



Suivi environnemental Second semestre 2012

MILIEU MARIN



Vale Nouvelle-Calédonie
Année 2012

Sommaire

1. ACQUISITION DES DONNEES	2
1.1. LOCALISATION.....	2
1.1.1. Positionnement global des stations des suivis règlementaires du milieu marin Vale NC.....	2
1.1.2. Points de surveillance de la qualité des eaux marines : paramètres physico-chimiques de l'eau et structure de la colonne d'eau	3
1.1.3. Stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées.....	4
1.1.4. Stations de suivi de la bio- accumulation (éventuelle) des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines (Le <i>caging</i>).....	7
1.1.5. Points de suivi des sédiments – qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures.....	8
1.1.6. Points de suivi du taux d'accumulation sédimentaire	9
1.1.7. Points de suivi des flux sédimentaire	10
1.2. INDICATEURS SUIVIS	11
1.3. METHODES	15
1.3.1. Surveillance de la qualité des eaux marines : paramètres physico-chimiques et structure de la colonne d'eau	15
1.3.1.1. Structure physique de la colonne d'eau	15
1.3.1.2. Qualité chimique de la colonne d'eau	17
1.3.1.3. Fréquences des suivis physico-chimiques	21
1.3.1.4. Validation des résultats	21
1.3.2. Paramètres biologiques indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des populations associées, méthodologie.....	22
1.3.2.1. Les paramètres suivis	22
1.3.2.2. Fréquence minimale des missions de suivis des écosystèmes	24
1.3.2.3. Validation des résultats	24
1.3.3. Bioaccumulation des métaux et solvants dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines	25
1.3.4. Les sédiments : Qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures	26
1.3.5. Les sédiments : Taux d'accumulation des sédiments	27
1.3.6. Flux sédimentaires	28
1.3.6.1. Les flux de particules apportées par le réseau hydrologique de la Baie Kwé	28
1.3.6.2. Evaluation des flux de particules transportées par l'effluent.....	28
2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLE EN AOUT 2012.....	30
2.1. SYNTHESE DES SUIVIS DU MILIEU MARIN EFFECTUES EN 2012	31
2.2. ZONE D'INFLUENCE ET DE SUIVIS (RAPPEL)	32
3. RESULTATS	33
3.1. VALEURS REGLEMENTAIRES ET ETATS DE REFERENCES	33
3.2. VALEURS OBTENUES (SECOND SEMESTRE 2012)	37
3.2.1. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer	37
3.2.2. Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées	62
3.2.2.1. Rappels	63
3.2.2.2. Bilan des observations par station suivie (au second semestre 2012)	64
3.2.2.3. Comparaisons spatiales entre stations.....	69
3.2.2.4. Analyse de l'évolution temporelle au cours des années de suivis, depuis 2007	79
3.2.3. Suivi des bio-indicateurs transplantés (le <i>caging</i>)	97
3.2.3.1. Les données correspondant à la biométrie des bivalves avant et après transplantation (poids, longueurs et taux de croissance).....	97
3.2.3.2. Concentrations en métaux dans les bivalves (bio indicateurs accumulateurs)	99
3.2.3.3. Concentration des métaux dans les algues	102
3.2.4. Suivi des flux sédimentaires	102
3.2.5. Suivi spécifique au port (La surveillance de la Station St16 du port de Prony). Qualité de l'eau et sédiments.....	107
3.2.5.1. Suivi physico chimique de la qualité de l'eau sur la station du port St 16.....	107
3.2.5.2. Suivi des sédiments à la Station St 16 du port de Prony (suivi annuel)	112
3.2.5.3. Rappel sur la station éco systémique du port ST03.....	115
3.2.6. Suivi des sédiments sur les 14 stations (mission triennale sauf au port où elle est annuelle)	118

3.2.6.1.Granulométrie des sédiments.....	118
3.2.6.2.Minéralogie des sédiments.....	118
3.2.6.3.Métaux associés aux phases géochimiques des sédiments.....	118
3.2.6.4.Comparaison interannuelle 2006, 2009, 2012.....	119
4. CONCLUSION	121
5. INTERPRETATION ET DISCUSSION	122
6. BILAN DES NON-CONFORMITES	122

Tableaux

Tableau 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement d'eau, référentiel WGS-84	3
Tableau 2 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des écosystèmes (peuplements récifaux et poissons associés), référentiel RGNC 91	4
Tableau 3 : Localisation géographique des lieux de position des cages, référentiel WGS-84	7
Tableau 4 : Localisation géographique des points de prélèvement de sédiments, référentiel WGS-84	8
Tableau 5 : Position des points de suivi des flux sédimentaires, référentiel WGS 84	10
Tableau 6 : Méthodes et limites de détection pour le suivi de la structure de la colonne d'eau de mer.....	17
Tableau 7 : Méthodes et limites de détection pour le suivi de la qualité de l'eau de mer	18
Tableau 8 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des éléments nutritifs et autres en milieu marin.....	19
Tableau 9 : Méthodes et limites de détection pour la détection d'hydrocarbures	19
Tableau 10 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des métaux en milieu marin	20
Tableau 11 : Méthodologie pour le suivi des écosystèmes marins (convention CCB 2009)	22
Tableau 12 : Composition du substrat.....	23
Tableau 13 : Méthodologie pour le suivi des espèces bio-indicatrices transplantées en cages.....	26
Tableau 14 : Méthodologie pour le suivi des sédiments	27
Tableau 15 : Méthodologie pour le suivi des sédiments : taux d'accumulation	27
Tableau 16 : Synthèse des suivis réglementaires effectués en 2012 avec rapports émis à la mi-août (bilan semestriel).....	31
Tableau 17 : Synthèse des suivis supplémentaires effectués en 2012	32
Tableau 18 : Caractérisation du milieu marin – écosystèmes.....	35
Tableau 19 : pH et concentrations en éléments majeurs, synthèse pour la campagne du premier semestre 2012	39
Tableau 20 : Températures et salinité 2012.....	43
Tableau 21 et carte associée: Caractéristiques et position des stations et de leurs <i>transects</i>	62
Tableau 22 et graphes associés : récapitulation des données ichtyologiques sur la station ST10 en réserve Merlet, (depuis 2007).	67
Tableau 23 : POISSONS	75
Tableau 24: Densités moyennes par station (sur les 3 <i>transects</i>) et variance de celle-ci (ind. /m ²), par station et sur toutes les campagnes avec la même méthodologie sur liste restreinte	88
Tableau 25: Analyse de la Variance des biomasses (g/m ²) moyennes par station sur toutes les campagnes.....	89
Tableau 26: Analyse des biodiversités par station sur toutes les campagnes.....	91
Tableau 27 : Synthèse des résultats des missions réglementaires de suivis du milieu marin du 2eme semestre 2012.	121

Figures

Figure 1 :	Stations et points de surveillance du milieu marin.....	2
Figure 2 :	Localisation géographique des stations de prélèvement d'eau	3
Figure 3 :	Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des écosystèmes.....	5
Figure 4 :	Localisation géographique des cages de transplantation de bio indicateurs	7
Figure 5 :	Localisation des stations de prélèvement des sédiments de surface et de la carotte ST133 de l'Île Ouen.....	9
Figure 6 :	Localisation des stations d'étude du taux d'accumulation des sédiments.....	9
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	16
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	16
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.....	20
Figure 10 :	Rappel des stations de suivi du milieu marin	32
Figure 11 :	Stations d'étude pour la caractérisation du milieu marin depuis 1994 et fréquentation des stations.....	36
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) ...	37
Figure 13a :	Rappel de la position et de la nomenclature des stations pour le suivi physico chimique (Baie de Prony)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 13b :	Rappel de la position et de la nomenclature des stations pour le suivi physico chimique (Canal de la Havannah)	Erreur ! Signet non défini.
Figures 14 :	MEST en surface, à mi profondeur et au fond	Erreur ! Signet non défini.
Figure 15 :	Concentration de MES (S = surface, M = mi profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude	40
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)	49
Figure 17 :	Rappel de la position et de la nomenclature des stations suivies	51
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.....	52
Figure 19 :	Concentrations en Co sur toutes les stations en aout 2012.	53
Figure 20 :	Concentrations en Mn sur toutes les stations en aout 2012.....	53
Figure 21 :	Concentrations en Ni sur toutes les stations en aout 2012.	54
Figure 22 :	Concentrations en Cr VI sur toutes les stations en aout 2012.....	55
Figure 23a :	Concentrations en Cu sur toutes les stations en aout 2011	57
Figure 23b :	Concentrations en Cu sur toutes les stations en aout 2012	57
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.....	59
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.....	59
Figure 25 :	récapitulation des données ichtyologiques sur la station ST10 en réserve Merlet, (depuis 2007).....	67
Figure 26 :	Représentation cartographique – légende.....	69
Figure 27a :	Résultats de la campagne de suivi, aout 2012 (Baie de Prony : ST01, ST02 et ST03	70
Figure 27b :	Résultats de la campagne de suivi, aout 2012 (Canal de la Havannah).....	71
Figure 28 :	SUBSTRAT	72

Figures 29 a, b, c, d: BENTHOS:	73
Figure 29b: Détails au niveau des coraux : familles selon les stations	73
Figure 29c : Détails au niveau du benthos, selon des groupes d'Invertébrés (autres que les coraux) et par stations	74
Figures 29d : Détails au niveau des Invertébrés et Macrophytes selon les 3 grands compartiments : Canal de la Havannah, canal Woodin et baie du Prony	74
Figure 30: Richesse spécifique de l'ichtyo faune par station, aout 2012	75
Figure 31 : Densité de poissons (individus par m ²) par station, aout 2012	76
Figure 32a: Biomasse des poissons (liste restreinte réglementaire) par station. Mars 2012	76
Figure 32 b : Biomasse moyenne des poissons depuis 2007 (liste restreinte réglementaire) par station.....	77
Figure 33: Classement des stations en fonction de leur biodiversité α	77
Figure 33 -1 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des coraux durs (scléactiniaires) depuis 2007	80
Figure 33-2 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2007	81
Figure 33-3 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes depuis 2007	81
Figure 34 : Comparaison des richesses spécifiques des coraux, par station, entre aout 2007 et aout 2012	83
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)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 36: Densités (toutes stations confondues)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 37: Biomasse. Toutes les stations confondues	90
Figure 38: Biodiversité toutes stations.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 39 : Représentation par station des densités moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance	Erreur ! Signet non défini.
Figure 40 : Représentation par station des biomasses moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 41 : Représentation par station des biodiversités moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance	Erreur ! Signet non défini.
Figure 42 : Récapitulation des résultats quant aux tests d'homogénéités selon les années et selon les stations.....	93
Figure 43 : Evolution de de la densité, biomasse, biodiversité	94
Figure 44 : Biodiversité α pour chaque station, depuis 2005. (Sur Liste d'observation exhaustive). Erreur ! Signet non défini.	
Figure 45 : Evolution de la biodiversité $B\alpha$ par station et en moyenne sur toute la zone depuis 2005. (Sur Liste d'observation exhaustive).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 46 : Evolution moyenne globale de la biodiversité $B\alpha$ sur la zone : Baie du Prony et sur la zone : canal de la Havannah séparées (Listes exhaustives des poissons) Erreur ! Signet non défini.	
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.....	97
Figure 48 : Rappel de la position des stations d'études des flux sédimentaires	102
Figure 49 : Rappel de la position des stations suivies trimestriellement.....	107
Figure 50 : Rappel des positions des points de suivis au niveau du port de Prony. ST03 est une station de suivi fixe sous – marine	Erreur ! Signet non défini.

Annexes

- Annexe 1 Liste restreinte des poissons faisant l'objet du suivi ichtyologique selon le plan de suivi réglementaire.
- Annexe 2 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 2012).
- Annexe 3 Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah (Second semestre 2012).
- Annexe 4 : Transplantation de bio-indicateurs bio-accumulateurs (caging 2012)
- Annexe 5 : Les flux sédimentaires (Année 2012)
- Annexe 6 : Suivi de la qualité des sédiments sur 14 stations de la zone d'influence. Année 2012
- Annexe 8 Suivi trimestriel à la station ST16 du port de Prony. Année 2012.
- Annexe 7 : Suivi des sédiments à la station St16 du port de Prony. Année 2012
- Annexe 9 : 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 et de la structure de la colonne d'eau ;
- 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 ;
- Indicateurs physico-chimiques des sédiments marins : géochimie, flux et sédimentologie.

Cette surveillance s'effectue au niveau de stations sous-marines selon les prescriptions réglementaires 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.
- Arrêté ICPE : Usine et UPM du 9 octobre 2008.
- CCB : Convention Province Sud – Vale Nouvelle-Calédonie du 20 mars 2009 (Convention n° C238-09)

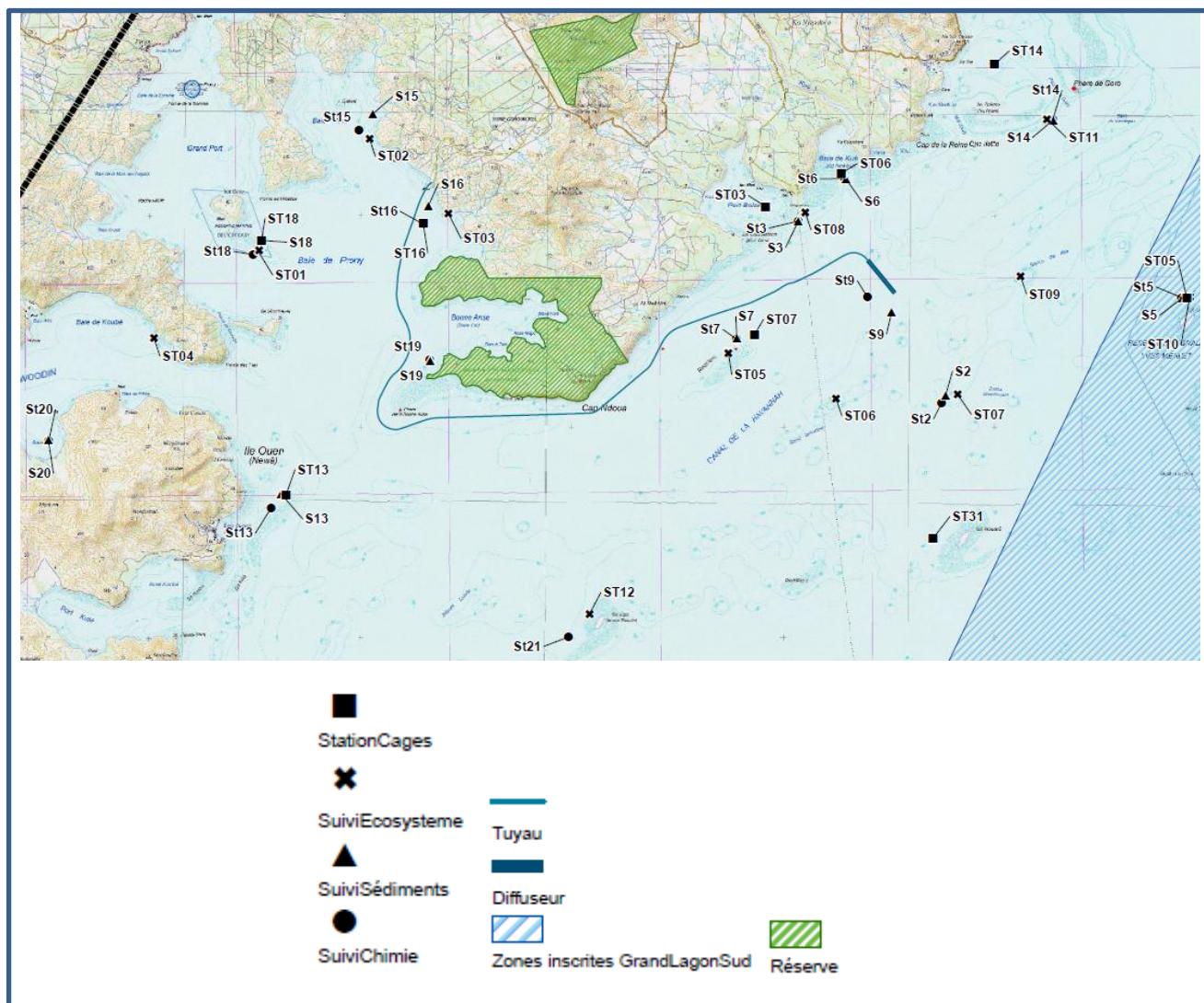
1. ACQUISITION DES DONNEES

1.1. Localisation

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

La carte suivante synthétise l'ensemble des points de suivi 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 au chapitre 1.2 et la méthodologie pour chaque paramètre analysé 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

