



Suivi environnemental Premier semestre 2016

MILIEU MARIN



L'intégralité du présent rapport, en ce 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.....	3
1.1. LOCALISATION.....	3
1.1.1. Positionnement global des stations des suivis du milieu marin Vale NC.....	3
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)	4
1.1.3. Stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées (Stations ST).....	6
1.1.4. Stations de suivi de la biodisponibilité des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines (<i>Le caging</i>).	9
1.1.5. Points de suivi des sédiments – qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures (Stations : St)	11
1.1.6. Points de suivi du taux d'accumulation sédimentaire	12
1.1.7. Points de suivi des flux sédimentaires.....	12
1.2. INDICATEURS SUIVIS	14
1.3. METHODES	21
1.4. RENDUS SEMESTRIELS.....	21
2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLES A DATE DE CE RAPPORT	22
2.1. SYNTHESE DES SUIVIS DU MILIEU MARIN EFFECTUES EN 2016	23
2.2. CARTOGRAPHIE : PRESSIONS ET ZONE D'INFLUENCE ET DE SUIVIS	24
3. RESULTATS (PREMIER SEMESTRE 2016).....	28
3.1. VALEURS REGLEMENTAIRES ET ETATS DE REFERENCES	28
3.2. VALEURS OBTENUES (PREMIER SEMESTRE 2016).....	33
3.2.1. Météorologie	33
3.2.2. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer	36
3.2.2.1. Contrôle QUALITE.....	38
3.2.2.2. RESULTATS S1 /2016	38
3.2.2.3. Analyse temporelle des fluctuations des paramètres	56
3.2.3. Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées	68
3.2.3.1. Rappels des événements météorologiques d'influence sur les écosystèmes	69
3.2.3.2. Bilan des observations par station suivie (Premier semestre 2016).....	70
3.2.3.3. Comparaisons spatiales des stations entre elles au temps t de la mission	73
3.2.3.4. Analyse de l'évolution temporelle au cours des années de suivis, depuis 2007	82
3.2.4. Suivi des bio-indicateurs transplantés (le caging)	91
3.2.5. Suivi des flux sédimentaires	92
3.2.6. Suivi spécifique dédié au port de Prony (St16). Qualité de l'eau et sédiments	93
3.2.7. Suivi des taux de sédimentation (triennal)	94
3.2.8. Suivi de la qualité des sédiments triennal)	95
3.2.9. Evaluation et conséquences des incidents	95
4. CONCLUSION.....	96
5. INTERPRETATION ET DISCUSSION.....	97

Annexes

Annexes	Rapports intégraux	S1	
Annexe 1	Méthodologies des suivis, liste restreinte des poissons faisant l'objet du suivi ichtyologique selon le plan de suivi conventionnel CCB et catégories de substrats.	Annexes Intégrées au rapport S1/2016	
Annexe 2	Rapport S1/ 2016 : Suivi environnemental de la qualité de la colonne d'eau de mer (AEL) <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 		
Annexe 3	Rapport S1/ 2016 : Suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah S1/2016 (Rapport intégral Aquaterra / Acrem / Biocenose-) Données brutes en fin de rapport. <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 		
Annexe 4	Rapport S1et S2 / 2016 : Les flux sédimentaires.		
Annexe 5	Rapport 2016 : Transplantation de bivalves ou « caging ». Suivi de la bio accumulation.		Pas d'annexe pour ce semestre.
Annexe 6	Rapports : Qualité des sédiments et le Taux de sédimentation en milieu marin. Suivi triennal.		Annexes Intégrées dans le rapport annuel de fin 2016
Annexe 7	Rapport : Port de Prony (station St16) Suivis renforcés dédiés au port. Annexe 7a Qualité de l'eau au port de Prony 2016 Annexe 7b Qualité des sédiments au port de Prony 2016		
Annexe 8	Abréviations et acronymes.		Intégrée dans le rapport S1/2016

2015

INTRODUCTION

La surveillance du milieu marin dans la zone d'influence du projet Vale NC et les zones témoins s'effectue 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 ;**
- **Bio-indicateurs de la bio- disponibilité des métaux dans l'environnement par leur accumulation dans des bivalves élevés en cages et positionnés sur les zones de pression + témoins;**
- **Indicateurs physico-chimiques des sédiments marins :**
 - **géochimie,**
 - **flux,**
 - **taux de sédimentation.**

Cette surveillance concerne le périmètre d'influence potentielle de Vale NC et au-delà. Elle a été élaborée par les autorités de tutelles et leurs conseillers scientifiques à partir de plusieurs années d'études océanographiques, selon une démarche basée sur les études d'impacts et les pressions exercées par l'ensemble des activités de Vale NC sur son environnement. Elle s'effectue au niveau de stations sous-marines et points de prélèvements selon les prescriptions réglementaires des arrêtés d'autorisation d'exploiter ICPE et de la Convention CCB- 2009 fixant les modalités de mise en œuvre de la démarche pour la conservation de la biodiversité, entre la Province Sud et Vale Nouvelle-Calédonie.

- Arrêté ICPE : Installations portuaires. 13 juillet 2007.

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

- CCB : Convention Province Sud – Vale Nouvelle-Calédonie du 20 mars 2009 (Convention CCB n° C238-09)

Guide de lecture de ce rapport Bilan Semestriel

Chapitres

- Plan de suivi : Méthodologies d'acquisition et de traitement des données : **Bordure bleue** |
- Données disponibles à date du rapport présent : **Bordure jaune** |
- Résultats du premier semestre et de l'année 2015 : **Bordure verte** |
- Conclusion : **Bordure noire** |

Les « plus » supplémentaires 2015 

Les « high light » 

Les points d'attention soutenue 

Les points positifs 

Les points du suivi ciblés pour une surveillance attentive et accrue 

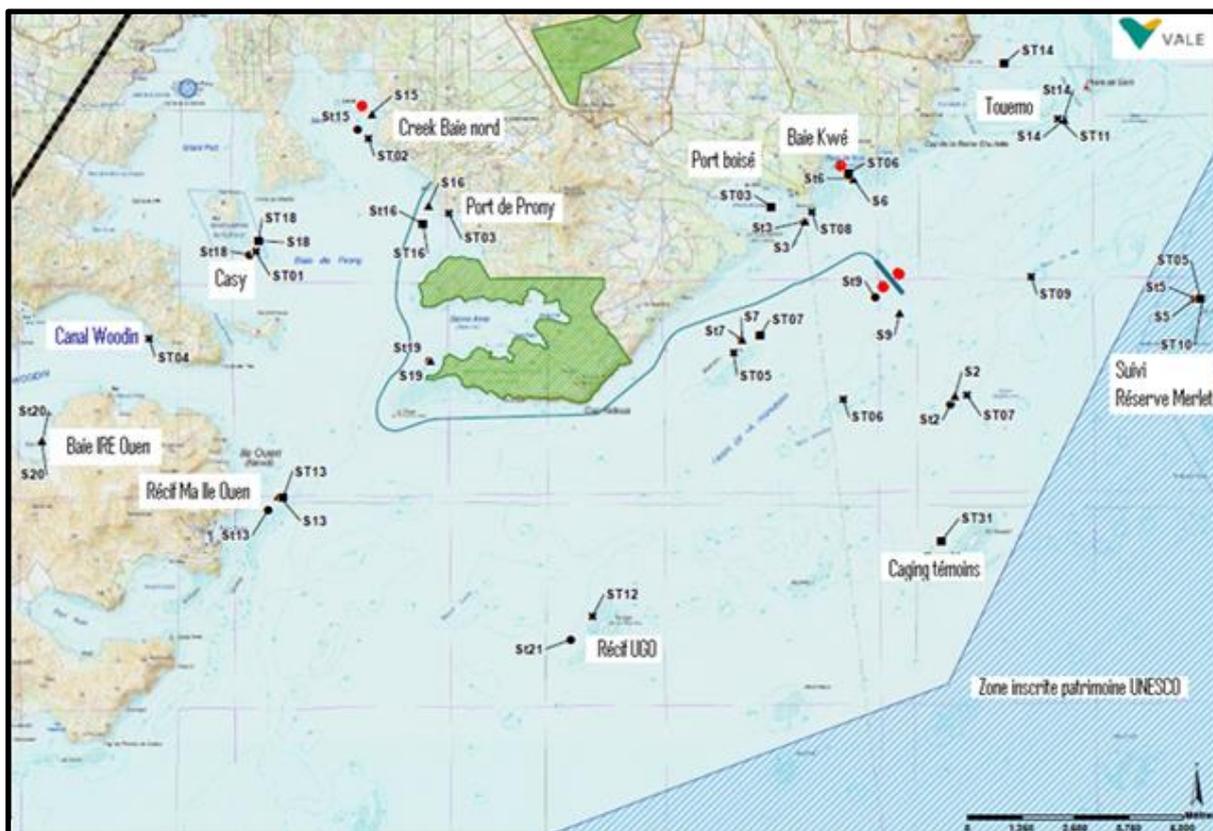
1. ACQUISITION DES DONNEES. PLAN DE SUIVI DU MILIEU MARIN

1.1. Localisation

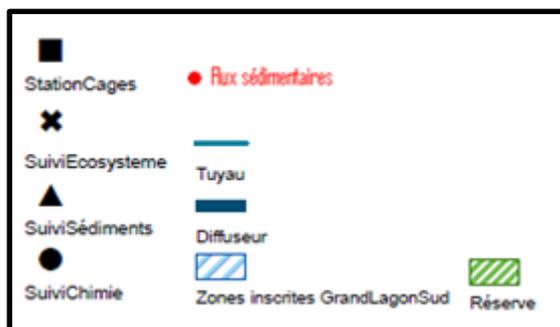
1.1.1. Positionnement global des stations des suivis du milieu marin Vale NC

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

Figure 1 : Stations et points de surveillance du milieu marin 2008 à 2016.



Légende :



Ce plan de suivi est respecté depuis 2008 aussi bien dans sa partie réglementaire que dans sa partie conventionnelle.

Les stations supplémentaires suivies par Vale NC ne sont pas indiquées sur cette carte qui représente le suivi à minima, permettant de respecter le plan de suivi réglementaire & conventionnel.

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 de façon complète en annexe.

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 : surface, mi profondeur et fond. La carte suivante présente le positionnement de ces points.

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

Localisation 2014	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.

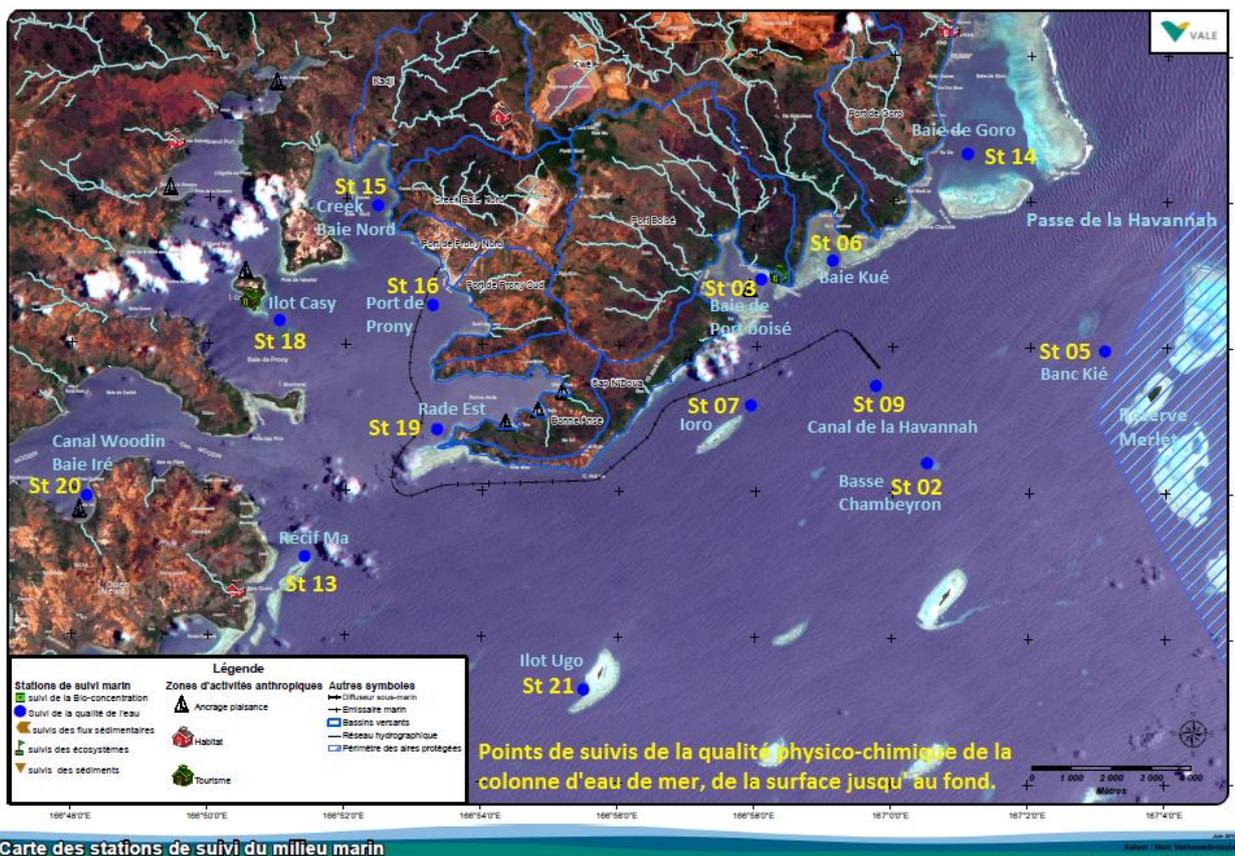


Figure 3 : Localisation précise des stations de suivi de la qualité de l'eau en baie de Port boisé (St 03) et en baie Kwé (St06)



14 points de prélèvements sont suivis sur toute la colonne d'eau. 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 éco-systémique.

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 (traité* 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)

**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 de la qualité des rejets traités. Ce travail de corrélation et de synthèse est effectué notamment pour les suivis en champ proche du diffuseur (non réglementaires).*

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 2014	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 2014	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

Les stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées sont au nombre de 12 :

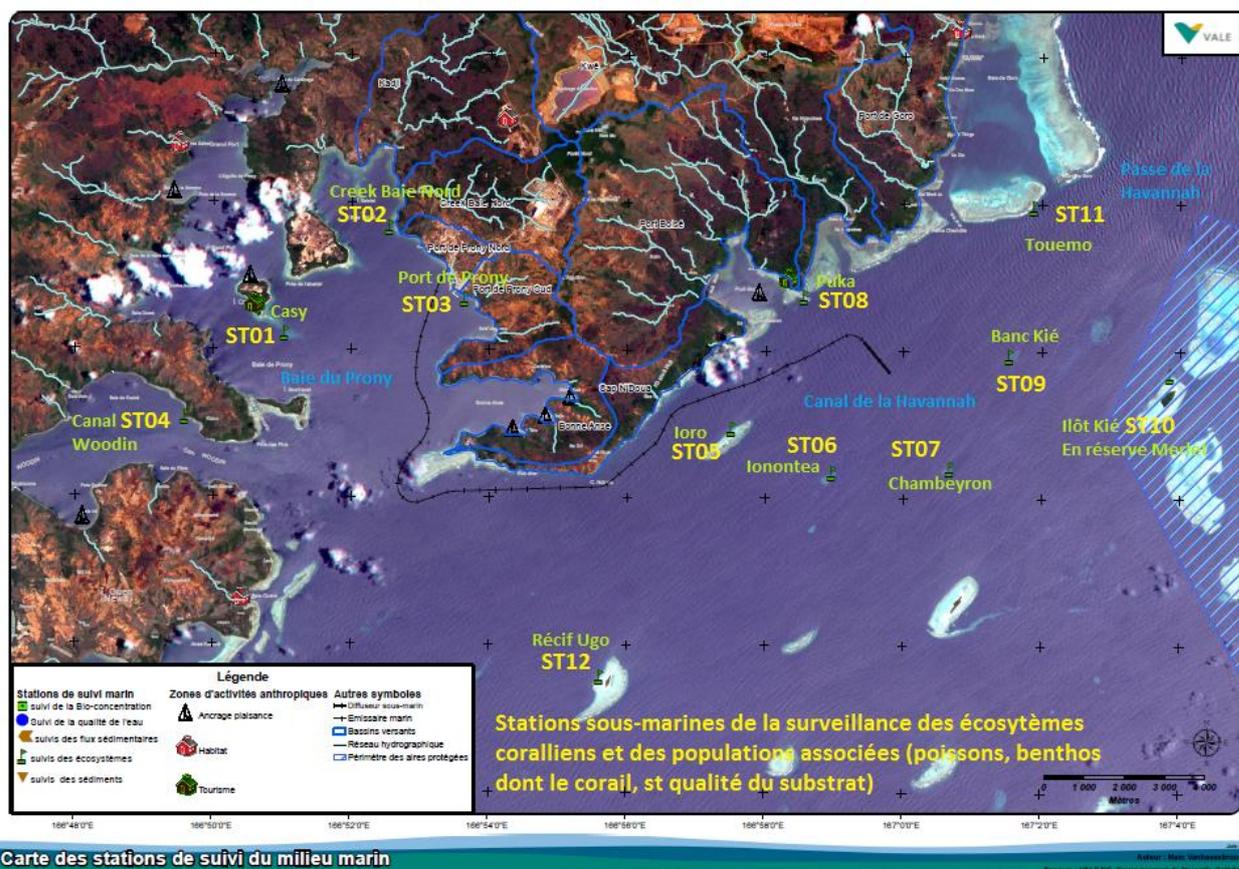
- 7 dans le Canal de la Havannah, dont une en réserve Merlet (une demande d'autorisation spéciale est effectuée auprès de la Province sud afin de pouvoir l'inventorier deux fois par an) ;
- 3 dans la Baie de Prony ;
- 1 station très décentrée, dans le canal Woodin ;
- + 1 station supplémentaire qui est 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 terrain, soit dans le lagon, elles sont localisées par des piquets sous-marins (invisibles de la surface) et leur plan géomorphologique est repris dans chaque rapport de mission. 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 proche du diffuseur. En champ éloigné de plus de 2 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 commencés en 1994) et la nomenclature sera 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* fixes délimités sur le fond par des piquets implantés et entretenus à chaque visite.

Elle peut exceptionnellement ne comporter que 2 *transects* si la topologie du fond ne permet pas d'en placer trois parce que le fond est entièrement sableux ou vaseux et ne peut 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.

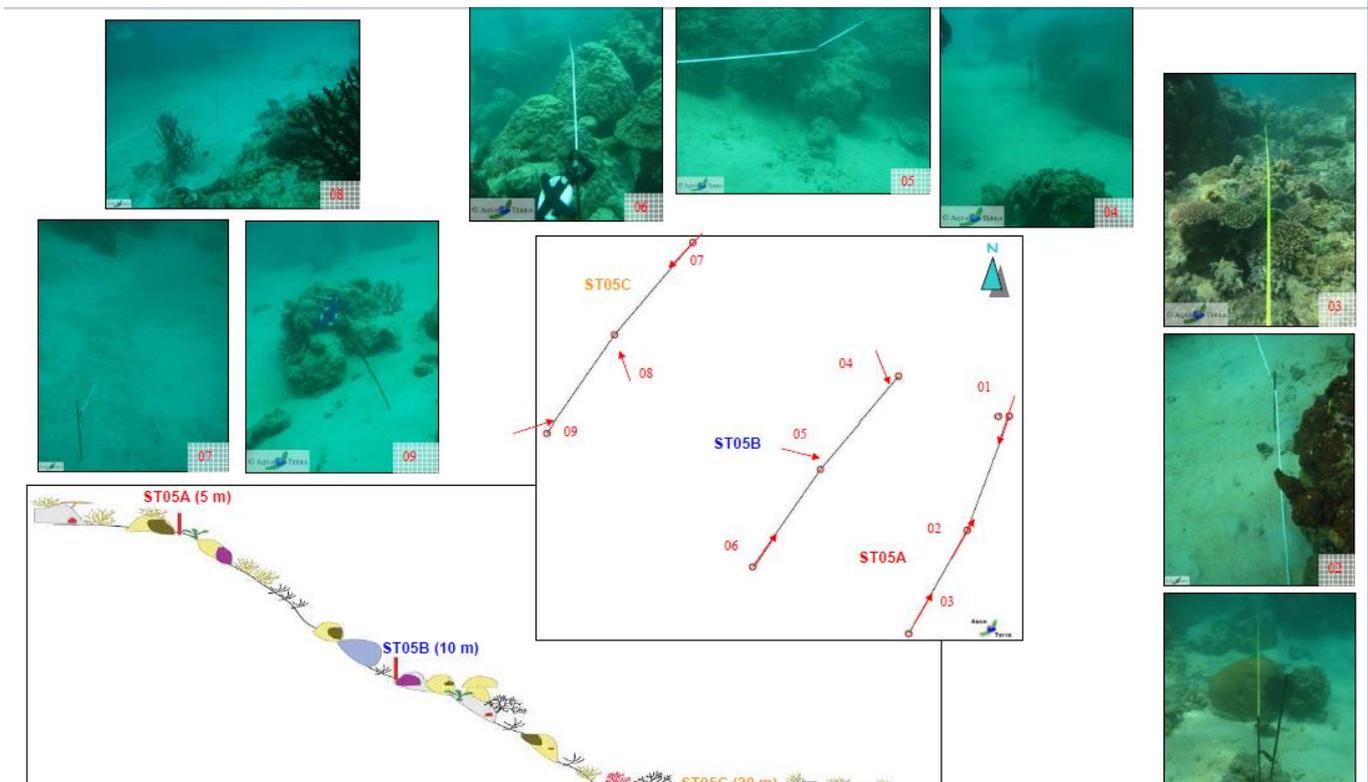
Les stations ciblées par ce plan de suivi ont été inventoriées de façon rigoureusement comparable depuis le début des suivis 2007, avec un recul de 16 inventaires minimums sur celles-ci (à ce jour). Aucune station de suivi n'a été abandonnée ou modifiée.

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 a travaillé 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.

Remarque : 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 ST05



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

Chaque transfert suit une courbe bathymétrique constante, le plus souvent elle est parallèle à la cote.



Vue d'ensemble des transects (ST05)

1.1.4. Stations de suivi de la biodisponibilité des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines (*Le caging*).

Tableau 4 : Localisation géographique 2009-2014 des lieux de position des cages, référentiel WGS-84

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur de la zone (en m)	Profondeur d'immersion de la cage (en m)
Chenal Baie Port Boisé	St03	166°59,104	22°20,852	28,4	10,5
Chenal de la Baie Kwé	St06	166°59,105	22°20,853	27,2	10
Récif Ioro	St07	166°57,847	22°23,053	38,5	12,5
Pointe Nord du récif Ma	St13	166°51,364	22°24,905	32,4	10
Port naturel de Goro	St14	167°01,122	22°19,349	35,2	12,5
Port de Prony	St16	166°52,534	22°20,750	42,6	12,5
Prony Ilot Casy	St18	166°51,056	22°21,681	22	10
Témoins Ilot Nouaré Témoins	St31	167°01,105	22°25,050	35	11,5

En 2014 : 2 cages ont été ajoutées en baie du Prony à titre de d'affinement volontaire du suivi par Vale NC et en préparation des optimisations à venir du plan de suivi marin.

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur de la zone (en m)	Profondeur d'immersion de la cage (en m)
Port de Prony/ Quai	St 16P	166°59,102	22°20,850	12	10
Baie du Prony	St 18	166°51,056	22°21,681	22	11

Ce suivi est indiqué dans la convention CCB 2009/2014 mais il n'est pas une prescription réglementaire des arrêtés ICPE.

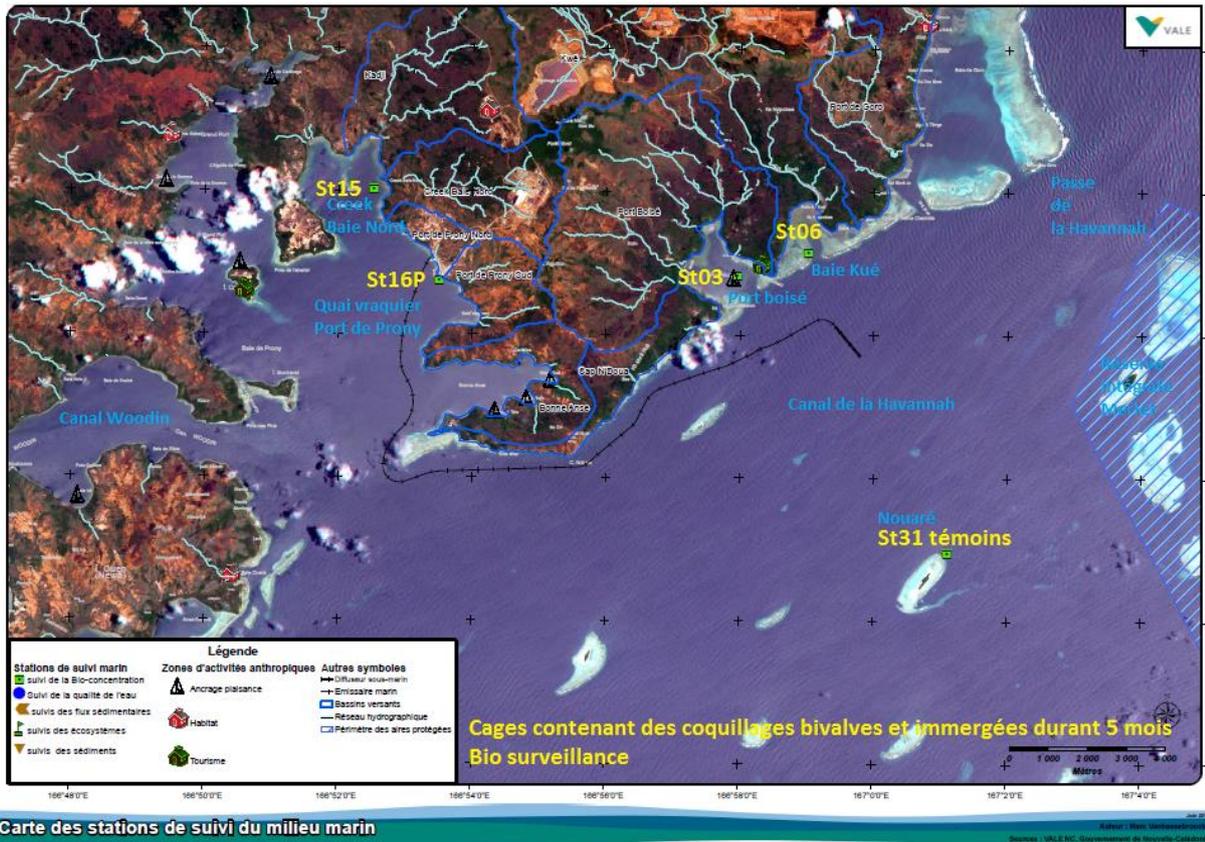
Les cages ne doivent pas être placées à une profondeur trop grande, en fonction de la turbidité. Il est recommandé de les immerger entre 9 m et 12m de profondeur et en dehors de toute activité nautique ou d'une zone d'agitation hydrodynamique.

En 2015/2016, fort du retour d'expérience des campagnes antérieures, le « caging » reste encore démarche R&D, en expertise (par l'INERIS/IFRMER) et en voie de consolidation.

Tableau 5 : Cages positionnées en 2015 et 2016 afin de consolider les connaissances et la méthodologie en matière du suivi par bio-accumulateurs

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur de la zone (en m)	Profondeur d'immersion de la cage (en m)
Quai vraquier du port de Prony	St16P	166°59,102	22°20,850	10	5
Baie du Prony Rade Nord près du creek Baie Nord	St15	166°52,523	22°19,982	29,5	11
Baie de Port Boisé	St03	166°58,005	22°21,177	28,4	10,5
Baie Kwé	St06	166°59,105	22°20,853	23	10
Ilot Nouaré (Témoins)	St31	167°01,105	22°25,050	20	11,5

Figure 6 : Localisation géographique des cages de transplantation de bivalves bios indicateurs 2015/2016



En 2014 et en 2015 le suivi par transplantation de bio- accumulateurs vivants (caging) est en phase d'affinement afin de renforcer la méthodologie avec des espèces locales et notamment sur la cinétique d'accumulation des bivalves, dans le but d'une meilleure robustesse de cette méthodologie intégratrice encore en R&D en Nouvelle-Calédonie, mais très développée et utilisée en Europe. Le suivi 2016 est centré sur la cinétique. Un audit INERIS/IFREMER recommande cette étude et ce suivi dans son travail d'optimisation du plan de suivi marin en fonction des expériences acquises et des nouvelles technologies et connaissances disponibles.

Le retour d'expérience montre que l'emplacement des cages doit permettre d'éviter leur perte qui est due à trois causes :

- une agitation trop forte de la zone exposée au ressac : les cages doivent pouvoir tenir en place durant 5 mois.
- une zone de passages fréquents de bateaux. Les cages doivent être placées en dehors d'une zone de trafic portuaire ou maritime, pour cette raison en 2014 une cage est ajoutée dans un angle du quai du Port et à l'abri du trafic.
- ou bien des bouées de marquage trop visibles qui attirent l'attention et qui sont dérobées avec pour conséquence des cages perdues ou coulées et dégradées. Les bouées de sustentation et de marquage ne doivent pas être visibles depuis la surface.



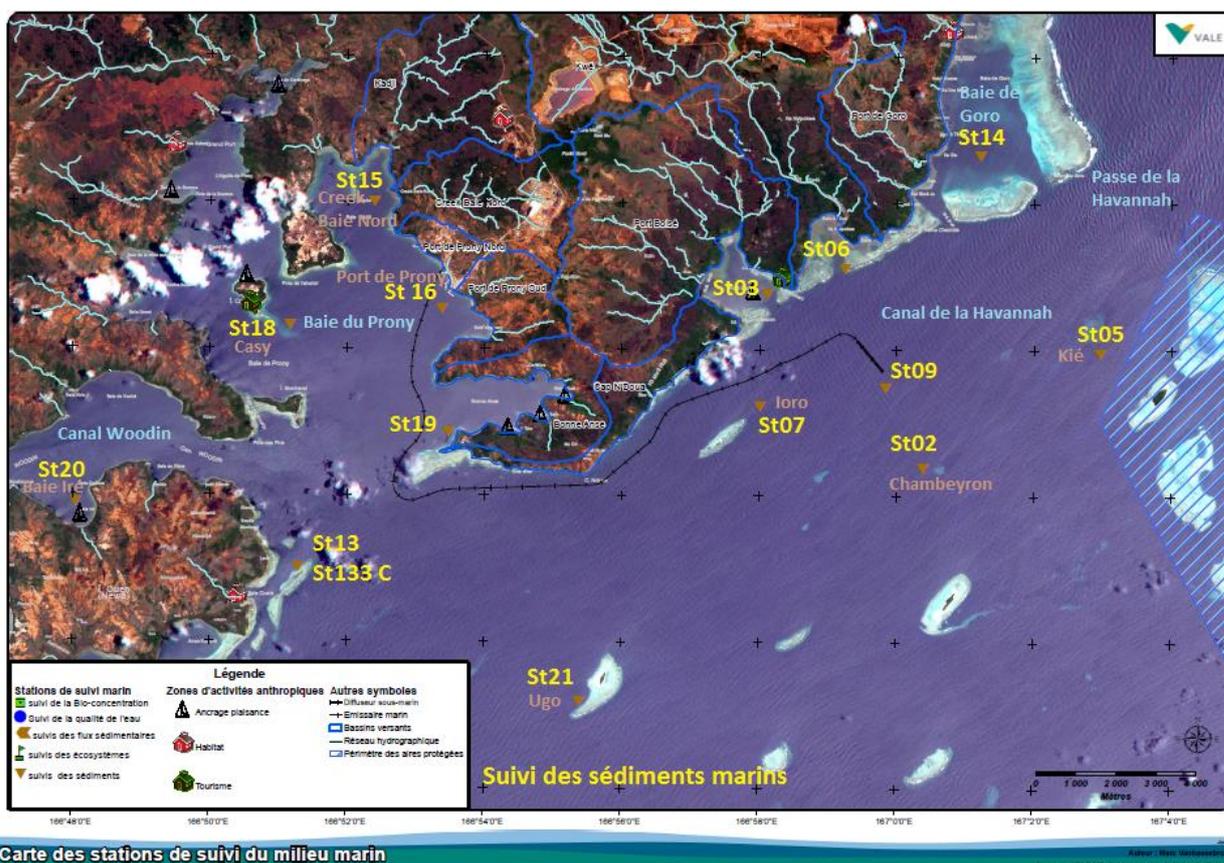
1.1.5. Points de suivi des sédiments – qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures (Stations : St)

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

Tableau 6 : Localisation géographique des points de prélèvement de sédiments, référentiel WGS-84

Localisation 2014	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 7 : Localisation géographique des stations de prélèvement des sédiments de surface + carotte St 133 Est- Île Ouen

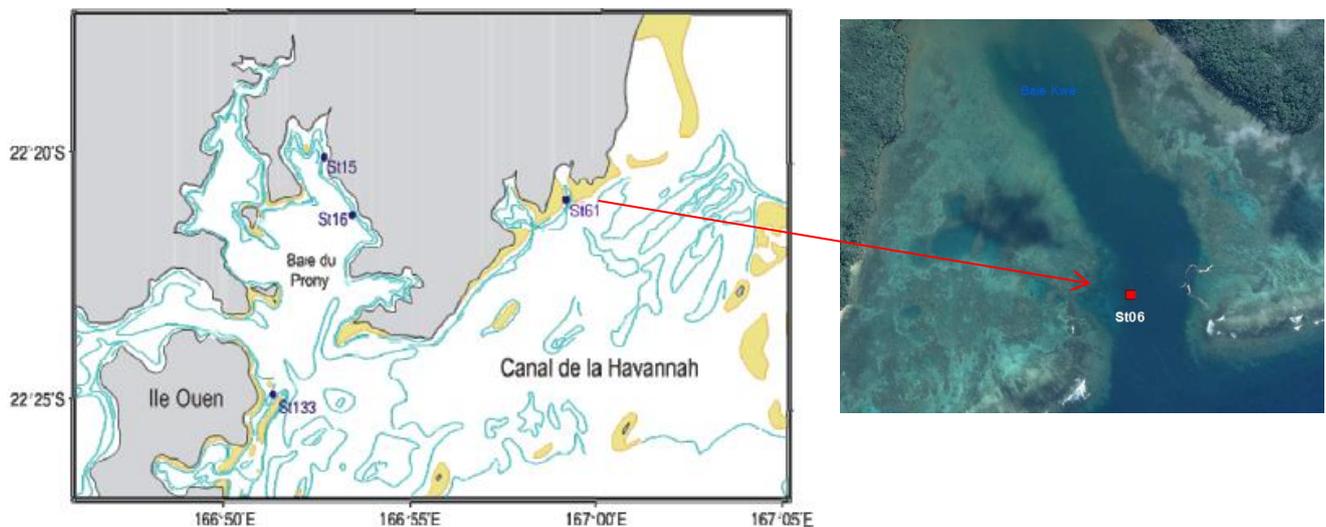


1.1.6. Points de suivi du taux d'accumulation sédimentaire

Deux stations sont installées 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 (conseil des experts des plans de suivi sur la fréquence à suivre pour un taux d'accumulation relativement lent) ;

La station n°16 du port est, quant à elle, suivie de façon annuelle.

Figure 8 : Localisation géographique des stations d'étude du taux d'accumulation des sédiments : St 133, St 15, St16 et St 06



Localisation des sites de carottage du suivi triennal des taux d'accumulation (Stations St06-1, St15 et St13-3). Localisation de la carotte St16 pour le suivi annuel des impacts du port de commerce de Vale-NC.

1.1.7. Points de suivi des flux sédimentaires

Les flux de sédiments transportés par l'eau de mer sont un indicateur intégrateur qui est suivi sur 3 postes indiqués sur le tableau suivant/

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

Tableau 7 : 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 En 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, près de l'embouchure du creek baie Nord et près du diffuseur. Le diffuseur est schématisé par un trait rouge sur la première photographie.

Figure 9 : Points de suivi des flux de MES


Le dispositif de collecte des flux de MES 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 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.**

REMARQUE

En ce qui concerne le milieu marin, les stations de suivis réglementaires listées dans les chapitres précédents sont inscrites dans l'arrêté ICPE 2008 et dans la convention CCB 2009 Vale NC/Province-Sud.

Vale NC s'y conforme intégralement.

- **Les résultats des études supplémentaires** sont communiqués aux autorités compétentes de façon automatique si la mission supplémentaire émane de leur demande.

- **Les résultats des suivis supplémentaires sous l'initiative de Vale Nouvelle-Calédonie** (stations supplémentaires, *transects* en zones peu profondes, fréquences de suivis accrues ou indicateurs supplémentaires : les cyanobactéries ; le corail, sa croissance et ses maladies ; les espèces exogènes ; la liste exhaustive des poissons inventoriés ; le suivi de la biodiversité sur liste exhaustive ; le suivi des couvertures algales etc.), ne sont pas inclus en intégralité dans les rapports des suivis réglementaires semestriels, **cependant ils sont cités dans un chapitre qui leurs est dédié.**

1.2. Indicateurs suivis

- **Les indicateurs biologiques** : les paramètres suivis selon les obligations réglementaires et les engagements conventionnels sont les suivants :

Tableau 8 : Indicateurs biologiques. Suivis semestriels (2008 / 2016).

Pour le suivi des stations fixes éco-systémiques 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			
Témoins	ST10	X	X	XXX

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 du suivi LIT du substrat
- Poissons (nombre, densité et biomasse sur liste restreinte)
- Macro-benthos

Pour les Bio- Indicateurs du « CAGING » les paramètres suivis sont les suivants:

		Indice de condition physiologique	Métaux								+Hg
			As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	
Baie du Prony	ST16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ST18										
Ile Ouen	ST13										
Canal de la Havannah	ST03										
	ST06										
	ST07										
	ST14										
Témoins	ST31										
Ajout 2014 baie du Prony	ST P										
	ST 18										

- **Les Indicateurs physico-chimiques** :

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



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
 Hors « caging » (> 90 analyses) et hors 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.

Tableau 9 : Les 31 Stations
de Surveillance

	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau à 3 profondeurs (surface, mi-fond et f
	Suivi des sédiments : qualité des sédiments et taux d'accumulation
	Suivi par « caging » de la bio-accumulation des métaux par des bivalves vivants en ca
	Suivi des flux de MES
	Suivi des écosystèmes coralliens et de leur pollutions sur des stations fixes (substrat, l
	Suivi de la qualité de l'eau et de sa structure physique en champ proche du diffuseur

Code en vigueur 2008/2016	Nouveau code proposé	Nom	Région	Statut Impact- Control (= témoins) ou Neutre	Type de suivi	Caractéristiques Coordonnées Prondeur			
St15	P10	Creek Baie Nord	Baie du Prony	I	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation Flux de MES Bioaccumulation par caging		166° 52,59	022° 20,037	25m
ST02	P11	Creek Baie Nord		I	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons		166°52.546	22°20.356	12m
St16	P20	Port de Prony		I	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		166° 53,365	22° 21,210	44m
St16P	P2P	Port Quai vraquier		I	Bioaccumulation par caging		166°59,102	22°20,850	12m
ST03	P21	Port de Prony		I	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons		166°53.639	22°21.312	13m
St18	P30	Ilot Casy		C	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		166° 51,061	22° 21,668	26m
ST01	P31	Ilot Casy		C	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons		166°51.033	22°21.799	12m
St19	P40	Sud Baie du Prony Rade Est		N	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		166° 53,340	22° 23,170	38m
St20	W10	Face Sud Baie Iré	Canal Woodin	N	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		166° 48,150	22° 24,180	25m
ST04	W11	Canal Woodin Face Nord		N	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons		166°49.593	22°22.933	21m

Code en vigueur 2008/2016	Nouveau code proposé	Nom	Région	Impact-Control (témoins) ou Neutre	Type de suivi	Caractéristiques Coordonnées- Prondeur
St06	K10	Baie Kué	Baies Cote Nord du canal de la Havannah	I	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation Flux de MES Bioaccumulation par caging	166° 59,112 22° 20,830 20m
St03	K20	Baie de port Boisé		C	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation Bioaccumulation par caging	166° 58,010 22° 21,190 29m
ST08	K11	Point Puka		I	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons	166°58.566 22°21.243 12m
ST10	M11	Réserve Merlet	UNESCO	N	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons	167°03.862 22°22.324 21m
St21	U10	Ilot Ugo	Ugo	N	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation	166°55,501 22°26,728 36m
ST12	U11	Ilot Ugo		N	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons	166°55.625 22°26.438 13m
St14	G10	Baie de Goro	Baie Goro	N	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation	167° 01,160 22° 19,350 37m
ST11	G11	Récif Touémo près de la passe Havannah		N	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons	167°01.875 22°20.046 20m
StNE-60	H10	Diffuseur Champ très proche	Canal De la Havannah	I	Qualité physico chimique de l'eau Flux de MES	166°59.678 22° 22,109 39m
StSW-60	H20			I	Qualité physico chimique de l'eau Flux de MES	166° 59,620 22° 22,158 37m
St09	H30	Diffuseur		I	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation	166° 59,754 22° 22,540 47m
ST06	H31	Banc Ionontea		I	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons	166°58.995 22° 23.650 21 m

Code en vigueur 2008/2016	Nouveau code proposé	Nom	Région	Impact-Control (témoins) ou Neutre	Type de suivi		Caractéristiques Coordonnées- Prondeur		
St07	H40	Récif Ioro	Canal de la Havannah	C	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		166° 57,910	22° 22,820	41m
ST05	H41			C	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons		166°57.507	22°23.072	20m
St02	H50	Basse Chambeyron		C	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		167° 00,506	22° 23,599	33m
ST07	H51			C	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons		167°00.671	22°23.591	22m
St05	H60	Banc Kié		C	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		167° 03,100	22° 22,050	34m
ST09	H61			C	Ecosystémique Substrat Benthos Poissons		167°01.529	22°22.070	20m
St31	H70	Ilot Nouaré		C	Bioaccumulation par caging (Station de contrôle pour le caging)		167°01,105	22°25, 050	20m
St 13	O13	Récif Mâ Nord Est île ouen	Ile ouen	N	Qualité physico chimique de l'eau Qualité des sédiments et taux de sédimentation		166° 51,354	22° 24,914	35m
St 133	O133			N	Carrotte sédimentaire		166° 52,39822°	25,147	60m

- Suivi de la qualité physico- chimique de l'eau à 3 profondeurs (surface, mi-fond et fond)
- Suivi des sédiments : qualité des sédiments et taux d'accumulation
- Suivi par « caging » de la bio- accumulation des métaux par des bivalves vivants en cages
- Suivi des flux de MES
- Suivi des écosystèmes coralliens et de leur pollutions sur des stations fixes (substrat, benthos, poissons)
- Suivi de la qualité de l'eau et de sa structure physique en champ proche du diffuseur

1.3. Méthodes

Rappel : **L'annexe 6 de la Convention pour la Conservation de la Biodiversité (CCB 2008)** présente les plans de suivi des milieux « vivants » (biologiques), les indicateurs sélectionnés, les positions des stations et la méthodologie succincte demandée pour chacun des suivis. Elle reprend aussi les suivis physico chimiques des arrêtés ICPE en leur additionnant les thèmes biologiques.

