Suivi environnemental
Second semestre 2013

MILIEU MARIN

Vale Nouvelle-Calédonie
Année 2013

Sommaire

1. ACQUISITION DES DONNEES 3

1.1. LOCALISATION 3
1.1.1. Positionnement global des stations des suivis règlementaires 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 (St) 4
1.1.3. Stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées (ST) 5
1.1.4. Stations de suivi de la bioaccumulation (éventuelle) des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines (*Le caging*). 8
1.1.5. Points de suivi des sédiments – qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures (S) 9
1.1.6. Points de suivi du taux d'accumulation sédimentaire 10
1.1.7. Points de suivi des flux sédimentaires 11
1.2. INDICATEURS SUIVIS 12
1.3. METHODES 17
1.3.1. Qualité des eaux marines : structure de la colonne d'eau et paramètres physico-chimiques 17
1.3.1.1. Structure physique de la colonne d'eau 17
1.3.1.2. Qualité chimique de la colonne d'eau 19
1.3.1.3. Fréquences des suivis physico-chimiques 23
1.3.1.4. Validation des résultats 24
1.3.2. Paramètres biologiques indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des populations associées 26
1.3.2.1. Méthodologie 26
1.3.2.2. Fréquence minimale des missions de suivis des écosystèmes 30
1.3.2.3. Validation des résultats 31
1.3.3. Bioaccumulation des métaux. Espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines 32
1.3.4. Les sédiments : Qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures 34
1.3.5. Les sédiments : Taux d'accumulation des sédiments 34
1.3.6. Les sédiments : Flux sédimentaires 35
1.3.6.1. Les flux de particules apportées par le réseau hydrologique de la Baie Kwé 35
1.3.6.2. Evaluation des flux de particules transportées par l'effluent 36

2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLES EN DECEMBRE 2013 38

2.1. SYNTHESE DES SUIVIS DU MILIEU MARIN EFFECTUES EN 2013 39
2.1.1.1. 40
2.2. ZONE D'INFLUENCE ET DE SUIVIS (POUR RAPPEL) 40

3. RESULTATS (SECOND SEMESTRE 2013) 42

3.1. VALEURS REGLEMENTAIRES ET ETATS DE REFERENCES 42
3.2. VALEURS OBTENUES (PREMIER SEMESTRE 2013) 46
3.2.1. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer 46
3.2.2. Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées 81
3.2.2.1. Rappels météorologiques 82
3.2.2.2. Bilan des observations par station suivie (au second semestre 2013) 85
3.2.2.3. Comparaisons spatiales entre stations 89
3.2.2.4. Analyse de l'évolution temporelle au cours des années de suivis, depuis 2007 101
3.2.3. Suivi des bio-indicateurs transplantés (*le caging*) 121
3.2.4. Suivi des flux sédimentaires 127
3.2.5. Suivi spécifique dédié au port de Prony (St16). Qualité de l'eau et sédiments 134
3.2.6. Suivi des taux de sédimentation (suivi triennal) 163
3.2.7. Les conséquences des événements pluvieux exceptionnels du premier semestre (Janvier) et du second semestre (Juillet) 2013 169
3.2.8. Les travaux suite à la rupture de l'émissaire marin et ses réparations 182

4. CONCLUSION 185

5. INTERPRETATION ET DISCUSSION 186

6. BILAN DES NON-CONFORMITES 187

Tableaux

Tableau 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement d'eau, référentiel WGS-84 4
Tableau 2 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des écosystèmes (peuplements récifaux et poissons associés), référentiel RGNC 91 5
Tableau 3 : Localisation géographique des lieux de position des cages, référentiel WGS-84 8
Tableau 4 : Localisation géographique des points de prélèvement de sédiments, référentiel WGS-84 9
Tableau 5 : Position des points de suivi des flux sédimentaires, référentiel WGS 84 11
Tableau 6 : Méthodes et limites de détection pour le suivi de la structure de la colonne d'eau de mer 19
Tableau 7 : Méthodes et limites de détection pour le suivi de la qualité de l'eau de mer 20
Tableau 8 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des éléments nutritifs et autres en milieu marin 21
Tableau 9 : Méthodes et limites de détection pour la détection d'hydrocarbures 21
Tableau 10 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des métaux en milieu marin 22
Tableau 11 : Méthodologie pour le suivi des écosystèmes marins (convention CCB 2009) 26
Tableau 12 : Composition du substrat 27
Tableau 13 : Méthodologie pour le suivi des espèces bio-indicatrices transplantées en cages 33
Tableau 14 : Méthodologie pour le suivi des sédiments 34
Tableau 15 : Méthodologie pour le suivi des sédiments : taux d'accumulation 35
Tableau 16 : Synthèse des suivis règlementaires effectués en 2012 avec rapports émis à la mi-août (bilan semestriel) 39
Tableau 17 : Synthèse des suivis supplémentaires effectués en 2012 40
Tableau 18 : Caractérisation du milieu marin – écosystèmes 44
Tableau 19 : pH et concentrations en éléments majeurs, synthèse pour la campagne du premier semestre 2012 49
Tableau 20 : Températures et salinité 2012 52
Tableau 21 et carte associée: Caractéristiques et position des stations et de leurs *transects* 81
Tableau 22 et graphes associés : récapitulation des données ichtyologiques sur la station ST10 en réserve Merlet, (depuis 2007). ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau 23 : POISSONS 96
Tableau 24: Densités moyennes par station (sur les 3 *transects*) et variance de celle-ci (ind. /m²), par station et sur toutes les campagnes avec la même méthodologie sur liste restreinte ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau 25: Analyse de la Variance des biomasses (g/m²) moyennes par station sur toutes les campagnes 116
Tableau 26: Analyse des biodiversités par station sur toutes les campagnes **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau 27 : Synthèse des résultats des missions règlementaires de suivis du milieu marin du 2eme semestre 2012. 185

Figures

Figure 1 : Stations et points de surveillance du milieu marin 3
Figure 2 : Localisation géographique des stations de prélèvement d'eau 4
Figure 3 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des écosystèmes 6
Figure 4 : Localisation géographique des cages de transplantation de bio indicateurs 8
Figure 5 : Localisation des stations de prélèvement des sédiments de surface et de la carotte ST133 de l'Île Ouen 10
Figure 6 : Localisation des stations d'étude du taux d'accumulation des sédiments 10
Figure 7 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST13, le 16-03-10 Turbidité et fluorescence de la surface jusqu'au fond 18

Figure 8 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST15, le 16-03-10, salinité et température, de la surface jusqu'au fond 18
Figure 9 : Concentration en Nickel dissous dans la colonne d'eau - Echantillonnage en sub-surface, à mi- profondeur et au fond, dans le canal de la Havannah et en baie de Prony 23
Figure 10 : Rappel des stations de suivi du milieu marin 41
Figure 11 : Stations d'étude pour la caractérisation du milieu marin depuis 1994 et fréquentation des stations....44
Figures 12 : Conditions météorologiques et état marées (campagnes lors du second semestre 2012 sur toutes les stations et au niveau de ST14 et ST16, une campagne supplémentaire a eu lieu en mai à raison du suivi trimestriel de ces deux stations) ...46
Figure 13a : Rappel de la position et de la nomenclature des stations pour le suivi physico chimique (Baie de Prony) ....
Figure 13b : Rappel de la position et de la nomenclature des stations pour le suivi physico chimique (Canal de la Havannah)....
Figures 14 : MEST en surface, à mi profondeur et au fond ....
Figure 15 : Concentration de MES (S = surface, M = mi profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude....50
Figure 16 : Concentrations de nitrates + nitrites mesurées en surface, mi-profondeur et fond sur la station St15 du creek de la baie Nord lors des campagnes « saison sèche » (2007, 2009, 2010, 2011 et 2012)....59
Figure 17 : Rappel de la position et de la nomenclature des stations suivies....69
Figure 18 : Concentrations en Cobalt (Co) aux stations caractéristiques des 3 grands domaines : St06 (Récif côtier de la baie Kwé), St 09 (centre canal de la Havannah) et St15 (Creek baie nord), durant les campagnes de aout 2007 à aout 2012.....70
Figure 19 : Concentrations en Co sur toutes les stations en aout 2012. ....
Figure 20 : Concentrations en Mn sur toutes les stations en aout 2012.....**Erreur ! Signet non défini.**
Figure 21 : Concentrations en Ni sur toutes les stations en aout 2012. ....
Figure 22: Concentrations en Cr VI sur toutes les stations en aout 2012.....
Figure 23a : Concentrations en Cu sur toutes les stations en aout 2011 ....
Figure 23b : Concentrations en Cu sur toutes les stations en aout 2012
Figure 24a : Suivi annuel des métaux : Co, Cr VI, sur les 3 stations caractéristiques des 3 grands domaines : St06 (Récif côtier de la baie Kwé), St 09 (centre canal de la Havannah) et St15 (Creek baie nord), durant les campagnes de aout 2007 à aout 2012. ....
Figure 24b : Suivi annuel des métaux : Co, Cr VI, sur les 3 stations caractéristiques des 3 grands domaines : St06 (Récif côtier de la baie Kwé), St 09 (centre canal de la Havannah) et St15 (Creek baie nord), durant les campagnes de aout 2007 à aout 2012. ....
Figure 25 : récapitulation des données ichtyologiques sur la station ST10 en réserve Merlet, (depuis 2007). 89
Figure 26 : Représentation cartographique – légende....89
Figure 27a : Résultats de la campagne de suivi, aout 2012 (Baie de Prony : ST01, ST02 et ST03 90
Figure 27b : Résultats de la campagne de suivi, aout 2012 (Canal de la Havannah)....91
Figure 28 : SUBSTRAT 93
Figures 29 a, b, c, d: BENTHOS:....94
Figure 29b: Détails au niveau des coraux : familles selon les stations....94
Figure 29c : Détails au niveau du benthos, selon des groupes d'Invertébrés (autres que les coraux) et par stations....94
Figures 29d : Détails au niveau des Invertébrés et Macrophytes selon les 3 grands compartiments : Canal de la Havannah, canal Woodin et baie du Prony
Figure 30: Richesse spécifique de l'ichtyo faune par station, aout 2012 97
Figure 31 : Densité de poissons (individus par m2) par station, aout 2012 98
Figure 32a: Biomasse des poissons (liste restreinte règlementaire) par station. Mars 2012 99

Figure 32 b : Biomasse moyenne des poissons depuis 2007 (liste restreinte règlementaire) par station ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 33: Classement des stations en fonction de leur biodiversité α ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 33 -1 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des coraux durs (scléractiniaires) depuis 2007 104
Figure 33-2 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2007 104
Figure 33-3 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes depuis 2007 105
Figure 34 : Comparaison des richesses spécifiques des coraux, par station, entre aout 2007 et aout 2012 ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 35 : Indicateurs de l'état de santé des coraux (occurrence du nombre d'espèces concernées par le recrutement, la mortalité, l'augmentation et la diminution d'abondance et le blanchissement) .....
Figure 36: Densités (toutes stations confondues) .....
Figure 37: Biomasse. Toutes les stations confondues ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 38: Biodiversité toutes stations .....
Figure 39 : Représentation par station des densités moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance .....
Figure 40 : Représentation par station des biomasses moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance .....
Figure 41 : Représentation par station des biodiversités moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance .....
Figure 42 : Récapitulation des résultats quant aux tests d'homogénéités selon les années et selon les stations. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 43 : Evolution de de la densité, biomasse, biodiversité .....
Figure 44 : Biodiversité α pour chaque station, depuis 2005. (Sur Liste d'observation exhaustive).
Figure 45 : Evolution de la biodiversité Bα par station et en moyenne sur toute la zone depuis 2005. (Sur Liste d'observation exhaustive). .....
Figure 46 : Evolution moyenne globale de la biodiversité Bα sur la zone : Baie du Prony et sur la zone : canal de la Havannah séparées (Listes exhaustives des poissons) .....
Figure 47 : Rappel de la position des cages pour la croissance des algues et des bivalves transplantés dans une d'une cage de croissance par 10 m de profondeur 121
Figure 48 : Rappel de la position des stations d'études des flux sédimentaires 127
Figure 49 : Rappel de la position des stations suivies trimestriellement 134
Figure 50 : Rappel des positions des points de suivis au niveau du port de Prony. ST03 est une station de suivi fixe sous – marine .....

Annexes

Annexe 1 Liste restreinte des poissons faisant l'objet du suivi ichtyologique selon le plan de suivi règlementaire.

Annexe 2 Rapport : Suivi environnemental de la qualité de la colonne d'eau de mer – La structure de la colonne d'eau- La qualité physico-chimique et les concentrations en métaux dissous (Second semestre 2013).

Annexe 3 Rapport : Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah (Second semestre 2013).

Annexe 4 Rapport : Les flux sédimentaires (2013)

Annexe 5 Rapport : La transplantation de bio-indicateurs élevés en cages (2013)

Annexe 6 Rapport : Le suivi dédié au port de Prony (2013)

Annexe 7 Rapport : Les sédiments (2013)

Annexe 8 Abréviations et acronymes

INTRODUCTION

La surveillance du milieu marin s'effectue sur la base de quatre groupes d'indicateurs physico-chimiques et biologiques détaillés dans les chapitres suivants :

- **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- accumulation dans l'environnement par des algues et des bivalves élevés en cages et positionnés sur les zones de pression + témoins;**
- **Indicateurs physico-chimiques des sédiments marins :**
  - **géochimie,**
  - **flux,**
  - **taux de sédimentologie**.

Cette surveillance s'effectue au niveau de stations sous-marines selon les prescriptions règlementaires des arrêtés d'autorisation d'exploiter (du port et de l'usine) et de la Convention 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 du 13 juillet 2007.

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

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

Légende pour aide de lecture

Chapitres

- Plan de suivi et méthodologies d'acquisition et de traitement des données : Bordure bleue
- Données disponible fin 2013 : bordure jaune
- Résultats du second semestre et de l'année 2013 : bordure verte
- Conclusion : bordure noire

Les « plus » supplémentaires en 2013

Les « high light »

Les points positifs

Les points d'attention

Les points ciblés pour une surveillance attentive en 2014

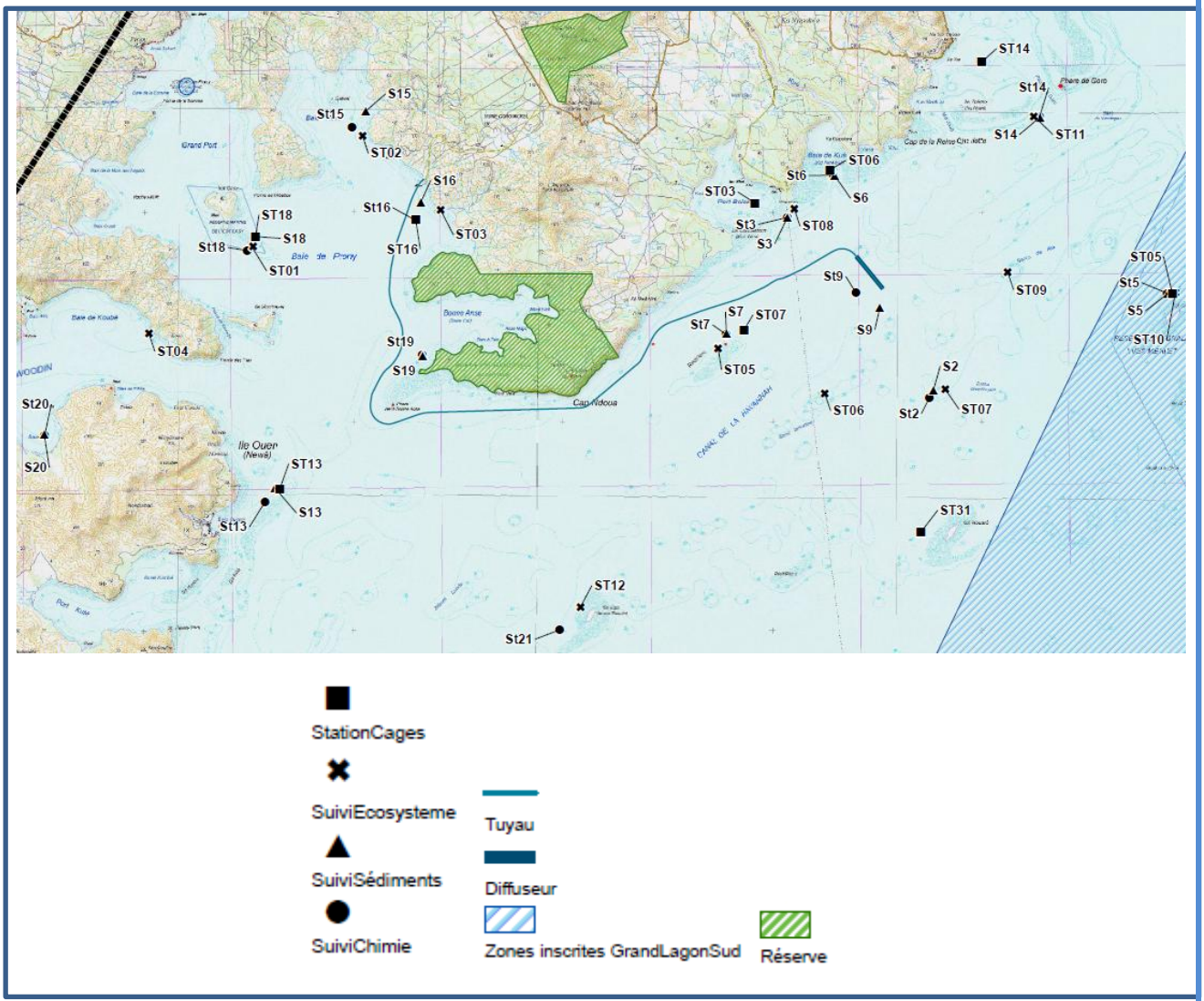
1. ACQUISITION DES DONNEES

1.1. Localisation

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

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

Figure 1 : Stations et points de surveillance du milieu marin



Les paragraphes suivants reprennent les positions exactes de chaque station, en fonction des indicateurs suivis. La liste des paramètres suivis est présentée au chapitre 1.2 et la méthodologie pour chaque paramètre analysé est détaillée au chapitre 1.3.

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 (St)

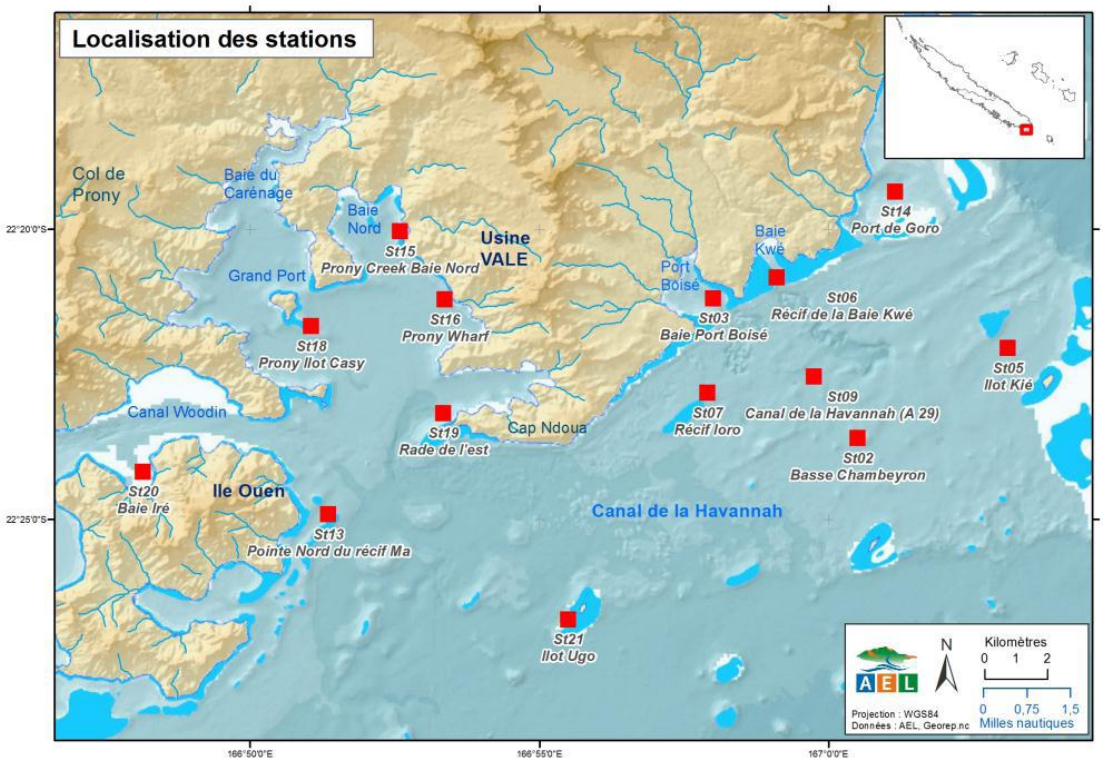
Le tableau suivant indique les positions règlementaires des points de prélèvement de l'eau de mer et la profondeur du lagon à ce poste, les prélèvements sont effectués en surface, à mi profondeur et au fond.

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

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur (m)
Basse Chambeyron	St2	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	St3	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	St5	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	St6	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif loro	St7	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	St9	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	St16	166° 53,365	22° 21,210	44
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'Est	St19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21	166°55,501	22°26,728	36

La carte suivante montre le positionnement de ces points.

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



14 points sont suivis sur toute la colonne d'eau. En août 2009 la station dite « récif Hugo St 21 » a été ajoutée ; cette dernière est suivie sur tous les paramètres physico-chimiques ainsi que sur son aspect éco systémique selon les bio-indicateurs de l'étude : « État des peuplements récifaux et organismes associés ».

D'autres points sont suivis selon événements ou suivis supplémentaires, notamment en baie du Prony et en baie Kué.

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

- **de l'effluent marin (traité* puis rejeté au fond du canal de la Havannah) ;**
- **de la qualité des eaux des baies recevant des apports terrigènes via des creeks issus des bassins versants de la zone d'influence ;**
- **de la qualité de l'eau sous l'influence du port de Prony ;**
- **d'une veille renforcée à l'égard de l'île Ouen, de la population en baie de Goro et de la réserve Merlet.**

**La qualité de l'effluent traité fait l'objet d'un rapport spécifique dédié à la qualité des eaux rejetées et basé sur les seuils règlementaires d'autorisation ICPE, la qualité du milieu marin est, bien sûr, corrélée avec de la qualité des rejets traités.*

1.1.3. Stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées (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 poissons, dans le domaine d'influence du projet global Vale NC.

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

Stations	Localisation	Longitude	Latitude
ST05	Récif Ioro	166°57.507	22°23.072
ST06	Banc Ionontea	166°58.995	22°23.650
ST07	Basse Chambeyron	167°00.671	22°23.591
ST08	Récif Pointe Puka	166°58.566	22°21.243
ST09	Banc de Kié	167°01.529	22°22.070
ST010	Ilot Kié	167°03.862	22°22.324
ST011	Récif Touémo	167°01.875	22°20.046
ST012	Ugo	166°55.625	22°26.438

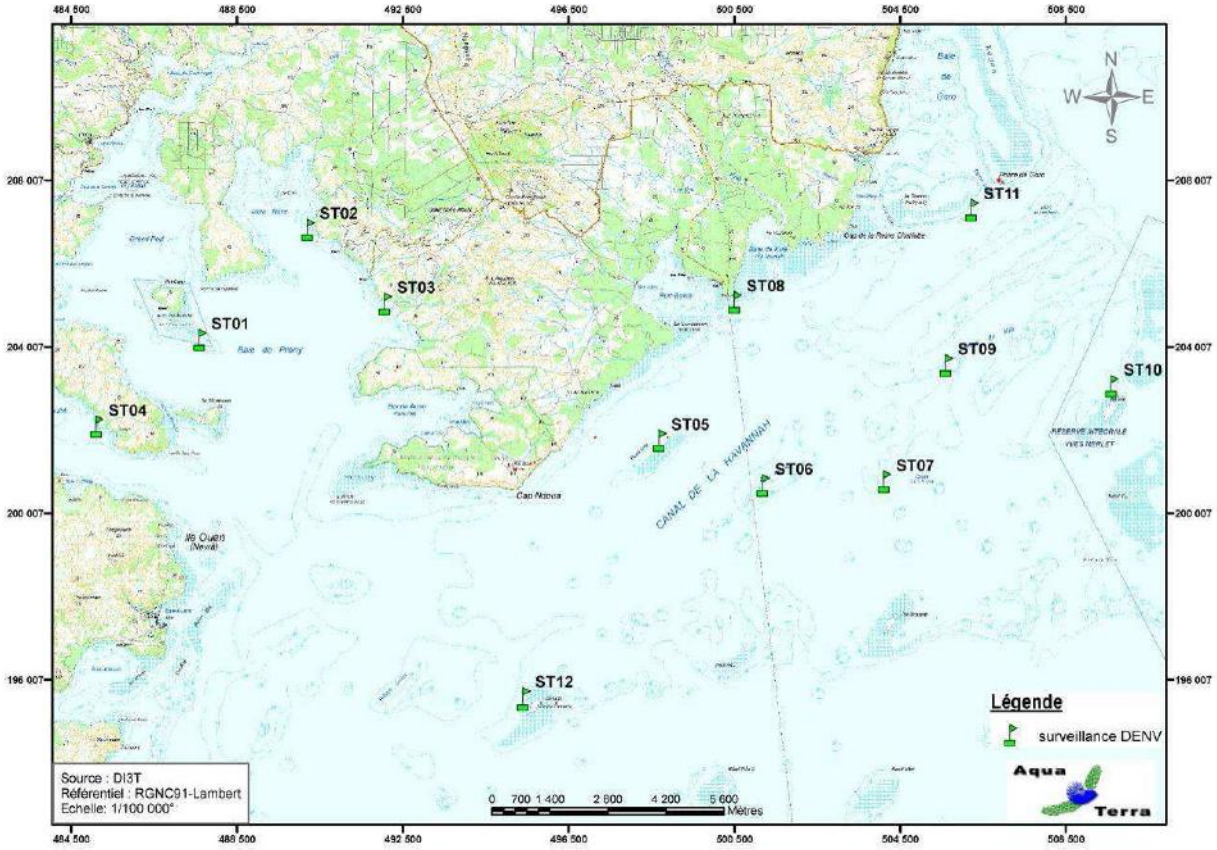
Tableau 3: Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des peuplements récifaux et poissons associés en baie de Prony et dans le canal Woodin (référentiel RGNC 91)

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

D'autres points sont suivis selon événements ou suivis supplémentaires, notamment en baie du Prony et en baie Kué.

La carte suivante présente les stations qui sont bien localisées par des piquets sous-marins.

Figure 3 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivis des écosystèmes Peuplements récifaux et poissons associés



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 à l'entrée du canal Woodin ;
- 1 station supplémentaire est inventoriée depuis juin 2009 : Ugo ST12 située à l'est de l'île Ouen.

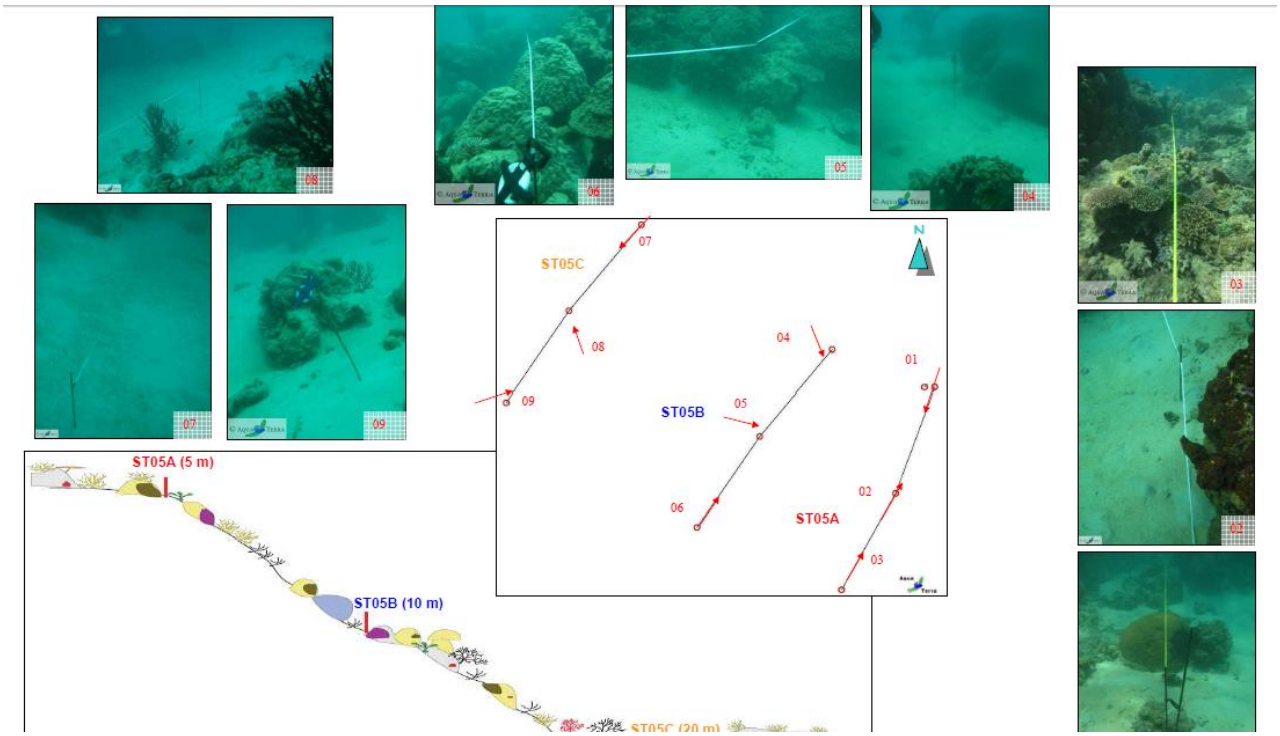
Une station est constituée de 3 *transects* fixes délimités sur le fond par des piquets implantés. Elle peut ne comporter que 2 *transects* si la topologie du fond ne permet pas d'en placer 3.
Un schéma structural de chaque station est réalisé à la fin de chaque mission, avec iconographie associée, selon l'exemple présenté sur la figure suivante. En cas de nécessité d'évaluation par des spécialistes non habitués aux lieux un tel schéma facilite grandement l'approche de la station sous-marine, surtout si la visibilité est faible.

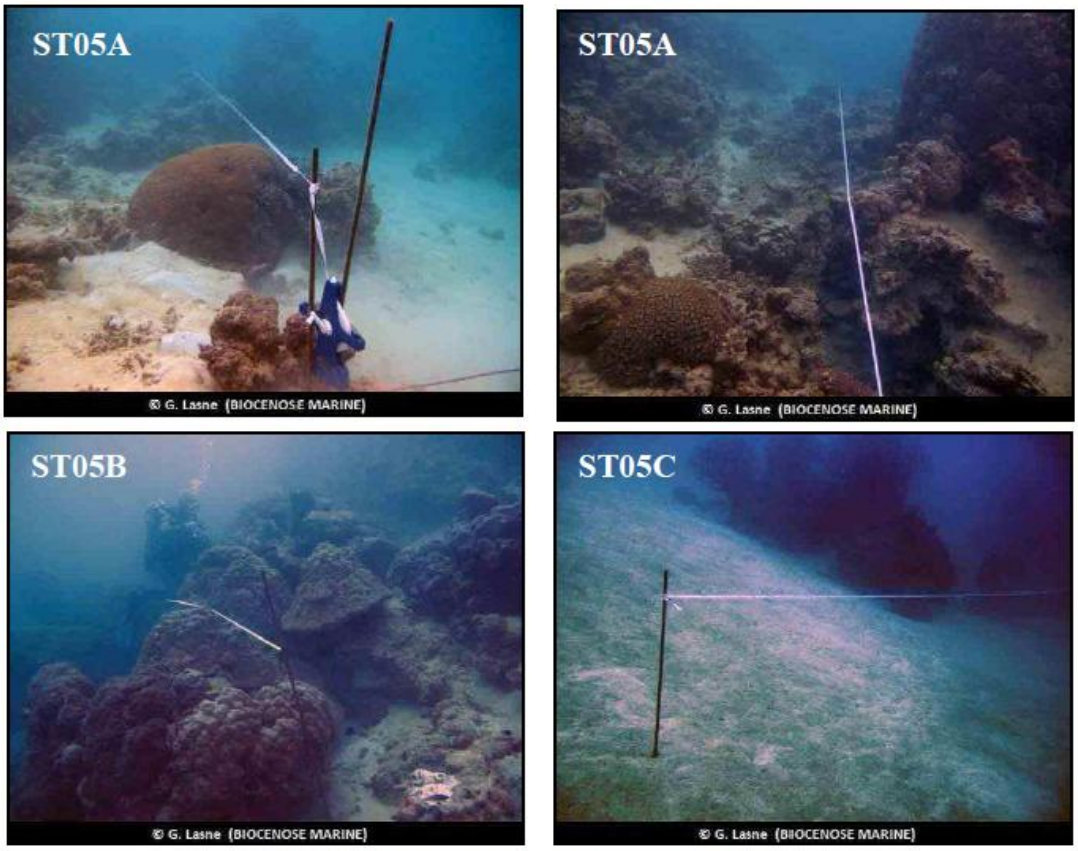
Rappel : Vale NC se conforme aux prescriptions de suivis et à la méthodologie qui lui sont imposés par les arrêtés ICPE (2007) et la Convention CCB avec la Province Sud (2008). Un atelier a travaillé pour définir la méthodologie à suivre, en mars 2006, sous l'impulsion de la DENV et des biologistes marins calédoniens ayant participé aux états des lieux.

Les stations ciblées ont été inventoriées de façon rigoureusement comparable depuis 2007, avec un recul de 11 passages minimum sur celles-ci (à ce jour)

Remarque : d'autres zones sont suivis selon événements ou suivis supplémentaires, notamment en baie du Prony.

Figure 4 : Exemple de schéma structural qui représente une station : La stationST05





Vue d'ensemble des transects (ST05)

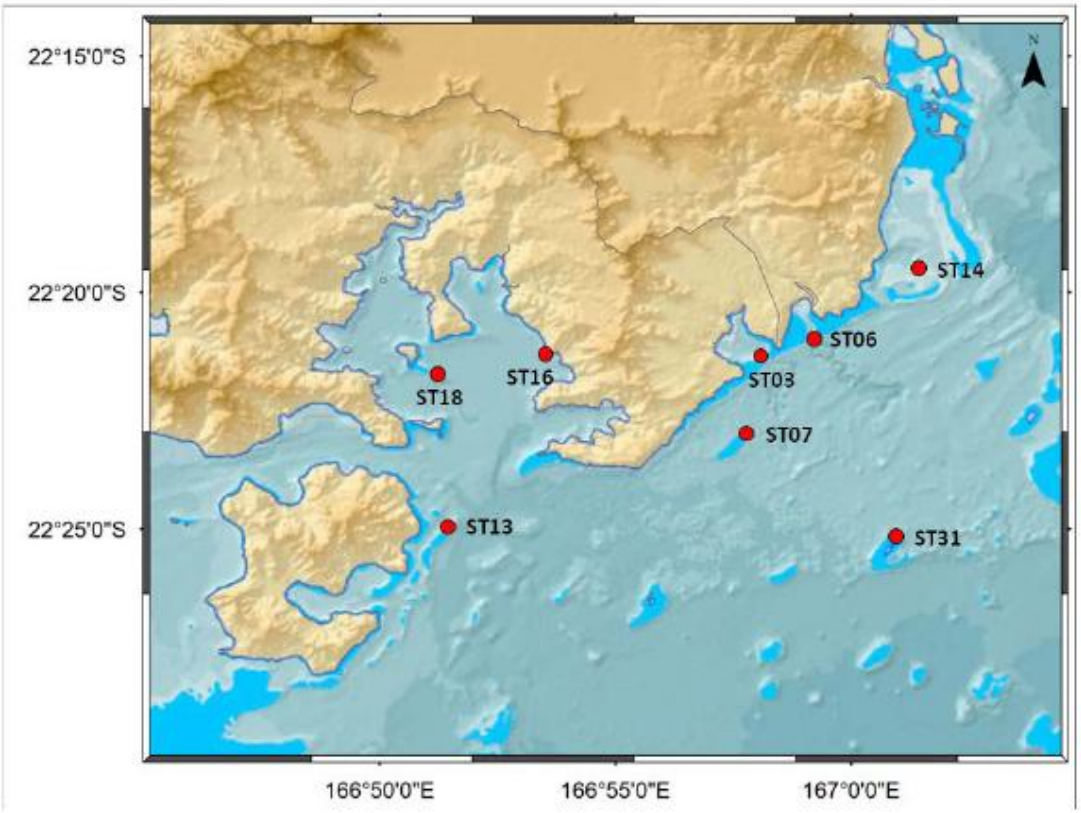
1.1.4. Stations de suivi de la bioaccumulation (éventuelle) des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines (*Le caging*).

Tableau 4 : Localisation géographique 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° 58,011	22° 21,190	28,4	10,5
Chenal de la Baie Kwé	St06	166° 59,117	22° 20,829	27,2	10
Récif Ioro	St07	166° 57,633	22° 22,893	38,5	12,5
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,356	22° 24,914	32 ,4	10
Port naturel de Goro	St14	167° 01,153	22° 19,351	35,2	12,5
Port de Prony	St16	166° 53,290	22° 21,441	42,6	12,5
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,068	22° 21,667	22	10
Ilot Nouaré	St31	167° 00,450	22° 25,560	35	11,5

Les cages ne doivent pas être placées à une profondeur trop grande, en fonction de la turbidité, afin que la photosynthèse puisse être effectuée par les algues en croissance dans les cages. Il est recommandé de les immerger entre 9m et 12m de profondeur.

Figure 5 : Localisation géographique des cages de transplantation de bio indicateurs



Il existe 8 stations de transplantation d'espèces bio-indicatrices en cages. Le choix de leur position a été effectué d'après les conseils d'experts, suite aux études prédictives du comportement de l'effluent[1] (et après validation par la direction de l'environnement de la province Sud – DENV- en 2009).

Elles ont été positionnées dans l'objectif de réaliser la surveillance d'une éventuelle pression :

- du port de Prony ;
- de l'effluent marin (traité puis rejetée au fond du canal de la Havannah) ;
- des embouchures des creeks (sous bassin versant d'influence du projet : usine ou mine)
- des apports terrigènes au niveau des baies.
- Et pour rassurer les populations en zone proche de l'île Ouen et tribu de Goro
- La cage située au niveau de la station St 31 est un témoin référentiel.

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

– une agitation trop forte de la zone exposée au ressac, les cages doivent pouvoir tenir en place trois mois,
– une zone de passages fréquents de bateaux. Elles doivent être placées en dehors d'une zone de trafic portuaire ou maritime.
– ou bien des bouées de marquage trop visibles qui attirent l'attention et qui sont volées avec pour conséquences des cages perdues ou dégradées.

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

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

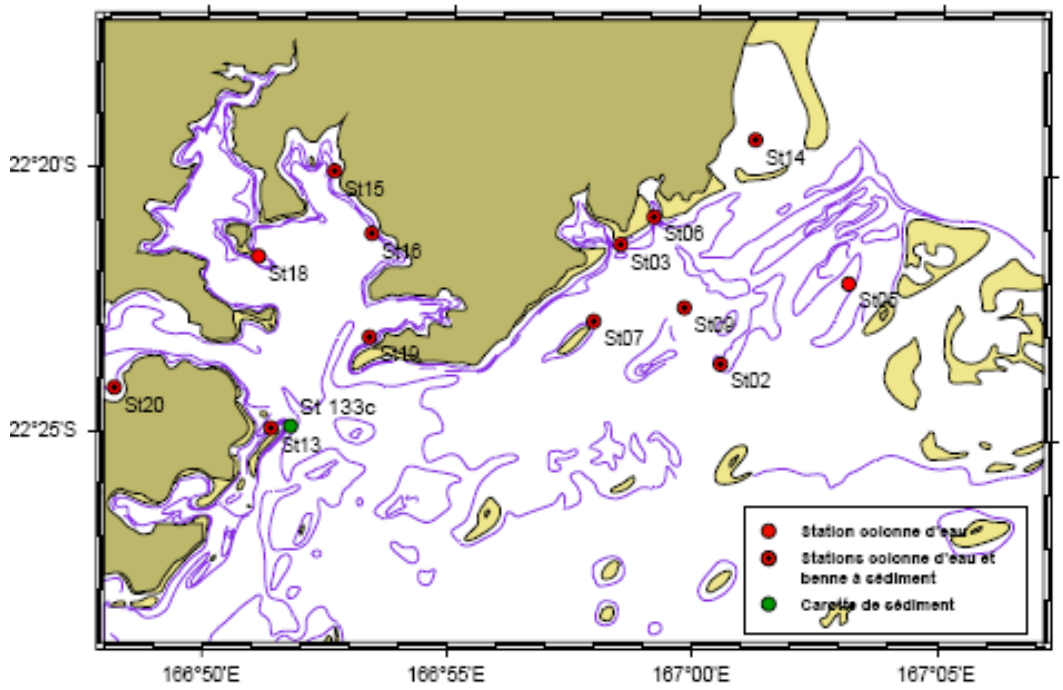
Tableau 5 : Localisation géographique des points de prélèvement de sédiments, référentiel WGS-84

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur (m)
Basse Chambeyron	S2	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	S3	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	S5	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	S6	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif loro	S7	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	S9	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	S13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	S14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	S15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	S16	166° 53,365	22° 21,210	44
Prony Ilot Casy	S18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	S19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	S20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	S21	166°55,501	22°26,728	36
+ Ile Ouen	S133	166° 52,398	22° 25,147	60

La carte suivante montre ces stations de surveillance.

[1] Convention de recherche IRD-Vale Nouvelle-Calédonie n°1124 : *« Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon Sud de la Nouvelle-Calédonie »* portant sur 3 années d'étude, de 2007 à 2009.

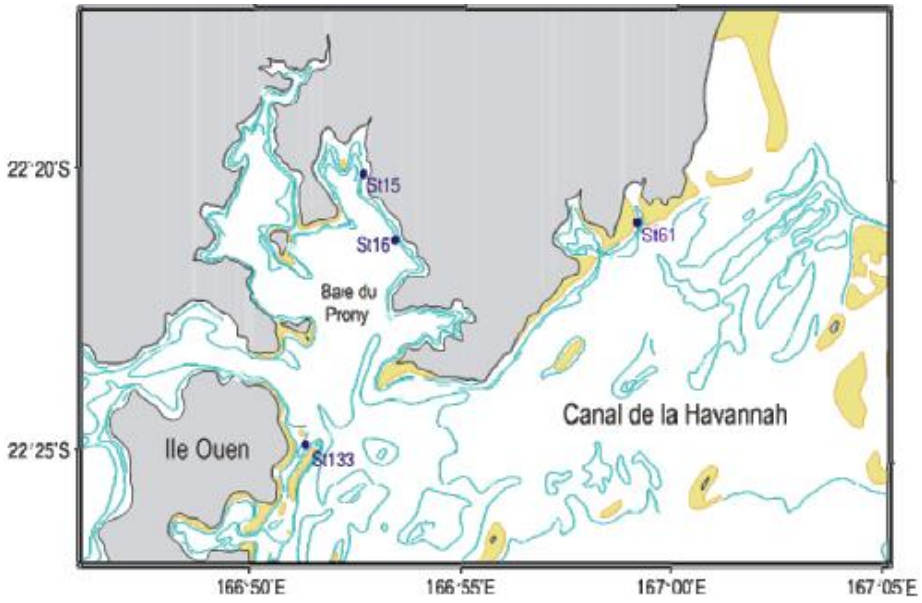
Figure 6 : Localisation des stations de prélèvement des sédiments de surface et de la carotte ST133 de l'Île Ouen



1.1.6. Points de suivi du <u>taux d'accumulation</u> sédimentaire

Deux stations sont installées en baie de Prony : au niveau de l'embouchure du creek de la Baie Nord et près du port de Prony ; une station se trouve dans la baie Kwé et une autre, la station ST33, est située à l'Est de l'île Ouen. 3 stations sont suivies de façon triennale et la station du port est, quant à elle, est suivie de façon annuelle.

Figure 7 : Localisation des stations d'étude du taux d'accumulation des sédiments



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 des sédiments sont suivis sur 3 postes indiqués sur le tableau suivant

Tableau 6 : Position des points de suivi des flux sédimentaires, référentiel WGS 84

Station	Latitude S	Longitude E	Profondeur
St60SW	22°22.154	166°59.621	37m
St60NE	22°22.113	166°59.677	39m
StKW-1	22°20.75	166°59.144	18m

Les photographies suivantes montrent la position de ces postes de suivis, dans le canal d'ouverture de la Baie Kwé et de part et d'autre du diffuseur. Le diffuseur est schématisé par un trait rouge sur la première photographie.

REMARQUE

En ce qui concerne le milieu marin, les stations de suivis réglementaires ont été listées dans les chapitres précédents, elles sont inscrites dans l'arrêté ICPE 2007 et dans la convention CCB avec la Province- Sud- 2008.Vale NC s'y conforme entièrement. Cependant la surveillance effectuée par Vale Nouvelle-Calédonie est plus poussée que celle qui est imposée par les prescriptions réglementaires.

Les résultats des suivis supplémentaires sous initiative Vale Nouvelle-Calédonie (stations supplémentaires, fréquences de suivis accrues ou indicateurs supplémentaires : les cyanobactéries, le corail, les espèces exogènes, la liste exhaustive des poissons inventoriés, le suivi de la biodiversité, le suivi des couvertures algales etc.) ne sont pas inclus dans les rapports des suivis semestriels. Cependant ces résultats d'études supplémentaires sont communiqués aux autorités compétentes à leur demande.
Vale NC garde l'initiative de telles études quand elles ne sont pas réglementaires, ni via les arrêtés ICPE ni via la Convention pour la conservation de la biodiversité (CCB).

1.2. Indicateurs suivis

- **Les indicateurs biologiques** : les paramètres suivis sont les suivants :

Tableau 7 : Indicateurs biologiques Suivis semestriels.

	Stations	LIT SUBSTRAT 28 items	BENTHOS	POISSONS Nb Individus Densité Biomasse/m2 (Sur liste restreinte)
Baie du Prony	ST01	X	X	X
	ST02			
	ST03			
Canal Woodin	ST04			
Canal de la Havannah	ST05	X	X	X
	ST06	X	X	X
	ST07			
	ST08			
	ST09			
	ST11			
	ST12			
Témoins	ST10	X	X	X

Pour les Bio- Indicateurs : Algues et coquillages, les paramètres suivis sont les suivants:

			Métaux							
		Indice de condition physiologique	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST16	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ST18									
Ile Ouen	ST13									
Canal de la Havannah	ST03									
	ST06									
	ST07									
	ST14									
Témoins	ST31									

- **Les Indicateurs physico -chimiques** :

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

Tableaux 8 : Ensemble des paramètres physiques et chimiques

COLONNE D'EAU

Suivi semestriel (Février/août)

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

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

Suivi trimestriel (Mai/Nov.)

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

GEOCHIMIE DES SEDIMENTS

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

Suivi triennal (2015)

Prochain suivi en 2015 pour les 14 stations, mais au niveau du port le suivi est annuel pour les sédiments

Suivi annuel

Baie du Prony St16

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

TAUX D'ACCUMULATION

Suivi triennal

		PHYSICO-CHIMIE					GEOCHIMIE					
	Station	Granulo	Minéralo	Densité	Pb-210	Ra-226	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
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

Suivi semestriel

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

Liste et localisation des stations de prélèvement dans la colonne d'eau, les fonds sédimentaires et les organismes marins.

LOCALISATION	Station/ secteur	Type de suivi					
		Physico-chimie eau	Géochimie sédiments	Taux accumulation	Flux particules	Bioacc (transplant)	Suivi sanitaire
Basse Chambeyron	St02	X	X				
Baie Port Boisé	St03	X	X			X	
Ilot Kié	St05[34]	X	X				
Baie Kwé	St06	X	X	X	X	X	
Récif loro	St07	X	X			X	
Canal de la Havannah	St09	X	X				
Pointe Nord du récif Ma	St13	X	X	X		X	
Port de Goro	St14	X	X			X	
Prony Creek Baie Nord	St15	X	X	X			
Prony Wharf	St16	X	X	X		X	
Prony Ilot Casy	St18	X	X			X	
Rade de l'est	St19	X	X				
Baie Iré	St20	X	X				
Ilot Ugo	St21	X	X				
Ilot Nouaré	St31					X	
Diffuseur	St60 SW	X			X		
	St60 NE	X			X		
Bord de côte P-Boisé-Goro	*St03, St06, St14*	*X*	*X*				*X*
Ile Ouen	*St13, St20*	*X*	*X*				*X*
Baie du Prony	*St15, St16, St18, St19*	*X*	*X*				*X*
Canal Havannah (centre)	*St02, St05, St07, St09*	*X*	*X*				*X*

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

1.3.1. Qualité des eaux marines : structure de la colonne d'eau et paramètres physico-chimiques

Les paramètres analysés et les limites de détection selon les méthodologies d'analyse sont rappelés de façon intégrale dans chaque rapport de suivi, ainsi qu'en annexe 6.4 de la Convention pour la conservation de la biodiversité.

La caractérisation d'un état de référence de la qualité physico-chimique de la colonne d'eau marine a été initiée dès 2000 et s'est poursuivie jusqu'en 2007 (Conventions IRD-Goro-Nickel n°1142 de 2005 et n°1312 de 2007). Cet état de référence a été effectué sur 18 stations. Les méthodologies de prélèvements et d'analyses des échantillons d'eau de mer, développées par l'IRD de Nouméa, ont été respectées au cours des différentes campagnes de suivi qui ont suivi. Si une modification avait lieu elle serait automatiquement indiquée dans le rapport correspondant afin de prendre en compte l'éventualité des biais méthodologiques.

1.3.1.1. Structure physique de la colonne d'eau

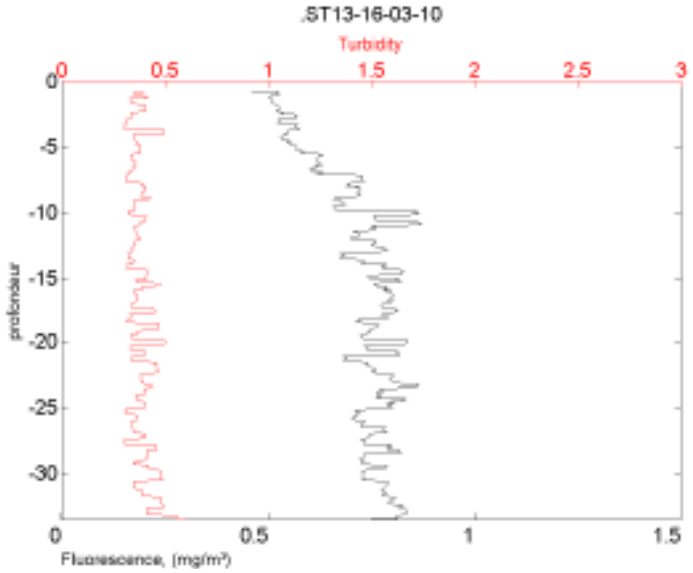
Les paramètres suivis en sub-surface (à moins de 3 m de profondeur), à mi- profondeur et au fond (à moins de 3 m du fond) de la colonne d'eau sur chacune des 14 stations sont les suivant :

- température,
- salinité,
- fluorescence, *irradience*
- turbidité,

Ces paramètres sont des indicateurs classiques de la structuration verticale de la colonne d'eau de mer reconnus internationalement depuis de nombreuses années.
Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau et pour détecter la présence d'une thermocline.
En milieux côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. La turbidité est définie comme étant la « réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes ». Elle peut indiquer l'existence d'apports en particules provenant des rivières (apports terrigènes caractéristiques des stations côtières de la baie de Prony, du canal de la Havannah et du canal Woodin), d'une remise en suspension de dépôts sédimentaires ainsi que de florescence planctonique. La fluorescence permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse du phytoplancton.
La mesure NTU de la turbidité est une méthode néphélométrique actuellement normalisée pour mesurer la turbidité de l'eau. Le turbidimètre néphélométrique mesure l'intensité de la lumière dispersée à un angle de 90 degrés par rapport au trajet de la lumière incidente.
Cette diffusion est surtout liée aux matières en suspension 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 pure 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 des teneurs en MES, provenant du lessivage des sols (particules terrigènes), de l'érosion des fonds marins et de l'activité biologique.
Il y a donc une corrélation entre MES et la turbidité en NTU

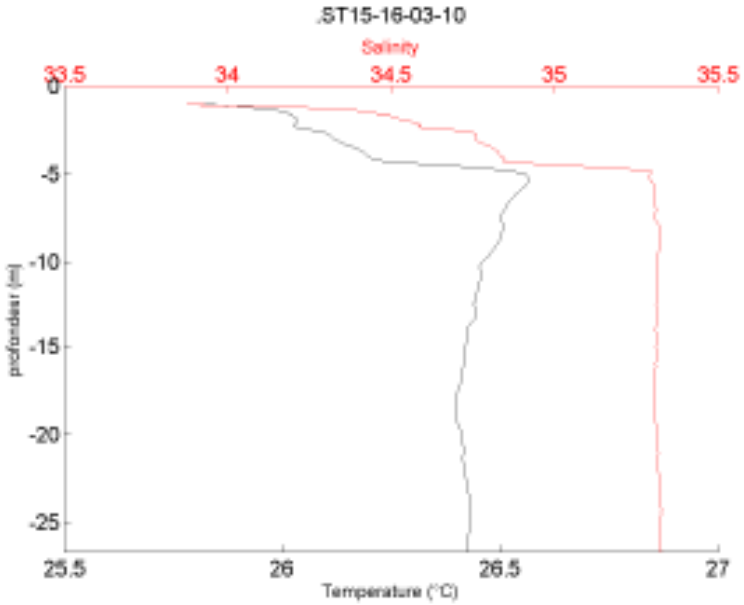
Pour chacune des stations suivies des profils verticaux obtenus sont présentés selon les schémas suivants qui permettent une lecture rapide adaptée à cette méthodologie (voir figures 7, 8 et 9) :

Figure 8 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST13, le 16-03-10 Turbidité et fluorescence de la surface jusqu'au fond



Cette figure ci-dessus signifie que la turbidité et la fluorescence ont été enregistrées par une sonde multiparamétrique, entre 0 et 35 m de fond, sur la station St13 du récif Ma (pour cet exemple), le 16/03/2010 ; l'état de la marée et la pluviométrie au moment précis de ces relevés ont été notés. Une telle structure est dite « homogène », elle est caractéristique du canal de la Havannah ; par opposition à la structure suivante qui montre que la colonne d'eau n'est pas homogène en baie du Prony.

Figure 9 : Structure de la colonne d'eau sur la station ST15, le 16-03-10, salinité et température, de la surface jusqu'au fond



Cette 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 du creek de la Baie Nord, le 13/03/2010. L'eau de surface véhiculée par ce creek est nettement détectée et indiquée par le profil des courbes : dessalure sur les 6 premiers mètres, température de l'eau de surface plus basse. L'état

de la marée et la pluviométrie au moment de ces relevés ont été notés, ils sont corrélés à la structure de la colonne d'eau. Dans le canal de la Havannah le profil vertical est homogène (verticalement rectiligne) et non influencé par l'effluent.

Méthodes et limites de détection

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

Tableau 8 : Méthodes et limites de détection pour le suivi de la structure de la colonne d'eau de mer avec des sondes multiparamétriques

Prélèvements	Sonde multiparamétrique CTD	Seabird Modèle SBE 19			
Paramètres	**Méthode**	**Limites de détection**	**Gamme**	**Précision SBE 19**	**Résolution SBE 19**
Profondeur **Salinité**	Pression (db) Mesure de la conductivité (S.m-1)	0,001%	0-350 db 0-9 S/m	0,35 0,0005	0,007 0,0007
Température en °C	Pont de Weston	0,01 °C	-5 à +35°C	0,005	0,0001
Turbidité NTU	Absorption lumineuse	0,1 FTU	0 -25		0,01
Fluorescence (µg.L-1 Chl)	Excitation lumineuse	0,1 mg/m3	0-50		0,025
Irradience	Atténuation lumineuse	Sans unité			

NB : la turbidité par mesure de la néphélométrie est exprimée en FTU (Formazin Turbidity Units) : 1FTU ~ 1 mg L-1 de matière particulaire sèche (capteur Sea Point) ;

La fluorescence in-vivo est exprimée en unités arbitraires et permettent, après calibration par croisement avec les analyses effectuées sur les échantillons collectés, de calculer les concentrations en pigments chlorophylliens (capteur Wet labs).

La limite de détection est toujours < à la limite de quantification (détection = signal de trace ; quantification= mesure possible et fiable)

1.3.1.2. Qualité chimique de la colonne d'eau

- ***PH, MES et éléments majeurs***

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.

Les prélèvements sont réalisés à l'aide de bouteilles Niskin. Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en PEHD. Les échantillons sont conservés au froid (4 °C) jusqu'à leur analyse en laboratoire.

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 9 : 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 de	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		-

- ***Sels nutritifs***

Les paramètres suivants sont suivis sur chacune des 14 stations et aux 3 profondeurs (surface, médiane et de fond) :

- **L'ammonium (NH_4^+) :** dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excrétions animales et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nano-moles.
- **Les nitrate et les nitrites (NO_3 et NO_2)** : l'ion nitrate NO_3 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 (NO_3). 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 (PO_4^{2-}) :** dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions ortho-phosphates ($PO4^{2-}$). 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.
- **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.
- **Azote, phosphore et carbone particulaires :** 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 ($SiO4^{4-}$), 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).

Méthodologie et limites de détection

Pour les éléments suivants la méthode de prélèvement est celle des bouteilles NISKIN 5L en surface, à mi profondeur et au fond (sans toucher le fond).

Tableau 10: 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
NH_4	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
NO_2 + NO_3	Auto analyser Technicon	Outot 1988	0,002 µmol/L
PO_4	Auto analyser Technicon	Murphy et Riley 1962	0,01 µmol/L
SiO_4	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

- ***Hydrocarbures totaux***

Des sous-échantillons sont collectés à partir des prélèvements en bouteilles General Oceanics, modèle Go-Flo (Coating interne en Teflon®).
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 bien 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 9 : 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

- ***Métaux***

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

La méthodologie de surveillance 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 de l'influence terrigène. Tandis que **Cu** et **Fe** montrent un comportement inverse. Le cuivre suit cependant un comportement moins prévisible que le fer. 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.

Il est conseillé de suivre les métaux suivant (guide des suivis marin Zoneco / CNRT 2011):

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

Vale NC en temps qu' activité portuaire, inductrielle et minière suit par arrêtét ICPE : Co, Cr, Ni, Mn, Cu, Zn, CrVI, As, Fe, Pb et Cd.

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.

Tableau 11 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des métaux en milieu marin

Analyses en laboratoire Paramètre	Méthode et normes -Publication	Limites de détection <	Limite de quantification
Co	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,010 µg/L	0,012 µg/L
Cd	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,040 µg/L	0,1 µg/L
Cu	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,015 µg/L	0,015 µg/L
Fe	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0 ,011 µg/L	0,011 µg/L
Mn	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,011 µg/L	0,011 µg/L
Ni	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES	0,012 µg/L	0,012 µg/L
Pb	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,050 µg/L	0,25 µg/L
Zn	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,030 µg/L	0,030 µg/L
Cr/crVI	AdSV : Metrohm Application Note V-82/ Achterberg et Van den Berg 1994	0,005 µg/L	0,030 µg/L
As	AdSV : Metrohm Application Note V-82 Achterberg et Van den Berg 1994	0,005 µg/L	0,01 µg/L

Les concentrations analysées sont infimes aussi il est très important d'éviter toute contamination, en manipulant les échantillons, en touchant la coque du bateau (*antifouling*) 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.

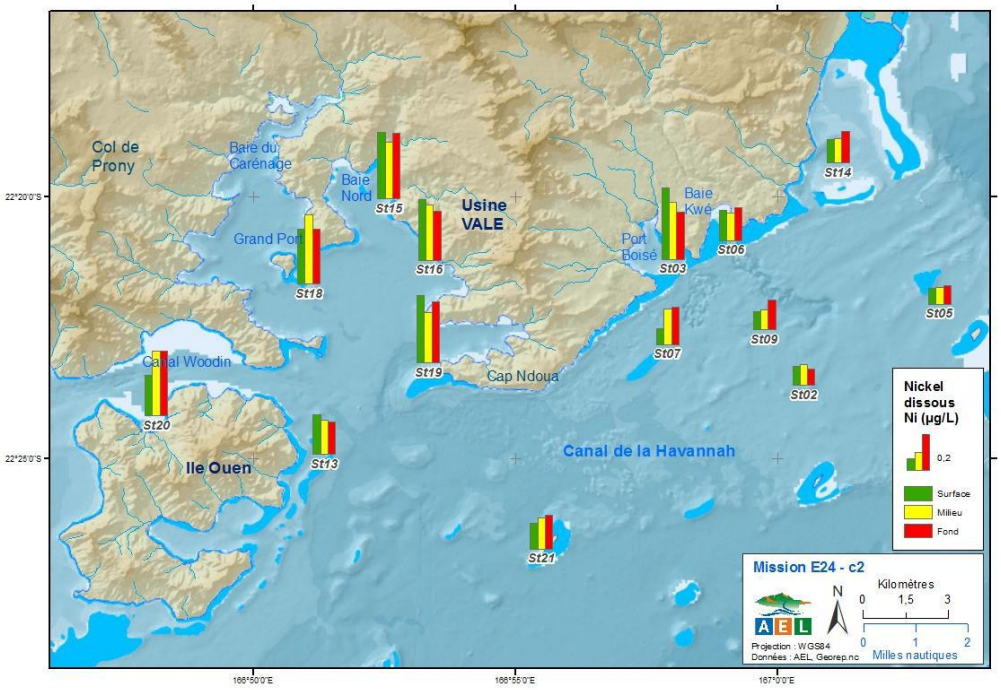
Les résultats semestriels sont schématisés et synthétisés pour chaque métal selon l'exemple donné en figure suivante. Cette présentation doit être pérennisée car elle permet une lecture facile bien adaptée à la méthodologie du suivi. Elle permet des comparaisons spatiales
L'analyse temporelle de l'évolution des concentrations, pour chaque station, depuis l'état des lieux et avec les résultats des missions précédentes, est aussi présentée de façon claire et de lecture aisée.

ATTENTION

Les échantillons d'eau doivent être prélevés et traités de façon à préserver leur intégrité et éviter toute contamination, le prélèvement doit être effectué avec un dispositif chimiquement inerte à fermeture commandée. Le flaconnage doit avoir été préalablement décontaminé aux acides forts puis rincé à l'eau ultra pure. Le type de bouteille de prélèvement Go-Flo (General Oceanic) dont les parois internes sont couvertes de Teflon est nécessaire. Les échantillons doivent être immédiatement placés à 4°C.
Les métaux recherchés sont des traces de l'ordre de moins de 0,000001 gramme par litre et des variations de l'ordre du micro gramme (0,000001g/L) sont très facilement enregistrées par de simples bais méthodologiques.
En surface le prélèvement doit se tenir éloigner de la coque du navire de prélèvement et des fumées ou rejets de gaz de moteur.

Les résultats sont présentés selon la figure suivante (exemple).

Figure 10 : Concentration en Nickel dissous dans la colonne d'eau - Echantillonnage en sub-surface, à mi- profondeur et au fond, dans le canal de la Havannah et en baie de Prony



1.3.1.3. Fréquences des suivis physico-chimiques

Pour l'ensemble des stations et des suivis de la colonne d'eau de mer, la fréquence minimale règlementaire est semestrielle, sauf au port pour la station St16 où elle trimestrielle. Une campagne en saison sèche et une campagne en saison humide sont nécessaires, elles sont régulièrement effectuées en février/mars (fin de la saison chaude dite cyclonique) et en août (saison fraiche). En raison des fluctuations des saisons des pluies il est plus pertinent de parler de saison fraiche et de saison chaude.

Remarque :
La fréquence du suivi sur la station St15 Creek baie Bord a été intensifié par Vale NC; de suivi semestriel elle est passée à une fréquence trimestrielle en 2011. Ainsi les suivis sur ST16 et ST15 (proches de l'usine et sous la pression de deux bassins versants d'influence du projet) sont effectués au minimum tous les trois mois.
De plus 6 missions supplémentaires en baie du Prony permettent de comparer avec des stations témoins.

1.3.1.4. Validation des résultats

- Les conditions météorologiques (qui ont précédé la mission d'échantillonnage) et l'état de la marée (au moment de la prise de l'échantillon) doivent être pris en compte. La structure des masses d'eau de mer et leur qualité chimique sont en étroite relation avec les flux entrant et sortant par la passe de la Havannah et les apports d'eau douce des creeks ; ces facteurs ont une influence variable en fonction de la position des stations suivies.

- Les modélisations de l'hydrodynamisme du canal de la Havannah (2006 /2009), de la baie du Prony (2011/2012) et du transport des fractions dissoutes et particulaires sont des outils importants. Une incohérence des résultats des suivis avec ces modèles serait analysée par les experts.

- La méthodologie complète d'échantillonnage et d'analyse, pour chaque paramètre échantillonné, est décrite dans chaque rapport de suivi. Un rappel des raisons du choix de chaque indicateur est aussi effectué. En cas de modification quelle qu'elle soit, le cas serait noté. Le travail de prélèvement et d'analyse sur des quantités infinitésimales demande une attention poussée à l'égard de contaminations fortuites.

- Les analyses : le laboratoire certifie 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.

- Les missions de suivi sont sous-traitées et consistent à :
  - prélever des échantillons et
  - analyser des échantillons.

  Ces missions sont confiées par Vale Nouvelle-Calédonie à un bureau d'études, un institut ou un laboratoire externalisé, celui-ci doit être techniquement équipé pour effectuer ce travail en toute sécurité, dans des délais compatibles avec les fréquences des suivis et avec des limites de détection assez faibles pour permettre une validation et une comparaison temporelle des résultats.

Vale NC recommande une inter-calibration des résultats d'analyses entre le laboratoire qui effectue le suivi et d'autres laboratoires d'analyses (qui doivent être capables de mettre en œuvre une méthodologie de recherche d'infimes concentrations traces de métaux dans une matrice saline. L'accréditation COFRAC 17 025 du laboratoire est aussi un plus recherché.
En cas de prélèvements en double aveugle la méthodologie exacte, sans risque de contamination des échantillons, doit aussi être respecté.

Remarque : Des valeurs données comme en « dessous de la limite de détection » de façon répétitive ne sont pas acceptées dans un rapport de suivi sous-traité.

- Les rapports semestriels ou annuels présentent les données brutes en annexe, leur rédaction est également 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.**

- La synthèse des données obtenues comprend une analyse comparative des résultats avec l'état initial et avec les résultats des campagnes précédentes, elle est effectuée par les experts qui effectuent la mission.

Cette analyse est à la fois
- spatiale (comparaison des stations entre elles) et
- temporelle (comparaison avec l'état initial et avec tous les suivis antérieurs).

Toute tendance qui pourrait évoluer vers un changement du milieu supérieur aux variations saisonnières (ou aux incertitudes méthodologiques) est notée dans le rapport semestriel concerné, pour un suivi attentif de ce paramètre lors des missions suivantes. En cas de confirmation statistique 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 le sous- traitant (externalisé) sont fournis en annexe de ce document, avec les données brutes.

1.3.2. Paramètres biologiques indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des populations associées

1.3.2.1. Méthodologie

Ils sont suivis selon les prescriptions établies par la DENV (Direction de l'Environnement) de la Province Sud, suite à l'atelier de mars 2006 (qui 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). Vale NC s'y conforme exactement.

- **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. Celles-ci sont répétées dans chaque rapport de suivi et en annexe du présent document.
- **Le macro et épi-benthos** selon des couloirs de 5 m de large et 20 m de long qui suivent les *transects*, les taxons cibles sont listés.

  *Remarque **:** Selon cette méthodologie les 3 transects à 3 profondeurs différentes présentent des faciès différents et ne peuvent pas être statistiquement des réplicas l'un de l'autre.*
- **Les poissons** selon la méthode des TLV (*transect* à largeur variable), les taxons cibles sont donnés par une liste restreinte fournie par la DENV 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 (elle est répétée dans chaque rapport de suivi et en annexe du document).

Tableau 12: Méthodologie pour le suivi des écosystèmes marins (convention CCB 2009)

Paramètres et variables	**Substrat** (Habitats)	
	Epi benthos : macro invertébrés	
	Poissons : Espèces cibles	
Prélèvements	Pas de prélèvement. Observations et photographies + vidéo	
Méthode	**Définie lors de l'atelier du 03 mars 2006 DRN Noumea**	
Normes et Publications	Line Intercept Transect LIT de English et Al (1994-1997) et transects à largeur variable (Kulbicki et Al 1994 ; 1995 et Kulbicki Sarramégna 1999)	
Analyses		
Paramètre	**Méthode**	**Limites de détection**
	LIT fixe	LIT fixe sous largeur du ruban
	LIT fixe sur couloir	100m^2
	Comptage sur *transect* à largeur variable	Vision du plongeur et visibilité de l'eau

Tableau 13: Composition du substrat

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

- ***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 présence/absence pour les crinoïdes) et en cliones.

- ***L'ichtyo faune***

Le plan de suivi impose une liste restreinte de poissons cibles: celle-ci est présentée en annexe 1 de ce document et dans chaque rapport de suivi.

Cependant afin d'alimenter une base de donnée Vale Nouvelle-Calédonie demande la liste exhaustive des poissons observées, elle est fournie en annexe de chaque rapport semestriel.

Recommandations méthodologiques

Vale Nouvelle-Calédonie demande 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.**

Le journal de plongée et les briefings journaliers avec les biologistes plongeurs permettent de valider cette exigence de rigueur méthodologique.

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.

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 est la compétence d'effectuer les analyses d évolutions spatiales et temporelles de façon statistique ;**
- Que le délai entre la mission de plongée et la remise du rapport d'analyse des données soit le plus bref possible (< 3 mois) ;
- **Que les évaluateurs varient le moins possible d'une mission à une autre, leur nom et leur qualification (degré d'expertise) doit figurer dans le rapport**.
- **Que chaque rapport présente une synthèse et une analyse de l'évolution spatiale et temporelle des indicateurs suivis, synthèse effectuée par les experts qui ont participés aux plongées évaluatrices (eux même).**

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 ß et le risque α de ne pas déceler un impact de faible ampleur ou bien de conclure à tort à un impact) doit être une cible d'amélioration continue.
Le risque ß de ne pas déceler une modification significative sera d'autant plus faible que l'effort d'échantillonnage sera important mais dans un cadrage de réplicas et non pas d'éparpillement, et d'autant plus faible que la variabilité des métriques sera réduite.

Une variation > 5% par rapports à la variabilité saisonnière est une alerte qui entraine une mission supplémentaire ciblée et une recherche de causes.

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

- **La surveillance d'éventuelles espèces exogènes** ; 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 est établie 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. Cet indicateur est couplé à la surveillance du risque ciguatérique* qui est pris en compte par Vale Nouvelle-Calédonie.
- **Le suivi des algues macroscopiques et de leur évolution saisonnière** : leur couverture est quantifiée (chapitre benthos). En 2012 une synthèse de leur évolution depuis 2007 a été effectuée. Une telle synthèse sera effectuée environ tous les 3 ans, ou plus souvent si nécessaire, sur une station ou globalement. 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.

- **Le suivi du corail et de son blanchissement** ; notamment après les fortes dépressions tropicales et à l'embouchure du creek de la Baie Nord, en baie Kué ou sur des stations « témoins » (Baie du Carénage). La corrélation avec la température et la salinité de l'eau de mer est effectuée grâce au suivi de la structure de la colonne d'eau de mer (décrite au chapitre précédent). Une attention aux maladies des coraux (bande blanche, autres affaiblissements) est aussi portée par l'expert qui assure les missions benthiques.

- **Le suivi des étoiles de mer ravageuses du corail**

- **Le suivi avec iconographie associée de certaines colonies coralliennes géo-référencées** et l'évaluation de leur croissance, mission après mission ;

Et :

- La pérennisation de la liste exhaustive des poissons observés à chaque mission;
- Les biodiversités alpha, béta et gamma pour les stations et pour la zone sur liste exhaustive des poissons ;

- Le tableau des conditions de plongée pour chaque station suivie (conditions météorologiques avec la pluviométrie, la visibilité sous l'eau et le moment de la marée). La visibilité, la marée, les évènements climatiques précédents, sont des éléments influant notamment sur l'ichtyo faune, tout comme la saison chaude ou fraiche (suivis semestriels à cet égard) et les marées de vives eaux ou mortes eaux.
- Le schéma géo-référencé de chaque station avec ses *transects* et taxons fixes remarquables ;
- Une vidéo de chaque *transect* effectuée à des fins de stockage d'information et de vérification.

La méthodologie complète est rappelée dans chaque rapport de suivi. Elle est susceptible d'évoluer selon l'expérience acquise et les recommandations des experts en la matière, en accord avec les prescriptions de la Convention pour la Conservation de la Biodiversité CCB entre la Province sud et Vale Nouvelle-Calédonie, si validation par les autorités administratives compétentes.

1.3.2.2. Fréquence minimale des missions de suivis des écosystèmes

Semestrielle, en saison chaude et en saison fraiche, plus souvent si nécessaire notamment suite à un cyclone ou si un indicateur varie et demande une attention supplémentaire. (Exemple : Pointe Puka, en 2013 ce sont 5 missions de surveillance qui ont évaluée cette station, suite aux évènements pluvieux intenses qui ont affecté la baie Kué et la baie de Port Boisé).

Remarque :

- **En 2011, une mission a été effectuée sur des stations situées sur l'émissaire et sur le diffuseur sous- marins ainsi que sur le récif corallien le plus proche du diffuseur.**

  L'évolution du peuplement biotique qui s'installe sur et à proximité de l'émissaire a ainsi pu être évaluée, deux ans après la première mission qui avait eu lieu sur les mêmes stations (en 2009).En novembre 2013 une nouvelle évaluation sur le diffuseur et l'émissaire permet de suivre cette évolution.

  Evolution de la biodiversité inféodée à l'émissaire et au diffuseur :
  - **2009**
  - **2011**
  - **2013**
  - **Prochaine évaluation prévue en 2015**

- A la suite des dépressions cycloniques Vania (janvier 2011) et Zelia engendrant de très forts événements pluvieux du début de l'année 2011, un suivi du blanchissement corallien à l'embouchure des creeks de la baie de Prony a été effectué, en corrélation avec les études 2009 et 2010.
  Au total (à ce jour) 6 missions consécutives permettent de mieux connaitre ces épisodes de blanchissement en baie du Prony

- **En 2013 deux nouveaux épisodes météorologiques exceptionnels ont eu lieu et ont causé des effets sur le milieu marin engendrant une mortalité côtière d'Invertébrés et de poissons.**

  ► Les 2 et 3 janvier la dépression cyclonique Freda
  ► Les 2 et 3 juillet un épisode pluvieux exceptionnel (> à Freda en intensité)

  Afin de mieux en cerner les conséquences et d'augmenter l'effort d'échantillonnage ciblé sur ces cas, deux missions d'évaluation ont été effectuées à la suite de ceux-ci (baie du Prony, baie de Port boisé et Baie Kué)

1.3.2.3. Validation des résultats

Il est important de prendre en compte :

- **Les conditions météorologiques** qui ont précédé la mission d'échantillonnage ainsi que les conditions de la plongée (la visibilité par exemple).
- Les rapports semestriels ou annuels présentent les données brutes en annexe, leur rédaction est confiée au bureau d'étude qui a assuré la mission**, il est important que le rédacteur ait bien participé à la mission en tant qu'expert, cela évite des biais** interprétatifs notamment pour cette méthodologie semi quantitative, cette recommandation a été formulée par les experts Peary et Salvat en 2009.
- Un changement de personne au niveau des experts qui effectuent les comptages (poissons/corail/substrat) doit être inscrit dans le rapport et doit être pris en compte. La littérature et l'expérience indiquent un % de variations (20%) dû aux échantillonneurs dans ce cas de suivi semi qualitatif qui laisse une part interprétative à l'expert ; bien que cette part soit réduite par la méthodologie il faut tenir compte de ce biais. La pérennisation des évaluateurs, au fil des missions, est donc à rechercher.

- **La synthèse des données obtenues comporte** :
  - **une analyse comparative spatiale** (comparaison des stations entre elles) et
  - **une analyse temporelle** (comparaison avec l'état initial et avec tous les suivis antérieurs). Elle est réalisée par les experts qui effectuent la mission.

- **Toute tendance qui pourrait déceler un changement du milieu supérieur aux variations saisonnières (ou aux incertitudes méthodologiques) est notée dans le rapport semestriel concerné. Un suivi attentif (ciblé sur le paramètre en question) lors des missions suivantes est réalisé. Une mission supplémentaire ciblée sur ce paramètre peut être effectuée. En cas de confirmation d'une modification significative la conclusion du rapport indiquerait bien ce fait.**

Démarche : pression/état/réponse.

Les commentaires des experts et leurs recommandations sont inclus au rapport intégral qui est communiqué en annexe de ce rapport avec les données brutes.

1.3.3. Bioaccumulation des métaux. Espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines

La méthodologie retenue est la <u>transplantation d'espèces bio-indicatrices sur des stations artificielles immergées</u> sur un ensemble de huit points localisés dans la zone d'influence potentielle des rejets miniers.

Cette méthode a été développée et validée avec des espèces rencontrées localement lors des précédents travaux de recherche menés en collaboration par l'unité de recherche UR 103 « CAMELIA », du Centre IRD de Nouméa, le Laboratoire de biologie et environnement marin de l'Université de La Rochelle, ainsi que le Laboratoire environnement marin (Monaco) de l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA).
Ces études menées sur 3 années, dédiées à l'écotoxicité éventuelle de l'effluent marin, ont fait l'objet d'une convention entre l'IRD et Vale Nouvelle-Calédonie. (Convention 1124 : IRD/ Vale Nouvelle-Calédonie. Volet éco-toxicologie : L. BREAU, J. SENIA, A. PANGRANI, K. GARCIA, J.P. DEBENAYUR-103 CAMELIA, IRD Nouméa UR-055 Paléotropique, IRD Nouméa Nouvelle-Calédonie). Cette méthode est également reconnue au niveau international et fait l'objet d'une norme éditée par *l'American Society for Testing and Material* (E2122-02 ASTM, 2002), à laquelle le projet présenté est conforme.

Elle fait l'objet d'un travail dans le cadre des études sur les indicateurs d'impacts et de pression ADIIP menées par le CNRT.

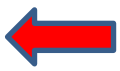
La méthode de transplantation des espèces dans des stations artificielles (cages) présente des avantages importants pour le suivi environnemental, car elle permet à l'expérimentateur de contrôler un certain nombre de facteurs qui influent fortement sur la variabilité des concentrations des contaminants bio-accumulés, **les espèces sont locales et elles peuvent être implantées sans fuir, ou du moins sans se déplacer en champ proche d'une pollution suspectée.**

Un total de 300 à 350 bivalves et d'environ 250 algues est récolté. Le bivalve *Isognomon* et la macro-algue brune *Lobophora variegata* précédemment identifiés sont des espèces bio-indicatrices de contamination métallique. Les études se poursuivent afin d'identifier d'autres espèces bio accumulatrices utilisables par cette méthode.

Les métaux analysés dans les tissus des bio accumulateurs sont les suivants : As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn. Sont aussi suivies les **variables biologiques** : croissance et condition physiologique, chez les bivalves transplantés susceptibles d'être altérées par une éventuelle contamination.

Chaque année, les résultats sont comparés avec les résultats des années précédentes ainsi qu'avec les résultats de la caractérisation des bio-indicateurs avant tout rejet.

Remarque : le choix d'un bio-accumulateur demande des études de validation méthodologiques, il ne porte pas sur un organisme sensible à une pollution dans son apparence (il meurt, il est déformé etc.) Mais au contraire le choix se porte sur <u>un organisme robuste qui grandit et accumule les métaux dans ses chairs même dans des conditions difficiles, ainsi après 3 mois de vie forcée en cage sur lieu cible,</u> cette accumulation dans les chairs fournit donc une indication quantitative des apports globaux en métaux qui sont disponibles dans le milieu marin pour le bio-indicateur.
Cette méthode <u>donnera des indications sur la qualité de l'eau sur cette zone et sur du long terme.</u> (Et non pas ponctuellement comme une analyse chimique de la qualité de l'eau le fait). C'est un bio indicateur intégrateur très pertinent.



