très abondantes durant l'été austral (particulièrement *Asparagopsis* et dans une moindre mesure *Trichogloea* et *Plocanium*) mais disparaissent quasiment durant la période hivernale. *Asparagopsis taxiformis* montrent les plus grandes variations saisonnières de diversité et de recouvrement. Cette espèce aurait un caractère envahissant (cf. § 5.4.3.1) durant l'été austral sur les récifs du canal de la Havannah et elle pourrait entraîner des perturbations sérieuses sur les coraux durant cette période (compétition spatiale non négligeable).
- Les **algues brunes** sont plus pérennes mais augmentent d'abondance au début l'été austral (septembre, octobre et novembre) par le développement des genres *Sargassum*, *Turbinaria*, *Padina*. Le genre *Lobophora* se développe abondamment et de manière permanente en baie de Prony. Ce genre pourrait également avoir des caractéristiques d'une espèce envahissante (cf. § 5.4.3.2) si les conditions environnementales venaient à affaiblir les coraux.
- Les **algues vertes** sont présentes toutes l'année avec cependant une majorité durant la période estivale (développement des genres *Halimeda*, *Caulerpa*, *Codium*).

La transition entre les saisons n'est pas toujours évidente à déterminer en Nouvelle-Calédonie car les saisons chaudes et fraîche vs les saisons humide et sèche se recoupent.

Le nombre d'espèces de macrophytes d'un milieu variera peu car il reste souvent quelques thalles, c'est plutôt leur abondance ou recouvrement qui va évoluer selon les saisons (été/hiver/période el Niño/dépression).





La périodicité d'échantillonnage semestrielle des relevés de suivi biologique n'est pas adaptée aux cycles de développement des macrophytes. Les missions semestrielles septembre/octobre et de mars/avril ne permettent pas d'appréhender les valeurs maximales et minimales de diversité et de recouvrement.

Un suivi des macrophytes sur une période trimestrielle serait plus adéquat pour identifier l'ensemble des variations et surtout les amplitudes maximales et minimales de diversité et d'abondance.

Cependant, ces relevés permettent d'appréhender dans le temps, si certains genres ou espèces deviennent envahissants ou invasifs par rapport au reste des communautés coralliennes.

Ainsi, le recouvrement des macrophytes est particulièrement important pour deux genres *Asparagopsis* et *Lobophora* (cf. § 5.4.3) respectivement dans le canal de la Havannah et la baie de Prony.

6.2.1.5 Pour les macrophytes, depuis le début

Les valeurs des biodiversités α des **macrophytes** selon des différents transects pour toutes les missions sont résumées dans le [tableau 96](#).

Tableau n°96 : *Valeur de la richesse spécifique des macrophytes pour tous les transects depuis 2010*

Biodiv. α	Mai 2018*	Sept. 2017*	Avril 2017*	Nov. 2016	Avril 2016*	Oct. 2015	Mars 2015*	Oct. 2014	Avril 2014	Sept. 2013	Avril 2013*	Oct. 2012	Mars 2012	Sept. 2011	Mars 2011*	Sept. 2010	Mars 2010
ST01A	3	3	4	8	5	6	7	8	6	8	5	9	7	8	7	7	6
ST01B	4	2	3	5	5	6	7	8	7	8	7	8	7	9	7	8	6
ST02A	5	6	6	5	6	6	7	6	5	5	6	8	5	5	5	5	5
ST02B	4	5	5	5	5	6	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5
ST03A	6	5	6	5	7	8	7	6	6	6	8	10	8	7	6	8	8
ST03B	3	4	5	8	6	8	5	5	6	5	6	6	6	5	5	5	5
ST03C	3	5	8	5	6	6	5	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5
ST04A	2	2	6	5	4	4	5	5	5	7	4	8	7	5	4	4	5
ST04B	3	3	4	4	4	6	5	4	6	7	4	5	4	3	3	3	3
ST04C	0	0	0	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
ST05A	8	5	5	6	5	7	5	7	7	9	6	8	6	4	4	5	5
ST05B	3	2	1	2	2	2	4	5	5	5	3	4	3	2	2	1	4
ST05C	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	1	1	1	1	2	2	2
ST06A	4	2	3	2	1	3	3	4	2	2	2	5	3	5	2	6	6
ST06B	4	3	7	5	6	7	8	8	7	7	4	8	5	7	4	7	5
ST06C	1	2	2	4	5	4	7	6	6	5	3	7	5	7	3	4	3
ST07A	4	3	1	2	3	4	4	4	3	3	1	3	4	3	2	4	7
ST07B	3	3	5	3	4	6	5	8	7	5	3	6	4	2	0	2	4
ST07C	0	1	0	2	3	4	4	6	6	2	2	4	3	4	0	0	0
ST08A	7	5	7	11	8	8	9	8	10	8	6	13	8	9	6	5	5
ST08B	4	5	5	5	4	5	6	6	7	4	4	8	6	10	4	4	4
ST09A	14	11	13	14	10	11	12	17	18	11	10	13	10	7	5	4	6
ST09B	20	21	21	22	17	21	22	24	20	14	15	16	13	9	8	9	9
ST09C	18	19	20	21	17	19	19	20	17	12	9	16	12	9	9	7	11
ST11A	7	5	3	5	1	9	4	9	6	8	4	6	6	7	3	3	7
ST11B	9	6	5	10	6	9	8	11	7	7	8	9	9	8	6	6	4
ST11C	3	4	4	6	6	5	4	4	4	4	7	8	3	6	3	1	2
ST12A	6	2	4	8	4	10	9	9	6	5	3	7	4	3	4	4	3
ST12B	2	2	2	6	3	6	7	7	4	2	2	3	3	0	3	2	2

* Les étoiles rouges indiquent que les missions succèdent à une phase dépressionnaire

6.2.1.5.1 Analyse par Anovar

Une ANOVAR sur ce tableau de biodiversité α des macrophytes est donnée [tableau 97](#).

L'analyse des variances de la richesse spécifique des macrophytes pour les 17 dernières campagnes ne montre pas de similarité (la valeur de Fobs est comprise entre 95% et 99%). Le rejet est total et l'ANOVAR n'accrédite pas l'hypothèse d'identité H_0 . Toutes les séries ont des variances différentes.



Tableau n°97 : *Analyse de la Variance de la biodiversité α des macrophytes depuis 2010*

k1=p-1	16	F obs.	1.96
K2=n-p	476	F95%	1.66
		F99%	2.04

Tableau n°98 : *Analyse de la Variance de la richesse spécifique des macrophytes pour tous les transects depuis 2010*

	05/18*	09/17*	04/17*	11/16	04/16*	10/15	03/15*	10/14	04/14	09/13	04/13*	10/12	03/12	10/11	03/11*	09/10	03/10
Richesse spécifique moyenne	5.17	4.69	5,34	6,38	5,34	6,83	6,72	7,45	6,69	5,86	4,93	7,24	5,62	5,38	4,07	4,38	4,76
Ecart type	4.83	4.77	5,01	5,16	3,88	4,40	4,49	5,07	4,45	3,11	3,09	3,77	2,88	2,76	2,22	2,32	2,36
Intervalle de confiance (IC. 0,95)	1.76	1.74	1,82	1,88	1,41	1,60	1,63	1,84	1,62	1,13	1,13	1,37	1,05	1,00	0,81	0,84	0,86
Coefficient de Variation	0.93	1.02	0,94	0,81	0,73	0,64	0,67	0,68	0,67	0,53	0,63	0,52	0,51	0,51	0,55	0,53	0,49

* Les étoiles rouges indiquent que les missions succèdent à une phase dépressionnaire

Il y a des différences entre les missions, du point de vue quantitatif puisque les structures sont les mêmes. Le protocole n'ayant jamais évolué pour les macrophytes, se sont les variations saisonnières ou induites par une dépression qui peuvent être enregistrées.

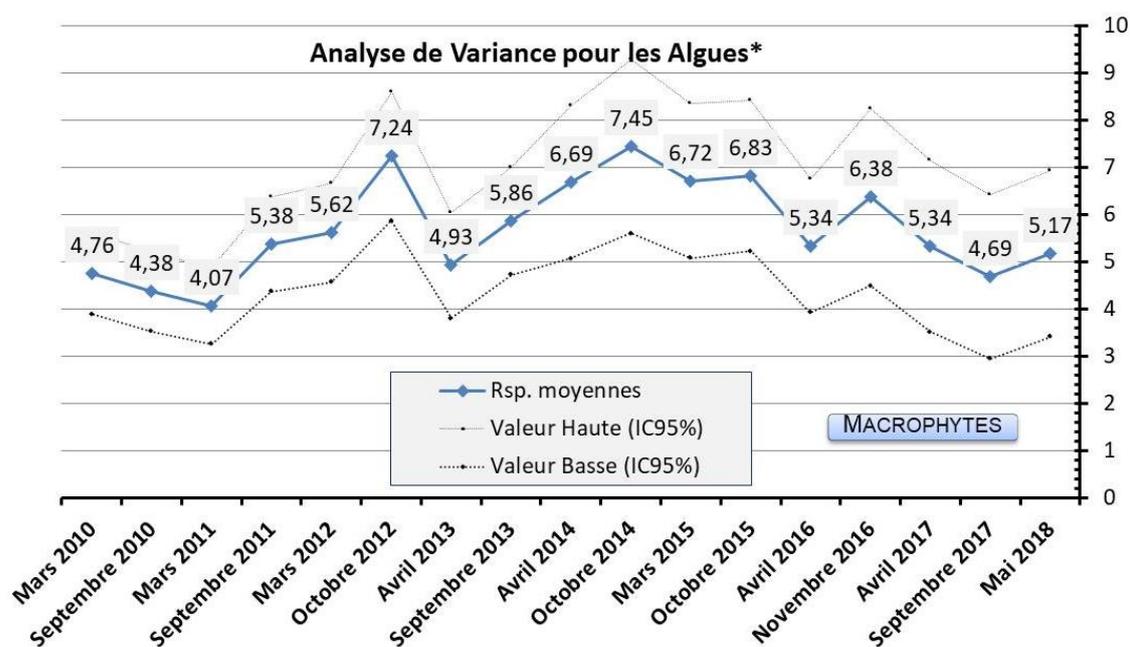


Figure n°87 : *Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes depuis 2010*
Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance

6.2.1.5.2 Analyse par le test de Friedman

Il devient alors intéressant de voir s'il y a un classement des séries au cours du temps et le test de Friedman permet de répondre à ce questionnement. Pour cela, le [tableau 96](#) sera considéré en classant les valeurs en ligne (de 1 à 16).

Tableau n°99 : *Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique des macrophytes depuis 2010*

KHI 2 obs.	108.8			
Ddl = 14	Khi² 95%	Khi² 97,5%	Khi² 99%	Khi² 99,5%
Valeur Khi²	26,296	28,845	32,000	34,267



L'Ho d'identité de colonnes n'est pas vérifiée. Le rejet est important et ce test montre que des variations de biodiversité existent entre les missions. La diversité des macrophytes subie des évolutions dans le temps (saisonnalité, évènements dépressionnaires et climatiques).

Le test de Friedman permet de classer les années les unes par rapport aux autres et il apparaît que ces résultats confirment que :

- Le classement des missions n'est pas chronologique et il s'apparenterait plus ou moins à une saisonnalité additionnée à des perturbations mécaniques induites par des évènements dépressionnaires.
- Les valeurs de biodiversité des macrophytes sont faibles durant la saison hivernale en août 2007 (saison fraîche et sèche) et mars / avril 2010, 2011, 2013, 2016, 2017 et 2018 (saison humide et fin de saison chaude).
- Cependant, en avril 2014 et mars 2015, la diversité a tendance à rester stable (phase el Niño avortée). La sénescence des macrophytes paraît être légèrement décalée de quelques mois.
- De plus, les valeurs les plus basses de diversité coïncident avec les phases dépressionnaires (mars 2011, avril 2013, avril 2016 et mai 2018). Les algues sont balayées des récifs exposés, particulièrement pour les niveaux supérieurs et médians, durant les évènements hydrodynamiques intenses.
- Les valeurs de biodiversité sont les plus fortes en saison estivale (septembre / octobre) 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 et 2016. Les algues rouges se développent durant cette période.
- La diversité des macrophytes de la mission septembre 2017 est anormalement basse (hypothèse de l'entrée de l'épisode la Niña).

→ **La diversité dépend des paramètres environnementaux et elle est contrainte par la saisonnalité et les évènements exceptionnels (naturels ou anthropiques).**

Tableau n°100 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des macrophytes depuis 2010

Rang Macrophytes	Mai 2018*	Sept. 2017*	Avril 2017*	Nov. 2016	Avril 2016*	Oct. 2015	Mars 2015*	Oct. 2014	Avril 2014	Sept. 2013	Avril 2013*	Oct. 2012	Mars 2012	Sept. 2011	Mars 2011*	Sept. 2010	Mars 2010
ST01A	1,5	1,5	3	14,5	4,5	7	10,5	14,5	7	14,5	4,5	17	10,5	14,5	10,5	10,5	7
ST01B	3	1	2	4,5	4,5	6,5	10	14,5	10	14,5	10	14,5	10	17	10	14,5	6,5
ST02A	5	12,5	12,5	5	12,5	12,5	16	12,5	5	5	12,5	17	5	5	5	5	5
ST02B	2	10	10	10	10	17	10	10	2	2	10	10	10	10	10	10	10
ST03A	5,5	1,5	5,5	1,5	10	14	10	5,5	5,5	5,5	14	17	14	10	5,5	14	14
ST03B	1	2	6,5	16,5	13	16,5	6,5	6,5	13	6,5	13	13	13	6,5	6,5	6,5	6,5
ST03C	1,5	10	17	10	15,5	15,5	10	4	4	1,5	4	10	10	10	10	10	10
ST04A	1,5	1,5	14	10,5	5	5	10,5	10,5	10,5	15,5	5	17	15,5	10,5	5	5	10,5
ST04B	3,5	3,5	9,5	9,5	9,5	15,5	13,5	9,5	15,5	17	9,5	13,5	9,5	3,5	3,5	3,5	3,5
ST04C	2	2	2	9	16	16	9	9	16	9	9	9	9	9	9	9	9
ST05A	15,5	5,5	5,5	10	5,5	13	5,5	13	13	17	10	15,5	10	1,5	1,5	5,5	5,5
ST05B	10	5,5	1,5	5,5	5,5	5,5	13	16	16	16	10	13	10	5,5	5,5	1,5	13
ST05C	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	10	10	10	17	10	10	10	10	15	15	15
ST06A	12,5	4,5	9,5	4,5	1	9,5	9,5	12,5	4,5	4,5	4,5	14,5	9,5	14,5	4,5	16,5	16,5
ST06B	3	1	11,5	6	8	11,5	16	16	11,5	11,5	3	16	6	11,5	3	11,5	6
ST06C	1	2,5	2,5	8	11	8	16	13,5	13,5	11	5	16	11	16	5	8	5
ST07A	13,5	7,5	1,5	3,5	7,5	13,5	13,5	13,5	7,5	7,5	1,5	7,5	13,5	7,5	3,5	13,5	17
ST07B	5,5	5,5	12	5,5	9	14,5	12	17	16	12	5,5	14,5	9	2,5	1	2,5	9
ST07C	3	6	3	8	10,5	13,5	13,5	16,5	16,5	8	8	13,5	10,5	13,5	3	3	3
ST08A	6,5	2	6,5	16	10	10	13,5	10	15	10	4,5	17	10	13,5	4,5	2	2
ST08B	4	9,5	9,5	9,5	4	9,5	13	13	15	4	4	16	13	17	4	4	4
ST09A	14,5	7,5	12,5	14,5	7,5	7,5	11	16,5	16,5	7,5	7,5	12,5	7,5	4	1,5	1,5	3
ST09B	13	13	13	13	8,5	13	13	17	13	6,5	6,5	8,5	5	2,5	2,5	2,5	2,5
ST09C	10	14	14	17	10	14	14	14	10	6,5	2,5	8	6,5	2,5	2,5	2,5	5
ST11A	13	7,5	3	7,5	1	16,5	5,5	16,5	10	15	5,5	10	10	13	3	3	13
ST11B	13,5	4,5	2	16	4,5	13,5	10	17	7,5	7,5	10	13,5	13,5	10	4,5	4,5	1
ST11C	4	8,5	8,5	14	14	12	8,5	8,5	8,5	8,5	16	17	4	14	4	1	2
ST12A	11,5	2,5	7	14	7	16	16	16	11,5	10	2,5	13	7	2,5	7	7	2,5
ST12B	5	5	5	14,5	10,5	14,5	16,5	16,5	13	5	5	10,5	10,5	1	10,5	5	5
Somme des rangs (ΣRg)	189	161	213,5	281,5	239	344,5	336	369,5	317	276	213	384,5	283	258,5	161	198	212
Ordonnance ment	3	1,5	7	11	8	15	14	16	13	10	6	17	12	9	1,5	4	5

* Les étoiles rouges indiquent que les missions succèdent à une phase dépressionnaire





L'ordonnement des séries de données marque des ruptures à chaque période dépressionnaire, avec également une saisonnalité et un maximum de diversité durant la saison estivale (2nde mission semestrielle : septembre -octobre).

Par contre l'ordonnement de la mission de mai 2018 augmente légèrement (niveau 3). Une période d'un trimestre s'est écoulée depuis les nombreux évènements dépressionnaires du début d'année 2018. Les macrophytes ont eu le temps de recoloniser les différents substrats (surtout pour les stations les plus exposées au ressac et à la houle du canal de la Havannah).





6.2.2 Indicateurs de l'état de santé des récifs de la zone d'étude

Après avoir réalisé l'étude de la richesse spécifique globale pour chaque transect il est intéressant d'étudier plus précisément le fonctionnement de stabilisation et de régénération des récifs.

Différents indicateurs de l'état de santé des récifs ont donc été retenus (figures 89 à 91) :

- le blanchissement corallien,
- les maladies coralliennes,
- les principales espèces concurrentes.

Pour chacun, le nombre d'espèces (occurrence) concernées a été comptabilisé.

6.2.2.1 Le blanchissement des coraux

Le blanchissement corallien donne des indications de l'état de santé et de l'affaiblissement des récifs **sur le court terme** car cet état est transitoire et ne peut pas durer plus de deux ou trois mois sur la même colonie. Soit la colonie réintègre ces zooxanthelles (polypes encore présents bien sûr) soit elle meurt puis est recouverte par du sédiment, du gazon algal (turf) ou des cyanobactéries puis par les algues calcaires.

Les colonies blanchies ne sont pas vouées à mourir si les polypes sont encore présents (donc hors maladie de la bande blanche et hors prédation) car la résilience de nombreuses espèces est importante. Elles peuvent réintégrées rapidement des zooxanthelles si les conditions environnementales redeviennent « normales ». Les espèces coralliennes ne vont pas avoir la même résilience face aux variations de l'environnement et leur résilience sera également dépendante de leur physiologie et de leur métabolisme : certaines espèces sont donc plus résistantes et avec également une résilience plus rapide. Cependant, si les espèces subissent un stress durant une période relativement longue, elles auront généralement peu de chance de survie.

Le blanchissement des coraux peut être la conséquence de perturbations multiples et variées (anomalies de un ou plusieurs paramètres de l'environnement, fragmentation, lésions, maladies, prédatons). Chacune de ces perturbations a des caractéristiques propres sur le terrain qui sont observées par les spécialistes.

L'augmentation de l'intensité lumineuse ou de la température entraîne une augmentation de la photosynthèse des algues symbiotiques qui se mettent à produire de nombreuses molécules oxygénées toxiques. Ce sont ces molécules qui seraient à l'origine de l'expulsion et de la mort des zooxanthelles. Cela se traduit par le blanchissement des colonies coralliennes (avec maintien des polypes).

Bien sûr si les colonies sont dépourvues de polypes (maladie de la bande blanche, étouffement par les dépôts sédimentaire et/ou prédation), elles meurent en place.

D'autre part, les paramètres de l'environnement vont le plus varier dans les niveaux bathymétriques supérieurs (hydrodynamisme, température, dessalure, ...). Certaines espèces coralliennes sont plus sensibles que d'autres aux variations de ces paramètres (*Seriatopora hystrix*, *Pocillopora damicornis*, *Stylophora pistillata*, *Acropora* branchu et tabulaire, *Isopora palifera*...). Mais paradoxalement ces espèces vont coloniser ces niveaux bathymétriques supérieurs car elles ont besoins de lumière pour se développer. Elles sont donc vouées à être perturbées.

Ainsi le blanchissement corallien va dépendre des variations des paramètres de l'environnement, du recouvrement corallien disponible mais aussi de l'assemblage des espèces, de leur abondance et de leur répartition sur un récif.

En résumé :

Une colonie corallienne blanchie n'est pas forcément morte. A condition qu'il y ait encore les polypes, cet état physiologique peut être transitoire. Par contre, si la colonie n'a pas réintégré de zooxanthelles avant 2 ou 3 mois elle aura de très forte chance de mourir.

- ✓ **Les colonies coralliennes blanchies, en place, sans polype** sont mortes. Elles peuvent caractériser la maladie de la bande blanche, l'étouffement par les dépôts sédimentaires et/ou la prédation par les corallivores. Ces perturbations entraînent inexorablement la mort des coraux. Ces colonies viennent juste de mourir lors de l'observation car la colonisation par le turf et les corallines est très rapide (< quelques semaines).
- ✓ **Les colonies coralliennes blanchies, en place, avec polypes** : le sont suite à un stress. Si les conditions environnementales redeviennent « normales » rapidement ces colonies coralliennes peuvent potentiellement réintégrer des zooxanthelles et continuer leur édification.
- ✓ **Les colonies coralliennes blanchies, fragmentées/retournées, avec polypes** : peuvent réintégrer des zooxanthelles et continuer leur édification si elles ne sont pas à nouveau remaniées. Ces perturbations seront observées en majorité sur les récifs exposés aux agents hydrodynamiques. Cette fragmentation peut entraîner, par gravité, des couloirs d'effondrement et des zones d'accumulation de débris en bas des récifs.



Le blanchissement corallien peut être abordé à travers 2 types de mesure :

- le recouvrement par des colonies coralliennes blanchies
- le nombre d'espèces coralliennes blanchies.

Pour ce suivi, le cahier des charges ne comprenant pas l'étude des coraux, seul le recouvrement a été noté.

Le recouvrement des colonies coralliennes blanchies

Le réseau de suivi biologique ne dispose pas de transects sur les platiers pour faire les évaluations quantitatives des différentes perturbations impliquant le blanchissement (dessalure, UV, turbidité, température). La plupart des stations de suivi sont implantées sous 7 à 8 m de profondeur.

Cependant, nous prospectons à chaque fois les platiers peu profonds afin de récolter des données qualitatives des phénomènes (photographies *in situ* et observations d'espèces).

En **avril 2016**, le recouvrement de coraux blanchis était très important sur les platiers de la baie de Prony et du canal Woodin jusqu'à 5 m de profondeur (anomalies de température et dessalure de février 2016 durant le phénomène El Niño).

→ Les couvertures de corail blanchi les plus importantes relevées se situaient en ST01A (4 m²), ST02A (4,2 m²) et surtout en ST04A (32 m²).

Le canal de la Havannah était beaucoup moins influencé par ce phénomène car les masses d'eaux sont beaucoup plus brassées et leur circulation est importante. Par contre, le passage de la dépression Winston avait d'avantage perturbé les communautés récifales dans cette zone : les colonies blanchies étaient la plupart du temps désolidarisées du substrat et plus dispersées.

La période du 10 février au 15 avril 2016 marque le phénomène de blanchissement corallien le plus important observé sur l'ensemble des récifs de la Nouvelle-Calédonie depuis 1996.

En **novembre 2016**, le blanchissement avait considérablement diminué. Les colonies blanchies de la mission précédentes avaient pour la plupart réintégré une partie (voir l'intégralité) de leurs zooxanthelles ou alors elles étaient mortes (cf. § mortalité corallienne dans le rapport ad hoc [10]).

La couverture de coraux blanchis était désormais très faible : la plus importante se situait en ST03A (1.3 m²) et ST01A, ST04A, ST10B (0.9 m²).

En **avril 2017**, le recouvrement de coraux blanchis était toujours relativement faible. Cependant, quelques transects présentaient des dégradations ponctuelles. L'ensemble de ces colonies blanchies étaient sans polype donc mortes très récemment.

→ Les couvertures de coraux blanchis les plus importantes se situaient en stations suivantes :

- *Acanthaster planci* : ST01A (3,5 m²)
- Maladie de la bande blanche : ST04A B, ST06AB (1,5 m² et 1,2 m²), ST09A B C (1,1 m², 1,2 m² et 1 m²).

En **septembre 2017**, le recouvrement de coraux blanchis était relativement faible et il était réparti de manière hétérogène. Ainsi certains transects ne présentaient pas du tout de blanchissement et d'autres avaient des dégradations ponctuelles. Les perturbations avaient différentes origines selon les habitats (prédation, maladie de la bande blanche, hydrodynamisme). L'ensemble de ces colonies blanchies était sans polype donc elles étaient mortes très récemment.

→ Les couvertures de coraux blanchis les plus importantes se situaient sur les stations suivantes :

- *Acanthaster planci* : ST01A B (respectivement 3 m² et 2 m²) : il faut noter la prolifération d'*Acanthaster* en ST01 en 2017
- Maladie de la bande blanche : Quasiment tous les transects du canal de la Havannah et Woodin présentaient une ou deux colonies avec cette maladie. Le recouvrement blanchi induit le plus important était localisé en ST04B (0,5 m²), ST06A (0.5 m²), ST07A (1 m²), ST08A B (respectivement 1,5 m² et 0,8 m²).

En **mai 2018**, le recouvrement de coraux blanchis est relativement faible et les colonies blanchies ont été recensées en grande majorité sans polype (mortalité entière ou partielle).

→ Les couvertures de coraux blanchis les plus importantes se situent sur les stations suivantes :

- *Acanthaster planci* : ST01A (1.2 m²), ST05B (0.8 m²) et ST12A (0.9m²). Les *Acanthaster* sont présentes en ST01 depuis novembre 2016 et la prolifération pour cette station s'étend d'avril 2017 à nos jours. La mortalité des colonies coralliennes en ST01A est très importante (surtout les colonies d'*Acropora* branchus et tabulaires)
- Maladie de la bande blanche : Quasiment tous les transects des niveaux bathymétriques supérieurs et



médians du canal de la Havannah et Woodin présentent des colonies affectées par cette maladie. Le recouvrement de coraux blanchis le plus important induit par elle est localisé en ST04B (1.1 m²), ST06A (0.9 m²), ST07A (0.8 m²), ST08AB (respectivement 0.7 m² et 1.1 m²), ST09A (0.7m²).

6.2.2.2 Les maladies et les lésions coralliennes

Les coraux, comme tous les animaux, sont susceptibles d'être malades. Les maladies se manifestent par des lésions caractéristiques et semblent imputables à divers facteurs (naturels et/ou anthropiques). Ces lésions peuvent avoir des causes infectieuses (parasites, virus, bactéries, champignon, algues cellulaires, protozoaires) ou non infectieuses (blanchissement dû à l'élévation de la température, prédateurs, hyper sédimentation). Les maladies des coraux ont parfois des conséquences importantes sur l'état de santé des récifs car elles affectent le cycle de la vie, l'abondance, la reproduction, la performance et la tolérance du métabolisme au stress naturel ou anthropique [18, 19].

Ainsi, elles peuvent entraîner la dégradation de larges surfaces coralliennes et faire diminuer la biodiversité et le recouvrement biotique.

Le problème des maladies coralliennes a également émergé dans l'océan Indopacifique. L'explosion de certaines maladies (comme la maladie de la bande blanche) est maintenant connue et augmente en fréquence à travers l'Indopacifique à cause de l'intensification des perturbations anthropiques (liées aux activités humaines) sur le littoral, la surpêche et les conditions environnementales associées au changement climatique global. Aucun traitement n'est connu pour enrayer ces maladies, seule la réduction des agents pathogènes peut recourir à la résilience des récifs.

Les récifs de la zone d'étude ne sont pas épargnés par ces stigmates. Des lésions (bandes blanches, tâches noires, tâches roses et anomalies de croissance, perte de tissu et marques de prédation) ont été relevées dans les couloirs de prospection du macrobenthos depuis le début du suivi biologique marin et leur fréquence ont varié dans l'espace et au cours du temps.

6.2.2.2.1 Les maladies ou lésions les plus fréquemment rencontrées dans la zone d'étude

La prédation des corallivores

Le gastéropode *Drupella cornus* et les astéries *Acanthaster planci* et *Culcita novaeguineae* sont les trois principales espèces pouvant causer des perturbations majeures sur les récifs dans la zone d'étude. Les polypes des colonies coralliennes sont dévorés progressive puis elles meurent en place (aucune chance de résilience).

→ La répartition et l'abondance de ces corallivores sont détaillées au § 6.2.2.3.

L'inventaire des invertébrés recense également les gastéropodes corallivores *Coralliophila violacea* et *Ovula ovum* mais contrairement aux espèces citées précédemment, ces espèces ont peu d'incidence dans la zone d'étude. Les gastéropodes *Coralliophila* privilégient les colonies de *Porites* et les *Ovula ovum* sont très peu abondantes et privilégient les colonies d'alcyonaires du genre *Sinularia*, *Lobophytum* et *Sarcophyton*.

En **avril 2017**, une prolifération d'*Acanthaster planci* (12 spécimens / 100 m²) avait été recensée en ST01A. Les colonies coralliennes mortes en place, sans polype, représentaient 3.5 m².

En **septembre 2017**, la prolifération d'*Acanthaster planci* perdurait en ST01 et s'étendait au transect B (respectivement 13 et 3 spécimens). L'ensemble de la station était perturbé : les colonies coralliennes blanches et mortes en place sans polype représentaient respectivement 3 m² (transect A) et 2 m² (en B).

En ST12, 9 spécimens de *Drupella cornus* avaient été identifiés sur une colonie d'*Acropora* tabulaire. De plus, de nombreuses colonies (*Acropora* spp. branchus et tabulaires, *Montipora* spp., *Merulina ampliata*) avaient des stigmates de passage d'*Acanthaster planci*.

En mai 2018, la prolifération d'*Acanthaster planci* perdure en ST01A (7 spécimens) mais aucun spécimen n'a été recensé en ST01B. La mortalité des colonies coralliennes en ST01A est très importante (surtout les colonies du genre *Acropora*).

De plus, les stations ST05AB et ST12A présentent un seul spécimen d'*Acanthaster* par niveau bathymétrique. Ces spécimens viennent d'arriver car la mortalité corallienne est faible. Les colonies blanchies et mortes en place représentent respectivement (ST05AB : 0.3 m², 0.8 m² et ST12A : 0.9 m²).



Les gastéropodes *Drupella cornus* ont une influence négligeable sur les coraux pour cette mission. Ils ont été recensés en faible abondance sur une seule colonie du genre *Acropora* (niveau 1 à 2) pour les niveaux bathymétriques suivants : ST07AB, ST08A, ST11A et ST12A.

Aucun spécimen de *Culcita novaeguineae* n'a été recensé lors de cette mission.

La maladie de la bande blanche (white band disease)

Elle affecte de nombreuses espèces mais les colonies d'*Acropora* tabulaire et branchu sont les plus perturbées par cette maladie. Les colonies coralliennes manifestent une perte de tissu progressive puis elles meurent en place.

Lors des missions précédentes de nombreuses stations possédaient des colonies atteintes par cette lésion (surtout *Acropora* tabulaire) :

- mission mars 2015 : ST06AB, ST07AB, ST08AB, ST09AB, ST10AB et ST11AB
- mission d'octobre 2015 : ST10AB et dans une moindre mesure ST07A, ST10C et ST11AB
- mission avril 2016 : ST01A et ST04B
- mission novembre 2016 : une colonie par transect en ST10B, ST11B et ST12B.

En **avril 2017**, les transects ST06AB, ST07B, ST08A, ST09AB présentaient le plus de colonies affectées par la maladie de la bande blanche (3 à 4 colonies par niveau bathymétrique). Ces derniers coïncident avec les niveaux dégradés régulièrement par les agents hydrodynamiques et le développement de cyanobactéries. Les genres perturbés par cette maladie sont généralement *Acropora* tabulaire et branchu, *Seriatopora*. Les transects (ST02A, ST05A) ne présentaient qu'une colonie affectée.

Les colonies malades des missions précédentes sont mortes en place et recouvertes par du turf, des corallines et/ou quelques cyanobactéries.

En **septembre 2017**, quasiment tous les transects du canal de la Havannah et Woodin présentaient une ou deux colonies avec la maladie de la bande blanche (sauf ST05 et ST11A). Le recouvrement blanchi le plus important pour cette maladie était localisé en ST04B (0,5 m²), ST06A B (respectivement 0.5 m² et 0.2 m²), ST07A B (respectivement 1 m² et 0.2 m²) et ST08A B (respectivement 1,5 m² et 0,8 m²).

En **mai 2018**, de nombreux transects du réseau de suivi présentent des colonies affectées par la maladie de la bande blanche (sauf ST01AB, ST02A, ST03AC, ST04C, ST05AC et ST12AB).

Le recouvrement blanchi le plus important pour cette maladie est localisé en ST04AB (respectivement 0.6 m² et 1.1 m²), ST05B (0.8 m²), ST06AB (respectivement 0.9 m² et 0.6 m²), ST07A (0.8 m²), ST08AB (respectivement 0.7 m² et 1.1 m²), ST09ABC (0.7 m², 0.6 m² et 0.6 m²) et ST11B (0.6 m²).

Les colonies malades des missions précédentes sont pour la plupart mortes en place et recouvertes par du turf, des corallines et/ou quelques cyanobactéries

Les lésions liées à la sédimentation

Elles sont susceptibles d'affecter toutes les espèces. Chaque espèce a ses propres caractéristiques face à cette perturbation (sécrétion de mucus, croissance rapide, long polypes). Mais lorsque le dépôt sédimentaire est important et que la colonie ne peut s'en extraire, cette dernière présentera une perte de tissu partielle ou totale. Dans ce dernier cas on parlera de colonies mortes en place. Ces dégradations sont enregistrées principalement dans les baies à l'embouchure des creeks et rivières et dans les récifs alentours (ST02, ST03, ST04A et ST08).

En **mai 2018**, les transects présentant le plus de dégradations liées à la sédimentation sont ST02B, ST03A B C et ST08A. Ces colonies peuvent être entièrement ou partiellement mortes en place. L'apport sédimentaire peut être conséquent pour ces stations lors des fortes précipitations mais également lors de passage de bateaux pour la station ST03 (remobilisation des sédiments par les hélices).

Les lésions liées à l'hydrodynamisme

Elles sont susceptibles d'affecter toutes les espèces. Les dégradations sont en relation avec le degré d'exposition mais aussi la morphologie des colonies (particulièrement les formes tabulaire, branchue). Les phénomènes les plus intenses (dépressionnaires/cycloniques) vont déstabiliser les récifs puis les agents hydrodynamiques (houle, ressac) vont remobiliser petits à petit le matériel corallien. Les colonies coralliennes peuvent être retournées, arrachées de leur substrat, fragmentées puis des blocs et débris coralliens vont descendre la pente récifale et/ou former des couloirs d'effondrement pour les récifs les plus exposés (ST06, ST07, ST12). Le blanchissement ne



sera pas important en recouvrement mais le nombre d'espèces influencées peut être conséquent selon l'intensité du phénomène.

Ces dégradations sont enregistrées principalement dans le canal de la Havannah (houle, ressac et courants de marée) et dans une moindre mesure dans le canal Woodin (courants de marée).

NB : la station ST09 (banc Kié) est aussi très exposée à la houle et aux courants de marée. Ces conditions sont régulières durant toute l'année, ainsi les espèces colonisant ce milieu sont adaptées et très robustes.

En **mai 2018**, les dégradations mécaniques récentes ont seulement été observées pour les niveaux bathymétriques suivants : ST04C, ST06B, ST12B (1 à 2 colonies blanchies et retournées).

 Les lésions liées aux anomalies positives de température et UV (et dans une moindre mesure de dessalure)

Ces perturbations sont susceptibles d'affecter toutes les espèces mais certaines sont plus sensibles aux variations de l'environnement (cf. § 6.2.2.1).

Elles étaient les plus fréquemment rencontrées lors de la mission d'**avril 2016**. De nombreuses colonies coralliennes avaient expulsé leurs zooxanthelles mais pour la majorité des colonies les polypes étaient toujours vivants.

Le phénomène de blanchissement était généralisé à l'ensemble des récifs de la Nouvelle-Calédonie. Le recouvrement en coraux blanchis diminuait avec la profondeur. Il s'est avéré très important sur les platiers récifaux de la baie de Prony et du canal Woodin.

L'anomalie de température a été moins importante pour les récifs du canal de la Havannah car les masses d'eaux y sont beaucoup plus brassées.

Depuis **novembre 2016**, une grande partie des colonies blanchies ont réintégré des zooxanthelles.

En **septembre 2017**, la résilience du récif était importante dans le canal Woodin (ST04) et mesurable par la croissance des colonies coralliennes. Par contre, la station du port (ST03A) enregistrait une mortalité corallienne localisée sur le niveau bathymétrique supérieur (le plus perturbé en avril 2016).

En **mai 2018**, aucune colonie corallienne ne semble perturbée par ces variations.



Octobre 2015
Bon état de santé



Avril 2016
Blanchissement très important :
perte des zooxanthelles



Novembre 2016
Certaines colonies ont réintégré leurs zooxanthelles,
mais développement de lésions coralliennes ou
mortalité.
Cette colonie de *Pocillopora damicornis* sur le piquet
est en partie morte au milieu



Avril 2017
Résilience des colonies
coralliennes et recrutement



Septembre 2017
Croissance des colonies
coralliennes



Mai 2018

En 2017 : Résilience du récif : de nombreuses colonies coralliennes
ont réintégré des zooxanthelles et continuent de croître

Photo n°30 : Evolution du blanchissement sur les 6 dernières missions (ST04A)

6.2.2.2 Les lésions rencontrées de manière épisodique dans la zone d'étude

La tâche noire (dark spot ou hypermycose endolithique)

Elle est généralement associée avec des champignons (endolithic fungal infiltrates) : elle touche de nombreuses espèces encroûtantes, massives et libres, généralement dans les niveaux bathymétriques moyens et les plus profonds. Les colonies affectées par ce type de lésion ne meurent pas.

→ Cette lésion est principalement recensée pour la station ST08 (récif frangeant à la côte du canal de la Havannah qui est influencé par l'apport sédimentaire de la baie Kwé) et dans une moindre mesure en ST02B.

L'anomalie de croissance (growth anomaly)

Ces lésions sont observées généralement sur les colonies de *Porites* et de *Diploastrea heliopora* mais d'autres genres peuvent être perturbés comme *Acropora*, *Pectinia*, *Leptoria*, *Platygyra* et les *Fungia* mais aussi des alcyonaires comme *Sarcophyton* et *Lobophytum*. Les colonies affectées par ces anomalies de croissance ne meurent pas.



Dans la zone d'étude les colonies affectées par ces anomalies de croissance se localisent préférentiellement en ST05B (*Diploastrea heliopora*), ST08B et ST12A (*Porites* sp.). La taille des lésions sur ces colonies peut atteindre plus de 30 cm de diamètre. Les tumeurs sont formées par des groupes de polypes avec des taux de croissance plus élevés.

La perte de tissu (white syndrom)

Elle se manifeste chez plusieurs espèces par des tâches blanches (perte de zooxanthelles ou de tissu). La cause est inconnue mais si la colonie perd ces tissus alors la partie affectée ne peut pas se régénérer, voire la colonie meurt en place.

→ En **septembre 2017**, seule une colonie de *Porites* en ST02B est touchée. Cette lésion est très peu observée depuis le début du suivi.

En **mai 2018**, aucune colonie ne présente cette lésion.

La tâche rose (pink spot)

C'est une réaction inflammatoire due à une irritation des tissus. Les causes peuvent être la sédimentation ou la colonisation de larves de vers. Cette inflammation peut entraîner l'expulsion des zooxanthelles et/ou une perte de tissu et ainsi la colonie meurt en place.

→ Cette lésion n'a pas été recensée lors des 6 dernières missions.



6.2.2.3 Les principales espèces concurrentes

Aucun phénomène de prolifération permanente n'a été constaté depuis le début du suivi (2007) (figure 88). Attention cependant à l'installation d'*Acanthaster planci* en ST01 (Casy) depuis l'année 2017.

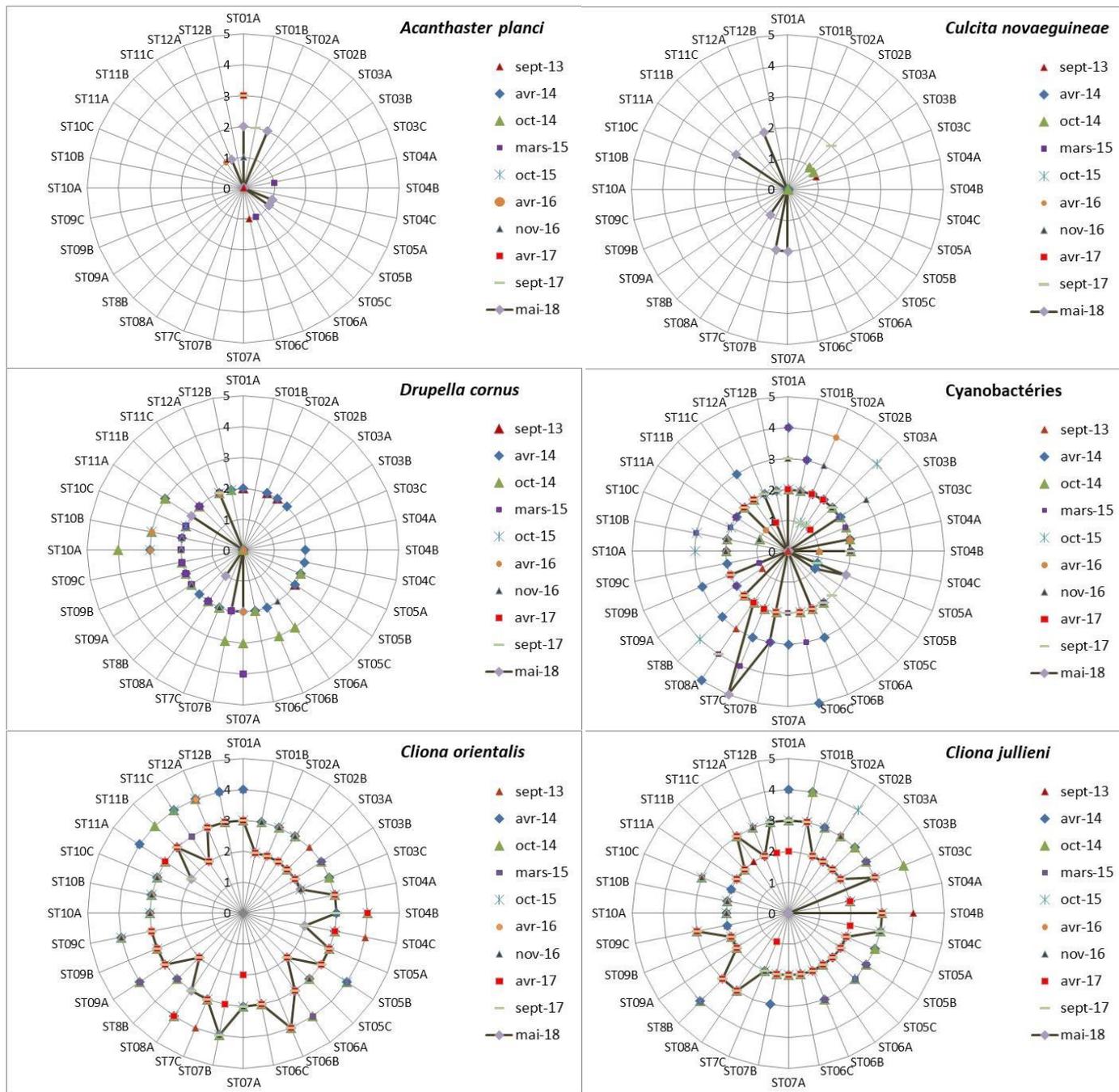


Figure n°88 : Abondance semi-quantitative (1 à 5) des principales espèces cibles depuis septembre 2013

Les cyanobactéries

Les proliférations de cyanobactéries apparaissent de manière épisodique ou régulière dans de nombreux milieux marins. Généralement, ces proliférations sont le signe d'une eutrophisation du milieu (milieu riche en composés organiques, teneurs excessives en azote et phosphore).

Des dégradations importantes d'origine naturelle ou anthropique sur les communautés coralliennes entraînent également un développement de cyanobactéries.

D'autre part, de nombreuses espèces de cyanobactéries n'apparaissent qu'en été lorsque la température des eaux superficielles augmente. Ainsi, pendant la saison froide, leur disparition n'est qu'apparente car les cellules



végétatives subissent diverses différenciations conduisant à des formes de repos ou de résistance. À cet égard, les vases et sédiments constituent une banque de semences qui favorise de nouvelles proliférations dès que les conditions climatiques redeviennent favorables.

Leurs effets sur les récifs coralliens peuvent être désastreux et justifient que leur recouvrement et leur évolution dans le temps soient étudiés.

En faible proportion, les cyanobactéries ne sont pas particulièrement gênantes pour la faune, cependant si leur concentration augmente, les toxines (cyanotoxines) libérées dans l'environnement peuvent avoir des répercussions sur l'ensemble des communautés coralliennes (mortalité des espèces benthiques, diminution de la croissance des coraux, diminution du recouvrement corallien, ciguatera like...)

Une abondance semi-quantitative inférieure ou égale au second niveau (échelle : 2) reste acceptable. Au-dessus de ce niveau, on peut considérer que le récif subit ou a subi des perturbations non négligeables (naturelles ou anthropiques).

→ **Les cyanobactéries** sont principalement observées sur les stations ST01, ST03, ST06, ST07 et ST08.

En avril 2013, elles se développent, sur les nouveaux débris coralliens et les colonies coralliennes retournées (grandes surfaces plurimétriques).

En septembre 2013, les conditions environnementales se stabilisent et leur développement régresse dans des proportions plus raisonnables (niveau 2). Toutefois, elles sont à surveiller avec une grande attention en ST01 et ST08 (niveau 3).

En avril 2014, le recouvrement des stations ST01 et ST08 a encore augmenté (respectivement niveau 4 et 5). Ces deux stations présentent également des maladies coralliennes en quantité non négligeable.

La station ST06 voit également son recouvrement augmenté (niveau 5) mais les dégradations sont mécaniques (agent hydrodynamique important).

En octobre 2014, le recouvrement des cyanobactéries a fortement régressé pour l'ensemble du réseau de suivi. Toutes les transects enregistrent un niveau inférieur ou égal au niveau 2.

En mars 2015, le recouvrement des cyanobactéries a augmenté pour la plupart des transects couloirs suite aux perturbations d'origine dépressionnaire (cyclone Pam). L'évolution de leur développement est à surveiller avec une grande attention en ST01B, ST06C, ST07AC et ST10B (niveau 3) et particulièrement en ST01A, ST07C, ST08A (niveau 4). Les cyanobactéries se développent principalement sur les débris coralliens récents et sur les colonies d'*Acropora* tabulaire affectées par la maladie de la bande blanche.

En octobre 2015, le recouvrement des cyanobactéries est important pour les transects couloirs ST03A et ST08B (niveau 4) puis ST10A&B (niveau 3). Elles se développent par de grandes plaques plurimétriques sur le sédiment (ST03A, ST08B) et sur des colonies affectées par la maladie de la bande blanche (ST10). Les autres transects les plus perturbés en début d'année 2015 montrent une diminution du recouvrement. Bien que le recouvrement des cyanobactéries soit important pour ces stations, les dégradations occasionnées sont mineures pour le moment.

En avril 2016, les cyanobactéries ont bien diminué pour les stations qui présentaient un recouvrement important en octobre 2015 (ST03A, ST08B, ST10A&B). Par contre, le transect ST02A présente un développement relativement conséquent (niveau 4) sur les algues vertes du genre *Halimeda* qui sont entremêlées à la base des colonies d'*Acropora* branchu. Le blanchissement des coraux pourrait être la cause de ce développement important.

En novembre 2016, le recouvrement des cyanobactéries a augmenté pour les transects ST01A (niveau 3), ST03AB (respectivement niveau 2 et 3) et dans une moindre mesure en ST10C (niveau 1). La forme de cyanobactéries en pompon (*Symploca hydroides*) se développe particulièrement sur les débris coralliens.

Le recouvrement des cyanobactéries a diminué mais reste encore important pour les transects ST02A (niveau 3), ST04AB et ST11B (absence).

En avril 2017, les cyanobactéries ont nouvellement été recensées pour les transects du canal de la Havannah (ST07BC, ST09B et ST11BC ; niveau 2). Elles se développent sur les débris coralliens et les colonies mortes en place.

Par contre, leur recouvrement a fortement diminué pour les transects de la baie de Prony (ST01AB, ST02A, ST03AB ; < niveau 2) et l'îlot Ugo ST12A (< niveau 2).

En septembre 2017, le recouvrement des cyanobactéries était important pour les transects ST08A (niveau 4) et ST01A (niveau 3). Elles se développaient par de grandes plaques métriques à plurimétriques sur les débris en ST08A et sur des colonies coralliennes perturbées par les *Acanthaster planci* en ST01A.

Les autres transects montraient : une hausse de recouvrement pour ST03A, ST04B, ST05A C, ST06A, ST07A, ST08A et ST12A (\leq niveau 2) et une baisse de recouvrement pour ST02A B (niveau 1).





En mai 2018, le recouvrement des cyanobactéries est en légère diminution pour les niveaux bathymétriques : ST01A, ST08A, ST11C et ST12B (\leq niveau 2), et en augmentation pour de nombreux niveaux bathymétriques : ST01B, ST02AB, ST03B, ST04A, ST05AB et ST11A ($<$ niveau 2).

Les niveaux bathymétriques ST07BC ont un développement très important et en grande augmentation par rapport à la précédente mission (respectivement niveau 3 et 5). Les causes de ce développement n'ont pas été déterminées mais il est fortement probable que ce recouvrement ne perdure pas dans le temps et qu'il n'engendre pas de perturbation sur l'environnement. Les cyanobactéries se développent principalement sur le sable carbonaté et les débris.

Il faut noter qu'il n'a jamais été constaté une prolifération de cyanobactérie qui perdure dans le temps. Leur recouvrement peut-être important mais jusqu'à ce jour, leur développement n'a jamais été pérenne.

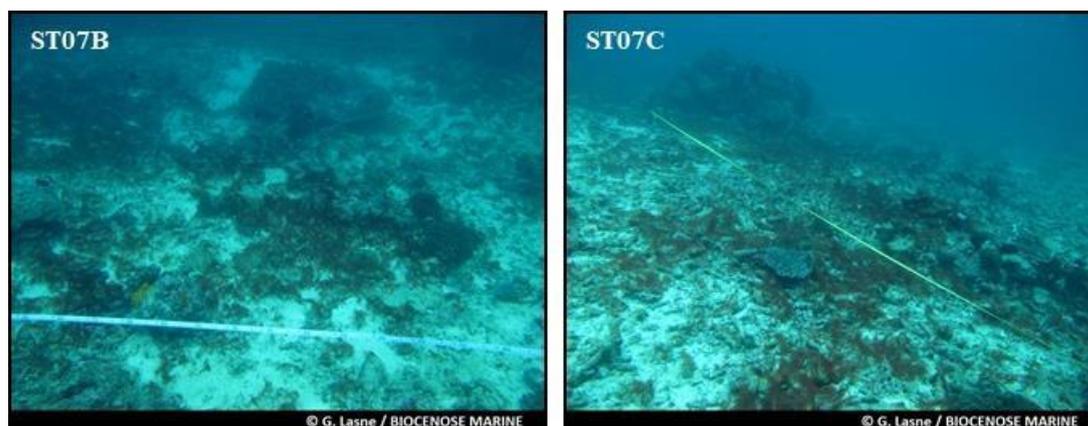


Photo n°31 : Prolifération de cyanobactéries (mai 2018, ST07)

Les astéries corallivores (prédatrices de corail)

L'accroissement important et/ou la prolifération des astéries corallivores (*Acanthaster planci* et *Culcita novaeguineae*) caractérisent l'affaiblissement des récifs et un dérèglement antérieur de l'écosystème. En effet, leur présence en abondance est généralement révélatrice que le récif a subi auparavant une perturbation non négligeable (naturelle ou anthropique). Ces espèces carnassières sont ainsi connues pour être localement invasive avec un fort potentiel de destruction sur les récifs coralliens. Leurs dégradations sont irréversibles car elles dévorent les polypes des colonies coralliennes sur de très grande surface et en peu de temps.

L'espèce *Culcita novaeguineae* est plutôt rencontrée dans les milieux turbides (baies) et l'espèce *Acanthaster planci* plutôt sur les récifs frangeants, intermédiaires du lagon ou externes.

Depuis le début du suivi biologique, ces espèces sont présentes de manière très occasionnelle, cependant **une prolifération d'*Acanthaster planci* est constatée depuis avril 2017 en ST01**.

En avril 2014, seul un spécimen a été observé en ST05A et ST05B (niveau 1). Cependant, la station ST10 présente régulièrement des stigmates de blanchissement corallien induit par les *Acanthaster* mais aucun spécimen n'a été observé depuis octobre 2012.

En octobre 2014, aucun spécimen d'*Acanthaster planci* n'a été observé. Concernant les *Culcita novaeguineae*, seul un spécimen par transect a été recensé pour ST03A et ST03B (Port). Les perturbations engendrées étaient très mineures.

En mars 2015, seul un spécimen juvénile d'*Acanthaster planci* a été observé en ST06B et 3 bras fraîchement mangés en ST04A. Aucun spécimen de *Culcita novaeguineae* n'a été observé.

→ Aucune colonie corallienne n'a été observée blanchie suite au passage d'une astérie corallivore.

En octobre 2015, aucun spécimen d'*Acanthaster planci*, ni de *Culcita novaeguineae* n'a été observé.

→ Aucune colonie corallienne n'a été observée blanchie suite au passage d'une astérie corallivore.

En avril 2016, aucun spécimen de *Culcita novaeguineae* n'a été observé et seul un juvénile d'*Acanthaster planci* a été recensé en ST11C.

→ Aucune colonie corallienne n'a été observée blanchie suite au passage d'une astérie corallivore.

En novembre 2016, aucun spécimen de *Culcita novaeguineae* n'a été observé et un seul spécimen d'*Acanthaster planci* a été recensé en ST01A (1^{ère} fois en baie de Prony).

→ Aucune colonie corallienne n'a été observée blanchie suite au passage d'une astérie corallivore.

En avril 2017, aucun spécimen de *Culcita novaeguineae* n'a été observé.



Par contre, le transect supérieur de la station de Casy (ST01A) présentait **12 spécimens d'*Acanthaster planci*** (/ 100 m²). C'est le plus grand rassemblement de ce corallivore (niveau 3) observé depuis le début du suivi. Lors du dernier suivi un seul spécimen avait été observé.

En septembre 2017, 3 spécimens de *Culcita novaeguineae* ont été observés en ST03A.

La station ST01 (Casy) présentait une prolifération d'*Acanthaster planci* (respectivement 13 et 3 spécimens pour 100m² aux transects A et B). C'est le plus grand rassemblement pérenne de ce corallivore (niveau 3) observé depuis le début du suivi d'août 2007. De nombreuses colonies coralliennes ont été dévorées depuis le début de cette prolifération.

En mai 2018, la prolifération d'*Acanthaster planci* perdure en ST01A (7 spécimens) et aucun spécimen n'a été recensé en ST01B. La mortalité des colonies coralliennes en ST01A est très importante (surtout les colonies du genre *Acropora*).

De plus, les stations ST05AB et ST12A présentent un seul spécimen d'*Acanthaster* par niveau bathymétrique. Ces spécimens viennent d'arriver car la mortalité corallienne est faible. Les colonies blanchies et mortes en place représentent respectivement : ST05AB : 0.3 m², 0.8m² et ST12A : 0.9m².

Aucun spécimen de *Culcita novaeguineae* n'a été recensé lors de cette mission.

Les mollusques corallivores

L'espèce *Drupella cornus* est un gastéropode corallivore dont la présence en abondance sur un récif est également un indicateur de perturbation du milieu. Ainsi lorsque le récif subi une perturbation d'origine naturelle ou anthropique, il est constaté quelques semaines à quelques mois plus tard (par réaction en chaîne), la présence de *Drupella cornus* (et potentiellement d'autres corallivores).

Une abondance supérieure au niveau 3 de l'échelle d'abondance peut être un signe de perturbation. Les individus se rassemblent sur une ou plusieurs colonies (généralement *Acropora* tabulaire/ branchu) et dévorent au fur et à mesure tous les polypes pour laisser derrière leur passage une colonie morte en place. Ces rassemblements peuvent atteindre une dizaine d'individus par colonie.

En avril 2013, les gastéropodes *Drupella cornus* étaient absents.

En septembre 2013, ils profitent de la phase de dégradation corallienne post dépression pour se développer sur les colonies perturbées (ST01, ST02, ST05, ST07, ST08 et ST11). Leur abondance est relativement modérée mais leur développement doit particulièrement être surveillé en ST08 et ST11 (niveau 3).

En avril 2014, leur abondance est modérée sur l'ensemble des stations mais et ils se développent en ST10A et ST11A (niveau 3).

En octobre 2014, leur développement augmente de manière importante pour les niveaux bathymétriques hauts et médians des récifs du canal de la Havannah (ST06AB, ST07AB, ST10AB et ST11A). Les perturbations engendrées sont relativement conséquentes, de nombreuses colonies coralliennes (majoritairement les Acroporidae) sont dévorées puis mortes en place.

Les corallivores *Drupella cornus* sont plus susceptibles de perturber les niveaux hauts et médians des récifs car les espèces d'Acroporidae se développent préférentiellement où la pénétration de la lumière est importante. A ce titre, les *Drupella* sont absents en baie de Prony et dans le canal Woodin pour cette mission d'octobre 2014.

En mars 2015, aucun *Drupella* n'a été observé en baie de Prony ni dans le canal Woodin. Par contre, leur développement est modéré (niveau 2) pour les récifs du canal de la Havannah et se concentre principalement sur les colonies d'*Acropora* tabulaire en ST07A (niveau 4).

En octobre 2015, seules deux stations présentent des perturbations dues à la prédation de *Drupella cornus*. Leur développement est modéré en ST12A&B (niveau 2) et important en ST10ABC (respectivement niveau 3, 3 et 2).

En avril 2016, seules trois stations présentent des perturbations dues à la prédation de *Drupella cornus* (ST07A, ST10A&B et ST12A). Les récifs des stations ST10 et ST12 étaient déjà influencés par ce gastéropode lors de la dernière mission. Leur développement est modéré en ST07A et ST12A (niveau 2) et important en ST10A&B (niveau 3).

En novembre 2016, l'espèce *Drupella cornus* n'a pas été observée avec une abondance supérieure au niveau 2 (ST06A, ST07C, ST09A et ST10AB). La station ST10 présente des dégradations constantes de *Drupella cornus* depuis avril 2014 (nombreuses colonies mortes en place, particulièrement le genre *Acropora*).

En avril 2017, aucun *Drupella cornus* n'a été observé dans l'ensemble du réseau du suivi.

En septembre 2017, seul le transect ST12A était concerné par la présence de *Drupella cornus* (9 individus ont été recensés sur une colonie d'*Acropora* tabulaire).

En mai 2018, les gastéropodes *Drupella cornus* ont une influence négligeable sur les coraux. Ils ont été recensés





en faible abondance sur une seule colonie du genre *Acropora* (niveau 1 à 2) pour les niveaux bathymétriques suivants : ST07AB, ST08A, ST11A et ST12A.

Les éponges encroûtantes

Les éponges incrustantes *Cliona orientalis* et *Cliona jullieni* sont susceptibles de bénéficier des phases de dégradation corallienne pour se développer (plaques décimétriques à plurimétriques). Elles se déploient naturellement sur tous les substrats durs comme des débris et la dalle, mais une lutte chimique se réalise avec les coraux sclérentiniaux pour le développement spatial.

Le développement des Cliones est à surveiller avec une grande attention car ces éponges sont en forte compétition spatiale avec les coraux. En effet, elles peuvent profiter de l'affaiblissement des coraux pour se développer.

De manière générale, l'espèce *Cliona orientalis* se développe plus facilement dans le niveau bathymétrique supérieur et l'espèce *C. jullieni* a un développement plus en profondeur (influence possible de la pénétration de la lumière).

Ces éponges sont abondantes dans toute la zone d'étude. Leur développement reste relativement stable mais il peut légèrement varier suite à des perturbations (mécanique ou sédimentaire).

Comme les coraux, suite aux événements dépressionnaires, le recouvrement diminue légèrement dans les zones très exposées et turbides.

En octobre 2014, leur développement variait peu par rapport aux missions précédentes. Cependant, quelques plaques décimétriques supplémentaires de *Cliona jullieni* avaient été recensées pour les niveaux ST02B, ST03C, ST05C, ST09C, ST10C et ST12A ; et *Cliona orientalis* en ST04B, ST05A et ST11B.

En mars 2015, leur développement tendait à une légère diminution par rapport aux missions précédentes.

- *Cliona jullieni* : les transects couloirs ayant légèrement diminué d'abondance sont ST01B, ST03A, ST03C, ST05A et une très légère augmentation pour ST11A.

- *Cliona orientalis* : les transects couloirs ayant légèrement diminué d'abondance sont ST01B, ST03C, ST011B&C, ST05A.

En octobre 2015, le recouvrement des Cliones tendait à se stabiliser, avec une légère diminution.

- *Cliona orientalis* : le recouvrement tendait à se stabiliser, avec une légère diminution pour les niveaux bathymétriques supérieurs et médians (ST03B, ST05C, ST06A, ST08B, ST09A). Seule la station ST11C avait augmenté d'abondance.

- *Cliona jullieni* : le recouvrement se stabilisait également, avec une légère diminution pour les niveaux bathymétriques médians (ST03B, ST05B, ST06B). Seule la station ST02B avait augmenté d'abondance.

En avril 2016, le recouvrement des Cliones était relativement stable sur l'ensemble du réseau de suivi.

- *Cliona orientalis* : diminuait d'abondance pour ST05B et surtout ST11C et augmente d'abondance pour ST05C.

- *Cliona jullieni* : diminuait d'abondance pour ST02A, ST02B, ST05C et ST08B.

En novembre 2016, le recouvrement des Cliones était stable sur l'ensemble du réseau de suivi.

En avril 2017, le recouvrement des Cliones tendait vers une diminution sur l'ensemble du réseau de suivi.

- *Cliona jullieni* : diminution d'abondance en ST01A, ST02B, ST04C, ST07C et ST12AB.

- *Cliona orientalis* : diminution d'abondance en ST01B, ST02AB, ST03C, ST05C, ST07A, ST09C.

En septembre 2017, le recouvrement des Cliones était +/- stable sur l'ensemble du réseau de suivi.

- *Cliona jullieni* : augmentation d'abondance en ST01A, ST04C, ST07C, ST12B et diminution en ST04A.

- *Cliona orientalis* : augmentation d'abondance en ST07AB et diminution en ST04BC, ST08A, ST11A.

En mai 2018, le recouvrement des Cliones reste stable sur l'ensemble du réseau de suivi.

- *Cliona jullieni* : stable, aucun changement de recouvrement.

- *Cliona orientalis* : stable, seulement une augmentation d'abondance pour ST03C (niveau 0 à 2).

6.2.3 Evolution globale des stations par rapport à septembre 2017

Les particularités de chaque station de suivi environnemental et les variations entre la mission de septembre 2017 et celle-ci (mai 2018) sont présentées dans le [tableau 103](#).

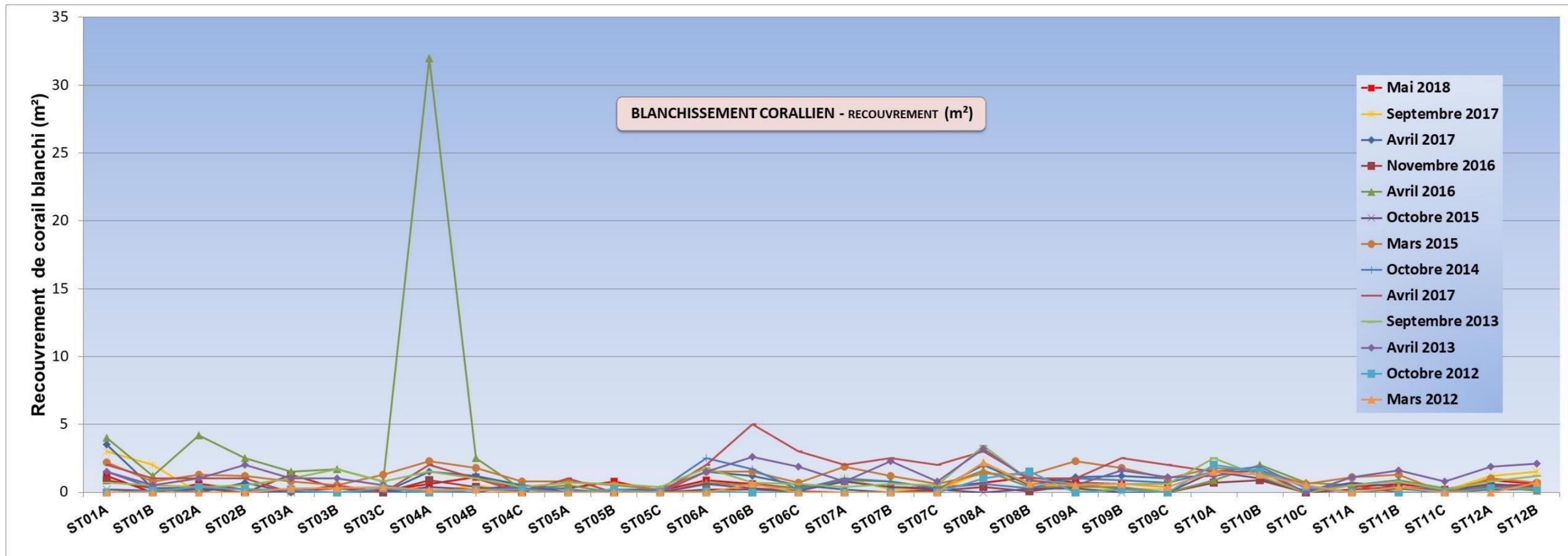


Figure n°89 : Comparaison du recouvrement de corail blanchi, par transect, depuis 2012
 NB : Le protocole n'a plus évolué depuis juin 2009 (cf. § 6.2.1).

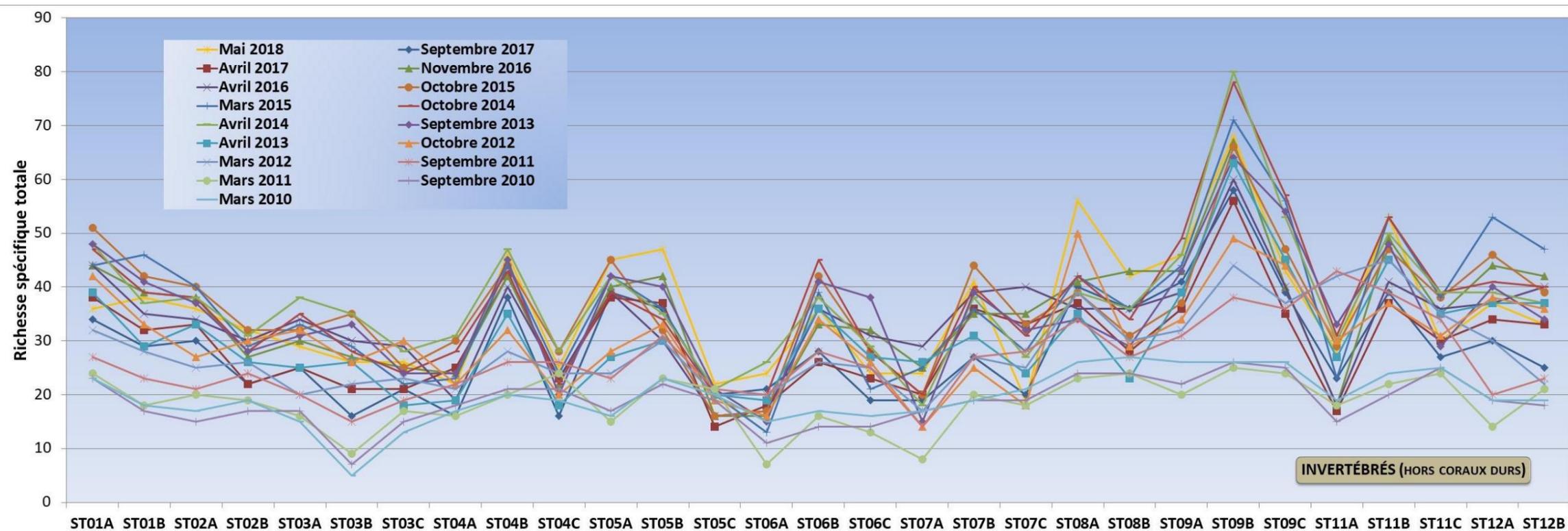


Figure n°90 : Comparaison des richesses spécifiques (invertébrés, hors coraux durs), par transect, depuis 2010
 NB : Le protocole n'a plus évolué depuis octobre 2011 (cf. § 6.2.1).