Le plan de suivi du milieu marin constitue l'annexe 6.4. de la CCB- 2009 et Vale Nouvelle-Calédonie se conforme à ces prescriptions.

Les méthodes de suivis sont décrites en annexe 1 de ce rapport

1.4. Rendus semestriels

La rédaction des rapports est confiée au bureau d'étude indépendant qui a assuré la mission. **Il est important que le rédacteur ait bien participé à la mission, lui-même.** (Eviter une seconde sous-traitance).

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 autres 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, sous l'appel de Vale NC, afin que tous partagent leurs remarques pour un suivi « global » des tous les indicateurs biologiques, physiques et chimiques.

Cette analyse synthétique 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 dans le rapport semestriel concerné, pour un suivi attentif de ce paramètre lors des missions suivantes. En cas de confirmation d'une modification significative la conclusion du rapport indiquerait bien ce fait.

Démarche : Pression/Etat/Réponse

- Les commentaires des experts et leurs recommandations sont inclus au rapport intégral.

Les rapports intégraux tels que délivrés par les sous- traitants (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 du sous-traitant expert en son domaine.

2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLES A DATE DE CE RAPPORT

Le présent rapport concerne les suivis semestriels effectués pendant les campagnes du premier semestre 2016, il s'agit des missions de surveillance suivantes :

- ✓ Suivi N°1 / 2016 de la structure de la colonne d'eau et de la qualité physico-chimique de l'eau –Mission effectuée les 08, 09 et 10 mars 2016 ;
- ✓ Suivi N°1 / 2016 des écosystèmes coralliens et des populations associées – Mission du second semestre : Avril 2016
- ✓ Suivi N°1 / 2016 des flux sédimentaires - Immersion des automates durant 49 jours. Le 24 juin 2016 le dispositif est vérifié par des plongeurs et sa perte est constatée au niveau de la Baie Kwé. Un nouveau dispositif est donc immergé en juillet sur cette station. Les résultats seront rendus dans le rapport annuel 2016. (Et pas dans le rapport du premier semestre).

Les suivis suivants sont annuels et seront rendus début 2017:

- ✓ Suivi annuel 2016 : La transplantation d'espèces bio-indicatrices (le « *caging* ») : mission effectuée de fin avril jusqu' à octobre 2016 avec plusieurs nettoyages des cages ;
- ✓ Suivi trimestriel spécifique du Port de Prony : qualité de l'eau et des sédiments 2016. Prélèvements en mars, mai, aout et octobre 2016.

Les missions d'évaluation des écosystèmes et les échantillonnages sur les 14 stations de la qualité de l'eau ont tous été effectués en temps et de façon complète. La mission de suivi des flux demande une immersion de l'appareillage durant 48 jours, l'appareillage a été perdu sur la station de la baie Kwé (en juin 2016). Il est remis en place pour le second semestre 2016.

Pour ces missions 2016: 5 bureaux d'études différents ont participé à ces missions et travaux d'analyses des données.

Recherche des causes de perte d'un dispositif de suivi :

Le retour d'expérience a montré qu'aucune bouée et aucune trace d'un appareillage de suivi ne doivent être visibles depuis la surface du lagon car cela entrainerait une trop forte probabilité de perte du dispositif de suivi par curiosité des personnes navigant dans la zone et un démentiellement accidentel ou volontaire des installations.

La solution actuelle consiste en une immersion complète avec un lestage au fond par une gueuse et une suspension de l'appareil (ou de la cage) à la profondeur voulue par une bouée immergée (non visible de la surface), l'ensemble est retrouvé par son positionnement GPS. Le largage de l'appareillage se fait par un déclencheur à distance de l'ouverture de la manille de retenu sur le lest, depuis la surface. Cela fonctionne bien notamment dans le canal de la Havannah par plus de 40 m de profondeur quand un plongeur ne peut pas descendre pour larguer l'appareillage qui remonte via la bouée pour être récupéré en surface. Au niveau de la baie Kwé c'est la seconde fois que l'appareillage est perdu, une recherche des fréquences utilisées par la commande à distance du largage est en cours, afin de vérifier s'il n'y aurait pas interférence avec un autre instrument de bateau ; cependant ces pertes ne sont pas fréquentes ailleurs. La plongée et un amarrage manuel au fond (11m) est utilisée pour le second semestre 2016, une perte ne pourra être que de cause volontaire anthropique.

2.1. Synthèse des suivis du milieu marin effectués en 2016

Le tableau suivant présente l'ensemble des suivis réglementaires et conventionnels, les dates auxquelles lesquelles les missions de terrain ont été effectuées et les rapports communiqués (**en bleu pour 2015**)

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

Tableau 9 : Synthèse des suivis réglementaires ICPE et des suivis CCB effectués durant L'année 2015 à date de fin de premier semestre, avec rapports émis (cases bleues)

Suivis réglementaires 2015	Indicateurs	Jan	Fé v.	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Ao ut 20 15	S	O	N	D	Jan 201 5
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique							S1						S2
	Chimique							S1						S2
Suivi des écosystèmes 12 stations	Biologique Corail Benthos Poissons							S1						S2
Bio accumulation Sur transplants 8 stations	Bio accumulateur													A
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Suivi triennal. Dernières campagnes : 2010 et 2013 Prochaine campagne en 2016 /début 2017												
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Suivi triennal. Dernières campagnes : 2012 et 2015 Prochaine campagne en 2018												
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique								S1					A
Suivi spécial zone Portuaire	Biologique Physique Chimique Sédiments								S1					A

2.2. Cartographie : Pressions et Zone d'influence et de suivis

La figure suivante est un rappel du déploiement des points de surveillance et du numérotage 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 « hydorrégions » dans la zone d'étude

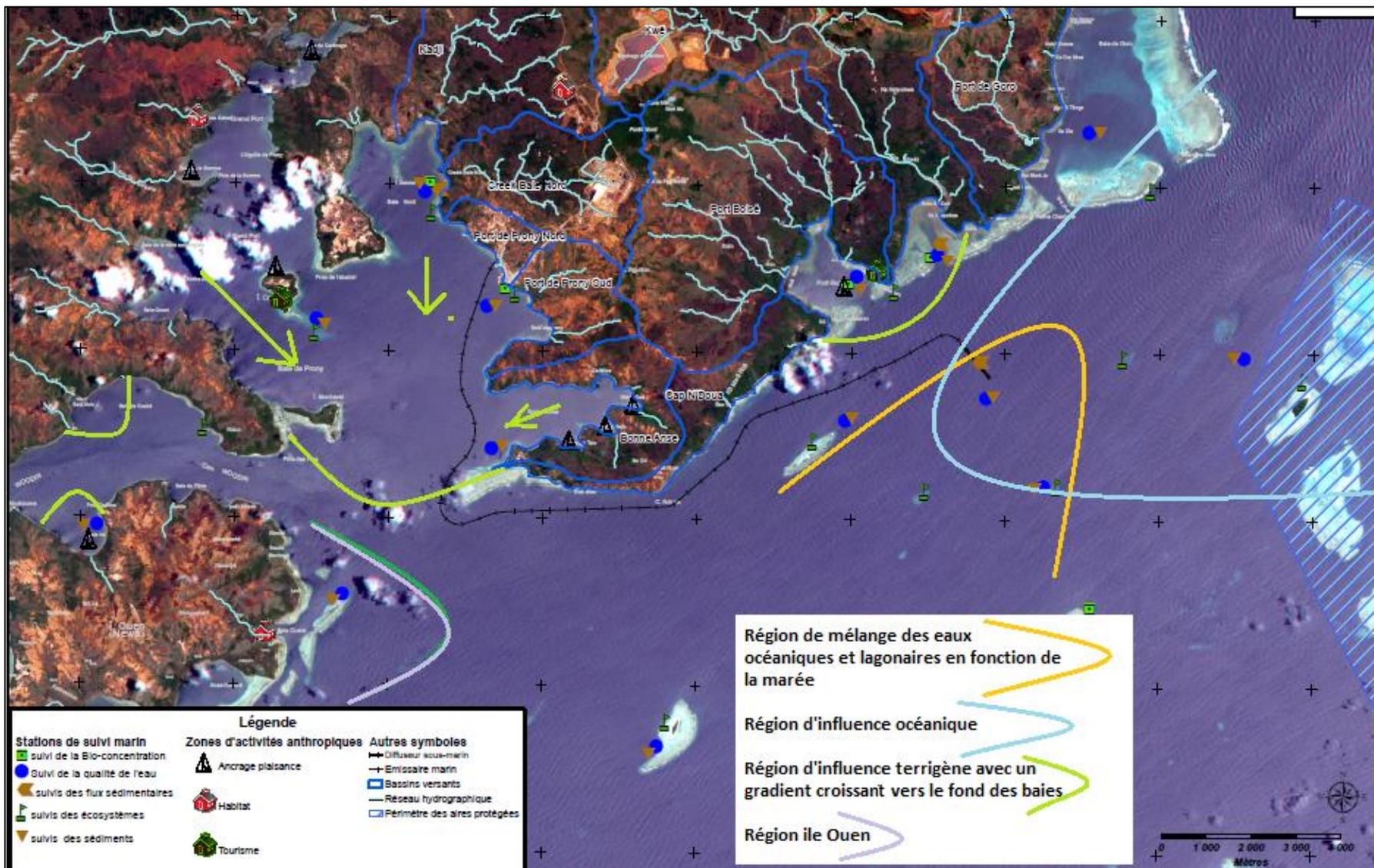


Figure 11 : Carte schématique des bassins versants et des différentes pressions sur le milieu marin

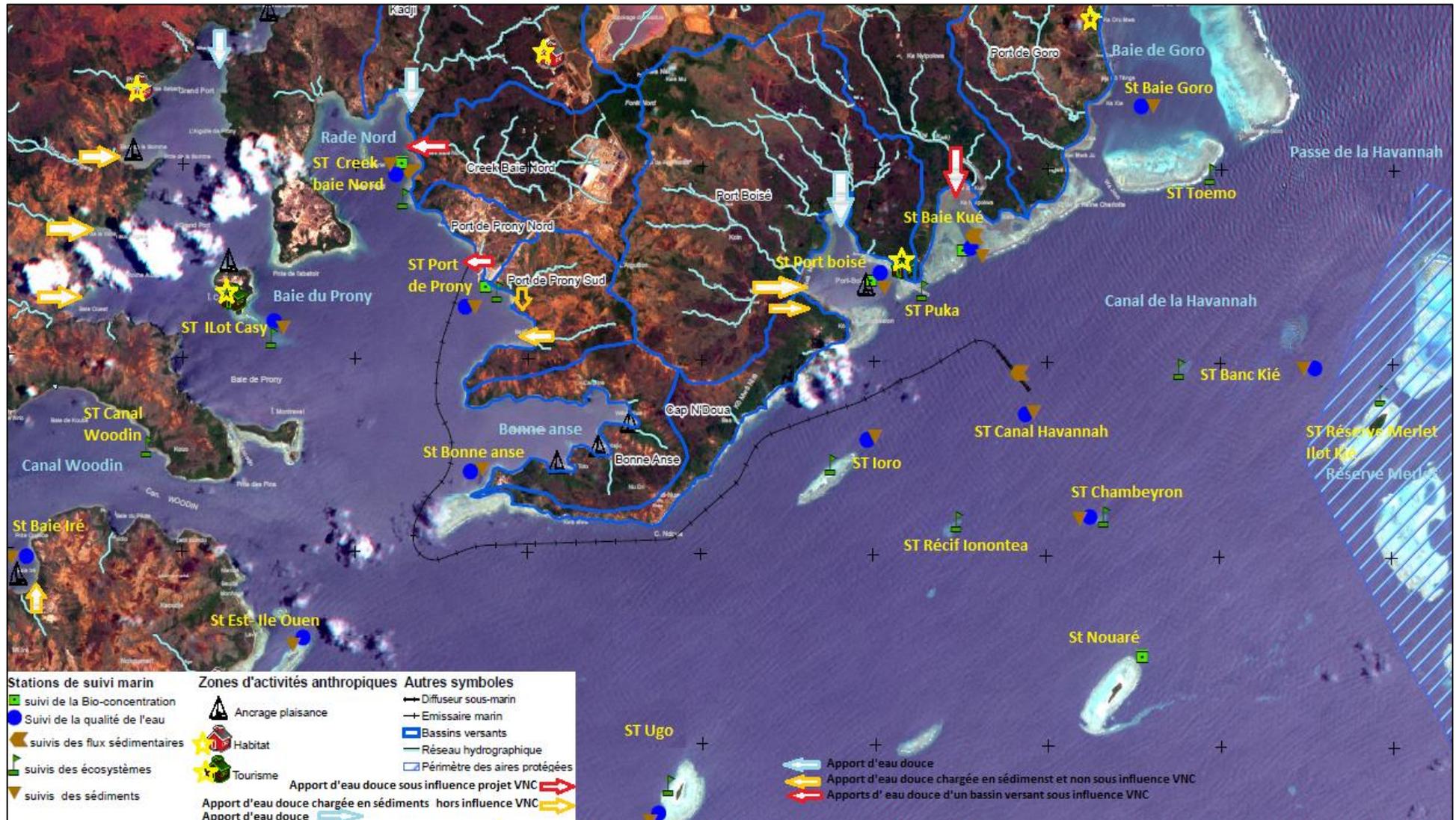
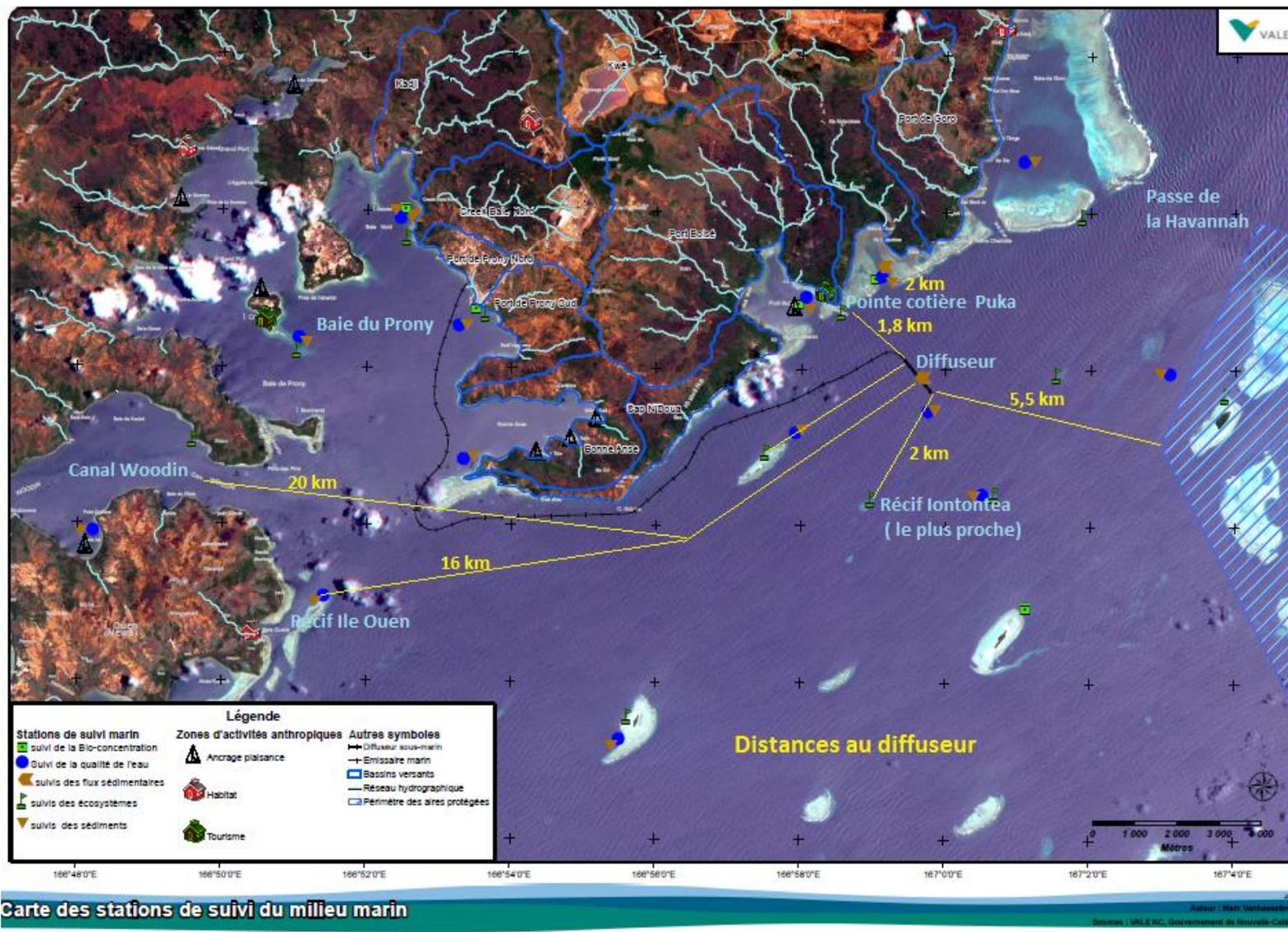


Figure 12 : Distances entre le diffuseur de l'effluent traité et les récifs coralliens les plus proches (+ autres zones remarquables)



3. RESULTATS (PREMIER SEMESTRE 2016)

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 santé des écosystèmes (milieux récepteurs) et de la qualité du milieu par rapport à l'état de référence et pas comparaison avec des zones témoins (**Méthode BACI**)

- **Les états initiaux (de référence) observés** avant le développement du projet Vale Nouvelle-Calédonie servent de référence (**Before**). Les états de référence sont présentés dans les dossiers ICPE (Caractérisation des milieux, VOLUME III, SECTION A, Caractérisation de l'environnement, Chapitre 5 : Océanographie physique, + Chapitre 7 : Milieu écologique marin.) Les études sur les états initiaux ont débuté en 1994 et se sont renforcées dès 2000, au niveau du milieu marin. 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 qui peut-être importante sur certains paramètres.
- **Les bases de données (issues des missions de suivis antérieures)** permettent une analyse des tendances évolutives. Ce sont ces tendances qui sont analysées par les prestataires qui doivent avoir une expertise et une connaissance statistique suffisantes pour les maîtriser. *Les prestataires qui effectuent les suivis ont en leur possession les bases de données des années précédentes pour pouvoir effectuer ces analyses comparatives, il est à leur charge de les formater pour en tirer une analyse d'évolution temporelle.*
- **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 de suivi : « **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**, elle 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 grâce à de nombreux contributeurs, présente des grilles de lecture ainsi que des références bibliographiques pour chaque type d'indicateur, il peut servir de guide, mais en aucun cas de références « seuils » et avec toutes les recommandations interprétatives qu'il préconise, et à conditions de ne pas changer de méthodologies avec celles utilisées pour les grilles proposées par le guide. Il serait prévu une révision de ce guide en 2017.

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 seulement avec une grille de lecture universelle ou calédonienne (qui n'existe pas). Comme le souligne le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie : « *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.

Chaque rapport de suivi présente une étude des variations temporelles des paramètres, en comparaison avec les suivis précédents et les états de référence et si possible en comparaison avec le suivi d'une station de contrôle (témoins).

Tout changement significatif est signalé*de façon bien visible.

*Les conclusions encadrées facilitent la lecture des rapports dont les versions intégrales issues des bureaux d'études sont placées en annexe de ce rapport. Le rapport de synthèse Vale NC reprend ces conclusions et indique les points phare par une iconographie adaptée.

Tableau 10 : Caractéristiques du milieu marin, états initiaux (en bleu) et Missions de suivis (en orange)

- **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
 - Campagne de mars 2016 incluse dans ce rapport: (15^{ème} campagne)

- **Bio-indicateurs en cages**
 - **Etat de référence** de la zone Sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : détermination de la qualité écotoxicologique initiale des eaux par transplantation d'espèces bio-indicatrices (bio- accumulation) IRD 2009. (Convention de recherches n° 1124 entre l'IRD et Vale NC (Goro Nickel à l'époque) portant sur 3 années prédictives quant au comportement de l'effluent : IRD 2007-2009.Volet éco-toxicologie).
 - Dernières campagnes de suivis effectuées : 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
 - Campagne annuelle 2016 en cours.

- **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.
 - Campagnes 2016 : les flux sédimentaires seront inclus dans le rapport annuel (S2/2016).

- **Stations éco-systémiques**
 - La comparaison temporelle est effectuée systématiquement à partir de la base de données des suivis semestriels effectués depuis 2007, les suivi ont été effectués sur les mêmes stations et avec la même méthodologie (Premier semestre 2016 : 16^{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).
 - 15 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 et oct. / nov. 2015
 - Campagne d'avril 2016 incluse dans ce rapport. (16^{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 2014 un état des lieux en baie Kwé a été conduit.

Le tableau n°18 (suivant) rappelle l'ensemble des missions d'évaluation éco-systémiques et de suivis sous-marins 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 Sarramegna	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	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

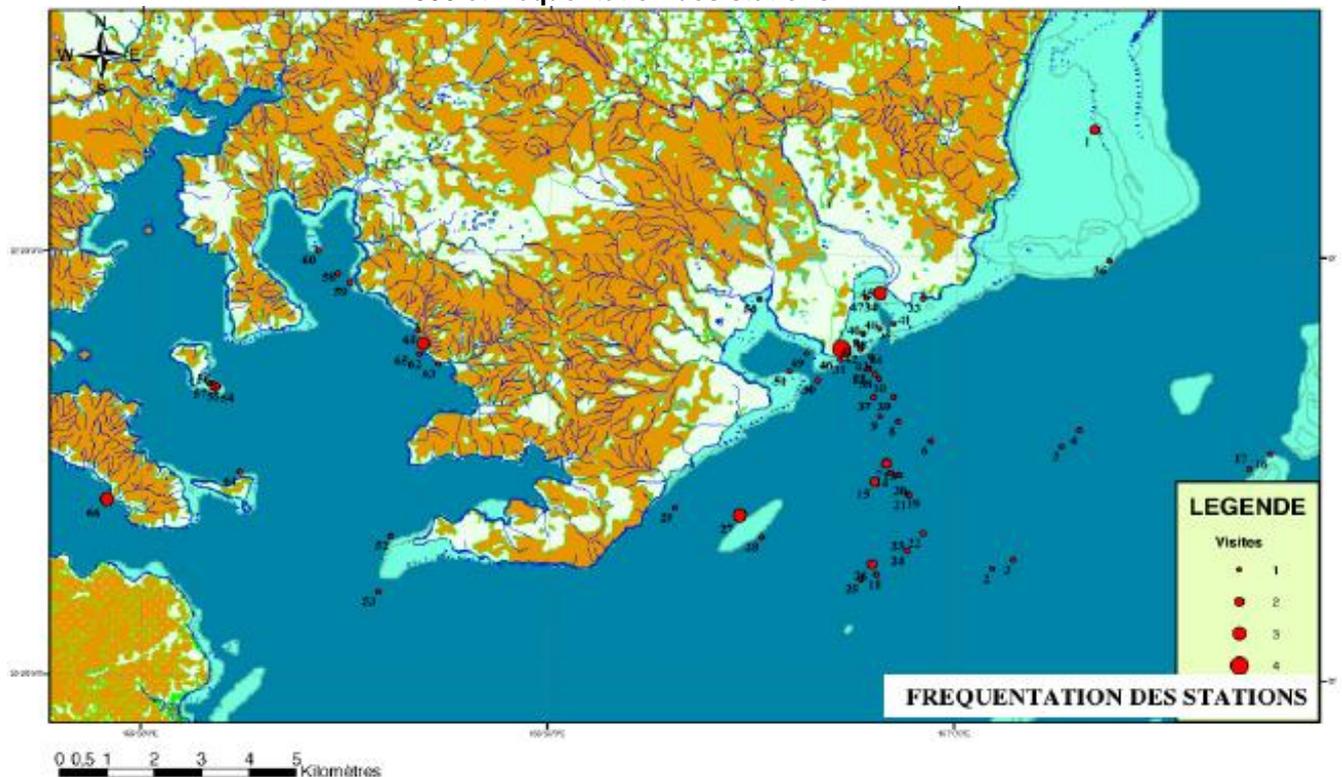
Tous les rapports sur les états de référence ont été communiqués aux administrations compétentes dans les dossiers ICPE (chapitre : Caractérisation des milieux) ainsi que les rapports de suivi et les études. Ils ont aussi été communiqués à l'ŒIL (Observatoire crée en 2009) dès 2010, dans leur intégralité.

La figure suivante montre le déploiement des efforts d'évaluation du milieu éco-systémique 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.

Vale NC se conforme aux stations et aux méthodologies de suivis imposées par les arrêtés ICPE et la Convention 2008 CCB avec la Province Sud, un atelier s'est tenu en mars 2006 sous le pilotage de la DENV (M. Laurent Wantiez de l'UNC en facilitateur) avec les biologistes marins ayant une bonne connaissance du lagon et ayant participé aux caractérisations de l'état des lieux et la méthodologie a alors été indiquée. **Depuis 2007 les suivis, au nombre de 16 missions, sont donc comparables en eux.**

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



➤ **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 règlementaire : 2011, 2012, 2013, 2014, premier et second semestres 2015**
- Campagnes actuelles 2016.

3.2. Valeurs obtenues (Premier semestre 2016)

3.2.1. Météorologie

Il n'y a pas eu de cyclone qui ait affecté la zone du Grand Sud durant l'année 2015 ni le premier semestre 2016. 2015 s'est caractérisée par un déficit hydrique. Pour rappel : l'année 2013 fut quant à elle marquée par deux dépressions ayant provoqué une pluviométrie exceptionnelle en janvier et en juillet 2013 avec des précipitations supérieures à 400mm / 24 h, (Cf. les rapports de suivis 2013 correspondant), cela ne fut pas le cas en 2014, ni 2015 ni 2016.

Rappel des grands épisodes dépressionnaires ou pluvieux des années précédentes :

- 2003 : 13 mars Cyclone Erica
- 2009 : 25/ 26 mars 2009 Dépression Jasper
- 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 n'ont pas été affectés. **Ce phénomène « El Niño » se renforce début 2016 de façon exceptionnelle.**

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.

En février 2016: 13 stations calédoniennes ont battu leur record absolu (tous mois confondus) de température minimale la plus élevée et 8 stations ont battu leur record absolu de température maximale la plus élevée. Les écarts à la normale sont de +1,8 °C pour les minimales et de +1,9 °C pour les maximales, le mois de février 2016 se place à la deuxième position des mois de février les plus chauds en Calédonie depuis 1970, tandis qu'avec seulement 2 jours de présence (au lieu de 21 en moyenne), l'Alizé a quasiment disparu durant ce mois-ci.

Figure 14 : Extrait du bulletin mensuel de Météo France-Nouvelle-Calédonie de février 2016

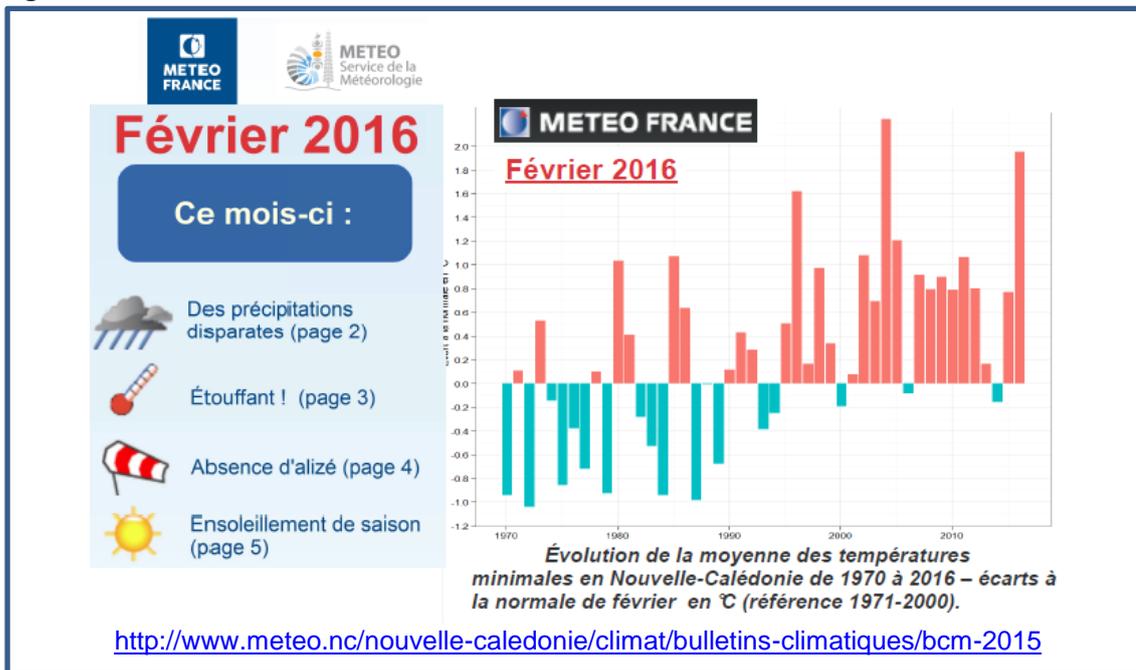
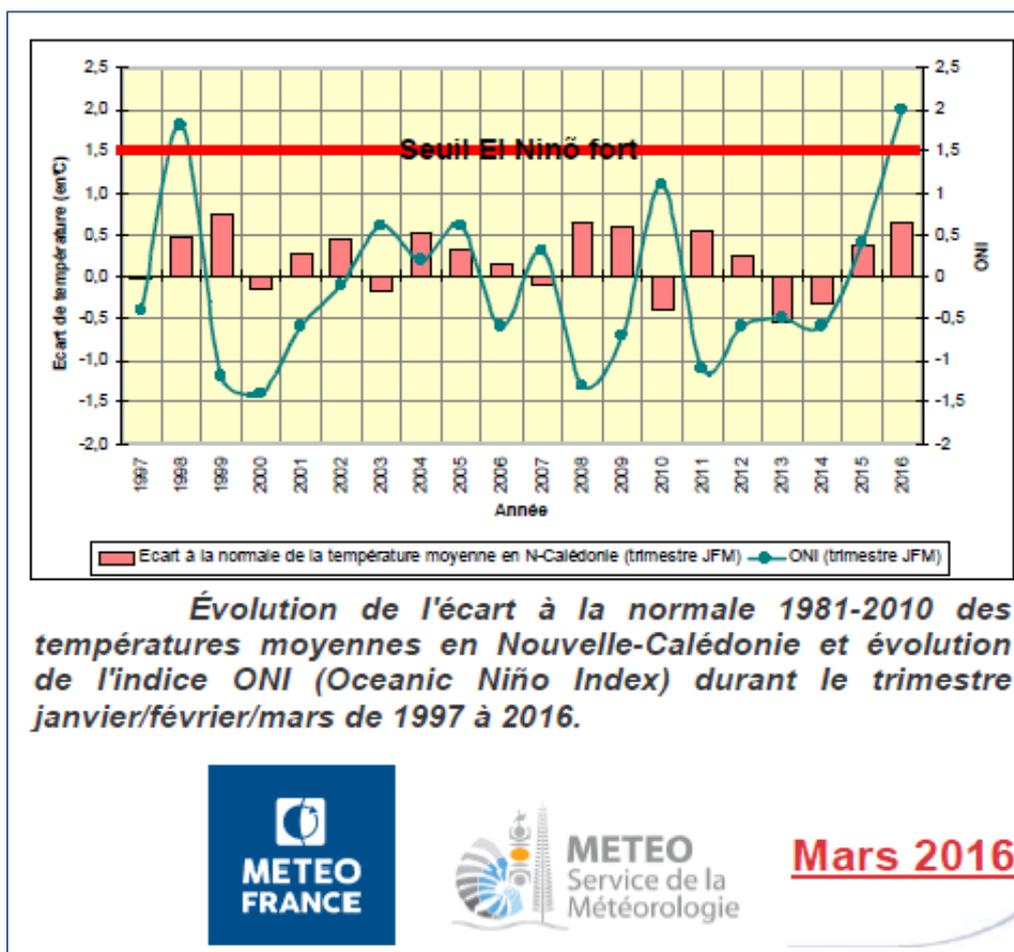


Figure 15 : Extrait du bulletin mensuel de Météo France-Nouvelle-Calédonie de mars 2016



L'Alizés reste « en panne » avec 7 jours de présence au lieu de 20, en mars 2016. Comme il l'était en février. Avec une moyenne de 7 kt, la force du vent est en dessous des normales saisonnières de 2 kt en moyenne. Toutefois, les rafales dues aux orages ont été importantes tout au long du mois. (120 km/h)

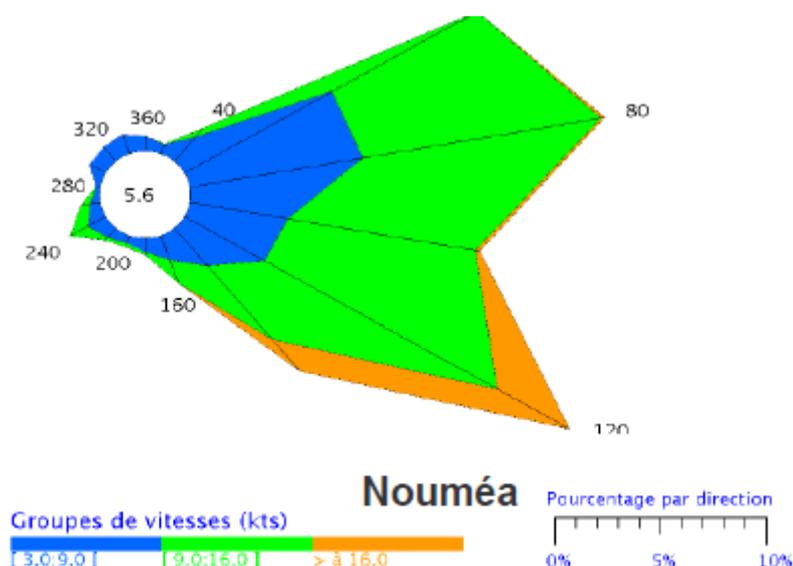
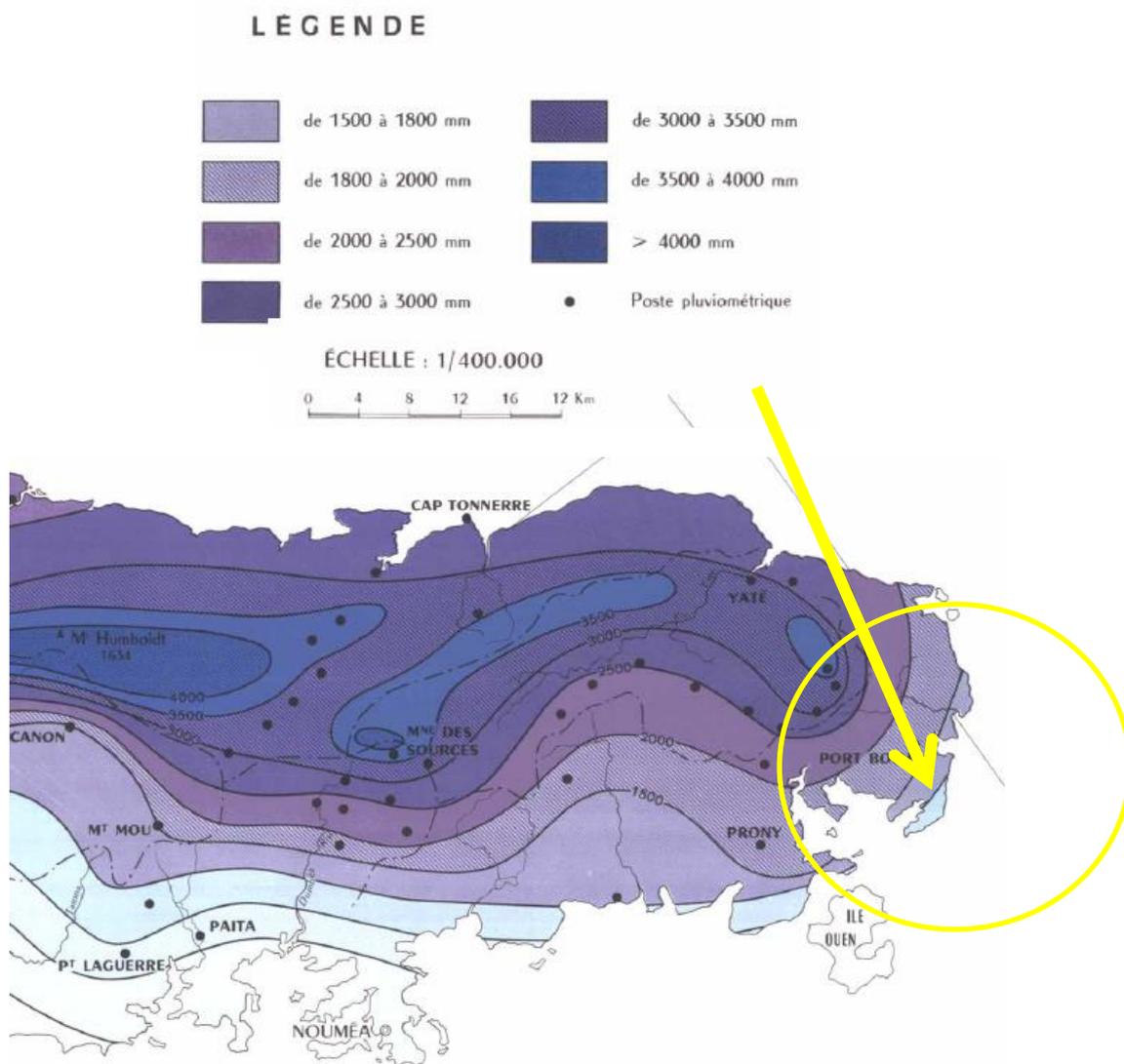


Figure 16 : Rappel du contexte climatique calédonien et de la zone du plateau de Goro influant sur les bassins versants de la zone des suivis Vale NC (mm/pluies cumul annuel)

(Carte ORSTOM)

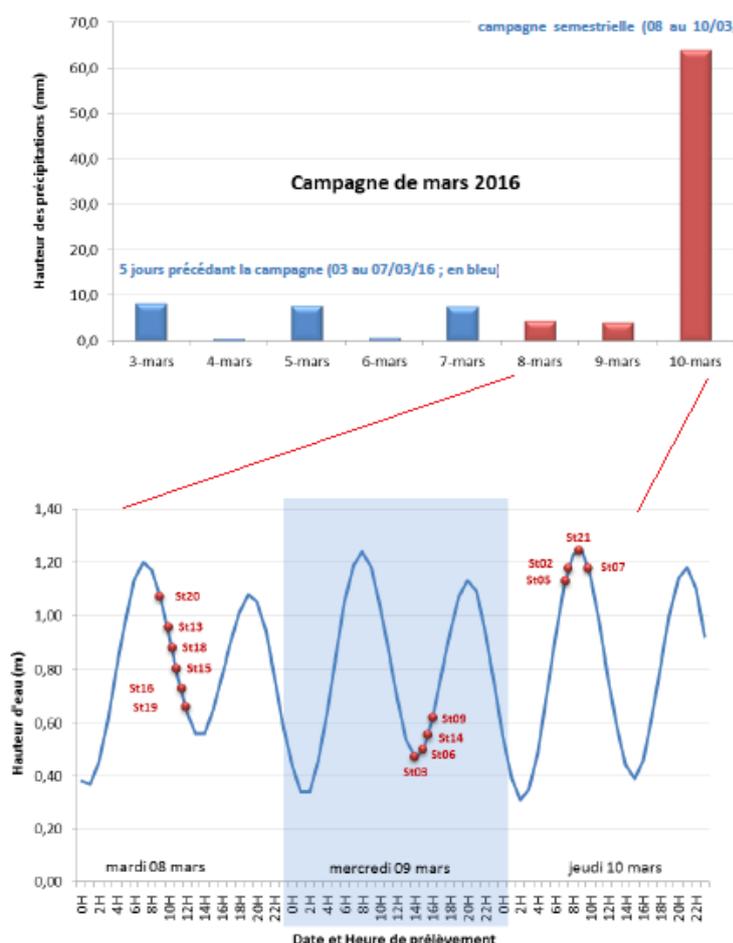


3.2.2. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer

Les opérations de terrain S1/2015 ont été réalisées les 08, 09 et 10 MARS 2016 sur les 14 stations prédéfinies.

Figure 17: Conditions météorologiques et état de la marée (Campagne Mars 2016)

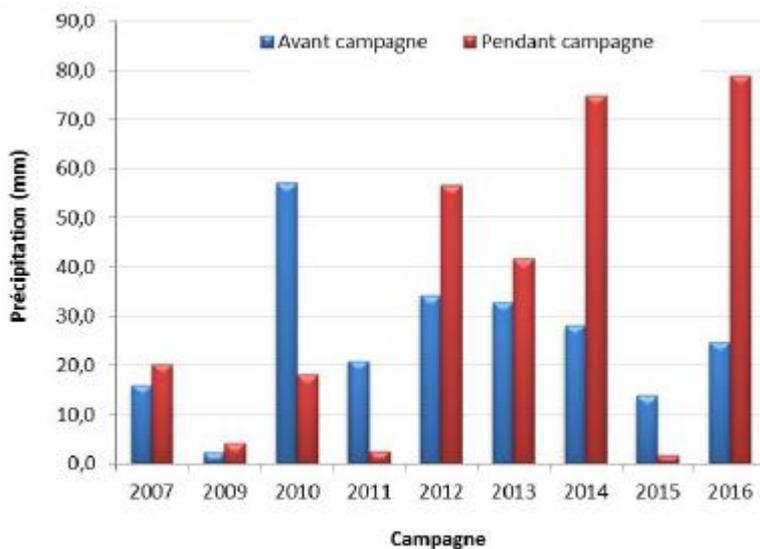
La pluviométrie est indiquée durant la campagne de prélèvement (en rouge) mais aussi durant les 5 jours précédents (en bleu)



Pour les analyses comparatives temporelles, les résultats obtenus durant la saison chaude sont comparés entre eux, et ceux de la saison fraîche 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 nette, il est plus judicieux de parler de saison fraîche et de saison chaude et de toujours se référer à la pluviométrie.