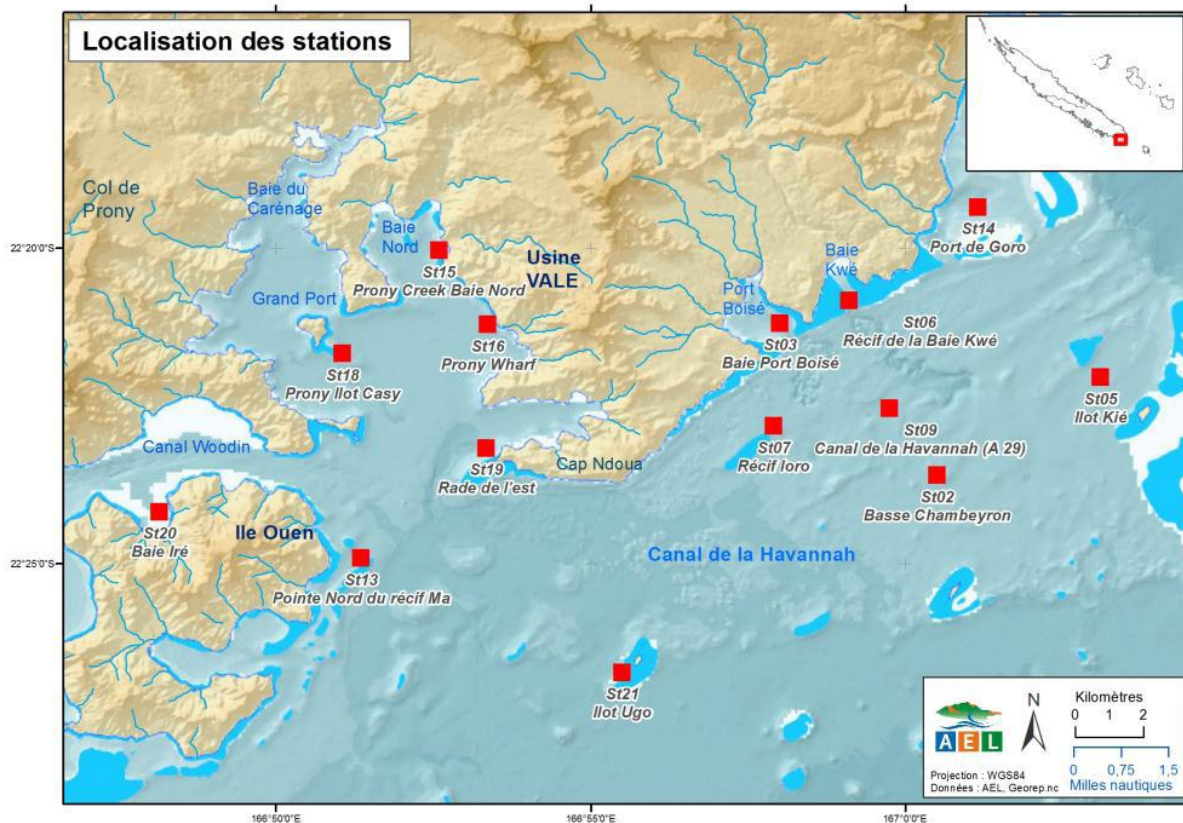
Le tableau suivant présent les positions règlementaires des points de prélèvement de l'eau de mer et la profondeur du lagon à ce poste, les prélèvements sont effectués en surface, à mi profondeur et au fond.

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 Ioro	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



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 ».

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

- de l'effluent marin traité rejeté au fond du canal de la Havannah ;
- de la qualité des eaux des baies recevant des apports terrigènes via des creeks ;
- de la qualité de l'eau sous l'influence du port de Prony ;
- et à une veille renforcée à l'égard de l'île Ouen.

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

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)

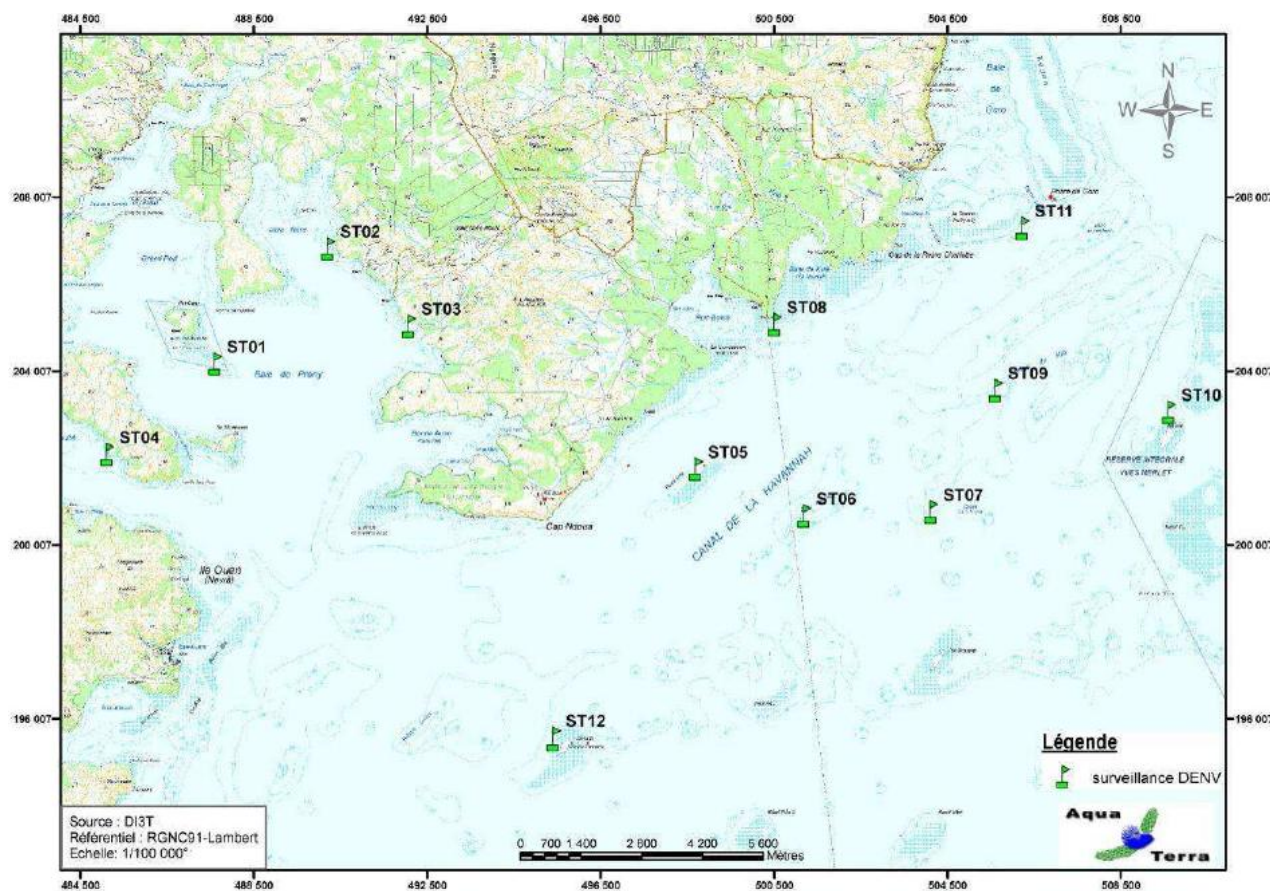
Stations	Localisation	Longitude	Latitude
ST05	Récif Ioro	166°57.507	22°23.072
ST06	Banc Ionontea	166°58.995	22°23.650
ST07	Basse Chambeyron	167°00.671	22°23.591
ST08	Récif Pointe Puka	166°58.566	22°21.243
ST09	Banc de Kié	167°01.529	22°22.070
ST010	Illet Kié	167°03.862	22°22.324
ST011	Récif Touémo	167°01.875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

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**



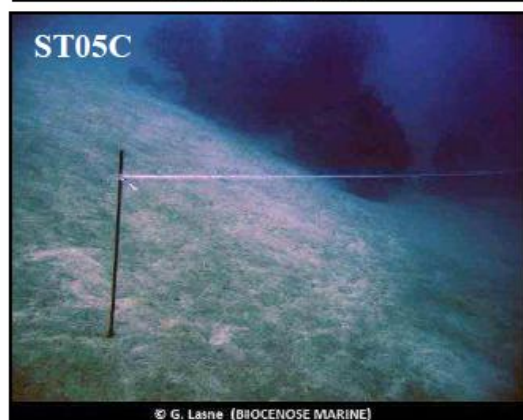
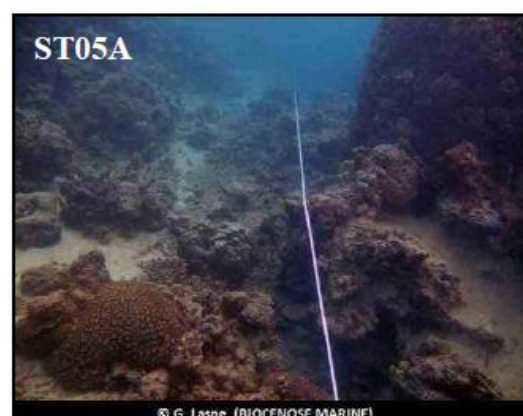
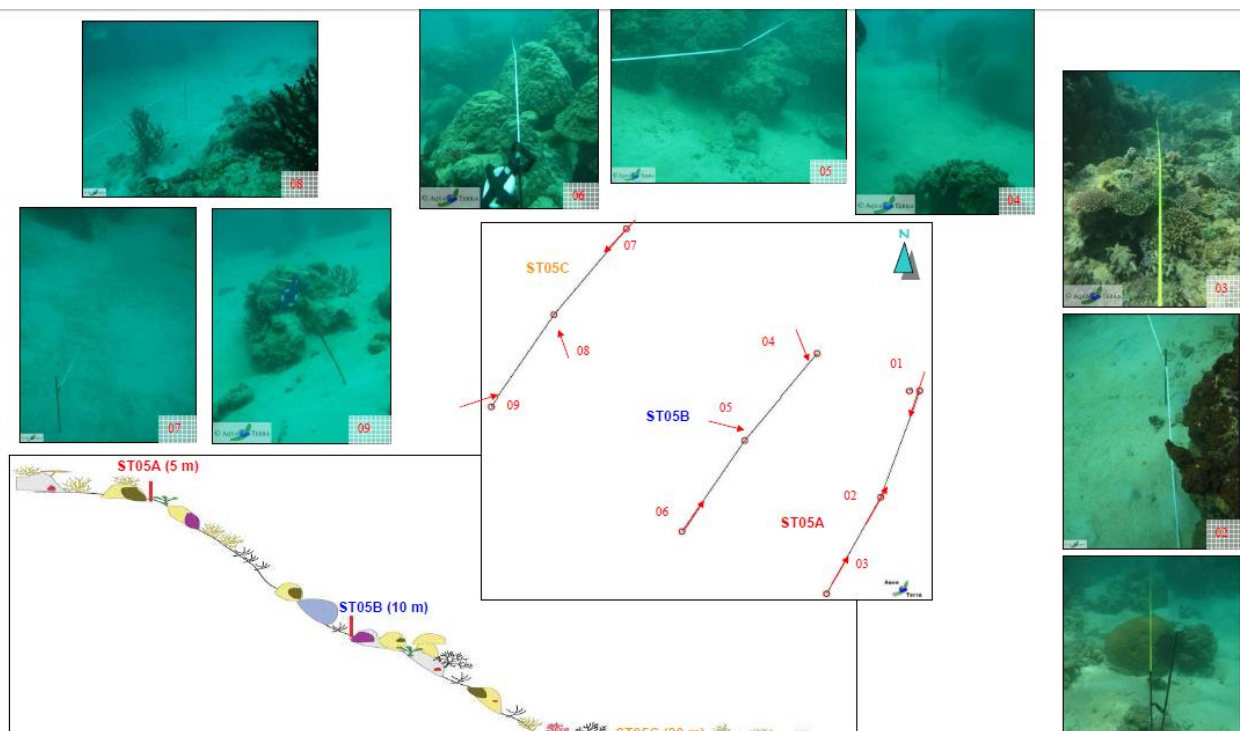
Les stations de suivi de l'état des peuplements récifaux et des populations associées sont au nombre de 12 :

- 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.

Figure 4 : Exemple de schéma structural qui représente une station : La station ST05



Vue d'ensemble des transects (ST05)

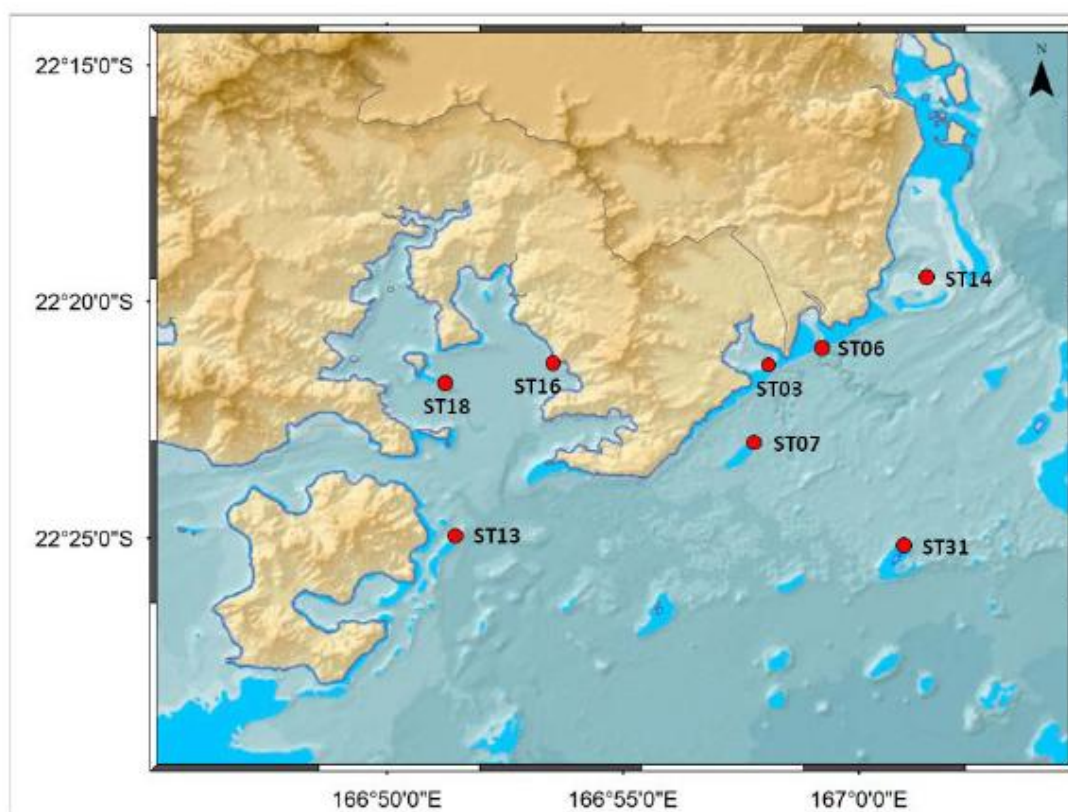
1.1.4. Stations de suivi de la bio- accumulation (éventuelle) des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines (Le caging).

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
Ilôt 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 9 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'effluent¹ (et après validation par la direction de l'environnement de la province Sud – DENV- en 2009).