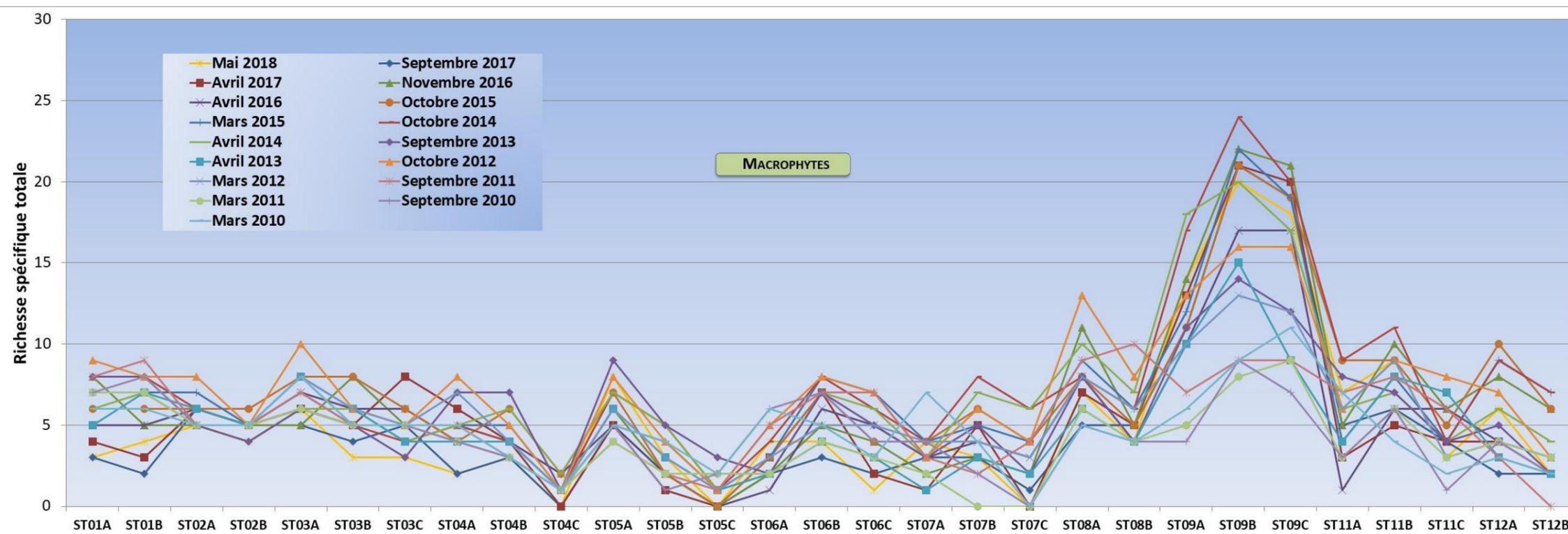


Figure n°91 : Comparaison des richesses spécifiques (macrophytes), par transect, depuis 2010
 NB : Le protocole n'a jamais évolué (cf. § 6.2.1).

Tableau n°101 : *Evolution du taux de recouvrement du substrat entre septembre 2017 et mai 2018 (différence en %)*

	ST01		ST02		ST03			ST04			ST05			ST06			ST07			ST08		ST09			ST11			ST12	
	Casy		B. Nord		Port			Woodin			Ioro			Ionontea			Chambeyron			Puka		Bancs Kié			Toémo			Ugo	
	A	B	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B
Macrophytes et invertébrés	1	-1	1,5	-24	25,6	-8,5	-11,5	6	-0,5	-2,3	1	0	1,5	4,5	3,5	3	1	-3,5	-6,5	1	5	4,5	7,5	0,5	-1,5	1	-2	-5,5	14
Coraux scléactiniaires	-1	-1	-1,5	4	0	1	-1	-5	1	-0,5	-0,5	-0,5	0	-4,5	-3,5	1	-1	5	-0,5	-1	1,5	-4,5	-6,5	-0,5	1,5	-1,5	1,5	5	-6
Abiotique	0	2	0	20	-25,6	7,5	12,5	-1	-0,5	2,8	-0,5	0,5	-1,5	0	0	-4	0	-1,5	7	0	-6,5	0	-1	0	0	0,5	0,5	0,5	-8

Code couleur :

- Le taux de recouvrement a augmenté en mai 2018 par rapport à septembre 2017
- Le taux de recouvrement est équivalent (à +/- 20%) entre septembre 2017 et mai 2018
- Le taux de recouvrement a diminué en mai 2018 par rapport à septembre 2017

Tableau n°102 : *Evolution de la richesse spécifique du benthos (hors coraux durs) entre septembre 2017 et mai 2018 (gain/perte en taxa)*

	ST01		ST02		ST03			ST04			ST05			ST06			ST07			ST08		ST09			ST11			ST12	
	Casy		B. Nord		Port			Woodin			Ioro			Ionontea			Chambeyron			Puka		Bancs Kié			Toémo			Ugo	
	A	B	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B
Macrophytes	0	2	-1	-1	1	-1	-2	1	0	1	3	1	0	2	1	-1	1	0	-1	2	-1	3	-1	-1	2	3	-1	4	0
Cyanobactéries	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	-1	-1	0	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	-1
Invertébrés	2	9	6	10	4	10	5	6	8	9	6	11	2	3	8	5	5	14	-1	16	6	5	10	4	5	14	3	7	8
Richesse taxonomique totale	2	12	5	9	5	10	3	8	8	10	9	13	1	4	9	3	5	14	-1	18	5	8	9	3	8	17	1	11	7

Code couleur :

- La richesse taxonomique a augmenté en mai 2018 par rapport à septembre 2017
- La richesse taxonomique est équivalente (à +/-2 taxa prêt) entre septembre 2017 et mai 2018
- La richesse taxonomique a diminué en mai 2018 par rapport à septembre 2017

NB : La richesse taxonomique est la somme totale des espèces (ou taxa) pour un groupe d'organisme donné. Si cette dernière n'évolue pas, cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'évolution au sein de l'assemblage spécifique. Il peut aussi y avoir une compensation des espèces non recensées par les espèces apparues (mortalité, recrutement ou tout simplement mobilité).

Attention : les évolutions de la richesse spécifique et du taux de recouvrement ne sont pas forcément liées : dans le cas des cyanobactéries par exemple : peu d'espèces sont normalement présentes. Donc, en cas de bloom, le recouvrement va augmenter, sans que cela soit noté dans les variations de richesse taxonomique, car ce sera du fait d'une espèce déjà présente.

Tableau n°103 : Particularités de chaque station et évolution entre septembre 2017 et mai 2018

Localisation	Station	Particularités des stations	Variations des biocénoses entre septembre 2017 et mai 2018
Baie de Prony	ST01 Casy	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Etude de croissance de 7 colonies de <i>Pocillopora damicornis</i> colonisant les piquets du transect A d'octobre 2008 à novembre 2016. En novembre 2016, il reste 5 colonies : colonies B et G mortes suite aux anomalies de températures dues à el Niño du début d'année. La croissance diminue avec le temps, cependant elle n'est pas linéaire durant l'année (saisonnalité) et les périodes hivernales sont plus favorables au développement de l'exosquelette carbonaté ↪ Régression de la maladie de la bande blanche qui affectait de nombreuses colonies d'<i>Acropora</i> tabulaires au transect A ↪ Recouvrement corallien faible au transect B ↪ Sédimentation importante (la faune et flore sont adaptées à cette contrainte) ↪ Les colonies coralliennes sont majoritairement de petites tailles (hyper sédimentation et turn over important) ↪ Recouvrement des alcyonaires très important (particulièrement le genre <i>Sarcophyton</i>) ↪ Compétition spatiale entre les alcyonaires, les éponges encroûtantes et les coraux ↪ Recouvrement modéré des éponges encroûtantes (<i>Cliona</i>) ↪ Richesse spécifique importante des macrophytes et des alcyonaires ↪ Présence des algues brunes <i>Sargassum</i> spp. (selon les saisons) ↪ Prolifération d'<i>Acanthaster planci</i> en 2017 aux transects A et B, (présence d'1 seul spécimen en novembre 2016 en A). Légère baisse mais toujours présence en A en 2018 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 1% au transect A et 1.5% en B - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.15% ; Avril 2016 : 2.6% ; Novembre 2016 : 0.6% ; Avril 2017 : 1.9% ; Septembre 2017 : 2.5% (lié à <i>Acanthaster planci</i>) ; Mai 2018 : 0.6% (lié à <i>Acanthaster planci</i>)</i> - De nombreuses colonies coralliennes sont mortes en place (partiellement ou entièrement) suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, à la maladie de la bande blanche et à la prolifération d'<i>Acanthaster</i> (depuis novembre 2016) - Lésions coralliennes : les colonies blanchies (en A : 1.2 m²) sont mortes en place et sans polype. Elles ont été dévorées par les <i>Acanthaster planci</i> (7 spécimens) - Absence de la maladie de la bande blanche. En fait, si cette maladie est présente elle ne pourrait pas être recensée car les <i>Acanthaster</i> mangent préférentiellement les <i>Acropora</i> tabulaires - Perturbations sédimentaires : RAS pour cette mission, absence de dépôt sédimentaire sur les colonies coralliennes <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement en baisse en A (niveau 3 à 2) et en hausse en B (niveau 0 à 2). Elles colonisent des colonies coralliennes mortes en place (<i>Acropora</i> tabulaire et branchu) - Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies coralliennes mortes en place au fur et à mesure de leur dégradation - Algues brunes <i>Lobophora</i> : présence en A et B, le recouvrement est stable - Algues rouges <i>Asparagopsis taxiformis</i> : absente - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence de <i>Culcita novaeguineae</i> - Prolifération d'<i>Acanthaster planci</i> : 7 spécimens en A en mai 2018 (13 et 3 spécimens en A & B en septembre 2017 ; 12 spécimens en A en avril 2017 ; 1 seul spécimen en A en novembre 2016) - Absence de <i>Drupella cornus</i>
	ST02 Creek baie nord	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Richesse spécifique importante des coraux (la plus importante de toutes les stations de suivi environnemental de la baie de Prony) ↪ Le recouvrement corallien du transect A est particulièrement représenté par des grands massifs de coraux branchus (<i>Acropora</i> et <i>Anacropora</i>) et celui du transect B est plutôt constitué de petites colonies éparpillées sur les blocs coralliens ↪ Les colonies d'<i>Acropora</i> et <i>Anacropora</i> au transect A forment de grands massifs plurimétriques de plus en plus denses (croissance importante) ↪ Recouvrement important des alcyonaires sur l'ensemble de la zone (<i>Sarcophyton</i>) ↪ Hyper sédimentation : les petites colonies coralliennes ont tendance à s'envaser mais les espèces sont adaptées à ce milieu ↪ Originalité des espèces coralliennes adaptées à un milieu turbide et à la faible pénétration de la lumière dans l'eau par une croissance rapide, la sécrétion de mucus et/ou de grands polypes pour se dégager de la sédimentation ↪ Compétition spatiale importante entre les alcyonaires, les algues vertes/brunes et les coraux 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 25.5% au transect A et 28.5% en B - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.23% ; Avril 2016 : 3.35% ; Novembre 2016 : 0.15% ; Avril 2017 : 0.35% ; Septembre 2017 : 0% ; Mai 2018 : 0.4%</i> - Lésions coralliennes : une colonie affectée par la bande blanche (<i>Montipora</i>), quelques tches noires (hypermycose endolithique) induites ponctuellement par la sédimentation et quelques colonies sont dégradées partiellement par la sédimentation en B - Perturbations sédimentaires : fine couche sédimentaire sur les colonies coralliennes dégradées partiellement en B (<i>Acropora</i> spp. (branchu), <i>Merulina ampliata</i>, <i>Porites</i> et <i>Coscinaraea columna</i>) <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement en hausse pour A & B (niveau 1 à 2). Elles se développent sur les algues vertes <i>Halimeda</i> qui sont entremêlées dans les colonies d'<i>Acropora</i> branchus - Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens - Algues brunes <i>Lobophora</i> : le recouvrement est stable : il est important en A (niveau 4) et modéré en B (niveau 3) → caractère envahissant potentiel - Algues rouges <i>Asparagopsis taxiformis</i> : absente - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Culcita novaeguineae</i> - Présence de 2 <i>Acanthaster planci</i> en A en mai 2018 - Absence de <i>Drupella cornus</i>

Localisation	Station	Particularités des stations	Variations des biocénoses entre septembre 2017 et mai 2018
	ST03 Port	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Originalité des espèces coralliennes adaptées à un milieu turbide : - Présence potentielle de <i>Heliofungia actiniformis</i> aux transects A & B - Présence d'une colonie métrique de <i>Blastomussa merleti</i> au transect C (rare) ↳ La mortalité corallienne est induite par l'apport d'eau douce au niveau bathymétrique supérieur et par l'hyper sédimentation en profondeur ↳ Le turn over corallien est conséquent (colonies de petite taille surtout en C). Malgré les conditions turbides importantes, les colonies juvéniles remplacent progressivement les colonies envasées ↳ Présence en grand nombre d'espèces à longs polypes <i>Alveopora</i> spp., <i>Alveopora catalai</i>, <i>Goniopora</i> spp. et d'espèces à croissance rapide <i>Acropora</i> spp. à mi pente ↳ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, de nombreuses colonies d'<i>Acropora</i> tabulaires et branchues sont mortes en place dans les pourtours du transect A ↳ Les alcyonaires (<i>Sarcophyton</i>) sont nombreux ↳ Le <i>Tridacna squamosa</i> au transect A est mort en octobre 2014 ↳ Présence occasionnelle de <i>Culcita novaeguineae</i> ↳ Recouvrement très important et en constante augmentation de l'algue brune (genre <i>Lobophora</i>) pour les 3 transects 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 6,5% au transect A, 29% en B et 12,5% en C - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0% ; Avril 2016 : 1.33% ; Novembre 2016 : 0.53% ; Avril 2017 : 0% ; Septembre 2017 : 0% ; Mai 2018 : 0.17%</i> - Lésions coralliennes : une colonie affectée par la maladie de la bande blanche (<i>Montipora</i>) en B <p>De plus, la sédimentation et le développement très important des algues brunes (<i>Lobophora</i>), entraînent des lésions irréversibles sur de nombreuses colonies coralliennes (surtout en B & C)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perturbations sédimentaires : dépôts sédimentaires sur des colonies coralliennes dégradées partiellement ou entièrement aux 3 transects (<i>Acropora</i> spp. tabulaire et branchu, <i>Montipora</i> spp., <i>Leptoseris scabra</i>, <i>Leptoseris explanata</i>, <i>Cyphastrea japonica</i>, <i>Blastomussa merleti</i>, <i>Porites</i>) <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement stable en A (niveau 2) et en augmentation en B (niveau 0 et 2). Elles se développent sur les débris coralliens et le substrat d'origine terrigène - Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies mortes en place - Algue brune <i>Lobophora</i> : présence aux 3 transect. Recouvrement est important et en augmentation sur l'ensemble de la station (respectivement niveau 2/5/3 à 3/5/4) → caractère envahissant potentiel - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : absente - <i>Cliona orientalis</i> : stable en A & B et augmentation en C (niveau 0 à 2) - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Acanthaster planci</i> et <i>Culcita novaeguineae</i> - <i>Drupella cornus</i> : absence
Canal Woodin	ST04 Woodin	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Le recouvrement corallien au transect A est composé particulièrement par les colonies de <i>Millepora</i> sp., <i>Seriatopora hystrix</i> et <i>Acropora</i> spp. (branchu) ↳ Les colonies coralliennes de la famille des Pocilloporidae ont une croissance importante (<i>Seriatopora hystrix</i> et <i>Pocillopora damicornis</i>, <i>Stylophora pistillata</i>) ↳ Présence en grand nombre de <i>Millepora</i> et <i>Tubastraea micrantha</i> (taille plurimétrique). Les autres espèces sont de taille décimétrique ↳ La richesse spécifique des coraux diminue nettement avec la profondeur ↳ Originalité des espèces benthiques adaptées à un milieu d'hydrodynamisme important (courant de marée) avec une turbidité soutenue ↳ Mortalité corallienne et nombreux débris (hydrodynamisme important) ↳ Recouvrement important en B des éponges encroûtantes (<i>Cliona</i>) ↳ Les macrophytes ont une faible couverture ↳ Les crinoïdes sont nombreuses et installées sur les promontoires ou les colonies de <i>Tubastraea</i> exposées aux courants de marée ↳ Dégradations mécaniques depuis mars 2015 (cyclone Pam) : formation d'un petit couloir d'effondrement aux transects A & B et quelques grandes colonies de <i>Tubastraea micrantha</i> se sont effondrées au C mais elles continuent de s'édifier ↳ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, de nombreuses colonies sont mortes en place en A & B. La mortalité concerne principalement les colonies <i>Seriatopora hystrix</i>, <i>Pocillopora damicornis</i> et des <i>Acropora</i> spp. ↳ Selon les précipitations un petit creek se déverse sur le platier au-dessus de la station. Les transects A & B peuvent être perturbés par les particules sédimentaires (colonies mortes en place ou nécrosées) 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 37% au transect A, 32% en B et 6.5% en C <p>La reprise au transect A est confirmée</p> <ul style="list-style-type: none"> - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.37% ; Avril 2016 : 11.57% ; Novembre 2016 : 0.43% ; Avril 2017 : 1.07% ; Septembre 2017 : 0.17% ; Mai 2018 : 0.63%</i> - Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche affecte deux colonies coralliennes (<i>Acropora</i> tabulaires) aux transects A et B (respectivement 0.6 et 1.1 m²). Les colonies anciennement affectées sont mortes en place - Perturbations mécaniques et sédimentaires : absence de dépôt sédimentaire sur les colonies coralliennes. Les colonies blanchies en C (0.2 m²) résultent de fragmentation (hydrodynamisme) <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : présence en A & B (niveau 2) (recouvrement en augmentation pour A (niveau 0 précédemment). Elles se développent sur les colonies coralliennes mortes en place - Le turf algal se développe en A & B sur les colonies anciennement blanchies (<i>Seriatopora hystrix</i>, <i>Pocillopora damicornis</i>, <i>Stylophora pistillata</i> ...) et les colonies coralliennes mortes en place. Son développement est modéré sur les débris coralliens - Algue brune <i>Lobophora</i> : recouvrement stable en B - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : absente - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : absent en A et stable en B & C <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Acanthaster planci</i> et des <i>Culcita novaeguineae</i> - Absence de <i>Drupella cornus</i>
Canal Havannah	ST05 Ioro	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme important (courant de marée et relativement protégé de la houle et du ressac) ↳ Présence en grand nombre de <i>Porites</i> massifs et branchus (diversité des Poritidae), <i>Millepora</i>, <i>Tubastraea micrantha</i> et d'une grande colonie pluri métrique de <i>Diploastrea heliophora</i> ↳ Mortalité corallienne (colonies en place) et nombreux débris 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 32.5% au transect A, 29% en B et 0.5% en C - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0% ; Avril 2016 : 0.17% ; Novembre 2016 : 0% ; Avril 2017 : 0.13% ; Septembre 2017 : 0% ; Mai 2018 : 0.4%</i> - Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche affecte des colonies d'<i>Acropora</i> tabulaires en B (0.9 m²). Les colonies anciennement affectées sont mortes en place. Très nombreuses anomalies de croissance sur

Localisation	Station	Particularités des stations	Variations des biocénoses entre septembre 2017 et mai 2018
		<ul style="list-style-type: none"> ↳ Les spongiaires (<i>Cliona jullieni</i> et <i>C. orientalis</i>) sont relativement bien développées et colonisent les massifs coralliens vivants et les blocs coralliens ↳ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques ↳ Présence occasionnelle d'<i>Acanthaster planci</i> 	<p>la grande colonie de <i>Diploastrea heliophora</i> (transect B). Les lésions induites par les corallivores sont très restreintes (1 spécimen d'<i>Acanthaster</i> en A & B, respectivement 0.3 et 0.2 m²)</p> <p>- Perturbations mécaniques et sédimentaires : RAS pour cette mission</p> <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement en augmentation pour A & B (respectivement niveau 1 à 2 et 0 à 1). Elles se développent sur les débris coralliens - Le turf algal se développe modérément sur les débris et les colonies coralliennes mortes en place au fur et à mesure de leur dégradation. - Algue brune <i>Lobophora</i> : recouvrement en augmentation en B (niveau 0 à 2) - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : absente - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence de <i>Culcita novaeguineae</i> - Présence d'1 spécimen d'<i>Acanthaster planci</i> en A & B - Absence de <i>Drupella cornus</i>
ST06	Ionontea	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme très important (courant de marée, houle et ressac) ↳ Dégradation des communautés benthiques sur l'ensemble de la station à cause de l'hydrodynamisme important : arrachement et casse des colonies coralliennes au transect A, puis remobilisation et accumulation de débris et de blocs coralliens pour les autres transects B & C (2015) ↳ Nombreux coraux tabulaires retournés sur l'ensemble de la station (mortalité conséquente par arrachement) ↳ Présence de grandes colonies de <i>Porites</i> massifs à mi pente (transect B) ↳ Les spongiaires (<i>Cliona jullieni</i> et <i>C. orientalis</i>) se développent relativement bien et colonisent les blocs coralliens et les massifs coralliens vivants ↳ Fortes compétition spatiale entre les coraux, les alcyonaires et les spongiaires ↳ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques ↳ Absence de l'algue brune <i>Lobophora variegata</i> ↳ Présence de <i>Blastomussa wellsi</i> en C ↳ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 30.5% au transect A, 31% en B et 10.5% en C - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.33% ; Avril 2016 : 0.5% ; Novembre 2016 : 0.15% ; Avril 2017 : 1.07% ; Septembre 2017 : 0.17% ; Mai 2018 : 0.6%</i> - Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.9 m² et 0.6 m²). Les espèces concernées sont <i>Acropora</i> tabulaire et branchu et <i>Seriatopora hystrix</i> - Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation aux transects inférieurs (B & C). De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation de débris, blocs, colonies coralliennes et de sable carbonaté par la houle et le ressac) <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : présence en B (niveau 2). Elles se développent sur les colonies mortes en place (surtout <i>Acropora</i>) - Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies coralliennes au fur et à mesure de leur dégradation (effondrement de débris) - Algue brune <i>Lobophora</i> : absente - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : recouvrement en augmentation en B (niveau 0 à 2) - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Acanthaster planci</i> et des <i>Culcita novaeguineae</i> - Absence de <i>Drupella cornus</i>
ST07	Basse Chambeyron	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme très important (courant de marée, houle et ressac) et taille relativement petite des colonies ↳ Dégradation des communautés benthiques sur l'ensemble de la station à cause de l'hydrodynamisme important : arrachement et casse des colonies coralliennes au transect A et accumulation de débris et blocs coralliens pour les autres transects B & C ↳ La station présente de nombreuses zones d'accumulation de débris et de coraux tabulaires retournés (conditions hydrodynamiques exceptionnelles). Couloirs d'effondrement de part et d'autre des transects et en bas de pente récifale (mortalité corallienne importante) ↳ Les spongiaires (<i>Cliona jullieni</i> et <i>C. orientalis</i>) sont relativement bien développées et colonisent les blocs coralliens et les massifs coralliens vivants ↳ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques (diversité et abondance variables selon les missions) ↳ Les crinoïdes privilégient également ce type de biotope balayé par les courants de marée ↳ Richesse spécifique et abondance des macrophytes qui varient selon les saisons 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 26.5% au transect A, 12.5% en B et 1.5% en C - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.47% ; Avril 2016 : 0.67% ; Novembre 2016 : 0.03% ; Avril 2017 : 0.13% ; Septembre 2017 : 0.43% ; Mai 2018 : 0.5%</i> - Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.8 m² et 0.4 m²). Le genre concerné est particulièrement <i>Acropora</i> tabulaires et dans une moindre mesure <i>Acropora</i> branchus - Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation en B & C. De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation des débris et colonies par la houle et le ressac) <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : présence très importante (augmentation) en B & C (respectivement niveau 3 et 5). Recouvrement en diminution pour A (niveau 2 à 0). Elles se développent principalement sur le sable carbonaté, les débris et les colonies mortes en place - Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens et les colonies coralliennes au fur et à mesure

Localisation	Station	Particularités des stations	Variations des biocénoses entre septembre 2017 et mai 2018
		<ul style="list-style-type: none"> ↪ Absence de l'algue brune <i>Lobophora variegata</i> ↪ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A 	<p>de leur dégradation (effondrement de débris)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Algue brune <i>Lobophora</i> : absente - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : le recouvrement est en forte diminution aux 3 transects (respectivement 5/3/2 à 2/2/0) - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Acanthaster planci</i> et des <i>Culcita novaeguineae</i> - Présence de <i>Drupella cornus</i> en A & B (niveau 2)
ST08	Puka	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Cette station est située en bordure du récif frangeant du canal de la Havannah entre les baies de Port Boisée et de Kwé. Ainsi l'influence terrigène est très importante (dépôts de particule fines) mais l'hydrodynamisme peut être également soutenu (houle et ressac) ↪ Croissance de grandes colonies de <i>Porites lobata</i> (avec des anomalies de croissance en B) ↪ Présence de <i>Tubipora musica</i> en B ↪ Les spongiaires (<i>Cliona orientalis</i> et <i>Cliona jullieni</i>) sont relativement bien développées et colonisent les débris coralliens et les colonies coralliennes vivantes ↪ Dégradations importantes depuis la mission de mars 2011 : → accentuées par les tempêtes tropicales (Vania, Zelia, Fréda, Pam) <ul style="list-style-type: none"> - baisse recouvrement et diversité corallienne : mortalité importante, coraux tabulaires retournés et nombreux débris coralliens - maladies coralliennes affectant un grand nombre d'espèce depuis mars 2011 - développement des spongiaires (<i>Cliona</i>) - développement des corallivores (<i>Drupella cornus</i>) - développement de turf algal et de cyanobactéries <p>Les colonies coralliennes malades sont pour la plupart mortes en place en octobre 2014 (maladie de la bande blanche et perte de tissu)</p> <ul style="list-style-type: none"> → Désormais la richesse corallienne augmente avec la présence de colonies juvéniles. Les nouvelles espèces sont adaptées à la turbidité → Les dépôts sédimentaires peuvent être soutenus selon les missions. Ils entraînent des nécroses sur les colonies coralliennes (source particulière : baie Kwé) <ul style="list-style-type: none"> ↪ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A & B 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 20.5% au transect A et 2% en B - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.13% ; Avril 2016 : 1% ; Novembre 2016 : 0.23% ; Avril 2017 : 1.25% ; Septembre 2017 : 1.15% ; Mai 2018 : 0.9%</i> - Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.7 m² et 1.1 m²). Le genre concerné est <i>Acropora</i> tabulaire (mortalité en B) <p>La maladie de la tâche noire (hypermycose endolithique) ne paraît pas être une cause de mortalité. Cette lésion persiste sur quelques Fungiidae et colonies encroûtantes (A > B). En B, les anomalies de croissance de la colonie de <i>Porites</i> plurimétrique sont toujours importantes mais elles évoluent peu</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perturbations sédimentaires : dépôts sédimentaires sur des colonies coralliennes dégradées partiellement ou entièrement en A & B (<i>Acropora</i> spp. tabulaire et branchu, <i>Montipora</i> spp., <i>Porites</i>). Les nécroses sur les colonies coralliennes en B sont surtout induites par les dépôts sédimentaires successifs <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement en diminution en A (niveau 4 à 2). Elles colonisent principalement les colonies coralliennes mortes en place et les débris coralliens recouvert de sédiment terrigène - Le turf algal se développe abondamment sur les débris coralliens et les colonies coralliennes mortes en place - Algue brune <i>Lobophora</i> : le recouvrement est stable en A & B (niveau 2) - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : le recouvrement est en diminution en A & B (niveau 3 à 2) - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Acanthaster planci</i> et des <i>Culcita novaeguineae</i> - Présence de <i>Drupella cornus</i> en A (niveau 1)
ST09	Bancs Kié	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Originalité des peuplements coralliens adaptés à un milieu d'hydrodynamisme important (courant de marée, houle et ressac) et taille majoritairement petite des colonies. Cependant présence d'une colonie de taille métrique de <i>Turbinaria stellulata</i> au transect B ↪ Un grand nombre de gorgones s'est développé aux pourtours de la station depuis avril 2016 ↪ Le développement des coraux est restreint par la contrainte hydrodynamique ↪ La pente récifale est abrupte et la dalle est arasée par les courants de marée et la houle ↪ De nombreuses colonies coralliennes ont été retournées par les agents hydrodynamiques sur l'ensemble de la station lors de la dépression Fréda (début d'année 2013) et le passage plus ou moins éloigné du cyclone Pam (mars 2015). Ces colonies désolidarisées de leur substrat dévalent progressivement la pente récifale ↪ Abondance des alcyonaires, macrophytes et ascidies sur le sommet du récif : <ul style="list-style-type: none"> - Les alcyonaires ont un recouvrement important (<i>Lobophytum</i>) et une richesse spécifique élevée - Les macrophytes ont un recouvrement et une richesse spécifique élevés → Saisonnalité des algues rouges (<i>Trichogloea requienii</i> et d'<i>Asparagopsis taxiformis</i>) - La richesse spécifique des ascidies est élevée ↪ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques (diversité et abondance) 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 19.5% au transect A, 15% en B et 17 % en C - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.1% ; Avril 2016 : 0.27% ; Novembre 2016 : 0.27% ; Avril 2017 : 1.1% ; Septembre 2017 : 0.2% ; Mai 2018 : 0.63%</i> - Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche réapparaît aux 3 transects (respectivement 0.7 m², 0.6 m² et 0.6 m²). Elle affecte les colonies d'<i>Acropora</i> tabulaires - Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation aux 2 transects inférieurs. De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation des débris, blocs, colonies coralliennes et sable carbonaté par la houle et le ressac) <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement stable aux 3 transects (respectivement niveau 0/2/0). Elles colonisent quelques colonies coralliennes mortes en place (surtout <i>Acropora</i>) et les débris coralliens - Le turf algal se développe sur les débris coralliens et la dalle - Algue brune <i>Lobophora</i> : absente - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : le recouvrement est en diminution aux 3 transects (niveau 3/4/4 à 2) - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Acanthaster planci</i> et des <i>Culcita novaeguineae</i>

Localisation	Station	Particularités des stations	Variations des biocénoses entre septembre 2017 et mai 2018
		<ul style="list-style-type: none"> ↪ Les crinoïdes affectionnent ce milieu balayé par les courants de marée ↪ Suite au blanchissement corallien du début d'année 2016, quelques colonies sont mortes en place ou nécrosées en A 	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de <i>Drupella cornus</i>
	ST11 Toémo	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Les conditions hydrodynamiques sont soutenues durant toute l'année (courant, ressac, houle) ↪ Ce récif a subi des dégradations durant les événements cycloniques du début d'année 2011 (Vania, Zelia), le cyclone de janvier 2013 (Fréda) et dans une moindre mesure les cyclones Pam en mars 2015 et Winston en février 2016 → Dégradations des communautés benthiques d'ordre mécanique sur l'ensemble de la station à cause de l'hydrodynamisme important : arrachement et casse des colonies coralliennes au transect A et accumulation de débris et de blocs coralliens pour les autres transects B & C ↪ Les scléactiniaires développent des morphologies robustes ↪ La richesse spécifique des coraux est relativement élevée pour les niveaux bathymétriques supérieurs et plus importante au transect B que en A (dégradation en sommet de récif par les agents hydrodynamiques intenses) ↪ Saisonnalité des macrophytes et caractère envahissant : les algues rouges (particulièrement <i>Asparagopsis</i>) présentent un développement saisonnier qui peut être très important sur l'ensemble de la station ↪ Les ascidies sont variées et abondantes ↪ Les spongiaires sont relativement abondantes (<i>Cliona</i>) ↪ Les alcyonaires ont un recouvrement relativement élevé ↪ Mobilité bathymétrique des échinodermes (astéries, holothuries, échinides) et des mollusques 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 48.5% au transect A (plus fort recouvrement de tous les transects), 33.5% en B et 6.5% en C - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.4% ; Avril 2016 : 0.57% ; Novembre 2016 : 0.2% ; Avril 2017 : 0.1% ; Septembre 2017 : 0.1% ; Mai 2018 : 0.4%</i> - Lésions coralliennes : la maladie de la bande blanche réapparaît aux 3 transects (respectivement 0.4 m², 0.6 m² et 0.2 m²). Elle affecte les colonies d'<i>Acropora</i> tabulaires et branchus, <i>Stylophora pistillata</i>, <i>Seriatopora caliendrum</i> et <i>Merulina ampliata</i> - Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation en B. De nombreuses colonies ne sont plus fixées sur le substrat (remobilisation des débris, blocs, colonies coralliennes et sable carbonaté par la houle et le ressac, particulièrement en A & B pour s'accumuler en C) <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement en diminution en C (niveau 2 à 0) et en augmentation en A (niveau 0 à 2). Elles colonisent quelques colonies coralliennes mortes en place (surtout <i>Acropora</i>) et les débris coralliens - Le turf algal se développe modérément sur les débris coralliens particulièrement en B & C - Algue brune <i>Lobophora</i> : absente (stable) - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : le recouvrement est stable en A & B (niveau 2) et disparaît en C - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence des <i>Acanthaster planci</i> et des <i>Culcita novaeguineae</i> - Présence de <i>Drupella cornus</i> en A (niveau 2)
	ST12 Ugo	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Croissance de grandes colonies de <i>Porites</i> sp., <i>Lobophyllia corymbosa</i> et de grands massifs d'<i>Alveopora</i> sp, <i>Goniopora</i> sp. et <i>Acropora</i> spp. ↪ Le reste des colonies coralliennes sont de taille décimétrique (turn over important) ↪ Grande diversité et abondance des coraux libre (famille Fungiidae) qui affectionnent particulièrement ce substrat détritique ↪ Accumulation de débris importante sous le transect et en périphérie de la station (grands couloirs d'effondrement qui deviennent de plus en plus large) ↪ Mortalité corallienne, couloir d'effondrement et nombreux débris (lors des périodes dépressionnaires) ↪ Sédimentation importante de particules fines carbonatées en bas du tombant (début de pente sédimentaire) ↪ Recouvrement très important de <i>Sarcophyton</i> (alcyonaires) ↪ Recouvrement algal très faible ↪ Les spongiaires (<i>Cliona jullieni</i> et <i>C. orientalis</i>) sont relativement bien développées et colonisent les massifs coralliens vivants et les blocs coralliens 	<p>Indicateur Corail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le recouvrement corallien est de 36.5% au transect A et 18% en B - Blanchissement corallien (surface totale observée) : <i>Octobre 2015 : 0.5% ; Avril 2016 : 0.25% ; Novembre 2016 : 0.5% ; Avril 2017 : 0.2% ; Septembre 2017 : 1.35% ; Mai 2018 : 0.75%</i> - Lésions coralliennes : maladie de la bande blanche en A & B (respectivement 0.3 m² et 0.6 m²). Les genres concernés sont <i>Acropora</i> tabulaires et branchus. Il y a également quelques anomalies de croissance sur des colonies de <i>Porites</i> en A. Les lésions induites par les corallivores sont très restreintes (1 spécimen d'<i>Acanthaster</i> et quelques <i>Drupella cornus</i> en A : 0.6 m² de corail blanchi) - Perturbations mécaniques (Gita : février 2018 et Hola : mars 2018) : remobilisation en A & B. Les débris du couloir d'effondrement sont régulièrement remobilisés par la houle <p>Autres indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyanobactéries : recouvrement en diminution en B (niveau 2 à 0) et stable en A (niveau 2). Elles se développent sur les débris coralliens remobilisés dans les couloirs d'effondrements - Le turf algal se développe abondamment sur les débris coralliens et les colonies coralliennes mortes en place au fur et à mesure de leur dégradation - Algue brune <i>Lobophora</i> : le recouvrement est en diminution en B (niveau 3 à 2) - Algue rouge <i>Asparagopsis taxiformis</i> : absente (stable) - <i>Cliona orientalis</i> : stable - <i>Cliona jullieni</i> : stable <p>Les corallivores :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence de <i>Culcita novaeguineae</i> - Présence d'1 spécimen d'<i>Acanthaster planci</i> en A - Présence de <i>Drupella cornus</i> en A (niveau 2)



6.3 Ichtyologie

Ce chapitre présente les résultats obtenus en mai 2018 sur le peuplement de poissons et les compare aux résultats des missions précédentes qui lui sont comparables à savoir celles réalisées depuis 2007.

Les données 2005 ne sont pas reprises ici, mais elles sont disponibles toutefois dans un des rapports précédents (de 2008 [20]).

Dans tous les tests suivants la station Ugo (ST12) est incluse en donnant aux missions 2007 et 2008, alors qu'elle n'était pas encore échantillonnée, la valeur moyenne des missions suivantes.

La méthode est celle demandée par le Cahier des Charges (rédigé par la DENV). C'est-à-dire :

- la méthode des Transects à Largeur Variable (TLV) ;
- mais surtout, attention : le Cahier des Charges impose le repérage que de quelques espèces (cf. [tableau b annexe 01](#)). Sur le terrain, il a été procédé à un repérage exhaustif et ensuite, lors de la saisie, les espèces qui ne sont pas dans la liste ont été retirées.

Cette contrainte a un impact fort sur le paramètre de biodiversité. En effet, scientifiquement 3 niveaux de biodiversité sont distingués :

- La biodiversité dite α ($B\alpha$) est le nombre d'espèces n présentes sur une station i : $B\alpha_i = n_i$
- La biodiversité β ($B\beta$) est la diversité des valeurs de diversités α ; soit en d'autres termes la diversité des stations qui caractérisent la zone étudiée
- La biodiversité γ ($B\gamma$) est la biodiversité totale de la zone, en d'autres termes, la réunion des biodiversités α obtenues sur l'ensemble p des stations choisies pour caractériser la zone : $B\gamma = \cup B\alpha_{ii}$

Du fait des limites imposées par le Cahier des Charges, les biodiversités β et γ ne peuvent être calculées et la biodiversité α est donc tronquée. Cependant, pour certains calculs et comparaisons, la liste « totale » est parfois reprise :

- Biodiversité 1 : ne prend en compte que les espèces de la liste du CdC et présentes sur les transects (ce qui est demandé)
- Biodiversité 2 : ne prend en compte que les espèces de la liste du CdC, mais sur toute la station
- Biodiversité 3 : considère toutes les espèces sur toute la station (c'est la vraie $B\alpha$).

Dans tous les paragraphes qui suivent, sauf mention contraire, ce sont les poissons de la liste restreinte et présents sur les transects (biodiversité 1) qui ont été pris en compte.

Les données quantitatives par station de la partie précédente sont des données conjoncturelles uniques, donc non statistiques et de plus affectées d'une forte variabilité et de nombreux biais, dus aux comportements des poissons. Cela obère toute comparaison spatiale annuelle significative.

En revanche, la prise en considération de l'ensemble des stations de la zone donne une série statistique exploitable permettant une analyse temporelle. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée par un choix de stations très hétérogènes : baie de Prony contre canal de la Havannah, et même au sein du canal de la Havannah, des stations sur des bancs à fort courant, des stations exposées aux alizés et d'autres au contraire protégées et donc à plus faible hydrodynamisme.

6.3.1 Test paramétrique par analyse des variances (ANOVAR)

Les tableaux de données se présentent avec les stations en lignes et les années (missions) en colonnes. L'ANOVAR est un test paramétrique qui vérifie l'homogénéité d'un tel tableau, en effet, c'est un test sur les moyennes qui confronte la variance globale du tableau dite « variance factorielle » à la variance entre les colonnes dudit tableau, dite « variance résiduelle ».

L'ANOVAR des tableaux de densité, de biomasse et de biodiversité peut être réalisée en confrontant la variance du tableau aux variances annuelles, donc en colonnes : c'est alors l'homogénéité temporelle qui est testée, ou en confrontant la variance globale aux variances des stations, donc en lignes : c'est alors l'homogénéité spatiale qui est testée.

Pour l'ensemble des tests, l'hypothèse H_0 testée est « l'homogénéité (ou égalité) des variances ». Si l'hypothèse nulle est vérifiée, cela correspond à une probabilité forte de « similarité des colonnes ».

Rappel sur le cadre d'utilisation de l'ANOVA.

Lors du passage des membres de la mission INERIS, ils nous ont fait la remarque que l'utilisation de l'ANOVA sur nos données n'était pas pertinente, compte tenu du fait que « l'hypothèse de normalité » n'était



pas respectée et que l'homoscédasticité des données n'était pas vérifiée.

En théorie, une ANOVA est performante si les données analysées sont normales¹⁵ et si la prise de données est conforme aux règles d'homoscédasticité¹⁶. En pratique cela dépend du protocole de collecte et du type d'ANOVA réalisé. Dans notre contexte ces deux règles, de normalité et d'homoscédasticité peuvent être transgressées. En effet, les ANOVA se classent en deux types : ANOVA de type aléatoire et ANOVA de type fixe. Cela dépend du mode opératoire, c'est-à-dire du protocole d'échantillonnage. Le prélèvement de la donnée étant dans les deux cas aléatoire, l'ANOVA sera de type aléatoire si les stations sont également choisies à chaque mission selon un processus aléatoire et l'ANOVA sera de type fixe si les stations sont toujours les mêmes. En d'autres termes, selon qu'il y ait un ou deux niveaux aléatoires.

Nous sommes donc ici dans le cas d'un modèle fixe puisque nos stations sont définies a priori et pour tout le temps que durera le suivi. De nombreuses études relatives au modèle fixe montrent que l'analyse de la variance est peu sensible à la non-normalité tant en ce qui concerne le niveau de signification qu'en ce qui concerne la puissance du test [21 à 27]. De plus, ces études montrent aussi que l'hypothèse d'homoscédasticité est très secondaire dans le modèle fixe lorsque les effectifs sont égaux. Or, c'est également le cas de nos données puisque le nombre de stations est toujours le même et que le nombre de visites aux stations est le même pour toutes les stations depuis le début du suivi en 2007.

Par ailleurs, compte tenu de la nature des données poissons, la vérification de l'homoscédasticité du tirage des données serait sans doute d'un coût prohibitif et de plus probablement infructueuse.

Des explications plus complètes sont développées en annexe 03 du rapport de novembre 2016 [10].

Les données brutes pour chaque paramètre (densité, biomasse, biodiversité 1 et 3) sont données dans les tableaux 106 à 109.

Les graphiques des figures 92 à 95 permettent une approche synoptique. Ils montrent d'un coup d'œil, les différences entre missions, donc au cours du temps et les différences dans l'espace, c'est-à-dire entre stations.

Cette nouvelle présentation montre aussi l'écart considérable qui existe entre la baie de Prony et le canal de la Havannah.

6.3.1.1 Variance temporelle : comparaison entre les missions

Ho : Homogénéité des missions. En d'autres termes : Pour un même paramètre, existe-t-il lors de chaque mission un schéma spatial (dispersion des valeurs du paramètre) similaire à celui de la période d'étude toute entière ?

6.3.1.1.1 En baie de Prony

L'analyse des variances des 4 paramètres suivis pour les différentes campagnes (cf. tableau 104) pour les 3 stations de la baie de Prony, montre une **homogénéité** des missions pour la densité et la biomasse et une **hétérogénéité** pour les 2 biodiversités.

Tableau n°104 : Analyse de la Variance temporelle des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) en baie de Prony

ANOVA	k1	k2	F _{0,95}	F _{obs.}			
				Densité	Biomasse	Biodiversité 1	Biodiversité 3
Prony	19	40	1,85	1,63	1,47	2,90	4,41

¹⁵ Distribuées selon une loi de Gauss, dite « normale »

¹⁶ Homoscédasticité : qui a une dispersion identique. (i.e. les variances sur les erreurs pour chaque collecte de données doivent être identiques)

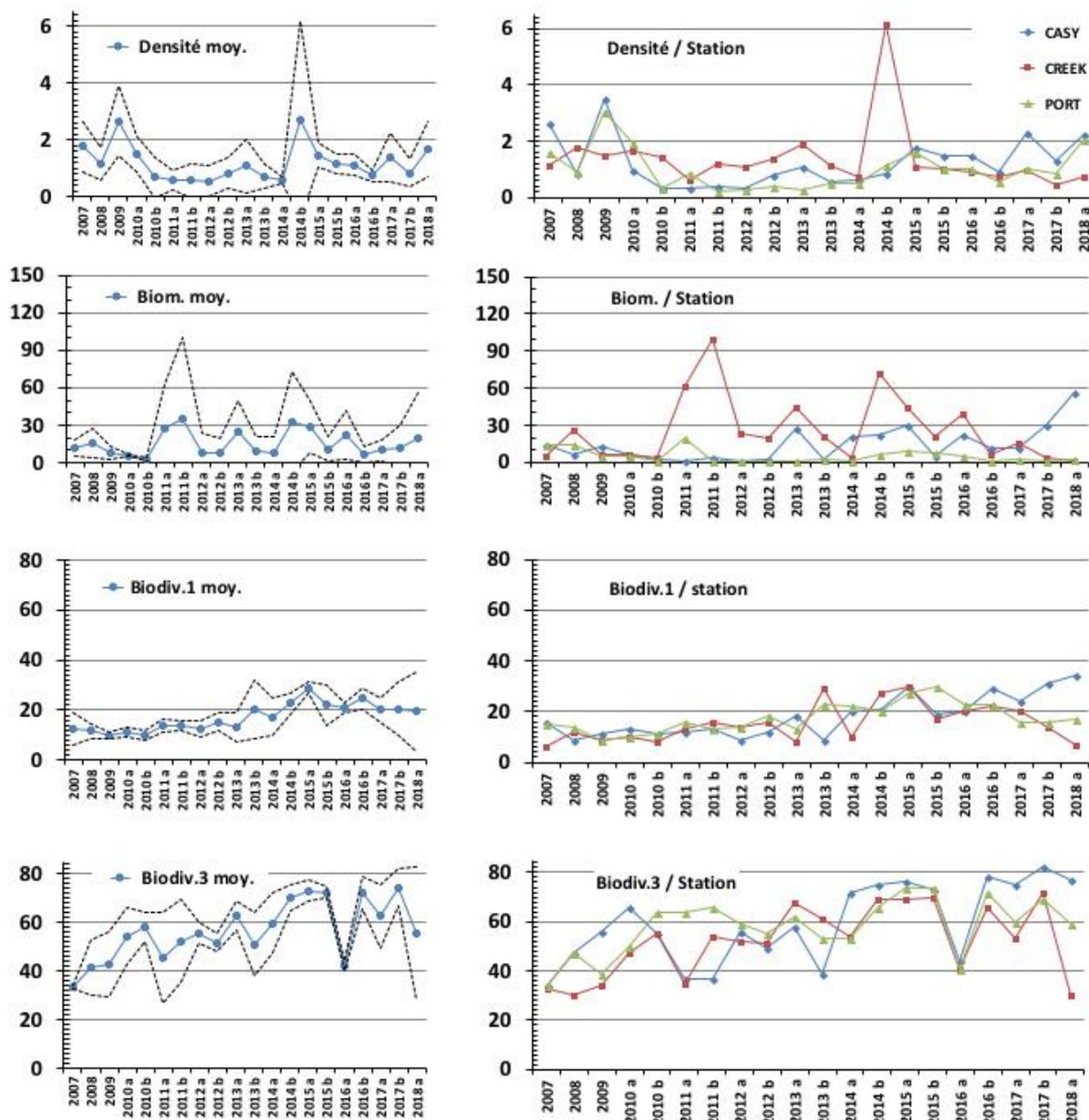


Figure n°92 : Evolution de la moyenne des paramètres ichthyologiques depuis 2007, par campagne et station (baie de Prony)

6.3.1.1.2 Dans le canal de la Havannah / Woodin

L'analyse des variances des 4 paramètres suivis pour les différentes campagnes (cf. tableau 105) pour les 9 stations du canal de la Havannah / Woodin, montre une **hétérogénéité** des missions pour tous.

Tableau n°105 : Analyse de la Variance temporelle des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) dans le canal de la Havannah / Woodin

ANOVA	k1	k2	F _{0,95}	F _{obs.}			
				Densité	Biomasse	Biodiversité 1	Biodiversité 3
Havannah	19	160	1,65	1,86	3,03	3,85	6,52

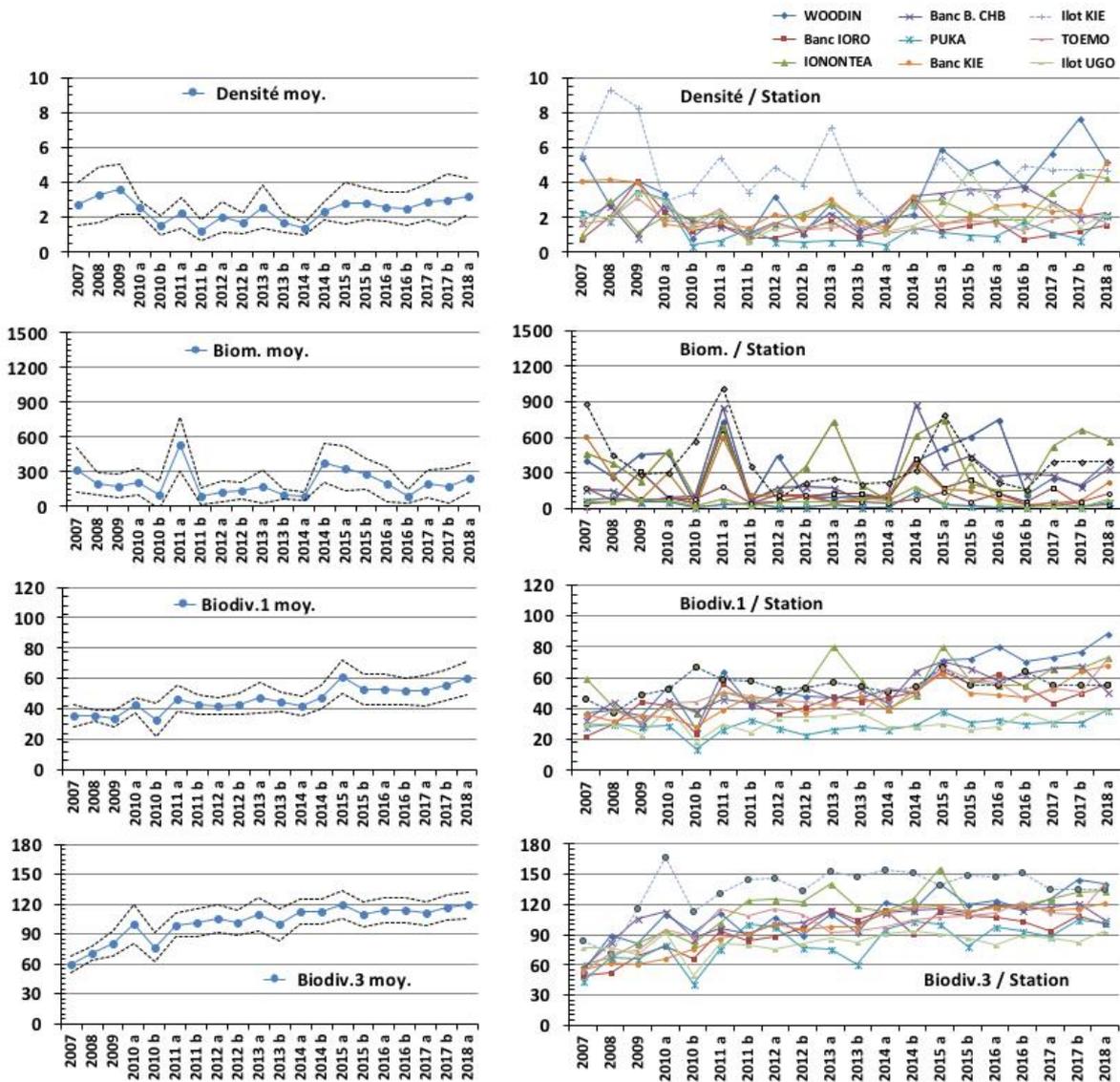


Figure n°93 : Evolution de la moyenne des paramètres ichthyologiques depuis 2007, par campagne et station (canal de la Havannah / Woodin)

Tableau n°106 : *Densités moyennes ichtyologiques (ind./m²) par campagne et station*

	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11	ST12
	Casy	Baie nord	Port	Woodin	Ioro	Ionontea	B. Chamb.	Puka	B. Kié	I. Kié	Toémo	Ugo
2007	2,63	1,12	1,59	5,45	0,73	2,45	1,78	2,32	4,13	5,57	1,64	2,08
2008	0,87	1,76	0,92	2,71	2,02	2,99	2,73	1,84	4,21	9,37	1,90	2,08
2009	3,50	1,49	3,03	4,07	4,09	1,17	0,91	3,50	4,01	8,30	3,12	3,49
2010 a	0,93	1,68	1,95	3,38	2,37	2,05	2,66	3,05	1,66	2,94	1,86	3,01
2010 b	0,33	1,41	0,31	0,84	1,23	1,91	1,79	0,46	1,35	3,46	1,59	1,44
2011 a	0,30	0,61	0,86	2,11	1,56	2,23	1,62	0,68	1,81	5,47	2,50	2,36
2011 b	0,36	1,18	0,22	0,95	0,81	0,75	1,05	1,30	1,42	3,48	0,90	0,60
2012 a	0,33	1,10	0,24	3,20	0,87	1,64	1,70	0,70	2,18	4,93	1,70	1,40
2012 b	0,78	1,36	0,41	1,09	1,22	2,25	1,24	0,63	1,96	3,85	1,27	1,46
2013 a	1,09	1,91	0,28	2,71	1,80	2,80	2,26	0,68	3,04	7,23	1,35	1,60
2013 b	0,56	1,14	0,51	1,32	0,94	1,98	1,18	0,64	1,71	3,00	1,64	2,13
2014 a	0,60	0,71	0,52	1,86	1,12	1,19	1,82	0,47	1,44	2,01	1,08	1,13
2014 b	0,85	6,17	1,12	2,21	3,00	2,87	3,21	1,40	3,20	2,56	1,27	1,54
2015 a	1,75	1,06	1,58	5,90	1,19	3,00	3,37	1,17	1,65	5,44	1,64	2,15
2015 b	1,50	1,03	0,99	4,64	1,53	2,27	3,65	0,99	1,95	3,61	1,78	4,65
2016 a	1,47	0,89	1,02	5,18	1,80	1,89	3,51	0,94	2,64	3,24	1,67	2,59
2016 b	0,91	0,74	0,57	3,56	0,72	1,89	3,81	1,68	2,75	4,95	1,20	1,44
2017 a	2,27	0,98	1,00	5,65	0,96	3,48	2,91	1,15	2,35	4,70	1,84	2,82
2017 b	1,28	0,43	0,82	7,68	1,20	4,47	2,00	0,78	2,42	4,70	2,26	1,50
2018 a	2,25	0,74	2,07	5,20	1,58	4,23	2,27	2,16	5,09	4,70	1,68	2,15

Les données en italique sont des données estimées à partir de moyennes

Tableau n°107 : *Biomasses ichtyologiques (g/m²) moyennes par campagne et station*

	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11	ST12
	Casy	Baie nord	Port	Woodin	Ioro	Ionontea	B. Chamb.	Puka	B. Kié	I. Kié	Toémo	Ugo
2007	14,9	5,5	14,7	408,3	47,7	1322,4	155,2	67,4	607,7	881,8	174,5	74,7
2008	6,7	26,1	14,1	267,8	58,0	385,7	146,8	87,5	273,9	452,0	61,9	74,7
2009	13,1	6,7	4,6	456,3	316,0	226,5	57,4	53,2	62,7	291,1	79,6	73,0
2010 a	5,8	6,7	5,1	460,9	93,8	487,8	85,0	57,6	303,4	298,4	75,4	63,6
2010 b	2,3	4,2	1,3	38,6	37,9	93,0	103,5	11,7	10,6	576,5	75,1	13,9

2011 a	1,0	61,0	19,1	730,7	661,5	687,7	855,0	28,3	593,1	1014,9	188,4	79,9
2011 b	4,0	100,2	1,5	65,4	41,0	76,9	71,3	39,8	118,9	357,3	38,6	14,1
2012 a	0,8	23,2	0,8	446,9	51,1	151,8	175,8	4,9	96,3	73,3	110,9	52,1
2012 b	2,7	20,1	1,6	105,5	99,7	353,1	179,2	7,0	99,5	220,1	108,1	49,3
2013 a	26,8	45,1	1,1	87,5	130,4	730,0	175,1	27,3	40,6	259,1	60,5	57,9
2013 b	2,4	21,2	2,5	97,5	125,5	191,6	62,1	12,9	79,1	207,0	52,1	94,6
2014 a	20,2	3,6	0,6	85,6	83,8	68,6	110,6	9,3	108,7	213,6	45,0	71,9
2014 b	21,6	71,5	6,2	392,3	416,0	622,2	874,0	135,2	376,6	325,0	74,0	189,2
2015 a	30,4	45,1	9,6	510,2	173,9	750,0	358,9	27,6	158,3	795,2	134,5	46,4
2015 b	5,2	20,7	7,5	609,7	240,8	210,7	439,4	20,4	149,2	435,3	57,2	382,9
2016 a	21,8	39,3	5,2	747,4	126,8	150,7	260,2	12,4	75,4	219,1	121,8	42,4
2016 b	12,1	6,6	1,1	108,0	52,5	150,7	283,5	10,1	31,3	155,8	31,5	7,0
2017 a	12,0	15,7	2,0	250,0	169,6	527,3	274,6	56,9	39,6	399,0	19,5	20,2
2017 b	29,9	4,3	1,3	196,0	24,0	667,0	181,0	10,0	64,0	399,0	51,0	11,0
2018 a	12,0	15,7	2,0	405,1	36,6	567,1	255,2	56,6	218,0	399,0	129,7	75,4

Les données en italique sont des données estimées à partir de moyennes

Tableau n°108 : Biodiversités 1 ichtyologiques par campagne et station

	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11	ST12
	Casy	Baie nord	Port	Woodin	Ioro	Ionontea	B. Chamb.	Puka	B. Kié	I. Kié	Toémo	Ugo
2007	16	6	15	37	22	45	33	28	36	46	29	31
2008	9	12	14	39	30	41	44	30	32	37	39	31
2009	11	9	9	35	44	31	29	28	35	49	31	23
2010 a	13	10	10	54	42	44	45	29	34	52	43	41
2010 b	11	8	11	26	24	37	38	14	28	67	44	18
2011 a	12	13	16	64	56	51	46	26	39	59	51	30
2011 b	13	16	13	42	43	46	43	33	48	58	48	25
2012 a	9	14	14	51	36	44	44	27	45	52	45	34
2012 b	12	16	18	48	41	53	53	23	37	53	44	34
2013 a	18	8	13	47	48	80	46	26	43	57	42	35
2013 b	9	29	23	47	44	58	52	28	48	54	37	37
2014 a	20	10	22	52	47	40	43	26	39	51	53	28
2014 b	21	27	20	50	51	49	64	29	52	54	51	28
2015 a	30	30	27	71	64	80	70	38	62	67	67	30

2015 b	19	17	30	72	56	58	66	31	50	55	59	26
2016 a	20	20	23	80	62	55	58	33	49	55	57	28
2016 b	29	22	23	70	54	55	62	30	47	64	46	37
2017 a	24	20	16	73	43	66	66	31	52	55	53	31
2017 b	31	14	16	77	50	66	68	31	64	55	51	38
2018 a	34	7	17	88	56	73	51	39	68	55	72	39

Les données en italique sont des données estimées à partir de moyennes

Tableau n°109 : Biodiversités 3 ichtyologiques par campagne et station

	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11	ST12
	Casy	Baie nord	Port	Woodin	Ioro	Ionontea	B. Chamb.	Puka	B. Kié	I. Kié	Toémo	Ugo
2007	34	33	34	54	50	60	56	44	55	84	53	83
2008	47	30	47	89	52	67	82	68	62	71	71	83
2009	56	34	39	81	69	81	106	66	60	116	74	70
2010 a	66	47	50	110	79	94	113	80	66	167	95	92
2010 b	55	55	64	92	66	81	86	41	75	113	88	50
2011 a	37	35	64	111	94	102	97	76	86	131	116	81
2011 b	37	54	66	88	84	124	91	101	91	145	109	80
2012 a	56	52	59	108	88	125	100	98	100	146	116	75
2012 b	49	51	55	90	96	123	102	77	95	134	110	81
2013 a	58	68	62	110	115	140	114	76	98	153	92	86
2013 b	39	61	53	92	104	117	101	61	98	148	94	82
2014 a	72	54	53	122	114	113	112	95	113	155	98	91
2014 b	75	69	66	115	91	126	114	103	117	152	105	94
2015 a	76	69	74	140	113	156	116	101	118	139	107	91
2015 b	73	70	74	120	109	112	111	79	113	149	109	87
2016 a	44	41	41	124	108	119	120	98	117	147	111	80
2016 b	78	66	72	116	103	119	115	94	119	152	122	89
2017 a	75	53	60	126	94	125	117	88	114	135	111	87
2017 b	82	72	69	145	109	132	121	104	116	135	110	82
2018 a	77	30	59	141	100	134	104	102	121	135	141	93

Les données en italique sont des données estimées à partir de moyennes

6.3.1.2 Variance spatiale : comparaison entre les stations

Ho : Homogénéité des stations. En d'autres termes : Pour un même paramètre, existe-t-il lors d'une mission un schéma temporel (dispersion des valeurs du paramètre) similaire entre toutes les stations ?

6.3.1.2.1 En baie de Prony

Tableau n°110 : *Analyse de la Variance spatiale des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) en baie de Prony*

ANOVA	k1	k2	F _{0,95}	F _{obs.}			
				Densité	Biomasse	Biodiversité 1	Biodiversité 3
Prony	2	57	3,16	1,27	7,31	1,26	1,63

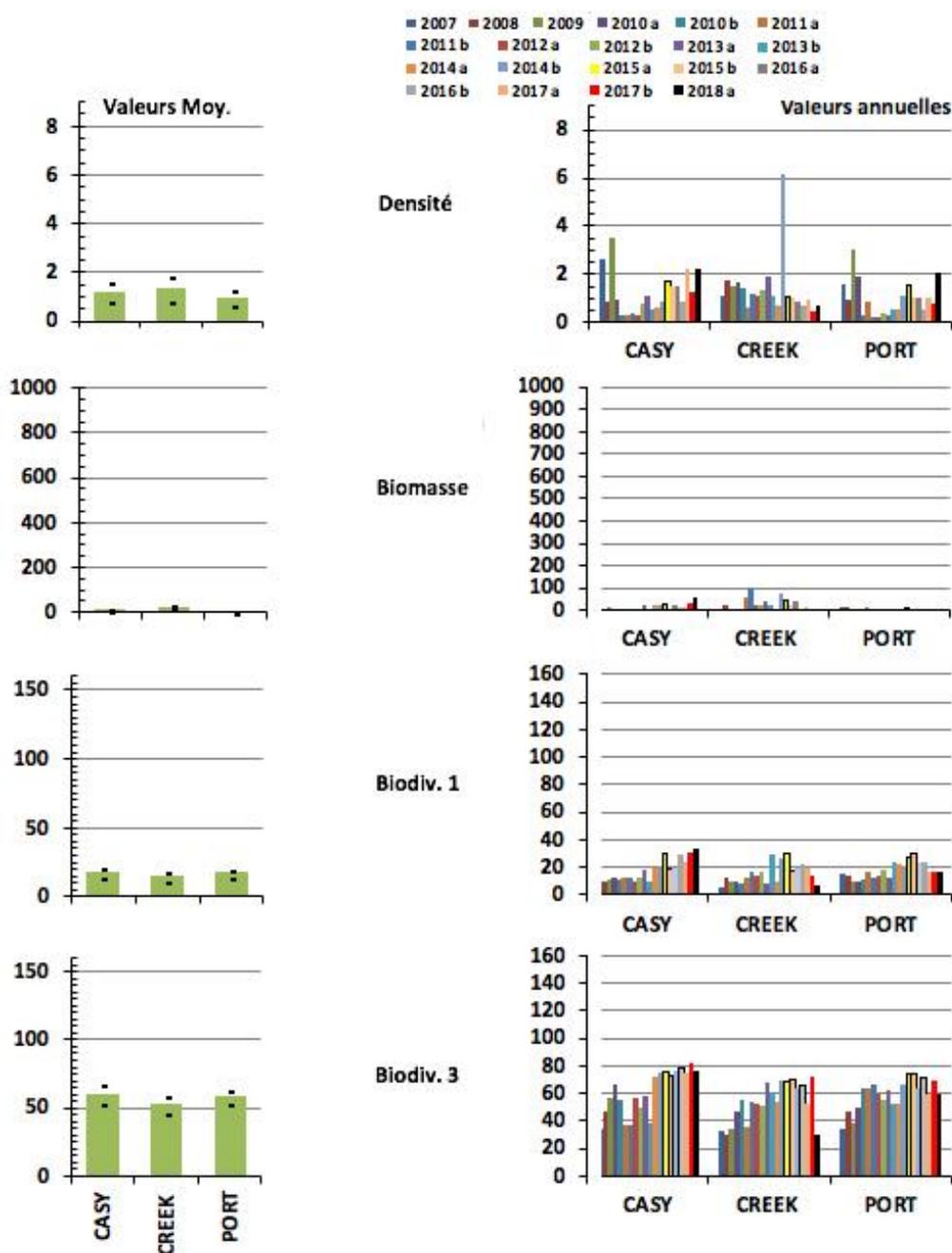


Figure n°94 : *Evolution de la moyenne des paramètres ichthyologiques depuis 2007, par station et campagne (baie de Prony)*



L'analyse des variances des 4 paramètres (cf. [tableau 110](#)) pour les 3 stations de la baie de Prony, montre une **homogénéité** des stations pour la densité et les 2 biodiversités et une **hétérogénéité** pour la biomasse.

6.3.1.2.2 Dans le canal de la Havannah / Woodin

L'analyse des variances des 4 paramètres (cf. [tableau 111](#)) pour les 9 stations du canal de la Havannah / Woodin, montre une **hétérogénéité** des stations pour tous.