Le rapport intégral présentant les résultats des analyses de tous les paramètres (28 paramètres indicateurs suivis sur 14 stations) est donné en annexe du présent document ainsi que les données brutes. Il peut être résumé comme suit :

Figure 18 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2016 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».



Mission MARS 2016 (Semestre n°1/ 2016)

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

Figure 19: Rappel de la position et de la nomenclature des stations pour le suivi physico chimique (Baie de Prony) et île Ouen



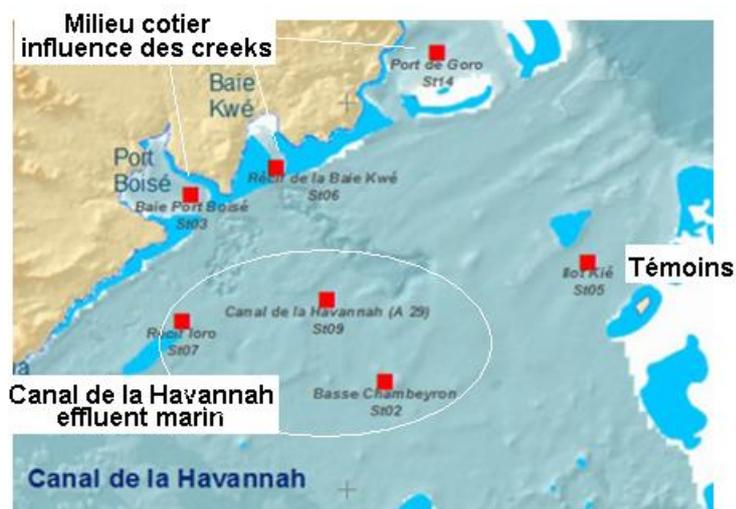
Stations en baie du Prony (sous influence côtière forte) : St 15, St 16 qui sont de statut « Impact ». St 18 est de statut « Contrôle », St 19 est sous influence côtière atténuée.

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

La station St20 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 ».

+ Récif Ugo : St 21

Figure 20: 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. Contrôle QUALITE

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 de cette campagne a été évaluée selon trois approches complémentaires :

- en étudiant la fidélité de la méthode de prélèvement et d'analyse à l'aide de 10 % de triplicatas, soit sur 4 stations ;
- en étudiant la reproductibilité de la méthode de prélèvement et d'analyse par les analyses inter-laboratoires sur au moins 10 % de duplicatas, soit sur 4 stations. Ces duplicatas ont été 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 en 2015.

3.2.2.2. RESULTATS S1 /2016

➤ **Les éléments majeurs et le pH**

Comme lors des campagnes précédentes, les concentrations en éléments majeurs (calcium, potassium, magnésium, sodium, chlore, sulfates,) et le pH de l'eau de mer restent dans le même ordre de grandeur que lors de l'état des lieux et des campagnes précédentes (pH $8,16 \pm 0,02$) ; Ils sont sensiblement homogènes entre les différentes zones étudiées.

**Tableau 12: pH et concentrations en éléments majeurs, synthèse.
Campagne du Premier semestre 2016**

Zone d'étude	Statistique	pH	Eléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havanna	Minimum	8,13	424	454	1414	11566	18074	2760
	Maximum	8,19	517	467	1446	11822	19464	3110
	Moyenne	8,16	437	461	1431	11717	18754	2926
	Ecart-type	0,02	23	4	10	84	269	125
Baies du Canal	Minimum	8,13	422	451	1405	11490	18074	2720
	Maximum	8,21	438	468	1456	11897	18769	3085
	Moyenne	8,18	431	459	1433	11704	18512	2927
	Ecart-type	0,02	6	6	17	132	337	127
Baie du Prony	Minimum	8,12	424	457	1414	11520	18074	2715
	Maximum	8,15	436	469	1448	11815	18769	2985
	Moyenne	8,14	430	462	1433	11703	18576	2843
	Ecart-type	0,01	4	4	11	94	310	103
Ile Ouen	Minimum	8,10	427	456	1411	11511	18074	2805
	Maximum	8,15	446	475	1448	11817	19464	2985
	Moyenne	8,14	436	467	1432	11714	18653	2904
	Ecart-type	0,02	7	7	14	110	523	74

Le pH et les éléments majeurs constitutifs de l'eau de mer n'ont pas, à ce jour, donné des indications d'alerte bien qu'analysés à 3 profondeurs 2 à 4 fois/an sur 14 stations, en 8 années de suivi. Cependant une variation serait notifiée. Ce semestre un focus a été fait sur les sulfates.

Eléments majeurs constitutifs de l'eau de mer : les sulfates SO₄²⁻

- Comparaisons spatiales S1/2016**

Les concentrations en éléments majeurs et pH restent semblables aux différentes campagnes semestrielles effectuées et sont sensiblement homogènes entre les différentes zones étudiées.

Moyenne en baie Kwé et baie de Port Boisé : 2927 mg/L

Pour cette campagne le maximum en sulfates a été enregistré sur St 21 à l'îlot Ugo (Sud- Ouest du canal de la Havanna, en zone Témoins) avec 3010 mg/L, le minimum a été enregistré sur St 18 (îlot Casy) avec 2715 mg/L

- Evolution temporelle**

Le focus cible la baie Kwé (St06) et son témoin de contrôle : la baie de Port- Boisé (St 03), les échantillons d'eau de surface prélevés dans la veine d'eau dessalée (qui présente encore des caractéristiques des eaux des rivières alimentant les baies) sont choisis.

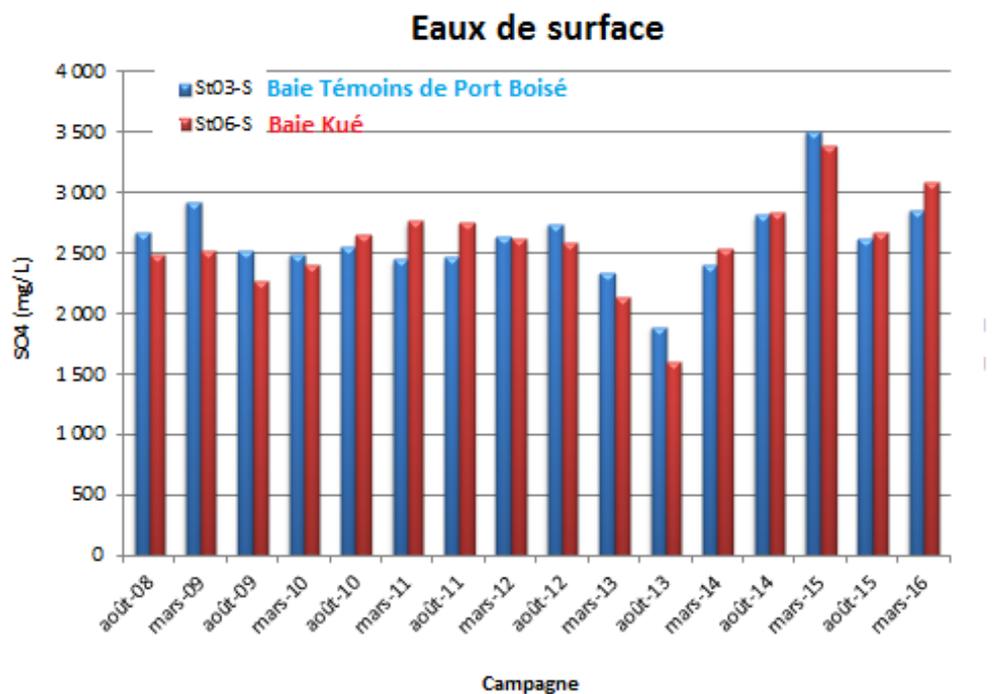
L'évolution temporelle est représentée ci-dessous. Remarquer la similitude des concentrations entre la baie de Port- Boisé (en bleu) et la baie Kwé (en rouge),

La baie Kwé ne présente aucune tendance évolutive au niveau des sulfates.

Tableau 13 : Concentration en Sulfates (mg/L) dans les prélèvements d'eau de surface (la plus sensible aux apports des creeks)

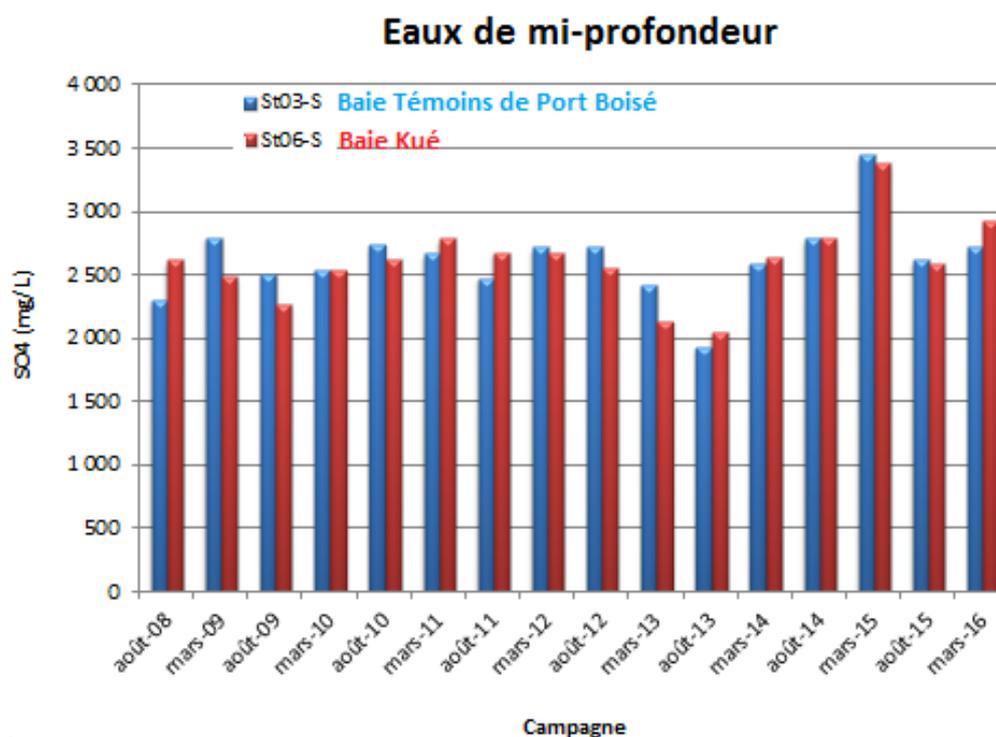
Sulfates en mg/L	Moyenne	Minimum	Maximum
Baie Kwé (St06)	2583	1600	3387
Baie de Port- Boisé (St 03)	2618	1925	3510

Figure 21 : Concentration en sulfates en baie Kwé (St06) en surface de 2008 à 2016



La cohérence des résultats des prélèvements en surface et analyses est renforcée par les résultats sur les prélèvements des eaux de mi profondeur, cf. la figure suivante.

Figure 22 : Concentration en sulfates en baie Kwé (St06) à mi –profneur de la colonne d’eau de 2008 à 2016



➤ **Hydrocarbures:**

L'analyse des prélèvements des stations St15 et St16 n'a pas permis de mettre en évidence des concentrations en hydrocarbures totaux supérieures à la limite de quantification de la méthode (<0,09 mg/L). Le rapport annuel consacré au port reprendra ces analyses de façon détaillée.

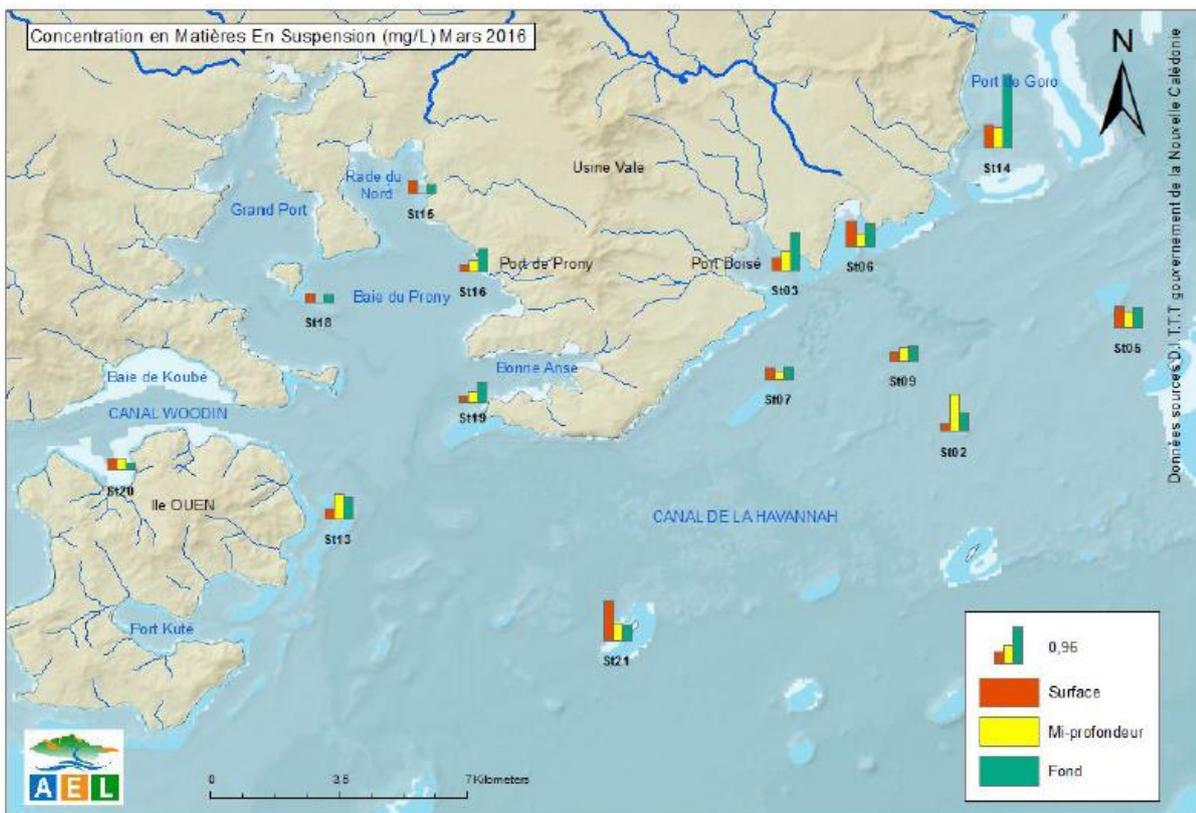
➤ **Matières en suspension totales (MEST) :**

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'août 2015 est synthétisé sur la figure suivante et les données brutes sont en annexe.

- Remarquer la faible concentration en MES au port de Prony, en face le creek Baie Nord et dans le baie Kwé.
- Dans le Canal de la Havannah, influencé par les apports océaniques, la concentration moyenne en MES est faible.
- Les concentrations en MES mesurées corrélient aux profils de turbidité enregistrés.
- La faible pluviométrie lors des prélèvements côtiers est en cohérence avec ses résultats ponctuels.



Figure 23 : Concentration en MES dans la zone du lagon sud calédonien en MARS 2016



Les interprétations des relevés ponctuels en MES sont un indicateur de puissance faible, le suivi intégrateur des flux est privilégié par 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 2016.

Tableau 14 : Température, salinité turbidité et fluorescence Mars 2016

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
Canal de la Havannah	Minimum	26,1	35,5	0,01	0,19
	Maximum	26,8	35,6	1,46	5,33
	Moyenne	26,6	35,6	0,37	0,64
	Ecart-type	0,19	0,01	0,14	0,26
Baies du Canal	Minimum	26,7	34,0	0,08	0,29
	Maximum	28,0	35,6	3,38	4,50
	Moyenne	27,1	35,4	0,68	1,01
	Ecart-type	0,03	0,06	0,06	0,14
Baie du Prony	Minimum	25,4	34,8	0,00	0,02
	Maximum	28,1	35,6	5,40	3,39
	Moyenne	26,7	35,6	0,57	0,48
	Ecart-type	0,20	0,03	0,29	0,08
Ile Ouen	Minimum	26,3	35,2	0,02	0,34
	Maximum	26,9	35,8	2,97	2,40
	Moyenne	26,6	35,6	0,61	0,66
	Ecart-type	0,00	0,03	0,02	0,02

○ **La température :**

Les stations marines des Baies du Canal sont légèrement plus chaudes, de 0,4 °C par rapport aux autres zones d'étude, cependant les jours les plus chauds ont été enregistrés en janvier et surtout février 2016 où des records de température (de l'air) ont été battus, (cf. le chapitre 3.2.1 sur la météorologie et le phénomène « El Niño » qui a sévi fin 2015 et début 2016). En mars ce phénomène était en décroissance et les températures de l'air, bien qu'encore au-dessus de la moyenne commençaient à baisser avec un écart de + 0,4 °C au-dessus des normales.

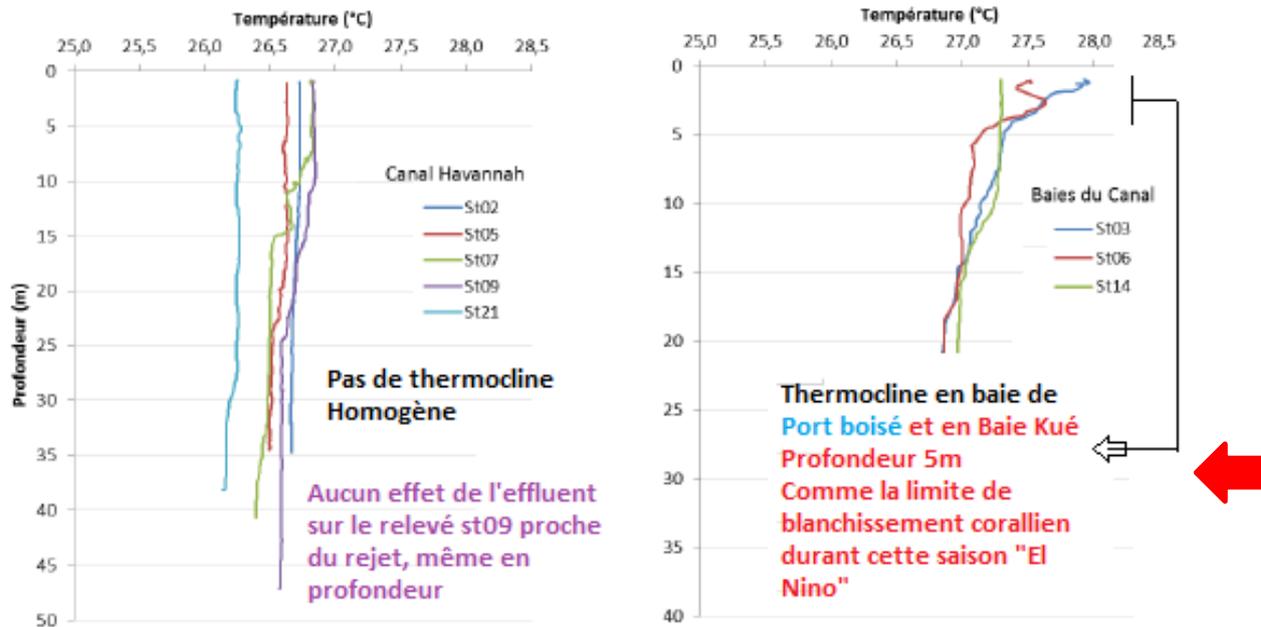
Pour les stations St03 (Port boisé) et St06 (Baie Kwé), une thermocline est bien marquée entre 0 et 5 m. La variation de température sur la colonne d'eau est plus importante pour la station St03 en baie de Port Boisée avec une chute de température de 1,7 °C entre la surface et le fond, contre seulement 0,7 °C pour la St06.

Dans le canal de la Havannah la température reste très homogène (sans hausse dans sa partie supérieure ni thermocline).

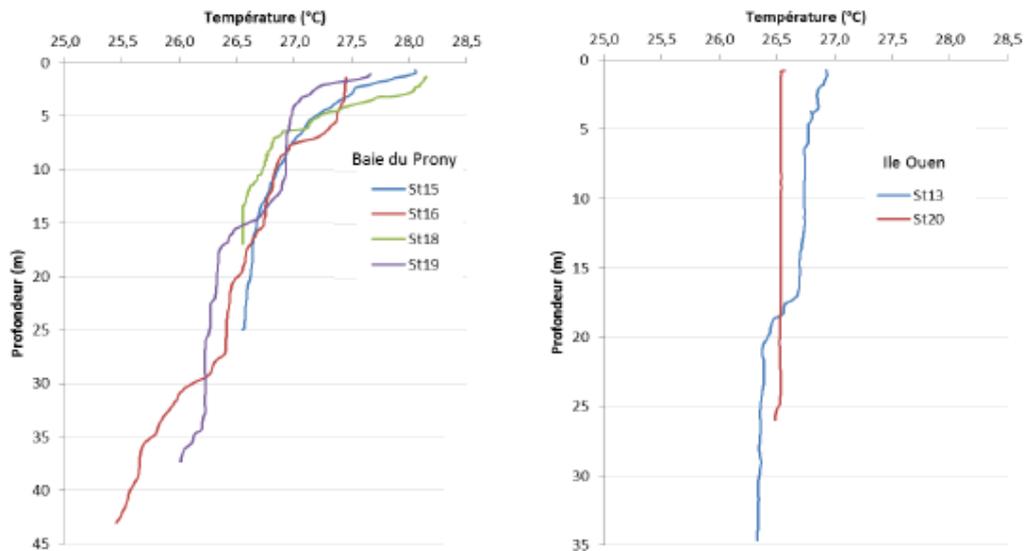
Ces observations sont en cohérence avec la répartition du blanchissement corallien (chapitre 3.2.3.2 sur le suivi éco-systémique) qui n'affecte pas les stations dans le canal et qui n'affecte que les *transects* supérieurs des stations des baies où l'eau a pu se réchauffer en raison des conditions météorologiques exceptionnelles.

Les profils obtenus par les sondes sont présentés ci-dessous.

Figure 24 : Profils de température en MARS 2016



La baie de Goro ne présente pas le même profil de salinité et de températures que les baies Kwé et Port Boisé, la Baie de Prony se rapproche du profil des baies Kwé et Port Boisé.



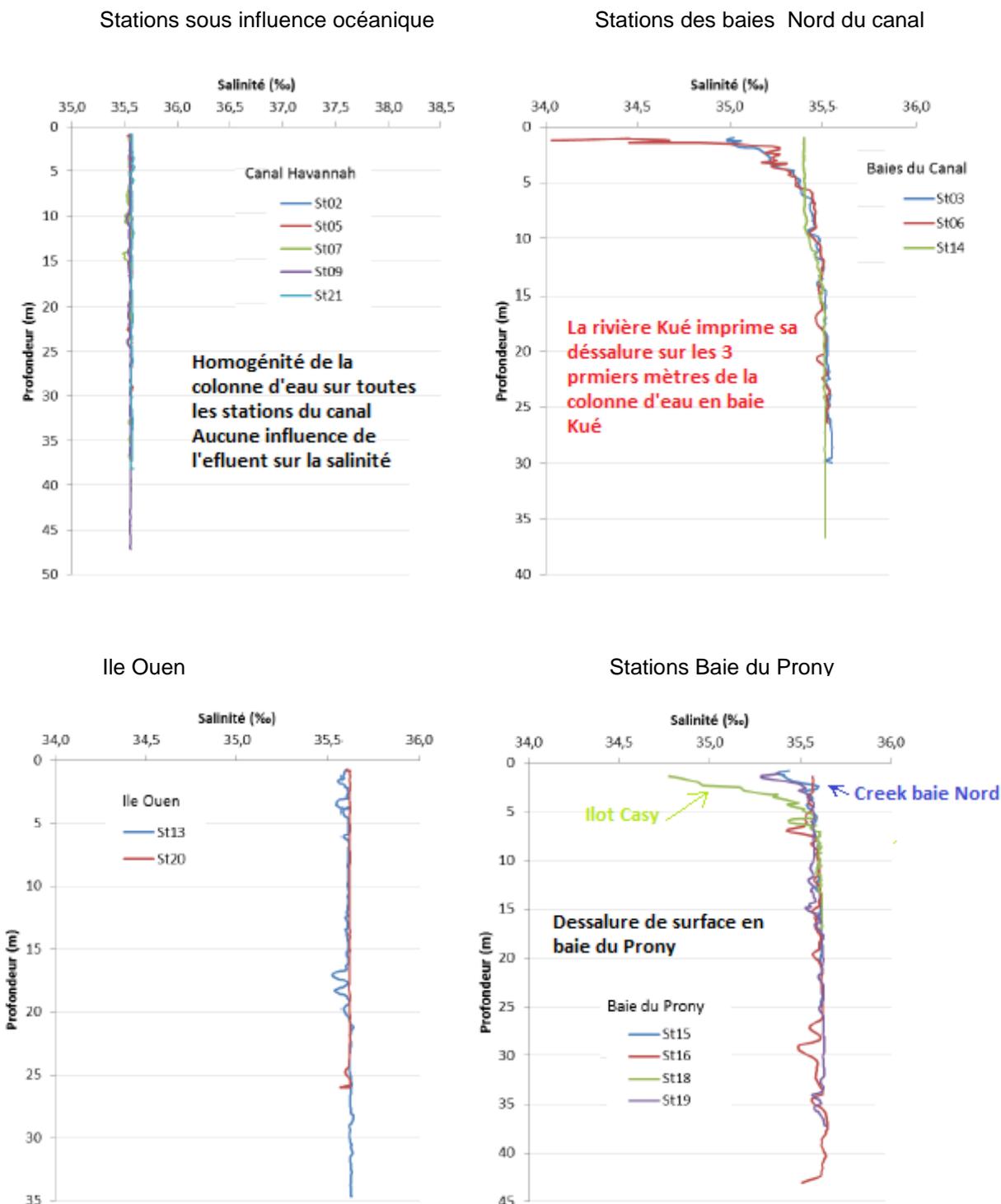
Aucune trace de réchauffement en profondeur dans le canal de la Havannah, comme attendu. La station St09 est la plus proche de l'émissaire. L'effluent traité rejeté n'est pas détectable à quelques mètres du diffuseur et sa température n'affecte pas la température des masses d'eau du canal, même en profondeur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

o **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, comme attendue en face un rejet permanent par un creek ou une rivière. De même en baie du Prony.

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

Figure 25 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de MARS 2016



Le mois de mars 2016 n'a pas été sujet à une forte pluviométrie, cependant les creeks pérennes marquent la surface par leur panache dessalé en baie du Prony et en zone côtière au Nord du canal de la Havannah, comme attendu, en fonction des débits des creeks. Ces résultats sur la structure verticale sont conformes aux valeurs attendues.

- **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.

L'utilisation simple de disque de SECCHI est envisagée.

- **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)

- **L'Oxygène dissous**

Il est envisagé d'ajouter ce capteur à la sonde CTD fin 2015

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

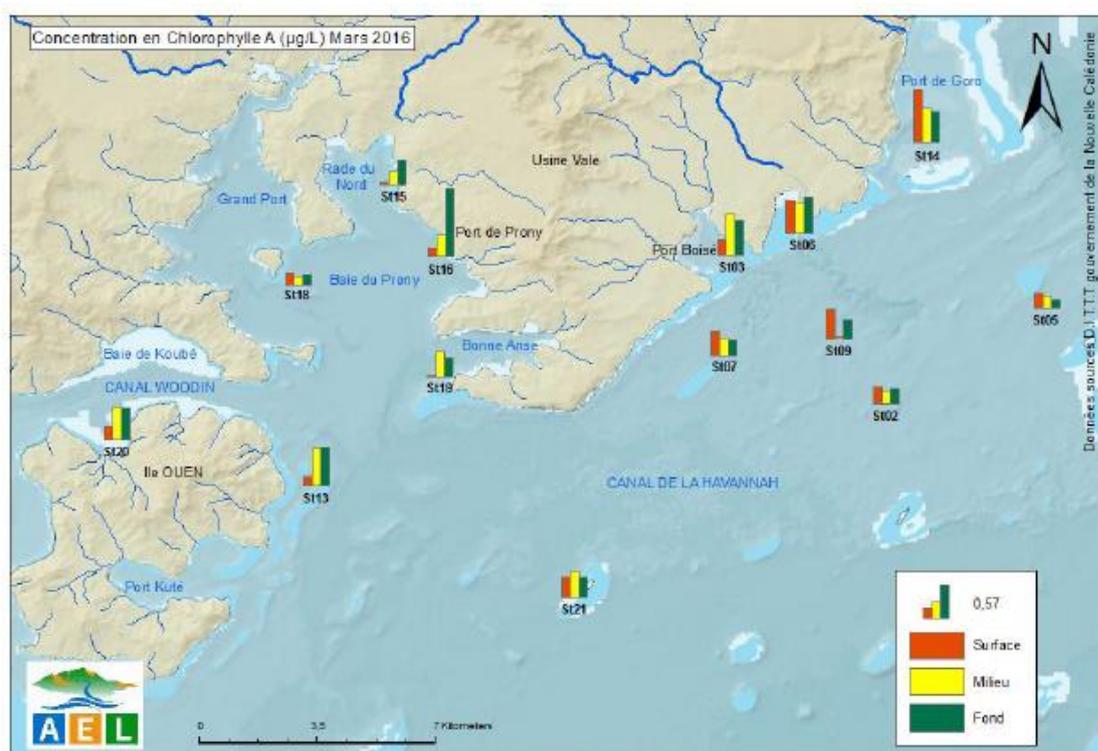
La chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et, de ce fait, le niveau trophique du milieu (oligotrophie / eutrophie- Le lagon calédonien fait partie des grands domaines oligotrophes). Sa dégradation donne de nombreux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



Figure 26 : Concentration de chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de MARS 2016 .



La plus forte concentration est sur St16 avec 1,13 µg/L, la chlorophylle a toujours montré des variations importantes, dans un cadre de bonne qualité de l'eau ; à titre indicatif de guide CNRT/Zoneco donne un bonne qualité de l'eau des baies avec une concentration en chlorophylle a allant jusqu'à 1,5 µg/L et un indice plutôt mauvais à suivre si la concentration dépasse 5 µg/L

➤ **Concentrations en sels nutritifs : nitrates et nitrites, ammonium NH_4^+ , 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 dans un creek et donc vers une embouchure de creek, mais au niveau du diffuseur, via l'effluent marin traité.

Le seul risque d'eutrophisation identifié est en baie de Port- Boisé et sans lien avec Vale NC (Rejet d'un hôtel).

Tableau 15 : Concentration en sels nutritifs dans les grands domaines de la zone d'étude en MARS 2016

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs ($\mu\text{mol/L}$)			
		NO_3+NO_2	NH_4	PO_4	SiO_4
Canal de la Havannah	Minimum	0,055	0,034	0,070	0,80
	Maximum	0,312	0,211	0,139	2,91
	Moyenne	0,239	0,128	0,100	1,50
	Ecart-type	0,075	0,041	0,017	0,64
Baies du Canal	Minimum	0,053	0,050	0,047	1,27
	Maximum	0,268	0,267	0,113	3,98
	Moyenne	0,158	0,125	0,075	1,82
	Ecart-type	0,075	0,070	0,021	0,89
Baie du Prony	Minimum	<0,017	0,029	<0,017	0,49
	Maximum	0,224	0,279	0,112	3,99
	Moyenne	0,068	0,084	0,050	1,57
	Ecart-type	0,074	0,073	0,033	0,91
Ile Ouen	Minimum	0,023	0,042	0,030	0,63
	Maximum	0,257	0,141	0,072	2,72
	Moyenne	0,102	0,082	0,051	1,44
	Ecart-type	0,085	0,042	0,016	0,76

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,050 $\mu\text{mol/L}$) et >LD (0,017 $\mu\text{mol/L}$).

L'étude temporelle ne montre pas d'évolution particulière des concentrations moyennes de NO_3+NO_2 , NH_4 , PO_4 et SiO_4 obtenues dans les 4 zones étudiées depuis le début des campagnes « saisons chaudes ». Elles restent globalement dans le même ordre de gamme depuis 2007 comme le montrent les analyses d'évolution temporelle au chapitre suivant, notamment sur les stations Creek baie Nord et Baie Kwé

Les stations sous influence Vale NC présentent des concentrations en nitrates, nitrites, ammonium et phosphate parmi les plus basses.

Aucune alerte ou prémices d'eutrophisation, les concentrations en nutriments restent très inférieures aux indications d'alerte données par le guide CNRT/ Zoneco, à titre indicatif.

Figure 27 : Répartition spatiale des concentrations en nitrates + nitrites. MARS 2016

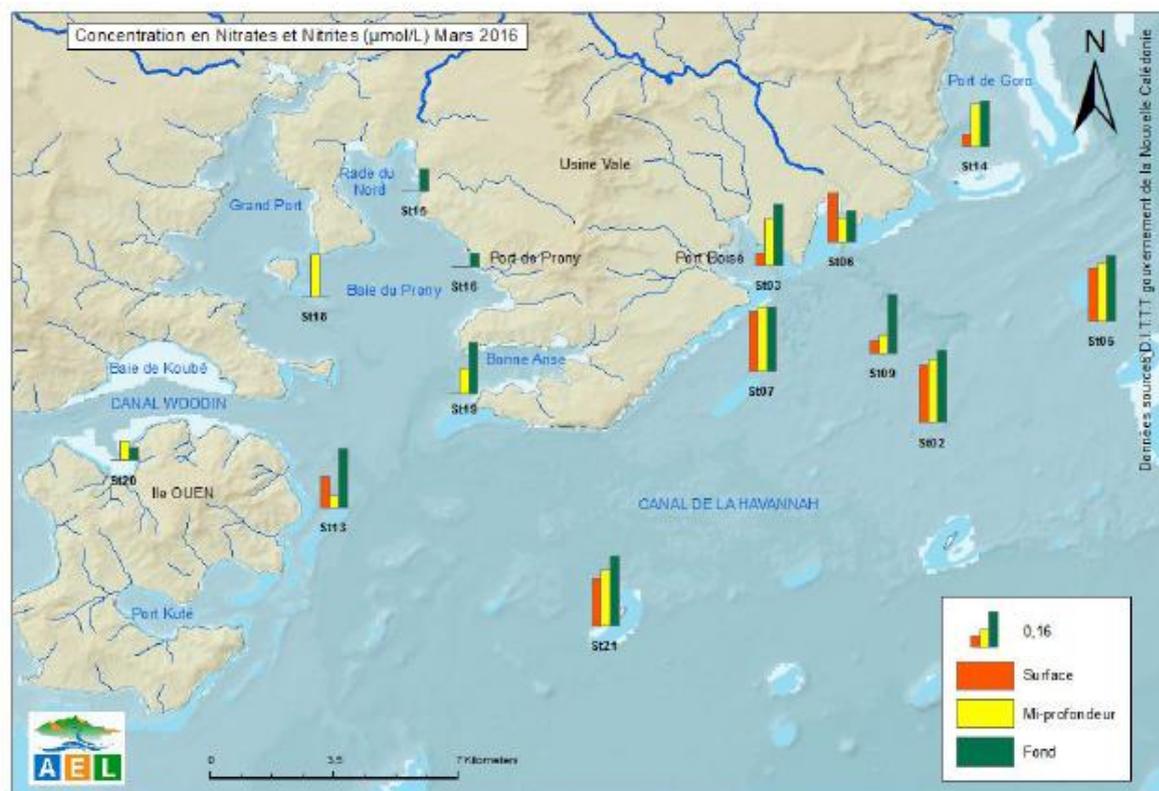


Figure 28 : Répartition spatiale des concentrations en ammonium. MARS 2016

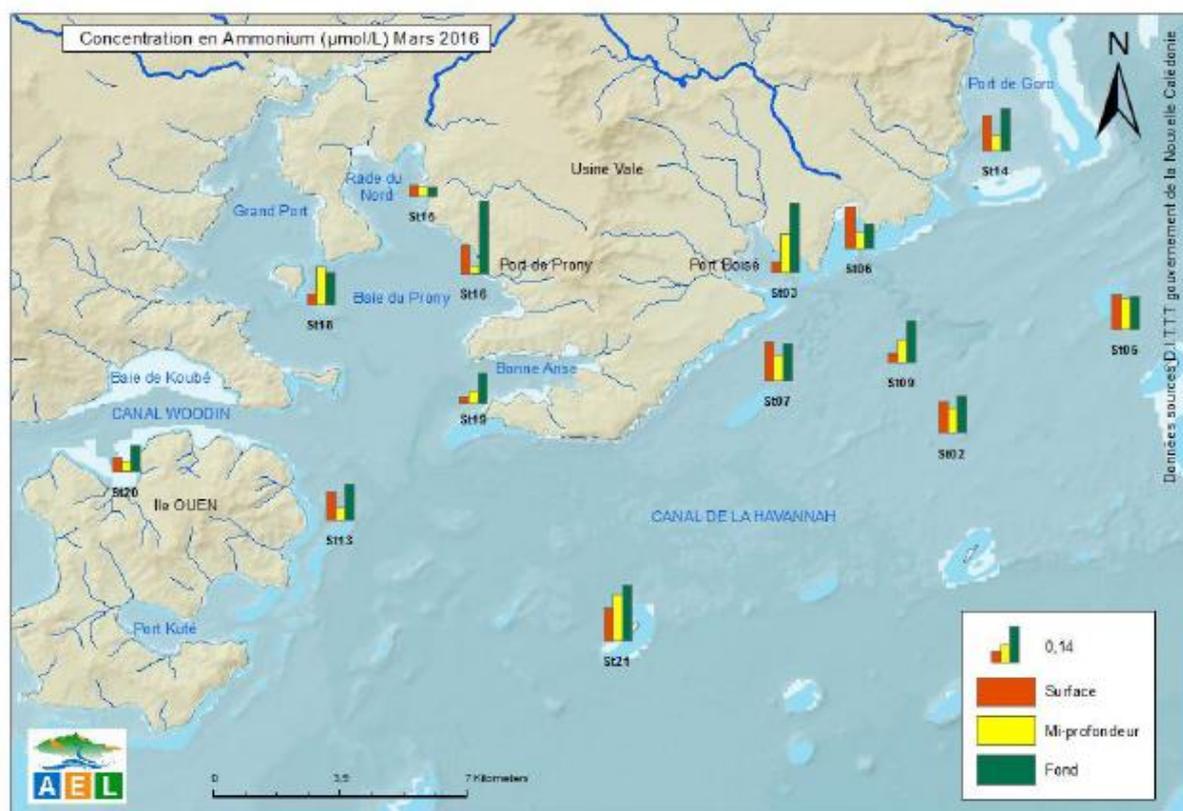
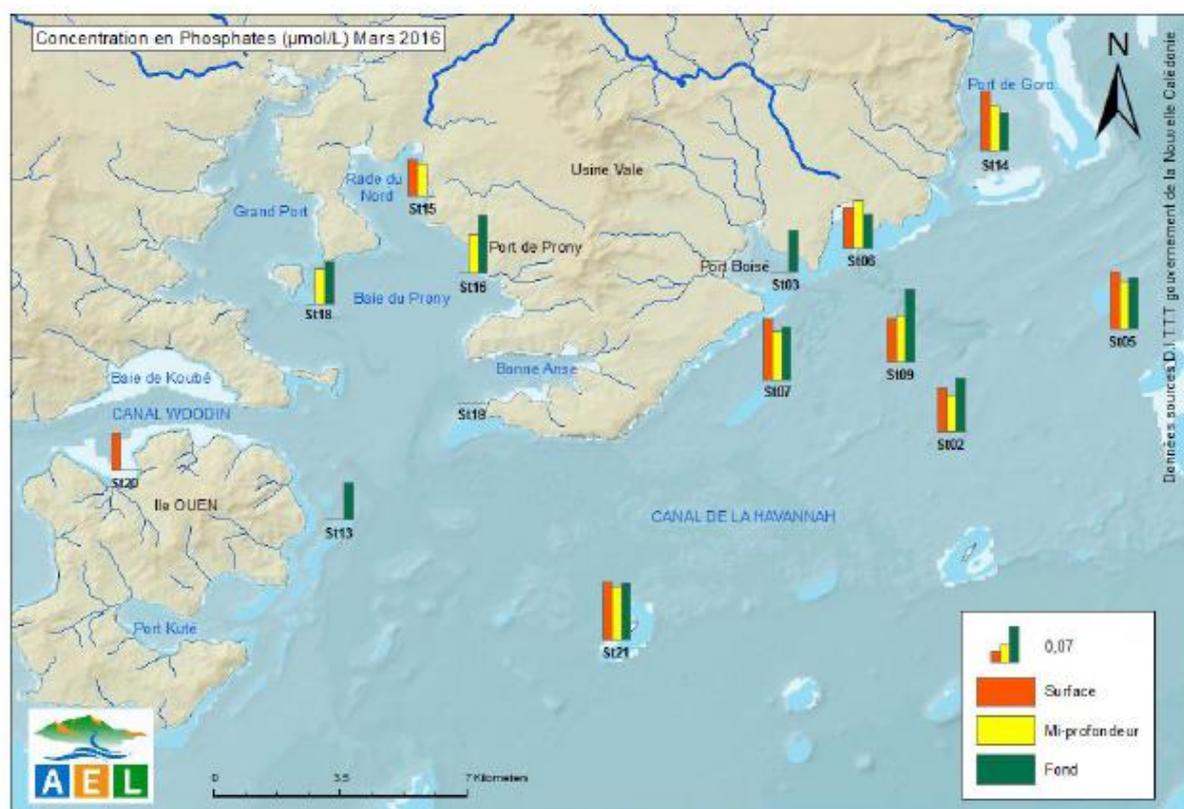


Figure 29 : Répartition spatiale des concentrations en phosphates. MARS 2016


Pour les phosphates, en mer il s'agit d'orthophosphates, 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 VNC et de l'usine, ne présente pas d'élévation anormale des concentrations en sels nutritifs.