La zone de prélèvement des bios incitateurs avant leur mise en cage et leur niveau de concentration initiale en éléments mesurés, sont deux facteurs importants à améliorer en continu.

En 2014 il est prévu de laisser les organismes en cages immergées 5 mois (et non pas 3)

Tableau 14 : Méthodologie pour le suivi des espèces bio-indicatrices transplantées en cages

Description	Identification et quantification de polluants bio-disponibles dans des espèces bio-indicatrices transplantées
Normes et Publications	Norme ASTM E 2122(2002) + RINBIO IFREMER
Prélèvements	
Méthode	Récolte en zone de référence (non contaminée), mesure et sélection des spécimens puis transplantation sur les stations
Norme	Norme ASTM E 2122(2002)
Nombre de Stations	8
Fréquence	1 campagne de 3 mois chaque année
Echantillonnage	
Algues **Bivalves**	*Isognomon Isognomon* ou *Gafrarium tumidum* *Lobophora variegata*
Prélèvements pour analyses	Chair ou algues entières
Pré traitements	3 mois immersion et récupération des cages
	Mesures biométriques
	Préparation des échantillons
	Minéralisation des tissus
Analyse et limites de détection	Analyse chimique (ICP-OES) des métaux accumulés Méthodologie Breau 2003/ Limite de détection : 0,01 à 1 µg/g de poids sec pour l'ensemble des métaux Sauf pour le zinc : 1 à 8 µg/g de poids sec.

La méthodologie est détaillée en introduction de chaque rapport.

- ***Fréquence*** : L'analyse des tissus est annuelle après 3 mois de croissance des bio-indicateurs en cage.

- ***Remarque*** **:** Afin que les algues puissent effectuer leur photosynthèse et en fonction de la turbidité de l'eau, les cages ne peuvent pas être maintenues à une profondeur supérieure à 12 ou 13 mètres, et en corrélation avec la cage de référence (témoins). Le fort ressac de surface et le trafic maritime peuvent faire perdre des cages, certaines ont dû être récupérées au fond, d'autres ont été perdues. L'optimisation de la position des cages (qui doivent rester immergées 3 mois) et de leur profondeur est en cours.

  Cette méthode est susceptible d'être améliorée avec le retour d'expérience car elle est une « première » en Nouvelle-Calédonie ; elle fait l'objet d'études par les scientifiques qui l'ont élaborée et adaptée (elle est utilisée depuis de nombreuses années en France et autres pays). Ce sont les espèces bio-accumulatrices locales choisies et leur lieu de récolte (témoins donc non contaminé même par un bruit de fond) qui font encore l'objet de recherches, notamment via le CNRT.

Les commentaires et les recommandations des experts sont inclus dans leur rapport.
Les rapports intégraux tels que délivrés par le sous-traitant (externalisé) sont fournis en annexe de ce document, avec les données brutes.

1.3.4. Les sédiments : Qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures

Les paramètres suivis pour la surveillance les sédiments marins sont les suivants :

- **La granulométrie** des sédiments, par granulométrie laser ;
- **Leur composition minéralogique,** par diffraction de rayons X (DRX),
- **Les concentrations des métaux** associés aux différentes phases géochimiques composant les sédiments, par extraction séquentielle puis analyse à l'ICP-OES. Les métaux suivants ont été analysés par ICP-OES: **As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn.**

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 µS.cm-1) afin de récupérer la fraction sédimentaire chimiquement la plus réactive (**pélites = particules < 40 µm**). Les tamisages ont été 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.

Tableau 15: 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	Attaque totale et dosage par ICP-OES		Entre 0,005 et 0,02µg/L selon le métal

La méthodologie est décrite en introduction de chaque rapport de suivi. Ce suivi est externalisé par Vale Nouvelle-Calédonie. Le calibrage et la validation des analyses sont assurés par le laboratoire traitant.

- ***La fréquence*** de suivi de la qualité des sédiments est triennale, sauf au port (ST16) où elle est annuelle. Le suivi ayant été effectué en 2009 (Cf. rapport annuel de suivi – année 2009), il ne sera pas effectué en 2010, ni en 2011, sur toutes les stations, il a été effectué en 2012 et ce rapport en présente les résultats.

1.3.5. Les sédiments : Taux d'accumulation des sédiments

La topologie des fonds marins de la baie du Prony et de la zone Nord du canal de la Havannah a été étudiée lors de la convention d'étude de 3 ans passée entre Vale Nouvelle-Calédonie et l'IRD de Noumea.
La méthodologie et la grille de lecture proviennent de l'unité de recherche Camelia de l'IRD de Noumea.
Le taux d'accumulation des sédiments s'exprime en $g.cm^{-2}$/an.
Le calcul nécessite d'extraire une carotte sédimentaire de quelques dizaines de cm de longueur (> 20 cm), cette carotte découpée en tranche centimétrique doit être conservée à 4°C. Les analyses sont

effectuées au laboratoire sur chaque tranche sédimentaire. Chaque horizon sédimentaire fait l'objet d'une détermination de la radio activité du ^{210}Pb ainsi que des paramètres géochimiques indiqués ci-dessous.

Tableau 16: Méthodologie pour le suivi des sédiments : taux d'accumulation

Description	Rapidité du taux de sédimentation		
Normes et publication	Godberg ED 1963, Geochronologie with Pb-210 in radioactive dating. Internat atom Energy Agency 121-131		
Prélèvements	Carottier piston		
Analyses	**Méthode**	**Normes**	**Limites de détection**
Datation	Spectométrie Gamma basse énergie 46, 54 KeV (pour Pb^{210})	Faure 1986	0,003 Bq/g
Densité	Teneur en eau		0,01 mg/L
Granulométrie et minéralogie	Diffractomètre laser et Diffraction rayons x		0,1µm Traces
Métaux : Geo-chimie : As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn	Attaque totale ICP-OES		Entre 0,001 et 0,02µg/L selon les éléments

La méthodologie est décrite dans chaque rapport de suivi.

- ***La fréquence est triennale***, une fréquence plus rapprochée ne permettrait pas de déceler une évolution temporelle.
  Le suivi a été effectué en 2010 sur 4 stations (Cf. rapport annuel 2010). Etant donné sa fréquence triennale il sera effectué à nouveau en 2013.

1.3.6. Les sédiments : Flux sédimentaires

Les objectifs poursuivis dans chacune des deux zones d'études, c'est-à-dire la Baie Kwé et le Canal de la Havannah, sont respectivement :

- le suivi temporel des apports terrigènes générés par l'activité minière en sortie de la Baie Kwé, dans un secteur de relative profondeur (h>15m). En effet, il est nécessaire de s'affranchir des phénomènes mécaniques comme le charriage des grosses particules sur le fond, il n'est donc pris en compte que les fractions fines en suspension potentiellement transportables par les courants sur de longues distances, comme le suggère la modélisation (Convention IRD/Goro-Ni n° n°1124, Volet « Simulation hydrodynamique »);
- le suivi temporel des apports industriels issus du procédé chimique au voisinage immédiat du diffuseur. Ce suivi avait pour objet de répondre aux questions de la double rémanence supposée :
  - d'une part, du gypse formé après l'étape de neutralisation des solutions acides d'extraction du Ni par le calcaire ;
  - d'autre part, des précipités de CaCO3 et d'hydroxydes de Mn supposés être générés lors de l'entrée en contact de l'effluent avec l'eau de mer, phénomène qui pourrait entraîner une fraction non négligeable des métaux (dont Mn). Les expériences de laboratoire et la modélisation associée (Convention IRD/Goro-Ni, n° 1124 ; Volet « Réactivité chimique de l'effluent ») montrent que seule une formation négligeable de précipités de calcite devrait se produire.

1.3.6.1. Les flux de particules apportées par le réseau hydrologique de la Baie Kwé

Ils sont estimés par collecte de séries temporelles d'échantillons de MES. Cette opération est assurée par le déploiement de pièges à sédiments séquentiels (Technicap, type PPS4/3) gréés sur une ligne de mouillage équipée d'un largueur acoustique. La durée d'immersion est de 1,5 mois environ. Les MES sont caractérisées de manière à évaluer les fractions terrigènes et marines (carbonates). Les flux sont estimés en fonction des régimes météorologiques et/ou hydrodynamiques.

Dans les zones à faible profondeur il est important d'installer les pièges à une profondeur supérieure à 15m.
Les pièges séquentiels comportent des avantages par rapports aux simples tubes à sédiments qui sont moins performants.

Dosage des carbonates : la teneur en carbonate est déterminée par la méthode dite du « calcimètre de Bernard ». Cette méthode consiste en une attaque du sédiment grâce à 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 stœchiométrique.

Granulométrie : l'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction <40 µm après élimination des organismes « actifs » (Swimmers). La distribution des populations est réalisée par granulométrie laser après remise en suspension des sédiments, ajout d'agent dispersant (Pyrophosphates de Na/K) et agitation aux ultrasons.

Minéralogie : les sources et l'évolution temporelle des matériaux sont estimées en fonction des espèces minérales décelées. La détermination des espèces est effectuée par diffraction de rayons X (DRX) sur les échantillons de l'étude granulométrique.

La densité du flux vertical de particules est exprimée en $g.m^{-2}$/jour.

1.3.6.2. Evaluation des flux de particules transportées par l'effluent

Les flux verticaux de matière particulaire (gypse, calcite, oxy-hydroxydes + MES) apportée par l'effluent industriel sont estimés par collecte de séries temporelles. Cette opération est assurée par le déploiement de deux pièges à sédiments séquentiels (Technicap, type PPS4/3) mouillés de part et d'autre du diffuseur. Les pièges sont individuellement gréés sur des lignes de mouillage équipées d'un largueur acoustique. La durée d'immersion est de 1,5 mois. Le mouillage des pièges s'effectue aux stations St60SW et St60NE qui font notamment l'objet d'une surveillance de la physico-chimie de la colonne d'eau.
Les godets des pièges sont placés à 3 m du fond, dans la zone de flux maximal d'effluent par tout type de marée (déterminée par les traçages à la rhodamine)

Dosage des carbonates : la teneur en carbonate est déterminée par la méthode dite du « calcimètre de Bernard ».

Granulométrie : l'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction <40 µm après élimination des organismes « actifs » (Swimmers). La distribution des populations est réalisée par granulométrie laser après remise en suspension des sédiments, ajout d'agent dispersant (pyrophosphates de Na/K) et agitation aux ultrasons.

Minéralogie : les sources et l'évolution temporelle des matériaux sont estimées en fonction des espèces minérales décelées. La détermination des espèces est effectuée par diffraction de rayons X (DRX) sur seulement 4 échantillons.

Dosage des métaux : le dosage des métaux, nécessaire pour le suivi, est conduit par attaque totale des fractions pélitiques des sédiments, soit aux acides forts, soit par fusion alcaline. Seuls Ca et 5 métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) sont analysés par ICP-OES.

Dosage du soufre : le dosage de S est conduit par attaque totale des fractions pélitiques des sédiments, soit aux acides forts, soit par fusion alcaline. L'analyse est effectuée par ICP-OES.

Dosage des HCT : la capacité de concentration des particules peut permettre le dosage des hydrocarbures totaux indétectables actuellement à l'état dissous dans la colonne d'eau. L'analyse des hydrocarbures totaux est effectuée par NF EN ISO 9377-2. Le dosage sera conduit sur seulement 3 ou 4 échantillons en concertation avec Vale-Nouvelle-Calédonie.

- ***Fréquence* : semestrielle.** Les pièges à sédiments doivent être immergés 1 à 2 mois, et deux fois par an

2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLES EN DECEMBRE 2013

Le présent rapport concerne les suivis semestriels effectués pendant les campagnes du second semestre 2013, il s'agit des missions de surveillance suivantes :

- ✓ Suivi N°2 / 2013 sur la structure de la colonne d'eau et de la qualité physico-chimique de l'eau –Mission 01 au 05 aout 2013,
- ✓ Suivi N°2 / 2013 des écosystèmes coralliens et des populations associées – Mission du du second semestre (sept) 2013.
- ✓ Suivi des flux sédimentaires avec synthèse 2011/ 2012/premier semestre 2013 et second semestre 2013 (juillet / aout).

Les autres campagnes de suivis sont déployées sur toute l'année et leurs rapports sont donc présentés dans ce rapport de suivi annuel 2013:

- ✓ La transplantation d'espèces bio accumulatrice *(le caging)* : mission de juin / juillet / aout 2013. ;
- ✓ Le suivi triennal du taux de sédimentation 2013 ;
- ✓ Le suivi des flux sédimentaires (second semestre 2013 et évolution depuis 2010 notamment en baie Kué);
- ✓ Le suivi trimestriel du Port de Prony : qualité de l'eau et des sédiments 2013 :mars, mai, aout et octobre 2013.

Il n'y a pas eu de retard ou de dysfonctionnement dans l'acquisition des données au cours du premier semestre 2013 ; les missions d'évaluation et les échantillonnages ont tous été effectués en temps et de façon complète.

Le calendrier des missions de suivi 2013 est rappelé ci-dessous.

Pour ces missions 2013 : 5 bureaux d'études différents ont participé, leur renouvellement s'effectue pas appel d'offre.

2.1. Synthèse des suivis du milieu marin effectués en 2013

Le tableau suivant présente l'ensemble des suivis réglementaires, les dates auxquelles lesquelles les missions de terrain ont été effectuées et les rapports communiqués

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

Tableau 17 : Synthèse des suivis règlementaires ICPE et des suivis CCB effectués en 2013 avec rapports émis (cases bleues)

Suivis règlementaires 2013	Indicateurs	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	S	O	N	D	Jan 2013
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique							S1						S 2
Qualité de l'eau et concentrations en métaux	Chimique							S1						S 2
Suivi des écosystèmes 12 stations	Biologique Corail Benthos Poissons							S1						S 2
Bio accumulation Sur transplants 8 stations	Bio accumulateur						3 mois d'implantation							A
Suivi du taux de sédimentation	Physique							Suivi triennal qui a bien lieu en 2013, dernier suivi en 2010. Rapport en fin d'année 2013						A
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Suivi triennal qui n'a pas lieu en 2013, dernier suivi en 2012, prochain suivi en 2015												
Suivi des flux sédimentaires	Physique							S1						A
Suivi spécial zone Portuaire	Physique Chimique Sédiments							S1						A

Le tableau suivant présente les études de surveillance du milieu marin supplémentaires qui sont effectuées en 2012, les rapports de synthèse ne sont pas prioritaires par rapport aux suivis réglementaires.

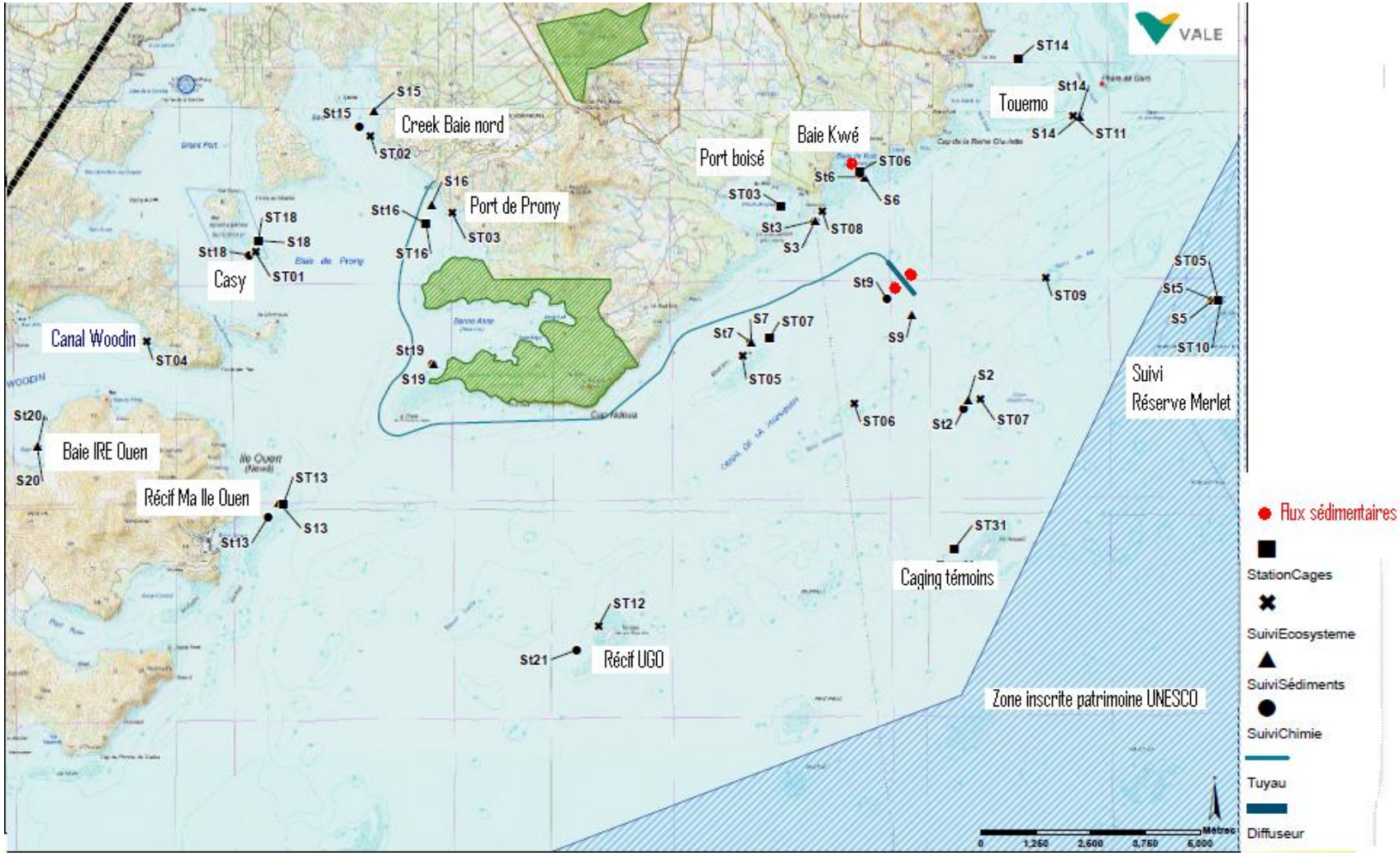
Tableau 17 : Synthèse des suivis supplémentaires effectués en 2013 (mandatées par Vale NC)

Suivis sur Initiative Vale NC Et missions supplémentaires Vale NC 2013	Indicateurs	Ja	Fé	M	Av	M	J	J	A	S	O	N	D	J 2013
Surveillance phyto sanitaire des espèces consommées Poissons	Chimiques Concentrions des métaux dans les chairs	2012												
Coquillages														
Investigations suite au passage de la dépression cyclonique Freda le 2 janvier 2013	Couplage mission physico chimique et mission éco-systémique													
Investigations suite aux fortes pluies du 2/3 juil.	Couplage mission physico chimique et mission éco-systémique													
Synthèse de l'évolution de la couverture algale	Biologiques Veille aux EEE	2007/ 2012												
Inspections diffuseur suite à la rupture de l'émissaire et de sa réparation	Biologique													
Tests de bon fonctionnement du diffuseur -Rhodamine -Diffusion de l'effluent en champ proche	Physico chimique													
Port Evaluation sous le tablier du port	Physique et biologique													

2.2. Zone d'influence et de suivis (pour rappel)

La figure suivante est un rappel du déploiement des points de surveillance et du numérotage des stations.

Figure 11: Rappel des stations de suivi du milieu marin 2011 (rappel)



3. RESULTATS (SECOND SEMESTRE 2013)

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 mais de la santé des écosystèmes (milieux récepteurs) et de la qualité du milieu par rapport à l'état de référence.

- **Les états initiaux (de référence) observés** avant le développement du projet Vale Nouvelle-Calédonie servent de référence. 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 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.*

- **Le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie**, élaboré par ZONECO/CNRT grâce de nombreux contributeurs, en 2011, présente des grilles de lecture ainsi que des références bibliographiques pour chaque type d'indicateurs, il peut servir de guide, avec toutes les recommandations interprétatives et les précautions qu'il préconise et à conditions de ne pas changer de méthodologies avec celles utilisées dans les grilles proposées par le guide.

Il est essentiel de raisonner en termes de tendances évolutives et il est impossible de comparer des résultats ponctuels avec une grille de lecture immuable et universelle ou calédonienne. 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 connaitre et affiner au fur et à mesure des années de suivi.
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.

Le recours à un bio statisticien de façon régulière, quand le nombre de campagnes de suivis devient important, est nécessaire et Vale NC s'y conformera dès 2014

Tout changement significatif est signalé.

***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.

Caractéristiques du milieu marin, états initiaux (en bleu) et états actuels (en orange)

(Les rapports « clefs » pour la connaissance de l'état de référence sont indiqués en bleu et les rapports de suivis qui permettent une étude de l'évolution temporelle sont indiqués 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 effectuées : mars 2009, août 2009, mars 2010, août 2010, mars 2011, aout 2011, mars 2012, aout 2012, mars 2013.
  - Campagne actuelle inclue dans ce rapport : aout 2013

- **Bio-indicateurs en cages**
  - Etat de référence de la zone Sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : détermination de la qualité éco-toxicologique 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 : 2010, 2011 et 2012
  - Campagne actuelle encours de déploiement : 2013

- **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 et 2012
  - Campagne actuelle en cours de déploiement: année 2013.

- **Stations éco-systémiques**
  - La comparaison temporelle est effectuée systématiquement à partir de la base de données du suivi semestriel effectué depuis 2007, suivi qui a été effectué sur les mêmes stations et avec la même méthodologie (Second trimestre 2013 : 11eme mission de suivi).
  - 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).
  - D'autres inspections et inventaires sous-marins peuvent donner lieu à des analyses comparatives, comme les 6 missions de suivi 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.
  - 10 Dernières campagnes règlementaires: aout 2007, octobre 2008, juin 2009, mars 2010, Aout/septembre 2010, mars 2011, aout 2011, mars 2012, octobre 2012, mars/avril 2013
  - Campagne actuelle inclue dans ce rapport : septembre/octobre 2013

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.

Tableau 18 : 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	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 2013 b	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

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) en 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 étude d' état des lieux sont sur un périmètre bien plus vaste que les stations cibles de suivis.

Vale NC se conforme aux stations et aux méthodologies de suivis imposées par les arrêtés ICPE et la Convention CCB avec la Province Sud 2008, un atelier s'est tenu en mars 2006 sous le pilotage de la DENV et 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 donnée. Depuis 2007 les suivis, au nombre de 10 missions, sont donc comparables en eux.

Figure 12

Stations d'étude pour la caractérisation du milieu marin depuis 1994 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 et premier semestre 2013
- Campagnes actuelles inclues dans ce rapport : Second semestre 2013

3.2. Valeurs obtenues (Premier semestre 2013)

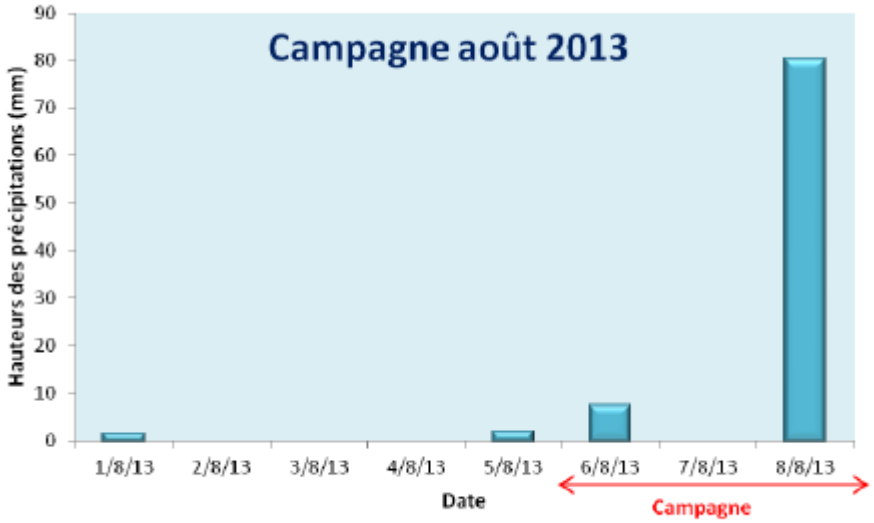
3.2.1. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer

Les opérations de terrain ont été réalisées :

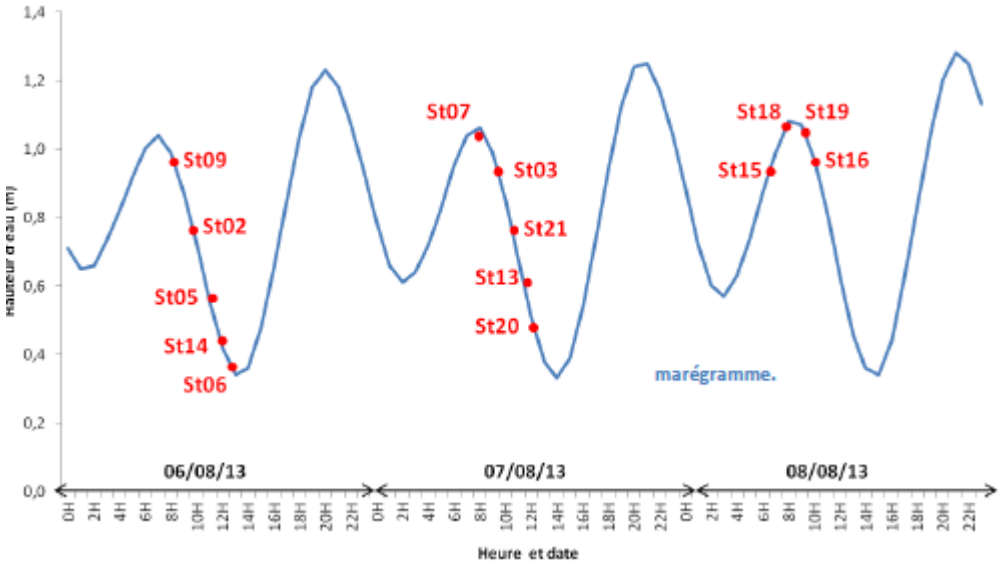
- Pour la campagne semestrielle n°1 : Les 26, 27 et 28 mars 2013 sur les 14 stations prédéfinies ;
- Pour la campagne semestrielle n°2 : Les 6, 7 et 8 aout 2013
- Pour les campagnes trimestrielles : Les 26 mars, 14 mai, 8 aout et 24 octobre sur les deux stations St15 et St16 (près de l'embouchure du creek de la Baie Nord et au port de Prony),

Les figures suivantes situent les prélèvements lors de la mission du second semestre 2013, en fonction des marées et des précipitations.

Figure 13: Conditions météorologiques et état de la marée (campagnes du second semestre 2013)



Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (1-5/8/13) la campagne et pendant la campagne semestrielle (6-8/13)



Pour les analyses comparatives temporelles, les résultats obtenus durant la saison chaude (missions de février/mars) sont comparés entre eux, et ceux de la saison fraîche (missions d'août) 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. Cependant la séparation entre saison sèche et saison humide n'est pas rigide, il est plus judicieux de parler de saison fraiche et de saison chaude.

Le rapport complet présentant les résultats des analyses de tous les paramètres (28 paramètres indicateurs suivis sur 14 stations) est donné en annexe n°2 du présent document ainsi que les données brutes. Il peut être résumé comme suit :

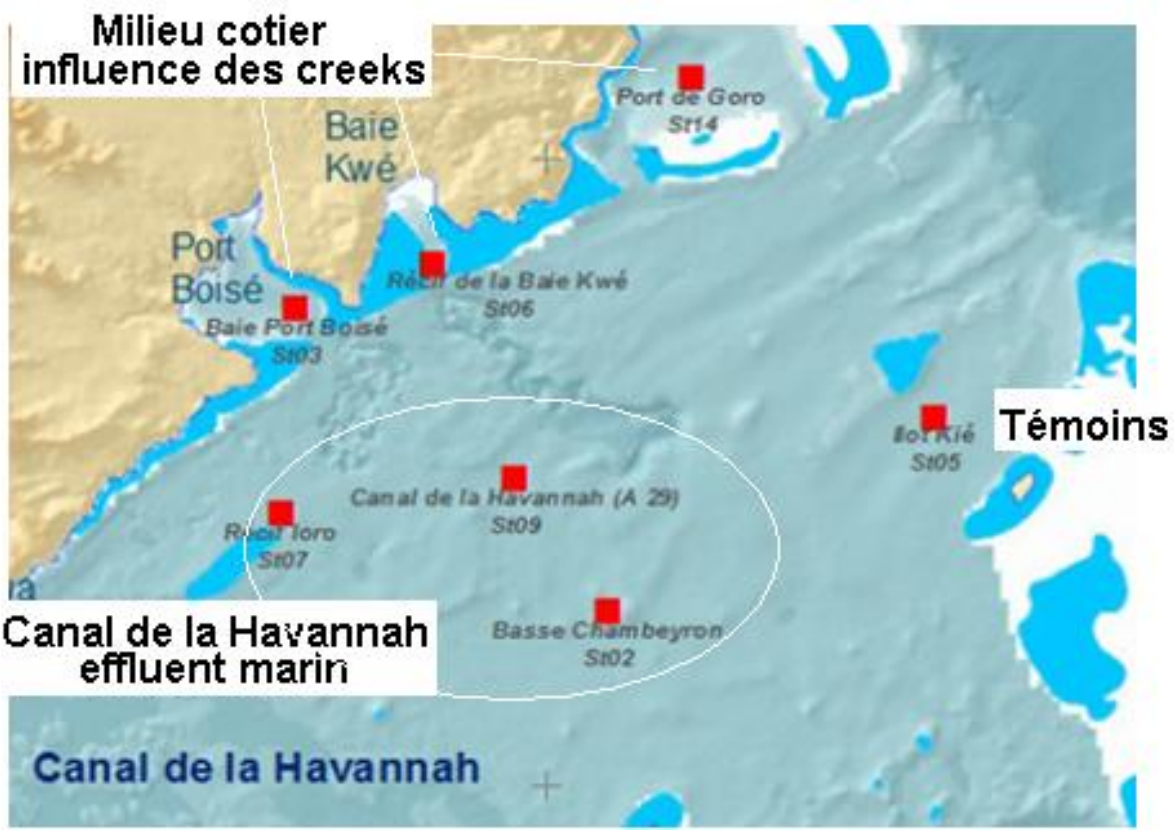
Mission d'AOUT 2013 (Saison fraiche. Semestre n°2/ 2013)

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

Figure 14: 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 : St 15, St 16, St 18 et St 19
Stations près de l'île Ouen : St 20 (de type embouchure ou fond de baie) et St 13
Récif Ugo : St 21

Figure 15: 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 02, St 05, St 09 et St 07 ; Stations côte Nord du canal : St 03 et St 06 ; Station en baie de Goro : St 14

RESULTATS S2 /2013:

- ***Éléments majeurs et le pH***:

Grande homogénéité entre les concentrations des éléments majeurs mesurées dans le Canal de la Havannah (zone d'influence océanique) et dans la Baie du Prony (zone d'influence terrigène). Dans l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations des éléments majeurs restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes.

Les valeurs de pH sont relativement homogènes au sein de la zone d'étude.

Aucune variation n'est observable par rapport aux résultats des missions précédentes. pH moyen de 8,27 +/- 0,02

Le tableau suivant présente les valeurs du pH et les concentrations en éléments majeurs (calcium, potassium, magnésium, sodium, chlore, sulfates,) sur le domaine entier puis sur les deux sous domaines différents que sont le canal de la Havannah et la baie du Prony. Ces deux sous domaines sont des entités bien différenciées d'un point de vue physico chimiques et éco systémiques aussi, ce qui est cohérent avec les modélisations effectuées en baie du Prony et canal de la Havannah sur la circulation des masses d'eau (Convention Vale NC/IRD Etudes de 2006 à 2009 puis en 2011)

Tableau 19: pH et concentrations en éléments majeurs, synthèse. Campagne du premier semestre 2013

		pH	Ca^{2+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)
Domaine entier	Min	8,13	350	327	1199	10360	12873	1600
	Max	8,30	507	461	1693	14071	26152	3269
	Moy	8,23 ± 0,04	461 ± 29	420 ± 21	1525 ± 80	13277 ± 725	18950 ± 3231	2410 ± 406
Canal de la Havannah	Min	8,13	424	402	1442	12717	15525	1795
	Max	8,30	495	461	1693	14071	22275	2805
	Moy	8,25 ± 0,04	452 ± 20	421 ± 16	1523 ± 67	13099 ± 437	18049 ± 2284	2278 ± 321
Baie du Prony	Min	8,18	444	397	1438	13176	17391	2215
	Max	8,20	490	436	1577	14011	26152	3269
	Moy	8,19 ± 0,01	471 ± 16	419 ± 14	1524 ± 49	13677 ± 271	21465 ± 3636	2753 ± 364

Pour les éléments majeurs (dont les sulfates) :

Les concentrations lors de la campagne semestrielle sont plutôt homogènes dans la zone du lagon sud de Nouvelle-Calédonie. Aucune différence n'est observée entre les concentrations mesurées dans le Canal de la Havannah (zone d'influence océanique) et dans la Baie du Prony (zone d'influence terrigène). Dans l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations des éléments majeurs restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes

La station ST06 en baie Kué ne présente aucune modification ni tendance sur les sulfates.

- ***Hydrocarbures:***

L'analyse des prélèvements aux stations St15 et St16 n'a pas permis de mettre en évidence des concentrations en hydrocarbures totaux supérieures à la limites de détection de la méthode (LQ < 0,1 mg/L). Ces deux stations sont suivies trimestriellement et un bilan annuel leurs est dédié.

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

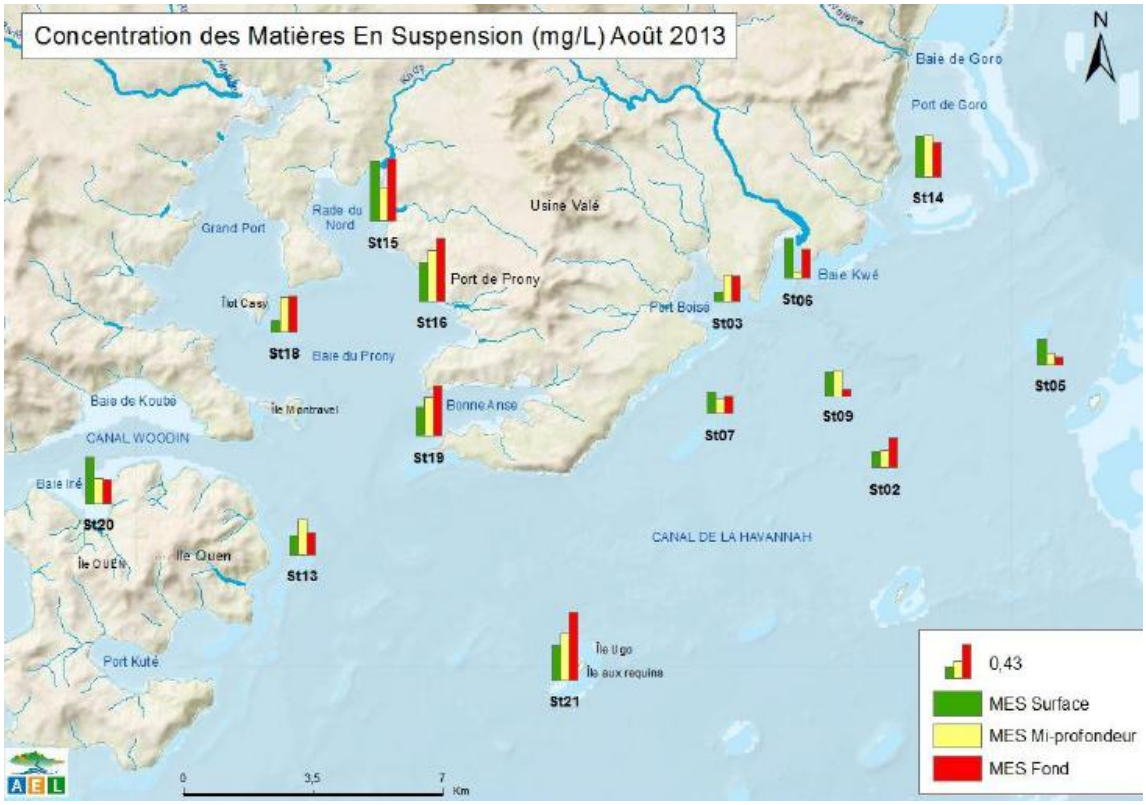
Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minéral ou organique).

Les concentrations moyennes de MES dans l'ensemble de la zone d'étude et tous niveaux confondus, s'élèvent à 0,39 ± 0,20 mg/L ; les valeurs étant comprises entre 0,08 et 0,87 mg/L. (Maximum sur la station St 21 Ugo en profondeur, avec un ordre de grandeur normal qui n'a pas été perturbé par la sonde touchant le fond comme cela se produit de temps en temps)

Le néphéloïde benthique, défini par un gradient vertical de concentration, résulte de l'équilibre entre les composantes horizontales (apports des creeks) et verticales (panache de surface) du flux de particules. La variabilité de cet équilibre, contrôlée par les fluctuations dynamiques, induit des temps de résidence plus ou moins longs, permettant la modification de la nature du matériel particulaire par des processus biogéochimiques qui jouent un rôle important dans le développement des écosystèmes benthiques.

L'ensemble des concentrations en MES sur toutes les stations lors de la mission d'aout 2013 est synthétisé sur la figure 16 suivante et les données brutes sont en annexe. Un rapport dédié au Port (ST16) reprendra les paramètres de cette station de façon plus détaillée.

Figure 16 : MES mesurés en aout 2013



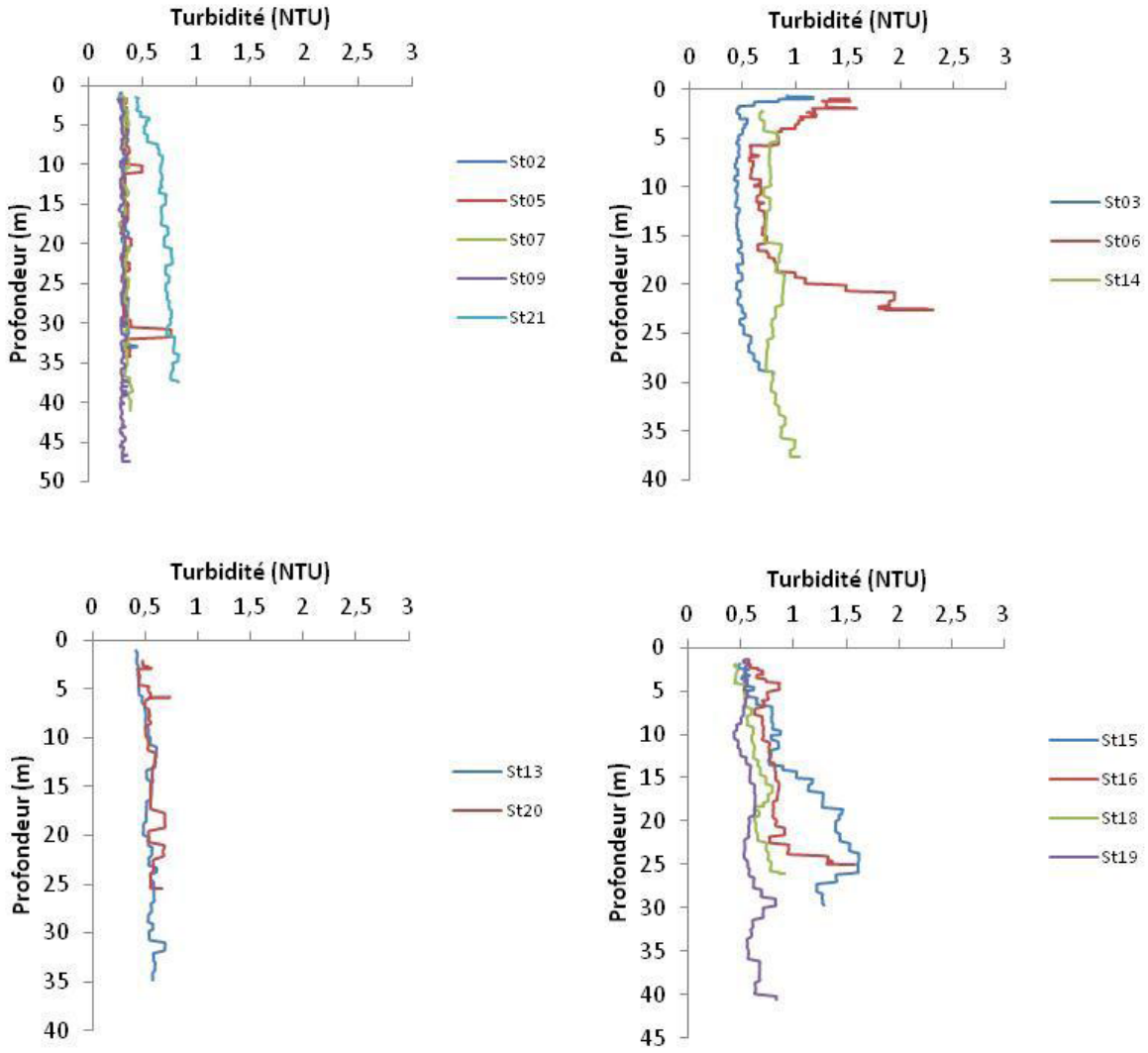
La corrélation entre les MES et la turbidité d'un néphéloïde benthique est correcte comme le montrent les relevés des profils verticaux par la sonde multiparamétrique (paragraphe suivant).
La carte suivante (figure 17) présente les concentrations en MES dans toute la zone d'études et à 3 profondeurs différentes.

Aucune embouchure de creek ne montre une concentration en MES élevée lors de cette campagne (malgré les 80 mm/24h de pluie lors des mesures en baie du Prony) puisque toute les mesures de fond de baie sont inférieures à 0,9mg/L. (Et seulement 0,49 mg/L en baie Kué).

La turbidité mesurée par la sonde multiparamétrique de détermination de la structure de la colonne d'eau est en cohérence avec les résultats précédents.

Les flux qui ne sont pas une « photographie » ponctuelle des MES mais un indicateur intégrateur sont présentées au chapitre 3.2.4.

Figure 17 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'aout 2013.



➢ ***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.

- ***La température :***

Le tableau suivant présente températures, turbidités, fluorescences et salinités sur le domaine étudié en 2013.

Tableau 20 : Température, salinité turbidité et fluorescence Aout 2013

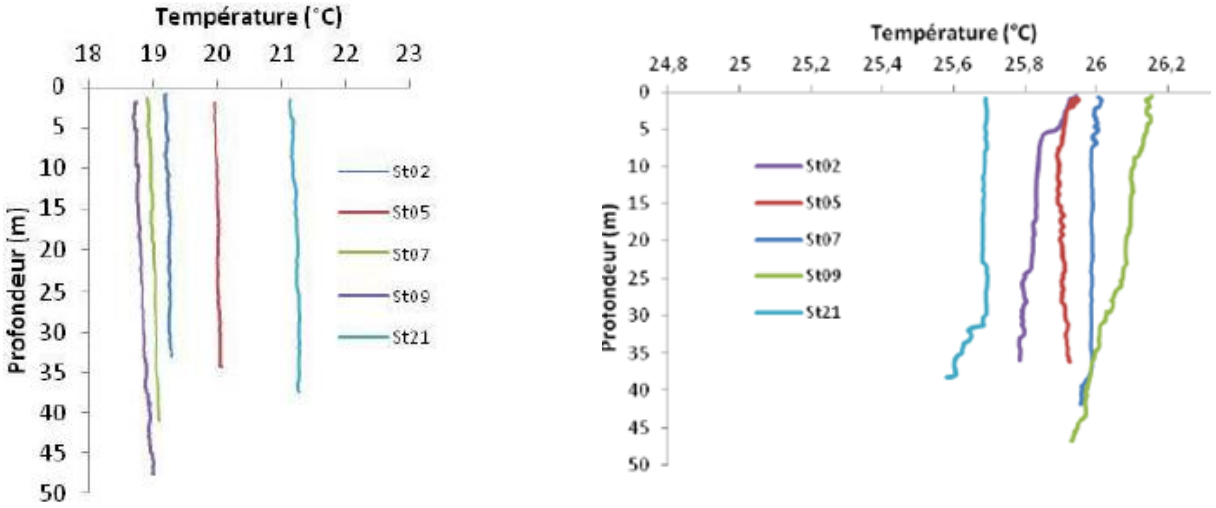
		Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m^3)	Turbidité (NTU)
Domaine entier	Minimum	18,36	32,41	0,05	0,27
	Maximum	22,66	35,32	0,84	2,31
	Moyenne	20,32 ± 1,28	35,10 ± 0,18	0,39 ± 0,06	0,61 ± 0,24
Canal de la Havannah	Minimum	18,69	35,18	0,05	0,27
	Maximum	21,28	35,32	0,41	0,83
	Moyenne	19,66 ± 0,98	35,28 ± 0,02	0,32 ± 0,03	0,41 ± 0,15
Baie du Prony	Minimum	18,36	34,04	0,20	0,43
	Maximum	20,97	35,16	0,84	1,61
	Moyenne	19,91 ± 1,10	34,95 ± 0,14	0,46 ± 0,04	0,74 ± 0,17

Les températures les plus faibles ont été enregistrées à l'Ilot Ugo (St21 ; 25,67 ± 0,03 °C) en saison chaude (mars 2013) et en saison fraiche (aout) cette station St21 enregistre les températures les plus hautes du canal (St21 : 21,23 ± 0,04 °C).

Dans la Baie du Prony, la température moyenne de la station St15, localisée à l'embouchure des creeks, est la plus faible relevée dans la zone d'étude (18,43 ± 0,04 °C).

Figure 18 : Profils de température dans le canal de la Havannah lors de la campagne semestrielle de Aout 2013 (et pour rappel en mars 2013)

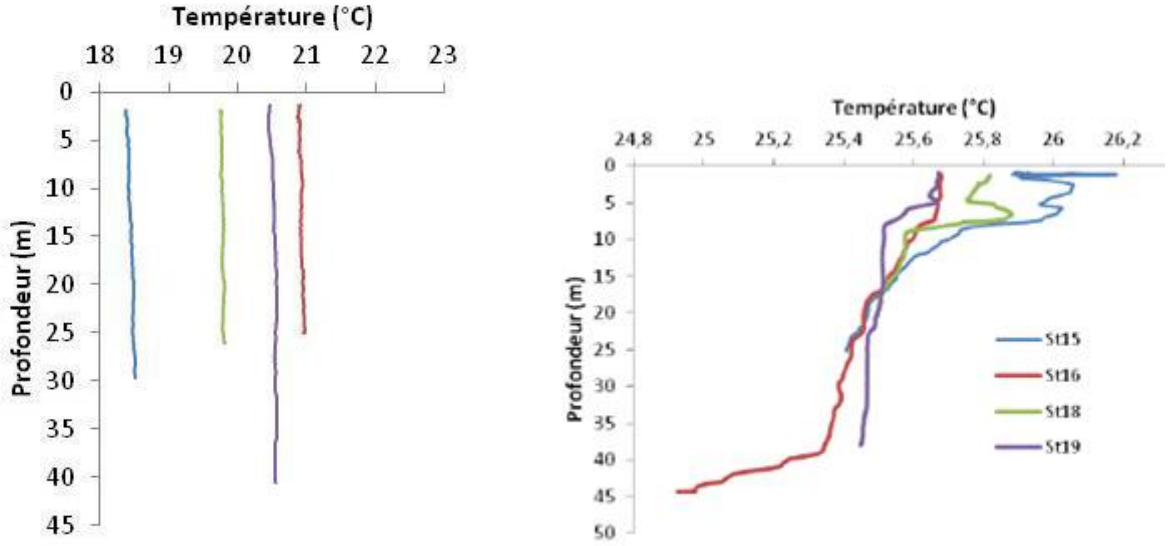
Saison fraiche (Aout) **Saison chaude (Mars)**



Aucune trace de réchauffement en profondeur dans le canal de la Havannah, comme attendu, l'effluent traité rejeté n' est plus détectable à quelques mètres du diffuseur et sa température n'affecte pas la température des masses d' eau du canal.

Figure 19a : Profils de température dans le canal de baie du Prony lors de la campagne semestrielle de Aout 2013 (et pour rappel en mars 2013)

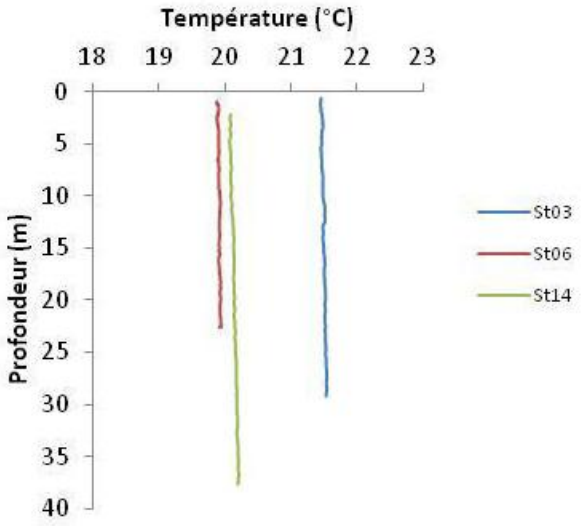
Saison fraiche (aout) **Saison chaude (mars)**



Remarquons que l'eau dessalée de surface toujours détectée à l'embouchure des creeks (St 15 / Creek de la baie Nord par exemple) est certes fraiche en aout (St 15 : 18,43 ± 0,04 °C) mais elle ne forme pas, lors de ce relevé d'aout 2013, une couche plus froide ou plus chaude en surface comme elle le faisait en mars.

Même remarque pour la baie Kué (St06) en aout 2013

Figure 19b : Profils de température dans le canal de baie Kué (St06), la baie de port boisé (St03) et la baie de Goro (St14) lors de la campagne semestrielle de Aout 2013



Les profils des températures ne présentent aucune « anormalité », avec le recul permis depuis les états des lieux, une telle quantité de données permettra une dans l'optique du réchauffement climatique planétaire.

La nouveauté 2013 d'intégrer une sonde de relevé de la température sur les cages immergées 3 mois (caging) a permis de suivre la chute de la température de l'eau (jusque' à 12 m de profondeur), le 4 juillet, dans les zones côtières, suite aux très fortes pluies du 2 et 3 juillet 2013. Une telle chute n'a pas réapparu en aout malgré les pluies. (Cf chapitre 3.2.7 sur les évènements climatiques exceptionnels).

Dans cette continuité Vale NC a mis en étude de nouvelles technologies afin de pouvoir placer des détecteurs intégrateurs des paramètres en continu sur des stations sous-marins

- ***La salinité :***

Les stations du Canal de la Havannah et de l'Ile Ouen présentent des profils de salinité très homogènes au sein de la colonne d'eau, comme toujours. La salinité moyenne mesurée au niveau des 5 stations du Canal de la Havannah s'élève à 35,28 ± 0,02 ‰ et celle mesurée aux 2 stations de l'ile Ouen à 35,12 ± 0,01 ‰. Cette stabilité montre nettement l'influence océanique non perturbée par les creeks ou autre cause.

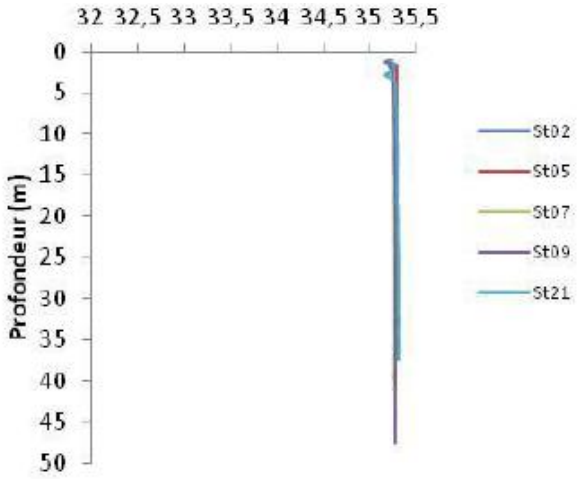
A l'inverse, les stations côtières influencées par les apports d'eaux douces présentent des salinités plus faibles dans les 10 premiers mètres de surface, Baie Kué St06 : 32,41 ‰ sur les 5 premiers mètres soit un écart de 2,7‰ entre la surface et l'eau plus profonde.

Port Boisé (St03) et de la Baie Kwé (St06) présentent les valeurs minimales de salinité mesurées dans toute la zone d'étude ; celles-ci atteignent 33,01 et 32,41 ‰, respectivement, et ceci en l'absence de fortes pluies lors des relevés d'aout.

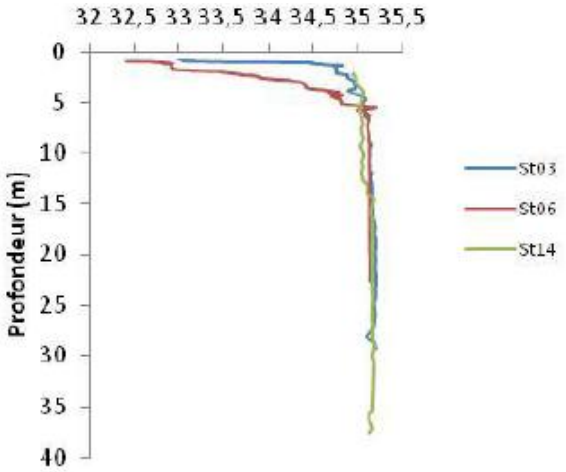
Les profils de salinités des colonnes d' eau depuis la surface jusqu'au fond sont présentés ici dessous, l'homogénéité des stations du canal et les couches dessalés de surface en baie du Prony comme en face la baie de Port boisée ou la baie Kué sont très caractéristiques de ces deux types d' hydro régions différentes.

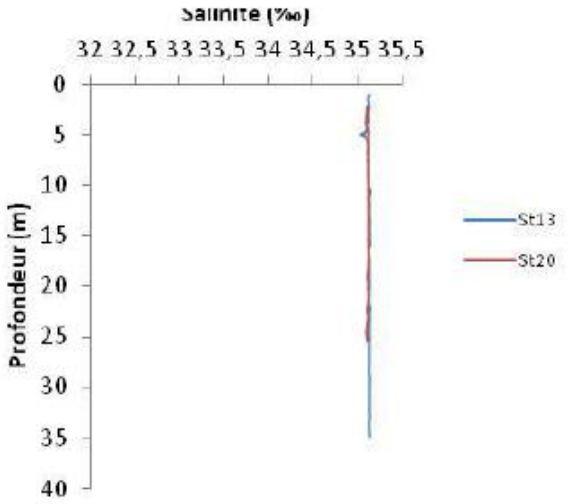
Figure 20 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2013.

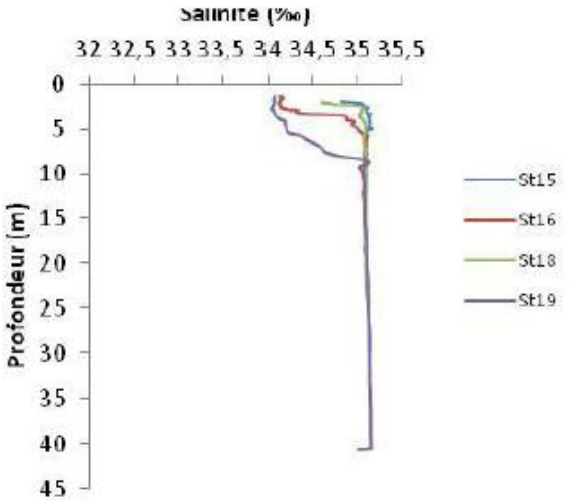
Stations sous influence océanique



Stations côtières







Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2013.

Ces résultats sur la structure verticale sont tout à fait conformes aux valeurs attendues.

Pour rappel : le passage du cyclone Freda les 2 et 3 janvier 2013 n'est pas enregistré dans ces campagnes 2013, un chapitre lui est dédié en fin de ce rapport (chap. 3.2.7.) La salinité lors des fortes pluies peut chuter fortement dans les 3 premiers mètres des eaux d'embouchure et se maintenir basse plus d'une semaine. Il en a été de même en juillet 2013 où l'eau prélevée en surface a montré une salinité de moins de 24‰. (Cf. chap. 3.2.7.) et où elle a pu avoir une influence jusqu' à 10 m de profondeur.

- ***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. Il s'agit d'un paramètre dont la signification dépend de la technique de mesure utilisée. Plusieurs mesures optiques rendent compte de la turbidité Dans la Baie

du Prony, les profils de turbidité des 4 stations mettent tous en évidence une turbidité plus élevée en profondeur.

Cette campagne ne décèle pas de turbidité qui ne soit en pas cohérence avec l'état initial du milieu.

- ***La fluorescence :***

.Cette campagne ne décèle pas de fluorescence qui ne soit pas en cohérence avec l'état initial du milieu.

Conclusion : Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence les stations influencées par les apports d'eaux douces des creeks de la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19), de la Kwé (St06) et de Port Boisé (St03).

Les apports d'eaux douces de la Kwé sont nettement mis en évidence par les valeurs de salinité en surface (32,41 ‰) et de turbidité en profondeur (2,31 NTU) correspondant au minimum et maximum de la zone d'étude, respectivement.

Les profils des variables physico-chimiques permettent également de distinguer les stations influencées par les apports océaniques. Ces stations sont soumises à d'importants mélanges verticaux liés à la turbulence des courants du Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21).

- ***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 (oligotrophie / eutrophie) du milieu

Sa dégradation donne de nombreux composés, dont principalement les phéo-pigments.

Remarquons que la concentration de surface mesurée à la station St06 (baie Kué, voir figure 21 ci-dessous) est plus élevée comparée au reste des concentrations de la zone d'étude, celle-ci s'élève à 1,28 µg/L. Cette station se situe à la sortie Sud de la baie Kué, proche de la pointe Puka.

Deux campagnes de suivis supplémentaires et renforcées ont eu lieu fin 2013 sur toute cette hydro-région. Les résultats donneront lieu à un rapport spécial dédié à cette région.

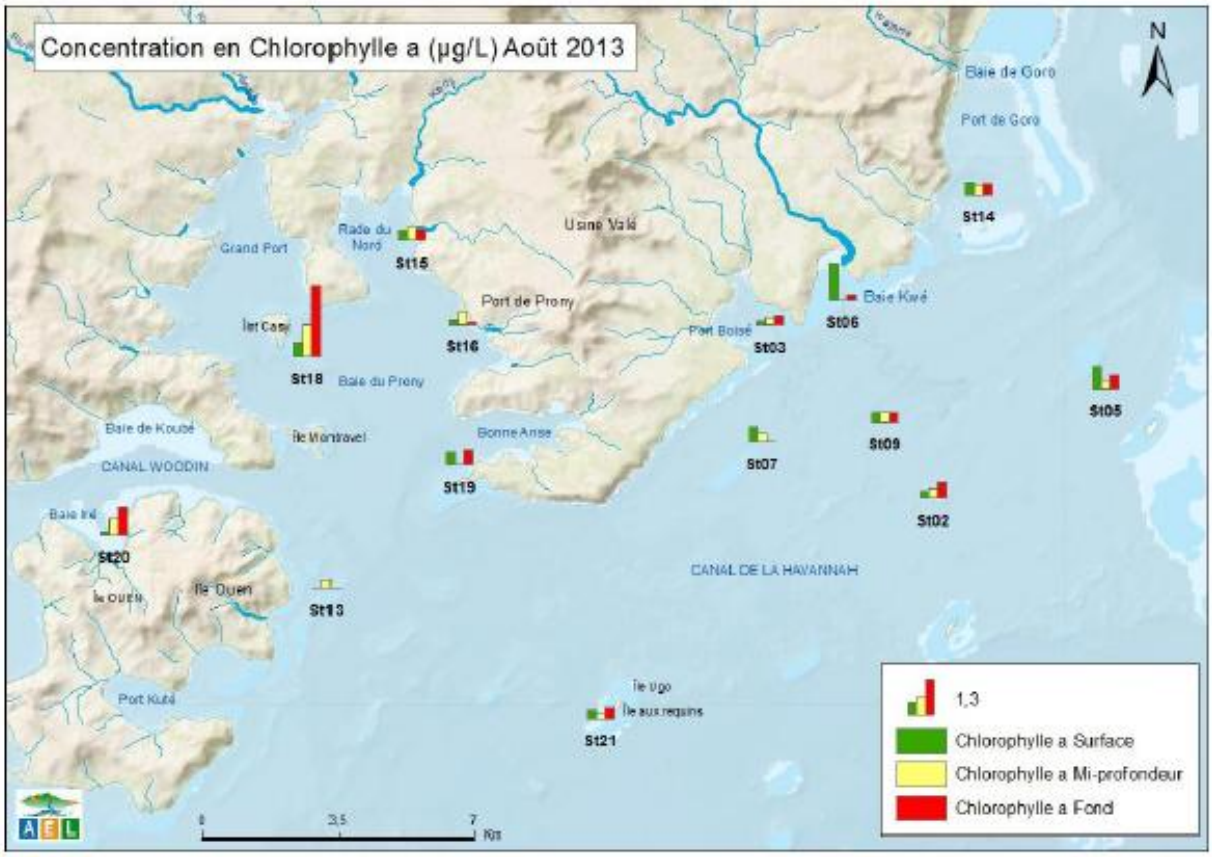
A titre informatif la grille de lecture du guide ZONECO/CNRT indique (sur la fiche dédiée à la chlorophylle a) qu'en zone littorale et à l' égard de la « chlorophylle a », une concentration de 1, 28 est bonne.

Tableau 21 : Concentrations de chlorophylle « a » et phéopigments mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'aout 2013 (min : minimum ; max : maximum ; moy : moyenne ± écart-type).

		Chlorophylle a (µg/l)	Phéopigments (µg/l)
Domaine entier	min	0,07	0,03
	max	2,50	0,80
	moy	0,48 ± 0,43	0,16 ± 0,17
Canal de la Havannah	min	0,21	0,03
	max	0,76	0,80
	moy	0,39 ± 0,15	0,20 ± 0,34
Baie du Prony	min	0,07	0,03
	max	2,50	0,25
	moy	0,64 ± 0,67	0,12 ± 0,08

(Résultats intégraux en annexe de ce document)

Figure 21 : Concentration de chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'aout 2013.



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

En mars 2013 une concentration en nitrates / nitrites avait attiré l'attention en baie Kué St06 : La concentration la plus élevée de la zone avait été mesurée dans les eaux de surface de la Baie Kwé (St06) ; celle-ci s'élevant à 1,393 µM.

Cette donnée ponctuelle a été prise en compte, comme indiqué dans le bilan du premier semestre 2013, notamment avec des campagnes de suivis renforcés sur la zone au cours du second semestre 2013. Elle ne s'est pas renouvelée lors de la campagne d'aout. En aout c'est en baie de Goro que le maximum est relevé avec 1,426 µmol/L en profondeur.

A titre informatif ces résultats sont loin des concentrations qui dénoteraient un risque d'eutrophisation d'après le guide Zoneco /CNRT et qui doivent être >3

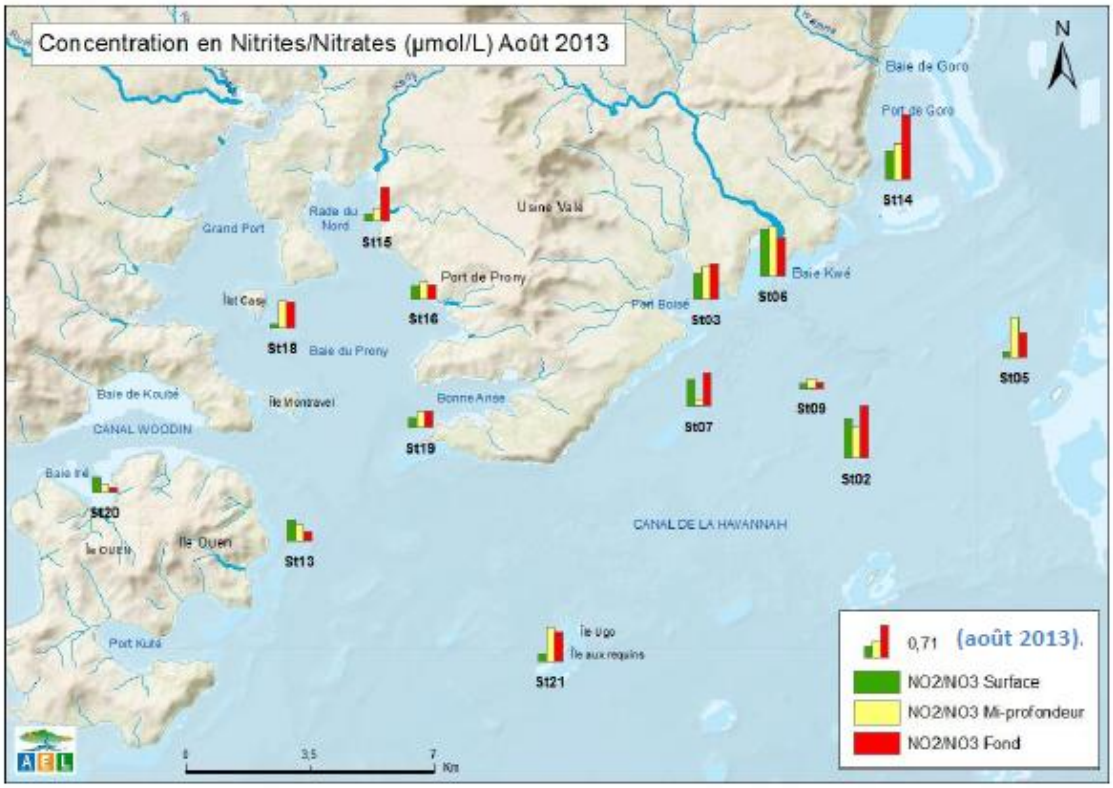
Il n'y a pas de risque d'eutrophisation ni de perturbation. Ces résultats sont mis en parallèle avec le suivi des nitrates dans les cours d'eau. Ils sont conformes.

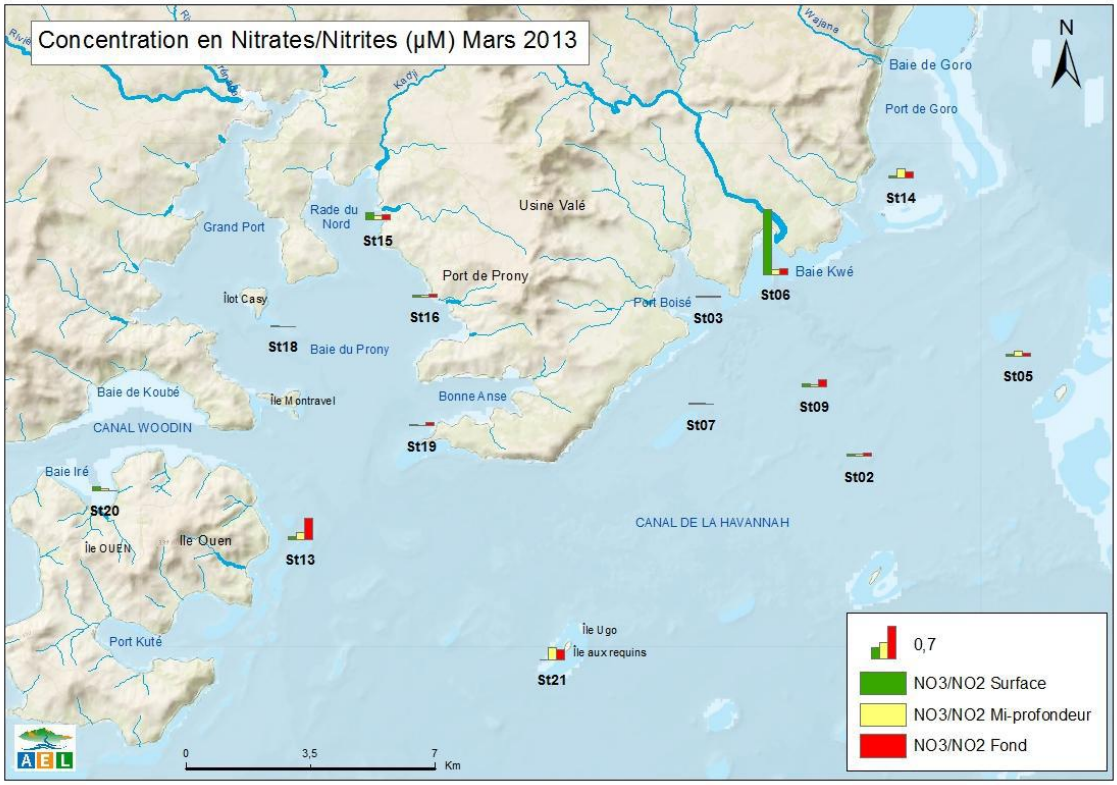
Les concentrations d'ammonium NH^{4+} sont assez hétérogènes dans l'ensemble de la zone d'étude. Celles-ci varient entre 0,013 et 0,589 µmol/L. Seule la concentration d'ammonium mesurée en surface à la station St09 du canal de la Havannah se démarque avec 0,589 µmol/L. Cette donnée ponctuelle sur une mesure de surface sera suivie avec attention.

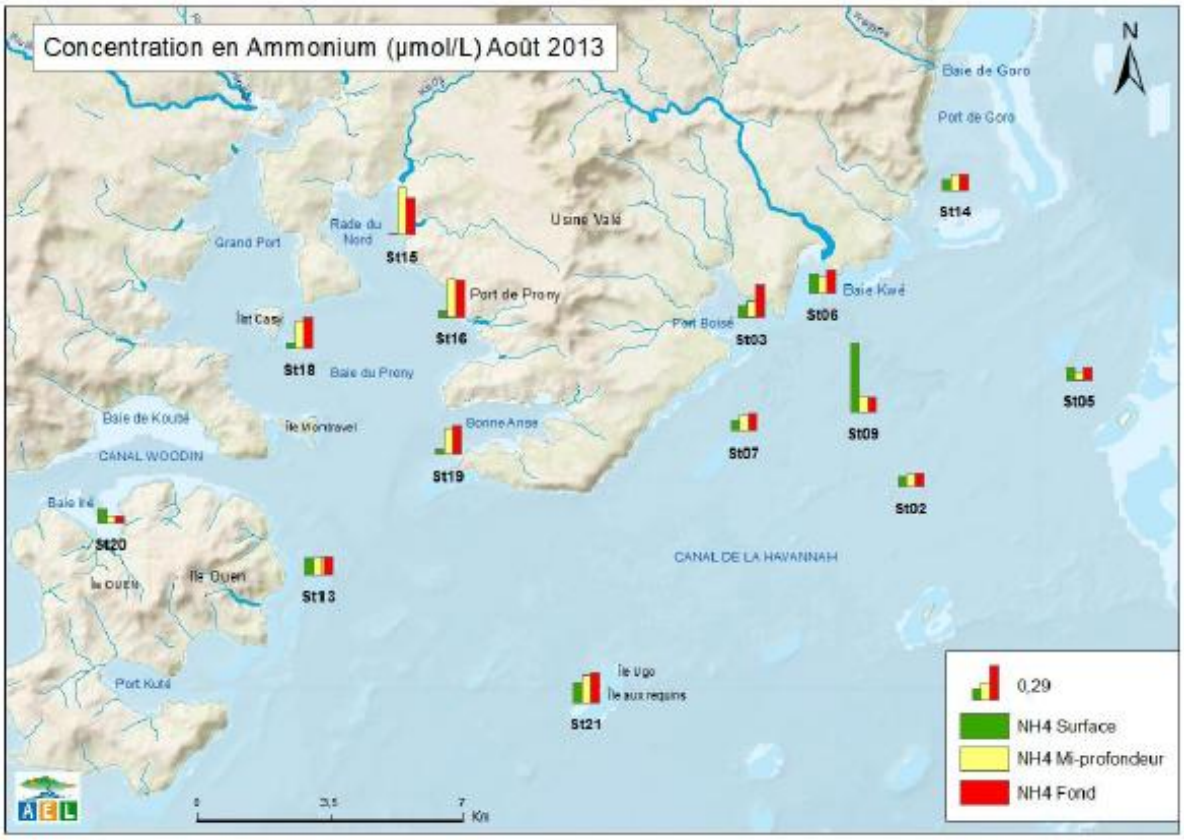
Les concentrations en phosphates sont relativement hétérogènes et ne montrent pas de tendance évolutive.

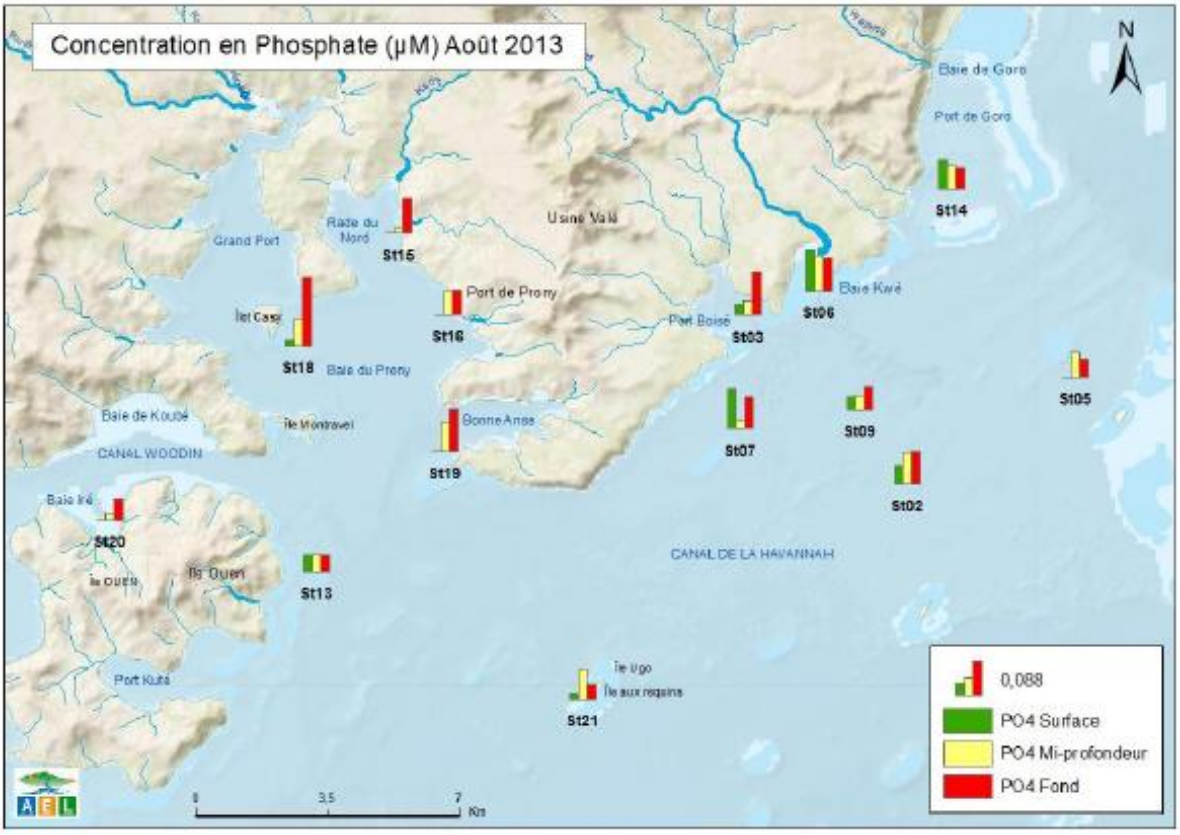
Les silicates SiO4 présentent un gradient décroissant de la côte vers le large traduisant les apports terrigènes provenant des différentes baies (Prony, Port Boisé, Kwé) en liaison probable avec la lixiviation des bassins versants (taux de précipitations exceptionnels de la saison fraîche 2013).

Figure 22 : Concentration en sels nutritifs dans les grands domaines de la zone d'étude en Aout 2013 et pour rappel en Mars 2013



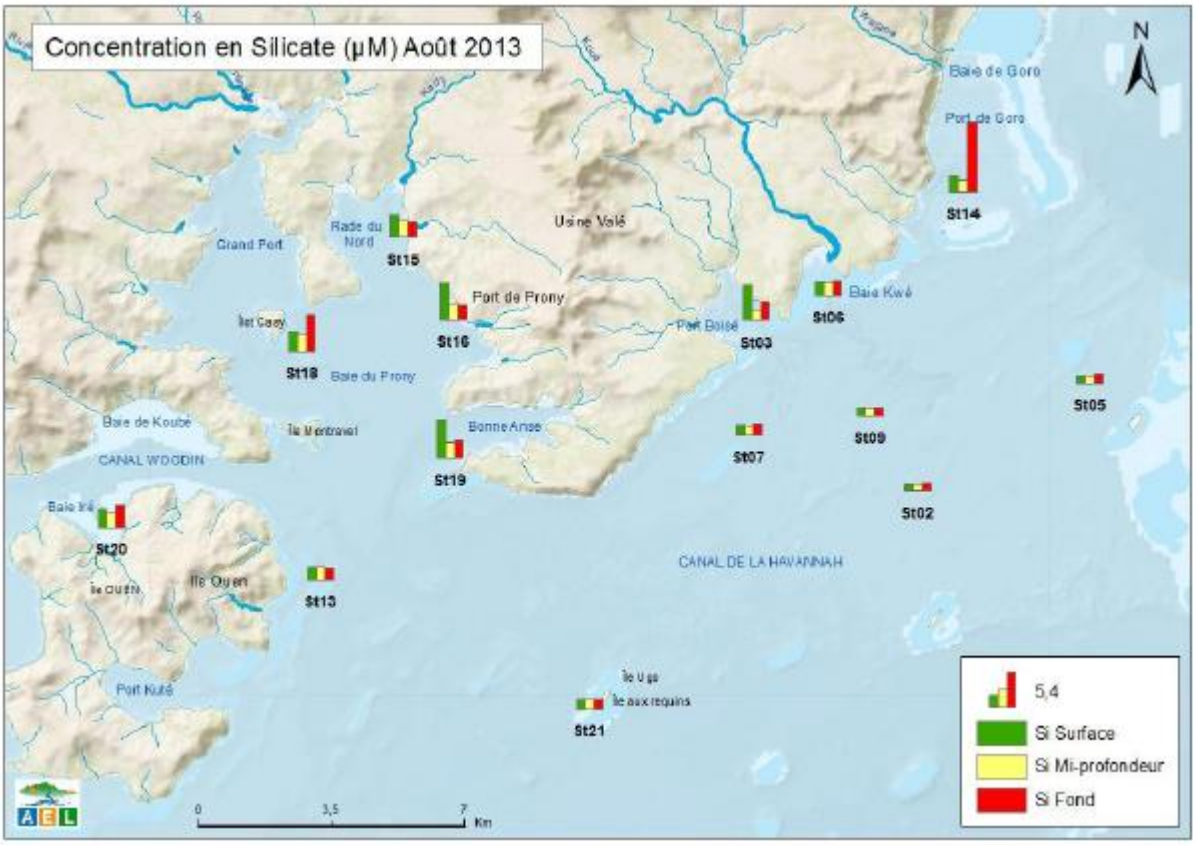






(Résultats intégraux en annexe de ce document)

.



- ***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'Aout 2013.

.