Tableau n°111 : Analyse de la Variance spatiale des paramètres ichthyologiques (densité, biomasse, biodiversités) dans le canal de la Havannah / Woodin

ANOVA	k1	k2	F _{0,95}	F _{obs.}			
				Densité	Biomasse	Biodiversité 1	Biodiversité 3
Havannah	8	171	2,00	16,0	11,7	14,2	13,2

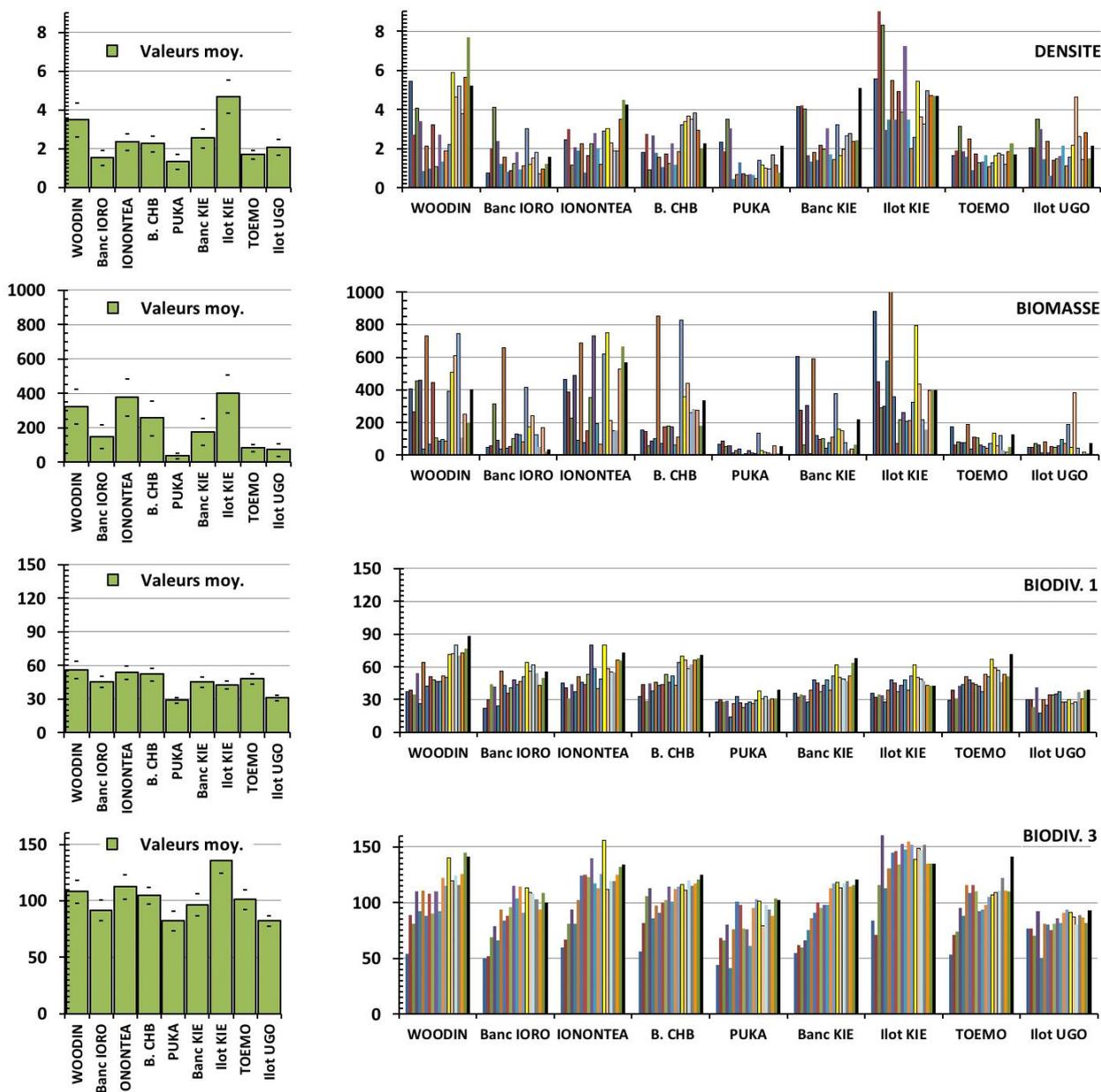


Figure n°95 : Evolution de la moyenne des paramètres ichthyologiques depuis 2007, par station et campagne (canal de la Havannah / Woodin)

6.3.1.3 Commentaires

Commentaires n°01

Dans le rapport de la mission précédente (septembre 2017 [28]), et dans la perspective de futurs amendements au protocole de suivi, nous avons montré la très grande variabilité des paramètres de densité et de biomasse (cf. les graphiques de la [figure 103](#) [28]). De ce fait, nous montrons la médiocre aptitude de ces paramètres à répondre aux questions que l'on se pose sur l'implication de l'activité humaine sur les changements observés.

Commentaires n°02

Dans ce même rapport [28], nous avons présenté un deuxième commentaire (cf. les graphiques de la [figure 104](#) [28]) montrant la plasticité de la biodiversité ichtyologique par l'analyse qualitative des biodiversités 3. En substance (pour une station moyenne de 280 espèces vues depuis 2007) : 10% des espèces sont résidentes, les autres sont nomades sur des territoires plus ou moins vastes et près de 30% sont exceptionnellement vues, du fait sans doute de la faible fréquence des visites et surtout de la petite taille des stations par rapport à la surface de leur domaine de vie (cf. [tableau 112](#)).

Tableau n°112 : *Fréquence moyenne de l'observation des espèces ichtyologiques*

Nb moyen d'espèces vues	B_{y_i} moy.	1 fois	Au plus 3 fois	Au plus 10 fois	Au plus 16 fois	Au plus 20 fois
	280	76	160	92	28	3

Commentaires n°03

Dans ce présent rapport, nous avons changé la présentation des structures dans les fiches-stations et les graphiques des [figures 92 à 95](#) permettent une approche synoptique. Ils montrent d'un coup d'œil, les différences entre missions, donc au cours du temps et les différences dans l'espace, c'est-à-dire entre stations. Cette nouvelle présentation montre aussi l'écart considérable qui existe entre la baie de Prony et le canal de la Havannah.

Le [tableau](#) synoptique [113](#) reprend les données de structures des peuplements observés.

Tableau n°113 : *Valeur des écrats (quadratiques moyens) des structures de peuplement par rapport à la structure moyenne (depuis 2007)*

	Casy	B. nord	Port	Woodin	Ioro	Ionont.	B. Chamb.	Puka	B. Kié	I. Kié	Toémo	Ugo
$\chi^2_{tab95\%}$	16,9	18,3	18,3	19,7	19,7	19,7	19,7	18,3	19,7	19,7	18,3	19,7
2007	24,6	16,6	53,1	23,9	28,8	13,3	26,7	23,2	28,0	20,5	13,4	
2008	30,5	37,5	16,6	70,7	18,6	21,1	24,0	59,0	24,1	29,3	23,3	
2009	61,7	25,6	25,2	38,6	30,0	46,2	28,4	16,0	18,0	23,2	28,5	38,5
2010a	35,5	14,2	51,3	20,3	13,3	16,0	24,2	4,2	44,4	34,8	7,6	154,2
2010b	16,6	12,1	42,3	60,5	25,8	73,2	19,7	26,8	19,9	48,9	13,0	173,0
2011a	43,7	28,3	28,4	68,0	18,0	92,2	34,2	27,9	69,0	17,5	14,0	56,2
2011b	25,0	19,8	7,7	23,9	50,5	15,2	24,8	33,2	42,1	10,2	17,0	52,8
2012a	24,9	20,2	18,6	15,3	14,4	35,3	30,9	10,2	20,9	33,6	10,3	71,8
2012b	18,4	35,2	9,8	19,2	15,9	28,8	94,5	13,2	22,8	17,8	12,4	82,1
2013a	19,8	14,3	26,6	34,6	22,9	37,3	28,8	32,9	34,8	29,8	19,9	111,1
2013b	31,3	30,9	78,6	25,8	41,5	19,4	11,8	28,9	14,3	34,3	34,6	54,3
2014 a	25,0	14,7	29,8	23,9	36,0	14,5	29,7	55,7	10,4	15,7	117,7	58,2
2014 b	13,8	18,4	18,2	13,7	20,2	38,2	27,3	14,8	13,6	25,3	7,0	57,3
2015 a	21,1	32,6	13,6	37,0	35,1	4,2	19,6	27,1	32,9	16,8	19,0	44,9
2015 b	14,4	43,3	14,5	52,5	19,9	44,9	35,6	46,6	9,9	11,0	11,0	104,3
2016 a	23,8	31,4	5,0	10,3	20,9	30,2	49,8	12,1	125,3	17,4	17,9	52,9
2016 b	25,8	54,3	8,9	8,2	58,8	30,2	21,6	12,8	21,7	33,1	26,7	45,4
2017 a	29,0	60,5	12,9	20,4	17,5	16,9	29,9	31,8	18,0		17,4	35,1
2017 b	26,2	23,9	15,3	5,8	33,2	23,3	14,7	27,4	22,8		130,9	34,3

2018 a	19,3	31,8	65,2	11,0	21,0	50,0		29,6	18,0		237,7	24,5
Global sur l'ensemble historique												
ddl	198	190	190	209	209	209	198	190	209	176	190	176
$\chi^2_{\text{tab } 95\%}$	243	233	233	256	256	256	243	233	256	217	233	217
χ^2_{ob}	530	566	542	584	542	650	576	533	611	419	779	1251

Les cases de couleur rouge présentent des écarts significativement importants (au risque de 0,05). Lors de ces missions et sur ces stations, le peuplement de poissons présentait une structure spécifique très différente de la structure moyenne établie à partir de toutes les observations faites sur cette station.

A l'inverse, les cases de couleur verte présentent des écarts significativement proches de la valeur moyenne. Dans l'ensemble, les cases vertes sont peu nombreuses et positionnées de façon quasi aléatoire.

En d'autres termes, il n'existe pas de structure type pour une station. Celles-ci sont très changeantes.

Toutefois, quelques remarques :

- A chaque station, les cases vertes n'excèdent pas la moitié des cas. Pour la plupart les cases rouges représentent plus des 2/3 des cas
- Ugo ne possède aucune case verte : la part résidente du peuplement y est très faible.

Ce tableau semble traduire que la taille des stations est petite au regard de la taille des zones d'errances trophiques de la plupart des espèces choisies dans la liste DENV. Et comme un grand nombre d'espèces de poissons passe le plus clair de leur temps à divaguer pour se nourrir, cela amène à penser que l'augmentation du rythme des visites ne changerait rien au manque d'heuristique de l'étude des poissons, alors que l'augmentation de la taille des stations améliorerait très sensiblement ce caractère.

6.3.2 Test non paramétrique

L'importance de la variance des paramètres de densité et de biomasse obère l'interprétation des tests, que ce soit au niveau spatial ou temporel. Ces deux paramètres sont donc de médiocres indicateurs pour suivre l'état de l'ichtyofaune. Le paramètre de biodiversité (biodiversité 1), parce qu'il est limité car encadré par le cahier des charges, perd également de l'intérêt. Il en perdrait cependant moins si les espèces retenues étaient des espèces indicatrices ou si la restriction se limitait à la famille.

Le problème peut être abordé autrement, en suivant la stabilité du classement par rangs des stations, mission après mission ainsi que celui des missions toutes stations confondues.

Nous proposons donc :

- de classer les stations les unes par rapport aux autres, lors de cette mission (cas 1) et de comparer ce classement aux classements faits lors des missions précédentes ;
- de classer les missions les unes par rapport aux autres (cas 2) et de positionner la présente mission dans la série historique. Ceci, bien sûr, dans la mesure où les valeurs obtenues à chaque station et chaque mission soient classables.

Et enfin,

- de donner une note aux stations et une note à cette mission par rapport aux missions précédentes. Ces notes étant construites à l'aide des valeurs des paramètres mesurés (densité, biomasse et biodiversité 1).

Le classement spatial (des stations) et temporel (des missions) est fait par un « Test de Rangs ».

Le but est :

- de classer toutes les stations les unes par rapport aux autres, lors de cette mission ;
- de classer toutes les missions les unes par rapport aux autres.

C'est un test de rangs dérivés de Wilcoxon [29], qui est utilisé ici : le test de Friedman.

Le **test de Friedman** suppose *a priori* une structure en lignes ou en colonnes des données. Pour le tester on procède au classement des valeurs en colonnes ou en lignes et les sommes faites en lignes ou en colonnes sont testées.

Le choix du test est étayé par le fait qu'il doit respecter le positionnement des valeurs dans les lignes ou les

colonnes du tableau. Dans notre problématique celles-ci ne sont pas interchangeables¹⁷. Le test de Friedman est donc particulièrement adapté.

Le test de Friedman [30] est un χ^2 adapté aux cas de plusieurs échantillons non-indépendants.

- On peut considérer en effet, que les échantillons « stations » (test sur les lignes des tableaux) ne sont pas indépendants, dans la mesure où ils sont issus d'un dispositif expérimental faisant un choix aléatoire incomplet (i.e. les stations de la Havannah ont été positionnées autour de l'exutoire de l'émissaire et pas de manière indépendante).
- On peut également considérer que les échantillons « missions » (test sur les colonnes de ces mêmes tableaux) ne sont pas indépendants puisque le climat et les facteurs écologiques qui définissent l'environnement s'appliquent sur toute la zone de la même manière.

Ce test, appelé « *test en blocs aléatoires complets* », a pour préalable d'ordonner les résultats des différents traitements à l'intérieur de chaque bloc préétabli. Dans notre cas, nous considérerons :

1. **L'approche spatiale** qui suppose que les « traitements » sont les conditions environnementales de toute nature qui s'appliquent à la zone entre deux missions propres à chaque mission de la série temporelle et que les « blocs » sont les stations visitées chaque mission. Dans ce cas, ce sera une analyse en colonnes. Le classement des années par stations gomme les différences quantitatives entre stations puisque le classement va de 1 à 11, si bien que la somme en colonne correspond à un classement des années. Ce classement sera pertinent si l' H_0 est rejetée. Sinon les différences observées sont fortuites, le tableau est homogène.
2. **L'approche temporelle** prend le tableau dans l'autre sens : les « traitements » sont les stations et les « blocs » sont les années. Le classement des stations par année gomme les différences entre années puisque le classement va de 1 à 19, si bien que la somme en ligne correspond à un classement des stations. Ce classement sera pertinent si l' H_0 est rejetée. Sinon les différences observées sont fortuites.

Ce traitement sera appliqué à chaque paramètre.

Formule du χ^2 de Friedman :

$$\chi^2_{obs} = \frac{12}{pq(p+1)} \cdot \sum Y_i^2 - \frac{3q(p+1)}{p}$$

Où :

Y est la somme des rangs en colonne (1) ou en ligne (2) ;

En (1), p désigne le nombre de stations et q est le nombre de missions ;

En (2), p désigne le nombre de missions et q est le nombre de stations.

L'hypothèse H_0 : « les variations observées entre stations (cas 1) ou entre missions (cas 2) sont fortuites » = « les stations ou les missions sont similaires ».

Tableau n°114 : *Test de Friedman (analyses spatiales et temporelles) des paramètres ichthyologiques suivis*

(A) Toutes STATIONS (ddl = 10)				
(11 stations)	Densité	Biomasse	Biodiv. 1	Biodiv. 3
χ^2_{obs}	98,44	147,71	163,09	157,12
$\chi^2_{tab 0,95} = 18,3$ $\chi^2_{tab 0,999} = 31,4$				

(D) Toutes MISSIONS depuis 2007 (ddl = 19)				
2007—2018	Densité	Biomasse	Biodiv. 1	Biodiv. 3
χ^2_{obs}	81,03	119,70	78,25	117,92
$\chi^2_{tab 0,95} = 28,9$ $\chi^2_{tab 0,999} = 44,4$				

(B) STATIONS de la baie de Prony (ddl = 2)				
(3 stations)	Densité	Biomasse	Biodiv. 1	Biodiv. 3
χ^2_{obs}	2,50	12,83	1,88	7,90
$\chi^2_{tab 0,95} = 5,99$ $\chi^2_{tab 0,999} = 15,2$				

(C) STATIONS du canal de la Havannah (ddl = 7)				
(8 stations)	Densité	Biomasse	Biodiv. 1	Biodiv. 3
χ^2_{obs}	49,59	78,62	77,96	73,14
$\chi^2_{tab 0,95} = 14,1$ $\chi^2_{tab 0,999} = 26,0$				

Le degré de liberté (ddl) = p-1 / En bleu les cas où H_0 est acceptée à la P(0,95)

Le tableau 114 montre que toutes les valeurs des parties A, C et D rejettent l' H_0 bien au-delà de la probabilité P(0,999) voire même P(0,9995). En B (Prony) en revanche, l' H_0 est acceptée pour la densité et la biodiversité 1 (en bleu) sur 4. Il n'y a donc pas lieu de faire un classement des stations de Prony, puisqu'elles sont réputées similaires au regard de ces 2 paramètres.

¹⁷ Dans une ANOVA ou dans un test de Kruskal & Wallis les valeurs à l'intérieur d'une même série peuvent être interchangées sans que cela modifie le résultat du test.

En d'autres termes, sous l'angle de vue des paramètres de densité, biomasse et diversité α , chaque station et chaque mission sont originales et peuvent donc être classées (tableau 115).

Tableau n°115 : Classement des stations (A) et des missions (B) (ichtyologie)

A - Stations	Classement des Stations					
	D	B	B α 1	Note	Rang	
					2017b	2018a
CASY	5	7	9	7,50	8	8
CREEK	11	11	11	11,00	11	11
PORT	8	10	10	9,50	10	10
WOODIN	1	2	1	1,25	1	1
IORO	10	9	6	7,75	6	9
IONONTEA	3	1	2	2,00	2	2
B. CHBEY	4	3	4	3,75	3	3
PUKA	6	8	7	7,00	9	6
Bancs KIE	2	4	5	4,00	4	4
Hot KIE						
TOEMO	9	5	3	5,00	5	5
UGO	7	6	8	7,25	7	7
Rappel : Note = (Densité + Biomasse + 2 * Bα.1)/4						

B - Missions	Classement des Missions					
	D	B	B α 1	Note	Rang	
					2017b	2018a
2007	4	2	18	10,50	19	9
2008	3	8	17	11,25	17	11
2009	1	12	19	12,75	18	14
2010 a	10	7	15	11,75	16	13
2010 b	18	16	20	18,50	14	20
2011 a	14	1	10	8,75	15	8
2011 b	20	18	14	16,50	5	19
2012 a	15	15	16	15,50	12	17
2012 b	16	14	12	13,50	6	16
2013 a	12	11	11	11,25	9	12
2013 b	17	17	9	13,00	8	15
2014 a	19	20	13	16,25	3	18
2014 b	8	3	8	6,75	13	5
2015 a	6	4	1	3,00	6	1
2015 b	9	5	5	6,00	9	3
2016 a	11	9	4	7,00	2	6
2016 b	13	19	6	11,00	1	10
2017 a	5	10	7	7,25	11	7
2017 b	7	13	3	6,50	3	4
2018 a	2	6	2	3,00	-	1

Le rang du classement global est obtenu en faisant la moyenne des rangs de la Densité, de la Biomasse et 2 fois la Biodiversité

Le classement des missions diffère assez sensiblement du classement précédent. Cette dernière mission partage la première place avec la mission 2015 a du fait notamment du paramètre de biodiversité.

L'aspect global du classement n'a pas beaucoup changé : en effet, que la fin du classement correspond toujours plutôt aux premières missions de 2007 à 2011 a, et les têtes de classement concernent plutôt les plus récentes de 2015 a à 2018 a.

6.3.3 Indice Annuel par Station (IAS) et Indice Global de mission (IGm)

Les classements précédents donnent l'idée, afin de faciliter la vulgarisation des résultats, de proposer des indices synoptiques traduisant l'« état » du milieu marin au niveau de chacune des stations (IAS) pour l'un, et celui de l'ensemble de la zone durant le premier semestre 2018 (IGm) pour l'autre.

Ces indices utilisent les mesures des paramètres demandés au cahier des charges (densité, biomasse et biodiversité 1) et tiennent compte des ordres de grandeur attendues dans chacune des deux zones : la baie de Prony et le Canal de la Havannah séparément, puisqu'elles sont par nature différentes.

L'Indice Annuel d'une Station (**IAS**) est la moyenne des valeurs de Densité, Biomasse et de Biodiversité 1 obtenues à cette station.

L'Indice Global de mission (**IGm**) est la moyenne des valeurs moyennes de Densité, Biomasse et Biodiversité 1 obtenues sur toutes les stations lors de la mission du présent rapport.

Dans les deux cas la Biodiversité est pondérée par 2 :

$$I = (\text{Densité} + \text{Biomasse} + 2 * \text{Biodiversité}) / 4$$

Ils sont ensuite associés à une échelle de cotation allant de 1 à 4 à laquelle est associé un code couleur (tableau 116).

Mais il faut deux grilles de cotation. L'une est propre aux stations de la baie de Prony et l'autre aux stations du canal de la Havannah.

En effet, par nature, les valeurs des 3 paramètres ne peuvent atteindre en baie de Prony, l'ordre de grandeur des valeurs atteintes dans le canal de la Havannah. Si l'on appliquait la même grille, les stations de la baie Prony seraient toujours en rouge et cette grille ne serait pas informative.

Tableau n°116 : Clé de cotation des Indices ichthyologiques

Baie de Prony	Densité (ind./m ²)	0,00 - 0,49	0,50 - 1,09	1,10 - 1,69	≥ 1,70
	Biomasse (g/m ²)	0 - 10	11 - 20	21 - 40	≥ 40
	Biodiv.(1)	0-7	8 - 15	16 - 24	≥ 25
Canal de la Havannah	Densité (ind./m ²)	< 1,00	1,00 - 1,99	2,00 - 3,00	> 3,00
	Biomasse (g/m ²)	< 100	100 - 199	200 - 400	> 400
	Biodiv.(1)	< 20	20 - 29	30 - 55	> 55
Indice & Code couleur Qualificatif		1 à 1,50 Mauvais	1,75 à 2,25 Médiocre	2,50 à 3,25 Bon	> 3,25 Très bon

Les cotations obtenues pour la présente mission, avec un rappel des missions précédentes sont présentées : pour les stations [tableau 117](#) et pour les missions [tableau 118](#).

Tableau n°117 : Cotation des stations : IAS, depuis 2012 b (ichtyologie)

Stations	ST 01	ST 02	ST 03	ST 04	ST 05	ST 06	ST 07	ST 08	ST 09	ST 11	ST 12	
Densité.	4	2	4	4	2	4	3	3	4	2	3	
Biomasse	4	1	1	4	1	4	3	1	3	2	1	
Biod. 1	4	1	3	4	4	4	4	3	4	4	3	
IAS	2018a	4	1,25	2,75	4	2,75	4	3,5	2,5	3,75	3	2,5
	2017b	3,5	1,5	2,25	3,5	2,25	4	3,25	2	3	2,5	2,25
	2017a	3	2,5	2,25	3,75	2,25	4	3,5	2,25	2,5	2,25	2,75
	2016b	3	2,25	2,25	3,5	2	3	3,75	2,25	2,5	2,25	2,25
	2016a	3,5	3,5	3	4	3	3	4	2	3	3	2
	2015b	2,5	2,25	2,25	4	3,25	3,5	4	2	3	2,75	2,75
	2015a	3,75	3,5	3	4	3	4	3,75	2,25	3	3	2
	2014b	2,75	3,5	2,5	3,5	4	3,75	4	3	3,75	2,75	2
	2014a	3,25	1,25	2,75	2,75	2,75	2,75	3	1,5	2,5	2,75	1,75
	2013b	1,75	3,5	2,75	3,5	2,75	3	3,75	1,5	2,75	2,25	2,5
	2013a	3,25	3	2	3	3	3,75	3,25	1,5	3,25	2,75	2,25
	2012b	1,75	2,75	2,5	3,5	2,5	3,5	3,25	1,75	3	3	1,75

Tableau n°118 : Cotation des missions : IGm, depuis 2007 (ichtyologie)

Missions	Dens.	Biom.	Biodiv	IGm		Missions	Dens.	Biom.	Biodiv	IGm	
2007	3	3	2	2,50	bon	2013 b	2	3	3	2,75	bon
2008	3	2	2	2,25	médiocre	2014 a	2	1	3	2,25	médiocre
2009	3	2	2	2,25	médiocre	2014 b	3	3	3	3,00	bon
2010 a	3	2	3	2,75	bon	2015 a	3	3	4	3,50	Très bon
2010 b	2	1	2	1,75	médiocre	2015 b	3	3	3	3,00	bon
2011 a	2	4	3	3,00	bon	2016 a	2	2	4	3,00	bon
2011 b	2	1	3	2,25	médiocre	2016 b	3	2	3	2,75	bon
2012 a	2	1	3	2,25	médiocre	2017 a	3	2	3	2,75	bon
2012 b	2	2	3	2,50	bon	2017 b	3	2	3	2,75	bon
2013 a	3	2	3	2,75	bon	2018 a	4	3	4	3,75	Très bon

Cette mission a la meilleure note de la série : la qualité du milieu jugée au travers ces trois paramètres relatifs au peuplement de poissons est « très bonne ».

La Biomasse et la densité se sont légèrement accrues, en revanche la Biodiversité a très sensiblement augmenté, notamment sur les stations de Puka, Woodin, Ionontéa, Toémo et Casy.

Bien que la biodiversité totale observée (Biodiversité 3) ne soit pas ici prise en compte, signalons malgré tout, que la liste d'espèces s'est accrue de 8 espèces nouvelles (By = 681) (cf. [tableau 119](#)).

Tableau n°119 : *Nouvelles espèces de poissons observées lors de cette mission*

Famille	Espèce
Gobiesocidae	<i>Diademichthys lineatus</i>
Epinephelinae	<i>Cephalopholis microprion</i>
Gobiidae	<i>Amblyeleotris stenotaeniata</i>
Labridae	<i>Wetmorella nigropinnata</i>
Monacanthidae	<i>Paramonacanthus curtiorhynchus</i>
Muraenidae	<i>Gymnothorax nudivomer</i>
Scorpenidae	<i>Inimicus didactylus</i>
Syngnathidae	<i>Hippocampus kuda</i>

6.3.4 Résumé

6.3.4.1 Synopsis des résultats par station

Les moyennes des paramètres ichthyologiques étudiés (calculées sur l'ensemble des missions) par station sont présentées [tableau 120](#).

La **Densité** est jusqu'à 5 fois plus forte dans le canal de la Havannah qu'en baie de Prony.

Les **Biomasses** sont encore plus contrastées. Entre les stations du canal de la Havannah, elles varient d'un facteur allant de 1 à 25 et de 1 à 8 dans la baie de Prony, et entre ces deux zones le rapport extrême est de 260.

La **Biodiversité** de la station Casy présente toujours une valeur inhabituellement élevée, mais la moyenne des stations en baie de Prony reste toujours très inférieure aux valeurs habituelles des stations du canal de la Havannah.

Tableau n°120 : *Moyennes des paramètres ichthyologiques étudiés (calculées sur l'ensemble des missions) par station*

Stations	Densité			Biomasse			Biodiv. 1			Biodiv. 3		
	2018a	Moy.	σ	2018a	Moy.	σ	2018a	Moy.	σ	2018a	Moy.	σ
CASY	2,25	1,2	0,5	12,0	11,4	4,9	34	18,1	4,4	77	59,3	8,9
CREEK	0,74	1,4	0,7	15,7	27,7	14,3	7	15,4	4,0	30	52,2	8,0
PORT	2,07	1,0	0,4	2,0	5,1	3,0	17	17,5	3,2	59	58,1	6,4
WOODIN	5,20	3,5	1,1	250,0	318,4	124,0	88	56,2	9,5	141	108,7	12,6
IORO	1,58	1,5	0,5	169,6	163,3	84,5	56	45,7	6,3	100	91,9	11,0
IONONTEA	4,23	2,4	0,5	527,3	412,1	174,2	73	53,6	7,6	134	112,5	13,7
B. CHAMB.	4,24	2,4	0,6	274,6	260,8	128,0	71	52,1	7,1	125	105,0	9,1
PUKA	2,16	1,3	0,5	56,9	39,2	18,3	39	29,0	2,9	102	82,6	10,7
Bancs KIE	5,09	2,5	0,6	39,6	165,2	98,6	68	45,4	6,0	121	96,7	12,4
TOEMO	1,68	1,7	0,3	19,5	77,4	27,1	72	48,1	5,9	141	101,6	10,9
UGO	2,15	2,1	0,5	20,2	69,9	46,5	39	30,9	3,3	93	82,1	5,6
Moyenne	2,85	1,9	0,6	126,14	140,95	65,76	51,27	37,44	5,48	102,09	86,42	9,93

6.3.4.2 Synopsis des résultats par mission

Les moyennes des paramètres ichthyologiques étudiés (calculées sur l'ensemble des stations), par mission sont présentées [tableau 121](#) et [figure 96](#).

Tableau n°121 : *Moyennes des paramètres ichthyologiques étudiés (calculées sur l'ensemble des stations) par mission*

	Densité	Biomasse -	Biodiv. 1	Biodiv. 3
2007	2,70 ± 1,1	336 ± 274	28,5 ± 08,0	53 ± 10
2008	2,85 ± 1,5	161 ± 100	29,7 ± 07,9	64 ± 10

2009	3,40 ± 1,2	137 ± 089	27,8 ± 07,8	71 ± 14
2010 a	2,30 ± 0,4	162 ± 107	34,8 ± 09,5	88 ± 19
2010 b	1,80 ± 0,9	87 ± 091	27,9 ± 10,3	72 ± 12
2011 a	1,84 ± 1,4	410 ± 219	38,6 ± 10,8	86 ± 17
2011 b	1,10 ± 0,5	77 ± 055	35,7 ± 08,9	89 ± 17
2012 a	1,67 ± 0,8	99 ± 072	34,6 ± 08,8	93 ± 17
2012 b	1,46 ± 0,5	104 ± 607	36,0 ± 08,8	89 ± 16
2013 a	2,23 ± 1,0	140 ± 121	38,6 ± 12,0	98 ± 17
2013 b	1,44 ± 0,5	211 ± 290	38,8 ± 08,4	88 ± 18
2014 a	1,16 ± 0,3	68 ± 035	35,9 ± 08,3	99 ± 17
2014 b	2,36 ± 0,5	378 ± 166	47,6 ± 07,8	113 ± 12
2015 a	2,49 ± 1,0	253 ± 165	53,0 ± 12,0	108 ± 16
2015 b	2,38 ± 0,8	242 ± 120	44,9 ± 07,8	100 ± 14
2016 a	2,24 ± 0,7	152 ± 118	45,0 ± 11,0	96 ± 21
2016 b	2,00 ± 0,4	164 ± 055	37,4 ± 03,9	88 ± 09
2017 a	2,30 ± 1,0	138 ± 114	45,1 ± 13,4	98 ± 17
2018 a	2,85 ± 0,6	126 ± 066	51,3 ± 05,5	102 ± 10

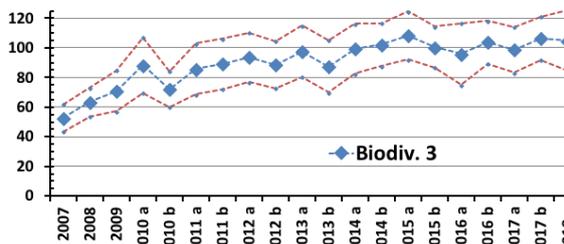
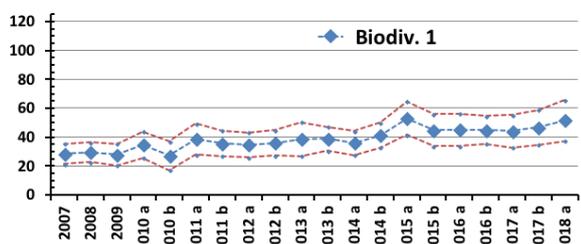
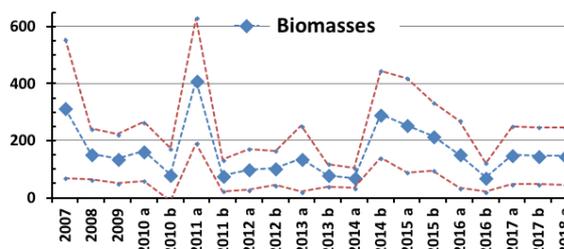
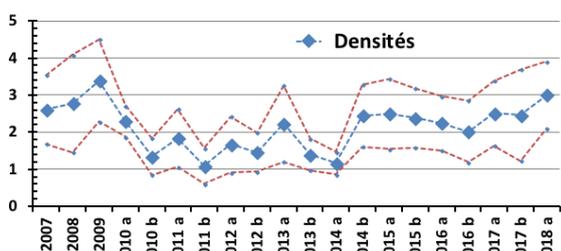


Figure n°96 : Evolution des moyennes des paramètres ichthyologiques étudiés, par mission

La **Densité** entre mission fluctue dans un rapport de 1 à 3, avec un maximum en 2009 et 2 minima en 2011b et 2014a.

La **Biomasse** moyenne fluctue dans un rapport de 1 à 6, avec un maximum en 2011a et 2 minima en 2014a et 2011b.

6.3.4.3 Le peuplement de poissons

Structure

Quantitativement, le nombre d'espèces sur une station (Ba) change peu d'une mission à l'autre. Mais **qualitativement**, les espèces présentes changent, se relayant d'une mission à l'autre sur une même station : beaucoup d'espèces apparaissent, disparaissent puis réapparaissent.

Dans le détail des listes d'espèces, plus de la moitié d'entre elles sont remplacées. Ceci est bien sur vrai pour des espèces rares de familles confidentielles (ex. : *Aluterus scriptus* des Monacanthidae), mais également vrai à l'intérieur des familles très présentes et diversifiées comme les Labridés, Scaridés, Acanthuridés etc., et même les Pomacentridae qui sont supposés très sédentaires. C'est ainsi vérifié pour les espèces non grégaires : *Pomacentrus simsiang*, *Stegastes albifasciatus*... et aussi pour des espèces grégaires comme beaucoup de *Chromis* (*C. iomelas*, *C. margaritifera*, *C. viridis*, *C. fumea*...).

Ces changements de structure des peuplements d'une mission à l'autre s'observent aussi au niveau « Famille ».

L'examen des listes d'espèces montre que :

- Le peuplement total inventorié depuis 2007 approche les 700 espèces
- Près de 300 espèces sont vues à chaque mission sur l'ensemble des stations
- L'ubiquité¹⁸ spatiale des espèces (entre stations) est faible. Au cours d'une même mission seulement 10% des espèces se retrouvent aux différentes stations
- L'ubiquité temporelle des espèces (entre missions sur une même station) est également faible. Moins de 15% des espèces ont été vues lors de 13 missions au moins sur les 20 réalisées, alors que plus de 55% des espèces n'ont été vues qu'au plus 3 fois. Et 27% n'ont été vues qu'une seule fois depuis 2007.

Classement

Une appréciation synthétique globale de la qualité du peuplement des poissons peut être donnée par la prise en compte de toutes les stations de la zone dans une cotation comparative à 4 niveaux et douze degrés au total :

1, 2, 3 mauvaise **4, 5, 6 médiocre** **7, 8, 9 bonne** **10, 11, 12 excellente**

Ainsi, le peuplement de poissons peut être considéré comme stable depuis 2007 (cf. [tableau 122](#)). Sa note (sur 12) a régulièrement fluctué entre 6 et 9 depuis cette date, avec une exceptionnelle valeur basse de 4 en octobre 2010 et une exceptionnelle valeur haute de 11 en mars 2015 (du fait des stations Casy, Woodin, Toémo et Ionontea).

Selon ce calcul, le peuplement de poissons de mai 2018 a la note de **12** sur **12**.

Pour cette mission, la qualité du milieu marin, jugée à travers le peuplement de poissons, est donc excellente.

Tableau n°122 : *Qualité du peuplement ichtyologique depuis 2007*

2007	7	2011 a	9	2013 b	8	2016 a	9
2008	6	2011 b	6	2014 a	6	2016 b	8
2009	6	2012 a	6	2014 b	9	2017 a	8
2010 a	8	2012 b	7	2015 a	11	2017 b	8
2010 b	4	2013 a	8	2015 b	9	2018 a	12

¹⁸ L'Ubiquité est la faculté pour une espèce d'être vue en plusieurs endroits lors d'une même mission (ubiquité spatiale) ou d'être retrouvée d'une mission à l'autre (ubiquité temporelle)

7 Synthèse bibliographique

Lors du rapport de la **mission d'octobre 2008** [20], une synthèse bibliographique avait été réalisée sur ces sujets :

- ↳ La biogéographie et les complexes récifaux de la zone
- ↳ Les particularités des baies calédoniennes
- ↳ Les causes de dégradations de ces récifs
- ↳ Le recrutement et les taux de croissance corallien
- ↳ Les proliférations de cyanobactéries.

Lors des différentes missions de « **suivi du Creek baie nord** », plusieurs missions ont été réalisées, et à cette occasion, une synthèse bibliographique a été réalisée sur ces sujets :

Pour la 1^{ère} mission (avril 2009, rapport [32]) :

- ↳ L'acide sulfurique et ses principales caractéristiques
- ↳ Les accidents historiques liés à de l'acide sulfurique, avec des simulations de scénarios d'accident et les résultats de l'étude environnementales du « Bahamas »
- ↳ Le blanchissement corallien : les zooxanthelles, la physiologie corallienne et les paramètres influant sur le blanchissement.

Puis, pour la 2^{ème} mission (juin 2009, rapport [33]) :

- ↳ Des explications sur deux phénomènes pouvant influencer sur la couverture corallienne, que nous avons observés lors de la mission : les cyanobactéries et les étoiles de mer *Culcita*
- ↳ Un relevé des données pluviométriques de la zone.

Et enfin, lors des 3^{ème} et 4^{ème} missions (décembre 2009 et avril 2010, rapports [34, 35]) :

- ↳ Réactualisation des données météorologiques
- ↳ Impacts potentiels des conditions météorologiques sur l'état de santé des communautés marines.

Lors des différentes missions de « **suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés** », les rapports ont présenté à chaque fois une synthèse bibliographique.

En juin 2009 [36], la synthèse bibliographique avait été réalisée sur ces sujets :

- ↳ Les causes de dégradations des récifs de la zone étudiée
- ↳ Les proliférations de cyanobactéries
- ↳ Les algues et leurs variabilités
- ↳ Le recrutement et les taux de croissance coralliens.

En mars-avril 2010 [37], la synthèse bibliographique avait été réalisée sur ces sujets :

- ↳ Pourquoi étudier les biocénoses benthiques
- ↳ Les particularités de la baie de Prony
- ↳ Le recrutement et les taux de croissance coralliens : Pocilloporidae.

En septembre 2010 [38] puis en mars 2011 [39], la synthèse bibliographique avait été réalisée sur ces sujets :

- ↳ Le recrutement et les taux de croissance coralliens : exemple des Pocilloporidae sur les transects de la station 01
- ↳ Les algues et leurs variabilités depuis 2008
- ↳ Les proliférations de cyanobactéries et leurs fluctuations observées depuis 2008.

De la mission d'octobre 2008 à novembre 2016, tous les rapports [20, 36 à 49, 10] présentent le point de suivi sur le recrutement et les taux de croissance coralliens : exemple des Pocilloporidae sur le transect A de la station 01 (Casy).

Depuis octobre 2014 [46], deux paragraphes sont présents et actualisés à chaque mission :

- ↳ Une synthèse des grands événements climatiques qui ont pu marquer la période étudiée (§ 7.1)
- ↳ Le contexte réglementaire (§ 7.2).



7.1 Synthèse des événements climatologiques sur la période d'étude

La plupart des informations de ce chapitre sont issues du site de Météo NC [55].

7.1.1 Les événements météorologiques marquants par année

La Nouvelle-Calédonie est soumise très régulièrement aux assauts de perturbations tropicales. Le [tableau 123](#) indique les phénomènes dépressionnaires qui ont eu une influence (non négligeable) sur les paramètres environnementaux dans la zone d'étude depuis 2003 (ils ne sont donc pas tous listés).

Tableau n°123 : *Principaux phénomènes dépressionnaires dans la zone d'étude depuis 2003*

ANNEE	PERIODE	NOM	CATEGORIE	DEGATS [55]
2003	13 au 14 mars	Erika	Cyclone	2 morts / Dégâts considérables sur l'ensemble des infrastructures : réseaux électriques et de télécommunications, routes et bâtiments, agriculture, bateaux, etc. / Plus de 3 milliards CFP de dégâts déclarés
2004	27 février	Ivy	Cyclone	Fortes houles (vagues de 7 mètres) sur les côtes des îles Loyauté
2007	25 au 29 mars	Becky	Dépression tropicale forte	Grosse mer et fortes pluies
2009	22 au 26 mars	Jasper	Dépression tropicale forte	
2011	11 au 16 janvier	Vania	Dépression tropicale forte	Fortes précipitations et inondations / Dommages agricoles importants
	14 au 17 janvier	Zelia	Cyclone tropical	
2013	27 décembre 2012 au 4 janvier 2013	Fréda	Cyclone tropical	Dégâts essentiellement dus aux pluies diluviennes qui ont provoqué un grand nombre de débordements de rivière avec des coupures de routes et des dégâts aux ouvrages d'art, des glissements de terrains et de nombreuses habitations inondées (par exemple 400 personnes sans abri à Thio)
2015	7 au 16 mars	Pam	Cyclone tropical	
2016	9 au 25 février	Winston	Cyclone tropical très intense puis dépression tropicale forte (en NC)	
2017	7 au 14 avril	Cook	Cyclone tropical	1 personne décédée (Kouaoua) / 4 blessés / 23 communes touchées / 1 milliard de XPF de dégâts estimés
	2 au 10 mai	Donna	Cyclone tropical intense puis cyclone tropical (en NC)	Aucune victime à déplorer / 325 habitations détruites (5 à Maré, 50 à Ouvéa et 270 à Lifou)
2018	26 au 30 janvier	Fehi	Dépression tropicale modérée	
	08 au 18 février	Gita	Cyclone tropical très intense	
	03 au 11 mars	Hola	Cyclone tropical intense	
	10 au 15 mars	Linda	Dépression tropicale modérée	
	22 mars au 07 avril	Iris	Dépression tropicale forte	

7.1.1.1 2011

Les événements dépressionnaires du début d'année 2011 se sont superposés au phénomène climatique « La Niña » (cf. § 7.1.2.3).

C'étaient principalement la dépression tropicale forte **Vania** qui a touché le sud du Territoire le 14 et 15 janvier 2011, puis dans une moindre mesure le cyclone **Zelia**.

Les vents violents ont généré dans le canal de la Havannah, une forte houle, un ressac très important et des courants de marée supérieurs à la normale. Ces agents hydrodynamiques exceptionnels ont entraîné une

dégradation mécanique sans conteste sur le sommet des récifs, arasant les biocénoses benthiques les plus fragiles, arrachant des colonies coralliennes et créant des effondrements de blocs et de débris le long des pentes récifales et du blanchissement corallien sur les colonies dégradées et/ou perturbées.

D'autre part, les précipitations induites par les dépressions étaient également bien au dessus des normales saisonnières et très abondantes sur une courte période. Ceci a généré une dessalure importante des eaux de surface à proximité des creeks et des rivières en baie de Prony (milieu par ailleurs très protégé des vents et des agents hydrodynamiques).

7.1.1.2 2013

L'évènement dépressionnaire du début d'année 2013 : le cyclone tropical Fréda a touché le Territoire entre le 1 et le 4 **janvier 2013**, impliquant des vents violents et des précipitations très importantes. De plus, le régime des vents est demeuré majoritairement ESE. Ainsi sur certaines parties de la côte, ce régime particulier a ralenti le mélange des eaux douces sur la verticale (issues des pluies et cours d'eau) et a augmenté leur temps de résidence dans le fond de la baie de Prony, d'où une lame d'eau douce plus durable que d'habitude.

Les dégradations mécaniques ont été importantes dans le canal de la Havannah (arrachement, effondrement de débris). La dessalure des eaux de surface couplée aux panaches turbides ont entraîné un blanchissement corallien massif et une mortalité des mollusques et échinodermes sur toute la bordure littorale de la baie de Prony (et ailleurs : [50]). Cependant, les observations induites par la dessalure des eaux de surface ne sont pas enregistrées pour les stations de ce réseau car les transects sont implantés plus profonds. Seules les perturbations sédimentaires ont été enregistrées.

En juillet 2013 de fortes pluies ont touché le Territoire. En parallèle, des mortalités importantes d'organismes marins (poissons, échinodermes, mollusques) ont été observées dans les baies du Grand Sud (baie Kwé, Port Boisé, Pointe de l'abattoir).

Un rapport a été émis [51] afin de compiler les différentes sources d'informations et de donner un avis pour expliquer ce phénomène :

« Les conditions météorologiques et pluviométriques observées les 2 et 3 juillet 2013 d'une intensité rare [52] ont engendrées un déferlement massif d'eaux douces chargées sur l'ensemble des bassins versants de la zone. Cela s'est traduit par la présence de nombreux panaches turbides d'eaux dessalées (9‰ en baie du Prony le 5 juillet) au droit des exutoires naturels (Baie des Anglais, Baie de la Somme, Baie de Carénage, Rade Nord, Bonne Anse, Port Boisé, Baie Kwé, Baie N'GO). Les observations réalisées par Vale NC et par l'CEIL montrent que ce phénomène de dessalure était persistant dans la couche d'eau superficielle une semaine après les pluies [53]. Ce phénomène de dessalure intense associé à des panaches turbides avait déjà été observé en 2013 à l'issue du passage du cyclone tropical Fréda avec un impact mesuré principalement sur les communautés coralliennes peu profondes de la baie du Carénage, de la baie de la Somme, de la baie des Anglais et du nord de la rade Nord en baie de Prony [Com. pers., 50, 54].

A la différence de Fréda, ce phénomène de mortalité a touché un spectre plus large influençant à la fois l'ichtyofaune et certains taxons des communautés macro benthiques avec des mortalités d'holothuries, de crabes et de poulpes. Il apparaît que le phénomène a aussi bien touché des espèces mobiles que sédentaires et semble avoir touché uniquement des espèces côtières présentes à proximité des embouchures. »

7.1.1.3 2015

Le cyclone tropical Pam est passé non loin de la zone d'étude le 14 mars 2015. Il a engendré une forte houle, du ressac et sur le site de l'usine : des vents atteignant 89.6km/h et des précipitations importantes (72.2 mm).

Le cyclone Pam a été baptisé le lundi 9 mars 2015 dans le Pacifique sud-ouest à près de 1 000 km à l'est/nord-est des îles Salomon. Cette tempête tropicale s'est renforcée rapidement pour atteindre le stade de cyclone tropical dès mardi 10 mars 2015.

Puis le jeudi 12 mars, ce cyclone a été classé en 5e catégorie sur l'échelle d'intensité cyclonique australienne¹⁹. Selon le centre météorologique régional de Nandi (Fidji), responsable de la prévision cyclonique dans le Pacifique sud-ouest, la pression en son centre était estimée à 920 hPa et les vents moyens

¹⁹ Il existe plusieurs échelles selon les pays / zones géographiques, mais Pam était au niveau maximum quelle que soit l'échelle retenue (équivalent par exemple d'un ouragan pour le système US ou d'un typhon pour le système NW Pacific)

à 220 km/h (rafales à 320 km/h).

Le cyclone Pam s'est ensuite déplacé vers le sud sud-ouest puis vers le sud. Sa trajectoire a touché directement les îles du sud de l'archipel du Vanuatu vendredi 13 mars après-midi avant de passer à environ 170 km à l'est de Maré dans la matinée de samedi 14 mars.

Les dégâts au Vanuatu ont été considérables. L'Unicef Nouvelle-Zélande a évoqué ce qui pourrait être « l'une des pires (catastrophes naturelles) de l'histoire du Pacifique ».

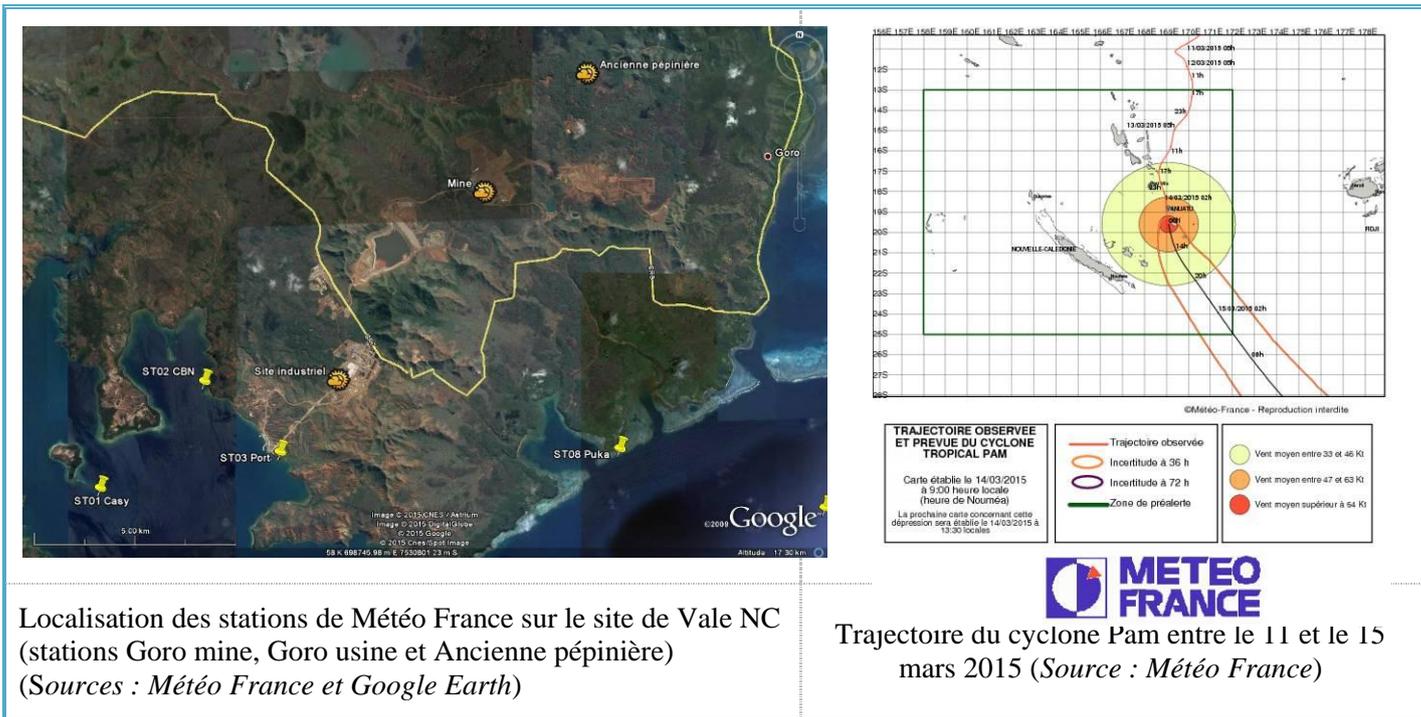
Les zones de Nouvelle-Calédonie qui ont été les plus exposées sont les îles Loyautés (particulièrement Maré et Lifou) et l'île des Pins où ont sévi de violentes rafales de vent et de fortes précipitations. La gendarmerie de Maré a indiqué qu'une houle avec des creux de 5 à 7 mètres, des trombes d'eau et des rafales de vent à plus de 100 km/h avaient été observés. Cependant, selon la sécurité civile de l'archipel, le puissant cyclone Pam n'a pas engendré de dégâts majeurs.

Les stations météorologiques situées sur le site de Vale NC (cf. figure 97) ont enregistré un maximum d'intensité de vent et de précipitation le samedi 14 mars (selon les 3 stations : le maximum des précipitations était compris entre 34.2 et 72.2 mm et le maximum de vent entre 23.3 et 24.9 m/s soit entre 83.9 et 89.6 km/h).

La hauteur de houle n'est pas enregistrée dans la zone d'étude cependant un vent de cette intensité engendre de forte houle et du ressac sur les récifs exposés.

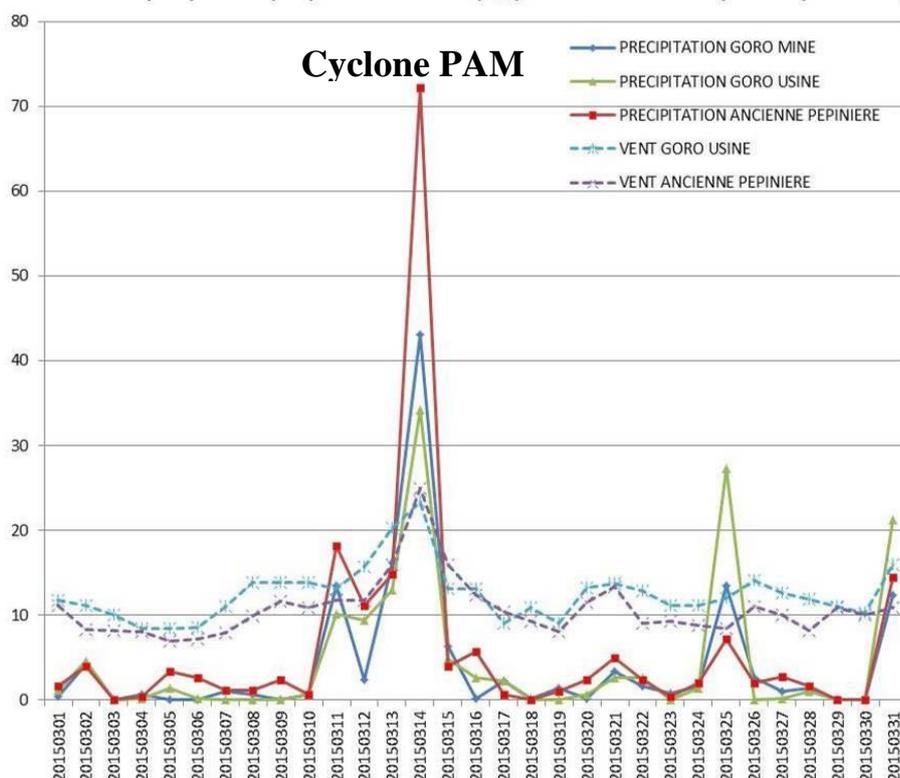
Bien que la trajectoire du cyclone Pam soit éloignée de la partie sud de la Nouvelle-Calédonie, cet évènement cyclonique extrême a engendré des perturbations mécaniques (houle et ressac) ainsi qu'une dessalure des eaux de surface sur les récifs situés dans la zone d'étude le 14 mars 2015.

Les perturbations les plus importantes sont mécaniques et elles concernent particulièrement les récifs du canal de la Havannah et du canal Woodin puis dans une moindre mesure les perturbations liées à la dessalure des eaux de surface sont localisées préférentiellement dans les baies et à l'embouchure des creeks et rivières.





Hauteur des précipitations (mm) et vitesse du vent (m/s) du mois de mars 2015 (mesure quotidienne)



Hauteur des précipitations (mm) et vitesse du vent (m/s) du mois de mars 2015. Ces mesures ont été réalisées quotidiennement dans trois stations Météo France localisées sur le site de Vale NC (Sources : Météo France, Vale NC)

Figure n°97 : *Météorologie dans la zone d'étude durant le mois de mars 2015*

7.1.1.4 2016

Le cyclone tropical très intense Winston est d'abord passé près de la Nouvelle-Calédonie en se dirigeant vers le sud, puis il est remonté vers les Samoa, avant de faire demi-tour et de repartir vers Fidji. Une fois situé au large du Vanuatu il a refait un virage en direction du sud sud-est pour continuer sa progression lente vers l'ouest, en commençant à s'affaiblir en dépression tropicale et s'éloigner progressivement du Vanuatu et de la Nouvelle-Calédonie.

Le lundi 22 **février 2016**, il se situait par 17.5 sud et 172.8 est, soit à environ 500 km dans l'est de Port-Vila (Vanuatu). Sa pression au centre était estimée à 945 hPa. Il générait des vents moyens proches de 180 km/h près de son centre, avec des rafales de l'ordre de 250 km/h.

Puis il s'est affaibli en dépression tropicale forte en passant par le sud de la Nouvelle-Calédonie le 25 et 26 février 2016. L'état de vigilance orange a été appliqué pour fortes pluies sur le sud de la Grande Terre (192 mm de pluie à Goro, 135 mm à La Coulée, entre 80 et 90 mm sur Nouméa). Le vent aussi s'est manifesté avec une certaine violence. Les rafales sont montées à 80 km/h à Magenta et à l'île des Pins, à 70-80 km/h à Goro [55].

En mer, il a engendré une forte houle et du ressac.

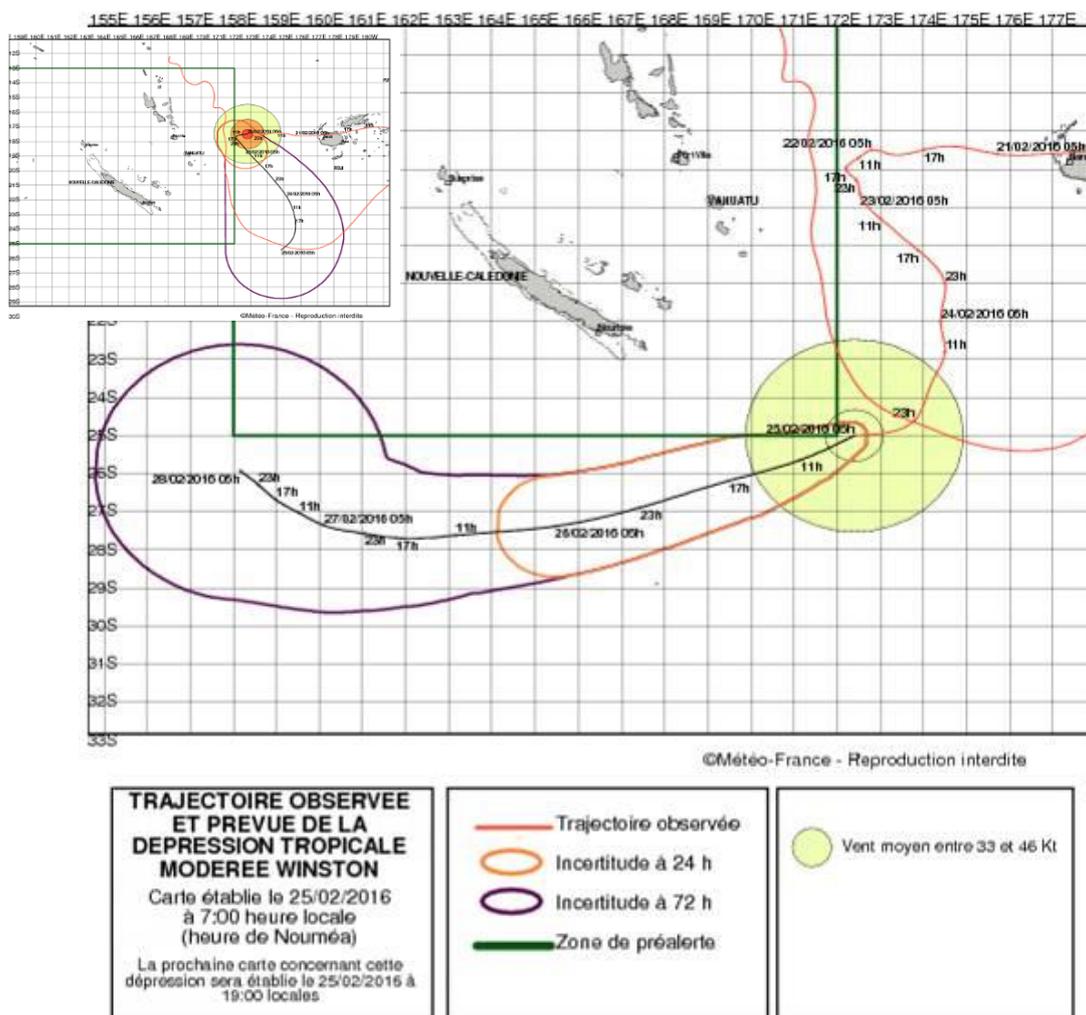


Figure n°98 : Trajectoire du cyclone Winston entre le 22 et le 26 février 2016
(Source : Météo France)

Contrairement à toutes les attentes et le scénario annoncé (du fait d’être en phase El Niño), de **février 2016 à fin mars 2016**, de fortes chaleurs ont été enregistrées sur la Nouvelle-Calédonie. Cette « canicule » était accompagnée par des **anomalies de température positives** en mer (cf. [figure 99](#): > à 2°C) ainsi que par un indice UV très élevé par rapport à la normale. Il y a eu aussi des phases de dessalure ponctuelles relatives aux précipitations. Ce phénomène encore inexpliqué (relatif à la conjugaison de multiples paramètres de l’environnement) n’a pas été lié directement au phénomène ENSO.

Les conséquences sur l’environnement marin ont été très importantes : la hausse de la température des eaux et des UV associée à une baisse de la salinité a entraîné un phénomène de blanchissement massif des récifs autour de la Nouvelle-Calédonie.

De nombreuses perturbations en chaîne dans le milieu marin en ont découlé (mortalité des coraux scléactiniaires, des alcyonaires, développement d’algues, cyanobactéries et de turf sur les colonies coralliennes...).

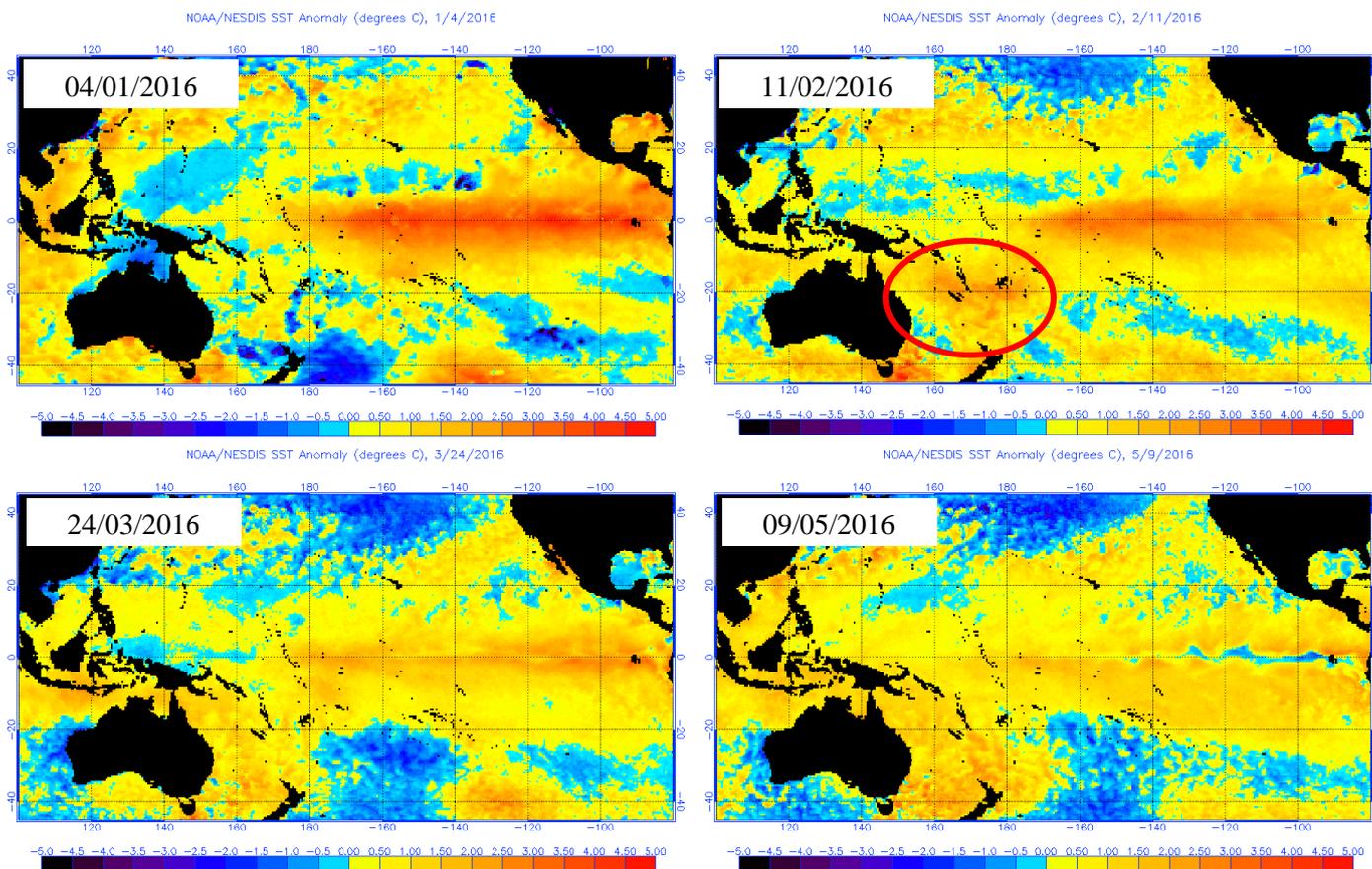
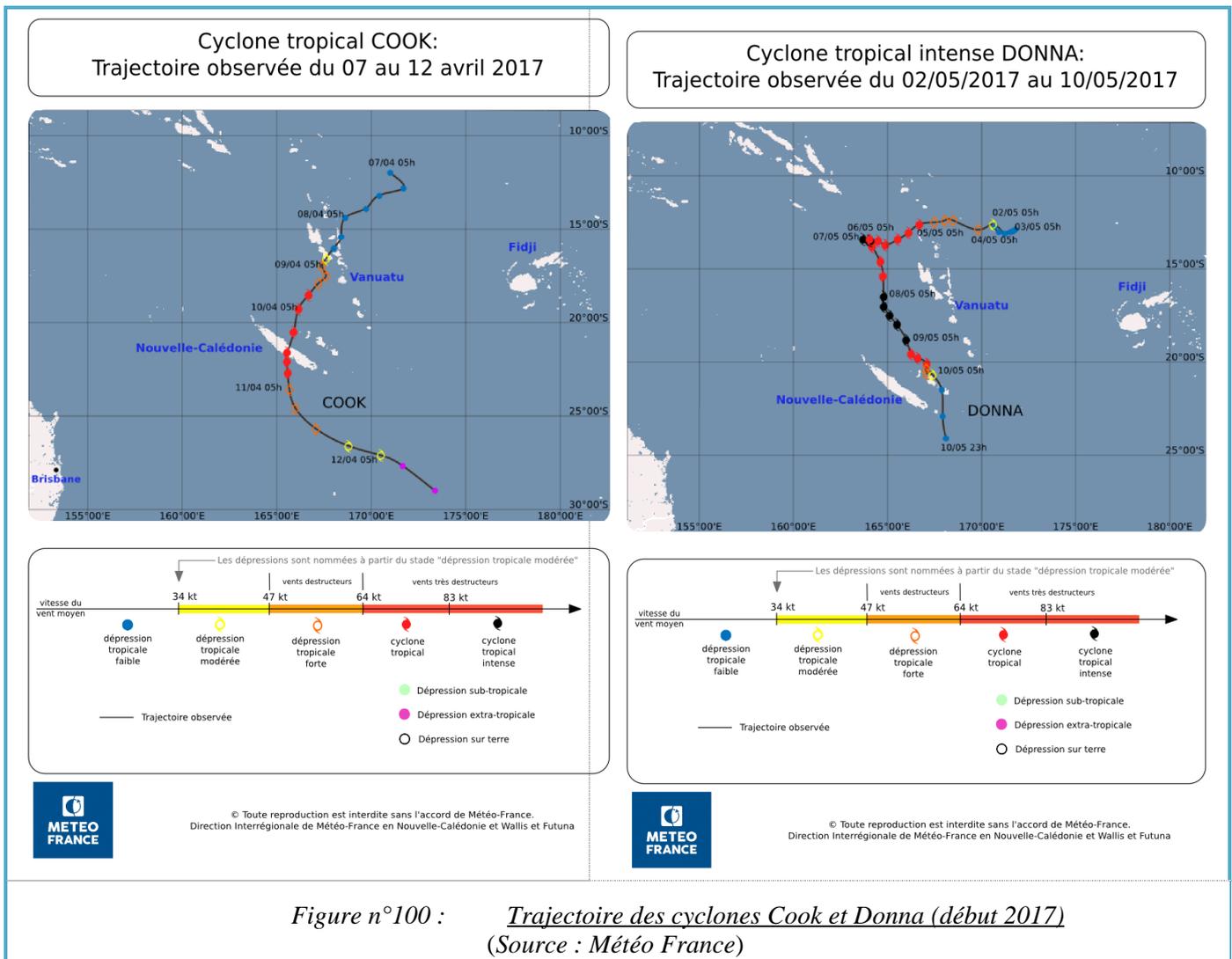


Figure n°99 : Cartes des anomalies de température de surface de la mer dans le Pacifique, début 2016

7.1.1.5 2017

Le cyclone tropical Cook (7 au 14 avril 2017) s'est formé dans le nord du Vanuatu le 7 avril. À partir du 9, il a incurvé sa trajectoire vers la Nouvelle-Calédonie en s'intensifiant et a atteint le stade de cyclone tropical en fin de journée. Cook a traversé la Nouvelle-Calédonie le 10 avril après-midi en provoquant des rafales de vent proches de 200 km/h, de fortes pluies et une mer très mauvaise sous sa trajectoire. Il s'est affaibli ensuite et s'est éloigné vers le sud sud-est.

Le cyclone tropical intense Donna (2 au 10 mai 2017) a été baptisé le 3 mai au nord-est du Vanuatu. Il a suivi une lente trajectoire vers l'ouest puis bifurqué le 6 vers la Nouvelle-Calédonie tout en se renforçant au stade de cyclone tropical intense. Le 9 mai, redevenu cyclone tropical, il a occasionné des vents violents sur Ouvéa et Lifou. De très fortes vagues ont été observées. Les pluies étaient peu abondantes. Son intensité a rapidement décliné et il s'est éloigné vers le sud le 10 mai.



*Figure n°100 : Trajectoire des cyclones Cook et Donna (début 2017)
(Source : Météo France)*

7.1.1.1 2018

En début d'année 2018, avant la campagne de mai, plusieurs phénomènes climatologiques ont eu lieu, comme résumé ci-dessous [55].

Fehi : du 26 au 30 janvier : **Dépression tropicale modérée**. Un minimum se creuse au sud des Salomon dans le talweg de mousson et se déplace ensuite vers la Nouvelle-Calédonie. Fehi est nommée au stade de dépression tropicale modérée à 150 km à l'ouest nord-ouest de Bélep le 29/01 à 8 heures. Entre le 28 et le 29/01, elle provoque des pluies importantes surtout sur le Nord, l'Est et le relief (432 mm relevés à Méa) avec des rafales à plus de 100 km/h. Elle s'éloigne ensuite vers la Nouvelle-Zélande.