Il n'y a aucune concentration relevée en sels nutritifs qui puisse indiquer une perturbation sur l'ensemble des zones de suivi.

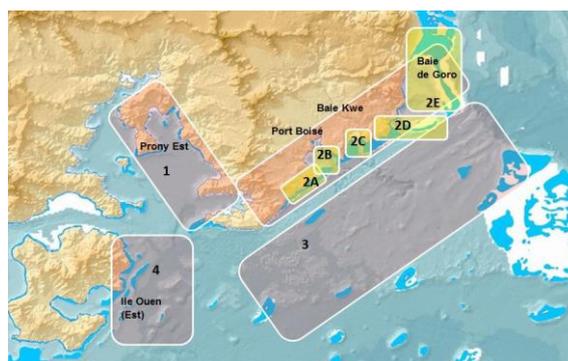
- **Carbone, azote et phosphore organiques : NOD, POD, NOP, POP et COP** (selon s'ils sont dissous ou particulaires, la distinction entre la matière dissoute et la matière particulaire étant généralement située à la limite de 0,45 µm.)

Aucune distribution ni anomalie particulières ne sont observées au cours de cette mission d'août 2015, l'évolution temporelle en sels minéraux sur les stations cibles les plus sensibles est présentée ci-dessous.

(Résultats intégraux en annexe de ce document, avec le rapport intégral de la mission)

➤ **Concentration en métaux :**

Tel qu'observé 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 2016

Au niveau du cuivre et du zinc

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

Tableau 16 : Concentration en Cu et Zn au port de Prony lors des échantillonnages 2016

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)	
		Cu	Zn
St16	S	0,036	<0,333
	M	<0,008	<0,333
	F	<0,008	<0,333

Pour le cuivre c'est la station St13 qui se démarque avec une concentration maximale mesurée de 0,203 µg/L. et St 15 dans Bonne Anse.

Ces résultats S1/2016 ne montrent aucune élévation signataire des concentrations en Cu ou Zn dissous au niveau du port de Prony. (Ni ailleurs sur le domaine suivi).



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

Les concentrations 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 des métaux dissous cobalt (Co), chrome hexa-valent (Cr(VI)), chrome total (Cr-total), manganèse (Mn) et nickel (Ni) 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).

Remarquons que la station du canal Woodin St 20 (qui possède des caractéristiques spécifiques et qui est située hors zone d'influence de VNC) ne présente pas une concentration en Cr VI ou un autre métal, qui soit au-delà de ce qui est attendu de façon cohérente avec sa position géographique.

Tableau 17 : Concentration en métaux dissous en microgrammes/L. MARS 2016.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		As*	Cr ^{VI}	Crtot	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	0,03	0,102	0,137	<0,009	<0,008
	Maximum	2,60	0,132	0,255	<0,009	0,026
	Moyenne	1,78	0,117	0,155	-	0,002
	Ecart-type	0,64	0,010	0,029	-	0,007
Baies du Canal	Minimum	1,20	0,115	0,153	<0,009	<0,008
	Maximum	3,10	0,272	0,329	0,114	0,014
	Moyenne	1,81	0,157	0,222	0,034	0,002
	Ecart-type	0,60	0,057	0,071	0,038	0,005
Baie du Prony	Minimum	0,03	0,130	0,165	0,010	<0,008
	Maximum	2,50	0,295	0,319	0,069	0,043
	Moyenne	1,46	0,181	0,223	0,028	0,016
	Ecart-type	0,61	0,045	0,050	0,019	0,019
Ile Ouen	Minimum	0,03	0,115	0,145	0,015	<0,008
	Maximum	2,30	0,147	0,185	0,032	0,203
	Moyenne	1,24	0,130	0,163	0,020	0,038
	Ecart-type	1,01	0,011	0,015	0,007	0,081

Surignée en jaune : donnée entre <LQ (0,027 et 0,025 µg/L, respectivement pour Co et Cu) et >LD (0,009 et 0,008 µg/L, respectivement pour Co et Cu). * : les analyses effectuées par un laboratoire prestataire dont les valeurs en dessous de la LQ n'étant pas fournies sont minorées à LQ/3.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	<0,023	<0,009	0,045	<0,033	<0,33
	Maximum	0,053	0,093	0,135	0,082	<0,33
	Moyenne	0,004	0,044	0,079	0,017	-
	Ecart-type	0,014	0,020	0,021	0,026	-
Baies du Canal	Minimum	<0,023	0,034	0,053	<0,033	<0,33
	Maximum	<0,023	0,394	0,571	<0,033	<0,33
	Moyenne	-	0,140	0,214	-	-
	Ecart-type	-	0,110	0,179	-	-
Baie du Prony	Minimum	<0,023	0,016	0,075	<0,033	<0,33
	Maximum	0,088	0,396	0,453	0,040	0,923
	Moyenne	0,019	0,168	0,199	0,003	0,136
	Ecart-type	0,030	0,124	0,116	0,012	0,320
Ile Ouen	Minimum	<0,023	0,054	0,102	<0,033	<0,33
	Maximum	<0,023	0,143	0,184	0,191	3,07
	Moyenne	-	0,097	0,141	0,039	3,07
	Ecart-type	-	0,030	0,027	0,077	0,51

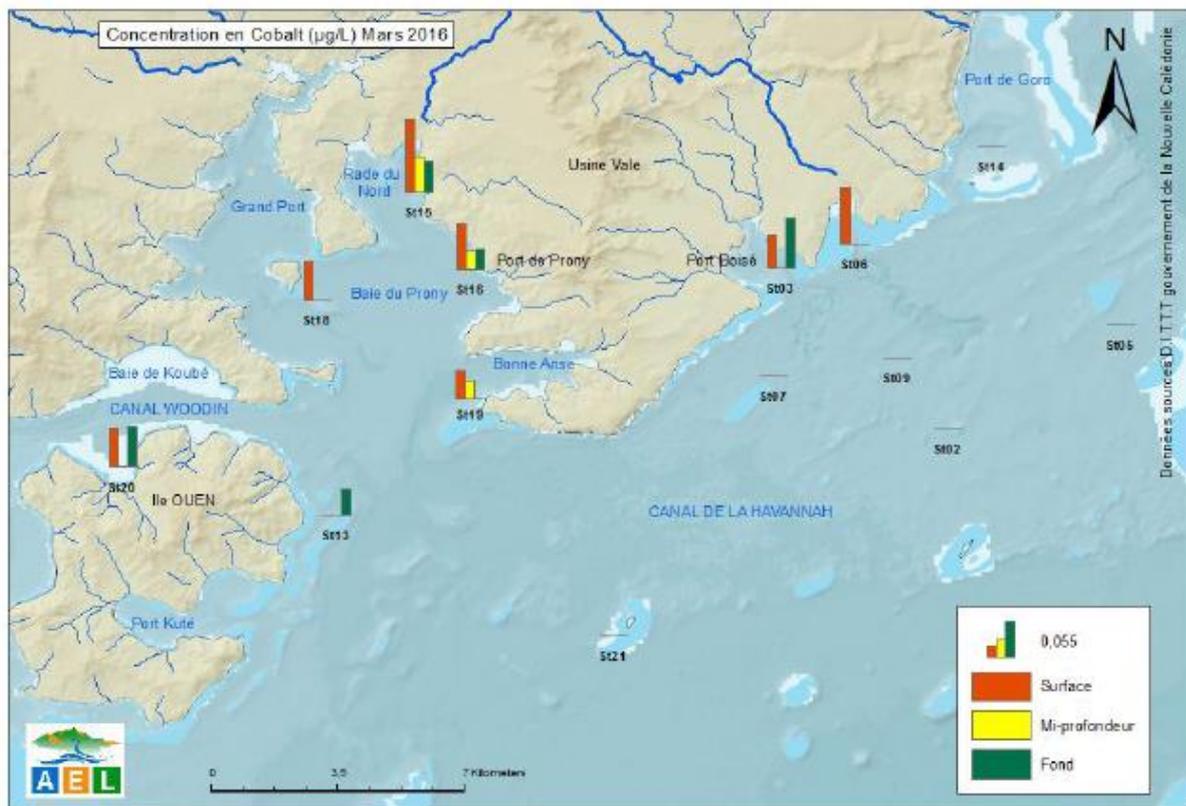
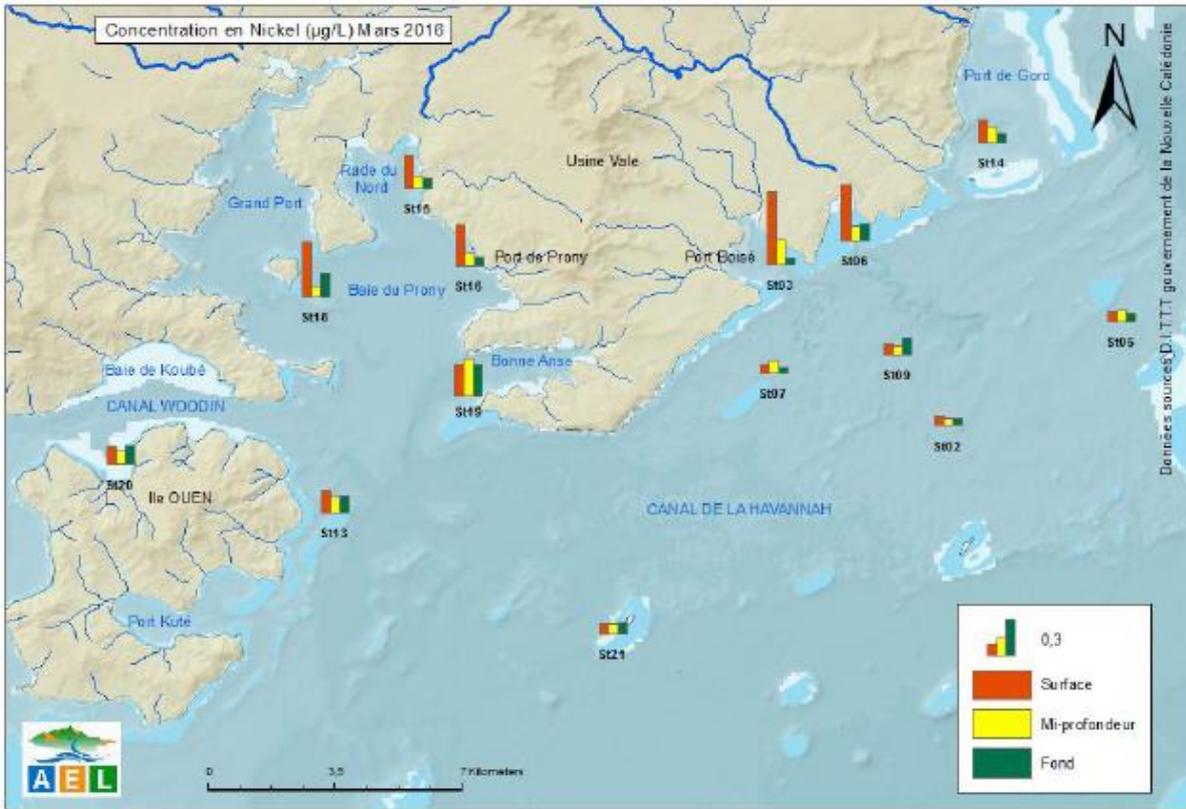
Surignée en jaune : donnée entre <LQ (0,068, 0,028, 0,100 et 1,00 µg/L, respectivement pour Fe, Mn, Pb et Zn) et >LD (0,023, 0,009, 0,033 et 0,333 µg/L, respectivement, Fe, Mn, Pb et Zn).

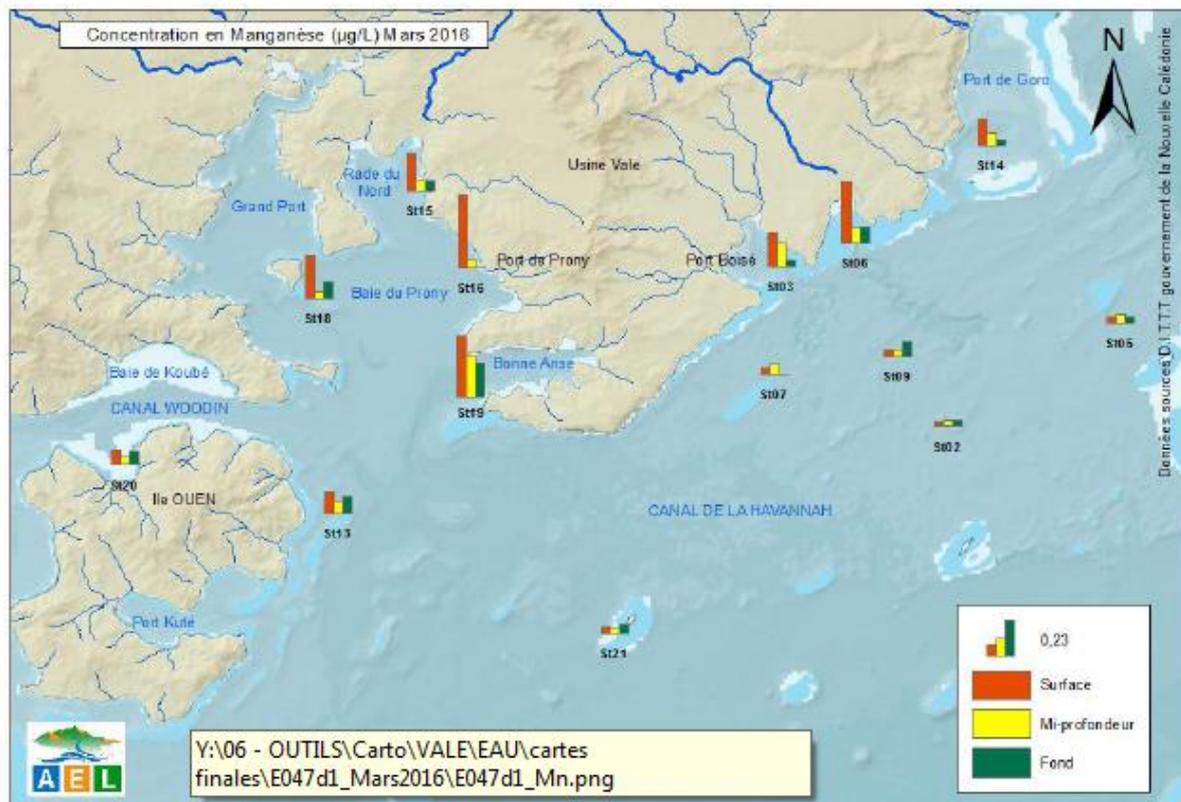
Les concentrations de Cd demeurent non quantifiables, quant à celles d'As, elles ne présentent pas de distribution particulière dans le domaine d'étude. Pour le Cu, Fe, Pb et Zn, seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées, notamment les plus élevées en Cu, Pb et Zn mesurées au fond de la station St13.

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.

Figure 30 : Concentrations en Ni, Co et Mn en sur toutes les stations en MARS 2016

Remarquer le « parallélisme » des deux stations : Baie Kwé (St 06- Impact) et Port Boisé (St03-Control- témoins),





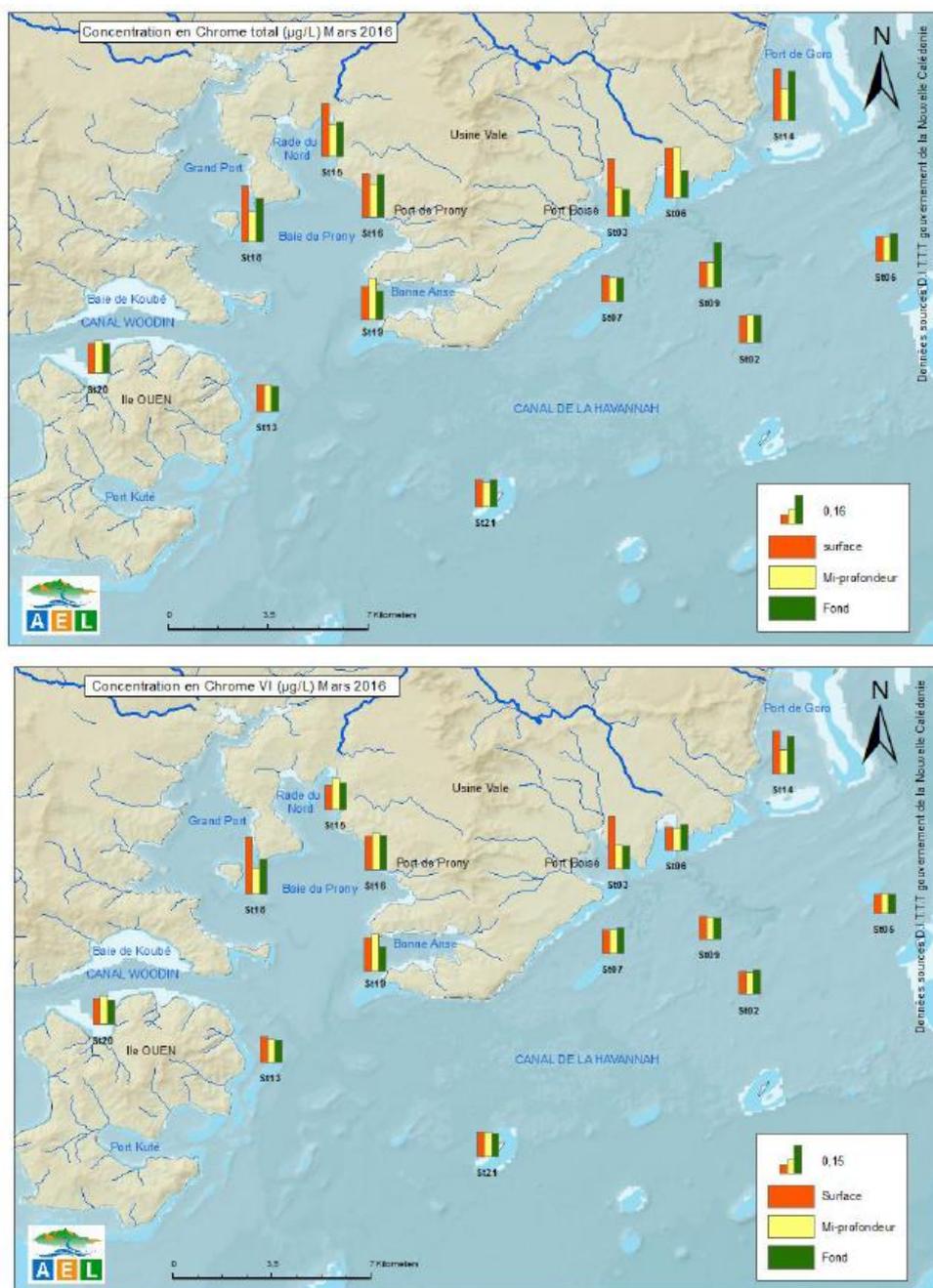
Co, Ni et Mn sont des marqueurs qui signent les apports en eaux de surface, en baie de Port boisé (qui n' est pas sous l'influence de la mine VNC) comme en baie Kwé (sous influence de la mine VNC) tout comme en baie du Prony. Leurs concentrations sont corrélées à la pluviométrie et au débit des creeks en fonction des bassins versants. Les concentrations en Ni, Co et Mn dans le canal sont très faibles, comme attendu en raison de l'influence marine qui domine dans le canal et du rabattement des eaux côtières par la barrière hydrodynamique du canal.

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

Les stations St03 et St 06 de Port Boisé et de la baie Kwé ont des caractéristiques très similaires à l'égard de la composition et de la structure de leurs masses d' eau, la couche d'eau dessalée de surface identifiée par la sonde (sur 3 à 5 m d'épaisseur) est due aux creeks et rivières permanents qui coulent, même en saison sèche, cette couche présente les concentrations maximales en métaux indicateurs terrigènes (Ni, Co, Cr, Mn). De même en baie du Prony mais le débit moindre du creek de la Baie Nord montre une eau de surface moins caractéristique (station St15).

Fe : Les concentrations en Fer, quant à elles, sont souvent en dessous de la limite de quantification (0,068µg/L)

Figure 31 : Concentrations en Chrome et Chrome VI sur toutes les stations MARS 2016.



Pour cette mission : Les concentrations en Chrome et Chrome VI sont supérieures dans la baie Témoins TS03 (Port-Boisé) que sur dans la baie Kwé. De même pour le nickel et le cobalt. Pas contre le Mn est un peu plus élevé en baie Kwé. Ces différences ne sont pas significatives et les deux baies ont un comportement comparable.

Tableau 18 : Comparaisons des concentration en métaux indicateurs terrigènes au temps t entre station d'impact et leur station ce contrôle témoin et avec le guide CRNRT /ZoNeCo- 2011 pour le lagon calédonien

Indicateurs terrigènes	Statut	Hydro région	Concentration moyenne sur la colonne d'eau en µg/L				Indications du Guide CNRT pour CrVI, Mn et Co
			Cr VI	Ni	Co	Mn	
MARS 2016							
St06 Baie Kwé	Impact	Baie Cotière	0,123	0,242	0,040	0,197	Milieu non perturbé
St03 Port Boisé	Contrôle témoins	Baie côtière	0,172	0,275	0,051	0,130	Milieu non perturbé
St 18 Baie du Prony Ilot Casy	Contrôle Témoins (Prony)	Baie côtière	0,185	0,243	0,034	0,144	Milieu non perturbé
St09	Impact (diffuseur)	Canal de la Havannah	0,113	0,097	< LQ	0,058	Milieu non perturbé
St 02	Contrôle témoins	Canal de la Havannah	0,119	0,067	< LQ	0,035	Milieu non perturbé

LQ Co : 0,009

Le tableau ci-dessus comme les cartes précédentes comparent des stations entre elles au temps t (en Mars 2016) : les stations sous influence d'impact potentiel ne présentent pas de différence significative par rapport aux stations de contrôle Témoins, pour les indicateurs terrigènes.

Toutes les mesures sont inférieures aux seuils indicatifs de perturbation, par rapport au guide du lagon CNRT / ZoNeCo qui les classe dans : Milieu non perturbé.

Le chapitre suivant est important car 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 en photographies d'un instant « t » : l'état ponctuel est très dépendant du fond géologique et géographique ainsi que de la météorologie et courantologie sur l'hydro région concernée ; mais en évolution des pressions en corrélation constante avec les événements climatiques qui peuvent être très intenses sous les tropiques.

3.2.2.3. Analyse temporelle des fluctuations des paramètres

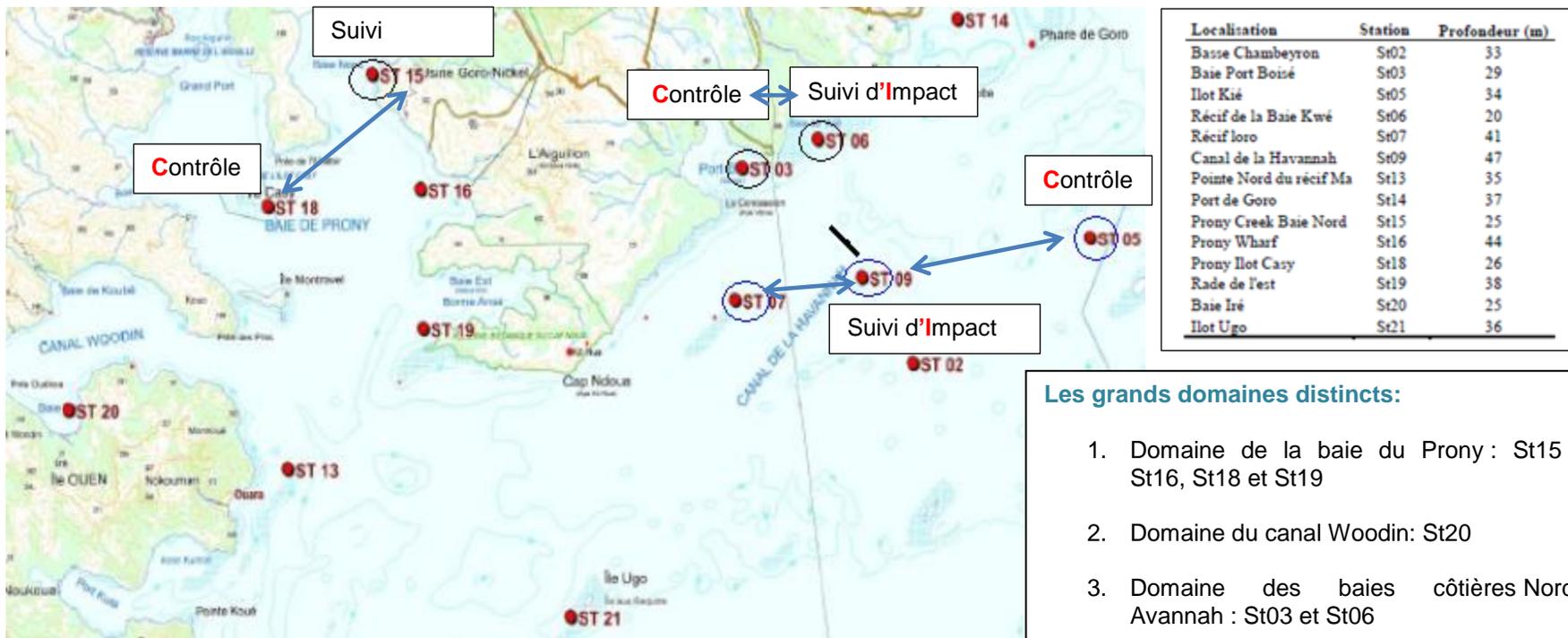
Les stations sentinelles présentées ici pour cette analyse temporelle sont :

- St 15 : Baie du Prony Rade Nord
 - 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 VNC et son homologue hors influence

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

Figure 31: Rappel de la position et de la nomenclature des stations 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 Avannah : 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 2015

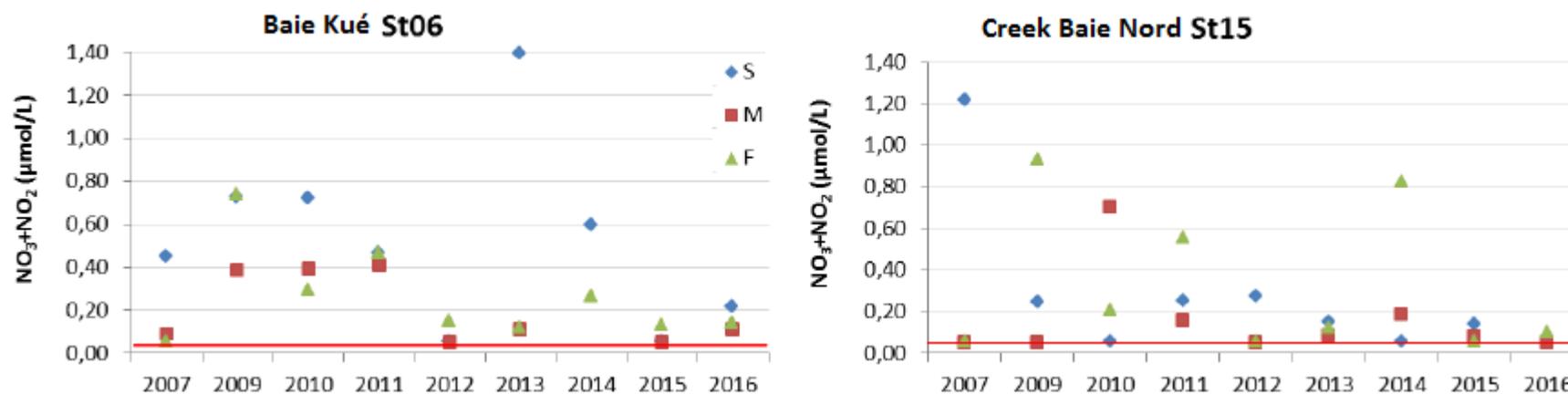
Sur des stations sélectionnées comme sentinelles et si possible allant de pair : station sous influence Vale NC et son homologue hors influence (Méthode de suivi : *Impact/Control* qui, couplée au suivi temporel de la station sentinelle surveillée : *Before/After*, conduit à une **stratégie BACI**)



Figure 32 : Evolution des concentrations Nitrates et Nitrites (NO₃+NO₂) aux stations les plus pertinentes à leurs égards : Baie Kwé (St06) et Creek baie Nord (St15) entre 2008 et 2016 en saison chaude (MARS)

(S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond)

La ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).



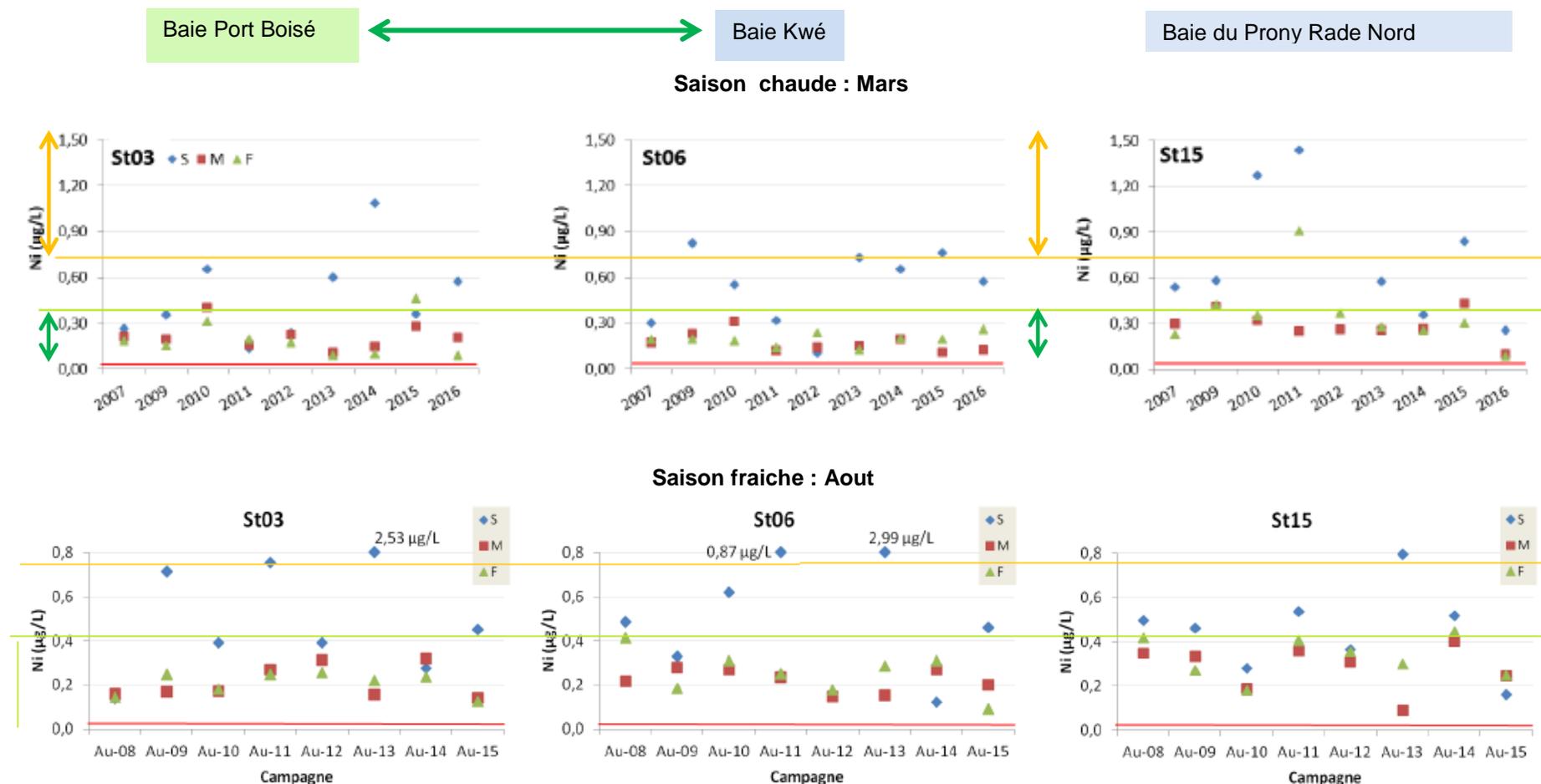
Conclusion 2016 : Milieux non perturbés sans risque d'eutrophisation via des nitrates



Figure 33 : Evolution des concentrations en Cobalt (Co) aux stations sentinelles entre 2007 et 2016 en saison chaude (MARS) et en saison fraiche de 2008 à 2015 (AOUT) (S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond) La ligne rouge est la limite de quantification (0,027 µg/L).

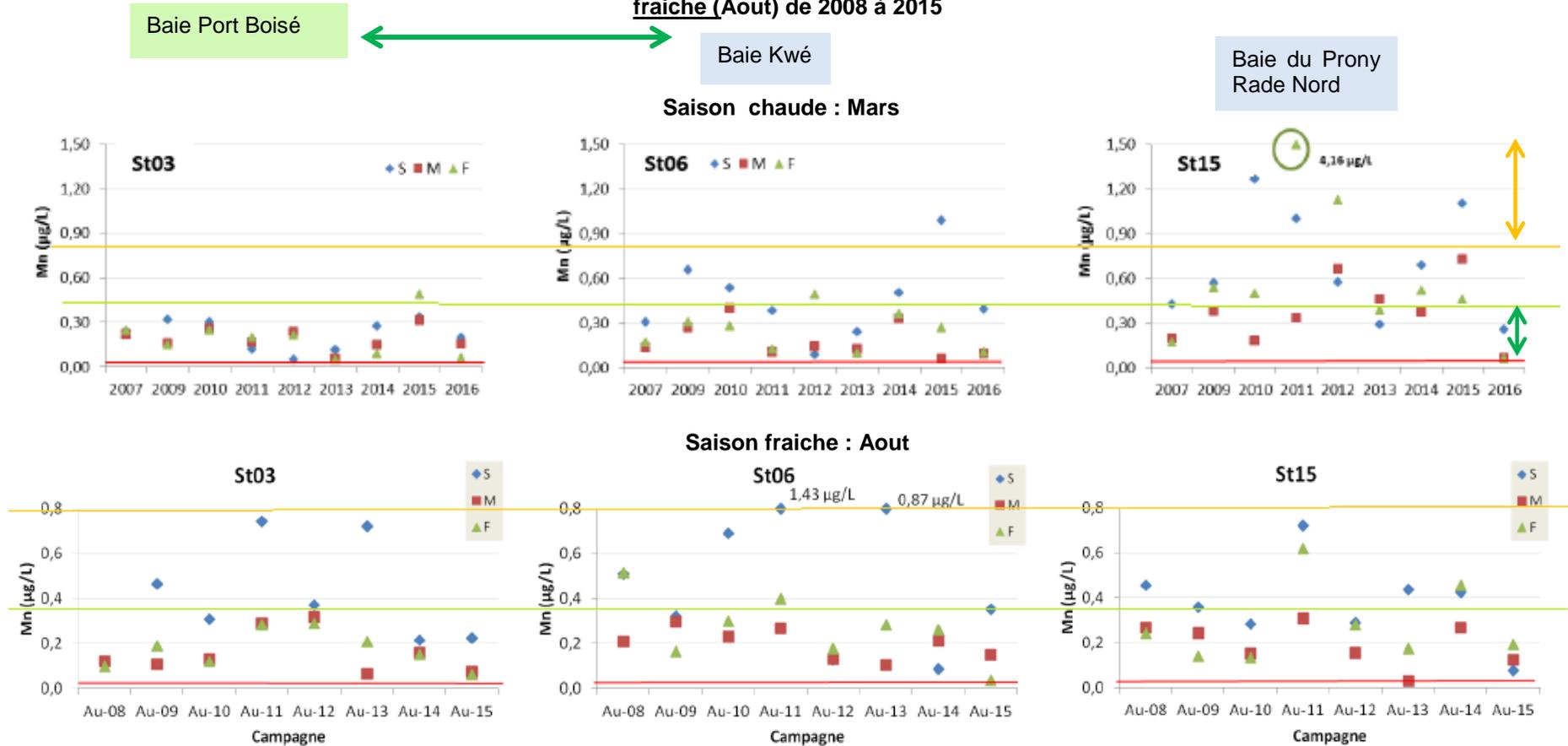


Figure 34 : Evolution des concentrations en Nickel (Ni) aux stations sentinelles entre 2007 et 2016 en saison chaude (MARS) et en saison fraiche (AOUT) de 2008 à 2015



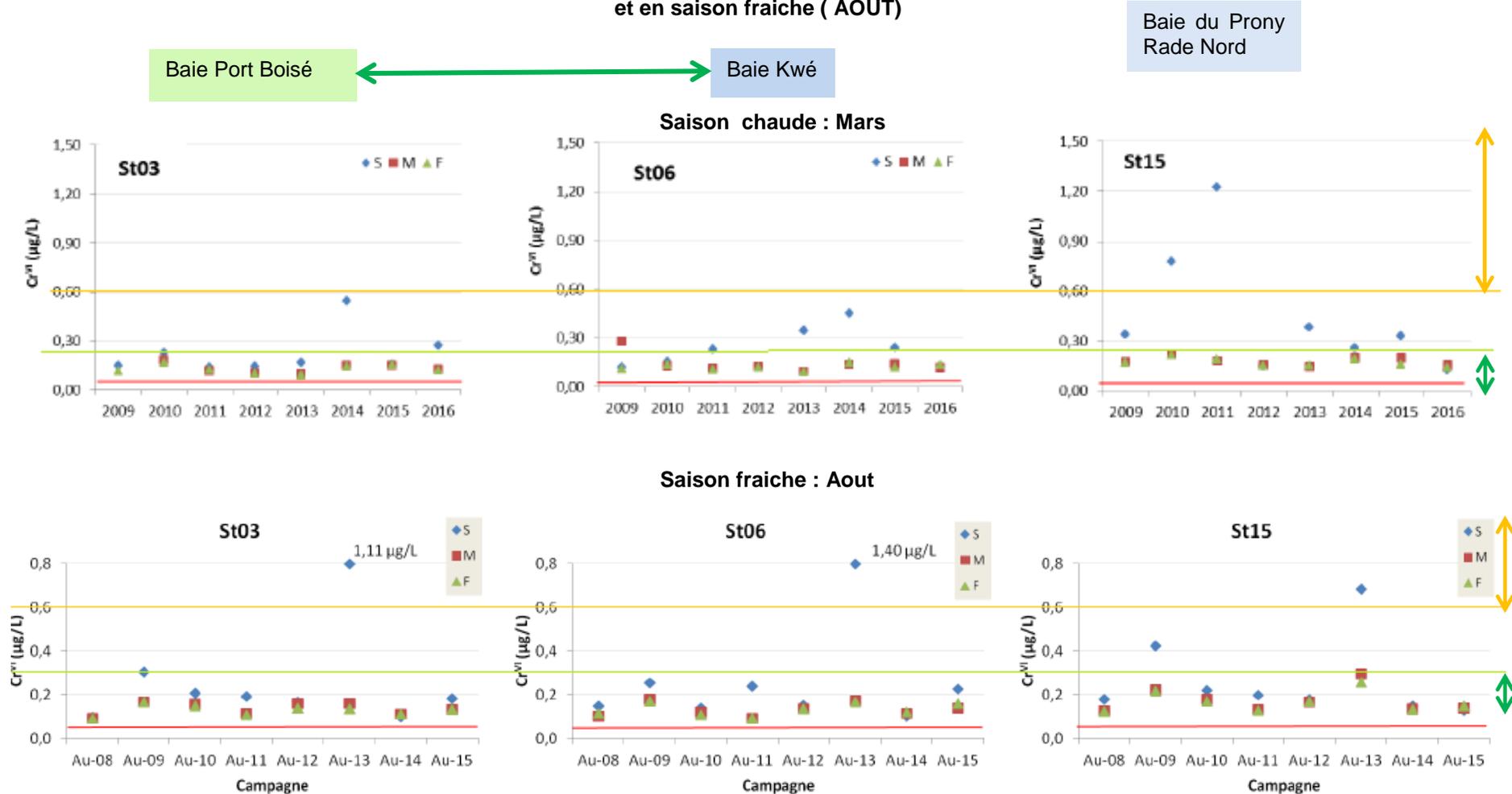
Le trait rouge représente la limite de quantification pour cet élément. A titre indicatif ne faisant pas office de seuil : en vert la concentration donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé et en orange la concentration indiquant une perturbation si valeur supérieure (anthropique 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), de plus le guide est en cours d'optimisation.)

Figure 35 : Evolution des concentrations en Manganèse (Mn) aux stations sentinelles entre 2007 et 2016 en saison chaude (MARS) et en saison fraiche (Aout) de 2008 à 2015



Le trait rouge représente la limite de quantification. 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 36 : Evolution des concentrations en Chrome hexavalent (Cr VI) aux stations sentinelles entre 2008 et 2016 en saison chaude (MARS) et en saison fraiche (AOUT)



Le trait rouge représente la limite de quantification. 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.