Tableau 22 : Carbone, azote et phosphore organiques : NOD, POD, NOP, POP et COP en aout 2013

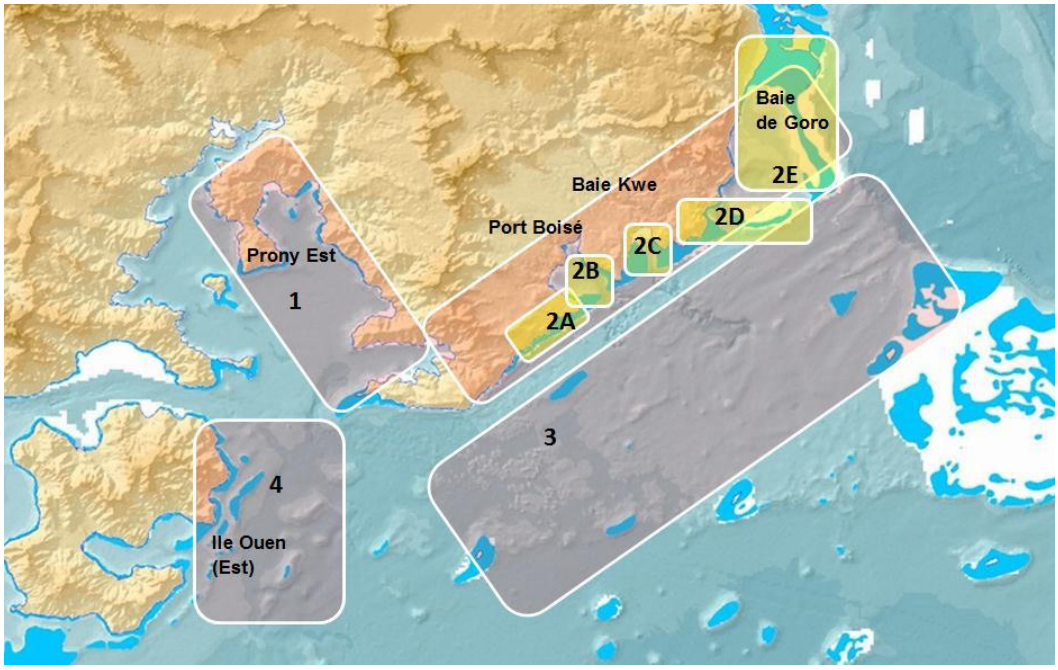
		NOD (µmol/L)	POD (µmol/L)	NOP (µmol/L)	POP (µmol/L)	COP (µmol/L)	N Total (µmol/L)	P Total (µmol/L)
Domaine entier	Min	0,86	0,039	0,476	0,057	5	2,47	0,19
	Max	4,22	0,709	1,847	0,247	228	6,87	1,05
	Moy	2,05 ± 0,61	0,275 ± 0,139	0,867 ± 0,370	0,095 ± 0,039	27 ± 45	3,59 ± 0,75	0,44 ± 0,16
Canal de la Havannah	Min	1,21	0,072	0,476	0,057	5	2,82	0,19
	Max	3,02	0,361	1,169	0,136	68	3,98	0,51
	Moy	2,02 ± 0,54	0,194 ± 0,092	0,698 ± 0,213	0,084 ± 0,024	15 ± 18	3,41 ± 0,40	0,34 ± 0,10
Baie du Prony	Min	1,55	0,269	0,772	0,067	7	3,18	0,44
	Max	4,22	0,709	1,826	0,247	174	6,87	1,05
	Moy	2,21 ± 0,72	0,429 ± 0,125	1,144 ± 0,392	0,110 ± 0,051	31 ± 52	3,92 ± 1,02	0,59 ± 0,18

(Résultats intégraux en annexe de ce document)

➢ ***Concentration en métaux :***

Comme il a été observé lors des campagnes précédentes et lors de l'état des lieux, 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 (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).

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



Rappel :

Un état des lieux a été effectué par l'IRD en 2005 pour la zone Vale NC et notamment pour les stations suivies dans ces missions de surveillance qui ont toutes été incluses dans la caractérisation 2005.

En AOUT 2013

- Cd et Pb : Les concentrations de cadmium (Cd) et plomb (Pb) sont en dessous des limites de quantification fixées, compte tenu des très basses teneurs de ces métaux dans les roches latéritiques du sud calédonien.
- As : Les Concentrations en arsenic sont homogènes au sein de la zone d'étude et dans la colonne d'eau (1,27 ± 0,14 µg/L). Les concentrations sont néanmoins plus faibles et très relativement dispersées dans la Baie du Prony que dans le Canal de la Havannah. La concentration minimale a été mesurée dans les eaux de surface de la Baie Kwé (St06 ; 0,74 µg/L) influencées par les apports de la Kwé.
- Fe : Les concentrations en Fe ne présentent pas de distributions horizontale, ni verticale particulières ; elle est liée à la boucle phyto-planctonique. Une concentration est particulièrement élevée comparée aux autres est mesurée en surface à la station de Bonne Anse (St19) et s'élève à 0,682 µg/L.
- Zn : Les concentrations de Zn les concentrations moyennes de la Baie du Prony sont bien plus faibles que celles mesurées dans le Canal de la Havannah. Tout comme pour Cu, la

concentration maximale de Zn est mesurée dans les eaux de surface à la station de Port Goro dans la baie de Goro (St14 : 1,017 µg/L).

- Cu : La concentration maximale de Cu a été mesurée à la station de Port Goro (St14 : 0,320 µg/L)
- Cr, Ni, Co et Mn : Comme pour tous les suivis précédents les concentrations des métaux dissous cobalt (Co), chrome hexavalent (CrVI), chrome total (Crtot), manganèse (Mn) et nickel (Ni) se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini. Pour cette campagne, on différencie encore plus nettement les stations du Canal de la Havannah d'influence océanique (St02, St05, St07, St09 et St21) des stations influencées par les apports terrigènes des rivières (St03, St06, St14, St15, St16, St18 et St19). Autour de l'ile Ouen, les niveaux de concentrations sont intermédiaires.

  De surcroît, les concentrations aux stations influencées par les apports terrigènes présentent un gradient vertical particulièrement prononcé, comme par exemple à Port Boisé (St03) et à la Baie Kwé (St06) où les valeurs mesurées en surface sont plus élevées qu'à mi-profondeur et au fond. A ces mêmes stations, les concentrations en surface pour Ni sont 12 (2,53 µg/L) et 10 fois (2,99 µg/L) plus élevées que les concentrations en profondeur, respectivement ; ces eaux de surface sont également les moins salées et les plus turbides de la zone d'étude.

Tableau 23 : Concentration en métaux dissous en microgrammes/ litre. Année 2013. AOUT

Concentrations des métaux dissous As, Co, Cr(VI), Cr total et Cu mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2013) (min : minimum ; max : maximum ; moy : moyenne ± écart-type).

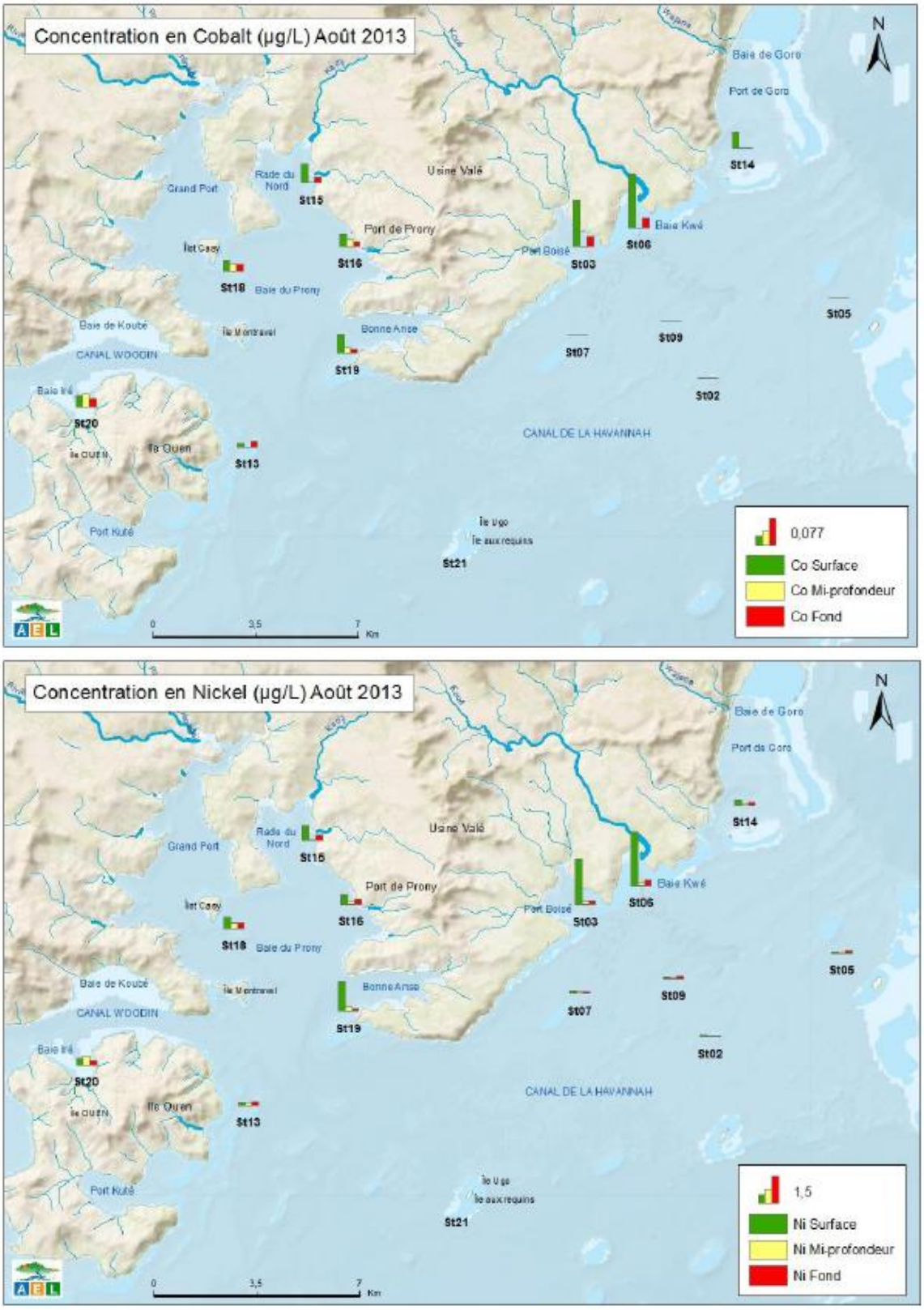
		As (µg/L)	Co (µg/L)	Cr(VI) (µg/L)	Cr tot (µg/L)	Cu (µg/L)
Domaine entier	Min	0,74	<LQ	0,10	0,11	<LQ
	Max	1,43	0,154	1,40	1,60	0,320
	Moy	1,27 ± 0,14	0,038 ± 0,037	0,30 ± 0,28	0,41 ± 0,37	0,058 ± 0,057
Canal de la Havannah	Min	1,29	<LQ	0,10	0,11	0,017
	Max	1,43	<LQ	0,17	0,50	0,178
	Moy	1,37 ± 0,04	<LQ	0,13 ± 0,02	0,23 ± 0,13	0,060 ± 0,042
Baie du Prony	Min	1,01	<LQ	0,25	0,26	<LQ
	Max	1,30	0,054	0,91	1,33	0,119
	Moy	1,21 ± 0,11	0,026 ± 0,015	0,43 ± 0,23	0,64 ± 0,37	0,052 ± 0,031

Concentrations des métaux dissous Fe, Mn, Ni et Zn mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2013) (min : minimum ; max : maximum ; moy : moyenne ± écart-type).

		Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)
Domaine entier	Min	0,014	0,015	0,060	0,035
	Max	0,682	1,606	2,991	1,017
	Moy	0,064 ± 0,105	0,163 ± 0,266	0,382 ± 0,611	0,361 ± 0,279
Canal de la Havannah	Min	0,018	0,034	0,060	0,133
	Max	0,225	0,064	0,133	0,967
	Moy	0,047 ± 0,053	0,048 ± 0,009	0,100 ± 0,021	0,546 ± 0,248
Baie du Prony	Min	0,050	0,015	0,089	0,035
	Max	0,682	0,435	1,635	0,884
	Moy	0,110 ± 0,180	0,157 ± 0,130	0,461 ± 0,423	0,215 ± 0,249

Les données brutes intégrales sont en annexe de ce rapport

Figure 23 : Concentrations en Co et en Ni sur toutes les stations en AOUT 2013.

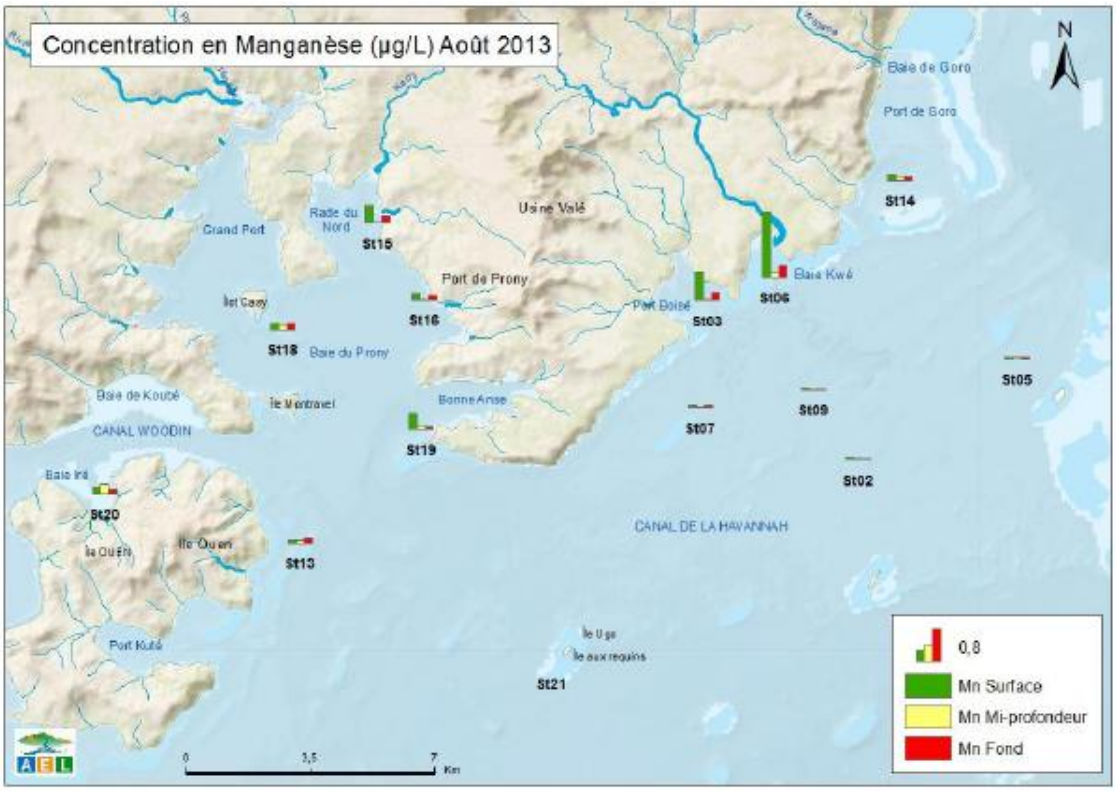


Co et Ni sont des marqueurs qui signent les apports en eaux de surface, en baie de Port boisé (non sous influence d'un bassin versant sous activité minière) comme en baie Kué (sous influence de la mine de Goro) et comme en baie du Prony. Les concentrations en Ni et Co dans le canal sont très faibles, comme attendu.

La carte suivante montre la distribution spatiale des concentrations en **manganèse Mn** sur toutes les stations en Aout 2013..Les mêmes conclusions sont observées, cet indicateur terrigène est en très faible concentration dans le canal en saison sèche, comme en saison pluvieuse.

Aucune augmentation de Mn dans le canal de la Havannah.

Figure 24 : Concentrations en Mn sur toutes les stations enaout 2013.



Le cuivre est variable en concentration, il a montré des concentrations sporadiquement élevées en baie Iré (St 20 île Ouen : Cu jusqu' à 1, 21 µg/L et 0,63 µg/L), et en face le port de Prony. Puis il a diminué en concentration < seuil de détection, il est suivi avec attention, notamment au port.

Les concentrations en cuivre dans la colonne d'eau de la station du port ne sont pas supérieures à celles sur d'autres stations.

Cu au port St16 MARS 2013:

- Surface : 0,040 µg/L
- Moyenne profondeur : 0,015 µg/L
- Au fond : 0,025 µg/L

Moyenne en baie du Prony : 0,034 µg/L ± 0,021
Moyenne dans le canal de la Havannah : 0,024 µg/L ± 0,007

Cu au port St 16 MAI 2013 :

- Surface : 0,060 µg/L
- Moyenne profondeur : 0,35 µg/L
- Au fond : 0,040 µg/L

En mai 2013 le Cu est plus concentré à mi profondeur sur St16, avec un « pic » à 0,35 µg/L, en mars 2013 il est d'avantage présent en surface, la différence est difficilement interprétable ; une forte concentration de Cu pourrait éventuellement provenir des coques de bateaux présents au wharf de Prony, une corrélation a été tenté mais sans succès. En 2012 la synthèse de l'évolution des concentrations en cuivre dans l'eau de la station St16 du port a été effectuée : une augmentation n'est pas décelable et bien d'autres stations de la zone (notamment Iré St 20 ou Casy St18 ou bien en

baie de Goro) présentent des fluctuations des concentrations de cuivre relativement élevées sans corrélation avérée avec des bateaux.

Figure 25 : Concentrations en Cu sur toutes les stations en aout 2013.

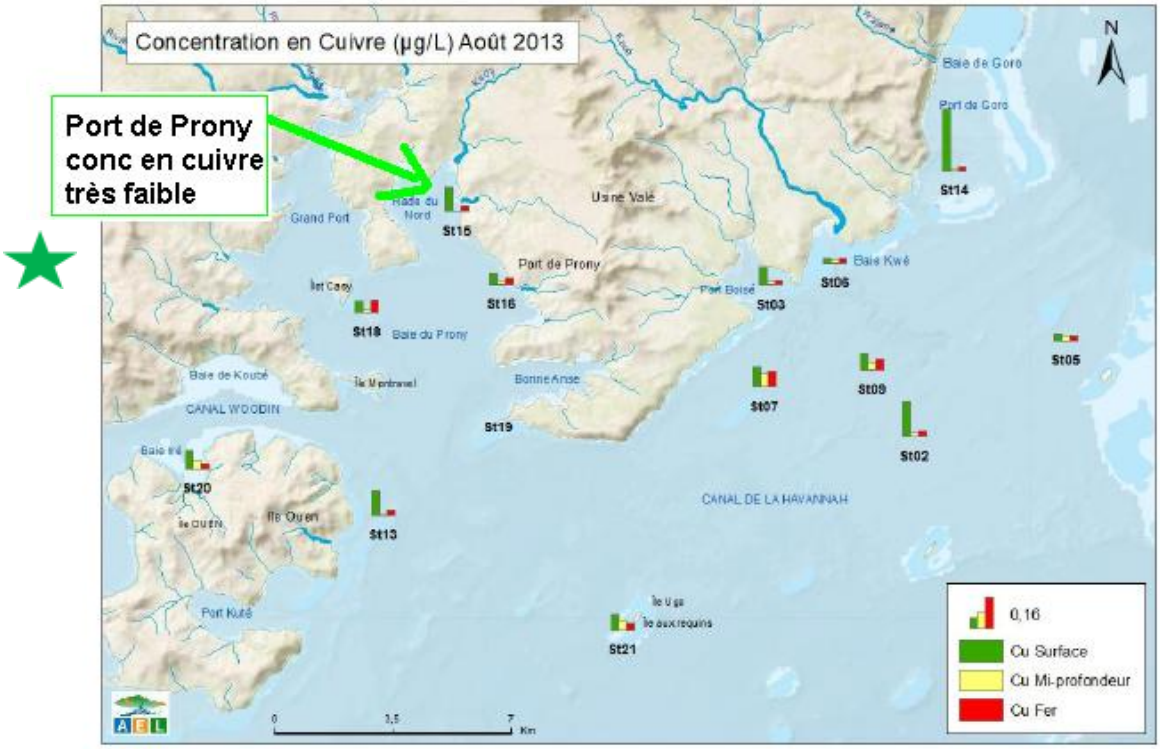
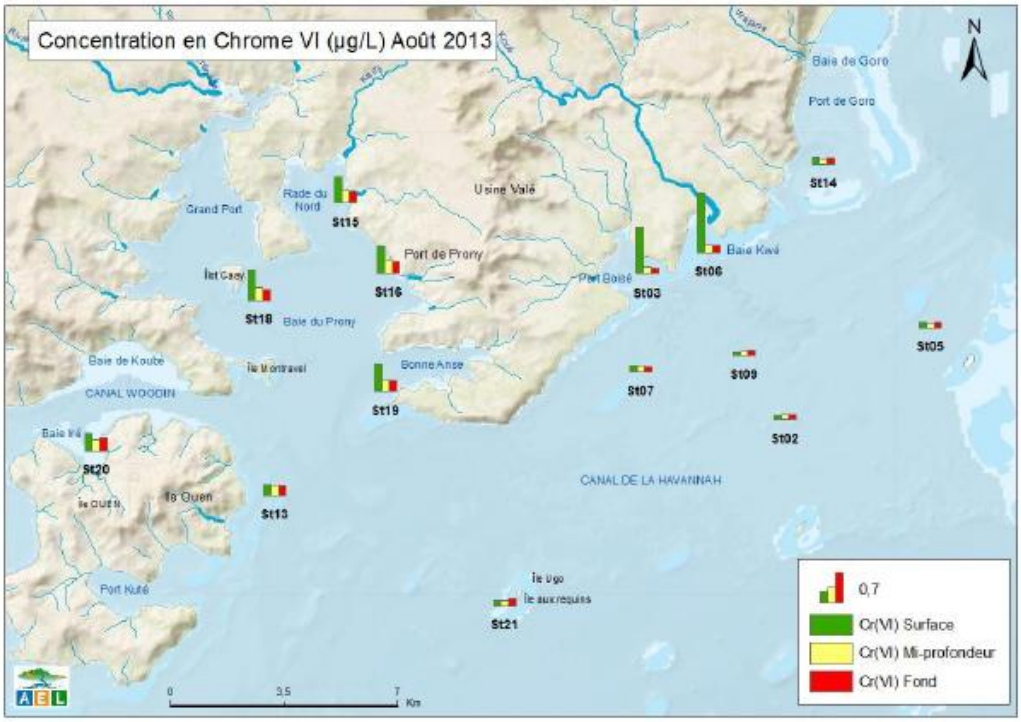


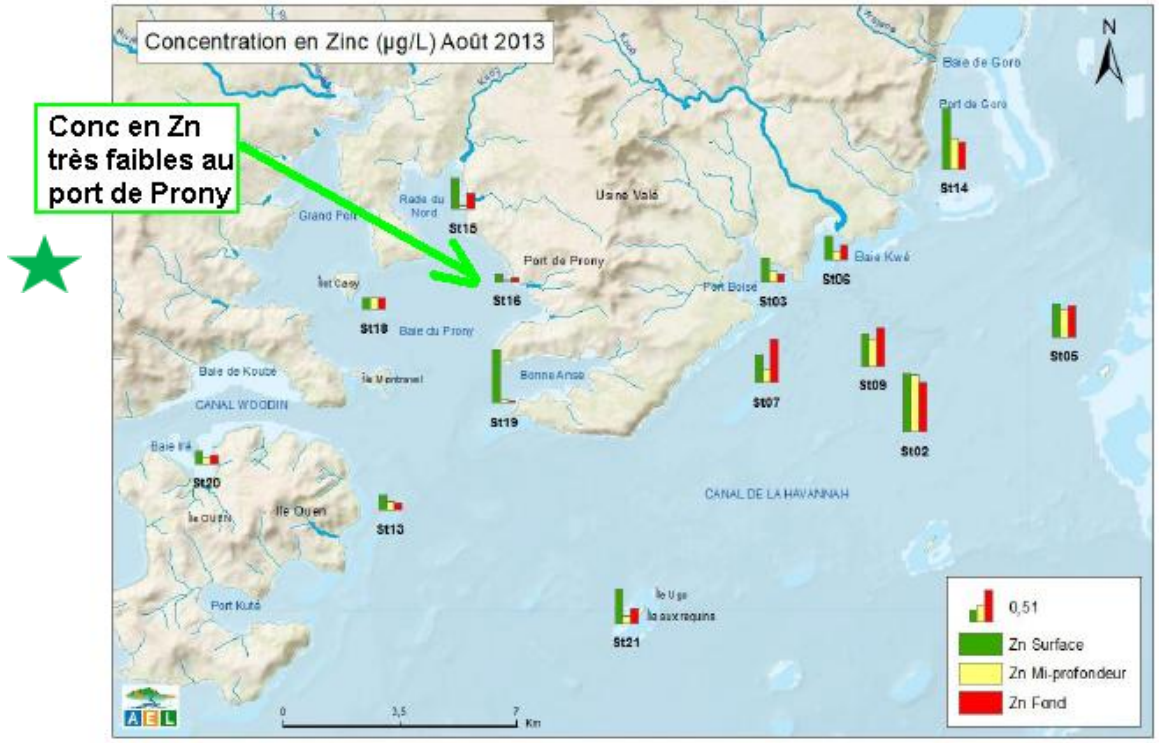
Figure 26 : Concentrations en Cr VI sur toutes les stations en aout 2013.



Le Cr VI est un indicateur au même titre que Ni, Co et Mn.

Quant au zinc, de faible concentration, sauf à la station St 20 Iré où il montrait en mars un pic en eau de semi profondeur. Pic qui est résorbé lors de la missions suivante d'aout.

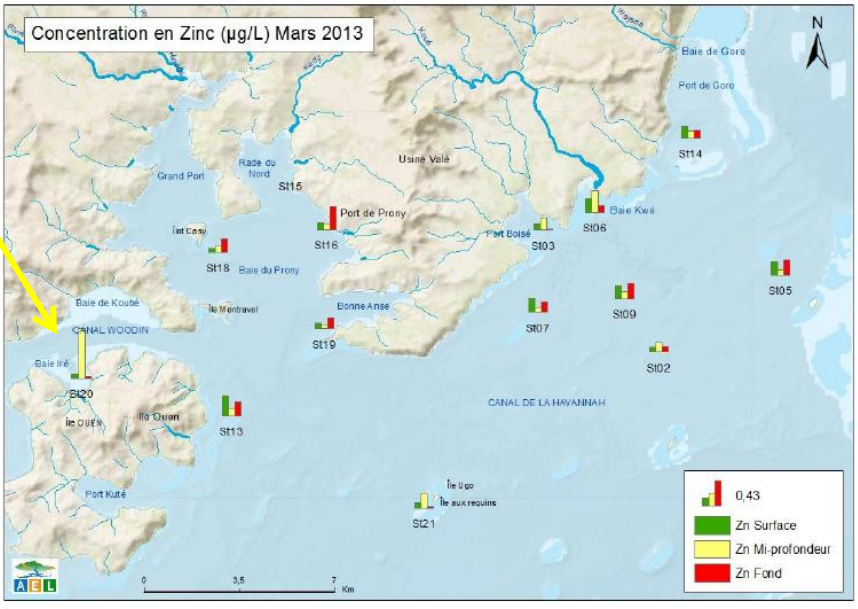
Figure 27 : Concentrations en Zn sur toutes les stations en aout 2013.



De tel pics (cf. figure suivante, Zn station St 21 en mars 2013) sont à surveiller mais sans crier alarme trop vite car des fluctuations ponctuelles sont possibles et la sensibilité de la détection est très puissante grâce aux méthodologies d'analyses employées, les éventuelles contaminations des échantillons doivent aussi être très soigneusement contrôlées.

Ces « photographies instantanées » effectuées par prélèvements d'eau et analyses à un temps t sont des indicateurs instantanés certes pertinents mais à suivre dans la durée pour rechercher des tendances évolutives statistiquement démontrées sur plusieurs suivis. (cf. chapitre suivant).

Figure 28 : Concentrations en Zn sur toutes les stations en mars 2013.



Les données intégrales et les analyses plus poussées sont données en annexe de ce document.

Les indicateurs intégrateurs sont à coupler pour l'analyse des résultats, par exemple ceux du caging (bio accumulateur de métaux élevés dans des cages, Cf bilan annule de fin d'année)

Le chapitre suivant est crucial car il s'agit de l'analyse de l'évolution des paramètres au fil des missions (effectuée par le bureau d'études, une synthèse plus poussée est donnée annuellement).

Analyse temporelle des fluctuations des paramètres

L'analyse temporelle des fluctuations des paramètres est expliquée par le lessivage des sols latéritiques. Le gradient de distribution des métaux indicateurs d'influence terrigène est bien marqué, de la cote vers le centre du canal de la Havannah (Ni, Co, Cr VI, Mn) en cohérence avec les études précédentes.

Les figures suivantes montrent les résultats pour les stations « sentinelles » les plus caractéristiques :

- **St15: Embouchure Creek Baie Nord en baie du Prony**
- **St06 : Embouchure baie Kué et St03 Baie de Port Boisé (qui n' est pas sous influence de Vale NC)**
- **St09: Canal de la Havannah près du diffuseur**

Conclusion

Les principales variations des variables physico-chimiques et des concentrations de silicates, POD, NOP, POP et des métaux dissous tels que Co, Cr(VI), Cr total, Mn et Ni mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2013, mettent en évidence les apports terrigènes. Ainsi, les concentrations de ces paramètres se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini.

Les stations de Port Boisé et de la Baie Kwé se démarquent des stations de la Baie du Prony par une nette stratification des eaux qui isole la couche de surface.

Cette couche présente les salinités les plus faibles, les turbidités les plus fortes et les concentrations en métaux dissous (Co, Cr(VI), Crtot, Mn et Ni) les plus élevées de toute la zone d'étude. A contrario, les concentrations en As mesurées dans cette couche sont les plus faibles mesurées.

Les concentrations en métaux dissous (Co, Cr(VI), Mn et Ni) dans les eaux de surface de la Baie Kwé sont plus élevées qu'à Port Boisé. Par ailleurs, les valeurs mesurées en août 2013, correspondent aux concentrations maximales à ces stations depuis le début des campagnes (2008) en corrélation avec cette année 2013, pour laquelle la saison dite « sèche » a été particulièrement pluvieuse.

De la même manière, à la station St15 en baie du Prony, les concentrations de Cr(VI) et Ni mesurées en août 2013 sont les plus élevées depuis 2008.

Ces résultats sont explicables par l'effet mécanique des précipitations atmosphériques exceptionnelles qui ont eu lieu en juillet 2013 et aussi pendant la campagne d'août 2013. En effet, ces pluies ont été responsables d'un lessivage des sols plus importants que d'ordinaire en « saison fraiche/ sèche ». Ces événements météorologiques ont induit, dans un deuxième temps, des solubilisations importantes en métaux dissous tels que Co, Cr(VI), Mn et Ni ; ces concentrations plus élevées s'étant ensuite retrouvées dans les eaux de surface des baies.

Bien que naturelle, le niveau de concentration en métaux dissous est néanmoins à surveiller, particulièrement au niveau des deux baies, les stations St03 (Port Boisé) et St06 (Baie Kwé) présentant les variations les plus importants au sein de la zone d'étude. Variations en relations avec les pluies exceptionnnelles de janvier et juillet 2013

Les stations proches du diffuseur n'enregistrent pas de modification des paramètres physico-chimiques, ni en surface ni en profondeur.

Il convient de suivre les tendances évolutives en tenant compte des fluctuations saisonnières qui sont mieux définies dans leur limites au fur et à mesures des campagnes de suivi.

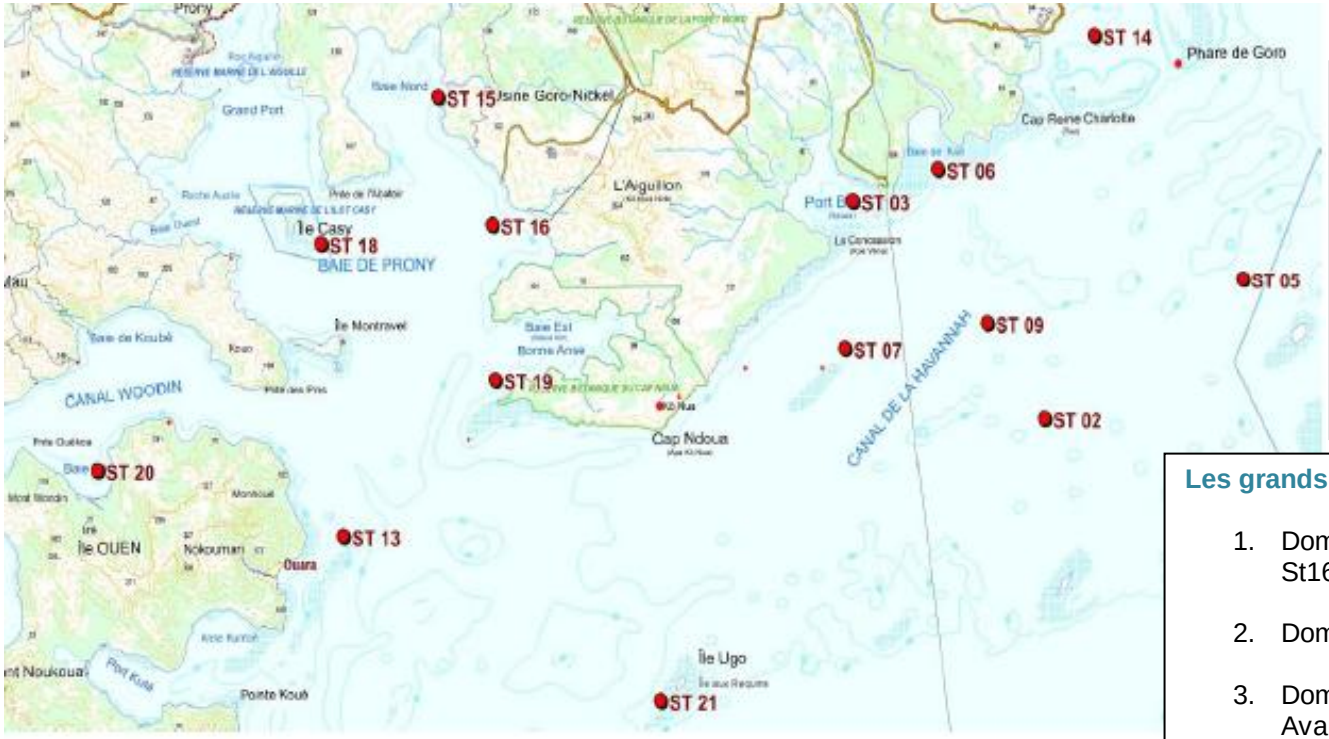
Si l'on compare avec la démarche du guide ZoneNeCo, qui donne des grilles de comparaison (et en aucun cas des seuils réglementaires), on obtient par exemple (sur une centaine de relevés selon les stations) :

- **En zone témoins ilot Kié** : 100% des mesures ponctuelles sont en catégorie « milieu non-Perturbé » pour le Ni et le Mn et cependant 4% des mesures du Cr VI sont en catégorie « Modérément perturbé ». La tendance évolutive quant à elle indique un milieu stable de bonne qualité de l'eau.
- En zone proche du diffuseur, dans le canal de la Havannah : 100% de tous les relevés en Mn, CrVI et Ni sont dans la catégorie « non perturbée », si l'on ne se référait qu'au guide zone Eco de façon ponctuelle aurait une eau bien meilleure près du diffuseur qu'en zone témoin. L'analyse raisonnée et temporelle indique une eau de bonne qualité sur les deux zones.
- En baie Kué sous très forte influence terrigène : si l'on considère l'ensemble des relevés on obtient 78% des relevés dans la catégorie « non perturbée » et seulement 4% des relevés sont dans la catégorie « Fortement Perturbée – par apports terrigènes- » pour les indicateurs Ni, Mn et Cr VI.

  Il y a 0% de relevées Cr VI en catégorie fortement perturbée.
- En Baie du Prony au niveau de la station au sud du Creek Baie Nord : si l'on considère l'ensemble des relevés on obtient 64 % des relevés dans la catégorie « non perturbée » et seulement 8% des relevés sont dans la catégorie « Fortement Perturbée – par apports terrigènes- » pour les indicateurs Ni, Mn et Cr VI.

Et pour ces deux dernières stations côtières sous influence Vale NC, il convient de les comparer à des stations côtières sous influence terrigène mais hors zone d'influence Vale NC et on obtient des % comparable.

Figure 29: Rappel de la position et de la nomenclature des stations suivies



Localisation	Station	Profondeur (m)
Basse Chambeyron	St02	33
Baie Port Boisé	St03	29
Ilot Kié	St05	34
Récif de la Baie Kwé	St06	20
Récif loro	St07	41
Canal de la Havannah	St09	47
Pointe Nord du récif Ma	St13	35
Port de Goro	St14	37
Prony Creek Baie Nord	St15	25
Prony Wharf	St16	44
Prony Ilot Casy	St18	26
Rade de l'est	St19	38
Baie Iré	St20	25
Ilot Ugo	St21	36

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 qui entourent le diffuseur sont : St09, St07 et St02

Les figures suivantes présentent l'évolution temporelle des concentrations en métaux Entre 2007 et 2013

Figure 30 : Evolution des concentrations en Cobalt (Co) aux stations sentinelles entre 2008 et 2013 en saison fraiche (Aout)

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

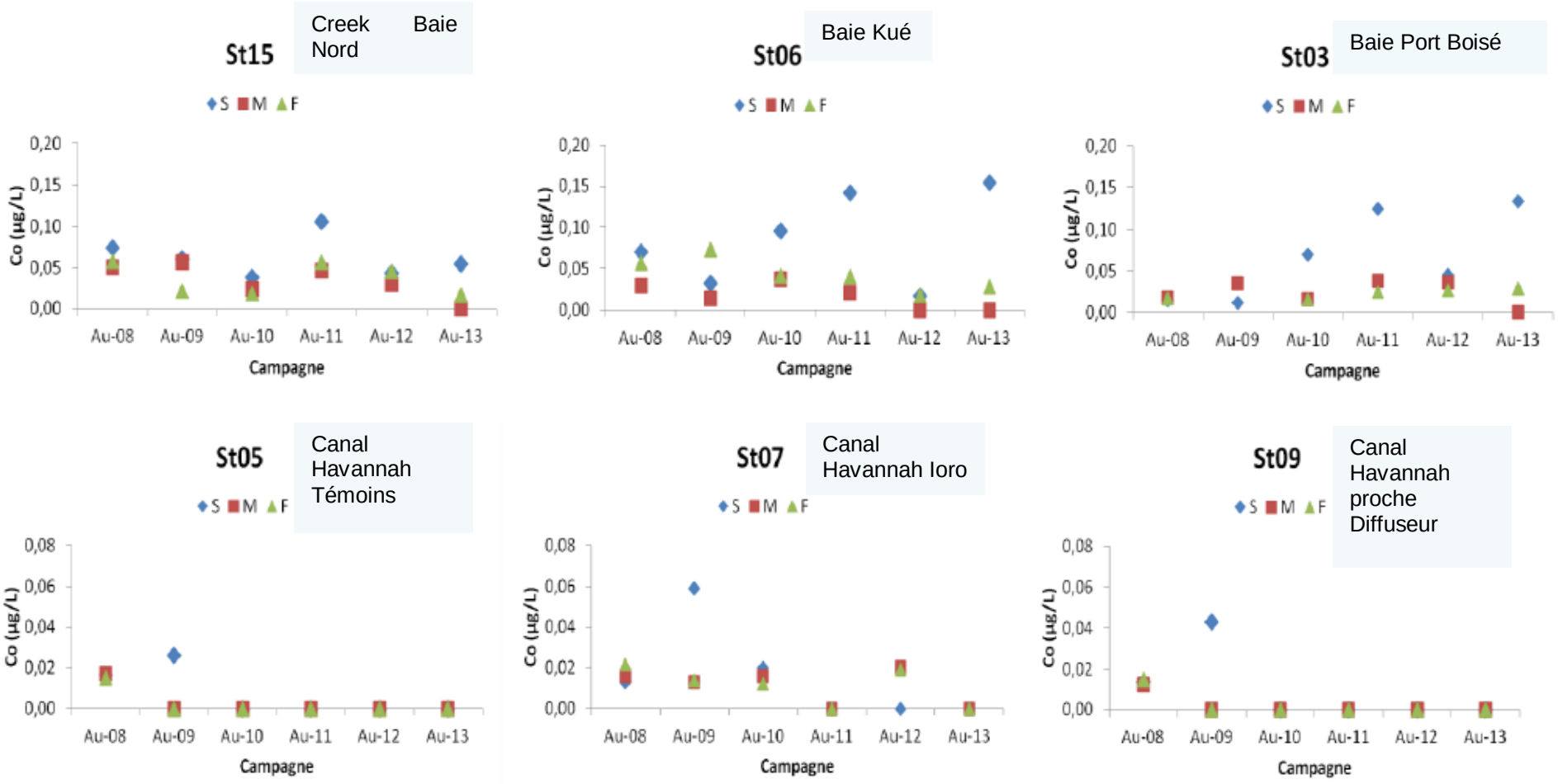
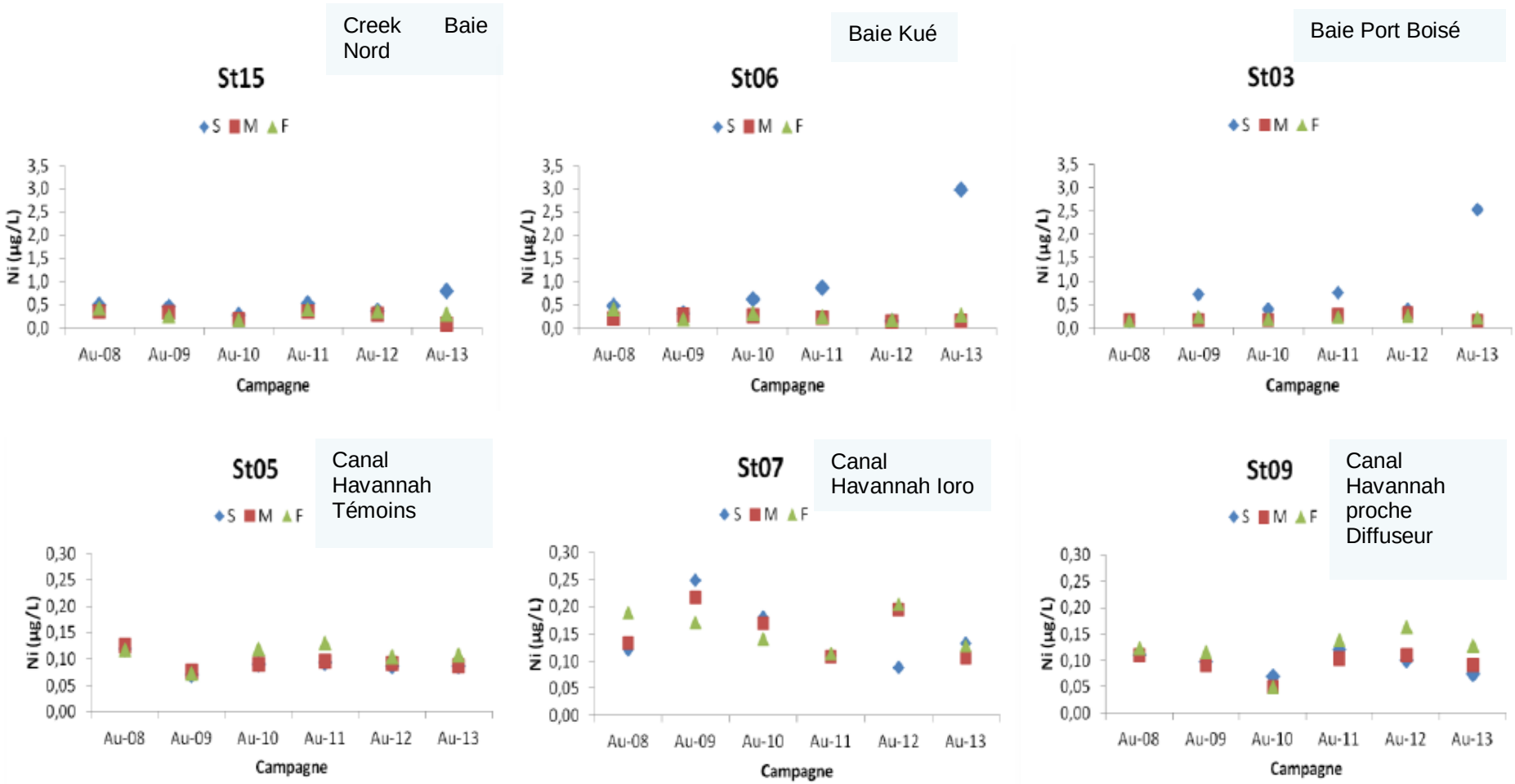


Figure 31 : Evolution des concentrations en Nickel (Ni) aux stations sentinelles entre 2008 et 2013 en saison fraiche (Aout)



Remarquer la similitude entre la baie de Port Boisé et la Baie Kué

Figure 32 : Evolution des concentrations en Manganèse (Mn) aux stations sentinelles entre 2008 et 2013 en saison fraiche (Aout)

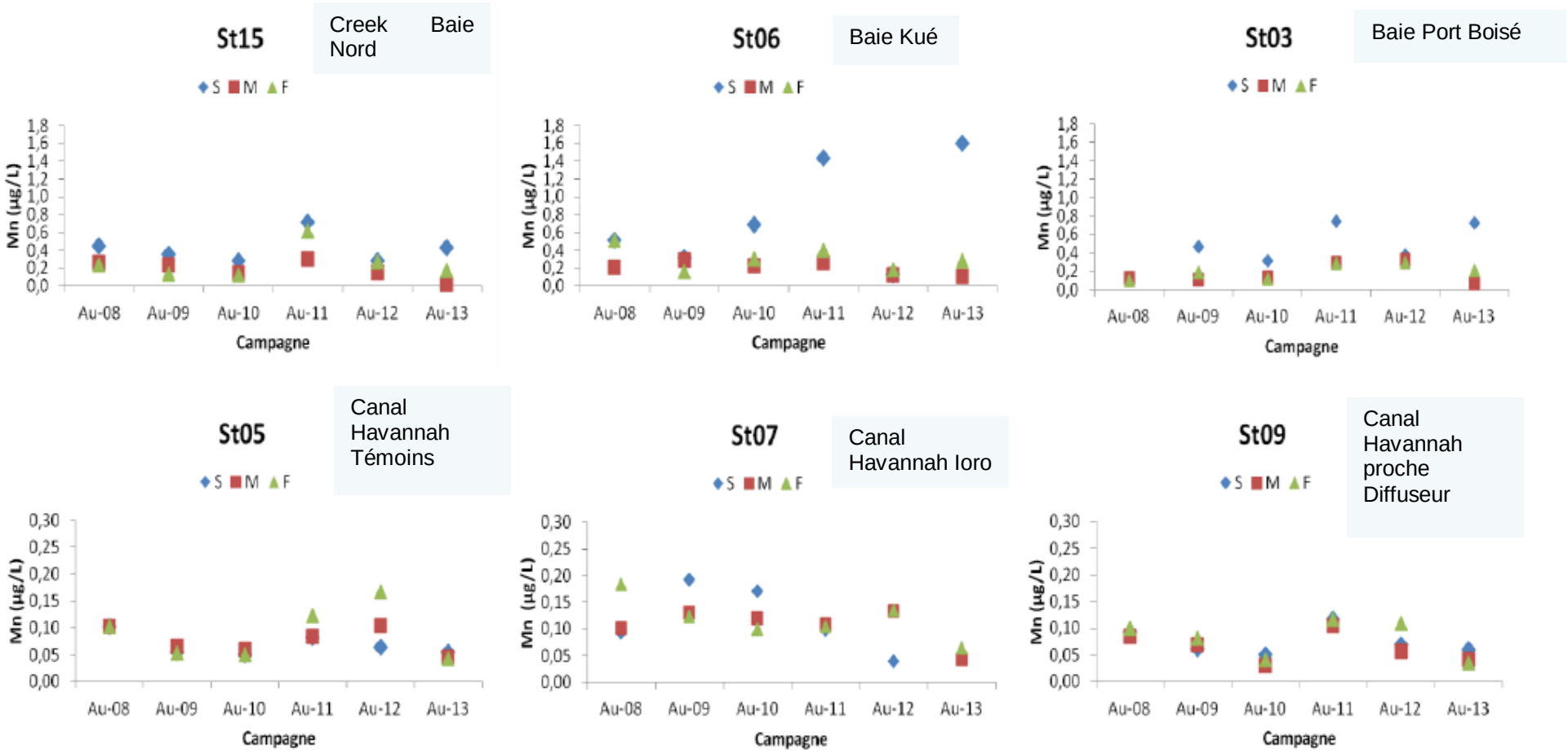
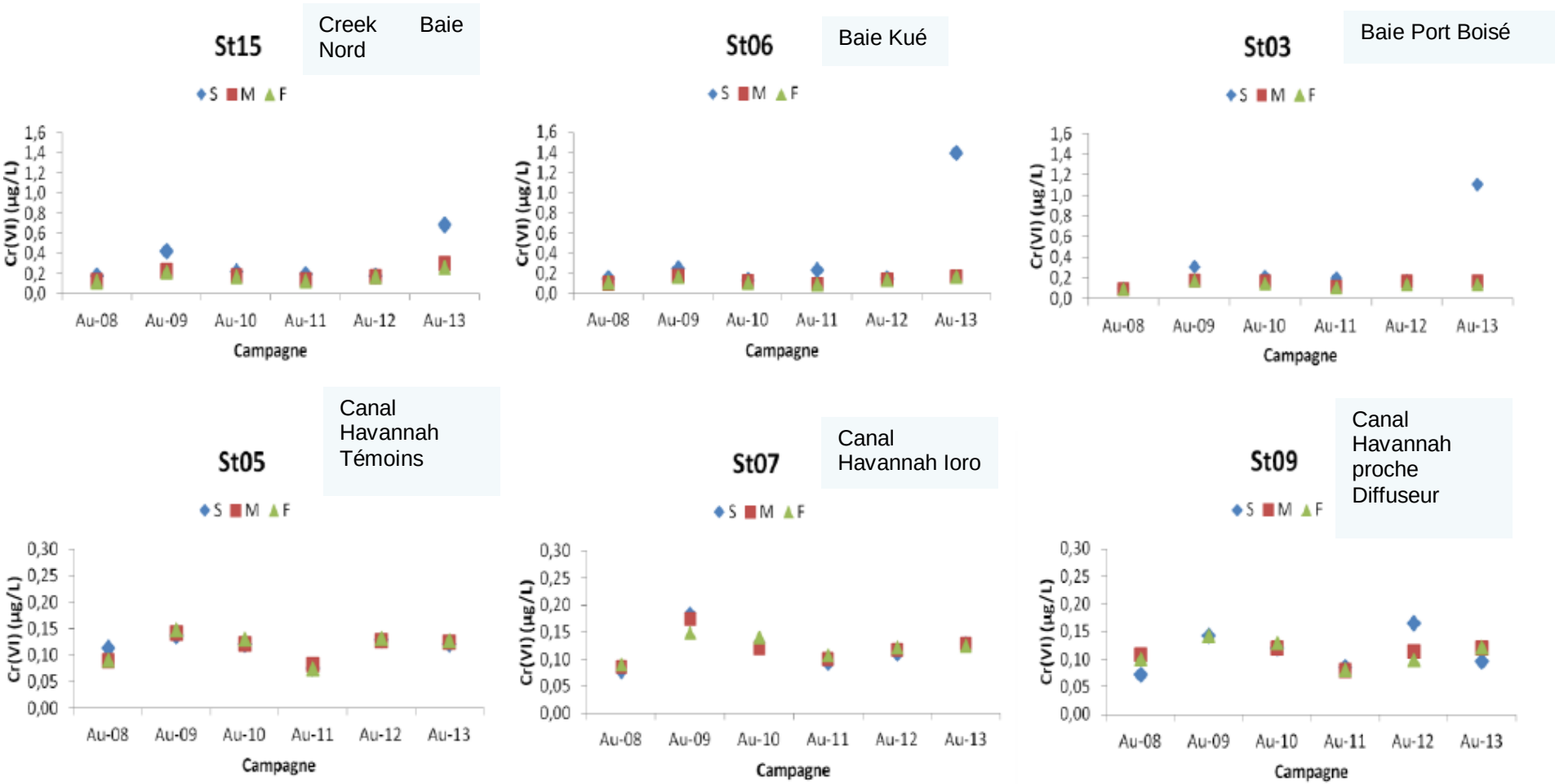


Figure 33 : Evolution des concentrations en Chrome hexavalent (Cr VI) aux stations sentinelles entre 2008 et 2013 en saison fraiche (Aout)

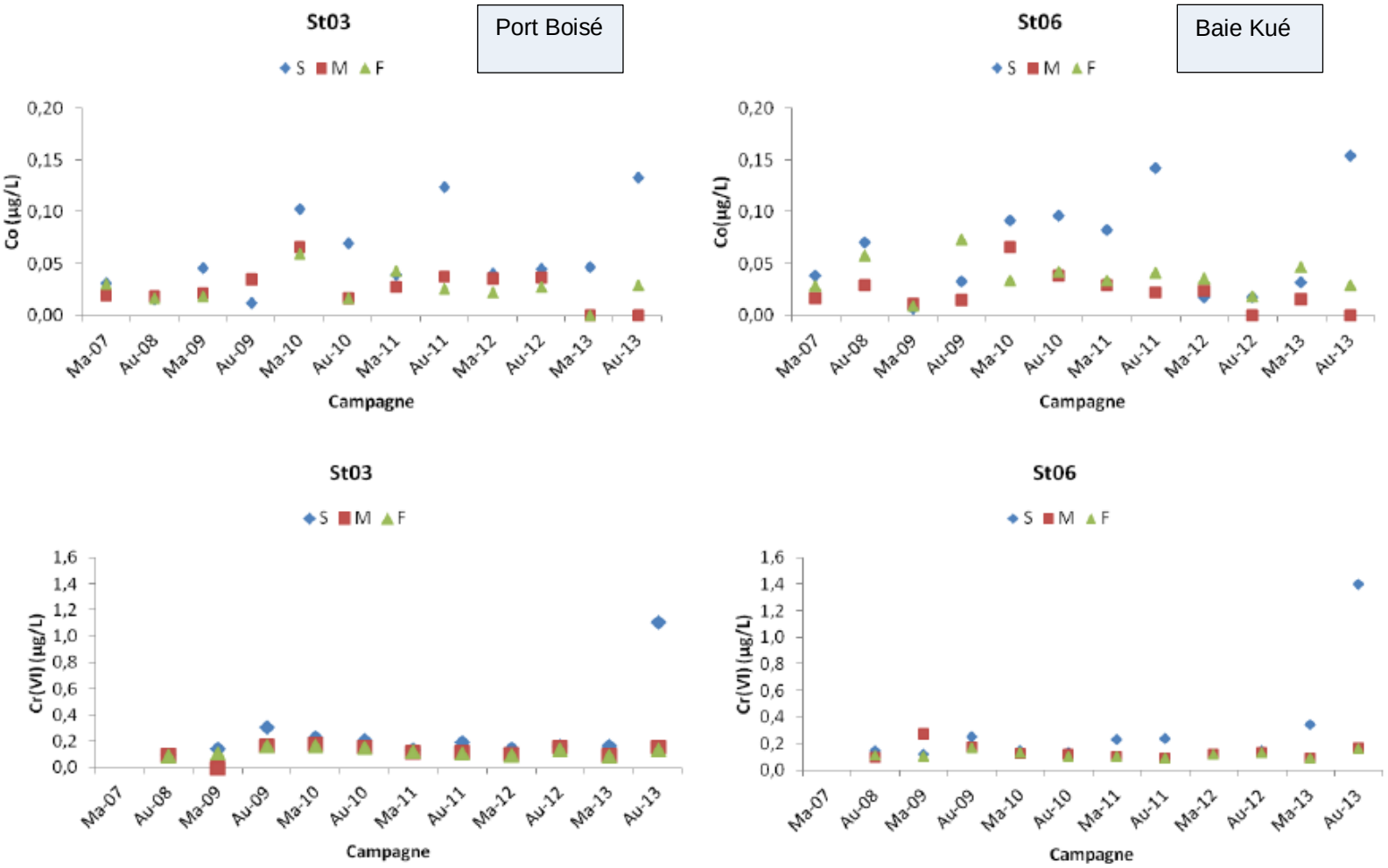


Rappel : les données intégrales sont en annexe de ce rapport.

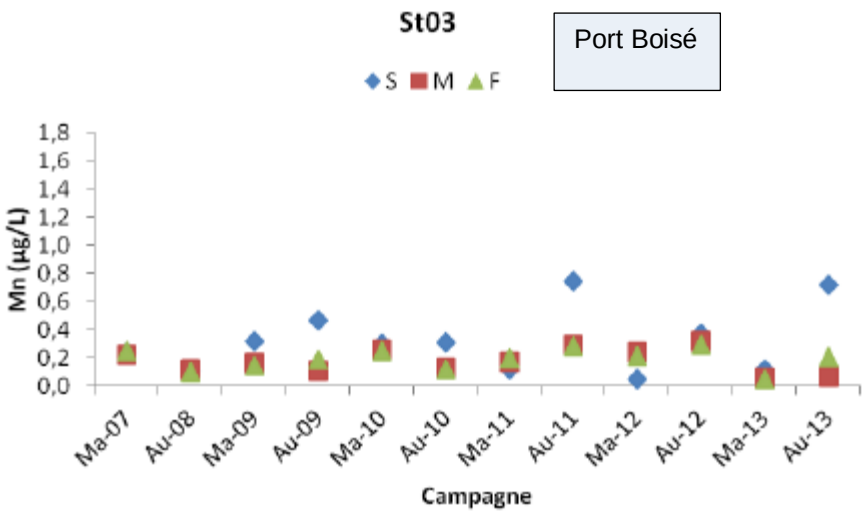
Figure 34 : Concentrations en Co, CrVI, Mn et Ni aux deux stations cotières au comportement similaire en 2013 : <u>Port Boisé St03 et Baie Kué St06 entre 2007 et 2013</u> , quelque soit la saison

PORT BOISE St03

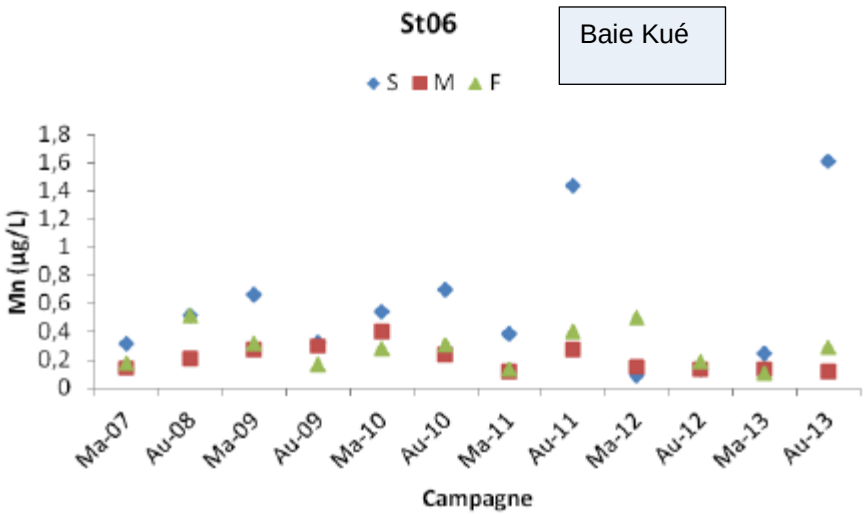
BAIE KUE St06

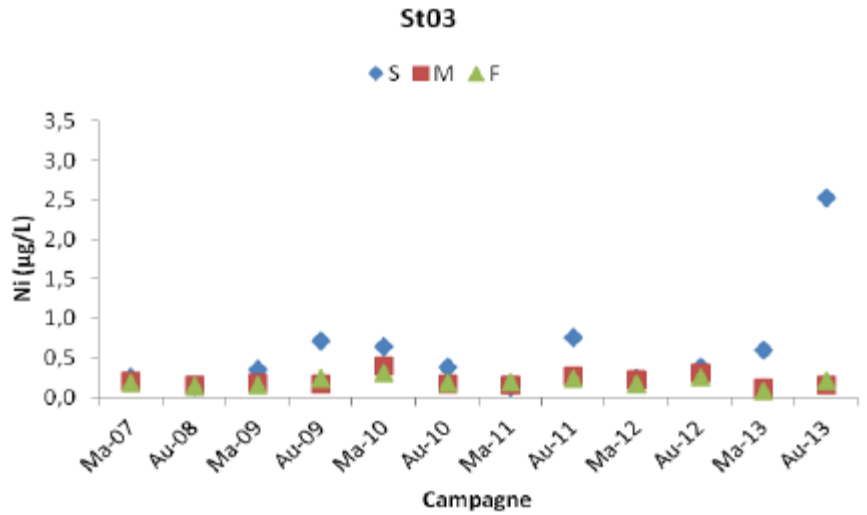


Port Boisé St03



Baie Kué St 06





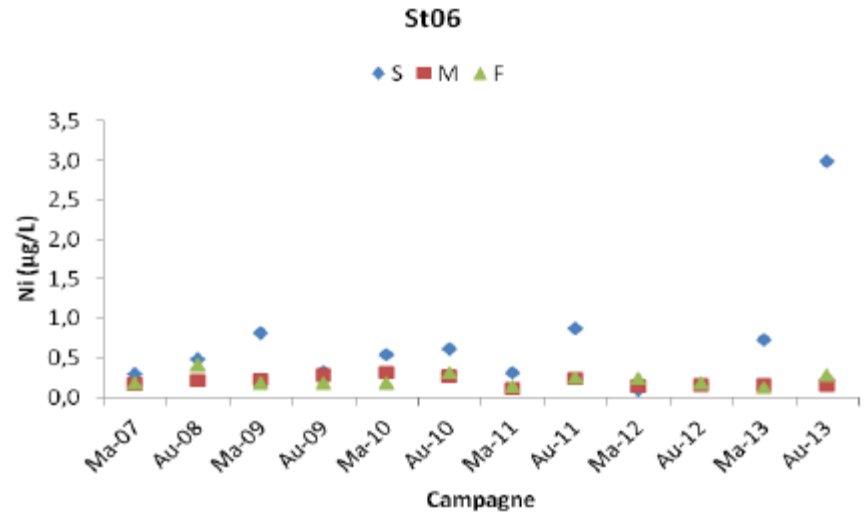


Figure 35 : Concentrations en Co, CrVI, Mn et Ni sur la station de la <u>baie du Prony proche du creek Baie Nord</u> (St15) entre 2007 et 2013 , quelque soit la saison

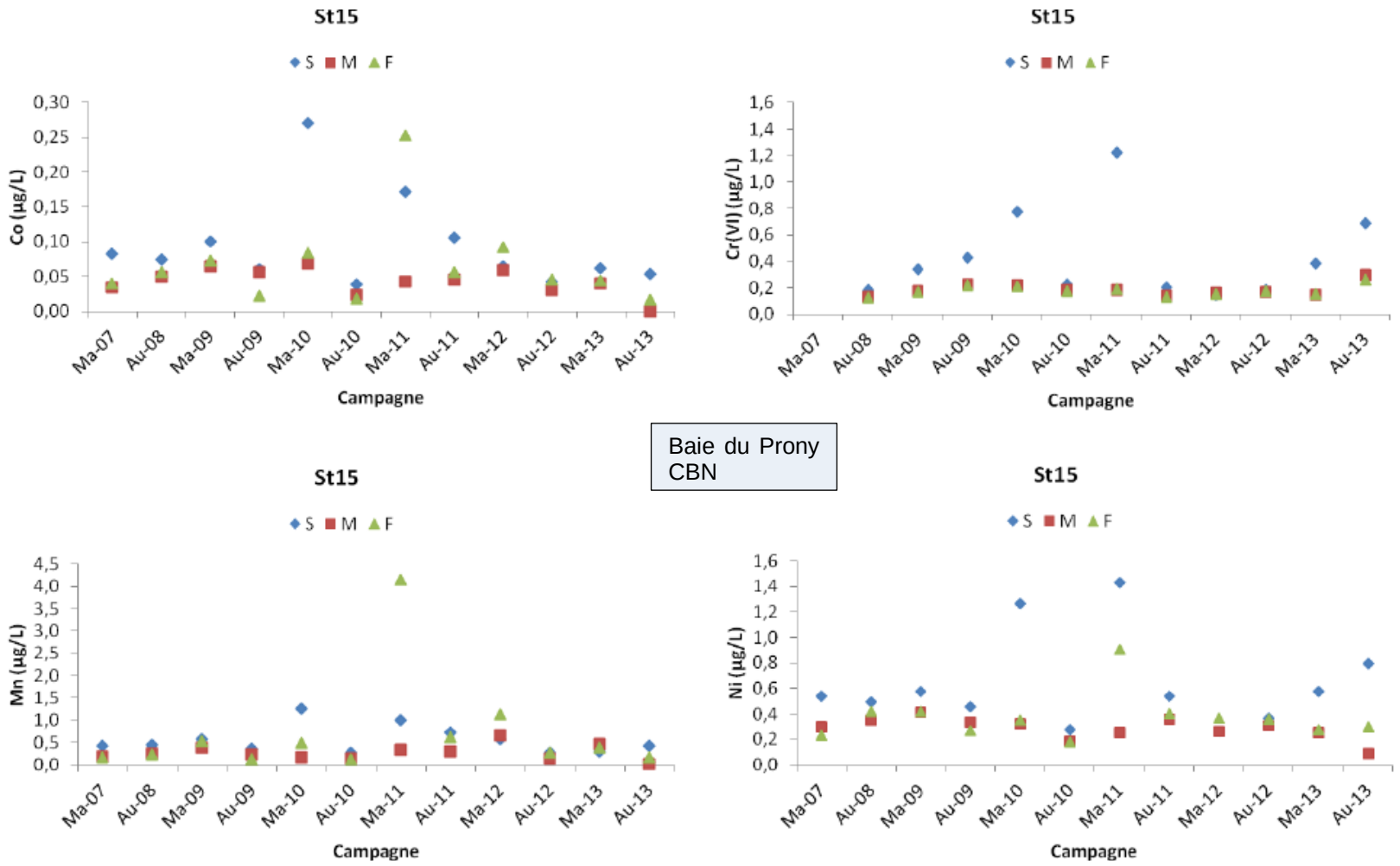
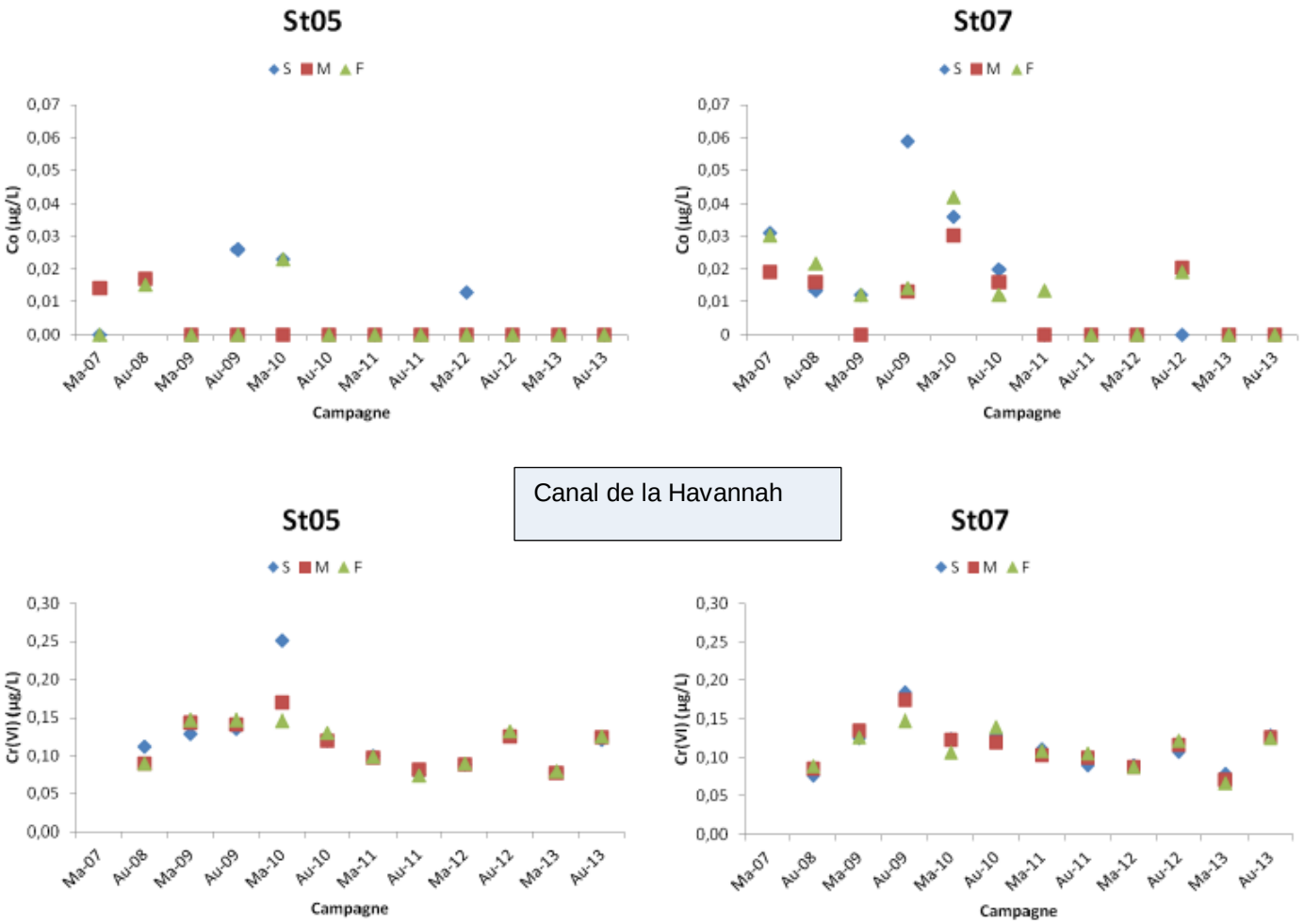
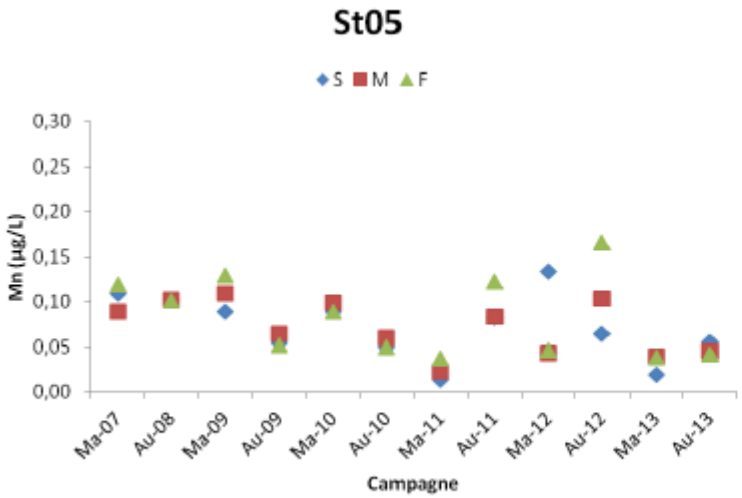
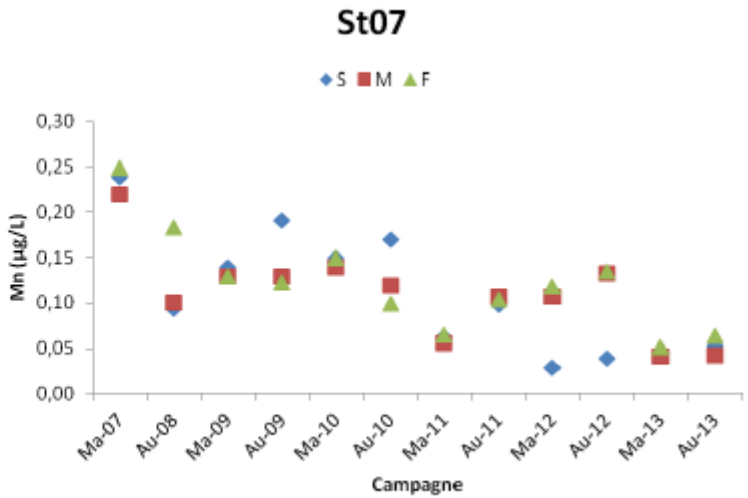


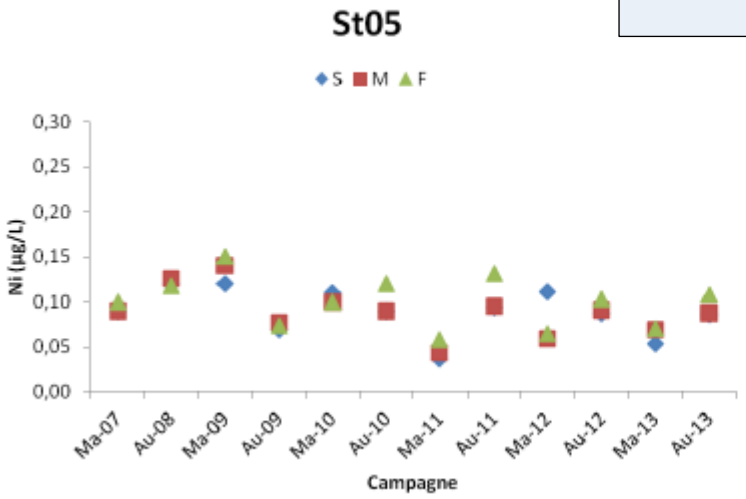
Figure 36 : Concentrations en Co, CrVI, Mn et Ni squr la station témoins du canal de la Havannah : ilot Kié (St 05), et au niveau du récif Ioro (St 07) entre 2007 et 2013 , quelque soit la saison







Canal de la Havannah



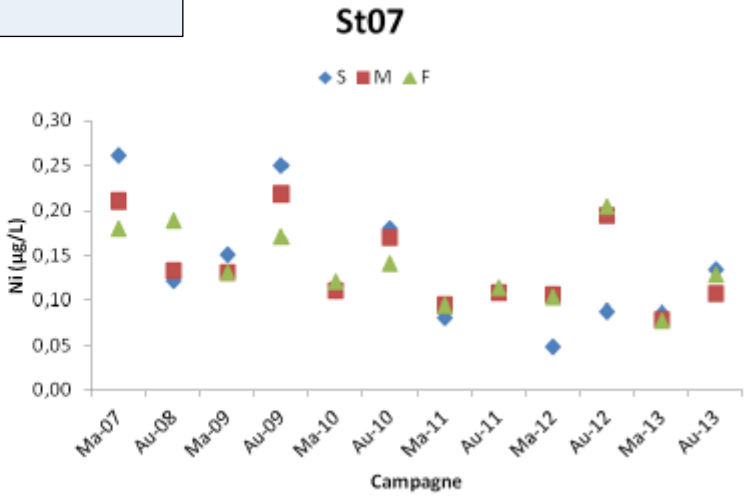
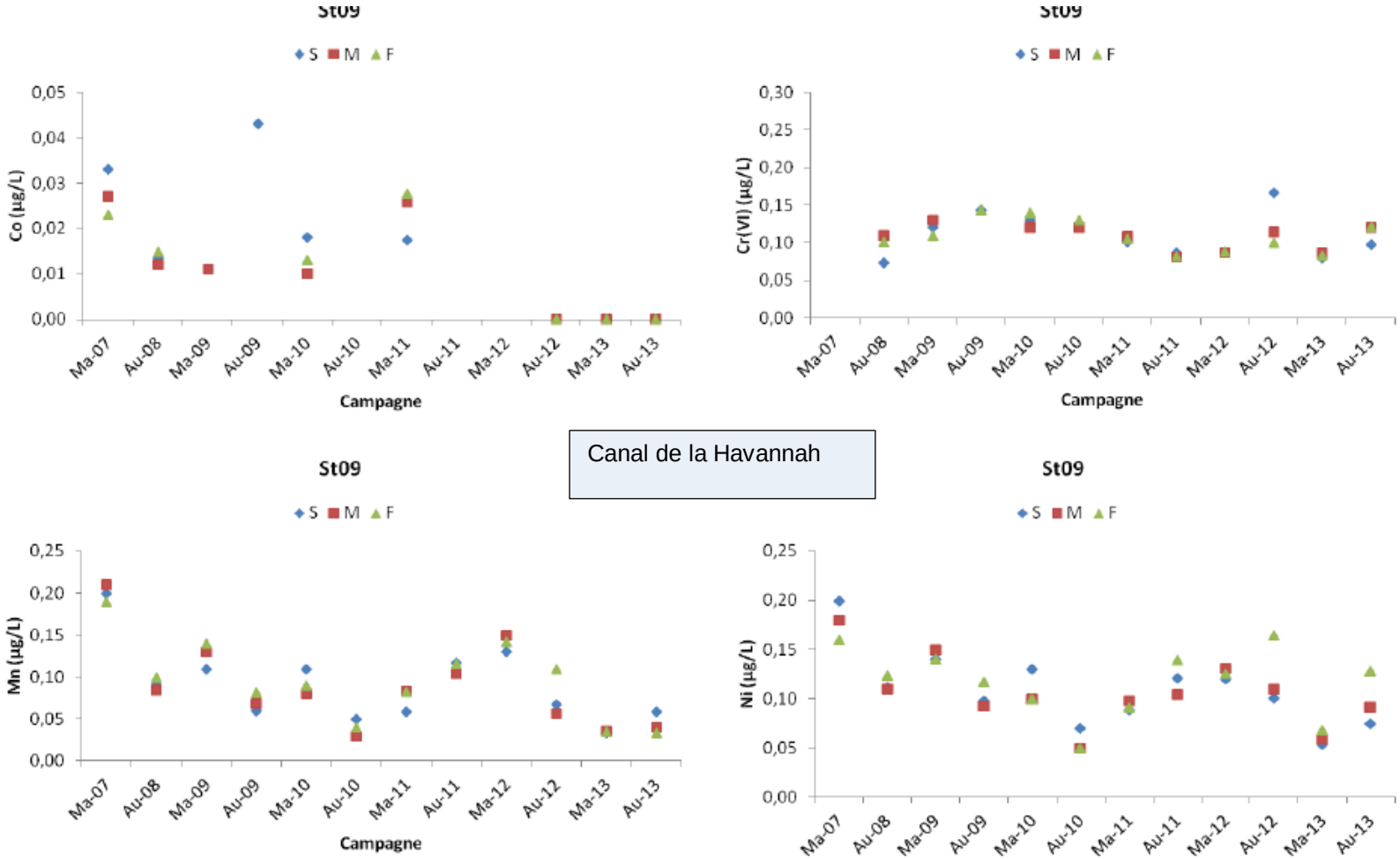


Figure 37: Concentrations en Co, CrVI, Mn et Ni squr la station du canal de la Havannah proche du diffuseur (St09) entre 2007 et 2013 , quelque soit la saison



Les stations proches du diffuseur n'enregistrent pas de modification des paramètres physico-chimiques, ni en surface ni en profondeur.

Au cours de la campagne du second premier 2013, il n'apparait aucune non-conformité aux valeurs attendues, par rapport aux valeurs des états de référence et des campagnes précédentes.

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

3.2.2. Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées

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

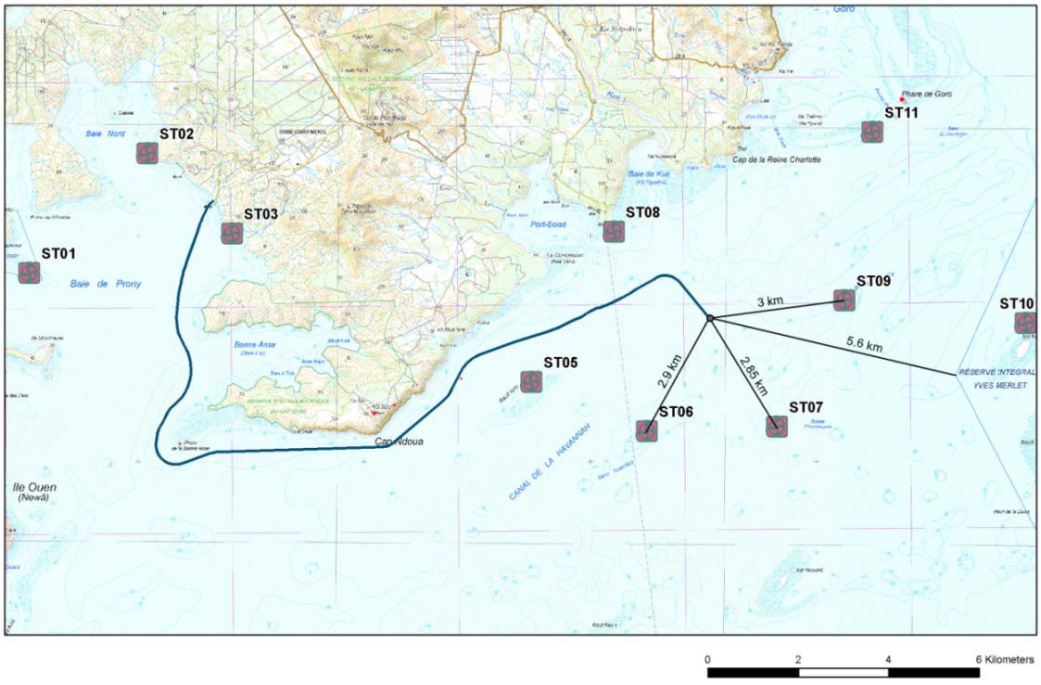
La mission du second semestre 2013 a eu lieu septembre 2013

Pour 12 stations à évaluer, le temps imparti pour conduire une mission rigoureuse de suivi est de 6 jours au minimum.
En 2013 les conditions météorologiques ont été difficiles et la mission a dû être interrompue. Elle a eu lieu du 25 au 30 septembre.