Gita : du 08 au 18 février : **Cyclone tropical très intense**. Le précurseur de Gita se forme dans un talweg de mousson au nord du Vanuatu. Il passe juste au sud de Wallis-et-Futuna en provoquant de fortes pluies et de fortes rafales (130 km/h). Il est ensuite baptisé, se renforce rapidement et cause de gros dégâts aux Samoa et aux Tonga. Il passe à 100 km environ au sud-est de l'Île des Pins au stade de cyclone tropical, avec une forte houle, de fortes rafales (140 km/h), et des pluies modérées.

Hola : du 03 au 11 mars : **Cyclone tropical intense**. Un minimum se creuse au nord-est du Vanuatu. Il est nommé le 06/03 à 23h locale, traverse le nord du Vanuatu, puis stagne au stade de cyclone tropical intense le 08/03 à environ 300 km dans le nord-ouest d'Ouvéa. Il passe à environ 80 km des Loyauté, au stade de cyclone tropical, entre le 09 et le 10 mars, où les rafales atteignent 130 km/h. Il provoque de fortes pluies : 200 à 350 mm sur le Sud, 100 à 150 mm sur l'Est et les Loyauté.

Linda : du 10 au 15 mars : **Dépression tropicale modérée**. Un minimum se creuse sur les Salomon et se déplace vers le sud sur le 160°E jusqu'aux Chesterfield. La dépression est nommée au stade de dépression tropicale modérée à 470 km à l'ouest de Bélep le 13/03 à 18h. Des vents forts de NE sont alors mesurés à Poingam (rafales de 65 km/h), et des cumuls de pluies importants sont recueillis sur la chaîne Nord (123 mm à Méa, 93 mm à Tango). Le 14/03, Linda s'éloigne vers le sud-ouest en faiblissant.

Iris : du 22 au 31 mars : **Dépression tropicale modérée**. Le système tropical se forme entre les Salomon et le Vanuatu. Progressant initialement vers l'ouest, il devient temporairement une dépression tropicale modérée le 24, puis se dirige vers le sud le 25. A partir du 29, il remonte vers le nord-ouest entre l'Australie et les Chesterfield. Se déplaçant lentement dans l'ouest de la Nouvelle-Calédonie, il engendre de fortes pluies entre le 24 et le 29, notamment sur la côte Est. Dans le flux de nord à est résultant sur la Nouvelle-Calédonie, de fortes pluies se sont abattues sur le pays entre le 24 et le 29 mars. C'est le 28 que les cumuls les plus importants sont mesurés, avec jusqu'à plus de 260 mm en 24 h enregistrés par la station de Méa (Kouaoua). En 48 h c'est la station de Thio plateau qui enregistre avec 489 mm, le cumul le plus élevé.

7.1.2 Le phénomène ENSO

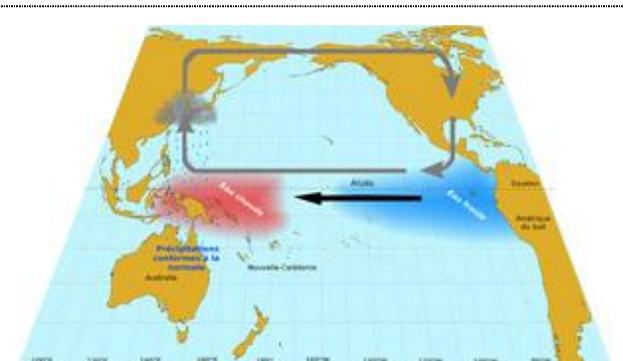
7.1.2.1 Généralités

Ces données sont issues du site de Météo France et Météo nc [55].

Le terme ENSO (El Niño Southern Oscillation) désigne les modifications de la circulation atmosphérique dans le Pacifique équatorial ainsi que les anomalies de température de l'océan qui y sont associées.

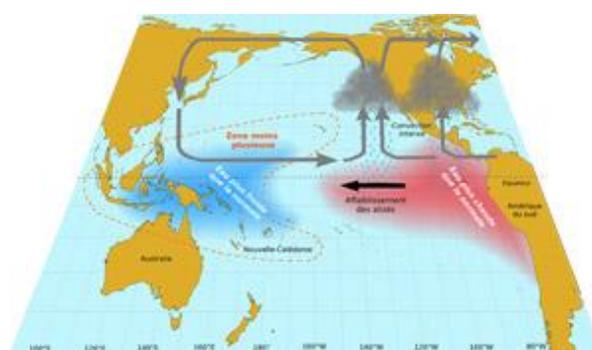
Trois phases peuvent être distinguées :

La **phase neutre** (ni El Niño, ni La Niña) : les alizés soufflent d'est en ouest sur l'océan Pacifique tropical. Ils provoquent une remontée d'eau des profondeurs au centre et à l'est de l'océan Pacifique équatorial, ce qui se matérialise par une langue d'eau froide. Ils entraînent également une accumulation d'eau « chaude » à l'ouest du bassin



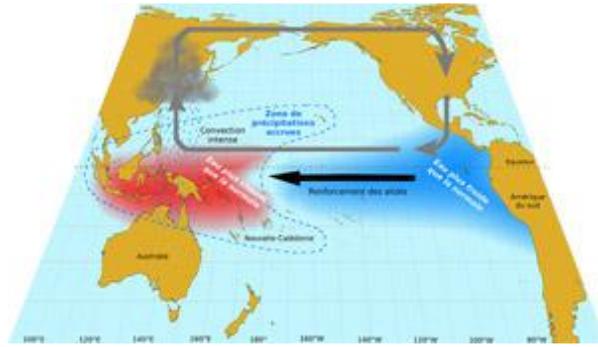
Circulations et principales caractéristiques climatiques dans le Pacifique en phase neutre pendant l'été austral (adaptée de [56]).

La **phase El Niño** : au niveau de l'équateur, les alizés s'affaiblissent si bien que la langue d'eau froide équatoriale laisse place à des eaux de surface plus chaudes que la normale. El Niño se caractérise ainsi par des températures de surface de la mer plus élevées que la normale (écarts supérieurs à +0,5 °C) dans le Pacifique central équatorial. En été, les bouleversements atmosphériques induits par ce réchauffement consistent en un déplacement des fortes précipitations de l'Indonésie vers le centre du Pacifique tropical. On constate notamment une réduction du flux de la MPO, une intensification et une migration vers l'équateur de la ZCIT, ainsi qu'un déplacement vers le nord-est de la ZCPS.



Principales manifestations de la phase El Niño dans le Pacifique pendant l'été austral (adaptée de [56])

La **phase La Niña** : le long de l'équateur, les alizés s'intensifient. La remontée d'eau froide sur le bord est de l'océan Pacifique est alors accrue, tandis que des eaux plus chaudes que la normale sont observées à l'ouest du Pacifique. La Niña se caractérise ainsi par des températures de surface de la mer plus basses que la normale (écarts inférieurs à $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) dans le Pacifique central équatorial. En été, les bouleversements atmosphériques induits par ce refroidissement consistent en une accentuation des précipitations sur l'Indonésie et un assèchement de l'atmosphère tropical au centre du Pacifique. On constate notamment un renforcement du flux de la MPO, un affaiblissement et un retrait vers le nord de la ZCIT, ainsi qu'un déplacement vers le sud-ouest de la ZCPS.



Principales manifestations de la phase La Niña dans le Pacifique pendant l'été austral (adaptée de [56]).

ENSO est la principale source de variabilité interannuelle des précipitations et des températures observées en Nouvelle-Calédonie [57] :

- Les précipitations sont fortement affectées par ENSO, surtout en saison chaude et particulièrement dans le nord de la Grande Terre et sur les îles Loyauté.
- Les périodes El Niño sont caractérisées par un risque accru de sécheresse et les périodes La Niña, par un risque accru de fortes pluies.
- Les températures minimales ont tendance à être anormalement basses en période El Niño ; c'est l'opposé en période La Niña.
- El Niño augmente le nombre de tempêtes tropicales qui touchent l'est et le centre de l'océan Pacifique, alors que par ailleurs, l'apparition d'épisodes La Niña tend à coïncider avec une diminution du nombre de perturbations dans le Pacifique sud.

La relation entre ENSO et les températures maximales est moins marquée. Elle varie suivant la saison et la région considérée. L'influence d'ENSO sur les températures maximales est faible en saison chaude.

Les événements El Niño apparaissent d'une manière irrégulière, tous les 2 à 7 ans. Ces épisodes débutent en général en milieu d'année et durent de 6 à 18 mois. Ils atteignent leur intensité maximale vers Noël.

À noter que la symétrie entre les phénomènes El Niño et La Niña n'implique aucune régularité en termes de chronologie ou d'intensité. Ainsi, le passé a subi davantage d'épisodes El Niño que d'épisodes La Niña. Par ailleurs, un épisode El Niño fort n'est pas forcément suivi d'un épisode La Niña fort, et d'ailleurs, un événement El Niño n'est pas obligatoirement suivi d'une période La Niña (seul le tiers environ des cas examinés depuis plus de 130 ans mettent en évidence une telle corrélation).

7.1.2.2 El Niño

En Nouvelle-Calédonie, El Niño s'accompagne généralement d'un déficit de précipitations, particulièrement remarquable pendant la saison chaude, sur le nord de la Grande Terre et aux îles Loyauté.

Après 5 ans d'absence et une alerte lancée début 2014, c'est finalement à la **toute fin de l'année 2014** qu'El Niño s'est officiellement déclaré et a continué de se développer au premier semestre 2015 dans l'océan Pacifique équatorial pour finalement se terminer sur en **milieu d'année 2016**.

L'épisode El Niño 2015/2016 est classé parmi les 3 événements El Niño les plus puissants de ces 50 dernières années, avec ceux de 1982-1983 et 1997-1998.

El Niño a pris fin en mai/juin 2016 et a été suivi par un épisode La Niña de faible intensité et de courte durée.

La saison cyclonique 2016-2017 s'est déroulée durant une phase « neutre » de l'oscillation australe ENSO.

7.1.2.3 La Niña

« La Niña » est caractérisée par une anomalie négative de l'eau en surface dans cette zone équatoriale du

Pacifique (l'anomalie devant être au minimum de $-0,5$ °C). Le phénomène est plus rare et moins dangereux que El Niño (23 épisodes El Niño pour 14 épisodes La Niña depuis 1950).

En Nouvelle-Calédonie, l'évènement climatique « La Niña » modifie l'intensité des pluies (augmentation) et a pour conséquence une anomalie positive de températures des eaux de surface et une anomalie négative de salinité sur une longue période de 3 ou 4 mois.

En début d'année 2011, ces anomalies ont influencé toute la zone d'étude dans les petites profondeurs et l'anomalie de salinité était d'autant plus importante aux embouchures des creeks et des rivières. Les colonies coralliennes les plus sensibles s'édifiant aux sommets des récifs ont ainsi expulsé leurs zooxanthelles (phénomène de blanchissement très important).

Le retour en 2017 – 2018 : En septembre 2017, l'agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) a établi une prévision probabiliste pour les mois suivants. Après une période passée plutôt neutre, la probabilité d'entrer au sein d'un épisode La Niña était devenue importante.

En effet, les températures de surface de l'océan Pacifique étaient en baisse en fin d'année 2017 au niveau des tropiques : La carte des anomalies de température de surface de la mer entre le 9 et le 15 novembre 2017 (figure 101) montre que les températures de surface de la mer au niveau de l'équateur sur le centre et l'est de l'océan Pacifique sont inférieures à la normale (autour de $-0,4$ à $-0,5$ °C).

La région devrait donc entrer en période de La Niña. Une prévision largement confirmée par le système de prévision climatique du centre national pour la prévision environnementale (NCEP) ainsi que par l'ensemble multi-modèles nord-américain (NMME) qui indiquent la formation de La Niña dès l'automne 2017 (anomalie de température chutant sous les $-0,5$ °C). La probabilité d'observer ce phénomène atteint les 62% sur la période novembre-décembre 2017 et janvier 2018.

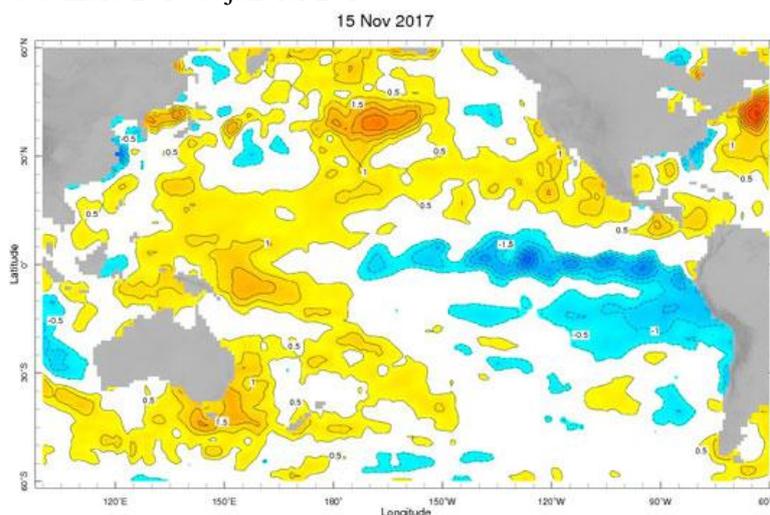


Figure n°101 : Anomalies de températures de surface de la mer (9 et le 15 novembre 2017)
(Source : NCEP, OISST v2)

7.2 Contexte réglementaire

7.2.1 Liste rouge UICN

La liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) est un système simple et compréhensible par tous pour classer les espèces selon leur risque d'extinction à l'échelle mondiale (les principes et les catégories sont présentés en [annexe 05](#)).

Précautions d'application :

- Cette liste est en constante réactualisation ;
- Elle est établie à un niveau mondial : cela ne reflète pas la situation de la Nouvelle-Calédonie, ni même au niveau mondial : en milieu marin, le recensement des espèces d'invertébrés enregistre de nombreuses lacunes à travers le monde. Les coraux scléactiniaires et les bénitiers sont les mieux référencés mais le reste des invertébrés est le plus souvent enregistré comme « données insuffisantes » (data deficient).

Les coraux scléactiniaires

Plusieurs espèces de coraux durs sont inscrites sur cette liste rouge.

Pour rappel : le cahier des charges ne prévoyant pas l'étude des coraux ceux-ci n'ont pas été échantillonnés pour cette mission et il n'y a donc pas de listing disponible. Cependant, ce travail supplémentaire, non obligatoire, avait été réalisé les missions précédentes (jusqu'en 2016) et un bilan des espèces présentes dans la zone d'étude et inscrites sur cette liste est disponible dans les rapports concernés.

Les autres invertébrés

Concernant les autres invertébrés (hors coraux durs), les données recueillies par l'UICN ne sont pas assez détaillées et représentatives pour juger le risque d'extinction des espèces à l'échelle mondiale.

Dans la zone d'étude, auparavant, seuls les bénitiers du genre *Tridacna* étaient référencés et le **reste des espèces** était classé en **données insuffisantes** « DD : data déficient ».

Depuis 2016, de nouvelles espèces ont été renseignées, dont certaines ont été échantillonnées, comme détaillé dans le [tableau 124](#) et [tableaux a, b](#) en [annexe 04](#).

Pour cette mission, 13 espèces sont classées, réparties dans 2 groupes : les holothuries et les bénitiers : 2 espèces « en danger », 2 espèces « vulnérable », 2 espèces « dépendant de la conservation » et 7 espèces « préoccupation mineure ».

Tous les transects sont concernés à l'exception de ST04A, ST05C, ST06C et ST12B.

Tableau n°124 : Invertébrés inscrits sur la liste UICN et échantillonnés en mai 2018

EMBRANCHEMENT	DIVISION	FAMILLE	GENRE	ESPECE	STATUT
Echinoderme	Holothuride	Holothuriidae	<i>Actinopyga</i>	<i>miliaris</i>	VU
			<i>Actinopyga</i>	<i>palauensis</i>	LR-lc
			<i>Bohadschia</i>	<i>argus</i>	LR-lc
			<i>Holothuria</i>	<i>atra</i>	LR-lc
			<i>Holothuria</i>	<i>edulis</i>	LR-lc
			<i>Holothuria</i>	<i>flavomaculata</i>	LR-lc
			<i>Holothuria</i>	<i>fuscopunctata</i>	LR-lc
			<i>Holothuria</i>	<i>whitmaei</i>	EN
				Stichopodidae	<i>Thekenota</i>
Mollusque	Bivalve	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>crocea</i>	LR-lc
			<i>Tridacna</i>	<i>derasa</i>	VU
			<i>Tridacna</i>	<i>maxima</i>	LR-cd
			<i>Tridacna</i>	<i>squamosa</i>	LR-cd

Les macrophytes

Pour les espèces actuellement observées, elles sont enregistrées comme « données insuffisantes » (DD).

7.2.2 Code de l'Environnement de la Province Sud²⁰

7.2.2.1 Ecosystèmes patrimoniaux

Rappel de la réglementation :

TITRE III : PROTECTION DES ÉCOSYSTÈMES D'INTÉRÊT PATRIMONIAL

Chapitre I

PRINCIPE ET OBJECTIFS

Article 231-1

(article 1er de la délibération 03-2009 du 18 février 2009 relative à la protection des écosystèmes d'intérêt patrimonial)

I. - Le présent titre a pour objet de contribuer à la préservation et à l'amélioration de l'état de conservation de la biodiversité par des mesures visant à assurer le maintien ou la restauration d'écosystèmes qui sont d'intérêt patrimonial, tels que les forêts denses humides sempervirentes, les forêts sclérophylles, les mangroves, les herbiers et les récifs coralliens.

Ces mesures ont pour objet de préserver la capacité globale d'évolution des écosystèmes dans le but d'assurer les équilibres naturels et la préservation des processus naturels garants de ces équilibres.

Elles tiennent compte des exigences économiques, sociales et culturelles ainsi que des particularités locales et sont compatibles avec les activités humaines qui n'ont pas un impact environnemental de nature à compromettre les équilibres, ni à altérer les processus naturels.

Dès lors qu'il est susceptible d'avoir un effet significatif sur un écosystème d'intérêt patrimonial, tout programme ou projet de travaux, d'installations, d'ouvrages ou d'aménagements est soumis à autorisation dans les conditions fixées par le présent titre.

II. - Ne sont pas soumises à autorisation au titre du présent titre :

1° La pêche, la chasse et les autres activités cynégétiques pratiquées dans les conditions et sur les territoires autorisés par la réglementation ;

2° La collecte ou le prélèvement de faune, de flore ou de minéraux à des fins scientifiques ou de régulation d'espèces envahissantes ;

3° L'introduction d'espèces indigènes ou endémiques à des fins de restauration de sites dégradés ou de conservation d'espèces rares et menacées.

III. - Au sens du présent titre, on entend par « écosystème », un complexe dynamique formé de communautés de plantes, animaux, champignons et micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leurs interactions, forment une unité fonctionnelle.

Chapitre II

IDENTIFICATION DES ÉCOSYSTÈMES D'INTÉRÊT PATRIMONIAL

Article 232-1

(article 2 de la délibération 03-2009 du 18 février 2009 relative à la protection des écosystèmes d'intérêt patrimonial, modifié par délib n° 17-2015/APS du 26/06/2015, art.8)

Les écosystèmes d'intérêt patrimonial soumis aux dispositions du présent titre sont :

1° Les forêts denses humides sempervirentes ;

2° Les forêts sclérophylles ou forêts sèches ;

3° Les mangroves ;

4° Les herbiers dont la surface est supérieure à cent mètres carrés ;

5° Les récifs coralliens dont la surface est supérieure à cent mètres carrés.

La liste des écosystèmes d'intérêt patrimonial soumis aux dispositions du présent titre et leur caractérisation peuvent être complétées par délibération du bureau de l'Assemblée de Province après avis de la commission intérieure en charge de l'environnement.

Les écosystèmes d'intérêt patrimonial soumis aux dispositions du présent titre sont considérés indépendamment de leur situation géographique.

²⁰ Version M32 du 29/08/2017

La délimitation géographique des écosystèmes présentant un intérêt patrimonial soumis aux dispositions du présent titre est établie à titre indicatif par une cartographie consultable auprès des services compétents. Cette cartographie est actualisée en tant que de besoin pour tenir compte du caractère évolutif et mobile des écosystèmes.

Article 232-5

(article 6 de la délibération 03-2009 du 18 février 2009 relative à la protection des écosystèmes d'intérêt patrimonial)

L'herbier est une formation végétale située dans une zone marine de profondeur inférieure à 60 mètres. Il est composé de phanérogames marines appartenant à l'une des espèces listées ci-dessous :

FAMILLE	GENRE	ESPECE
Cymodoceaceae	<i>Cymodocea</i>	<i>serrulata</i>
	<i>Cymodocea</i>	<i>rotundata</i>
	<i>Halodule</i>	<i>uninervis</i>
	<i>Halodule</i>	<i>pinifolia</i>
	<i>Syringodium</i>	<i>isoetifolium</i>
Hydrocharitaceae	<i>Enhalus</i>	<i>acoroides</i>
	<i>Halophila</i>	<i>ovalis</i>
	<i>Halophila</i>	<i>minor</i>
	<i>Halophila</i>	<i>decipiens</i>
	<i>Halophila</i>	<i>capricorni</i>
	<i>Thalassia</i>	<i>hemprichii</i>

Article 232-6

(article 7 de la délibération 03-2009 du 18 février 2009 relative à la protection des écosystèmes d'intérêt patrimonial)

Le récif corallien est une structure marine bioconstruite. Il est constitué de coraux Scléactiniaires Hermatypiques et d'algues rouges calcaires encroûtantes (famille des *Corallinaceae*).

En milieu marin, 2 écosystèmes patrimoniaux sont susceptibles d'être présents : les récifs coralliens et les herbiers.

→ **Toutes les stations de suivi marin sont positionnées sur des récifs coralliens dont la surface est supérieure à 100 m² : ces zones sont donc des « Ecosystèmes d'intérêt patrimonial »** selon l'article 232-1 du Code de l'Environnement de la Province Sud.

→ **Aucune phanérogame marine n'a été observée sur les stations de la zone d'étude : il n'y a donc pas lieu de considérer ces zones comme des herbiers** (classés comme Ecosystème d'intérêt patrimonial selon l'article 232-1 du Code de l'Environnement de la Province Sud).

7.2.2.2 Espèces endémiques, rares ou menacées

Rappel de la réglementation :

TITRE IV : PROTECTION DES ESPÈCES ENDÉMIQUES, RARES OU MENACÉES

Article 240-1

25/03/2010, art.11.al. 1 et 2 ; Modifié par délib n°193-2010/BAPS/DENV du 01/04/2010, art.1, 2 et 3 ; Modifié par délib n° 933-2013/BAPS/DENV du 11/12/2013, art.2 ; Modifié par délib n° 17-2015/APS du 26/06/2015, art.8 ; Modifié par délib n° 267-2017/BAPS/DENV du 19/04/2017, art.8-1) et 2)

Le présent titre a pour objet de préserver la biodiversité néocalédonienne en déterminant les espèces animales ou végétales endémiques, rares ou menacées qui doivent être protégées et en réglementant les conditions dans lesquelles il peut être dérogé aux interdictions fixées dans le cadre de cette protection. Les interdictions qu'il fixe ne concernent pas les actions d'entretien des spécimens d'espèces végétales ou de secours aux spécimens d'espèces animales.

Les listes des espèces animales et végétales protégées sont indiquées dans les tableaux ci-dessous.

Ces listes peuvent être modifiées par délibération du bureau de l'Assemblée de Province après avis du comité pour la protection de l'environnement et de la commission intérieure en charge de l'environnement. Des modalités particulières de protection peuvent être adoptées pour toute espèce, par délibération du bureau de l'Assemblée de Province.

NB : Les espèces concernées, en mars 2009, sont le bulime, la tortue verte et les fougères arborescentes.

Les espèces inscrites à la liste des espèces endémiques, rares ou menacées selon l'article 240-1 du Code de l'Environnement de la Province Sud et potentiellement présentes dans la zone d'étude sont présentées [tableau 125](#) (la liste a été élargie depuis fin 2017 et le dernier rapport [28]).

Les organismes listés qui peuvent être observés directement sur les stations ou dans la zone d'études sont :

- Le triton (*Charonia tritonis*) : parfois observé à la ST07 (Basse Chambeyron) (en A en mars 2015, en B en septembre 2017)
- Le napoléon (*Cheilinus undulatus*). Cette espèce emblématique est habituellement présente en ST10 (Ilot Kié) où il est un habitué qui fréquente un gros massif corallien situé à une vingtaine de mètres du transect bas
- Une tortue grosse tête (*Caretta caretta*) vient régulièrement nous « surveiller » sur le transect haut ou médian (voire de la surface) de la ST11 (Toémo)
- Des tortues vertes (*Chelonia mydas*) sont fréquemment aperçues de l'embarcation lorsqu'elles viennent respirer en surface
- Des tricots rayés (*Laticauda* sp.) sont observés régulièrement de la surface ou en plongée, particulièrement sur les stations des bancs du canal de la Havannah
- Les requins : plusieurs espèces ont été aperçues sur toutes les stations au fil des missions.

Tableau n°125 : Extrait de la liste des espèces endémiques, rares ou menacées en Province Sud, potentiellement présentes sur la zone d'étude

Règne animal / milieu marin				
Groupe	Taxon	Genre	Espèce	Nom commun
Mammifères marins	Cétacés	Tous genres	Toutes espèces	Baleine, Orque, Cachalot, Globicéphale, Dauphin
	Siréniens	<i>Dugong</i>	<i>dugon</i>	Dugong
Reptiles marins	Cheloniidae	<i>Caretta</i>	<i>caretta</i>	Tortue caouanne ou grosse-tête
		<i>Chelonia</i>	<i>mydas</i>	Tortue verte
		<i>Eretmochelys</i>	<i>imbricata</i>	Tortue imbriquée
		<i>Lepidochelys</i>	<i>olivacea</i>	Tortue olivâtre
		<i>Natator</i>	<i>depressus</i>	Tortue à dos plat
	Dermochelyidae	<i>Dermochelys</i>	<i>coriacea</i>	Tortue luth
	Elapidae	<i>Laticauda</i>	<i>laticauda</i>	Tricot rayé bleu
<i>Laticauda</i>		<i>saintgironsi</i>	Tricot rayé jaune	
Poissons marins	Labridae	<i>Cheilinus</i>	<i>undulatus</i>	Napoléon
	Sélachimorpha	Tous genres	Toutes espèces	Requins
Mollusques marins	Cassidae	<i>Cassis</i>	<i>cornuta</i>	Casque
	Céphalopodes	<i>Nautilus</i>	<i>macromphalus</i>	Nautile
		Draparnaudiidae	<i>Draparnaudiida</i>	<i>anniae</i>
	<i>Draparnaudiida</i>		<i>subnectata</i>	
	Ranellidae	<i>Charonia</i>	<i>tritonis</i>	Toutoute ou conque
Volutidae	<i>Cymbolia</i>	spp.	Volutes	

7.2.2.3 Espèces protégées

Notion existante en Province Nord, elles n'ont pas été définies en Province Sud. Se référer au paragraphe

précédent, qui est similaire.

7.2.2.4 Espèces exotiques envahissantes

Rappel de la réglementation :

Titre V : LUTTE CONTRE LES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

Article 250-1

(article 1er de la délibération n° 05-2009 du 18 février 2009 relative à la lutte contre les espèces exotiques envahissantes)

Le présent titre a pour objet de préserver la biodiversité néocalédonienne et de prévenir l'introduction d'espèces exotiques envahissantes dans le milieu naturel, de lutter contre leur dissémination ou de les éradiquer.

On entend par :

1° « espèce exotique », toute espèce dont l'aire de répartition naturelle est extérieure à la Nouvelle-Calédonie.

2° « espèce exotique envahissante », toute espèce exotique dont l'introduction par l'homme, volontaire ou fortuite, l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques ou sanitaires négatives.

Article 250-2

(article 2 de la délibération n° 05-2009 du 18 février 2009 relative à la lutte contre les espèces exotiques envahissantes) ; Modifié par délib n° 47-2013/APS du 19/12/2013, art.6-I ; Modifié par délib n° 17-2015/APS du 26/06/2015, art.11 ; Modifié par délib n° 267-2017/BAPS/DENV du 19/04/2017, art.9

I. - Afin de ne porter préjudice ni au patrimoine biologique, ni aux milieux naturels, ni aux usages qui leur sont associés, ni à la faune et à la flore sauvages, sont interdits :

1° L'introduction dans le milieu naturel, volontaire, par négligence ou par imprudence, la production, la détention, le transport, l'utilisation, la cession à titre gratuit ou onéreux, la mise en vente, la vente ou l'achat de tout ou partie d'un spécimen vivant d'une espèce animale exotique envahissante listée dans le tableau prévu au IV, ainsi que de ses produits ;

2° L'introduction dans le milieu naturel, volontaire, par négligence ou par imprudence, la production, le transport, l'utilisation, le colportage, la cession à titre gratuit ou onéreux, la mise en vente, la vente ou l'achat de tout ou partie d'un spécimen vivant d'une espèce végétale exotique envahissante listée dans le tableau prévu au V ainsi que de ses semences.

Ces listes peuvent être modifiées par délibération du bureau de l'Assemblée de Province.

Des modalités de prévention, de lutte ou d'éradication particulières peuvent être adoptées pour une espèce exotique envahissante par délibération du bureau de l'Assemblée de Province.

NB : Les espèces concernées sont, en mars 2009, le black bass, le poisson-million, le porte-épée et la tortue de Floride.

II. - La destruction de tout spécimen doit être réalisée selon les méthodes préconisées par le président de l'Assemblée de Province. Dès que la présence dans le milieu naturel d'une des espèces listées au I est constatée, le président de l'Assemblée de Province peut procéder ou faire procéder à la capture, au prélèvement, à la garde ou à la destruction des spécimens de l'espèce.

III. - Lorsqu'une personne est condamnée pour infraction aux dispositions du présent article, le tribunal peut mettre à sa charge les frais exposés pour la capture, les prélèvements, la garde ou la destruction rendus nécessaires.

IV. - Liste des espèces animales exotiques envahissantes : [...].

Il n'y a qu'une seule espèce exotique envahissante en milieu marin selon le § IV de l'article 250-2 du Code de l'Environnement de la Province Sud : l'étoile de mer japonaise, *Asterias amurensis*.

→ Aucune espèce listée comme « exotique envahissante » au § IV de l'article 250-2 du Code de l'Environnement de la Province Sud n'a été observée lors de cette étude, ni depuis le début du suivi.



8 Conclusion

La zone d'étude est large et comprend des stations dans la baie de Prony, le canal de la Havannah et le canal Woodin. Elle est composée par de multiples biotopes bien diversifiés (récifs coralliens variés et pentes sédimentaires à massifs coralliens) tant au niveau flore que faune.

Le réseau est sous l'influence potentielle de facteurs anthropiques dont l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie. Mais les suivis depuis 2007 montrent que l'ensemble de la zone est également sous influence de facteurs perturbateurs naturels (houle, ressac, courant de marée, turbidité, dessalure) ainsi que des événements climatiques (El Niño / La Niña) et dépressionnaires exceptionnels (Erika, Vania, Zelia, Fréda, Pam, Winston, Cook, Donna, Gita, Hola...).

La conjugaison de ces facteurs perturbateurs anthropiques et/ou naturels entraîne dans le temps des réactions en chaîne comme la remobilisation du matériel corallien le long des pentes récifales, le développement de cyanobactéries, d'algues, de turf et d'espèces prédatrices de corail (prolifération de corallivores comme les *Acanthaster planci* et les *Drupella cornus*), l'hyper sédimentation, les lésions coralliennes (maladies et nécroses)...

8.1 Le substrat

L'étude des substrats par le LIT a montré que leur composition est très variée d'une station à l'autre (ce qui est normal par rapport à la géomorphologie du récif qui diffère selon les localisations géographiques) mais aussi au sein même d'une station, avec notamment une influence certaine de la profondeur (diminution du recouvrement par les scléactiniaires et les groupes biotiques en général).

Pour cette mission, en mai 2018 :

Aucune grande variation temporelle n'est relevable : **les pourcentages de chacune des composantes sont stables par rapport à la mission précédente.** Hormis un inversement (cyclique) de recouvrement « vase – DCA » en ST02B et ST03A, il n'y a aucune différence notable : les deltas sont compris entre -11,5% et +14% pour toutes les stations / transects.

A l'échelle de la zone, **le taux de recouvrement des coraux scléactiniaires est stable** (19.70%).

Le recouvrement en cyanobactéries est globalement bas : seuls 3 transects sont concernés avec un taux à 0.5%. **Attention cependant aux 2 transects B et C de la ST07 qui présentent des niveaux élevés pour cette mission : respectivement 5 et 15%.**

La résilience globale des récifs suite aux dégradations enregistrées en avril 2016 (blanchissement du début d'année 2016, conséquence d'une anomalie positive de température de l'eau, cf. § 7.1) est définitivement **confirmée** (cf. § 6.1 et [tableau 101](#)).

Il faut cependant noter une exception : le transect supérieur du Creek baie nord où avait été enregistrée une baisse de 21% dans le recouvrement en scléactiniaires en avril 2016 ne voit pas de reprise significative : les taux se maintiennent aux alentours de 27% depuis 5 missions vs des taux supérieurs à 40% auparavant.

Par ailleurs, malgré ces résultats généraux reflétant un état de santé des récifs satisfaisant globalement, une station doit être particulièrement surveillée : **la ST01, qui voit son recouvrement en scléactiniaires encore chuté** à cette mission pour atteindre seulement 1% et 1.5% respectivement aux transects haut et bas.

La cause est une **attaque d'étoiles de mer corallivores (*Acanthaster planci*)** qui prolifèrent depuis 2016 dans cette zone.

8.2 Les communautés benthiques

8.2.1 Etat général

Les coraux

La diversité et l'abondance des coraux n'ont pas été étudiées depuis la mission d'avril (non demandé dans le cahier des charges).



Ce compartiment biologique a été suivi sur la période d'août 2007 à novembre 2016 et les informations recueillies ont été déterminantes pour détecter les perturbations dans la zone d'étude. En effet, les coraux sont des sentinelles avancées car fixent et très sensibles aux variations de l'environnement. Ainsi les coraux sont considérés comme le meilleur indicateur pour détecter des perturbations à court et moyen terme.

Désormais il n'est plus possible de constater s'il y a des variations dans les assemblages d'espèces coralliennes et si ce compartiment biologique varie dans le temps et l'espace.

Deux maladies coralliennes (hypermycose endolithique et la bande blanche) et quelques anomalies de croissance ont été recensées dans la zone d'étude. Cependant, la seule maladie ayant une influence perturbatrice sur l'état de santé des récifs dans la zone d'étude est la maladie de la bande blanche (white band disease). Elle affecte particulièrement les colonies d'*Acropora* tabulaires et branchus mais elle a également été observée sur *Stylophora pistillata*, *Montipora*, *Seriatopora caliendrum*, *Seriatopora hystrix* et *Merulina ampliata* (colonies coralliennes sans polype).

En mai 2018, de nombreux transects du réseau de suivi présentent des colonies affectées par cette maladie (tous les transects sauf ST01AB, ST02A, ST03AC, ST04C, ST05AC et ST12AB). Le recouvrement de coraux blanchis affectés par cette maladie n'excède pas 1.1 m² par transect.

Les invertébrés

L'assemblage des espèces d'invertébrés (hors coraux durs) est toujours diversifié pour cette mission. Toutefois, cette diversité d'organismes et l'abondance des espèces qui la composent sont plus variables dans le temps que pour les coraux. En effet, de nombreux organismes benthiques sont mobiles, pour la plupart nocturnes et en constante recherche de nourriture (échinodermes, mollusques), et d'autres espèces ont une capacité de fixation au récif réduite (comme les ascidies, bryozoaires et certaines éponges).

Entre septembre 2017 et mai 2018, la richesse spécifique absolue des invertébrés (hors coraux durs) a évolué de -1 à +16 espèces selon les transects.

Cette évolution est majoritairement positive sur l'ensemble des niveaux bathymétriques. Le seul transect présentant une diversité absolue négative des invertébrés (hors coraux durs) par rapport à la dernière mission est ST07C (-1 taxa). Ce dernier présente également une prolifération importante des cyanobactéries.

Le matériel corallien déstabilisé lors des événements dépressionnaires dévale toujours les pentes récifales mais les perturbations sur les organismes benthiques sont moindres.

Les groupes faunistiques représentant ces fluctuations sont surtout des espèces mobiles (mollusque et échinodermes -astéries, échinides, holothuries-) et des espèces sessiles à faible fixation au substrat (ascidies, et spongiaires).

→ Les cyclones Gita (février 2018) et Hola (mars 2018) ont très certainement perturbé l'ensemble de la zone d'étude (contraintes hydrodynamiques, sédimentation et/ou dessalure des eaux de surface) puis la houle et le ressac ont continué la mobilisation du matériel corallien sur les pentes récifales. Cependant, cette dernière mission s'est déroulée plus tard qu'habituellement (en mai²¹) et les organismes benthiques ont eu le temps de recoloniser le substrat et/ou de se déplacer afin de se nourrir dans le matériel corallien mobilisé.

Remarque : Ce n'est pas parce que la diversité et/ou l'abondance des invertébrés (hors coraux durs) varient de manière positive entre deux missions, que les récifs n'ont pas subi de perturbation.

En effet, il faut généralement que les perturbations soient majeures (hydrodynamique et/ou sédimentaire) pour que le signal soit perceptible sur ce groupe. Des individus ou des tests morts peuvent être retrouvés et donc témoins d'une perturbation mais ces observations sont rares car les organismes sont très rapidement consommés en milieu marin.

Par ailleurs, les mollusques et les échinodermes, toujours en recherche de nourriture, peuvent se déplacer sur des zones récifales qui viennent d'être perturbées et où la nourriture est devenue disponible. Ainsi, des dégradations sur les récifs peuvent au contraire attirer ces organismes et donc les échantillonnages voient leur abondance et leur diversité augmenter (cf. § plus bas sur les perturbations d'ordre mécanique).

→ Il est donc nécessaire d'étudier la diversité et l'abondance des coraux pour détecter des perturbations et ainsi caractériser l'état de santé des récifs à court/moyen et long termes.

²¹ Contraintes météorologiques jutsment



« **Espèces cibles** » et **envahissantes** : depuis le début du suivi en 2007, une attention particulière est portée sur l'évolution de 8 espèces pouvant nuire à l'environnement si leur développement s'avérait trop important. En effet, la compétition spatiale (*Asparagopsis taxiformis*, *Lobophora* sp., les cyanobactéries, *Cliona orientalis* et *C. jullieni*) ou la prédation (*Acanthaster planci*, *Culcita novaeguineae* et *Drupella cornus*) avec les coraux scléactiniaires peuvent être très importantes. La prolifération à long terme de l'une de ces espèces peut avoir de lourdes conséquences sur l'état de santé des récifs.

En mai 2018, 3 espèces cibles ont un développement anormal.

Acanthaster planci est une étoile de mer corallivore (prédatrice de corail). (cf. § 6.2.2.3). Pour la troisième mission consécutive (novembre 2016 à mai 2018) une prolifération permanente est observée en station ST01 (Ilot Casy). Lors du suivi de novembre 2016 un seul spécimen avait été recensé au transect A, puis en avril 2017 la population avait proliféré en A et s'était élargie en B en septembre 2017.

En mai 2018, ces corallivores sont concentrés au transect A et ils ont quasiment dévoré l'ensemble des colonies du genre *Acropora* (branchu et tabulaire) se répartissant dans la station (colonies coralliennes mortes en place). Cela laisse à penser qu'ils se déplaceront prochainement en quête d'autres sources de nourriture.

Les cyanobactéries apparaissent de manière épisodique et elles ne se sont jamais développées de manière pérenne dans la zone d'étude. Depuis août 2007, Les stations ayant présenté ces proliférations (niveaux 4 et 5) sont ST01, ST02, ST03, ST06, ST07, ST08, ST10 et ST11.

En mai 2018, les niveaux bathymétriques ST07BC (respectivement niveau 3 et 5) ont un développement très important et en grande augmentation par rapport à la précédente mission. Les causes de ce développement n'ont pas été déterminées avec certitude mais ce recouvrement important de cyanobactéries pourrait provenir de la déstabilisation du matériel corallien durant les phases dépressionnaires du début d'année 2018 puis de la mobilisation par les agents hydrodynamiques jusqu'en bas de pente récifale. Cette prolifération ne devrait pas perdurer dans le temps et les dégradations sur l'environnement devraient être mineures. Les cyanobactéries se développent principalement sur le sable carbonaté et les débris.

Lobophora sp. : cf. § ci-dessous.

Les macrophytes

L'assemblage des espèces de macrophytes est toujours diversifié pour cette mission.

La diversité des algues dépend des paramètres environnementaux et elle est contrainte par la saisonnalité et les événements exceptionnels (naturels ou anthropiques).

Les valeurs de biodiversité des macrophytes sont faibles durant la saison hivernale (1^{ère} mission semestrielle ; avril-mai) et suite à un événement climatique et/ou dépressionnaire (arrachement). Par contre, elles sont les plus fortes au début de la saison estivale (2^{nde} mission semestrielle ; septembre –octobre), les eaux plus chaudes favorisant le développement des algues rouges.

« **Espèces cibles** » et **envahissantes** : Le recouvrement des macrophytes est particulièrement important à suivre pour deux genres *Asparagopsis* et *Lobophora*, respectivement dans le canal de la Havannah et la baie de Prony.

Asparagopsis taxiformis est une algue rouge recensée dans le canal de la Havannah (milieux exposés aux agents hydrodynamiques). Son développement est saisonnier (très important durant la saison estivale) car elle peut recouvrir de très grande surface récifale (surtout les stations ST06, ST07, ST08 ST09 et ST11).

→ Lors de cette dernière mission, elle se développe de manière très modérée dans le canal de la Havannah (abondance ≤ niveau 2). Son recouvrement a diminué de manière significative depuis la dernière mission de septembre 2017 (particulièrement en ST07A et ST09BC).

Lobophora sp. est une algue brune, recensée particulièrement dans la baie de Prony (milieu calme et turbide). Son développement est plus pérenne durant l'année dans les eaux calmes où elle colonise au fur et à mesure les parties récifales affaiblies et/ou à nu (dalle, débris, base des coraux). Elle peut ainsi profiter que les coraux soient affaiblis ou perturbés par la sédimentation pour conquérir de nouvelles surfaces et avoir alors des caractéristiques d'une espèce envahissante.

→ Lors de cette dernière mission, son recouvrement est +/- stable par rapport à la mission précédente (sauf ST03 - Port). Son développement est toujours conséquent en ST02 (niveau 4 ; Creek baie nord) et

particulièrement important et encore en augmentation en ST03BC (niveau 5 et 4 ; Port) (cf. § 5.4.3).

Aucune espèce exogène (quel que soit le groupe) n'a été répertoriée dans les stations de suivi biologique de la zone d'étude. Il faut noter que la bibliographie à ce sujet est très succincte en Nouvelle-Calédonie au regard des risques encourus avec la circulation des grands navires et du port international de Prony. Au vu de la taille de l'échantillonnage, il n'apparaît **pas de phénomène d'invasion**.

8.2.2 Les perturbations

Le réseau de surveillance biologique permet de détecter des anomalies.

En effet, la zone d'étude enregistre, pour les 11 stations des trois sites (Prony, Woodin et Havannah), des dégradations qui sont en relation avec l'intensité et la durée d'exposition aux agents hydrodynamiques et météorologiques et à l'activité anthropique (principalement apport et remobilisation de particules sédimentaires terrigènes en baie Kwé, au niveau du quai vrac du port et dans une moindre mesure au Creek de la baie nord).

Les résultats des tests ANOVAR et Friedman montrent que la diversité absolue des communautés benthiques n'est pas homogène sur la période de 2010 à 2018 pour les 2 ensembles suivants :

- Les invertébrés (hors coraux durs) (le protocole a été amélioré jusqu'en septembre 2011)
- Les macrophytes (sans évolution du protocole depuis 2007).

En écartant les artefacts du protocole qui a été amélioré à certaines missions, les inventaires des différentes missions ont mis en valeur :

- des phases de dégradation, principalement liées aux phénomènes météorologiques (dépressions/cyclones 2011, 2013, 2015, 2016, 2017 et 2018), au phénomène climatique (El Niño 2015-2016) et des perturbations liées aux activités anthropiques (d'ordre sédimentaire depuis 2011)
- suivies par des réactions en chaîne liées (et localisées) : mortalité corallienne, développement de turf algal, de cyanobactéries et d'algues, de lésions coralliennes (maladies et nécroses), prédation des corallivores (*Acanthaster planci* et de *Drupella cornus*), instabilité du matériel corallien sur les pentes récifales (effondrement de colonies, blocs, débris et sable carbonaté) et/ou hyper sédimentation d'origine terrigène (turbidité)
- mais aussi par des phases de résilience des récifs, comprenant : recrutement, réintégration des zooxanthelles, croissance des coraux, mobilité des invertébrés à la recherche de nourriture, diversification biologique et changement des assemblages.

La saisonnalité des macrophytes apparaît aussi nettement, même si la périodicité des missions n'est pas adéquate pour les étudier. Les variations de leur diversité sont régulières durant l'année et depuis le début du suivi.

Les perturbations d'ordre mécanique

Les perturbations d'ordre mécanique sont enregistrées principalement dans le canal de la Havannah (houle, ressac et courants de marée) et dans une moindre mesure dans le canal Woodin (courants de marée).

Les phénomènes les plus intenses sont les phases dépressionnaires (cf. § 7.1.1) qui perturbent principalement les niveaux bathymétriques supérieur et médian des récifs les plus exposés : des colonies coralliennes sont retournées et arrachées de leur substrat, des accumulations de blocs et débris coralliens se forment, allant jusqu'à constituer des couloirs d'effondrement. Le recouvrement de coraux blanchis ne représente pas forcément une surface très importante mais le nombre d'espèces influencées par ce blanchissement peut être conséquent.

De plus, lorsque les récifs sont perturbés mécaniquement, les invertébrés benthiques subissent, bien évidemment, les forces d'arrachement, ils peuvent être balayés et arrachés des niveaux supérieurs et médians. Mais la recolonisation des espèces d'invertébrés mobiles peut se faire très rapidement. Les échinodermes (astéries, échinides, ophiures et holothuries) et les mollusques (gastéropodes et nudibranches) reviennent rapidement coloniser la zone dégradée afin de se nourrir dans les débris fraîchement mobilisés.

Ainsi, ce n'est pas parce que la diversité et l'abondance des invertébrés mobiles augmentent que le récif ne subit pas de perturbation de son habitat (impacts sur les coraux scléactiniaires constructeurs de récifs).

Dans un second temps, suite à ces perturbations d'intensité extrême, au fur et à mesure du temps, les agents

hydrodynamiques remobilisent les débris et les blocs sur les pentes récifales (effondrement de débris). Il s'ensuit une phase de dégradations secondaires liées à la remobilisation des débris au cours de l'année et à des réactions en chaîne sur les parties médianes et basses des tombant récifaux. Les cyanobactéries (et le turf) peuvent alors se développer (mais leur présence n'est pas obligatoirement pérenne dans le temps), comme par exemple les observations de cette mission en ST07BC.

En mai 2018, les transects présentant le plus de dégradations mécaniques sont localisés sur les récifs exposés dans le canal de la Havannah et surtout dans les niveaux médians et inférieurs (ST06BC, ST07BC, ST09BC, ST11B et ST12AB).

Le matériel corallien déstabilisé lors des événements dépressionnaires Gita (février 2018) et Hola (mars 2018) est remobilisé, au fur et à mesure du temps, par les agents hydrodynamiques (houle et ressac) vers le bas de la pente récifale (gravité). Les colonies, blocs et/ou débris remobilisés ne sont plus blanchis car les phénomènes dépressionnaires sont postérieurs à 2-3 mois.

Les invertébrés mobiles (à la recherche de nourriture) viennent coloniser ces récifs et la diversité absolue augmente pour l'ensemble des niveaux bathymétriques du réseau de suivi (seul ST07C présente une diminution). Les transects B et C de la station ST07 (Basse Chambeyron) présentent un développement de cyanobactéries très important. Elles se développent principalement sur le sable carbonaté et les débris.

 Les perturbations d'ordre sédimentaire

Une attention particulière doit être portée sur les apports de particules terrigènes charriées ou remobilisées dans le milieu marin. Les activités anthropiques dans la zone d'étude (exploitations minières, port) ont une influence sur ce paramètre. Les sources de particules se centralisent aux embouchures des creeks et rivières (particulièrement en baie Kwé et Prony) et se répartissent selon les courants et la dérive littorale sur les récifs avoisinants.

Les apports de MES ont une influence sur la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et sur la sédimentation. Ainsi, si ce facteur de l'environnement évolue, il y a des répercussions sur les organismes benthiques et sur les assemblages d'espèces de la faune et la flore.

Dans la baie de Prony, des épisodes sédimentaires relativement conséquents peuvent être observés en période humide pour les ST02 (Creek baie nord) et ST03 (Port). Ces observations sont amplifiées 1) durant les fortes précipitations et les phases dépressionnaires et 2) tout au long de l'année par la circulation des bateaux pour la station à proximité du Port (hélices et ancrages des bateaux).

En baie Kwé et de Port Boisé, l'apport de particules terrigènes proviendrait principalement de la Kwé et dans une moindre mesure de la baie de Port Boisée. Cette matière en suspension serait drainée par la rivière Kwé, transportée par les courants de marée puis par la dérive littorale à travers le récif frangeant côtier du canal de la Havannah.

Dans le réseau de suivi général, la station la plus proche de la baie Kwé est ST08 (Puka).

La station ST08 est à l'interface entre les conditions hydrodynamiques intenses du canal de la Havannah, les conditions hyper sédimentaires et les phénomènes de dessalure des eaux de surface des baies (Port Boisé et Kwé) et des pollutions liées aux eaux usées (Port Boisé). Ces paramètres de l'environnement ont été accentués par les phases dépressionnaires de 2011, 2013, 2015 et 2017 ainsi que les événements pluviométriques du 2 au 4 juillet 2013 (cf. § 7.1). Cette station est donc perturbée et dégradée depuis mars 2011 et son état de santé est fluctuant par rapport à l'ensemble des récifs composant le réseau de suivi biologique.

De mars 2011 à 2015, les bio indicateurs s'orientaient vers un état de santé biologique relativement mauvais (maladie de la bande blanche, anomalies de croissance, hypermycose endolithique, lésions coralliennes liées à l'apport particulaire, cyanobactéries, turf algal, gastéropodes corallivores, variation de richesse spécifique en dent de scie).

De mars 2015 à novembre 2016, les indicateurs biologiques se stabilisaient et l'assemblage des espèces coralliennes se diversifiait lentement (résilience lente). Bien que l'inventaire recensait de nouvelles espèces coralliennes, ces dernières mettaient en avant une perturbation sédimentaire car elles étaient caractéristiques de milieux contraints par la turbidité. Ces changements lents dans l'assemblage spécifique corallien et les réactions en chaîne observées depuis plusieurs années peuvent être induits par un apport régulier de particules terrigènes.

Depuis 2017, l'inventaire des coraux n'est plus réalisé et il n'est plus possible d'évaluer des changements



dans les assemblages d'espèces coralliennes.

Hypothèse : la source de particules sédimentaires perturbant les récifs de Puka et les alentours proviendrait de la baie Kwé. Cet apport de MES ne paraît pas être soutenu, ni continu mais serait tout de même assez important dans le temps pour perturber les organismes benthiques depuis le début d'année 2011.

Remarques :

- Si les conditions environnementales d'un milieu évoluent de manière modérée, l'assemblage des espèces va également suivre cette évolution. Les espèces les mieux adaptées résisteront et se développeront, les espèces non adaptées diminueront peu à peu d'abondance et elles seront potentiellement remplacées par d'autres.
- Si les variations d'un ou plusieurs paramètres de l'environnement sont importantes sur une période prolongée alors le seuil critique léthal des colonies peut rapidement être dépassé et elles meurent en place.
- Le réseau de suivi biologique n'a pas de station biologique d'observation en baie Kwé et en baie de Port Boisé.

En mai 2018, des dépôts sédimentaires sont à nouveau observés pour les stations ST02B (Creek baie Nord), ST03 (Port) et ST08 (Puka).

Ces dégradations se caractérisent par :

- des colonies partiellement ou entièrement mortes en place (même les espèces normalement résistantes à la sédimentation sont perturbées comme les colonies de *Porites*, *Cyphastrea japonica*, *Blastomussa merleti*)
- les cyanobactéries se développent sur les colonies coralliennes mortes en place et les débris coralliens recouverts de sédiment terrigène
- l'algue brune *Lobophora* a un développement alarmant en ST03 - Port (compétition spatiale importante avec les coraux).

Ces récifs sont affaiblis depuis quelques missions par de multiples perturbations (naturelles et anthropiques) et désormais les organismes benthiques (dont les coraux) ont certainement moins de résistance et d'énergie pour se dégager des dépôts sédimentaires (activité minière et portuaire). La résilience du niveau récifal ST02A reste tout de même persistante (croissance des coraux branchus *Acropora* et *Anacropora*).

 Les perturbations liées aux anomalies de températures / UV (hausse) et salinité (dessalure)

Les anomalies de température et de salinité peuvent entraîner le blanchissement total ou partiel des organismes vivants en symbiose avec les zooxanthelles (coraux, alcyonaires, anémones, bénitiers), le déplacement des organismes mobiles et/ou la mort de colonies et d'organismes benthiques ne pouvant pas se déplacer (coraux, bivalves, ascidies...). Les platiers sont les zones récifales où ces anomalies sont les plus importantes puis leur influence va diminuer avec la profondeur et/ou la circulation des masses d'eau.

En période estivale et surtout La Niña, les anomalies positives de température influencent particulièrement les platiers récifaux (0 à 5 m) puis dans une moindre mesure les niveaux inférieurs (jusqu'à 15 m). Les biotopes les plus vulnérables sont généralement caractérisés par une faible circulation des masses d'eau.

En période humide (ou durant les phases dépressionnaires), les fortes précipitations peuvent engendrer la dessalure des eaux de surface sur les platiers récifaux (0 à 3 m). Les zones les plus vulnérables sont généralement situées à l'embouchure des creeks et rivières, les platiers récifaux dans les baies. L'épaisseur de la couche d'eau saumâtre va dépendre de plusieurs facteurs dont l'intensité des précipitations et la direction du vent qui peut concentrer les masses d'eau saumâtre au fond des baies (0 à 5 m).

Concernant ce suivi biologique, ces perturbations ne peuvent pas être mises en valeur de manière quantitative car aucun transect n'est installé entre 0 et 3 m de profondeur. Cependant, lors de chaque suivi biologique, des observations qualitatives sont tout de même réalisées sur les stations, leurs pourtours et les platiers récifaux.

La période de février/mars 2016 marque le phénomène de blanchissement corallien le plus important observé autour de la Nouvelle-Calédonie depuis 1996. Les récifs ont été perturbés par des anomalies positives de température, UV et/ou de dessalure particulièrement dans les niveaux bathymétriques supérieurs. Cet événement exceptionnel s'est produit durant une phase El Niño.

Ainsi lors de la **mission d'avril 2016**, les récifs peu profonds du réseau d'observation, particulièrement de la baie de Prony et du canal Woodin, ont été perturbés par cet évènement exceptionnel. Les récifs du canal de la Havannah ont été beaucoup moins touchés par ces anomalies car la circulation des masses d'eaux est importante dans ce secteur.

En mai 2018, le blanchissement corallien induit par des variations de températures, UV et/ou salinité paraît absent.

Les colonies coralliennes observées blanchies n'ont plus de polype : la cause est donc plutôt la prédation par des corallivores ou la maladie de la bande blanche.

→ La résilience des récifs est lente mais présente depuis les perturbations du début d'année 2016.

8.2.3 Synthèse

De manière générale, la zone d'étude est composée par de multiples biotopes (récifs frangeants de baie, de chenaux et d'îlots ; pentes récifales et sédimentaires à massifs coralliens). La conjugaison des paramètres de l'environnement est variée et permet à de très nombreuses espèces de coloniser ces différents habitats.

Les observations sur les indicateurs coralliens et les espèces cibles s'orientent, en mai 2018, sur **un état de santé « Moyens »** pour les stations suivantes : **ST01** (Casy : prolifération d'*Acanthaster planci*), **ST03** (Port : perturbation sédimentaire et turbidité), **ST07** (Basse Chambeyron : prolifération de cyanobactérie) et **ST08** (Puka : perturbation sédimentaire).

L'état de santé des récifs, des **autres stations du réseau de suivi**, peut être qualifié de **relativement « Bon »** mais la résilience paraît tout de même s'affaiblir au fur et à mesure du temps.

L'ensemble des récifs a subi de lourdes perturbations naturelles depuis plusieurs missions consécutives. Les dégradations sur les biocénoses benthiques sont localisées et les réactions en chaîne se multiplient pour certaines stations. L'importance de ces dégradations dépend de la conjonction des sources perturbatrices (sédimentation et/ou variations de températures, UV, salinité et/ou hydrodynamisme et/ou prédation et/ou maladies...), mais aussi du degré et du temps d'explosion et de la périodicité.

Dans la zone d'étude, les perturbations anthropiques sont généralement répétitives tout au long de l'année mais elles ne sont pas forcément intenses. En ST03 : c'est la circulation des bateaux dans le port qui entraîne la remobilisation des sédiments et en ST08 c'est l'activité minière qui entraîne l'apport de MES charriées par la rivière Kwé, provoquant des réactions en chaîne (développement de maladies coralliennes, de turf algal, de cyanobactéries et de corallivores).

La résilience des récifs est déterminante dans l'évaluation de l'état de santé. Hors il apparaît que les récifs ayant une reprise lente et fluctuante sont ceux qui sont contraints à des perturbations répétitives sans forcément être intenses.

Ainsi les deux stations (ST03 - Port et ST08 - Puka) sont soumises comme toutes les stations du réseau de suivi aux perturbations naturelles mais aussi et plus que les autres aux perturbations induites par les activités anthropiques.

La station ST01 (Casy) subit depuis avril 2017 une prolifération d'*Acanthaster planci*. La raison pour laquelle cette étoile de mer envahie périodiquement les récifs demeure encore un mystère. Cette astérie corallivore est connue pour être une envahissante à fort potentiel de destruction sur les récifs coralliens, dont elle consomme les polypes en grande quantité. Les dégradations récifales en ST01 sont importantes et se traduisent par de nombreuses colonies coralliennes mortes en place (particulièrement au transect A).

La station ST07 (Basse Chambeyron) présente, en mai 2018, une prolifération de cyanobactéries (aux 2 transects supérieurs). Les causes de ce développement n'ont pas été déterminées avec certitude mais ce recouvrement important de cyanobactéries pourrait provenir de la déstabilisation du matériel corallien durant les phases dépressionnaires du début d'année 2018 puis de la mobilisation par les agents hydrodynamiques jusqu'en bas de pente récifale. Cette prolifération ne devrait pas perdurer dans le temps et les dégradations sur l'environnement devraient être mineures. Les cyanobactéries se développent principalement sur le sable carbonaté et les débris.

8.3 Les populations ichthyologiques

8.3.1 Résultats

Cette nouvelle mission ne présente pas de valeur ni d'événement exceptionnel.

Relativement aux Indices IAS et IGm, une appréciation de la qualité du peuplement peut être donnée par une cotation à 12 niveaux pour les stations (cf. [tableau 126](#)) et pour les missions (cf. [tableau 128](#)).

Qualité des stations

Les stations sont toujours très dissemblables. Toutefois, l'analyse de leur note (cf. [tableau 144](#)) distingue toujours 4 niveaux de groupage très distincts de stations, même si certaines d'entre elles, de mission en mission, changent de groupe dans le classement (cf. [tableau 127](#), où les stations stables sont en noir et celles changeant de groupe en rouge) :

- à la hausse : Casy (ST01) ; Bancs Kié (ST09) ; Toémo (ST11) ; Port (ST03) ; Woodin (ST04) ; Ioro (ST05) ; Puka (ST08) ; Ugo (ST12)
- à la baisse : Creek baie nord (ST02)
- inchangée : Ionontea (ST06).

Tableau n°126 : *Note de chaque station selon la qualité du peuplement de poissons*

	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST11	ST12
	Casy	C. baie nord	Port	Woodin	Ioro	Ionontea	B. Chamb.	Puka	B. Kié	Toémo	Ugo
2018 a	12	2	8	12	8	12	ind	7	12	9	7
2017 b	11	3	6	11	6	12	10	5	9	7	6
2017 a	9	7	6	12	6	12	11	6	7	6	8

Tableau n°127 : *Classement par groupes des stations (ichthyologie)*

Groupe	2018 a	2017 b	2017 a	2016 b	2016 a	2015 b	2015 a
1	Creek	Creek	Creek, Casy, Port	Creek, Casy, Port	Creek, Casy, Port, Puka	Casy, Creek, Port, Puka	Casy, Creek, Port, Puka
2		Port, Ioro, Puka, Ugo	Puka, Ugo, Toémo, Ioro, Bancs Kié	Puka, Ugo, Toémo, Ioro	Bancs Kié, Toémo, Ugo	Ugo, Ioro, Bancs Kié	Ugo, Ioro, Ionontea, Bancs Kié
3	Port, Puka, Ioro, Ugo	Bancs Kié, Toémo	Ionontea, Chambeyron	Bancs Kié, Ionontea	Ioro, Ionontea, Chambeyron, Ilot Kié	Toémo, Ilot Kié, Ionontea,	Toémo, Chambeyron
4	Casy, Woodin, Ionontea, Bancs Kié	Casy, Woodin, Ionontea, Chambeyron	Woodin	Woodin, Chambeyron, Ilot Kié	Woodin	Chambeyron, Woodin	Woodin, Ilot Kié

Notons qu'à l'issue de cette dernière mission, la ST04 (Woodin) est toujours dans le groupe 4 qu'elle n'a jamais quitté, contrairement à la station de l'Ilot Kié (avant 2017) qui est pourtant située dans la réserve Y. Merlet.

Soulignons également qu'après un saut spectaculaire, en septembre 2017, la ST01 (Casy) reste dans le groupe 4, comme Ionontea.

Comparaison de la mission de mai 2018 à la moyenne des précédentes, par station

Les quatre graphiques de la [figure 102](#) présentent station par station, l'écart relatif de la valeur de mai 2018 à la moyenne de la station sur la période du suivi (depuis 2007) :

$$\Delta = (X_{2018a} - X_{moy}) / X_{moy}$$

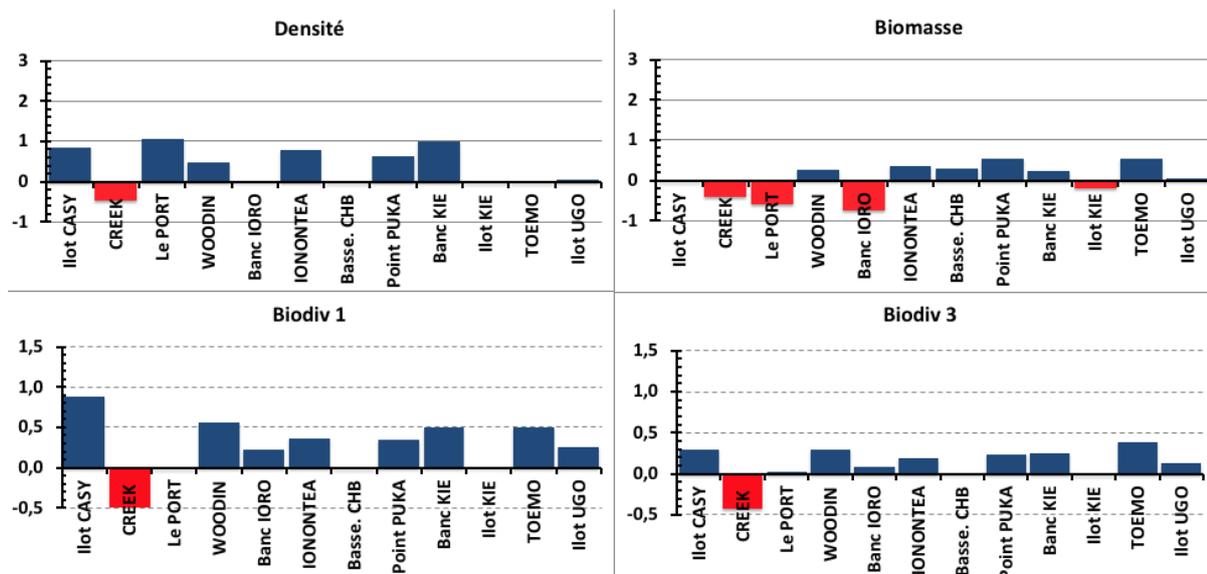


Figure n°102 : Écarts des valeurs obtenues en mai 2018 à chaque station, avec la moyenne depuis 2007 (Ichtyologie)

Comparaison de la mission de mai 2018 à la moyenne globale des stations, par mission

Les quatre graphiques de la figure 103 présentent mission par mission, l'écart relatif de la valeur moyenne X_i (pour les 4 paramètres) calculée sur ladite mission à la moyenne des moyennes établie sur la période du suivi (depuis 2007) :

$$\Delta = (X_{2018\ b} - X_{moy}) / X_{moy}$$

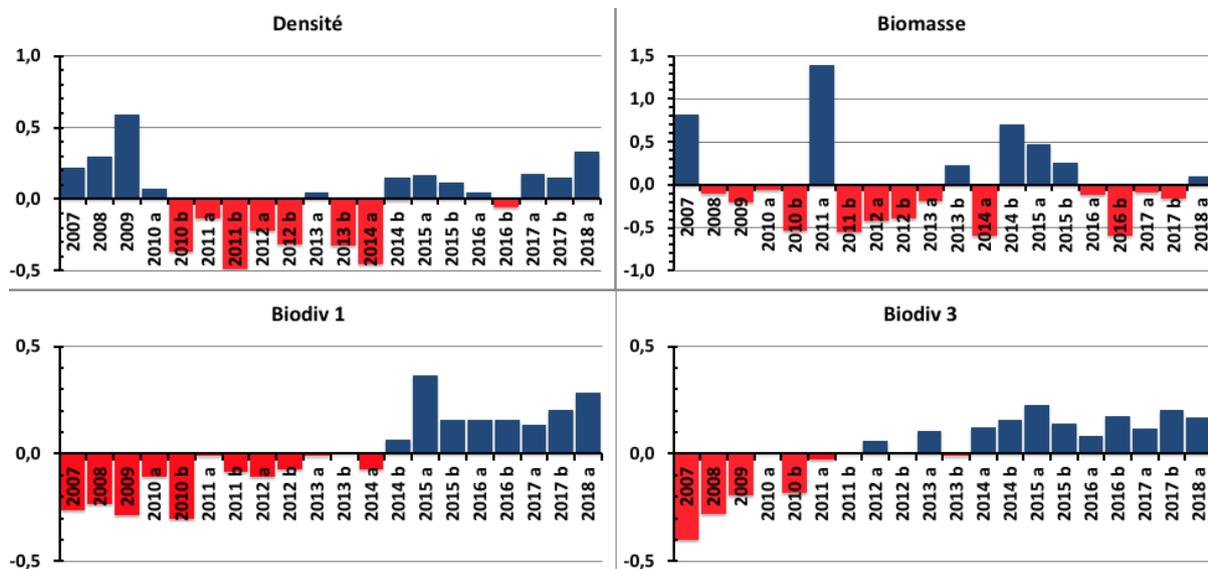


Figure n°103 : Écarts par mission des résultats ichtyologiques en mai 2018 de l'ensemble des stations, avec la moyenne depuis 2007 (Ichtyologie)

Il ressort de ces classements et notations que les écarts entre stations pour une même mission et entre missions sur une même station sont du même ordre de grandeur. Comme le sont également les fluctuations des moyennes.

Qualité des peuplements depuis 2007

Une appréciation synthétique globale de qualité peut être donnée par la prise en compte de toutes les stations de la zone dans une cotation comparative à 4 niveaux et douze degrés au total (cf. § 6.3.4).

L'application aux missions depuis 2007 est donnée dans le [tableau 128](#).

Tableau n°128 : *Qualité du peuplement ichthyologique depuis 2007*

2007	7	2010 b	4	2012 b	7	2014 b	9	2016 b	8
2008	6	2011 a	9	2013 a	8	2015 a	11	2017 a	8
2009	6	2011 b	6	2013 b	8	2015 b	9	2017 b	8
2010 a	8	2012 a	6	2014 a	8	2016 a	8	2018 a	12

Dans la durée, depuis 2007, le peuplement ichthyologique reste stable.