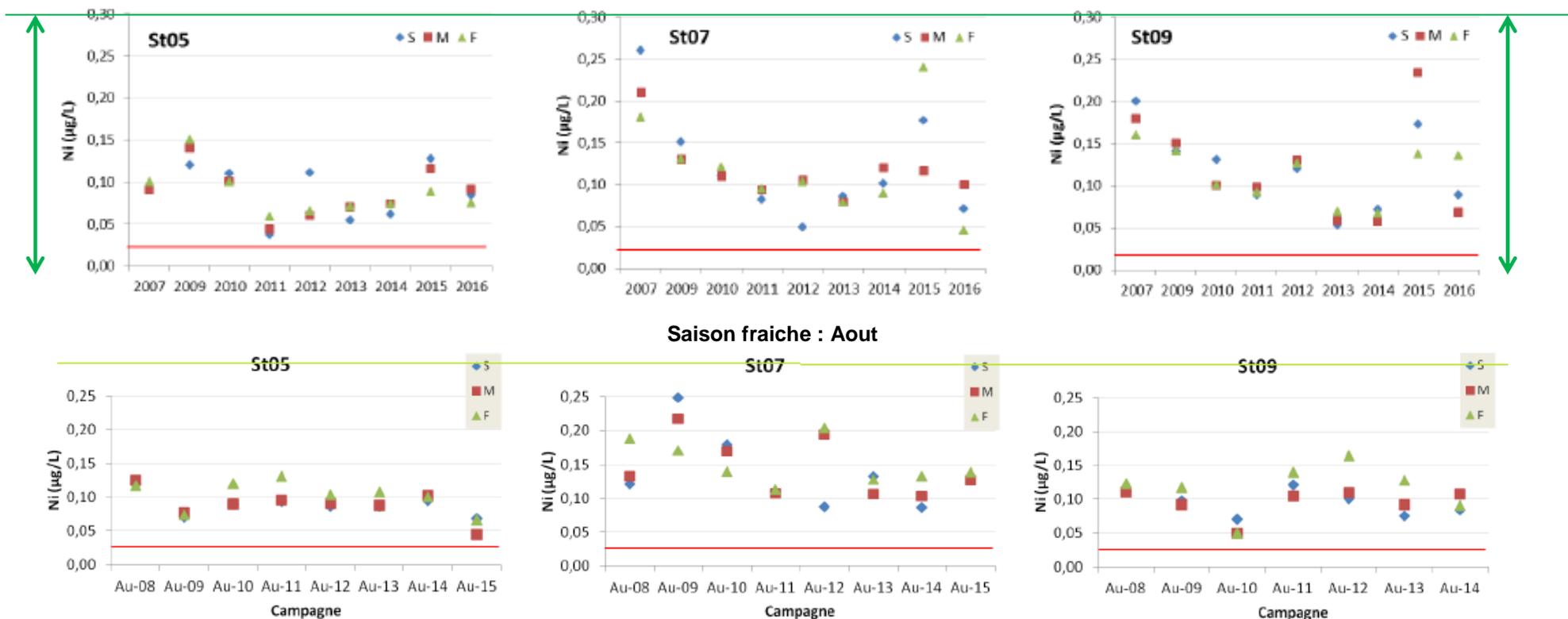
Figure 37 : Evolution des concentration en métaux dissous dans le canal de la Havannah entre 2007 et 2016 – Saison chaude (MARS) et en saison fraiche (AOUT) En Nickel (Ni)

Saison chaude : Mars

Témoins St 05 Canal Havannah près de la réserve Merlet

Canal Havannah Sud-Ouest de l'émissaire

Canal Havannah Proche du rejet effluent traité



Le trait rouge représente la limite de quantification. A titre indicatif ne faisant pas office de seuil : en vert la concertation donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé d'après le guide CNRT et en orange la concertation indiquant une perturbation pour toute concentration supérieure (anthropique ou autre cause comme un cyclone) d'après le guide du CNR

Figure 38: Evolution en métaux dissous dans le canal de la Havannah entre 2007 et 2016 – Saison chaude (MARS) et en saison fraiche (AOUT)

Manganèse (Mn)

Témoins Canal Havannah près réserve Merlet influence marine forte (Temoins)

Canal Havannah Sud-Ouest émissaire

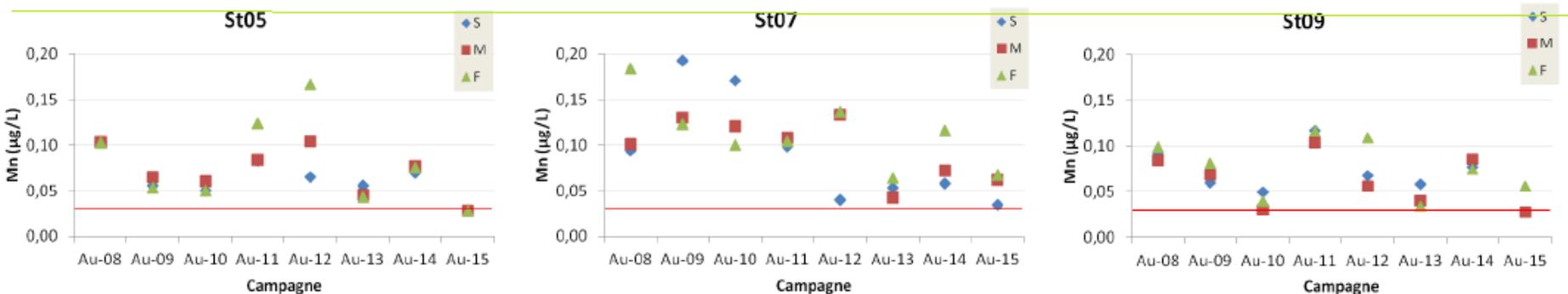
Canal Havannah Proche rejet effluent traité



Saison chaude : Mars



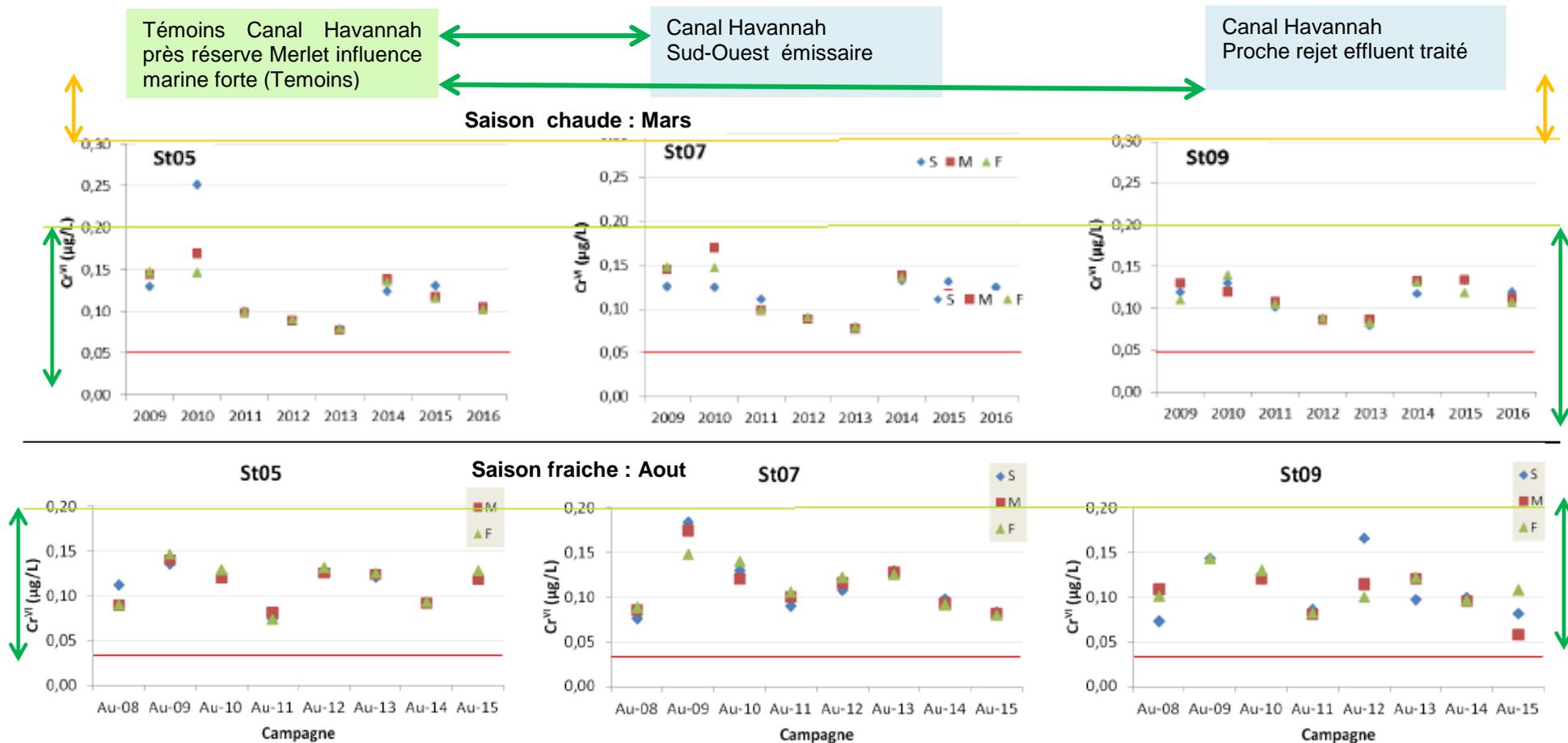
Saison fraiche : Aout



Le trait rouge représente la limite de quantification. A titre indicatif ne faisant pas office de seuil : en vert la concertation donnant une indication de très bonne qualité du milieu non perturbé d'après le guide CNRT et en orange la concentration indiquant une perturbation pour toute concentration supérieure (anthropique ou autre cause Comme un cyclone) d'après le guide du CNRT.

Figure 39: Evolution en métaux dissous dans le canal de la Havannah entre 2007 et 2016 – Saison chaude (MARS) et en saison fraiche (AOUT)

Le Chrome VI



Le trait rouge représente la limite de quantification. 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

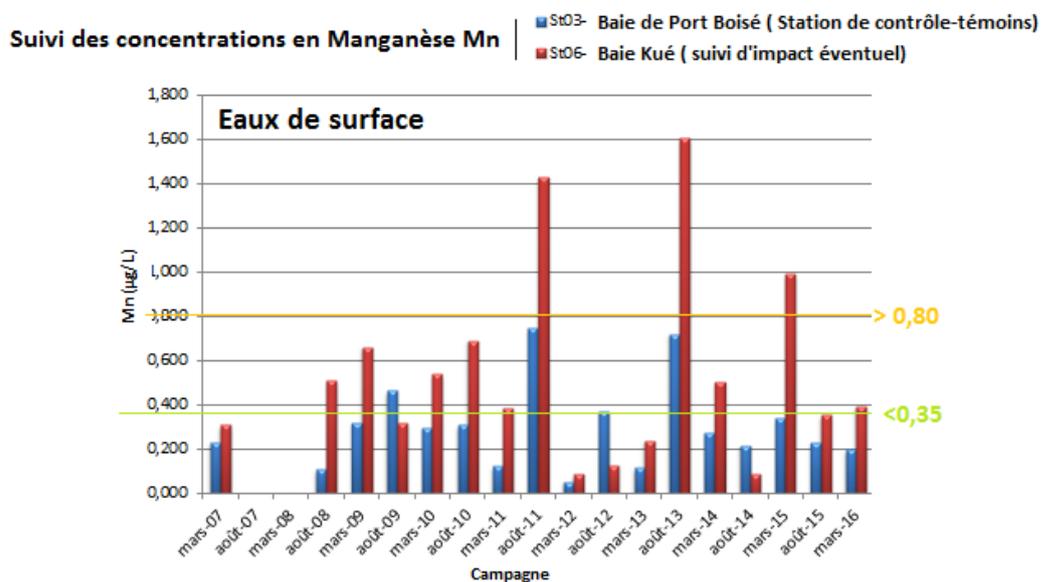
Focus sur la baie Kwé et le Mn.

Le focus est effectué sur la veine d'eau de surface qui montre une dessalure et les caractéristiques des cours d'eau qui alimentent ces deux baies.

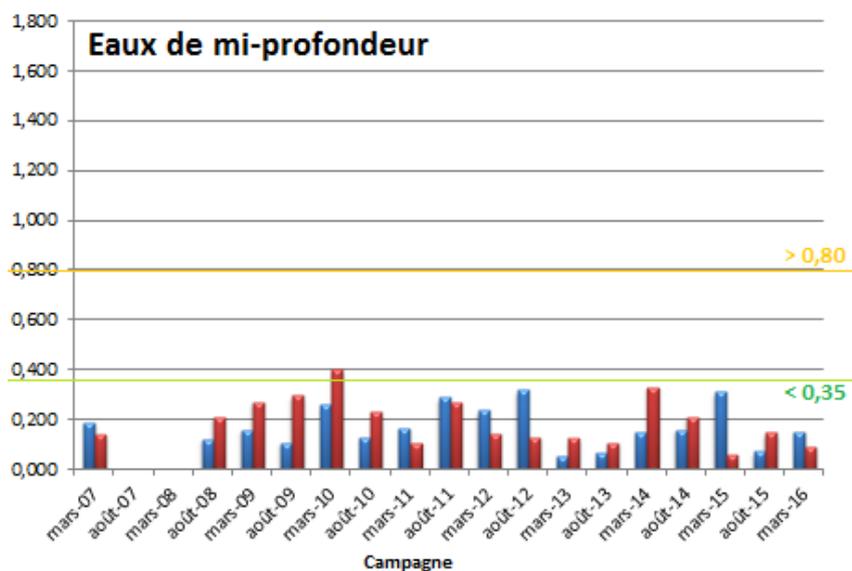
Si les prélèvements sont effectués à mi profondeur, l'influence des apports terrigènes est moindre.

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 (anthropique ou autre cause comme un cyclone) d'après le guide du CNRT / ZoNeCo 2011

Figure 40 : Evolution temporelle des concentrations en Mn sur la station St06 de la baie Kwé et sur la station de contrôle St 03 de Port Boisé



En aout 2013 une très forte pluviométrie avait été enregistrée en même temps que la campagne d'échantillonnages avec plus de 80mm de précipitation sur zone. Le parallélisme des concentrations entre la baie Kwé et la baie de Port- Boisé est à noter, il est à relativiser par la différence de leur surface de bassins de versants, celui de la baie Kwé (4 000 ha) étant plus grand que celui de Port Boisé.



CONCLUSION : (SUIVI QUALITE PHYSICO CHIMIQUE DE L'EAU DE MER S1 / 2016)

Au cours de la campagne du premier semestre 2016 il n'apparaît aucune non-conformité aux valeurs attendues :

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

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

3.2.3. Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées

L'ensemble des stations a été évalué et il n'y a eu aucun manquement à l'égard du suivi réglementaire.

Les missions de suivi du second semestre 2015 se sont déroulées en octobre et novembre 2015, une interruption a eu lieu en raison des contraintes météorologiques et de l'exigence de conditions environnementales relativement similaires pour chaque mission, afin d'éviter des biais. Les phases lunaires de mortes eaux sont aussi choisies. (Cf. annexe 1 sur la méthodologie) car les missions ciblent les périodes de mortes eaux (syzygie lunaire).

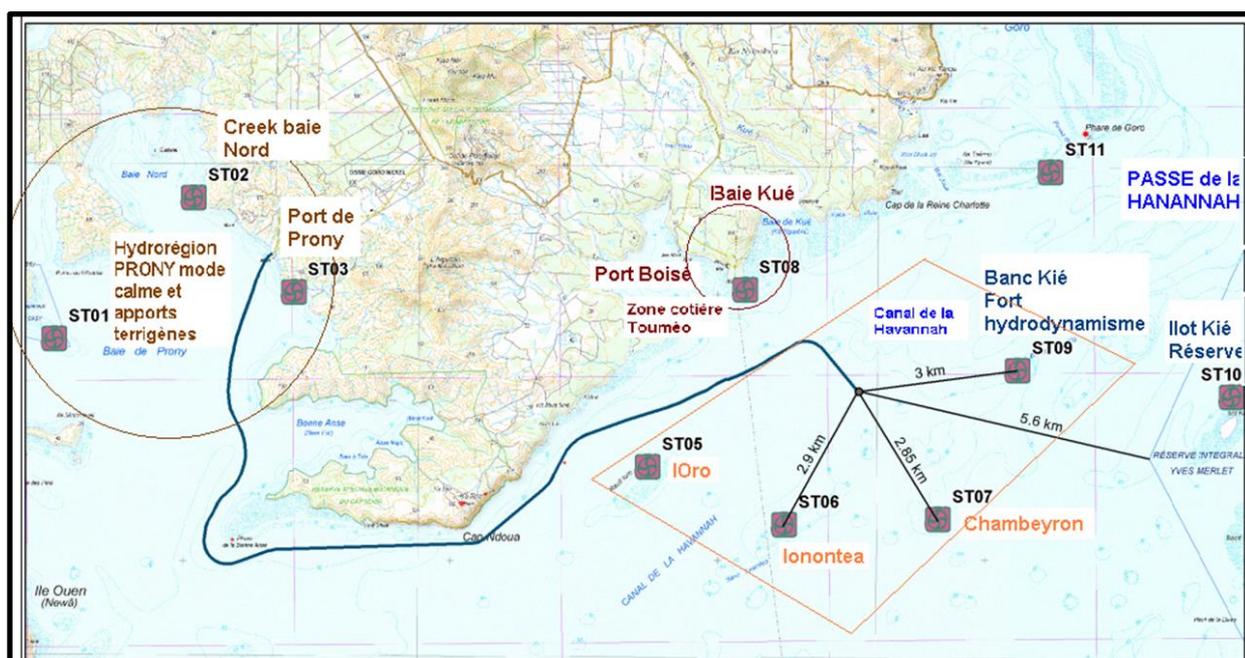
Tableau 19 : RAPPEL : Caractéristiques et position des stations et de leurs transects et carte associée

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 41 : 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. Rappels des évènements météorologiques d'influence sur les écosystèmes

Il convient de se remémorer qu'en janvier 2011 le **cyclone Vania** (450.6mm en 24 h sur la mine) et de forts épisodes dépressionnaires (**dépression Zelia**) avaient affecté La Nouvelle-Calédonie. Puis, 2013, deux épisodes météorologiques forts (exceptionnels de récurrence supérieure à 10 ans) ont eu lieu : le **cyclone Freda** le 2 janvier 2013 et le **très fort épisode pluvieux du 2 juillet 2013**.

- **Mars 2011** : Après **Vania et Zélia**, des dégradations mécaniques dues au fort hydrodynamisme étaient observées aux niveaux bathymétriques supérieurs du canal de la Havannah. L'indicateur corallien (fixe et sensible) avait montré une variation du taux de blanchissement pour les *transects* supérieurs situés à proximité des creeks et des rivières (baie de Prony) et pour les *transects* supérieurs les plus soumis aux agents hydrodynamiques du canal de la Havannah et du canal Woodin. Dans la baie de Prony (milieu protégé), les principales dégradations avaient pour cause une dessalure des eaux de surface causée par les forts apports d'eau douce, notamment dans la baie du carénage qui est une zone témoins. Les populations de poissons quant à elles n'indiquaient pas un effet du passage de ces dépressions ; densité, biomasse et diversité étaient en augmentation.

8 mois après Zélia, le blanchissement avait nettement diminué, laissant derrière lui une mortalité réduite et de nombreuses colonies avaient réintégré leurs zooxanthelles. Ce phénomène de résilience rapide est analysé et quantifié dans le rapport 2011. L'étude de sa cinétique va au-delà d'un suivi industriel mais ces missions donnent de bonnes indications.

La couverture de cyanophycées n'avait pas profité de cet affaiblissement corallien.

Les récifs se stabilisent avec toutefois de nombreuses séquelles. Les « hydro régions » montrent des signes de résilience récifale différents, les récifs de la baie de Prony ont une résilience plus rapide. Concernant le canal de la Havannah, les signes d'améliorations sont également distincts mais les perturbations laissent de profonds stigmates.

La réponse de l'état de santé des colonies coralliennes aux perturbations est décalée. Lors des évènements dépressionnaires (début 2011), les colonies coralliennes de Prony et du canal Woodin ont été perturbées sur une plus longue période de temps (par les apports d'eau douce) mais avec un stress beaucoup moins brutal que la destruction mécanique induite par les agents hydrodynamiques dans le canal de la Havannah. Par la suite les conditions environnementales sont redevenues à la normale mais dans le canal de la Havannah les débris coralliens ont continué progressivement à dévaler la pente récifale au gré de la houle et du ressac. Ces perturbations ont induit une nouvelle phase de dégradation (plus faible que la précédente) sur les étages inférieurs des récifs avec des réactions en chaîne. La résilience des colonies du canal de la Havannah a paru plus difficile (plus lente) que celles en Baie du Prony et dans le canal Woodin

Suite à un évènement d'une ampleur exceptionnelle tel qu'un cyclone, les inventaires spécifiques montrent que la recolonisation se fait dans le semestre suivant pour les biocénoses benthiques, par contre l'édification corallienne est plus lente.

- **2 janvier 2013** : **Freda** (438.4 mm / 24 h à l'usine) : le suivi du premier semestre 2013 enregistre ses conséquences. (Remarque : Une mission spéciale a été conduite en baie du Prony pour mieux suivre l'impact et la résilience des coraux inféodés aux hydro- régions de fonds de baie et qui subissent de forts apports d'eau douce et de sédiments, il s'agissait du 6^{me} suivi de ce type en baie du Prony, en 2014 ce sont 8 suivis de ce type ont été effectués).
- **2 et 3 juillet 2013** : **Inondations exceptionnelles** (540 mm / 24 h sur la plaine des lacs ; sur le plateau de la mine Goro 470mm /24 h et 103mm/1 h) entraînent à nouveau des conséquences non pas mécaniques mais dues aux apports d'eau douce et de sédiments dans les baies ; des missions d'évaluation supplémentaires font suite à cet évènement
- **2014 et 2015** : **Pas d'évènement météorologique intense**. La résilience a eu lieu par rapport à 2011 et 2013. L'ensemble des indicateurs est en hausse, notamment en 2015 qui est une année « record ».
- **Janvier/ février 2016** : **En Niño intense**. Records de températures élevées, vents faibles et ensoleillement (u.v.) maximum sur le lagon calédonien. Phénomène de blanchissement corallien généralisé dans le Pacifique Sud. Résilience suivie et à tendance plus lente qu'après un cyclone. (Cf. chapitre 3.2.1 sur la météorologie de la saison concernée).

La baie du Prony

► La station ST01 (Ilot Casy, face Sud)

- Biodiversité corallienne importante (**108 espèces dont 99 espèces scléactiniaires**)
- Recouvrement corallien stable **12,5 %** sur le transect A et 5,5 % sur B. Le transect B, 10m de fond quasi abiotique est peu significatif, il n'y a pas de 3eme transect C car la zone est quasi abiotique.
- **Blanchissement**: après une diminution (seulement 03/101 espèces de scléactiniaires en 2015) et il se manifeste de façon plus intense en avril 2016 surtout dans le niveau bathymétrique supérieur : 21/99 espèces de scléactiniaires affectées par patchs et 2.6% de la surface totale observée.
- Croissance des *Pocillopora damicornis* faible : à 0.43 cm / 6 mois
- Absence des *Acanthaster planci* et de *Culcita novaeguineae*.
- Absence de l'algue rouge *Asparagopsis taxiformis* (ciblée comme éventuellement envahissante) et cyanobactéries stables.
- Poissons : Densité **1,47 poissons/m²** pour une biomasse de **21,76 g/m²**
- Cette station qui était jusqu'à la fin de 2013 assez « pauvre », présente depuis mars 2014 des valeurs en hausse. Placée comme station de contrôle hors zone d'influence, sujette à la transplantation de coraux en 2005, cette station a toujours été relativement stable.

► La station ST02 (Sud de l'embouchure du creek Baie Nord)

- Station à la richesse spécifique corallienne la plus importante des stations de la baie de Prony (**124 espèces coralliennes dont 116 espèces de scléactiniaires**).
- Sédimentation importante (embouchure) avec des espèces adaptées, surtout en profondeur. En avril 2016 la sédimentation est restée stable.
- **Le recouvrement corallien était en forte hausse en 2015, il est en baisse en avril 2016 avec 26% du transect A. (Ce qui reste 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). Cela reste dans un ordre de grandeur modéré en cycle « El nino »
- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*.
- **Cyanobactéries en forte croissance sur les débris coralliens et turf algal en augmentation modérée**
- Algue brune *Lobophora* : le recouvrement diminue Absence de l'algue rouge *Asparagopsis taxiformis*
- Poissons : Densité **0,89 poissons/m²** pour une biomasse en hausse : **39,32 g /m²**. Il y a toujours beaucoup de poissons juvéniles. Cette station est aussi foisonnante de vie qu'elle ne l'était auparavant. Les paramètres ont des valeurs un peu au-dessus de la moyenne.
- Station très diversifiée dont la sédimentation n'affecte pas l'adaptation à ce type d'écosystème de « fond de baie », les coraux de surface sont affectés par les conséquences classiques du réchauffement des eaux en zone de faible hydrodynamisme lors de cet épisode intense « El nino »

► La station ST03 à l'Est du port de Prony

- Biodiversité corallienne importante (**116 espèces dont 111 de scléactiniaires**)
- Recouvrement corallien stable avec **7 %** en A, **24,5 %** en B et **10 %** en C
- En 2015 : Aucun blanchissement corallien (très rare en zone côtière). **Le blanchissement d'avril 2016 devient important du point de vue spécifique et dans une moindre mesure en recouvrement** (45/111 espèces de scléactiniaires et 1.33% de la surface totale observée).
- Dépôt sédimentaire sur quelques colonies coralliennes mais pas de maladie corallienne.
- Absence d'*Acanthaster planci*, de *Culcita novaeguineae* et de *Drupella cornus*
- Algue brune *Lobophora* : recouvrement reste stable. Absence de l'algue rouge *Asparagopsis taxiformis*
- Pas de cyanobactéries
- Poissons : Densité **1,02 poissons/m²** pour une biomasse de **5,25 g/m²**. Les indicateurs sont au-dessus de la moyenne et les poissons sont tous des juvéniles.

Conclusion : Etat actuel (Avril 2016) sur les Stations en baie du Prony

Le blanchissement est observé sur de nombreuses espèces (de 11 à 40 espèces par transects, il y a plus de 115 esp coralliennes dans la baie) et en moindre mesures en recouvrement, Les transects les plus perturbés sont situés aux niveaux supérieurs sensibles aux U.V et à une hausse de la température. Les perturbations ont été soutenues mais n'atteignent pas le niveau d'impact que le blanchissement corallien peut connaître dans des zones du Pacifique pour lesquelles l'alarme est régulièrement donnée



Stations du canal de la Havannah

Les dégradations sont importantes pour les récifs exposés aux agents hydrodynamiques, elles se propagent en profondeur par éboulis consécutifs.

► La station ST10 en réserve Merlet et en zone de bien patrimonial inscrit UNESCO (îlot Kié)

Station exceptionnelle au niveau des poissons, cependant étant située dans une réserve intégrale elle ne peut pas être une station-témoins de comparaison. **Elle incite aussi à relativiser un trop prompt avis sur la santé globale d'un écosystème en fonction de 1 ou 2 indicateurs négatifs, par exemple ST10 montre la maladie du corail de la bande blanche, un taux de blanchissement corallien persistant parfois supérieure à celui de sur la station du port de Prony, des cyanophycées et des algues, la présence d'esp corallivores... qui sont considérés comme des indicateurs « de mauvaise santé », certes, mais, en fonction de leur intensité de développement et tout en considérant que leur présence est globale, tel un bruit de fond des récifs. ST10 permet de relativiser et d'avoir un suivi semestriel de la zone GLS-UNESCO.**

- La biodiversité corallienne est la plus importante (**143 espèces dont 134 espèces scléactiniaires**) de l'ensemble du réseau de suivi biologique
- Le recouvrement corallien 42,5 % en A ; 37,5 % en B (pour ces 2 transects, parmi les taux les plus élevés de cette mission) et 9 % en C,
- **Du blanchissement corallien a toujours été observé**, il avait diminué en 2015 mais il restait observable (alors qu'il avait disparu en baie du Prony et sur Puka), en 2016 il diminue encore du point de vue spécifique mais il augmente en recouvrement. (14/134 espèces de scléactiniaires et 1.2% de la surface totale observée, ce qui reste très faible par rapport à des récifs coralliens véritablement affectés par le blanchissement du type « El nino » 2016).
- Absence de la maladie de la bande blanche car les colonies affectées sont mortes.
- Présence de *Drupella cornus* (Gastéropode corallivore en abondance importante) depuis de longue date
- Recouvrement des cyanobactéries modéré. Développement modéré de l'algue brune *Lobophora variegata*
- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*
- **Sédimentation carbonatée variant au gré des marées.**
- Poissons : Richesse remarquable d'un point de vue ichtyofaune : densité **3,24 poissons/m²** pour une biomasse **219,07 g/m²**. (204 espèces différentes). Les paramètres de densité et de biomasse ont des valeurs en dessous de la moyenne et cela, de façon encore plus marquée que lors de la mission précédente. La biodiversité est très stable. Ce qui est d'ailleurs une caractéristique des zones protégées.

► La station ST08 (côtière pointe Puka sortie Baie Kwé)

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. En 2016 elle reste relativement stable.

- La biodiversité corallienne est importante et en légère augmentation (103 espèces dont 96 espèces scléactiniaires). Présence de nombreuses colonies coralliennes juvéniles
- Recouvrement corallien stable avec **28 %** en A et **3,5 %** en B
- **Blanchissement corallien faible** : 14/96 espèces de scléactiniaires et 1% de la surface totale observée
- Absence de *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*. Présence de *Drupella cornus*
- Cynobactéries en baisse, tuff algal et Algue rouge *Asparagopsis taxiformis* + Algue brune *Lobophora* mais sans bloom
- Sédimentation toujours observée ;
- Poissons: densité **0,94 poisson/m²** pour une biomasse de **12,41g/m²**.

► La station ST06 d'Ionontea (la plus proche du diffuseur)

Elle est la plus proche du diffuseur (et 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 sont notables.

- Forte courantologie et brisures mécaniques des coraux robustes adaptées à ces conditions
- Recouvrement corallien important : 29, 30 et 9%
- Pas de maladie de la bande blanche, pas d'espèces corallivores ni de cyanobactéries
- **Blanchissement corallien sans augmentation significative** (à peine 0,5% de la surface évaluée), le phénomène de blanchissement généralisé des coraux ne l'affecte pas.
- Densité des poissons : **1,89 poisson/m²** et Biomasse : **150,71 g/m²**. **Biodiversité bonne et stable**
- Au niveau des indicateurs poissons les stations sur Ioro, Ionontea et Chambeyron rivalisent avec la réserve Merlet.

► Les stations dans le canal de la Havannah (ST05, ST06, ST07, ST09 et ST12)

Elles ne présentent aucune non-conformité à l'égard des suivis précédents et sont très peu affectées par le phénomène général de blanchissement corallien qui sévit dans le Pacifique sud début 2016

- Aucune espèce exogène n'a été observée
- Pas de menace par étoiles de mer dévoreuses du corail

Autres stations

► La station Toémo (ST11)

Les conditions hydrodynamiques y sont soutenues, comme sur le banc Kié, elle est proche de la passe de Goro. Les cyclones l'affectent « de plein fouet ». Il a subi des dégradations durant les événements cycloniques du début 2011 (Vania, Zelia), le cyclone 2013 (Fréda) et dans une moindre mesure les cyclones Pam en mars 2015 et Winston en février 2016.

Comme les autres stations, elle montre la maladie de la bande blanche, des cyanobactéries (en faible recouvrement), pas d'étoiles de mer corallivores, un transect inférieur qui récolte les débris d'effondrement...

- La biodiversité corallienne est importante et stable (136 espèces dont 127 espèces scléactiniaires)
- Le recouvrement corallien est stable avec 33,5 % en A, 29 % en B et 6,5 % en C
- **Le blanchissement a diminué du point de vue spécifique**, de nombreuses espèces ont réintégré leurs zooxanthelles depuis la dernière mission. **Il a très légèrement augmenté du point de vue recouvrement**: 6/125 espèces de scléactiniaires et 0.57% de la surface totale observée, ce qui donne une absence d'effet du phénomène Nino qui affecte de nombreux récifs dans le Pacifique.
- Maladie de la bande blanche sur quelques colonies
- Absence des *Acanthaster planci* et des *Culcita novaeguineae*
- Présence de *Drupella cornus* Les spongiaires sont relativement abondantes (Cliona)
- Algues rouges *Asparagopsis taxiformis*, tuff algal et cyanobactéries présents
- Poissons : Sur l'ensemble des transects de la station, densité de **1,67 poissons/m²** pour une biomasse en hausse (**121.78 g/m²**).- La biodiversité est forte avec des valeurs au-dessus de la moyenne. C'est la seule station où l'on trouve régulièrement *Acanthurus lineatus*.

► La station du canal Woodin (ST04)

- La biodiversité corallienne est importante (109 espèces dont 98 espèces scléactiniaires)
- **Le recouvrement corallien est en diminution** avec 17,5 % en A, 22 % en B et 5 % en C
- **Le blanchissement est important du point de vue spécifique et très important pour le recouvrement. Il se manifeste surtout dans niveau bathymétrique supérieur (21/98 espèces de scléactiniaires et 11.57% de la surface totale observée)**
- Absence d'*Acanthaster planci* et de *Culcita novaeguineae* (il y avait une *Acanthaster* début 2015)
- Absence de *Drupella cornus*.
- Le turf algal commence à se développer sur les colonies de *Seriatopora hystrix* blanchies
- Perturbations sédimentaires : selon la pluviométrie un petit creek se déverse sur le platier au-dessus de la station
- Poissons : densité de **5,18 poissons/m²** et Biomasse de **747,37g/m²**. **Les indices poissons restent exceptionnellement bons.**

Remarque :

► La station du canal Woodin est hors zone d'influence d'activités anthropiques, c'est la station qui montre l'effet maximal du phénomène de blanchissement corallien généralisé dans le Pacifique Sud début 2016, avec 11% de la surface des coraux évalués affectés. Par contre, malgré ce stress corallien, le nombre d'espèces de poissons sur les transects est toujours très au-dessus des valeurs habituelles. La biodiversité totale est encore au-dessus de la moyenne. Le nombre de familles sur les transects atteint une valeur maximale. Tous les indices poissons sur cette station ST04 sont très bons.

De façon générale le second semestre 2015 montrait un taux de blanchissement corallien très faible; même sur les stations côtières proches d'un creek, certainement en raison de la sécheresse qui a marqué cette saison. Le premier semestre 2016 présente, au contraire, un blanchissement modéré mais qui n'affecte pas les coraux des récifs externes et du canal de la Havavannah.

► 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 plus 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.**

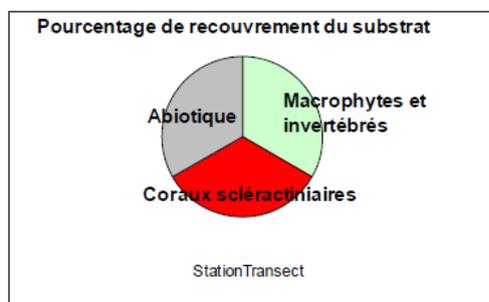
Les 12 stations sont décrites transect par transect dans le rapport intégral en annexe de ce bilan semestriel, ainsi que les données brutes.

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

De façon synthétique, il est possible de présenter les résultats de la mission sur des cartes à vocation de **présentation synoptique** (sujettes à évoluer selon les besoins). Un exemple est donné ci-après.

Ces représentations sont données dans le rapport intégral

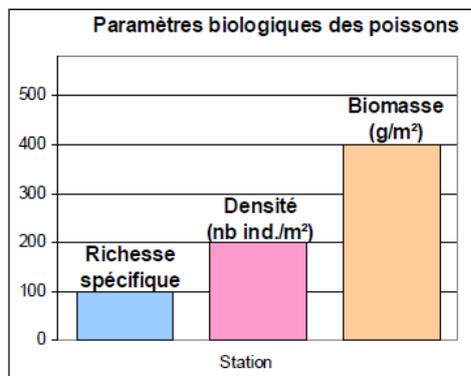
Figure 42: Représentation cartographique – légende
(Carte intégrale sous forme de poster dans le rapport intégral)



La légende de cette carte indique :

Le SUBSTRAT : camembert présentant le pourcentage

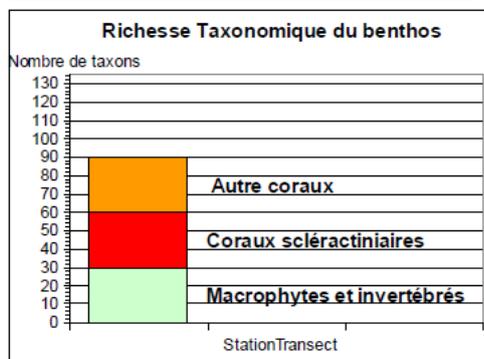
- Abiotique (en gris) du LIT sur chaque transect et à chaque station ;
- le pourcentage de coraux durs (Scléactiniaires) en rouge
- et les Macrophytes (algues) et Invertébrés.



Les POISSONS : histogramme présentant :

- la richesse spécifique,
- la densité et
- la biomasse

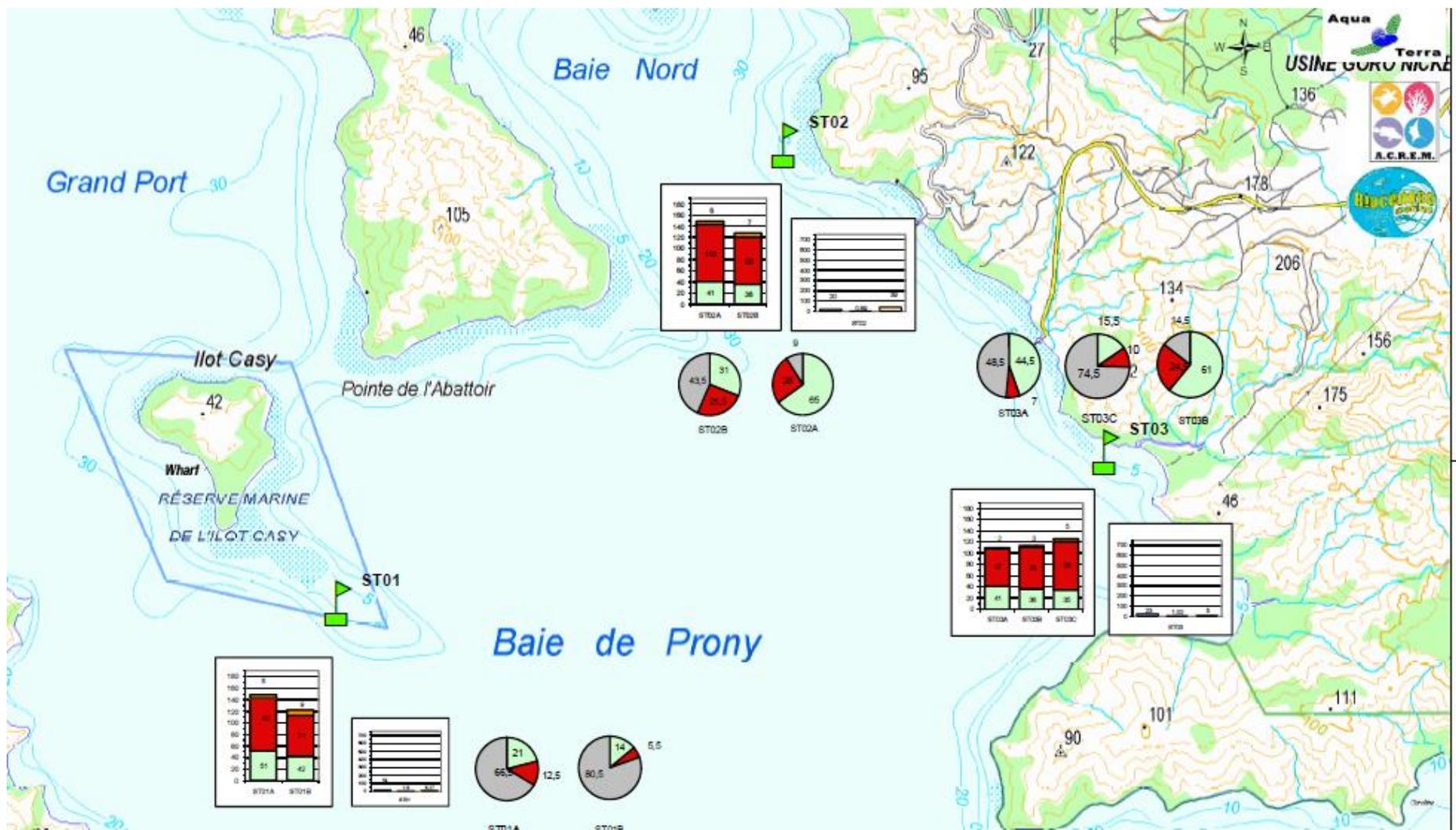
Sur liste restreintes réglementaires et par station.



Le BENTHOS : en nombre de taxons par couloir d'inventaire sur chaque transect de chaque station avec :

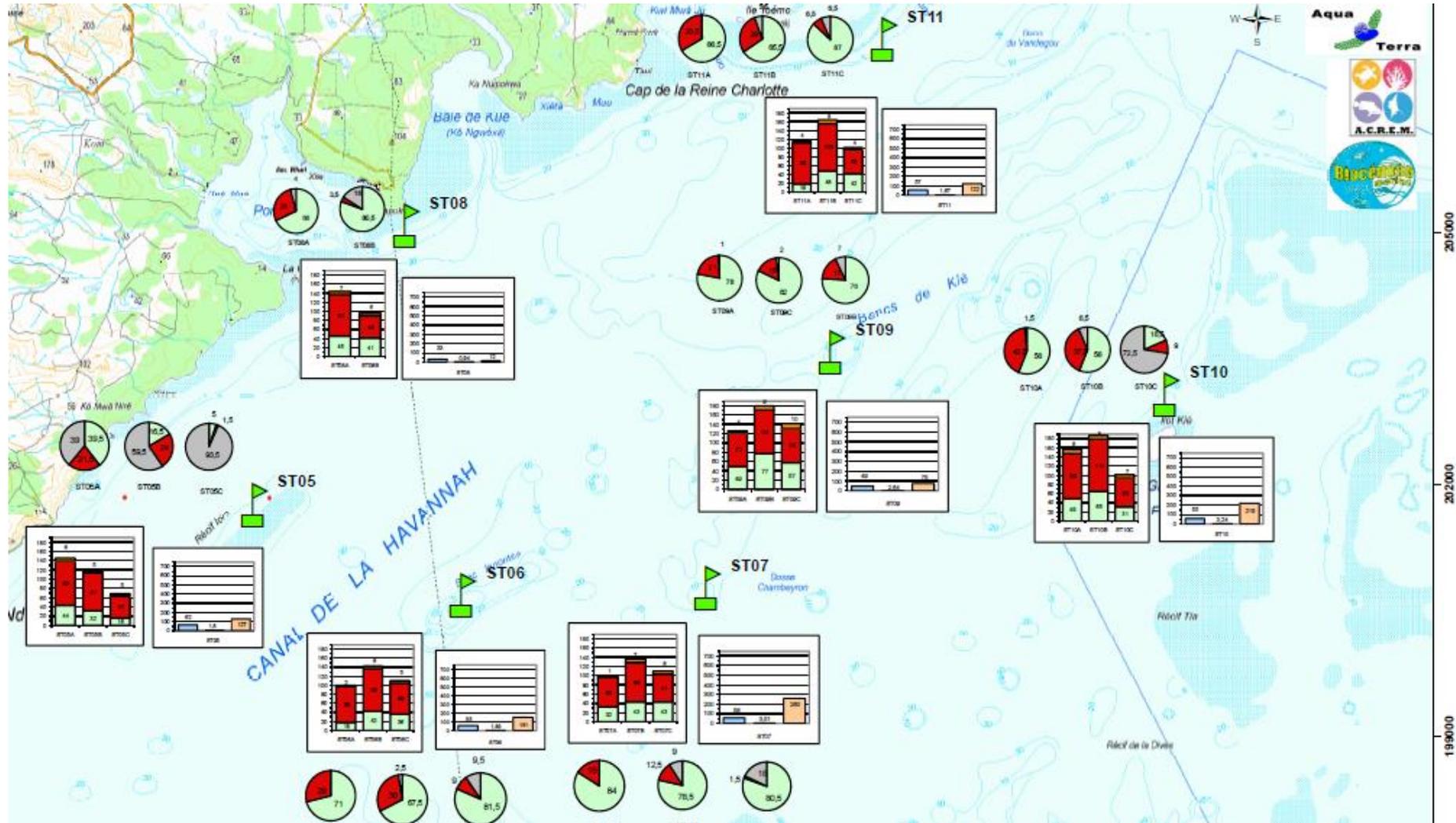
- les coraux durs (Scléactiniaires) en rouge,
- les autres coraux et les
- Macrophytes (algues) + autres invertébrés.