Elles ont été choisies dans l'objectif de réaliser la surveillance des impacts éventuels suivants :

- du port de Prony ;
- de l'effluent marin et
- des apports terrigènes au niveau des baies.

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 trop exposée au ressac, les cages doivent pouvoir tenir en place trois mois, une zone de passages fréquents de bateaux ou bien des bouées de marquage trop visibles qui attirent l'attention et qui sont volées.

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

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

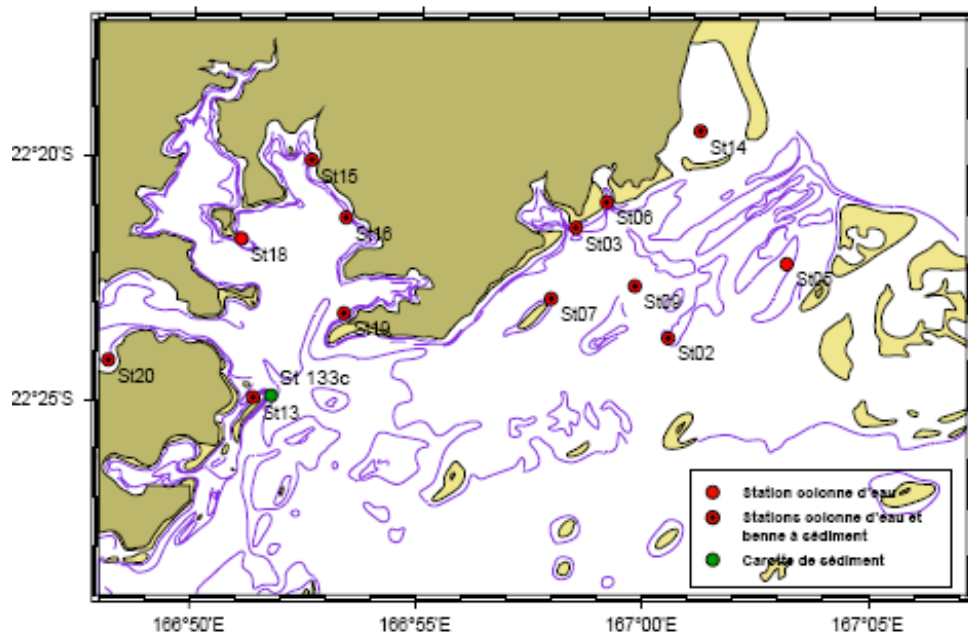
Tableau 5 : Localisation géographique des points de prélèvement de sédiments, référentiel WGS-84

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 Ioro	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.

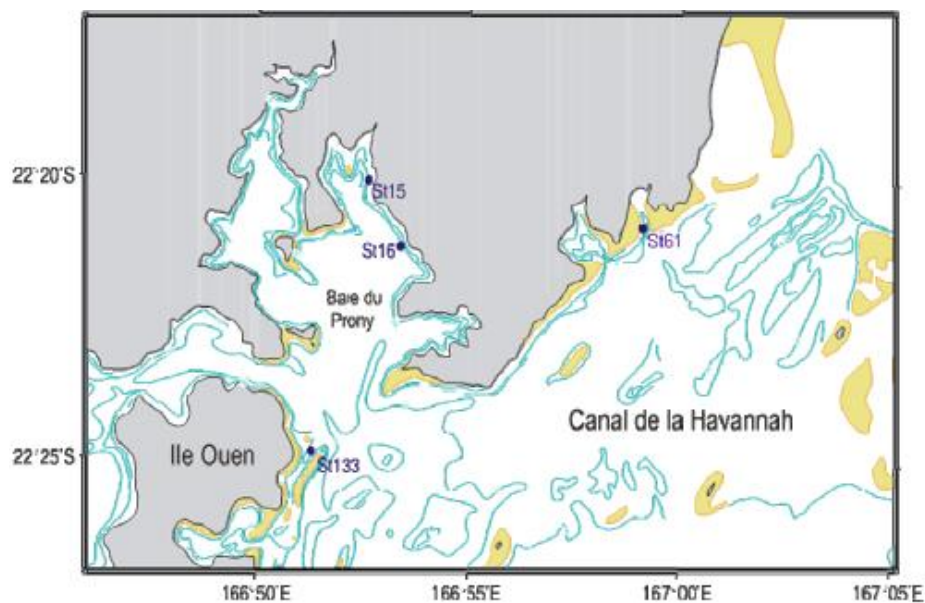
Figure 6 : Localisation des stations de prélèvement des sédiments de surface et de la carotte ST133 de l'île Ouen



1.1.6. Points de suivi du taux d'accumulation 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, 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 sédimentaire

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, dont les stations de suivis réglementaires ont été listées dans les chapitres précédents, 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, etc.) ne sont pas inclus dans les rapports des suivis semestriels. Cependant ces résultats d'études supplémentaires sont la pus part du temps communiqués aux autorités compétentes. 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

	Stations	LIT SUBSTRAT 28 items	BENTHOS	POISSONS Nb Individus Densité Biomasse/m ² (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

Les Bio- Indicateur : algues et coquillages, les paramètres suivis sont les suivants:

	Stations	Indice de condition physiologique	Métaux							
			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 :

Tableau 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	
		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	
		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	
		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	
	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		
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		
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		
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		
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			
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	x
St15		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

GEOCHIMIE DES SEDIMENTS

	Station	PHYSICO-CHIMIE					GEOCHIMIE (PHASE OXYDABLE)								GEOCHIMIE (PHASE ACIDO-SOLUBLE)								GEOCHIMIE (PHASE REDUCTIBLE)								GEOCHIMIE (PHASE REFRACTAIRE)								
		Gr	Min	Carb	S-lix	S-éch	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	
Baie du Prony	St14	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	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**

Station	PHYSICO-CHIMIE					GEOCHIMIE						
	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
	St15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B du Prony	St16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

DENSITE DE FLUX PARTICULAIRE

**Suivi
semestriel**

Station	PHYSICO-CHIMIE					GEOCHIMIE (ELEMENT TOTAUX)								
	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

1.3. Méthodes

Rappel : L'annexe 6 de la Convention pour la Conservation de la Biodiversité (CCB) 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. Surveillance de la qualité des eaux marines : paramètres physico-chimiques et structure de la colonne d'eau

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 prélèvement et d'analyse des échantillons d'eau de mer, développées par l'IRD de Nouméa, ont été respectées au cours des différentes campagnes de 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, *irradiance*
- 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.

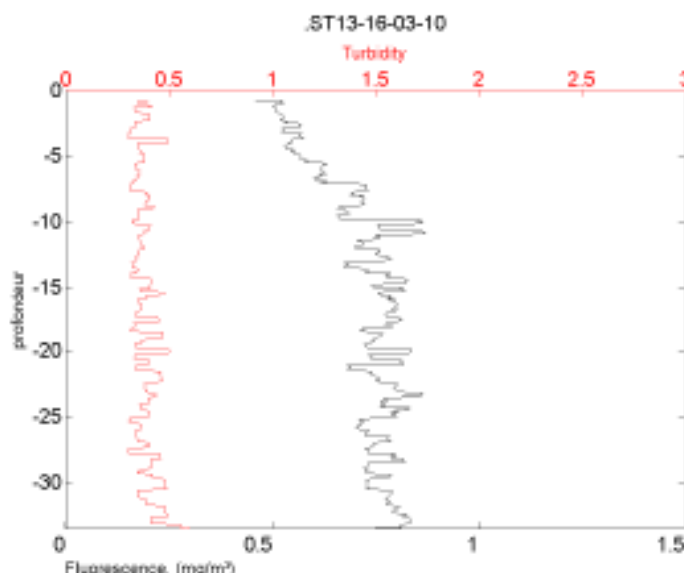
Cette diffusion est surtout liée aux matières en suspension et elle dépend de la taille, de la forme et de l'indice de réfraction des particules ainsi que de la longueur d'onde de la lumière incidente. Les substances dissoutes agissent très peu sur ce coefficient de diffusion (dans le cas d'une eau pure 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.

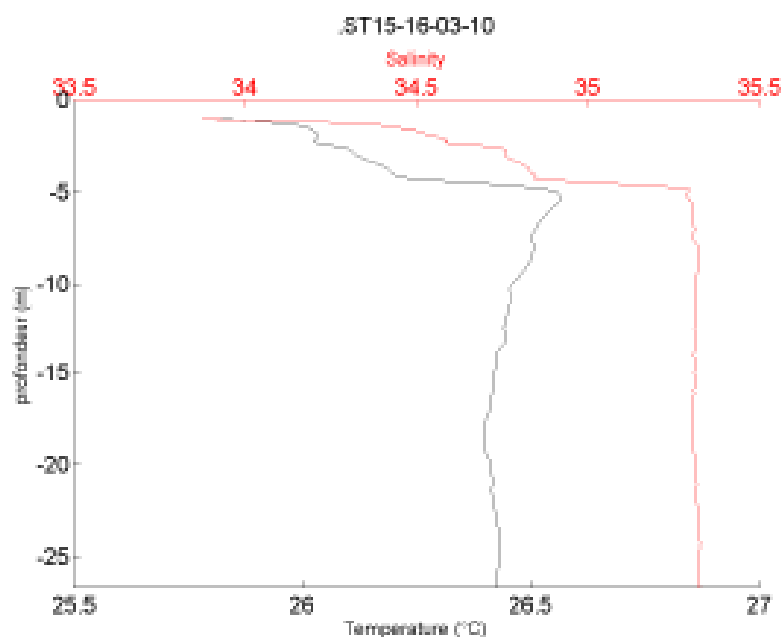
Pour chacune des stations suivies des profils verticaux obtenus sont présentés selon les schémas suivants qui permettent une lecture rapide adaptée à cette méthodologie (voir figures 7, 8 et 9) :

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 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.

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
Irradiance	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).

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 pH, matières en suspension (MES), calcium, potassium, magnésium, sodium, chlore, et sulfates sont analysés et prélevés 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 7 suivant présente les méthodes et 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
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 (NH₄⁺)** : dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH₄⁺). Naturellement, il provient des excréments animaux et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nano-moles.
- **Les nitrates et les nitrites (NO₃ et NO₂)** : l'ion nitrate NO₃ est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (NO₃). Si la vitesse de régénération est différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en nitrates variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.
- **Les phosphates (PO₄²⁻)** : dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions ortho-phosphates (PO₄²⁻). Leur concentration dépend de phénomènes physiques et biologiques ou chimiques. Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique. En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène.
- **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 particuliers** : la distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire ; cependant, les études environnementales considèrent généralement que la limite de taille est de 0,45 µm pour les séparer (Strickland & Parsons, 1972). La fraction particulaire de ces éléments N, P et C constitue des matières en suspension de tailles diverses transportées au sein des masses d'eau. Leur origine est océanique, terrestre voire éolienne. Les concentrations présentent d'ordinaire un gradient côte-large et peuvent montrer des discontinuités verticales en fonction de l'existence ou non de couches turbides.
- **Chlorophylle et phéo-pigments** : la chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et de ce fait le niveau trophique (oligotrophie/ eutrophie) du milieu. Sa dégradation donne de nombreux composés, dont principalement les phéo-pigments.
- **Les silicates** : ils constituent l'essentiel des squelettes de divers organismes marins. Leur concentration dans l'eau de mer, sous forme de silicates (SiO₄⁴⁻), 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 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	0,02 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 : Mn, Ni, Co et Cr, qui 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.

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 particulièrement homogène.

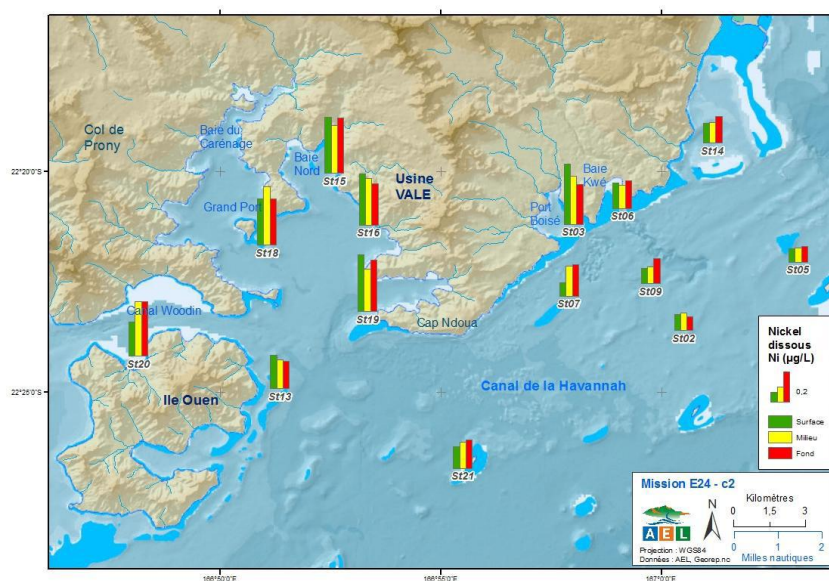
Tableau 11 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des métaux en milieu marin

Analyses en laboratoire Paramètre	Méthode et normes -Publication	Limites de détection
Co	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,010 µg/L
Cd	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,040 µg/L
Cu	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,015 µg/L
Fe	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0 ,010 µg/L
Mn	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,010 µg/L
Ni	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES	0,010 µg/L
Pb	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,150 µg/L
Zn	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,030 µg/L
Cr/crVI	AdSV : Metrohm Application Note V-82/ Achterberg et Van den Berg 1994	0,030 µg/L
As	AdSV : Metrohm Application Note V-82 Achterberg et Van den Berg 1994	0,005 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 en figure 9. Cette présentation doit être pérennisée car elle permet une lecture facile bien adaptée à la méthodologie du suivi.

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 réglementaire est semestrielle, sauf au port pour la station ST16 où elle est 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 fraîche). En raison des fluctuations des saisons des pluies il est plus pertinent de parler de saison fraîche et de saison chaude.

Remarque :

La fréquence du suivi sur la station ST15 Creek baie Bord a été augmentée ; de suivi semestriel il est passé à un suivi trimestriel 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.

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 ; de plus, ces éléments 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 sur les 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 TM-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.En cas de changement de prestataire le rapport doit le signaler.

Ces missions sont confiées par Vale Nouvelle-Calédonie à un bureau d'études, un institut ou un laboratoire externalisé, à condition qu'il soit 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 statistique et une comparaison des résultats.

- 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 d'une modification significative la conclusion du rapport indiquerait bien ce fait.

- 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, méthodologie

1.3.2.1. Les paramètres suivis

Ils sont établis selon les prescriptions établies par la DENV de la Province Sud suite à l'atelier de mars 2006 (qui réunissait les experts en la matière dont le professeur Wantiez de l'UNC) et validées dans la Convention pour la Conservation de la Biodiversité ; 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 répliques 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 – $W = aL^b$ – (Kulbicki et al. 1993). La liste restreinte donne 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 photographie + 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 <i>transect</i> 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, Bénéitiers	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 bénéitiers, 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 clones.

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 échantillonnages des espèces mobiles (poissons) et qu'il ne soit pas effectué plus de deux stations complètes par journée d'échantillonnage, l'expérience montrant qu'une plus grande rapidité d'expertise nuirait à la qualité des évaluations.

Le journal de plongée permet de valider cette exigence.

De plus 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. La courte période de l'étal ne permet pas d'effectuer plus de deux missions par jour dans le canal de la Havannah.

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

- La surveillance d'éventuelles espèces exogènes ; un plan de veille à l'égard des espèces exotiques envahissantes est en fonction 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 une doute.