Tableau 24 : Caractéristiques et position des stations et de leurs transects et carte associée

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

Suivi Stations Eco Marine



3.2.2.1. Rappels météorologiques

Il convient de se remémorer qu'en janvier 2011 le cyclone *Vania* et de forts épisodes dépressionnaires (dépression *Zelia*) avaient affecté le milieu en laissant des traces significatives sur les écosystèmes notamment les récifs coralliens des *transects* les moins profonds.
En 2013 deux épisodes météorologiques forts (exceptionnels car de récurrence supérieure à 10 ans) ont été subi : le cyclone *Freda* le 2 janvier 2013 et le très fort épisode pluvieux du 2 juillet 2013.

- **En mars 2011** : Un mois après Zélia, il avait été observé des modifications dans la composition des biocénoses benthiques. Des dégradations mécaniques dues au fort hydrodynamisme étaient nettement observées et particulièrement marquées pour les niveaux bathymétriques supérieurs du canal de la Havannah, les plus soumis aux agents dynamiques.
  L'indicateur corallien (fixe et sensible) avait montré une variation par le 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 des épisodes dépressionnaires (confirmation avec les données météo et la pluviométrie), notamment dans la baie du carénage qui est une zone témoins (colonies blanchies encore en place, mortalité importante sur les récifs à proximité des embouchures des creeks et des rivières et sur les *transects* de surface soumis à la dessalure des eaux douce moins denses).
  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.
  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 et surtout 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 environnementale 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 chaine. La résilience des colonies du canal de la Havannah est plus difficile 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.

- **La dépression Freda du 2 janvier 2013** a entrainé une pluviométrie quasi égale à celle de Vania / 2011 mais des vents de moindre force, 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' agit du 6 ^{me} suivi de ce type en baie du Prony).

- **La pluviométrie et les inondations exceptionnelles du 2 et 3 juillet 2013** entrainent des conséquences non pas mécaniques mais du même type que Vania et des missions d'évaluation supplémentaire font suite à cet évènement.

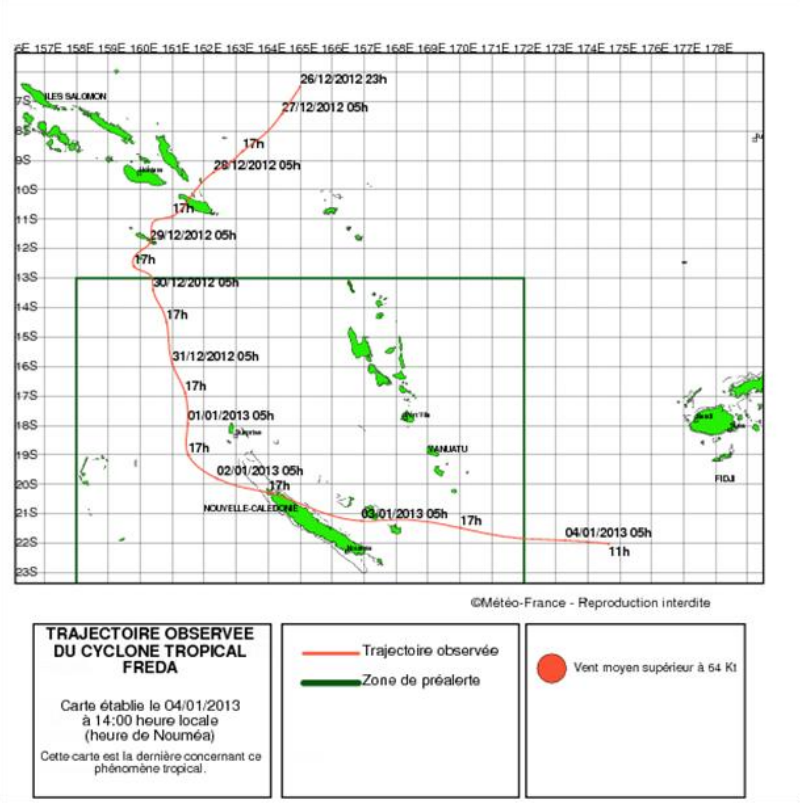
Un chapitre spécifique dédié aux conséquences des deux évènements météorologiques intenses du premier semestre 2013 puis aux pluies exceptionnelles de juillet 2013, il est présenté dans ce rapport : Chapitre 3.2.7

Ci-dessous : La trajectoire observée de la dépression tropicale forte VANIA du 16 janvier 2011

Cyclone VANIA

- **Vents instantanés max : 151.9 km/h (le 14 janvier 2011 entre 3h00 et 4h00)**
- **Pluies : 450.6mm en 24 h sur la mine.**

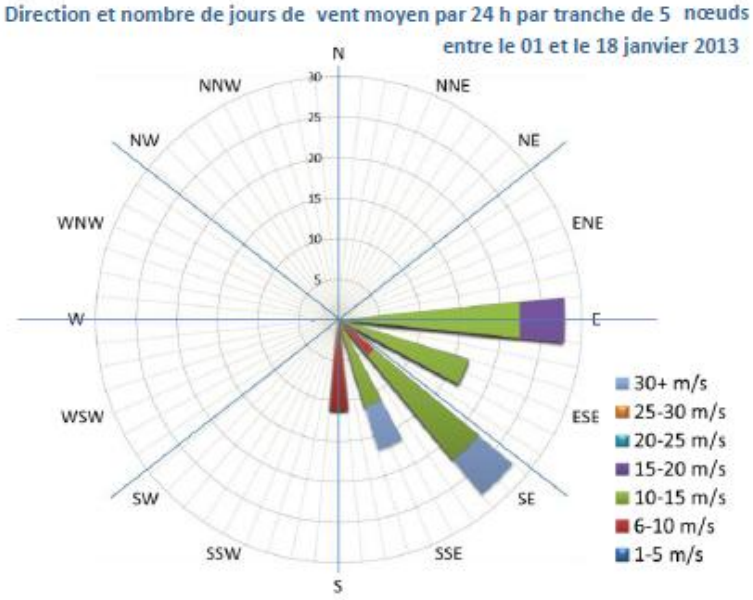
Ci-dessous la trajectoire de la dépression tropicale modérée FREDA qui a touché la Nouvelle Calédonie le 2 et 3 janvier 2013.



Dépression cyclonique FREDA 2013:

- **Vents instantanés max : 121.3 km/h (le 3 entre 23h00 et 00h00) sur l'usine « Pilote » sur site.**
- **Particularité : Vents de secteur S > 25 nœuds**
- **Pluies : 438.4 mm en 24 h sont enregistrés à l'usine.**

Nous pouvons considérer d'après les observations que les pluies de Freda sont homogène sur Goro et qu'il n'y a pas de différence statistique marquée entre l'usine et la mine.



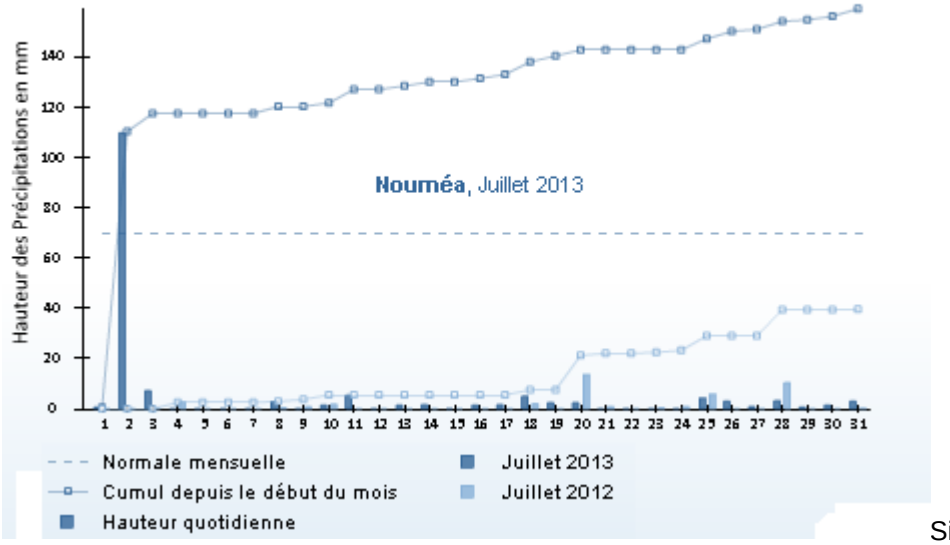
Episode pluvieux exceptionnel de 2 et 3 juillet 2013 :

- **Pluies : maximum de 540 mm / 24 h sur la plaine des lacs.**
- **Sur le plateau de la mine Goro 470mm/24 h et 103mm/1 h**

http://www.meteo.nc/actualites/364-episode-pluvieux-debut-juillet-2013

…. **Jusqu'à 714 mm en 24 heures ! D'après nos estimations statistiques, il semblerait que la durée de retour de tels cumuls soit supérieure à 40 ans. Cette valeur détrône le précédent record de précipitations mesurées sur 24 heures pour une station automatique établie le 21/06/1975 à Poindimié.**

Elle surpasse également la valeur de pluie estimée à Ouinné lors du passage du cyclone GYAN en décembre 1981, environ 630 mm.



Site Meteo France

Le bilan du chapitre suivant présente un état des lieux des stations fin 2013, les données quantifiées sont dans le rapport intégral en annexe de ce document.

L'évolution spatiale et surtout temporelle depuis 2007 est présentée au chapitre qui lui est dédié. L'évolution du blanchissement corallien et de la couverture algale y seront présentées en suppléments des indicateurs de suivis réglementaires.

3.2.2.2. Bilan des observations par station suivie (au second semestre 2013)

La baie du Prony

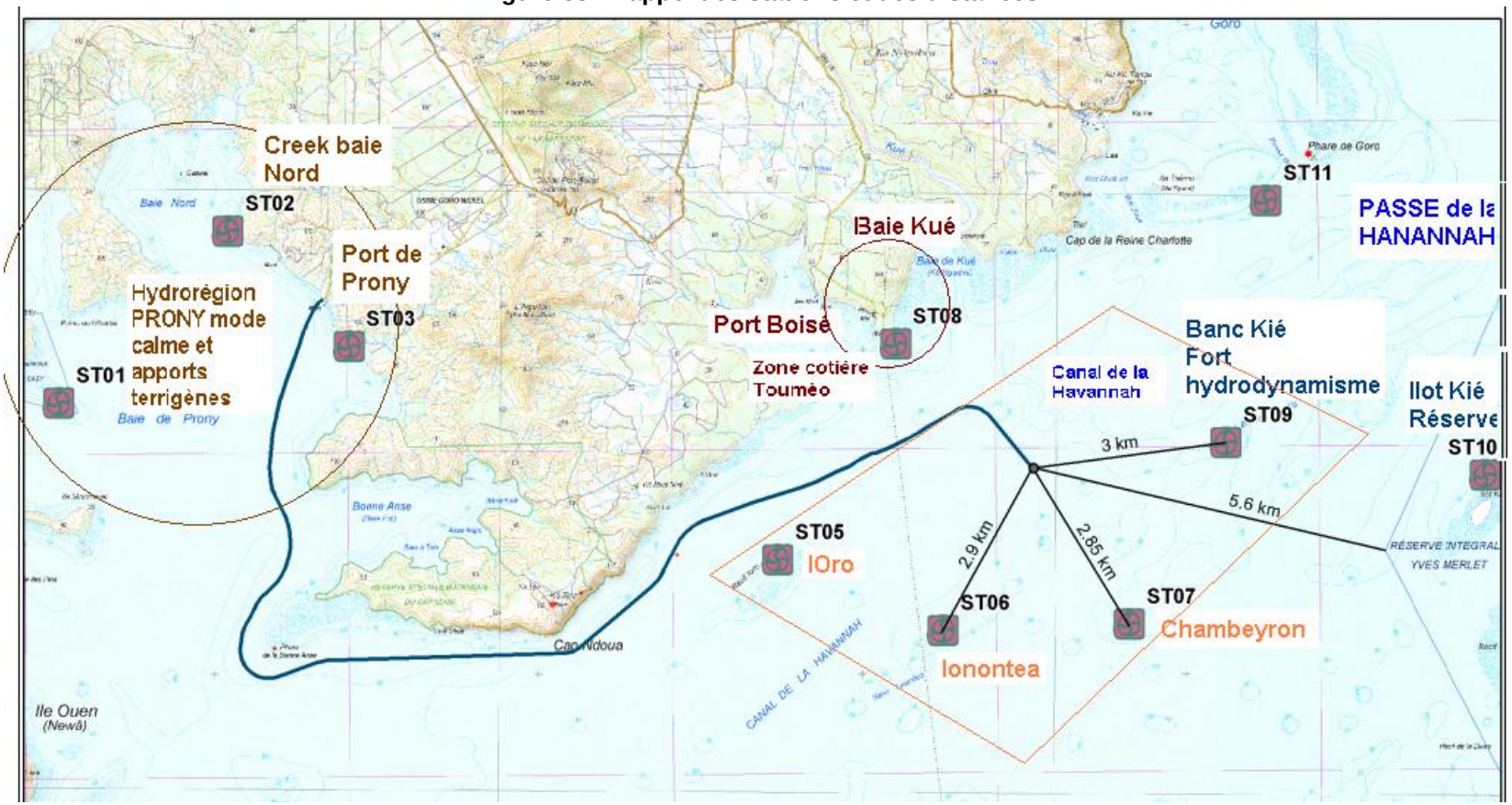
– **La station ST01 (Casy Sud)** : le recouvrement corallien est toujours faible et le sable est dominant. donc en grande majorité abiotique, le transect B de cette station a une faible valeur d'indicateur.
- Hyper sédimentation avec une la faune et une flore qui sont adaptées à cette contrainte comme dans toute la baie du Prony.
- Les algues brunes qui étaient une caractéristique de cette station ont disparu et ne sont pas revenues. Par ailleurs, disparation de toutes les cyanobactéries pour cette mission. ★
- 104 espèces coralliennes recensées soit 20 espèces de plus pour les Scélractinaires (même si en faible % de recouvrement) et 56 esp d'Invertébrés.
- Le suivi de la croissance d'une colonie corallienne géo référencée se poursuit. (2, 5 cm / 6mois, cf. chapitre dédié)
- Recouvrement de tuf algal qui colonise des débris coralliens. (mais plus de cyanobactéries)
- Poissons : densité de 0,58 poissons/m² pour une biomasse de 2,43 g/m².

– **La station ST02 (Creek Baie Nord) présente la richesse spécifique corallienne la plus importante des stations de la baie de Prony** (127 espèces coralliennes dont 121 espèces de scléractiniaires, augmentation de la richesse spécifique en coraux de 7 espèces). Seule une étude attentive et rigoureuse des coraux permet de déceler cette biodiversité; la particularité de ces espèces est l'adaptation des espèces coralliennes aux conditions de sédimentation et de turbidité des fonds de baie. ★
- Absence de de *Culcita novaeguineae* (étoile de mer qui peut consommer du corail, parfois un individu recensé sur cette station, notamment en S2/ 2012) ;
- Absence de cyanobactéries sur cette station. ★
- Présence d'un spécimen de Charonia tritonis (toutoute)
- L'algue brune *Lobophora variegata* reste stable
- Tendance à l'envasement mais espèces adpatées
- Densité de 1.14 poissons/m² pour une biomasse de 21,17 g/m².
- Si l'on s'en tient au peuplement de poissons vu sur les transects et en liste restreinte, la biodiversité semble très faible. La prise en considération de la liste complète montre au contraire un peuplement exceptionnel en biodiversité.

– **La station ST03 à l'Est du port de Prony** montre une originalité des espèces coralliennes adaptées à un milieu turbide (112 espèces) et une hyper sédimentation.
– La richesse spécifique en coraux a augmenté de 12 espèces et des juvéniles sont présents.
- La mortalité corallienne est induite par l'apport d'eau douce au niveau bathymétrique supérieur et par l'hyper sédimentation en profondeur, le turnover est assuré par les juvéniles.
- Absence de *Culcita novaeguineae.*
- Densité de 0.51 poisson/m² pour une biomasse de 2,54 g/m· Indices stables.

La station du port de Prony a un chapitre qui lui est consacré (Cf. chapitre 3.2.5)

Figure 38 : Rappel des stations et des distances



Stations du canal de la Havannah

Le degré d'exposition des habitats à l'hydrodynamisme conduit à distinguer les milieux de mode battu du mode calme. L'agitation de l'eau crée des forces variant en fonction de son intensité (courants de marées, de houle et ressac), les organismes sont sélectionnés sur les récifs du canal de la Havannah et du canal Woodin par leur capacité à résister aux forces d'arrachement. En baie du Prony très calme, ils sont sélectionnés pour leur capacité à résister ou répondre à l'envasement.

Les dégradations sont importantes pour les récifs exposés aux agents hydrodynamiques, tout d' abord en surface puis elles se propagent plus en profondeur par éboulis consécutifs. Si les récifs sont régulièrement soumis à un fort ressac, à la houle et aux courants de marée, alors les espèces sont adaptées et résistent mieux aux perturbations dépressionnaires (c'est le cas de la station sur **le banc Kié ST09** qui est exceptionnelle par la force hydrodynamique qui façonne son écosystème).

- **La station en réserve Merlet (ST10 îlot Kié)** reste exceptionnelle à tout point de vue des indicateurs
  - La maladie de la bande blanche qui affecte les coraux a été signalée en réserve Merlet depuis deux ans et demi (et ailleurs en Nouvelle-Calédonie). Ce sont les suivis très attentifs du lagon, renforcés au niveau du corail depuis quelques années, qui ont permis de mieux appréhender les maladies du corail qui existaient certainement, avant qu'on ne les surveille.
  - Le blanchiment corallien affecte aussi cette station.
  - Recrutement corallien important, récif en régénération après Freda
  - Recouvrement en cyanobactéries faible.
  - Des traces de passage d'une étoile d mer Acanthaster (mais aucune étoile corallivore aperçue)
  - Richesse remarquable, comme sur le banc Ionontea, d'un point de vue ichytofaune : Sur l'ensemble des transects de la station, 1 325 individus appartenant à 54 espèces différentes (chiffre le plus important de toutes les stations) ont pu être observés. Ils représentent une densité de 3.49 poissons/m² pour une biomasse de 1 794.95 g/m². 148 espèces supplémentaires (hors des transects et hors liste restreinte ont été observées sur la station.

- **La station côtière ST08 (Puka)** est dégradée depuis la mission de mars 2011 (tempête tropicale Vania). De plus, de nombreuses colonies montrent les signes distinctifs de maladies (bandes blanches) et anomalies de croissance, elle ne « récupère » pas comme les autres stations.
  - Mortalité de coraux tabulaires retournés et nombreux débris coralliens dus à des forces hydrodynamiques, cette affectation due aux dépressions cycloniques est normale, diminution de la richesse spécifique corallienne de 1 espèce.
  - Le blanchissement corallien a augmenté et affecte 47/93 espèces de scléractiniaires (50.5%) mais le recouvrement en espèce blanchi est faible (2.15%), cette affectation est dues aux eaux douces côtières, notamment en juillet 2013.
  - Le corallivore *Drupella cornus* a une abondance importante et des maladies coralliennes sont observées.
  - Cependant des colonies de coraux juvéniles sont observées
  - Développement de turf algal et de cyanobactéries (sans bloom mais à surveiller)
  - Pour les poissons: densité de 0.64 poisson/m² pour une biomasse de 12.87 g/m².
    Ce sont des valeurs de densité et de biomasse faibles depuis septembre 2010 et encore plus faibles qu'au premier semestre 2013. Toutefois, cette station n'a jamais été riche et ces deux paramètres y sont assez stables puisque les variations ne dépassent pas 150 % ce qui est peu par rapport variations en dents de scie d'autres stations du Canal. La biodiversité est toujours voisine de la moyenne, un peu basse mais rien d'alarmant.
  - Un plan d'évaluation rapprochée et approfondie est en cours pour ST08.

- **Les stations dans le canal de la Havannah :** ST 05, ST 06, ST 07, et ST 09 : ne présentent aucune non-conformité à l' égard des 10 suivis précédents. La maladie de la bande blanche sur les coraux est détectée, comme partout ailleurs.
- Les cyanobactéries sont présentes (mais sans bloom)
- Pas d'attaque d'étoiles de mer dévoreuses du corail mais des Drupella observées
- *Transects* inférieures souvent peu représentatifs

- Bonne santé et richesse en ichtyofaune, surtout du banc Ionotea qui rivalise avec la réserve Merlet

- **La station ST06 d'Ionontea :** est la plus proche du diffuseur (et dans la direction de la diffusion par marée montante) elle rivalise avec la réserve Merlet pour ses indices « poissons » très importants, sa biodiversité a une tendance à la hausse au niveau des poissons.

  Elle est sur le récif corallien le plus proche du diffuseur ce qui n'est pas affectant ni décelable.

- **Aucune espèce exogène n'a été observée**

Autres stations et stations témoins

- **La station UGO (ST12**) : comme sur les autres stations du canal le cyclone Freda a laissé ses traces par des débris coralliens qui dévalent des pentes
- Blanchissement corallien et maladie de la bande blanche sur quelques colonies, mais pas de Drupella.
- Cyanobactéries
- D'un point de vue ichtyologique cette station ne peut pas rivaliser avec la richesse de la réserve Merlet et du banc Ionotea , son indice annuel « poissons » est stable.

- **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 »
- 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…
- Le tuf algal se développe sur les débris coralliens
- Parmi les espèces d'invertébrés qui peuvent affecter le corail : le corallivore *Drupella cornus* est présent.
- Au niveau des poissons : Sur l'ensemble des transects de la station, 412 individus appartenant à 37 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 1.64 poissons/m² pour une biomasse de 52.11 g/m². 94 espèces supplémentaires (hors des transects et hors liste restreinte ont été observées sur la station.

- **La station du canal Woodin (ST04) :** Mêmes remarques : effondrements coralliens dus au fort hydrodynamisme renforcé par Freda, blanchissement corallien et maladie de la bande blanche sur quelques colonies,
- Cyanobactéries : Cette station était la seule à n'en avoir jamais montrées. Elle en présente en septembre 2013.
- Indices poissons en dents de scie au fil des missions sans traduire un rythme ni un changement.

Les 12 stations sont décrites transect par transect dans le rapport intégral en annexe de ce bilan semestriel.

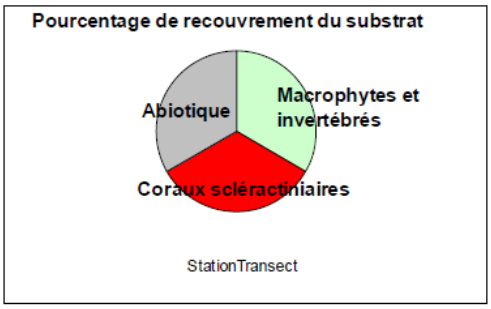
Une moyenne globalisant les transects d'une même station ne doit pas être effectuée car ils ne sont pas des duplicats l'un de l'autre.

3.2.2.3. Comparaisons spatiales entre stations

De façon synthétique, il est possible de présenter les résultats de la mission de suivi du mois d'avril 2013 sur des cartes à vocation de **présentation synoptique** (sujettes à évoluer selon les besoins). Un exemple est donné ci-après.

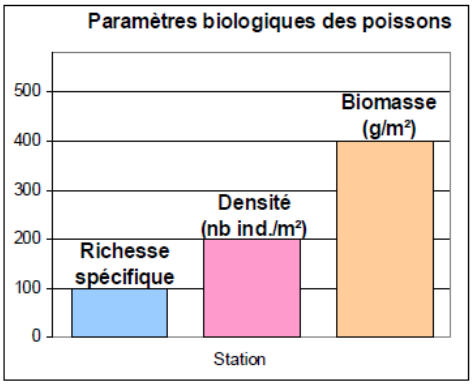
Ces représentations sont données dans le rapport intégral

Figure 39: Représentation cartographique – légende



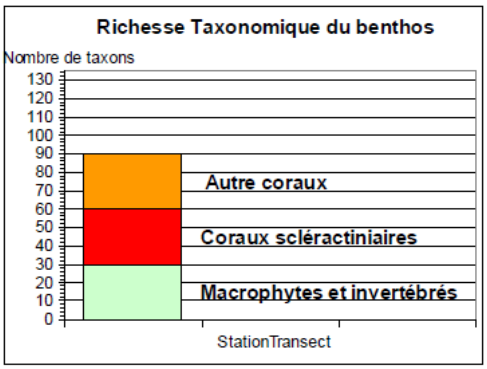
La légende de cette carte indique :

Le SUBSTRAT : camembert présentant le pourcentage
- Abiotique (en gris) du LIT sur chaque *transect* et à chaque station ;
- le pourcentage de coraux durs (Scléractiniaires) en rouge
- et les Macrophytes (algues) et Invertébrés.



Les POISSONS : histogramme présentant :
- la richesse spécifique,
- la densité et
- la biomasse

Sur liste restreintes règlementaires et par station.



Le BENTHOS : en nombre de taxons par couloir d'inventaire sur chaque *transect* de chaque station avec :
- les coraux durs (Scléractiniaires) en rouge,
- les autres coraux et les
- Macrophytes (algues) + autres invertébrés.

Figure 40 : Résultats de la campagne de suivi, septembre 2013. Baie du Prony : Ilot Casy ST01, baie Nord /Creek baie Nord ST02 et Port de Prony ST03

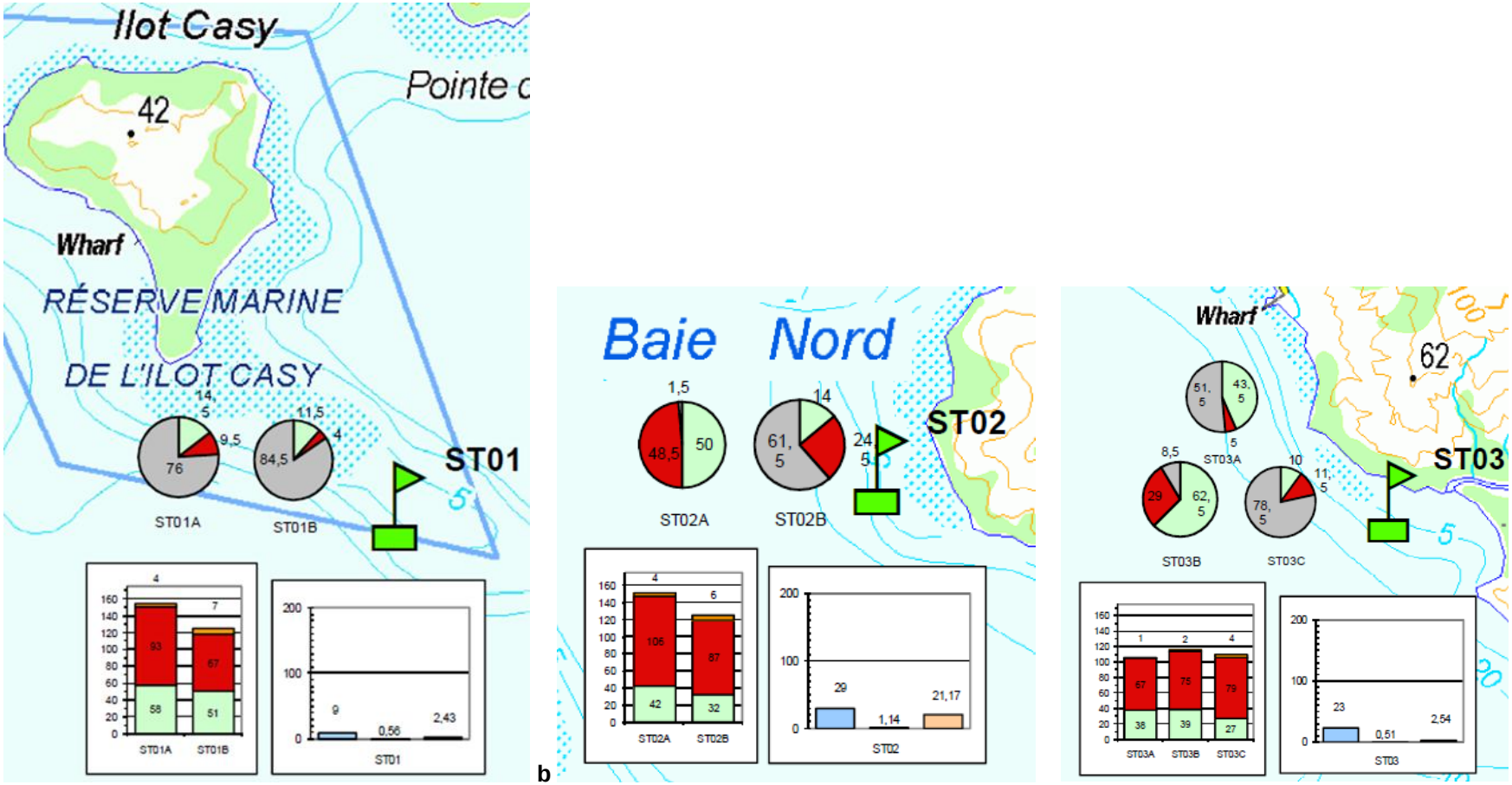


Figure 41: Résultats de la campagne de suivi, septembre 2013 (canal de la Havannah)

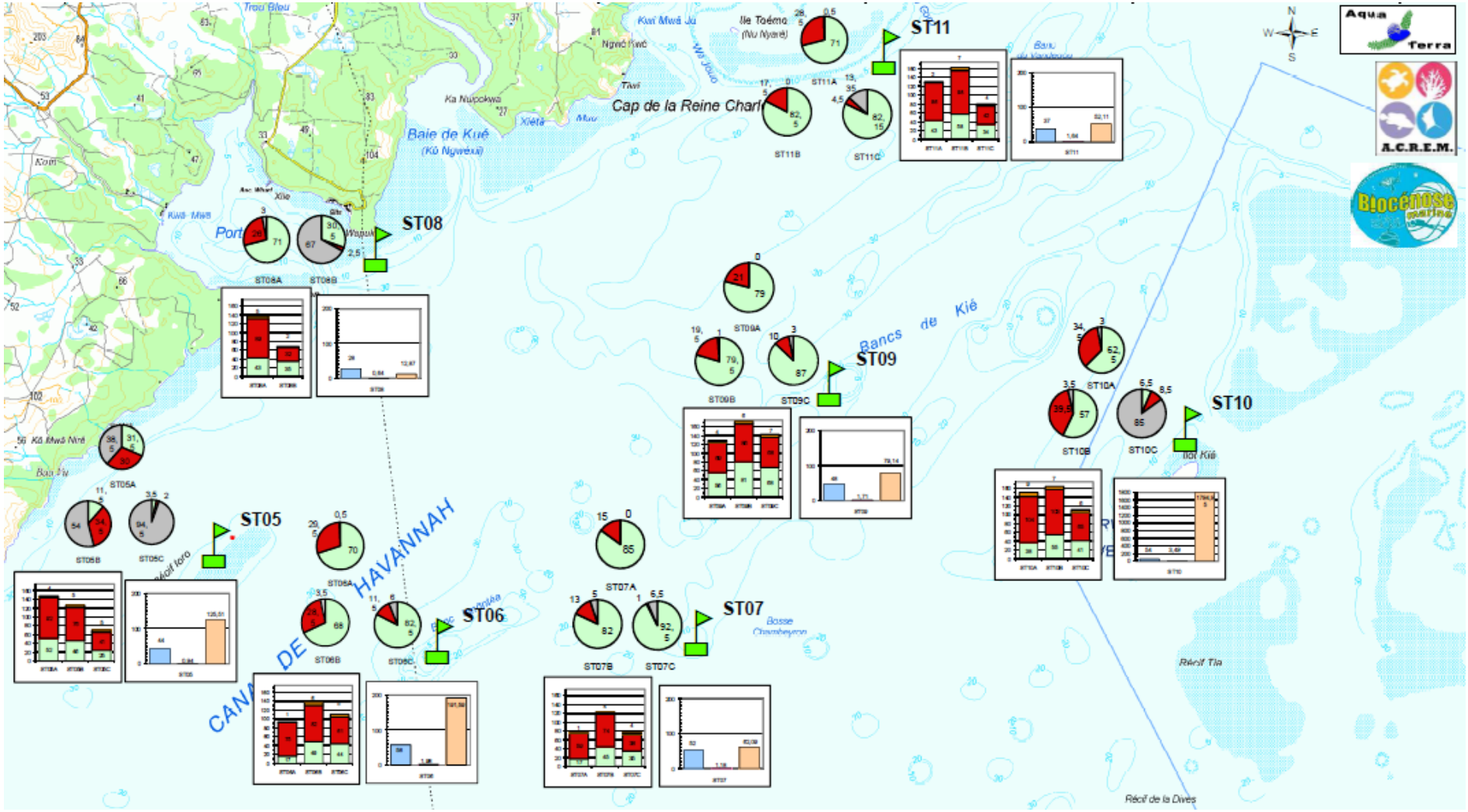
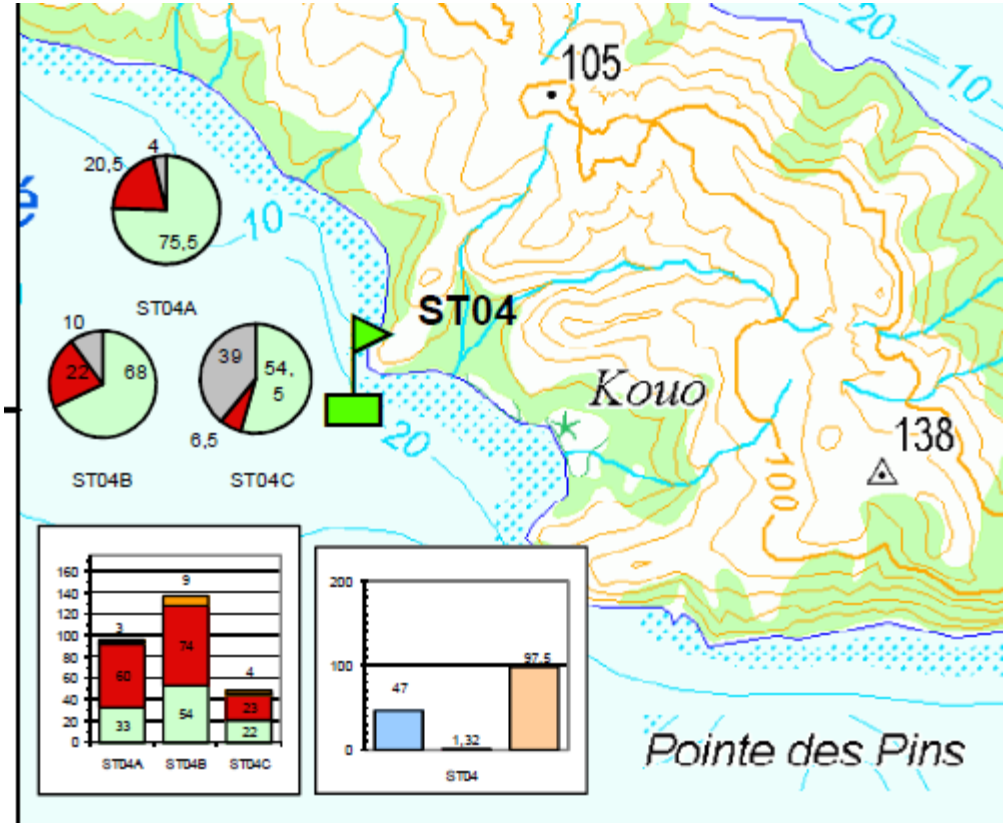
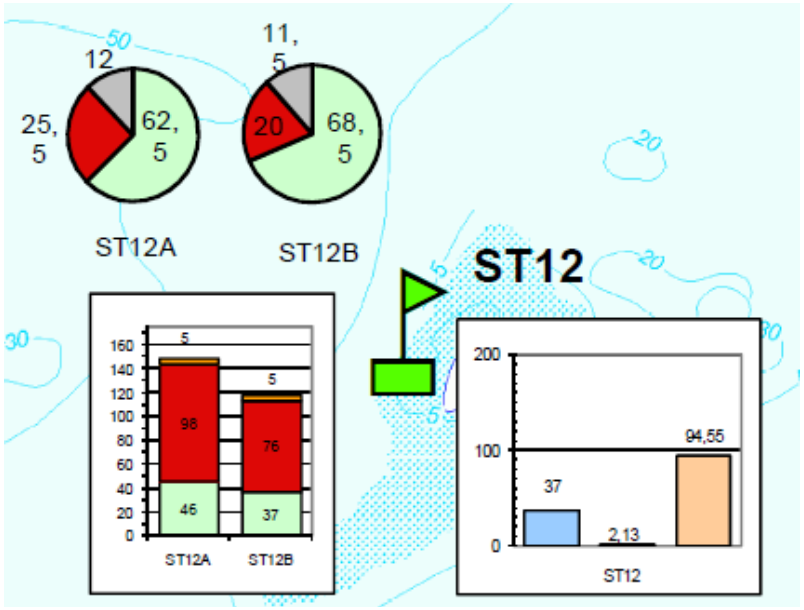


Figure 42 : Les stations excentrées : canal Woodin ST 04 et Ugo ST 12

Septembre 2013





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

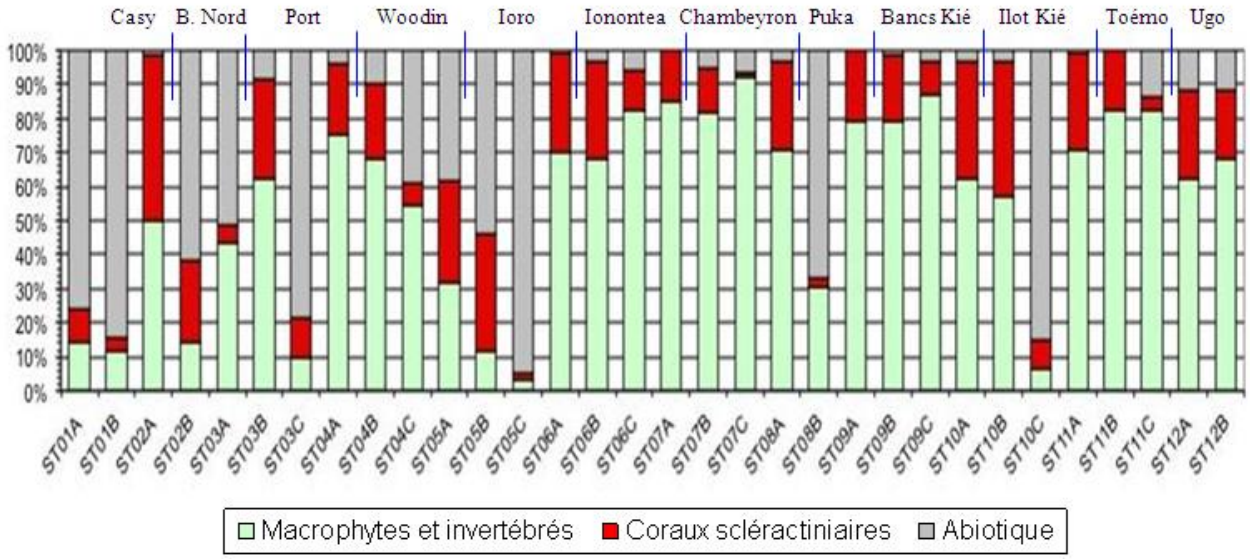
- **1)-Le substrat (sur transects fixes LIT)**
- **2)-Le benthos (sur couloirs fixes)**
- **3)-Les poissons (selon la liste restreinte imposée)**

Figure 43 : SUBSTRAT

Comparaison entre stations pour le substrat,SEPTEMBRE 2013

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

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



Représentation du recouvrement (en %) du substrat partie biotique/abiotique

Les stations situées en baie de Prony et canal Woodin ont globalement un substrat à majorité abiotique (à l'exception notable du *transect* supérieur ST02A du Creek de la Baie Nord exceptionnellement intéressant et qui présente la plus grande diversité corallienne de toute la zone étudiée).

Les stations (et les *transects* dans chaque station) dans le canal de la Havannah sont très diversifiées, avec une dominance du substrat biotique (excepté pour la station ST05C qui est installée sur une pente sédimentaire composée principalement de sable coquillé et pour les *transects* ST08B et ST10C qui sont positionnés en bas de tombants récifaux sur le début de la pente sédimentaire).
Malgré cela, l'abiotique représente moins de 20% en moyenne du recouvrement global en canal de la Havannah.

Tous les *transects* les plus profonds ont un taux de recouvrement biotique significativement plus bas que sur les *transects* supérieurs. Certains transects majoritairement abiotiques continuent à être suivis car réglementairement imposés mais leur valeur indicatrice est faible (ST01B ; ST05C ; ST10C)

Figure 44: BENTHOS:

Comparaisons entre stations pour le benthos, SEPTEMBRE 2013

3 grands groupes :

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

Figure 45: Détails au niveau des coraux : familles selon les stations

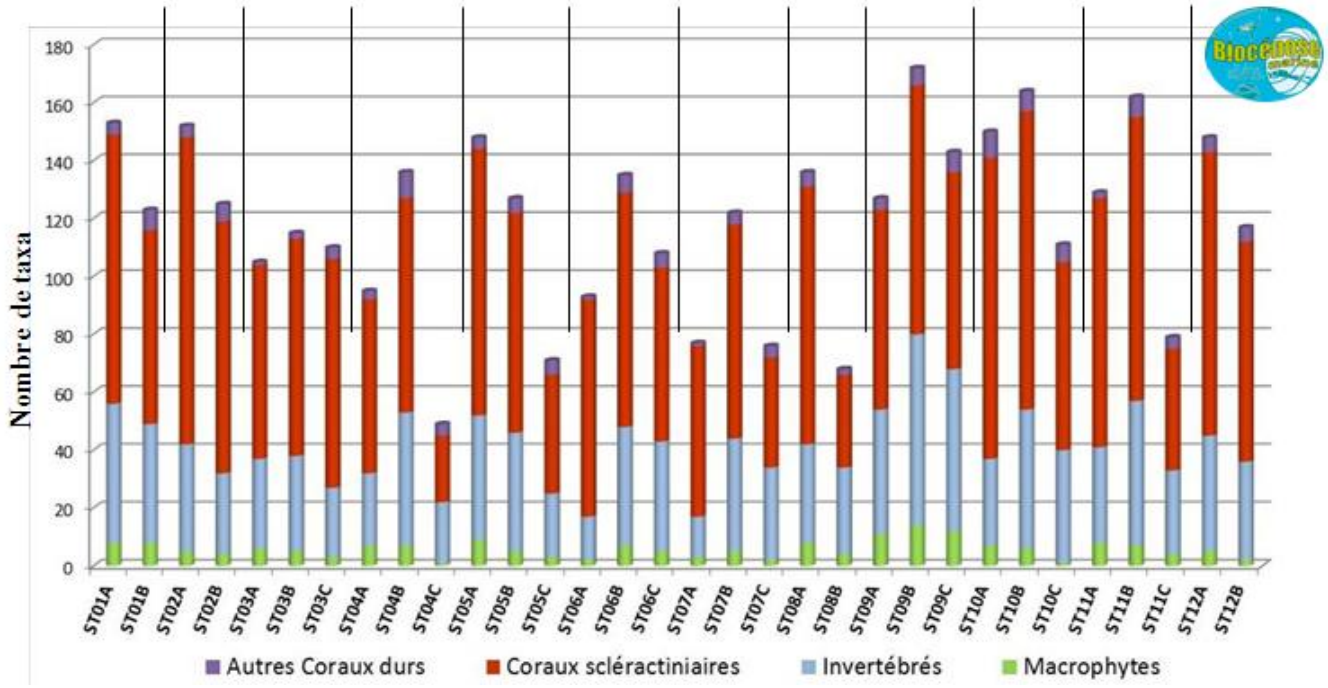
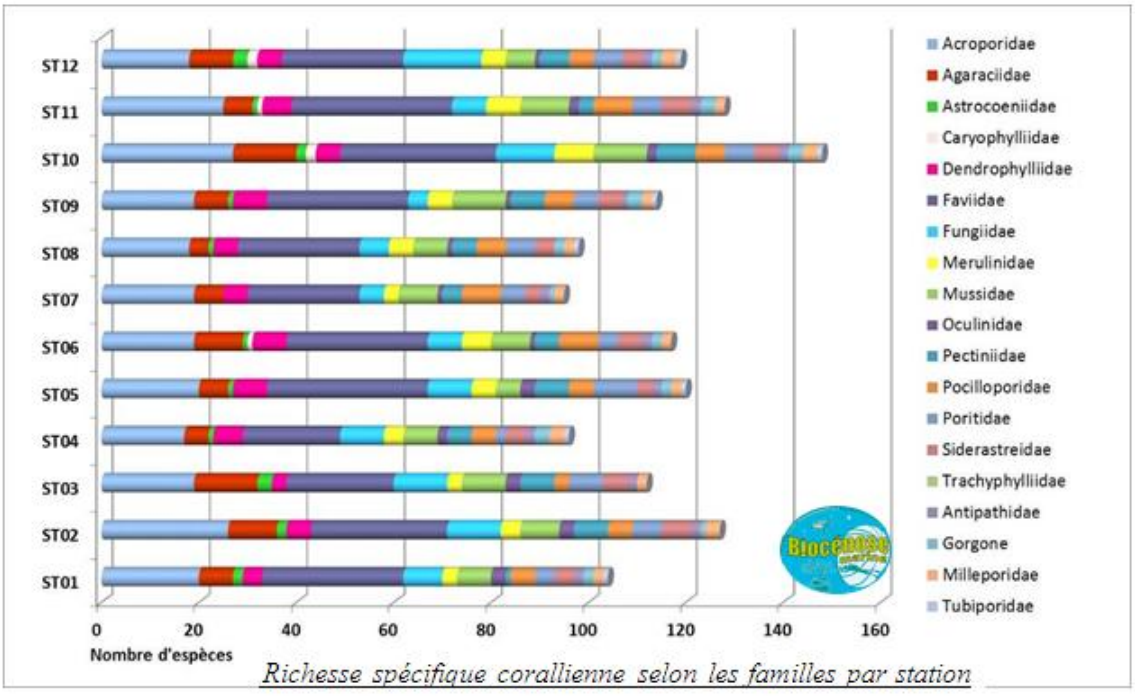


Figure 46 : Détails au niveau du benthos, selon des groupes d'Invertébrés (autres que les coraux) et par stations



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 calédoniennes (*Alveopora catalai, Blastomussa merleti*…).
Si 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.

Tableau 25 : POISSONS

Récapitulatif des paramètres biologiques pour l'ichtyo faune. AVRIL 2013.

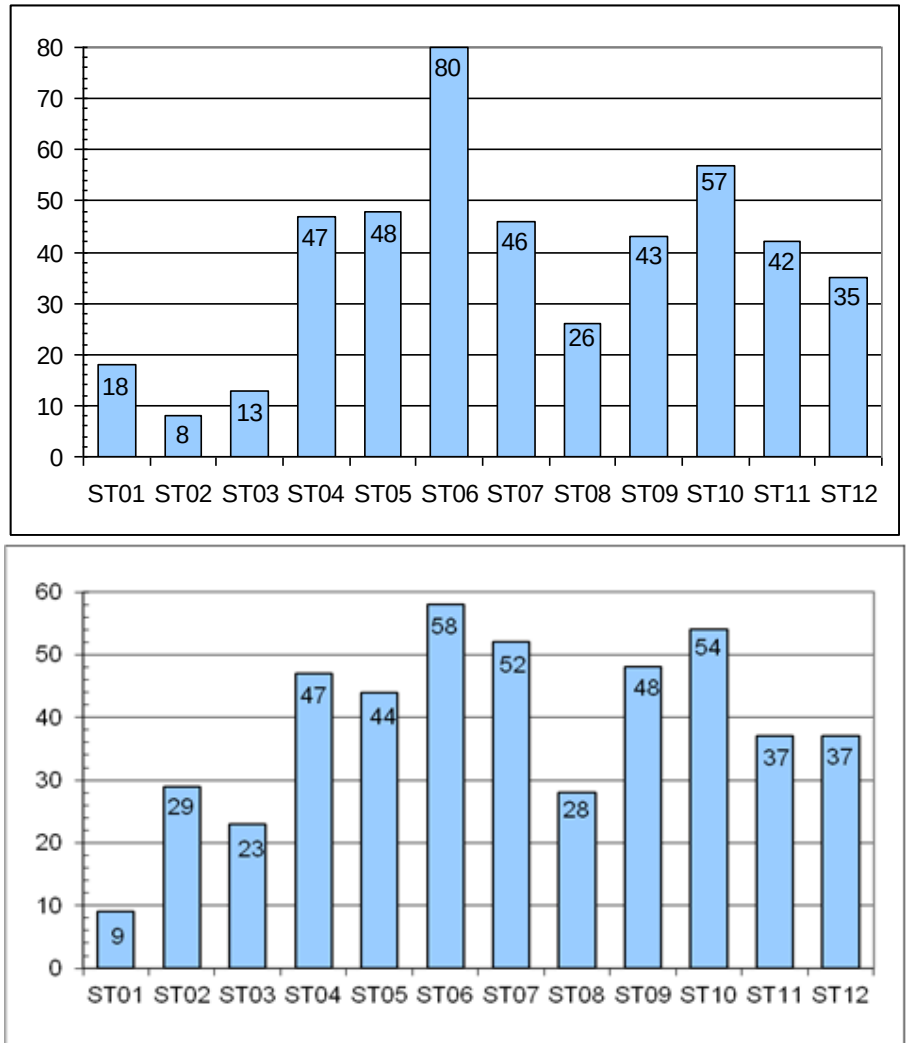
STATION / PARAMETRES BIOLOGIQUES	ST01 Casy	ST02 B. nord	ST03 Port	ST04 Wood.	ST05 Ioro	ST06 Ionon.	ST07 Chamb	ST08 Puka	ST09 B. Kié	ST10 I. Kié	ST11 Toémo	ST12 Ugo
Nombre individus (moy/transect)	48,5	103	42	134,67	71,67	190,33	113	47,5	161,33	441,67	140,33	147
Richesse spécifique* Biodiversité 1	9	29	23	47	44	58	52	28	48	54	37	37
Biodiversité 2	21	45	32	72	75	87	63	42	70	106	54	58
Biodiversité 3	39	61	53	92	104	117	101	61	98	148	94	82
Densité (nb ind/m²)	0,56	1,14	0,51	1,32	0,94	1,98	1,18	0,64	1,71	3,49	1,64	2,13
Biomasse (g/m²)	2,43	21,17	2,54	97,5	125,51	191,59	62,09	12,87	79,14	1 794,95	52,11	94,55
Indice de Shannon	2,21	2,47	3,73	4,37	4,59	4,79	4,05	4,24	4,26	3,29	3,3	4,14
Indice Equitabilité	0,7	0,61	0,82	0,79	0,84	0,82	0,71	0,88	0,76	0,57	0,63	0,79

Pour cette mission, encore une fois c'est la station de l'îlot Kié en réserve Merlet (ST10) qui est particulièrement riche en individus et donc en densité, ainsi qu'en diversité.

Le record de biomasse est détenu par la station Ionontea au premier semestre (ST06), sa proximité avec l'effluent ne l'affecte aucunement.
Au second semestre c'est la station en réserve Merlet (Ilot Kié ST10) qui présente une biomasse remarquable.
Ces deux stations se partagent toujours la tête au niveau des indices poissons

Les stations du canal ont en moyenne des valeurs de densité, biodiversité et biomasse de poissons qui sont respectivement 2, 4 et 30 fois plus fortes que celles des 3 stations de la baie de Prony.

Figure 47: Richesse spécifique de l'ichtyo faune par station, AVRIL 2013 et en SEPTEMBRE 2013 par station



Ionontea (ST06) et la réserve Merlet (ST 10) sont toujours en tête en richesse spécifique, (pour rappel Ionontea est le récif le plus proche du diffuseur)

Figure 48 : Représentation par station des biodiversités 1 ichtyologiques moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance

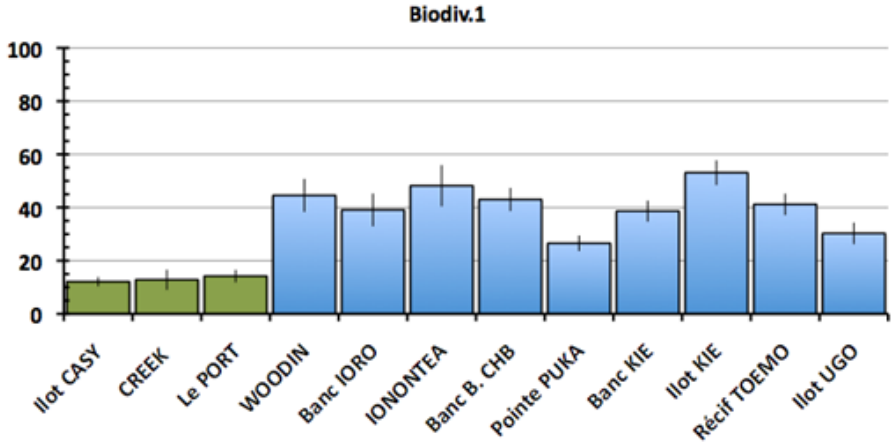
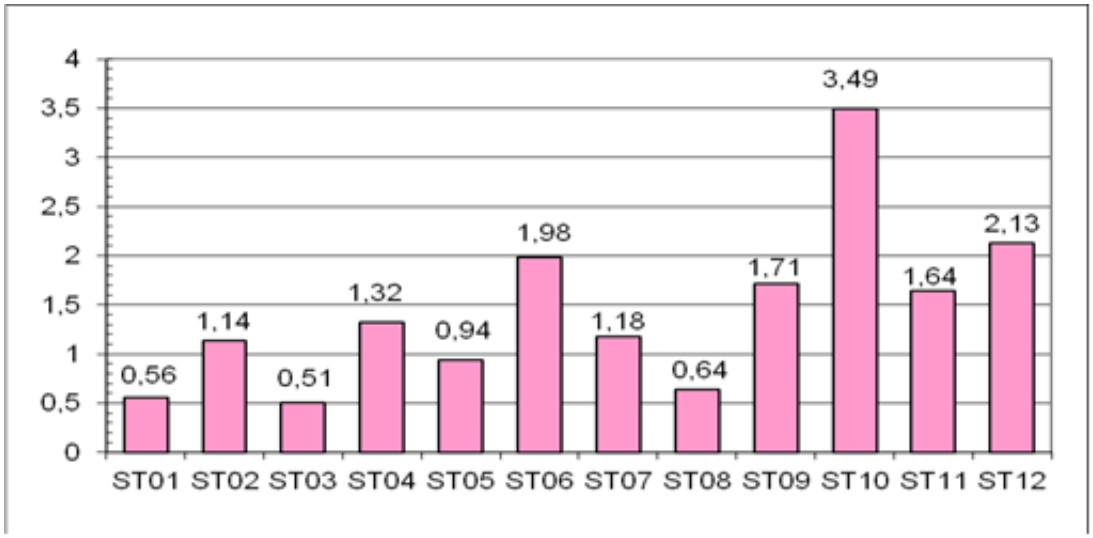


Figure 49: Densité de poissons (individus par m2) par station, SEPTEMBRE 2013



La réserve Merlet présente, comme d'habitude la densité de poissons qui surpasse celle de toutes les autres stations, même si son transect profond est très peu représentatif.

Figure 50 : Représentation par station des densités ichtyologiques moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance

En vert les stations de la baie de Prony, en bleu les stations du canal de la Havannah

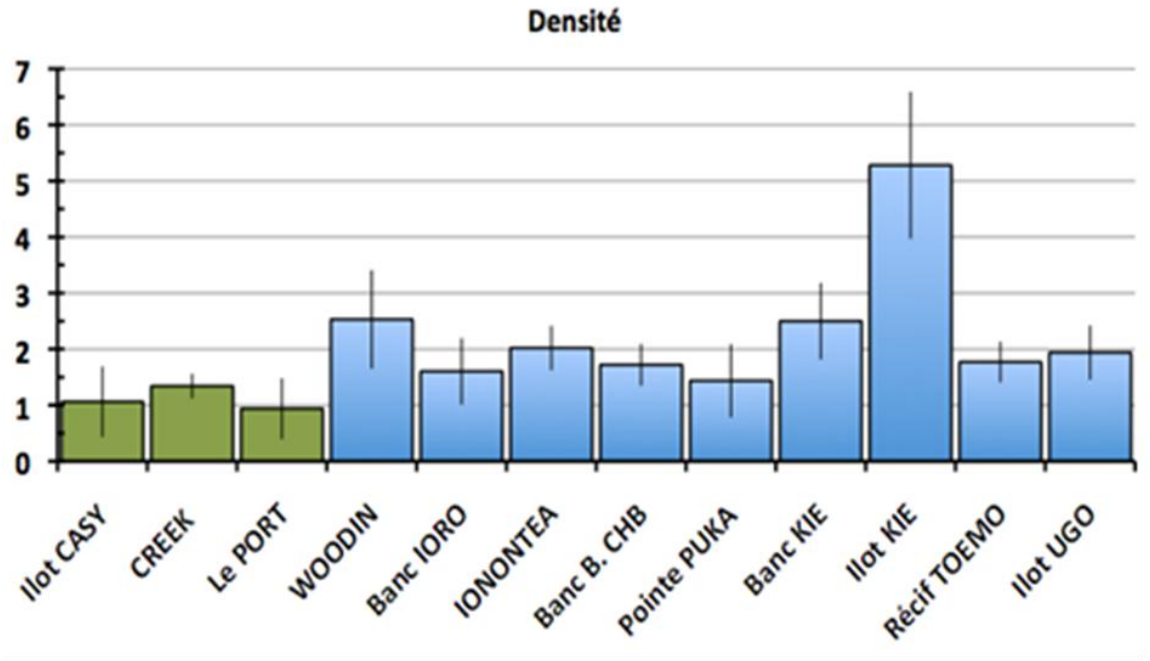


Figure 51 : Biomasse des poissons (liste restreinte règlementaire) par station.

Mission de septembre 2013

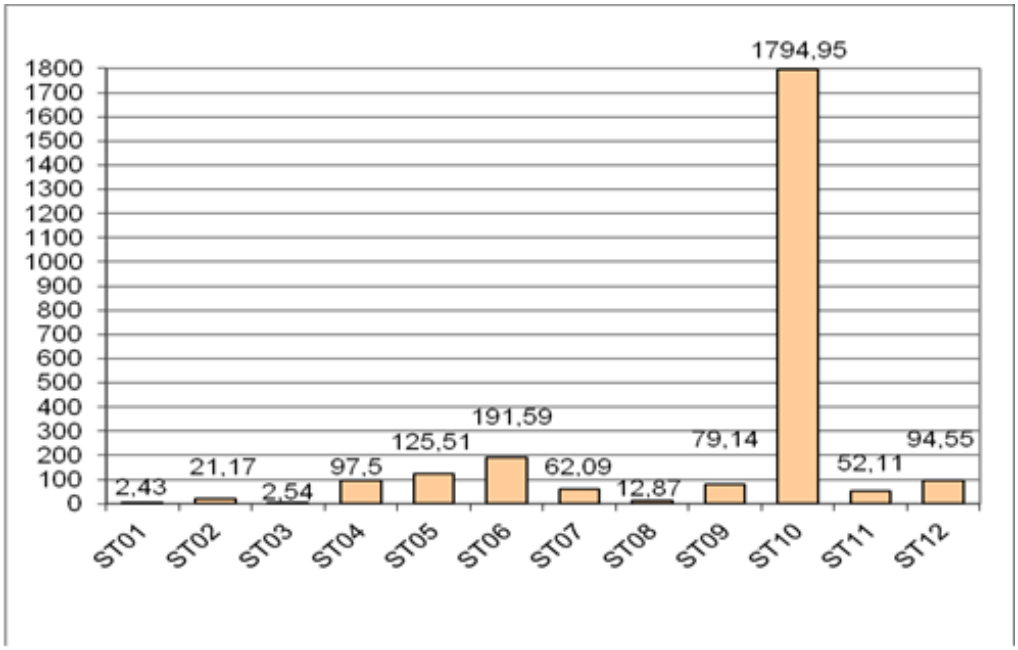
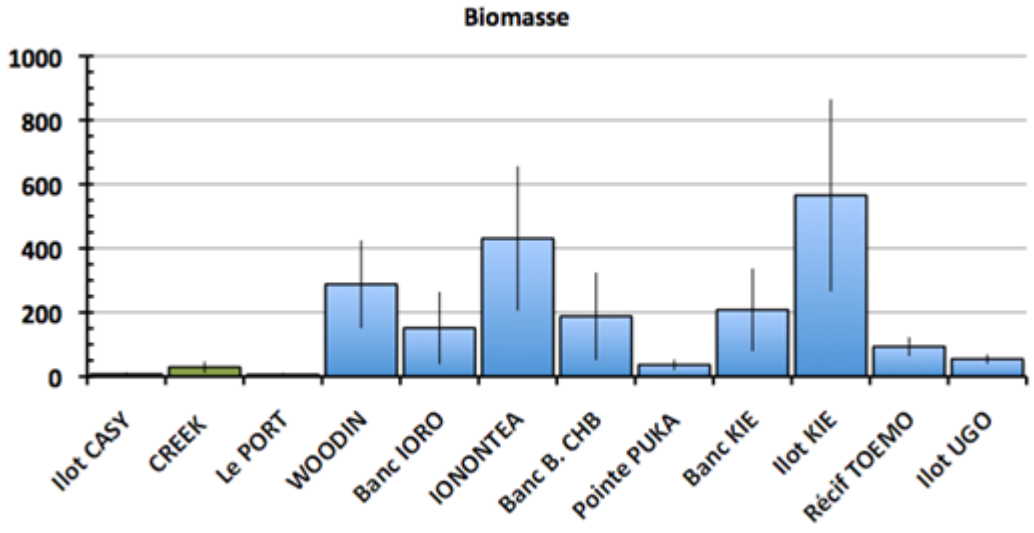


Figure 52 : Représentation par station des biomasses ichtyologiques moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance

En vert les stations de la baie de Prony, en bleu les stations du canal de la Havannah



Réserve Merlet en banc de Ionontea sont en tête pour leurs indicateurs « poissons »

L'Ilot Kié (en réserve Merlet), et les stations qui sont au plus proche du diffuseur : Ionontea (la plus proche), banc Kié, et banc Ioro ainsi que Chambeyron, sont les stations qui présentent depuis 2007 et invariabablment des biomasses de poissons les plus élevés de toutes les stations.

La présence du diffuseur est, comme prévue dans les modélisations elles mêmes vérifiées de part et d'autre du diffuseur, aucunement affectante pour la biodiveristé des coraux et des populations associées, notamment les poissons

La comparaison des indicateurs biologiques entre les stations corrobore exactement les déductions des 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. D'un point de vue écologique la station dans la réserve Merlet se différencie par une richesse biologique qui surpasse celle de toutes les autres stations. De façon résumée et synthétique on peut différencier quatre systèmes :

- 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 très supérieure notamment en densité et biomasse des poissons),
- celui du canal Woodin
- celui des baies avec apport terrigènes au nord du canal : baie de port Boisé et baie Kué

Un gradient de croissance des influences marines ou terrestres sépare (ou relie) ces systèmes.

L'ichtyologue qui effectue les missions de surveillance sous -marines effectue 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 SEPTEMBRE 2013 avec un rappel des missions semestrielles de 2012.

Tableau 26 : Cotation des 12 stations évaluées d'un point de vue ichtyologique (Poissons) selon un Indice IAS

Cotation des stations en septembre 2013

Station	Cotations			IAS		Rappels	
	Dens.	Biom.	Biodiv.(1)	2013 b	2013 a	2012 b	2012 a
Ilot CASY	2	1	2	1,75	3,25	1,75	1,50
CREEK	3	3	4	3,50	3,00	2,75	3,00
PORT	2	1	4	2,75	2,00	2,50	1,95
WOODIN	2	4	4	3,50	3,00	3,50	3,50
IORO	1	2	4	2,75	3,00	2,50	2,50
IONONTEA	2	2	4	3,00	3,75	3,50	3,50
B. CHB	3	4	4	3,75	3,25	3,25	3,00
PUKA	1	1	2	1,50	1,50	1,75	1,75
Bancs KIE	2	1	4	2,75	3,25	3,00	3,00
Ilot KIE	4	4	4	4,00	3,75	4,00	4,00
Récif TOEMO	2	1	3	2,25	2,75	3,00	3,00
Ilot UGO	3	1	3	2,50	2,25	1,75	2,00

Il n' y aucune grille (ou seuil) de lecture, aucune valeur limite indiquant une bonne ou mauvaise qualité du milieu, il s'agit d'une approche pour un indicateur intégré « poissons » afin de suivre une évolution temporelle et de dégager des tendances au fur et à mesures des missions.
A ce jour cette évolution, avec une methodologie strictement comparable entre les missions, ne porte que sur 4 missions et une année 2013 extrêment riche en évènements pluvieux violents qui fera date comme excpetionnelle.

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

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

➢ **Rappel sur l'évolution temporelle des stations des suivis éco-systémiques**

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 contenant les données intégrales 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 bais méthodologiques est systématiquement approfondie par les experts et elle est notifiée dans leur rapport. (De façon claire, en conclusion encadrée).

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 serait 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 2013).

Si une variation significative apparait lors d'une mission d'évaluation, une nouvelle mission, supplémentaire est menée 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.

Les cyclones ou fortes dépressions sont suivies de missions d'évaluations supplémentaires notamment au niveau des baies qui sont affectées par les panaches d'eau de ruissellement et les apports des rivières.

➢ **Le substrat (LIT fixes)**

Pour suivre une évolution globale il a été comparé les résultats (en pourcentage de recouvrement) du :

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

Cependant il est nécessaire de pondéré cette approche binaire car ce ratio peut varier de façon significative (>20%) alors qu'il s'agit d'un cycle de déplacement d'un banc de sable (sur les transects inférieurs) ou du cycle de présence /absence de tuf algal sur des débris coralliens.

Par exemple Sur ST08 en 2013 ; Sur le transect B, le sable qui était très présent et avait diminué en avril 2013 (10% vs 47.5%) réapparait fin 2013 (67%) avec un taux voisin de celui de mars 2012.

Le ratio du CORAIL VIVANT/ AUTRES COMPOSANTES et un bon indicateur. La figure suivante montre le suivi de ce cet indicateur sur les stations du canal de la Havannah qui sont au plus près du rejet d'effluent, une mission supplémentaire a eu lieux en novembre 2013 et elle ajoute ses résultats aux missions réglementaires.

Il n'y a aucune variation de la couverture du substrat corail dur (Scléractiniaires) sur les transects des 5 stations du canal de la Havannah qui entourent le rejet d'effluent, ni sur la station côtière Puka qui fait l'objet d'un suivi renforcé. (Cf. figure et tableau suivants)

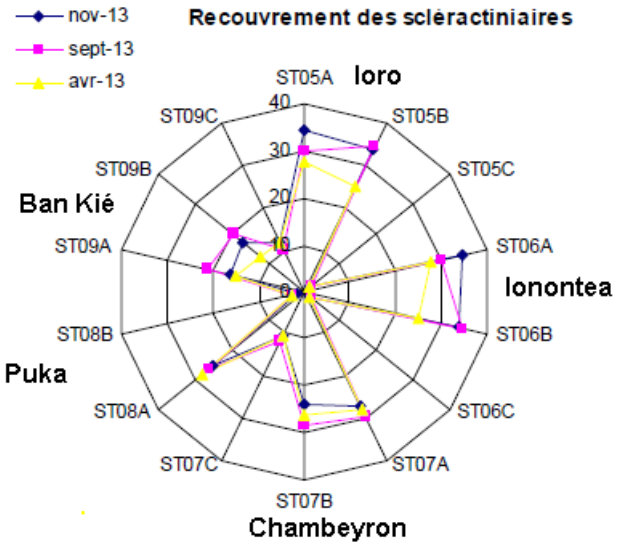
Les récifs coralliens ont tendance à se diversifier progressivement dans le temps.

Les analyses sur le long terme montrent que suite à une dépression une petite baisse de diversité est enregistrée. Puis avec le temps, une stabilité est constatée et le récif se régénère progressivement.

Figure 53 : Recouvrement du substrat par les scléractiniaires, tous les transects, en 2013

3 missions de suivi sur les stations du canal de la Hannah qui entourent le fiffuseur en 2013

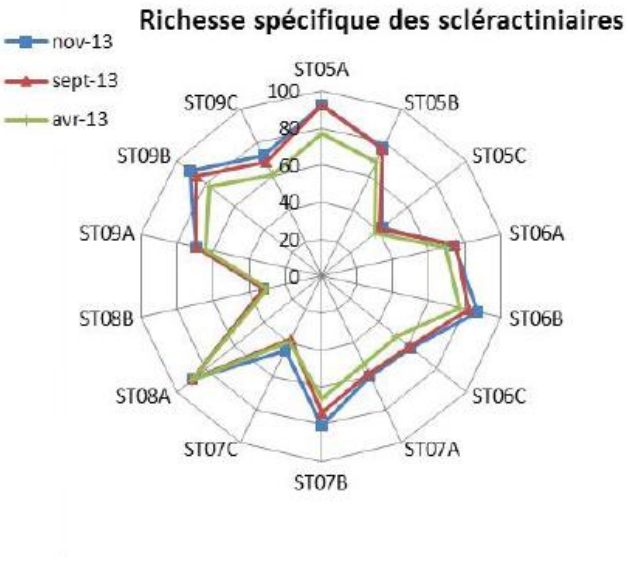
	nov-13	sept-13	avr-13
ST05A	34,5	30	27,5
ST05B	33,5	34,5	25
ST05C	1,5	2	1,5
ST06A	34,5	30	27,5
ST06B	33,5	34,5	25
ST06C	1,5	2	1,5
ST07A	27	29,5	28
ST07B	24	28,5	26
ST07C	10,5	11,5	10,5
ST08A	25	26	27,5
ST08B	1,5	2,5	2,5
ST09A	16	21	15
ST09B	17	19,5	12
ST09C	11,5	10	11,5



Pour cette mission, il y a très peu de variations générales : les stations apparaissent relativement stables notamment en ce qui concerne le pourcentage de recouvrement en coraux scléractiniaires (fourchette entre - 14.50% (Kié-ST10 A) et + 9,5%), **avec une tendance générale très stable (+ 0.4 % en tout en moyenne sur les 12 stations, soit 32 transects).**

Figure 54 : Richesse spécifique α des coraux scléractiniaires, tous les transects, en 2013

	nov-13	sept-13	avr-13
ST05A	92	92	77
ST05B	77	76	68
ST05C	42	41	37
ST06A	74	75	69
ST06B	87	82	77
ST06C	62	61	52
ST07A	60	59	53
ST07B	81	74	66
ST07C	45	38	39
ST08A	89	89	90
ST08B	32	32	30
ST09A	69	69	64
ST09B	91	86	77
ST09C	72	68	61



Le LIT est une méthode présentant des variations y compris pour un même opérateur. Pour différentes raisons expliquées dans le rapport intégral (annexe 3) et selon les références bibliographiques, n'a été retenue comme fluctuation significative que la marge supérieure à 20%.

- *ATTENTION : au niveau des suivis par transect pour le LIT / SUSTRAT : il ne doit pas être effectué de moyenne ou des résultats des 3 transects pour 1 station, en effet chaque transect est une entité éco systémique indépendante, les transects ne sont pas des duplicatas 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 transcets 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.*

Les variations de recouvrement, liées aux algues, quant à elles, sont cycliques et ne paraissent pas avoir de cause liée à une pollution ou une dégradation d'origine anthropique du milieu. Aucune eutrophisation par exemple.

➢ Le benthos (couloirs fixes)

Afin d'évaluer les dégradations éventuelles de la zone sous l'influence potentielle du projet Vale NC, une étude approfondie ciblée sur la biodiversité des biocénoses benthiques a été réalisée par les experts. Les biocénoses benthiques cibles (séparée entre taxons fixes et mobiles) ont été inventoriées. La présence de nombreuses espèces mobiles est un indicateur du 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.

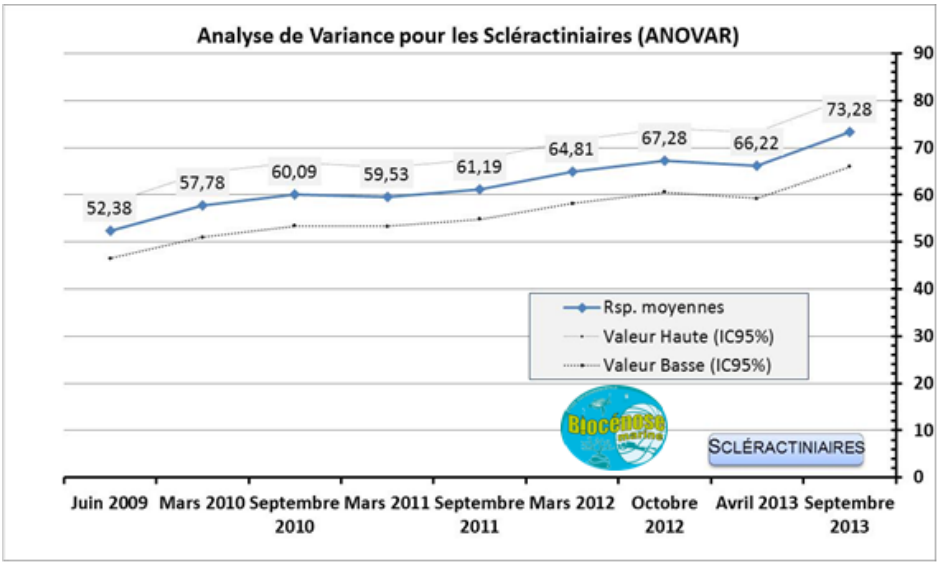
➢ **Pour les coraux** :

La richesse spécifique corallienne augmente légèrement au fur et à mesure des missions entre 2009 et avril 2013. La petite baisse de diversité en mars 2011 est corrélée aux dépressions Vania et Zelia qui se sont déroulées en début d'année 2011. On constate une stabilité et suite à cet évènement dépressionnaire, le récif se régénère progressivement (septembre 2011, mars 2012 et octobre 2012).

Le cyclone Freda (début 2013) a conduit à une légère baisse de la richesse spécifique.

La station ST08 (Puka) a subi un développement de *Drupella cornus* et de cyanobactérie suite à la dépression Freda (janvier 2013). De plus, elle présente de nombreuses maladies coralliennes qui entrainent du blanchissement corallien isolé (maladie de la bande blanche).
Le recouvrement et les espèces blanchies diminuent entre septembre 2013 et novembre 2013. Ce phénomène montre les prémisses d'une amélioration de l'état de santé de cette partie de récif.

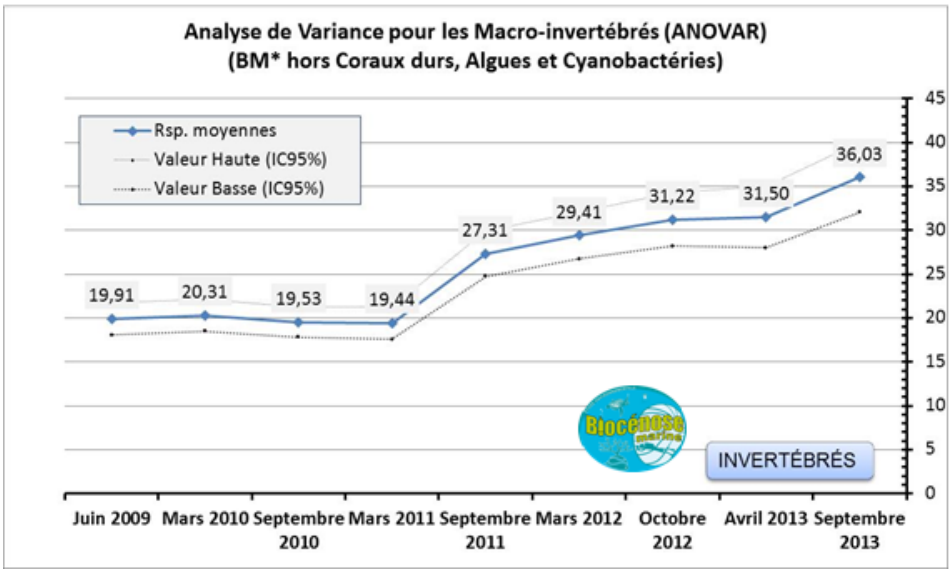
Figure 55: Valeur de la richesse spécifique moyenne des coraux durs (scléractiniaires) depuis 2009 (Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance)



➢ **Pour les Invertébrés (sauf le corail dur)**

Le même travail d'analyse a été conduit avec les Invertébrés (excepté les coraux durs). Les organismes mobiles (mollusques, astéries, holothuries, échinides, ophiures et crinoïdes) sont constamment en train de se déplacer à la recherche de nourriture. D'autre part, si des évènements exceptionnels les perturbent, ils ont la possibilité de se déplacer dans un milieu plus calme (variations des niveaux bathymétriques, en cas de stress en surface ils vont se déplacer sur les *transects* de niveaux inférieurs).
On remarque également que suite à des perturbations d'une grande ampleur, le récif ne met pas très 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).

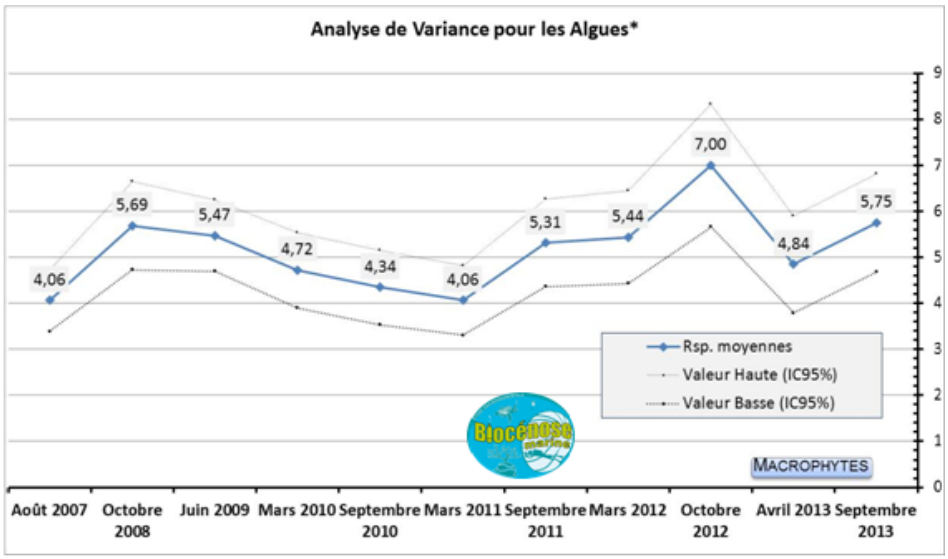
Figure 56: Valeur de la richesse spécifique moyenne des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2009 (Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance)



Et le même travail d'analyse a été réalisé avec les algues

➢ **Pour les Macrophytes**

Figure 57: Valeur de la richesse spécifique moyenne des Macrophytes depuis 2007



Le nombre d'espèces de macrophytes d'un milieu variera peu car il reste souvent quelques thalles, c'est plutôt leur abondance ou recouvrement qui va évoluer selon les saisons.
Le rapport de synthèse sur l'évolution de la couverture algale entre 2007 et 2012 a été finalisé début 2013.

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). **Et ils permettent surtout 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.

Algues vertes, rouges et brunes :
- Aucune prolifération, ni de diminution de la biodiversité ne sont observées au cours du temps (depuis 2007).
- Aucune espèce invasive (exogène), ni espèce envahissante (indigène) d'algues n'a été répertoriée sur les stations de suivi.
- L'abondance des algues montre des évolutions dans le temps mais il n'apparait pas de similitude concernant les évènements dépressionnaires ni les cycles saisonniers de façon nette pour les genres les plus abondants.