Sa note (/12) de qualité (élaborée à partir des paramètres de densité, biomasse et biodiversité) fluctue entre 6 et 9 avec 3 missions aux résultats un peu exceptionnels : 2010 b (avec 4, en limite du rouge), 2015 a (avec 11) et 2018 a (avec 12, où c'est surtout la biodiversité observée qui est élevée).

Sous cet angle de vue, l'état du peuplement de poissons lors de cette mission est à un excellent niveau.

8.3.2 Discussion

Ce rapport conclut une série historique de plus de 11 années, au cours desquelles ont été réalisées 20 missions de collecte de données relatives à la densité (effectifs et biomasse) et à la biodiversité des poissons. Toutes ces mesures ont été effectuées avec le même protocole et par le même opérateur.

Que ce soit entre les stations lors d'une même mission (approche spatiale) ou au niveau d'une même station au cours du temps (approche temporelle), les valeurs obtenues fluctuent dans une gamme de 1 à 12 pour la densité (nb ind./m²) et de 1 à 70 pour la biomasse (g/m²).

Ces fluctuations considérables sont à la fois naturelles et artificielles. Elles sont dues d'une part aux comportements des poissons (divagations naturelles et/ou réaction vis-à-vis du plongeur) et d'autre part à la méthode du TLV dont elles sont consubstantielles. Ces fluctuations ne traduisent donc pas de réelles variations du peuplement dues à une quelconque pollution ou surpêche, mais des variations dans le jeu dual comportements-observations. Les deux paramètres que sont la densité de poissons exprimée soit en nombre, soit en biomasse, sont donc de médiocres indicateurs de l'état du peuplement ichthyologique et ne sont pas fiables en tant qu'alarme de changement d'état.

Nous insistons sur le fait, que contrairement à ce qui est souvent avancé, la méthode du TLV (imposée par le cahier des charges) ne fait pas partie des méthodes de "distance sampling" [58 à 62], comme le suggère par exemple le Guide du Milieu Marin [02]. En effet, le TLV déroge aux hypothèses de base de ces méthodes d'évaluation à distance, d'une part du fait de la distribution de l'objet à dénombrer (i.e. les poissons) et d'autre part du fait que l'opérateur influence, par sa seule présence, la distribution et le positionnement de cet objet. Ces deux points sont contraires aux hypothèses qui encadrent impérativement et incontournableement ces méthodes. Soulignons de plus, que le manquement du TLV au deuxième point [63 à 65], à savoir l'impact du plongeur sur le positionnement du poisson, est parfaitement démontré dans l'article de Kulbicki et Sarramegna (1999) [66] pourtant curieusement cité à l'appui de l'utilisation dudit TLV.

En revanche, la biodiversité des poissons est un paramètre stable et donc informatif... Tout du moins, le serait-il, s'il n'était entravé par le cahier des charges. En effet, la limitation des espèces à prendre en compte (biodiversité 1) par une liste restrictive, tamponne les variations de ce paramètre, tant quantitatives que qualitatives et obère en partie, tout l'intérêt de ce paramètre comme indicateur. Une liste toutes espèces serait plus informative²². Ce paramètre moins entravé pourrait alors permettre une analyse du peuplement ichthyologique sous l'angle de vue de son fonctionnement et de sa structure. Ce sont, en effet, ces deux facettes qualitatives et semi-quantitatives du peuplement qui sont sensibles à la qualité du milieu et qui confère quelque intérêt à ce paramètre dans le cadre d'un tel suivi.

Si l'on revient à la question initiale : Les activités de l'usine, du port et de la mine affectent-elles le milieu marin ?

Le constat sur la période d'observation de 11 ans, qui peut maintenant être considéré comme « un temps long », est que le peuplement de poissons est stable.

²² Comptabiliser « toutes les espèces » est inaccessible, mais la liste doit être plus large et la restriction devrait être au niveau des familles et non des espèces à l'intérieur des familles. Cela ouvrirait des thèmes d'analyses beaucoup plus heuristiques



En revanche, sur « le temps court », c'est-à-dire d'une mission à l'autre, ce peuplement change beaucoup. Les compositions qualitatives et quantitatives sont très plastiques mais les espèces qui disparaissent des inventaires finissent par réapparaître, comme les abondances qui augmentent et se réduisent d'une visite à l'autre.

Le peuplement apparaît donc comme dynamique et stable. Cette dynamique est le résultat conjugué de mécanismes intrinsèques au peuplement et des aléas des observations.

Plus concrètement, après cette large décade d'observations, il apparaît que chaque station i présente une biodiversité totale propre. Cette $B\gamma_i$ est de 210 ± 20 espèces en baie de Prony et entre 320 ± 30 espèces dans les canaux de la Havannah ou de Woodin.

Du fait du comportement et du mode de vie de ces espèces, à chaque mission seule la moitié environ des taxons de cette biodiversité $B\gamma_i$ sont vus par l'opérateur et forme la $B\alpha_{ij}$ de la mission j dont seulement 10% des taxons (soit 20 à 30 espèces) se retrouvent de manière plus ou moins régulière de mission en mission. Approximativement la moitié de la biodiversité totale de la zone $B\gamma$ - évaluée à ce jour à 700 espèces - est repérée à chaque mission dont 10%, soit environ 70 espèces, forment un ensemble ubiquiste puisque communes à l'ensemble des stations.

Ainsi, malgré des variations semestrielles et annuelles très importantes, le peuplement ichtyologique du sud est stable sur la décade, et les activités humaines ne l'ont à ce jour, pas - encore - affecté.

9 Discussion

L'objectif de cette étude est d'effectuer un suivi de l'état des communautés coralliennes sur un ensemble de stations de mesures afin d'alimenter une base de données qui permettra de :

- Evaluer la variabilité naturelle des stations et d'optimiser l'effort d'échantillonnage par une étude de puissance ;
- Suivre dans le temps les effets potentiels des activités industrielles du projet Goro Nickel (Vale Nouvelle-Calédonie).

L'équipe qui a effectué ce travail possède de solides connaissances dans le domaine de l'échantillonnage et en particulier sur la résolution des problèmes sur le terrain, qui peuvent entacher les résultats finaux.

Pour faciliter tant le travail terrain qu'ensuite le traitement des données et surtout la précision des résultats un certain nombre de recommandations est donné dans ce paragraphe.

9.1 Améliorations propres à ce suivi

Marquage des piquets

La méthode de suivi temporel statistique retenue par Vale Nouvelle-Calédonie, exige que les échantillonnages soient toujours réalisés sur les mêmes zones.

Cette précision implique la matérialisation physique de la station sous l'eau.

Or, les conditions en mer ne sont pas toujours favorables et de plus, de nombreuses études ont été réalisées dans la zone, ce qui laisse plusieurs autres piquets de marquage, en sus de ceux devant être trouvés (exemple : [photographie 32](#)).

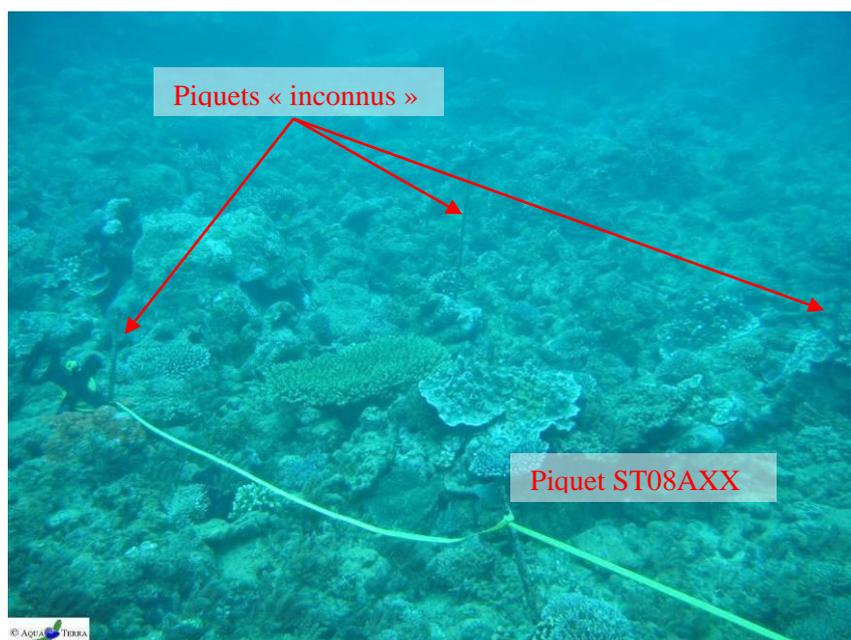


Photo n°32 : Station 08 : fin de transect A : 3 autres piquets formant un quadrat

Pour mieux retrouver les stations devant être étudiées et donc les bons piquets (pour éviter notamment la perte de temps et diminuer les risques de dérouler le ruban sur un mauvais piquet), ces derniers devraient être marqués.

Cette identification pourrait être une étiquette (métallique, plastique) poinçonnée, avec un code correspondant à chaque piquet, du type : numéro de la station, lettre du transect, mètre sur le transect (en lettre romaine pour éviter de confondre avec la profondeur)

Exemple comme pour la [photographie 32](#) : c'est le piquet de fin du transect le plus haut station Puka = ST08AXX.

Positionnement et description des stations

Toujours pour permettre de mieux retrouver les stations et de s'orienter dans l'eau, nous proposons depuis plusieurs années de faire réaliser un schéma - horizontal - descriptif de chaque station (exemple succinct figure 104).

En effet, ce type d'outil permet, une fois arrivés sur zone avec le GPS et qu'un 1^{er} piquet est trouvé (surtout s'il est identifié), de savoir exactement où on se positionne sur la station et d'aller alors directement à la bonne profondeur et dans la bonne direction pour dérouler les rubans métrés.

Ce type de schéma doit comporter : la disposition des transects, des piquets, des points remarquables du paysage, le sens de déroulement des rubans, les profondeurs, etc. avec un mètre le plus précis possible et les orientations.

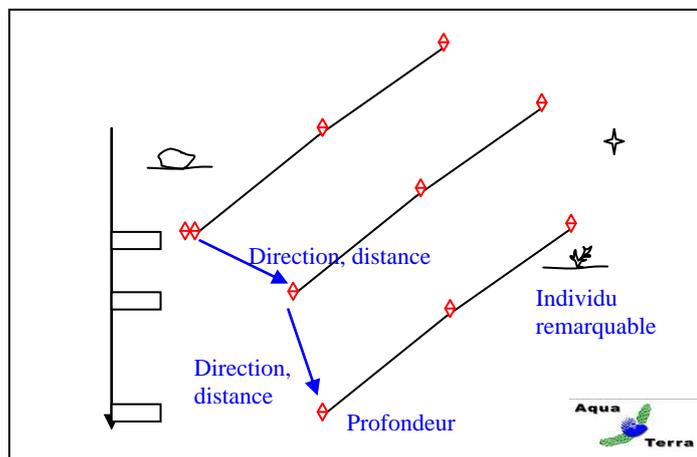


Figure n°104 : Exemple de schéma descriptif d'une station

Cet outil (associé au marquage des piquets) serait particulièrement utile pour permettre à d'autres équipes de retrouver les sites. Car à l'heure actuelle pour des intervenants nouveaux, il est quasiment impossible de retrouver tous les transects avec la seule indication du point GPS surface.

Cela conférerait à Vale Nouvelle-Calédonie une autonomie certaine pour les missions terrain.

NB : Pour faciliter notre travail et augmenter sa qualité, nous avons commencé à réaliser, bénévolement, ce travail. Ces différents schémas sont améliorés/enrichis au fur et à mesure des missions.

9.2 Améliorations au cahier des charges

Avec le recul de plusieurs campagnes (avec celles de suivis et les autres, une trentaine en tout), **le cahier des charges, qui date de 2006, doit être revu.**

Des améliorations pourraient être apportées, sur la méthodologie, dont :

Plan d'échantillonnage

Le nombre de station n'est pas suffisant dans le réseau de suivi biologique : La biodiversité de chaque site est dépendante des conditions du milieu mais également du nombre de stations échantillonnées car les espèces se répartissent à travers le récif (ainsi le nombre potentiel d'espèces recensées augmente généralement avec la surface prospectée).

La diversité entre les trois sites est très contrastée mais le plan d'échantillonnage est également très disparate dans la zone d'étude car 7 à 8 stations sont étudiées dans le canal de la Havannah, 3 stations dans la baie de Prony et une station seulement dans le canal Woodin.

Par ailleurs, la baie de Prony et le canal Woodin renferme une multitude de biotopes très vulnérables qui ne sont pas explorés dans le cadre de cette étude. Il faudrait donc compléter l'échantillonnage en positionnant des stations supplémentaires dans ces deux sites.

Il faudrait donc élargir le réseau de suivi biologique, en installant des stations :

- en Rade nord (augmenter le poids de la baie de Prony et mieux suivre cette zone où les

- risques sont élevés (embouchure du Creek baie nord, port)),
- autour et dans les baies de Port Boisé et Kwé (pour mieux cibler les impacts de ces baies révélés par la station actuelle Puka),
- en Grande Rade (Bonne Anse, Carénage : comme témoins).

Les récifs littoraux de la baie de Prony ne sont pas considérés dans le réseau de suivi : il apparaît un autre problème dans le plan l'échantillonnage de la baie de Prony. Les récifs de cette baie sont régulièrement influencés/dégradés par la dessalure des eaux de surface et les panaches turbides sur des gradients d'éloignement des embouchures, des creeks, des rivières et des résurgences.

Lors de cyclones, ces anomalies sont d'autant plus accentuées. Le cyclone Fréda a entraîné une grande anomalie négative de dessalure des eaux de surface en début d'année 2013. Les précipitations ont été très abondantes et le vent a concentré les masses d'eau douce au fond des différentes rades. Ainsi l'ensemble des récifs littoraux compris dans les petites profondeurs (0 à 3 m) de la baie de Prony a été gravement perturbé par le phénomène de blanchissement corallien et de mortalité des invertébrés [50].

Il en a été de même lors des anomalies climatiques du début d'année 2016, qui ont entraîné un phénomène de blanchissement massif.

Malheureusement ces données ne sont pas enregistrées par le réseau de suivi biologique car les transects sont tous implantés sous 5 m de profondeur (en dehors de la zone d'influence de l'eau douce de surface 0 à 3 m). A ce jour, les quelques colonies concernées par le blanchissement dans les stations de suivi général de la baie de Prony sont perturbées par la sédimentation ou la prédation des corallivores.

Cas particulier de la station Puka (ST08) : Compte tenu des dégradations relevées sur cette station en 2011 / 2013 liées aux apports particuliers provenant de la baie Kwé et de la pollution organique de la baie de Port boisé [67], la mise en place d'un suivi périodique de cette zone semble être primordiale. Le réseau de 14 stations mis en place en décembre 2013 devrait faire l'objet d'un suivi régulier.

=> Afin de suivre les activités anthropiques :

- Nécessité d'installer des stations supplémentaires en : baie Kwé, baie de Port boisé, autour du Port et le long du récif frangeant du canal de la Havannah
- Nécessité d'installer des transects supplémentaires à 2-3 m de profondeur en baie de Prony pour étudier les phénomènes de variations de températures, salinité, UV et les panaches de MES charriées par les creeks et rivières
- Suivi régulier du réseau Puka.

La périodicité d'échantillonnage des macrophytes

Les relevés semestriels de suivi biologique ne sont pas adaptés aux cycles de développement des macrophytes. Les missions semestrielles septembre/octobre et de mars/avril ne permettent pas d'appréhender les valeurs maximales et minimales de diversité et de recouvrement des macrophytes.

Un suivi des macrophytes sur une période trimestrielle serait plus adéquat pour identifier l'ensemble des variations et surtout les amplitudes maximales et minimales de diversité et d'abondance.

De plus, une étude plus détaillée du genre *Asparagopsis* (dans le canal de la Havannah) et du genre *Lobophora* (dans la baie de Prony) serait pertinente pour une meilleure surveillance des risques potentiels d'envahissement, d'invasion, de prolifération et de dégradations sur les communautés coralliennes. Ces investigations complémentaires seraient à mettre en place avec un pas de temps plus court (trimestriel) et une méthodologie adaptée (quadras) afin d'évaluer leur potentielle nuisance sur l'environnement ainsi que leur développement dans le temps et dans l'espace.

Taxons cibles

Dans le cahier des charges, un certain nombre de taxons cibles ont été listés, car ils sont identifiés comme indicateurs biologiques de l'état du milieu naturel.

Ils doivent donc être échantillonnés.

Nous proposons de rajouter :

- Les **scléactiniaires** qui constituent l'habitat essentiel d'un écosystème récifal et regroupe la majorité des ressources marine tropical. Ils constituent une information capitale en terme de suivi car ils sont très sensibles aux variations de l'environnement marin et sont sessiles (fixes). Une étude comparative peut ainsi aisément être réalisée en prenant en compte la richesse spécifique, l'abondance, le recrutement, la mortalité et le blanchissement (**sentinelle avancée semestrielle**) ;
- Les **alcyonaires** qui représentent un recouvrement biotique conséquent dans les stations d'études et qui sont en compétition territoriale constante avec les macrophytes et les scléactiniaires ;
- Les **cyanobactéries**, qui sont les marqueurs d'un déséquilibre du milieu (eutrophisation) et qui sont directement alors en compétition avec les coraux ;
- Les espèces particulières qui sont **prédatrices du corail** : *Acanthaster*, *Culcita*, *Drupella*, etc. ;
- Les **espèces exogènes**.

Une liste d'inventaire très détaillée des biocénoses benthiques avec de nombreuses espèces cibles comprenant tous ces taxons, même s'ils ne sont pas inscrits au cahier des charges imposé par le suivi réglementaire, a été réalisé de façon volontaire de notre part ainsi que de celle de Vale Nouvelle-Calédonie de 2007 à 2016.

Cependant, au vu du coût engendré, depuis 2017 Vale NC n'a pas maintenu ces études et a strictement commandé en échantillonnage les exigences du cahier des charges provincial.

La diversité et l'abondance des coraux n'ont donc pas été étudiées depuis la mission d'avril 2017. Hors, l'étude de ce compartiment biologique de 2007 à 2016 et les informations recueillies sur cette période (9 ans) ont été déterminantes pour détecter les perturbations dans la zone d'étude.

En effet, les coraux sont des **sentinelles avancées** car ils sont fixes et très sensibles aux variations de l'environnement. Ainsi ils sont considérés comme le meilleur indicateur pour décrire l'état de santé des récifs et pour détecter des perturbations à court et moyen terme.

Désormais il n'est plus possible de constater s'il y a des variations dans les assemblages d'espèces et si ce compartiment biologique varie dans le temps et l'espace.

Hors, la question posée, est : l'usine et la mine affectent-elles le milieu marin ?

Ce que nous enseignent ces années de suivi est que, dans le cadre de ce questionnement, le suivi du corail est primordial (biodiversité, épidémiologie et dynamique des populations : recrutement, croissance et mortalité). La conséquence en est que l'agencement d'une station pour un suivi environnemental, doit être fait en regard de l'étude du corail.

Le LIT, la faune et flore benthiques doivent venir en appoint et sont aussi nécessaires pour leurs apports de données quantitatives.

L'ichtyofaune, quant à elle, ne doit son intérêt qu'au fait de sa très grande biodiversité. Si bien que, même si l'on savait estimer avec précision et fiabilité la densité et la biomasse des poissons, cela n'aurait qu'un intérêt mineur au regard de la problématique posée. Il sera donc tiré partie des poissons par le truchement du fonctionnement de cette exceptionnelle diversité, c'est-à-dire par la prise en compte des régimes alimentaires spécifiques et donc des réseaux et des liens avec le benthos et le pélagos.

Il est donc primordial de revoir la liste des thèmes d'études du Cahier des charges :

- maintenir le LIT (avec des répliqués (cf. § plus bas))
- étudier les coraux scléactiniaires
- étudier l'ichtyofaune par sa diversité (biodiversités, régimes alimentaires, juvéniles).

Choix efficient des stations

Ce suivi se fait à travers l'échantillonnage de 3 thèmes (le substrat, le benthos et les poissons), de taxons cibles et de paramètres biologiques clés.

L'un de ces paramètres est le recouvrement et l'abondance/biodiversité en scléactiniaires. En effet ces coraux sont :

- les constructeurs des récifs et donc à la base de l'écosystème corallien (habitat, nourriture, ...),
- sensibles aux perturbations du milieu.

Or, pour pouvoir suivre l'évolution des colonies de coraux (par le LIT ou la méthode du couloir), les stations doivent donc « naturellement » (c'est-à-dire pendant la phase de référence) posséder des taux moyens de recouvrement corallien (pouvant varier, dans les deux sens).

En effet, une station possédant un taux de recouvrement proche de « 0 » ne pourra voir ses pourcentages qu'augmenter, et ne pourra pas servir de marqueur si une dégradation se produit. A l'inverse, des taux trop élevés ne pourront que diminuer.

Il est donc recommandé de choisir pour ce type d'étude des stations possédant entre 30 et 60% de recouvrement corallien.

Sur le réseau de suivi actuel, la moyenne de recouvrement des scléactiniaires a varié de 14% à 21% selon les missions. Et cela est très fluctuant selon les stations et encore plus les transects, les valeurs extrêmes étant de 0% (ST05C) pour la plus faible à 49.5% (ST10A) pour la plus forte.

Le déplacement / ajout de certaines stations ou transects est à étudier.

Choix efficient des transects et répliquats

Les transects fixes existants (trois théoriquement pour chaque station) permettent, sous réserve d'être échantillonnés exactement au même endroit chaque année, de quantifier la stabilité ou non de la zone, **mais considérée globalement**.

C'est un suivi global, dans le temps, car c'est la « différence annuelle » qui sert de variable aléatoire. La variable statistique sera donc l'ensemble des différences « année n-1/année n » obtenues à chaque station, chacune des stations donnant donc une valeur et une seule, à cette variable.

Pour permettre un suivi statistique temporel station par station, il faut une variable aléatoire par station. Pour ce faire, l'échantillonnage de transects en répliquats aléatoires - en plus des transects existants - est nécessaire.

La mise en œuvre de ces répliquats est donc à étudier, car ils permettront d'une part d'affiner la probabilité de l'avis donné pour l'ensemble de la zone (dans le temps) et d'autre part de préciser (dans l'espace) s'il y a des différences spatiales et donc juger de ces différences le long d'un gradient d'éloignement des sources potentielles de pollution de manière à préciser si, dans le cas où l'on détecterait des variations, ces variations sont dues ou non à l'usine.

Prises de photographies de spécimens remarquables

Le cahier des charges ne prévoit pas la surveillance des stations par un suivi photographique, comme cela est possible par différentes méthodes.

Cependant, certains spécimens, à certaines stations étant remarquables (par leur taille, leur emplacement, leur espèce, etc.), leur identification est facilitée et leur évolution temporelle peut donc être envisagée facilement par photographie.

Nous proposons de faire établir une liste (avec leur position, et notamment sur les schémas descriptifs des stations) de ces spécimens, pour ensuite les photographier à chaque mission.

9.3 Suggestions au niveau provincial ou territorial

Guide d'échantillonnage

L'étude de 2008 avait permis de montrer que les chiffres globaux biotiques/abiotiques de certaines stations avaient beaucoup évolué par rapport à la campagne précédente de 2007.

Cependant, cette évolution n'était pas du fait d'un changement dans la structure des fonds des stations étudiées, mais plutôt de la différence d'appréciation et d'interprétation du substrat par les opérateurs sous l'eau lors de l'échantillonnage LIT.

C'est pourquoi nous suggérons la réalisation d'un « Guide de l'interprétation des catégories pour le LIT », qui comprendrait le listing des classes, leur description précise et surtout des photos prises *in situ*, sur les stations concernées. Ce travail pourrait être entrepris au niveau de toute la Nouvelle-Calédonie (ou au moins la Province Sud) et par exemple sous pilotage de l'ŒIL.



Cela permettrait ainsi à Vale Nouvelle-Calédonie mais aussi à tous les autres intervenants (autres miniers, décideurs, etc.) de limiter les risques d'interprétations différentes selon les échantillonneurs et d'obtenir une base de données générale et comparable.

9.4 Suggestions au niveau des activités anthropiques

Afin d'améliorer l'état de santé des récifs dans la zone d'étude, il est recommandé de **réduire l'apport de particules terrigènes en baie Kwé** (surveillance et gestion des eaux de ruissellement provenant des bassins versants de la mine).

De même, un **bilan complet des rejets d'eaux usées de l'hôtel situé à Port Boisé** devrait être effectif : lieux, volume, composition, Au vu des dégradations cycliques enregistrées à la station Puka, un plan de surveillance et de réduction de la pollution organique est nécessaire.

La **remobilisation des sédiments par les hélices et les chaînes de bateaux** en baie de Prony au niveau du port ne doit pas être négligée et devrait faire l'objet d'une étude complémentaire plus détaillée. Le développement de l'algue brune du genre *Lobophora* (compétitrice spatiale avec les coraux) devient préoccupant.

Par ailleurs, les mouillages fréquents des bateaux provoquent la destruction des fonds.

L'étude de la mise en place de **coffres d'amarrage** pour les bateaux en attente d'accostage à quai devrait être réalisée.

Toutes les observations et photographies de ce document ont été réalisées en mai 2018. Un réseau de suivi environnemental (piquets permanents) a été installé et permet de revenir sur les mêmes sites. Les données recueillies lors de cette campagne ne peuvent en aucun cas être considérées comme pérennes. Ceci implique le renouvellement de cette étude, à six mois d'intervalle, afin de percevoir les changements éventuels.

10 Sources

Les différentes sources ayant servi à la rédaction du rapport sont présentées ci-dessous, avec, le cas échéant, les numéros qui rappellent les références citées dans le texte de cette étude.

	Aeby G.S., Tribollet A., Lasne G., Work T.M., 2015. Assessing threats from coral and CCA disease on the reefs of New Caledonia. Journal of Marine and Freshwater Research. http://dx.doi.org/10.1071/MF14151
	Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche n° 19 : Abondance des colonies coralliennes. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nickel et son environnement, pages 152-153
	Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche 20 : Recouvrement corallien. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nickel et son environnement, pages 154-155
53	AEL / LEA, 2013. Rapport d'analyses du 16/07/13, 2p
	Andréfouët S., Torres-Pulliza D., 2004. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, Avril 2004, 26p + 22 planches
	Aqua Terra, 2007. Suivi de l'état biologique du milieu marin, avant à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Septembre 2007 Affaire 012-07 C1499-StationPlatier-Ver E (23 p) & Doc C1499-Stations00à05-Ver D (53 p)
20	Aqua Terra, 2008. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AquaTerra_Rap_047-08_V02. 222p
	Aqua Terra, 2008. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AquaTerra_AtlasPho_047-08_V01. 96p
	Aqua Terra, 2009. Suivi de l'état biologique du milieu marin, suite à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Mars 2009 Affaire 005-09C1499-Ppt présentation ver 03 Ile Ouen 25 mars 27 diapos
32	Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 1, avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_Rap_009-09_V02. 176p
	Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_AtlasPho_009-09_V01. 104p
33	Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 2, juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_Rap_018-09_V03. 182p
	Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_AtlasPho_018-09_V01. 96p
36	Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_Rap_006-09_V01. 256p
	Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-09_V01. 190p
34	Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 3, décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_Rap_048-09_V02. 205p
	Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_AtlasPho_048-09_V01. 98p
37	Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_064-09_V01. 271p
	Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_064-09_V01. 180p
35	Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 4, avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_Rap_019-10_V01. 205p
	Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_AtlasPho_019-10_V01. 96p
38	Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_058-10_V01. 276p
	Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_058-10_V01. 200p
	Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur la zone P1 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 A Ver04 : 286p
	Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur les zones P2-P3 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 B Ver02 : 298p
	Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Compléments de l'état initial. Centre

	minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Mission décembre 2010. Rap 060-10 Ver02 Partie A. 153 p
	Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Recommandations. Centre minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Rap 060-10 Ver02 Partie B (Recommandations). 47 p
39	Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_001-11_V01. 320p
	Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_001-11_V01. 210p
	Aqua Terra, 2011. Suivi de l'état biologique du milieu marin, autour de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Juin 2011 CR 011-11 Ver 01 (16 p)
40	Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_040-11_V01. 342p
	Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_040-11_V01. 211p
	Aqua Terra, 2012. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne décembre 2011. Rapport 072-11 Ver01 : 129p
41	Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_006-12_V01. 436p
	Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-12_V01. 234p
	Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 5, avril 2012. PO E45335. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 210p
	Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2012. PO E453350. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 205p
42	Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_Rap_041-12_V01. 496p
	Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_AtlasPho_041-12_V01. 234p
	Aqua Terra, 2013. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne avril 2013. Rapport 053-12 Ver01 : 134p
	Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Synthèse des données algues, Baie de Prony et canal Woodin et de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Missions de 2007 à mars 2012. PO E40362 et E40363. Document : AquaTerra_Rap_070-13_V02. 76p
	Aqua Terra, 2013. Compte rendu succinct pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord. Conséquences potentielles du cyclone tropical Freda sur l'étage infralittoral supérieur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Janvier 2013. Ppt24p
50	Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 6, janvier 2013. PO E54932. Document : AquaTerra_Rap_004-13_V00. 183p
	Aqua Terra, 2013. Atlas photographique pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission janvier 2013. PO E549320. Document : AquaTerra_AtlasPho_004-13_V01. 180p
43	Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_003-13_V01. 441p
44	Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_061-13_V01. 431p
	Aqua Terra, 2013 : Compte-rendu de mission, novembre 2013 : Etat initial du milieu marin sous le quai vraquier. Document : AquaTerra_CR084-13_V00 16 pages
	Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Diagnostic de l'état de santé des peuplements récifaux et organismes associés sur et à proximité de l'émissaire » Projet Goro Nickel, Vale NC. Suivi de l'émissaire, novembre 2013. Contrat PO E64212. Document : AquaTerra_Rap_083-13_V01. 134p
	Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, Suivi spécifique Puka » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission décembre 2013. PO E62786 et E64977. Document : AquaTerra_Rap_068-13_V02. 246p
	Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Herbière de la Baie Kwé : Première approche : Descriptif général, Cartographie, Etat des lieux initial » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. PO E66764. Document : AquaTerra_Rap_008-14_V00. 53p
45	Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_027-14_V01. 392p
	Aqua Terra, 2014. Etat de référence pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakety » NMC, SMN et SMT. Mission avril 2014. Document : AquaTerra_Rap_066-13_V02. 211p
46	Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_058-14_V00. 329p
	Aqua Terra, 2014. Suivi quantitatif pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya" NMC. Mission

	octobre 2014. Document : AquaTerra_Rap_012-14_V01. 105p
	Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document : AquaTerra_Rap_078-13_V01. 105p
	Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi quantitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document : AquaTerra_Rap_078-13_V01. 164p
	Aqua Terra, 2015. Programme de suivi du milieu marin concerné par les activités minières du Centre de Ouaco NMC / Étude bibliographique - Proposition d'un programme de suivi. Document : AquaTerra_Rap_072-14_V03. 33p
47	Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2015. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-15_V00. 348p
	Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage, SMCB: Résultats de la campagne 2015. Rapport 099-15 Ver02 : 108p
	Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2015. Document : AquaTerra_Rap_070-14_V01. 112p
48	Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2015. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_071-15_V00. 367p
	Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakety. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_026-15_V01. 106p
	Aqua Terra, 2016 : Rapport pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés au port de Prony. Avant / après travaux de dragage » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2014 / août 2015. Contrat E73528. Document : AquaTerra_Rap_065-14_V00. 85p
	Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_096-15_V01. 63p
49	Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-16_V00. 374p
	Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_085-16_V02. 108p
	Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_063-16_V01. 91p
10	Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_090-16_V00. 371p
	Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakety. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2016. Document : AquaTerra_Rap_094-16_V01. 93p
	Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission janvier 2017 (Suivi 2016). Document : AquaTerra_Rap_092-17_V01. 58p
	Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, baie de Kürö, centre minier de Kouaoua, Recherche de stations. NMC. Mission mai 2017. Document : AquaTerra_Rap_011-17_V01. 52p
	Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, Anse Pörö, centre minier de Bogota. NMC. Mission août 2017. Document : AquaTerra_Rap_028-17_V01. 100p
	Aqua Terra, 2017. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril-mai 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_003-17_V00. 284p
	Aqua Terra, 2018. Programme de suivi du milieu marin, centre minier de Kouaoua. NMC. Document : AquaTerra_Rap_082-17_V00. 28p
28	Aqua Terra, 2018. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_047-17_V00. 294p
	Aqua Terra, 2018. Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés: biologique qualitatif et physico-chimique, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_045-17_V01. 100p
	Aqua Terra, 2018. Suivi de la qualité des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_070-16_V01. 105p
	Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakety. Suivi biologique qualitatif et physico-chimique. NMC, SMN et SMT. Mission novembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_068-17_V01. 99p
	Aqua Terra, 2018. Etat des lieux du milieu marin & Validation des stations de suivi du programme, baie de Gomen, Centre minier de Ouaco NMC. Document : AquaTerra_Rap_029-17_V01. 31p
	Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif + Physico-chimique. NMC. Mission décembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_069-17_V01. 61p
	Avias J., 1959. Les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie et quelques-uns de leurs problèmes. Extrait du Bul. Soc. Géol. Fr, 7 ^e série, t.I, p 424-430
21	Baker F.B., et Collier R.O., 1966. Some empirical results on variance ratios under permutation in the completely randomized design. J. Amer. Statist. Ass. 61, 813-820
64	Barnabé G., 1976. Utilisation des techniques de la pêche sous-marine pour l'étude des populations de poissons littoraux. Rapp. Comm. int. Mer Médit., 23 (6) : 63-64

	Baudry et Baudry-Lavel, 1982. La mesure de la diversité spatiale. Relation avec la diversité spécifique, utilisation dans les évaluations d'impact. <i>Acta Oecologica, Oecol. Applic.</i> , 3(2), 177-190
2	Beliiff B., Bouvet G., Fernandez J-M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169p
	Benzoni F., Lasne G., Pichon M., Payri C., 2008. Patterns of zooxanthellate scleractinia biodiversity in New Caledonia Biodiversity and Diversification of Reef Organisms. Coral reef symposium 2008
	Biocenose marine, 2014. CR de mission du 08 mai 2014 (Partenariat Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM). Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (7ème mission / 08 mai 2014). PO E68 779. Document : BIOCENOSE MARINE CR_135_15052014 (23 diapos)
	Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM, 2014. Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (7ème mission / 08 mai 2014). Rapport d'étude n°135_2014_V03_146 p
	Biocenose marine, 2014. CR de mission du 21 mai 2014 (Partenariat Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM). Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (8ème mission / 21 mai 2014). PO E68 779. CR_136_109062014 (29 diapos)
	Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM, 2014. Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (8ème mission / 21 mai 2014). PO E68 779. Rapport d'étude n°135_2014_V03_146 p
58	Buckland S. T., 1992. Fitting density functions with polynomials. <i>Applied Statistics</i> ,41, 63:76
59	Buckland S. T., 2006. Point transect surveys for songbirds: robust methodologies. <i>The Auk</i> ,123, (2), 345-345
60	Buckland S. T., Anderson D. R., Burnham K. P., Laak J. L., Borchers D. L. and Thomas L., 2001. Introduction to distance sampling - Estimating abundance of biological populations. <i>Oxford University Press, Oxford</i>
61	Buckland S. T., Anderson D. R., Burnham K. P., Laake J. L., Borchers D. and Thomas L., 2004. <i>Advanced Distance Sampling</i> . Oxford University. Press, Oxford
22	Box et Andersen, 1955. Permutation theory in the derivation of robust criteria and the study of departures from assumption. <i>J. Roy. Statist. Soc., Ser. B</i> 26, 211-252 B 17, 1-26
	Cabioch G., 1988. Récifs frangeants de Nouvelle-Calédonie (Pacifique sud-ouest). Structure interne et influences de l'eustatisme et de la néotectonique. Publications de l'Université de Provence (ed.), Aix en Provence : 291 p. + 25 planches-photos
	Chakravorti S., 1967. Effect of the inequality of variances in analysis of variance ratio. <i>Biometrika</i> 16, 103-120
63	Chapman C. J., Johnstone A. D. F., Dunn J. R. and Creasy D. J., 1974. Reactions of fish to sound generated by divers' open-circuit underwater breathing apparatus. <i>Marine Biology</i> 27 : 357-366
	Chorus I. & Bartram J., 1999. Toxic Cyanobacteria in Water : A guide to their public health consequences, monitoring and management. Geneva : World Health Organization, 416
	Clua E., Legendre P., Vigliola L., Magron F., Kulbicki M., Sarramegna S., Galzin,R., 2006. Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. <i>Journal of Experimental Marine Biology and Ecology</i> , 333(2), 219-230
23	Cochran W.G., 1947. Some consequences when the assumptions for the analysis of variance are not satisfied. <i>Biometrics</i> 3, 22-38
	Cochran W. G., 1951. Testing a linear relation among variances. <i>Biometrics</i> 7: 17-32
	Dagnelie P., 1980. Théorie et méthodes statistiques, Les Presses Agronomiques de Gembloux, (Vol II) 463 p
	Direction de l'Environnement, 2013. Rapport de visite : Mortalité anormalement élevée de spécimens marins en Baie Nord, site commune du Mont-Dore. 12/01/13. 6p
24	Donaldson, 1968. Robustness of the F-test to error of both kinds and the correlation between the numerator and denominator of the F-ratio. <i>J. Amer. Statist. Ass.</i> 63. 660-676
	Douillet P. et Fernandez J.M., 2009. Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la NC. Modélisation et simulation du transport des formes particulières d'origine naturelle. Simulation annuelle de la sédimentation des particules naturelles en contact avec l'effluent. Convention IRS/Goro-Ni n°1124, 55p
1	English S. and al., 1997. Survey manual for tropical marine resources (2nd Edition). Australian Institute of Marine Science. 390p
	Faure G., Thomassin B., Vasseur P., 1981. Reef coral assemblages on the windward slopes in the Noumea Lagoon (New Caledonia). Proc. 4th int. Coral Reef Symp., Manila, 18-22 May 1981. 293-301
	Fernandez J-M., Chevillon C., Belhandouz A., Di Matéo A., 2006. Etude des apports sédimentaires à l'embouchure du creek de la rade Nord (Baie de Prony). UR-103 CAMELIA, IRD-Noumé Nouvelle-Calédonie
54	Fernandez J-M. et Moreton B., 2013. Rade Nord : physico-chimie de la colonne d'eau consécutivement au passage du cyclone Fréda. Rapport AEL A130117-V-002, contrat Vale-NC/AEL n°E54930, 33p
	Fernandez J.M., Moreton B., Le Grand H., Pluchino S., 2013. Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah et la baie Kwé : mission de janvier et février 2013. Contrat Vale-NC/AEL n° 2684, Rapport AEL 110308-VI-11, 60p
16	Fisk D., 2009. Best practice for LIT survey. <i>Coral list Vol4 Issue 28</i>
30	Friedman M., 1937. The use of ranks to avoid the normality implicit in the analysis of variance. <i>J. Amer. Statist. Ass.</i> (32) 675-701p
	Frontier S., 1982. Réflexions pour une théorie des écosystèmes. <i>Bull. Ecol.</i> 8 (4) : 445-464
	Gabriel C., Garrigue C., Kulbicki M., Laboute P., Lebigre J.M., Lasne G., Payri C., Pichon M., Richer de Forges B., Spaggiari J., Renoux R., Dec 2008. Analyse Ecorégionale Marine de la Nouvelle-Calédonie
	Garrigue C., 1985. Répartition et production organique et minérale de macrophytes benthiques du lagon de Nouvelle Calédonie. Thèse, Université des Sciences et Techniques du languedoc, Montpellier, 270 pp
	Garrigue C. & Tsuda R.T., 1988. Catalog of marine benthic algae from New Caledonia. <i>Micronesico</i> , 21, 53-70
	Garrigue C. & Di Matteo A., 1991. La biomasse végétale benthique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Résultats bruts : liste taxonomique, biomasses, pigments chlorophylliens. <i>Arch. Sci. Mer, Biol. iiiur., ORSTOM, Noumea</i> , 1, 143 pp
25	Geary, 1956. Test de la normalité. <i>Ann. Inst. Poincaré</i> 15, 35-65
3	Green R. H., 1979. Sampling design and statistical methods for environmental biologists. Wiley Interscience, Chichester, England
51	Ginger Soproner, 2013. Avis sur les mortalités observées en juillet 2013, Rapport final, 29p

	Guille A., Menou J. L., Laboute P., 1986. Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie. Edition de l'ORSTOM. 238p
26	Hack, 1958. An empirical investigation into the distribution of the F-ratio in samples from two non-normal populations. <i>Biometrika</i> 45, 260-265
	Harada K.-I., Tsuji K. & Wanatabe M.F., 1996. Stability of microcystins from cyanobacteria. III. Effect of pH and temperature. <i>Phycologia</i> , 35 (6 Supplement), 83-88
	Harborne A.R., Mumby P.J., Zychaluk K., Hedley J.D., Blackwell P.G., 2006. Modeling the beta diversity of coral reefs. <i>Ecology</i> 87, 2871-2881
11	Harmelin-Vivien M.L., J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, R. Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, R. Chevalier, J. Duclerc, G. Lasserre, 1985 – Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. <i>Revue d'Ecologie (Terre et Vie)</i> , vol. 40 : 80p
	Hawkins Sigrid V., 2006. "Feeding Preference of the Cushion Star, <i>Culcita Novaeguineae</i> in Mo'orea" (December 1, 2006). Water Resources Center Archives. Biology and Geomorphology of Tropical Islands (ESPM 107/IB 158)
	Horsnell G., 1953. The effect of unequal group variances on the F-test for homogeneity of group means. <i>Biometrika</i> 40, 128-136
	Ineris, 2016. Rapport principal "Optimisation du plan de suivi environnemental du milieu marin autour des installations industrielles, minières et portuaires de VALE NC". Rapport d'étude N° DSC-15-148566-12273A. 04 février 2016 72p
	Kelleher T., Robinson H.F., et Comstock R.E., 1958. Precision of estimates of variance components. <i>Biometrics</i> 14, 69-77
	Keuls M., 1952. The use of the studentized range in connection with an analysis of variance. <i>Euphytica</i> 1, 112+122
18	Kinne O., 1980. Introduction to the treatise and to Volume 1, in : Kinne, O. (1980). Diseases of marine animals : 1. General aspects, Protozoa to Gastropoda. pp. 1-11
19	Kinne O., 1980. Diseases of marine animals: general aspects, in : Kinne, O. (1980). Diseases of marine animals : 1. General aspects, Protozoa to Gastropoda. pp. 13-73
	Kruskal W.H., Wallis W.A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. <i>Journal of the American Statistical Association</i> 47 (260) : 583-621 et 48, 907-911
	Kulbicki M., Guillemot N., Amand M., 2005. A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. <i>Cybiurn</i> 2005, 29 (3) : 235-252
66	Kulbicki M., Sarramagna S., 1999. Adequacy of several density estimates obtained from underwater visual censuses : a case study of Chaetodontidae and Pomacanthidae. <i>Aquatic Living Resources</i> 12, 315±325
	Laboute P., Grandperrin R., 2000. Poissons de Nouvelle-Calédonie, Nouméa : Catherine Ledru, 519p
	Laboute P. et Magnier Y., 1978. Guide sous-marin de Nouvelle-Calédonie. Ed. du Pacifique, Papeete (Polynésie Française) : 160p
12	Labrosse P., Kulbicki M., Ferraris J., 2001. Comptage de poissons en plongée. Conditions d'utilisation et de mise en œuvre. Ed. SPC Nouméa, Nouvelle-Calédonie. 54p
	Lasne G., 2006. Synthèse bibliographique des coraux de Nouvelle-Calédonie. C. de coord. CRISP / IRD 93p
	Lasne G., 2007. Les coraux de Nouvelle-Calédonie : Synthèse bibliographique. Cellule de coordination CRISP, IRD, WWF, MNHN, EPHE. 93p
	Lasne G., 2009. Inventaire des coraux scléactiniaires du Grand Lagon Nord – Mission CoRalCal 3-IRD. (CRISP). 119p
	Lasne G., 2010. Inventaire des coraux scléactiniaires du Grand Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie – Campagne CORALCAL III, 10-30 mars 2009. 122p / Cellule de coordination CRISP, IRD. 120p
	Lasne G., 2014. Estimation temporelle de la colonisation biotique sur la partie rompue de l'émissaire marin et évaluation de l'état de santé des communautés récifales aux abords de cette rupture. <i>Rap 135-2014_V02</i> . 19p
	Lasne G. in Clua E., McKenna S., Vieux C., 2011. Contribution à l'inventaire biologique et à l'évaluation des ressources des récifs des Chesterfield – Apia, Samoa : SPREP
	Legendre P., Borcard D. and Peres-Neto R.P., 2005. Analysing Beta Diversity : <i>Ecological Monographs</i> , 75 (4) :435-50
	Legendre P. et Legendre L., 1998. <i>Numerical Ecology</i> . Ed. : Elsevier. p 852
	Le Grand H., Kaplan H., Raynal A., Fernandez J.M., 2014. Suivi renforcé de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la station Puka A. 46p
57	Leroy A., 2006, Utilisation des prévisions saisonnières en Nouvelle-Calédonie. Note de la DP no. 6, Direction de la Météorologie, MétéoFrance. 169 pp
	Levi C., Bargibant G., Menou J.L., Laboute P., 1998. Sponges of the New Caledonian Lagoon. Edition de l'ORSTOM. 214p
65	Lobel P.S., 2005. Scuba Bubble Noise and Fish Behavior : A Rationale for Silent Diving Technology. American Academy of Underwater Sciences
52	Météo France, 2013. Bulletin météorologique exceptionnel. http://www.meteo.nc/actualites/364-episode-pluvieux-debut-juillet-2013
	Motomura I., 1932. A statistical treatment of associations, <i>Jpn. J. Zool.</i> 44: 379-383
15	Mundy C., 1985. These about accuracy and precision of the LIT method. James Cook University Townsville
	(Eil, 2012. Communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle Calédonie : Etat de référence en 2011. 4 Parties
	Ormond R.F.G., Roberts C., 1997. The biodiversity of coral reef fishes. In: Ormond, R.F.G., Gage, J.D., Angel, M.V. (Eds.), <i>Marine Biodiversity: Patterns and Processes</i> . Cambridge University Press, pp. 216-257
	Ornellas A.B. and Coutinho R., 1998. Spatial and temporal patterns of distribution and abundance of a tropical fish assemblage in a seasonal Sargassumbed, Cabo Frio Island, Brazil. <i>J. Fish Biol.</i> 53 (A): 198-208
	Parrish J. D., 1989. Fish communities of interacting shallow-water habitats in tropical oceanic regions. <i>Mar. Ecol. Prog. Ser.</i> 58 : 143-160
	Payri C., N'Yeurt A.R. & Orempüller J., 2001. Algae of french Polynesia -Algues de Polynésie Française. Edition Au Vent des îles - tahiti. 320pp
9	Payri C. et Richer de Forges B., 2006. Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD

	Payri C., Petek S., Menou J.L., Lasne G., Butscher J., 2007. Biodiversité et substances marines des îles Fidji (Algues, Eponges, Ascidies, Echinodermes)
	Pearson E.S. et Hartley H.O., 1966. Biometrika tables for statisticians (Vol I) University Press, Cambridge, 264p
	Pichon M., 2006. Biodiversité des coraux scléactiniaires de Nouvelle-Calédonie. Rapport sur la mission effectuée à Nouméa Nouvelle-Calédonie du 4 au 21 mai 2006. Rapports de mission confidentiels
	Pichon M. 2006. Scleractinia of New-Caledonia. Check list of reef dwelling species. Rapports de mission confidentiels
7	Pichon M., 2006. Scleractinia of New-Caledonia. in Payri C. et Richer de Forges B., (eds). Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD : 148-155
	Pichon M. <i>et al.</i> , 2007. Biodiversité des coraux scléactiniaires de Nouvelle-Calédonie. Rapport de mission confidentiel du Diahot du 17 novembre au 12 décembre 2006 (EPHE), 26p
	Randall J.E., Allen G.R. and R.C. Steene, 1990. Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii. 506p
13	Randall J.E., 2005. Reef and shore fishes of the South Pacific. University of Hawaii, Press book. 707 p
	Richer de Forges B., 1998. Thèse : La diversité du Benthos marin de Nouvelle-Calédonie : de l'espèce à la notion de patrimoine. Muséum national d'histoire naturelle. 326p
8	Richer de Forges B., Laboute P., 2004. Lagons et récifs de Nouvelle-Calédonie, 1600 espèces. Edition Catherine Ledru-IRD
17	Risk M.J., Risk A.C., 1997. Reef surveys as an aid in management. Proc. 8th Intl. Coral Reef Sym. 2, 1471-1474.
	Rossier O. and Kulbicki M., 2000. A comparison of fish assemblages from two types of algal beds and coral reefs in the south-west lagoon of New Caledonia. <i>Cybium</i> , 24: 3-26
	Rougerie F., 1986. Le lagon Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie : spécificité hydrologique, dynamique et productivité. Etudes et Thèses : ORSTOM, Paris (France) : 233p
	Sato M., 1984. Mortality and growth of juvenile coral <i>Pocillopora damicornis</i> (Linnaeus) Univ. Ryukyus, dep. marine sci., Okinawa 903 01, JAPON
	Soubeyran Y., Meyer J.Y. et le Groupe de travail « Espèces Exogènes », 2011. Expertise du « Plan opérationnel pour la maîtrise des espèces exogènes » de la société Vale Nouvelle-Calédonie. Rapport final. 34p
	Spalding M.D., Ravilious C. & Green E.P., 2001. World atlas of coral reefs. University of California Press, 424 p
27	Srivastava, 1959. Effect of non-normality on the power of the analysis of variance test. <i>Biometrika</i> 46, 114-122
62	Thomas L., Laake J., Rexstad E., Strindberg S., Marques F., Buckland S., Borchers D., Anderson D., Burnham K., Burt M., Hedley S., Pollard J., Bishop J. and Marques T., 2009. Distance 6.0. release 1. Research Unit for Wildlife Population Assessment, University of St. Andrews, UK. (http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/)
	UICN, 2001. Catégories et Critères de l'UICN pour la Liste Rouge : Version 3.1. Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. ii + 32pp
	Veron J.E.N., Pichon M., 1980. Scleractinia of Eastern Australia. Part 3. Families Agaricidae, Siderastreaeidae, Fungiidae, Oculinidae, Merulinidae, Mussidae, Pectinidae, Caryophyllidae, Dendrophylliidae. <i>Mem. Austral. Inst. Marine Sci.</i> 4. 422 pp
	Veron J.E.N., Wallace C.C., 1984. Scleractinia of eastern Australia. IV Family Acroporidae. <i>Aust. Inst. Mar. Sci. Monogr. Ser.</i> 6. 485p
	Veron J.E.N., 1986. Coral of Australia and the Indo-Pacific. Angus and Robertson Publishers. 644p
5	Veron J.E.N., 1995. Corals in space and time, the biogeography and evolution of the Scleractinia. UNSW Press, Sydney. 321p
6	Veron J.E.N., 2000. Corals of the world. Australian Institute of Marine Science, Townsville, 1410pp
	Vezie C., Bertru G., Brient L. & Lefeuvre J.C., 1997. Blooms de Cyanobactéries hépatotoxiques dans l'ouest de la France. <i>TSM</i> , 10, 39-46
	Wallace C., 1994. New species and a new species-group of the coral genus <i>Acropora</i> (Scleractinia: Astrocoeniina: Acroporidae) from Indo-Pacific locations. <i>Invert. Tax.</i> 8: 961-88
	Wallace C., 1997. New species of the coral genus <i>Acropora</i> and new records of recently described species from Indonesia. <i>Zool. J. Linn. Soc.</i> 120: 27-50
4	Wallace C., 1999. Staghorn Corals of the World. A revision of the Genus <i>Acropora</i> . (ed) CSIRO Publishing pp. 422p
	Wallace C. & Willis B.L., 1994. Systematics of the coral genus <i>Acropora</i> : implications of new biological findings for species concepts. <i>Annu. Rev. Ecol. Syst.</i> , 25: 237-262
	Wallace C. et Wolstenholme J., 1998. Revision of the coral genus <i>Acropora</i> in Indonesia. <i>Zool. J. Linn. Soc.</i> 123: 199-384
	Wells J.W., 1959. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 1 and 2. <i>Pac. Sci.</i> , 13 (3) : 286-290
	Wells J.W., 1961. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals, Part 3. A new reef coral from New Caledonia. <i>Pac. Sci.</i> , 15 : 189-191
	Wells J.W., 1964. The recent solitary Mussid Scleractinian corals. <i>Zool. Meded., Leiden</i> , 39 : 375-384
	Wells J.W., 1968. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Parts 5 and 6. <i>Pac. Sci.</i> , 22 (2) : 274-276
	Wells J.W., 1971. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 7. <i>Pac. Sci.</i> , 25 (3) : 368-371
	Wells J.W., 1984. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 10. <i>Pac. Sci.</i> , 38 (3) : 205-219
	Whittaker R.H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. <i>Ecological Monographs</i> 30, 279-338
	Whittaker, R. H., 1972. Evolution and measurement of species diversity taxon. 21 : 213-251
	Whittaker R.H., 1977. Species diversity in land communities. <i>Evolutionary Biology</i> 10, 1-67
	Wijsman-Best M., 1972. Systematics and ecology of New Caledonia Faviidae (Coelenterata, Scleractinia). <i>Bijdr. Dierk.</i> , 42 (1) : 1-90
	Wijsman-Best M., 1973. A new species of the Pacific coral genus <i>Blastomussa</i> from New Caledonia. <i>Pac. Sci.</i> , 27 (2) : 154-155
	Wijsman-Best M., 1974. Habitat-induced modification of reef corals (Faviidae) and its consequences for taxonomy. In: Proceedings of the Second international coral reef symposium (Cameron-A-M editor), Volume 2; coral settlement and growth : 217-228
29	Wilcoxon F., 1945. Individual comparisons by ranking methods. <i>Biometrics Bulletin</i> 1 (6): 80-83
	Work T.M., Aeby G.S., Lasne G., Tribollet A., 2014. Gross and microscopic pathology of hard and soft corals in New Caledonia.



	Journal of Invertebrate Pathology 120: 50-8
56	http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml
	www.cnrs.fr
	www.com.univ-mrs.fr/IRD
	http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/ecorecat/recifs.htm
	www.coraux.univ-reunion.fr
	www.crisponline.net/Portals/1/PDF/CRISP_Synthese_bibliographique_coraux.pdf
14	http://www.fishbase.org/search.php?lang=french
	www.ird.fr
	http://en.wikipedia.org/wiki/Relative_species_abundance
55	www.meteo.nc
	http://old.biodiversite.wallonie.be/outils/methodo/similarite_distance.htm
	www.sealifebase.org/
	http://seme.uqar.qc.ca/18_effets_communautes/effets_communautes.htm
	http://www.sgnis.org/
	www.wikipedia.org



A n n e x e s

Annexe n°01	Méthodologie générale d'échantillonnage des communautés benthiques
Annexe n°02	Caratéristiques terrain de la campagne d'échantillonnage de mai 2018
Annexe n°03	Résultats bruts de l'échantillonnage LIT de mai 2018
Annexe n°04	Résultats bruts de l'échantillonnage du benthos de mai 2018
Annexe n°05	Nomenclature UICN

Annexe n° 01

Méthodologie générale d'échantillonnage des communautés récifales

Les classes retenues pour la détermination du substrat sont celles préconisées par English et al. 1994 [01] pour le « Line Intercept Transect » (« life forms ») et présentées dans le [tableau a](#) ci-dessous.

Annexe 01 : Tableau a : Catégories et composantes de substrat retenues pour l'échantillonnage et le traitement des données

	COMPOSANTES (12)	CATEGORIES (28)	CODE	DESCRIPTION
Biotique	Coraux sclérentinières	<i>Acropora</i> Branchu	ACB	Au moins 2 niveaux de branches
		<i>Acropora</i> Encroûtant	ACE	
		<i>Acropora</i> Submassif	ACS	
		<i>Acropora</i> Digité	ACD	Branches en forme de doigts
		<i>Acropora</i> Tabulaire	ACT	Branches aplaties horizontalement
		Non- <i>Acropora</i> Branchu	CB	Au moins 2 niveaux de branches NB : les non acropora digité ont été placés ici
		Non- <i>Acropora</i> Encroûtant	CE	
		Non- <i>Acropora</i> Foliaire	CF	Corail en forme de feuille
		Non- <i>Acropora</i> Massif	CM	
		Non- <i>Acropora</i> Submassif	CS	
		<i>Fungia</i>	CMR	Corail solitaire
	Autres coraux	<i>Millepora</i>	CME	Corail de feu
	Coraux mous	Corail mou	SC	
	Autres organismes vivants	Éponges	SP	
		Zoanthaires	ZO	
		Autres	OT	Ascidies, Anémones, Gorgones, Bénitiers
	Algues	Assemblages	AA	
		Calcaire	CA	
		Halimeda	HA	
		Macroalgue	MA	
Filamenteuse		F	NB : les cyanobactéries ont été placées ici	
Corail mort avec algues	Corail mort avec algues	DCA	Corail mort recouvert d'algues	
Abiotique	Corail mort	Corail mort	DC	Couleur blanche
	Sable	Sable	S	Particules < 2 cm
	Débris	Débris	R	Particules > 2 cm
	Vase	Vase	SI	
	Eau	Eau	W	Crevasse de plus de 50 cm
	Dalle - Roche	Dalle - Roche	RC	

Les cellules grisées correspondent à ce qui est noté « macrophytes et invertébrés » pour le suivi du benthos.

Tous les poissons seront comptabilisés avec un traitement particulier pour ceux qui sont listés dans le [tableau b](#) ci-dessous, car ils correspondent aux taxons indicateurs de la santé des récifs, ainsi qu'aux espèces comestibles.



Annexe 01 : Tableau b : Liste des poissons indicateurs

FAMILLE	GENRE	ESPECE	GENRE	ESPECE
Requins		spp		
Raies		spp		
Scorpaenidae	Rascasses "poules"	spp		
Serranidae	<i>Anthias</i> et <i>Pseudanthias</i>	spp	Autres loches	spp
	<i>Cromileptes</i>	<i>altivelis</i>	<i>Plectropomus</i>	spp
	<i>Epinephelus</i>	<i>cyanopodus</i>		
Pseudochromidae	<i>Pictichromis</i>	<i>coralensis</i>		
Carangidae		spp		
Lutjanidae	<i>Aphareus</i>	<i>furca</i>	<i>Lutjanus</i>	<i>sebae</i>
	<i>Aprion</i>	<i>virescens</i>	<i>Lutjanus</i>	spp
	<i>Lutjanus</i>	<i>adetii</i>	<i>Symphorus</i>	<i>nematophorus</i>
Caesionidae		spp		
Haemulidae	<i>Diagramma</i>	<i>pictum</i>	<i>Plectorhinchus</i>	spp
Lethrinidae	<i>Lethrinus</i>	<i>nebulosus</i>	Autres bossus et bec	spp
Nemipteridae	<i>Scolopsis</i>	<i>bilineatus</i>		
Mullidae		spp		
Kyphosidae		spp		
Ephippidae	<i>Platax</i>	spp		
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>auriga</i>	<i>Chaetodon</i>	<i>speculum</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>baronessa</i>	<i>Chaetodon</i>	<i>semeion</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>bennetti</i>	<i>Chaetodon</i>	<i>trifascialis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>citrinellus</i>	<i>Chaetodon</i>	<i>lunulatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ephippium</i>	<i>Chaetodon</i>	<i>ulietensis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>flavirostris</i>	<i>Chaetodon</i>	<i>unimaculatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>kleinii</i>	<i>Chaetodon</i>	<i>vagabundus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lineolatus</i>	<i>Coradion</i>	<i>altivelis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lunula</i>	<i>Forcipiger</i>	<i>flavissimus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>melannotus</i>	<i>Forcipiger</i>	<i>longirostris</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>mertensii</i>	<i>Hemitaenichthys</i>	<i>polylepis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ornatissimus</i>	<i>Heniochus</i>	<i>acuminatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>pelewensis</i>	<i>Heniochus</i>	<i>chrystostomus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>plebeius</i>	<i>Heniochus</i>	<i>monoceros</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>rafflesi</i>	<i>Heniochus</i>	<i>singularis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>reticulatus</i>	<i>Heniochus</i>	<i>varius</i>
Pomacanthidae	<i>Centropyge</i>	<i>bicolor</i>	<i>Chaetodontoplus</i>	<i>conspicillatus</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>bispinosus</i>	<i>Pomacanthus</i>	<i>imperator</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>flavissima</i>	<i>Pomacanthus</i>	<i>semicirculatus</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>heraldi</i>	<i>Pomacanthus</i>	<i>sextriatus</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>tibicen</i>	<i>Pygoplites</i>	<i>diacanthus</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>vroliki</i>		
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	spp	<i>Dascyllus</i>	<i>reticulatus</i>
	<i>Amphiprion</i>	<i>perideraion</i>	<i>Dascyllus</i>	<i>trimaculatus</i>
	<i>Amphiprion</i>	spp	<i>Neopomacentrus</i>	<i>azysron</i>
	<i>Chromis</i>	<i>viridis</i>	<i>Neopomacentrus</i>	<i>violascens</i>
	<i>Chromis</i>	<i>fumea</i>	<i>Pomacentrus</i>	<i>coelestis</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>taupou</i>	<i>Pomacentrus</i>	<i>moluccensis</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>rollandi</i>	<i>Pomacentrus</i>	<i>aurifrons</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>aruanus</i>	<i>Stegastes</i>	spp



Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>loxozonus</i>	<i>Halichoeres</i>	<i>trimaculatus</i>
	<i>Bodianus</i>	<i>perditio</i>	<i>Hemigymnus</i>	<i>melapterus</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>chlorourous</i>	<i>Labroides</i>	<i>dimidiatus</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>trilobatus</i>	<i>Novaculichthys</i>	<i>taeniourus</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>undulatus</i>	<i>Stethojulis</i>	<i>bandanensis</i>
	<i>Choerodon</i>	<i>graphicus</i>	<i>Stethojulis</i>	<i>strigiventer</i>
	<i>Coris</i>	<i>aygula</i>	<i>Thalassoma</i>	<i>amblycephalum</i>
	<i>Coris</i>	<i>gaimard</i>	<i>Thalassoma</i>	<i>hardwicke</i>
	<i>Gomphosus</i>	<i>varius</i>	<i>Thalassoma</i>	<i>lunare</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>hortulanus</i>	<i>Thalassoma</i>	<i>lutescens</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>margaritaceus</i>		
Scaridae	<i>Bolbometopon</i>	<i>muricatum</i>	<i>Chlorurus</i>	<i>microrhinos</i>
	<i>Scarus</i>	<i>ghobban</i>	Scaridae	spp
Blennidae	<i>Ecsenius</i>	<i>bicolor</i>	<i>Meicanthus</i>	<i>atrodorsalis</i>
Gobiidae	<i>Amblygobius</i>	<i>phalaena</i>		
Ptereleotridae	<i>Ptereleotris</i>	<i>evides</i>	<i>Ptereleotris</i>	<i>microlepis</i>
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>dussumieri</i>	<i>Ctenochaetus</i>	spp
	<i>Acanthurus</i>	<i>blochii</i>	<i>Naso</i>	<i>unicornis</i>
	<i>Acanthurus</i>	<i>triostragus</i>	<i>Naso</i>	spp
	<i>Acanthurus</i>	spp	<i>Zebrasoma</i>	spp
Siganidae	<i>Siganus</i>	<i>argenteus</i>	<i>Siganus</i>	spp
Zanclidae	<i>Zanclus</i>	<i>cornutus</i>		
Scombridae	<i>Scomberomorus</i>	<i>commerson</i>		
Balistidae	<i>Balistoides</i>	<i>conspicillum</i>	<i>Rhinecanthus</i>	<i>aculeatus</i>
	<i>Oxymonacanthus</i>	<i>longirostris</i>	<i>Rhinecanthus</i>	<i>rectangulus</i>
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	spp		

Annexe n° 02

Caractéristiques terrain de la campagne d'échantillonnage de mai 2018

Annexe 02 : Tableau a : Rapport de plongée

Date	Heure *	Marée **	Station	Etat station / maintenance	Météo			Sous eau		
	début/fin		Nom		soleil/pluie	vent (dir, force)	courant (dir/force), h vagues	courant (force/dir)	visibilité (m)	température (°C, Prof)
24/11/2016	10h/12h	Début flot	Casy	OK	Beau, couvert 50%	ENE 14 nds	Clapot ENE 0,3 m	Nul	8 à 12 m	24,4°C à 8,2 m
24/11/2016	14h/16h	Etal flot	Creek baie nord	OK	Beau, couvert 50%	NEE 10 nds	Clapot NEE 0,1 m	Nul	6-7 m	24,9°C à 10,6 m
29/11/2016	13h/15h	Etal / Début flot	Port	OK	Couvert	SSO 5 nds	Clapot SSO 0,1 m	Nul	4 à 8 m	25,2°C à 8,7 m
29/11/2016	10h/12h	Fin jusant	Woodin	OK	Beau, couvert 50%	ENE 14 nds	Clapot ENE 0,3 m	Moyen à fort	8 à 10 m	24,7°C à 12,2 m
28/11/2016	09h/11h	Jusant	Ioro	OK	Couvert 100% pluie	ESE 18 nds	Clapot ESE 0,1 m	Faible	8 à 11 m	25°C à 10,9 m
25/11/2016	8h/10h	Fin jusant	Ionontea	OK	Nuageux 30%	ENE 12 nds	Clapot ENE 0,3 m, houle résiduelle 0,5 m	Faible	20 m	18,4°C à 14,6 m
28/11/2016	12h/14h	Fin jusant	Basse Chambeyron	OK	Nuageux 30%	N 12 nds	Houle	Faible	15 à 20 m	24,9°C à 14,6 m
27/11/2016	14h/16h	Flot	Puka	OK	Couvert 100% pluie	ESE 15 nds	Clapot ESE 0,1 m	Faible à moyen	13 à 14 m	25,1°C à 4,5 m
25/11/2016	12h/14h	Flot	Bancs Kié	OK	Nuageux 30%	N 15 nds	Houle	Faible à moyen	16 à 20 m	24,9°C à 15,5 m
27/11/2016	9h30/11h30	Fin jusant	Ilot Kié	OK	Couvert 100% pluie	SSE 12 nds	Clapot ESE 0,2 m	Faible	15 à 17 m	22,9°C à 13,5 m
26/11/2016	8h30/10h30	Fin jusant	Toémo	OK	Couvert 40%	ENE 10 nds	Clapot ENE 0,1 m + grosse houle	Faible à moyen	16 à 20 m	25,5°C à 12,5 m
26/11/2016	14h/16h	Flot	Ugo	OK	Couvert 90%	ENE 5 nds	Clapot E 0,1 m	Nul	9-10 m	24,5°C à 9,5 m

* cela comprend le temps sur site, sans les trajets

** par rapport à l'agenda corrigé (voir tableaux suivants)

Annexe 02 : Tableau b : Corrections des marées

	Heure		Hauteur (m)		Niveau moyen (m)
	PM	BM	PM	BM	
Baie de Prony	- 40 mn	- 40 mn	- 0,4	- 0,2	0,7
Port Boisé	- 30 mn	- 35 mn	-0,35	0	0,76
Nouméa = Port de référence				1,45 < 0,95 < 0,40	

Annexe 02 : Tableau c : Agenda des marées (corrigées selon le lieu)

Canal Havanah				Prony / Woodin			
Vendredi	25/11/2016	4:50	0,9	Jeudi	24/11/2016	3:34	0,77
		10:34	0,71			9:26	0,51
		16:44	1,03			15:43	0,97
		23:11	0,52			22:19	0,39
Samedi	26/11/2016	5:43	0,98	Mardi	29/11/2016	0:58	0,15
		11:28	0,69			7:31	1,13
		17:29	1,05			13:31	0,43
						19:13	1,01
Dimanche	27/11/2016	23h52	0,45				
		6:27	1,06				
		12:15	0,67				
		18:10	1,06				
Lundi	28/11/2016	0:29	0,39				
		7:05	1,13				
		12:58	0,65				
		18:47	1,06				



Annexe n° 03

Résultats bruts de l'échantillonnage LIT de mai 2018

Annexe 03 : Tableau a : Recouvrement du substrat (en %) pour toutes les catégories