- 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 un indicateur pris en compte par Vale Nouvelle-Calédonie.
- Le suivi des Dinoflagellés qui sont des micro-organismes potentiellement cigua-toxinogènes
- Le suivi des algues macroscopique et de l'évolution saisonnière de leur couverture. (Il n'y a pas d'herbier dans la zone d'étude aussi l'indicateur « Taux de recouvrement des phanérogames » n'est pas pris en compte. Cependant une étude spécifiquement dédiée à la couverture algale est pertinente). En 2012 une synthèse de l'évolution depuis 2007 sera effectuée.
- Le suivi du corail et de son éventuel blanchissement ; notamment après les fortes dépressions tropicales et à l'embouchure du creek de la Baie Nord ou des stations « témoins ». 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).
- 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 ;
- la mise en base de données de la liste exhaustive des poissons observés ;
- les biodiversités alpha, bêta et gamma pour les stations et la zone sur liste exhaustive des poissons ;
- un tableau des conditions de plongée pour chaque station suivie (conditions météorologiques, pluviométrie, visibilité et moment de la marée). La visibilité, la marée, les événements climatiques précédents, sont des éléments influant notamment sur l'ichtyofaune.
- un 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 et prescription par les autorités administratives compétentes.

1.3.2.2. Fréquence minimale des missions de suivis des écosystèmes

Semestrielle, en saison chaude et en saison fraîche, plus souvent si nécessaire.

1.3.2.3. Validation des résultats

- Les conditions météorologiques qui ont précédé la mission d'échantillonnage doivent être prises en compte ainsi que les conditions de la plongée.
- 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 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 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 est donc à rechercher.
- La synthèse des données obtenues comporte une analyse comparative spatiale (comparaison des stations entre elles) et 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 évoluer vers un changement du milieu supérieur aux variations saisonnières (ou aux incertitudes méthodologiques) est notée dans le rapport semestriel concerné. Un suivi attentif de ce paramètre 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 de synthèse du rapport indiquerait bien ce fait.

- 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.

Remarque :

- En 2011, une mission a été effectuée sur des stations placées exactement sur l'émissaire et sur le diffuseur ainsi que sur le récif corallien le plus proche du diffuseur. Ainsi l'évolution du peuplement biotique qui s'installe sur et à proximité de l'émissaire peut être évaluée, deux ans après la première mission qui avait eu lieu sur les mêmes stations, en 2009.
- 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.

1.3.3. Bioaccumulation des métaux et solvants dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines

La méthodologie retenue est la transplantation d'espèces bio-indicatrices sur des stations artificielles immergées 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 Paléotropical, 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 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.

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	<i>Isognomon Isognomon</i> ou <i>Gafrarium tumidum</i>
Bivalves	<i>Lobophora variegata</i>
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 Breaux 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.
 - 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.

1.3.4. 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 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) 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		0,01 μm
Minéralogie	Diffraction aux rayons x		
Extraction séquentielle des phases organiques	Dissolution fractionnée et dosage ICP-OES	Tessier et Al 1979	Entre 0,005 et 0,02 $\mu\text{g/L}$ selon le métal
Métaux	Attaque totale et dosage par ICP-OES		Entre 0,005 et 0,02 $\mu\text{g/L}$ 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 $\text{g.cm}^{-2}/\text{an}$.

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	Spectrométrie Gamma basse énergie 46, 54 KeV (pour Pb^{210})	Faure 1986	0,003 Bq/g
Densité	Teneur en eau		0,01 mg/L
Granulométrie et minéralogie	Diffractomètre laser et Diffraction rayons x		0,1 μm Traces
Métaux : Geo-chimie : As,	Attaque totale ICP-OES		Entre 0,001 et 0,02 $\mu\text{g/L}$

Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn			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. Flux sédimentaires

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) grésés 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 seront estimés par collecte de séries temporelles. Cette opération est assurée par le déploiement de deux pièges à sédiment séquentiels (Technicap, type PPS4/3) mouillés de part et d'autre du diffuseur. Les pièges sont individuellement grésés 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.

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** : les pièges à sédiments doivent être immergés 1 à 2 mois, et deux fois par an.

Indicateurs suivis

2. BILAN DES DONNEES DISPONIBLE EN AOUT 2012

Le présent rapport concerne les suivis semestriels effectués pendant les campagnes du second semestre 2012, il s'agit du :

- Suivi N°2 / 2012 de la qualité physico-chimique de l'eau –Mission de Septembre 2012, (Rapport finalisé en janvier 2013)
- Suivi N°2 / 2012 des écosystèmes coralliens et des populations associées – Mission de Septembre 2012, (Rapport finalisé en janvier 2013).

Les autres campagnes de suivis sont déployées sur toute l'année 2012 et leurs rapports sont donc présentés dans ce rapport de suivi annuel 2012:

- Le *caging* ou la transplantation d'espèces bio accumulatrice : mission de juin / juillet / aout 2012. - Le rapport a été finalisé en décembre 2012 ;
- Le suivi triennal de la qualité des sédiments 2012 ;
- Le suivi des flux sédimentaires ;
- Le suivi trimestriel du Port de Prony : qualité de l'eau et des sédiments 2012.

Il n'y a pas eu de retard ou de dysfonctionnement dans l'acquisition des données au cours de l'année 2012 ; les missions d'évaluation et les échantillonnages ainsi ont tous été effectués en temps.

Le calendrier des missions de suivi 2012 est rappelé ci-dessous.

2.1. Synthèse des suivis du milieu marin effectués en 2012

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

	Préparation de la mission de terrain
	Mission effectuée
	Rapport semestriel rendu
	Rapport annuel prévu

Tableau 17 : Synthèse des suivis réglementaires effectués en 2012 avec rapports émis
(Bilans semestriels)

Suivis réglementaires 012	Indicateurs	Ja n	Fé v.	Ma r	Av r	Ma i	Jui	Jui	Ao u	S	O	N	D	Ja n 20 13
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique		1	1				S1	2					2
Qualité de l'eau et concentrations en métaux	Chimique		1	1				S1	2					S2
Suivi des écosystèmes 12 stations	Biologique Corail Benthos Poissons			1				S1		2	2			S2
Bio accumulation Sur transplants 8 stations	Bio accumulateur						3 mois d'implantation							A
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Suivi triennal, dernière mission en 2010, prochain suivi en 2013												
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique					A								A
Suivi des flux sédimentaires	Physique	1	1	1						2				A
Suivi spécial zone Portuaire	Physique Chimique Sédiments			1		2		S1	3			4		S2

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.

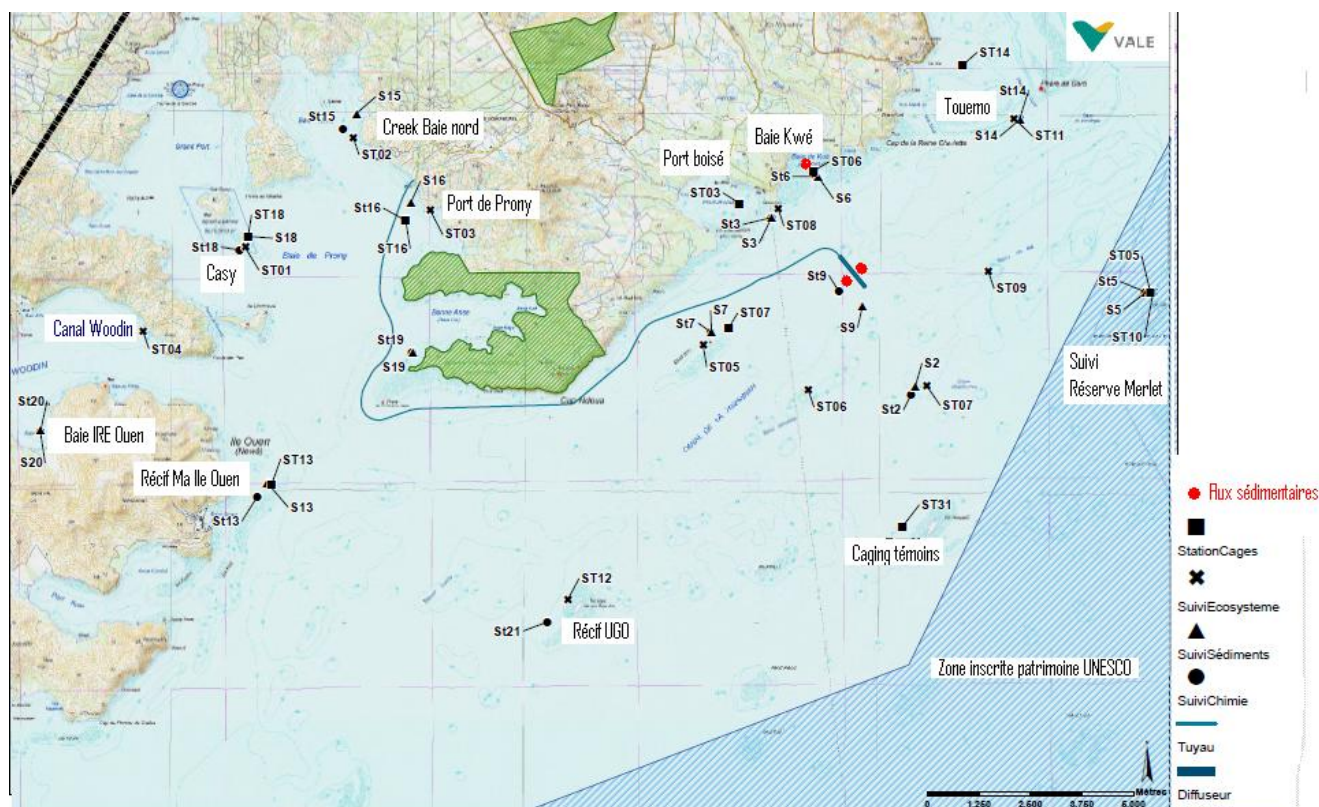
Tableau 17 : Synthèse des suivis supplémentaires effectués en 2012

Suivis sur Initiative Vale NC 2011	Indicateurs	Ja n	Fé v	Ma r	Av r	Ma i	Ju	Ju	Ao u	S	O	N	D	Ja n 20 13
Population des baleines à bosse	Biologique Animal emblématique													
Surveillance ciguatera														
Surveillance phyto sanitaire des espèces consommées Poissons														
et coquillages														

2.2. Zone d'influence et de suivis (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

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).

- **Ce sont les états initiaux (de référence) observés** avant le développement du projet Vale Nouvelle-Calédonie qui 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.)
- **Le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie**, élaboré par les membres des programmes ZONECO, le CNRT et 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.
- **Les bases de données issues des missions de suivis antérieures** permettent une recherche des tendances évolutives. Ce sont ces tendances qui sont analysées par les prestataires qui assurent les suivis. Les prestataires externalisés qui effectuent les suivis ont en leur possession les bases de données des années précédentes pour pouvoir effectuer ces analyses comparatives et il est à leur charge de les utiliser et formater pour en tirer une analyse d'évolution temporelle.

Il est essentiel de raisonner en termes d'évolution 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 fiable 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 données. Pour mettre en évidence un changement significatif, cette variabilité est une information nécessaire.

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.

Tout changement significatif est signalé.

Les conclusions encadrées facilitent la lecture des rapports intégraux

- ↳ La mise en annexe de l'intégralité du rapport de suivi effectué par le bureau d'étude mandaté et des données brutes montre la transparence des conclusions. Le suivi du milieu marin est entièrement externalisé.

Rappels : Les états de référence sont donnés dans les dossiers ICPE (Caractérisation des milieux, VOLUME III, SECTION A, Caractérisation de l'environnement, Chapitre 5 : Océanographie physique, Chapitre 7 : Milieu écologique marin) et ils ont été effectués pendant les missions suivantes :

Caractéristiques du milieu marin, états initiaux 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.
- Campagne actuelle de ce rapport : Aout 2012.

➤ **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 et 2011
- Campagne actuelle de ce rapport : année 2012.

➤ **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
Définition de « l'Etat de référence » d'une part, des niveaux de concentration des métaux dans les sédiments sur 18 stations initialement prédéfinies, et d'autre part, de la dynamique sédimentaire dans la Baie de Prony et de la Baie de Kwé (évaluation de taux de sédimentation) ».
- Dernières campagnes effectuées : 2009 et 2010.
- Campagne actuelle : année 2012.

➤ **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 2012 : 9^{ème} 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 cinq 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.
- Dernières campagnes règlementaires: aout 2007, octobre 2008, juin 2009, mars 2010, Aout/septembre 2010, mars 2011, aout 2011 et mars 2012
- Campagne actuelle : septembre / octobre 2012

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
1996	Pierre Thollot/ Laurent Wantiez	Evaluation des impacts du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la baie Kwé et de la zone portuaire de la baie du 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	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

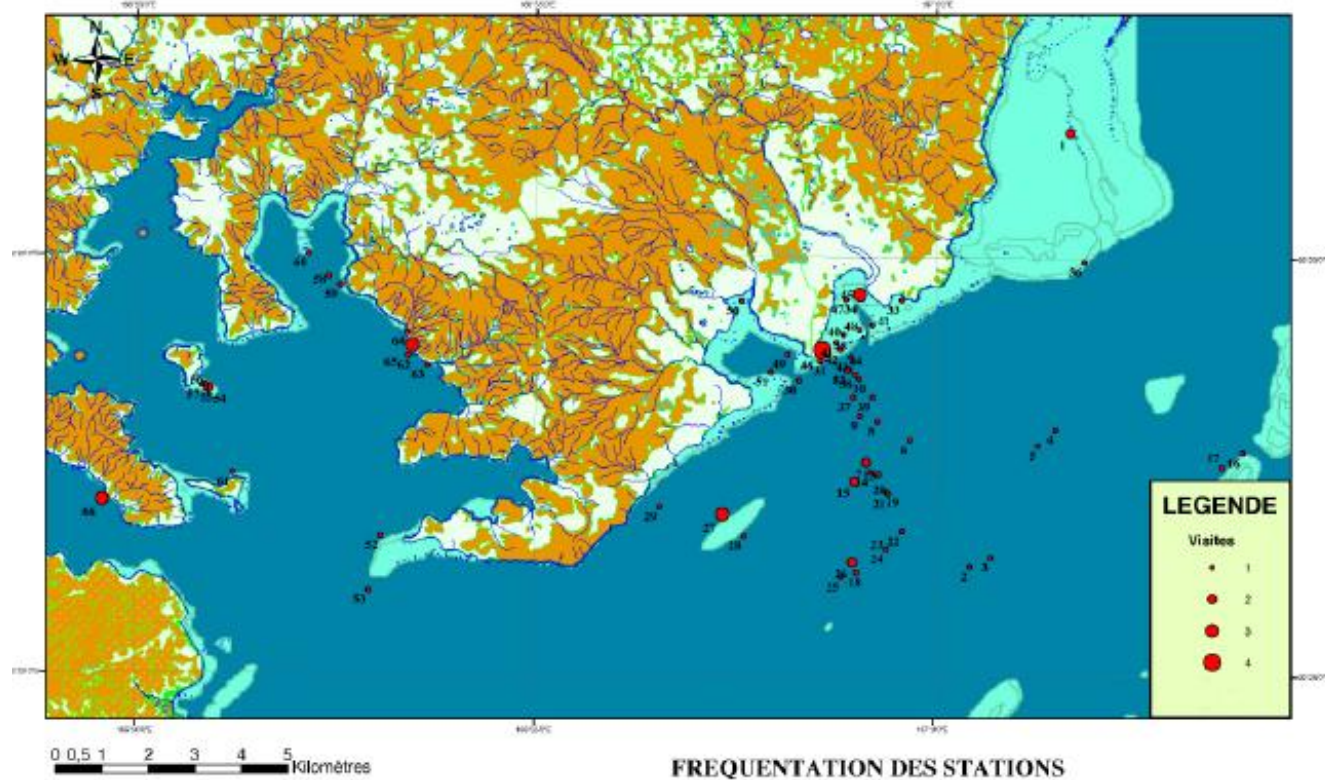
Tous les rapports sur les états de référence ont été communiqués aux administrations compétentes dans les dossiers ICPE (chapitre : Caractérisation des milieux) ainsi que les rapports de suivi et les études. Ils ont aussi été communiqués à l'ŒIL (Observatoire crée en 2009) en 2010, dans leur intégralité.

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.