A surveiller : les algues d'un point de vue « problématique des EEE -Exogènes et espèces invasives ». A ce jour : pas de perturbation notée.

Remarque : Le développement du genre *Asparagopsis* (algue rouge) est à surveiller à long terme car il est répertorié sur la liste IUCN comme comptant des espèces introduites et invasives dans certaines zones subtropicales et tempérées.
Il constitue un compétiteur spatial important pour les coraux durant sa phase de développement (fin de l'hiver austral).
Le développement du genre *Lobophora* (algue brune) est aussi à surveiller à long terme Pour l'instant son développement est régulier mais si les conditions environnementales venaient à évoluer (principalement augmentation de la turbidité), ce genre pourrait ainsi se développer à la défaveur des coraux puis étouffer une grande partie des récifs (caractère d'espèce envahissante).

- **Cyanobactéries** (cf. chapitre 8.3 du rapport spécial dédié à l'évolution des algues, en annexe)

Les cyanobactéries ont été observées particulièrement sur les stations du canal de la Havannah, dans une moindre mesure pour la baie de Prony et très rarement dans le canal Woodin.
Leur recouvrement est variable selon :

- les dégradations récifales engendrées par les facteurs environnementaux (dessalure, turbidité, hydrodynamisme),
- les évènements exceptionnels (dépression, cyclones et phénomène climatique el Niño/la Niña),
- la profondeur (exposition et lumière),
- la nature du substrat (la vase et les débris corallien favorisent les proliférations),
- la saisonnalité (température de l'eau),
- la proximité d'une source anthropique.

Généralement, ces proliférations sont le signe d'une eutrophisation du milieu. De même, les dégradations importantes d'origine naturelle ou anthropique sur les communautés coralliennes entrainent un développement de cyanobactéries. Pour l'instant, ces perturbations n'ont pas perduré dans le temps et le recouvrement des cyanobactéries ne s'est pas amplifié.

- Le recouvrement des cyanobactéries reste pour la majorité des stations et la plupart des missions faible, des pics d'inflorescence ont été détectés puis ont disparu, ils évoluent en corrélation avec les coraux morts suite aux grands évènements dépressionnaires, à ce jour aucun « bloom » (avec inflorescence avec extension forte du recouvrement) n'a été observé.

A surveiller : les inflorescences de cyanobactéries, poursuivre la considération de cet indicateur, notamment en baie de Port Boisé ou à la pointe Puka.

Figure 58 : Evolution temporelle de l'abondance des cyanobactéries pour tous les transects entre 2007 et 2012

Abondance (échelle 1 à 5, méthodologie complète en annexe)

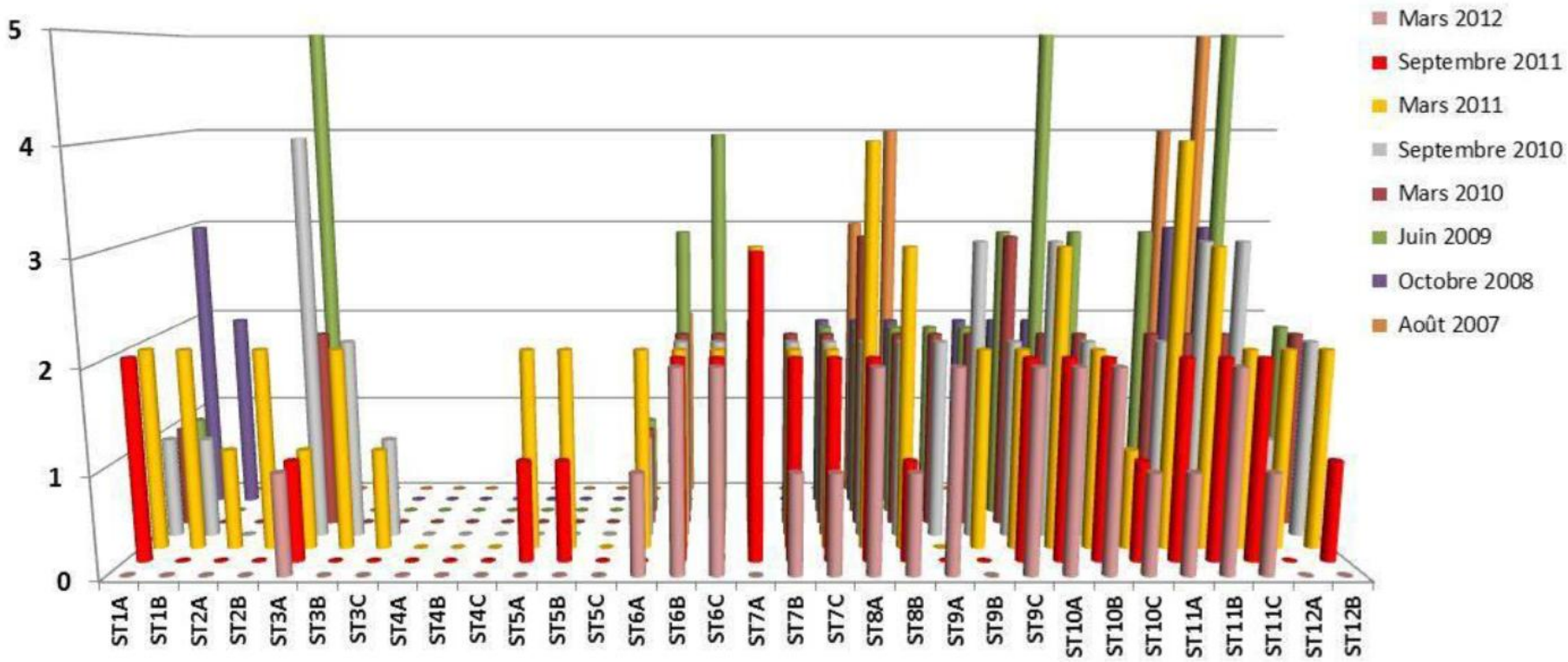
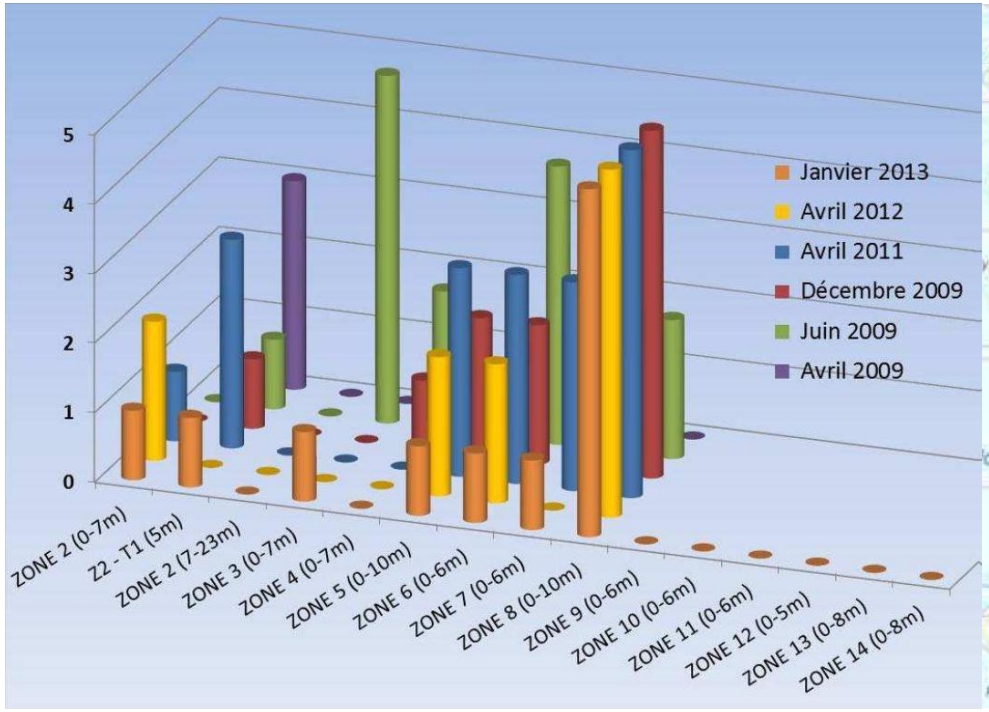
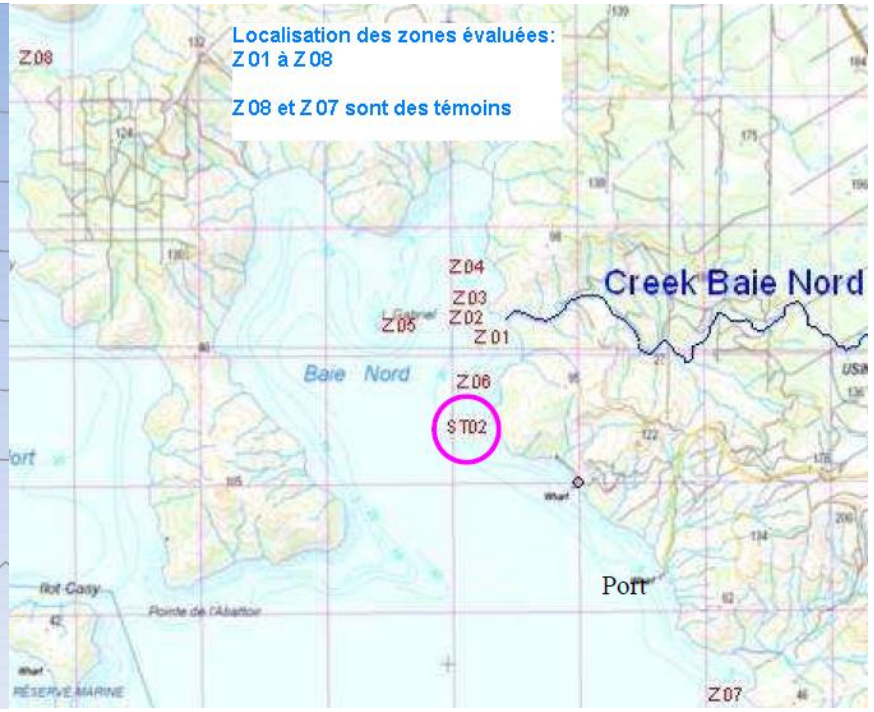


Figure 59 : Évolution temporelle de l'abondance des cyanobactéries en baie du Prony entre 2009 et 2013 (études spéciales)

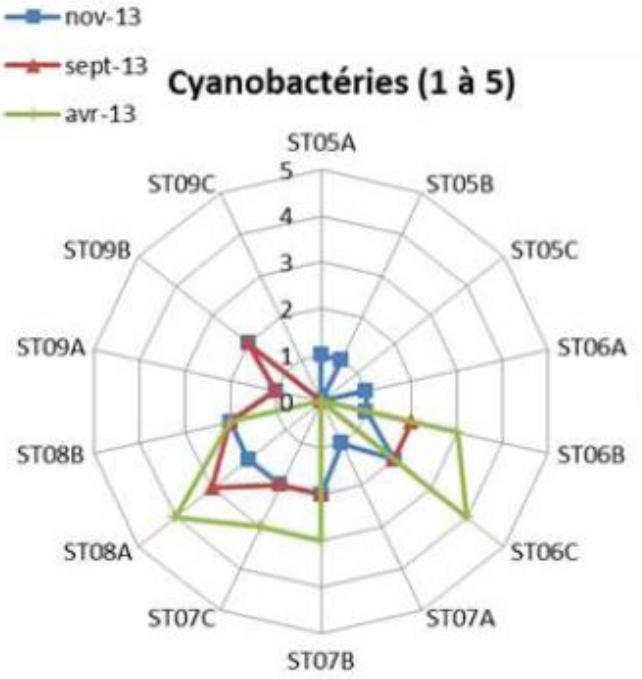
Abondance (échelle 1 à 5, méthodologie complète en annexe)





Abondance semi-quantitative des cyanobactéries, tous les transects, en 2013

	nov-13	sept-13	avr-13
ST05A	1	0	0
ST05B	1	0	0
ST05C	0	0	0
ST06A	1	0	0
ST06B	1	2	3
ST06C	2	2	4
ST07A	1	0	0
ST07B	2	2	3
ST07C	2	2	3
ST08A	2	3	4
ST08B	2	2	2
ST09A	1	1	0
ST09B	2	2	0
ST09C	0	0	0



- **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 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 le connait depuis de nombreuses missions notamment en baie du Prony.
- **Le blanchissement corallien.** Il est potentiellement réversible et différemment ressentis par les espèces. Il est à prendre en compte car il donne des indications sur l'affaiblissement des récifs.

En avril 2013, les constatations montrent que les récifs ont subi à nouveau des séquelles suite à l'évènement dépressionnaire Fréda du début d'année 2013. Le blanchissement corallien concerne de nombreuses espèces mais le blanchissement observé sur les *transects* du réseau de suivi est relativement faible et ne concerne que des colonies isolées.

En septembre 2013, le recouvrement de coraux blanchi est très faible pour l'ensemble des stations du suivi biologique (inférieur à 2.5%).
Les stations dont les espèces blanchies sont les plus nombreuses sont St06, St10 (réserve Merlet) et particulièrement St08 (Puka) . Ces colonies sont blanchies partiellement et les causes de leur blanchissement sont les maladies coralliennes (white band disease) ou la prédation des corallivores (*Drupella cornus* et *Acanthaster planci).* Il est à noter que la station 10 présente de nombreuses colonies blanchies par des *Acanthaster planci* mais les spécimens n'ont pas été n'ont pas été aperçus.

- **Les maladies du corail**

En avril 2013 :

Les récifs de la baie de Prony (ST01A Casy, ST02A&B Creek baie nord) et du canal Woodin (ST04B) présentent quelques colonies d'Acropora tabulaires affectées par la maladie de la bande blanche. Pour l'instant les proportions de colonies affectées sont faibles.

Les récifs du canal de la Havannah sont, eux, beaucoup plus affectés par ces maladies (ST06B, ST07B, ST08A&B, ST10A&B en réserve Merlet, ST11A&B&C et Ugo ST12A&B). Les espèces perturbées par la bande blanche sont également plus variées. Des anomalies de croissance ont aussi été observées (Porites et Sarcophyton).
Ces transects coïncident avec les niveaux dégradés régulièrement par les agents hydrodynamiques en 2011 puis janvier 2013 (3 dépressions cycloniques).

La station PUKA (ST08 A&B) est particulièrement perturbée par la maladie de la bande blanche qui sévit sur toutes les stations mais pas de façon aussi plurispécifique qu'à Puka

En septembre 2013 : La station St08 est particulièrement perturbée (et ceci depuis mars 2011) par la maladie de la bande blanche et les anomalies de croissance. Les espèces perturbées sont encore plus diversifiées.

En novembre 2013 : l'ensemble des indicateurs de l'état de santé biologique s'oriente vers une résilience des récifs du canal de la Havannah mais il apparait que cette résilience est plus difficile et plus lente pour la station ST08 (Puka).
En effet, la station St08 Puka enregistre encore quelques anomalies qui perdurent dans le temps (blanchissement, maladies coralliennes, abondance de *Drupella cornus*) mais la petite augmentation de diversité corallienne, la diminution de cyanobactérie et de turf depuis avril 2013 sont des facteurs positifs qui laissent envisager une amélioration de l'état de santé biologique de ce récif
La station Puka est un récif frangeant entouré de part et d'autre par deux baies (Port boisé et Kwé) et il se peut que la résilience des communautés coralliennes soit retardée par rapport aux autres récifs du canal de la Havannah par l'apport de matière en suspension et d'eau douce de ces deux baies.

En janvier 2014 deux missions supplémentaires convergent vers la zone de la station Puka, en couplant un suivi Eco systémique et un suivi de la qualité physico chimique de l'eau.

Aucun phénomène de prolifération alarmante ou permanente n'a été observé. Sont suivis :

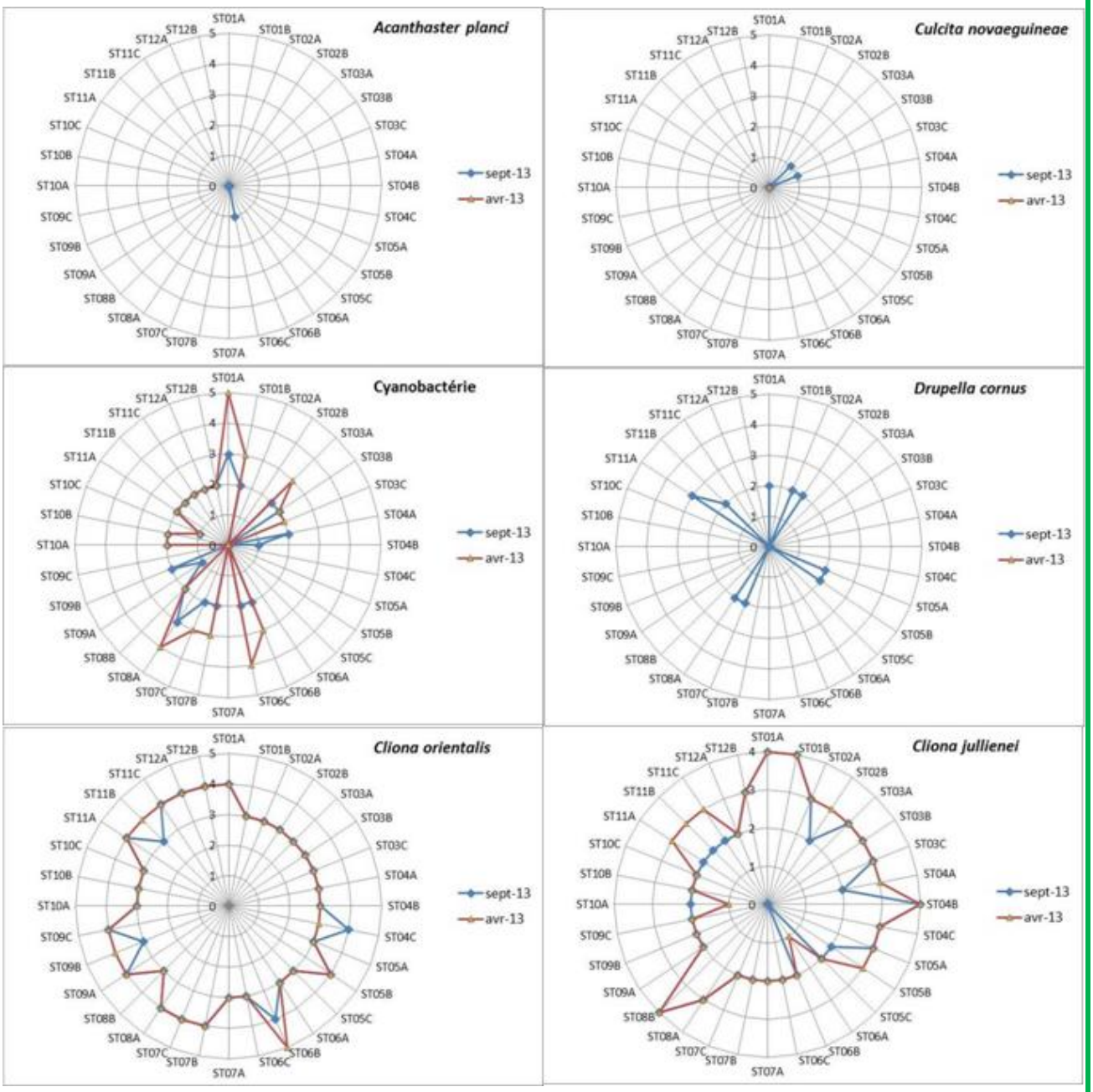
- Les cyanobactéries : principalement observées sur les stations St01, St03, St06, St07 et St08, ayant subi de grandes perturbations en début d'année 2013. Elles se développent en avril 2013, sur les nouveaux débris coralliens et les colonies coralliennes retournées. Puis en septembre 2013, les conditions environnementales se stabilisent et leur développement régresse.

- Les astéries corallivores prédatrices de corail (*Acanthaster planci et Culcita novaeguineae*) : elles sont présentes de manière très occasionnelle

- Les mollusques corallivores (*Drupella cornus* : Ils sont absents pour la mission d'avril 2013 mais ils profitent de la phase de dégradation corallienne post dépression pour se développer sur les colonies perturbées (St01, St02, St05, St07, St08 et St11). Leur abondance est relativement modérée mais leur développement doit particulièrement être surveillé en St08 et St11.

- Les éponges encroûtante *Cliona orientalis* et *C. jullienei*, elles sont abondantes dans toute la zone d'étude. Leur développement est en légère régression depuis les évènements dépressionnaire dans les zones très exposées aux agents dynamiques. Cependant leur développement est à surveiller avec une grande attention car ces éponges sont en forte compétition spatiale avec les coraux

Figure 60Abondance semi-quantitative (1 à 5) des principales espèces cibles entre avril et septembre 2013



- **La croissance du corail**

Dans les paramètres suivis au niveau des indicateurs de la santé du corail, la croissance de colonies géo référencées est très intéressante. Voici la vitesse de croissance de 7 colonies mesurées depuis 2007 et les dépressions cycloniques sont indiquées d'une étoile sur l'axe des abscisses. (Etude détaillée en chapitre 7 du rapport intégral communiqué en annexe).

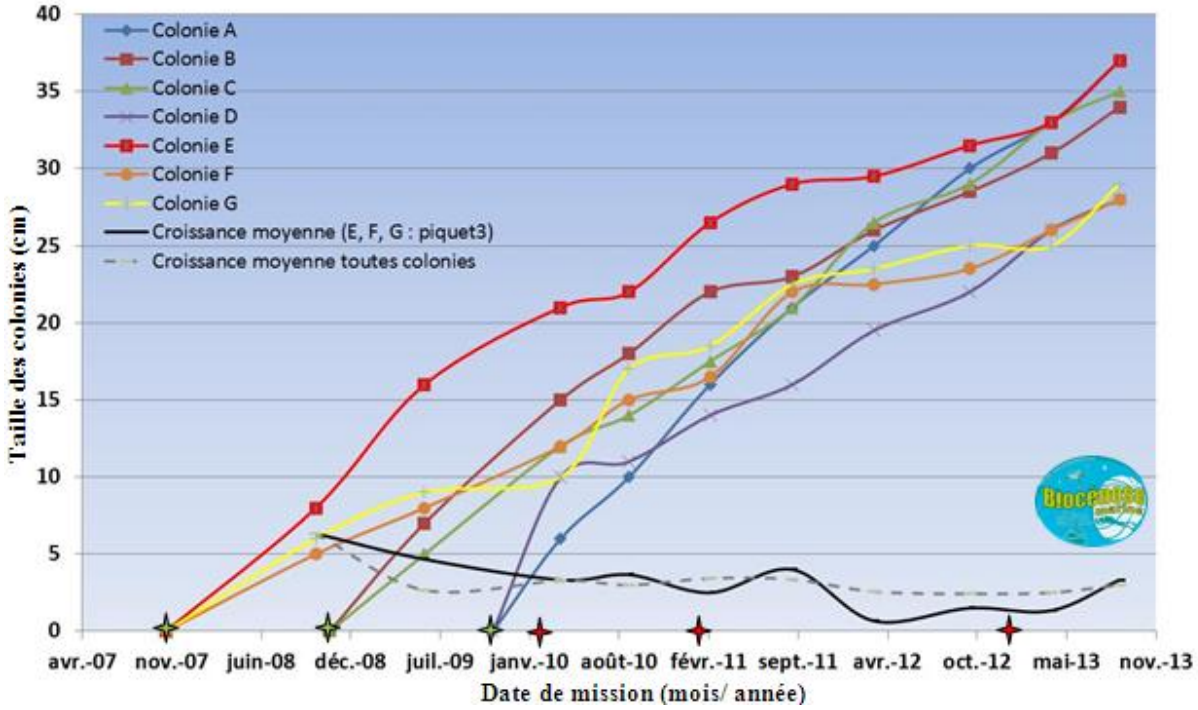
Des planulas de *Pocillopora damicornis* ont réussi à se fixer sur les piquets (posés lors de la mission du 31/08/07) du *transect* supérieur de la station 01 (Casy), et, de ce fait, aucune autre espèce ne les a perturbées dans leur édification. Ce sont des indicateurs qui ont attiré l'attention des plongeurs biologistes dont les missions d'évaluation vont au-delà des suivis réglementaires dès que leur expertise est stimulée par un point, attitude soutenue par Vale NC.

L'édification corallienne est la plus importante durant le stade juvénile, puis va diminuer 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 saison fraiche) a l'air plus favorable à la construction de l'exosquelette carbonaté. Puis la période estivale (saisons humide et chaude) induit des anomalies de salinité, températures et turbidité dans l'environnement ce qui va stresser les colonies coralliennes dites adultes.

Figure 61: Courbes de croissance des colonies coralliennes fixées sur les piquets du transect A de la station ST 01

Les trois croix vertes indiquent les phases de ponte de novembre 2007, novembre 2008 et novembre 2009.

Les croix rouges indiquent les grandes phases dépressionnaires de Jasper (février 2010), Vania, Zelia (janvier 2011), Fréda (janvier 2013)



Le ralentissement de la croissance est plus accentué lors des phénomènes dépressionnaires ou climatiques durant l'été austral.
Au début de la saison estivale se produit le phénomène de ponte corallienne (généralement le mois d'octobre à décembre selon le positionnement des récifs) et la croissance des colonies juvéniles va être très rapide

Les variations de croissance entre individu sont également bien remarquables, elles vont être induites par :
- le positionnement propre de chaque colonie,
- la compétition spatiale (le positionnement des colonies les unes par rapport aux autres),
- la sensibilité propre de chaque colonie aux conditions

➢ Espèces exogènes

Le chapitre 5.4 du rapport intégral (en annexe) est consacré au thème des EEE (Espèce Exotiques Envahissantes) bien que le plan de suivi réglementaire du milieu marin n'évoque pas ce sujet et que la Nouvelle-Calédonie n'ait pas encore pris en compte les EEE au niveau marin, dans son approche de prise en compte rigoureuse qui se développe pour le milieu terrestre.

Le rapport sur la synthèse de l'évolution du recouvrement des algues (en annexe du bilan du premier semestre 2013) présente aussi un chapitre (chapitre 9) consacré aux espèces envahissantes ou invasives potentielles

A ce jour aucune espèce exogène n'a été répertoriée dans les stations de suivi biologique de la zone d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie, ni en Nouvelle-Calédonie.
A surveiller : les EEE marins sont pris en compte par Vale NC depuis le début du projet dans la limite des connaissances calédonienne sur ce sujet. Le plan de veille à l'égard des espèces exogènes les inclue bien.

Les algues pourraient constituer un risque d'EEE, et pour cette raison Vale NC les prend attentivement en considération, comme il prend en considération la sentinelle fixe qu'est le corail et ses indicateurs de santé ou de stress.

L'abondance des espèces indigènes et les variations de leur recouvrement durant l'année (depuis le suivi d'août 2007), ne présentent pas d'anomalie caractéristique d'espèce envahissante qui pourraient nuire à l'environnement. Toutefois, une attention particulière doit être portée sur l'évolution du recouvrement saisonnier de deux genres de macrophytes (Asparagopsis et Lobophora).

L'algue rouge du genre Asparagopsis présente un développement saisonnier important (particulièrement fin de l'hiver austral et début de l'été austral), dans certaines zones du canal de la Havannah comme le banc Ionotea (ST06), le banc de Kié (ST09) et le récif de Toémo (ST11). Sans corrélation avec une activité anthropique.
C'est une algue de zones de forte agitation hydrodynamique. Ce genre est répertorié sur la liste IUCN parmi les espèces introduites et invasives dans des zones subtropicales et tempérées. Le statut du genre Asparagopsis en tant qu'espèce locale invasive ou non reste à définir en Nouvelle-Calédonie car il existe de nombreux clades au sein de ce genre (espèces proches par la phylogénie). Ce genre est très souvent épiphyte sur d'autres algues (plantes qui poussent en se servant d'autres plantes comme support).
Son développement est également très important durant les mois de novembre/décembre sur la station de Puka (St08)

L'algue brune du genre Lobophora est également à surveiller à long terme car elle constitue un compétiteur spatial pour les coraux. Il s'avère que ce genre se développe abondamment et de manière permanente en baie de Prony en zones non agitées et il pourrait avoir des caractéristiques d'une espèce envahissante (indigène) si les conditions environnementales venaient à changer, ce qui n'a pas été observé à ce jour.
On constate également que son développement est important pour la mission de septembre 2013 pour les stations Puka (St08) et Ugo (St12), cependant les agents hydrodynamiques vont certainement balayer une grande partie du recouvrement lors de la senescence des thalles.

Les algues vertes L'apport excessif de nutriments par une rivière ou un rejet sous influence de rejets anthropiques est une cause de croissance excessive de la couverture algale, **algues vertes** et tufs. Le cas s'est déjà présenté sur certaines embouchures calédoniennes, cela n'est pas arrivé en zone d'influence de Vale NC.
Les rejets de la centrale d'épuration de la base vie ne se jettent pas dans le creek de la baie Nord mais ils sont orientés vers l'unité de traitements des effluents.
Cependant en 2013 le turf algal est bien développé sur la pointe Puka et les missions supplémentaires dédiées à cette zone vont identifier s'il y a (ou non) nutriments et prolifération

➢ Poissons

Le chapitre 6.3 du rapport intégral (en annexe de ce document) est consacré à une étude approfondie des résultats 2013 comparés à ceux des années précédentes. Elle est due au professeur Claude Chauvet (ACREM), ichtyologue.
Il assure en supplément des exigences règlementaires une analyse statistique, notamment sur la biodiversité des poissons, sur liste exhaustive 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). 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.

- **Evolution temporelle de l'ichtyo faune (par années) selon la méthodologie réglementaire : (Liste restreinte)**

Les tableaux de données se présentent avec les 12 stations en lignes et les années des campagnes précédentes en colonnes. L'ANOVAR est un test paramétrique qui vérifie l'homogénéité d'un tel tableau.
L'ANOVAR des tableaux de densité, de biomasse et de biodiversité (ici dessous) peut être réalisée en confrontant la variance du tableau aux variances annuelles, donc en colonnes : c'est alors l'homogénéité temporelle qui est testée, et en confrontant la variance globale aux variances des stations, donc en lignes : c'est alors l'homogénéité spatiale qui est testée.

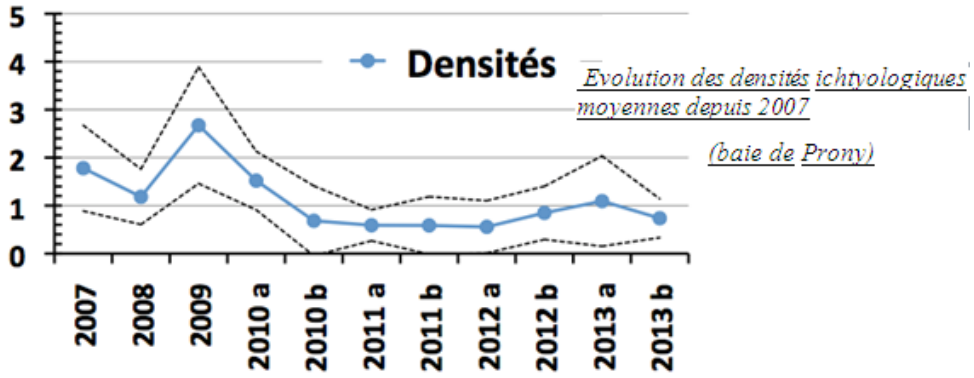
➢ DENSITE en individus de poissons listés sur la liste restreinte par m^2

Rappel : la densité s'exprime en nombre de poissons /m2 par *transect* selon la liste restreinte, chaque poisson est un individu compté ; à condition qu'il soit sur la liste ciblée.

Figure 62 : Analyse de la Variance des densités moyennes (ind./m²) pour les stations de la baie de Prony sur toutes les campagnes et évolution de cette densité entre 2007 et fin 2013

Baie de PRONY	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012 b	2013 a	2013 b
n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ilot CASY	2,63	0,87	3,50	0,93	0,33	0,30	0,36	0,33	0,78	1,09	0,56
CREEK	1,12	1,76	1,49	1,68	1,41	0,61	1,18	1,10	1,36	1,91	1,14
Le PORT	1,59	0,92	3,03	1,95	0,31	0,86	0,22	0,24	0,41	0,28	0,51
Moy.	**1,78**	**1,18**	**2,67**	**1,52**	**0,68**	**0,59**	**0,59**	**0,33**	**0,85**	**1,09**	**0,74**
Ecart type	0,77	0,50	1,05	0,53	0,63	0,28	0,52	1,10	0,48	0,82	0,35
Int. de conf ±	0,89	0,58	1,21	0,61	0,73	0,32	0,60	0,24	0,55	0,94	0,40
Coef. de Var.	0,43	0,42	0,39	0,35	0,92	0,48	0,88	0,85	0,57	0,75	0,48

k_1=p-1	10
k_2=n-p	22
F_{obs}	3,37
$F_{0,95}$	2,30
$F_{0,99}$	3,37

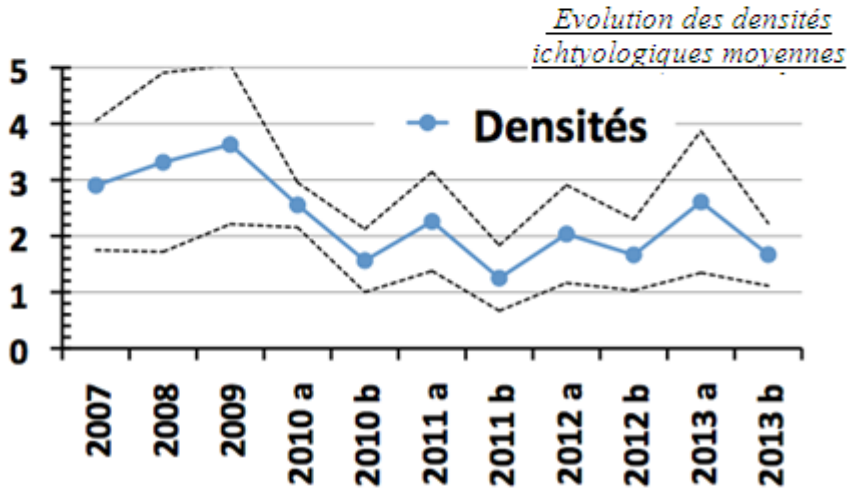


Evolution des densités ichtyologiques moyennes depuis 2007 (baie de Prony)

Figure 63 : Analyse de la Variance des densités moyennes (ind./m²) pour les stations du canal de la Havannah sur toutes les campagnes et évolution de cette densité

Canal	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012 b	2013 a	2013 b
n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
WOODIN	5,45	2,71	4,07	3,38	0,84	2,11	0,95	3,20	1,09	2,71	1,32
Banc IORO	0,73	2,02	4,09	2,37	1,23	1,56	0,81	0,87	1,22	1,80	0,94
IONONTEA	2,45	2,99	1,17	2,05	1,91	2,23	0,75	1,64	2,25	2,80	1,98
Banc B. CHB	1,78	2,73	0,91	2,66	1,79	1,62	1,05	1,70	1,24	2,26	1,18
Point PUKA	2,32	1,84	3,50	3,05	0,46	0,68	1,30	0,70	0,63	0,68	0,64
Banc KIE	4,13	4,21	4,01	1,66	1,35	1,81	1,42	2,18	1,96	3,04	1,71
Ilot KIE	5,57	9,37	8,30	2,94	3,46	5,47	3,48	4,93	3,85	7,23	3,49
Récif TOEMO	1,64	1,9	3,12	1,86	1,59	2,50	0,90	1,70	1,27	1,35	1,64
Ilot UGO	2,18	2,18	3,49	3,01	1,44	2,36	0,60	1,40	1,46	1,60	2,13
Moy.	**2,90**	**3,31**	**3,63**	**2,55**	**1,56**	**2,26**	**1,25**	**2,04**	**1,66**	**2,61**	**1,67**
Ecart type	1,73	2,39	2,12	0,60	0,84	1,32	0,87	1,31	0,95	1,89	0,84
Int. conf ±	1.15	1.59	1.42	0.40	0.56	0.88	0.58	0.87	0.63	1.26	0.56
Coef. de Var.	0,60	0,72	0,59	0,23	0,54	0,59	0,70	0,64	0,57	0,73	0,50

k1=p-1	10
K2=n-p	88
Fobs	2,43
$F_{0,95}$	1,94
$F_{0,995}$	2,43



Pour toutes les campagnes, pour les densités, le tableau est hétérogène, la variance entre colonnes est significativement différente de la variance globale.

Cet exercice peut être refait en séparant les stations en deux lots distincts: lot 1 : Stations de la baie de Prony et Lot 2 : Stations situées dans la Canal de la Havannah.

- Pour les 3 stations de la baie de Prony, l'analyse des variances de la densité pour les différentes campagnes montre une hétérogénéité. (à F95%)
- Pour les 9 stations du Canal de la Havannah, l'analyse des variances de la densité pour les différentes campagnes montre aussi une hétérogénéité.

Ainsi toutes ces stations sont hétérogènes. En d'autres termes, comme objet statistique, elles n'appartiennent pas au même ensemble. Ça ne sert donc à rien d'en augmenter le nombre. Nous aurons toujours un ensemble hétérogène, mais plus grand. Cette hétérogénéité étant un fait incontournable.

Le rapport 2012 reprenait aussi cette constatation.

En ce qui concerne la densité, la série historique apparaît comme étant divisée en deux : une partie avec des valeurs hautes 2007-08-09-10a et une partie avec des valeurs plus basses 2010b-11a-11b-12a et 12 b. Mais la méthode est sensible à la position des poissons par rapport à la ligne de transect

et surtout la position des bancs comme les bancs de Caesio par exemple qui sont très mobiles à l'échelle du transect.

Autre exemple, les bancs ou nuages de Pomacentridés qui peuvent se placer plus ou moins loin du transect et dont le recrutement est plus ou moins récent. Ils sont donc également responsables d'une part importante de ces variations sans pour autant faire varier grandement la biomasse.

La forte Densité à l'îlot Kié est due aux nuages importants et permanents de Poissons Demoiselles (notamment sur le transect A) que l'on ne retrouve nulle part ailleurs avec une telle densité. Ugo à l'inverse a une faible densité. Toutefois, il présente de nombreux Apogons sur les transects, lesquels, s'ils étaient pris en compte majoreraient considérablement la densité de la station... Mais les Apogons ne figurent pas sur la liste du Cahier des charges.

.

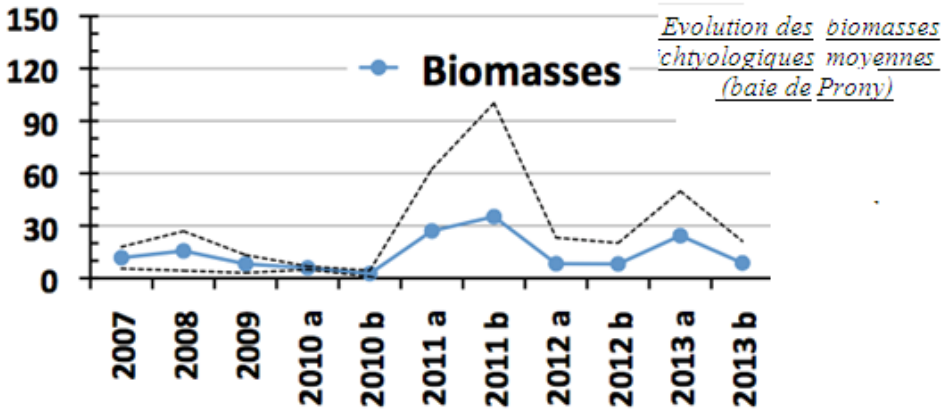
➢ BIOMASSE en gramme de poissons listés sur la liste restreinte par m²

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

Figure 64 :Analyse de la Variance des biomasses (g/m²) moyennes pour les stations de la baie de Prony sur toutes les campagnes et évlution de celle-ci de 2007 à fin 2013.

k_1=p-1	10
k_2=n-p	22
F_{obs}	1,47
$F_{0.95}$	2,30

Baie de PRONY	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012 b	2013 a	2013 b
n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ilot CASY	14,86	6,68	13,08	5,79	2,30	1,01	3,97	0,82	2,72	26,75	2,43
CREEK	5,46	26,05	6,73	6,71	4,23	60,95	100,16	23,17	20,09	45,07	21,17
Le PORT	14,73	14,05	4,55	5,13	1,26	19,13	1,50	0,80	1,62	1,14	2,54
Moy.	11,68	15,59	8,12	5,88	2,59	27,03	35,21	8,26	8,14	24,32	8,71
Ecart type	5,39	9,78	4,43	0,79	1,51	30,74	56,26	12,91	10,36	22,07	10,79
Int. de conf ±	6,22	11,29	5,12	0,92	1,74	35,50	64,97	14,91	11,97	25,48	12,46
Coef. de Var.	0,46	0,63	0,55	0,14	0,58	1,14	1,60	1,56	1,27	0,91	1,24



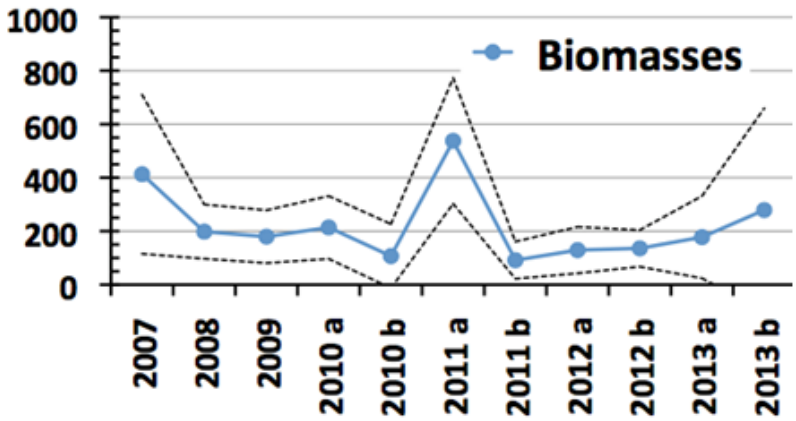
La forte Biomasse - de Inontea surtout, mais également dans d'autres stations du Canal et même de Prony - est due à l'abondance des grosses espèces comme les Loches, les Poissons Chirurgiens, les Rougets de nuit, etc. Certaines vivent non loin des transects, agrégées sur des massifs coralliens situés soit par le travers des transects (A) soit dans le prolongement des transect (B) . La plupart des poissons, notamment les plus gros, s'approchent des plongeurs et cela avec plus ou moins de « curiosité ». Dans le cas A ils entrent sur l'espace des transects et participent à la biomasse du transect. Et celle-ci prendra des valeurs différentes selon leur position ± proche du transect. En revanche, si la construction corallienne est dans le prolongement du transect (cas B), ce même comportement avec un déplacement identique n'influence plus la biomasse du transect puisque le poisson reste en dehors de la zone de comptage. La biomasse selon cette méthode TLV est très sensible à ce biais comportemental. L'expérience de l'ichtyologue seule permet de bien connaitre le comportement des poissons, les stations inventoriées plusieurs fois par an et de pondérer les

résultats bruts par un analyse d'expert. C'est une des causes de la recommandation de ne pas déléguer les plongées évaluatrices à un plongeur et puis l'analyse des données brutes à une autre personne.

Figure 65 : Analyse de la Variance des biomasses (g/m²) moyennes pour les stations du canal de la Havannah et évolution Evolution des biomasses ichtyologiques moyennes depuis 2007

Canal	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012 b	2013 a	2013 b
n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
WOODIN	408,31	267,80	456,26	460,91	38,60	730,66	65,36	446,85	105,52	87,47	97,50
Banc IORO	47,65	57,97	315,96	93,78	37,89	661,47	41,01	51,11	99,73	130,43	125,51
IONONTEA	1322,40	385,65	226,52	487,76	92,96	687,65	76,87	151,77	353,11	760,11	191,59
Banc B. CHB	155,24	146,76	57,40	84,96	103,51	855,00	71,29	175,75	179,16	175,08	62,09
Point PUKA	67,39	87,54	53,22	57,64	11,73	28,27	39,78	4,93	7,00	27,28	12,87
Banc KIE	607,71	273,92	62,69	303,36	10,62	593,06	118,86	96,25	99,46	40,63	79,14
Ilot KIE	881,82	451,97	291,10	298,4	576,45	1014,91	357,27	73,27	220,07	259,09	1794,95
Récif TOEMO	174,47	61,85	79,63	75,42	75,08	188,39	38,56	110,94	108,09	60,53	52,11
Ilot UGO	49,43	49,43	73,03	63,58	13,93	79,86	14,12	52,08	49,33	57,85	94,55
Moy.	**412,83**	**198,21**	**179,53**	**213,98**	**106,75**	**537,70**	**91,46**	**129,22**	**135,72**	**177,61**	**278,92**
Ecart type	446,15	152,10	148,19	176,21	179,62	353,14	104,10	130,20	102,82	230,68	570,70
Int. conf ±	297,44	101,40	98,80	117,47	119,74	235,43	69,40	86,80	68,55	153,79	380,47
Coef. de Var.	1,08	0,77	0,83	0,82	1,68	0,66	1,14	1,01	0,76	1,30	2,05

k_1=p-1	10
k_2=n-p	88
F_{obs}	2,22
$F_{0,95}$	1,94
$F_{0,976}$	2,22



- Pour les 3 stations de la baie de Prony, l'analyse des variances de la biomasse pour les différentes campagnes montre une similarité, à une valeur de F à 0.950.

  En effet $F_{obs} < F_{0,\ 95}$ Sous un regard quantitatif, les stations de la Baie de Prony apparaissent homogènes. Elles sont en fait toujours pauvres quelles que soient les espèces que l'on y trouve et, de plus, les grosses espèces y sont souvent à l'état de juvéniles, cela donne un lissage de la biomasse.

- Pour les 9 stations du Canal de la Havannah, l'analyse des variances de la biomasse pour les différentes campagnes montre une hétérogénéité. $F_{obs} > F_{0,\ 95.}$ Ainsi toutes ces stations sont hétérogènes. En d'autres termes, comme objet statistique, elles n'appartiennent pas au même ensemble. Cela ne servirait donc à rien d'en augmenter le nombre. Nous aurons toujours un ensemble hétérogène, mais plus grand. Cette hétérogénéité étant un fait incontournable.

- **BIODIVERSITE n°1**

Nous ne considérons ici que les espèces repérées figurant dans la liste restrictive du cahier des charges. La portée informative de cette liste volontairement limitée sur des espèces cibles est bien sûr très limitée et ne représente pas une réelle biodiversité. (Une étude plus poussée de la biodiversité sur liste exhaustive est présentée au paragraphe suivant et dans le rapport intégral).

Figure 66 : Analyse de la Variance des biodiversités 1 pour les stations de la baie de Prony sur toutes les campagnes et évolution de la biodiersité moyenne

k_1=p-1	10
k_2=n-p	22
F_{obs}	1,45
$F_{0,95}$	2,30

Baie de PRONY	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012 b	2013 a	2013 b
n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ilot CASY	16	9	11	13	11	12	13	9	12	18	9
CREEK	6	12	9	10	8	13	16	14	16	8	29
Le PORT	15	14	9	10	11	16	13	14	18	13	23
Moy.	**12,33**	**11,67**	**9,67**	**11,00**	**10,00**	**13,67**	**14,00**	**12,33**	**15,33**	**13,00**	**20,33**
Ecart type	5,51	2,52	1,15	1,73	1,73	2,08	1,73	2,89	3,06	5,00	10,26
Int. de conf ±	6,36	2,91	1,33	2,00	2,00	2,40	2,00	3,33	3,53	5,77	11,85
Coef. de Var.	0,45	0,22	0,12	0,16	0,17	0,15	0,12	0,23	0,20	0,38	0,50

Evolution des biodiversités 1 ichtyologiques moyennes (baie de Proñy)

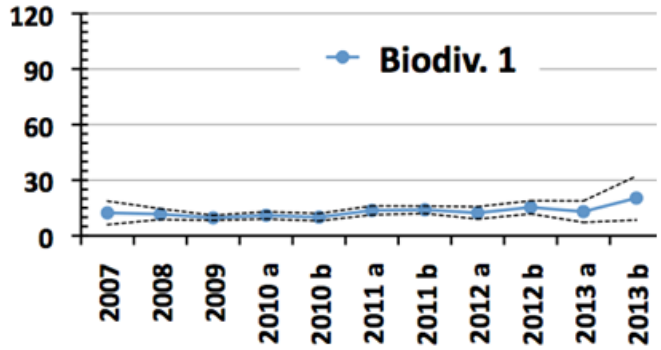
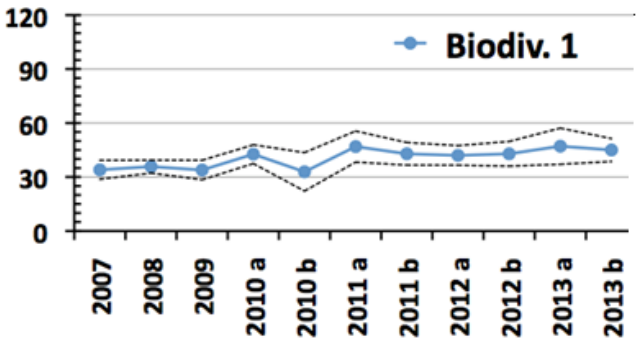


Figure 67 : Analyse de la Variance des biodiversités 1 pour les stations du canal de la Havannah sur toutes les campagnes et évolution de la biodiersité moyenne

Canal	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012 b	2013 a	2013 b
n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
WOODIN	37	39	35	54	26	64	42	51	48	47	47
Banc IORO	22	30	44	42	24	56	43	36	41	48	44
IONONTEA	45	41	31	44	37	51	46	44	53	80	58
Banc B. CHB	33	44	29	45	38	46	43	44	53	46	52
Point PUKA	28	30	28	29	14	26	33	27	23	26	28
Banc KIE	36	32	35	34	28	39	48	45	37	43	48
Ilot KIE	46	37	49	52	67	59	58	52	53	57	54
Récif TOEMO	29	39	31	43	44	51	48	45	44	42	37
Ilot UGO	28	28	23	41	18	30	25	34	34	35	37
Moy.	**33,78**	**35,56**	**33,89**	**42,67**	**32,89**	**46,89**	**42,89**	**42,00**	**42,89**	**47,11**	**45,00**
Ecart type	8,06	5,68	8,12	7,81	16,04	12,95	9,41	8,15	10,29	15,07	9,55
Int. conf ±	5,37	3,79	5,41	5,21	10,69	8,63	6,28	5,44	6,86	10,05	6,37
Coef. de Var.	0,23	0,15	0,24	0,18	0,49	0,28	0,22	0,19	0,24	0,32	0,21

k_1=p-1	10
k_2=n-p	88
F_{obs}	2,34
$F_{0,95}$	1,94
$F_{0,982}$	2,34



- Pour les 3 stations de la baie de Prony, l'analyse des variances de la biodiversité pour les différentes campagnes montre une similarité, à une valeur de F à 0.950. $F_{obs} < F_{0,95}$
- Pour les 9 stations du Canal de la Havannah, l'analyse des variances de la biodiversité pour les différentes campagnes montre une hétérogénéité. $F_{obs} > F_{0,95}$

Les données quantitatives sont obtenues sans répliqua et sont donc sans intervalle de confiance calculable.
Les stations ne peuvent donc être comparées individuellement, (ni entre elles, ni d'une année sur l'autre).C'est pour cette raison que l'on prend le domaine entier ou, de façon plus pertinente, le domaine de la baie du Prony et le domaine du canal de la Havannah.
Seule la considération de l'ensemble des stations de la zone comme une série statistique permet le calcul d'un intervalle de confiance. Avec ce subterfuge la comparaison temporelle de la zone (et uniquement temporelle) peut alors être faite. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée par l'hétérogénéité des stations et les fortes variances que cette hétérogénéité entraîne.

Selon les paramètres étudiés, Densité, Biomasse ou Biodiversité 1 ou 3, la série historique montrent que les différences entre les peuplements des stations sont plutôt faibles et stables en Baie de Prony d'année en année contrairement au peuplement des stations du Canal de la Havannah.

Indice « poissons » Indice Global Annuel (IGA) et Indice Annuel par Station (IAS)

L'expert propose le calcul d'indices synoptiques calculés à partir d'une échelle de cotation allant de 1 à 4 et associé à un code couleur :

ECHELLE DE COTATION
De 1 (le moins bon, couleur rouge) jusqu' à 4 (le meilleur couleur bleu)

Indice moyen	1 à 1,50	1,75 à 2,25	2,50 à 3,00	≥ 3,25
Codes				

L'Indice Global Annuel (IGA) pour comparer les années entre elles
L'Indice Annuel d'une Station (IAS) pour comparer une station avec une autre ou bien l'évolution sur une même station
IG est la moyenne des 3 valeurs obtenues en pondérant la cotation de la diversité par deux :

IG = (Densité+Biomasse+2*Biodiversité)/4

Sous l'angle ichtyologique (poissons) cette cotation permet de « noter » ainsi les stations et les années.

Figure 68 : Cotation IAS sur 4 missions

Cotation des stations en septembre 2013

Station	Cotations			IAS		Rappels	
	Dens.	Biom.	Biodiv.(1)	2013 b	2013 a	2012 b	2012 a
Ilot CASY	2	1	2	1,75	3,25	1,75	1,50
CREEK	3	3	4	3,50	3,00	2,75	3,00
PORT	2	1	4	2,75	2,00	2,50	1,95
WOODIN	2	4	4	3,50	3,00	3,50	3,50
IORO	1	2	4	2,75	3,00	2,50	2,50
IONONTEA	2	2	4	3,00	3,75	3,50	3,50
B. CHB	3	4	4	3,75	3,25	3,25	3,00
PUKA	1	1	2	1,50	1,50	1,75	1,75
Bancs KIE	2	1	4	2,75	3,25	3,00	3,00
Ilot KIE	4	4	4	4,00	3,75	4,00	4,00
Récif TOEMO	2	1	3	2,25	2,75	3,00	3,00
Ilot UGO	3	1	3	2,50	2,25	1,75	2,00

Selon cette approche, seules les stations Puka et Touemo ont un indice plus faible fin 2013. Les stations du Port, du creek de la baie Nord et bien sûr en réserve Merlet montrent de bons indices en progression ou stables.
Remarquons que la station Puka est en cours d'évaluation renforcée depuis juillet 2013 et qu'en novembre 2013 des indices de résilience ont été observés sur les autres indicateurs biologiques (corail).

Tableau 27 : Classement des années (IGA)

Cotation des années depuis 2007

Mission	Indices			
	Dens.	Biom.	Biodiv.(1)	IGA
2007	3	3	2	2,50
2008	3	2	2	2,25
2009	3	2	2	2,25
2010 a	3	2	3	2,75
2010 b	2	1	2	1,75
2011 a	2	4	3	3,00
2011 b	2	1	3	2,25
2012 a	2	1	3	2,25
2012 b	2	2	3	2,50
2013 a	3	2	3	2,75
2013 b	2	3	3	2,75

Les observations des poissons en 2013 donnent des résultats sont globalement bons +. Ils sont équivalents à ceux de 2010a et viennent au deuxième rang derrière les résultats de 2011a.

La méthodologie n'est pas validée ni évoquée dans le cahier des charges du plan de suivi des poissons selon les prescriptions réglementaires, mais ce travail supplémentaire est un « plus » qui permet de mieux suivre de façon synthétique la santé des populations de poissons et de suivre les évolutions spatiales et dans le temps, suivis après suivis.
Cf. le chapitre 6.3.2 du rapport intégral en annexe de ce bilan.

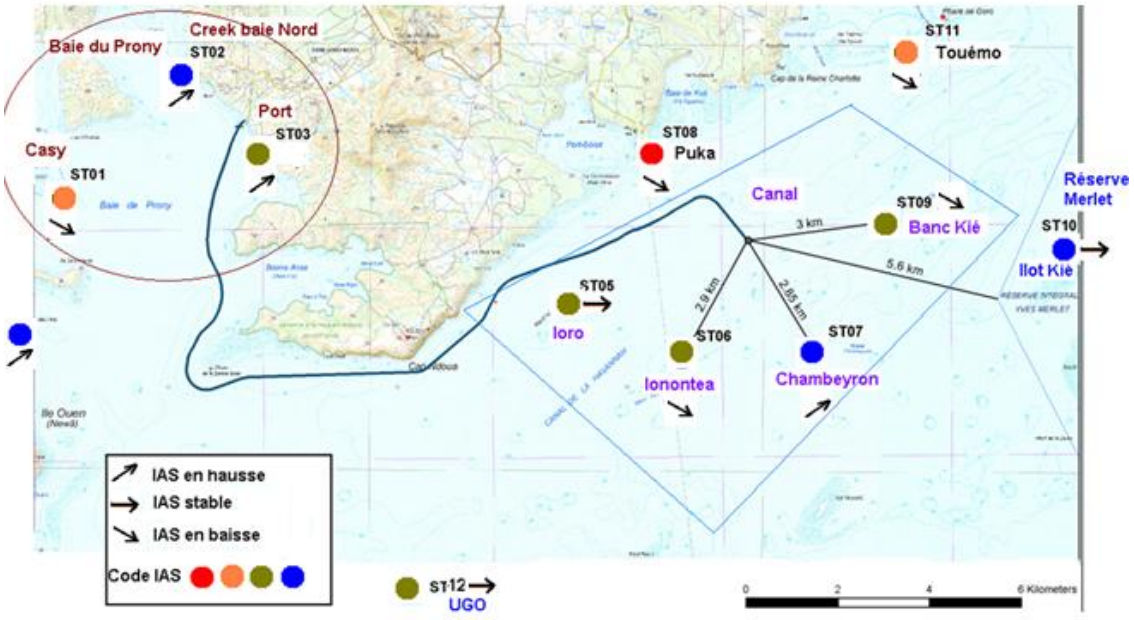
Synthèse conclusive sur l'évolution temporelle (POISSONS) entre 2007 et avril 2013

Compte tenu de l'importance des intervalles de confiance ces résultats quantitatifs sont à considérer comme stables depuis 2007.

La station portuaire ne présente aucun impact

A surveiller : la station ST08 qui l'objet d'une mission d'évaluation renforcée.

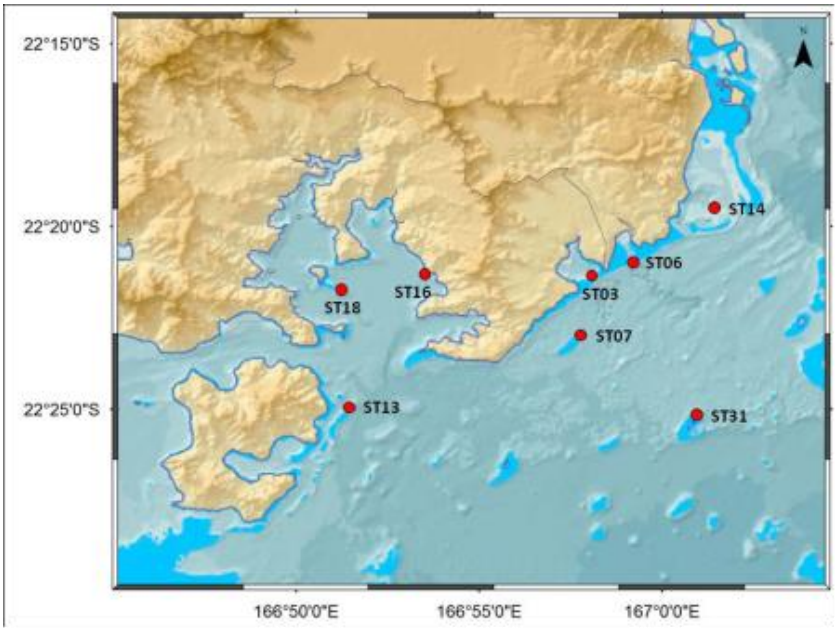
Indice intégré poissons par stations, comparaison avec la dernière mission de mars



3.2.3. Suivi des bio-indicateurs transplantés (*le caging*)

Huit cages contenant les algues et les coquillages bio- accumulateurs ont été mises en eau pour 3 mois au niveau des points présentés ci-dessous et selon la méthodologie décrite précédemment.

Figure 69: Rappel de la position des cages pour la croissance des algues et des bivalves transplantés dans une d'une cage de croissance par 10 m à 12m de profondeur



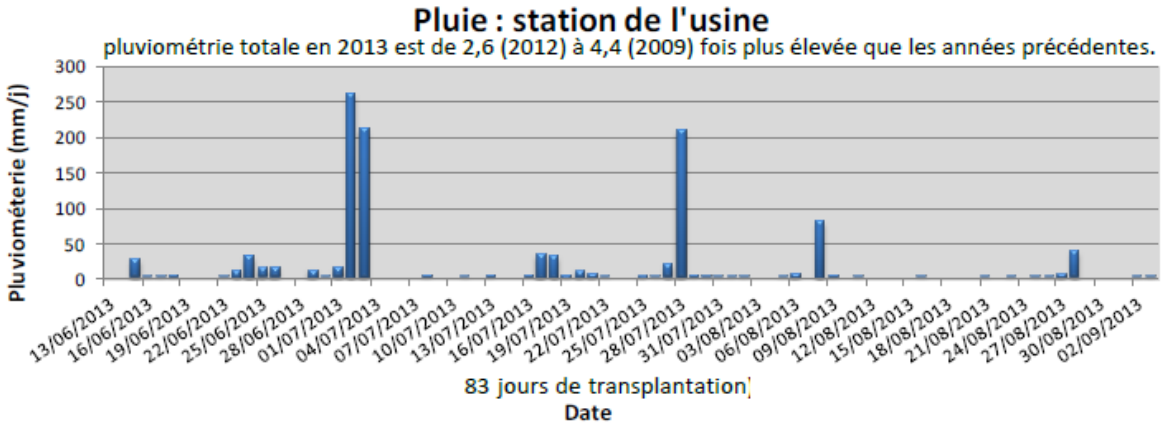
La campagne d'immersion des cages a eu lieu en juin 2013. Elles ont été nettoyées et vérifiées en juillet puis retirées de l'eau après 83 jours (en septembre)

- Cette campagne 2013 est d'autant- plus intéressante qu'elle intègre les épisodes pluvieux intenses de début juillet, puisque les cages étaient bien immergées durant cet épisode qui a affecté les fonds des baies de Port Boisé et de la baie Kué. Les bio- indicateurs en croissance dans les cages ont donc subi les crues sur toute leur durée de juillet 2013. (Cages St03 et St06)
- Les cages étaient aussi déjà immergés lorsque la rupture de l'émissaire a probablement eu lieu et les bivalves ont donc pu enregistrer ce fait, dans le canal de la Havannah (St07 est la cage la plus proche de rejet de l'émissaire par le diffuseur ou par un *open pipe*)

Les coquillages bivalves proviennent de la baie Maa mais depuis 2011, une raréfaction des bivalves *I. isognomon* s'accentue dans la Baie Maa et en 2013 les coquillages prélevés étaient de plus grande taille car il n'a pas été possible de récolter un nombre suffisant d'individus calibrés comme les années précédentes. Ce fait doit être pris en compte et la campagne 2014 apportera une solution. De nouvelles prospections sont en cours afin de définir un nouveau gisement de référence.

Cette année chaque cage a été équipée d'un capteur miniaturisé
(Modèle HOBO Water Temperature Pro v2 Data Logger –U22-001) qui a permis l'acquisition de la température d'eau ambiante à une fréquence de 6 fois par jours, soit toutes les 4 heures à partir de 15 juin 2013 jusqu'au 02 septembre 2013.

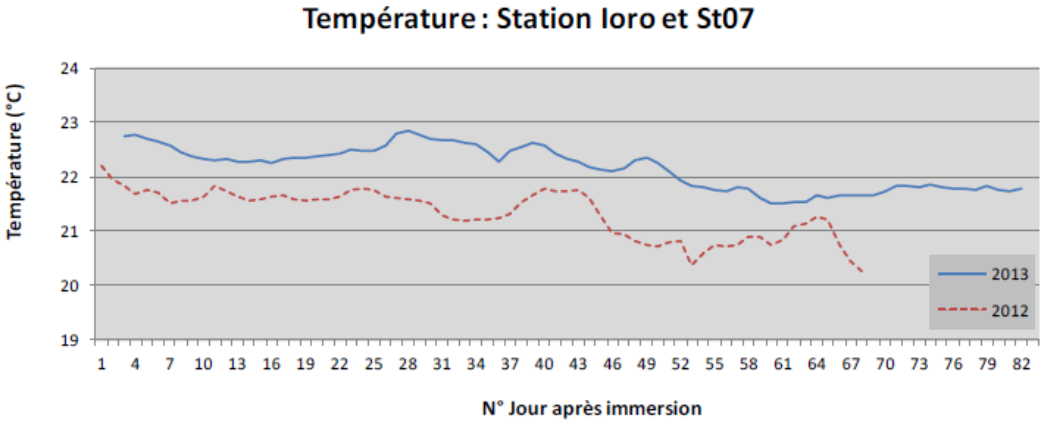
Figure 70 : pluviométrie exceptionnelle lors de cette campagne de transplantation



Les capteurs de températures qui munissent les cages en 2013 permettent de constater qu'une fois de plus deux hydro régions distinctes sont caractérisées.

- pour les stations St06, St18, St16 et St03, une petite mais soudaine baisse en température a été constatée le 04 juillet 2013. Il est fortement probable que cette observation soit à relier à la quantité d'eau de pluie tombée les 02 et 03 juillet 2013 (influence terrigènes, stations côtières)
- les températures de l'eau aux stations St13, St07 et St14 demeurent globalement plus fraîches et lors des pluies de juillet ces stations n'ont pas enregistré une baisse de température comme les stations côtières.

Un tel enregistrement de la température de l'eau de mer par 14 m de profondeur, à raison de 6 relevés par jour sur 82 jours et sur 8 stations, est une première très prometteuse en informations. Remarquons qu'en 2012 la température de l'eau de mer durant les jours de transplantation a été plus fraiche qu'en 2013 dans le canal de la Havannah.



Résultats :

La cage de la station St 31 a été perdue (introuvable, raison inconnue).

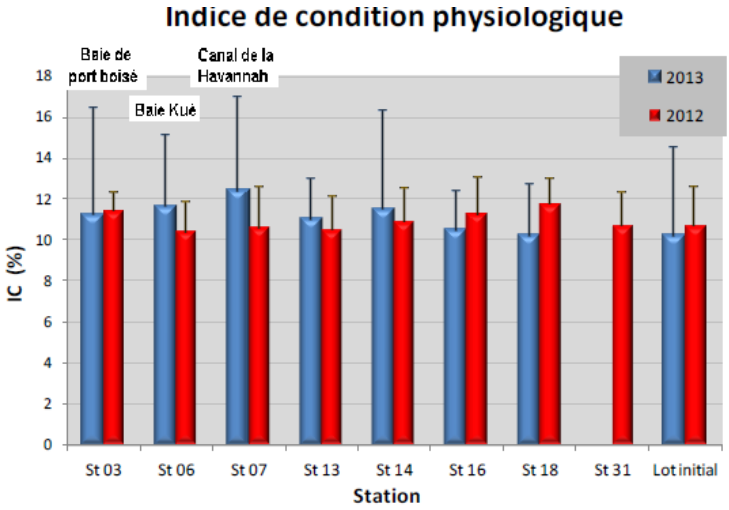
Les algues posent toujours des problèmes, elles peuvent être broutées et perdues (en 2012) ou bien ne pas donner de résultats interprétables à cause des difficultés technique de maintien en cage dans de bonnes conditions de vie (2013).

— **Croissance et conditions physiologiques des coquillages bivalves**

- Les conditions nutritionnelles régnant à proximité des cages sont propices au bon fonctionnement de leur métabolisme global voire similaires à celles de la zone de collecte (Baie Maa), quelle que soit leur position (aussi bien en baie Kué que dans le canal de la Havannah ou en baie du Prony).

- Les conditions nutritionnelles et physiologiques lors de la campagne de 2013 ont été similaires à celles de l'année précédente.
- Les conditions physico-chimiques contrastées en zones côtières ont influencé la croissance des *I. isognomon*. Les variations de la température de l'eau de mer en 2013 et les fortes pluies (dessalure) sont en corrélation avec des taux de croissance en baisse par rapport l'année 2012 ; à l'exception de la station St07.
- La station St07 du canal de la Havannah montre un taux de croissance 2013 supérieur à celui de 2012. *(Cette étude ou une partie de celle-ci, s'est déroulée après la rupture du tuyau de transfert des effluents de l'usine Vale NC.)*

Figure 71 : Comparaison interannuelle des indices de condition physiologique (IC) moyenne des bivalves *Isognomon isognomon* transplantés lors des campagnes 2012 et 2013.



L'indice de condition physiologique (IC) moyen oscille entre 9,7% (St18) et 11,3% (St07) ; ces valeurs sont remarquablement similaires entre les 7 différents lots[5] transplantés dans la zone d'étude et celui conservé comme lot témoin (différence maximale de seulement 0,8%)

➢ **Concentrations en métaux dans les chairs des coquillages**

Les niveaux de concentrations mesurés permettent de classer les métaux selon l'ordre global suivant : (Zn) > (Fe) > (As) > (Mn) > (Cu) > (Ni) = (Cr) > (Co)

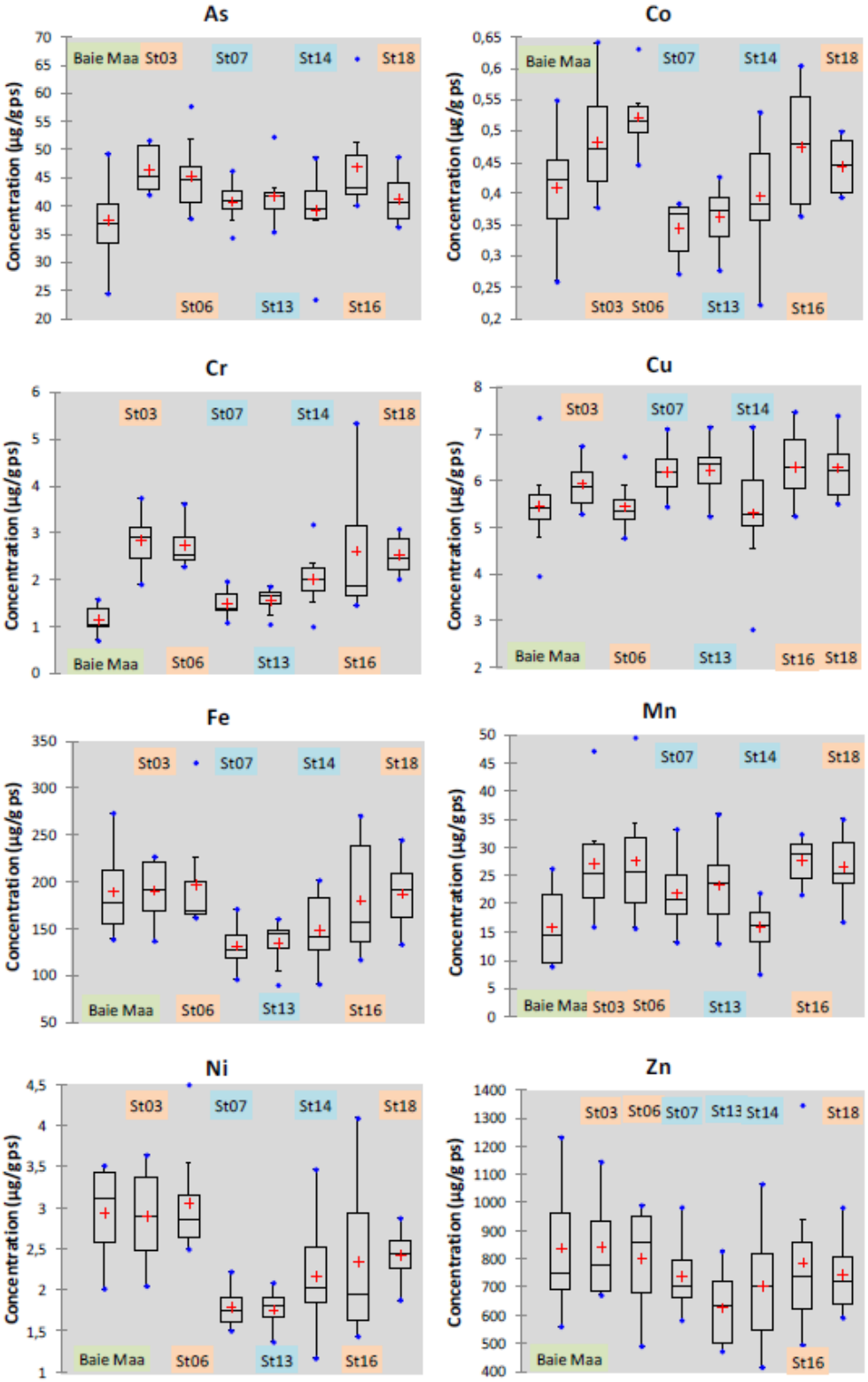
Globalement, une tendance commune est constatée pour les métaux Co, Cr, Fe, Mn et Ni et aucune pour les éléments As, Cu et Zn. Ces éléments peuvent être rassemblés en deux groupes selon leurs comportements géochimiques ou bien leurs termes sources différents : les éléments appelés « latéritiques » (issus des massifs latéritiques ; Co, Cr, Fe, Mn et Ni) ; et ceux appelés « terrigènes » (issus de la géosphère mais également produits par l'activité anthropique ; As, Cu et Zn).

Malgré une grande variabilité des conditions environnementales et un faible gradient de concentrations pour les trois métaux (Co, Cr et Ni), les organismes bio-accumulateurs répondent relativement clairement ; un classement des stations selon leurs niveaux de concentration peut être évoqué :

St13 (ile Ouen) = St07 (canal Havannah) < St14 (baie de Goro) < St18 Casy = St16 Port (La Baie du Prony) < St03 = St06. (Port boisé et baie Kué semblables).

Les teneurs minimales sont toujours obtenues au niveau des stations St13 et St07 (stations lagunaire sous influence océanique) et les teneurs maximales sont observées aux stations St03 et St06 (stations côtières sous influence terrigène, port boisé et baie Kué). St07 est située dans le canal de la Havannah, station la plus proche du rejet de l'effluent traité, elle présente la meilleure croissance des coquillages et les concentrations en métaux les plus faibles.

Figure 72 : Variabilité des concentrations en métaux chez le bivalve Isognomon isognomon lors de la campagne de transplantation 2013



(N=8 pools de 3 spécimens/station). (Les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal la valeur médiane des données ; les points bleus représentent les valeurs minimales et maximales et les barres verticales représentent les écart-type. « Baie Maa » = lot initial en Ti).

VARIABILITE INTER-ANNUELLE

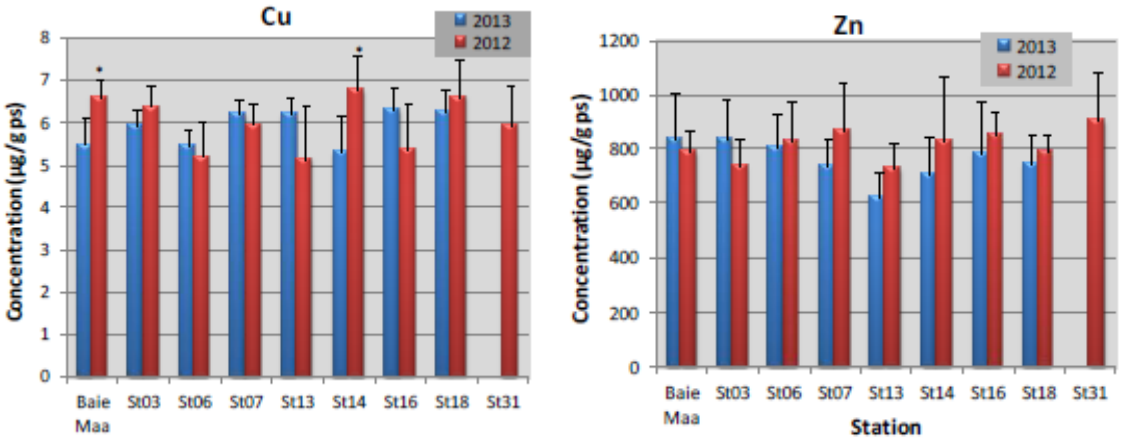
A l'inverse de 2012, en 2013, des variations inter-stations sont manifestes
Le taux de précipitation serait à l'origine des augmentations en teneurs des métaux terrigènes enregistrées en 2013, particulièrement aux stations St06 (baie Kué) et St18 (îlot Casy) ; les températures relevées aux stations côtières (St03, St06, St16 et St18) ont clairement montré que les cages ont été exposées aux apports intenses d'eau de pluies notamment en juillet.

Remarque :

- **Station du port St 16 (Cf. chapitre 3.2.5)**

Cuivre (Cu) : après 83 jours d'immersion, les concentrations médianes du cuivre varient de 5,3 à 6,4 µg/g ps, soit une moyenne globale de 6,0 ±0,4 µg/g ps. Ces concentrations sont largement inférieures à celles précédemment mesurées dans la Grande Rade de Nouméa en 2007 et 2008 (8,6 à 12,1 µg/g ps). Aucune tendance significative à la hausse n'est constatée
Les concentrations des lots transplantés restent dans le même ordre de grandeur que celle du lot témoin (5,5 ±1,0 µg/g ps)
Au niveau du port le cuivre et le Zn sont suivis avec attention, aucune tendance significative pour le Cu et le Zn.

Figure 73 : Evolution temporelle des concentrations moyennes des métaux analysés (Cu et Zn) chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplantés aux différentes stations en 2013 et 2012



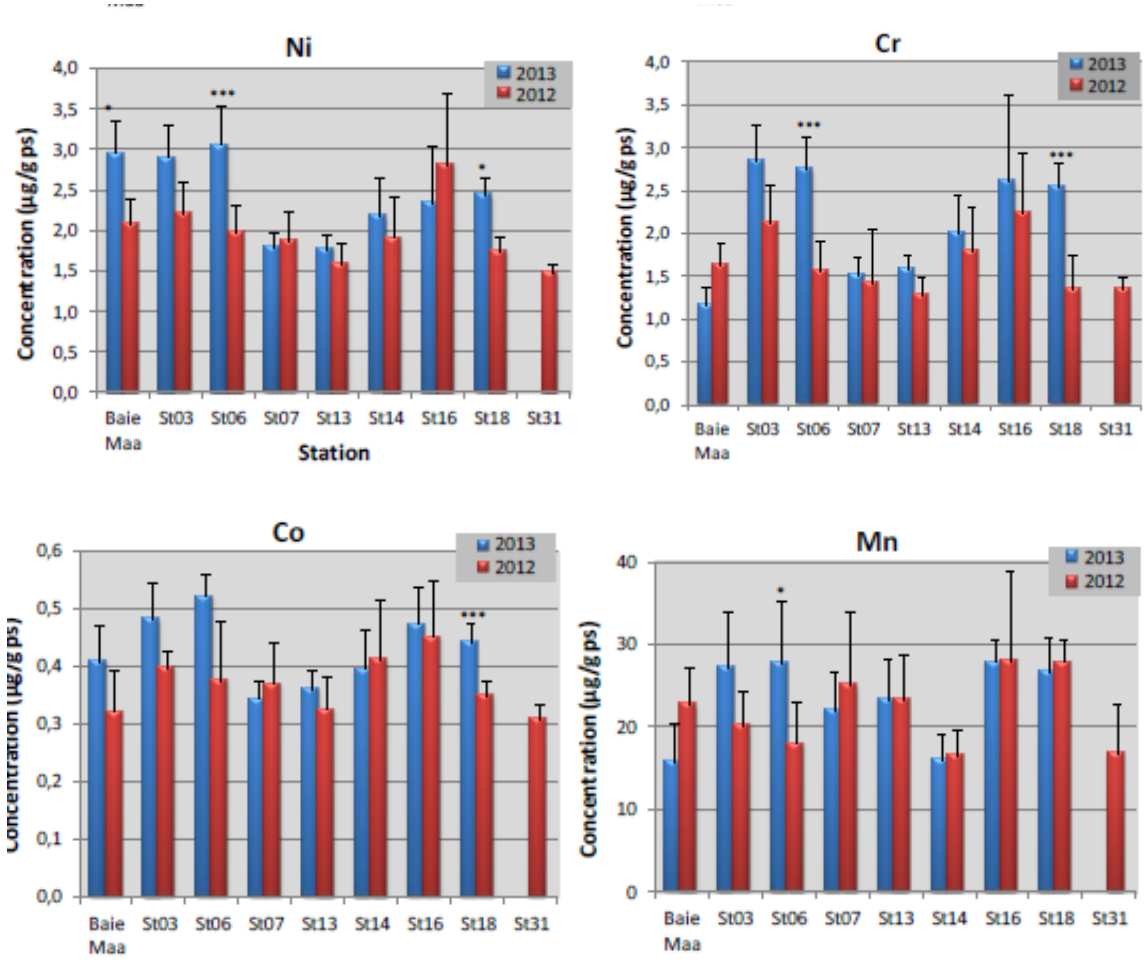
- **Rupture de l'émissaire (constatée en novembre 2013)**

L'hypothèse de terme source potentiel concernant les effluents déversés dans les eaux du Canal après la rupture du tuyau a été envisagée et étudiée; la première cassure s'étant probablement passée après l'immersion des cages. Les deux stations (St03 et St06) sont situées dans les chenaux faisant face au Canal de la Havannah et la station St07 dans le canal.
La modélisation (effectuée selon le scénario « après rupture » par un *open pipe*) a démontré que localement et momentanément le panache a pu longer la côte et que des lentilles d'eau relativement peu diluées ont pu se former sous certaines conditions hydrodynamiques, (Fernandez et al. 2013).
Toutefois, les simulations montrent clairement que Port Boisé et la Baie Kwé n'ont pas été concernés par les lentilles de surconcentration formées.