Figure 43 : Résultats de la campagne de suivi, Avril 2016 . Baie du Prony : Ilot Casy ST01, baie Nord /Creek baie Nord ST02 et Port de Prony ST03



(Carte intégrale sous forme de poster facilement lisible dans le rapport intégral, pages 247/248)

Figure 44: Résultats de la campagne de suivi, AVRIL 2016 (canal de la Havannah)



(Carte intégrale facilement lisible pour une comparaison spatiale de stations entre elles, sous forme de poster, dans le rapport intégral, page 248)

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

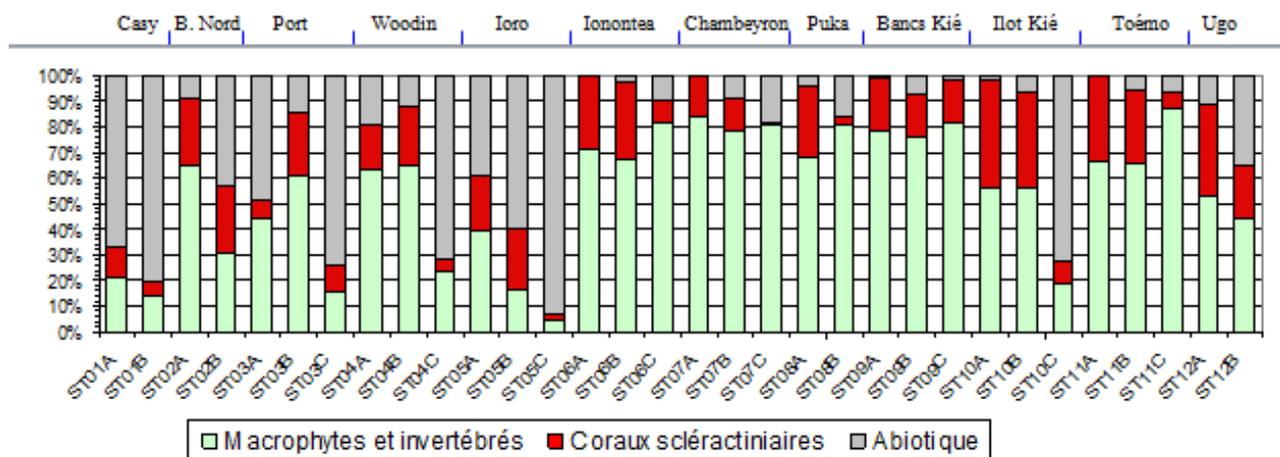
- 1)-Le substrat (sur transects fixes LIT)
- 2)-Le benthos (sur couloirs fixes)
- 3)-Les poissons (selon la liste restreinte imposée)

Figure 45 : **SUBSTRAT** (sous le cordon fixe de 20m de long)

Comparaison entre stations pour le substrat, AVRIL 2016

Recouvrement en % du substrat sur chaque transect LIT en considérant des compartiments clefs : 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 »)

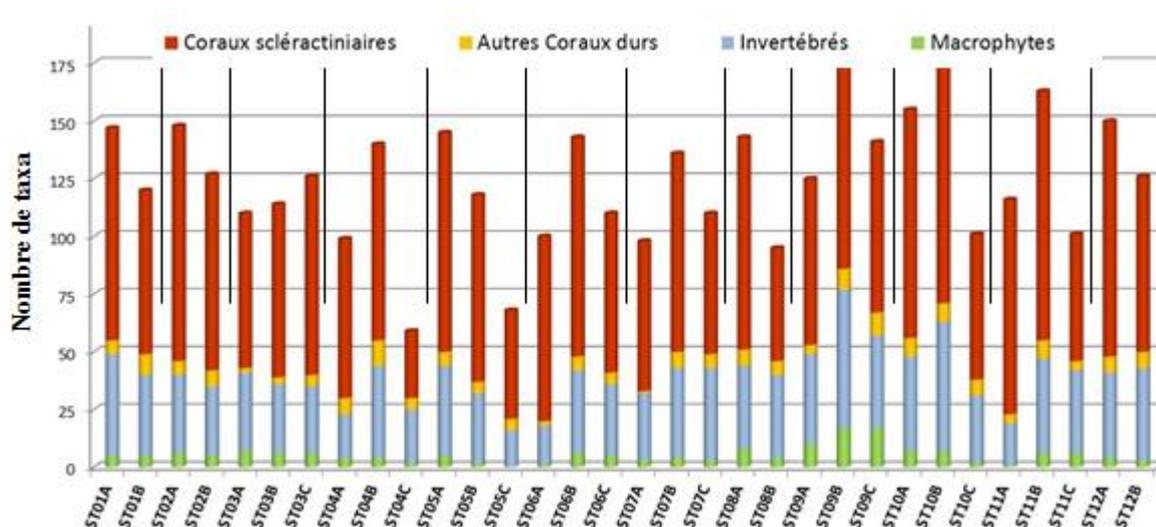


Les transects les plus profonds ont un taux de recouvrement biotique significativement plus bas que celui des transects supérieurs (5 à 10 m de profondeur). Certains transects majoritairement abiotiques ou avec très peu de coraux durs continuent à être suivis, car réglementairement imposés mais leur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

Figure 46: **BENTHOS** sur couloir de 100m² Richesse taxonomique du benthos dans 4 groupes clés Comparaisons entre stations pour le benthos, AVRIL 2016

► **BENTHOS** : 3 grands groupes benthiques sont à distinguer :

- les coraux Scléactiniaires, (corail dur)
- les autres coraux,
- le reste des organismes vivants, sous l'appellation : macrophytes et invertébrés.



► **Biodiversité corallienne :**

Les espèces inféodées à la baie de Prony développent des adaptations particulières, la conjonction des paramètres environnementaux de cette baie rendant le développement des coraux unique. Certaines espèces sont considérées comme rares dans les eaux calédonniennes (*Alveopora catalai*, *Blastomussa merleti*...). La richesse spécifique des stations de la baie de Prony est relativement plus faible que pour les stations du canal de la Havannah, ceci est à minorer car la station ST02 (Creek baie nord) recense un nombre très important d'espèces et elle revêt une importance haute et un bon choix de suivi.

► **Algues : La biodiversité des macrophytes** est aussi suivie avec attention. Une extension de la couverture algale significative au-delà des variations saisonnière serait signalée et étudiée de plus près.

► **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*

► **POISSONS :**

Ichtyologie

- 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 ;
Supplément :
- Biod.2 : Espèces de la liste du Cahier des charges présentes sur la station ;
- + Biod.3 : Toutes espèces présentes sur la station ; Int. de Conf. : Intervalle de confiance de la moyenne au risque $\alpha=0,025$.

Tableau 20 : Relevés ichtyologiques. Mission de AVRIL 2016 (2016a)

Avril 2016 **Ichtyologie**

Récapitulatif des paramètres biologiques pour l'ichtyofaune

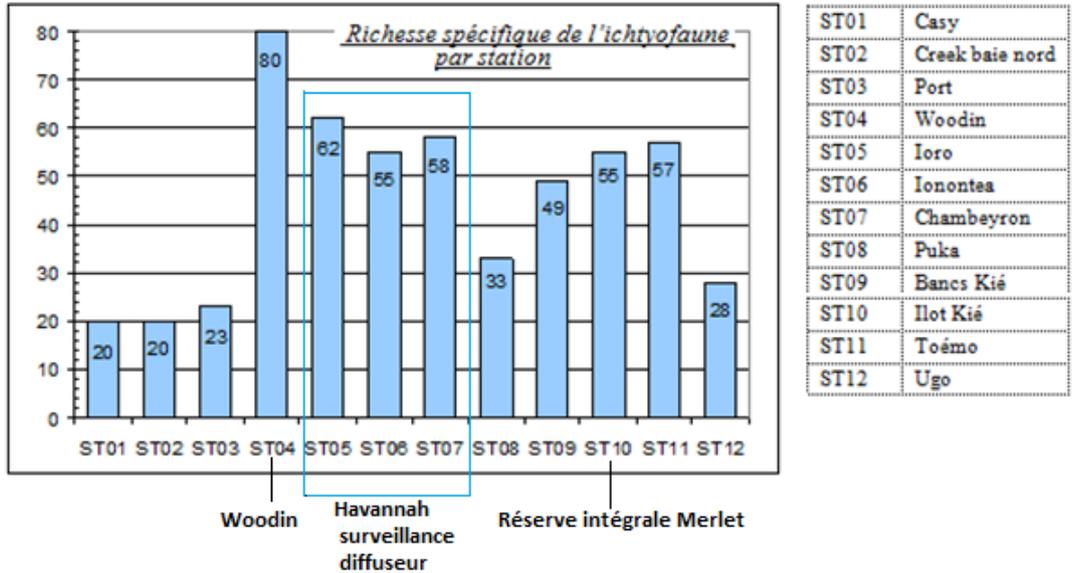
Liste restreinte

2016a	Stations	Nb	Dens	Biom	Biod.1	Biod.2	Biod.3	Ish	Eq
Baie de PRONY	ST01 ILOT CASY	159,00	1,47	22	20	44	76	3,283	0,760
	ST02 CREEK BAIE NORD	116,00	0,89	39	20	41	63	2,972	0,688
	ST03 PORT	79,33	1,02	5	23	41	63	3,522	0,779
	Variances (σ^2)	1590,0	0,1	290,3	3,0	3,0	56,3	0,076	0,002
	Ecart types (σ)	39,9	0,3	17,0	1,7	1,7	7,5	0,276	0,048
	Moyennes (μ)	118,1	1,1	22,1	21,0	42,0	67,3	3,259	0,742
	Coef. de Var (σ/μ)	0,3	0,3	0,8	0,1	0,0	0,1	0,085	0,065
Int. de Conf. 95%	46,0	0,4	19,7	2,0	2,0	8,7	0,319	0,055	
Canal de la HAVANNAH	ST04 WOODIN	524,33	5,18	747	80	102	124	4,452	0,704
	ST05 BANC IORO	122,67	1,80	127	62	74	108	5,132	0,862
	ST06 BANC IONONTEA	189,67	1,89	151	55	87	119	4,898	0,847
	ST07 B. CHAMBEYRON	235,00	3,51	260	58	89	120	4,595	0,784
	ST08 POINTE PUKA	82,00	0,94	12	33	71	98	4,157	0,824
	ST09 BANC KIE	209,00	2,64	75	49	82	117	4,563	0,813
	ST10 ILOT KIE	198,67	3,24	219	55	101	147	4,817	0,826
	ST11 TOEMO	166,00	1,67	122	57	79	111	4,573	0,784
	ST12 HUGO	204,00	2,59	42	28	52	80	4,032	0,839
	Variances (σ^2)	15720,8	1,6	49104,5	237,5	241,1	339,4	0,120	0,002
	Ecart types (σ)	125,4	1,3	221,6	15,4	15,5	18,4	0,346	0,047
	Moyennes (μ)	214,6	2,6	195,1	53,0	81,9	113,8	4,580	0,809
Coef. de Var (σ/μ)	0,6	0,5	1,1	0,3	0,2	0,2	0,076	0,058	
Int. de Conf. 95%	83,6	0,8	147,7	10,3	10,4	12,3	0,231	0,032	

Rappel : Les 3 indicateurs imposés par le plan de suivi sont :
 La richesse spécifique (mais sur liste restreinte, c'est la Biod 1), la densité et la biomasse.

RICHESSE SPECIFIQUE

Figure 47: Richesse spécifique de l'ichtyofaune par station (liste restreinte)
 AVRIL 2016



Les stations situées en baie du Prony ont toujours une moindre richesse spécifique que celles situées sur des récifs du canal de la Havannah, il est en de même dans les états initiaux, il s'agit de deux biotopes différents. Les espèces juvéniles représentent la majorité des poissons sur ST02 et ST03 en baie du Prony.

La station ST04, dans le canal Woodin est exceptionnelle d'un point de vue ichtyologique, elle surpasse la réserve Merlet, alors que c'est sur cette station du canal Woodin que le phénomène « El Niño » a provoqué le blanchissement corallien le plus intense. ←

Figure 48 : Densité de l'ichtyofaune par station
 AVRIL 2016

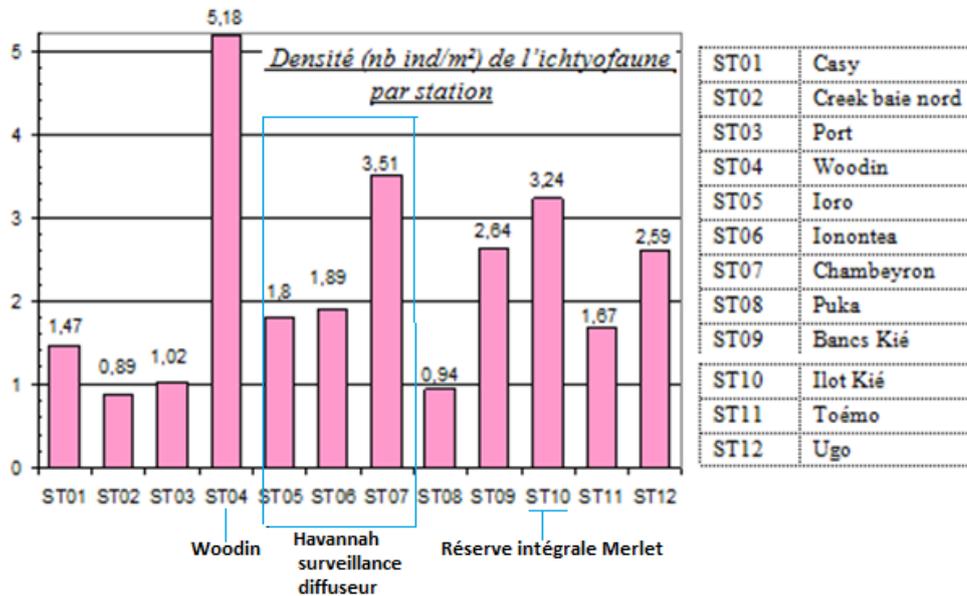
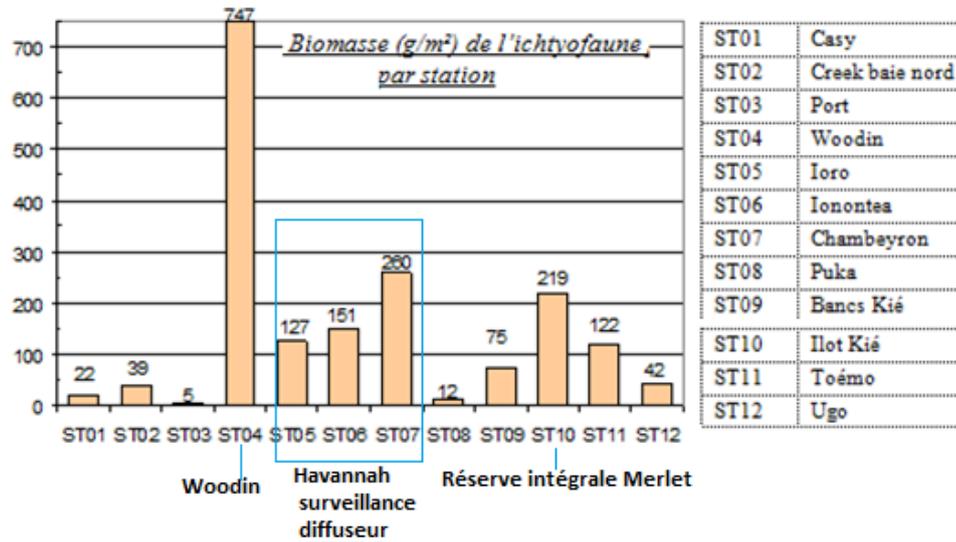


Figure 49 : Biomasse de l'ichtyofaune par station
AVRIL 2016



La station du canal Woodin ST04 présente des indicateurs « poissons » exceptionnellement bons lors de cette mission. Elle surpasse la réserve Merlet (ST10) et pour la seconde fois. Ceci malgré le blanchissement corallien du à « El niño » qui affecte le canal Woodin et pas le canal de la Havannah ni les récifs extérieurs. Son retour probable vers un niveau « moyen » lors de la prochaine mission ne devra pas être considéré comme un impact.

Constation sur la station ST04 :

- L'indicateur « *Corail vivant mais blanchi* » est le plus sensible au phénomène « El Niño » avec 11% de recouvrement du corail suivi affecté, elle est la station la plus affectée de toutes par « El Niño »
- Cependant les indicateurs Poissons sont excellents sur ST04

Cela montre bien :

- La finesse réactive précoce d'un indicateur qui n'était pas pris en compte dans le plan de suivi 2007 (le corail blanchi) surtout sur les transects proches de la surface (moins de 5m de fond) ;
- Le manque de finesse précoce des indicateurs mobiles « poissons », qui n'auraient pas discerné le phénomène « El Niño » sur les stations qu'il a affectées.
- Le fait que la station en réserve Merlet n'ait pas des indicateurs « poissons » bien plus élevés que ceux d'autres stations du canal Woodin ou de la Havannah, depuis deux ans, peut porter à réflexion mais cela n'entre pas dans le cadre d'un suivi industriel.

La présence du diffuseur n'est, comme prévue dans les modélisations et études prédictives, aucunement affectante pour la biodiversité des coraux sur les bancs et massifs les plus proches et les populations associées, notamment les poissons (ST05, ST06, 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) et une station comparable en indicateurs « poissons » 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 systèmes (ou hydro-régions) :

- celui de la baie de Prony,
- celui du 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),

- celui du canal Woodin
- celui des baies avec apports terrigènes au Nord du canal : baie de port Boisé et baie Kwé
- celui de la baie de Goro étant à part en une hydro- région en soit.

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 avec les études en modélisation et 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 consacrées aux peuplements de poissons.

Pour les poissons : comparaison des stations entre elles et au fil des ans

L'ichtyologue qui a effectué ces missions de surveillance sous-marines depuis 2008 a aussi effectué un classement des stations à partir des données « poissons » qu'il archive depuis 2007. Pour cela il donne une cotation selon la biomasse (g/m²), la densité (nombre d'individus /m²) et la biodiversité qu'il a enregistré sur chaque transect et sur chaque station, pour en formuler un INDICE IAS – Indice Annuel par Station).

La démarche méthodologique est expliquée dans le rapport intégral en annexe de ce bilan, en voici les conclusions pour AVRIL 2016 comparées à celles de 2015, avec un rappel des missions antérieures.

Tableau 21 : Classement des stations (A) à partir des paramètres « poissons » évalués en 2016 et la mission précédente 2015

A - Stations	Classement des Stations					
	D	B	Bx1	note	Rangs	
					2016 a	2015 b
Ilot CASY	4	3	1,5	2,50	11	11
CREEK	1,5	4	1,5	2,13	12	12
Le PORT	3	1	3	2,50	10	10
WOODIN	12	12	12	12,00	1	1
Banc IORO	6	8	11	9,00	4	6
IONONTEA	7	9	8,5	8,25	5	4
B. CHBEY	11	11	8,5	9,75	2	2
Pte PUKA	1,5	2	5	3,38	9	9
Banc KIE	8,5	6	6	6,63	7	8
Ilot KIE	10	10	8,5	9,25	3	3
TOEMO	5	7	8,5	7,25	6	5
UGO	8,5	5	4	5,38	8	7

Rappel : Note = (Densité + Biomasse + 2 * Bx.1)/4.

Groupe	Station	Note	Remarque
1	Creek ; Casy ; Port ; Puka	de 2 à 3,5	Inchangées
2	Bancs Kié ; Toémo ; Ugo	de 4 à 7	Promotion de Ioro et descente de Toémo
3	Ioro, Chambeyron ; Ionontea ; Ilot Kié	de 7,5 à 10,5	Descente de B. Chambeyron et maintien de Ilot Kié
4	Woodin	de 10,5 à 12	Seule Woodin se maintient dans ce groupe

L'Ilot Kié (St10) avait reculé et quitté le groupe de tête en 2015, les indicateurs « poissons » étant excellents sur les stations Chambeyron et Woodin, meilleurs qu'en réserve Merlet .

En 2016 la réserve Merlet (au niveau de l'îlot Kié) ne retrouve toujours pas le groupe de tête des stations d'un point de vue ichtyologique même si elle est placée en réserve intégrale, la station dans le canal Woodin et celle de Chambeyron arrivent en tête.

Le groupe de queue, toujours le même d'un point de vue ichtyologique (baie du Prony et pointe Puka) garde la même composition depuis le début des suivis.

Tableau 22 : Classement des années (B) à partir des paramètres « poissons » évalués de la même façon depuis 2007

B - Missions	Classement des Missions					
	D	B	Bα1	note	Rangs	
					2016 a	2015 b
2007	3,0	2,0	7,5	5,00	15	9
2008	2,0	8,0	7,5	6,25	12	8
2009	1,0	11,0	15,0	10,50	4	5
2010 a	7,0	7,0	1,0	4,00	16	7
2010 b	14,0	14,0	16,0	15,00	1	1
2011 a	10,0	1,0	7,5	6,50	11	12
2011 b	16,0	15,0	14,0	14,75	2	2
2012 a	11,0	13,0	4,0	8,00	8	4
2012 b	12,0	12,0	4,0	8,00	7	6
2013 a	9,0	10,0	4,0	6,75	10	10
2013 b	13,0	6,0	2,0	5,75	14	11
2014 a	15,0	16,0	11,0	13,25	3	3
2014 b	5,0	3,0	11,0	7,50	9	14
2015 a	4,0	4,0	7,5	5,75	13	15
2015 b	6,0	5,0	13,0	9,25	6	13
2016 a	8,0	9,0	11,0	9,75	5	

La mission 2016a, du premier semestre 2016, est classée comme 5^{me} « meilleure » mission d'un point de vue des indicateurs « poissons », depuis 2007.

La mission de avril 2016, bien qu'effectuée en période « El Niño » avec blanchissement corallien montre une bonne note indicatrice globale sur les poissons. D'un point de vue comparatif, les « pires » années ont été 2007, 2010 et 2013, et les 3 meilleures années : fin 2010, fin 2011 et 2014. Nous pouvons aussi remarquer que les premiers semestres 2010 et 2011 montraient une note indicatrice « poissons » très basse et leur second semestre une note très haute.

Tableau 23 : Cotation des 12 stations évaluées d'un point de vue ichtyologique (Poissons) selon un Indice IAS



Stations	Cotations			IAS	Rappels des IAS précédents								
	Dens.	Biom.	Bα1	2016 a	2015 b	2015 a	2014 b	2014 a	2013 b	2013 a	2012 b	2012 a	
Ilot CASY CREEK Le PORT	3	3	4	3,50	2,50	3,75	2,75	3,25	1,75	3,25	1,75	1,50	Baie du Prony
	2	4	4	3,50	2,25	3,50	3,50	1,25	3,50	3,00	2,75	3,00	
	2	1	4	3,00	2,25	3,00	2,50	2,75	2,75	2,00	2,50	1,95	
WOODIN	4	4	4	4,00	4,00	4,00	3,50	2,75	3,50	3,00	3,50	3,50	
IORO IONONTEA B. CHB	2	2	4	3,00	3,25	3,00	4,00	2,75	2,75	3,00	2,50	2,50	St. Havannah les plus proches du diffuseur
	2	2	4	3,00	3,50	4,00	3,75	2,75	3,00	3,75	3,50	3,50	
	4	3	4	4,00	4,00	3,75	4,00	3,00	3,75	3,25	3,25	3,00	
PUKA	1	1	3	2,00	2,00	2,25	3,00	1,50	1,50	1,50	1,75	1,75	
Banc KIE	3	1	4	3,00	3,00	3,00	3,75	2,50	2,75	3,25	3,00	3,00	
Ilot KIE	4	3	4	3,75	4,00	4,00	3,50	3,50	4,00	3,75	4,00	4,00	Réserve Merlet
TOEMO	2	2	4	3,00	2,75	3,00	2,75	2,75	2,25	2,75	3,00	3,00	
Ilot UGO	3	1	2	2,00	2,75	2,00	2,00	1,75	2,50	2,25	1,75	2,00	

Ce type d'indicateur IAS -poissons doit être couplé aux autres indicateurs biologiques et physico chimiques, avant de conclure sur une tendance de « santé » d'une zone, le chapitre conclusif final effectue cette analyse.

Les spécialistes des indicateurs biologiques : poissons, algues, benthos et coraux, s'associent aux spécialistes des indicateurs physico -chimiques et à ceux du caging lors des analyses finales d'évaluation, dans un but de prise en compte globale et synthétique partagée de l'état du lagon et de l'évolution des pressions sur celui-ci.

3.2.3.4. 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 Nouvelle-Calédonie ne fait que relever leurs conclusions dans le présent rapport. Plusieurs bureaux d'études sont impliqués (cinq en 2015).
- 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 et 2014)

➤ Le substrat (LIT fixes)

Pour suivre une évolution globale, il est impossible de suivre l'évolution de 28 items, sans trop alourdir les bilans. 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 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) ou du cycle de présence /absence de tuf algal sur des débris coralliens. (Avec turf : biotique/ sans turf : abiotique).

Hormis pour 2 stations (ST02 Creek Baie Nord et ST04 Canal Woodin), pas de grande variation temporelle relevable : les pourcentages des différentes composantes sont globalement très stables par rapport à la mission précédente.

- **Baisse significative du recouvrement LIT par les coraux scléactiniaires aux transects supérieurs des stations ST02 et ST04 avec - 21% et - 23.5%.**
- **En relation avec le blanchissement corallien global du Pacifique sud (El Niño) qui touche peu de stations VNC et reste relativement modéré.** Il est observé uniquement sur les transects les moins profonds, sur :
 - o **ST02** (Creek Baie Nord) dans la baie de Prony (zone calme où les échanges d'eau sont limités et avec une thermocline en cette saison chaude)
 - o **ST04** (Canal Woodin) probablement parce que ST04(A) est un des transects les moins profonds (4 m); la couche 0 / 5 m est principalement concernée par le réchauffement et le rayonnement u.v. intense.
- **ST02 : la présence de cyanobactéries sur ST02A (12.5% sur le LIT) et l'augmentation des macrophytes et du substrat abiotique, montrent que des coraux sont morts. Par contre au niveau de la station portuaire (ST03) il n'y a pas de cyanobactéries.**
- **Sur les autres stations le recouvrement en cyanobactéries est particulièrement bas ;** on aurait pu s'attendre à une couverture plus élevée en raison du phénomène de blanchissement généralisé, mais les coraux blanchis sont toujours vivants (si ceux-ci meurent, du moins en partie, la prochaine mission devrait noter une augmentation des cyanophycées et du turf algal.)
- **ST12B (Ugo): augmentation de l'abiotique (+ 20.5%) du fait de l'apparition du sable au détriment du substrat « corail mort avec algues »** (donc : - 20% pour le groupe « macrophytes et invertébrés »).

Ces mouvements dans le recouvrement par les sédiments fins (vase et/ou sable) sont liés aux grands phénomènes hydrodynamiques climatiques et peuvent être observés régulièrement. Ils ne sont pas alarmants.

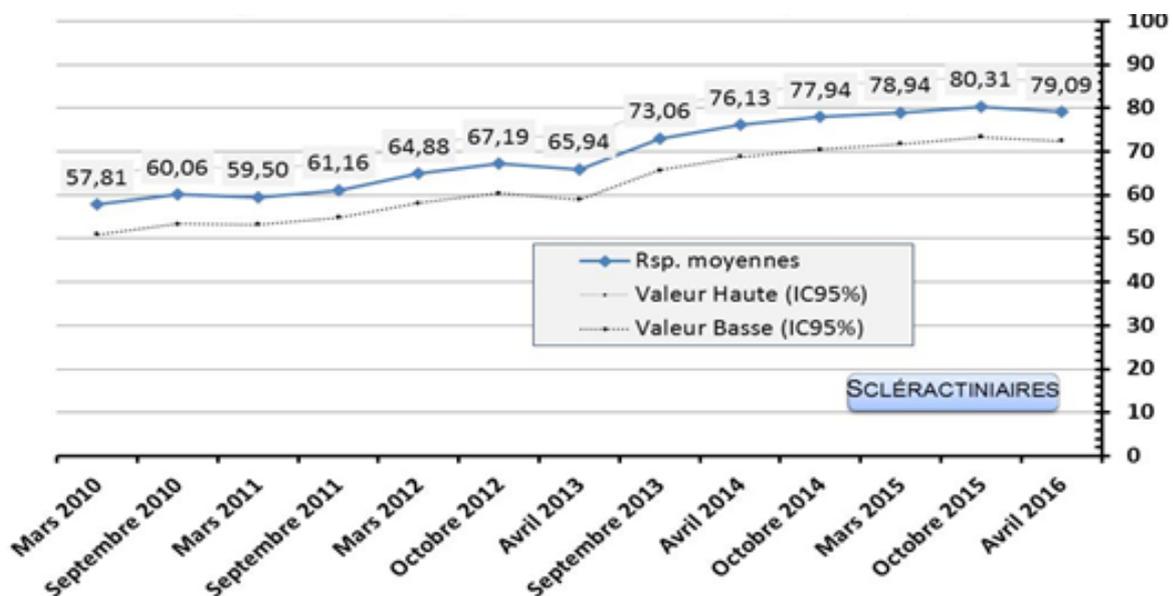
- ⚠ **ATTENTION : au niveau des suivis par transect pour le LIT / SUBSTRAT : il ne doit pas être effectué de moyenne des 3 transects pour 1 station, en effet chaque transect est une entité éco systémique indépendante, les transects ne sont pas des répliques les uns des autres et notamment les transects inférieurs (majoritairement abiotiques) ne doivent pas être confondus par une analyse globale rapide avec les transects supérieurs.**
- ⚠ **Des moyennes par stations tous transects confondus sont effectuées pour les poissons (mobiles et visibles d'un transect à l'autre) avec toutes les précautions que le spécialiste en halieutiques préconise, mais en aucun cas pour les LIT/SUBSTRAT.**

➤ **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.

● **Pour les coraux :**

Figure 50: Valeur de la richesse spécifique moyenne des coraux durs (scléactiniaires) depuis 2010 (Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance)



- Les petites baisses de diversité en mars 2011, avril 2013 et avril 2016 sont corrélées respectivement aux dépressions Vania-Zelia (2011), Fréda (2013) et Winston (2016) ainsi que **le phénomène El Nino (2016)** qui se sont déroulées en début de chaque année.
- En avril 2016, des anomalies sont enregistrées pour les stations de la baie de Prony. L'augmentation de température des masses d'eau a eu un impact sur la biodiversité des récifs dans la baie (blanchissement, colonies mortes en place, développement de turf algal...).
- Dans le canal Woodin, les récifs ont également bien blanchis mais la diminution de diversité n'est pas encore révélée d'un point de vue statistique.



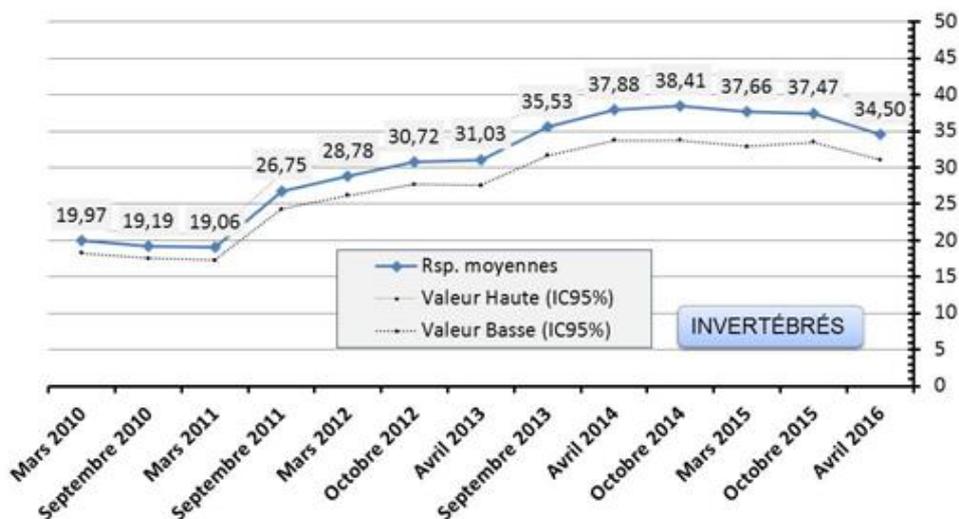
- **Stabilité remarquable pour les stations du canal de la Havannah**



● **Pour les Macro-Invertébrés (sauf le corail dur)**

Suite à des perturbations d'une grande ampleur, le récif ne met pas longtemps à se stabiliser dans le temps et se régénérer pour les invertébrés. En effet suite à un évènement d'une ampleur exceptionnel tel qu'une dépression ou cyclone, les inventaires spécifiques montrent que la recolonisation se fait dans le semestre suivant (périodicité semestrielle des missions de suivi biologique).

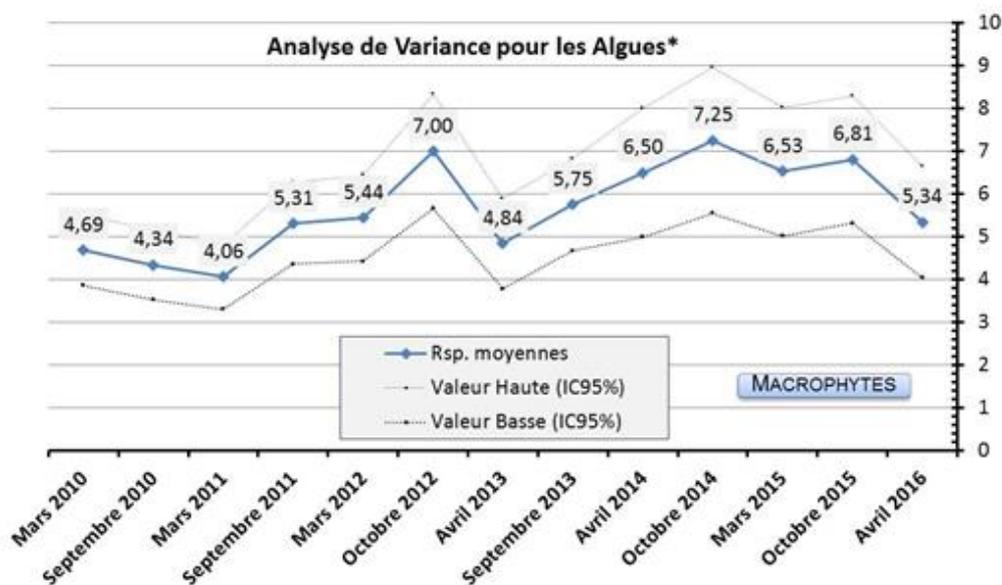
Figure 51: Valeur de la richesse spécifique moyenne des macro-invertébrés (hors coraux durs) depuis 2010 (Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance)



- **Pour les Macrophytes(algues)**

Le même travail d'analyse a été réalisé avec les algues dont un bloom pourrait être un indicateur de perturbation (Il ne s'est jamais produit à ce jour depuis 2007)

Figure 52: Valeur de la richesse spécifique moyenne des Macrophytes depuis 2010



Les relevés semestriels permettent d'évaluer les tendances d'abondance pour chaque mission pour les genres d'algues vertes (Chlorophytes), d'algues rouges (Rhodophytes) et d'algues brunes (Chromophytes). **Ils permettent d'appréhender dans le temps, si certains genres ou espèces deviennent invasives par rapport au reste des communautés coralliennes. Cette attention au niveau des espèces invasives est soutenue depuis le début des suivis.**

A surveiller : les algues d'un point de vue « problématique des EEE -Exogènes et espèces invasives ». A ce jour : pas de perturbation notée. (Une synthèse de leur tendance évolutivité a été réalisée en 2013).

A surveiller aussi : les inflorescences de cyanobactéries notamment en baie de Port Boisé ou à la

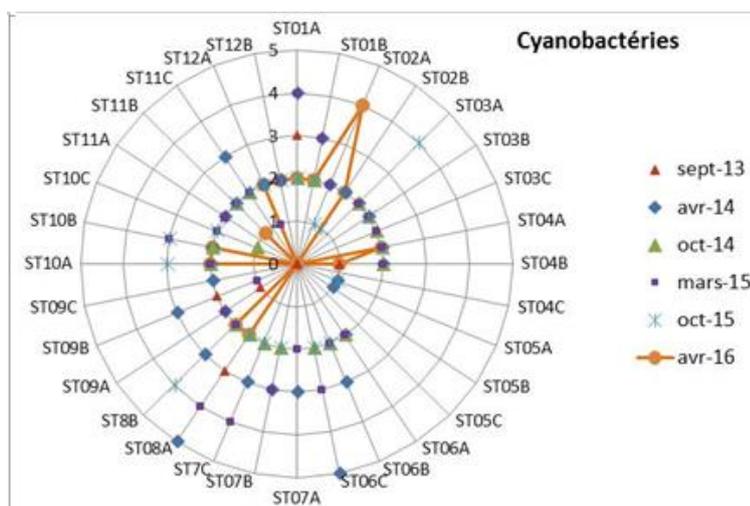
pointe Puka en raison des rejets d'eaux domestiques (sans lien avec Vale NC), lors de cette mission elles sont en net recul. Il n'a jamais été constaté une prolifération de cyanobactérie qui perdure dans le temps. Leur recouvrement peut-être important mais jusqu'à ce jour, leur développement n'est pas pérenne.



En avril 2016, les récifs habituellement perturbés par la sédimentation (ST02, ST03 et ST08) ne présentaient pas de dégradation notable ou relative à un apport excédentaire de matière en suspension.



Figure 53 : Suivi benthique, surveillance de l'abondance en cyanobactéries entre 2013 et 2016



➤ **Les Indicateurs de la santé des coraux**

Cet indicateur est suivi avec attention grâce à la participation d'une spécialiste des coraux calédoniens aux missions de suivis depuis 2008 : M. Gregory Lasne (Biocénose). Abondance, mortalité, richesse spécifique, recrutement et blanchissement coralliens sont les paramètres de son évaluation de la santé du récif.

- **Le blanchissement corallien.** Il est potentiellement réversible et différemment ressenti par les espèces. Il est à prendre en compte car il donne des indications sur l'affaiblissement des récifs.

En 2015 il était extrêmement faible. Une augmentation de celui-ci est observée en 2016 en relation avec le phénomène « El Niño » qui touche tout le Pacifique sud.

Seules les stations côtières enclavées dans des baies présentent un blanchissement corallien significatif sur leurs transects (ou couloirs d'évaluation) supérieurs (moins de 5m de profondeur). Ce fait est en cohérence avec les mesures des températures de la colonne d'eau de mer (Cf. le chapitre 3.2.2. sur le suivi de la qualité physico chimique de l'eau) qui montrent une thermocline et une température de surface plus élevée, surtout en baie de Port Boisé, Baie Kwé et en baie du Prony. Le canal de la Havannah ne montre pas de blanchissement accentué et sa température de l'eau est restée homogène (sans thermocline) grâce à son hydrodynamisme puissant par l'entrée d'eau via la passe de la Havannah



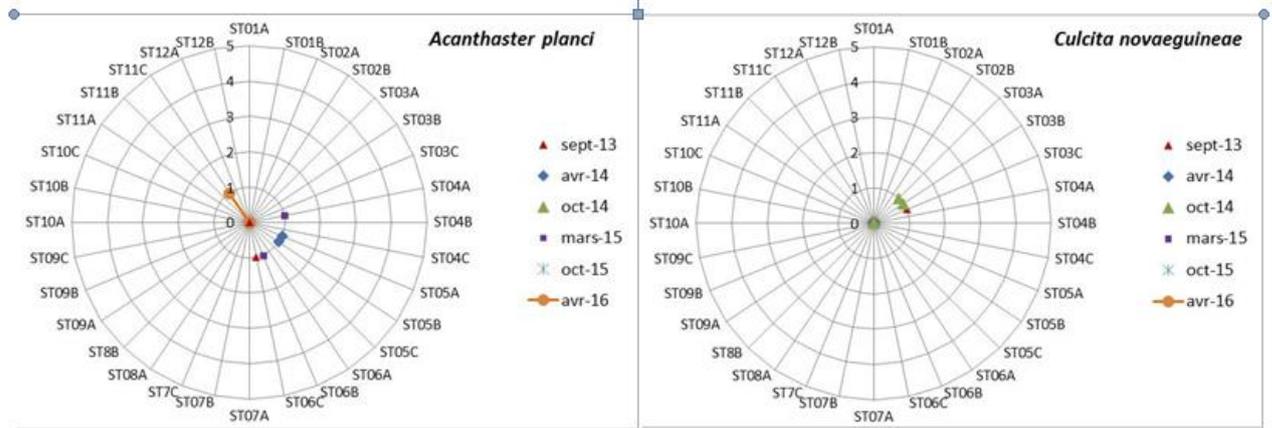
- **Le recrutement corallien.** Il comprend les nouvelles espèces recensées sur le couloir d'étude et l'augmentation d'une espèce déjà présente grâce à des juvéniles nouvellement installés.
- **La mortalité,** elle est détectée par les exosquelettes restés en place et la connaissance du milieu par un évaluateur qui l'évalue depuis de nombreuses missions
- **L'abondance des espèces concurrentes**
- **Les espèces qui se nourrissent du corail**
- **Les maladies coralliennes**

Cf. rapport intégral en annexe 3 pour plus de détails (Travail du bureau d'étude Biocénose).