Station		CASY		CREEK BAIE NORD		PORT			CANAL WOODING			IORO			IONANTEA			CHAMBEYRON			PUKA		BANCS KIE			TOEMO			UGO	
Substrat /	Transect	A	B	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B
Code	Catégories																													
ACB	Acropora branchu	0,5	0	24	19	2,5	19,5	2,5	18	3	1	4,5	1	0	11,5	4	0	6,5	5	0	5,5	0,5	5,5	3,5	0	15	9	0	9	3,5
ACE	Acropora encroûtant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACS	Acropora submassif	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACD	Acropora digité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACT	Acropora tabulaire	0	0	0	0	0	0	0	0	9,5	0	3	2	0	0	0	0	5,5	0	0	2	0	5,5	2,5	3	9	0	0	7,5	0
CB	Corail branchu	0	0	0	0,5	1	0	0	14	12,5	4	0	1	0	2,5	7	3,5	6,5	1	0	3,5	0	2,5	3,5	5,5	12	3	0	2	0
CE	Corail encroûtant	0	0	0	0	0	1,5	3,5	1,5	3	0,5	12,5	8,5	0	9,5	5,5	4,5	4,5	3,5	0	5	0,5	3,5	1	7,5	5,5	19,5	0,5	5,5	0,5
CF	Corail foliaire	0	0,5	0,5	5,5	0	0	4,5	0	0	0	0	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,5
CM	Corail massif	0	0	1	3,5	3	7,5	2	0	4	1	11,5	15,5	0	7	14,5	2,5	3	3	1,5	4,5	1	2,5	3,5	1	3	1	6	7,5	9,5
CS	Corail submassif	0,5	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0,5	0
CMR	Fungia	0	0	0	0	0	0,5	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	4
CME	Millepora	0	0	1,5	0,5	0	0	0	11	4,5	0	0,5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
SC	Coraux mous	9,5	6	4,5	6	0,5	1,5	1,5	0	0	0	1	0	0	2	0,5	0	0	1	0	1,5	3,5	10,5	8,5	8	3	3	1	2	4
SP	Éponges	0,5	1	0	1,5	1,5	0,5	0	0	1	2,5	2	1,5	1,5	2,5	2	0,5	1,5	2	4	1	6,5	0	0,5	2,5	0	0	2	2,5	2
ZO	Zoanthaires	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OT	Autres organismes	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,5	0,5	0,5	1,5	0	0	
AA	Assemblages algales	0	0	5	0	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	5	2	6,5	0	1,5	0,5	0	0
CA	Algue calcaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,5	6,5	8,0	6,5	7	6,5	0	0	5	5	5	5	5,5	5,5	0	0
HA	Halimeda	0	0	18	0	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MA	Macroalgue	0	0	0	0	0	16,5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	Algue filamenteuse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	5	15	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0	0
DCA	Corail mort avec algues	13	6,5	43,5	5	35,6	37	4	51	54,5	19,7	23	19,5	4,5	58,5	59	72,5	60	65,5	58	74	17,5	60	64	56,5	43	52,5	79	49	65
DC	Corail mort	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
S	Sable	76	84,5	0	0	0	0	0	0	7,5	68,8	41	48,5	93	0	1	6,5	0	7	15	3	70,5	0	3	3	0	3	4	10	10,5
R	Débris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RC	Dalle - Roche	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SI	Vase	0	0	2	58,5	48,9	15,5	82	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	Eau	0	0	0	0	0	0	0				0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abiotique	76	84,5	2	58,5	48,9	15,5	82	1	8	68,8	41	49	93	0	1	8,5	0	7	15	3	70,5	0	3	3	0	3	4	10	11
	Biotique	24	15,5	98	41,5	51,1	84,5	18	99	92	31,2	59	51	7	100	99	91,5	100	93	85	97	29,5	100	97	97	100	97	96	90	89
	Dont coraux scléractiniaitres	2	1	1,5	25,5	28,5	6,5	29	12,5	37	32	6,5	32,5	29	0,5	30,5	31	10,5	26,5	12,5	1,5	20,5	2	19,5	15	17	48,5	33,5	6,5	36,5

Annexe 03 : Tableau b : Répartition du recouvrement (en %) du substrat, partie biotique/abiotique

	ST01 A	ST01 B	ST02 A	ST02 B	ST03 A	ST03 B	ST03 C	ST04 A	ST04 B	ST04 C	ST05 A	ST05 B	ST05 C	ST06 A	ST06 B	ST06 C	ST07 A	ST07 B	ST07 C	ST08 A	ST08 B	ST09 A	ST09 B	ST09 C	ST11 A	ST11 B	ST11 C	ST12 A	ST1 2B
Macrophytes et invertébrés	23	14	72,5	13	44,6	55,5	5,5	62	60	24,7	26,5	22	6,5	69,5	68	81	73,5	80,5	83,5	76,5	27,5	80,5	82	80	51,5	63,5	89,5	53,5	71
Coraux scléractinaires	1	1,5	25,5	28,5	6,5	29	12,5	37	32	6,5	32,5	29	0,5	30,5	31	10,5	26,5	12,5	1,5	20,5	2	19,5	15	17	48,5	33,5	6,5	36,5	18
Abiotique	76	84,5	2	58,5	48,9	15,5	82	1	8	68,8	41	49	93	0	1	8,5	0	7	15	3	70,5	0	3	3	0	3	4	10	11

Résultats bruts de l'échantillonnage du benthos de mai 2018

Annexe 04 : Tableau a : Inventaire des Macrophytes et des Invertébrés et leur abondance (1 à 5) (stations baie de Prony et du canal Woodin)

Groupe	Sous groupe	Famille	Genre	Espèce	UICN	PS	ST01A	ST01B	ST02A	ST02B	ST03A	ST03B	ST03C	ST04A	ST04B	ST04C
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Dictyota</i>	sp.	/				2	2	2				-2	
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Lobophora</i>	<i>variegata</i>	DD		3	2	4	3	3	5	4		2	
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Padina</i>	sp.	/								-1			
Algues rouges	Rhodophycées	Coralinaceae	<i>Amphiroa</i>	sp.	/				2	2		3	3			
Algues vertes	Chlorophycées	Codiaceae	<i>Codium</i>	sp.	/			2								
Algues vertes	Chlorophycées	Dasycladaceae	<i>Neomeris</i>	<i>vanbosseae</i>	DD		2	2			2					
Algues vertes	Chlorophycées	Halimedaceae	<i>Halimeda</i>	sp.	/		2	1	5(2spp)	2	3(2spp)	3	2	1	2	
Algues vertes	Chlorophycées	Udoteaceae	<i>Chlorodesmis</i>	<i>fastigiata</i>	DD						2			2	1	
Ascidies	Ascidies	Didemnidae	<i>Didemnum</i>	<i>molle</i>	DD										2	
Ascidies	Ascidies	Didemnidae	<i>Didemnum</i>	sp. (blanche)	/									2	2	
Ascidies	Ascidies	Polycitoridae	<i>Citorclinum</i>	<i>laboutei</i>	DD				1							
Ascidies	Ascidies	Polycitoridae	<i>Clavelina</i>	<i>detorta</i>	DD									2		
Ascidies	Ascidies	Styelidae	<i>Polycarpa</i>	<i>aurita</i>	DD		4	3	2	2	2	2			2	1
Ascidies	Ascidies	Styelidae	<i>Polycarpa</i>	<i>clavata</i>	DD										1	-1
Ascidies	Ascidies	Styelidae	<i>Polycarpa</i>	<i>cryptocarpa</i>	DD		2	2	2	2	2				2	2
Ascidies	Ascidies	Styelidae	<i>Polycarpa</i>	<i>nigricans</i>	DD		4	4	3	3	2	3	2	2	3	2
Ascidies	Ascidies	Styelidae	<i>Polycarpa</i>	sp1. (blanche)	/		2	2	1	2	2	1	2		1	
Bryozoaires	Cyclostomes	Tetraplariidae	<i>Alcyonidium</i>	sp.	/				2	2				2	4	3
Cnidaires	Actiniaires	Actinodiscidae	<i>Discosoma</i>	sp.	/								2			
Cnidaires	Alcyonaires	Alcyoniidae	<i>Cladiella</i>	sp.	/				2			2	2			
Cnidaires	Alcyonaires	Alcyoniidae	<i>Sarcophyton</i>	sp.	/		5	4	5	5	2	3	3	2	3	2
Cnidaires	Alcyonaires	Alcyoniidae	<i>Sinularia</i>	<i>dura</i>	DD				2	3		2	3			
Cnidaires	Alcyonaires	Alcyoniidae	<i>Sinularia</i>	<i>flexibilis</i>	DD		2	2								
Cnidaires	Alcyonaires	Alcyoniidae	<i>Sinularia</i>	<i>leptocladus</i>	DD				2	2						
Cnidaires	Alcyonaires	Alcyoniidae	<i>Sinularia</i>	sp.	/		4		3		2	2	2		2	
Cnidaires	Alcyonaires	Nephtheidae	<i>Dendronephthya</i>	sp.	/									2	2	
Cnidaires	Alcyonaires	Nephtheidae	<i>Nephthea</i>	sp.	/		3	2	2		2	2	2			
Cnidaires	Alcyonaires	Nephtheidae	<i>Xenia</i>	sp.	/		2	2								
Cnidaires	Alcyonaires	Nidaliidae	<i>Chironophthya</i>	sp.	/			1	1	1		1	2		1	1
Cnidaires	Hydrozoaires	Indéterminé	Indéterminé	sp.	/										2	2
Cnidaires	Zoanthaires	Zoanthidae	Indéterminé	sp.	/		2	1	-2	1		2	2		1	1
Cnidaires	Zoanthaires	Zoanthidae	<i>Palythoa</i>	<i>tuberculosa</i>	/		2	2	2	2	2	2		2	2	
Cyanobactéries	Cyanophycées	Phormidiaceae	<i>Phormidium</i>	sp.	/		2	2	2	2	2	2		2	2	
Echinodermes	Astéries	Acanthasteridae	<i>Acanthaster</i>	<i>planci</i>	DD		2	-2	2							
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Celerina</i>	<i>heffermani</i>	DD				1			1	1		1	1
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Fromia</i>	<i>milleporrella</i>	DD		1	2			1	1				
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Gomophia</i>	<i>egyptiaca</i>	DD		-1	-1		1	1		1	1	1	
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Linckia</i>	<i>multifora</i>	DD			2								
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Nardoa</i>	<i>gomophia</i>	DD		1	1	1	2	1	2	1		1	1
Echinodermes	Astéries	Oreasteridae	<i>Culcita</i>	<i>novaeguineae</i>	DD						-2					
Echinodermes	Crinoïdes	Indéterminé	Indéterminé	sp.	/		3	3	2	2				3	3	5
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>savignyi</i>	DD			1								
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>setosum</i>	DD		2	1	2	2	2	3	3	1	2	2
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Echinometrix</i>	<i>diadema</i>	DD					-1						
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Echinometra</i>	<i>mathaei</i>	DD		2							1	2	
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Echinostrephus</i>	<i>aciculatus</i>	DD		2	2								
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Parasalenia</i>	<i>gratiosa</i>	DD				2						2	2
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Actinopyga</i>	<i>lecanora</i>	DD	1	-1									
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>edulis</i>	LR-lc	1	2	2		2	2	2	2		2	2
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>flavomaculata</i>	LR-lc	1			2	2	1	2	2			
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>fuscopunctata</i>	LR-lc	1	1	1								
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>whitmaei</i>	EN	1	1	1								
Echinodermes	Ophiurides	Ophiocomidae	<i>Ophiomastix</i>	<i>caryophyllata</i>	DD		2	2	2	3	2	2	2	2	2	
Echinodermes	Ophiurides	Ophiocomidae	Ophiure	indéterminée	/		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Eponges	Spongiaires	Anchinoidae	<i>Hamigera</i>	<i>strongylata</i>	DD			2						2	2	2
Eponges	Spongiaires	Axinellidae	<i>Cymbastella</i>	<i>cantharella</i>	DD						2		2		2	2
Eponges	Spongiaires	Callyspongiidae	<i>Dactylia</i>	<i>delicata</i>	DD						1			-2	2	
Eponges	Spongiaires	Clionidae	<i>Cliona</i>	<i>jullieni</i>	DD		3	3	2	2	2	2	3		3	3
Eponges	Spongiaires	Clionidae	<i>Cliona</i>	<i>orientalis</i>	DD		3	2	2	2	2	2	2	3	3	2
Eponges	Spongiaires	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>arenaria</i>	DD										1	

Mollusques	Bivalves	Arcidae	<i>Arca</i>	<i>ventricosa</i>	DD		2	2							2	2									2	2	2
Mollusques	Bivalves	Gryphaeidae	<i>Hyotissa</i>	<i>hyotis</i>	DD		2	2	2			2	2												2	2	1
Mollusques	Bivalves	Isognomonidae	<i>Isognomon</i>	<i>isognomon</i>	DD		2	2																2	2	2	
Mollusques	Bivalves	Mytilidae	<i>Septifer</i>	<i>bilocularis</i>	DD		3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2
Mollusques	Bivalves	Ostreidae	<i>Saccostrea</i>	<i>cutellata</i>	DD																				2	2	
Mollusques	Bivalves	Ostreidae	<i>Saccostrea</i>	sp.	/									2	2												
Mollusques	Bivalves	Pinnidae	<i>Athrina</i>	sp.	/									2													
Mollusques	Bivalves	Pinnidae	<i>Pinna</i>	sp.	/			1	1		1			1			1				1	1					
Mollusques	Bivalves	Pteridae	<i>Pteria</i>	<i>peguin</i>	DD							2															
Mollusques	Bivalves	Pteridae	<i>Pteria</i>	sp.	/			2	2														2	2		2	2
Mollusques	Bivalves	Spondylidae	<i>Pedum</i>	<i>spondyloideum</i>	DD		2	3	2	2	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mollusques	Bivalves	Spondylidae	<i>Spondylus</i>	sp.	/		2	2	2					2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>crocea</i>	LR-lc	1	2																2	1			
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>derasa</i>	VU	1																	1				
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>maxima</i>	LR-cd	1	3	2		2	1			2	2		1			2	1		2	2		2	2
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>squamosa</i>	LR-cd	1	1							2								1					1
Mollusques	Gastéropodes	Cerithiidae	<i>Cerithium</i>	<i>nodulosum</i>	DD																				1		
Mollusques	Gastéropodes	Conidae	<i>Conus</i>	<i>miles</i>	DD					1												1					1
Mollusques	Gastéropodes	Conidae	<i>Conus</i>	<i>virgo</i>	DD										1							1					
Mollusques	Gastéropodes	Coralliophilidae	<i>Coralliophila</i>	<i>violacea</i>	DD		2	2				2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mollusques	Gastéropodes	Cymatiidae	<i>Charonia</i>	<i>tritonis</i>	DD	1																					
Mollusques	Gastéropodes	Cypraeidae	<i>Cypraea</i>	sp.	/			1																			
Mollusques	Gastéropodes	Cypraeidae	<i>Cypraea</i>	<i>talpa</i>	DD										1												
Mollusques	Gastéropodes	Muricidae	<i>Drupella</i>	<i>cornus</i>	DD										2	2		1						2			2
Mollusques	Gastéropodes	Strombidae	<i>Lambis</i>	<i>chiragra</i>	DD		1																				1
Mollusques	Gastéropodes	Strombidae	<i>Lambis</i>	<i>lambis</i>	DD		1											1								1	
Mollusques	Gastéropodes	Strombidae	<i>Lambis</i>	<i>scorpius</i>	DD										1												
Mollusques	Gastéropodes	Strombidae	<i>Lambis</i>	<i>truncata</i>	DD																						
Mollusques	Gastéropodes	Strombidae	<i>Strombus</i>	<i>sinuatus</i>	DD																						
Mollusques	Gastéropodes	Trochidae	<i>Tectus</i>	<i>niloticus</i>	DD	1																					
Mollusques	Gastéropodes	Turbinidae	<i>Astraea</i>	<i>rhodostoma</i>	DD		2	-1		1	1			1								2	1		2	1	1
Mollusques	Nudibranches	Aglagidae	<i>Cheilidonura</i>	<i>inornata</i>	DD			1																			1
Mollusques	Nudibranches	Chromodorididae	<i>Chromodoris</i>	<i>elisabethina</i>	DD									1													
Mollusques	Nudibranches	Chromodorididae	<i>Chromodoris</i>	<i>leopardus</i>	DD			-1																			
Mollusques	Nudibranches	Chromodorididae	<i>Chromodoris</i>	sp.	/									1													
Mollusques	Nudibranches	Chromodorididae	<i>Risbecia</i>	<i>tryoni</i>	DD																						
Mollusques	Nudibranches	Dorididae	<i>Halgerda</i>	sp.	/																						
Mollusques	Nudibranches	Phyllidiidae	<i>Phyllidiella</i>	<i>pustulosa</i>	DD																						
Mollusques	Nudibranches	Phyllidiidae	<i>Reticulia</i>	<i>halgerda</i>	DD																						
Mollusques	Nudibranches	Pteraeolidae	<i>Pteraeolidia</i>	<i>ianthina</i>	DD																						
Vers	Annélides polychètes	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>	DD		3	4	2	3	4	3	4	3	4	3	2	5	3	3	3	3	3	3	5	5	5

Annexe 04 : Tableau c : Richesse spécifique des biocénoses* benthiques par groupes et transect (*hors coraux durs)

Groupe	Sous-groupe	ST01 A	ST01 B	ST02 A	ST02 B	ST03 A	ST03 B	ST03 C	ST04 A	ST04 B	ST04 C	ST05 A	ST05 B	ST05 C	ST06 A	ST06 B	ST06 C	ST07 A	ST07 B	ST07 C	ST08 A	ST08 B	ST09 A	ST09 B	ST09 C	ST11 A	ST11 B	ST11 C	ST12 A	ST12 B
Algues brunes	Phéophycées	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	3	1	2	1	1	1	1	0	2	1
Algues rouges	Rhodophycées	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	3	3	1	2	2	0	2	2	5	6	6	2	4	2	1	0
Algues vertes	Chlorophycées	2	3	2	1	4	1	1	2	2	0	5	2	0	1	1	0	1	1	0	2	1	7	13	11	4	4	1	3	1
Cyanobactéries	Cyanophycée	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0
Cnidaires	Alcyonaires	5	5	7	4	3	6	6	2	4	2	3	4	3	1	3	2	1	3	0	6	4	8	10	7	3	7	3	5	4
Cnidaires	Actiniaires	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	2	1	0	4	0	1	1	0	1	0
Cnidaires	Hydrozoaires	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Cnidaires	Zoanthaires	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2
Echinodermes	Astéries	3	3	3	2	3	3	3	1	3	2	5	5	0	5	3	4	1	4	3	5	2	4	6	3	4	5	1	2	1
Echinodermes	Crinoïdes	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Echinodermes	Echinides	3	3	2	1	1	1	1	2	3	2	3	3	1	1	2	2	1	0	0	3	1	4	6	4	0	2	1	2	2
Echinodermes	Holothurides	3	3	1	2	2	2	2	0	1	1	5	3	0	0	3	1	1	3	1	5	7	0	3	2	0	3	1	0	1
Echinodermes	Ophiurides	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2
Echinodermes	Synaptes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eponges	Spongiaires	5	6	5	5	7	4	4	4	9	6	6	8	6	4	5	5	3	5	4	10	8	5	9	7	4	10	7	7	7
Mollusques	Mollusques	8	9	9	9	6	3	4	6	13	5	13	13	6	5	10	2	8	16	3	12	7	11	13	5	6	13	7	13	8
Ascidies	Ascidies	4	4	5	4	4	3	2	3	7	3	4	5	3	6	5	4	6	7	5	8	8	10	12	10	5	7	6	2	4
Total		40	43	42	37	36	30	29	26	50	26	54	51	22	28	41	25	28	45	20	64	47	60	89	61	36	63	33	44	35



Sous-total Invertébrés	36	38	36	32	29	26	26	22	46	25	45	47	22	24	36	24	24	41	19	56	42	46	68	43	28	53	30	37	33
Sous-total Algues	3	4	5	4	6	3	3	3	3	1	8	3	0	4	4	1	4	3	0	7	4	14	20	18	7	9	3	6	2
Sous-total Cnidaires	7	7	8	6	4	8	8	3	7	4	6	7	4	2	7	5	2	4	1	10	7	10	17	10	6	10	5	8	7
Sous-total Echinodermes	12	12	9	8	8	8	8	6	10	7	16	14	3	7	9	8	5	9	6	16	12	10	17	11	7	13	5	7	7

Annexe 04 : Tableau d : Richesse spécifique des biocénoses* benthiques par groupes et station (*hors coraux durs)

Groupe	Sous-groupe	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST11	ST12
Algues brunes	Phéophycées	1	2	2	1	2	0	1	3	2	1	2
Algues rouges	Rhodophycées	0	1	1	0	1	3	2	2	7	4	1
Algues vertes	Chlorophycées	3	2	4	2	5	2	2	2	13	5	3
Cyanobactéries	Cyanophycée	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cnidaires	Alcyonaires	6	7	6	4	5	4	4	6	10	7	6
Cnidaires	Actiniaires	0	0	1	0	2	2	0	3	4	1	1
Cnidaires	Hydrozoaires	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
Cnidaires	Zoanthaires	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2
Echinodermes	Astéries	4	4	4	3	5	7	5	5	7	5	3
Echinodermes	Crinoïdes	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Echinodermes	Echinides	4	2	1	3	3	3	1	3	6	2	2
Echinodermes	Holothurides	3	2	2	1	6	3	3	8	4	3	1
Echinodermes	Ophiurides	2	2	2	2	2	0	1	2	1	2	2
Echinodermes	Synaptés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eponges	Spongiaires	7	5	7	9	9	7	5	10	9	10	8
Mollusques	Mollusques	11	13	7	15	18	11	18	13	16	14	14
Ascidies	Ascidies	4	5	4	8	5	8	8	8	12	7	4
Total		49	49	44	53	67	55	53	70	96	65	52
Sous-total Invertébrés		44	43	36	49	58	49	47	62	73	54	45
Sous-total Algues		4	5	7	3	8	5	5	7	22	10	6
Sous-total Cnidaires		8	9	9	7	9	9	5	12	17	10	10
Sous-total Echinodermes		14	11	9	10	17	14	11	19	19	13	9

Annexe 04 : Tableau e : Richesse spécifique du macrobenthos par site

Groupe	Sous-groupe	Prony	Woodin	Havannah
Algues brunes	Phéophycées	2	1	3
Algues rouges	Rhodophycées	1	0	8
Algues vertes	Chlorophycées	5	2	13
Cyanobactéries	Cyanophycée	1	1	1
Cnidaires	Alcyonaires	9	4	11
Cnidaires	Actiniaires	1	0	7
Cnidaires	Hydrozoaires	0	1	1
Cnidaires	Zoanthaires	2	2	2
Echinodermes	Astéries	6	3	9
Echinodermes	Crinoïdes	1	1	1
Echinodermes	Echinides	5	3	6
Echinodermes	Holothurides	4	1	12
Echinodermes	Ophiurides	2	2	2
Echinodermes	Synaptés	0	0	0
Eponges	Spongiaires	9	9	12
Mollusques	Mollusques	18	15	37
Ascidies	Ascidies	5	8	12
Total		71	53	137
Sous-total Invertébrés		62	49	112
Sous-total Algues		8	3	24
Sous-total Cnidaires		12	7	21
Sous-total Echinodermes		18	10	30

Annexe 04 : Tableau f : Liste des espèces cibles (CdC DENV) et leur abondance (1 à 5) (stations de la baie de Prony et du canal Woodin)

Groupe	Sous groupe	Famille	Genre	Espèce	UICN	PS	ST01A	ST01B	ST02A	ST02B	ST03A	ST03B	ST03C	ST04A	ST04B	ST04C
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Dictyota</i>	sp.	/				2	2	2					-2
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Lobophora</i>	<i>variegata</i>	DD		3	2	4	3	3	5	4		2	
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Padina</i>	sp.	/								-1			
Algues rouges	Rhodophycées	Coralinaceae	<i>Amphiroa</i>	sp.	/				2	2		3	3			
Algues vertes	Chlorophycées	Codiaceae	<i>Codium</i>	sp.	/			2								
Algues vertes	Chlorophycées	Dasycladaceae	<i>Neomeris</i>	<i>vanbosseae</i>	DD		2	2			2					
Algues vertes	Chlorophycées	Halimedaceae	<i>Halimeda</i>	sp.	/		2	1	5(2spp)	2	3(2spp)	3	2	1	2	
Algues vertes	Chlorophycées	Udoteaceae	<i>Chlorodesmis</i>	<i>fastigiata</i>	DD						2			2	1	
Echinodermes	Astéries	Acanthasteridae	<i>Acanthaster</i>	<i>planci</i>	DD		2	-2	2							
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Celerina</i>	<i>heffernani</i>	DD				1			1	1		1	1
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Fromia</i>	<i>milleporrella</i>	DD		1	2			1	1				
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Gomphia</i>	<i>egyptiaca</i>	DD		-1	-1		1	1		1	1	1	
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Linckia</i>	<i>multifora</i>	DD			2								
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Nardoa</i>	<i>gomphia</i>	DD		1	1	1	2	1	2	1		1	1
Echinodermes	Astéries	Oreasteridae	<i>Culcita</i>	<i>novaeaguineae</i>	DD						-2					
Echinodermes	Crinoïdes	Indéterminé	Indéterminé	sp.	/		3	3	2	2				3	3	5
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>savignyi</i>	DD			1								
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>setosum</i>	DD		2	1	2	2	2	3	3	1	2	2
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Echinometrix</i>	<i>diadema</i>	DD					-1						
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Echinometra</i>	<i>mathaei</i>	DD		2							1	2	
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Echinostrephus</i>	<i>aciculatus</i>	DD		2	2								
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Parasalenia</i>	<i>gratiosa</i>	DD				2						2	2
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Actinopyga</i>	<i>lecanora</i>	DD	1	-1									
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>edulis</i>	LR-lc	1	2	2		2	2	2	2		2	2
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>flavomaculata</i>	LR-lc	1			2	2	1	2	2			
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>fuscopunctata</i>	LR-lc	1	1	1								
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>whitmaei</i>	EN	1	1	1								
Echinodermes	Ophiurides	Ophiocomidae	<i>Ophiomastix</i>	<i>caryophyllata</i>	DD		2	2	2	3	2	2	2	2	2	

Echinodermes	Ophiurides	Ophiocomidae	Ophiure	indéterminée	/		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Eponges	Spongiaires	Clionidae	<i>Cliona</i>	<i>jullieni</i>	DD		3	3	2	2	2	2	3			3	3
Eponges	Spongiaires	Clionidae	<i>Cliona</i>	<i>orientalis</i>	DD		3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>maxima</i>	LR-cd	1			1								
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>squamosa</i>	LR-cd	1	-1			1	-1						

Annexe 04 : Tableau g : Liste des espèces cibles (CdC DENV) et leur abondance (1 à 5) (stations du canal de la Havannah)

Groupe	Sous groupe	Famille	Genre	Espèce	UICN	PS	ST05A	ST05B	ST05C	ST06A	ST06B	ST06C	ST07A	ST07B	ST07C	ST08A	ST08B	ST09A	ST09B	ST09C	ST11A	ST11B	ST11C	ST12A	ST12B
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Dictyota</i>	sp.	/							-2				2	-3	2	3	3	2	2	-2	-2	-2
Algues brunes	Phéophycées	Dictyotaceae	<i>Lobophora</i>	<i>variegata</i>	DD		2	2								2	2							2	2
Algues brunes	Phéophycées	Sargassaceae	<i>Turbinaria</i>	<i>ornata</i>	DD		2						2			2		2						2	
Algues rouges	Rhodophycées	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis</i>	<i>taxiformis</i>	DD					2	2		2	2	-2	2	2	2	2	2	2	2	-2		
Algues rouges	Rhodophycées	Coralinaceae	<i>Amphiroa</i>	sp.	/					2	2	2						2	3	2		2	2		
Algues rouges	Rhodophycées	Florideophyceae	<i>Plocamium</i>	<i>armatum</i>	DD													2							
Algues rouges	Rhodophycées	Florideophyceae	<i>Plocamium</i>	sp.	/		2			2	2		2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Algues rouges	Rhodophycées	Galaxauraceae	<i>Actinotrichia</i>	sp.	/																-2	2			
Algues rouges	Rhodophycées	Galaxauraceae	<i>Galaxaura</i>	sp.	/													2	2	2					
Algues rouges	Rhodophycées	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	sp.	/														2	2	2				
Algues rouges	Rhodophycées	Rhodomelaceae	<i>Neurymenia</i>	<i>fraxinifolia</i>	DD														2	2					
Algues vertes	Chlorophycées	Caulerpaceae	<i>Caulerpa</i>	sp.	/														2	2					
Algues vertes	Chlorophycées	Codiaceae	<i>Codium</i>	<i>platyclados</i>	DD		2												3	3					
Algues vertes	Chlorophycées	Codiaceae	<i>Codium</i>	sp.	/														2	3(2spp)	3(2spp)	2	2		2
Algues vertes	Chlorophycées	Codiaceae	<i>Codium</i>	<i>spongiosum</i>	DD														3	3					
Algues vertes	Chlorophycées	Dasycladaceae	<i>Bornetella</i>	<i>oligospora</i>	DD														2	3	3				
Algues vertes	Chlorophycées	Dasycladaceae	<i>Neomeris</i>	<i>vanbosseae</i>	DD		2													2	2	2		2	
Algues vertes	Chlorophycées	Halimedaceae	<i>Halimeda</i>	sp.	/		2	1			2		-2	2		2(2spp)	2	2(2spp)	3(2spp)	2	2	2			
Algues vertes	Chlorophycées	Siphonocladaceae	<i>Dictyosphaeria</i>	<i>verluisii</i>	DD													3	2	2					
Algues vertes	Chlorophycées	Udoteaceae	<i>Avrainvillea</i>	<i>obscura</i>	DD															1					
Algues vertes	Chlorophycées	Udoteaceae	<i>Chlorodesmis</i>	<i>fastigiata</i>	DD		2			1			1					1	2	2	2	2	1	2	
Algues vertes	Chlorophycées	Valoniaceae	<i>Ventricaria</i>	<i>ventricosa</i>	DD		2	1										2	2	2		2		2	1
Echinodermes	Astéries	Acanthasteridae	<i>Acanthaster</i>	<i>planci</i>	DD		1	1																1	
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Celerina</i>	<i>heffernani</i>	DD		1	1	-1	1		1			1	1			1						1
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Fromia</i>	<i>indica</i>	DD		1	1		1						2	2	2	2	1	1	1			
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Fromia</i>	<i>milleporrella</i>	DD					-1															
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Fromia</i>	<i>monilis</i>	DD					-1	1			1		1			1						
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Gomophia</i>	<i>egyptiaca</i>	DD		1	1		1	1		1	1		1			1	1		1	1		
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Gomophia</i>	sp.	/																			-2	
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Linckia</i>	<i>laevigata</i>	DD														1						
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Linckia</i>	<i>multiflora</i>	DD					1	1	2		2	1	1	1	2	2	2	1	2			
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Nardoa</i>	<i>gomophia</i>	DD		1	1		1		1	1	1								1	1	1	1
Echinodermes	Astéries	Ophidiasteridae	<i>Neoferdina</i>	<i>cumingi</i>	DD							1							1	1					
Echinodermes	Crinoïdes	Indéterminé	Indéterminé	sp.	/		3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2	3	2
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>savignyi</i>	DD													1	2	2					
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>setosum</i>	DD		2	2	1	-1	2	1				1			2	2		2		2	3
Echinodermes	Echinides	Diadematidae	<i>Echinometrix</i>	<i>diadema</i>	DD							2						1	2	2					
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Echinometra</i>	<i>mathaei</i>	DD		2	1								2		2	2						
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Echinostrephus</i>	<i>aciculatus</i>	DD		2	2		2	2		2			2	1	2	2	2		2	2	2	2
Echinodermes	Echinides	Echinometridae	<i>Parasalenia</i>	<i>gratiosa</i>	DD														2						
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Actinopyga</i>	<i>lecanora</i>	DD	1	1			-1		1													
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Actinopyga</i>	<i>miliaris</i>	VU	1													1						
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Actinopyga</i>	<i>palauensis</i>	LR-lc	1	2	1			2	1	1	2	1	1	1		1	1		1			
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Bohadschia</i>	<i>argus</i>	LR-lc	1	-1																		
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>atra</i>	LR-lc	1								1	-2										
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>edulis</i>	LR-lc	1	2	2			2			2		2	2					2	2		
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>flavomaculata</i>	LR-lc	1										1	1								
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>fuscopunctata</i>	LR-lc	1	1									1	2								
Echinodermes	Holothurides	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>whitmaei</i>	EN	1										1				1					
Echinodermes	Holothurides	Phylloporidae	<i>Neothyonidium</i>	<i>magnum</i>	DD	1											1								
Echinodermes	Holothurides	Stichopodidae	<i>Stichopus</i>	<i>pseudhorrens</i>	DD	1	1																		
Echinodermes	Holothurides	Stichopodidae	<i>Thelenota</i>	<i>ananas</i>	EN	1	-1	1										1			1		1		1
Echinodermes	Holothurides	Stichopodidae	<i>Thelenota</i>	<i>anax</i>	DD	1									-1		1								

Echinodermes	Ophiurides	Ophiocomidae	<i>Ophiomastix</i>	<i>caryophyllata</i>	DD		2	2							2					2	2		2	2
Echinodermes	Ophiurides	Ophiocomidae	Ophiure	indéterminée	/		2	2	2				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Eponges	Spongiaires	Clionidae	<i>Cliona</i>	<i>jullieni</i>	DD		2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3
Eponges	Spongiaires	Clionidae	<i>Cliona</i>	<i>orientalis</i>	DD		3	3	2	3	4	3	3	4	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>crocea</i>	LR-lc	1	2									2	1							
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>derasa</i>	VU	1											1							
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>maxima</i>	LR-cd	1	3	2		2	1		2	2		1		2	1		2	2		2
Mollusques	Bivalves	Tridacnidae	<i>Tridacna</i>	<i>squamosa</i>	LR-cd	1	1						2					1						1
Mollusques	Gastéropodes	Trochidae	<i>Tectus</i>	<i>niloticus</i>	DD	1																		-1



Annexe n° 05

Nomenclature UICN

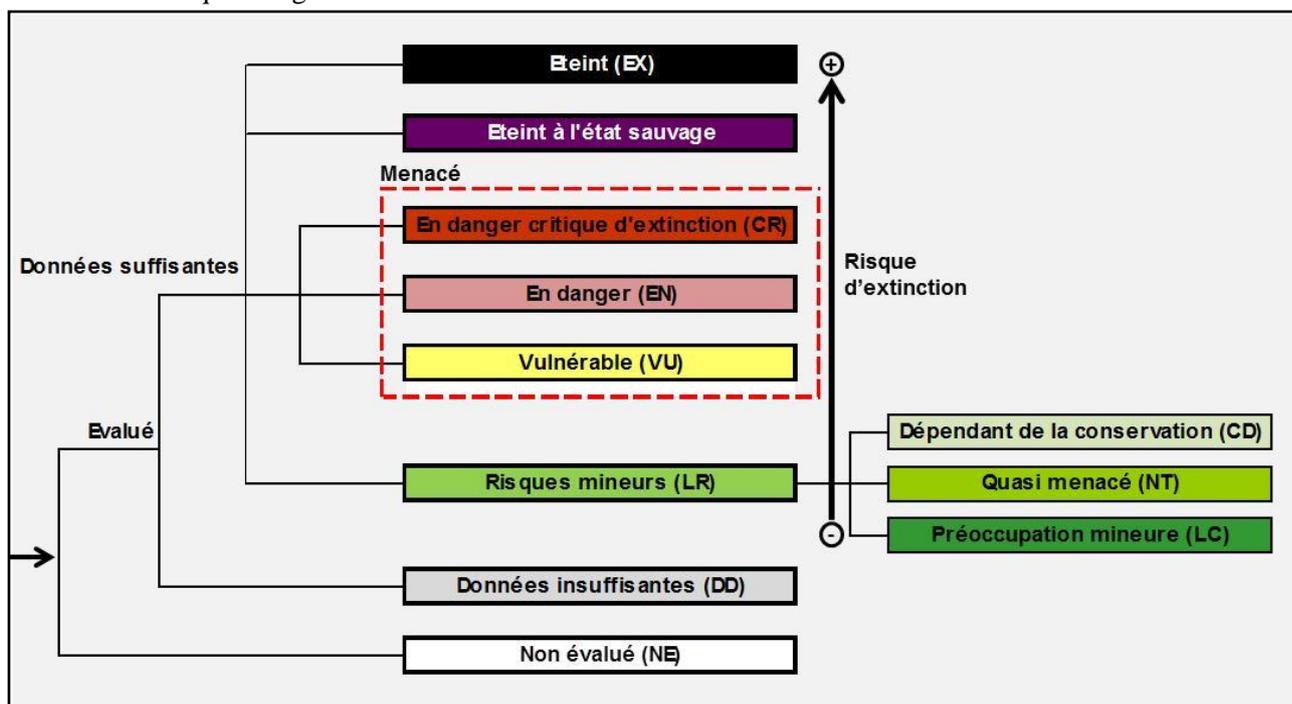
La liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) est un système simple et compréhensible par tous pour classer les espèces selon le risque d'extinction à l'échelle mondiale.

Fondée sur une solide base scientifique, la Liste rouge de l'UICN est reconnue comme l'outil de référence de l'état de la diversité biologique spécifique à l'échelle mondiale. Sur la base d'une information précise sur les espèces menacées, son but essentiel est d'identifier les priorités d'action, de mobiliser l'attention du public et des responsables politiques sur l'urgence et l'étendue des problèmes de conservation, et d'inciter tous les acteurs à agir en vue de limiter le taux d'extinction des espèces.

Cependant en milieu marin, le recensement des espèces d'invertébrés enregistre de nombreuses lacunes à travers le monde. Les coraux scléactiniaires et les bénitiers sont les mieux référencés mais le reste des invertébrés est le plus souvent enregistré comme données insuffisantes (data deficient).

Le schéma [figure a](#) illustre le classement des catégories employées selon le risque d'extinction qui pèse sur les espèces.

Les définitions de chaque catégorie sont données [tableau a](#).



Annexe 05 : Figure a : Classification de la liste rouge UICN

Annexe 05 : Tableau a : Définitions des catégories UICN

CATEGORIE	SIGLE	DEFINITION
Éteint (Extinct)	EX	Un taxon est dit <i>Éteint</i> lorsqu'il ne fait aucun doute que le dernier individu est mort. Un taxon est présumé <i>Éteint</i> lorsque des études exhaustives menées dans son habitat connu et/ou présumé, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l'ensemble de son aire de répartition historique n'ont pas permis de noter la présence d'un seul individu. Les études doivent être faites sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon.



Éteint à l'état sauvage (Extinct in the wild)	EW	Un taxon est dit <i>Éteint à l'état sauvage</i> lorsqu'il ne survit qu'en culture, en captivité ou dans le cadre d'une population (ou de populations) naturalisée(s), nettement en dehors de son ancienne aire de répartition. Un taxon est présumé <i>Éteint à l'état sauvage</i> lorsque des études détaillées menées dans ses habitats connus et/ou probables, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l'ensemble de son aire de répartition historique n'ont pas permis de noter la présence d'un seul individu. Les études doivent être faites sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon.
En danger critique d'extinction (Critically endangered)	CR	Un taxon est dit <i>En danger critique d'extinction</i> lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie <i>En danger critique d'extinction</i> et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque extrêmement élevé d'extinction à l'état sauvage.
En danger (Endangered)	EN	Un taxon est dit <i>En danger</i> lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie <i>En danger</i> et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque très élevé d'extinction à l'état sauvage.
Vulnérable (Vulnerable)	VU	Un taxon est dit <i>Vulnérable</i> lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie <i>Vulnérable</i> , en conséquence, qu'il est confronté à un risque élevé d'extinction à l'état sauvage.
Risques mineurs (Lower Risk)	LR	Un taxon est dit <i>Risques mineurs</i> lorsqu'il a été évalué et ne satisfait pas aux critères de l'une des catégories <i>En danger critique d'extinction</i> , <i>En danger</i> et <i>Vulnérable</i> . Les taxons inscrits dans cette catégorie peuvent être séparés en trois sous-catégories.
→ Dépendant de la conservation (Conservation Dependant)	CD	Un taxon est dit <i>Dépendant de la conservation</i> lorsqu'il fait l'objet d'un programme de conservation spécifique du taxon ou spécifique de l'habitat typique du taxon, et dont la cessation entraînerait la qualification du taxon dans l'une des catégories ci-dessus dans un délai de cinq ans.
→ Quasi menace (Near Threatened)	NT	Un taxon est dit <i>Quasi menacé</i> lorsqu'il a été évalué d'après les critères et ne remplit pas, pour l'instant, les critères des catégories <i>En danger critique d'extinction</i> , <i>En danger</i> ou <i>Vulnérable</i> mais qu'il est près de remplir les critères correspondant aux catégories du groupe <i>Menacé</i> ou qu'il les remplira probablement dans un proche avenir.
→ Préoccupation mineure (Least Concern)	LC	Un taxon est dit de <i>Préoccupation mineure</i> lorsqu'il a été évalué d'après les critères et ne remplit pas les critères des catégories <i>En danger critique d'extinction</i> , <i>En danger</i> , <i>Vulnérable</i> ou <i>Quasi menacé</i> . Dans cette catégorie sont inclus les taxons largement répandus et abondants.
Données insuffisantes (Data Deficient)	DD	Un taxon entre dans la catégorie <i>Données insuffisantes</i> lorsqu'on ne dispose pas d'assez de données pour évaluer directement ou indirectement le risque d'extinction en fonction de sa distribution et/ou de l'état de sa population. Un taxon inscrit dans cette catégorie peut avoir fait l'objet d'études approfondies et sa biologie peut être bien connue, sans que l'on dispose pour autant de données pertinentes sur l'abondance et/ou la distribution. Il ne s'agit donc pas d'une catégorie <i>Menacé</i> . L'inscription d'un taxon dans cette catégorie indique qu'il est nécessaire de rassembler davantage de données et n'exclut pas la possibilité de démontrer, grâce à de futures recherches, que le taxon aurait pu être classé dans une catégorie <i>Menacé</i> . Il est impératif d'utiliser pleinement toutes les données disponibles. Dans de nombreux cas, le choix entre <i>Données insuffisantes</i> et une catégorie <i>Menacé</i> doit faire l'objet d'un examen très attentif. Si l'on soupçonne que l'aire de répartition d'un taxon est relativement circonscrite, s'il s'est écoulé un laps de temps considérable depuis la dernière observation du taxon, le choix d'une catégorie <i>Menacé</i> peut parfaitement se justifier.
Non évalué (Not Evaluated)	NE	Un taxon est dit <i>Non évalué</i> lorsqu'il n'a pas encore été confronté aux critères.

Aqua



Terra

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation



Milieu Naturel Terrestre

Milieu Marin et Littoral

Milieu Urbain

Mines et Carrieres

SIG et Télédétection

Milieu Eaux Douces



ANNEXE 4

SUIVI DES DENSITES DE FLUX VERTICAUX DES PARTICULES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, LA BAIE KWE ET LA RADE NORD DE PRONY

CAMPAGNE 1^{ER} SEMESTRE 2018



« Analyse et Expertise en chimie
de l'environnement »

Rapport semestriel
Mars à avril 2018

Photos de couverture AEL : Observation au microscope d'échantillons de MES récoltés le Canal de la Havannah (à gauche) et dans la Baie Kwé (à droit).

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Proposition technique et commerciale AEL 138-VI-17-P

**Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le
Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony**

Campagne 1^{er} semestre 2018

Période de mars à avril 2018

Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Fernandez JM.

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L06375/0001	
Titre complet	Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 1 ^{er} semestre 2018. Période de mars à avril 2018.		
Auteurs	Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Fernandez JM.		
Résumé	<p>Dans le but de se conformer au plan de suivi règlementaire du milieu marin, il a été mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la qualité des sédiments, dont les densités de flux verticaux de particules depuis 2006/2007. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2018 (mars-avril) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total de 3 stations dont la répartition a été révisée en 2014. A ce jour, les stations sont réparties en Baie Kwé (St06-KW1), en Rade Nord de la Baie du Prony (St15) et dans le Canal de la Havannah (St60-NE).</p> <p>En raison du passage du cyclone HOLA et des 2 dépressions (LINDA et IRIS) qui se sont succédées, cette campagne conforte partiellement les observations consignées dans les rapports précédents établissant une relation entre les conditions météorologiques et les densités des flux verticaux. En effet, les paramètres influant les apports sont : les précipitations pour la St15 <i>via</i> l'érosion et le transport des sols par le Creek de la Rade Nord et les précipitations et/ou vents des régimes S pour la St06-KW1 <i>via</i> l'effet de houle et de re-suspension des particules fines sédimentées dans la Baie Kwé. Pour la St60-NE, comme à l'accoutumé aucune corrélation pertinente ne se dégage ; les panaches latéritiques, beaucoup plus dilués à cette station, seraient conditionnés par un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore possible d'expliquer.</p> <p>Les évolutions des concentrations en métaux latéritiques ainsi que des ratios Ca/Fe en St60-NE et St06-KW1 pour cette campagne par rapport celle de 2007 mettent en évidence un enrichissement du Canal de la Havannah et de la Baie de Kwé en matières latéritiques. Pour la St15, les concentrations en métaux latéritiques et le ratio de Ca/Fe restent invariables.</p> <p>En ce qui concerne les concentrations de Ca et S, aucune trace d'enrichissement anormal n'est discernée à St60-NE permettant de déceler l'influence de l'effluent sur la formation de gypse.</p>		
EVOLUTION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kumar-Roiné S.	SKR	30/07/2018
Vérificateur 1	Fernandez JM.	JMFA	31/07/2018
Vérificateur 2	Pousse C.	CP	03/08/2018
Approbateur	Fernandez JM.	JMFA	03/08/2018
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport final		03/08/2018
COPIE – DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline Casalis	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Fernandez JM. 2017. Suivi des densités de flux verticaux des particules dans la Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 1^{er} semestre 2018. Période de mars à avril 2018. Contrat AEL/Vale-NC138-VI-17-P/PO-L06375/0001, 65p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	9
A.	SITE D'ETUDE	9
B.	ECHANTILLONNAGE	10
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	11
III.	RESULTATS.....	13
A.	PARAMETRES METEOROLOGIQUES	13
B.	CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION.....	15
C.	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION.....	25
IV.	INTERPRETATION	34
A.	INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES.....	34
B.	CALCUL DES FLUX DES MATIERES.....	42
V.	SYNTHESE	46

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Cette étude fait suite, d'une part, à la définition de « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules, déterminées pour le Canal de la Havannah, la Rade Nord et la Baie Kwé en 2007 (Fernandez *et al.*, 2007) et, d'autre part, elle assure la continuité du suivi depuis 2011 pour le Canal de la Havannah et la Baie Kwé et depuis 2014 pour la Rade Nord (Achard *et al.*, 2015).

Si les effets de l'hyper-sédimentation sont mesurables à moyen et long termes par le calcul des taux d'accumulation (géochronologie à l'échelle pluriannuelle), pour des laps de temps plus courts, les apports sédimentaires sont quantifiables grâce à la mesure de la densité de flux vertical des particules à des échelles qui peuvent être journalière, hebdomadaire ou encore mensuelle. Cette mesure constitue un indicateur précoce de la sédimentation.

Les conséquences de l'augmentation des flux particulaires sont : la réduction de la lumière, de l'oxygène dissous et notamment l'augmentation de la pollution par les éléments métalliques associés aux particules. En effet, les particules (appelées aussi Matière En Suspension ; MES) sont reconnues comme étant le principal vecteur des polluants dans la contamination des organismes pélagiques, dont les poissons qui sont, en bout de chaîne, consommés par l'homme.

Dans le contexte de la mise en exploitation de l'usine de Vale-NC, l'étude consiste à estimer les apports en particules fines :

- D'une part, générées consécutivement aux différents travaux d'excavation et de mise en exploitation progressive de la mine en Baie Kwé et de l'usine dans la Rade Nord de Prony ; et
- D'autre part, persistantes dans les effluents industriels traités et rejetés dans le Canal de la Havannah *via* le diffuseur.

B. OBJECTIFS

Selon les zones d'étude, ont été effectués :

- Le suivi temporel des apports terrigènes issus des bassins versants de la Baie Kwé impactée par les activités d'excavation déployées sur le front de mine ;
- Le suivi temporel des apports terrigènes et anthropiques, consécutifs à l'implantation de l'usine de valorisation du minerai, dans la Rade Nord de Prony ;
- Le suivi temporel des apports industriels issus du procédé chimique au voisinage immédiat du diffuseur dans le Canal de la Havannah.

Le suivi de la zone du Canal de la Havannah a pour objet de répondre aux questions de la double rémanence supposée :

- D'une part, du gypse (CaSO_4) formé après l'étape de neutralisation par du calcaire et de la chaux des solutions d'extraction acides du Ni ;
- D'autre part, de minéraux qui pourraient être générés lors de la mise en contact de l'effluent avec l'eau de mer. Ce phénomène pourrait entraîner (par précipitation, co-précipitation et adsorption) une fraction non négligeable des métaux à la surface des sédiments.

Remarque : *Les expériences de laboratoire et la modélisation associée ont montré que seule une formation quantitativement négligeable de précipités de calcite devrait se produire (Bodeř et Pointeau, 2009). La mesure in-situ permet de discuter de cette hypothèse, dans l'état actuel du niveau des rejets.*

Ce rapport présente les résultats relatifs aux flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine Vale-NC, obtenus lors de la campagne du **premier semestre de 2018** et comparés aux campagnes précédentes de mouillages semestriels entre 2011-2017 et celles de l'état de référence en 2006/2007 (Kumar-Roiné *et al.*, 2017 ; Fernandez *et al.*, 2007).

II. METHODOLOGIE

La méthodologie détaillée des différentes étapes de prélèvement, traitement et d'analyses est décrite dans l'Annexe 1.

A. SITE D'ETUDE

Les sites instrumentés sont les suivants (Tableau 1 et Figure 1) :

- Zone d'influence du rejet d'effluent** : Il s'agit de la station St60-NE localisée perpendiculairement à 60 m du diffuseur qui a permis la définition de l'état de référence des flux particulaires en 2007 (Fernandez *et al.*, 2007). Elle permet d'assurer le suivi des apports induits par le diffuseur depuis 2012.
- Zone d'influence de la mine** : Il s'agit d'une station dans l'embouchure de la rivière Kwé (St06-KW1) qui a permis la définition de l'état de référence des flux particulaires en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007). Elle permet d'assurer le suivi des apports induits par le bassin d'exploitation minière depuis 2011.
- Zone d'influence de l'usine de valorisation du minerai** : Il s'agit de la station St15 située en face du Creek de la Rade Nord qui jouxte le site de l'usine. Cette station qui a également fait l'objet d'un état de référence en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007) permet d'assurer un suivi des apports induits par les installations industrielles depuis 2014.

Tableau 1 : Liste et position des stations de prélèvement du suivi des flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC.

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude	Latitude	
Baie Kwé	St06-KW1	E166 59.140	S22 20.747	28
Rade Nord de Prony	St15	E166 52.590	S22 20.037	25
Canal de la Havannah	St60-NE	E166 59.677	S22 22.113	39

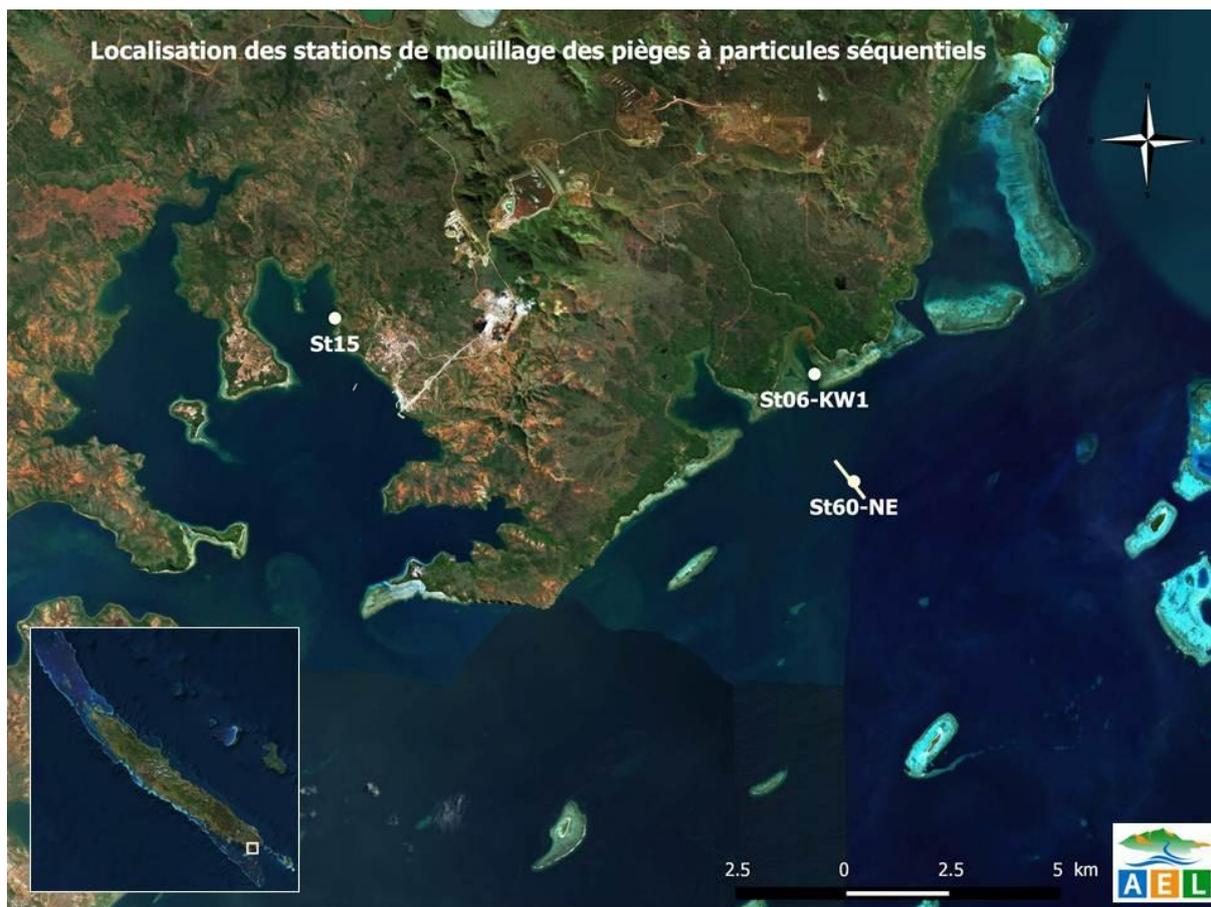


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi des flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC (le trait blanc représente le diffuseur).

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de 2 sorties. La pose et récupération des lignes de mouillage équipées chacune d'un piège à particules séquentiel ont été effectuées, respectivement, le 02 mars 2018 et 26 avril 2018 aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE.

Note : Suite aux anomalies techniques des largueurs acoustiques qui se sont présentées lors des campagnes précédentes, les pièges ont été immergés avec une ligne de mouillage lestée.

Rappel : Les pièges à particules de type séquentiel (Technicap, type PPS4/3) sont dotés d'une section efficace de 0,050 m², équipés de carrousels de 12 godets pour permettre la collecte d'une série temporelle de particules sédimentées. L'orifice du dispositif de collecte (piège) a été placé à 3 mètres au-dessus du fond. Cette cote est particulièrement importante à respecter, notamment à proximité du diffuseur pour échantillonner les particules véhiculées par l'effluent, même lorsque les conditions hydrodynamiques des marées de vive-eau s'exercent. Ce prérequis s'appuie sur les résultats du traçage réalisé à la rhodamine-WT (Fernandez et al., 2009) ; la couche affectée par l'effluent n'étant que d'environ 5 m d'épaisseur lors des marées de vive-eau alors qu'elle dépasse amplement les 10 m par courants faibles des marées de morte-eau (Figure 2). Les suivis sont réalisés par des fonds supérieurs à 15 m afin de s'affranchir des phénomènes mécaniques comme le charriage des grosses particules. Il n'est donc pris en compte dans les pièges que les fractions fines en suspension potentiellement transportables sur de longues distances par les courants, comme le suggère la modélisation (Derex et al., 2008).

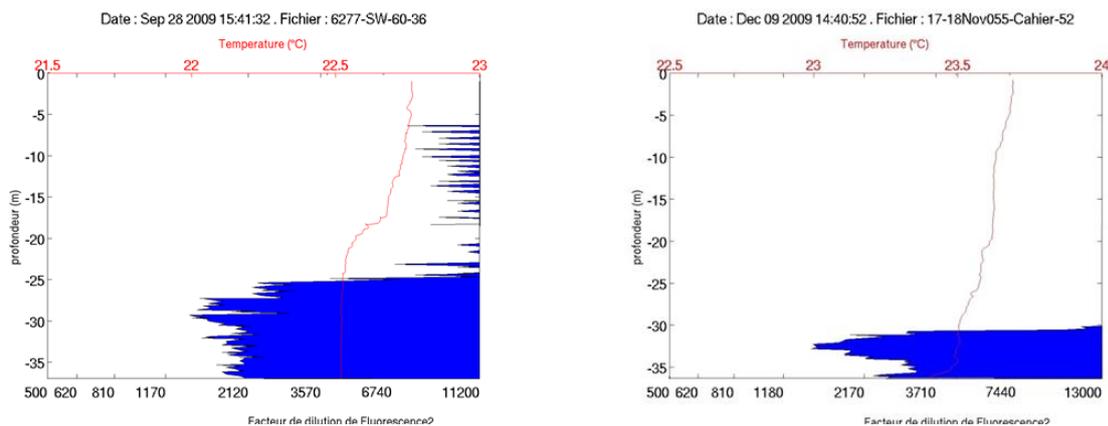


Figure 2 : Empreinte type de l'effluent par marquage à la rhodamine-WT pour des conditions courantologiques de mi-marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

Pour les trois stations St06-KW1, St15 et St60-NE, la collecte des particules a été programmée pour débuter le 03 mars 2018 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 19 avril 2018 à 24h00 ; soit 48 jours après. Au total, 12 échantillons de matériel particulaire ont été prélevés pour chacun des trois sites d'immersion soit 36 échantillons (Tableau 2).

Tableau 2 : Détail de collecte des échantillons par les pièges séquentiels mouillés à St06-KW1, St15 et St60-NE.

Période de collecte	St06-KW1	St15	St60-NE
	Prélèvement	Prélèvement	Prélèvement
03 Mars - 06 Mars.	001	001	001
07 Mars - 10 Mars	002	002	002
11 Mars - 14 Mars	003	003	003
15 Mars - 18 Mars	004	004	004
19 Mars - 22 Mars	005	005	005
23 Mars - 26 Mars	006	006	006
27 Mars - 30 Mars	007	007	007
31 Mars -03 Avr.	008	008	008
04 Avr. - 07 Avr.	009	009	009
08 Avr. - 11 Avr.	010	010	010
12 Avr. - 15 Avr.	011	011	011
16 Avr. - 19 Avr.	012	012	012

De retour au laboratoire, les échantillons de MES collectés dans les godets des pièges séquentiels, ont été conservés au frais (4°C) jusqu'à la phase de traitement.

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions météorologiques régnant dans la zone lors de l'immersion des pièges sont fortement susceptibles d'influer la quantité et la nature de MES collectée.

Ainsi, la pluviométrie journalière « RR » et les données quotidiennes de vent maximal instantané (vitesse « FXI » et direction « DXI ») ont été enregistrées par la station météorologique de l'usine pilote Vale-NC (référence n° 98817104 ; Goro Usine) pour la période de 03 mars au 19 avril 2018 ; l'interprétation des analyses reposera sur ces observations.

Note : Les mesures de vent pouvant présenter des écarts, notamment aux stations St60-NE et St06-KW1 en raison de la différence de situation géographique et l'absence de reliefs, les données météorologiques provenant de la station météorologique IRD/AEL implantée sur la balise du récif loro dans la Canal de la Havannah (référence n° 658 ; loro) sont normalement exploitées pour l'interprétation des résultats. Toutefois, pour cette campagne, un problème technique, inhérent au fonctionnement d'instrument de mesure de force et direction de vents est survenu pendant la période d'immersion des pièges. Les données recueillies étant visiblement erronées, ne nous permettent pas de les utiliser pour les relations de cause à effet.

III. RESULTATS

A. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

Les valeurs des paramètres météorologiques données par les deux stations météorologiques (GORO) sont regroupées dans l'Annexe 2.

Note : la Nouvelle-Calédonie ayant été balayée par plusieurs systèmes météorologiques, cette campagne de prélèvement a évolué dans un contexte très particulier lié au passage, d'une part, du cyclone tropical intense HOLA (du 03-11 mars) à proximité de la zone d'étude, et d'autre part, des deux dépressions tropicales ; une modérée (LINDA ; du 10-15 mars) et l'autre forte (IRIS ; du 22 mars au 07 avril).

1. Précipitations atmosphériques

Mesurés par la station météorologique GORO (usine), la période du 03 mars au 19 avril 2018 compte 38 jours de pluies cumulant à 631,2mm. Cette période a donc été marquée par une pluviométrie exceptionnelle dont deux événements très pluvieux du 06 au 10 mars (243,4 mm) et du 24 au 29 mars (229,0 mm). Il est à noter que ce premier épisode correspond au passage du cyclone HOLA pendant lequel, le 09 mars, 153,8 mm de pluies diluviennes se sont abattues dans l'espace de 24 h (Figure 3 et Figure 4). De la même manière, le développement lent dans le nord-ouest de la Nouvelle-Calédonie du système IRIS provoque 107,8 mm des pluies torrentielles mesurés le 24 mars. Le déplacement de la dépression LINDA dans l'ouest, quant à elle, n'induit pas de précipitation (Figure 3).

Du point de vue historique, les précipitations cumulées lors de cette campagne sont environ 2 à 12 fois plus importantes que pour les campagnes précédentes sauf pour juillet-août 2013, janvier-mars 2014 et septembre-novembre 2017 où les pluviométries enregistrées sont plus proches de celles de cette campagne (467,0, 920,0 et 443,2 mm, respectivement) (Tableau 3).

2. Vitesse et direction du vent

Durant la période du 03 mars au 19 avril 2018, les directions de vents mesurées à la station météorologique de GORO (usine) sont principalement de secteur E à S. Parmi les quelques régimes variables observés, celui du 10 au 11 mars, avec une légère incursion des vents de SE à SSO est notable. De plus, du 11 au 15 mars, l'on observe un régime avec une rotation lente de SSO à NE. Cette rotation des vents est mesurée dans le sillage du cyclone HOLA qui s'est éloigné par le Sud de la Grande Terre le 11 mars (Figure 3 et Figure 4). Lors de la formation des dépressions LINDA et IRIS dans l'ouest de la zone d'étude, les vents se sont renforcés à nouveau en basculant temporairement au secteur E à N (Figure 3).

Quant à l'intensité des vents mesurés à la station météorologique GORO, la moyenne a été de $13,6 \pm 3,3$ m/s. Il est à noter que les vents de plus de 20 m/s mesurés le 09 et 10 mars correspondent au cyclone HOLA qui se situait à l'est de la Nouvelle-Calédonie (Figure 3 et Figure 4).

Pour l'ensemble de la période de mouillage, la vitesse moyenne des vents enregistrée par la station GORO est plus élevée que celles des précédentes campagnes (Tableau 3).

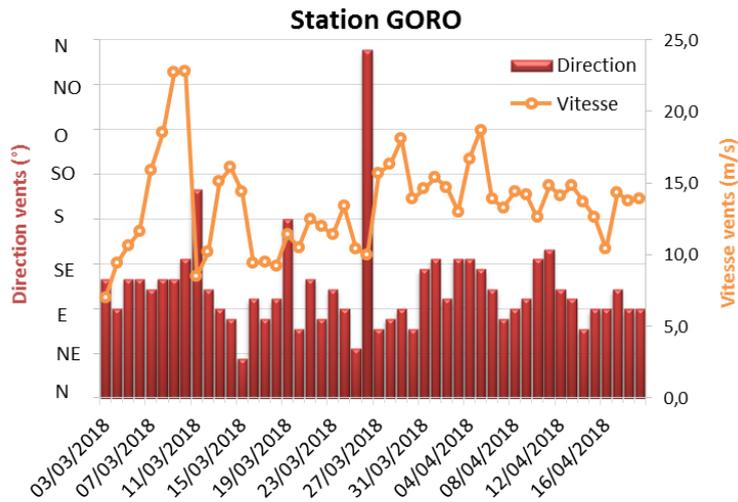
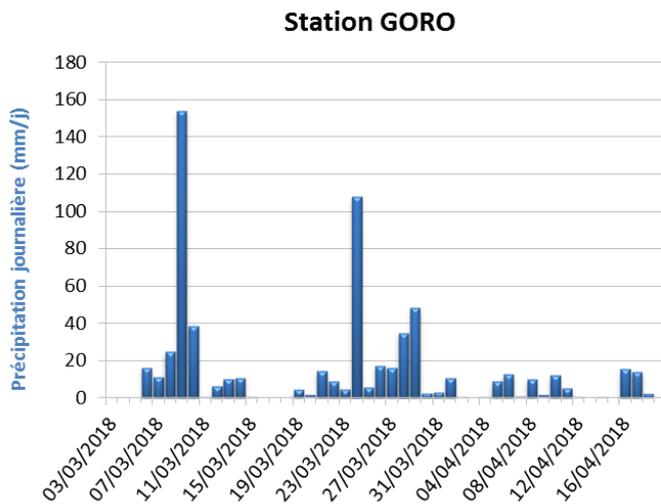


Figure 3 : Cumul journalier de précipitations et évolution de la vitesse et de la direction des vents (moyenne journalière) pour la période du 03 mars au 19 avril 2018.



Cyclone tropical intense HOLA: Trajectoire observée du 03/03/2018 au 11/03/2018

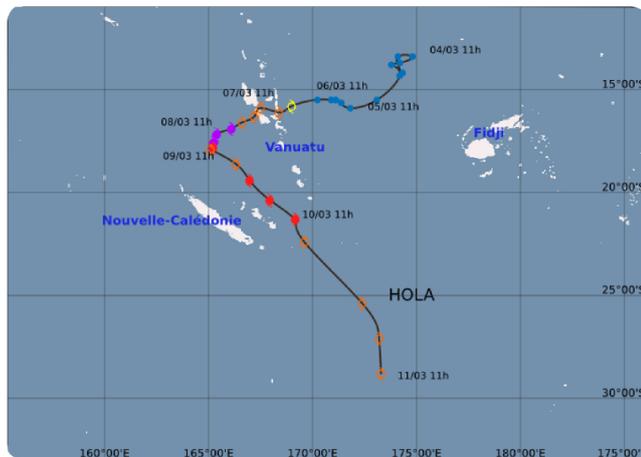


Figure 4 : Présence du cyclone tropical intense HOLA dans les eaux de la Nouvelle-Calédonie du 08 mars au 10 mars (Source : Météo France)

Tableau 3 : Compilation des données météorologiques lors des différentes campagnes d'immersion de pièges séquentiels aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE.

Campagne	Semestre	Campagne	St06-KW1	St15	St60-NE	Station GORO		Station IORO
						Précipitation total (mm)*	Vitesse vents moyens (m/s)*	
2006	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	Oct. - Nov. 2006	x	x	-	54,4	ND	ND
2007	1	Févr. - Mars 2007	-	-	x	300,6	ND	ND
	2	Mars - Avr. 2007	x	x	-	272,6	ND	ND
2011	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	Juil. - Août 2011	x	-	-	273,7	11,3 ± 3,2	ND
2012	1	Janv. - Mars 2012	x	-	x	370,1	12,3 ± 2,7	IC
	2	Sept. - Oct. 2012	x	-	x	278,5	12,0 ± 2,4	AE
2013	1	Janv. - Févr. 2013	x	-	x	181,2	12,0 ± 2,1	AE
	2	Juil. - Août 2013	x	-	x	467,0	11,3 ± 3,6	AE
2014	1	Janv. - Mars 2014	x	x	PP	920,2	9,3 ± 4,0	6,6 ± 2,9
	2	Avr. - Juin 2014	-	-	x	260,9	8,3 ± 3,5	6,9 ± 2,5
2015	1	Sept. - Oct. 2014	x	x	x	199,6	7,3 ± 2,9	5,9 ± 1,8
	2	Janv. - Mars 2015	x	x	x	242,6	12,0 ± 3,7	AE
2016	1	Juil. - Sept. 2015	PP	x	x	148,9	11,6 ± 2,6	AE
	2	Oct. - Nov. 2015	x	-	-	96,0	12,4 ± 3,1	AE
2017	1	Mai - Juil. 2016	PP	x	x	241,4	10,9 ± 3,1	6,2 ± 2,5
	2	Juil. - Sept. 2016	x	-	-	247,4	10,8 ± 2,4	6,2 ± 2,5
2018	1	Oct. - Nov. 2016	x	x	x	266,8	11,3 ± 2,5	5,9 ± 2,1
	2	Avr. - Mai 2017	x	x	x	443,2	12,5 ± 4,2	7,0 ± 3,6
2018	1	Sept. - Nov. 2017	x	x	x	58,4	11,0 ± 2,1	9,7 ± 13,1 (?)
	2	Mars - Avr. 2018	x	x	x	631,3	13,6 ± 3,3	ND
2018	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-

* données de précipitations et vents couvrant uniquement les périodes de programmation des pièges (de la date d'ouverture à la date de fermeture des godets) ; x : station prélevée ; - : pas de campagne ou campagne en cours ; PP : piège perdu ou défaillant ; ND : données météorologiques non disponibles suite à une panne d'instrumentation ; IC : base de données incomplète suite à une panne d'enregistreur ; AE : absence d'enregistreur.