Figure 12

Stations d'étude pour la caractérisation du milieu marin depuis 1994 et fréquentation des stations

STATIONS D'ETUDE AUTOUR DU SITE DE GORO



➤ 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)
- Dernière campagne réglementaire : 2011
- Campagne actuelle : année 2012

3.2. Valeurs obtenues (second semestre 2012)

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°2 : du 7 au 9 août 2012 sur les 14 stations prédéfinies ;
- Pour les campagnes trimestrielles : le 6 mars, 10 mai, 8 août et le 6 novembre sur les deux stations St15 et St16 (au port et près de l'embouchure du creek de la Baie Nord),

Les figures suivantes situent les prélèvements lors de la mission du second semestre 2011, en fonction des marées et des précipitations.

Figure 13: Conditions météorologiques et état de la marée (campagnes du second semestre 2012)

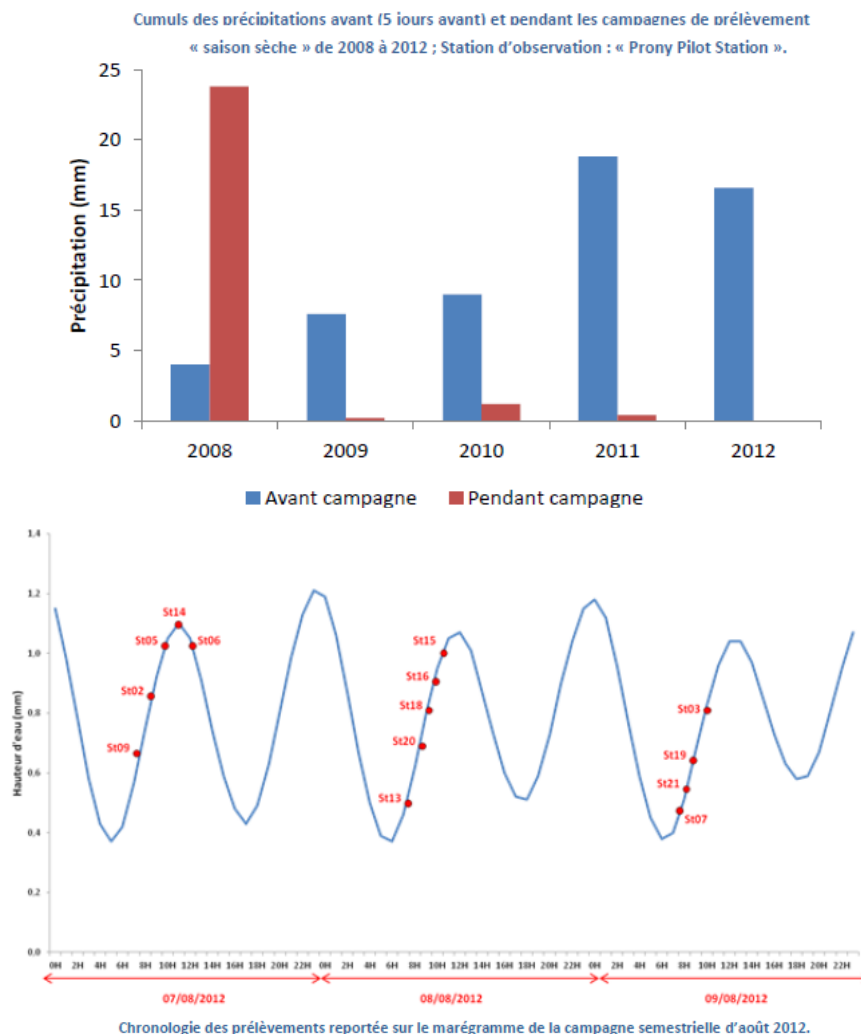
CONDITIONS METEOROLOGIQUES PRECEDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (2-6/08/12) :

Pluie : 16,6 mm ont été relevés le 2 août 2012, [pas de précipitations du 3 au 6 août 2012](#) ; Vent : <10 Nœuds.

CONDITIONS METEOROLOGIQUES PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE : [Pluie : pas de précipitation pendant la campagne](#).

7/08/2012 : Vent, environ 5 Nœuds, beau temps, mer calme ; 8/08/2012 : Vent S-SE de 5-10 Nœuds, beau temps, mer calme ; 9/08/2012 : Vent O de 5-10 Nœuds, nuageux, pluie dans les terres.

Pour rappel :



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 fraîche et de saison chaude.

Les conditions météorologiques observées durant la campagne semestrielle de 2012 sont les plus proches, depuis 2007, des caractéristiques climatiques des zones tropicales.

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 2012 (Saison chaude, second semestre 2012)

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

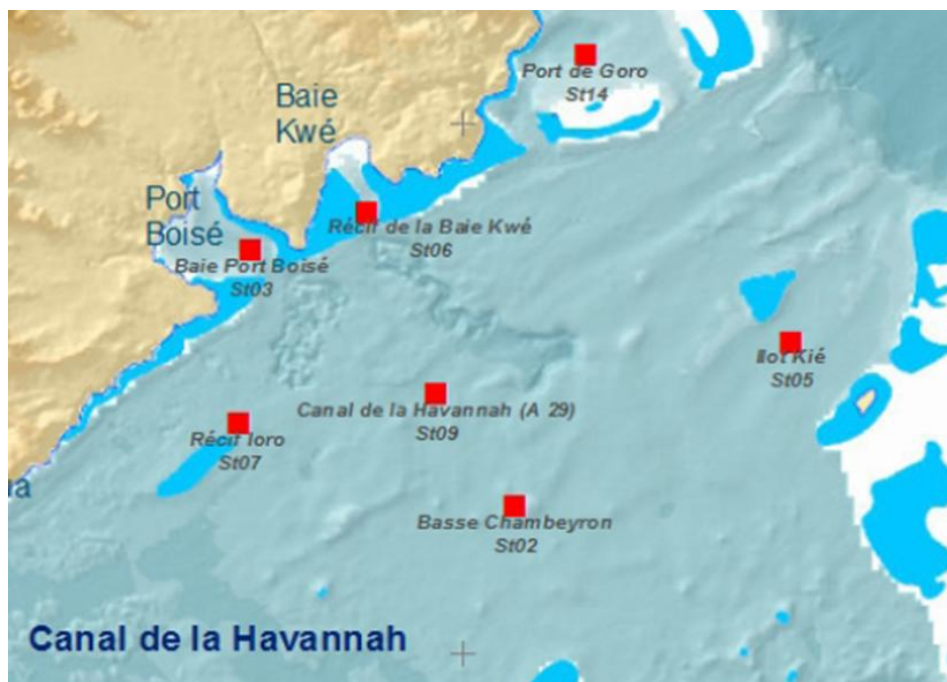


Stations en baie du Prony : St 15, St 16, St 18 et St 19

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 canal de la Havanah : 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 :

- **Éléments majeurs et le pH:** les résultats sont conformes aux valeurs attendues, sur toutes les stations et à toutes les profondeurs.

Aucune variation significative n'est observable par rapport aux résultats des missions précédentes. pH moyen de 8,26 +/- 0,05

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'une point de vue physico chimiques et éco systémique aussi. Les stations St15 (embouchure du creek baie Nord) et St16 (port de Prony) font l'objet d'un suivi plus fréquent et d'un rapport séparé en fin d'année. (Cf. chapitre qui leur est dédié).

Tableau 19: pH et concentrations en éléments majeurs, synthèse. Campagne du second semestre 2012

ELEMENTS MAJEURS ET PH								
Valeurs de pH et concentrations des éléments majeurs dans la zone d'étude lors de la campagne d'août 2012.								
		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	Minimum	8,00	424	406	1274	12964	18977	2473
	Maximum	8,26	631	605	2064	14170	21404	2793
	Moyenne	8,23 ± 0,05	521 ± 61	502 ± 61	1644 ± 231	13601 ± 314	20097 ± 689	2645 ± 83
Canal de La Havannah	Minimum	8,09	424	411	1294	13141	18854	2473
	Maximum	8,26	603	595	1989	14126	21404	2786
	Moyenne	8,22 ± 0,04	491 ± 59	473 ± 61	1525 ± 223	13460 ± 262	20283 ± 783	2643 ± 93
Baie du Prony	Minimum	8,23	505	482	1578	13722	19337	2520
	Maximum	8,26	599	584	1947	14170	21356	2753
	Moyenne	8,25 ± 0,01	562 ± 29	543 ± 30	1810 ± 108	13886 ± 115	20330 ± 587	2635 ± 79

- **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 limite de détection de la méthode ($LQ < 0,1 \text{ mg/L}$). Cf. le chapitre consacré à ces deux stations.

- **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 $0,32 \pm 0,13 \text{ mg/L}$; les valeurs étant comprises entre 0,18 (St07-Surface/ Canal de la Havannah Ioro) et 0,86 (St07-Au fond) mg/L.

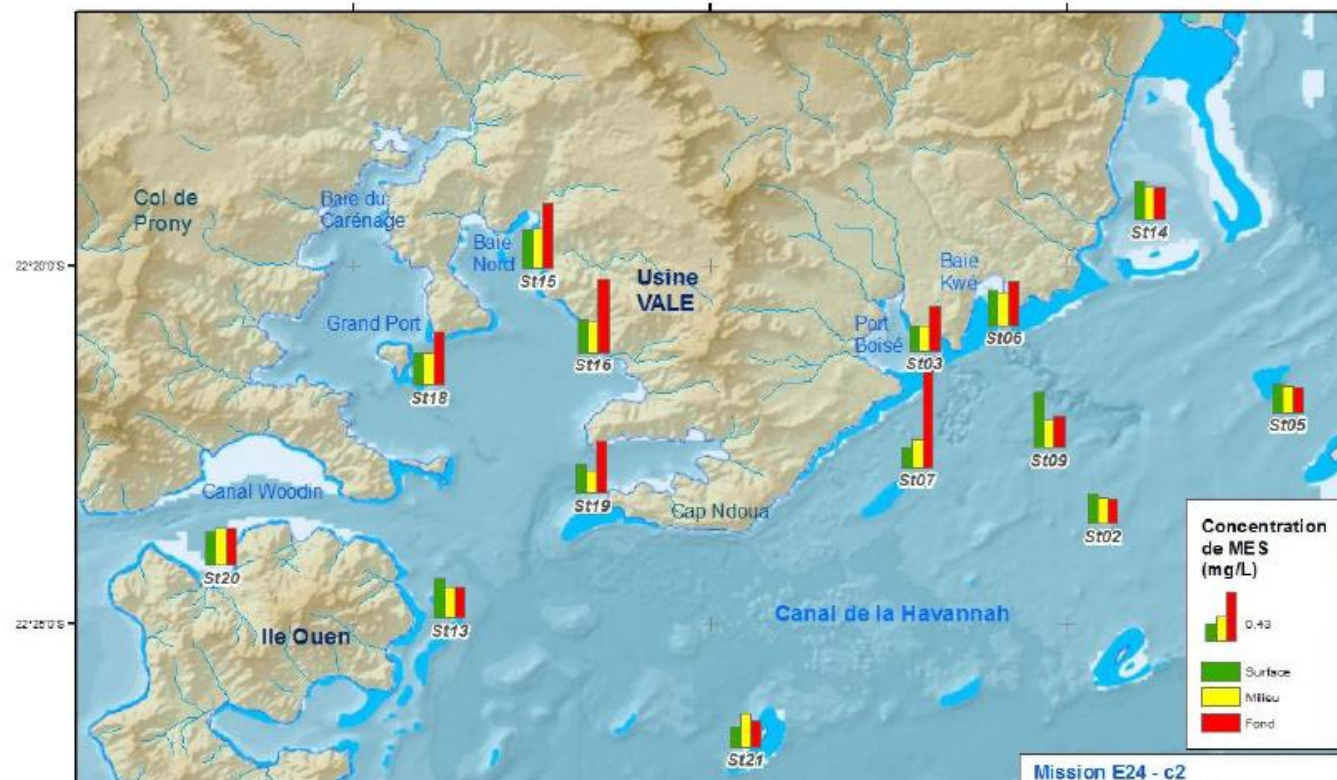
Les concentrations moyennes obtenues au niveau des stations du Canal de la Havannah ($0,29 \pm 0,17 \text{ mg/L}$) et en Baie du Prony ($0,36 \pm 0,14 \text{ mg/L}$), sont inférieures à celles relevées en mars, ce qui est normal puisque la campagne d'août ne fait pas suite à aucun épisode pluvieux. Les concentrations de MES mesurées au niveau des stations de la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19), de Port Boisé (St03) et de la Baie Kwé (St06) sont plus élevées en profondeur qu'en mi- profondeur et surface, et cette caractéristique va se retrouver avec les profils verticaux de turbidité. Il s'agit de néphéloïdes benthiques.

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.

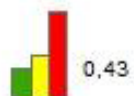
L'ensemble des concentrations en MEST sur toutes les stations lors de la mission d'août 2012 est synthétisé sur la figure 15 suivante et les données brutes sont en annexe. Un chapitre dédié au Port (ST16) reprend les paramètres de cette station de façon plus détaillée.

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).

Figure 16: Concentration de MES (S = surface, M = mi profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude Mission d'AOUT 2012



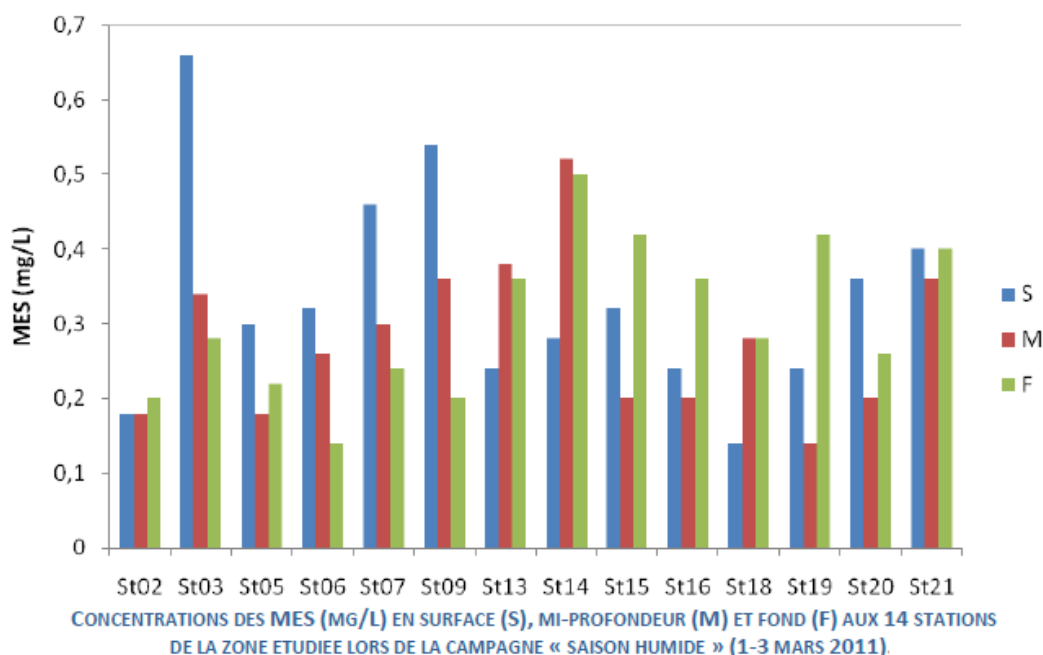
Concentration
de MES
(mg/L)



Surface
Milieu
Fond

En cette saison sèche il n'y a pas de panache de MES de surface. Il est intéressant de comparer cette carte avec la même étude en saison pluvieuse :

Figure 17: Concentration de MES (S = surface, M = mi profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude Mission MARS 2011



Dans ce cas (après épisode pluvieux) les panaches de surface chargés de MES sont nets au niveau des stations côtières sous influence terrigène, avec un maximum sur St03 en sortie de la baie de Port boisée (non sous influence de Vale NC). Remarquons que les stations Creek baie Nord St15 et embouchures de la baie Kwé St 06 (sous influence de l'usine et de la mine) ne présentent pas un panache de surface chargé en MES.