➤ **Les étoiles de mer qui se nourrissent du corail**

Aucun phénomène de prolifération alarmante n'a été constaté, aucune présence accrue des étoiles de mer qui consomment le corail, une étoile *Acanthaster* est ponctuellement observée sur une station ou une autre, et notée mais jamais de prolifération ni même de rassemblement de plusieurs étoiles.

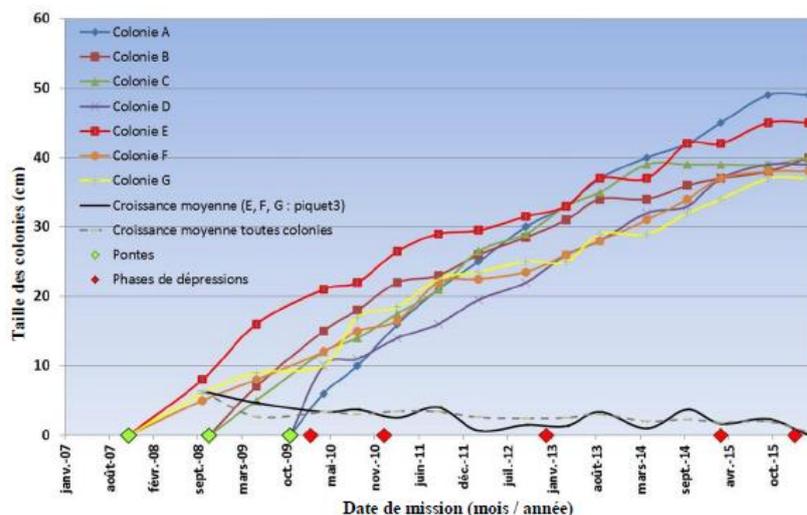
Figure 54 : Suivi des étoiles de mer *Acanthaster* et *Culcita* de 2013 à 2016



➤ **La croissance du corail**

Des planulas de *Pocillopora damicornis* ont réussi à se fixer sur les piquets (posés lors de la mission du 31/08/07) du transect A de la station 01 (Casy), aucune autre espèce ne les a perturbées dans leur édification. Ce sont des indicateurs suivis par les plongeurs biologistes dont les missions d'évaluation vont au-delà des suivis réglementaires dès que leur expertise est stimulée par une observation, attitude soutenue par Vale NC. L'édification corallienne est plus importante durant le stade juvénile, puis elle diminue progressivement au fur et à mesure du temps avec des fluctuations saisonnières. Durant l'année la croissance de *Pocillopora damicornis* n'est pas linéaire, la période hivernale (saison sèche et fraîche) est plus favorable à la construction de l'exosquelette carbonaté. La période estivale (saison humide et chaude) induit des « variations » de salinité, de température et de turbidité dans l'environnement ce qui va stresser les colonies coralliennes qui grandissent moins rapidement ou sont en attente.

Figure 55: Courbes de croissance des colonies coralliennes fixées sur piquets ST 01A
 Les trois croix vertes indiquent les phases de ponte. Les rouges indiquent les grandes phases dépressives



➤ **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 2016 comparés aux années précédentes. Elle est due au professeur universitaire Claude Chauvet (ACREM), ichtyologue.

Il assure en supplément des exigences réglementaires 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).

Ces chapitres sont maintenus 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.

Figure 56 : Poissons : Moyennes des paramètres étudiés (calculées sur l'ensemble des stations mission après mission)

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.

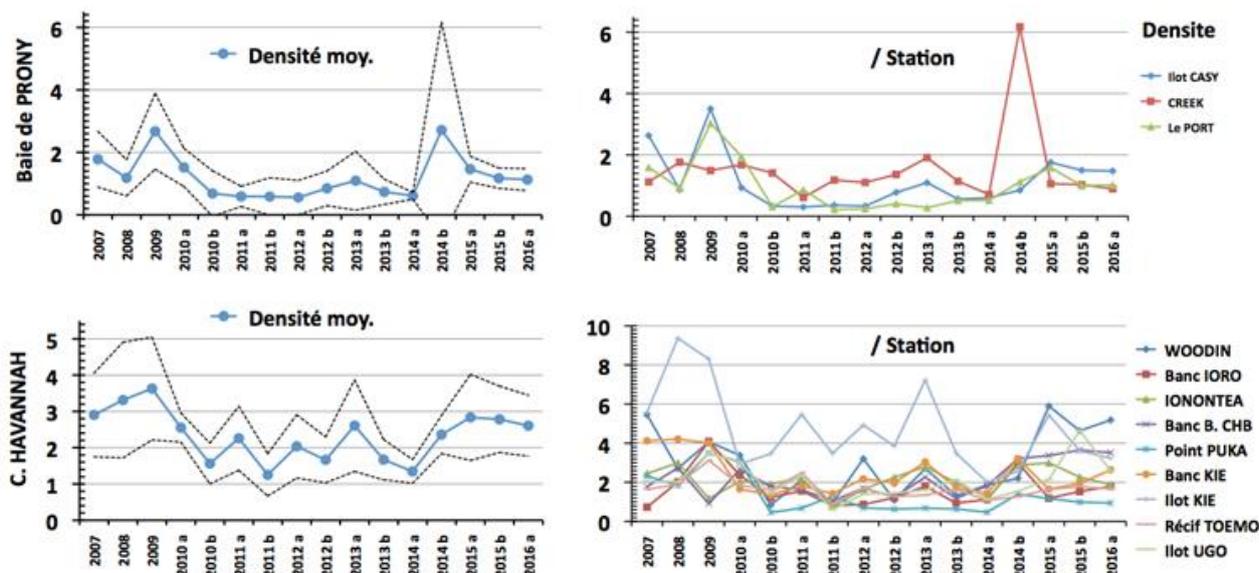
BIOMASSE en gramme de poissons listés sur la liste restreinte par m²

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 réglementaire 2006 et CCB).

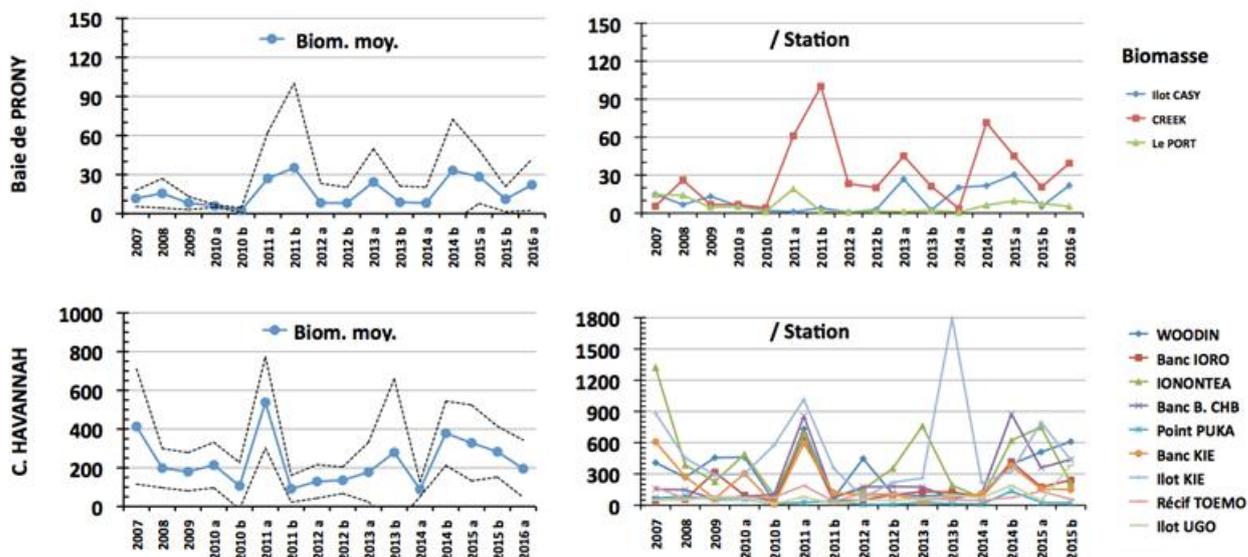
Les données et traitement statistiques sont indiqués dans le rapport intégral en annexe 3

Figure 57 : Poissons : Moyennes des paramètres étudiés (calculées sur l'ensemble des stations par année, mission après mission depuis 2007)

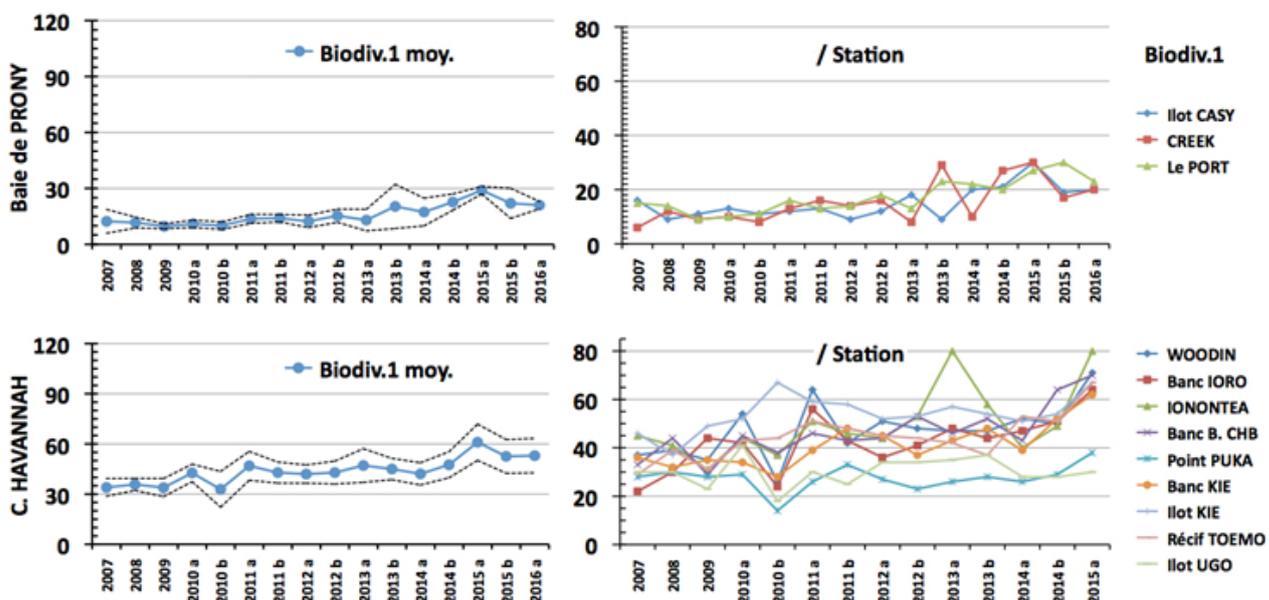
DENSITE (selon les exigences du plan de suivi et donc sur liste restreinte)



BIOMASSE (selon les exigences du plan de suivi)



BIODIVERSITE 1 (Selon les exigences du plan de suivi)

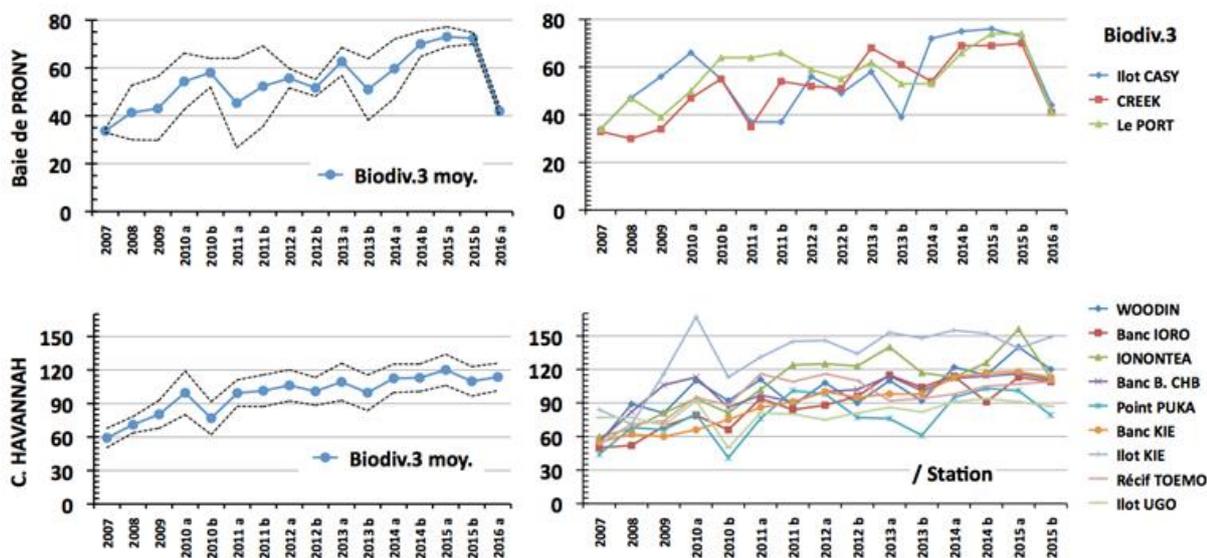


Commentaires de l'expert :

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.



Figure 58 : Biodiversité n°3 (sans se limiter à une liste restreinte) depuis 2007 sur l'ensemble des stations suivies et par domaines



Méthodes de calculs et analyses complètes dans le rapport intégral en annexe 3

Conclusion sur le domaine ichtyologique :

- La Densité est globalement 2 fois plus forte dans le Canal de la Havannah qu'en Baie de Prony et ce rapport peut atteindre un facteur 10 avec certaines stations du canal comme Woodin et l'Ilot Kié.
- Bien que le cahier des charges n'en fasse pas mention, les stations de Prony sont peuplées de nombreux juvéniles et la station du Port (St03) ne comporte que des juvéniles. Ce caractère est à noter et il ajoute encore au contraste entre les stations de Prony et celles du Canal de la Havannah.
- Les Biomasses entre les stations du Canal varient d'un facteur 1 à 12 et de 1 à 4 dans la Baie.
- La Biodiversité est en moyenne 3 fois plus faible en baie du Prony que dans le canal de la Havannah.
- Les stations de Prony sont homogènes (biomasse exceptée) ; celles du Canal sont hétérogènes
- Les Biodiversités varient peu au fil des missions et assez unanimement sur l'ensemble de la zone. Elles tendent à augmenter sensiblement depuis le début des observations et cette augmentation porte essentiellement sur des espèces non commerciales.

En avril 2016, la Densité et la Biomasse ont légèrement baissé tandis que la biodiversité s'est légèrement accrue. Au total la qualité du milieu marin évaluée à travers le peuplement de poissons est toujours très bonne.

La station dans le canal Woodin (hors influence Vale NC) comme les stations du canal de la Havannah (même les plus proches du diffuseur) rivalisent avec la station de l'îlot Kié (en réserve Merlet).

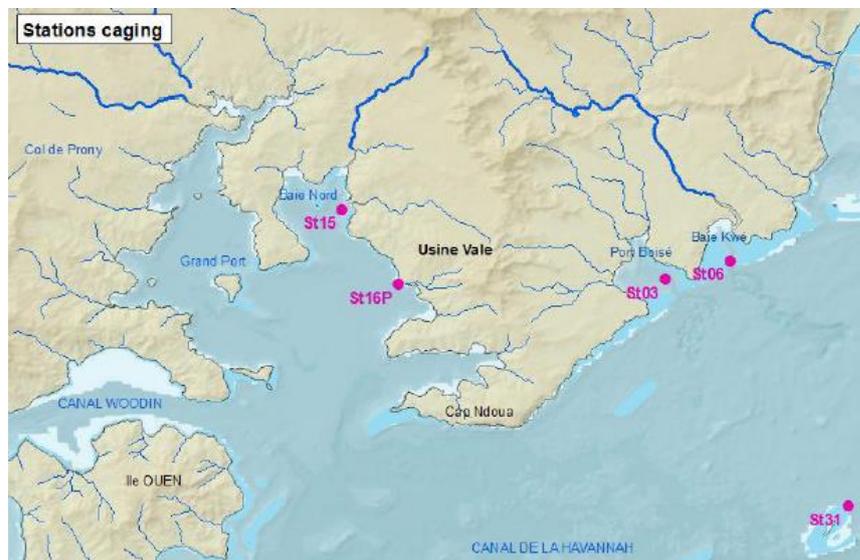


3.2.4. Suivi des bio-indicateurs transplantés (le caging)

La campagne 2016 fait suite à l'étude de synthèse établissant le bilan des 5 années précédentes (2009, 2010, 2011, 2012 et 2013) de suivi de la qualité des eaux par l'utilisation de bio-indicateurs dans le périmètre d'influence de Vale-NC (Gilbert et Fernandez, 2014). Basée sur les recommandations faites dans ce rapport critique, la présente campagne (comme les campagnes de 2014 et 2015) a fait l'objet de modifications, notamment : l'augmentation de la durée d'immersion qui est portée à 5 mois au lieu de 3 mois initialement pour mettre clairement en évidence des phases d'accumulation ou d'élimination significatives des métaux.

Station	Typologie
St03	Baie
St06	Baie
St15	Baie
St16P	Baie
St31	Océanique

Figure 59 : Emplacement des cages pour la transplantation des bivalentes bio- indicateurs 2016



**Les cages sont en cours d'immersion, nettoyées et vérifiées régulièrement.
Résultats dans le rapport annuel 2016**



3.2.5. Suivi des flux sédimentaires

L'étude consiste au 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) ont été réalisés.

Les principaux résultats montrent qu'en saison chaude comme en saison fraîche, la distribution des 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 :

- 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.
- Et la pluviométrie

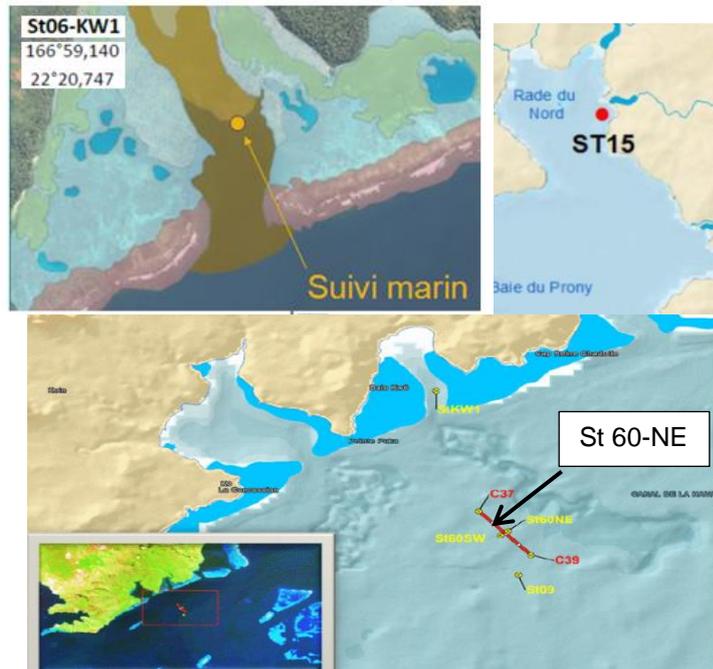
L'importance des vents avait été sous-estimée mais la synthèse des suivis en a démontré l'ampleur.

Les flux sédimentaires sont suivis à 60 mètres du diffuseur (représenté par un trait rouge sur cette carte schématique) sur St60NE, dans le chenal d'entrée en baie de la Kwé (StKW1) et en baie de Prony sur St 15.

Le point St09 quant à lui est une station de suivi de la qualité physico chimique de l'eau.

Figure 60: Rappel de la position des stations d'études des flux sédimentaires

En baie du Prony (St 15 proche embouchure creek Baie Nord) et dans le canal de la Havannah sur St60NE. En baie Kwé le point suivi est StKW1



➤ Pour la campagne du premier semestre 2016

Les résultats seront intégrés dans le rapport annuel 2016, la perte du matériel a obligé une nouvelle pose des préleveurs automatiques, ceux doivent rester immerger 48 jours et donc le reporting du premier semestre a été décalé dans le temps.

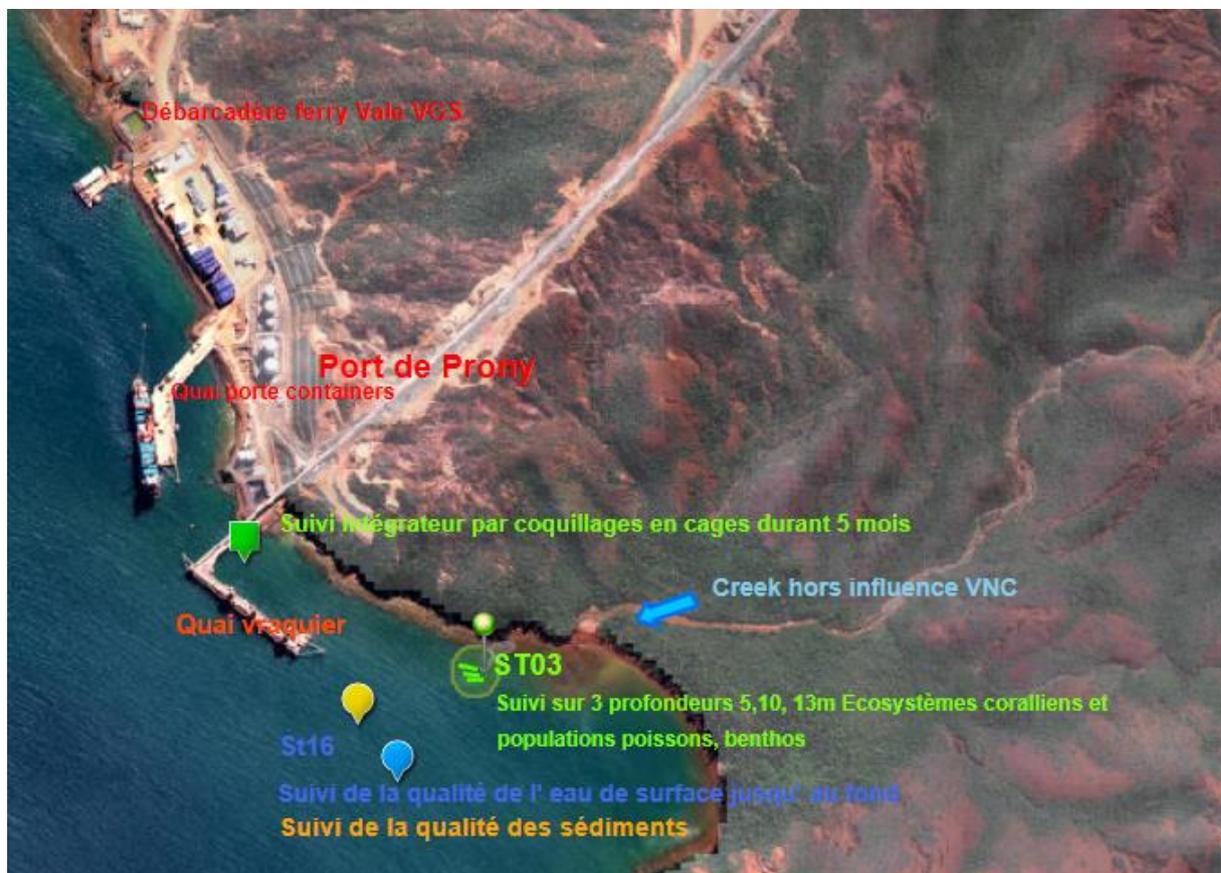
3.2.6. Suivi spécifique dédié au port de Prony (St16). Qualité de l'eau et sédiments

La station St16 du port de Prony est suivie de façon réglementaire via 4 familles d'indicateurs :

- **La structure et la qualité (pH, conc. en métaux dissous, hydrocarbures...)** de l'eau : 4 fois/ an
- **Les sédiments** : 1 fois/an.
- **Les écosystèmes** : la station de suivi des écosystèmes (ST 03) coralliens et biotes associés est suivie de façon semestrielle (Cf. chapitre 3.2.2)
- **L'éventuelle accumulation d'éléments dans les bio-indicateurs** (coquillages filtreurs) est surveillée annuellement par *le caging*). La cage St16P a été ajoutée en 2014 au plus près du quai vraquier et sans gêner les manœuvres. (Cf. schéma ici dessous)

Figure 61: Position des stations suivies au port de Prony

ST03 station éco- systémique. **St16** : stations physico chimie de l'eau et des sédiments + caging



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

Ce travail de nettoyage du fond à l'aplomb du quasi (tablier sur pilotis) vraquier a été conduit et achevé en 2015. Les états des lieux des écosystèmes (corail, benthos, poissons) et de la qualité de l'eau, à l'aplomb du quasi vraquier et aux alentours, ont été conduits au temps t_0 (avant les travaux), ils se sont poursuivis au temps t_1 (pendant les travaux) et par la suite un bilan t_2 (après les travaux) a été effectué.

3.2.8. Suivi de la qualité des sédiments triennal)

Les dernières campagnes d'analyses de la qualité des sédiments ont eu lieu en 2012 et en 2015, ce suivi étant triennal (sauf au port où il est annuel), aucune campagne globale ne s'est déroulée en 2016 (les résultats les plus récents sont présentés dans le bilan annuel 2015).

Au niveau du port, le bilan annuel 2016 précisera les résultats.

3.2.9. Evaluation et conséquences des incidents

Le premier semestre 2016 n'a pas donné lieu à des incidents ou pollutions en milieu marin.

La réparation définitive de l'émissaire a été conduite en 2015 en évitant d'empiéter sur la saison de présence maximale des baleines à bosse dans le lagon et avec toutes les mesures environnementales d'accompagnement et de surveillance prises. Ces travaux sont terminés.

En mai 2016 une fuite sur un iso container stocké sur son aire de rétention a eu lieu au port, un faible volume d'acide chlorhydrique dilué (33%) s'est échappé sous le container et a été pris en charge par la brigade d'intervention du site VNC. Il n'y a eu aucun effet HSE. La fuite a été contenue sur son aire de rétention dédiée et le container a été isolé, son contenu a été transféré. Les eaux de lavages de la zone ont été entièrement récupérées et traitées

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 24 : Synthèse des résultats des missions de suivis du milieu marin S1/2016.

Suivi réglementaire S1/2015	Indicateurs	Premier semestre 2015	
Structure de la colonne d'eau de mer	Physique Chimique	Pas de non-conformité par rapport aux valeurs attendues, notamment sur les stations proches du rejet de l'effluent, au niveau du port de Prony et en baie Kwé. Les fortes températures exceptionnelles du début de l'année 2016 sont enregistrées notamment par une thermocline dans les eaux confinées des baies Kwé, Port Boisé et Prony.	
Qualité de l'eau et concentrations en métaux	Chimique	Pas de non-conformité par rapport aux valeurs attendues, notamment sur les stations proches du rejet de l'effluent, au niveau du port de Prony et en baie Kwé. Le guide CNRT/ZoNeCo classe les concentrations en « milieu non perturbé »	
Suivi des écosystèmes	Biologique Corail Benthos Poissons	Blanchissement partiel des coraux de surface au niveau des stations du canal Woodin et de la baie de Prony, où les eaux ont subi un réchauffement visible par une thermocline. Très peu de blanchissement dans le canal de la Havannah. La biodiversité et l'ensemble des indicateurs des poissons sont bons à très bons sur toutes les stations. Conformité au niveau des stations qui entourent le rejet d'effluent, aucun stress n'est décelé. Pas de bloom algal ou de cyanophycées, pas d'étoile de mer dévoreuse du corail.	
Bio accumulation Sur transplants	Bio accumulateurs	La campagne annuelle est en cours et sera analysée dans le rapport S2/2016	
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Rapport triennal	
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Rapport triennal	
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique	La perte de l'équipement immergé a contraint à mettre en place un nouvel équipement, encore en campagne, les résultats sont décalés dans le temps. Le bilan annuel S2/2016 présentera les 2 campagnes annuelles.	
Suivi spécial de la zone portuaire	Physique Chimique Et sédiments	Rapport annuel	

5. INTERPRETATION ET DISCUSSION

- En amont du suivi de zone d'influence du diffuseur marin, il doit être pris en compte la qualité de l'effluent traité tel que rejeté par le diffuseur ; le suivi de la qualité de l'effluent fait l'objet d'un rapport semestriel dédié. La surveillance de la conformité des rejets (et des non conformités) est, bien sûr, corrélée avec le suivi du milieu récepteur (le lagon) qui en tient compte.
- Le recoupement de toutes les informations données par les paramètres analysés (ou observés) est cohérent, il démontre que le suivi des indicateurs est pertinent, cependant le retour d'expérience doit permettre une optimisation. Une expertise conduite par l'INERIS/IFREMER afin d'établir un bilan de 7 années de suivis marins et d'optimiser le plan au regard des acquis a été finalisée fin 2015.
- L'ensemble des suivis montre que les conditions météorologiques extrêmes (cyclones et fortes dépressions tropicales) et les cycles « El Niño » sont les causes premières et cycliques des variations des paramètres, tous les indicateurs subissent plus ou moins leur influence (le corail et les invertébrés sessiles sont les plus sensibles). La cyclicité des effets des apports d'eau douce dans les baies côtières et des réponses des écosystèmes est de mieux en mieux connue au cours des missions. En 2014/2015 le blanchissement corallien est minimal et le niveau des indicateurs de stress est au plus bas. L'ichtyofaune est très abondante et diversifiée. Début 2016 le blanchissement corallien est élevé sur les *transects* supérieurs des stations des baies qui ont subi une hausse de la température en relation avec le phénomène « El Niño » qui affecte tout le Pacifique Sud, cependant les indicateurs « poissons » restent bons à très bons.
- Il n'y a pas eu de pollution ni d'affectation de cause anthropique du milieu marin en 2015 et au premier semestre 2016. Au vu des états initiaux et des tendances évolutives, la qualité de l'eau est bonne. L'effluent marin n'a causé aucune modification sur le milieu environnant, comme attendu par les modélisations et l'ensemble des expertises antérieures. Le blanchissement corallien du à « El Niño » reste partiel et n'affecte pas le canal de la Havannah.
- La mise en commun de tous les indicateurs suivis, qu'ils soient instantanés ou intégrateurs, biologiques, chimiques ou physiques, est nécessaire. En effet la qualité du milieu ne peut pas être décrite par un seul paramètre, une synthèse raisonnée de tous les indicateurs est indispensable. Un écosystème en bonne santé n'est pas pour autant dépourvu d'un stress sur un indicateur. *(Par exemple il y a du blanchissement corallien et des maladies coralliennes en réserve Merlet, et pas de blanchissement en face le creek de la baie Nord lors de la campagne S2/2015, cette seule indication ne peut pas faire dire que la réserve Merlet doit être inscrite en rouge car en mauvaise santé.)* L'extériorisation des suivis marins auprès d'experts reconnus qui travaillent en synergie garantit cette analyse globale.
- Une attention est portée aux éventuelles espèces exogènes ou envahissantes, des macro-biotes exogènes n'ont pas été observés. Il n'y pas eu de bloom d'algues macrophytes ou de cyanophycées. *(La méthodologie de ce suivi volontariste n'est pas validée mais en l'absence de prise en considération des EEE marins en Nouvelle - Calédonie, c'est une observation supplémentaire qui se justifie).*

Bilan des « non-conformités » (au sens : impact dégradant sur le milieu naturel et notamment sur ses compartiments biotiques)

Une « non-conformité » est constatée au cours de ces suivis du premier semestre 2016, au niveau des transects supérieurs (peu profonds) des stations ST02 et ST04 en baie du Prony et dans le canal Woodin : **un blanchissement corallien significatif est observé et quantifié**. Il reste partiel et les prochains suivis montreront le taux de résilience et le taux de mortalité des coraux affectés. La cause est identifiée et concerne l'ensemble du lagon calédonien dans un cadre climatique plus vaste du Pacifique Sud en relation avec le phénomène « El Niño ». Excepté les coraux, les autres indicateurs sont stables et les indicateurs poissons bons à très bons.

ANNEXE I

METHODOLOGIES

ANNEXE 1

Méthodes

Actualisation 2016

L'annexe 6 de la Convention pour la Conservation de la Biodiversité (CCB 2008) présente les plans de suivi des milieux « vivants » (biologiques), les indicateurs sélectionnés, les positions des stations **et la méthodologie** succincte pour chacun des suivis.

Elle reprend aussi les suivis physico chimiques des arrêtés ICPE en leur additionnant les thèmes biologiques.

Vale NC se conforme à ces prescriptions

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. Flux de sédiments**
- 4. Qualité des sédiments**
- 5. Taux de sédimentations**
- 6. Transplantation de bivalves**
- 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 de la saison et de la semaine précédant la mission (cumul des pluies).

► Les méthodes de prélèvements des échantillons d'eau et l'utilisation des sondes doivent garantir une absence de biais par des contaminations extérieures (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.

► Les missions de suivi sont sous-traitées et consistent à :

- Prélever les échantillons
- Analyser les échantillons.
- Effectuer les rapports de leur mission qui doivent comprendre une analyse raisonnée des résultats et une étude de leur évolution spatiale et temporelle.

Ces missions sont confiées par Vale Nouvelle-Calédonie à un (ou plusieurs) bureaux d'études, instituts ou un laboratoires externalisés ; celui-ci doit être techniquement équipé 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.

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.

1.1. Structure physique de la colonne d'eau

Les paramètres suivis en sub-surface (à moins de 3 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

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.

- 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'un 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, notamment sur les cages qui contiennent des bio indicateurs immergés.

- Salinité : En milieu côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. 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 baie lorsqu'elles y restent confinées. Ce phénomène dépend de la pluviométrie notamment en 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), d'une remise en suspension de dépôts sédimentaires du fond (par exemple en baie Kué par vents de secteur Sud de plus de 25 nœuds) ainsi que de florescence 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 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 fluorescent. La linéarité de la réponse permet de calibrer le capteur avec une solution de *Thalassiosira weissflogii* (culture de phytoplancton) et de l'exprimer 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 en 2015. Les fiches de calibrations sont disponibles au laboratoire concerné.

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

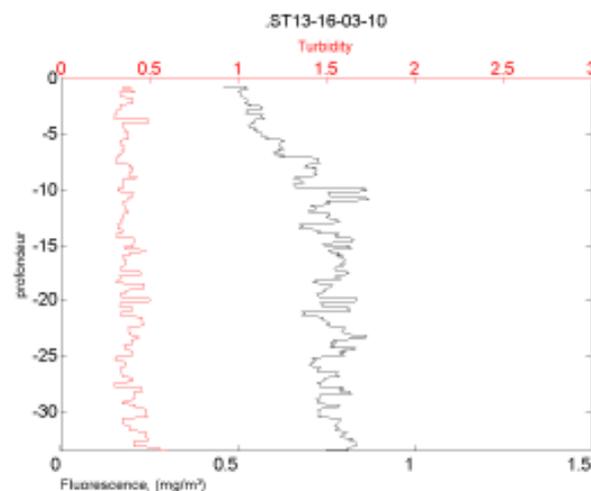
- La pression (elle permet de calculer la profondeur, une fois convertie en unités métriques de profondeur) ;
- La salinité (déduite de la mesure de la conductivité, sans unité, ou bien convertie en ‰) ;
- La température (°C) ;
- La turbidité : elle est obtenue par mesure de la néphélométrie exprimée en NTU (Méthode EPA) ;
- La fluorescence in-vivo est exprimée en concentration équivalente en chlorophylle (CEC) L'unité est donnée en mg/m^3 .

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 ($\mu\text{g.L}^{-1}$ 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) :

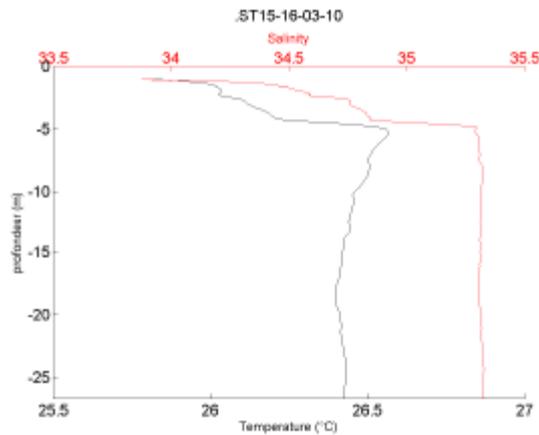
**Figure 1 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST13, le 16-03-10
Turbidité et fluorescence de la surface (0) jusqu'au fond (-36m)**



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,

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



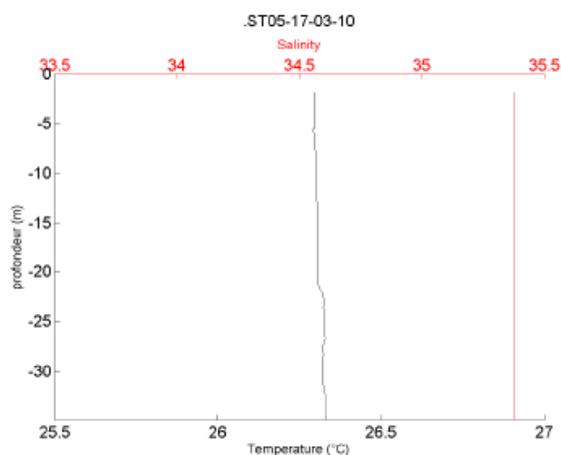
La figure ici dessus signifie que la salinité et la température entre 0 et 26 m de profondeur ont été enregistrées par la sonde multiparamétrique CTD sur la station St15 (en face le creek de la Baie Nord en baie du Prony, le 13/03/2010, pour cet exemple). Le fond du lagon est donc à -27 m. L'eau de surface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

Les prélèvements d'échantillons d'eau de surface (effectués entre -2 et -3 m) capteront donc bien cette couche superficielle de forte empreinte terrigène, en hydro région de fonds de baie. Cette couche dessalée est aussi à une température plus basse de 1°C.

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-dessus sur la station St05.

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 des 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.

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 (vent, pluie...). Les MES influencent également la production primaire (chlorophyllienne): une charge particulaire élevée peut en effet 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. pH-mètre WTW, calibrés au 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 (dub-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 excréments 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 pré concentration a été développée à l'IRD de Noumea 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 eaux sont conditionnées dans des flacons en verre afin d'éviter tout contact prolongés 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 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, il est conseillé de suivre les métaux suivant :

- Activité minière : Co, Cr, Ni 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, VNC suit par arrêté ICPE : Co, Cr, Ni, Mn, Cu, Zn, CrVI, As, Fe, Pb et Cd. Le Hg a été ajouté 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 (2015)

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), 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

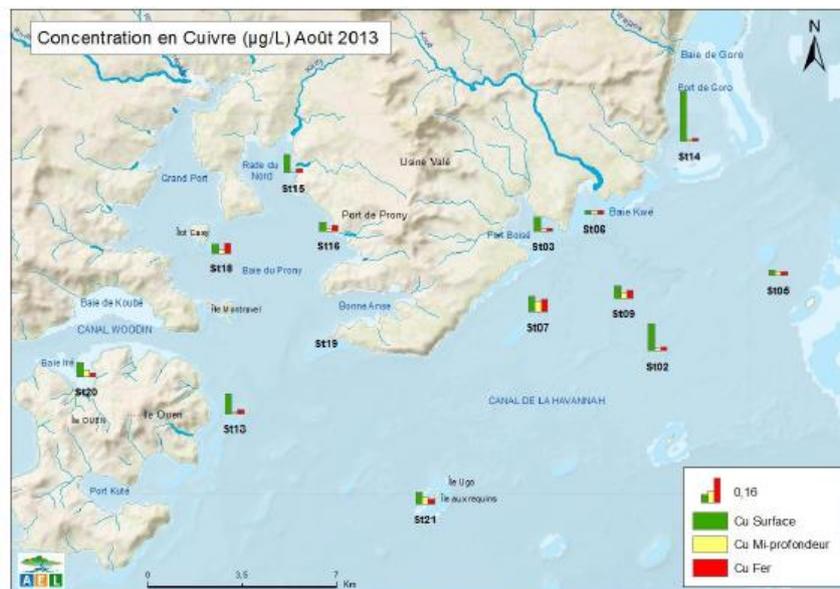
Ils sont schématisés et synthétisés pour chaque paramètre selon l'exemple donné sur les figures suivantes. La présentation des rapports doit être pérennisée car elle permet une lecture facilitée.

A minima selon certains paramètres « clefs » sont présentées à la fois 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.

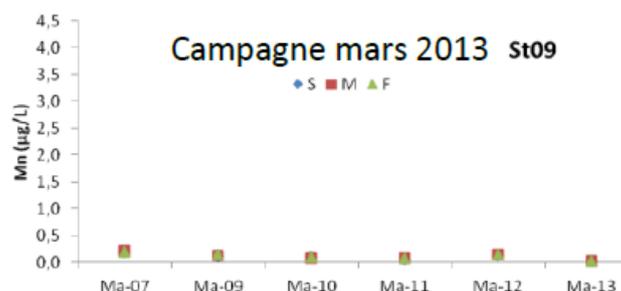
Figure 4 : Concentrations spatiales instantannées en cuivre dissous (Cu) dans la colonne d'eau - Echantillonnage en sub-surface, à mi- profondeur et au fond, canal de la Havannah et baie de Prony

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, à mi- profondeur et au fond, 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 de d'uniformiser la méthodologie et de l'affranchir le plus possible des biais par différences météorologiques, cependant il est logiquement impossible de toujours prélever les mêmes stations au même moment de la marée.