Note : lors des précédentes campagnes, des écartés notables entre les stations météorologiques de GORO et IORO ont été constatés notamment pour les intensités de vents ; l'altitude et la physiographie des lieux pour cette dernière expliquent la différence mesurée.

B. CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION

Les résultats concernant les masses de matière en suspension (MES) collectée par les pièges séquentiels à particules, la granulométrie des populations de grains, la composition minéralogique et les teneurs en carbonates sont regroupés dans l'Annexe 3.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Masses collectées

Avec une moyenne de $19,54 \pm 27,31$ g, les masses de MES collectées en St06-KW1 se distribuent entre environ 6,50 g (03-06 mars et 15-26 mars ; prélèvement 001 et 004 - 006) et 103 g (07-10 mars, prélèvement 002) (Figure 5). La deuxième plus forte quantité est recueillie le 11-14 mars, soit lors du pas de collecte 003 (31,65 g). Au-delà, les masses de MES n'évoluent que de manière moins significative jusqu'à la fin de la période de collecte.

Les pourcentages de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) qui composent les MES varient en fonction des masses collectées. Ils se répartissent entre 57 et 77 % ; les plus basses étant piégées du 07-14 mars (prélèvements 002 et 003) ce qui correspond aux plus fortes quantités de MES collectées. Avec une moyenne de 68 ± 6 %, les MES piégées en St06-KW1 sont très majoritairement composées par de la fraction fine (Figure 6).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, celle de mars-avril 2018 se singularise avec le pourcentage moyen de fraction fine parmi les plus faibles et la masse moyenne de MES collectée la plus importante (Tableau 4).

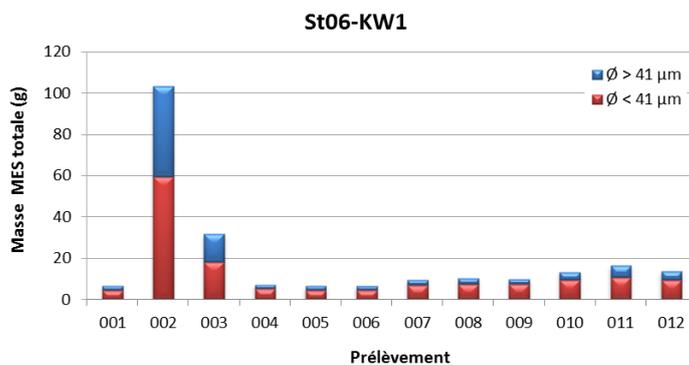


Figure 5 : Masse totale de MES piégée et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

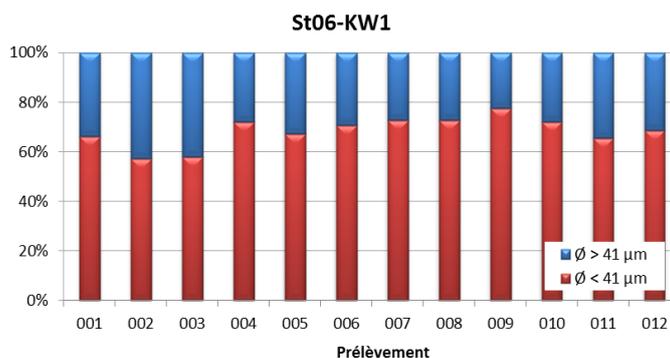


Figure 6 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St06-KW1 est composée majoritairement de particules dont le mode se situe à la fois dans la classe 2,0-20 μm à savoir les silts fins (moyenne de 39 ± 1 % du volume total) et les silts moyens (20-40 μm) (35 ± 2 % du volume total). La distribution des populations granulométriques montre une évolution dans le temps pour les particules 20-40 μm qui augmentent du prélèvement 002 au 011 au détriment des particules $\varnothing > 63 \mu\text{m}$ (Figure 7). La quantité maximale en particules $\varnothing > 63 \mu\text{m}$ correspond aux apports conséquents liés avec le passage du cyclone HOLA.

Tableau 4 : Compilation des données moyennes ± écart-types de la MES totale, des pourcentages de fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06-KW1.

St06-KW1							
Campagne	MES totale (g)	% $\phi < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totale (g)	% $\phi < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Oct. - Nov. 2006	1,46 ± 0,74	ND	74 ± 2	Sept - Oct. 2014	2,37 ± 1,68	84 ± 2	65 ± 4
Mars - Avr. 2007	4,61 ± 4,47	ND	76 ± 3	Janv. - Mars 2015	13,6 ± 7,2	79 ± 4	73 ± 3
Juil. - Août 2011	5,07 ± 4,86	ND	69 ± 4	Oct. - Nov. 2015	7,77 ± 6,10	68 ± 6	47 ± 3
Janv. - Mars 2012	7,89 ± 6,64	75 ± 3	84 ± 5	Juil. - Sept. 2016	5,74 ± 4,58	80 ± 2	60 ± 6
Sept. - Oct. 2012	5,28 ± 2,62	70 ± 4	67 ± 3	Oct. - Nov. 2016	3,69 ± 2,78	79 ± 4	70 ± 5
Janv. - Févr. 2013	9,29 ± 5,71	77 ± 5	67 ± 8	Avr. - Mai 2017	9,06 ± 8,06	75 ± 3	71 ± 4
Juil. - Août 2013	11,6 ± 17,6	74 ± 4	46 ± 13	Sept. - Nov. 2017	4,08 ± 4,61	83 ± 2	71 ± 6
Janv. - Mars 2014	12,1 ± 6,8	82 ± 4	84 ± 3	Mars - Avr. 2018	19,5 ± 27,3	68 ± 6	62 ± 5

ND : valeur non déterminée.

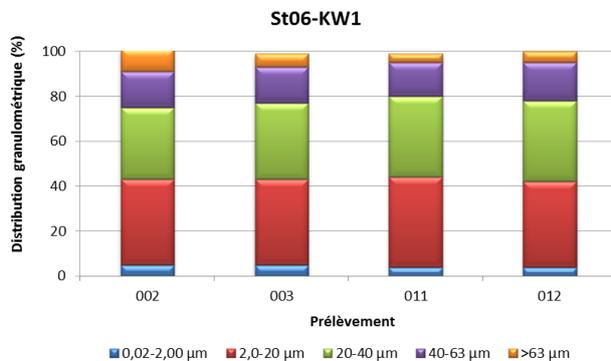


Figure 7 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St06-KW1, parmi les 5 classes granulométriques étudiées, le mode principal demeure la classe 2,0-20 μm (silts fins). Globalement, l'on constate qu'entre les campagnes de juillet-août 2011 et octobre-novembre 2016, le pourcentage en particules $\phi < 20 \mu\text{m}$ a été en augmentation, jusqu'à doubler lors de certaines campagnes (par exemple, en 2014), au détriment des particules de taille $\phi > 20 \mu\text{m}$ (Tableau 5). Depuis, le pourcentage moyen est revenu proche des valeurs de l'Etat de Référence.

Remarque : la mesure de particules de $\phi > 41 \mu\text{m}$ dans les échantillons tamisés à 41 μm peut être le résultat d'un artefact du mode de calcul employé en granulométrie laser en lien avec le passage de particules de formes allongées (paillettes) à travers la maille au moment du tamisage.

Compositions minéralogiques

La fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St06-KW1 est majoritairement composée de minéraux d'origine terrigène dont notamment la présence prépondérante de goethite, gibbsite, serpentine, talc et quartz dans les prélèvements 002 (cyclone HOLA). Inversement, les carbonates (calcite et aragonite) sont dilués dans la masse sédimentaire et leur pourcentage s'en trouve diminué.

La calcite et aragonite ont été décelées dans tous les prélèvements, dont notamment dans les MES des prélèvements 011 et 012 où les proportions ont augmenté au détriment de minéraux d'origine terrigène. L'aragonite est un des constituants des coquilles d'invertébrés ; sa présence dénote du regain de l'influence marine à cette station après le passage du cyclone. Les proportions de ces minéraux d'origine latéritique

varient donc inversement à la calcite et l'aragonite, ce qui souligne l'alternance des influences terrigènes et marines à cette station (Tableau 6).

Tableau 5 : Compilation des données moyennes \pm écart-types de la distribution granulométrique dans la fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) des MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06-KW1.

St06-KW1					
Campagne	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 μm	2,0 à 20 μm	20 à 40 μm	40 à 63 μm	>63 μm
Juil. - Août 2011	8 \pm 4	32 \pm 3	24 \pm 3	15 \pm 2	21 \pm 3
Janv. - Mars 2012	8 \pm 5	50 \pm 5	27 \pm 6	11 \pm 3	4 \pm 0
Sept. - Oct. 2012	13 \pm 1	51 \pm 7	22 \pm 3	10 \pm 4	4 \pm 2
Janv. - Mars 2013	5 \pm 0	37 \pm 2	33 \pm 3	16 \pm 1	9 \pm 4
Juil. - Août 2013	13 \pm 3	53 \pm 12	22 \pm 2	8 \pm 6	3 \pm 6
Janv. - Mars 2014	26 \pm 3	56 \pm 2	15 \pm 2	3 \pm 1	0 \pm 0
Sept. - Oct. 2014	16 \pm 4	61 \pm 6	16 \pm 2	5 \pm 1	2 \pm 3
Janv. - Mars 2015	14 \pm 2	51 \pm 3	26 \pm 3	9 \pm 1	1 \pm 1
Oct. - Nov. 2015	11 \pm 5	44 \pm 7	26 \pm 3	12 \pm 4	8 \pm 6
Juil. - Sept. 2016	15 \pm 4	60 \pm 5	18 \pm 4	5 \pm 3	2 \pm 2
Oct. - Nov. 2016	8 \pm 1	51 \pm 3	30 \pm 3	9 \pm 2	2 \pm 2
Avr. - Mai 2017	4 \pm 1	37 \pm 2	29 \pm 2	14 \pm 1	16 \pm 1
Sept. - Nov. 2017	7 \pm 1	49 \pm 5	31 \pm 2	10 \pm 3	3 \pm 3
Mars - Avr. 2018	5 \pm 1	39 \pm 1	35 \pm 2	16 \pm 1	6 \pm 3

Tableau 6 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

St06-KW1				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autres*
002	10,5	11,1	28,8	49,6
003	19,3	20,5	35,6	24,6
011	21,6	22,6	29,6	26,2
012	24,6	25,2	24,8	25,4

* : Gibbsite, Serpentine, Talc et Quartz

Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St06-KW1 se distribuent entre 49 % et 67 % avec une moyenne de 62 ± 5 %. Les seules variations dans les teneurs sont constatées lors des prélèvements 002 et 003, fortement corrélées avec les masses importantes de MES collectées ($R^2 = -0,9146$; Figure 8) suite aux apports massifs de matériel terrigène liés avec le passage du cyclone HOLA.

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, celle de mars-avril 2018 présente une teneur moyenne en carbonates légèrement plus basse que d'habitude ($67 - 84$ %). Elle reste toutefois plus élevée que celles des campagnes de juillet-août 2013 (46 ± 13 %) et octobre-novembre 2015 (47 ± 3 %) (Tableau 4).

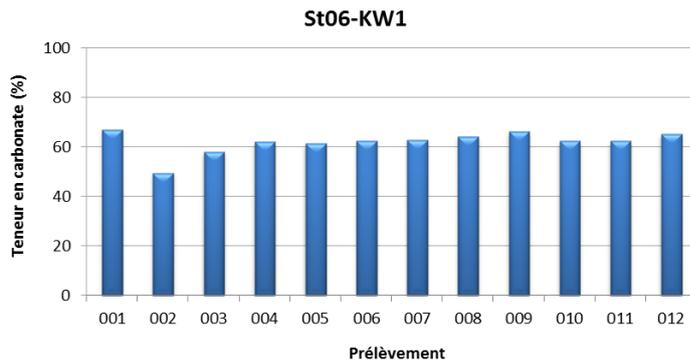


Figure 8 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Remarque : La différence en fraction carbonatée observée entre les teneurs en calcite, d'une part, mesurée par DRX semi-quantitative, d'autre part, calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations en Ca et Mg (considérées comme étant exclusivement sous forme de CaCO_3 et MgCO_3 dans le contexte du sud calédonien), s'expliquerait par le fait que la DRX semi-quantitative caractérise seulement les minéraux cristallisés (Chaurand, 2007 ; Achard, 2013) dont les proportions somment 100% ; ce mode de calcul ne tient pas compte des phases amorphes de certains de ces minéraux, ni des minéraux du cortège latéritique contenant du Mg, ce qui peut majorer le pourcentage calculé des carbonates.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Masses collectées

Les masses de MES collectées se distribuent entre 0,020 g et 6,81 g avec une moyenne de $1,67 \pm 1,93$ g. Deux séquences significatives de collecte sont observées ; du 07-10 mars (001) au 23-26 mars (006) et du 23-26 mars (006) au 12-15 avril (011), où les quantités de MES piégées s'accroissent brusquement puis décroissent progressivement. Ensuite, la collecte termine avec une légère augmentation des MES (012 ; Figure 9).

La fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) est très largement dominante dans les MES piégées en St15 avec une moyenne de 86 ± 6 %. Les pourcentages de fraction fine se distribuent entre 72 à 95 % ; le minimum est enregistré dès le premier pas de collecte le 03-06 mars (001) et le maximum le 27-30 mars (007) (Figure 10).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, la masse moyenne collectée lors de cette campagne 2018 reste faible mais dépasse tout de même le seuil de 1 g. L'on notera que la masse de MES collectées est toutefois 3 fois moins importante que celles collectées en janvier-mars 2014 ($4,43 \pm 8,90$ g). En revanche, quelle que soit la campagne, les MES piégées sont majoritairement composées de fraction fine avec des moyennes peu variables (Tableau 7).

Note : Les diverses observations effectuées lors de précédentes missions montrent que la variabilité des masses collectées à cette station, localisée au droit de l'embouchure du creek, est très dépendante, non seulement de l'intensité des précipitations mais aussi de l'orientation et de la force des vents qui conditionnent la dispersion et/ou le confinement des panaches turbides ; l'orientation SE favorisant un confinement le long de la côte nord de l'Anse de la Rade Nord. A l'inverse, l'absence de vents forts et/ou d'orientation autre que SE, permet l'expansion des panaches dans la rade.

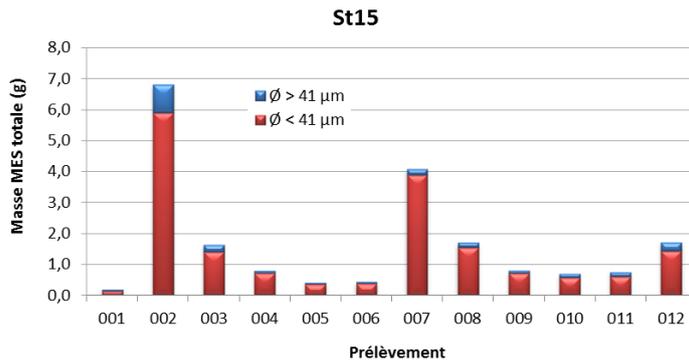


Figure 9 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

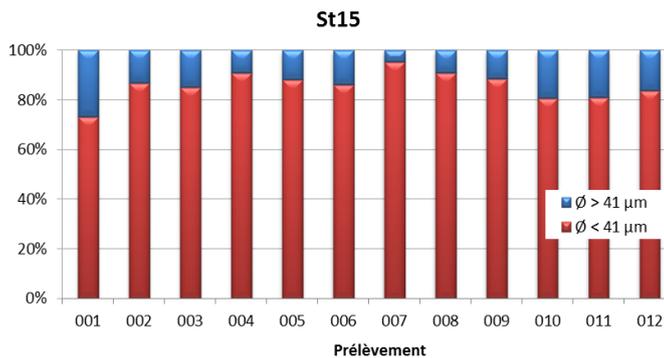


Figure 10 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 7 : Compilation des données moyennes \pm écart-types de la MES totale, du pourcentage de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

St15							
Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Oct. - Nov. 2006	0,10 \pm 0,06	ND	ND	Mai -Juil. 2016	1,73 \pm 1,49	76 \pm 23	19 \pm 9
Mars - Avr. 2007	0,15 \pm 0,14	ND	ND	Oct. - Nov. 2016	0,44 \pm 0,50	87 \pm 7	27 \pm 4
Janv. - Mars 2014	4,43 \pm 8,90	88 \pm 6	9 \pm 4	Avr. - Mai 2017	1,61 \pm 1,16	92 \pm 5	28 \pm 4
Sept. - Oct. 2014	0,18 \pm 0,25	77 \pm 31	25 \pm 2	Sept. - Nov. 2017	0,30 \pm 0,30	79 \pm 16	23 \pm 2
Janv. - Mars 2015	0,56 \pm 0,60	86 \pm 10	25 \pm 7	Mars - Avr. 2018	1,67 \pm 1,93	86 \pm 6	19 \pm 3
Juil. - Sept. 2015	0,26 \pm 0,27	86 \pm 10	26 \pm 2	-	-	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St15 est composée majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe 2,0-20 μm à savoir les silts fins (moyenne de 52 \pm 2 % du volume total) tandis que les silts moyens (20-40 μm) composent la seconde population granulométrique (28 \pm 1 % du volume total). La distribution des populations granulométriques, quant à elle, ne montre aucune variation significative dans le temps (Figure 7), outre une légère augmentation des particules de $\varnothing > 20 \mu\text{m}$ qui correspondrait avec les apports les plus importants (cyclone HOLA).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St15, parmi les 5 classes granulométrique étudiées, le mode principal demeure la classe 2,0-20 μm avec des proportions relativement stables depuis la campagne de janvier-mars 2014. Toutefois globalement une augmentation des grains de classes 20-40 et 40-63 μm est observée au détriment de celle de 0,02-2,00 μm (Tableau 8).

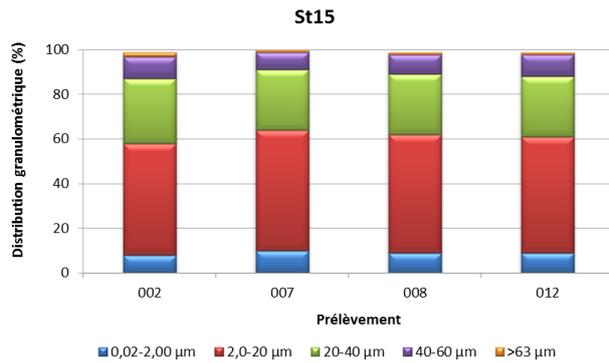


Figure 11 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Remarque : la mesure de particules de $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ dans les échantillons tamisés à $41 \mu\text{m}$ peut être le résultat d'un artéfact du mode de calcul employé en granulométrie laser en lien avec le passage de particules de formes allongées (paillettes) à travers la maille au moment du tamisage.

Tableau 8 : Compilation des données moyennes \pm écart-types de la distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

Campagne	St15				
	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 µm	2,0 à 20 µm	20 à 40 µm	40 à 63 µm	>63 µm
Janv. - Mars 2014	25 \pm 4	57 \pm 1	15 \pm 2	3 \pm 2	1 \pm 1
Sept. – Oct. 2014	14 \pm 3	56 \pm 10	18 \pm 6	8 \pm 4	4 \pm 3
Janv. - Mars 2015	24 \pm 10	55 \pm 6	11 \pm 6	5 \pm 5	4 \pm 5
Juil. - Sept. 2015	19 \pm 4	53 \pm 8	13 \pm 2	6 \pm 3	9 \pm 8
Mai - Juil. 2016	9 \pm 1	46 \pm 7	27 \pm 2	13 \pm 4	5 \pm 4
Oct. – Nov. 2016	13 \pm 2	60 \pm 5	21 \pm 3	5 \pm 3	0 \pm 1
Avr. – Mai 2017	10 \pm 2	51 \pm 5	18 \pm 2	9 \pm 2	12 \pm 3
Sept. – Nov. 2017	ND	ND	ND	ND	ND
Mars – Avr. 2018	9 \pm 1	52 \pm 2	28 \pm 1	9 \pm 1	1 \pm 1

ND : valeur non déterminée

Compositions minéralogiques

Au vue des très faibles quantités collectées, seulement 3 analyses par DRX ont pu être effectuées pour cette campagne. La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées à St15 est majoritairement composée de minéraux d'origine latéritique dont notamment la goéthite ainsi que la gibbsite et serpentine. Bien qu'en bien moindre quantité, de l'aragonite et de la calcite, minéraux d'origine ont également été décelés. Les proportions demeurent très stables ; aucune évolution avec les pas de collecte n'est constatée (Tableau 9).

Tableau 9 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 3 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Prélèvement	St15			
	% Calcite	% Aragonite	% Goéthite	% Autres*
002	4,5	3,1	35,1	57,3
007	6,5	3,0	34,1	56,3
008	6,0	3,2	33,1	57,7

* : Gibbsite et Serpentine

Teneurs en carbonates

Le manque de matière pour la première période n'a permis les analyses que sur 11 échantillons. Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) en St15 se distribuent entre 15 % et 25 % avec une moyenne de $19 \pm 3 \%$ soulignant, de ce fait, une influence prépondérante claire des apports terrigènes à cette station. Les teneurs montrent une tendance marquée en fonction du pas de prélèvement. Toutefois aucune corrélation n'a pu être observée, ni avec les masses de MES collectées, ni avec le pourcentage de fractions fines (Figure 12) ; une explication devra peut-être être recherchée avec l'orientation des vents qui poussent les masses d'eau de la côte vers le centre de la rade du Nord.

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les teneurs moyennes montrent une variation plus importante qu'en St06-KW1. Il est à noter que la teneur moyenne mesurée en janvier-mars 2014 ($9 \pm 4 \%$) demeure la valeur la plus basse enregistrée (Tableau 7).

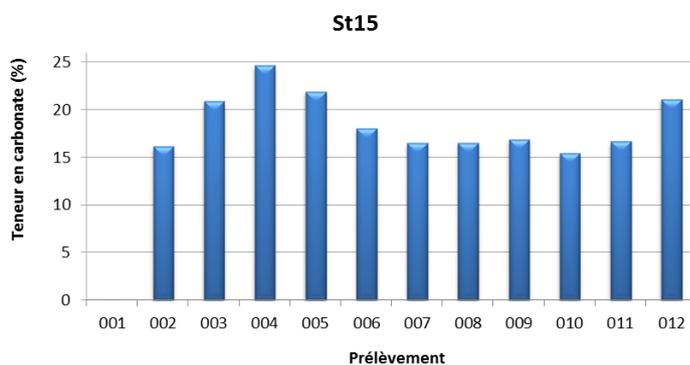


Figure 12 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Masses collectées

Les masses de MES collectées en St60-NE se distribuent entre 0,090 g et 10,65 g avec une moyenne de $3,66 \pm 3,62 \text{ g}$. Les faibles quantités ont été collectées le 07-26 mars (002-006), tandis que les fortes quantités ont été collectées à la fin de la période d'immersion (011 et 012). Trois séquences d'évolution brusques des masses piégées sont observées : 1) du 03-06 mars (001) au 07-10 mars (002) avec une baisse de 3,19 à 0,350 g ; 2) du 23-26 mars (006) au 27-30 mars (007) avec une hausse de 0,790 à 3,65 g et 3) du 08-11 avril (010) au 12-15 avril (011) avec une nouvelle hausse du 5,84 à 10,65g (Figure 13).

Les MES piégées en St60-NE sont composées majoritairement ($62 \pm 6 \%$) de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$). En effet, tous les prélèvements présentent une part de fraction fine élevée comprise entre 61 et 66 % sauf pour le prélèvement 002 (07-10 mars) dans lequel la fraction grossière domine la composition des particules (52 % ; Figure 14), mais la faible quantité de MES collectée rend le calcul peu précis.

Pour les différentes campagnes conduites à St60-NE, la masse totale moyenne collectée lors de cette campagne est parmi les plus fortes depuis la campagne de février-mars 2007, tandis que le pourcentage moyen de fraction fine obtenu reste dans les valeurs usuelles (Tableau 10).

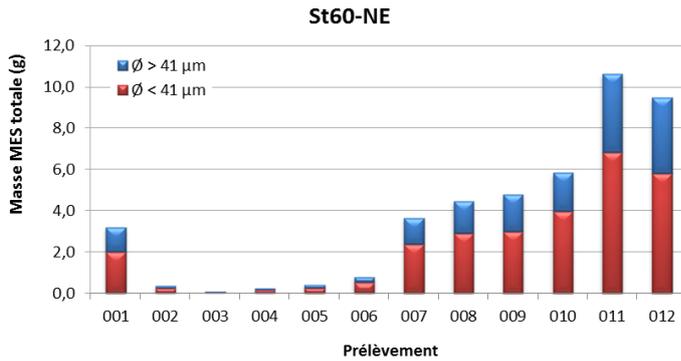


Figure 13 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine (Ø < 41 µm) et fraction grossière (Ø > 41 µm) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

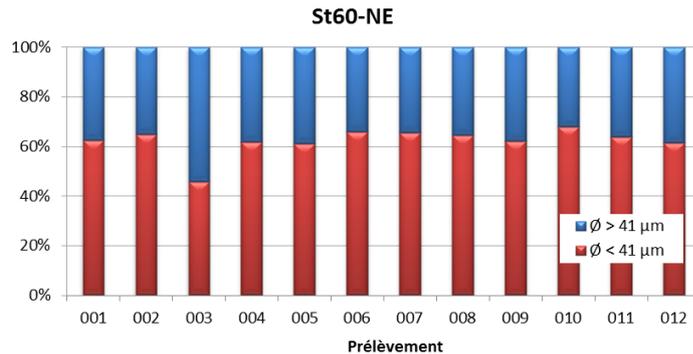


Figure 14 : Pourcentage des fractions fines (Ø < 41 µm) et des fractions grossières (Ø > 41 µm) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 10 : Compilation des données moyennes ± écart-types de la MES totale, du pourcentage de fraction fine (Ø < 41 µm) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

St60-NE							
Campagne	MES totaux (g)	% Ø < 41 µm	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% Ø < 41 µm	Carbonate (%)
Févr. - Mars 2007	3,95 ± 5,02	ND	96 ± 1	Janv. - Mars 2015	3,19 ± 3,11	63 ± 8	88 ± 3
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	Juil. - Sept. 2015	1,98 ± 1,84	61 ± 6	91 ± 6
Janv. - Mar 2012	1,92 ± 1,77	60 ± 18	80 ± 3	Mai - Juil. 2016	3,42 ± 2,03	49 ± 6	76 ± 9
Sept. - Oct. 2012	0,82 ± 1,08	39 ± 9	85 ± 1	Oct. - Nov. 2016	2,23 ± 3,52	28 ± 13	91 ± 7
Janv. - Mars 2013	2,51 ± 2,71	49 ± 14	77 ± 1	Avr. - Mai 2017	3,11 ± 2,84	61 ± 5	91 ± 2
Juil. - Août 2013	1,17 ± 1,42	41 ± 7	75 ± 4	Sept. - Nov. 2017	1,46 ± 1,27	59 ± 4	86 ± 2
Avr. - Juin 2014	1,49 ± 1,01	74 ± 8	83 ± 2	Mars - Avr. 2018	3,66 ± 3,62	62 ± 6	77 ± 1
Sept. - Oct. 2014	1,63 ± 1,82	60 ± 4	83 ± 2	-	-	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Compositions granulométriques

La fraction fine (Ø < 41 µm) de MES collectée en St60-NE est composée de particules dont le mode se situe à la fois dans les classes 2,0-20 µm (silts fins) et 20-40 µm (silts moyens), avec une moyenne de 40 ± 3 % et 36 ± 2 % du volume total, respectivement. La distribution des populations granulométriques montre une évolution dans le temps pour les particules de classe 2,0-20 µm qui augmentent du prélèvement 001 au 012 aux dépens de particules de classes 20-40 et 40-63 µm (Figure 15).

Pour l’ensemble des campagnes conduites à St60-NE, il n’est pas possible de dégager, parmi les 5 classes granulométriques étudiées, une évolution temporelle singulière. Depuis la campagne de janvier-mars 2012, le mode principal des particules est partagé entre les classes 2,0-20 µm et 20-40 µm. Pour la campagne de septembre-octobre 2014, une très notable augmentation des grains de la classe 2,0-20 µm au détriment de

celles de 20-40 μm et 40-63 μm a été mesurée. Pour cette campagne, la distribution granulométrie ressemble de près à celle de la première campagne réalisée en janvier-mars 2012 (Tableau 11).

Remarque : comme pour les stations St06-KW1 et St15, la détection de particules de $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ dans les échantillons des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) peut être le fait du mode de calcul employé en granulométrie laser et/ou encore le passage de particules de formes allongées (paillettes) à travers la maille au moment du tamisage.

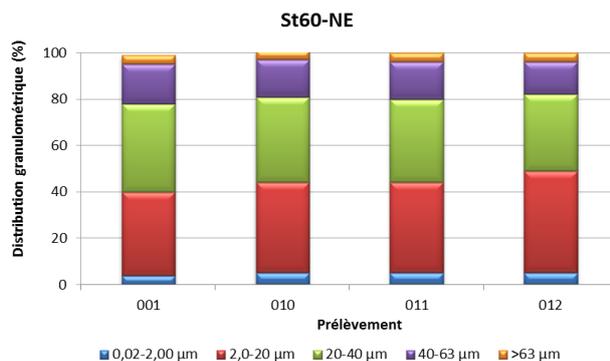


Figure 15 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 11 : Compilation des données moyennes \pm écart-types de la distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

Campagne	St60-NE				
	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 μm	2,0 à 20 μm	20 à 40 μm	40 à 63 μm	>63 μm
Janv. - Mars 2012	3 \pm 1	46 \pm 9	32 \pm 6	14 \pm 4	5 \pm 1
Sept. – Oct. 2012	2 (n=1)	40 (n=1)	23 (n=1)	17 (n=1)	18 (n=1)
Janv. - Mars 2013	5 \pm 0	36 \pm 3	33 \pm 2	16 \pm 0	10 \pm 4
Juil. – Août 2013	14 \pm 5	49 \pm 4	28 \pm 3	8 \pm 1	0 \pm 0
Avr. - Juin 2014	17 \pm 3	47 \pm 4	25 \pm 2	9 \pm 2	2 \pm 2
Sept. – Oct. 2014	5 \pm 1	72 \pm 3	17 \pm 4	4 \pm 0	1 \pm 1
Janv. - Mars 2015	12 \pm 4	44 \pm 6	26 \pm 2	11 \pm 3	7 \pm 6
Juil. - Sept. 2015	13 \pm 5	44 \pm 8	24 \pm 3	9 \pm 4	9 \pm 7
Mai - Juil. 2016	5 \pm 1	40 \pm 1	36 \pm 2	16 \pm 1	3 \pm 1
Oct. – Nov. 2016	6 \pm 2	42 \pm 12	32 \pm 4	12 \pm 3	8 \pm 15
Avr. – Mai 2017	4 \pm 1	36 \pm 8	30 \pm 3	11 \pm 7	12 \pm 12
Sept. – Nov. 2017	8 \pm 1	52 \pm 2	31 \pm 1	9 \pm 1	0 \pm 0
Mars – Avr. 2018	5 \pm 1	40 \pm 3	36 \pm 2	16 \pm 1	4 \pm 0

Compositions minéralogiques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St60-NE est quasi-exclusivement composée de minéraux d’origine marine, comme notamment l’aragonite et la calcite, ce qui souligne les influences marines constantes et quasi exclusives régnantes à cette station. L’aragonite est un des constituants des coquilles d’invertébrés.

La présence de goethite est faiblement décelée lors de cette campagne dont les proportions augmentent à la fin de la période de collecte (011 et 012) lorsque le temps se stabilise avec l'installation d'un large secteur Est (Tableau 12).

Tableau 12 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Prélèvement	St60-NE			
	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autre
001	71,8	25,5	2,7	-
010	74,4	24,0	1,6	-
011	70,0	23,7	6,3	-
012	67,0	23,6	6,2	3,2

Teneurs en carbonates

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 10 échantillons. Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 75 % et 79 %. Avec une moyenne de $77 \pm 1 \%$, les teneurs n'évoluent guère avec les pas de prélèvements (Figure 16).

Entre les différentes campagnes, les teneurs moyennes varient peu également. La plus basse obtenue depuis le début du suivi est de $75 \pm 4 \%$ (juillet-août 2013), ce qui est comparable à celle de cette campagne. Ces observations soulignent que, par rapport aux deux autres stations, les apports en carbonates à St60-NE sont à la fois importants et constants (Tableau 10).

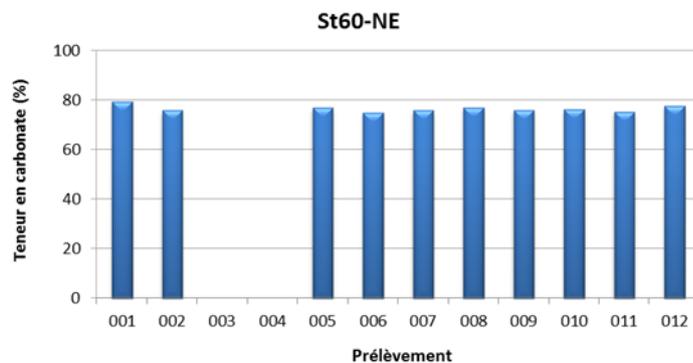


Figure 16 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

C. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION

Les valeurs des concentrations en métaux totaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) et en éléments majeurs (Ca et S) analysées dans les fractions fines de MES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) collectées par les pièges séquentiels à particules sont regroupées dans l'Annexe 4.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Concentration en métaux et calcium

Les plus faibles concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont été mesurées au début de la période d'immersion, à savoir le 03-06 mars (001), tandis que les plus fortes ont été enregistrées du 07-10 mars (002). Le prélèvement 003 constitue les valeurs les deuxièmes plus fortes pour tous les métaux. Inversement, pour le Ca, les teneurs minimales ont été mesurées le 07-10 mars (002) et 11-14 mars (003), tandis que la plus forte concentration a été mesurée le 03-06 mars (001).

Parmi les 3 stations étudiées, ces évolutions dans le temps sont plus marquées à la station St06-KW1, exception faite pour le Ca dont les variations sont moins importantes (Tableau 13).

Comme cela avait été observé lors des précédentes campagnes, la matrice de corrélation montre la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn avec des $R^2 > 0,9900$. Elle montre également une corrélation suffisamment forte mais négative entre le Ca et les 5 métaux (Tableau 14). Des corrélations similaires sont également observées entre les concentrations des éléments et les quantités de MES piégées ; les métaux accroissent leurs concentrations avec les masses de MES collectées tandis que le Ca décroît.

Tableau 13 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

St06-KW1						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	176 704	64,0	2 437	83 357	522	1 266
Max	248 595	146	5 310	177 612	1 339	2 995
Moyenne	228 717	86,7	3 279	113 470	783	1 766
Ecart-type	18 985	21,8	743	23 892	206	450
CV (%)	8	25	23	21	26	25

Tableau 14 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

St06-KW1						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,978	-0,984	-0,978	-0,976	-0,985
Co		1	0,997	0,994	0,993	0,997
Cr			1	0,998	0,995	1,000
Fe				1	0,994	0,997
Mn					1	0,993
Ni						1

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les concentrations moyennes des éléments, et dans une moindre mesure le Ca, sont variables. Les comparaisons montrent également que les concentrations en Co, Cr Fe, Mn et Ni obtenues lors de cette campagne 2018 sont supérieures aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est plus faible que celle mesurée en 2007. En revanche, les concentrations métalliques sont largement inférieures à celles obtenues en juillet-août 2013 ; cette campagne est, à ce jour, celle qui présente les concentrations métalliques les plus élevées à

St06-KW1, tandis que celle de janvier-mars 2014 regroupe les plus basses. Par ailleurs, les concentrations des métaux restent comparables à celles enregistrées lors des dernières campagnes de 2017 (Tableau 15).

Tableau 15 : Compilation des données moyennes \pm écart-types des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06.

St06-KW1						
Campagne	Eléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Mars – Avr. 2007	290 310 (n=1)	58,0 (n=1)	2 667 (n=1)	68 940 (n=1)	577 (n=1)	1 142 (n=1)
Juil. - Août 2011	256 455 \pm 19 652	82,9 \pm 10,2	2 945 \pm 287	81 853 \pm 6 980	703 \pm 75	1 460 \pm 132
Janv. - Mars 2012	239 104 \pm 5 873	101 \pm 10	3 414 \pm 302	10 3323 \pm 6 769	822 \pm 77	1 885 \pm 144
Sept. - Oct. 2012	264 386 \pm 8 238	106 \pm 15	3 874 \pm 547	111 616 \pm 11 753	840 \pm 95	1 829 \pm 201
Janv. - Mars 2013	236 752 \pm 14 017	127 \pm 19	4 634 \pm 547	123 394 \pm 15 208	1 123 \pm 162	2 258 \pm 321
Juil. - Août 2013	164 585 \pm 51 369	215 \pm 77	7 111 \pm 2 797	189 733 \pm 55 033	1 688 \pm 656	3 540 \pm 1 392
Janv. - Mars 2014	308 430 \pm 13 137	46,1 \pm 18,4	1 259 \pm 257	31 190 \pm 8 848	471 \pm 210	588 \pm 195
Sept. - Oct. 2014	242 858 \pm 15 301	115 \pm 19	3 829 \pm 581	132 978 \pm 17 334	885 \pm 147	1 999 \pm 258
Janv. - Mars 2015	271 510 \pm 10 830	82,8 \pm 12,1	3 007 \pm 354	85 407 \pm 11 481	735 \pm 94	1 563 \pm 233
Oct. - Nov. 2015	165 560 \pm 11 919	108 \pm 34	4 126 \pm 1 307	101 619 \pm 24 237	940 \pm 267	1 882 \pm 421
Juil. - Sept. 2016	219 412 \pm 25 986	109 \pm 23	3 083 \pm 692	136 205 \pm 22923	974 \pm 208	2 148 \pm 403
Oct. – Nov. 2016	260 620 \pm 20 111	86,3 \pm 18,3	3 085 \pm 557	116 993 \pm 22 213	723 \pm 149	1 770 \pm 370
Avr. – Mai 2017	270 681 \pm 14 894	80,8 \pm 12,9	2 928 \pm 429	110 875 \pm 19 017	690 \pm 102	1 716 \pm 296
Sept. – Nov. 2017	264 210 \pm 24 159	95,0 \pm 13,6	3 422 \pm 417	120 591 \pm 12 247	742 \pm 101	1 791 \pm 224
Mars – Avr. 2018	228 717 \pm 18 985	86,7 \pm 81,8	3 279 \pm 743	113 470 \pm 23 892	783 \pm 206	1 766 \pm 450

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St06-KW1 se distribuent entre 0,995 et 2,98 avec une moyenne de $2,11 \pm 0,49$. Le plus fort ratio a été obtenu dès le premier prélèvement du 03-06 mars (001) et les plus faibles dans les périodes subséquentes, à savoir du 07-14 mars (002, passage du cyclone HOLA, et 003) après lesquelles les rapports restent plus ou moins stables jusqu'à la fin de la période de collecte. Représentant l'influence des pôles marin (Ca) et terrigène (Fe), l'évolution des ratios traduit la mise en place de périodes d'empreintes terrigène et marine alternées à cette station (Tableau 16).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, à l'exception de la campagne de janvier-mars 2014, l'évolution à la baisse des moyennes du ratio Ca/Fe permet de conclure à une influence terrigène grandissante depuis la campagne de l'état de référence en 2007 ; le ratio minimal ayant été cependant relevé lors de la campagne de juillet-août 2013. Toutefois, depuis la campagne d'octobre-novembre 2015, les ratios semblent s'être stabilisés (Tableau 17).

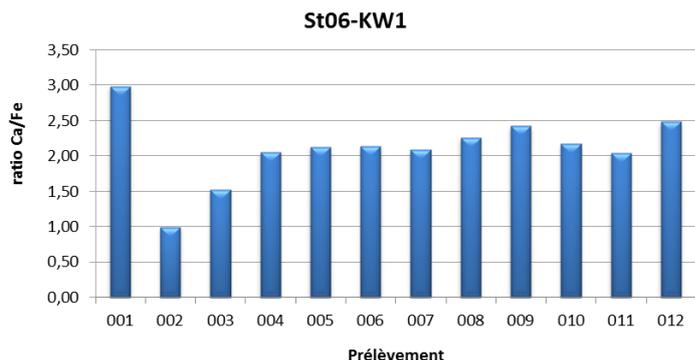


Tableau 16 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Tableau 17 : Compilation des données moyennes \pm écart-types de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St06-KW1.

St06-KW1			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Mars – Avr. 2007	4,21 (n=1)	Janv. - Mars 2015	3,24 \pm 0,53
Juil. - Août 2011	3,17 \pm 0,50	Oct. - Nov. 2015	1,72 \pm 0,44
Janv. - Mars 2012	2,32 \pm 0,18	Juil. - Sept. 2016	1,68 \pm 0,48
Sept. - Oct. 2012	2,40 \pm 0,31	Oct. – Nov. 2016	2,32 \pm 0,53
Janv. - Mars 2013	1,95 \pm 0,33	Avr. – Mai 2017	2,52 \pm 0,53
Juil. - Août 2013	0,98 \pm 0,46	Sept. – Nov. 2017	2,21 \pm 0,31
Janv. - Mars 2014	10,7 \pm 3,13	Mars – Avr. 2018	2,11 \pm 0,49
Sept. - Oct. 2014	1,86 \pm 0,27	-	-

- : pas de campagne.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Concentrations en métaux et calcium

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 11 échantillons.

Parmi les 3 stations étudiées, la St15 se distingue par les concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni les plus hautes, et la concentration moyenne en Ca la plus basse. En ce qui concerne l'évolution des concentrations dans le temps, exception faite pour le Ca, elles sont peu dispersées (Tableau 18).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, la matrice de corrélation confirme également une similarité d'évolution des concentrations massiques pour Cr, Fe et Ni ($R^2 > 0,9100$). Elle montre également qu'il existe une relation inverse entre le Ca et le Cr ($R^2 = -0,8212$). En revanche, pour le Co et Mn, le coefficient de corrélation est moins marqué, ce qui pourrait indiquer un terme source composite pour ces deux éléments (Tableau 19).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les concentrations moyennes sont peu homogènes, notamment celles de Ca. Les comparaisons montrent également que les concentrations obtenues en Co, Cr, Fe, Mn et Ni, lors de cette campagne, sont du même ordre qu'en 2007 (Etat de référence), mais sont bien inférieures à celles obtenues en janvier-mars 2014 et 2015 ; ces campagnes sont à ce jour celles qui présentent les concentrations métalliques les plus hautes (Tableau 20). Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est également comparable à celle de 2007.

Tableau 18 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

St15						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	51 145	176	7 046	206 299	1 659	2 400
Max	84 946	234	8 720	242 115	2 300	2 754
Moyenne	62 558	206	8 004	225 530	1 999	2 599
Ecart-type	11 186	14	556	12 942	186	130
CV (%)	18	7	7	6	9	5

Tableau 19 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

St15						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	0,1391	-0,8212	-0,7004	-0,5637	-
Co		1	0,0319	0,2106	0,5237	0,2714
Cr			1	0,9262	0,6066	0,9157
Fe				1	0,7073	0,9273
Mn					1	0,6624
Ni						1

Tableau 20 : Compilation des données moyennes \pm écart-types des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

St15						
Campagne	Eléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Mars – Avr. 2007	61 870 (n=1)	208 (n=1)	8 500 (n=1)	205 660 (n=1)	1 949 (n=1)	2 742 (n=1)
Janv. - Mars 2014	11 118 \pm 153	295 \pm 27	13 796 \pm 1 654	245 119 \pm 15 893	2 368 \pm 547	3 927 \pm 665
Sept. – Oct. 2014	87 180 \pm 6 927	265 \pm 23	8 111 \pm 535	217 647 \pm 12 561	1 881 \pm 191	2 798 \pm 177
Janv. - Mars 2015	78 349 \pm 29 017	440 \pm 14	14 204 \pm 757	290 374 \pm 11 196	3 788 \pm 569	5 012 \pm 266
Juil. - Sept. 2015	85 568 \pm 10 844	228 \pm 18	8 016 \pm 728	177 466 \pm 13 141	2 148 \pm 207	2 751 \pm 248
Mai - Juil. 2016	60 636 \pm 34 192	195 \pm 37	5 682 \pm 1 080	170 877 \pm 75 892	1 981 \pm 303	3 101 \pm 569
Oct. – Nov. 2016	91 451 \pm 16 898	178 \pm 33	6 057 \pm 1 016	198 270 \pm 35 176	1 861 \pm 511	2 339 \pm 383
Avr.- Mai 2017	101 352 \pm 17 811	184 \pm 21	8 150 \pm 859	231 480 \pm 23 743	1 246 \pm 174	2 501 \pm 281
Sept. – Nov. 2017	76 373 \pm 7 445	221 \pm 4	7 797 \pm 163	192 953 \pm 51 953	1 687 \pm 85	2 614 \pm 61
Mars – Avr. 2018	62 558 \pm 11 186	206 \pm 14	8 004 \pm 556	225 530 \pm 12 942	1 999 \pm 186	2 599 \pm 130

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St15, peu variables, se distribuent entre 0,212 et 0,412 avec une moyenne de $0,280 \pm 0,064$; les minimales et maximales correspondant aux prélèvements 010 (8-11 avril) et 004 (15-18 avril), respectivement (Figure 17).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les ratios faibles recueillis confirment que l'influence terrigène est amplement dominante et constante; le ratio minimal, c'est-à-dire l'influence terrigène maximale, ayant été relevé lors de la campagne de janvier-mars 2014 (Tableau 21).

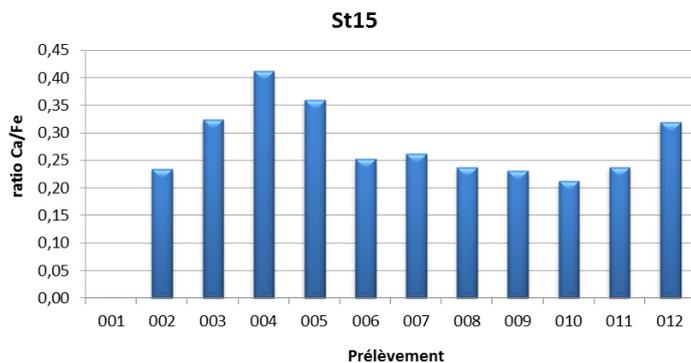


Figure 17 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine (Ø < 41 µm) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 21 : Compilation des données moyennes ± écart-types de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines (Ø < 41 µm) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à particules à St15.

St15			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Mars - Avr. 2007	0,301 (n=1)	Mai - Juil. 2016	0,459 ± 0,323
Janv. - Mars 2014	0,050 ± 0,081	Oct. - Nov. 2016	0,464 ± 0,052
Sept. - Oct. 2014	0,401 ± 0,023	Avr. - Mai 2017	0,448 ± 0,115
Janv. - Mars 2015	0,273 ± 0,106	Sept. - Nov. 2017	0,418 ± 0,107
Juil. - Sept. 2015	0,481 ± 0,041	Mars - Avr. 2018	0,280 ± 0,064

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Concentrations en métaux et calcium

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 10 échantillons.

Parmi les 3 stations étudiées, la St60-NE présente les concentrations en métaux les plus faibles et en Ca la plus forte. Exception faite du Mn, ces concentrations varient peu, notamment celle du Ca et Co. Les plus fortes et faibles quantités en Cr, Fe, et Ni ont été mesurées dans les particules piégées du 19-22 mars (005) et 16-19 avril (012), respectivement. En revanche, pour Mn, elles ont été mesurées le 07-10 mars (002) et le 23-26 mars (006), respectivement (Tableau 22).

Bien qu'un peu moins robuste en raison du nombre d'échantillons plus réduit, la matrice de corrélation montre, toutefois, une similarité certaine dans l'évolution des concentrations massiques de Ni vis-à-vis de Co, Cr et Fe ($R^2 > 0,8359$). Pour le Fe, les tendances sont à peine marquées, exception faite du couple Fe/Cr. Inversement, aucun type de corrélation n'est constaté pour le Ca, ni pour le Co et Mn (Tableau 23).

Tableau 22 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

St60-NE						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	281 578	22,0	573	23 408	187	339
Max	298 150	25,0	702	28 004	333	419
Moyenne	287 342	23,3	621	24 993	219	365
Ecart-type	4 920	0,9	39	1 291	42	25
CV (%)	2	4	6	5	19	7

Tableau 23 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

St60-NE						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,3929	-0,1137	-0,0282	-0,2537	-0,1556
Co		1	0,7885	0,7751	0,2835	0,8359
Cr			1	0,9610	-0,0387	0,9840
Fe				1	0,1085	0,9748
Mn					1	0,0873
Ni						1

Tableau 24 : Compilation des données moyennes \pm écart-types des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St60-NE.

St60-NE						
Campagne	Eléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Févr. - Mars 2007	340 410 (n=1)	11,0 (n=1)	332 (n=1)	9 910 (n=1)	109 (n=1)	136 (n=1)
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Janv. - Mar 2012	293 760 \pm 16 723	25,6 \pm 6,6	662 \pm 72	20 959 \pm 2 895	254 \pm 123	423 \pm 78
Sept. - Oct. 2012	345 918 \pm 19 677	29,0 \pm 5,0	566 \pm 23	18 347 \pm 1 641	189 \pm 49	345 \pm 68
Janv. - Mars 2013	306 914 \pm 5 219	21,3 \pm 2,6	834 \pm 58	26 131 \pm 2 022	262 \pm 25	478 \pm 39
Juil. - Août 2013	280 315 \pm 16 630	35,5 \pm 10,5	921 \pm 179	32 693 \pm 6 925	358 \pm 93	558 \pm 106
Avr. - Juin 2014	302 211 \pm 9 477	19,6 \pm 2,3	569 \pm 41	17 740 \pm 1 958	195 \pm 32	322 \pm 36
Sept. - Oct. 2014	313 173 \pm 7 856	24,8 \pm 3,8	725 \pm 101	25 695 \pm 4 668	204 \pm 30	386 \pm 64
Janv. - Mars 2015	325 637 \pm 9 166	31,6 \pm 6,5	848 \pm 174	28 754 \pm 5 415	329 \pm 61	506 \pm 95
Juil. - Sept. 2015	347 224 \pm 3 5214	25,6 \pm 3,8	702 \pm 63	22 628 \pm 2 287	298 \pm 38	416 \pm 41
Mai - Juil. 2016	279 965 \pm 3 4471	25,9 \pm 5,2	439 \pm 51	22 735 \pm 2 589	251 \pm 35	365 \pm 52
Oct. - Nov. 2016	342 228 \pm 27 452	17,1 \pm 1,5	461 \pm 33	17 288 \pm 1 125	143 \pm 16,3	252 \pm 17,2
Avr. - Mai 2017	349 128 \pm 7 429	33,2 \pm 5,87	643 \pm 58,9	19 309 \pm 2 487	302 \pm 76,9	397 \pm 32,1
Sept. - Nov. 2017	322 239 \pm 9 420	23,8 \pm 3,4	589 \pm 44	22 557 \pm 1 566	361 \pm 269	335 \pm 29
Mars - Avr. 2018	287 342 \pm 4 920	23,3 \pm 0,9	621 \pm 29	24 993 \pm 1 291	219 \pm 42	365 \pm 25

ND : valeur non déterminée.

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes des éléments varient peu, plus particulièrement pour le Ca. Les comparaisons montrent que les concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni obtenues lors de cette campagne 2018 sont environ 2 à 3 fois supérieures à celles enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Pour le Cr et Ni, et dans un moindre mesure pour le Fe et Mn, les niveaux demeurent tout de même largement inférieurs à ceux mesurés en juillet-août 2013, campagne qui est à ce jour celle qui présente les concentrations métalliques les plus hautes à St60-NE (Tableau 24).

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St60-NE se distribuent entre 10,3 et 12,5 avec une moyenne de 11,5 ± 0,6 ; la plus basse valeur ayant été obtenue lors des prélèvements du 19-22 mars (005) et la plus forte du 16-19 avril (012). Ces ratios élevés confirment que l'influence marine est largement dominante corroborant ainsi les résultats de teneurs en carbonates (Figure 18).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les évolutions du ratio Ca/Fe moyen permettent de constater que l'influence de la signature terrigène a augmenté à cette station depuis la campagne de l'état de référence en 2007 ; le ratio minimal ayant été relevé lors de la campagne de juillet-août 2013. Depuis, les ratios moyens oscillent entre 10,0 et 20,0 (Tableau 26).

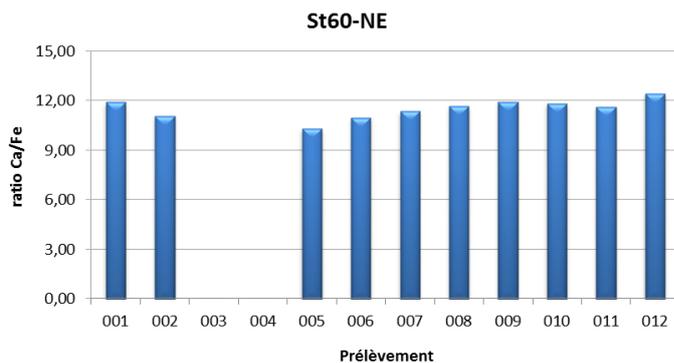


Figure 18 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 25 : Compilation des données moyennes ± écart-types de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à particules à St60-NE.

St60-NE			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Févr. - Mars 2007	34,4 (n=1)	Janv. - Mars 2015	11,7 ± 2,2
Juil. - Août 2011	ND	Juil. - Sept. 2015	15,4 ± 1,5
Janv. - Mar 2012	14,3 ± 2,4	Mai - Juil. 2016	12,5 ± 2,4
Sept. - Oct. 2012	19,0 ± 2,7	Oct. - Nov. 2016	19,8 ± 1,2
Janv. - Mars 2013	11,8 ± 1,0	Avr. - Mai 2017	18,4 ± 2,4
Juil. - Août 2013	9,0 ± 2,3	Sept. - Nov. 2017	14,4 ± 1,1
Avr. - Juin 2014	17,2 ± 1,8	Mars - Avr. 2018	11,5 ± 0,6
Sept. - Oct. 2014	12,5 ± 1,8	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Concentrations en soufre

Les concentrations en S dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 2851 mg/kg ps et 3891 mg/kg ps avec une moyenne de 3325 ± 357 mg/kg ps. La plus forte et la plus faible concentration ont été mesurées, respectivement, le 03-06 mars (001) et 19-22 mars (005) (Figure 19).

Il est à noter qu'aucune relation significative n'est constatée entre le S et le Ca ($R^2 = 0,4906$) ; les apports en carbonates naturels du milieu semblent diluer ce rapport et ne permet pas de suivre l'évolution de concentrations du gypse (CaSO_4) évacué par le diffuseur dans les concentrations actuelles.

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes en S montrent peu de variations. Depuis la campagne d'état de référence en 2007, les concentrations moyennes calculées sont du même ordre de grandeur, exception faite pour la campagne de avril-juin 2014 qui à ce jour a présenté les concentrations en S les plus variables à St60-NE. (Tableau 26).

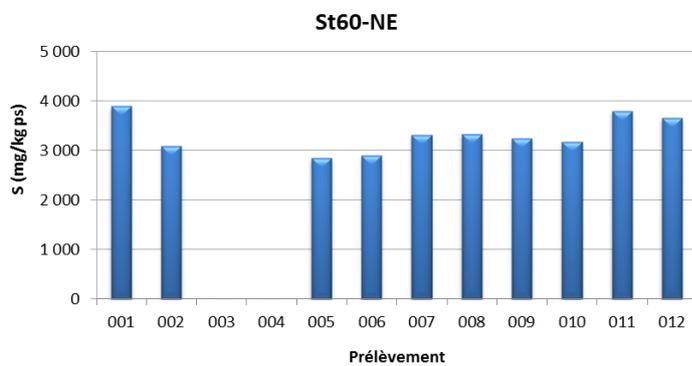


Figure 19 : Concentrations en soufre mesurées dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements de MES collectés par le piège séquentiel à particules à St60-NE.

Tableau 26 : Compilation des moyennes \pm écart-types des concentrations en soufre obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

St60-NE			
Campagne	S (mg/kg ps)	Campagne	S (mg/kg ps)
Févr. - Mars 2007	ND	Janv. - Mars 2015	$2\ 887 \pm 74$
Juil. - Août 2011	ND	Juil. - Sept. 2015	$2\ 776 \pm 168$
Janv. - Mars 2012	$2\ 903 \pm 183$	Mai - Juil. 2016	$2\ 746 \pm 83$
Sept. - Oct. 2012	$3\ 001 \pm 131$	Oct. - Nov. 2016	$2\ 639 \pm 503$
Janv. - Mars 2013	$3\ 113 \pm 284$	Avr. - Mai 2017	$2\ 808 \pm 118$
Juil. - Août 2013	$2\ 656 \pm 556$	Sept. - Nov. 2017	$2\ 816 \pm 238$
Avr. - Juin 2014	$3\ 812 \pm 834$	Mars - Avr. 2018	$3\ 325 \pm 357$
Sept. - Oct. 2014	$2\ 805 \pm 161$	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

IV. INTERPRETATION

A. INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

Les quantités de MES collectées et les concentrations en éléments sont indirectement influencées par les taux de précipitations (phénomène d'érosion des bassins versants) et/ou l'action mécanique induite par les conditions météorologiques telles que la direction et la force des vents (phénomène de remise en suspension et dispersion ou confinement du panache). Selon les stations suivies, les Figure 20, Figure 21 et Figure 22 apportent une vue d'ensemble afin de tenter d'expliquer les différents épisodes et les observations marquantes en rapport avec les conditions hydro-climatiques.

Rappel : En temps normal, les données de mesure de force et direction de vents provenant de la station météorologique IORO, située au milieu du Channel de Hannah, sont exploitées pour l'interprétation des résultats. Toutefois, pour cette campagne, les données recueillies à cette station étant visiblement erronées ont été écartées et substituées par celles de la station météorologique de GORO. Cette dernière située à l'intérieur des terres de la Baie du Prony n'est toutefois pas la mieux placée pour indiquer avec précision les conditions hydro-climatiques agissant aux stations ST06-KW1 et ST60-NE ; les précédentes campagnes ont montré des écarts notables, mais constants, entre ces deux stations météorologiques dues aux effets de relief.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

L'immersion du piège à particules séquentiel à St06-KW1 du 03 mars au 19 avril avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 20) :

- Du 03-07 mars (001) au 11-14 mars (003) – le 03-07 mars (001) les quantités de MES piégées et les concentrations de Ni sont parmi les plus faibles et augmentent subitement le 07-10 mars (002) à des niveaux maximaux. Ensuite, elles diminuent aussitôt le 11-14 mars (003) ; ces valeurs restant tout de même les deuxième plus élevées. Quant aux ratios Ca/Fe, ils évoluent de manière opposée ; la valeur la plus forte mesurée dès le premier pas de collecte (001) baisse au niveau le plus faible dans le prélèvement 002 puis n'augmente que légèrement dans le prélèvement 003. Contrairement au prélèvement 001, le 002 correspond à une période de météorologie très instable avec une pluviométrie intense (cumul de 16,0 versus 227,4 mm) et des alizés forts ($9,7 \pm 2,0$ versus $20,0 \pm 3,4$ m/s), conditions exceptionnelles réunies par le passage du cyclone HOLA du 09 au 10 mars. Ensuite, les pluies s'estompent (cumul de 27,1 mm) et les vents s'affaiblissent ($12,5 \pm 3,7$ m/s). Un régime des vents variables s'installe toutefois ; il bascule du SE au SSO puis vers E atteignant la vitesse de 16,1 m/s à la fin du pas de collecte 003. Cette instabilité, associée à la rémanence des précipitations précédentes, semble avoir influencé les flux des particules dans le prélèvement 003 notamment sous l'influence des vents du secteur S-SO.
- Du 15-18 mars (004) au 16-19 avril (012) – les quantités de MES piégées, les concentrations de Ni et les ratios Ca/Fe n'évoluent que peu entre les 9 premières périodes de collecte restantes. Ces périodes correspondent toutefois à des régimes météorologiques relativement instables avec cumul de précipitations quasi nul à fort (0,6 à 107, 8 mm) et des vents d'intensité modérée à forte ($10,6 \pm 2,5$ à

16,0 ± 1,7 m/s) ainsi que quelques incursions d'alizés (E-S) vers le secteur N ce qui ne semble avoir guère perturbé les flux des particules.

Pour cette campagne, marquée par des conditions hydro-climatiques exceptionnelles (fortes précipitations, vents et cyclone tropical intense HOLA), plusieurs corrélations sont mises en évidence entre le flux des particules et les facteurs météorologiques. A la lumière des observations recueillies lors des études antérieures effectuées avec les données météorologiques de la station IORO et en raison de sa localisation (station située dans un étroit chenal formé entre des récifs enserrant la Baie Kwé et ouvert vers le sud), les différents flux de particules s'organisent comme suit :

- **Origine terrigène** : elle est souvent influencée par l'effet combiné de la direction du vent et sa vitesse. D'après les campagnes précédentes il a été montré que les vents de secteur S-SO d'intensité modérée ont pour effet de remobiliser des particules terrigènes sédimentées ou favoriser l'expansion d'un panache turbide sortant de la rivière Kwé qui est alors confiné en fond de baie (*à contrario*, les vents des secteurs E, N et O ne favorisent pas la formation d'un clapot pour engendrer des remises en suspension). Par ailleurs, le transport des particules jusqu'à la St06-KW1 directement liées aux précipitations dépend étroitement des régimes des vents. En effet, la récente étude de modélisation hydrodynamique (Drouzy, 2016) a démontré que sous l'action d'un alizé modéré (6 m/s) à fort (12 m/s), les panaches terrigènes découlant du Creek de la Baie Kwé, peuvent rester confinés en fond de baie et sur la bordure du platier ouest et n'atteignent qu'épisodiquement le chenal où se situe la station St06-KW1, quelle que soit la couche d'eau considérée. Dans le cas extrême de crues, l'apport intense d'eau douce provoque un « glissement » de la couche moins dense (dessalée) sur la couche plus dense (salée) ; le panache s'étend ainsi en surface très rapidement et atteint une grande partie de la baie épargnant les couches profondes en absence de vents. Le vent et le débit du terme source (rivière Kwé) s'avèrent donc être le forçage physique responsable de l'étalement (horizontal et vertical) du panache. D'après ces observations, l'on peut alors supposer que lors de l'épisode cyclonique du 09 au 10 mars, les intenses précipitations ont conditionné la dispersion horizontale des particules arrachées au bassin versant de Kwé tandis que les alizés supérieurs à 20 m/s ont influé sur le mélange vertical. Inversement, le transport du panache n'a pas été favorisé lors du deuxième épisode pluvieux du 24 mars, probablement en raison des vents E-N qui ne contribueraient pas au déplacement des masses chargées en particules terrigènes à l'emplacement du piège.
- **Origine marine** : elle est favorisée en temps sec par des vents principalement d'un large secteur S (et notamment de SO) qui contribuent au déplacement des masses d'eaux océaniques enrichies en particules carbonatées et en tests de micro-organismes marins, comme les foraminifères. Par ailleurs, les vents de secteur S sont également capables de mettre en suspension les particules grossières par la houle créée, conséquence de l'altération mécanique du platier corallien qui borde la Baie Kwe. Les vents du secteur N, quant à eux, même forts ne contribueraient pas au déplacement des masses d'eaux enrichies en particules carbonatées à la St06-KW1.

Note : Pour mieux caractériser l'effet des précipitations sur les flux verticaux des particules, les apports du creek devraient être inclus dans ces études. En effet, d'après Drouzy (2016), le débit d'eau douce dans la Baie Kwé est un des facteurs les plus influents sur le mélange vertical du panache. L'intensité du débit régit à la fois la distance et la rapidité de dispersion dans l'espace (par poussée mécanique de l'eau) et le mélange de deux masses d'eaux de densités différentes (l'eau salée étant plus dense que l'eau dessalée).

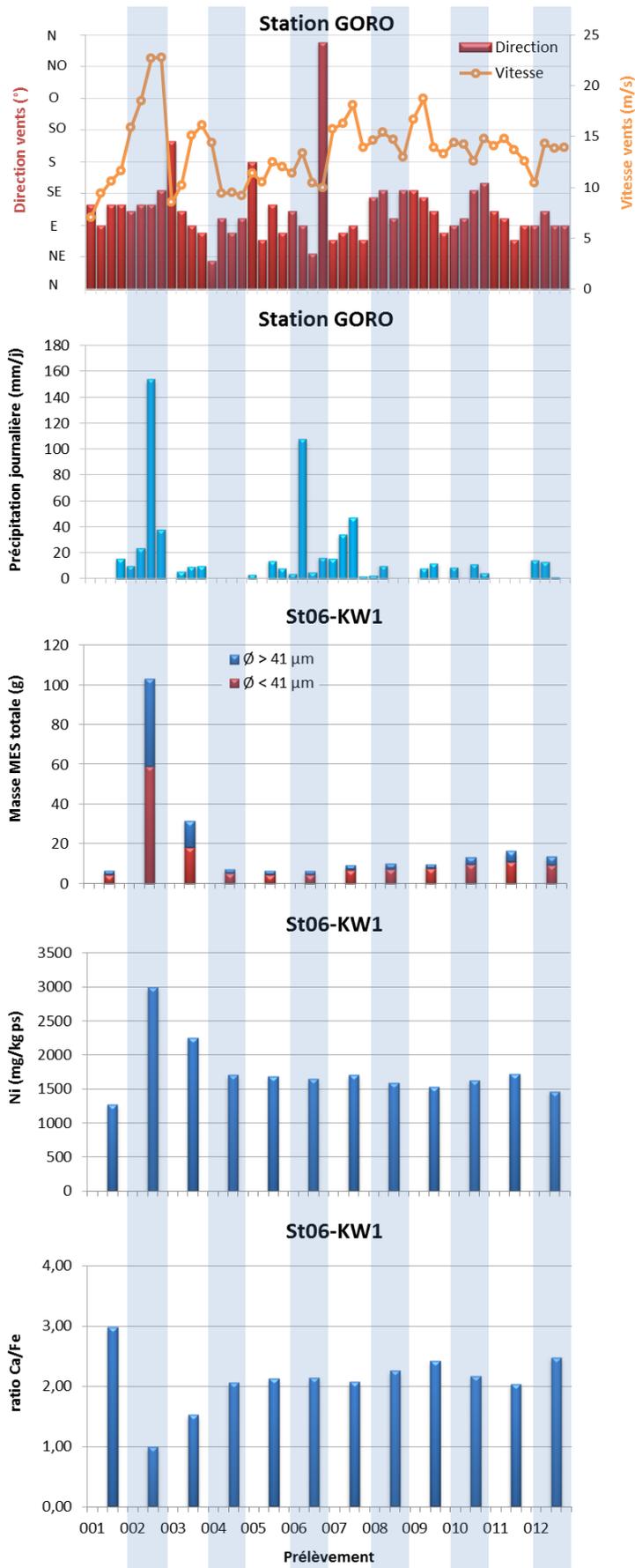


Figure 20 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitations, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et la fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St06-KW1.