Cette information permet de conclure que l'augmentation des concentrations en métaux observée aux stations St03 et St06 est imputable aux apports inhabituels de matière issue du lessivage des bassins versants lors des pluies exceptionnelles de juillet 2013, pluies ayant aussi entrainé une baisse de la température au niveau des cages immergées en zones côtières.

La cage de la Station St07 du canal, la plus proche de l'open pipe, quant à elle, n'a pas été affectée par ce phénomène terrigène et elle présente des bivalves avec les concentrations en métaux parmi les plus faibles de toutes les stations.

Figure 74 : Evolution temporelle des concentrations moyennes des métaux analysés (Ni, Cr, Co et Mn) chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplantés aux différentes stations en 2013 et 2012



Classement des stations selon leurs niveaux de concentration: St13 = St07 < St14 < St18 = St16 < St03 = St06. Ainsi les teneurs minimales sont toujours obtenues au niveau des stations St13 et St07 (stations lagunaire sous influence océanique) et les teneurs maximales sont observées aux stations St03 et St06 (stations côtières sous influence terrigène).

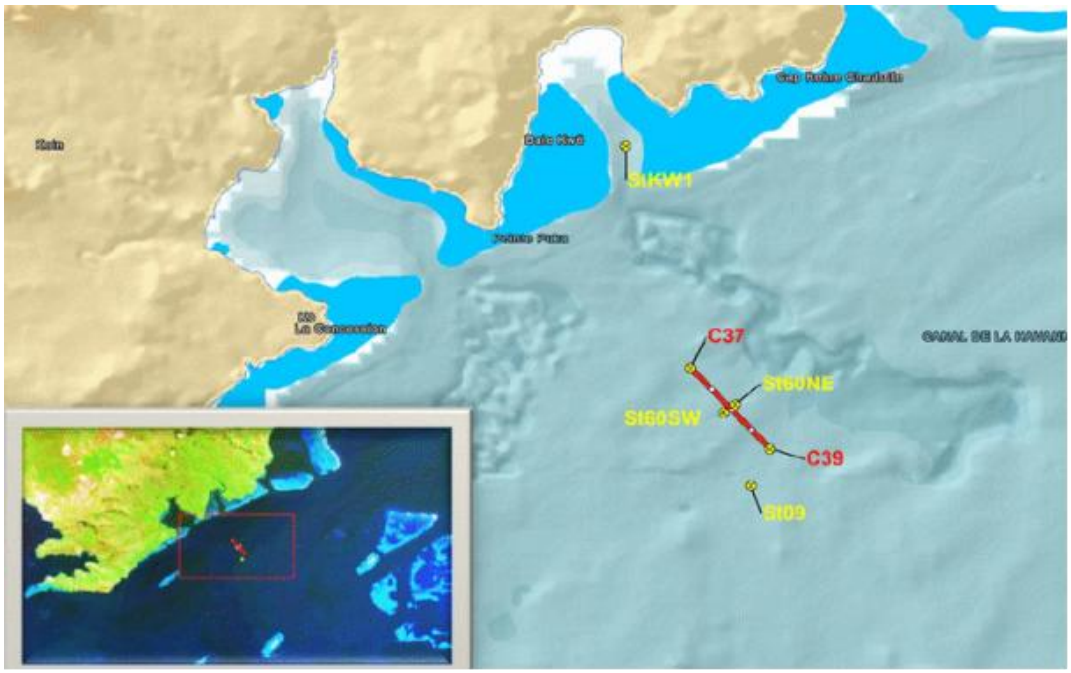
En 2014 deux cages de plus seront immergées en baie du Prony, et le temps d'immersion avec croissance sera rallonger de 3 à 5 mois afin de mieux optimiser ce type de suivi très prometteur car intégrateur .

3.2.4. Suivi des flux sédimentaires

Les flux sédimentaires sont suivis de part et d'autre de l'émissaire au niveau du diffuseur terminal (représenté par un trait rouge sur cette carte schématique) et dans le chenal d'entrée en baie de la Kwé .Il s'agit des lieux marqués par les points StKW1, St60SW et St60NE. KW pour « Kwé Ouest », SW pour Sud-Ouest de diffuseur et NE pour Nord - Est du diffuseur.
Le point St09 quant à lui est une station de suivi de la qualité physico chimique de l'eau.

Le dispositif de collecte a été 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 (Contrat AEL/ Vale-NC n° 20233 ; Figure 2) ; la couche affectée par l'effluent n'étant que d'environ 5 m d'épaisseur en période de vive-eau, alors qu'elle dépasse les 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.

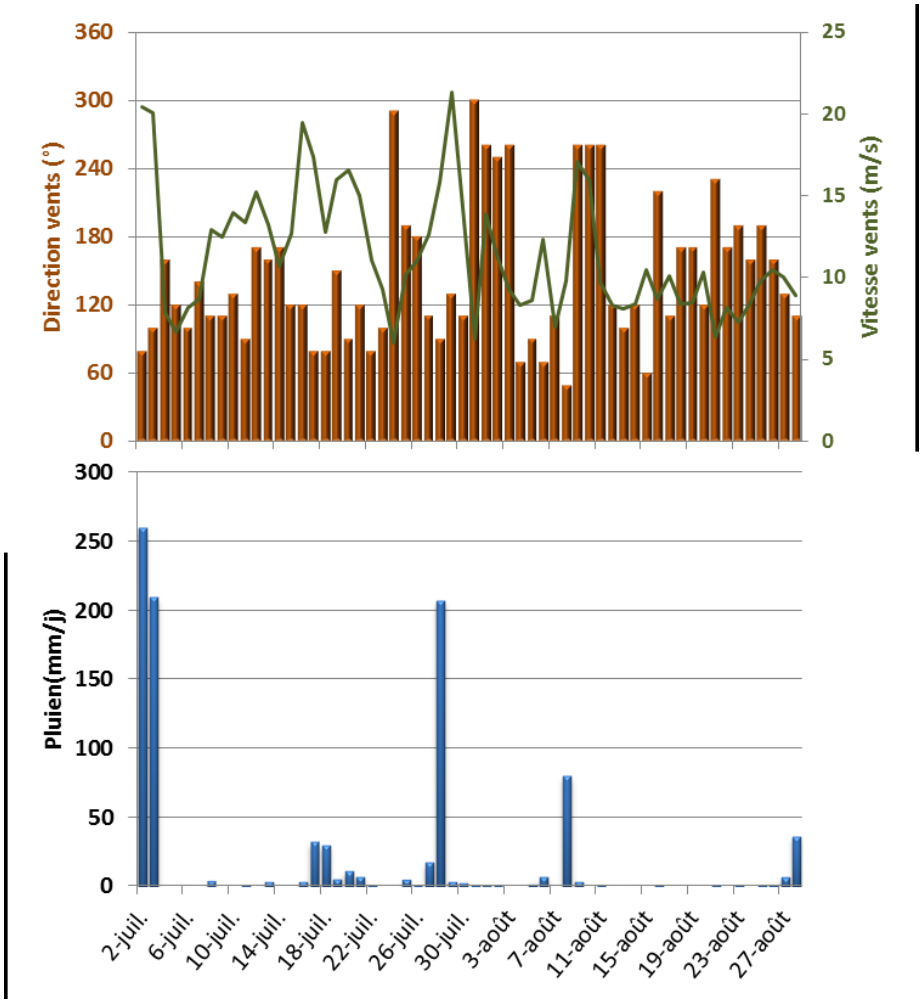
Figure 75: Rappel de la position des stations d'études des flux sédimentaires



Les résultats sont à corréler étroitement avec les conditions météorologiques : force et orientation des vents qui remettent des sédiments en suspension à l'entrée de la baie Kué et épisodes pluvieux.

Pour la campagne du second semestre 2013 (la 5eme) :
La collecte des particules a été programmée pour débuter le 13 juillet 2013 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 28 aout à 00h00.
Au total 12 échantillons de matériel particulaire ont été prélevés pour chacun des trois sites d'immersion.

Figure 76 : Paramètres météorologiques influant sur les flux de sédiments marins et leur remise en suspension, période de la campagne de collecte n°5 (juillet et aout 2013)



L'orientation des vents est importante car les régimes de vents de secteur S dont la vitesse est supérieure à 10 m/s sont à eux seuls, capables de générer des structures néphéloïdes dans la baie Kué. Ils remettent en suspension des sédiments de la passe de l'entrée de la baie et dans le chenal d'entrée, ils influencent donc la station StKW1 de suivi des flux. Dans le Canal, la formation de couches néphéloïdes semble plutôt être favorisée par les régimes météorologiques du secteur E-SE.

Pour cette campagne :

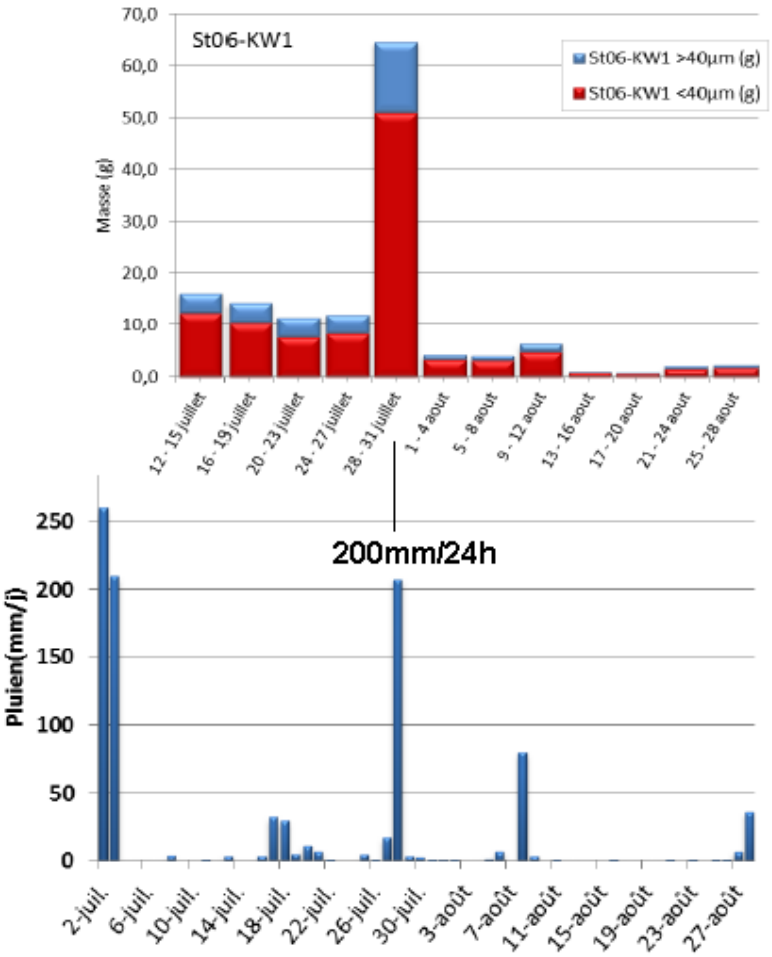
La période de mouillage (12 juillet-28 août) a été marquée par des épisodes pluvieux d'importance (207,3 et 80 mm le 28 juillet et le 8 août respectivement). Il a été enregistré 29 jours de pluies cumulant 467 mm de précipitation, ce qui revêt un caractère exceptionnel pour la saison fraîche.
Il est important de considérer les fortes précipitations qui ont lieu quelques jours avant la période de collecte des échantillons et qui ont cumulé 473,7 mm.

- ***BAIE KWE : Station St06-KW1***

Pour cette campagne, la masse minimale de MES collectée est 0,88 g. Cette valeur est plus faible que celle mesurée à la même saison 2012 mais elle reste du même ordre que la valeur minimale de 1,00 g observable lors de la campagne 2011.
En ce qui concerne les maximales, la valeur de juillet-août 2013 (64,71 g ; KW1-5) est bien supérieur à celle obtenue dernièrement en janvier-février 2013 (21,66 g), en septembre-octobre 2012 (11,82g) ou encore juillet-août 2011 (23,71 g).

Ce résultat peut s'expliquer par les fortes précipitations du 28 juillet et un régime soutenu de vents de secteur E-SE (14,3 à 21,3 m/s) pendant la collecte du godet KW1-5 (28-31 juillet).

Figure 77 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 juillet au 28 aout 2013 en Baie Kwé (St06-KW1). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines (< 40 µm) et fractions grossières (> 40 µm).



La composition minéralogique des particules demeure généralement identique aux campagnes réalisées antérieurement (juillet-août 2011, janvier-février 2012, septembre-octobre 2012 et janvier-février 2013), bien que la composition minéralogique du godet KW1-5 soit majoritairement constituée de Goethite (FeO(OH)) qui souligne l'influence des apports terrigènes lors d'épisodes pluvieux intenses (28 juillet : 203,7 mm de précipitation).

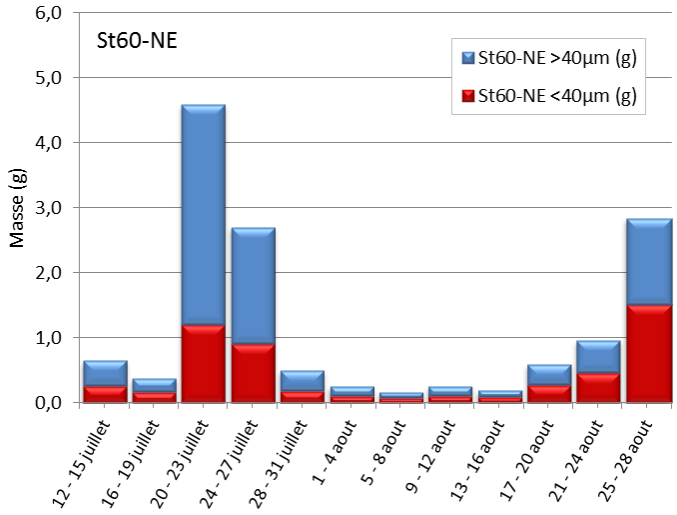
En Baie Kwé, les MES collectées sont constituées d'une fraction carbonatée qui reste abondante puisque celle-ci oscille entre 15,1 % (KW1-5 ; 28-31juillet) et 57,8 % (Figure 6), la valeur moyenne observée étant de 46,02 ± 12,3 %.
Les teneurs observées pour cette campagne de juillet-août 2013 sont en moyenne inférieures à celles obtenues pour les campagnes précédentes en saison fraîche (septembre-octobre 2012 ; 67,7 ±3,2%) et saison chaude (janvier-février 2013 ; 66,9 ±8,4%). L'influence marine est donc moins marquée qu'auparavant, en partie causée par des apports terrigènes conséquents lors de fortes précipitations, comme mesuré pour KW1-5 (28-31juillet).

- ***CANAL DE LA HAVANNAH de part et d'autre du diffuseur***

A la station St60-NE, à 60 m à l'Est du diffuseur, les masses collectées sont faibles et comprises entre 0,16 et 0,98 g pour la plupart des godets, seuls les godets NE60-3, NE60-4 et NE60-11 ont présenté des masses supérieures avec 4,58 ; 2,70 et 2,84 g respectivement.

La série temporelle de piégeage de la station St60-NE est très proche de celle obtenue à la station St60-SW situé à l'Ouest du diffuseur.

Figure 78 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 juillet au 28 aout 2013 dans le Canal de la Havannah, au nord-est du diffuseur (St60-NE). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines (< 40 µm) et fractions grossières (> 40 µm)



En termes de variabilité interannuelle, la comparaison de la campagne de juillet-août 2013 avec celle de septembre-octobre 2012 montre que les valeurs maximales de MES collectées sont exactement du même ordre (4,09 et 3,55 g respectivement) tandis que les valeurs minimales collectées sont cinq fois plus élevées en 2013 par rapport à 2012 (0,13 et 0,02g respectivement).

Les MES sont composés principalement de minéraux comme la calcite, l'aragonite et la calcite magnésienne, cette dernière étant amplement majoritaire. Ces minéraux mettent en évidence la dominance quasi-totale de l'influence marine

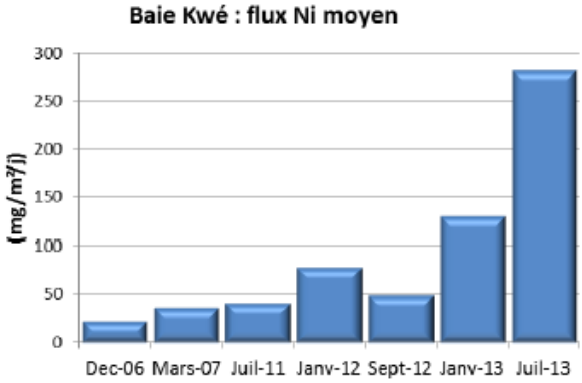
- ***COMPOSITION GEOCHIMIQUE des matières en suspensions récoltées***

Les éléments analysés dans les MES de la Baie Kué ont permis de mettre évidence l'interaction des apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) ainsi que marins (Ca).

Du point de vu de l'évolution temporelle, les concentrations en métaux ont toutes présenté des valeurs maximales pour la période du 28-31 juillet (godet KW1-5) correspondant à la collecte qui a suivi les fortes précipitations du 28 juillets (203,7 mm). Les concentrations sont restées élevées jusqu'au 8 août (godet KW1-7); de part et d'autre de ce pic de concentrations (28 juillet au 8 août), les valeurs sont demeurées stables et du même ordre.

En baie Kwé : Les résultats montrent une augmentation significative par rapport à la campagne de juillet-août 2011 et à ceux de l'Etat de Référence défini en 2007
En effet, depuis l'état de référence, les concentrations en métaux ont sensiblement augmenté de 318 ; 166 ; 175, 192 et 210 %, respectivement pour Co, Cr, Fe, Mn et Ni en juillet-août 2013.

Figure 79 : Evolution temporelle des flux de nickel moyens (mg/m²/j) mesurés au niveau de la station St06-KW1 pour la Baie Kwé



- La matrice de corrélation met en évidence, une nouvelle fois, une grande similarité d'évolution des concentrations massiques inter-éléments pour Co, Cr, Fe et Ni. Cette similarité souligne que ces éléments métalliques appartiennent au cortège des formations latéritiques exploitées en amont du bassin versant.
- Les concentrations en calcium évoluent peu dans le temps mais la matrice de similarités montre qu'il existe bien une anti-corrélation entre celui-ci et les 5 métaux latéritiques.
- La normalisation des concentrations du calcium par le fer (Ca/Fe) souligne de manière notable les évolutions relatives distinctes des deux éléments qui représentent les pôles marins et terrigènes, respectivement.

Compte tenu de la constance des concentrations en calcium dans le milieu marin, les ratios Ca/Fe sont un indicateur pertinent qui permet de montrer que l'influence terrigène à la station St60-KW1 (baie Kué) :

Compte tenu de la constance des concentrations en calcium dans le milieu marin, les ratios Ca/Fe permettent de montrer que :

L'influence terrigène à la station St60-KW1 de la baie Kwé:

- **d'une part, est plus importante en raison des conditions hydro-climatiques exceptionnelles de juillet 2013 ;**
- **d'autre part, parait s'accentuer notablement dans le temps. En effet, les valeurs moyennes du rapport Ca/Fe, toutes saisons confondues, diminuent progressivement d'une campagne à l'autre passant de 3,17 ± 0,5 (juillet-août 2011) à 0,98 ± 0,46 (juillet-août 2013).**

Il est à noter également que la valeur obtenue lors de la définition de l'« Etat de Référence » (2007/2008) était de 3,85 ±0,51 (Convention IRD/Goro-Ni, n°1230).

Tableau 28 : Evolution temporelle du ratio moyen Ca/Fe dans les MES collectées par piège à sédiment séquentiel au niveau de la station St06-KW1 de la baie Kué.

Ca/Fe	Juil-août 2013	Janv-fév 2013	Sept-oct 2012	Janv-fév 2012	Juil-août 2011	2007-2008*
Moyenne	0,98	1,95	2,40	2,32	3,17	3,85
Ecart-type	0,46	0,33	0,31	0,18	0,50	0,51

Indicateur ratio Ca/Fe

(*) Valeurs obtenues lors de la définition de l'Etat de Référence.

Les éléments analysés dans les MES de le canal de la Havannah ont logiquement permis de mettre en évidence une influence marine très marquée (Ca). Toutefois, comme à l'accoutumé, les apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) sont décelables, mais à des niveaux de concentrations respectifs bien moindres que dans les MES de la Baie Kué. L'influence des apports terrigènes n'est pas prépondérante dans ce secteur du Canal de la Havannah.

Si ces observations démontrent que l'impact des apports terrigènes demeure modéré dans cette zone, quelle que soit la saison, il apparait toutefois assez clairement que les apports en particules latéritiques fines riches en métaux tendent à augmenter depuis la définition de l'Etat de Référence de 2007/2008. On notera cependant que l'évolution de l'empreinte terrigène pour juillet 2013 est fortement conditionnée par l'épisode météorologique exceptionnel pour la saison fraiche.

A ce stade de l'activité industrielle, aucune trace d'enrichissement anormal en calcium ou en soufre (signatures potentielles du rejet d'effluent) dans les MES collectées aux stations St60-NE et/ou St60-SW ne permet de déceler l'influence de l'effluent (absence de pic caractéristique de gypse).

- ***Calculs des flux de matières***

Pour la Baie Kwé, entre juillet 2011 et juillet 2013, les flux moyens de MES sont compris entre 27,1 ±30,0 et 58,1 ±87,8 g/m²/j
Une tendance à l'augmentation des flux parait tout de même se dessiner, bien que la valeur maximale ait été calculée pour juillet 2013 montrant ainsi le caractère exceptionnel de cette campagne.

Pour le Canal de la Havannah, entre juillet 2011 et juillet 2013, les flux sont compris entre 3,5 ±3,0 et 12,7 ±15,4 g/m²/j
Comme pour la Baie Kwé, une périodicité apparait montrant clairement que les apports sont au moins 2 fois plus importants en saison chaude qu'en saison fraiche

Les flux de MES indiquent une tendance à la hausse au niveau des flux.

Tableau 29 : Valeurs moyennes et écart-types des densités de flux en matière particulaire au niveau des stations St06-KW1 (Baie Kwé), St60-NE et St60-SW (Canal de la Havannah).

Valeurs calculées pour l'ensemble des 5 campagnes de juillet 2011 à aout anvier 2013 ; comparaison des valeurs obtenues avec celles mesurées en 2006 et 2007 pour la définition de l'Etat de Référence aux stations St06-KW1 pour la Baie Kwé et T4B, T4C et TCM) pour le Canal de la Havannah.

Baie Kwé (St06-KW1)

	nov-06	mars-07	juil-11	janv-12	sept-12	janv-13	juil-13
Moyenne (g/m²/j)	14,6	28,3	27,1	39,5	26,4	46,5	58,1
Ecart-type	7,4	9,2	30,0	33,2	13,1	29,5	87,8
Masse sédimentée (g/m²)	700	1132	1299	1894	1267	2231	2786

Canal de la Havannah (St60-NE et St60-SW)

	févr-07	nov-07	juil-11	janv-12	sept-12	janv-13	juil-13
Moyenne (g/m²/j)	26,4	7,8	3,5	10,1	4,9	12,7	6,3
Ecart-type	33,2	7,7	3,0	9,6	6,5	15,4	7,3
Masse sédimentée (g/m²)	527	366	167	483	233	611	300

Pour la Baie Kwé, les valeurs moyennes des densités de flux en métaux totaux ont augmenté entre 2011 et 2013.
- **les valeurs maximales sont restées du même ordre de grandeur,**
- **les valeurs minimales quant à elles ont fortement progressé.**

Cette augmentation est explicitée par l'accroissement régulier des flux de matière terrigène particulaire de faible diamètre, donc de plus forte concentration spécifique en métaux ; ces apports étant liés au débit solide du creek Kwé.

Pour le Canal de la Havannah, une augmentation moyenne des densités de flux en métaux est également observée entre 2011 et 2013. Cependant, et contrairement aux observations effectuées pour la Baie Kwé, l'accroissement des valeurs minimales, qui constituent le bruit de fond géochimique,

ne semble pas être la raison principale, les masses d'eau étant cycliquement renouvelées par les courants provenant de la Passe de la Havannah.
Il faut probablement rechercher la cause dans l'augmentation de la fréquence des épisodes d'apports importants (fortes crues) qui prennent naissance dans la Baie Kwé

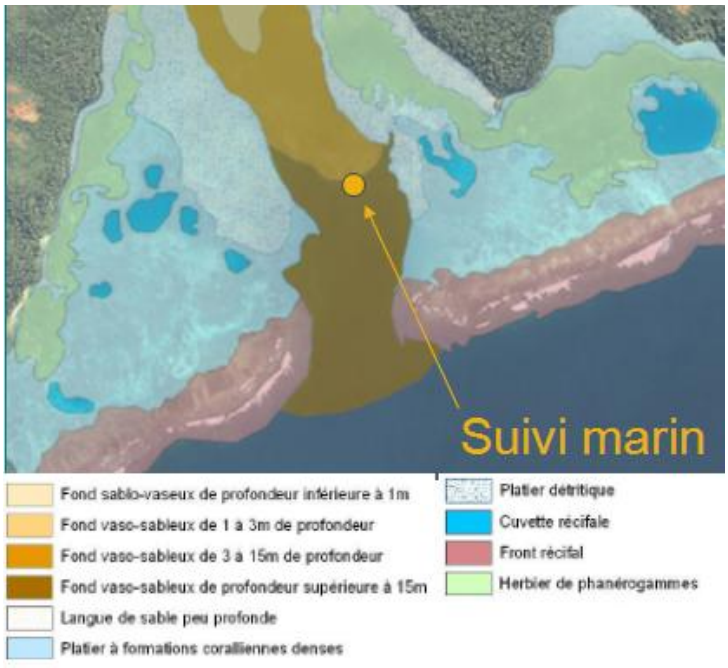
CONCLUSION

En baie Kué
La direction des vents de secteur S est déterminante pour la mise en place de phénomènes de remise en suspension des particules latéritiques fines déposées à l'intérieur de la baie. Toutefois, des vitesses supérieures à 10 m/s semblent nécessaires pour fournir l'énergie suffisante à ces mécanismes. Des vents plus rapides (>15 m/s) et d'orientation SE conduisent à la resuspension de particules moyennes et grossières (Ø > 40 µm) carbonatées provenant du platier récifal.

Les matières en suspension (MES) collectées au cours de cette campagne sont majoritairement composées de particules fines (Ø<40 µm) et la masse de MES la plus élevée a été collecté entre le 28 et le 31 juillet, période soumise à de fortes précipitations (203,7 mm) et des vents de secteur SE forts (14 à 21 m/s) .

Hormis l'épisode pluvieux exceptionnel de juillet, les valeurs de flux de matière particulaire (MES) mettent en évidence une grande variabilité temporelle et une périodicité saisonnière ; les flux étant généralement bien plus élevées en saison chaude qu'en saison fraiche ;

Les flux moyens en métaux observés en saison fraîche depuis juillet 2011, décrivent une augmentation perceptible. Les flux de métaux ont été multipliés par 6 comparativement à juillet-août 2011. De même, on constate une forte augmentation des flux moyens par rapport à l'Etat de Référence de 2007.



St06-KW1
166°59,140
22°20,747
18

Les rapports intégraux sont placés en annexe de ce document

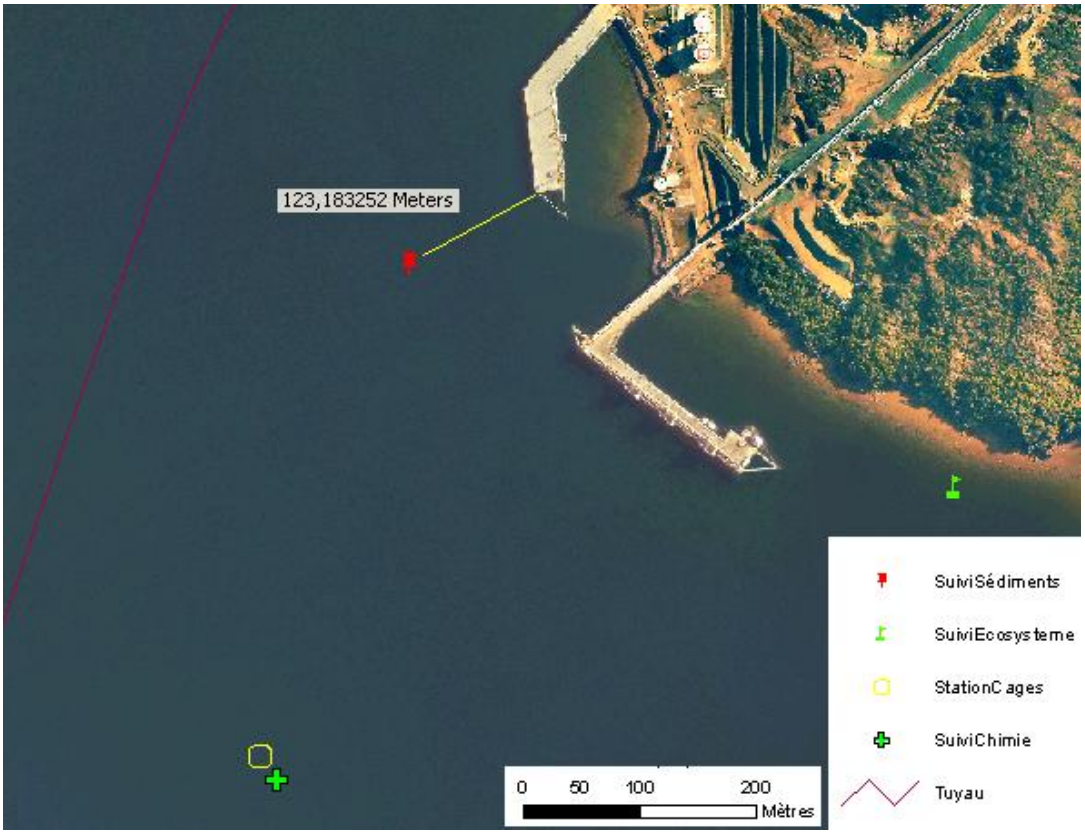
3.2.5. Suivi spécifique dédié au port de Prony (St16). Qualité de l'eau et sédiments

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

- **La qualité de l'eau** : au minimum 4 fois par an (les missions sont effectuées en mars, mai, aout et novembre ;
- **Les sédiments** : une fois par an pour le suivi sédimentaire.
- **Les écosystèmes** : la station de suivi des écosystèmes (ST 03) est suivie de façon semestrielle quant à elle (Cf. chapitre 3.2.2)
- **L'éventuelle accumulation d'éléments dans les bio-indicateurs** (algues et coquillages filtreurs) est surveillée annuellement par *le caging*,). La cage doit être positionnée de façon à être évitée par les rotations des navires. Elle est immergée durant 3 mois en juin, juillet et aout. Le rapport est annuel.

Remarque : Il a été décidé de doubler la fréquence des suivis au niveau de la Station St15 du creek de la baie Nord, de façon volontariste par Vale NC, les résultats trimestriels de St 15 sont présentés avec ceux de St16, de façon globale et en fin d'année.

Figure 80: Rappel de la position des stations suivies au port de Prony



En novembre 2013 Vale NC a demandé une estimation de l'état des lieux à l'aplomb du quai vraquier et sous celui-ci (entre les piliers de ce tablier)

Le rapport spécial dédié au port est présenté en fin d'année.

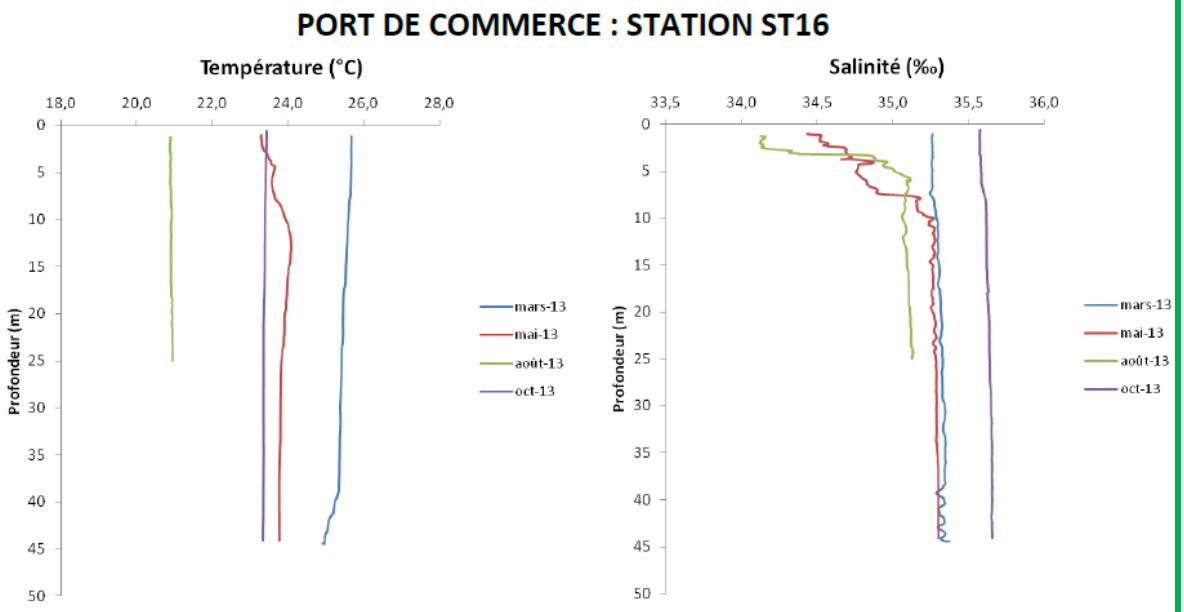
I. Qualité de l'eau au niveau de la station St16 du port de Prony

La station du St 16 du port de Prony fait partie d'une hydro-région de type « fond de baie » sujette à l'influence quasi constante d'apports d'eau douce, comme toute la baie du Prony. La station St15 en

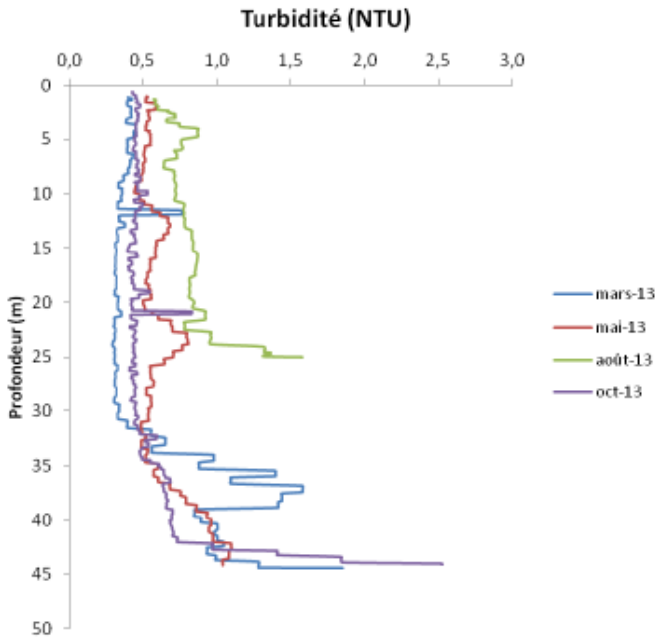
face le creek Baie Nord a été suivie de façon trimestrielle, en même temps que St16 et l'on remarque une différence de comportement entre ces deux stations.
En mars et en octobre (courbes bleue et mauve de la figure 82 ci-dessous) il n'y a pas de baisse de la salinité en face le port (St16), bien qu'il ait plu auparavant (cf. figure85) et que les relevés en face le creek Baie Nord (St15) le confirment en enregistrant bien la dessalure de surface à chaque relevé. En fait les bassins de sédimentation qui permettent la décantation des eaux de ruissellent le long de la route du port et le grand bassin final de rétention des eaux de pluie au port ont leur déversoir qui n'est pas toujours en rejet (en fonction du taux de remplissage des bassins) si bien qu'il peut y avoir des décalages entre les pluies et l'enregistrement de celles-ci à la station St16.
La figure ci-dessous montre des eaux de surface dessalées sur les 5 premiers mètres, ce qui est habituel en baie du Prony, mais seulement en mai et en aout, pour ces 4 relevés.

Figure 81 : Structure verticale de la colonne d'eau de mer sur la station St 16 du port de prony en 2013

(4 mesures)



Durant les 4 relevés la turbidité de l'eau est restée faible. (Les données brutes sont dans le rapport intégral placé en annexe)



Et les matières en suspension (MES) restent faibles aussi. Ces indicateurs tendent à montrer le bon fonctionnement des bassins de sédimentation.

Figure 82 : Hauteur des précipitations quotidiennes 5 jours avant et pendant les 4 campagnes de prélèvements 2013

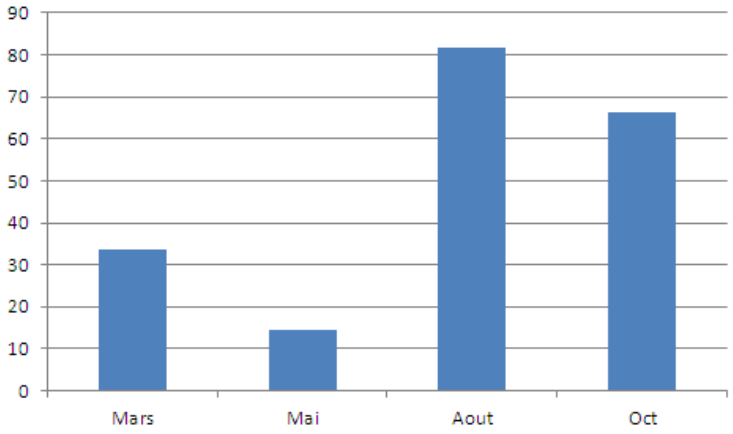
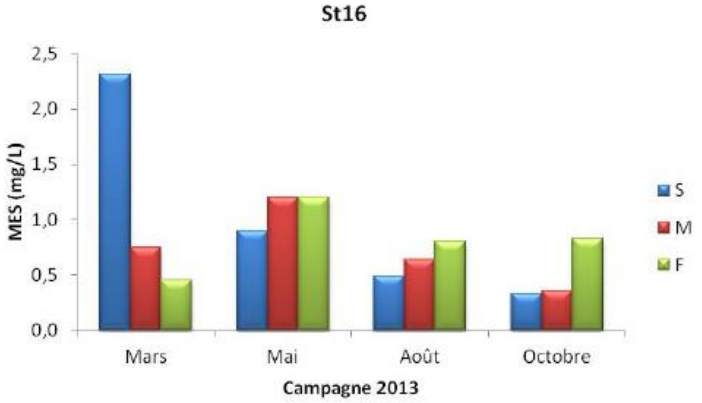


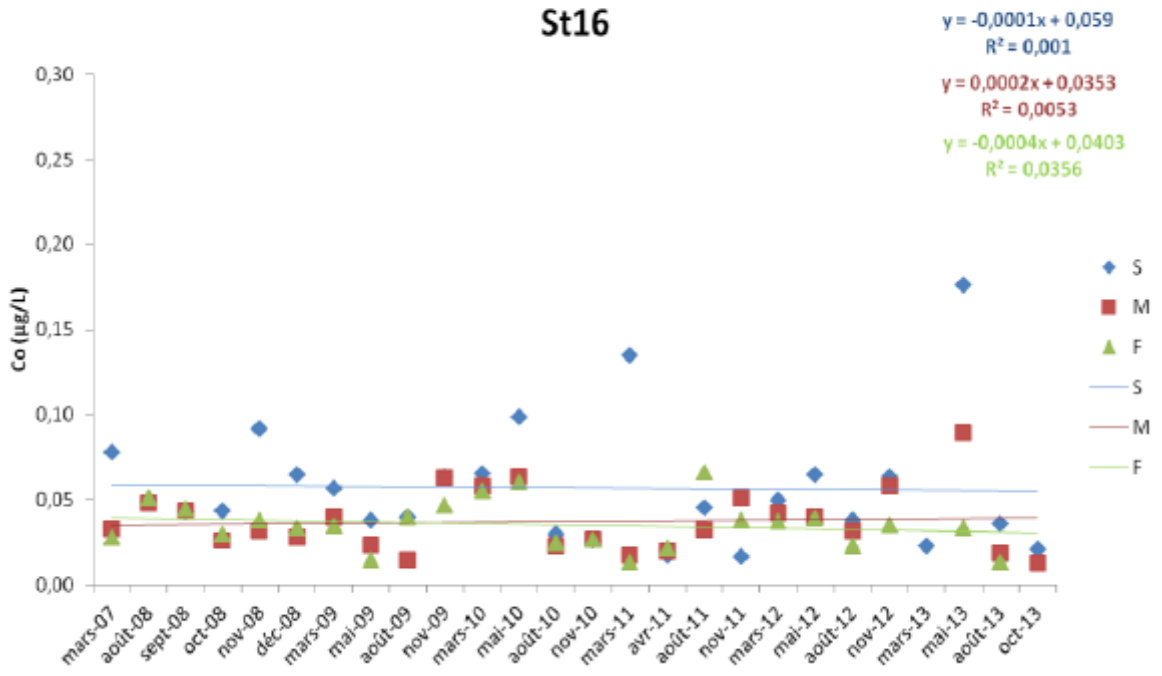
Figure 83 : MES au port (St16) en 2013



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).

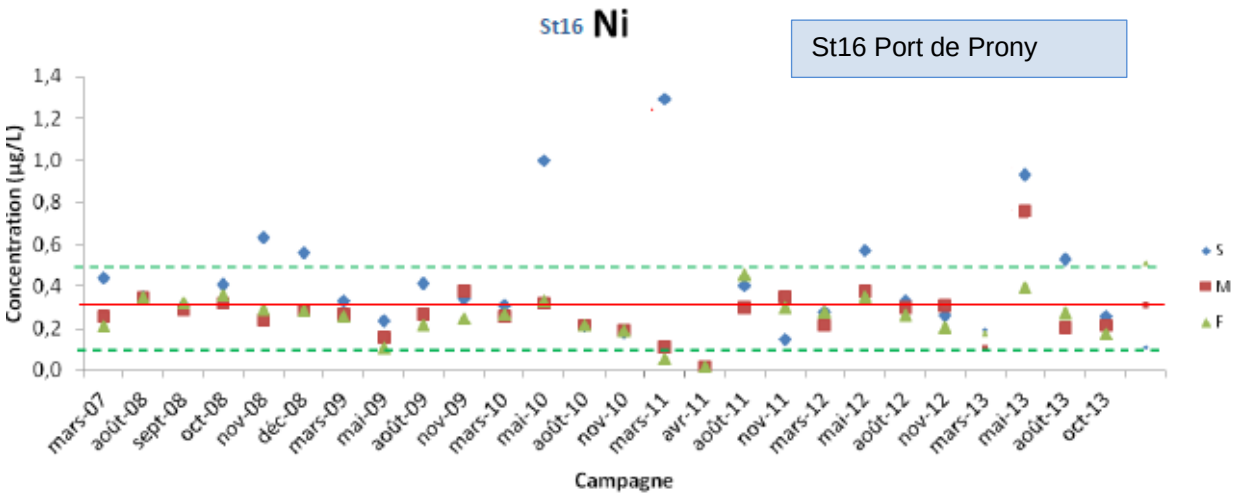
Les figures suivantes présentent l'évolution temporelle des concentrations en métaux au niveau de la station St 16 du port depuis 2007. En l'absence de seuil et du fait des caractéristiques géo chimiques des sols miniers calédoniens, ce sont les états initiaux et les valeurs des suivis antérieurs qui permettent les comparaisons en donnant une fourchette qui permet d'évaluer le « bruit de fond géochimique». Cette au fur et à mesure de fourchette s'affine l'avancée des connaissances notamment au fil des saisons et des évènements climatiques intenses.
Il est important de surveiller les tendances évolutives au fil des missions, une donnée ponctuelle ne peut pas à elle seule être déterminante ni caractériser un milieu.
En 2014 une étude statistique sera conduite par un biostatisticien et un métrologue afin de déterminer les tendances significatives ou pas, et les incertitudes méthodologiques. .

Figure 84 : Concentrations en Co, Ni, Cr(VI), Mn et en Cu mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi- profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2013

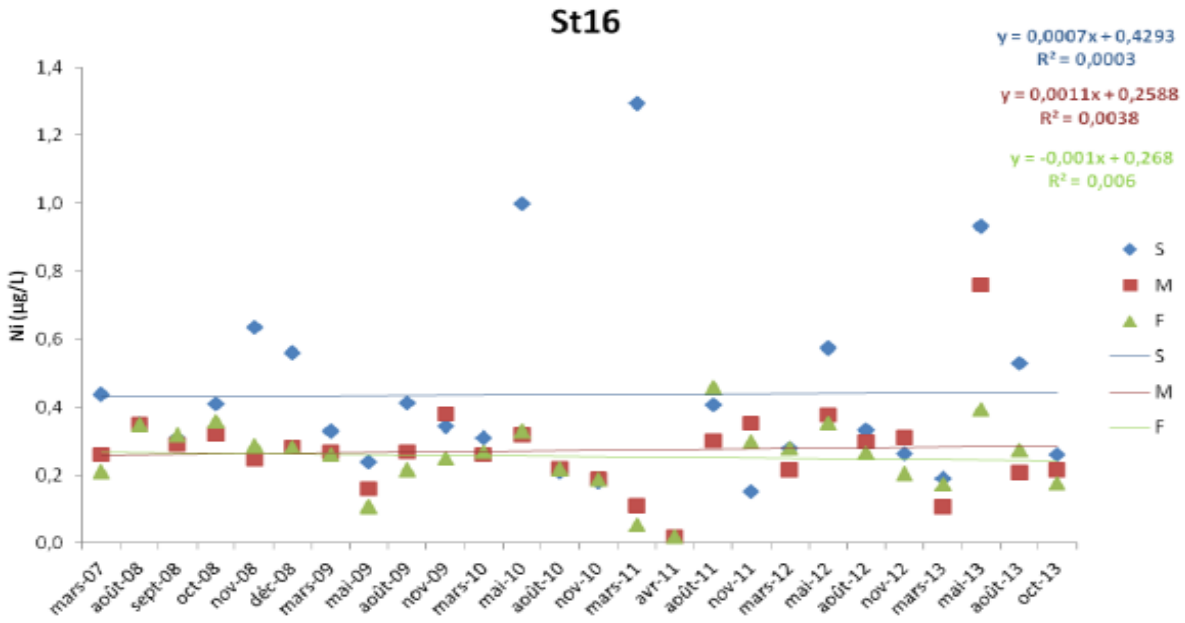


Les droites de régression obtenues ne montrent pas de tendance particulière avérée.au fils des années.
Les coefficients de corrélation obtenus pour les différentes droites sont tous très faibles et ne permettent pas de dégager de tendance statistique fiable.

Figure 84b (suite) : Concentrations en Co, Ni, Cr(VI), Mn et en Cu mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi- profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2013.

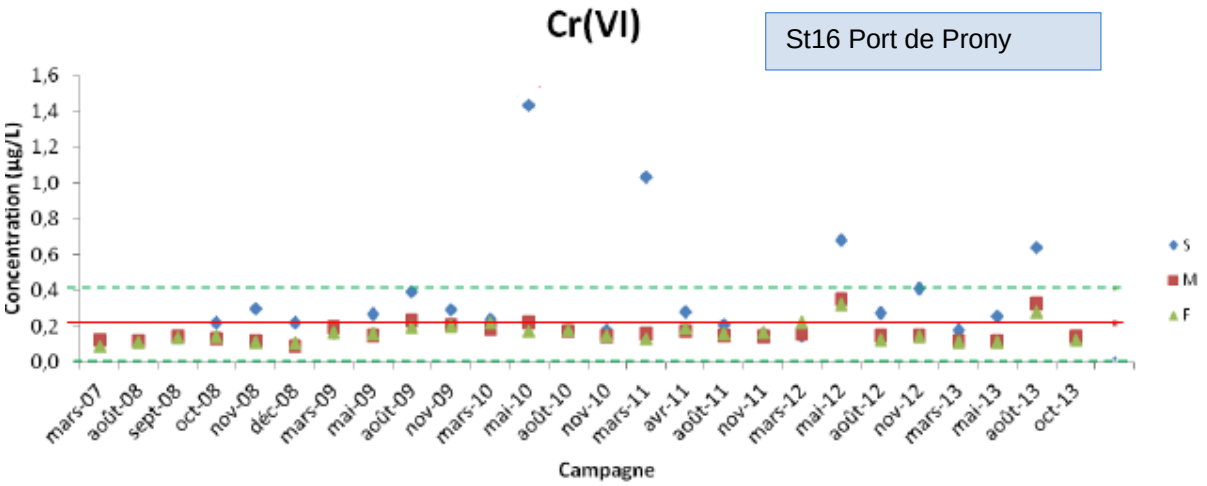


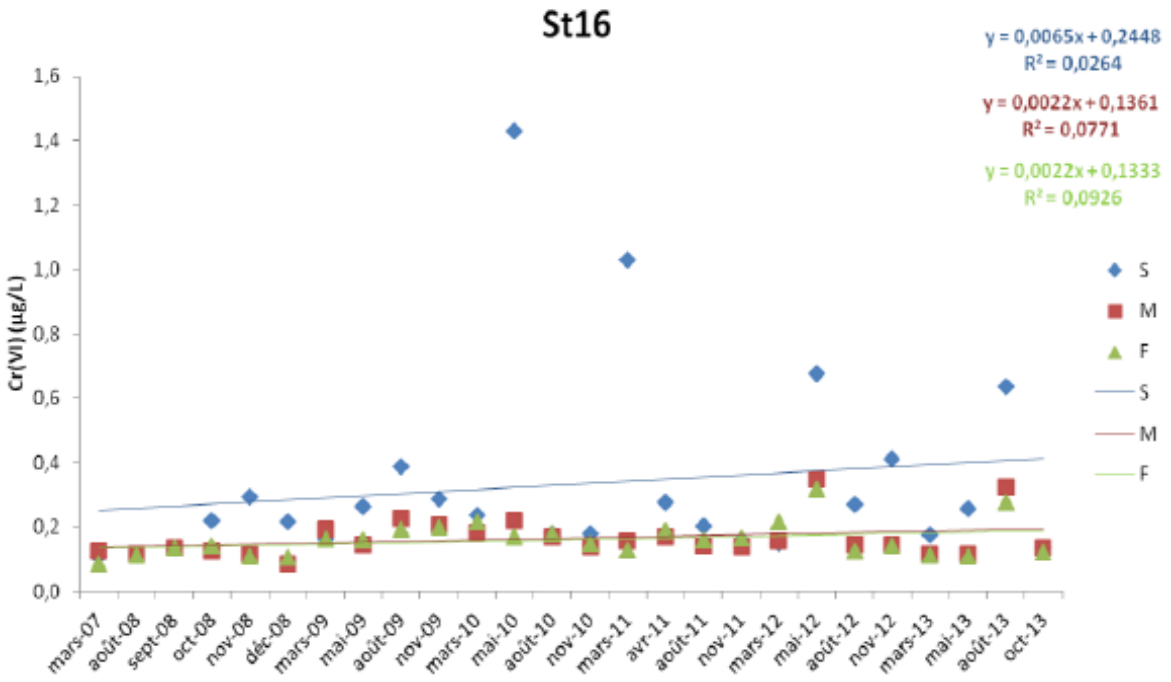
La figure ci-dessus présente une approche comparative avec les valeurs médianes d'état des lieux entre des bornes supérieures et inférieures (lignes pointillées vertes) qui ne sont pas des seuils mais une estimation du bruit de fond géochimique pour cet élément. La figure ci-dessous présente la tendance.



Les droites de régression obtenues pour ne montrent pas de tendance particulière avérée.au fils des années.

Figure 8Ac (suite) : Concentrations en Co, Ni, Cr(VI), Mn et en Cu mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi- profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2013.





Les droites de régression obtenues ne montrent pas de tendance particulière avérée.au fils des années. On peut cependant remarquer que certaines droites de régression, comme celles calculées pour les concentrations de Cr(VI) et Mn, sur les points de surface, mais pas à mi profondeur ni au fond, dessinent une tendance à l'augmentation même si les pentes de ces droites sont tellement faibles (Cr(VI) = 2 % ; Mn = 1 %) que la tendance observée ne peut être pas considérée comme significative à ce jour.
Elle sera suivie avec la plus grande attention. Notamment pas une étude métrologie /bio statistique.

Figure 84d (suite) : Concentrations en Co, Ni, Cr(VI), Mn et en Cu mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi- profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2013.

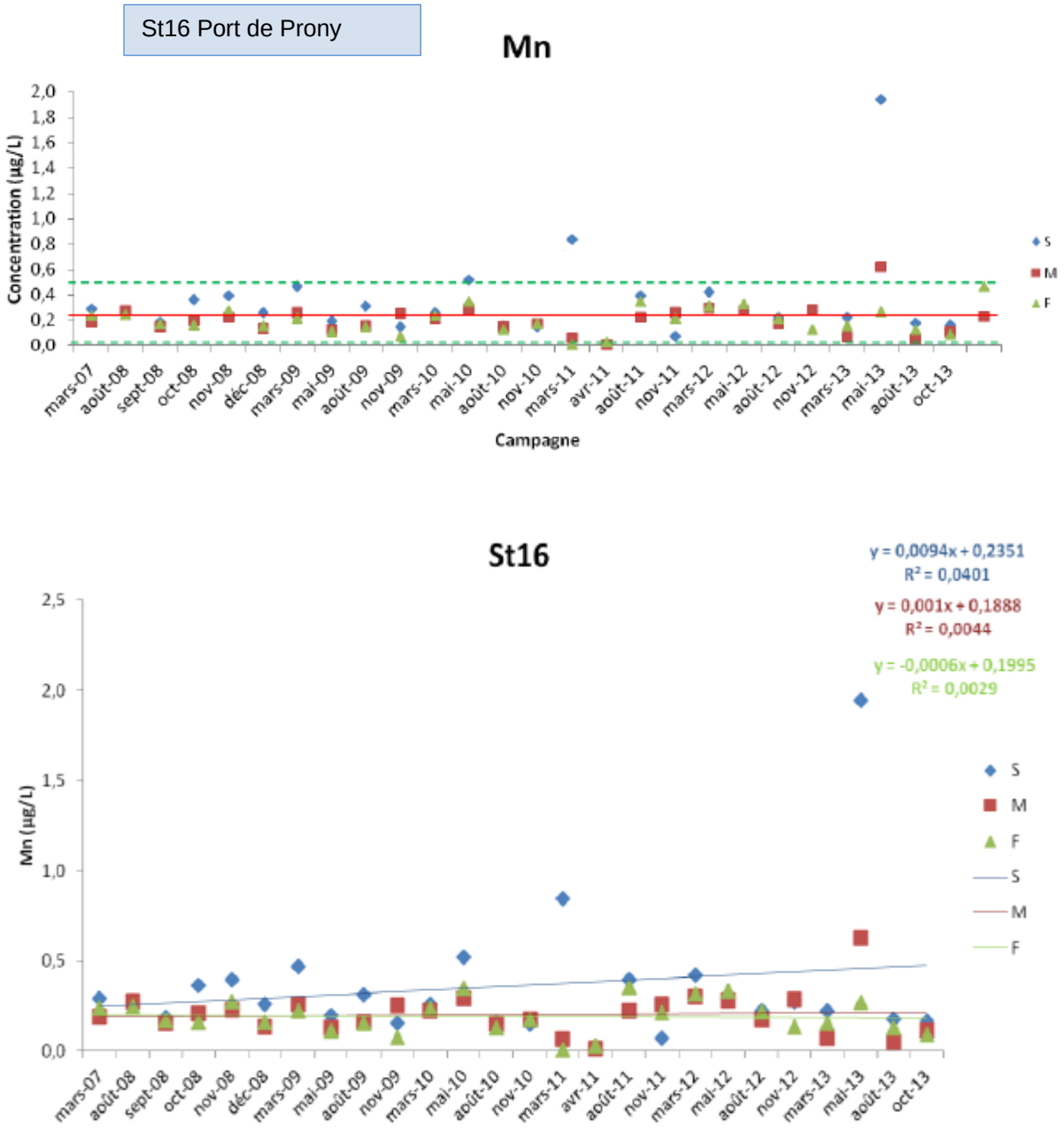
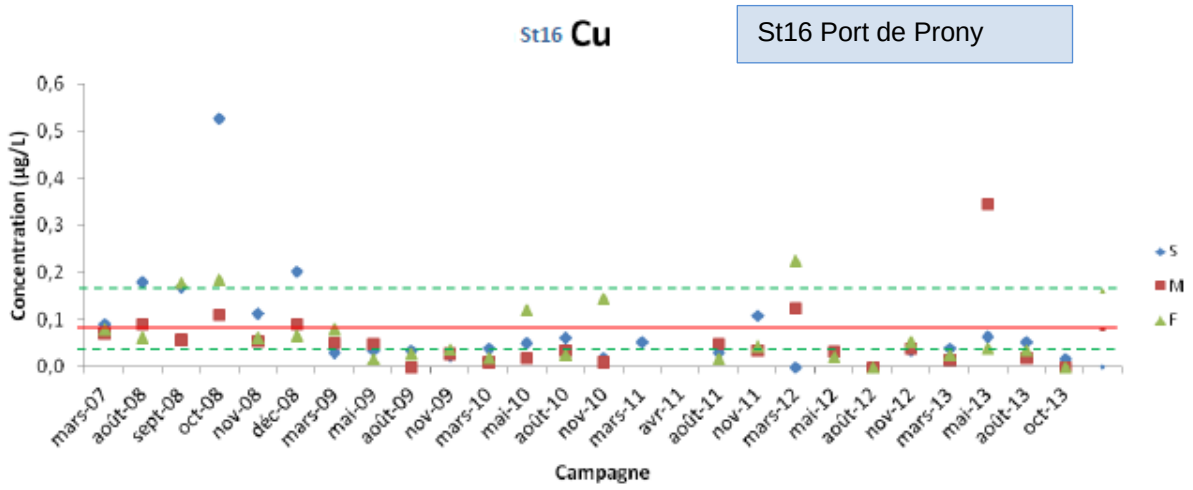
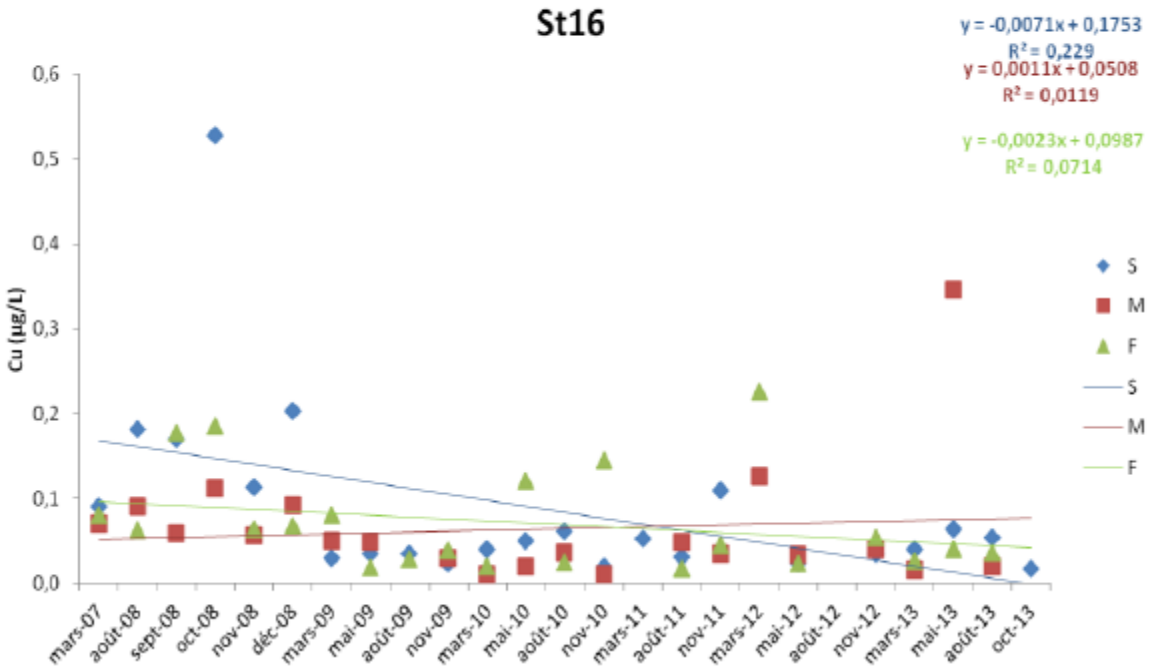


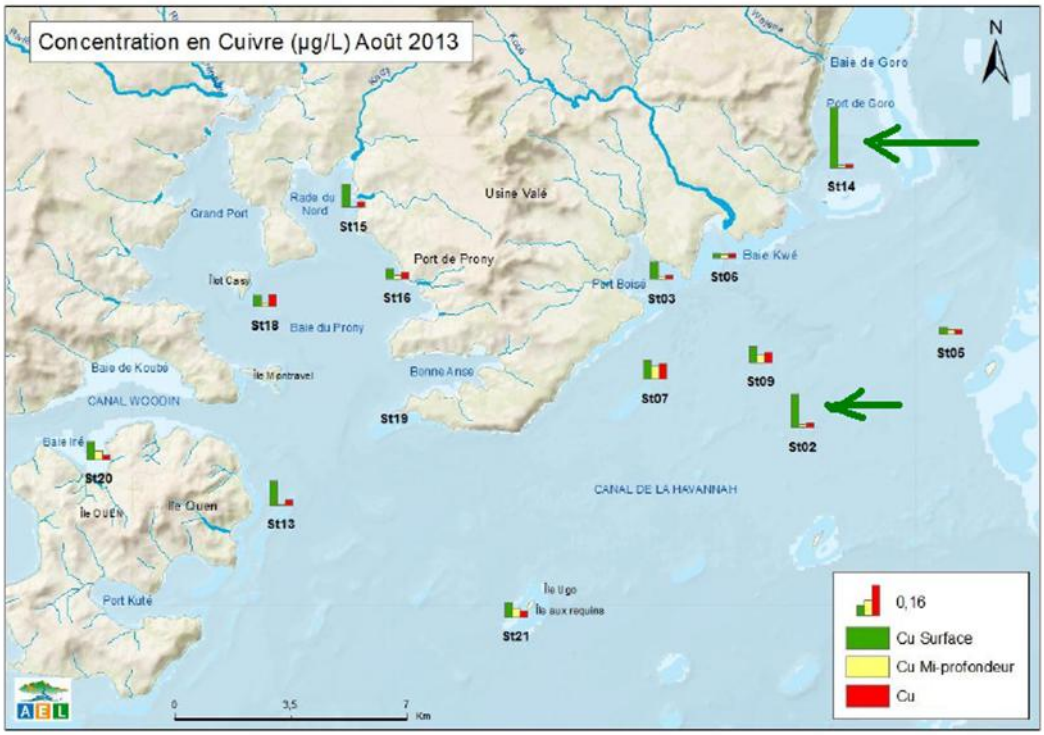
Figure 84e (suite) : Concentrations en Co, Ni, Cr(VI), Mn et en Cu mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi- profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2013.

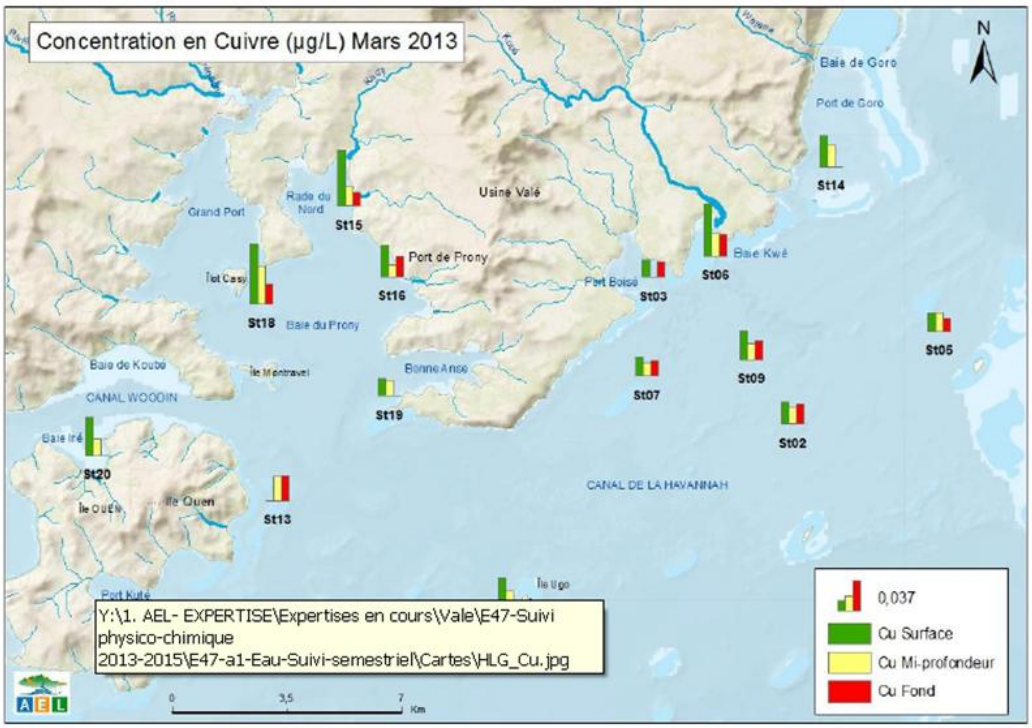


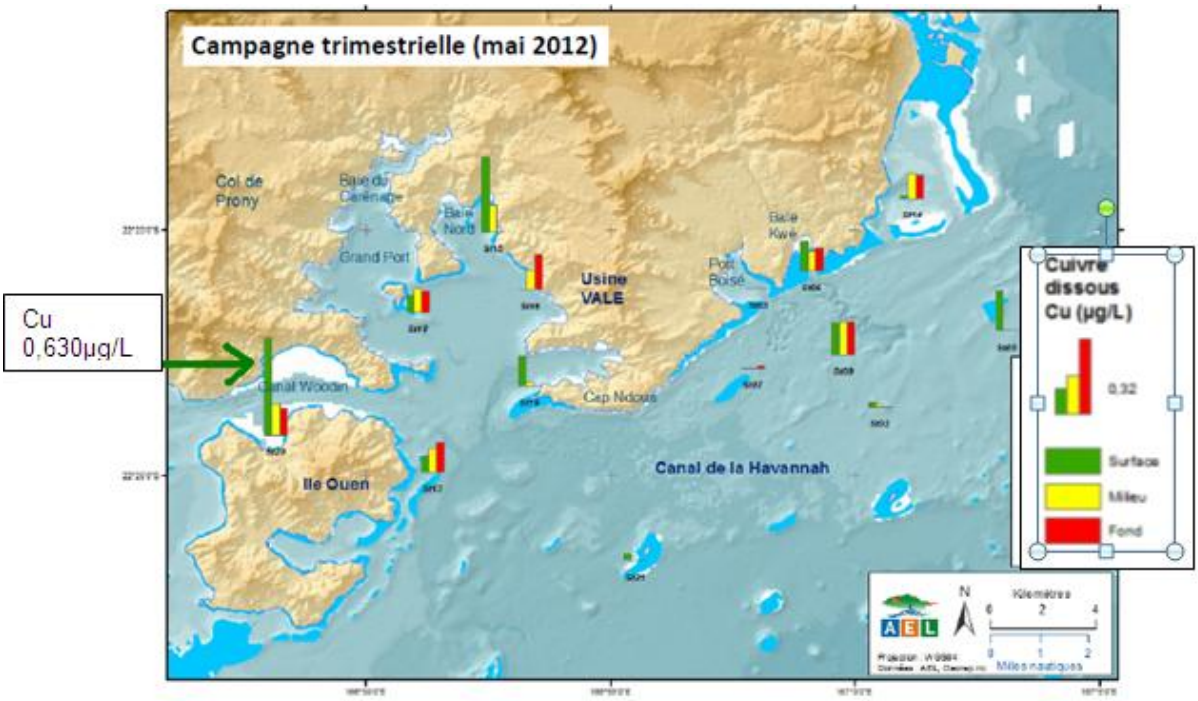


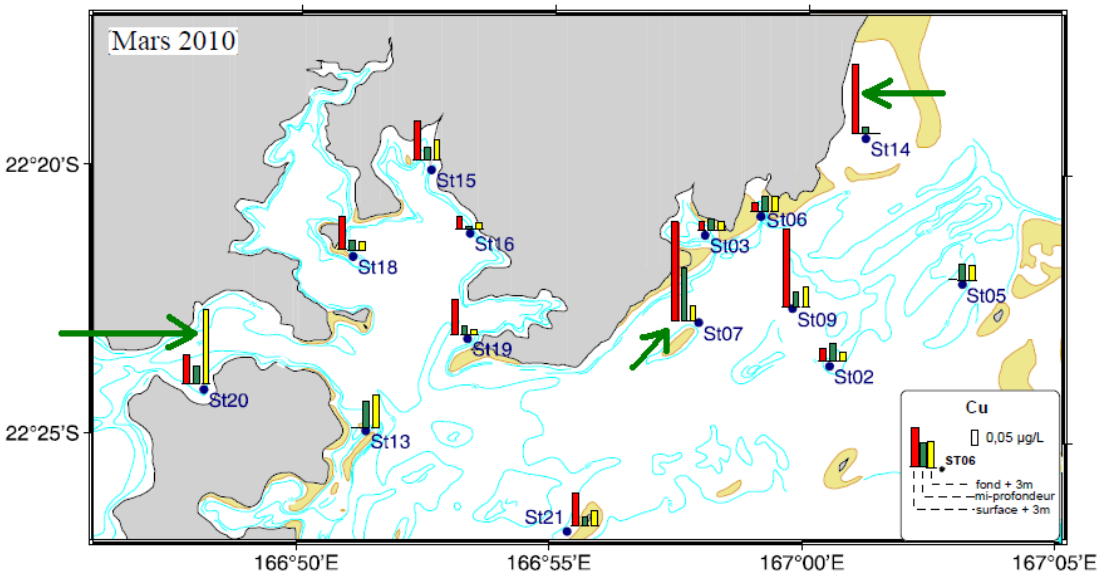
Seulement deux concentrations de Cu se démarquent entre les différentes campagnes depuis 2007. Celles-ci ont été mesurées en octobre 2008 (0,53 µg/l) et en mai 2013 (0,35 µg/L). Il est difficile d'interpréter ces valeurs car ce sont des valeurs uniques; celles-ci ne sont cependant pas inquiétantes car elles correspondent à seulement 3 % des mesures sur cette station depuis 2007.
De plus de nombreuses stations de suivies du Grand Sud ont montré des concentrations en cuivre supérieures au maximum de St16.
Les tentatives de corrélations entre les concentrations en Cu et la présence de bateaux sur une zone n'ont pas permis de conclure à une corrélation.

Figure 85 : Concentration en Cu, comparaison des stations entre elles à l'égard des concentration en cuivre relevées dans leurs eaux









Les concentrations des métaux dissous Co, Cr(VI), Cu, Mn et Ni mesurées depuis 2007 lors de campagnes trimestrielles ne montrent pas d'évolution temporelle particulière.
Toutefois, l'étude temporelle indique que le milieu subit ponctuellement des fluctuations « fortes » ou « modérées », corrélées avec la pluviométrie, depuis 2007. Etant la plus proche des embouchures des creeks, la station St15 est la plus sensible tandis que la station du Port St16 a les bassins de sédimentations en effet tampon.

Le cuivre (et le Zn de même) ne présente pas de tendance à la hausse au niveau du port de Prony et d'autres stations comme en baie de Goro (St14) ou en baie Kué (St 20 Canal Woodin) montrent ponctuellement des concentrations en Cu supérieures à celles relevées au port sur St16.

Les fluctuations à la fois spatiales et temporelles sur des éléments traces en infimes quantités (de l'ordre du dixième de micro gramme par litre d'eau 0,000001mg/L) ne peuvent pas permettre de statuer sur un seule mesure ponctuelle ; il faut raisonner en tendances évolutives et, à cette fin, une étude statistique sera conduite en 2014 par un bio- statisticien, maintenant que les missions de suivi ont permis de cumuler un nombre de données suffisantes, tout en respectant toujours la même méthodologie.
Le respect strict de cette méthodologie est absolument nécessaire afin d'éviter les biais et les contaminations des échantillons par des traces.

II. Qualité des bio- indicateurs élevés en cage sur la station St 16

(Rapport intégral dédié au caging en annexe)

Les relevés de la température de l'eau de mer durant les 83 jours d'immersion de la cage montre une soudaine baisse en température le 04 juillet 2013. Il est fortement probable que cette observation soit à relier à la quantité d'eau de pluie tombée les 02 et 03 juillet 2013 (> 450mm/24h). La station St16 en face le port de Prony est dans une hydro-région de type côtier, comme toutes les stations de la baie du Prony.

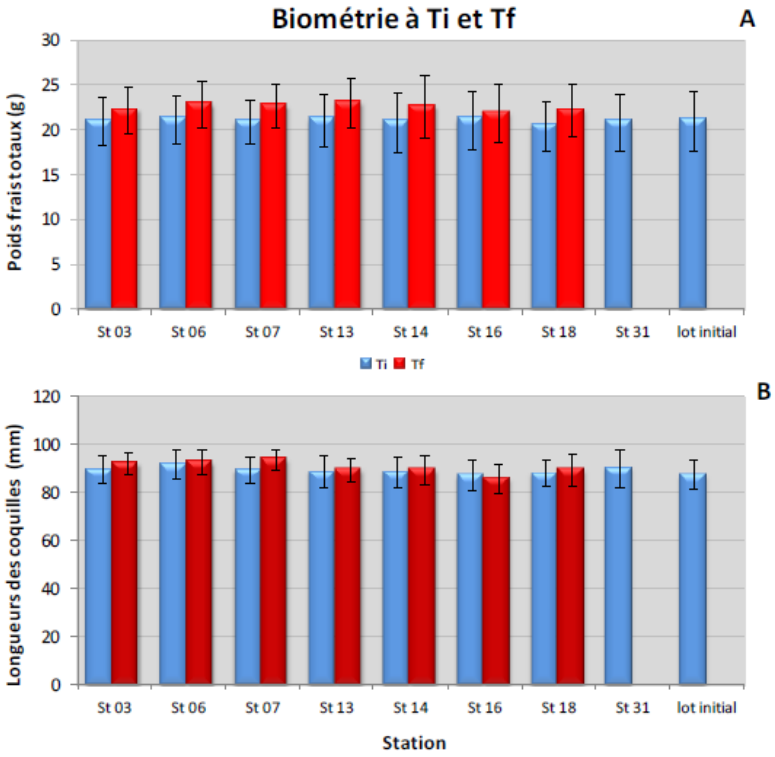
La comparaison interannuelle des indices de croissance des coquillages bivalves *I. isognomon* en cage pour les campagnes 2012 et 2013 indique qu'à l'exception de la station St07 du canal de la Havannah, le développement des organismes en 2013 (en poids frais total et longueur des coquilles) sur toutes les autres stations est en diminution significative. Cette diminution est plus marquante pour le paramètre « Longueur des coquilles » des bivalves.

- Ceci peut être dû au fait que les individus sélectionnés au début de l'étude 2013 (en baie Maa) ont été de plus grosse taille que ceux des années précédentes et donc ils avaient déjà atteint la croissance maximale au niveau leurs longueurs des coquilles.
- Il est aussi probable que cette croissance « ralentie » soit liée à un stress environnemental et physiologique. Les bivalves étaient immergés lors de la très forte dessalure (et baisse de la température) de début juillet. Les eaux douces fraîches déversées par les bassins versants des baies du Prony, de Port Boisé et de la Kwé ont pénétré la couche intermédiaire de la colonne d'eau jusqu'à 10 à 12 m, profondeurs où se trouvaient les cages.

Ce ralentissement de la croissance des tous les Invertébrés bivalves en cage en 2013 par 12m de fond (par rapport à la croissance des années précédentes) en juillet 2013 et en zone côtière (mais pas dans le canal de la Havannah ST07) est en cohérence avec la mortalité d'invertébrés sur la zone intertidale très peu profonde (5 m) les 3 et 4 juillet sous l'influence des eaux douces.

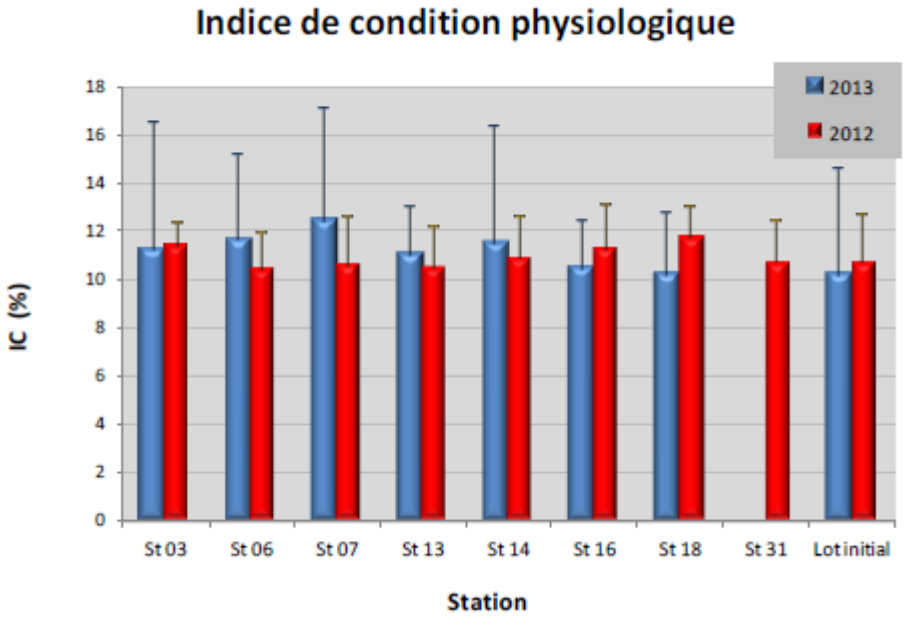
Un plus faible taux de croissance que les années précédentes n'est pas un indicateur de mauvaise santé et encore moins de non croissance ou de mortalité

Figure 85 : Comparaison des valeurs moyennes des poids frais totaux (A) et des longueurs des coquilles (B) avant (Ti) et après (Tf) transplantation chez le bivalve *I. isognomon* (n=25 individus par station).La station du port de Prony est St 16.



Au niveau de l'indice de condition physiologique des bivalves : les résultats indiquent que, globalement, les conditions nutritionnelles et physiologiques lors de la campagne de 2013 ont été similaires à celles de l'année précédente. Les bivalves sont en bonne condition.

Figure 86 : Comparaison interannuelle des indices de condition physiologique (IC) moyenne des bivalves *Isognomon isognomon* transplantés lors des campagnes 2012 et 2013. La station du port de Prony est St 16.