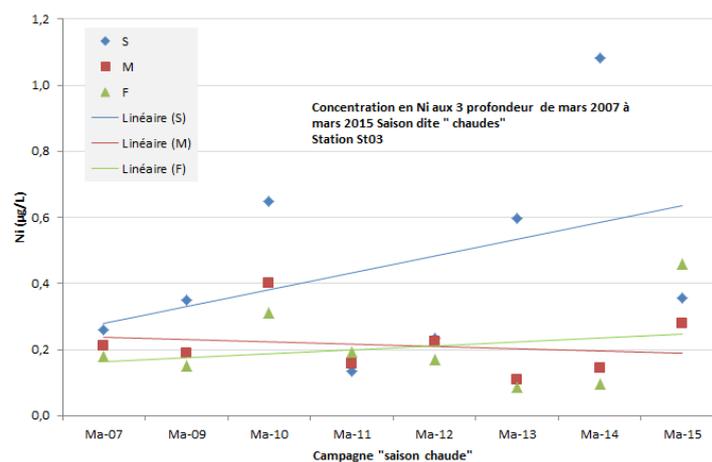
Les comparaisons temporelles des données de saison fraiche et les comparaisons temporelles des données de saisons chaudes ne sont pas confondues (Cf. exemples ici dessous), cependant, au port ou pour vérification ponctuelle, l'ensemble des données toutes saisons confondues peuvent être comparées afin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

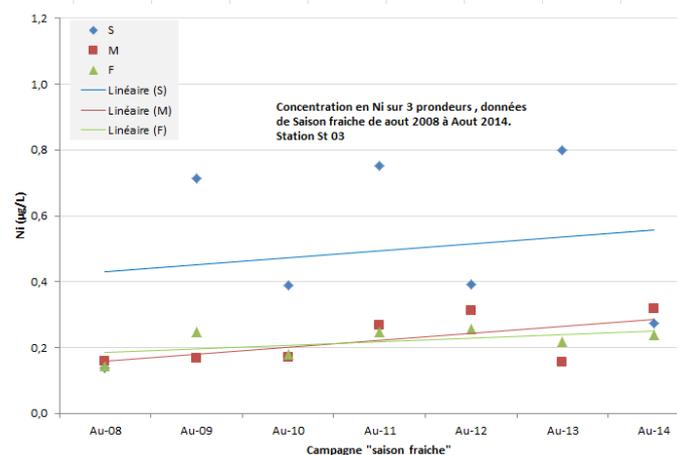
En cas de conditions météorologiques exceptionnelles les suivis réguliers ne sont pas effectués mais des missions d'évaluation ponctuelle dédiées à cet évènement sont enclenchées.

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 dePort Boisé) Suivi des concentrations en nickel aux 3 profondeurs : S=surface, M=Mi profondeur, F= au fond.



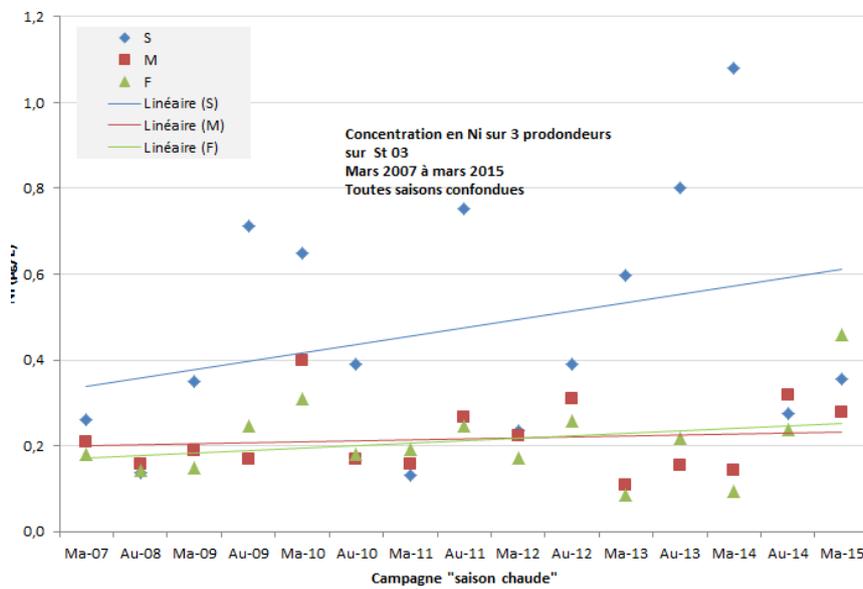
B)- Saisons FRAICHES en aout de 2008 à 2014. Sur St03. (Baie de Port Boisé) Suivi des concentrations en nickel.



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 pas 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 corrélérer les résultats de la qualité de l'eau de mer aux effets des ruissellements terrigènes

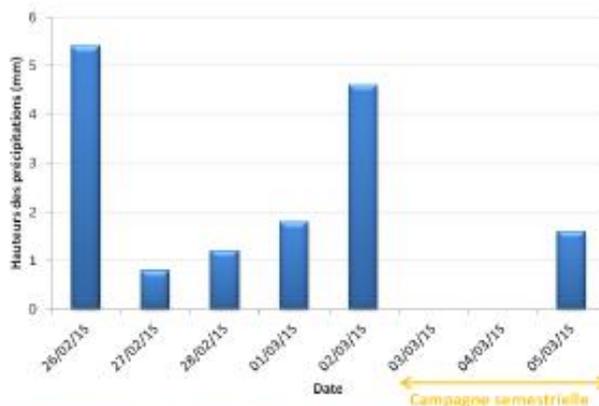


Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (26/03/15 au 02/03/15) la campagne et pendant la campagne semestrielle (03/03/15 au 05/03/15).

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

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

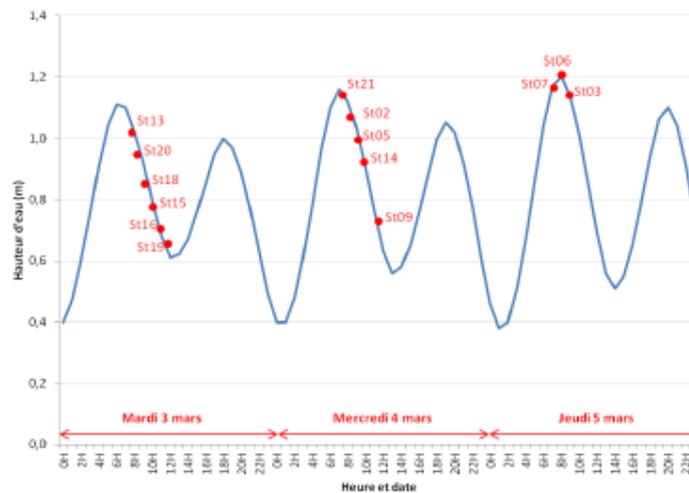


Figure 3 : Chronologie des événements de la campagne semestrielle de mars 2015 reportée sur le marégramme du 03 au 05 mars 2015.

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 mais on réglementaires.

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 certains 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, chapitre étoffé au gré les experts qui veulent donner une avis 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 imposé (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 – $W = aLb$ – (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 Sarramégnna 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</p> <p>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 Corail de feu</p> <p>Corail mou SC</p>	<p>Éponges SP</p> <p>Zoanthaires ZO</p> <p>Autres OT dont Ascidies, Anémones, Gorgones, Bénéitiers</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>

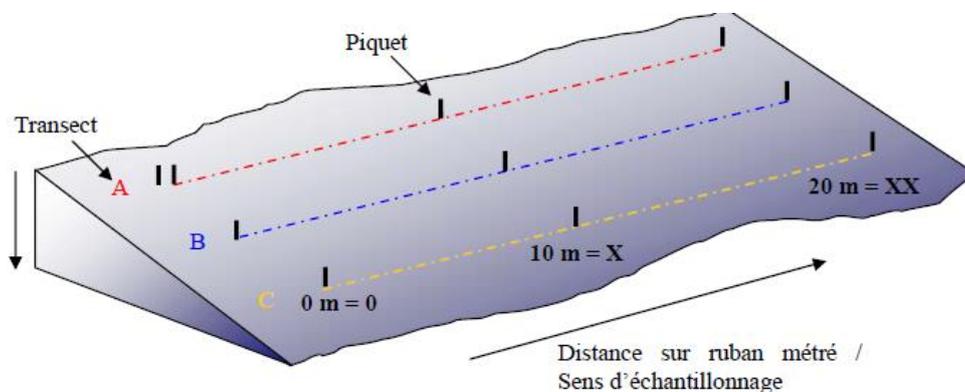
Remarque : Selon cette méthodologie les 3 transects du LIT sont situés à 3 profondeurs différentes, ils présentent des faciès différents et ne peuvent pas être statistiquement des répliques l'un de l'autre. Il ne peut pas être effectué de moyenne des résultats des LIT (substrat) des 3 transects d'une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

Elle est suivie avec attention depuis 2007 avec la même méthodologie et 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.

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.

➤ **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-

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
	<i>Anthias</i> et	
Serranidae	<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

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 deux faits relationnels entre le bureau d'étude en charge de la mission et Vale NC sont obligatoires

La forte courantologie de la zone du canal interfère avec les évaluations et il est demandé de « viser » le moment de l'étal de marée en période de mortes eaux. La courte période de l'étal 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 délai 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 minimum de mètre de la station. Une reconnaissance en PMT (palmes / masque / tuba, de la surface) est effectuée afin de repérer les piquets marquant 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, avec de fortes probabilités.

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 : 2 mètres,

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

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 » remis 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

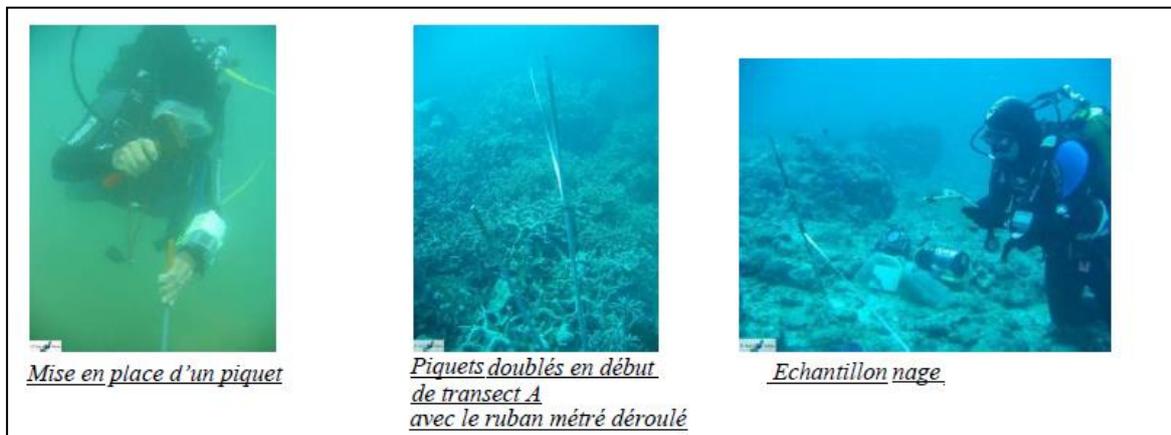
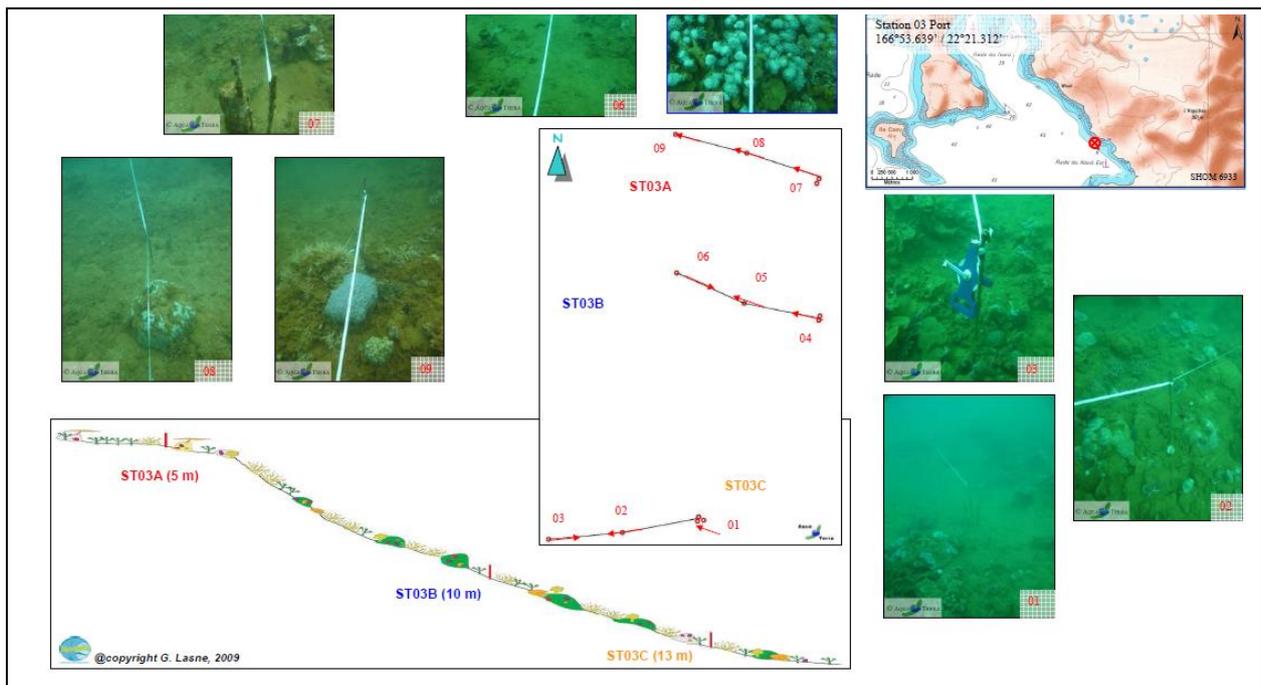


Figure 11 : Schéma d'une station sous-marine de surveillance des massifs coralliens et des populations associées (Ici ST03 Port de Prony) et des 3 transects



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

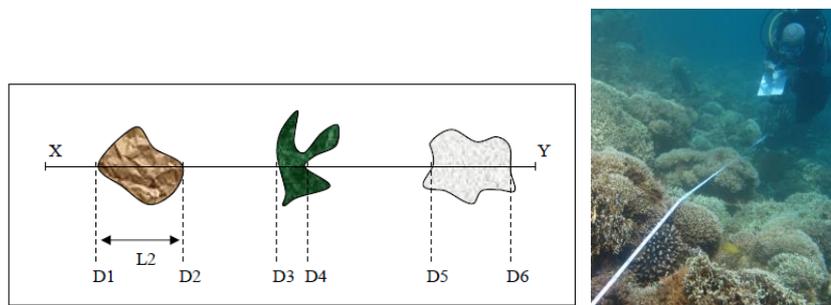


Tableau 9 : Exemple de calcul pour le recouvrement du substrat

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

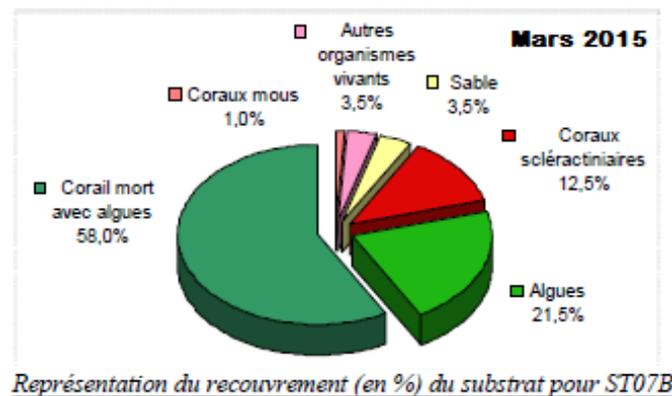


Remarquer que le ruban est bien tendu et peu flexible

Les 28 classes imposées (tableau 4 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



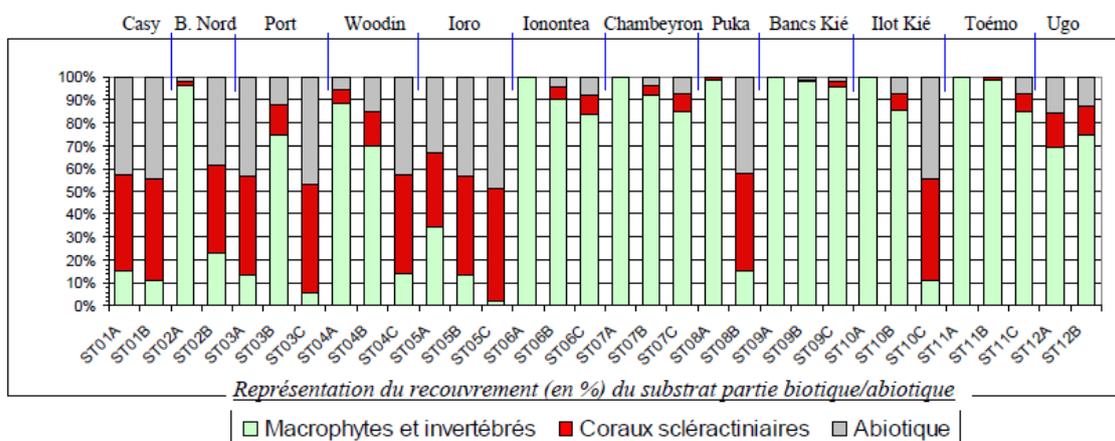
Les comparaisons spatiales et temporaires insistent sur les rapports :

- 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 récifs 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 bédouilles et les trocas (abondance).

Une échelle d'abondance a dû être mise en place, (Gregory Lasne BIOCEÑOSE) 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) : un plan de veille à l'égard des Espèces Exotiques Envahissantes est établi sur le site Vale Nouvelle-Calédonie, cette veille

concerne aussi le milieu marin. Cependant, pour le milieu marin, les autorités compétentes en la matière en Nouvelle-Calédonie n'ont pas établi de méthodologie ni d'état des lieux. 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).

- **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 (base vie) sont traitées deux fois (STEP + Station de traitement des effluents marins) puis rejetés via l'effluent marin, mais 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 qui ne sont pas imputable à VNC. Attention : La variabilité naturelle saisonnière de la couverture algale est forte et interfère.
- **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 et à l'embouchure du creek de la Baie Nord, en baie Kué et sur des stations « témoins ».
- **Le suivi des étoiles de mer ravageuses du corail** qui sont comptées une à une (et signalée, notamment des *Acanthaster*).
- **Le suivi avec iconographie associée** de certaines colonies coralliennes remarquables et géoréférencées 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

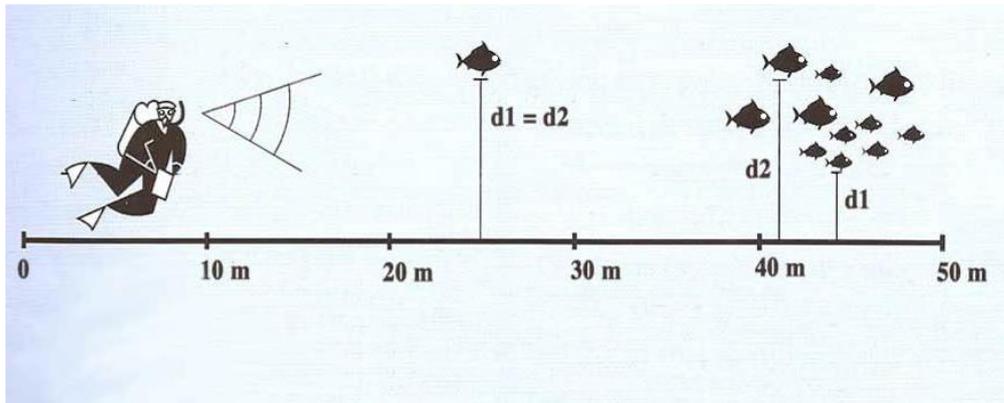
▲ POISSONS

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/ou reportée sur une autre station. La rencontre d'un individu exceptionnel (un requin blanc ou une raie de très grande taille) est rare mais aussi 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. *Cybium* 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. FLUX SEDIMENTAIRES

Une campagne d'étude des flux verticaux de particules en circulation dans l'eau de mer est conduite sur 48 jours à minima, l'indicateur est de type intégrateur.

► **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, 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. Poissons et animaux fixés ne doivent pas perturber le piégeage des sédiments, ce qui arrive avec des tubes, les dispositifs immergés plus de 1 mois doivent être visités.

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 récupérées 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.

- **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.

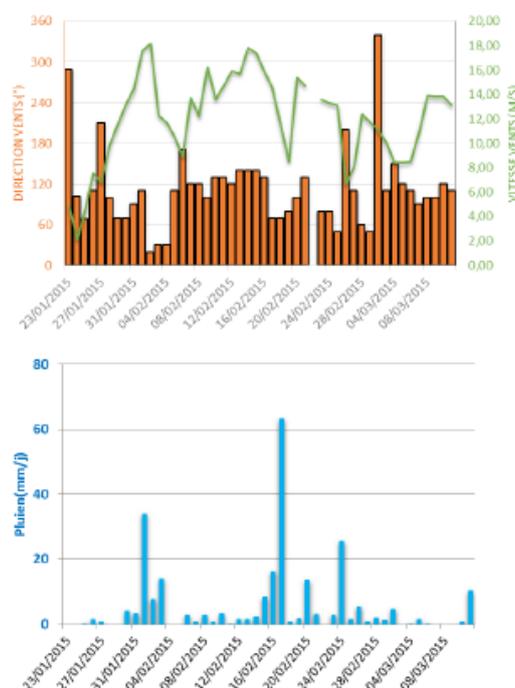
- **Au niveau de la baie Kué**, le dispositif ne peut pas être placé en eaux trop peu profondes, il demande à minima 15 d'eau (Fiches et al 2005 et guide CNRT) et pour cela il est placé au centre de la baie, dans le chenal de sortie des eaux et de brassage avec les flux entrants selon les marées et le régime des vents. 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).

► 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. Elles sont traitées au laboratoire, conditionnées puis conservées dans des sachets à usage unique.

- 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 été donnés par la station de l'usine-pilote Vale-NC ou par la station loro, ils sont nécessaires. (Cf. figure suivante). La direction des vents (et leur force) est corrélée à la remise en suspension de 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 analyses

Le laboratoire qui effectue les analyses est externalisé et 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 permet une meilleure compréhension pertinente.

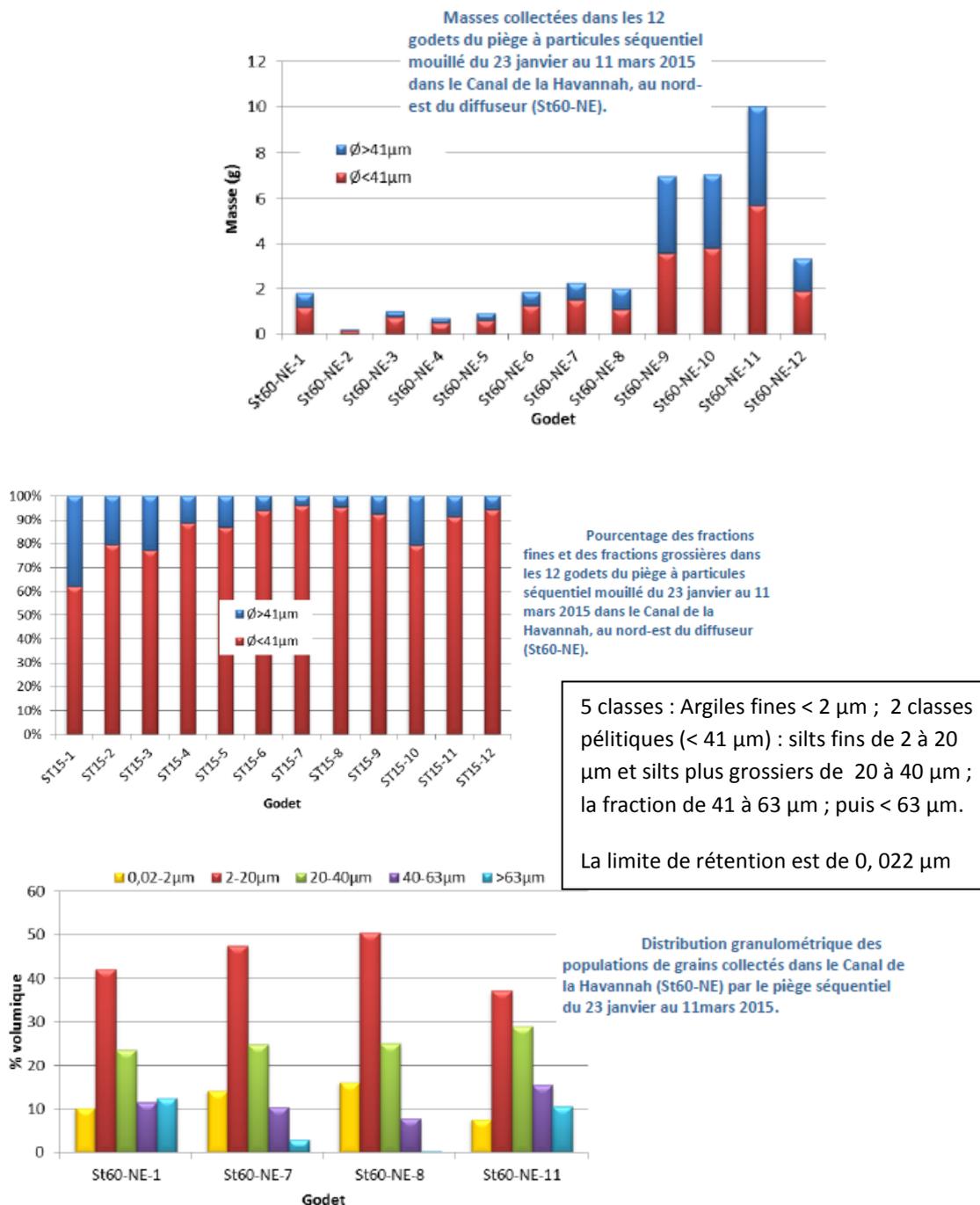
- **Teneur en carbonate** : La teneur en carbonates est calculée par relation stoechiométrique à partir des concentrations de Ca et Mg établies en mg/kg après attaque totale (fusion alcaline) des fractions pélitiques (fraction < 41 µm) des MES.
- **Granulométrie** : L'étude de la distribution des populations 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 41 µm. 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 des MES

Par stations et par godets (4 jours en continue de prélèvements) sont enregistrées la masse globale de MES collectée mais aussi par fractions entre les pélites les plus fines et des déments plus grossiers, tout en restant dans des matières en suspension.

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 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 Kué.

➤ **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 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 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 milli grammes/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 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, hors apport terrigènes.

Les digrammes tels que ceux présentés ci-dessous montrent ces phénomènes complexes, seule une analyse d'expert peut en tirer des conclusions.

Figure 19 : 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.

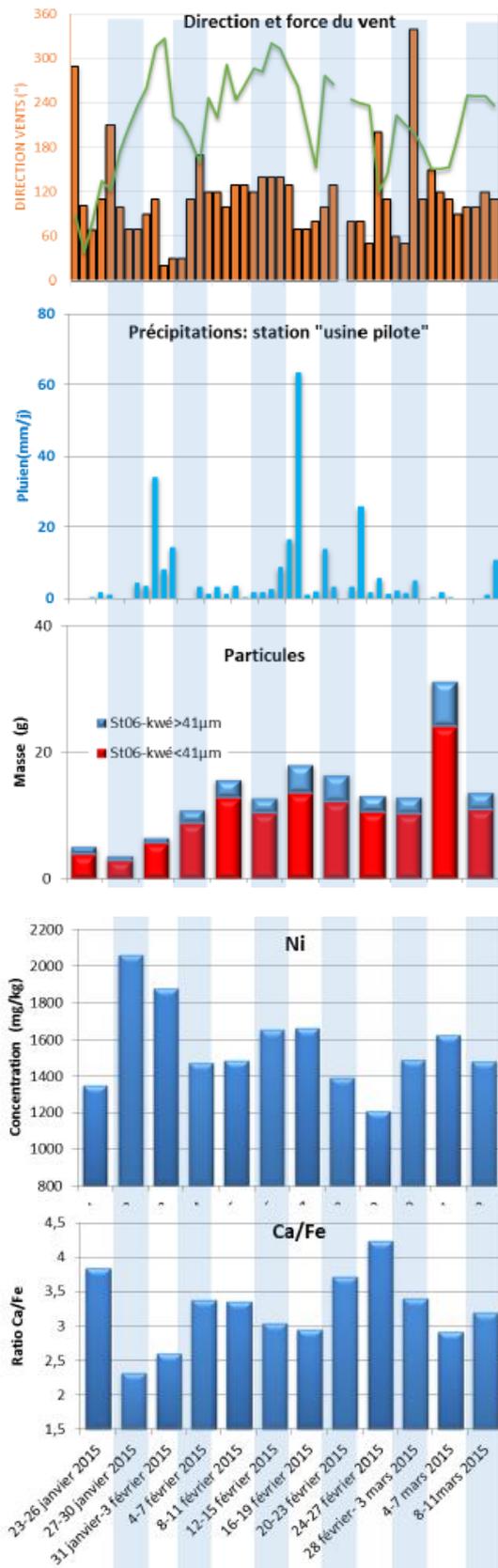


Diagramme combiné pour la station St06-KW1 : direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 μm , concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 23 janvier au 11 mars 2015.

4. QUALITE DES SEDIMENTS PRELEVES

La collecte des sédiments de surface est effectuée par benne Van-Venne en acier inoxydable de nuance 316 L. 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 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

5. 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 ».

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	Spectrométrie 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 Prony 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

pélimitique 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 CO₂. Le volume de gaz est titré et la concentration en carbonate de calcium est déterminée par relation stoechiométrique.
- **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 pélites 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 (H₂O₂, 110 vol) en milieu acide ;
 - **Formes acido-solubles :** C'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné en solution (CH₃COOH/CH₃COONH₄) 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 (NH₂OH, 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):

$$t_{CIC} = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{{}^{210}\text{Pb}^0}{{}^{210}\text{Pb}} \right)_A$$

$$\lambda = 3,11.10^{-3} \text{ an}^{-1};$$

$({}^{210}\text{Pb}^0)_A$ = la radioactivité dans le niveau de surface ($h = 0$) ;

$({}^{210}\text{Pb})_A$ = la radioactivité à la profondeur h ;

$$t_{CRS} = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{A(\infty)}{A(\infty) - A(t)} \right)$$

$A(\infty)$ = le flux total de Pb-210 ;

$A(t)$ = le flux de Pb-210 pour l'instant t .

Le taux d'accumulation « a » ($\text{g.cm}^{-1}.\text{an}^{-1}$) 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 les conclusions des experts en océanographie sous une présentation pédagogique 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 ou ses recherches plus approfondies. Le rapport intégral d'expertise est en donné annexe du bilan des bilans des suivis présentés 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 goéthite 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	Goéthite	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 pélicitique des sédiments de la carotte St16 du port de Prony

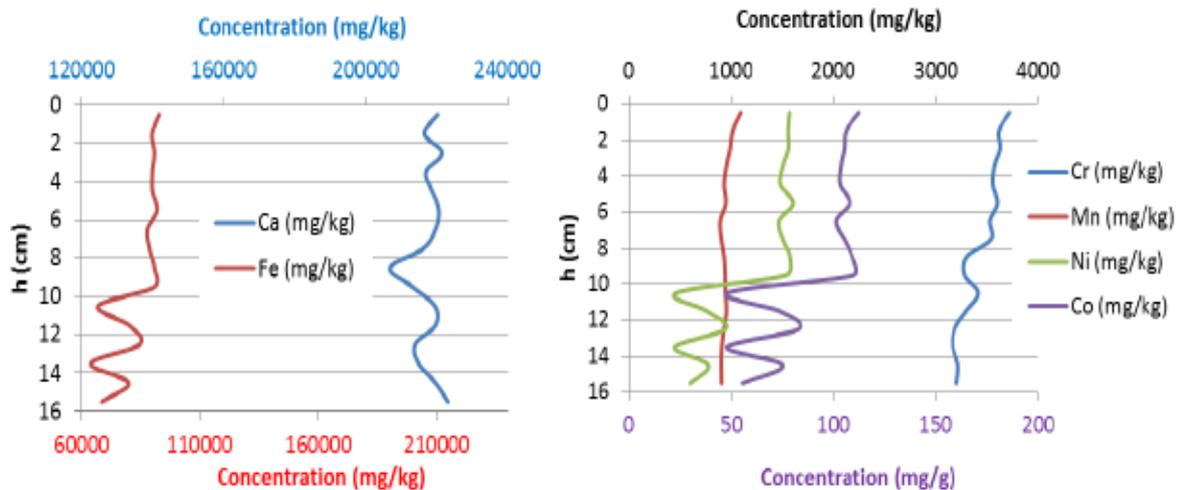
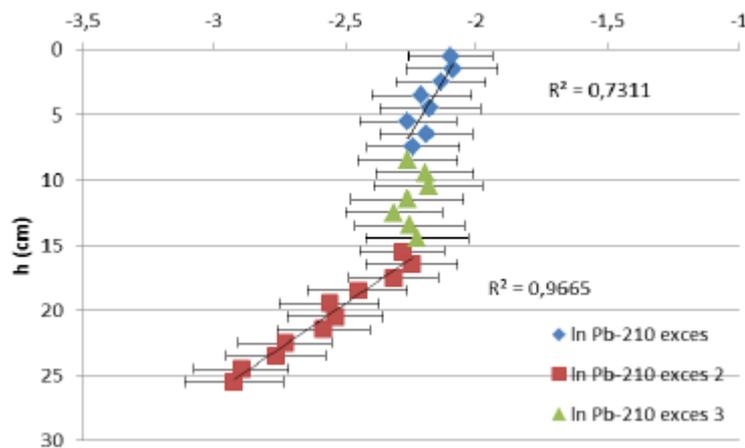


Figure 21 : Profil vertical de la radioactivité du « 210Pb en excès » dans les sédiments de la carotte St06.

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 (R²=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),

6. TRANSPLANTATION

Le principe, les avantages, la mise au point et les aspects techniques de la méthode de transplantation sont présentés de manière détaillée dans le rapport Breau et al., 2009a. Par ailleurs, cette technique de surveillance est recommandée par le « Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en NC » élaboré à la demande conjointe de l'ADECAL et du CNRT « Le Nickel et son environnement » (Beliaeff et al. 2011). Enfin, la méthode de transplantation mise en oeuvre suit en outre étroitement les recommandations formulées dans le protocole international standardisé ASTM E2122-02.

La méthode de transplantation d'espèces marines en stations artificielles (ou « caging ») consiste à immerger pendant trois à cinq mois une ou plusieurs espèces dites « bio-indicatrices accumulatrices de métaux » (*Lobophora variegata*, une algue et *Isognomon isognomon*, un bivalve). Cette expérimentation s'effectue dans des cages en plastique disposées à mi profondeur (de 5 à 12 m) et des localisations géographiques prédéfinies.

Pendant cette durée d'immersion des spécimens dans le milieu récepteur à surveiller, les concentrations en métaux dans les tissus de ces êtres vivants s'équilibrent progressivement et de façon proportionnelle avec celles des mêmes métaux présents sous formes bio-disponibles pour ces espèces dans le milieu ambiant. **Cette accumulation dans les chairs fournit donc une indication quantitative des apports globaux en métaux qui sont bio-disponibles dans le milieu marin pour le bio-indicateur.**

A l'issue de cette période d'immersion, les concentrations en huit métaux accumulés dans les tissus des espèces sont mesurées par analyse chimique. Les divers paramètres physiologiques (taux de croissance et condition physiologique globale) sont également étudiés chez les bivalves.

Cette méthode offre des avantages importants pour le suivi environnemental car elle permet à l'expérimentateur de contrôler un certain nombre de facteurs biologiques (ex. l'espèce de spécimens transplantés, leurs tailles et stade du cycle sexuel,...) qui influent fortement sur la variabilité des concentrations des contaminants bio-accumulés. L'utilisation pour la transplantation de spécimens récoltés dans un site de référence (non contaminé comme la Baie Maa) abritant des populations importantes permet de s'affranchir de la nécessité de la présence naturelle de ces espèces sur les points de suivi. Elle autorise donc de positionner judicieusement les stations de surveillance. Elle assure aussi l'obtention, pour chacune des stations étudiées, de résultats directement comparables entre eux : **les résultats obtenus sont le reflet de la quantité moyenne de contaminant disponible pendant la période de transplantation pour l'organisme transplanté en fonction d'un ensemble de facteurs hydro-climatiques et/ou anthropiques.**

La bioaccumulation des métaux a pour objectif d'obtenir des informations intégrées dans le temps, en mesurant les concentrations dans les tissus biologiques. **Ces résultats fournissent une représentation lissée des fluctuations à court terme des concentrations en métaux dans le milieu ambiant.**

Le rapport scientifique 2015 du CNRT « Nickel et son environnement » ADIIP Amélioration et Développement d'Indicateurs d'Impact et de Pression pour le suivi du milieu marin, 95 pages, présente les dernières avancées de cette méthodes dans son volet 2. (S Pluchino, L. Breau, B.Andral, S. Kumar-Roiné, JM Fernandez.)

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 évolutions et tendances 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 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 des algues par exemple) ou cyclique (blanchissement corallien par exemple, en fonction des dépressions et cyclones) afin de pouvoir décerner 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 sont nombreuses et très différentes entre elles.
 - 2.3.1. Comme le souligne le guide CNRT/ZoNeCo 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 données et elles sont en cours de révision.
 - 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 des 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. Pour cela, 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., Illis, 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-Caledonie). *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, 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, 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., Andrefouët, S., Panché, 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
- Gabrié C., Cros A., Chevillon C., Downer A. 2005. Analyse Eco-régionale marine de Nouvelle-Calédonie. Atelle d'identification des aires de conservation prioritaire. 112p
- Gabrié 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. *Micronesico*, 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, Nouniea*, 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. Edition 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 scléactiniaux du Grand Lagon Nord – Mission CoRalCal 3-IRD. (CRISP). 119p
- Lasne G., 2010. Inventaire des coraux scléactiniaux 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. & Orepüller 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, 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
- 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. Transplantations

AFNOR NF V45056, 1985 AFNOR, 1985. Nonne française huîtres creuses. Dénomination et classification. NF V 45056, 5p.

ASTM, 2002. E2122-02: Standard Guide for Conducting in-situ field bioassays with caged bivalves. American Society for Testing and Material – International, West Conshohocken, PA, United States, 30 p.

Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT "Le Nickel et son environnement". 169pp.

Breau L., 2003. Etude de la bioaccumulation des métaux dans quelques espèces marines tropicales : Recherche de bioindicateurs de contamination et application à la surveillance de l'environnement côtier dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Thèse de Doctorat de l'Université de La Rochelle, Spécialité « Océanologie Biologique et Environnement marin », La Rochelle, France, 318 p. + Annexes.

Breau L., Moreton B., Gérard P., 2009a. Evaluation des apports en métaux dans l'environnement marin tropical par transplantation d'organismes bioaccumulateurs. Rapport Final du Volet 2 « Ecotoxicologie », 2ème Partie, Programme « Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie, Convention de Recherches IRD/Goro Nickel n°1124, 17/08/09, IRD-Nouméa, 60 p.

Breau L., Goyaud A., Le Grand H., Moreton B., 2009b. Etat de Référence de la Zone Sud du Lagon de Nouvelle-Calédonie : Détermination de la qualité écotoxicologique initiale des eaux par transplantation d'espèces bioindicatrices (Bioaccumulation). Rapport de la Convention de Recherches IRD/Vale Inco NC n°2535, 01/12/2009, IRD-Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 30 p.

Clarke K.R., Warwick R.M., 1994. Similarity-based testing for community pattern: the 2-way layout with no replication. *Marine Biology*, 118, 167-176.

Dereux P., Douillet P., Le Gendre R., 2008. Modélisation et transport du transport des formes dissoutes. Modèle de Transport, Simulation annuelle de rejet. Convention IRD/Goro-Ni 1124, 183p.

Douillet P. et Fernandez J.M., 2009. Modélisation et simulation du transport des formes particulières d'origine naturelle (Canal de la Havannah et Kwé). Modèle de Transport. Simulation annuelle de la sédimentation des particules en contact avec l'effluent. Rapport final. Convention IRD/Goro-Ni, 1124,

Fichez R., Adjerond M., Bozec Y.M., Breau L., Chancerelle Y., Chevillon C., Douillet P., Fernandez J.M., Frouin P., Kulbicki M., Moreton B., Ouillon S., Payri C., Perez T., Sasal P., Thébaud J., 2005. A review of selected indicators of particle, nutrient and metals in coral lagoon systems. *Aquatic Living Resource*, 18: 125-147.

Gilbert A., Fernandez, J.M., 2014. Synthèse des variations spatio-temporelles de l'absorption des métaux chez *Isognomon isognomon* et *Lobophora variegata*. Soproner & Ael (2014) Synthèse des variations spatio-temporelles de l'absorption des métaux chez *Isognomon isognomon* et *Lobophora variegata*. Rapport final. Convention Soproner/Ael/Vale. 31p.

Hédouin L., Pringault O., Métian M., Bustamante P., Warnau M., 2007. Nickel bioaccumulation in bivalves from the New Caledonia lagoon: Seawater and food exposure. *Chemosphere*, 66: 1449-1457.

Hédouin L., Bustamante P., Fichez R., Warnau M., 2008. The tropical brown alga *Lobophora variegata* as a bioindicator of mining contamination in the New Caledonia lagoon: A field transplantation study. *Marine Environmental Research* 66: 438-444.

Hédouin L., Bustamante P., Churlaud C., Pringault O., Fichez R., Warnau M., 2009. Trends in concentrations of selected metalloid and metals in two bivalves from the coral reefs in the SW lagoon of New Caledonia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 372-381.

Hédouin L., Gomez Batista M., Métian M., Buschaizzo E., Warnau M., 2010. Metal and metalloid bioconcentration capacity of two tropical bivalves for monitoring the impact of land-based mining activities in the New Caledonia lagoon. *Marine Pollution Bulletin* 61: 554-567.

Hédouin L., Pringault O., Bustamante P., Fichez R., Warnau M., 2011. Validation of of two tropical marine bivalves as bioindicators of mining contamination in the New Caledonia lagoon: Field transplantation experiments. *Water Research* 45: 483-496.

Pluchino S., Fernandez J.M., 2014. Caractérisation de la pression par transplantation in-situ du bivalve bioaccumulateur *Modiolus auriculatus*. Programme ADIIP, CNRT « Le nickel et son environnement (2009) », 37p

ANNEXE II

PROPOSITION D'UNE NOUVELLE NOMENCLATURE DES STATIONS MARINES

ANNEXE III

**SUIVI ENVIRONNEMENTAL
STRUCTURE DE LA COLONNE D'EAU,
QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE
ET
CONCENTRATION
EN METAUX DISSOUS**

Mission du premier semestre 2016

S1/2016

ANNEXE IV

SUIVI DE L'ETAT DES PEUPLEMENTS RECIFAUX ET DES ORGANISMES ASSOCIES EN BAIE DE PRONY ET CANAL DE LA HAVANNAH

**Rapport : Mission du premier semestre 2016
S1 / 2016**

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	Direction 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
CaCO ₃	Carbonates de calcium
Cd	Cadmium
Cl	Chlore
Co	Cobalt
COT	Carbone organique total
Cr	Chrome
CrVI	Chrome VI
Cu	Cuivre
DBO ₅	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