Les études sédimentaires ont montré que sur ces stations la remise suspension de sédiments d'origine marine et corallienne influe sur le flux de particules et les MES, en fonction de vents notamment. Les précipitations atmosphériques ne semblent être le facteur prépondérant de l'augmentation des MES mesurée dans les eaux, notamment de la station St 06 la Baie Kwé. En revanche, l'action combinée de la direction et de la vitesse du vent montrent une relation avec la quantité de MES collectée par les pièges à sédiments. (Cf. Rapports de suivis des flux sédimentaires).

- **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 courantologies. (Détails dans le rapport intégral en annexe).

- **La température :**

Le tableau suivant présente températures et salinités sur le domaine étudié en 2012

Tableau 20 : Température et salinité pour l'année 2012 (en mars 2012 et en saison sèche aout 2012)

Synthèse des valeurs de température, salinité, turbidité et fluorescence dans le domaine entier, le Canal de la Havannah et la Baie du Prony lors de la campagne semestrielle de mars 2012.

		Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Domaine entier	Minimum	26,06	0,02	0,13	34,74
	Maximum	27,25	0,97	8,26	35,33
	Moyenne	26,74 ± 0,1	0,39 ± 0,09	0,51 ± 0,32	35,17 ± 0,09
Canal de la Havannah	Minimum	26,38	0,23	0,15	35,13
	Maximum	26,80	0,80	4,10	35,22
	Moyenne	26,70 ± 0,06	0,41 ± 0,06	0,46 ± 0,19	35,15 ± 0,01
Baie du Prony	Minimum	26,06	0,02	0,13	35,03
	Maximum	27,25	0,97	8,26	35,33
	Moyenne	26,81 ± 0,15	0,38 ± 0,15	0,69 ± 0,56	35,25 ± 0,04

Synthèse des valeurs de température, salinité, turbidité et fluorescence dans le domaine entier, le Canal de la Havannah et la Baie du Prony lors de la campagne semestrielle d'août 2012.

Secteur		Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Domaine entier	Minimum	21,31	0,04	0,13	34,85
	Maximum	22,51	1,36	1,70	35,55
	Moyenne	21,94 ± 0,30	0,39 ± 0,13	0,39 ± 0,16	35,39 ± 0,08
Canal de la Havannah	Minimum	21,73	0,16	0,14	34,92
	Maximum	22,51	0,58	1,25	35,52
	Moyenne	22,18 ± 0,26	0,38 ± 0,06	0,26 ± 0,03	35,38 ± 0,05
Baie du Prony	Minimum	21,31	0,05	0,30	35,22
	Maximum	21,84	1,36	1,70	35,50
	Moyenne	21,62 ± 0,07	0,44 ± 0,17	0,56 ± 0,19	35,42 ± 0,04

○ **La salinité :**

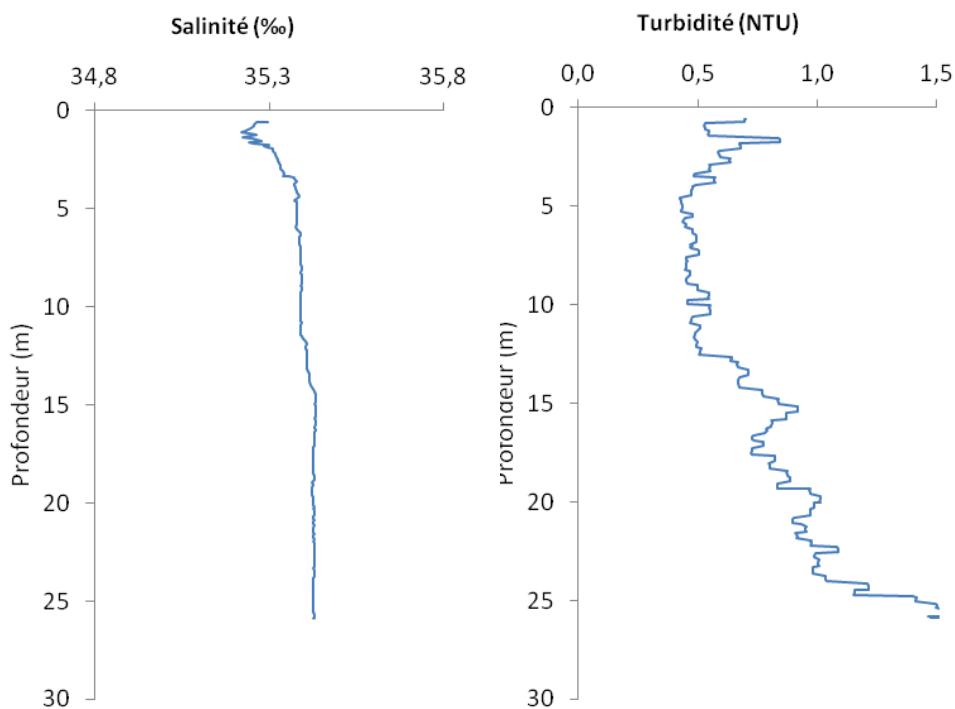
Plusieurs profils de salinité mettent en évidence une couche de surface moins salée. Les profils de trois stations du Canal de la Havannah (St07, St09 et St21) présentent une couche de salinité plus faible entre 5 et 10 m de fond avec des valeurs minimales de 34,92, 35,08 et 35,13 ‰, respectivement.

Dans la Baie du Prony, les stations St15, St16 et St19 présentent également une masse d'eau moins salée en surface avec des valeurs minimales de 35,22‰, 35,29 ‰, et 35,24 ‰, respectivement. A la station St18/ Casy, la salinité augmente progressivement avec la profondeur avec un écart de 0,11 ‰ entre la surface et le fond.

Ces résultats sont tout à fait conformes aux valeurs attendues. Les figures suivantes (Figures 15) détaillent les profils de salinité sur la colonne d'eau en fonction de la pluviométrie à la station St15 sous l'influence des apports d'eau douce du creek Baie Nord.

Figures 18: ST15 Station proche de l'embouchure du creek de la baie Nord, étude détaillée du panache d'eau douce et du profil de la colonne d'eau en fonction de la saison sèche ou pluvieuse

↪ *AOUT 2012 : Saison froide et sèche. Pluviométrie nulle avant et pendant les prélèvements. la dessalure de surface est faible et peu profonde et elle n'est pas associée à une turbidité, qui, elle, est typique du phénomène d'un néphéloïde benthique (de fond) visiblement marqué sur l'enregistrement de la turbidité.*



↪ *AOUT 2011 : Même station, même saison, mais suite à un épisode pluvieux faible (19 mm de pluie durant les 6 jours avant les prélèvements). La dessalure sur les 5 premiers mètres de la colonne d'eau est nette, à partir de 11m de profondeur la salinité est constante.*

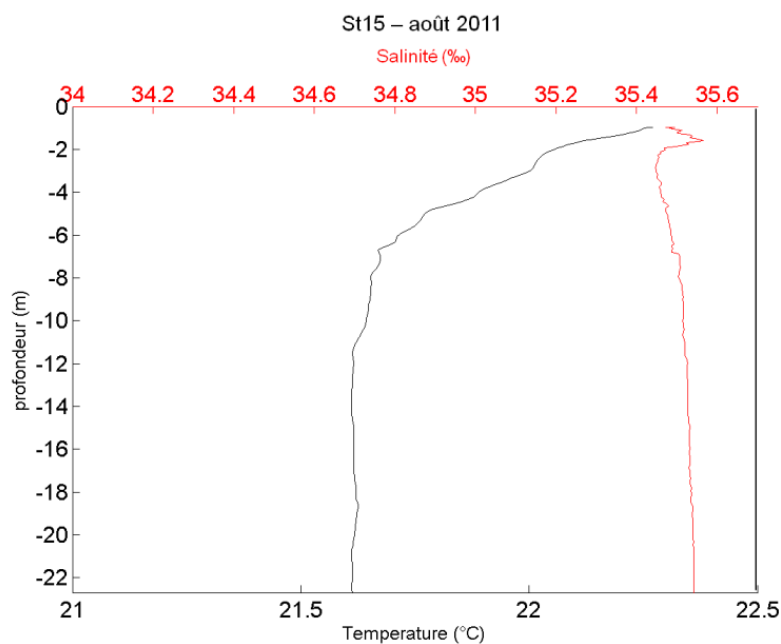
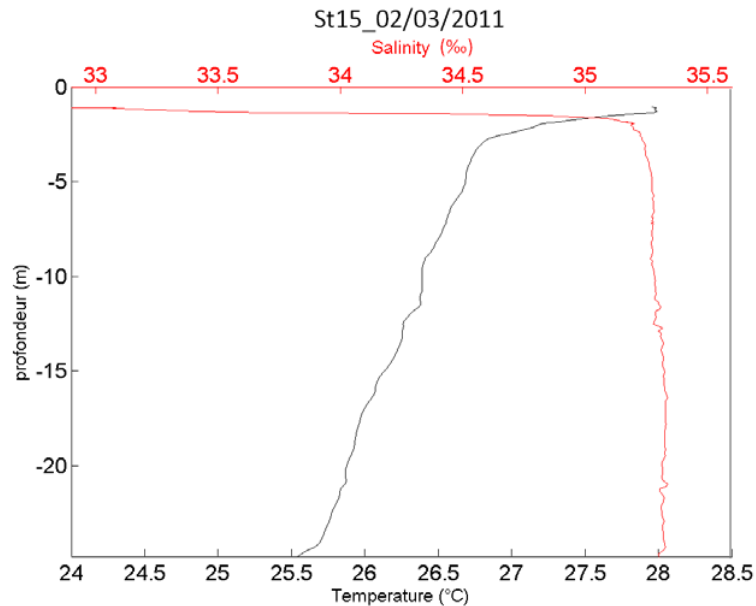
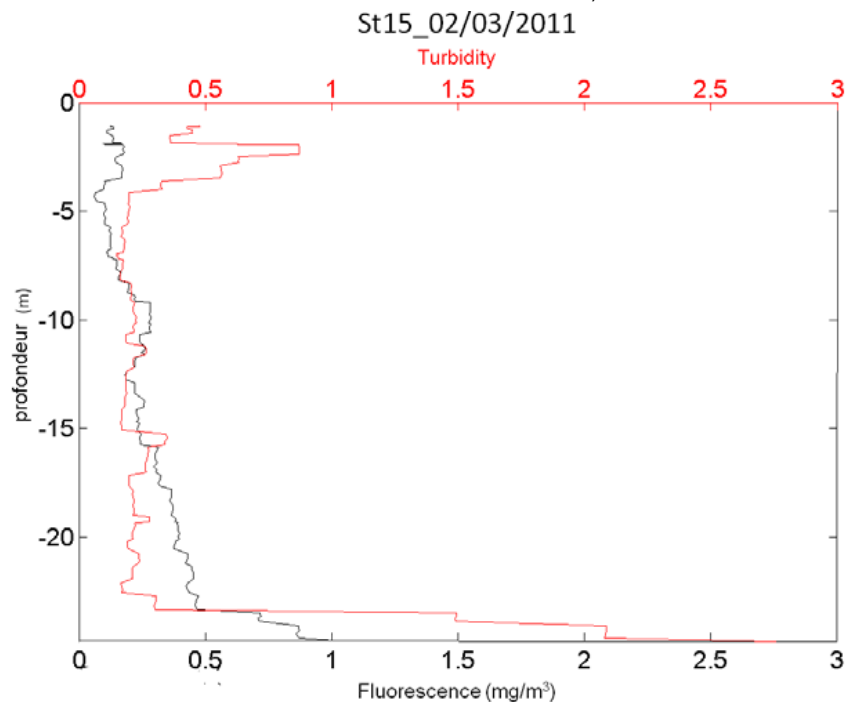


Figure 19 : ST15 Station proche de l'embouchure du creek de la baie Nord, étude détaillée du panache d'eau douce et du profil de la colonne d'eau en saison pluvieuse.

☞ MARS 2011 : Même station ST15, suite à un fort épisode pluvieux (21 mm de pluie avant la campagne et 2,4 mm pendant la campagne de prélèvements). Remarquer la forte dessalure de surface accompagnée d'une augmentation de la turbidité en surface. La forte turbidité (dernier graphe) tout au fond est due au fait que la sonde a touché le fond, mais ce n'est pas un enregistrement d'un néphéloïde benthique. Une telle structure est typique d'une zone sous influence terrigène due à un creek, elle s'oppose à l'homogénéité d'une colonne d'eau au centre du canal de la Havannah sous influence marine.



MARS 2011 : Même station ST15, Turbidité.



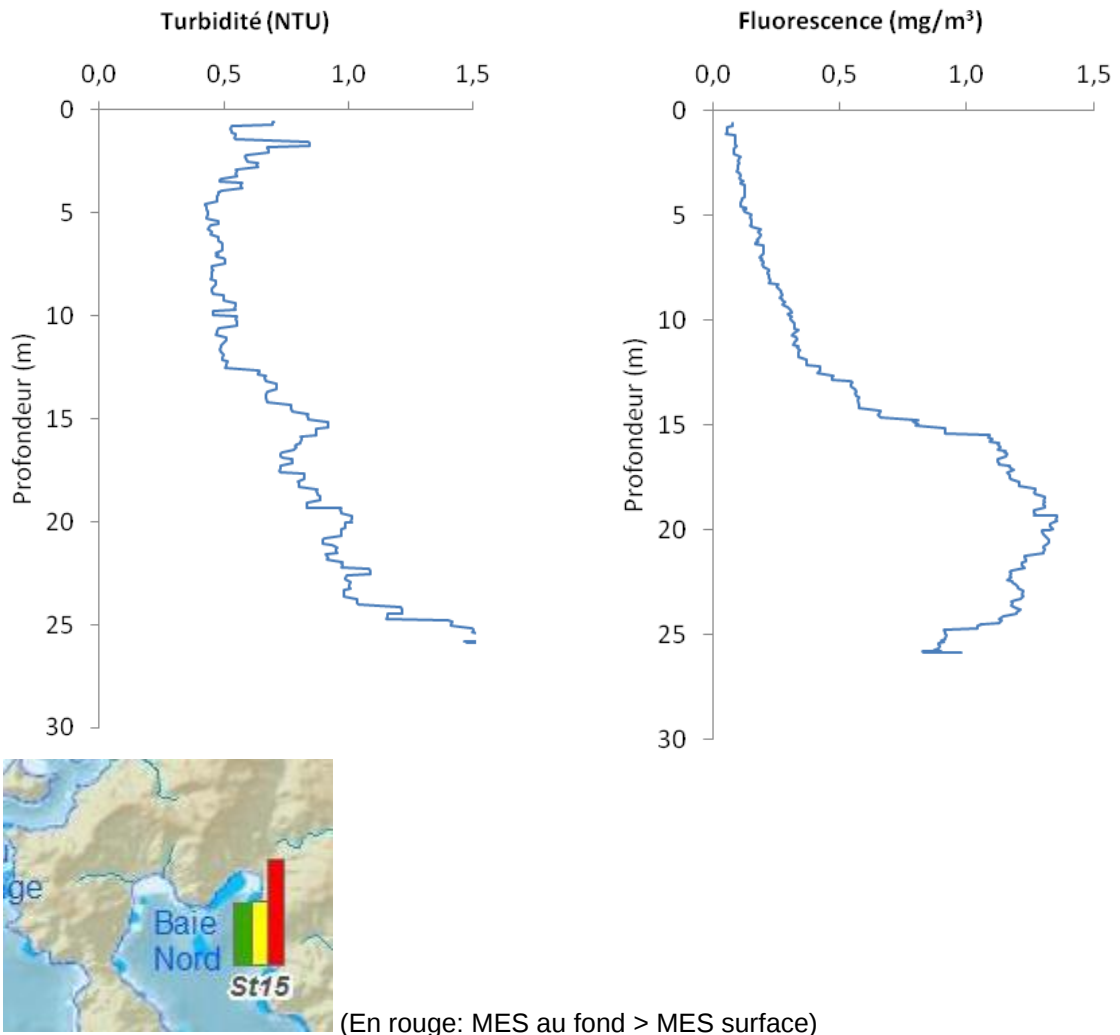
Ce rappel comparatif des profils de la colonne d'eau enregistrés à l'embouchure du creek de la baie Nord est en cohérence avec la modélisation fine de l'hydrodynamisme de la baie qui a été effectuée en 2012.