Les concentrations en métaux dans les bivalves sur St 16:

- As : Aucune tendance entre les stations et sur St16. En 2013 les concentrations en As sont toutes inférieures à celles de 2012, y compris sur le lot témoin. Les teneurs en arsenic mesurées en 2012 étaient supérieures à celles de 2011 pour les toutes les stations, y compris le lot témoin. En 2013 ces concentrations sont stables ou inférieures.
- Co : Similaires et statistiquement invariables. Les teneurs en cobalt mesurées en 2013 sont semblables à celles de 2012 pour les stations St07, St13 et St14 (stations lagunaires) et St16
- CrVI : Les valeurs moyennes des stations St03, St06, St16 et St18 (stations côtières), oscillant entre 2,5 ±0,4 et 2,9 ±0,6 µg/g ps, montrent des teneurs très proches de celles observées au fond de la Grande Rade de Nouméa (1,0 à 3,7 µg/g ps). Les teneurs en chrome mesurées en 2013 sont similaires à celles de 2012 pour les stations St07, St13 et St14 (stations lagunaires voire océaniques) et St16
- Cu : concentrations largement inférieures à celles précédemment mesurées dans la Grande Rade de Nouméa. Aucune tendance notable n'est constatée .Par ailleurs, les concentrations des lots transplantés restent dans le même ordre de grandeur que celle du lot témoin sans accumulation.
- Fe : concentrations inférieures ou égales à la valeur fournie par le lot témoin
- Mn : la variabilité des teneurs est statistiquement significative entre le lot témoin et les lots transplantés, aucune évolution entre 2012 et 2013.
- Ni : on observe les teneurs statistiquement plus faibles que le lot témoin, les teneurs en Ni sont similaires entre les deux années pour les stations St07, St13 et St14 (stations lagunaires) et St16
- Zn : pas statiquement significatifs pour conclure à une quelconque variation aucune de ces variations interannuelles

Figure 87 : Evolution temporelle des concentrations moyennes des métaux (As, Co, Cr, Cr, Fe, Mn, Ni et Zn) chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplanté aux différentes stations en 2013 et 2012. Témoins de prélèvement : baie Maa.

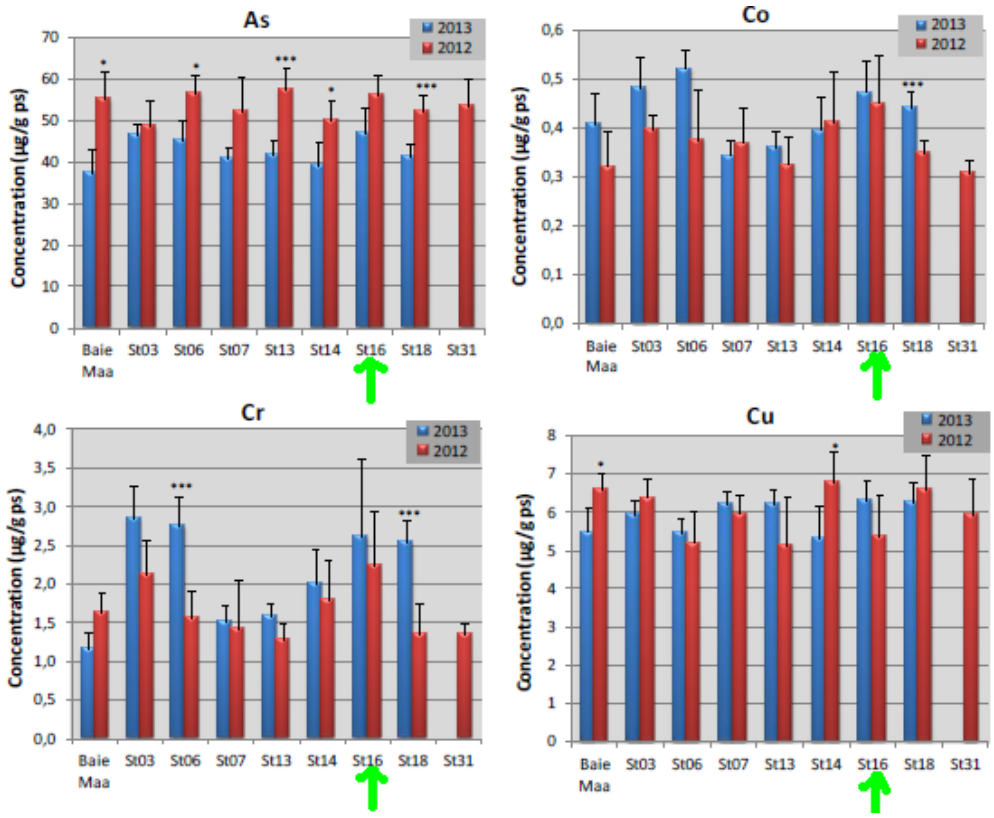
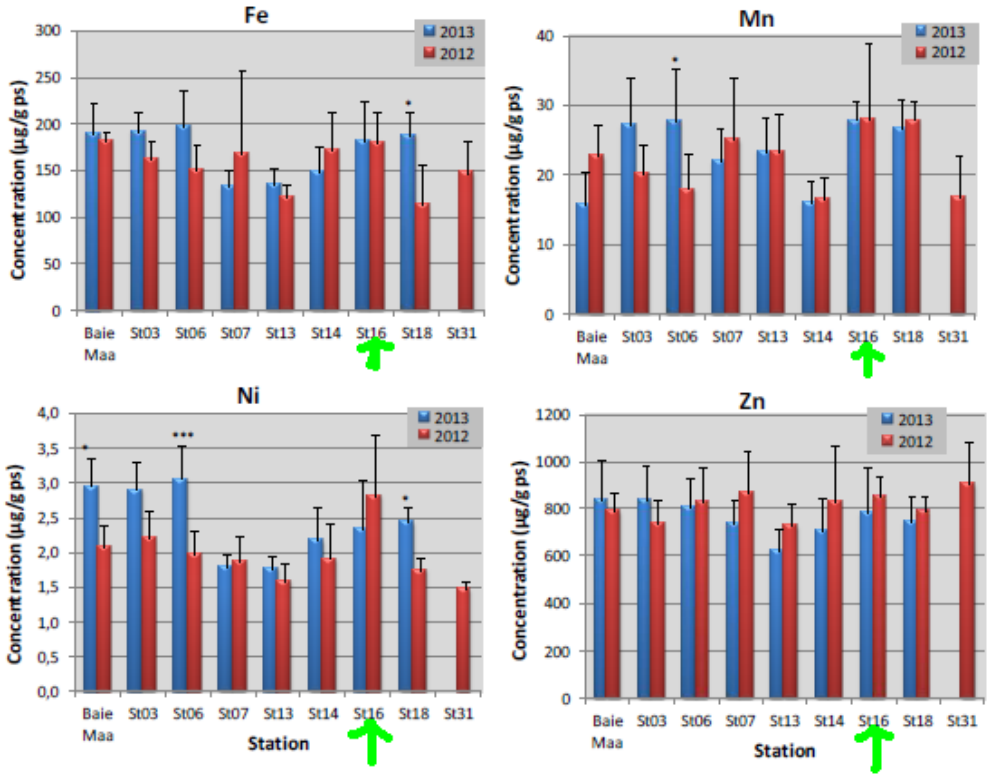


Figure 88 suite : Evolution temporelle des concentrations moyennes des métaux (As, Co, Cr, Cr, Fe, Mn, Ni et Zn) chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplanté aux différentes stations en 2013 et 2012. Témoins de prélèvement : baie Maa.



La station St16 ne montre pas de bio accumulation au niveau des chairs des coquillages élevés 3 mois en cage, ni de non-conformité en 2013. Elle présente des concentrations pour As, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, et Zn qui figurent dans la gamme des valeurs habituellement rencontrées dans différents sites côtiers calédoniens.

En 2014 une cage supplémentaire sera installée près du port au plus près des tabliers de débarquement du vrac, et l'immersion des bio indicateurs en croissance durera 5 mois (et non pas 3 mois) à titre volontaire et afin de tester une approche encore plus performante de cette méthode.

III. Santé de la station Eco systémique ST03 -PORT

Station suivie depuis 2007 à raison de deux fois par an à minima sur 3 *transects* entre 5m de fond et 13 m de fond. Elle est située à 125 m à l'Est du quai vraquier au niveau d'une zone bien biodiversifiée qui a été évaluée comme une bonne sentinelle lors de la mise en place des plans de suivis par les autorités de tutelle.

Figure 89 : La station sous-marine de surveillance éco systémique ST03/PORT

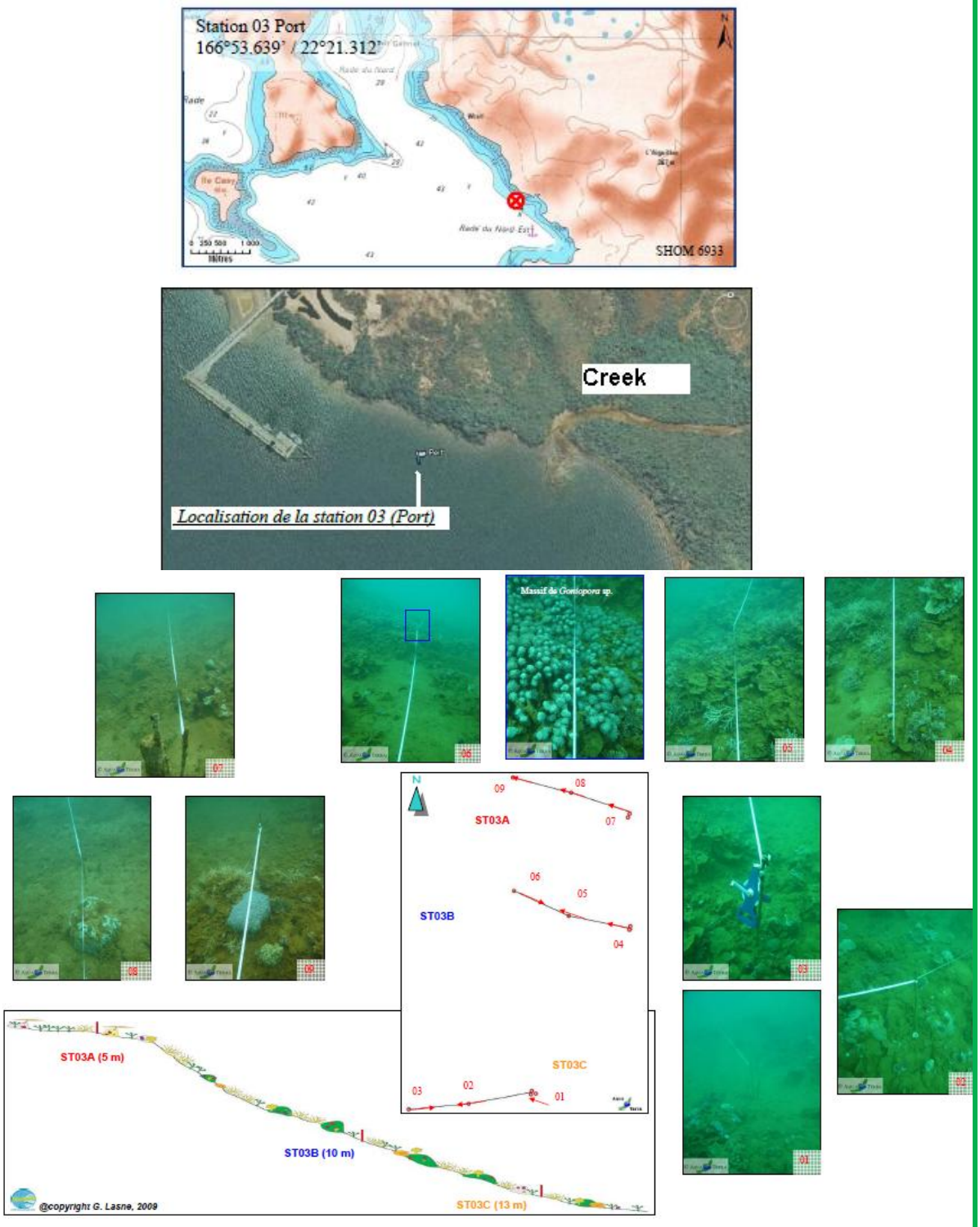
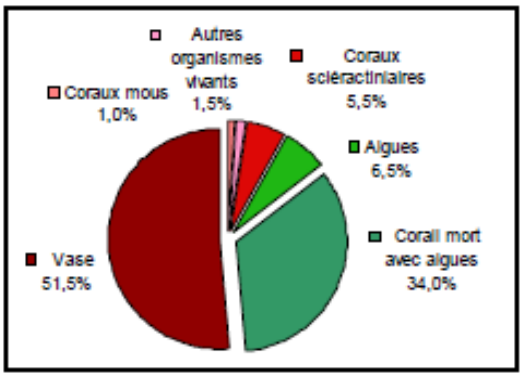
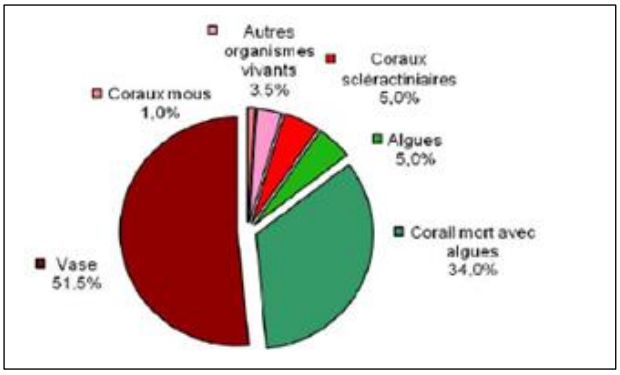
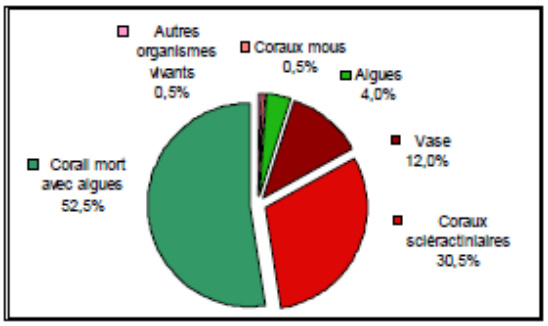
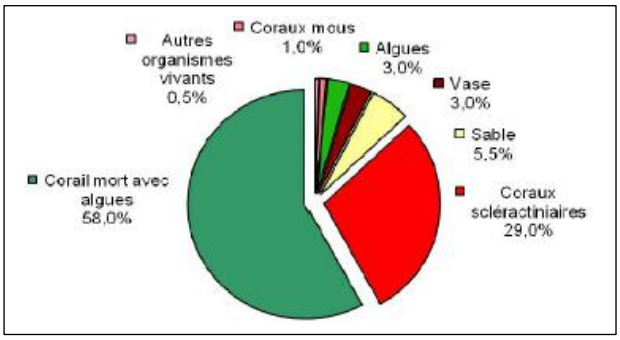


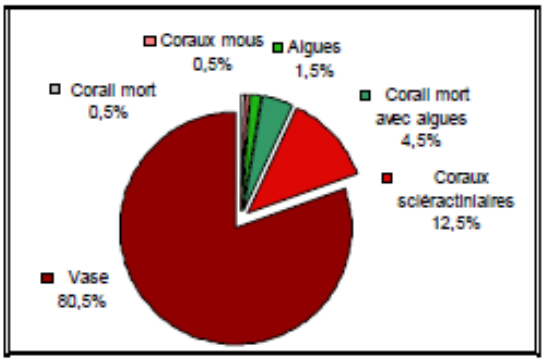
Figure 90 : LIT SUBSTRAT sur ST03 *transects* A, B et C en mars 2013 (gauche) et en septembre 2013 (droite)

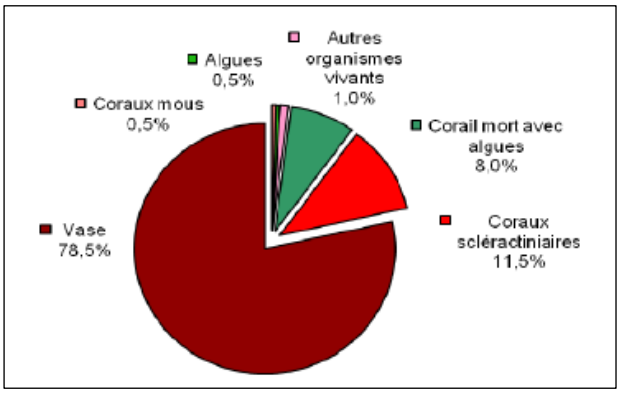


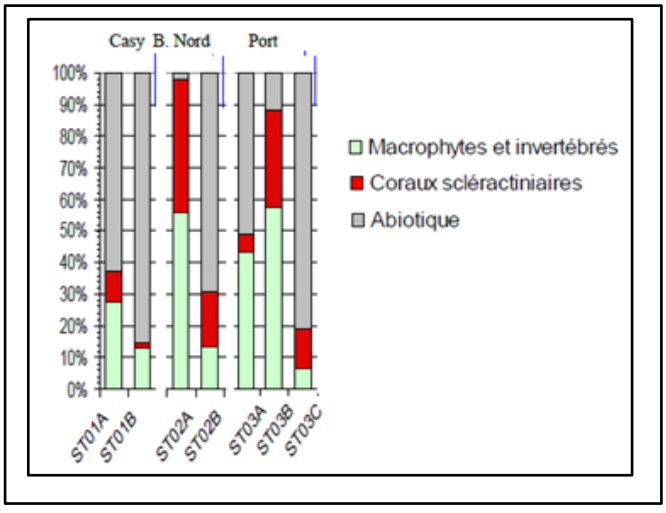












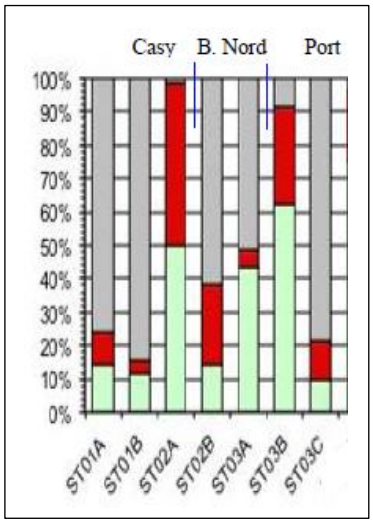


Figure 91 : Evolution temporelle des LIT au niveau du % de recouvrement par de la vase, des coraux Scléractinaires (coraux durs) et des algues

Au niveau de la station ST03 du Port de Prony, entre 2008 et 2013

Transect A de surface : -5m ; Tansect B de mi profondeur : -10m ; Transect C profond par -13m

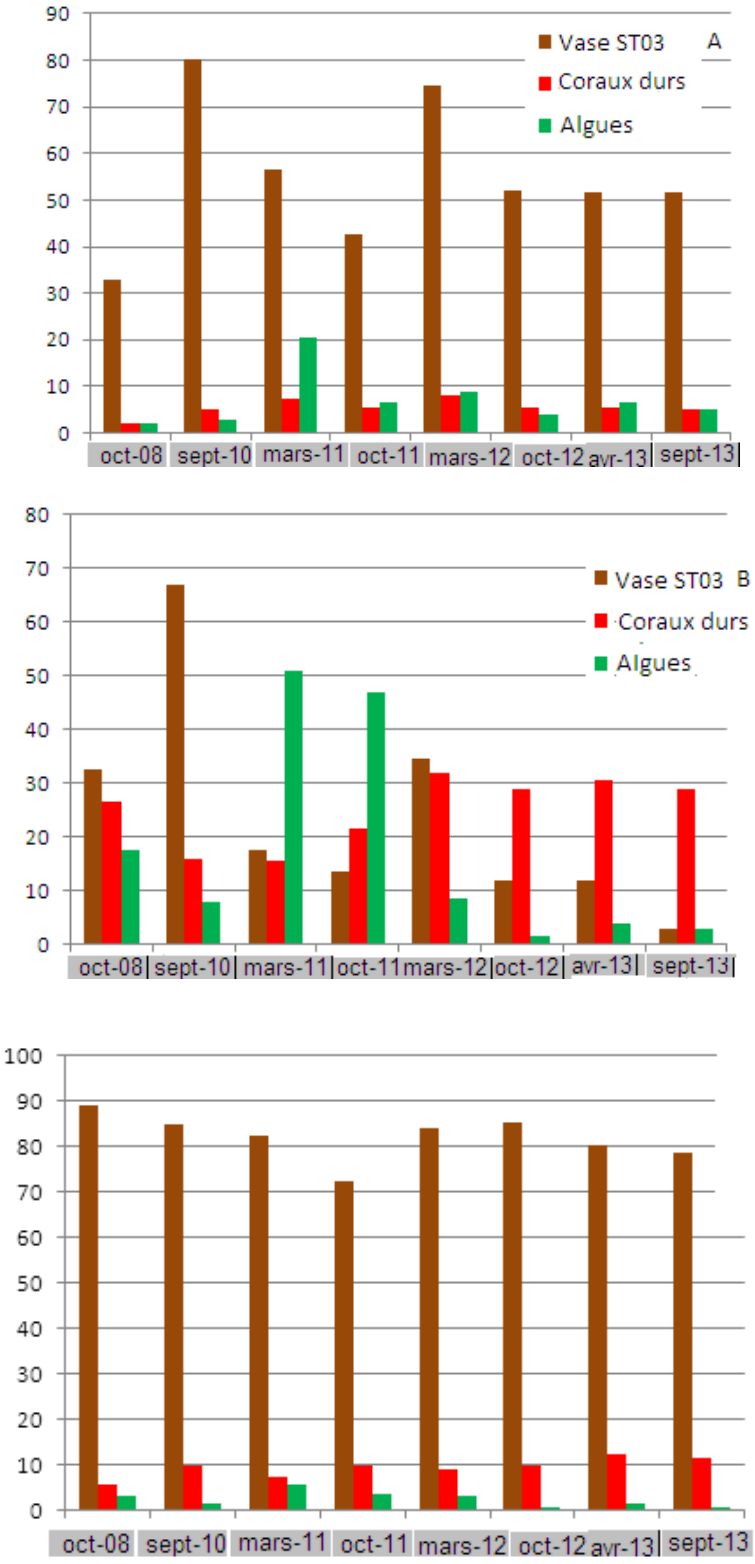
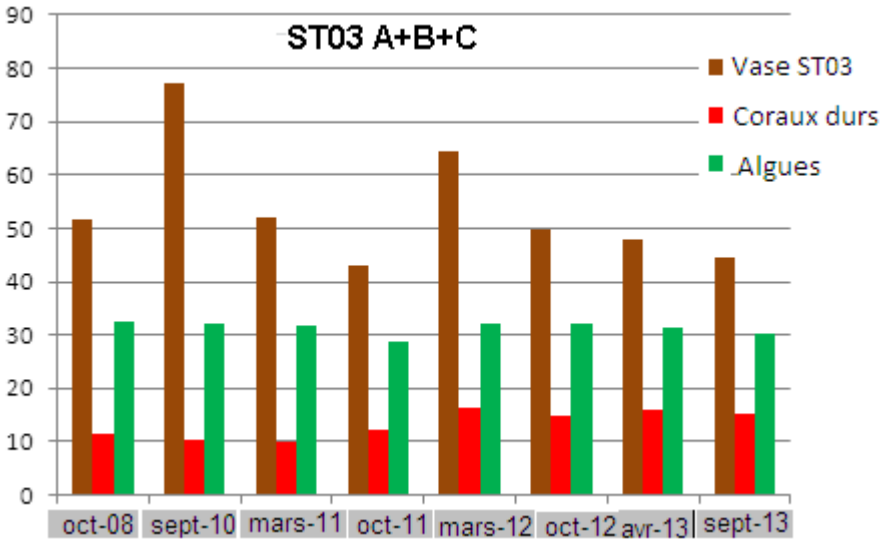
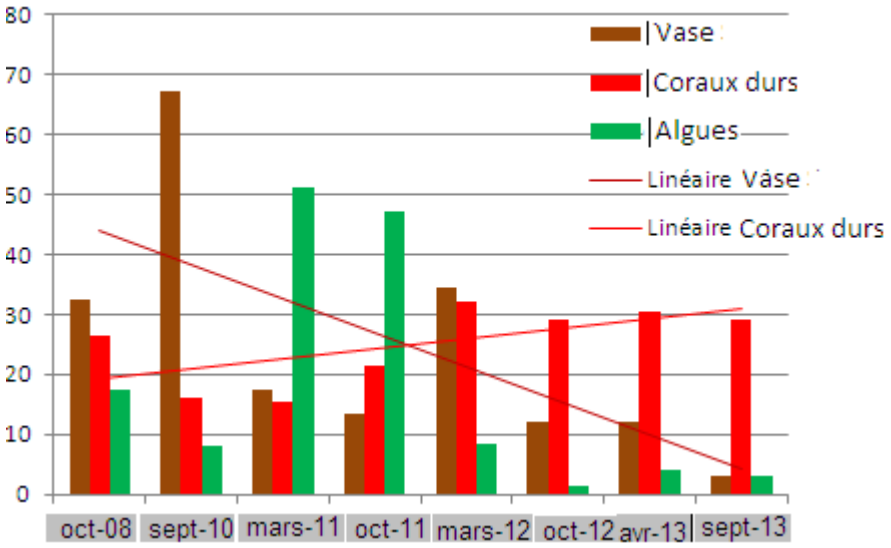


Figure 94 : Evolution temporelle des LIT au niveau du % de recouvrement par de la vase, des coraux Scléractinaires (coraux durs) et des algues
Au niveau de la station ST03 du Port de Prony, entre 2008 et 2013
Tous transects confondus



Sur toutes les stations Eco systémiques le *transect* le plus profond présente un substrat majoritairement abiotique et ce sont des deux premiers *transects* (entre 5 et 10 m de profondeur) qui sont les plus intéressants à suivre pour la surveillance du milieu.

Au niveau du port le *transect* B par 10 m de fond est très instructif car il présente le maximum de coraux et de biodiversité:



Les LIT de la station ST03 (B) montrent une stabilité voire une légère tendance à la hausse du recouvrement corallien et au contraire la vase diminue (notamment en 2013 et 2012 par 10 m de profondeur).

Ces 8 missions entre 2008 et 2013 sont effectuées sur les mêmes transects de la station ST03 et avec la même méthodologie, les résultats sont validés. Tout changement de station invalide une comparaison avec les LIT / ST03. La station de suivi ST03 est située à 125 m des quais (Cf. Figure

89), elle a été validée comme station de suivi réglementaire par les autorités compétentes parce que riche en coraux sensibles comme bio indicateurs et bonne « sentinelle » de la zone portuaire en activité.

Pour rappel : Les états des lieux qui ont été conduit en baie du Prony (et notamment à l'endroit même de l'emplacement du port actuel) ont conduit à estimer les effets résiduels de la construction du port ; ceux-ci ont été compensés par plusieurs actions en faveur de la biodiversité marine dont :

- La mise en place de corps morts afin que les plaisanciers de la baie du Prony ne jettent pas leur ancre sur le corail ;
- La transplantation de 1700 colonies coralliennes vers l'îlot Casy et l'ilot Montravel, et un suivi scientifique de cette « première » calédonienne durant 5 ans.

Quant aux mesures d'atténuation des effets résiduels elles ont bien été prise en compte en amont selon la stratégie : éviter/atténuer/ restaurer/compenser : le port a été construit sur piliers afin d'éviter les remblais, sans dragage d'un chenal et avec un minimum de remise en suspension de sédiments.

ST03 Au niveau du benthos

En avril 2013, la richesse spécifique de la station du Port (ST03) est composée de 100 espèces coralliennes, de 38 espèces d'invertébrés, de 8 espèces de macrophytes et d'une espèce de cyanobactéries. Sur les 100 espèces coralliennes 95 espèces sont des scléractiniaires, 3 espèces de millépores (sub massif, branchu et encroûtant) et 2 espèces d'antipathaires.
Les familles scléractiniaires est donc composée de 95 taxons au sein de 13 familles. Le blanchissement corallien affecte 7/95 espèces de scléractiniaires (7,4%).

- Il n'y a pas eu suspicion d'espèce exogène après observation des plongeurs biologistes qui prennent cette éventualité avec attention.
- Il n'a pas d'espèce ravageuse du corail (Acanthaster ou autre étoiles de mer).

En septembre 2013 : La richesse spécifique des coraux scléractiniaires a augmenté de 12 espèces sur cette station portuaire portant à 112 le nombre d'espèces coralliennes
Le blanchissement corallien affecte 7/108 espèces de scléractiniaires (6.5%), le recouvrement en espèces blanchies est faible (1,2%) de la surface totale observée.

L'hyper-sédimentation n'est pas supérieure à celle qui caractérise les hydro régions de fond de baie, notamment en baie du Prony, et les apports d'eau douce et de sédiments sont dus au creek situé à l'Est du port et en face la station ST03. (Cf. figure 89). L'évolution du substrat ne montre pas d'augmentation de l'envasement. Les indicateurs biologiques de cette station sont stables.

Figure 92 : Richesse taxonomique du benthos par compaisons de 4 groupes clefs et sur 15 zones différentes de la baie du Prony, la zone portuaire et la zone Z 07

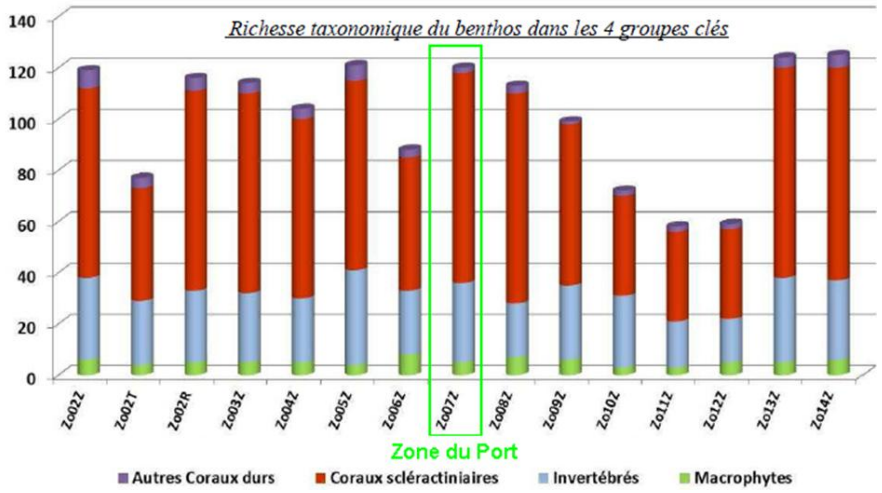
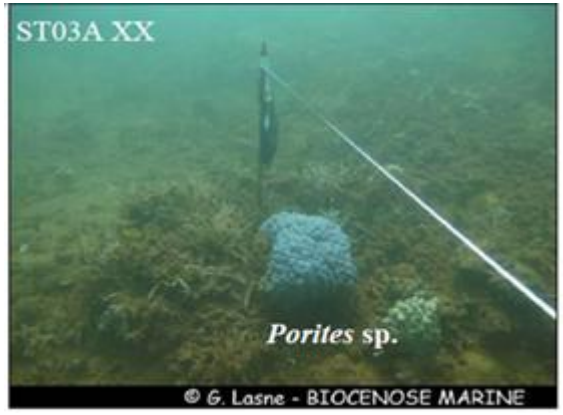
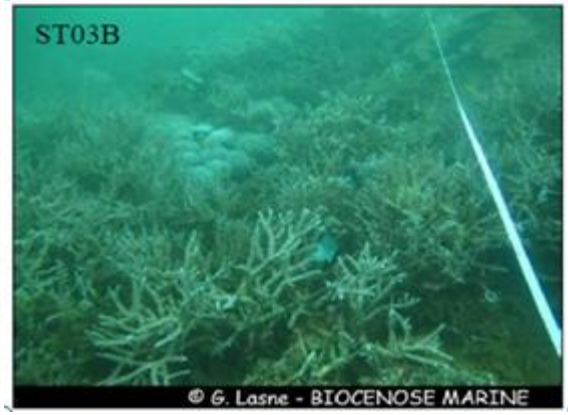


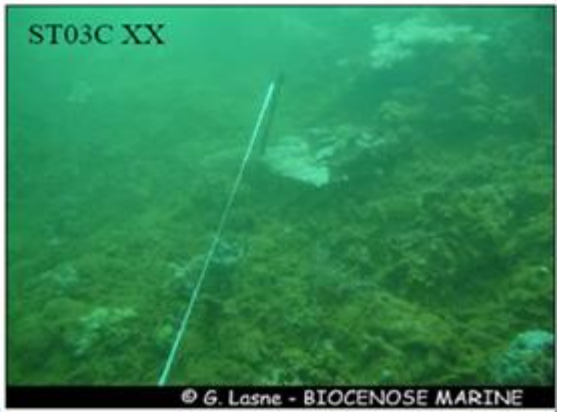
Figure 93 : La station ecosystèmique sentinelle du port du port de Prony en 2013

Particularités des stations	Variations entre la mission d'avril et septembre 2013
Port ↳ Originalité des espèces coralliennes adaptées à un milieu turbide. ↳ Le turn over corallien est positif malgré les conditions turbide importante, les colonies juvénile remplacent progressivement les colonies envasées. ↳ Présence en grand nombre d'espèces à longs polypes *Alveopora* spp., *Alveopora catalai*, *Goniopora* spp. et d'espèces à croissance rapide *Acropora* spp. à mi pente. ↳ Le recouvrement en algues brunes (*Lobophora variegata*) est toujours aussi important. ↳ Les alcyonaires (*Sarcophyton)* sont très nombreux. ↳ La mortalité corallienne est induite par l'apport d'eau douce au niveau bathymétrique supérieur et par l'hyper sédimentation en profondeur.	↳ **La richesse spécifique des coraux scléractiniaires a augmenté de 13 espèces.** ↳ **Le blanchissement corallien affecte 7/108 espèces** de scléractiniaires (6.5%) mais le recouvrement en espèce blanchi est faible (1.2%) de la surface totale observée. ↳ **Recouvrement faible des cyanobactéries** (diminution et absence en St03C). ↳ **Algue brune *Lobophora variegata*** : le recouvrement est important mais reste stable (caractère envahissant potentiel). ↳ **Recouvrement du turf algal en augmentation** sur les colonies dégradées suite à la dépression Fréda. ↳ **Dépôt sédimentaire sur quelques colonies coralliennes.** ↳ **Absence de *Drupella cornus*** sur l'ensemble de la station. ↳ **Absence de *Culcita novaeguineae*** (alternance cyclique de cette étoile de mer prédatrice des coraux).

ST03: - 5m; ST03 B: -10m; ST03 C: -13 m



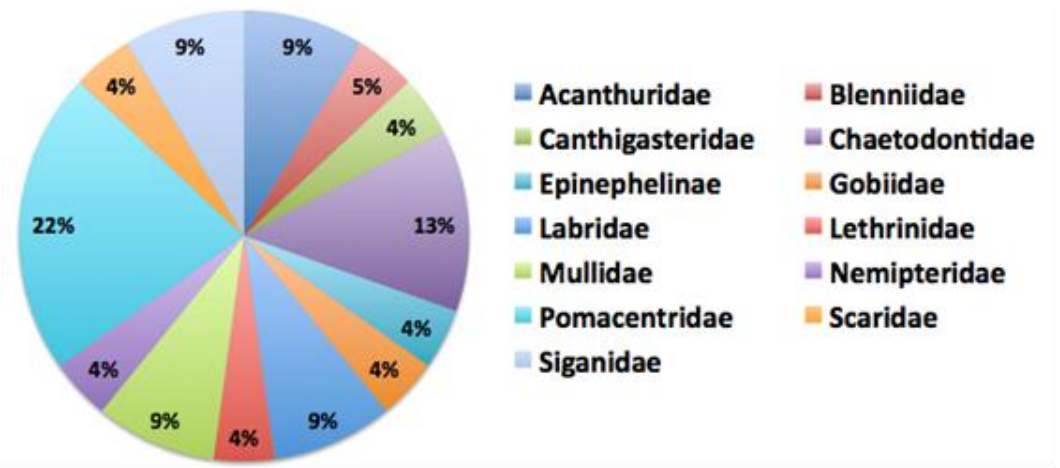




ST03 Au niveau des poissons

Sur l'ensemble des *transects* de la station, 126 individus appartenant à 23 espèces différentes ont pu être observés. Ils représentent une densité de 0.51 poisson/m² pour une biomasse de 2.54g/m².
53 espèces supplémentaires (hors des *transects* et hors liste restreinte) ont aussi été observées sur la station.
(Toutes les données sont en annexe de ce rapport de synthèse)

Figure 94 : Richesse spécifique par famille de poissons (ST03 SEPT 2013)



Le récapitulatif des résultats en terme de :
- d'abondance (nombre d'individus, transects/liste restreinte),
- de densité (en poisson/m², transects/liste restreinte),
- de biomasse (en g/m², transects/liste restreinte),
- de biodiversité 1 (espèces observées sur les transects et de la liste restreinte),
- de biodiversité 2 (espèces observées sur la station (transects + complémentaires) et de la liste restreinte),
- de biodiversité 3 (toutes les espèces observées sur la station (transects + complémentaires / liste non restreinte) et indiqué ci-dessous pour la mission de sept 2013.

Tableau 30 : Synopsis des résultats et récapitulatif des années précédentes (Port ST03)

Port ST03		Liste DENV					Toutes espèces
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2013 b	Transect A	52,00	0,63	1,60	11		
	Transect B	54,00	0,63	5,06	19		
	Transect C	20,00	0,24	0,95	6		
	Moy. ABC	42,00	0,51	2,54	23	32	53
2013 a	Moy. ABC	22,00	0,28	1,14	13	46	62
2012 b	Moy. ABC	32,33	0,41	1,62	18	34	55
2012 a	Moy. ABC	19,33	0,24	0,80	14	42	59
2011 b	Moy. ABC	17,67	0,22	1,50	13	46	66
2011 a	Moy. ABC	64,00	0,86	19,13	16	43	64
2010 b	Moy. ABC	31	0,31	1,26	11	43	64
2010 a	Moy. ABC	39,00	1,95	5,13	10	33	50
2009	Moy. ABC	60,66	3,03	4,55	9	16	39
2008	Moy. ABC	18,33	0,92	14,05	14	22	47
2007	Moy. ABC	32,30	1,59	14,73	15	19	34

Figure 95 : Evloution des indicateurs Poissons de 2007 à fin 2013 sur la station du Port de Prony (Port ST03). 11 évaluations avec le même méthodologie.

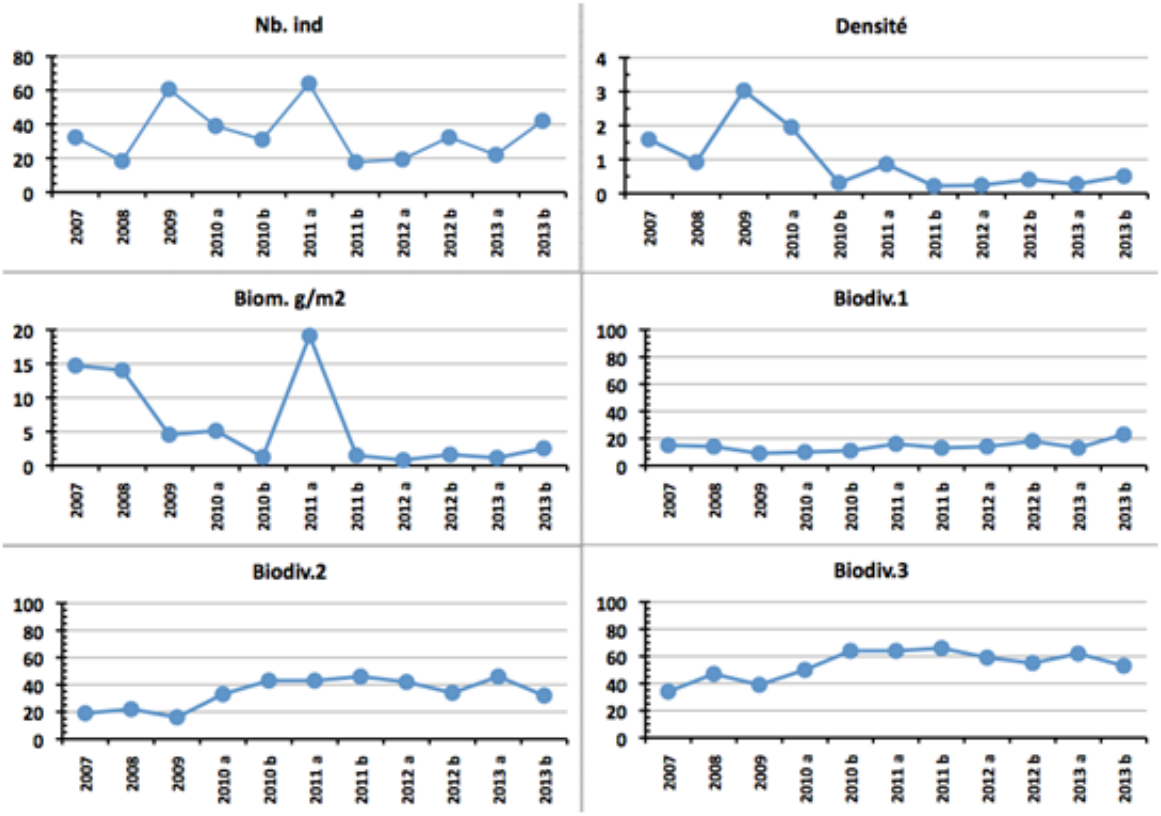
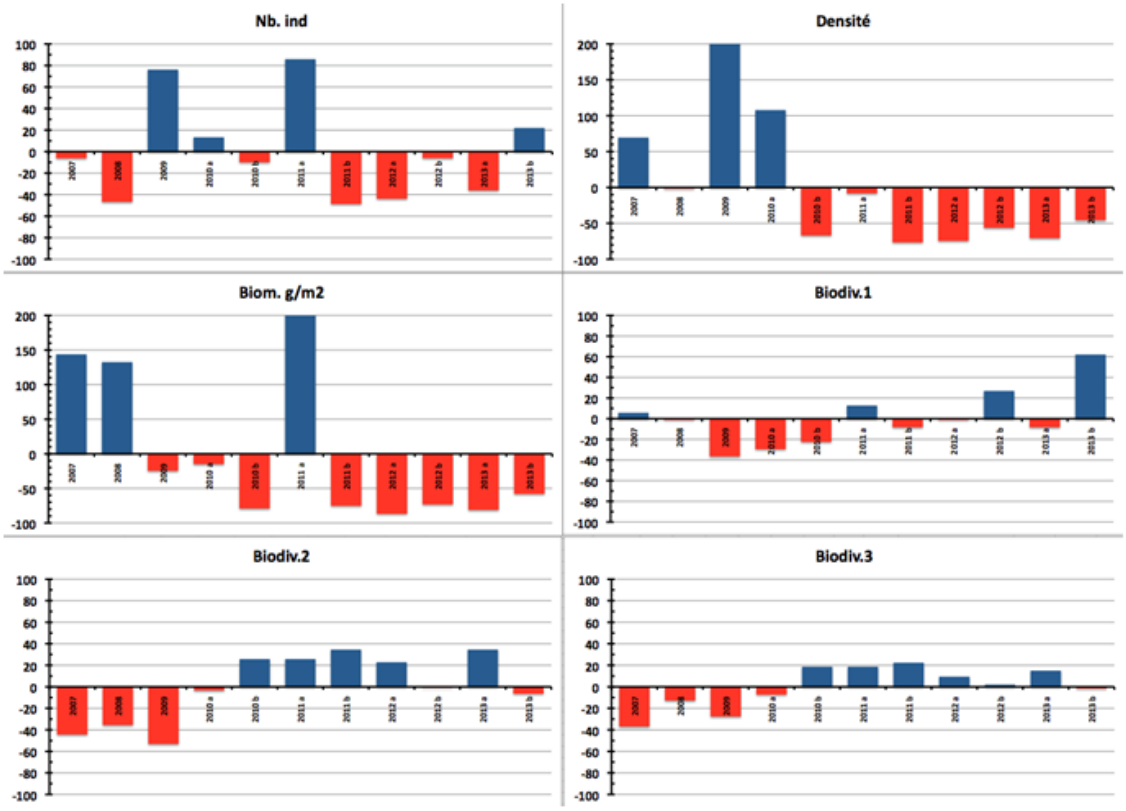


Figure 96 : Ecart relatif à la moyenne des paramètres biologiques ichtyologiques depuis 2007 (ST03)



Les 3 premiers paramètres présentent des variations interannuelles importantes, notamment la Biomasse et la Densité (> 200 %), alors que les paramètres de biodiversité sont beaucoup plus stables, notamment la Biodiv.3.
La biodiversité 1 augmente de 60% et le Nombre d'individus observés augmente de 20%, les autres indicateurs présentent une légère baisse. L'ensemble n'indique aucune variation significative comme le montre l'indice IAS.
Au niveau des poissons la cotation que l'ichtyologue qui assure les suivis a développée montre que la station du port est stable sur les 4 dernières missions effectuées.

Cotation des stations en septembre 2013

Station	Cotations			IAS		Rappels	
	Dens.	Biom.	Biodiv.(1)	2013 b	2013 a	2012 b	2012 a
Ilot CASY	2	1	2	1,75	3,25	1,75	1,50
CREEK	3	3	4	3,50	3,00	2,75	3,00
PORT	2	1	4	2,75	2,00	2,50	1,95
WOODIN	2	4	4	3,50	3,00	3,50	3,50
IORO	1	2	4	2,75	3,00	2,50	2,50
IONONTEA	2	2	4	3,00	3,75	3,50	3,50
B. CHB	3	4	4	3,75	3,25	3,25	3,00
PUKA	1	1	2	1,50	1,50	1,75	1,75
Bancs KIE	2	1	4	2,75	3,25	3,00	3,00
Ilot KIE	4	4	4	4,00	3,75	4,00	4,00
Récif TOEMO	2	1	3	2,25	2,75	3,00	3,00
Ilot UGO	3	1	3	2,50	2,25	1,75	2,00

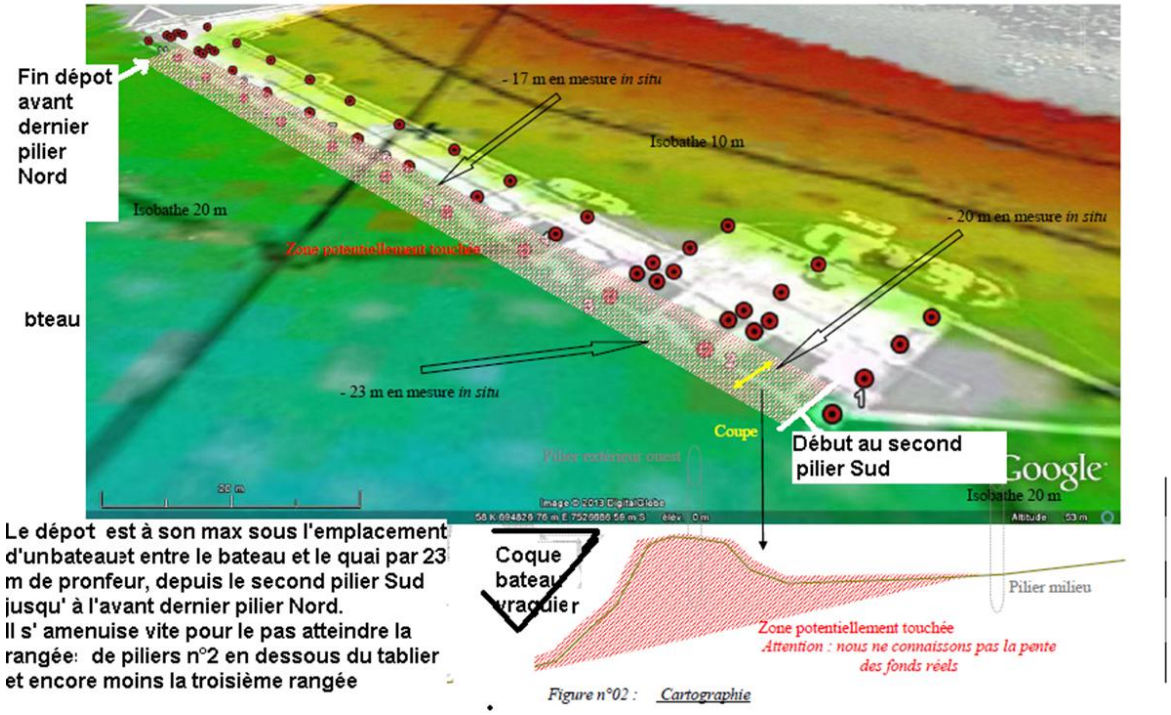
Dans la marge des incertitudes méthodologiques et des variations saisonnières de cet indicateur, il n'y a pas de modification des paramètres ichtyologique de la station du port, ni en baie du Prony.

IV. Evaluation des pertes des bateaux vraquiers lors des déchargements

- La hauteur max du dépôt est de 1 m (par -23 m de fond. Il ne gêne pas le tirant d'eau des navires).
- La largeur du dépôt a été mesurée entre 7 et 10m max (sur une profondeur minimale de -17m)
- La longueur du dépôt d'étend du second pilier Sud à l'avant dernier Nord du quai vraquier
- Avec des irrégularités
- Le déport est composé de 90% (ou plus) de charbon.

Sous le tablier du quai dès que l'on atteint la ligne des piliers centraux (par -15 m de fond), il n'y a plus de dépôt et les piliers de la troisième rangée (plus en terre) sont exempts de dépôt, des coraux adultes qui existent depuis longtemps et des coraux plus jeunes situées dans les zones moins profondes (de -10 à -5m) et plus « en terre » sont en bonne santé.
La zone biotique (bio-diversifiée) et moins profonde n'est pas atteinte par le dépôt actuel.
(Cf. schéma suivant).

Figure 97 : schéma du quai vraquier sur piliers et de la zone de dépôts

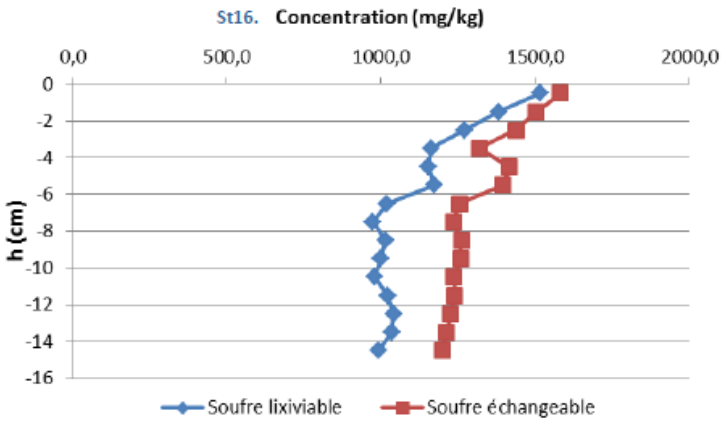


Les mesures correctives sont en cours d'étude et de réalisation.

V- Sédiments sur la station portuaire St 16 situé à 130 m du quai vraquier

Les concentrations en soufre lixiviable et échangeable sont constantes entre les horizons 7 à 15 cm qui date d'avant 2000, puis au-dessus, dans les horizons plus récents qui correspondent aux années plus récentes, les concentrations augmentent significativement (Figure suivante). Pour le soufre lixiviable, les teneurs croissent de 992 à 1.511mg/kg ; pour la fraction de soufre échangeable, elles passent de 1.204 à 1.586 mg/kg. Cette augmentation s'élève à 55 % et 29 %, respectivement pour le soufre lixiviable et échangeable, à l'horizon 0-1 cm très récent, par rapport aux valeurs retrouvées à l'horizon 7-8 cm ancien (avant 2000).

Figure 98 : Evolution des concentrations en soufre lixiviable et en soufre échangeable dans la fraction brute des sédiments de la carotte St16.



Par rapport aux résultats des carottages précédents (avec un recul de 3 années ; 2011, 2012 et 2013 et donc au niveau de l'horizon de surface très récent) les valeurs de soufre échangeable et lixiviable demeurent du même ordre entre les différentes carottes, bien que des valeurs légèrement plus faibles ait été mesurées pour 2013. Cette différence peut s'expliquer par l'incertitude sur la mesure et/ou la

variabilité spatiale (positionnement) du prélèvement par carottage, ou bien elles marquent une tendance, la suite des suivis le montrera.

Figure 99 : Concentration en soufre lixiviable et échangeable (en mg/kg) dans les quatre premiers horizons dans les carottes St16 réalisées en 2011, 2012 et 2013.

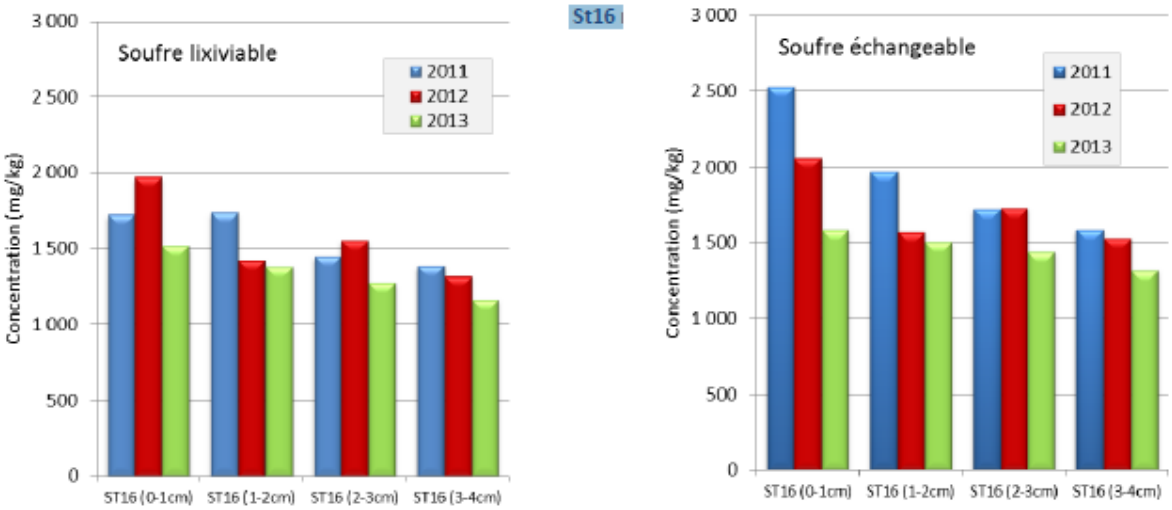
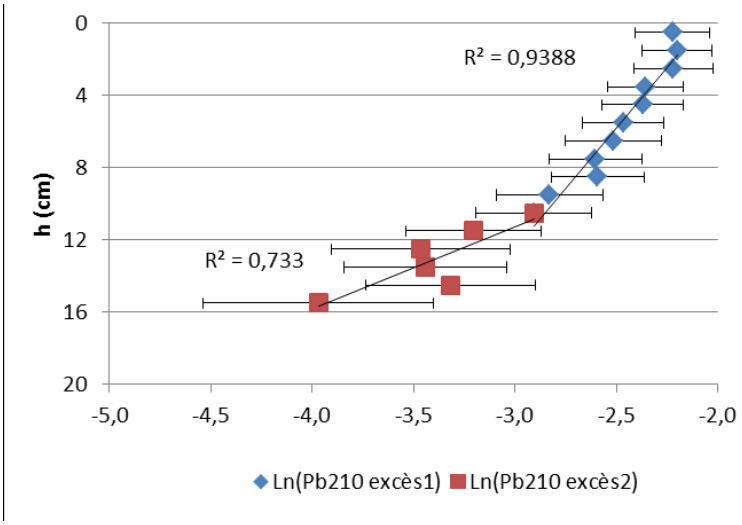


Figure 100 : Profil vertical du « 210Pb» dans les sédiments de la carotte St16.



La rupture de la pente sur l'horizon – 10 cm correspond à une datation qui laisse des incertitudes selon les méthodologies mais ce changement sédimentaire est daté avec vraisemblance vers 1955 ±3 ans. Le taux de sédimentation à la station St16 est actuellement de 0,12 g/cm²/an à 0,23 g/cm²/an.

- Taux d'accumulation dans la partie profonde: 0,12 g/cm²/an à 0,10g/ cm²/an
- Taux d'accumulation dans la partie moins profonde : 0,23 g/cm²/an à 0,12 g/cm²/an

Conclusion : A moins de 150m du quai du port de Prony et dans une hydro région de type « fond de baie » de forte sédimentation globale, le taux de sédimentation reste dans une fourchette « normale » qui le situerait selon la grille de comparaison du guide ZoNeCo comme un milieu non perturbé ou faiblement perturbé. (Fond de baie : non perturbé si taux <0, 15 g/cm²/an et faiblement perturbé si < 0,60 g/cm²/an).

Les résultats complets de la campagne Sédiments / 2013 sont détaillées dans le rapport sur les taux de sédimentation, placé en annexe de ce document.

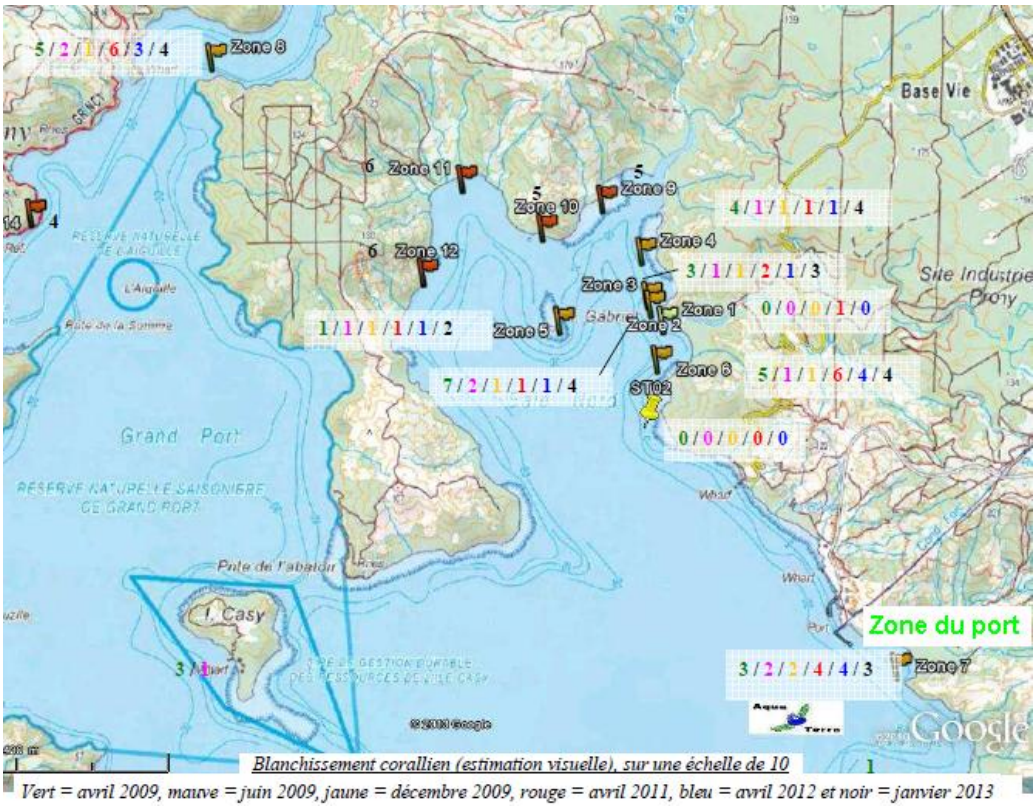
VI- Le blanchissement corallien au niveau de la station portuaire

Depuis 2009 une évaluation quantifiée régulière du taux de blanchissement corallien a été conduite en baie du Prony. Il s'agit d'une étude sur les coraux en zones côtières sujettes à des apports d'eau douce saisonniers, notamment près des embouchures des creeks. Le blanchissement due à un stress n'est pas irréversible et si le stress cesse les coraux réintègrent les algues symbiotiques et le blanchissement disparait, si le stress est trop intense et perdure, les coraux blanchis meurent. Les coraux sont différenciées en des centaines d'espèces qui ne réagissent pas pareillement et ne blanchissent pas pareillement, les coraux des hydro région marine sont très sensibles à la dessalure et robustes aux stress mécaniques, les coraux adaptés aux hydro régions de fond de baie sont résistants à la sédimentation et à la dessalure par diverses stratégies qu'ils ont développés en climat sujet aux fortes dépressions et cyclones.
Cette étude mandatée par Vale NC a permis 6 missions en baie du Prony, depuis la baie du Carénage jusqu' au port de Prony avec une attention soutenue en face le creek Baie Nord. La station du port est en zone n°7. Un creek (qui n'est pas sous influence de Vale NC) influence la zone 7 par des apports d'eau douce.

Figure 101 Stations d'évaluation de la santé corallienne en baie du Prony

Le recouvrement de coraux blanchis a diminué fin 2013, malgré le passage des fortes dépressions de début janvier 2013.
La zone portuaire (sous influence du creek situé à l'Est du port) ne présente aucune particularité dans son cycle de blanchiment/résilience des coraux soumis aux apports d'eau douce saisonniers.

Figure 102 : Synthèse spatiale et temporelle du blanchiment corallien en baie du Prony



La zone Z07 portuaire (cf. carte ci-dessus) est comparable aux autres zones prospectées en baie du Prony et notamment à celles qui ne sont pas sous l'influence de Vale NC. (Il faut noter que La station ST02 avec zéro blanchiment est une station aux *transects* plus profonds qui ne montrent pas une réponse aux eaux de surface et donc qui ne sont pas affectés par les évènements pluvieux intenses).

Le taux de blanchiment corallien dépend du bassin versant qui alimente le cours d'eau permanent ou temporaire, de la pluviométrie, de la marée et des courants, ainsi que des vents après une forte pluie ; ce blanchiment n'est pas affecté (à ce jour) par l'activité du port.
Les inspections de novembre 2013 sous les quais du port au niveau de la plateforme du vrac ont par ailleurs montré des coraux vivants sous les quais portées par piliers (cf. chapitre précédent).

En septembre 2013 en comparant le blanchiment corallien observé sur toutes les stations du canal de la Havannah et de la baie du Prony, il est observé que ce sont les stations ST06, ST10 (ST 10 est en réserve Merlet , ilot Kié) et ST06 du canal de la Havannah qui présentent le plus grand nombre d' espèces blanchies, la station du port ne montre pas d'impact sur cet indicateur.

VII- Autres indicateurs

Remarquons que la zone portuaire Z07 est comparable ou plus riche en biodiversité que les autres zones de la baie du Prony (figure suivante).

Les étoiles de mer (astéries corallivoes *Acanthaster planci* et *Culcita novaeguineae)*, **les mollusques corallivores** (*Drupella cornus*) et la couverture de **cyanobactéries** sont aussi suivies et la zone du port ne présente pas de signe de perturbation à leur niveau.
La couverture en algues (macrophytes) est suivie et une synthèse a été effectuée (2007 à 2012), le port et sa zone ne présentent pas de prolifération algale. Ces indicateurs continuent à être suivis avec attention, ce sont de bons indicateurs en cas de perturbation.
Les éponges encroûtantes (*Cliona orientalis et C. jullienei)* sont aussi surveillées.

Il n'y a pas eu **d'espèce exogène** détectée.

Les zones littorales et particulièrement les baies sont classiquement des nurseries pour les poissons. Il convient donc de vérifier si cette fonction n'a pas été altérée. Pour ce faire il a été comparé les résultats 2013 avec les données sur les peuplements référents.

<u>La proportion de juvéniles</u> s'est accrue en 2013 par rapport à celle du peuplement référent 2009-2012.

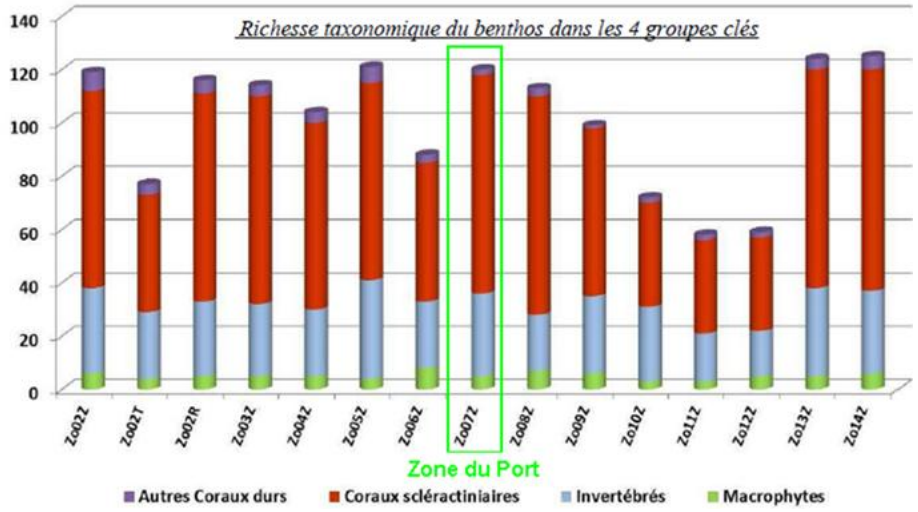
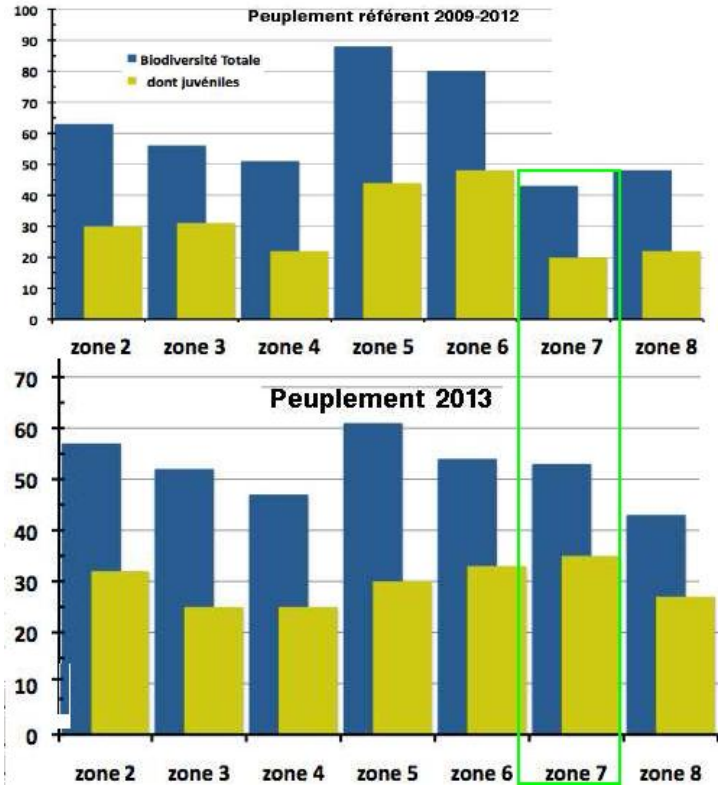


Figure 103:Représentation du nombre d'espèces vues à l'état de juvéniles et valeurs de la Biodiversité totale en poissons

(Zones 02 à 08 du peuplement référent entre 2009 et 2012 puis lors de l'étude 2013
Le port est en zone Z07



Conclusion : Les indicateurs biologique au niveau du port de Prony sont stables et indiquent un habitat ni pollué ni affecté par des impacts

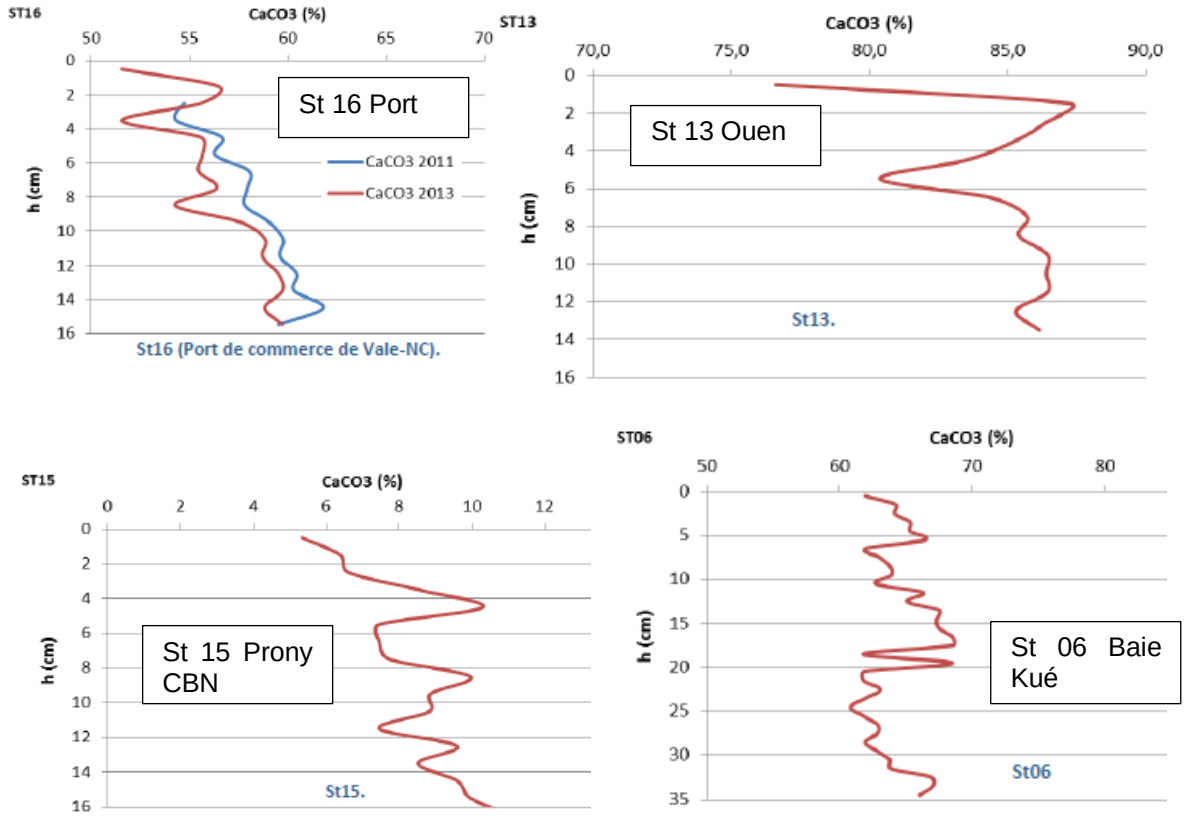
3.2.6. Suivi des taux de sédimentation (suivi triennal)

Les opérations de terrain ont été réalisées le 29 mars 2013 sur les 4 stations : St06 en baie Kué, St 16 au port, St 15 en face le creek de la Baie Nord et St 13-3 près de l'île Ouen (Nord –Est île Ouen), des carottes sédimentaires de 14 à 35 cm de profondeur ont été extraites afin de déterminer les taux d'accumulation dans l'aire d'influence du complexe Vale NC.
Le rapport intégral avec les données brutes est disponible en annexe.

Sur ce thème il faut savoir que le haut des courbes est l'horizon de surface de la carotte sédimentaire déposée récemment et plus on descend dans un horizon profond plus on va vers un passé de plus en plus lointain. Mais chaque carotte a un pas de temps différent difficile à calibrer pour savoir à quelle année correspond cette strate à telle profondeur. Ce pas de temps est en années et dizaines d'années et un prélèvement tous les 3 ans est pertinent et suffisant.

La concentration moyenne en carbonates en St13 (84,7 ± 2,9%) est supérieure aux concentrations moyennes retrouvées en St15 et St16 qui met en évidence une influence marine plus importante sur St13. Ce qui est normal et en accord avec les études précédentes. La baie Kué montre aussi une concentration en carbonate élevée due à une sédimentation d'origine marine (ou du récif) qui ne présente pas de variations significatives entre passé et présent.
En baie du Prony, plus on s'enfonce dans la baie et moindre est la concentration en carbonate car on s'éloigne de l'influence marine.

Figure 104 : Représentation graphique de l'évolution des pourcentages en carbonates dans les sédiments dans chacune des carotes (mission 2010 et mission 2013)



La composition minéralogique des sédiments (Cf. figure 105)

Sur St16 Port : Les concentrations totales obtenues le long du profil vertical montrent que Fe, Ni et Co sont relativement constants jusqu'à 10 cm de profondeur ensuite les concentrations deviennent plus variables et décroissent en profondeur. Il n'y pas de modification récente dans la composition des sédiments.
Sur St 15 CBN : une augmentation significative des concentrations de Cr et Co dans les deux premiers horizons (0-2 cm) par rapport aux horizons 2 à 5 cm, un tendance très récente à la baisse et une grande stabilité des concentration en Ni et Mn.

Sur St 06 en baie Kué : Les concentrations du Co, Cr et Ni ne présentent, en général, qu'une légère diminution entre les sédiments les plus anciens (bas de colonne) et les plus récents (surface). Pour le Co, les concentrations sont très peu variables, avec une diminution significative observable à l'horizon 0-1 cm. La stabilité des concentrations en métaux est remarquable avec cette diminution brutale de la concentration en cobalt (et nickel) récente.

Au niveau de St 13 : le ratio Ca/Fe le long de la carotte St13, augmente du bas de la colonne vers la surface mais à l'horizon 0-1cm, une baisse significative du ratio est observée montrant une influence terrigène plus soutenue récemment. Cette mise en place récente d'un processus de sédimentation plus rapide a son apparition qui peut être estimée à il y a plus de 20 ans, approximativement. Cependant les concentrations en Co et Cr diminuent en surface.
(Cf. figure105)

Figure 105: Profils des concentrations totales en métaux (Co, Cr, Fe, Mn, Ni) et du calcium dans la fraction pélitique des sédiments

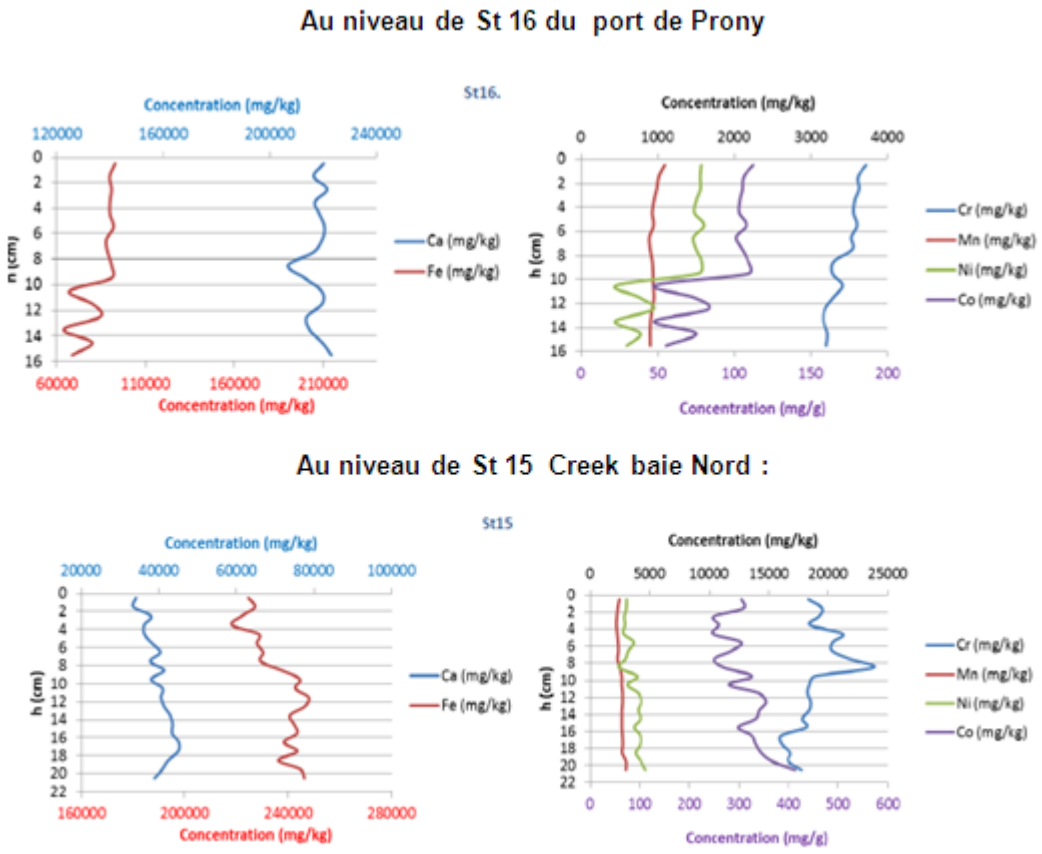
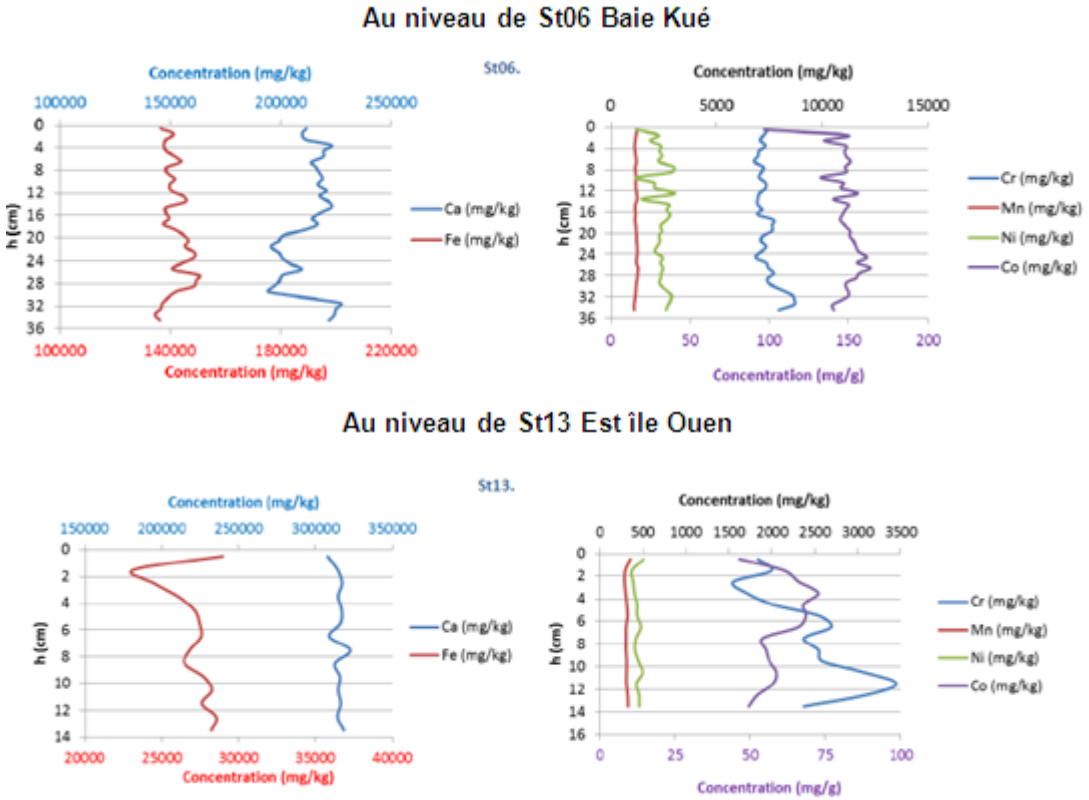


Figure 105 suite : Profils des concentrations totales en métaux (Co, Cr, Fe, Mn, Ni) et du calcium dans la fraction pélitique des sédiments



Taux d'accumulation

Station	Taux de sédimentation	Comparaison avec grille Zo Ne Co
Port	0,23 g/cm²/an à 0,12 g/cm²/an	Non perturbé à faiblement perturbé
Baie Kué	1,83 g/cm²/an à 0,37 g/cm²/an.	Milieu perturbé
Baie du Prony Creek Baie Nord	0,89 g/cm²/an à 0,45 g/cm²/an	Faiblement perturbé par apports sédimentaires
Est île Ouen	Trop Faible estimation impossible	Non perturbé

Le cas de la Baie Kué :

Flux sédimentaire moyen station St06 entre 2007 et 2013 : 1, 25 g/cm²/an

Taux de sédimentation : La baie Kué présente des discontinuités

- l'horizon de 0 à -8 cm (Récent, après 2006) :1,23 g/cm²/an à 1,83g/cm^2/an
- dans l'horizon -15 cm : (Horizon profond ancien) 0,37 g/cm²/an.

Le dépôt de sub-surface témoigne d'une accumulation sédimentaire intense (1,83 g/cm2/an) liée d'une part à la grande extension du bassin versant de la Kwé et d'autre part, à l'érosion des constructions coralliennes qui constituent une importante partie de l'estuaire. Cette altération est mise en évidence par l'importante concentration en calcium ; les carbonates biogènes représentent 56,6 ± 2,0 % de la masse sédimentée

Figure 106 : Profil vertical du « 210Pb» dans les sédiments de la carotte St06.