2. Rade Nord de Prony (St15)

L'immersion du piège à particules séquentiel à St15 du 03 mars au 19 avril avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 21) :

- Du 03-07 mars (001) au 19-22 mars (005) – le 03-07 mars (001) la quantité de MES piégées est infinitésimale ; contenant peu de matière, les analyses élémentaires n'ont pas pu être effectuées. Puis, les masses s'accroissent subitement le 07-10 mars (002) au niveau maximal. Ensuite, elles diminuent aussitôt pour continuer à décroître jusqu'au 19-22 mars (005) à des quantités infiniment petites. Tandis que les concentrations de Ni évoluent peu, les ratios Ca/Fe quant à eux, évoluent de manière bien contrastée ; la valeur faible du prélèvement 002 augmente progressivement vers les maximales mesurées le 15-17 mars (004) et 19-22 mars (005). Contrairement au prélèvement 002 qui correspond à une période d'intense pluviométrie (cumul de 227,4 mm) suite au passage du cyclone HOLA, les autres collectes correspondent à des précipitations relativement faibles (cumul entre 0,6 et 28,5 mm) associées aux alizés, sauf le 11-14 mars (003) lorsque les vents amorcent dans le sillage du cyclone une rotation au SSO puis à E et les quelques incursions dans le secteur N lors des prélèvements 004 et 005.
- Du 23-26 mars (006) au 16-19 avril (012) – le 23-26 mars (006), le temps agité (cumul de 135 mm) est de retour avec la dépression IRIS, qui perdure jusqu'au pas de collecte suivant 007 (cumul de 101,0 mm). Les vents basculent dans le secteur E à N et s'intensifient ($11,3 \pm 1,5$ et $16,0 \pm 1,7$ m/s, respectivement). La conséquence de cette instabilité est ressentie aussitôt avec une baisse du ratio de Ca/Fe. L'impact sur la quantité de MES piégées, quant à lui, il vient avec une latence lors du prélèvement 007 tandis qu'aucune évolution n'est constatée pour la concentration de Ni. Par la suite jusqu'à la fin de la période de collecte (du 008 au 012) la pluviométrie s'affaiblit (cumul de $< 31,0$ mm) et les vents s'installent dans le secteur des alizés mais restent assez forts ($> 13,1 \pm 1,8$ m/s). Durant ces périodes, les quantités de MES piégées baissent et restent infinitésimales tandis que les concentrations de Ni et les ratios de Ca/Fe demeurent homogènes sauf pour le 16-19 avril (012) où la campagne de prélèvement se termine avec un flux de particules et un ratio de C/Fe en légère hausse.

Pour cette campagne, marquée des conditions hydro-climatiques exceptionnelles (fortes précipitations, vents et cyclone tropical intense HOLA), peu de corrélations entre le flux des particules et les facteurs météorologiques se dégagent. A la lumière des observations recueillies lors des études antérieures et en raison de sa localisation (station située au droit de l'embouchure du Creek de la Rade Nord et en contrebas d'un talus formé d'une couche de sédiment fluide non consolidée) les différents flux de particules peuvent être décrits comme suit :

- **Origine terrigène** : Il est influencé par l'effet combiné de la pluviométrie et la direction du vent et sa vitesse. En raison de sa dimension réduite, la baie du Creek de la Rade Nord reçoit les particules latéritiques entraînées par les précipitations *via* le creek qui y débouche. Le transport de ces particules à l'emplacement du piège est cependant dépendant de l'action des régimes de vents ; d'après les résultats des précédentes campagnes, ceux du secteur SE plaqueraient le panache le long de la ligne de côte nord de la baie. Toutefois, une expansion exceptionnelle du panache, liée au cyclone HOLA et aux phénomènes de lessivage afférents conséquences dues à la pluviométrie abondante, a probablement conduit celui-ci à occuper l'ensemble de la rade, permettant ainsi la collecte d'une quantité importante de MES lors du prélèvement 002. En ce qui concerne les vents du N, ils ne semblent pas non plus propices à l'expansion des panaches turbides vers l'emplacement du piège, comme cela a été constaté pour le prélèvement 006, en dépit des fortes précipitations qui l'ont accompagné. *A contrario*, les vents de SO lors du prélèvement 003 ou E lors des prélèvements 007 et 012 semblent avoir favorisé le transport de ces particules vers le piège. Les forts vents d'un large secteur S (de SO à SE) qui ont souvent soufflé lors de cette campagne peuvent également remettre en suspension les particules légères déposées par faible profondeur (3 m) sur le haut du talus, bien que

l'on n'ait pas pu le distinguer en raison de la forte pluviométrie. Les vents de composante O, quant à eux, ils peuvent remobiliser plus en profondeur les particules moins riches en Ni déposées sur le talus. Caractérisé par la stabilité des concentrations de Ni sur l'ensemble des pas de collecte, le flux de matière terrigène demeure constant pour cette campagne ; la latence de sédimentation des particules fines et/ou la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord expliqueraient ce constat.

- **Origine marine** : en général, cette influence est peu marquée à cette station. En effet, les valeurs de ratios Ca/Fe obtenues sont faibles. La contribution marine, bien que peu évolutive, est principalement engendrée par les vents de secteur N (prélèvement 004-005 et 011-012 par exemple) mais également par les vents d'O faibles à modérés (prélèvement 003) qui apportent des tests carbonatés du large en présence de faible pluviométrie.

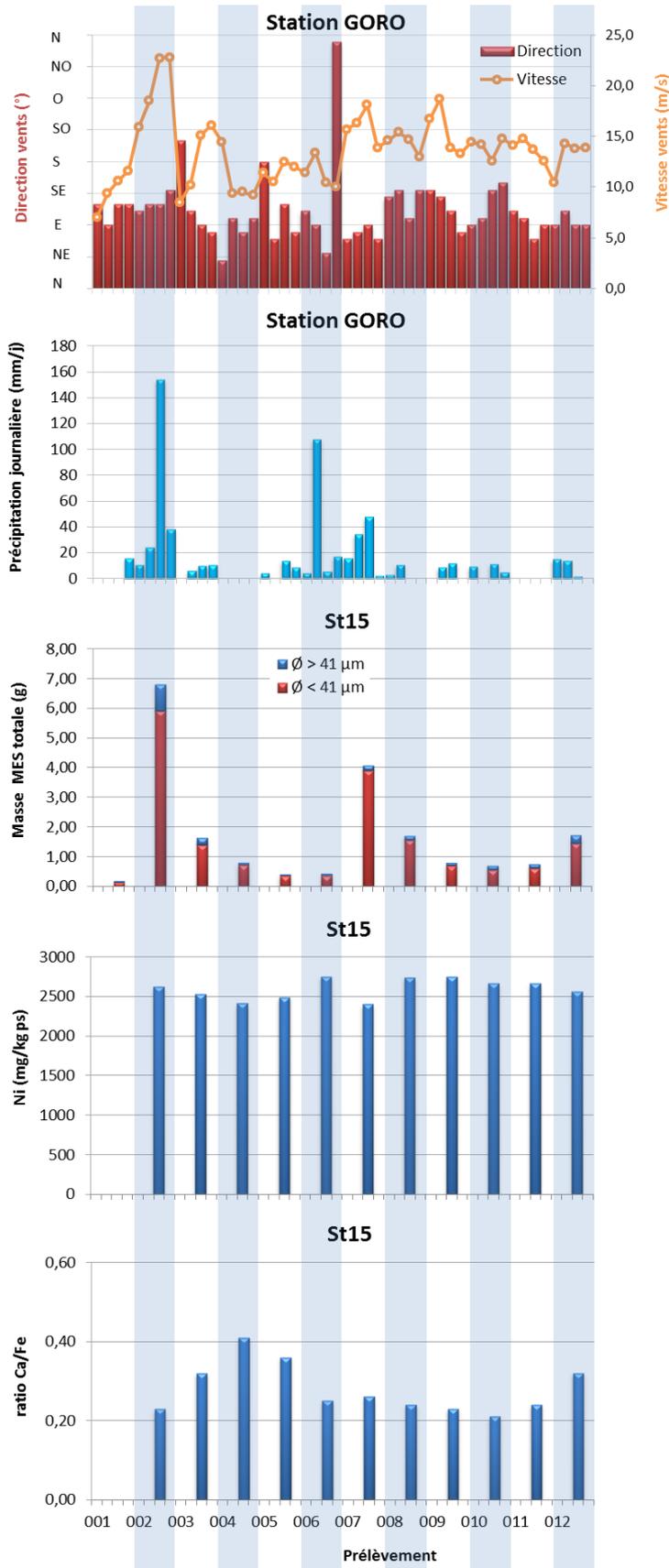


Figure 21 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitations, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) et la fraction grossière ($\phi > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

L'immersion du piège séquentiel à particules à St60-NE du 03 mars au 19 avril, avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 22) :

- Du 03-07 mars (001) au 23-26 mars (006) – en dépit d'une dégradation des conditions météorologiques au passage du cyclone HOLA, la quantité de MES piégée le 08-10 mars (002) s'affaiblit par rapport à celle piégée le 03-07 mars (001). Elle reste négligeable jusqu'au 23-26 mars (006), malgré la dépression IRIS qui pousse les vents vers les secteurs N et provoque des précipitations intenses. Contenant peu de matière, les analyses élémentaires n'ont pas pu être effectuées sur les prélèvements 003 et 004. Pour l'ensemble de cette période de collecte, l'évolution des concentrations en éléments (Ca, Fe et Ni) est à peine perceptible. Le Ni (tout comme Cr et Fe) atteint sa concentration maximale pour les prélèvements 005 et 006 tandis que les masses collectées et les ratios Ca/Fe sont à leur minimum ; les vents du secteur N étant probablement à l'origine du transport de particules à caractère terrigène.
- Du 27-30 mars (007) au 16-19 avril (012) – pour ces 6 derniers pas de collecte, les quantités de MES piégées ont fortement évolué, notamment pour les prélèvements 011 et 012. Comparativement entre les collectes 007 et 008, les évolutions observées pour les concentrations de Ni et des ratios de Ca/Fe sont bien modiques. Lors de ces prélèvements, les conditions météorologiques ont été plus stables que celles de la première moitié. Toutefois, les vents ont gagné en intensité en soufflant à plus de 10 m/s. Après quelques incursions dans le secteur N, à partir du 31 mars-03 avril, (008) les vents alizés s'installent jusqu'à la fin de la période de prélèvement ; ces derniers 4 périodes sont caractérisés par des concentrations en Ni et des ratios Ca/Fe très homogènes. Les importantes quantités de MES observées pour les prélèvements 011 et 012 devraient donc être la conséquence de phénomènes distincts ; les valeurs de Ca/Fe et Ni demeurant constantes, les analyses ne permettent pas de les distinguer clairement.

Peu de corrélation entre le flux des particules et les facteurs météorologiques se dégage ; les flux et la sédimentation des particules à cette station pouvant être régis par d'autres mécanismes tels que les courants de marées. En raison de sa localisation (station située dans le Canal de la Havannah, à 60 m au nord-est de l'émissaire) il est probable que le flux de particules :

- **d'origine terrigène** ne serait pas directement influencé par les précipitations. En effet, en raison de son éloignement à la côte et de l'intense hydrodynamisme régnant dans le Canal, il est peu probable que les particules latéritiques arrachées aux bassins versants par les précipitations puissent être transportées jusqu'à la station St60-NE, sauf cas exceptionnel combinant la pluviométrie et le régime des vents. Dans les conditions cycloniques, malgré les très fortes précipitations, peu de corrélations claires ont pu être établies avec d'éventuels apports terrigènes en raison de la direction SE des vents. Toutefois, lors de cette campagne, les forts vents du N-NE sembleraient être également propices au transfert de matière terrigène à la station St60-NE.
- **d'origine marine** semble, d'après les ratios Ca/Fe obtenus, peu perturbé par des régimes de vents. Toutefois, d'après cette campagne et les précédentes, cette influence serait favorisée par les vents du secteur E à SE qui balayent le complexe système récifal et favorisent la circulation des eaux enrichies en tests de micro-organismes.

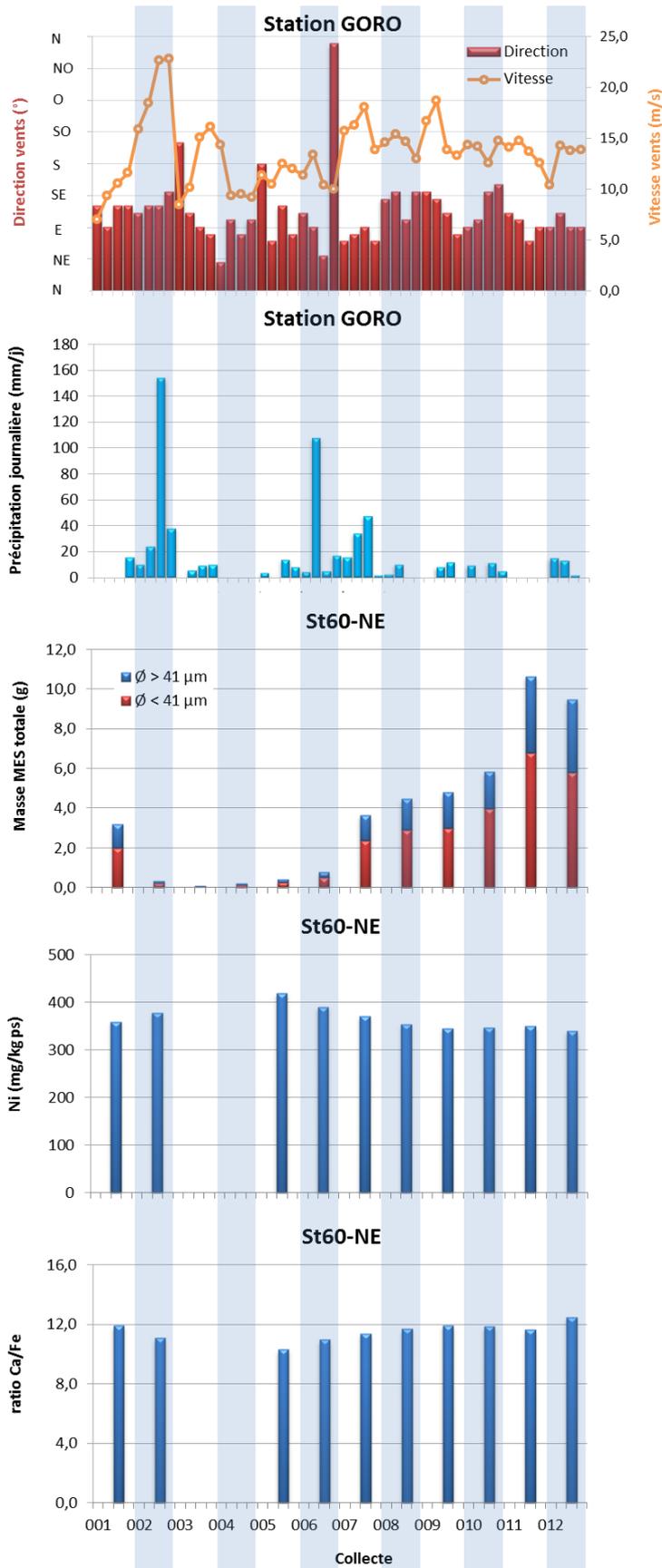


Figure 22 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et la fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St60-NE.

B. CALCUL DES FLUX DES MATIERES

Les valeurs de densité de flux verticaux des MES et des flux métalliques sont regroupées dans l'Annexe 5.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $97,7 \pm 136,6$ g/m²/j, valeur qui est très supérieure à celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux peuvent varier fortement sans montrer une tendance particulière ; la maximale étant mesurée pour cette campagne (Tableau 27). Cette forte densité mesurée est plutôt à mettre en lien avec les vents de $13,6 \pm 3,3$ m/s, une intensité plus haute qu'habituellement, et les fortes précipitations (631,3 mm) de la campagne qui ont généré des panaches turbides. En effet, du fait de l'emplacement de la station St06-KW1, le flux des MES mesuré est directement dépendant de l'effet combiné de la direction du vent, sa vitesse et accessoirement des précipitations. Ceci est mis en évidence par la campagne de janvier-mars 2014 où les 920,2 mm de pluie n'ont pas permis de piéger une densité supérieure que celle de la présente campagne ; les vents pour la campagne en 2014 étant beaucoup plus faibles ($9,3 \pm 4,0$ m/s) n'auraient pas favorisé la formation d'un clapot suffisant pour engendrer des remises en suspension des particules déposées en fond de baie Kwé d'où la valeur inférieure.

Tableau 27 : Compilation des moyennes \pm écart-types des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.

St06-KW1					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m ²)	Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m ²)
Oct. - Nov. 2006	14,6 \pm 7,4	350	Sept - Oct. 2014	11,8 \pm 8,41	569
Mars - Avr. 2007	46,1 \pm 44,7	1 106	Janv. - Mars 2015	66,3 \pm 36,1	3 181
Juil. - Août 2011	27,1 \pm 30,0	1 299	Oct. - Nov. 2015	38,8 \pm 30,5	1 864
Janv. - Mars 2012	39,5 \pm 33,2	1 894	Juil. - Sept. 2016	28,7 \pm 22,9	1 379
Sept. - Oct. 2012	26,4 \pm 13,1	1 267	Oct. - Nov. 2016	18,5 \pm 13,9	886
Janv. - Févr. 2013	46,5 \pm 28,5	2 231	Avr. - Mai 2017	45,3 \pm 40,3	2173
Juil. - Août 2013	58,1 \pm 87,8	2 786	Sept. - Nov. 2017	20,4 \pm 23,0	979
Janv. - Mars 2014	60,7 \pm 34,1	2 914	Mars - Avr. 2018	97,7 \pm 136,6	4690

Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de 225 ± 425 mg ps/m²/j. D'une campagne à l'autre, les valeurs moyennes varient fortement, le flux maximum a été calculé pour juillet-août 2013 (282 ± 626 mg ps/m²/j). Ensuite, les flux en Ni diminuent fortement et ne dépassent pas le seuil de 102 mg ps/m²/j jusqu'à la présente campagne (Figure 23). Il est à noter que les précipitations relevées lors de la campagne de juillet-août 2013 ont été de 467,0 mm contre 631,3 mm pour cette campagne. En dépit d'une plus haute pluviométrie, le flux métallique moyen pour cette campagne demeure comparable à celui de juillet-août 2013.

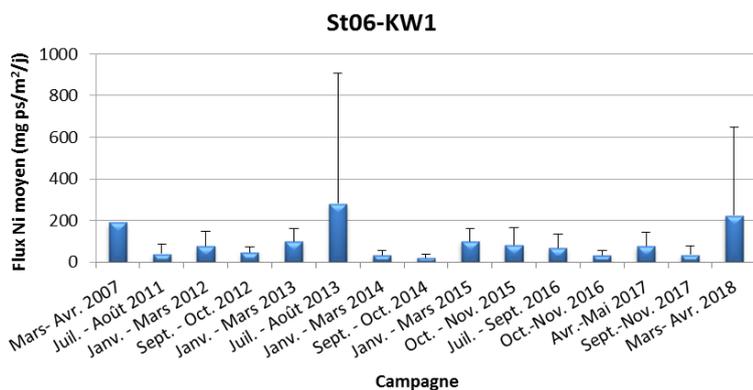


Figure 23 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en nickel dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $8,34 \pm 9,63 \text{ g/m}^2/\text{j}$. Entre les différentes campagnes conduites à St15, les densités moyennes de flux sont aussi variables. Pour cette campagne 2018, la moyenne est environ 8 fois plus élevée que celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence. Il est à noter que la valeur moyenne exceptionnelle de janvier-mars 2014 ($22,2 \pm 44,5 \text{ g/m}^2/\text{j}$) est à mettre en lien avec les précipitations, elles aussi exceptionnelles (920,2 mm) combinées à la faible intensité de vents ($9,3 \pm 4,0 \text{ m/s}$). En comparaison, des densités comparables à celles de mars-avril 2018 ont été mesurées lors des campagnes de mai-juillet 2016 et avril-mai 2017 alors que les précipitations relevées y ont été significativement plus faibles (241,4 et 443,2 mm, respectivement contre 631,2 mm). Ceci dit, ces pluviométries ont été associées aux vents plus faibles ($10,9 \pm 3,1$ et $12,5 \pm 4,2 \text{ m/s}$, respectivement contre $13,6 \pm 3,3 \text{ m/s}$) qui peut expliquer les densités aussi fortes piégées lors de ces deux campagnes précédentes (Tableau 3 ; Tableau 28). En effet, le transport de ces particules lessivées à l'emplacement du piège de cette station est dépendant de l'action des régimes de vents alizés. Avec des vents SE de plus forte intensité le panache serait poussé vers le long de la ligne de côte nord de la baie loin du piège, en dépit de la charge terrigène entraînée par les plus fortes pluies de cette campagne.

Tableau 28 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en matière particulaire total et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

St15					
Campagne	Densités de flux de MES ($\text{g/m}^2/\text{j}$)	Cumul de masse de MES piégés (g/m^2)	Campagne	Densités de flux de MES ($\text{g/m}^2/\text{j}$)	Cumul de masse de MES piégés (g/m^2)
Oct. – Nov. 2006	$1,05 \pm 0,64$	25,2	Mai - Juil. 2016	$8,67 \pm 7,44$	416
Mars - Avr. 2007	$1,55 \pm 1,45$	37,1	Oct. – Nov. 2016	$2,19 \pm 2,48$	105
Janv. - Mars 2014	$22,2 \pm 44,5$	1 063	Avr.- Mai 2017	$8,05 \pm 5,78$	386
Sept. – Oct. 2014	$0,91 \pm 1,23$	43,8	Sept. – Nov. 2017	$5,95 \pm 6,08$	71
Janv. - Mars 2015	$2,78 \pm 2,98$	134	Mars – Avr. 2018	$8,34 \pm 9,63$	400
Juil. - Sept. 2015	$1,31 \pm 1,34$	62,7	-	-	-

- : pas de campagne.

Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de $23,2 \pm 25,2 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$. Entre les campagnes, les valeurs moyennes montrent une très forte variation. Ainsi, en janvier-mars 2014, la valeur moyenne est maximale ($86 \pm 165 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$) puis, elle diminue et demeure en dessous de la valeur de

27,0 mg ps/m²/j. La valeur maximale de 2014 est à relier avec la pluviométrie exceptionnelle de 920,2 mm mesurée lors de la campagne. Comme observé pour les flux de MES, les densités métalliques moyennes obtenues pour les campagnes de mai-juillet 2016, avril-mai 2017 et mars-avril 2018 sont quasi-équivalentes (Figure 24).

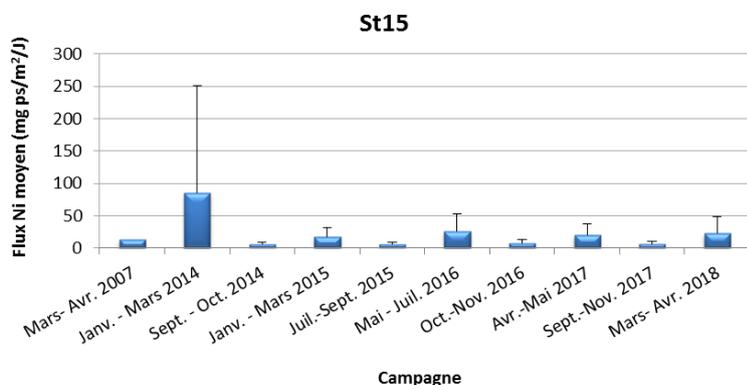


Figure 24 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en nickel dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $18,3 \pm 18,1 \text{ g/m}^2/\text{j}$. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux sont également variables. Les comparaisons montrent que les moyennes obtenues depuis 2012 demeurent inférieures à celle enregistrée en 2007 pour l'état de référence (Tableau 29).

Tableau 29 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

St60-NE					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)	Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)
Févr. - Mars 2007	31,6 ± 40,1	949	Janv. - Mars 2015	16,0 ± 15,6	766
Juil. - Août 2011	ND	ND	Juil. - Sept. 2015	9,88 ± 9,20	474
Janv. - Mar 2012	9,61 ± 8,87	461	Mai - Juil. 2016	17,1 ± 10,2	822
Sept. - Oct. 2012	4,10 ± 5,39	197	Oct. - Nov. 2016	11,1 ± 17,6	535
Janv. - Mars 2013	12,6 ± 13,6	603	Avr. - Mai 2017	15,5 ± 14,2	745
Juil. - Août 2013	5,85 ± 7,09	281	Sept. - Nov. 2017	7,28 ± 6,36	350
Avr. - Juin 2014	7,43 ± 5,05	356	Mars - Avr. 2018	18,3 ± 18,1	897
Sept. - Oct. 2014	8,13 ± 9,08	390			

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Éléments métalliques

Les flux moyens de Ni lors de cette campagne sont de $7,66 \pm 6,10 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$, valeur supérieure à celle obtenue en 2007 lors de l'état de référence. Entre les différentes campagnes, la variation des moyennes est modérée et ne dépasse qu'exceptionnellement la valeur de $5,00 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ (Figure 25).

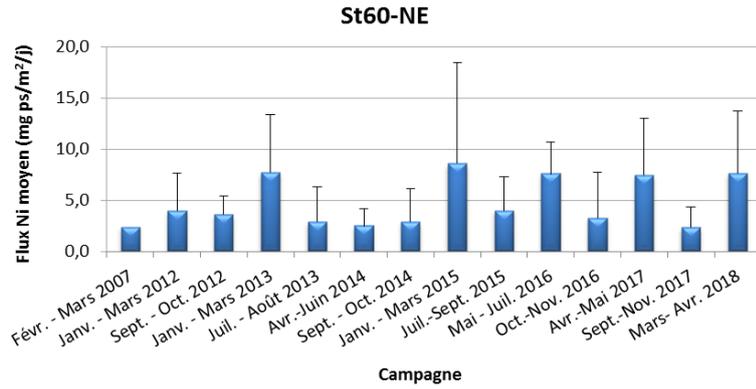


Figure 25 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en nickel dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

V. SYNTHÈSE

La campagne de suivi des densités de flux verticaux de particules du premier semestre de 2018 s'est déroulée du 03 mars au 19 avril aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE avec une ligne de mouillage simple lestée.

Parmi les 3 stations suivies, les observations principales relevées sont les suivantes :

- Les particules terrigènes piégées à la station St06-KW1 proviennent d'une même formation géologique. Comme souvent observées, la quantité et la nature de matière piégée est majoritairement influencée par les variations de direction et vitesse du vent, entraînant des courants et du clapot, et occasionnellement, par l'intensité des précipitations. Par ailleurs, la station subit des influences terrigènes et marines alternées. Globalement, entre 2007 (état de référence) et 2013, la diminution importante du ratio moyen Ca/Fe permet de constater une influence grandissante du terme source terrigène. Cette observation est étayée également par les valeurs moyennes des concentrations en métaux en augmentation. A noter, la campagne de juillet-août 2013 présente à ce jour les concentrations métalliques et la densité du flux en Ni les plus hautes à St06-KW1. Depuis, une stabilisation des apports terrigènes est manifeste. Toutefois, les conditions exceptionnelles de cette campagne 2018, avec une forte pluviométrie et de forts vents omniprésents ont eu des conséquences sur la densité du flux en Ni ; elle constitue la deuxième plus forte valeur mesurée depuis 2007, ce qui est à relier avec la plus forte masse moyenne de MES piégée.
- Les particules terrigènes piégées à la station St15 proviennent probablement de différents termes sources différenciables par les compositions en Mn. Cette observation concorde avec celle relevée à la même station (pour Fe et Mn) lors des campagnes précédentes (Kumar-Roiné *et al.*, 2018). La St15 se trouve donc dans une zone de convergence de plusieurs petits bassins versants où alternent les termes sources des apports terrigènes. Sous des conditions météorologiques exceptionnelles, l'effet combiné des précipitations et de la direction de vents sur la dispersion ou le confinement de la couche turbide issue du Creek, en direction ou à l'opposé de la station de mouillage du piège a partiellement été confirmé. Comme souvent observé, les concentrations en métaux latéritiques (exemple de Ni) restent particulièrement stables entre les pas de prélèvements, ce qui pourrait être expliqué par la latence des phénomènes de sédimentation des particules fines et/ou à la faible dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord. Quant à l'apport marin, très modeste à St15, il semble être favorisé par les vents modérés d'un large secteur N à O qui contribuent au déplacement des particules grossières carbonatées provenant des formations récifales et de tests de micro-organismes en particulier. Depuis 2007 (état de référence), la stabilité des valeurs moyennes du ratio Ca/Fe permet de constater que la forte influence terrigène continue de s'exercer à St15. En effet, les valeurs moyennes des concentrations en métaux obtenues lors de cette campagne sont du même ordre de grandeur qu'en 2007. A noter que la campagne de janvier-mars 2014 présente à ce jour les densités du flux en Ni les plus hautes à St15 ; cette observation est à relier avec la plus forte masse moyenne de MES piégée qui serait la conséquence directe des précipitations exceptionnelles (920,2 mm).
- Les particules terrigènes piégées à St60-NE ne proviennent pas exclusivement, pour cette station, d'un seul terme source et dont l'influence alternerait avec les apports marins. Dans ce système dit « ouvert » où interagissent plusieurs facteurs simultanément, peu, voire aucune corrélation pertinente ne peut être établie entre les paramètres météorologiques et les particules piégées. Il semblerait que l'origine de ces particules latéritiques ne soit pas en lien direct avec le lessivage des sols de la côte sud. Il est également probable que, sous l'effet de vents soutenus, les mécanismes d'érosion de la ligne de côte et du complexe récifal dans son ensemble, contribuent, plus ou moins

directement, à l'alimentation en apports terrigènes et marins. Cependant, en dépit d'une empreinte forte océanique, depuis 2007 (état de référence), les ratios moyens Ca/Fe ont évolué vers des valeurs tendant à prendre en compte une influence grandissante du terme « source terrigène ». Cette observation repose sur les augmentations des valeurs moyennes des concentrations en métaux. Cette hausse semble liée à un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore pertinent d'explicitier (érosion de la côte, contribution des rejets de l'émissaire marin ?). A noter, la campagne de juillet-août 2013 présente à ce jour les concentrations métalliques les plus hautes à St60-NE. Depuis les valeurs semblent se stabiliser. En ce qui concerne les concentrations de Ca et S à St60-NE, aucune trace d'enrichissement anormal n'est discernée permettant de déceler l'influence de l'effluent.

Cette campagne corrobore les observations précédentes établissant une relation entre l'ensemble des conditions météorologiques et les densités de flux verticaux des particules latéritiques entre les pas de prélèvements. Toutefois, les conditions météorologiques particulières associées au cyclone tropical intense HOLA (du 03-11 mars) et aux dépressions tropicales LINDA (du 10-15 mars) et IRIS (du 22 mars au 07 avril) pendant cette campagne ont conduit à des observations à caractère exceptionnel.

REFERENCES

- Achard, R. 2013. Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage : rôle spécifique de la matière organique.
- Bodeï S., Pointeau V. 2009. Bilan de la réactivité géochimique de l'effluent. Modélisation chimie-transport en champs proche du diffuseur. DEN/DTN/SMTM/LMTE/NT/2009/05 (Convention IRD/Goro-Ni n° 1124), 58p.
- CCB 2009 : Convention pour la conservation de la biodiversité (CCB, 2009).
- Chaurrand, P. 2007. Apport de la cristalochimie et de la spéciation du chrome et du vanadium à la modélisation de l'altération de granulats artificiels (sous produits d'aciérie)
- Derex P., Douillet P., Le Gendre R. 2008. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Modèle de transport. Simulation annuelle du rejet. Convention IRD/Goro-Nickel n°1124, 196p.
- Drouzy M., 2016. Modélisation hydrodynamique de la Baie Kwé; Première partie : Simulation de dispersion du panache en conditions forcées. Contrat Vale-NC/AEL 100-VI-16-P, 57p.
- Fernandez JM., Chevillon C., Dolbecq M., Legendre R., Belhandouz A., Lamoureux J.P. 2007. Etat de référence : Distribution superficielle des sédiments, flux sédimentaires et taux d'accumulation dans la Baie du Prony (Rades Nord et Nord-Est) et dans la Baie Kwé. Contrat AEL/Vale-NC n°1230, 55p.
- Fernandez JM., Douillet P., Moreton B., Dolbecq M., Damien P., Le Grand H. 2009. Validation du modèle de transport en phase dissoute par traçage à la rhodamine-WT. Contrat IRD/Vale-NC n° 2131, 152p.
- Fernandez JM., Douillet P., Moreton B., Danès C. 2012. Modélisation hydrodynamique raffinée de la Baie du Prony : maille à 60 m. Rapport AEL, Contrat E29926 / 0001, 205p.
- Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Fernandez JM. 2017. Suivi des densités de flux verticaux des particules dans la Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 2^{eme} semestre 2017. Période de septembre à novembre 2017. Contrat AEL/Vale-NC138-VI-17-P/E98084/0003, 64p.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC (LE TRAIT BLANC REPRESENTE LE DIFFUSEUR).....	10
FIGURE 2 : EMPREINTE TYPE DE L'EFFLUENT PAR MARQUAGE A LA RHODAMINE-WT POUR DES CONDITIONS COURANTOLOGIQUES DE MI-MAREES DE MORTE-EAU (GAUCHE) ET DE VIVE-EAU (DROITE) AU NIVEAU DE LA STATION ST60-SW.	11
FIGURE 3 : CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS ET EVOLUTION DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS (MOYENNE JOURNALIERE) POUR LA PERIODE DU 03 MARS AU 19 AVRIL 2018.	14
FIGURE 4 : PRESENCE DU CYCLONE TROPICAL INTENSE HOLA DANS LES EAUX DE LA NOUVELLE-CALEDONIE DU 08 MARS AU 10 MARS (SOURCE : METEO FRANCE)	14
FIGURE 5 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEE ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	16
FIGURE 6 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	16
FIGURE 7 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	17
FIGURE 8 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	19
FIGURE 9 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.	20
FIGURE 10 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	20
FIGURE 11 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.	21
FIGURE 12 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 11 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	22
FIGURE 13 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	23
FIGURE 14 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	23
FIGURE 15 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	24
FIGURE 16 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	25
FIGURE 17 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 11 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	30
FIGURE 18 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	32
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN SOUFRE MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DE MES COLLECTES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES A ST60-NE.	33
FIGURE 20 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNE JOURNALIERE DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES, LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET LA FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO CA/FE MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST06-KW1.	36

FIGURE 21 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNE JOURNALIERE DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES, LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET LA FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO Ca/Fe MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST15. 39

FIGURE 22 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNE JOURNALIERE DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES, LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET LA FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO Ca/Fe MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST60-NE..... 41

FIGURE 23 : COMPILATION DES MOYENNES \pm ECART-TYPES DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-KW1. 43

FIGURE 24 : COMPILATION DES MOYENNES \pm ECART-TYPES DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST15..... 44

FIGURE 25 : COMPILATION DES MOYENNES \pm ECART-TYPES DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-NE. 45

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC.	9
TABLEAU 2 : DETAIL DE COLLECTE DES ECHANTILLONS PAR LES PIEGES SEQUENTIELS MOUILLES A St06-KW1, St15 ET St60-NE. ...	11
TABLEAU 3 : COMPILATION DES DONNEES METEOROLOGIQUES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DE PIEGES SEQUENTIELS AUX STATIONS St06-KW1, St15 ET St60-NE.....	15
TABLEAU 4 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE LA MES TOTALE, DES POURCENTAGES DE FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1.....	17
TABLEAU 5 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1... ..	18
TABLEAU 6 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.....	18
TABLEAU 7 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE LA MES TOTALE, DU POURCENTAGE DE FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15.	20
TABLEAU 8 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15.	21
TABLEAU 9 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 3 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15.	21
TABLEAU 10 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE LA MES TOTALE, DU POURCENTAGE DE FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE.....	23
TABLEAU 11 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE.	24
TABLEAU 12 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE.	25
TABLEAU 13 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.....	26
TABLEAU 14 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.....	26
TABLEAU 15 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06.	27
TABLEAU 16 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.	28
TABLEAU 17 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A St06-KW1.....	28
TABLEAU 18 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 11 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15.	29
TABLEAU 19 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 11 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15.	29

TABLEAU 20 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15.	29
TABLEAU 21 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A St15.....	30
TABLEAU 22 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE.....	31
TABLEAU 23 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE.....	31
TABLEAU 24 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A St60-NE.	31
TABLEAU 25 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES COLLECTEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A St60-NE.....	32
TABLEAU 26 : COMPILATION DES MOYENNES ± ECART-TYPES DES CONCENTRATIONS EN SOUFRE OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE.	33
TABLEAU 27 : COMPILATION DES MOYENNES ± ECART-TYPES DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTALE ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTALES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-KW1.....	42
TABLEAU 28 : COMPILATION DES MOYENNES ± ECART-TYPES DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTAL ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTALES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15.....	43
TABLEAU 29 : COMPILATION DES MOYENNES ± ECART-TYPES DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTALE ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTALES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE.....	44

ANNEXES

ANNEXE 1.....	54
ANNEXE 2.....	55
ANNEXE 3.....	56
ANNEXE 4.....	62
ANNEXE 5.....	64

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

IMMERSION DES PIEGES A SEDIMENT SEQUENTIELS

Les flux verticaux de particules apportées par le réseau hydrologique sont estimés par collecte de séries temporelles d'échantillons de matière en suspension (MES). Cette opération est assurée par le déploiement de pièges à particules de type séquentiel de 0,05 m² de section efficace (Technicap, type PPS4/3) qui sont grésés sur une ligne de mouillage. La collecte séquentielle est réalisée avec un pas de temps programmé de 96 heures (4 jours), soit un total de 12 échantillons pour 48 jours. Une fois réceptionnés au laboratoire, les prélèvements de MES sont séchés, conditionnés puis conservés dans des sachets à usage unique.

TAMISAGE

Les MES piégées sont tamisées afin de séparer la fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) de la fraction grossière ($\emptyset > 41 \mu\text{m}$). Les analyses suivantes sont effectuées uniquement sur les fractions fines.

TENEUR EN CARBONATE

La teneur en carbonates est calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations de Ca et Mg établies en mg/kg après attaque totale (fusion alcaline) des fractions fines ($\emptyset < 41\mu\text{m}$) de MES.

GRANULOMETRIE

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est réalisée sur quatre échantillons de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) par granulométrie laser (Malvern master Sizer 2000). La granulométrie laser est réalisée à l'Université de Nouvelle-Calédonie.

MINERALOGIE

Les déterminations minéralogiques sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur quatre échantillons de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$). Cette analyse a été confiée à l'Université Pierre et Marie Curie en France.

DOSAGE ELEMENTAIRE

Le dosage élémentaire, nécessaire pour le suivi des flux de polluants, est réalisé par la méthode dite « minéralisation eau régale ». Les échantillons de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) sont attaqués avec de l'acide à haute température en conditions hyperbares. Le Ca, Mg, S et 5 métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) sont analysés par ICP-OES. Des échantillons de référence (MESS-3 et PACS-2) ont été attaqués selon le même protocole pour la validation des résultats de mesures.

DOSAGE DES HCT

L'analyse des hydrocarbures totaux est effectuée sur le sédiment brut par la norme NF EN ISO 9377-2. Ce dosage n'a pas pu être conduit en raison du manque de masse récoltée dans les godets des pièges séquentiels à particules.

EVALUATION DES FLUX DE MES

Une fois les MES caractérisées, les influences terrigène et marine (ratio de Ca/Fe) ainsi que les flux sont estimés (g/m²/j) et confrontés aux différents régimes météorologiques.

ANNEXE 2

VARIABLES METEOROLOGIQUES

Valeurs journalières des paramètres météorologiques (cumul de précipitations et moyenne de vitesse et direction de vents maximales instantanées) collectées par la station météorologique « GORO ».

Prélèvement	GORO					Prélèvement	GORO				
	Date	RR	FXI	DXI	Régime		Date	RR	FXI	DXI	Régime
1	03/03/2018	0,0	7,0	120	ESE	7	27/03/2018	16,0	15,7	70	ENE
	04/03/2018	0,0	9,4	90	E		28/03/2018	34,7	16,3	80	E
	05/03/2018	0,0	10,6	120	ESE		29/03/2018	47,9	18,1	90	E
	06/03/2018	16,0	11,6	120	ESE		30/03/2018	2,4	13,9	70	ENE
2	07/03/2018	10,7	15,9	110	ESE	8	31/03/2018	3,0	14,6	130	SE
	08/03/2018	24,4	18,5	120	ESE		01/04/2018	10,6	15,4	140	SE
	09/03/2018	153,8	22,7	120	ESE		02/04/2018	0,4	14,7	100	E
	10/03/2018	38,5	22,8	140	SE		03/04/2018	0,0	13,0	140	SE
3	11/03/2018	0,2	8,5	210	SSO	9	04/04/2018	0,2	16,7	140	SE
	12/03/2018	6,2	10,2	110	ESE		05/04/2018	8,7	18,7	130	SE
	13/03/2018	10,1	15,1	90	E		06/04/2018	12,4	13,9	110	ESE
	14/03/2018	10,6	16,1	80	E		07/04/2018	0,8	13,3	80	E
4	15/03/2018	0,6	14,4	40	NE	10	08/04/2018	9,7	14,4	90	E
	16/03/2018	0,0	9,4	100	ESE		09/04/2018	1,4	14,2	100	ESE
	17/03/2018	0,0	9,5	80	E		10/04/2018	11,8	12,6	140	SE
	18/03/2018	0,0	9,2	100	E		11/04/2018	5,2	14,8	150	SSE
5	19/03/2018	4,2	11,4	180	S	11	12/04/2018	0,2	14,1	110	ESE
	20/03/2018	1,4	10,5	70	ENE		13/04/2018	0,0	14,8	100	ESE
	21/03/2018	14,2	12,5	120	ESE		14/04/2018	0,2	13,7	70	ENE
	22/03/2018	8,7	12,0	80	E		15/04/2018	0,0	12,6	90	E
6	23/03/2018	4,6	11,4	110	ESE	12	16/04/2018	15,2	10,4	90	E
	24/03/2018	107,8	13,4	90	E		17/04/2018	13,8	14,3	110	ESE
	25/03/2018	5,5	10,4	50	NE		18/04/2018	2,0	13,8	90	E
	26/03/2018	17,1	10,0	350	N		19/04/2018	0,0	13,9	90	E

ANNEXE 3

CARACTERISATION DES MES

Masse de MES collectées à St06-KW1, St15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

Période de collecte	Prélèvement	St06-KW1	St15	St60-NE
		Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)
03 Mars - 06 Mars.	001	6,65	0,20	3,19
07 Mars - 10 Mars	002	103	6,81	0,35
11 Mars - 14 Mars	003	31,7	1,63	0,09
15 Mars - 18 Mars	004	7,17	0,80	0,24
19 Mars - 22 Mars	005	6,40	0,41	0,42
23 Mars - 26 Mars	006	6,43	0,43	0,79
27 Mars - 30 Mars	007	9,31	4,08	3,65
31 Mars -03 Avr.	008	10,2	1,70	4,47
04 Avr. - 07 Avr.	009	9,72	0,79	4,79
08 Avr. - 11 Avr.	010	13,4	0,70	5,84
12 Avr. - 15 Avr.	011	16,4	0,75	10,7
16 Avr. - 19 Avr.	012	13,8	1,72	9,48

Teneurs en carbonates des fractions fines de MES collectées à St06-KW1, St15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

Période de collecte	Prélèvement	St06-KW1	St15	St60-NE
		% CO3 total	% CO3 total	% CO3 total
03 Mars - 06 Mars.	001	67	ND	79
07 Mars - 10 Mars	002	49	16	76
11 Mars - 14 Mars	003	58	21	ND
15 Mars - 18 Mars	004	62	25	ND
19 Mars - 22 Mars	005	61	22	77
23 Mars - 26 Mars	006	63	18	75
27 Mars - 30 Mars	007	63	16	76
31 Mars -03 Avr.	008	64	17	77
04 Avr. - 07 Avr.	009	66	17	76
08 Avr. - 11 Avr.	010	62	15	76
12 Avr. - 15 Avr.	011	62	17	75
16 Avr. - 19 Avr.	012	65	21	78

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.

Composition granulométrique des fractions fines de MES collectées à St06-KW1 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

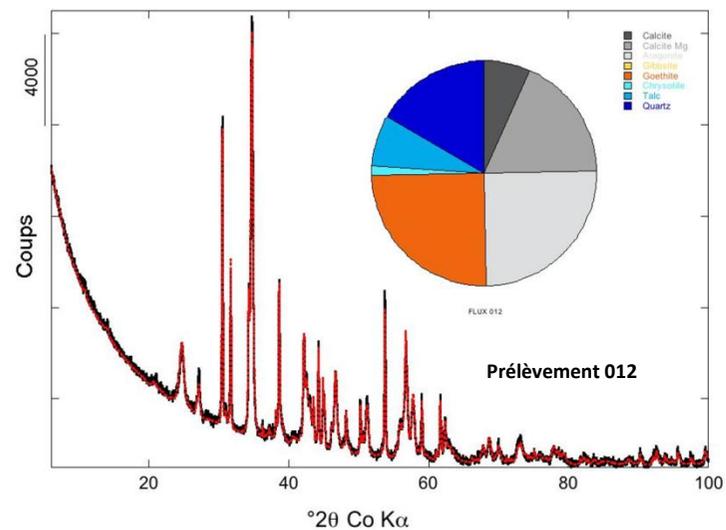
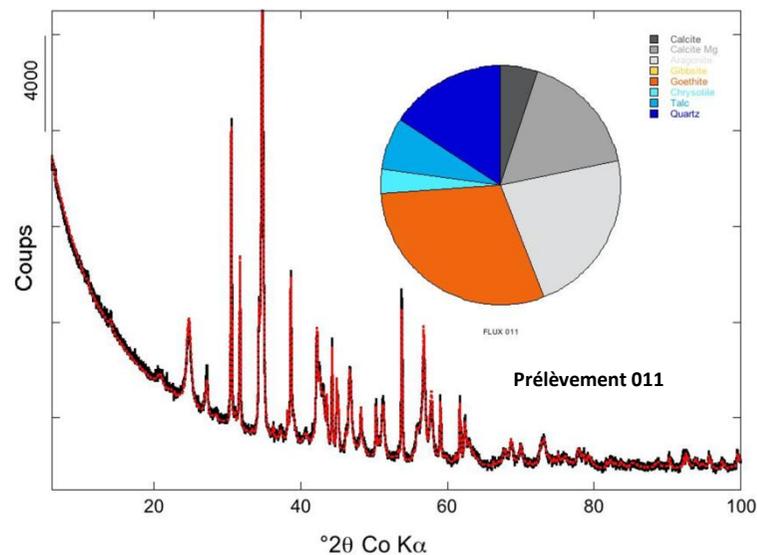
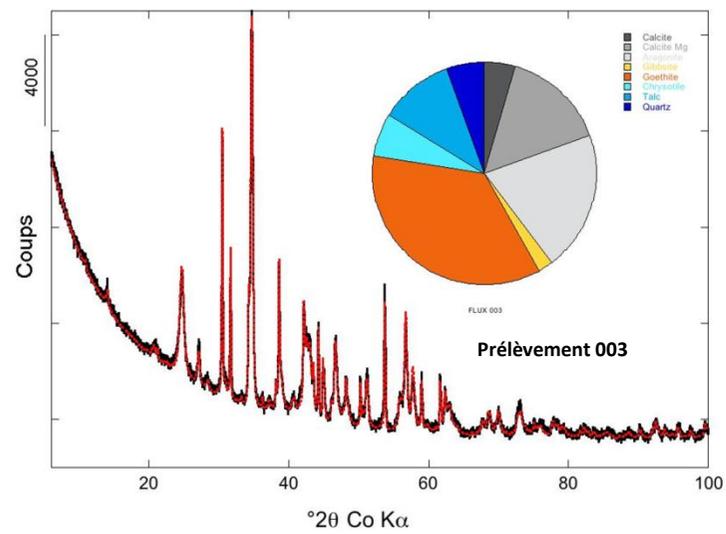
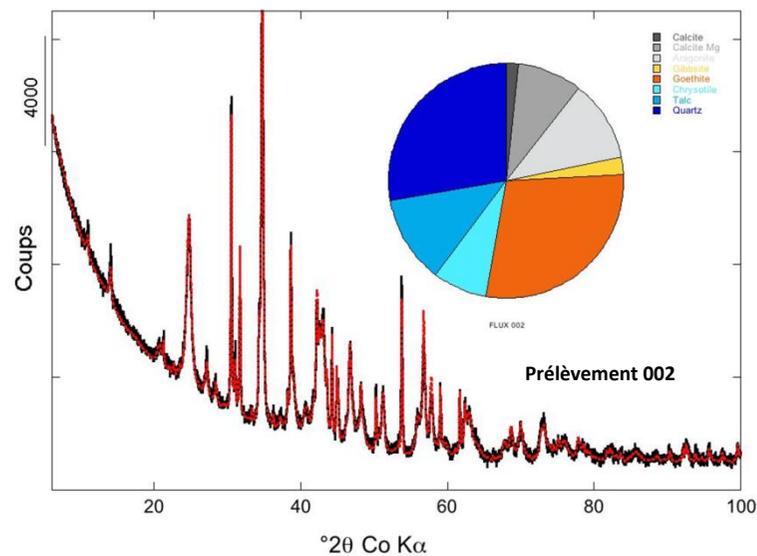
St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
07 Mars - 10 Mars	002	5	38	32	9	7	9	1
11 Mars - 14 Mars	003	5	38	34	9	7	6	0
12 Avr. - 15 Avr.	011	4	40	36	9	6	4	0
16 Avr. - 19 Avr.	012	4	38	36	10	7	5	0

St15								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
07 Mars - 10 Mars	002	8	50	29	6	4	2	0
27 Mars - 30 Mars	007	10	54	27	5	3	1	0
31 Mars -03 Avr.	008	9	53	27	6	3	1	0
16 Avr. - 19 Avr.	012	9	52	27	6	4	1	0

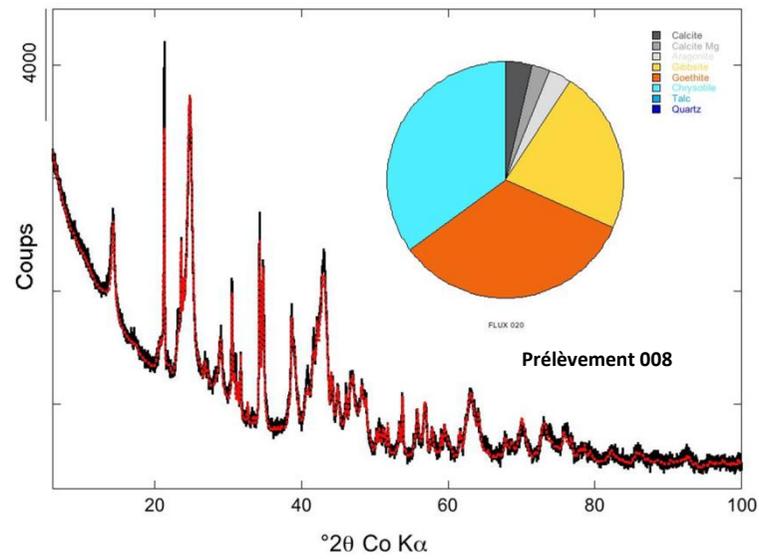
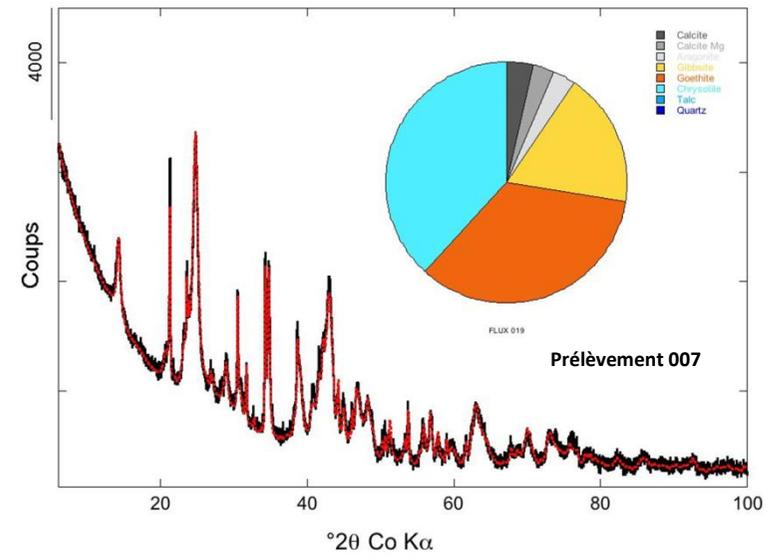
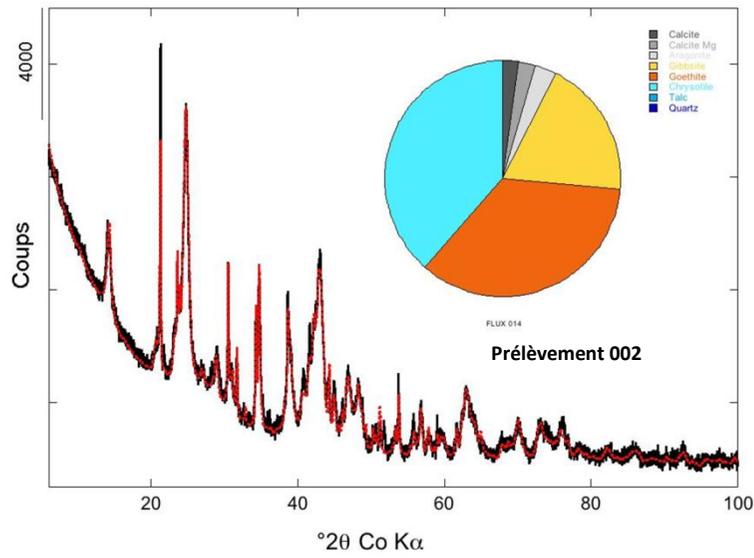
St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
03 Mars - 06 Mars.	001	4	36	38	10	7	4	0
08 Avr. - 11 Avr.	010	5	39	37	10	6	4	0
12 Avr. - 15 Avr.	011	5	39	36	9	7	4	0
16 Avr. - 19 Avr.	012	5	44	33	8	6	4	0

Composition minéralogique des fractions fines de MES collectées à St06-KW1, ST15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

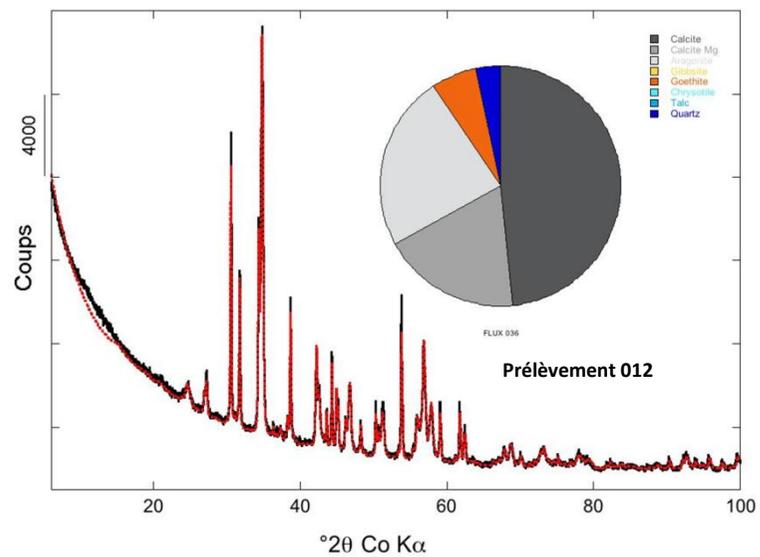
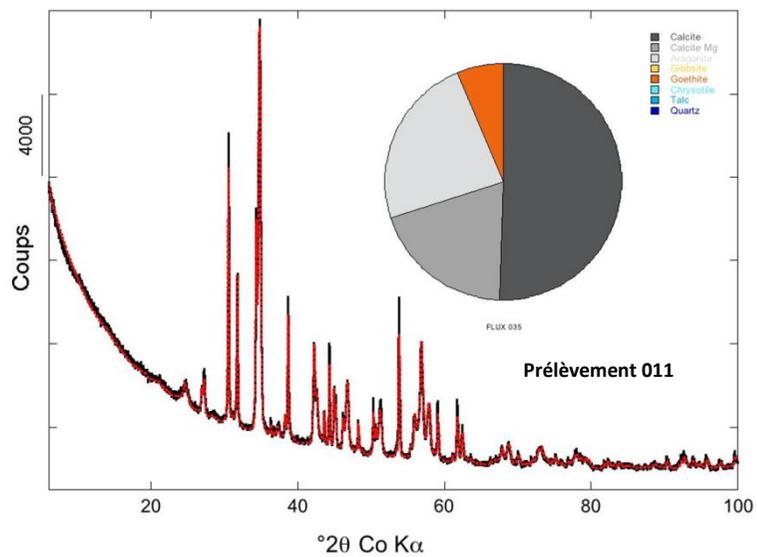
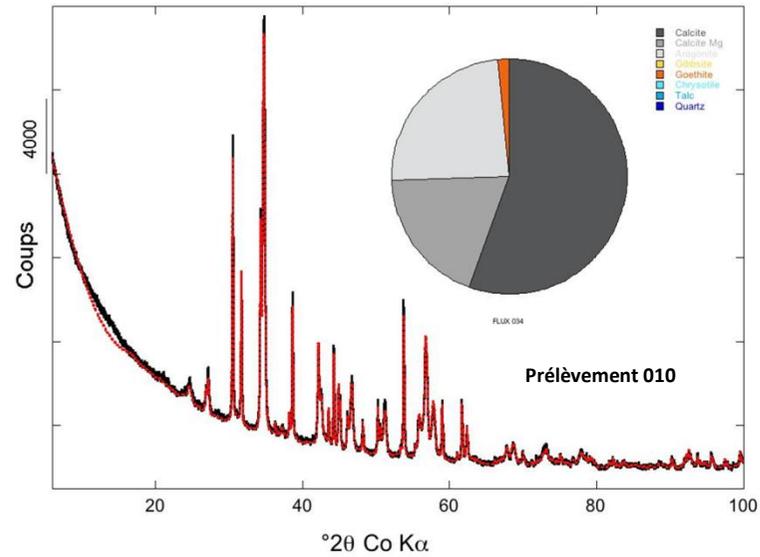
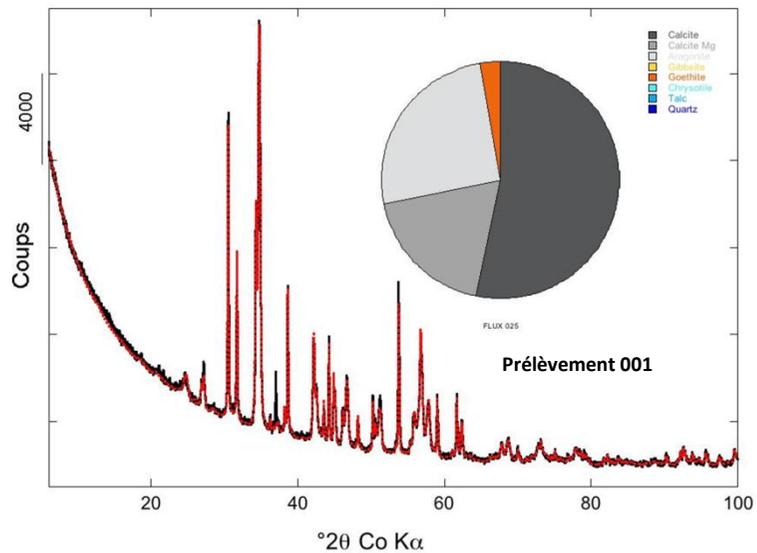
St06-KW1



St15



St60-NE



ANNEXE 4

COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MES

Concentrations en métaux totaux et en calcium dans les fractions fines de MES collectées à St06-KW1 et St15 par le piège séquentiel à particules.

St06-KW1							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
03 Mars - 06 Mars.	001	248 595	64,0	2 437	83 357	522	1 266
07 Mars - 10 Mars	002	176 704	146	5 310	177 612	1 339	2 995
11 Mars - 14 Mars	003	211 945	112	4 067	139 103	992	2 253
15 Mars - 18 Mars	004	229 336	83,0	3 170	111 507	741	1 704
19 Mars - 22 Mars	005	226 861	82,0	3 137	106 736	736	1 689
23 Mars - 26 Mars	006	231 904	78,0	3 064	108 404	691	1 648
27 Mars - 30 Mars	007	232 333	81,0	3 186	111 532	765	1 703
31 Mars -03 Avr.	008	237 755	78,0	2 960	105 162	730	1 585
04 Avr. - 07 Avr.	009	245 928	76,0	2 899	101 534	675	1 528
08 Avr. - 11 Avr.	010	230 581	80,0	3 089	106 377	756	1 632
12 Avr. - 15 Avr.	011	230 926	87,0	3 240	112 984	797	1 724
16 Avr. - 19 Avr.	012	241 739	73,0	2 784	97 331	655	1 462

St15							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
03 Mars - 06 Mars.	001	ND	ND	ND	ND	ND	ND
07 Mars - 10 Mars	002	52 939	218	7 980	226 018	2 300	2 623
11 Mars - 14 Mars	003	71 195	234	7 691	219 382	2 084	2 525
15 Mars - 18 Mars	004	84 946	201	7 046	206 299	1 659	2 413
19 Mars - 22 Mars	005	74 744	206	7 250	208 069	1 774	2 492
23 Mars - 26 Mars	006	59 926	210	8 483	237 556	2 158	2 751
27 Mars - 30 Mars	007	55 325	176	7 708	210 744	1 809	2 400
31 Mars -03 Avr.	008	54 771	197	8 720	231 567	1 961	2 742
04 Avr. - 07 Avr.	009	55 776	208	8 569	242 115	2 097	2 754
08 Avr. - 11 Avr.	010	51 145	204	8 441	240 753	2 055	2 665
12 Avr. - 15 Avr.	011	55 445	208	8 362	232 996	2 002	2 663
16 Avr. - 19 Avr.	012	71 923	199	7 797	225 331	2 088	2 562

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.

Concentrations en métaux totaux, calcium et en soufre dans les fractions fines de MES collectées à St60-NE par le piège séquentiel à particules.

St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)						
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	S
03 Mars - 06 Mars.	001	298 150	22,0	621	25 009	191	359	3 891
07 Mars - 10 Mars	002	284 927	24,0	629	25 721	333	378	3 091
11 Mars - 14 Mars	003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15 Mars - 18 Mars	004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19 Mars - 22 Mars	005	288 938	25,0	702	28 004	208	419	2 851
23 Mars - 26 Mars	006	281 578	24,0	665	25 658	187	390	2 890
27 Mars - 30 Mars	007	284 730	24,0	634	25 060	215	370	3 318
31 Mars -03 Avr.	008	289 255	23,0	606	24 720	199	354	3 334
04 Avr. - 07 Avr.	009	285 443	22,0	586	23 915	200	345	3 248
08 Avr. - 11 Avr.	010	286 550	23,0	600	24 179	212	347	3 177
12 Avr. - 15 Avr.	011	282 210	23,0	595	24 251	232	350	3 793
16 Avr. - 19 Avr.	012	291 634	23,0	573	23 408	217	339	3 656

ANNEXE 5

VALEURS DE DENSITE DE FLUX DE MES ET DE FLUX DES ELEMENTS PARTICULAIRES

Flux de MES total et flux de métaux et de calcium particulaires dans les MES à St06-KW1, St15 et St60-NE.

St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m ² /j)	Flux élémentaire (mg ps/m ² /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
03 Mars - 06 Mars.	001	33,3	8 266	2,13	81	2 772	17,4	42,1
07 Mars - 10 Mars	002	517	91 329	75,5	2 744	91 799	692	1 548
11 Mars - 14 Mars	003	158	33 540	17,7	644	22 013	157	357
15 Mars - 18 Mars	004	35,9	8 222	2,98	114	3 998	26,6	61,1
19 Mars - 22 Mars	005	32,0	7 260	2,62	100	3 416	23,6	54,0
23 Mars - 26 Mars	006	32,2	7 456	2,51	98,5	3 485	22,2	53,0
27 Mars - 30 Mars	007	46,6	10 815	3,77	148	5 192	35,6	79,3
31 Mars -03 Avr.	008	51,2	12 173	3,99	152	5 384	37,4	81,2
04 Avr. - 07 Avr.	009	48,6	11 952	3,69	141	4 935	32,8	74,3
08 Avr. - 11 Avr.	010	66,8	15 391	5,34	206	7 101	50,5	109
12 Avr. - 15 Avr.	011	82,1	18 959	7,14	266	9 276	65,4	142
16 Avr. - 19 Avr.	012	68,9	16 644	5,03	192	6 701	45,1	101

St15								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m ² /j)	Flux élémentaire (mg ps/m ² /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
03 Mars - 06 Mars.	001	1,00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
07 Mars - 10 Mars	002	34,1	1 803	7,42	272	7 696	78,3	89,3
11 Mars - 14 Mars	003	8,15	580	1,91	62,7	1 788	17,0	20,6
15 Mars - 18 Mars	004	4,00	340	0,80	28,2	825	6,64	9,65
19 Mars - 22 Mars	005	2,05	153	0,42	14,9	427	3,64	5,11
23 Mars - 26 Mars	006	2,15	129	0,45	18,2	511	4,64	5,91
27 Mars - 30 Mars	007	20,4	1 129	3,59	157	4 299	36,9	49,0
31 Mars -03 Avr.	008	8,50	466	1,67	74,1	1 968	16,7	23,3
04 Avr. - 07 Avr.	009	3,95	220	0,82	33,8	956	8,28	10,9
08 Avr. - 11 Avr.	010	3,50	179	0,71	29,5	843	7,19	9,33
12 Avr. - 15 Avr.	011	3,75	208	0,78	31,4	874	7,51	9,99
16 Avr. - 19 Avr.	012	8,60	619	1,71	67,1	1 938	18,0	22,0

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.

St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m ² /j)	Flux élémentaire (mg ps/m ² /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
03 Mars - 06 Mars.	001	16,0	4 755	0,35	9,90	399	3,05	5,73
07 Mars - 10 Mars	002	1,75	499	0,04	1,10	45	0,58	0,66
11 Mars - 14 Mars	003	0,45	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15 Mars - 18 Mars	004	1,20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19 Mars - 22 Mars	005	2,10	607	0,05	1,47	59	0,44	0,88
23 Mars - 26 Mars	006	3,95	1 112	0,09	2,63	101,3	0,74	1,54
27 Mars - 30 Mars	007	18,3	5 196	0,44	11,57	457,3	3,92	6,75
31 Mars -03 Avr.	008	22,4	6 465	0,51	13,54	552	4,45	7,91
04 Avr. - 07 Avr.	009	24,0	6 836	0,53	14,03	573	4,79	8,26
08 Avr. - 11 Avr.	010	29,2	8 367	0,67	17,52	706	6,19	10,13
12 Avr. - 15 Avr.	011	53,3	15 028	1,22	31,68	1291,4	12,35	18,64
16 Avr. - 19 Avr.	012	47,4	13 823	1,09	27,2	1110	10,29	16,07

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.

ANNEXE V**ABREVIATIONS ET ACRONYMES**

ACREM	Association Calédonienne de Recherche en Environnement
ANOVA	Analysis Of Variance", ou "Analyse de la Variance".
CCCE...	Comité Consultatif Coutumier Environnemental
CICS	Comité d'Information, de Concertation et de Surveillance
CNRT....	Centre National de Recherche Technologique
DENV	Diecton de l'Environnement de la Province Sud
DIPMENC	Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie
F0 95	Seuil de confiance choisi 5%, le choix du risque est de 5%, l'hypothèse est vérifiée à 95%
ICPE	...Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
INERIS	Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels
HO	Hypothèse O, ici hypothèse d'homogénéité, elle sera acceptée ou rejeté par le test statistique
LIT	Ligne Intercept Transect (ruban ou couloir formant une ligne de longueur donnée)
ONGOrganisations non gouvernementales
NE	Nord -est
NW	Nord –ouest
SE	Sud-est
ST	Station fixe de suivi des écosystèmes marins, matérialisée au fond de l'eau par des piquets
St	Point de prélèvement d'un échantillon d'eau de mer
SW	Sud-ouest
TLV	Transect à longueur variable
μ	0,000 001 ou micro

PARAMÈTRES

Ag	Argent
Al	Aluminium
As	Arsenic
B	Bore
Ba	Baryum
Be	Béryllium
Bi	Bismuth
Ca	Calcium
CaCO3	Carbonates de calcium
Cd	Cadmium
Cl	Chlore
Co	Cobalt
COT	Carbone organique total
Cr	Chrome
CrVI	Chrome VI
Cu	Cuivre
DBO5	Demande biologique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
F	Fluor
Fe	Fer
FeII	Fer II
HT	Hydrocarbures totaux
K	Potassium
Li	Lithium
MES	Matières en suspension
MEST	Matières en suspension totales
Mg	Magnésium

Mn	Manganèse
Mo	Molybdène
Na	Sodium
NB	Nota bene
NH3	Ammonium
Ni	Nickel
NO2	Nitrites
NO3	Nitrates
NT	Azote total
P	Phosphore
Pb	Plomb
pH	Potentiel hydrogène
PO4	Phosphates
S	Soufre
Sb	Antimoine
Se	Sélénium
Si	Silice
SiO2	Oxyde de silicium
Sn	Etain
SO4	Sulfates
Sr	Strontium
T°	Température
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
Te	Tellure
Th	Thorium
Ti	Titane
Tl	Thallium
U	Uranium
V	Vanadium
WJ	Wadjana
Zn	Zinc