Les calculs de modélisation ont concerné la Rade du Nord pour deux durées de déversements fictifs (12 et 24 heures) à débits constants (3600 m³/h via le creek de la Baie Nord).

La concentration initiale du déversement (fictif) a été arbitrairement choisie égale à 1 unité. Sur les cartes une échelle logarithmique permet de suivre la dilution du panache jusqu'à un facteur de 10⁶. Les radiales de dilution réalisées ont permis d'interpréter globalement les phénomènes de dispersion verticale. Au niveau de la station St15 seule une première couche décimétrique de surface est bien individualisée avec des taux de dilution compris entre 10³ et 10⁴.

- **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.
- **La fluorescence :** En Baie du Prony, les profils des stations St15, St16 et St18 se distinguent par une augmentation de la fluorescence avec la profondeur. Ces pics de fluorescence en profondeur (St15 et St18, voire St19) correspondant à la décantation soit, d'un bloom phyto-planctonique, soit de matière en suspension organique accumulée dans la couche turbide.

Figure 20: ST15 Station proche de l'embouchure du creek de la baie Nord, étude détaillée du panache d'eau douce et du profil de la colonne d'eau. Turbidité, fluorescence et MES



Conclusion : Les profils verticaux 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, voire St18 à Casy), de la station Kwé (St06) et de celle de Port Boisé (St03).

Les profils permettent également de distinguer les stations influencées par les masses d'eaux océaniques telles que les stations St02 et St05 dont les variables physico-chimiques sont remarquablement stables au sein de la colonne d'eau. En effet, dans le Canal de la Havannah, d'importants brassages verticaux des couches d'eaux ont lieu.

Les stations St13 et St20 (proche de l'île Ouen) présentent également des variables physico-chimiques extrêmement constantes au sein de la colonne d'eau.

Ces résultats sont cohérents avec les études et modélisations de l'hydrodynamisme dans le canal de la Havannah et en baie du Prony.

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

Les concentrations de chlorophylle a des stations localisées proches des côtes présentent une distribution verticale avec des valeurs plus élevées en profondeur qu'en surface.

Ces gradients peuvent être corrélés avec les profils de turbidité de ces mêmes stations qui montrent la présence de néphéloïdes benthiques. Cette augmentation de pigments chlorophylliens provient probablement de la dégradation de débris végétaux en suspension dans ces couches turbides.

– **Concentrations en sels nutritifs : ammonium NH_4^+ , nitrates et nitrites, phosphates, silicates.**

Les concentrations de NH_4 , NO_2+NO_3 et PO_4 sont globalement plus faibles dans la Baie du Prony que dans le Canal de la Havannah.

Un nombre important de d'analyses ont montré que les concentrations pour cette campagne en « saison fraîche » étaient en dessous des limites de détection respectives.

Les concentrations de SiO_4 présentent un gradient côte large bien défini avec des valeurs plus élevées près des côtes ; ces concentrations mettent en évidence les apports d'eaux douces provenant des creeks de la Baie Nord, de la Kwé et de Port Boisé.

Le tableau suivant présent ces teneurs en sels nutritifs, par domaines, et les résultats bruts des analyses sont en annexe du rapport.

Tableau 21 : Concentration en sels nutritifs dans les grands domaines de la zone d'étude en aout 2012

Concentrations des NO_2+NO_3 , NH_4 et PO_4 dans la zone d'étude pour la campagne d'août 2012.

Secteur		NO_2+NO_3 (μM)	NH_4 (μM)	PO_4 (μM)	SiO_4 (μM)
Domaine entier	Minimum	0,025	0,015	0,012	1,14
	Maximum	0,160	0,149	0,049	3,07
	Moyenne	$0,088 \pm 0,045$	$0,044 \pm 0,032$	$0,028 \pm 0,011$	$1,74 \pm 0,52$
Canal de la Havannah	Minimum	0,054	0,017	0,012	1,14
	Maximum	0,160	0,126	0,038	1,50
	Moyenne	$0,097 \pm 0,046$	$0,053 \pm 0,030$	$0,024 \pm 0,009$	$1,31 \pm 0,11$
Baie du Prony	Minimum	-	0,015	0,013	1,80
	Maximum	-	0,149	0,040	3,07
	Moyenne	$0,053$ (n=1)	$0,034 \pm 0,038$	$0,027$ (n=2)	$2,36 \pm 0,43$

Figure 21 : Concentration en sels nutritifs dans les grands domaines de la zone d'étude en aout 2012

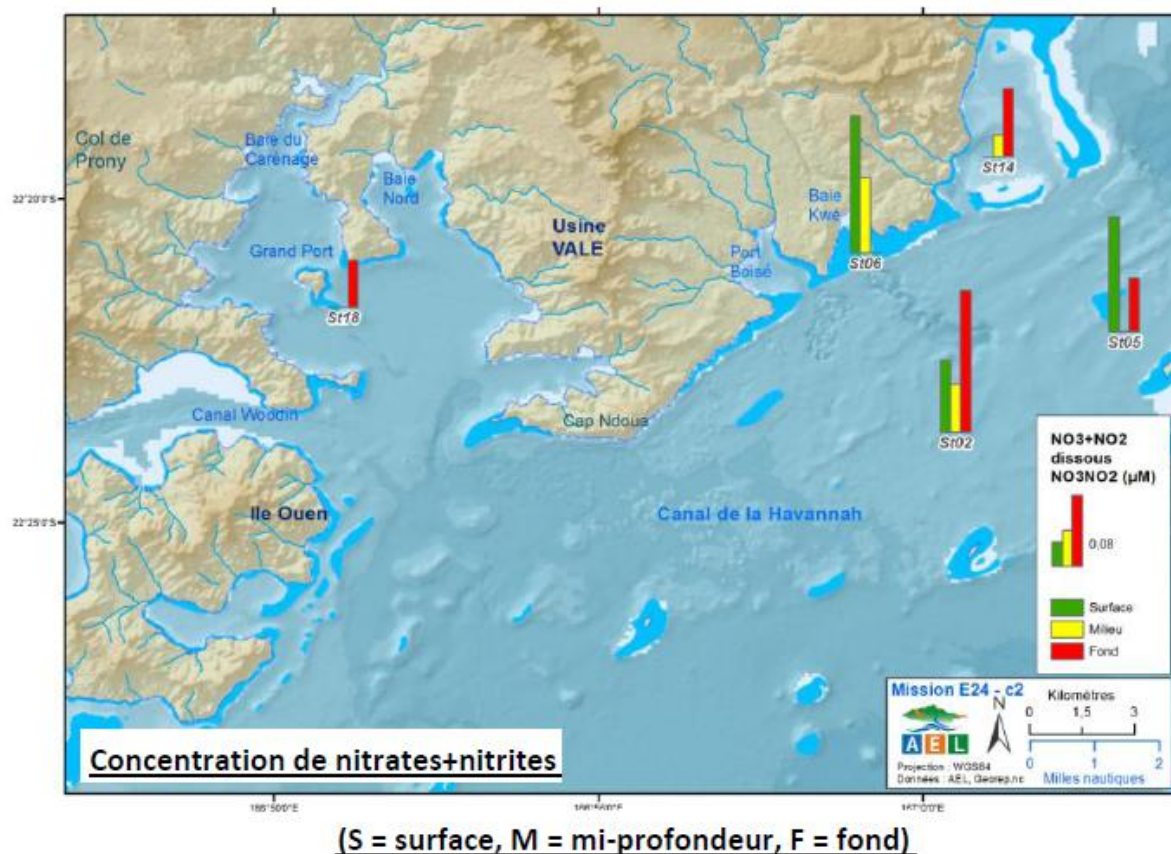
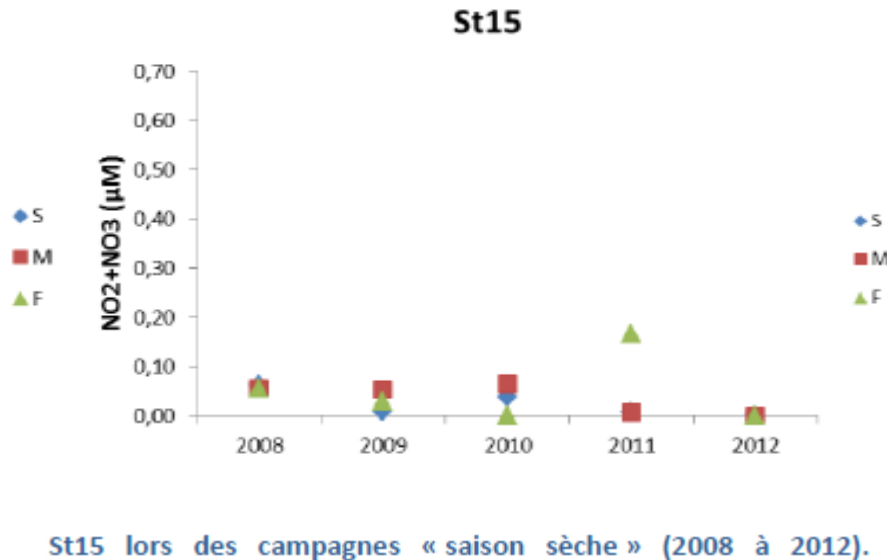


Figure 22: Concentrations de nitrates + nitrites mesurées en surface (S), mi- profondeur (M) et fond (F) sur la station St15 du creek de la baie Nord lors des campagnes « saison sèche »



Pour rappel le guide ZoNeco /CNRT indique un milieu non perturbé jusqu' à des concentrations de 0,5 µmol/L de nitrates.

- **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.

(Résultats intégraux en annexe de ce document)

- **Concentration en métaux :**

Comme il a été observé lors des campagnes précédentes et 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).

Rappel :

Les concentrations habituellement observées dans le lagon, en métaux dissous indicateurs est indiqué dans le guide du lagon ZoNeco / CNRT 2011, en fiche 9.

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.

Les concentrations de cobalt maximales de Co (0,045 µg/L) sont enregistrées en surface sur la station St03 de Port Boisée, cette station qui enregistre aussi les maximums en concentrations de métaux d'origine terrigène : Ni (0,39 µg /L) et Mn (0,37µg/L). La station Baie Kwé St06, quant à elle, montre des concentrations en métaux terrigènes Mn, Ni et Co 3 fois moindres que celles de baie de Port boisée. Le tableau suivant présente les concentrations en métaux enregistrées aux trois profondeurs sur 3 stations typiques d'influence terrestre via l'embouchure de creeks (St 15 en baie du Prony proche de l'embouchure du creek de la baie Nord ; St 03 en Baie de Port Boisée qui ne subit pas une pression minière ou industrielle et St 06 en Baie Kwé) ainsi que sur la station St09 qui est située au

centre du canal de la Havannah (dans la zone du diffuseur), et St 05 est une station d'influence marine proche de la réserve Merlet.

Tableau 22 : Concentration en métaux dissous en microgrammes/ litre. Aout 2012

Concentrations des métaux dissous (µg/L) mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2012
Les stations ont été échantillonnées à 3 profondeurs : S = surface +3 m, M = mi-profondeur, F = fond -3 m ;
<LQ = Valeurs inférieures à la limite de quantification ; Nd = valeur non déterminée.

Station	Niveau	As	Cd	Co	Cr(VI)	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St 03 Baie Port boisé	St03 S	1,22	<LQ	0,045	0,168	<LQ	0,034	0,373	0,391	<LQ	Nd
	St03 M	1,22	<LQ	0,036	0,162	<LQ	0,022	0,320	0,311	<LQ	Nd
	St03 F	1,23	<LQ	0,027	0,140	<LQ	0,025	0,292	0,257	<LQ	Nd
St 06 Baie Kwé	St06 S	1,17	<LQ	0,017	0,152	<LQ	0,052	0,127	0,163	<LQ	0,209
	St06 M	1,16	<LQ	<LQ	0,138	<LQ	0,016	0,130	0,147	<LQ	0,411
	St06 F	1,21	<LQ	0,018	0,138	<LQ	0,091	0,179	0,178	<LQ	0,419
St 15 Creek baie Nord Baie du Prony	St15 S	1,07	<LQ	0,043	0,182	<LQ	Nd	0,287	0,364	<LQ	0,069
	St15 M	1,09	<LQ	0,030	0,168	<LQ	Nd	0,152	0,309	<LQ	Nd
	St15 F	1,10	<LQ	0,044	0,172	0,53	Nd	0,279	0,357	<LQ	<LQ
St 09 Canal Havannah centre (zone du diffuseur)	St09 S	1,27	<LQ	<LQ	0,166	<LQ	<LQ	0,068	0,100	<LQ	0,243
	St09 M	1,26	<LQ	<LQ	0,114	<LQ	0,051	0,056	0,110	<LQ	0,469
	St09 F	1,24	<LQ	<LQ	0,100	<LQ	0,140	0,109	0,164	<LQ	0,262
St 05 Station témoins proche réserve Merlet	St05 S	1,22	<LQ	<LQ	0,128	<LQ	Nd	0,065	0,087	<LQ	0,211
	St05 M	1,20	<LQ	<LQ	0,126	<LQ	<LQ	0,104	0,091	<LQ	Nd
	St05 F	1,13	<LQ	<LQ	0,132	<LQ	0,017	0,166	0,103	<LQ	0,165

Le guide Zonéco /CNRT 2011 donne en grille de lecture indicative les concentrations en métaux suivants : Mn, Ni et Chrome VI (fiche 9).

- o Milieu non perturbé : Cr VI < 0,25 µg/L ; ne pas dépasser 0,60 µg/L
- o Milieu non perturbé : Ni < 0,40 µg/L ; ne pas dépasser 0,75 µg/L
- o Milieu non perturbé : Mn < 0,35 µg/L ; ne pas dépasser 0,80 µg/L

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

Notons qu'au niveau du port de Prony sur St16, le Cu est en concentration inférieure à la limite de détection de 0,25 µg/L (une limite de détection de 0,015 µg/L sera reprise au prochain suivi, selon la méthodologie validée) et ceci aux trois profondeurs. Cadmium et Plomb sont en quantités inférieures à la limite de détection aussi et sur toute l'étendue du domaine. Les concentrations de Cd et 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.

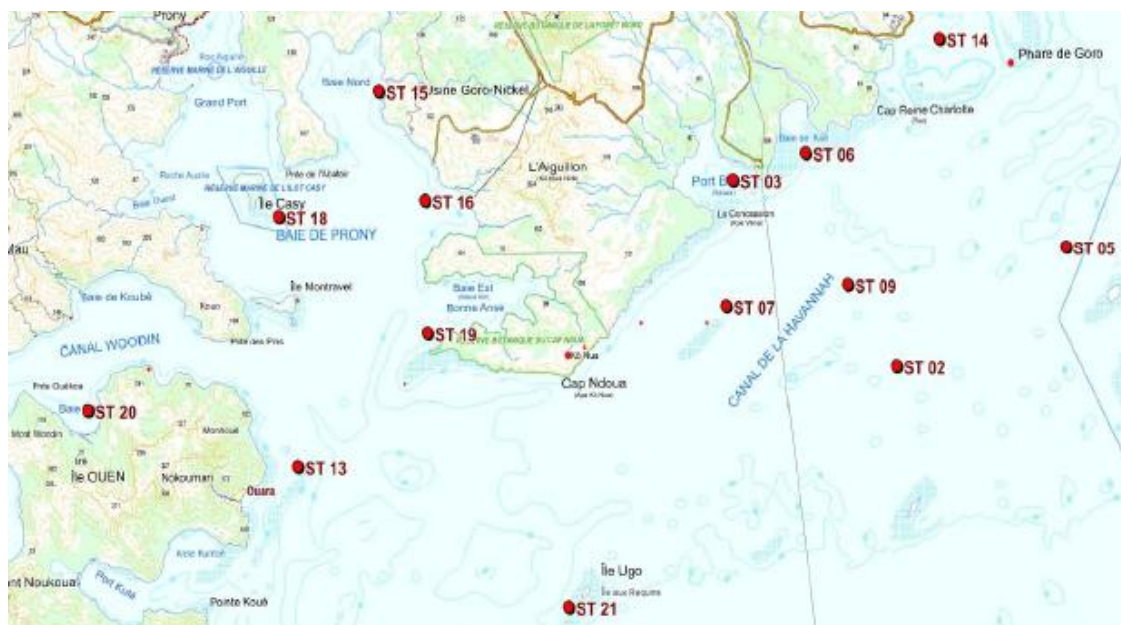
L'analyse temporelle des fluctuations des paramètres est expliquée par le lessivage des sols latéritiques. Le gradient de distribution des métaux indicateurs d'influence terrigène est bien marqué, de la cote vers le centre du canal de la Havannah (Ni, Co, Cr VI, Mn) en cohérence avec les études précédentes.