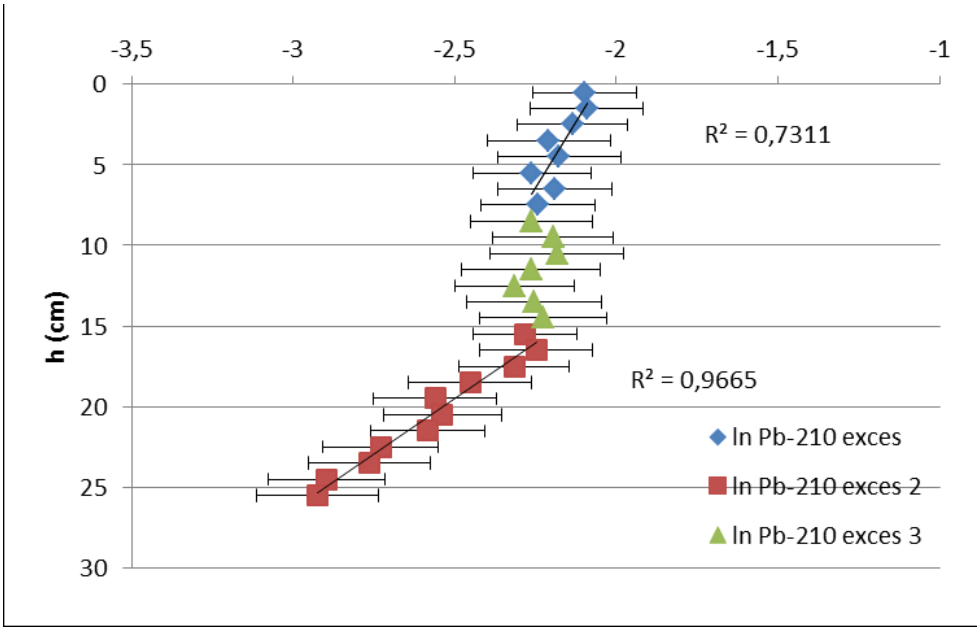


Tableau 31 : Composition minéralogique des sédiments pour les horizons (0-1 cm), (1-2 cm), (17-18 cm) et (33-34 cm) de la carotte St06 Baie Kué

Horizon	Mg-Calcite	Calcite	Aragonite	Mineral Goethite	Kaolinite	autres
0 - 1 cm	-	▲	▲	▲	Δ	-
1 - 2 cm	▲	▲	▲	▲	Δ	-
17 – 18 cm	▲	▲	-	▲	Δ	-
33 – 34 cm	-	▲	▲	▲	▲	Δ

▲ = présence ; Δ = Probabilité de présence à l'état de traces (minimum 5% massique)

Influence marine — Influence terrigène

Le Tableau 31 présente la composition minéralogique des sédiments de la carotte St06 prélevée dans le chenal au centre de la baie Kué. Les minéraux comme la calcite, l'aragonite et la calcite magnésienne sont largement majoritaire et marquent ainsi la forte influence marine, par contre la présence de goethite signe l'influence des apports terrigènes d'origine latéritique.
Remarquons que même dans les sédiments les plus anciens et profonds il y a toujours de la goethite qui montre une influence terrigène.

A la station ST13 Ouen il n'y en a pas même dans la state récente

Tableau 32 : Composition minéralogique des sédiments pour les horizons (0-1 cm), (1-2 cm), (17-18 cm) et (33-34 cm) de la carotte St 13

Horizon	Mineral					
	Mg-Calcite	Calcite	Aragonite	Goethite	Kaolinite	autres
0 - 1 cm	▲	▲	▲	Δ	Δ	-
1 - 2 cm	▲	▲	▲	Δ	Δ	-
7 – 8 cm	▲	▲	▲	Δ	Δ	-
11 - 12 cm	▲	▲	▲	Δ	Δ	-

▲ = présence ; Δ = Présence à l'état de traces (minimum 5% massique)

Influence marine — Influence terrigène

Et bien sûr en Baie du Prony, cet indicateur Goethite terrigène est présent dans le passé comme dans l'horizon récent, accompagné de la Kaolinite. Et plus on s'enfonce en baie du Prony plus l'influence terrigène se renforce au détriment des sédiments marins, et ceci pareillement dans les horizons récents et anciens.

Tableau 33 : Composition minéralogique des sédiments pour les horizons (0-1 cm), (1-2 cm), (17-18 cm) et (33-34 cm) de la carotte St 15 en rade Nord de la baie du Prony et St 16 port de Prony

St15. Horizon	Mineral					
	Mg-Calcite	Calcite	Aragonite	Goethite	Halite	Kaolinite
0 - 1 cm	-	Δ	Δ	▲	Δ	Δ
1 - 2 cm	Δ	▲	Δ	▲	-	▲
14 - 15 cm	Δ	▲	Δ	▲	-	▲

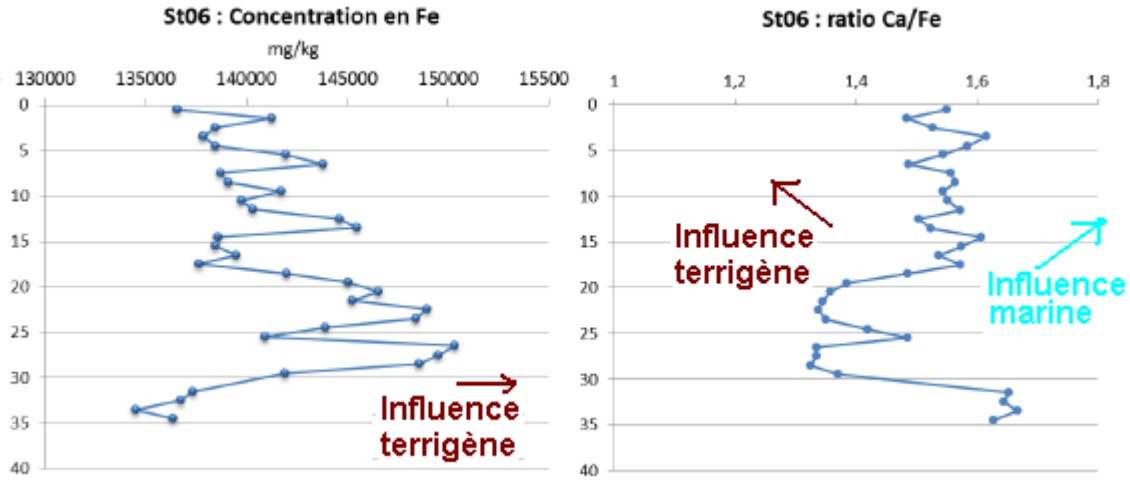
▲ = présence ; Δ = Présence à l'état de traces (minimum 5% massique)

St16. Horizon	Mineral					
	Mg-Calcite	Calcite	Aragonite	Goethite	Halite	Kaolinite
0 - 1 cm	▲	▲	▲	▲	Δ	Δ
1 - 2 cm	▲	▲	▲	▲	Δ	Δ
7 - 8 cm	▲	▲	▲	▲	Δ	Δ
13 - 14 cm	▲	▲	▲	▲	Δ	Δ

▲ = présence ; Δ = Présence à l'état de traces (minimum 5% massique)

Le ratio Ca / Fer en baie Kué montre des fluctuations dans les divers horizons et donc au fil des années, sa diminution est un indicateur de plus grande influence terrigène. On peut remarquer que le ratio Ca/Fer est minimum dans l'horizon ancien de la carotte -20 et -30 cm.
L'horizon récent -3cm à 0 montre une tendance à l'augmentation de ce ratio, et l'horizon en dessous avait montré sa diminution sans pour autant atteindre les cycles de variation du passé plus ancien.

Tableau 34 : Taux d'accumulation et évolution géo chimique des sédiments accumulés en baie Kué St06



Ces résultats permettent de penser que les fluctuations de régime sédimentaire, matérialisé par la couche 15-30 cm est probablement corrélé aux travaux d'excavation sur le site minier qui ont dans un premier temps décapé les couches latéritiques de surface riches en fer. Le ratio Ca/Fer diminue donc. Aujourd'hui, d'un point de vue géochimique, il semble que l'alimentation en particules retrouve progressivement à une composition proche de celle existant naturellement.

3.2.7. Les conséquences des événements pluvieux exceptionnels du premier semestre (Janvier) et du second semestre (Juillet) 2013

JANVIER 2013 (FREDA)

Deux études d'investigations en milieu marin ont donné lieu à deux missions supplémentaire d'investigation et à 2 rapports :

- **Rapport consécutif au passage de la dépression cyclonique Freda.** 2013. Structure de la colonne d'eau dans la rade nord de la Baie du Prony. (Rapport du 2 mai AEL/LEA)
- **Evaluation de l'état de santé du milieu marin. Zone du creek de la baie Nord et baie du Prony. 6ème mission de ce type** / janvier 2013. (Aqua Terra/ Biocénose/ Acrem).

Les faits

Passage de la dépression cyclonique Freda le 3 janvier 2013 (Cf. chapitre météo 3.2.2 1)

Le 12 janvier, la brigade de surveillance de la Direction de l'Environnement (DENV) signale une mortalité anormalement élevée de spécimens Invertébrés marins, notamment des porcelaines et des holothuries, au Nord de la Baie Nord de la baie du Prony Il n'y a pas de signalement de poissons morts. Le cyclone Freda est passé depuis 9 jours mais il n'y avait pas eu de visite de cette zone auparavant.

Schéma 1 : Localisation de la zone qui ont attiré l'attention de la brigade de surveillance, d'après la communication de la DENV

Localisation des observations de la DENV et de la zone impactée

Un rapport de la DENV est émis le 12 janvier, relatant ces constatations et un contact est alors pris avec le Département Environnement de Vale NC.

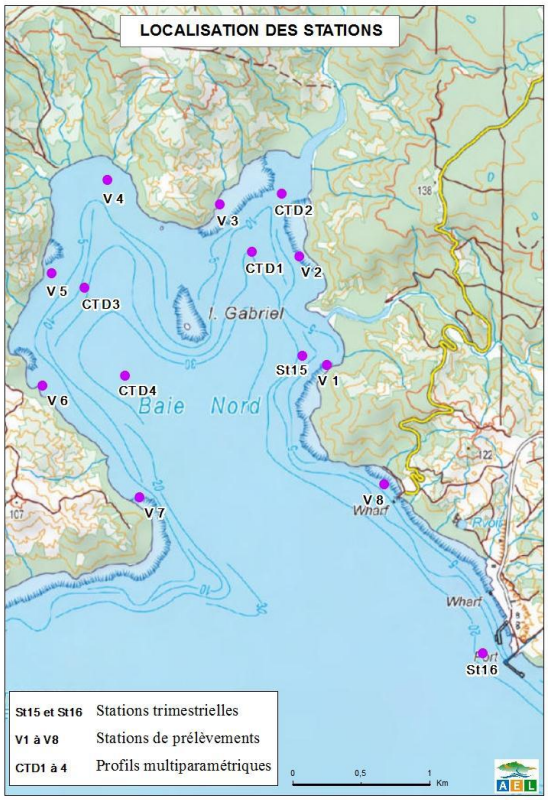
L'intervention du laboratoire AEL a lieu 18 janvier et une équipe est dépêchée sur les lieux pour réaliser des prélèvements et relevés afin d'assurer des analyses de la qualité de l'eau.
De même les plongeurs experts en biologie marine sont appelés pour effectuer une mission d'investigation sur zone ; (Vale NC fait appel aux mêmes spécialistes qui connaissent parfaitement la zone car ils ont déjà conduits 5 missions précédemment, dans cette même baie, et toutes dédiées aux conséquences des apports d'eau douce : blanchissement et résilience).

Les résultats des investigations sur la qualité de l'eau (FREDA janvier 2013)

15 jours après le passage de FREDA la salinité est encore inférieure à la normale. Cette dessalure, qui atteint des valeurs de **31,9 à 33,6 ‰,** affecte une couche d'eau de plusieurs mètres d'épaisseur. (« Normalité » 35 ‰ Cf. . les profils de salinité ici dessous). Les niveaux de turbidité mesurés sont

dans la normale des valeurs enregistrées pour un fond de baie (Beliaeff, 2011), les sédiments sont en fin de phase de de décantation. Les profils de fluorescence soulignent un déficit de pigments chlorophylliens dans les 5 premiers mètres de profondeur. Les concentrations en Co et Ni sont quasiment toutes supérieures aux moyennes habituellement obtenues depuis la mise en place du suivi physico-chimique trimestriel, au droit du Creek de la Rade Nord (station St15).
Aucune efflorescence de dinoflagellés ou de cyanobactéries n'a été observée dans les 8 échantillons de matière en suspension collectée le 18 janvier 2013.

Schéma 2 : Localisation des points d'études de la qualité de l'eau et de prélèvements

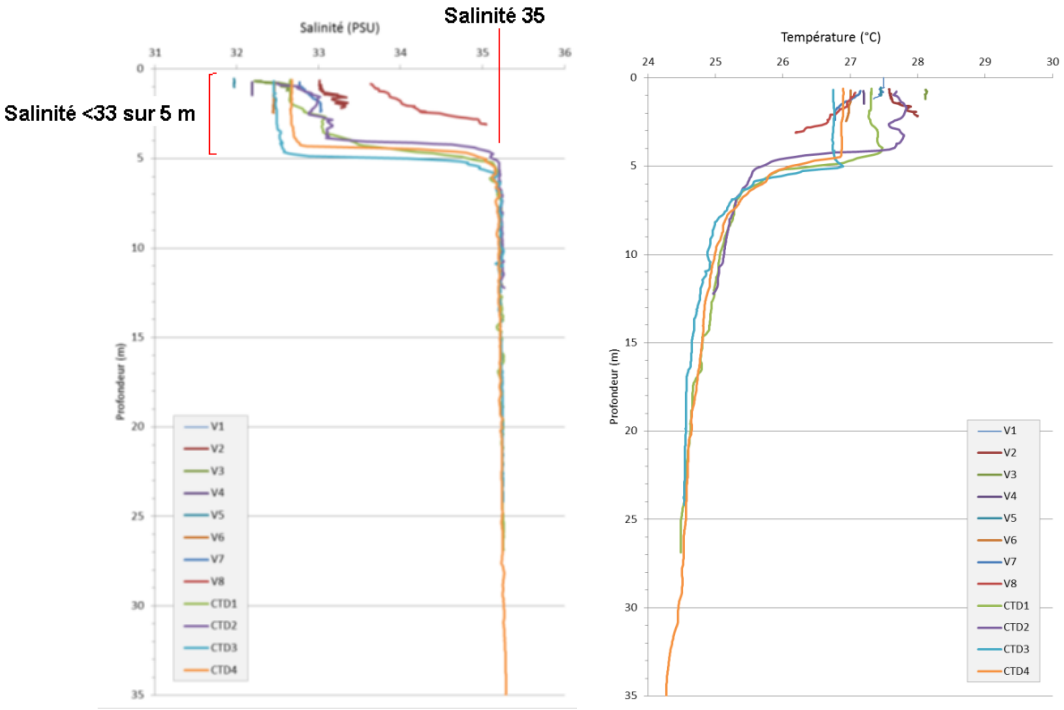


Conclusion :

Le passage de cette perturbation tropicale Freda a été suivi suivis de vents de secteur Sud > 30 nœuds et a eu pour conséquences :

- d'apporter un **volume d'eau douce très important dans la Rade Nord par la rivière Kadji et le Creek de la Baie Nord.** Ce volume, estimé à partir des profils de salinité, peut représenter entre 10.106 et 15.106 m^3 (1,3 10^6 m^3 pour la seule contribution atmosphérique directe) ;
- de lessiver les bassins versants et d'injecter dans le lagon des masses conséquentes de particules arrachées aux sols latéritiques de surface ;
- de **bloquer les eaux douces dans la Rade Nord et de les confiner le long de sa côte Nord, poussées par les vents forts (> 30 nœuds) de secteurs Sud-Sud-Est à Sud-Est ;**
- les courant de marée dans ce secteur sont très faibles (<1 cm/s) et ne peuvent assurer un renouvellement des eaux comme l'a montré la récente modélisation du secteur E de la Baie du Prony (Fernandez et Douillet, 2012)

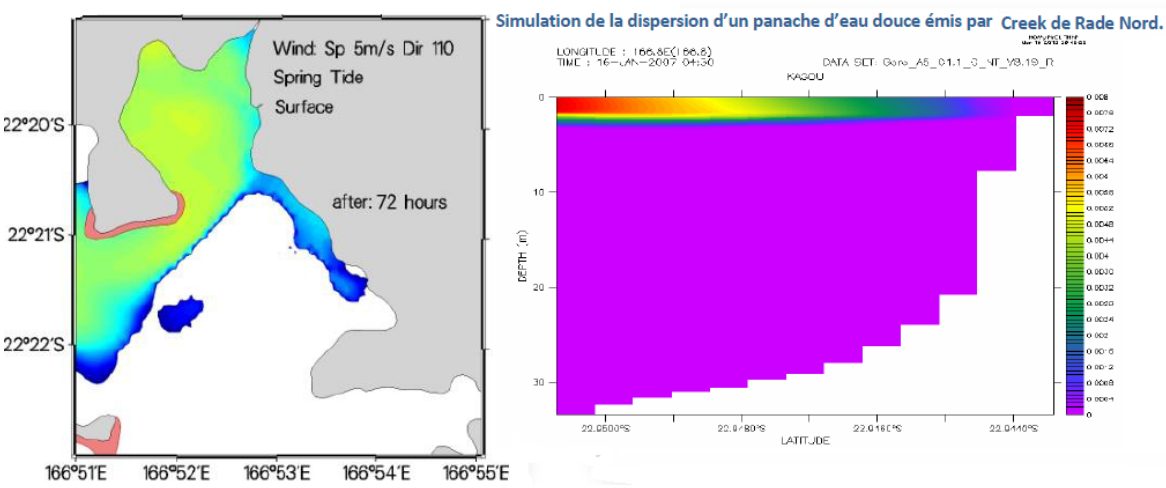
Schéma 3 : Profils de salinité (à gauche) et de température (à droite) aux 8 stations (V1 à V8) en baie Nord de la baie du Prony et aux 4 stations formant deux radiales



La lecture des profils multiparamétriques permet de mettre en évidence **une stratification très bien circonscrite et de grande ampleur puisqu'elle est encore bien visible 16 jours après le passage Freda.** A la profondeur de 5 m le changement de structuré est net : au-dessus eau encore dessalée et en dessous eau de salinité non affectée Des paramètres comme le pH et la teneur en oxygène dissous confortent cette idée en démarquant un peu plus la couche de surface avec une légère acidification et **une sursaturation en O2 dissous**, évolutions attribuables aux retombées atmosphériques (plus légèrement acides). La mesure de la turbidité et de la fluorescence, données souvent complémentaire montrent clairement l'existence de couches turbides en voie de décantation.

La modélisation hydrodynamique fine de la baie du Prony (études demandée par Vale NC/ Fernandez et Douillet, 2012) a montré qu'après un simple rejet d'eau douce par le Creek de la Rade Nord (débit moyen = 1 m^3/s) et sous l'effet des régimes des vents dominants d'Alizés modérés (10m/s de S-SE), le panache saumâtre est visible dans toute la rade 3 jours après. Toutefois, le panache est ensuite poussé vers le secteur Ouest de la rade par les Alizés et il s'évacue vers l'Ilot Casy. Cette modélisation suggère que le panache occupe **une couche d'une épaisseur de 3 à 4 mètres** ce qui est en parfait accord avec les observations réalisées sur le terrain.(schéma suivant).

Schéma 4 : Modélisation de la dispersion d'un panache d'eau douce apporté par le creek de la Baie Nord



Il est à noter que la dispersion verticale des eaux de pluie qui ont accompagné le passage de Fréda a probablement été fortement atténuée par la température plus élevée en surface des eaux de pluie, séparées par une nette thermocline de la couche sous-jacente. Le confinement des eaux en fond de baie par les vents de secteur Sud est un phénomène excpetionnel.

<u>Les résultats des investigations sur les écosystèmes (FREDA janvier 2013)</u>

La zone étudiée par les biologistes marins suite aux forts épisodes pluvieux, en baie du Prony, est indiquée sur la carte suivante.

Schéma 5 : Zones évaluées par les biologistes marins suite au cyclone FREDA en juillet 2013

La zone 08 en baie du Carénage (en orange sur la carte) est une zone Témoins suivie depuis 2009

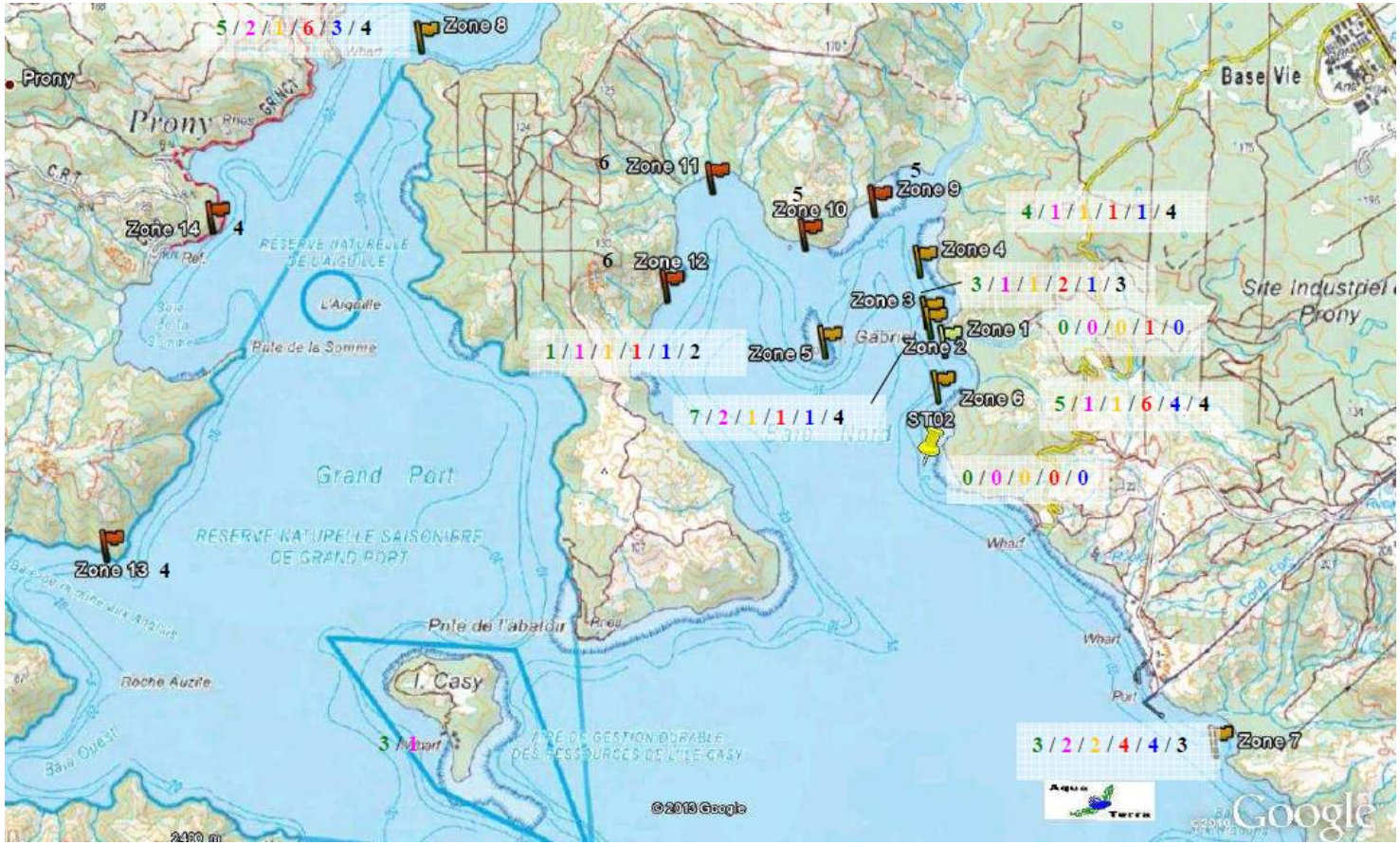
La carte suivante indique le taux de blanchissement corallien relevé sur chaque station inventoriée lors des 6 missions de surveillance conduites par les mêmes spécialistes entre 2009 et 2013.

Schéma 6 : Blanchissement corallien (estimation visuelle), sur une échelle de 10

Six missions entre 2009 et janvier 2013

Vert = avril 2009, mauve = juin 2009, jaune = décembre 2009, rouge = avril 2011, bleu = avril 2012, noir = janvier 2013

ST02 est la station fixe de suivi des écosystèmes marins suivie semestriellement depuis 2007



Il n'y a pas d'inflorescence de cyanobactéries. (Schéma n°7 suivant). Les cyanobactéries (formes dites « de pompon » et *Phormidium sp*.) se développent toujours en plus grande abondance sur le platier de la Zone 08, à l'embouchure de la baie du Carénage, à travers les colonies d'Acropora grandis et les débris coralliens. Cette constatation est faite depuis juin 2009.
L'étoile de mer dévoreuses de corail *Acanthaster planci* n'est pas observée et le suivi des étoiles de mer *Culcita* est présenté ci-dessous (Schéma n°8).

Schéma 7 : Evolution des Cyanobactéries en baie du Prony
Zone 7 : zone portuaire

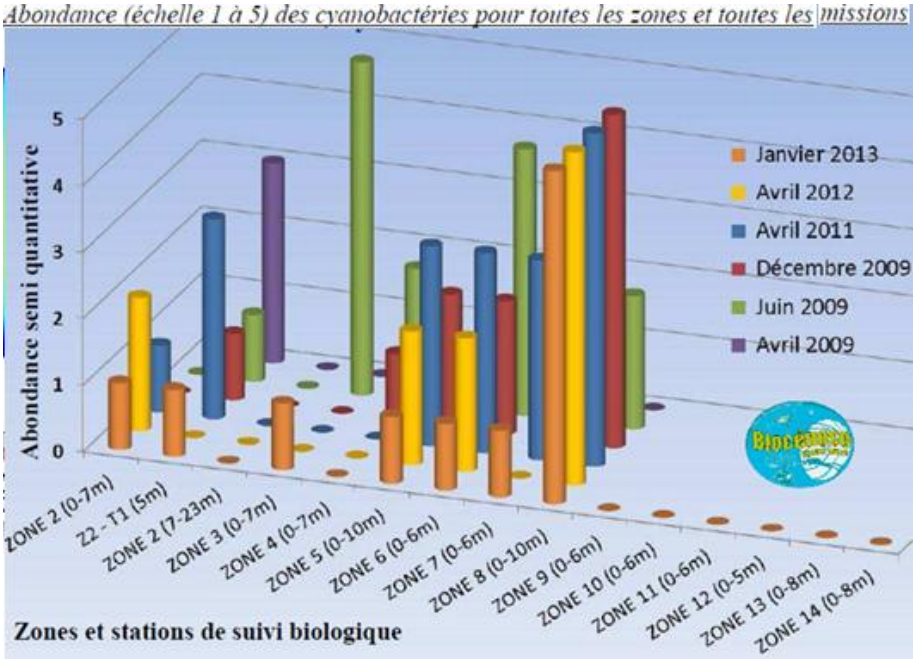
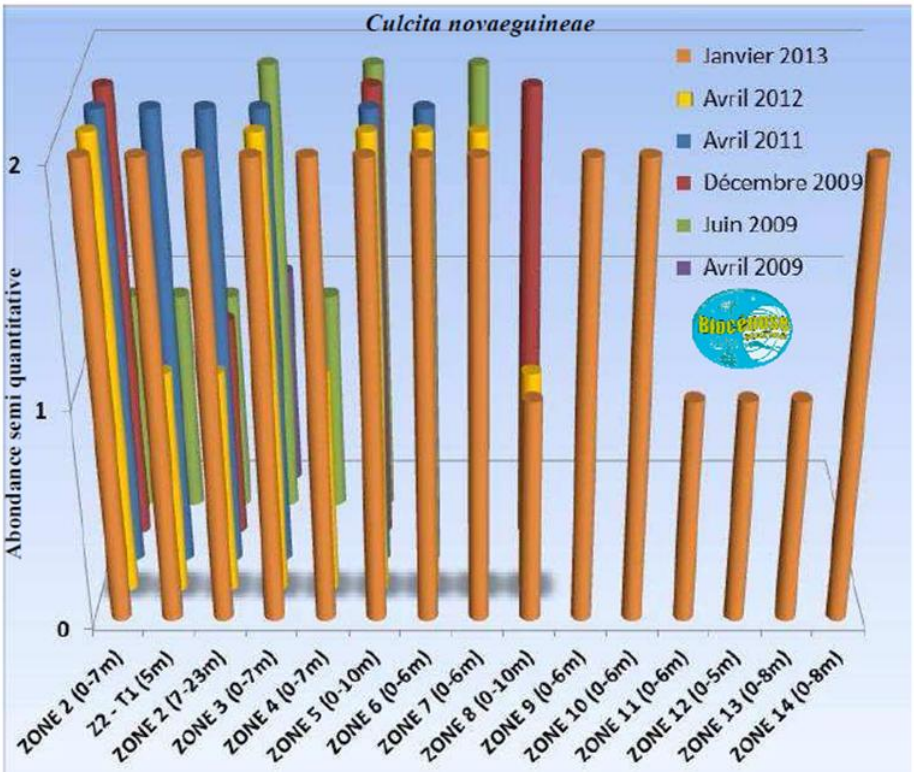
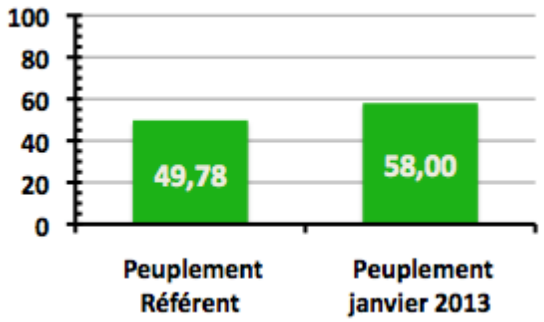


Schéma 8 : Suivi de l'étoile de mer Culcita novaeguinea en baie du Prony



Pour l'ichytyofaune (poissons) les zones littorales et particulièrement les baies sont classiquement des nurseries pour les poissons. Il convient donc de vérifier si cette fonction n'a pas été altérée par le cyclone Freda qui a causé une mortalité d'Invertébrés. Pour ce faire sont comparés les résultats 2013 avec les données sur les peuplements référents. La proportion de juvéniles semble s'être légèrement accrue en 2013 par rapport à celle du peuplement référent 2009-2012

Schéma 9 : Proportions des quantités moyennes de juvéniles dans le peuplement référent et dans le peuplement de 2013



Conclusions :

Durant la mission de janvier 2013, **suite au cyclone FREDA, de grandes modifications dans la composition et la structuration des biocénoses benthiques (diversité, abondance, état de santé et répartition bathymétrique des organismes) ont été observées**, par rapport à celles enregistrées en avril 2012.
Les dégradations ont été observées dans le niveau bathymétrique supérieur entre 0 et 3 m de profondeur pour toutes les zones de suivi biologique de la baie du Prony. Cependant, ces dégradations ont été plus importantes et plus profondes pour les stations positionnées au Nord-ouest (Zone 11) et à l'Ouest (Zone 12 Carte en schéma 4) de la Baie Nord (respectivement entre 0-4 et 0-5 m de profondeur).

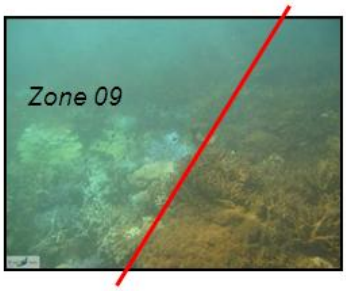
- Mortalité massive sur de nombreuses espèces de mollusques. Les espèces ayant le mieux résisté à la dessalure sont *Tridacna crocea*, *Isognomon isognomon, Arca ventricosa* et *Pedum spondyloideum* mais la plupart de ces spécimens n'ont pas survécu.
- Absence des nudibranches ;
- Absence des échinodermes (Oursins) vivants ;
- Pas de prolifération de cyanobactéries ni de d'espèces corallivores (à cette date) ;
- Blanchissement massif des coraux scléractiniaires et modéré des alcyonaires de surface.
- Sous 4-5m de profondeur, très peu d'anomalies biologiques ont été relevées et aucune colonie corallienne n'est blanchie. Le panache d'eau douce est resté en surface ce qui est cohérent avec l'étude précédente sur la qualité de l'eau et la modélisation.
- Les poissons ne montrent pas une affectation mais les biodiversités sont globalement 10 % plus faibles que les meilleurs jusque-là observées.
- La proportion des juvéniles n'est pas modifiée ou légèrement supérieure
- Les Chaetodons sont bien présents, y compris les espèces exclusivement corallivores

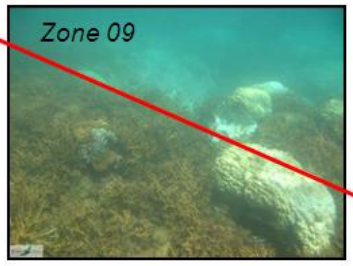
Les photographies suivantes montrent la délimitation en profondeur entre le panache d'eau dessalée « impactante » et les eaux plus profondes qui n'ont causé aucun effet.

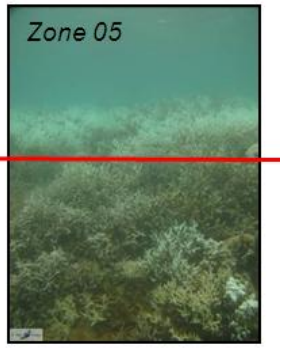
A la suite du passage de la dépression tropicale FREDA en janvier 2013 les organismes marins sessiles qui vivent sur les platiers peu profond et qui n'ont pas pu fuir la nappe d'eau douce de surface sont morts, cette nappe a été maintenue en fond de baies ouvertes au Sud par les vents persistants de secteur Sud à la suite des fortes pluies dépressionnaires, la baie de Port Boisé et d'autres baies calédoniennes ont connu ce phénomène qui n' est pas rare de par le monde. Les conchyliculteurs notamment le connaissent bien.
Les expertises des divers bureaux d'études concordent sur cette conclusion.

Photographies 1 : Baie du Prony suite au passage de Freda en janvier 2013. Zone de surface impactée, zone profonde non touchée. Mollusques morts notamment dans la zone de moins de 2m de profondeur.

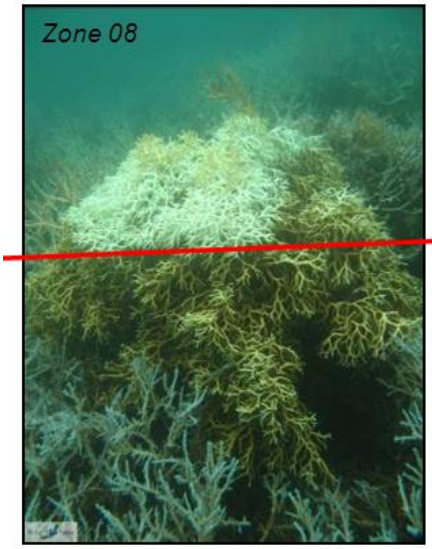
⇒ **Pour les zones de transition (2-3 m)**







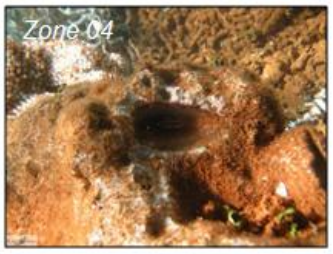
A la limite de profondeur autour des 2 m (selon les zones), où la masse d'eau dessalée a stagné, le changement dans l'état de santé des formations coralliennes est flagrant

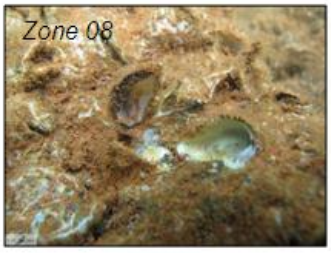


Cela est carrément marqué sur cette colonie de *Millepora* sp. dont le bas est en parfaite santé, alors que le haut est blanchi

Aqua Terra

⇒ ***à des profondeurs < 2 m*** Mortalité de mollusques





JUILLET 2013 : épisode pluvieux exceptionnel des 2 et 3 juillet

Les investigations mandatées par Vale NC ont donné lieu à différents rapports :

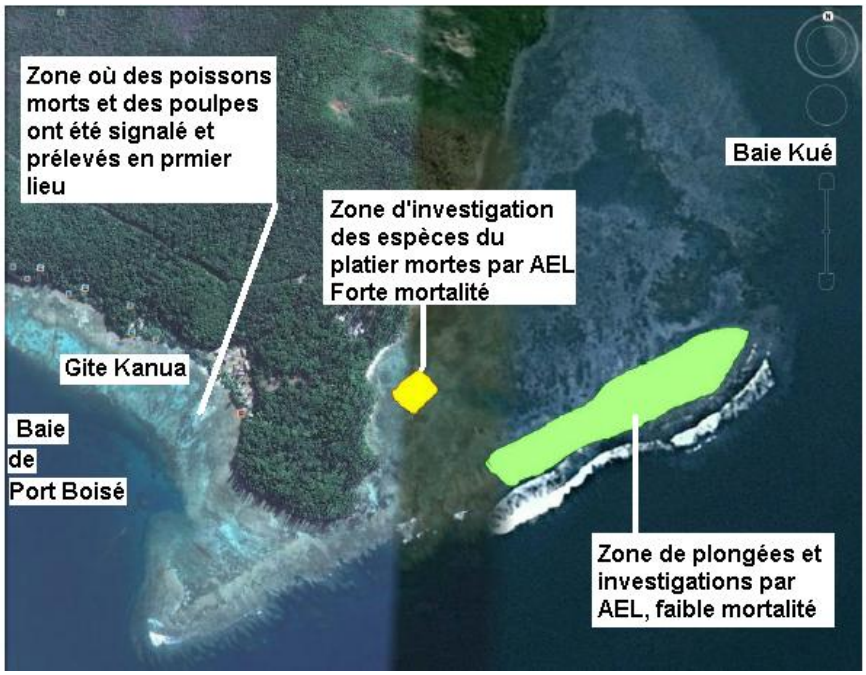
- Précipitations exceptionnelles du 3 et 4 juillet 2013. Observation de mortalités massives sur le platier Ouest de la baie Kué (Rapport Juillet 2013 AEL/LEA)
- Avis sur les mortalités observées en juillet 2013 (SOPRONER)
- Analyses des échantillons d'eau de mer prélevés (AEL/LEA)
- Analyses des chairs des poissons morts récoltés

L'Observatoire OEIL a aussi effectué des investigations (via le bureau d'études EMR) et ses conclusions ont été communiquées, elles sont en cohérence avec celles des experts mandatés par Vale NC.

Les faits

Le 5 juillet, deux jours après les fortes pluies du 2 et 3 juillet (Cf. chapitre météo 3.2.2.1.), la mairie de Yaté signale la **présence de poissons morts et de poulpes en baie de Port Boisé en face le gite Kanua**. La baie de Port boisé n'est pas sous influence d'un bassin versant sous influence du projet Vale NC mais des plongeurs biologistes (en mission de surveillance annuelle pour Vale NC) sont présents en baie Kué et ils modifient leur mission du jour pour effectuer des investigations sur la mortalité d'Invertébrés et de Vertébrés marins dans cette baie. Vale NC diligente des observateurs/échantillonneurs de son service Environnement en baie de Prony et baie de Port Boisé. La carte suivante présente les zones investiguées dans le canal de la Havannah

Schéma 10 : Zones d'investigations : baies de Port Boisée et Baie Kué suite aux fortes pluies 2 et 3 juillet 2013. Investigations le 5 juillet 2013



Des holothuries et autres Invertébrées morts sont aussi observés en baie du Prony, sur la pointe de l'abattoir, près du petit wharf public, mais pas à l'embouchure du creek de la Baie Nord ni au port de Prony.

Les résultats des investigations sur les écosystèmes de la baie Kué

Lors de la prospection, en zone de forte mortalité (carré jaune sur la carte ci-dessus) 192 petits poissons morts au total, ont été observés. La plus part se trouvaient dans des trous ou anfractuosités du substrat, et les autres flottant en surface ou roulant sur le fond avec la marée montante.

L'ensemble des espèces observées mortes sont des espèces sédentaires vivant dans des anfractuosités du substrat, voire semi cryptiques diurnes.
Le faible état des décomposition des poissons (mucus en train de partir, intégrité des chairs et des individus, intestins non gonflés, intestins gonflés mais non percés, odeurs de décomposition naissantes), fait penser à une mortalité étant survenue au maximum 24 h avant la prospection (pour les individus avec intestins gonflés) et 12 h avant le comptage (pour les individus sur le fond, intestins non gonflés, non percés), soit aux alentours du le 4 juillet .
La plus part des poissons observés morts présentaient des masses de mucus et de latérite rouge mélangés sur la fente branchiale en sortie de branchies, derrière les opercules.
Très peu de poissons vivants ont été observés dans cette zone exceptés un petit banc de picots rayés *Siganus linneatus* et 3 loches *Epinephelus argus.*

La liste des invertébrés et vertébrés morts observés est établie.

Sur 500m^2 :
- Bivalves : 1 bénitier, moules, palourdes et pintadines en grand nombre (12 espèces différentes de bivalves)
- Gastéropodes : Trocas et turbos en grand nombre (18 espèces différentes)
- 3 poulpes
- 2 nudibranches
- Echinodermes en grands nombres avec des holothuries (6 espèces différentes) et des oursins (4 espèces différentes)
- Crustacés : 3 espèces différentes
- Poissons : 192 individus de 24 espèces
- Coraux morts ou blanchis

La partie du platier proche du récif et juste en face de la zone prospectée, (surface vert-clair sur la carte ci-dessus) a été parcouru. Il a été observé : 3 Pomacentridae morts, mais une multitude de petits poissons non identifiés et bien vivants fuyaient à l'approche des biologistes.

<u>Les résultats des investigations sur les individus récoltés en baie de Port boisé</u>
Une identification des espèces retrouvées mortes a été conduite sur la base des photographies et ce malgré un mauvais état de conservation fait apparaitre que le phénomène a aussi bien touché des espèces mobiles que sédentaires et semble avoir touché uniquement des espèces côtières présentes à proximité des embouchures.

Famille/Espèce	Catégorie trophique	Mobilité	Niveau
Pomacanthidae *Centropyge tibicen*	Herbivore	Territorial	Fond
Scaridae *Scarus rivulatus*	Herbivore	Mobile	Fond
Acanthuridae *Naso unicornis*	Herbivore	Mobile	Fond
Monacanthidae *Oxymonacanthus longirostris*	Carnivore, corallivore	Sédentaire	Fond
Pomacentridae *Dascyllus aruanus* *Stegastes nigricans*	Planctonophage Herbivore	Territorial Territorial	Fond Fond
Chaetodontidae *Chaetodon lunulatus*	Carnivore, corallivore	Sédentaire	Fond
Balistidae Baliste spp. *Pervagor sp.*	Carnivore Carnivore	selon espèce Sédentaire	Fond Fond
Sillaginidae cf. *Sillago ciliata*	Carnivore	Très mobile	Fond
Serranidae *Cephalopholis boenak*	Piscivore	Sédentaire	Fond
Mullidae *Parupeneus sp.*	Carnivore	Mobile	Fond
Labridae *Cheilio inermis*	Piscivore	Mobile	Fond
Lutjanidae *Lutjanus sp.*	Carnivore	Très mobile	
Crabe cf. *Percnon sp.*			
Holoturie *Bohadschia vitiensis, Holothuria spp.*			

Les résultats des analyses des échantillons d'eau de mer prélevés (le 5 /07/13)

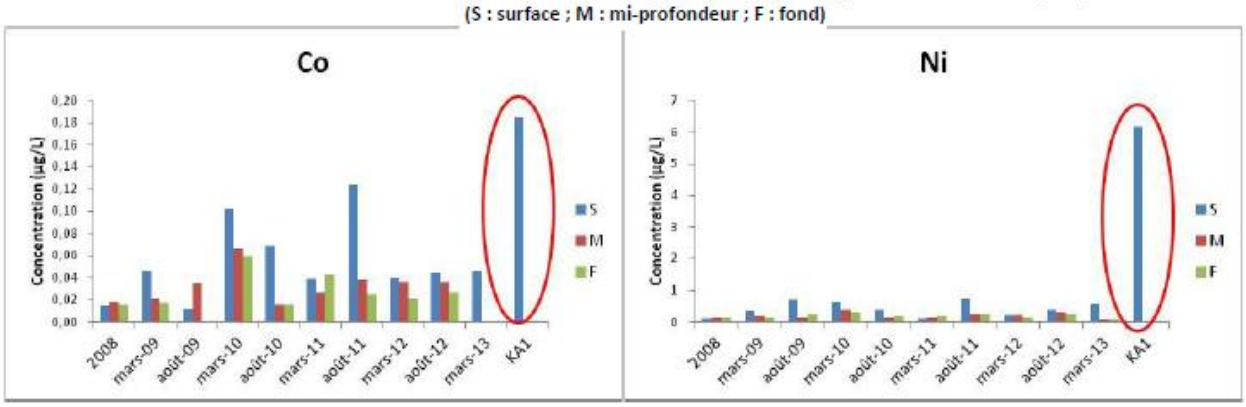
La salinité est très faible, le pH est dans la norme, l'oxygène dissous est bon, pour les concentrations en Cu, Fe, Mn et Zn les concentrations sont du même ordre que celles observées depuis 2008.
Par contre :
Les concentrations de Co et Ni, éléments fortement solubles, sont clairement plus élevées que celles mesurées habituellement sur la zone. En effet, celles-ci sont 4 et 21 fois supérieures aux concentrations moyennes mesurées à Port Boisé, toutes profondeurs confondues, depuis 2008 (Co = 0,039 ± 0,026 µg/L ; Ni = 0,28 ± 0,18 µg/L) A noter que la concentration en Ni dissous (labo AEL) est du même ordre de grandeur que celle obtenue par le laboratoire de Vale NC pour le prélèvement « KANUA »

Schéma 11 : Analyses de l'eau suite aux fortes pluies de juillet 2013

KA1 est l'échantillon d'eau de mer en face le gite Kanua
St03 : valeurs moyennes obtenues, pour comparaisons, lors des suivis semestriels sur la station St 03 dans la baie

Paramètres	KA1	St03	
Salinité (‰)	24	35	
pH	8,14	8,21 ± 0,06	
Co (µg/L)	**0,19**	0,04 ± 0,03	X 4,7
Cu (µg/L)	<0,015	0,04 ± 0,03	
Fe (µg/L)	<0,011	0,07 ± 0,05	
Mn (µg/L)	0,29	0,22 ± 0,14	
Ni (µg/L)	**6,17**	0,28 ± 0,18	X 22
Zn (µg/L)	0,30	0,25 ± 0,17	
DBO_5 (mg/L)	0,2		
O_2 dissous (mg/L)	6,9		Valeur correcte
MES (mg/L)	13,8		

Concentrations de Co et Ni mesurées lors des campagnes semestrielles depuis 2008 à Port Boisé (St03)
(S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond)



Ces concentrations en Nickel et Cobalt sont la signature des eaux de ruissellement calédoniennes et de la nature géologique des sols, pour rappel en baie Kué les concentrations en Ni sont (hors épisodes cycloniques) inférieures à < 0,5 µg/L et pour le Co < 0,05 µg/L et si l'on se réfère aux autres embouchures de rivières calédoniennes, on obtient (hors périodes cycloniques) : Pour le Ni : 10 µg/L à la Coulée ; 6 µg/L dans la Dumbéa ; 2 µg/L à port Moselle…et pour le Co : 0,2 µg/L à port Moselle ; 0, 07 µg/L à la coulée…Le « bruit de fond » est riche en Ni/Co.
Les MES (avec 13,3mg/L) montrent ; comme les concentrations en Ni et Co, que les eaux douces générées par les pluies ont contribué à un fort lessivage des sols. La concentration de MES de ce prélèvement (13,8 mg/L) est 30 fois plus élevée que celles mesurées à la station St03 lors de la dernière campagne de prélèvement semestriel (mars 2013).
(Rappel : En baie du Prony le l'eau prélevée le 06 juillet présentait 490 mg/L de MES, les panaches « rouges » ont couverts toutes les embouchures calédoniennes bien au-delà de la rivière Kué.)

Les analyses causales effectuées par les biologistes marins concordent.
4 causes peuvent être responsables de la mortalité des individus Invertébrés peu mobiles (comme observés pour Freda, chapitre précédent) et des poissons (phénomène non observé sur cette zone à ce jour, depuis le début des suivis Vale NC).

Les recherches bibliographiques montrent que d'autres baies de par le monde ont subi de tels impacts suite à des phénomènes météorologiques intenses.

Evènements	Effets sur le milieu naturel	Effets biologiques	
Fortes pluies intenses	Dessalure des eaux des baies Choc halin	Choc osmotiques sur les organismes marins	**RISQUE 1**
Ruissellement érosion et lessivage des sols	MES (Matières en suspension dans l'eau, panaches turbides)	Choc physique, colmatage des branchies, abrasion.	**RISQUE 2**
Oxydation des particules organiques	Baisse de la concentration d'oxygène dissous dans le milieu	Choc anoxique : Manque d'oxygène disponible	**RISQUE 3**
Lessivage des sols et variations des conditions chimiques des eaux	Relargage de métaux qui deviennent bio disponibles en plus grandes concentrations	Choc toxique	**RISQUE 4**

RISQUE 1 : Les organismes marins tentent de réguler leur pression osmotique (taux de « sel » dans le sang) Les organismes marins ont des tolérances variables à la dessalure en fonction des groupes taxonomiques et des durées des phénomènes, de plus le choc du à une dessalure brutale ne leur laisse pas un temps d'adaptation. (Les poissons qui font des migrations entre eaux douces et eaux de mer prennent un temps d'adaptation en eau saumâtre et régulent leur métabolisme notamment avec leur concentration en urée, un passage brutal en eau douce ne peut pas être supporté plus de quelques minutes par un poisson d'eau de mer).
Au vu des durées des précipitations et de la dessalure constatée, le risque de choc osmotique peut à lui seul être responsable des mortalités observées pendant et après l'épisode pluvieux. Il est certain qu'il a causé un fort impact, en baie Kué comme dans toutes les autres baies.

RISQUE 2 : Les fines particules de latérites peuvent, par action physique mécanique, abraser les yeux et le mucus des poissons, obstruer et colmater les branchies des invertébrés et des poissons, ainsi que les organes sensoriels tels que les pores des lignes latérales de poissons.
Les organismes dépensent beaucoup d'énergie à lutter contre le colmatage et l'asphyxie mécanique. Pour un phénomène fort et prolongé, la mort des invertébrés et des bivalves filtreurs en particulier, peut intervenir, après épuisement des réserves énergétiques (cas connu sur les huîtres d'élevage) et asphyxie mécanique. Pour les poissons, le phénomène est identique et peut contribuer à les affaiblir.
Au vu de l'intensité des phénomènes pluvieux, leur persistance et leur vaste étendue, les panaches en sortie de la Kué, en baie de Port Boisé, dans toute la baie de Prony et le canal Woodin, peuvent être responsables d'une partie des mortalités observées. Ils ont pu conjuguer leurs effets à celui, prépondérant, de la dessalure.

RISQUE 3 : Ce risque semble exclu car l'eau analysée montrait une bonne teneur en oxygène

RISQUE 4 : Les variations du milieu jouent sur les équilibres chimiques régissant les réactions d'oxydoréduction, de sorption/désorption, complexation / décomplexation, antagonisme/synergie complexes. Sous ces conditions, les métaux potentiellement toxiques peuvent passer d'une forme non bio-disponible vers une phase dissoute bio-disponible. On peut alors observer un pic de contaminants dissous pouvant provoquer un choc toxique allant jusqu'à des mortalités massives.
Le risque de choc toxique peut contribuer de manière non négligeable aux effets observés. Le CNRT a bien ciblé ce phénomène qui est un enjeu en Nouvelle- Calédonie à l'égard des concentrations fortes en métaux des eaux de toutes ses rivières et embouchures en corrélation avec la nature géologique du territoire. Des tests de toxicité utilisant des embryons hypersensibles d'oursins et de bénitiers locaux, ont permis d'évaluer le potentiel toxique de différentes latérites et d'en connaître les seuils de dilutions garantissant l'innocuité pour le milieu marin, le rapport est en cours de finalisation. (CNRT Eco-toxicologie Bio-essais AQUABIOTECH/IFREMER 2013).

Conclusion

Au vu de l'ampleur du phénomène des précipitations atmosphériques, chacun de ces risques pris individuellement, peut-être responsable d'une part ou de la totalité des mortalités ponctuelles massives observées. Il est donc suspecté que ces les mortalités observées sont dues à la conjonction de plusieurs de ces risques.

Le choc halin dû à la dessalure reste la cause première de cette mortalité en baie Kué, baie de port Boisé et baie du Prony.

D'autres baies ont pu présenter le même phénomène mais elles n'ont pas été inspectées.

Analyse des chairs des poissons morts récoltés

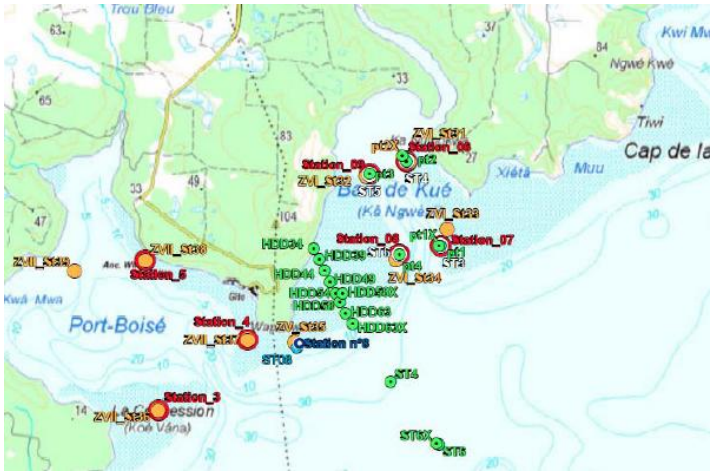
Malgré leurs efforts des chimistes ne peuvent pas donner de résultat concluant quant aux analyses des chairs des poissons, les échantillons ayant eu divers contacts avec de nombreuses matières sur la plage d'échouage et leur état de putréfactions étant avancé.

Une autre campagne d'investigation supplémentaire est en cours sur cette zone afin de contribuer à une meilleure connaissance de ce phénomène, de son étendue, de ses causes et de sa résilience.

- **Mission d'évaluation Eco systémique en baie de Port Boisé, baie Kué et le long de la côte Nord du canal de la Havannah, de la passe de l'îlot Touemo jusqu'au cap N'Dua** (Décembre 2013, cf. la figure ci-dessous))
- **Mission d'évaluation Eco systémique (suite) centrée sur la baie de Port Boisé et la Baie Kué** (Janvier 2014, cf. la figure ci-dessous)
- **Mission d'évaluation de la qualité de l'eau sur les mêmes stations Eco systémiques** et couplage de l'expertise des biologistes avec les prélèvements et analyses d'eau (janvier 2014)

Figure 107 : Stations inventoriées pour une mission supplémentaire au nord du canal de la Havannah (mission décembre 2013)

Figure 108 : Stations inventoriées pour une mission supplémentaire au nord du canal de la Havannah centrée sur la baie Kué et la baie de Port Boisé (Mission de janvier 2014))



Il sera aussi effectué une analyse en relation avec les modélisations qui ont été effectuées par l'IRD pour Vale NC : « Modélisation et simulation du transport des formes particulaires d'origine naturelle issues de crues dans la rivière Kwé / Rapport final 2009 »

Les résultats de ces travaux seront communiqués en 2014.

3.2.8. Les travaux suite à la rupture de l'émissaire marin et ses réparations

Le 11 novembre 2013 suite à la découverte de la rupture de l'émissaire marin de rejet des effluents traités dans le canal de la Havannah, au niveau du diffuseur, plusieurs missions d'expertises environnementales ont été conduites tout d'abord sou la demande de Vale NC, puis par l'Œil et une expertise indépendante a été mandatée par la Province Sud à l'ARC.
Les rejets en mer ont cessé ainsi que l'activité de l'usine de Vale NC, durant les réparations et la phase des tests de remise en fonction de l'émissaire. Après autorisation des autorités de contrôle l'activité a repris début janvier 2014.

Les scientifiques ayant conduits des prélèvements et les analyses d'eau, la modélisation du rejet par un *open pipe* et les missions sous-marines d'inspections sur les habitats marins, en accord avec l'observatoire Œil, ont conclu sur un **non impact environnemental de cet incident.**

Depuis sa remise en fonction l'intégrité du tuyau sous-marin est vérifiée par plongées et le flux d'effluent entrant dans le diffuseur est suivi en continu par un capteur.

Les missions environnementales ont été les suivantes :

- Fin de la pose de l'émissaire marin en janvier 2009
  - ✓ Inspections visuelle par plongée
  - ✓ 3 tests de diffusion de Rhodamine par toutes les phases de la marée
- 2010, 2011, 2012
  - ✓ 5 missions de vérification de la bonne dispersion de l'effluent en champ très proche du diffuseur
  - ✓ Mai 2011 : évaluation biologique de la colonisation de l'émissaire et du diffuseur
- Suite à la rupture (11 novembre 2013)
  - ✓ 12 nov. prélèvement d'eau sur 10 points autour de l'open pipe et sur toute la hauteur de la colonne d'eau, analyse de la qualité de l'eau (bonne) alors que les rejets ne sont pas encore stoppés ;
  - ✓ 15 nov. plongée évaluatrice, prélèvement des hydraires de *l'open pipe* pour tentative de datation et bonne santé de l'habitat le plus proche de *l'open pipe*
  - ✓ Modélisation du panache de dispersion par un *open pipe*

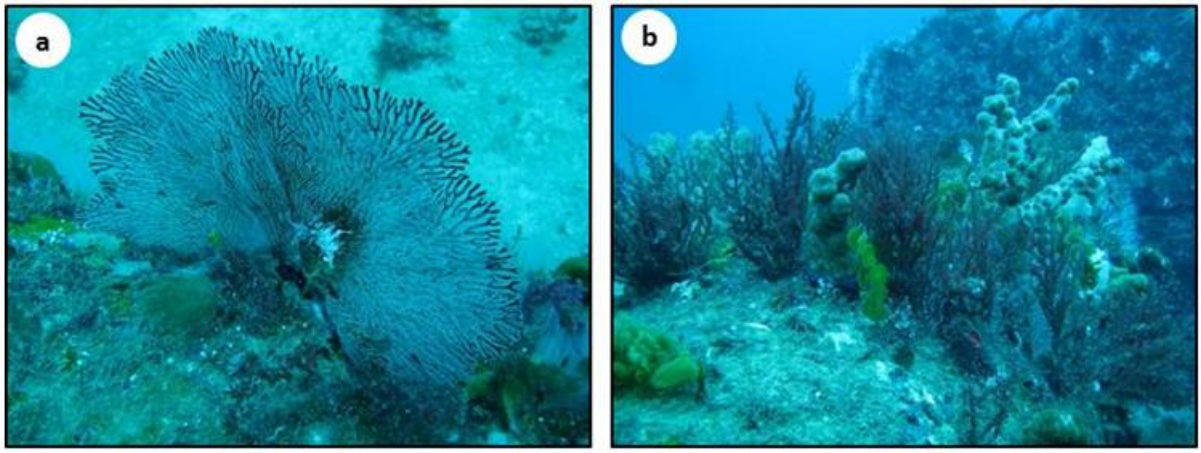
- ✓ Tests sub-chroniques de toxicité de l'eau de mer prélevée le 12 novembre et de deux échantillons d'effluents sur des larves d'oursins.
- ✓ 25 novembre : inspection biologique de la colonisation des trous du diffuseur et de la colonisation de celui-ci. (Cf. photographies ici dessous)
- ✓ 28, 20 et 30 novembre : Evaluation de la santé des 5 stations éco-systémiques qui entourent la zone du rejet.

- Suite à la reconnexion de l'émissaire sur le diffuseur :
  - ✓ Test de diffusion avec un colorant (rhodamine) et de l'eau douce (29 déc. 2013)
  - ✓ Vérification de la dispersion de l'effluent rejeté en champ très proche du diffuseur (31 déc. 2013)

Les résultats ont été communiqués aux experts mandatés par la Province Sud et aux autorités de tutelle ainsi qu'aux communautés locales dont le CCCE (Comité Consultatif Coutumier Environnemental).

- Il n'y a pas eu d'effet environnemental.
- Les tests de toxicité de l'effluent sont conformes aux études et expertises a ayant donné lieu à l'autorisation ICPE et ils confirment sa non toxicité à moins de 20 m du diffuseur.
- Le test avec la rhodamine est conforme à celui de 2009 et aux modélisations de dispersion par le diffuseur, de même que la dilution des premiers effluents rejetés en champ très proche (60 m) du diffuseur.

Photographies 1 : le diffuseur et sa richesse en biodierversité croissante (Novembre 2013)

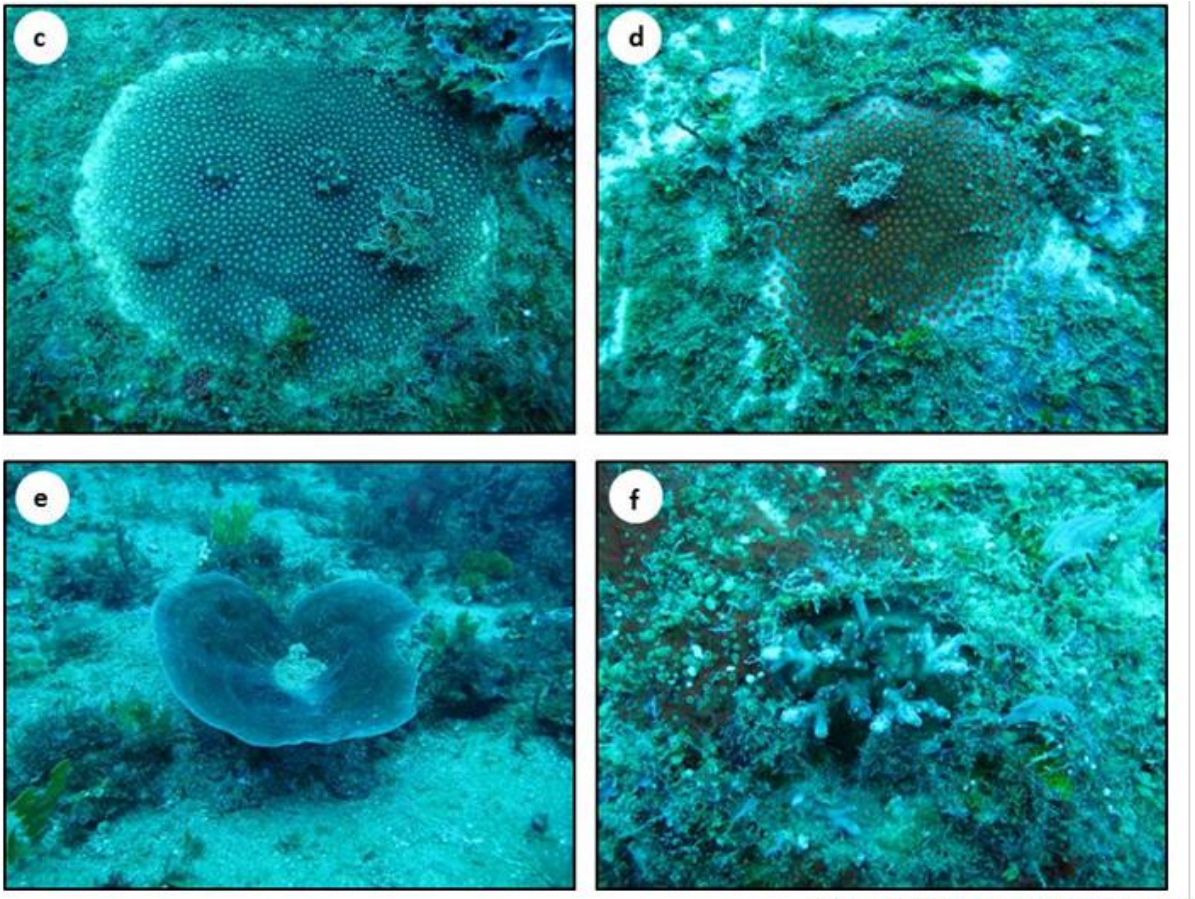


a) Gorgone indéterminée ; b) Assemblage de macro-algues et d'alcyonaires (*Dendronephthya sp*.)
© G. Lasne/Biocénose marine, 2013

© G. Lasne/Biocénose marine, 2013

c) Une ascidie colonise l'extérieur du tuyau et deux espèces d'algues rouges se sont infiltrées dans la périphérie intérieure du diffuseur (*Botryocladia leptopoda* et *Dictyopteris crassinervia*). Cependant, elles ne sont pas fixées à l'intérieur

Station E09, au niveau du diffuseur. **Novembre 2013**



© G. Lasne/Biocénose marine, 2013

Espèces coralliennes en bon état de santé colonisant l'émissaire marin et ces alentours
a) Colonie encroûtante (cf. *Barabattoia amicorum)* ; b) Colonie encroûtante (*Favites pentagona*) ; c) et d) Colonies encroûtantes (cf. *Leptastrea transversa*) ; e) Colonie foliacée (*Turbinaria mesenterina*) ; f) Colonie branchue (*Acropora* sp.)

Station E09, au niveau du diffuseur. **Novembre 2013**

4. CONCLUSION

	Rapport finalisé et remis aux administrations de contrôle
	La mission est en cours

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

Tableau 30 : Synthèse des résultats des missions règlementaires de suivis du milieu marin du Second semestre 2013.

Suivi règlementaire 2013	Indicateurs	Second semestre 2013	
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique	**Conforme aux valeurs attendues** Notamment sur les stations proches du rejet de l'effluent et au niveau du port de Prony. Les conséquences météorologiques sont bien enregistrées sur les stations côtières.	**Rapports semestriels**
Qualité de l'eau et concentrations en métaux	Chimique	**Conforme aux valeurs attendues** Notamment sur les stations proches du rejet de l'effluent et au port de Prony. Pas de pollution détectée. Les conséquences météorologiques sont bien enregistrées sur les stations côtières.	
Suivi des écosystèmes	Biologique Corail Benthos Poissons	**Conforme aux états attendus** en corrélation avec les fluctuations saisonnières et fortes dépressions La station ST08 (entre la baie Kué et la baie de Port Boisé) a été affectée par les épisodes pluvieux, sa résilience est plus lente que pour les autres stations côtières .Cependant elle s'amorce fin 2013 Conformité au niveau des stations qui entourent le rejet d'effluent Bonne santé de la station portuaire	
Bio accumulation Sur transplants	Bio accumulateurs	Conforme aux états attendus en fonction des fluctuations saisonnières, notamment au niveau du port. Les bivalves en croissance dans la cage la plus proche du rejet de l'effluent présentent l'accumulation minimale, la plus faible de toutes	**Rapport annuel**
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Faible taux d'accumulation au niveau du port (Station St 16 à 150 m des quais) Perte localisée de vrac à l'aplomb du quai vraquier, sous contrôle et mesures correctives Taux d'accumulation en baie Kué en tendance à la hausse mais avec une tendance moindre au niveau de l'horizon le plus récent.	**Rapport annuel**
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Suivi triennal, dernière mission en 2012, prochain suivi en 2015	
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique	Le ratio entre [influence terrigène / influence marine] est à suivre de près en baie Kué ; sa tendance est à la hausse. Hausse des flux sédimentaires de nature fine et terrigène en baie Kué Le contexte météorologique de l'année est pris en compte	Rapports Semestriel
Suivi spécial zone portuaire	Physique Chimique Et sédiments	Pas de pollution ni de détection d'hydrocarbures. La couverture corallienne stable ou en tendance à la hausse, bonne santé de la station éco systémique. Pas de Cu ou Zn ou autres métaux en hausse ni dans la qualité de l'eau ni en Bio accumulation. Pas d'espèce exogène détectée. Augmentation de la conc. en Soufre à moins de 150 m du quai au niveau des sédiments cependant le taux de sédimentation est non -élevé.	**Rapport annuel**

Suivi règlementaire 2013	Indicateurs	Second semestre 2013 Mesures - Réponses 2013 et 2014
Bio accumulation Sur transplants	Bio accumulateurs	Conforme aux valeurs attendues, Pas de risque de bio accumulation détecté cependant la méthode est renforcée par 2 nouvelles stations (cages de transplantation) disposées au port (sous les quais) en en baie du Prony. Les transplants seront immergés un mois et demi de plus (4 mois ½ à la place de 3 mois) et les algues seront implantées avec leur support d'attache, les récoltes des coquillages initiaux doivent aussi être optimisées faute d'individus homogènes en quantité suffisante.
Qualité de l'eau et concentrations en métaux	Chimique	Analyses avec inter-comparaisons (avec 3 autres laboratoires) et en triplicatas pour définir l'écart type de variabilité méthodologique, pour renforcer la transparence et pour orienter le laboratoire vers une accréditation. En baie du Prony la station Creek Baie Nord est suivie avec une fréquence renforcée (double de la fréquence réglementaire).
Suivi des écosystèmes	Biologique Corail Benthos Poissons	Suivi renforcé par de nouvelles évaluations sur la zone de la pointe Puka, en baie de port Boisé et en Baie Kué, 2 missions supplémentaires et analyses de la qualité de l'eau conjointement.
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique	Etudes sur l'engravement de la rivière Kué.
Suivi spécial zone portuaire	Physique Chimique Et sédiments	Mesures amélioratrices sur la technologie de débarquement du vrac et études sur le curage à l'aplomb du quasi vraquier. Mise en place de capteurs passifs DGT *

**L'échantillonneur passif DGT (« Diffusive Gradient in Thin film ») permet de surveiller le niveau de contamination en métaux labiles, sur des périodes de plusieurs semaines, par un dispositif de prélèvement passif placé directement dans le milieu aqueux, puis relevé et analysé au laboratoire.*

5. INTERPRETATION ET DISCUSSION

- Le recoupement de toutes les informations données par les paramètres analysés (ou observés) est cohérent, il montre que le suivi des indicateurs réglementaires est pertinent.
- Le suivi montre que le passage des dépressions fortes de 2013 a bien été décelé, ce qui est positif car le contraire eut fait douter de la finesse des méthodologies. La récupération des écosystèmes avait été rapidement amorcée après les dépressions cycloniques de 2011. Mais la dépression Freda du 02 janvier 2013 a causé des effets et la résiliation amorcée au premier semestre 2013 a été ralentie par les fortes pluies de juillet 2013. Cette résiliation est à nouveau en cours fin 2013. La cyclicité des effets des apports d'eau douce dans les baies côtières et des réponses des écosystèmes, sur des formations coralliennes qui ont développé des stratégies adaptatives, est de mieux en mieux connu au cours des missions.
- Le bio-indicateur le plus sensible et lisible est le corail, le moins sensible : les poissons. Cependant la mise en commun de tous les indicateurs disponibles, qu'ils soient instantanées ou intégrateurs, biologiques, chimiques ou physiques, est nécessaire et la qualité du milieu ne peut pas être décrite par un seul paramètre, une synthèse de tous les indicateurs est nécessaire. Une attention est aussi portée aux éventuelles espèces exogènes ou envahissantes.
- La qualité de l'effluent traité rejeté est corrélée avec les suivis du milieu récepteur, même si elle fait l'objet d'un rapport séparé qui lui est dédié.

- Il n'a pas eu de pollution sur le milieu marin, au vue des états initiaux et des tendances évolutives la qualité du milieu marin est bonne et notamment au port et dans le canal de la Havannah en zone des rejets de l'effluent.
- L'effluent marin n'a pas produit de modification sur le milieu marin même après rupture de l'émissaire : l'effluent ne montre aucun effet, comme attendu par les études, modélisations et expertises antérieures.
- Il n'y a aucune modification d'origine anthropique en réserve Merlet.
- Les suivis additionnels effectués par Vale NC en zones très peu profondes et sur des stations témoins en baie du Prony comblent le manque de station de suivi réglementaires des effets des forts apports d' eau douce dans cette hydro- région marine sous influence de creeks ; le suivi est pareillement renforcé par Vale NC en baie Kué et baie de Port boisé.
- La baie Kué avec la station PUKA font l'objet d'une mission de surveillance renforcée au second semestre 2013 et en aussi en 2014, suite aux forts épisodes pluvieux de juillet.
- Le port est l'objet d'un suivi renforcé lui aussi. Il ne présente aucun indicateur détectant un impact et la tendance à d'avantage de soufre dans l'horizon récent de la carotte sédimentaire prélevée à moins de 150m du quai n'a pas eu d'effet sur les bio indicateurs, la qualité de l'eau y est bonne.

6. BILAN DES NON-CONFORMITES

Aucune « non-conformité » n'a été constatée pour le milieu récepteur marin au cours de ces suivis 2013, en comparaison avec les données des états des lieux et des suivis depuis 2007 ou 2005.

ANNEXE I

LISTE RESTREINTE DES POISSONS FAISANT L'OBJET DU SUIVI ICHYTOLOGIQUE

LISTE DES POISSONS RETENUS POUR L'EVALUATION DE LA FAUNE ICHTYOLOGIQUE

Famille	Genre	espèce
Requins		spp
Raies		spp
Scorpaenidae	Rascasses "poules"	spp
Serranidae	*Anthias* et *Pseudanthias*	spp
	Cromileptes	*altivelis*
	Epinephelus	*cyanopodus*
	Autres loches	spp
	Plectropomus	spp
Pseudchromidae	*Pictichromis*	*coralensis*
Carangidae		spp
Lutjanidae	*Aphareus*	*furca*
	Aprion	*virescens*
	Lutjanus	*adetii*
	Lutjanus	*sebae*
	Lutjanus	spp
	Symphorus	*nematophorus*
Caesionidae		spp
Haemulidae	*Diagramma*	*pictum*
	Plectorhinchus	spp
Lethrinidae	*Lethrinus*	*nebulosus*
	Autres bossus et bec	spp
Nemipteridae	*Scolopsis*	*bilineatus*
Mullidae		spp
Kyphosidae		spp
Ephippidae	*Platax*	spp
Chaetodontidae	*Chaetodon*	*auriga*
	Chaetodon	*baronessa*
	Chaetodon	*bennetti*
	Chaetodon	*citrinellus*
	Chaetodon	*ephippium*
	Chaetodon	*flavirostris*
	Chaetodon	*kleinii*
	Chaetodon	*lineolatus*
	Chaetodon	*lunula*
	Chaetodon	*melannotus*
	Chaetodon	*mertensii*
	Chaetodon	*ornatissimus*
	Chaetodon	*pelewensis*
	Chaetodon	*plebeius*
	Chaetodon	*rafflesi*
	Chaetodon	*reticulatus*
	Chaetodon	*speculum*
	Chaetodon	*semeion*
	Chaetodon	*trifascialis*
	Chaetodon	*lunulatus*
	Chaetodon	*ulietensis*
	Chaetodon	*unimaculatus*
	Chaetodon	*vagabundus*
	Coradion	*altivelis*
	Forcipiger	*flavissumus*
	Forcipiger	*longirostris*
	Hemitaurichthys	*polylepis*
	Heniochus	*acuminatus*
	Heniochus	*chrysostomus*
	Heniochus	*monoceros*
	Heniochus	*singularis*
	Heniochus	*varius*
Pomacanthidae	*Centropyge*	*bicolor*

Famille	Genre	espèce
	Centropyge	*bispinosus*
	Centropyge	*flavissima*
	Centropyge	*heraldi*
	Centropyge	*tibicen*
	Centropyge	*vroliki*
	Chaetodontoplus	*conspicillatus*
	Pomacanthus	*imperator*
	Pomacanthus	*semicirculatus*
	Pomacanthus	*sextriatus*
	Pygoplites	*diacanthus*
Pomacentridae	*Abudefduf*	spp
	Amphiprion	*perideraion*
	Amphiprion	spp
	Chromis	*viridis*
	Chromis	*fumea*
	Chrysiptera	*taupou*
	Chrysiptera	*rollandi*
	Dascyllus	*aruanus*
	Dascyllus	*reticulatus*
	Dascyllus	*trimaculatus*
	Neopomacentrus	*azysron*
	Neopomacentrus	*violascens*
	Pomacentrus	*coelestis*
	Pomacentrus	*moluccensis*
	Pomacentrus	*aurifrons*
	Stegastes	spp
Labridae	*Bodianus*	*loxozonus*
	Bodianus	*perditio*
	Cheilinus	*chlorourous*
	Cheilinus	*trilobatus*
	Cheilinus	*undulatus*
	Choerodon	*graphicus*
	Coris	*aygula*
	Coris	*gaimard*
	Gomphosus	*varius*
	Halichoeres	*hortulanus*
	Halichoeres	*margaritaceus*
	Halichoeres	*trimaculatus*
	Hemigymnus	*melapterus*
	Labroides	*dimidiatus*
	Novaculichthys	*taeniourus*
	Stethojulis	*bandanensis*
	Stethojulis	*strigiventer*
	Thalassoma	*amblycephalum*
	Thalassoma	*hardwicke*
	Thalassoma	*lunare*
	Thalassoma	*lutescens*
Scaridae	*Bolbometopon*	*muricatum*
	Scarus	*ghobban*
	Chlorurus	*microrhinos*
	Scaridae	spp
Blennidae	*Ecsenius*	*bicolor*
	Meicanthus	*atrodorsalis*
Gobbidae	*Amblygobius*	*phalaena*
Ptereleotridae	*Ptereleotris*	*evides*
	Ptereleotris	*microlepis*
Acanthuridae	*Acanthurus*	*dussumieri*
	Acanthurus	*blochii*
	Acanthurus	*triostegus*
	Acanthurus	spp
	Ctenochaetus	spp
	Naso	*unicornis*
Acanthuridae	*Naso*	spp

Famille	Genre	espèce
(suite)	*Zebrasoma*	spp
Siganidae	*Siganus*	*argenteus*
	Siganus	spp
Zanclidae	*Zanclus*	*cornutus*
Scombridae	*Scomberomorus*	*commerson*
Balistidae	*Balistoides*	*conspicillum*
	Oxymonacanthus	*longirostris*
	Rhinecanthus	*aculeatus*
	Rhinecanthus	*rectangulus*
Tetraodontidae	*Canthigaster*	spp

ANNEXE II

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

(Second semestre 2013)

ANNEXE III

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

Mission S2 / 2013

ANNEXE IV

LES FLUX SEDIMENTAIRES 2013

ANNEXE V

LA TRANSPLANTATION CORALLIENNE

METHODE DE BIO- INDICATEURS ELEVES EN CAGES

ANNEE 2013

ANNEXE VI

LE SUIVI DEDIE AU PORT DE PRONY

2013

ANNEXE VII

LES SEDIMENTS

2013

ANNEXE VIII

ABREVIATIONS ET ACRONYMES

ACREM Association Calédonienne de Recherche en Environnement
ANOVA Analysis Of Variance", ou "Analyse de la Variance".
F0, 95 Seuil de confiance choisi 5%, le choix du risque est de 5%, l'hypothèse est vérifiée à 95%
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)
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

PARAMETRES

Ag	Argent
Al	Aluminium
As	Arsenic
B	Bore
Ba	Baryum
Be	Béryllium
Bi	Bismuth
Ca	Calcium
CaCO3	Carbonates de calcium
Cd	Cadmium
Cl	Chlore
Co	Cobalt
COT	Carbone organique total
Cr	Chrome
CrVI	Chrome VI
Cu	Cuivre
DBO5	Demande biologique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
F	Fluor
Fe	Fer
FeII	Fer II
HT	Hydrocarbures totaux
K	Potassium
Li	Lithium
MES	Matières en suspension
MEST	Matières en suspension totales
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
Mo	Molybdène
Na	Sodium

NB	Nota bene
NH3	Ammonium
Ni	Nickel
NO2	Nitrites
NO3	Nitrates
NT	Azote total
P	Phosphore
Pb	Plomb
pH	Potentiel hydrogène
PO4	Phosphates
S	Soufre
Sb	Antimoine
Se	Sélénium
Si	Silice
SiO2	Oxyde de silicium
Sn	Etain
SO4	Sulfates
Sr	Strontium
T°	Température
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
Te	Tellure
Th	Thorium
Ti	Titane
Tl	Thallium
U	Uranium
V	Vanadium
WJ	Wadjana
Zn	Zinc