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 Kwé
- St09: Canal de la Havannah près du diffuseur

Pour faciliter la lecture du document nous rappelons la position et le nom usuel des stations suivies et les domaines différents distingués: Baie du Prony, canal Woodin, zone côtière du canal de la Havannah, centre du canal de la Havannah

Figure 23: 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 Ioro	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:

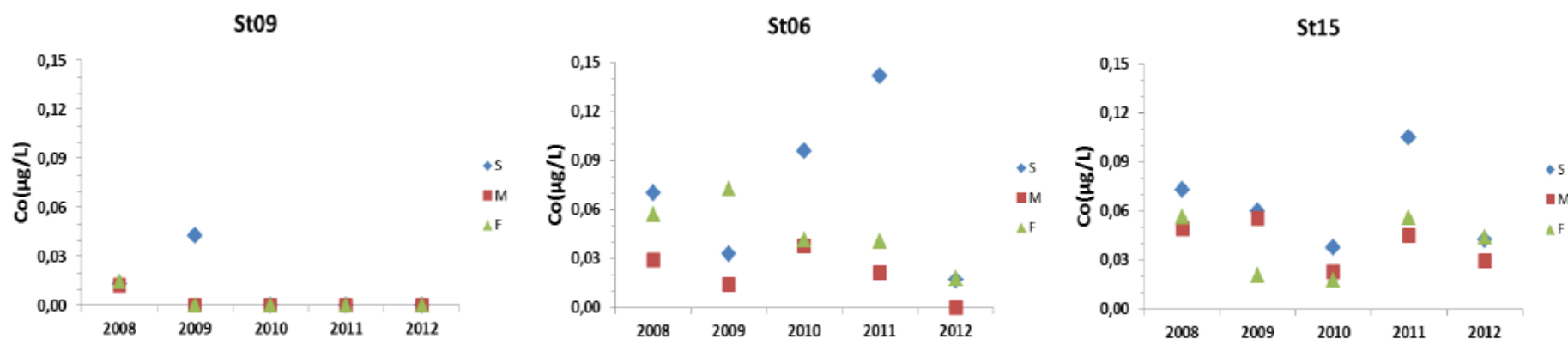
1. Domaine de la baie du Prony : St15 ; St16, St18 et St19
2. Domaine du canal Woodin: St20
3. Domaine des baies côtières : St03 et St06
4. Domaine du canal de la Havannah : St09, St02, St05, et St 21.

Les figures suivantes présentent l'évolution temporelle des concentrations en métaux entre 2007 et 2012.

Figure 24: Concentrations en Cobalt (Co) aux stations caractéristiques des 3 grands domaines : St 09 (centre canal de la Havannah) ; St06 (Récif côtier de la baie Kwé), et St15 (Creek baie nord), durant les campagnes de mai 2008 à mai 2012.

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

Concentrations de cobalt mesurées surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).



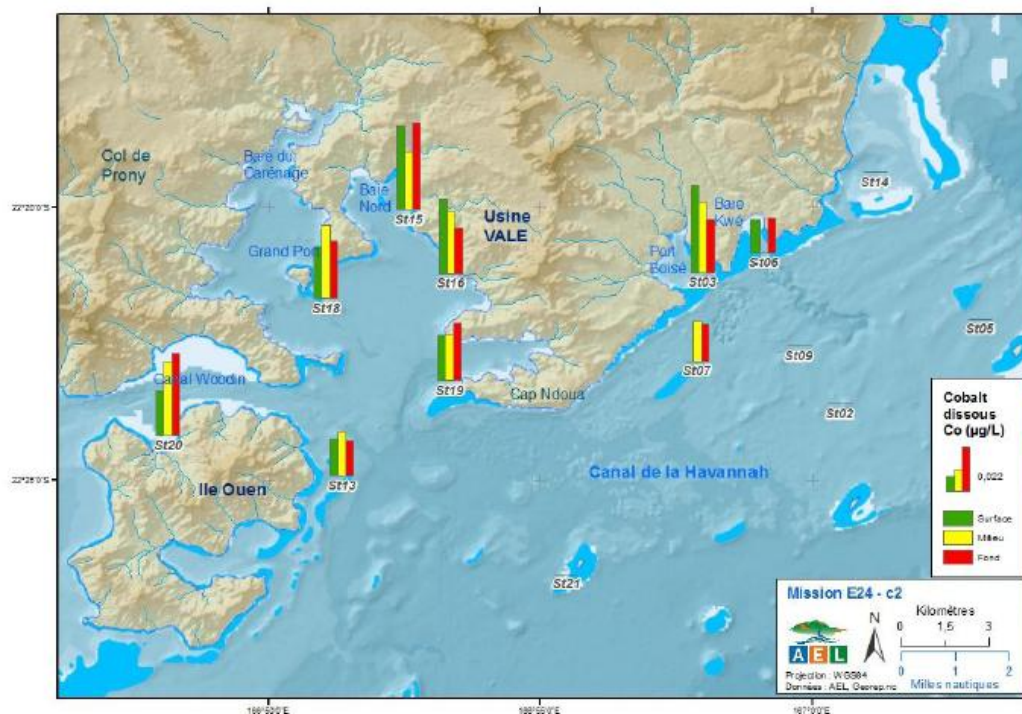
La carte suivante montre la distribution spatiale des concentrations en Co sur toutes les stations en aout 2012. Ce marqueur terrigène est absent ou en infime quantité sur les stations du canal de la Havannah, Cela confirme bien les modélisations hydrodynamiques de la zone.

Quand la concentration en Co sur la couche d'eau de surface est plus élevée cela indique un flux d'eau douce dû à un creek..

(Données brutes en annexe de ce rapport).

Figure 25: Concentrations en Co sur toutes les stations en aout 2012.

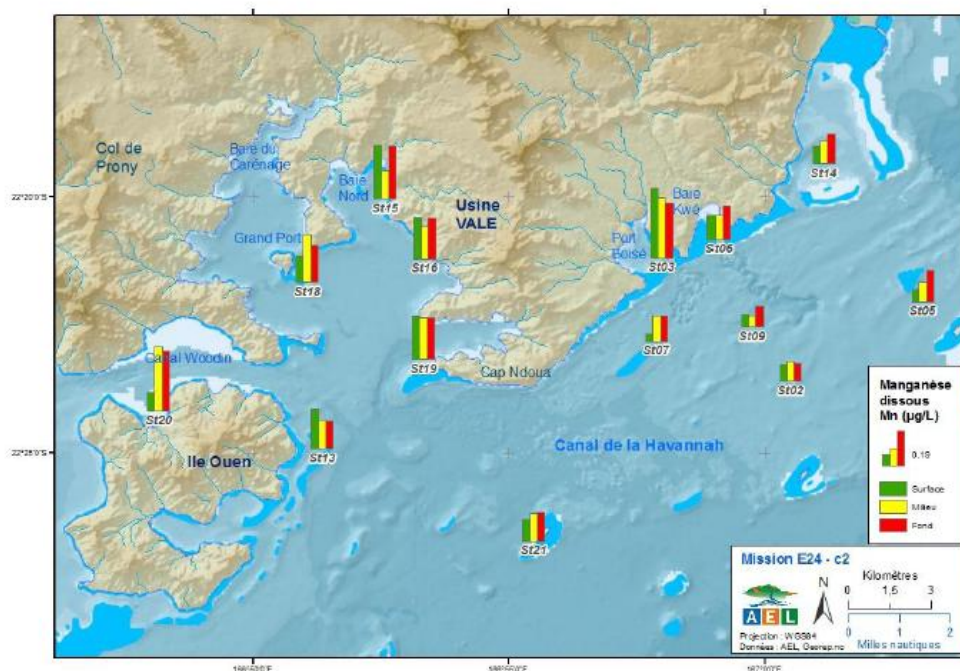
Concentration de cobalt (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



La carte suivante montre la distribution spatiale des concentrations en manganèse sur toutes les stations en mai 2012..Les mêmes conclusions sont observées, cet indicateur terrigène est en très faible concentration dans le canal en saison sèche, comme en saison pluvieuse.

Figure 26: Concentrations en Mn sur toutes les stations en mai 2012.

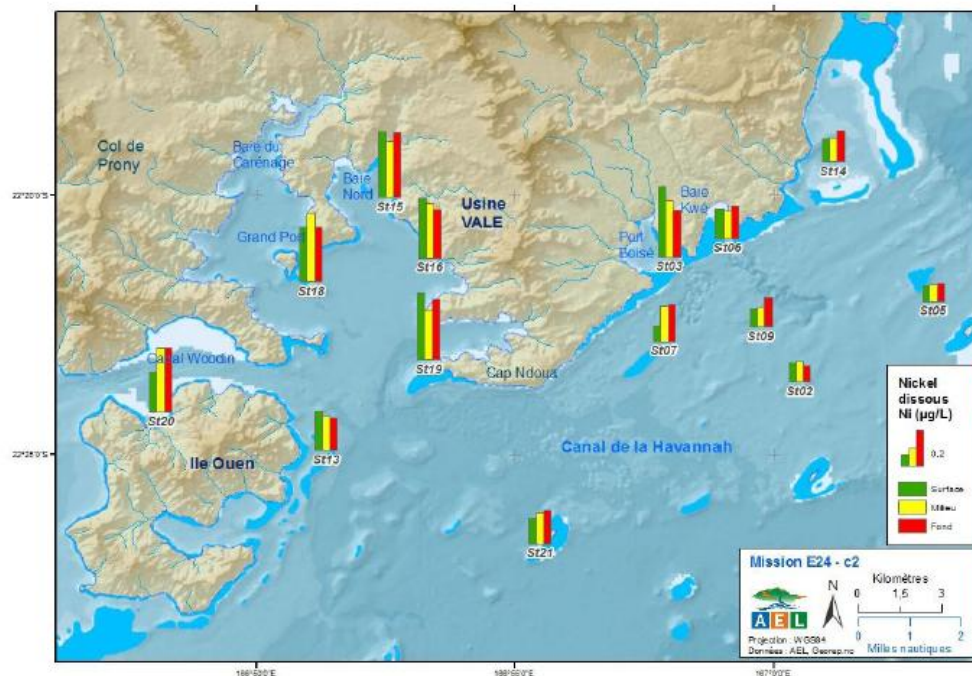
Concentration de manganèse (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



Le nickel suit le même schéma de distribution spatiale que le cobalt et le Mn.

Figure 27: Concentrations en Ni sur toutes les stations en mai 2012.

Concentration de nickel (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



C'est la station de Port Boisé St03 qui présente les plus fortes concentrations tandis que la station Baie Kwé est relativement pauvre en métaux indicateurs terrigènes.

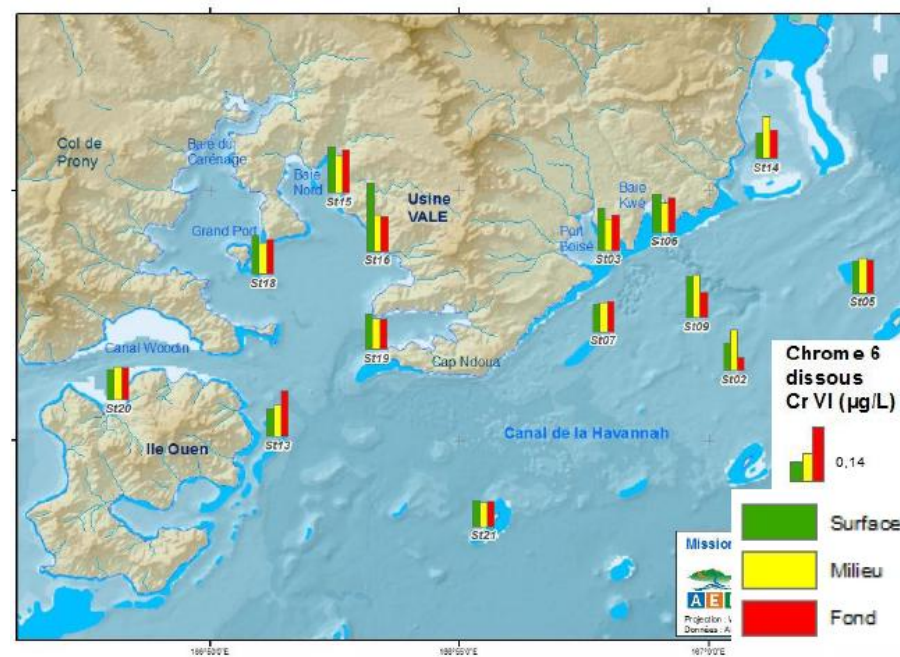
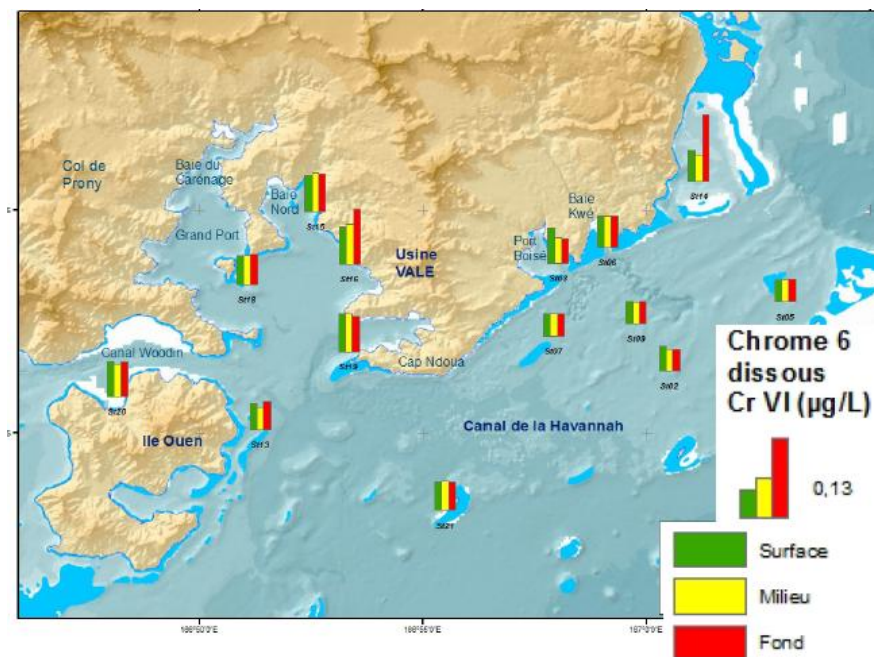
L'intégralité de ces résultats est disponible dans le rapport intégral en annexe et les bases des données y sont en fin de volume.

(Toutes les données brutes sont en annexes de ce rapport)

Figure 28: Concentrations en Cr VI sur toutes les stations en mars 2012, puis en mai 2012

SAISON MARS

SAISON SECHE AOUT



MARS 2012 : Maximum sur St 14 (le port de Goro en baie de Goro) en surface avec 0,26 µg/L +/- 0,005

MAI 2012 : Maximum en baie du Prony avec 0,272 µg/L, en moyenne pour les stations suivantes le Cr VI mesuré représente :

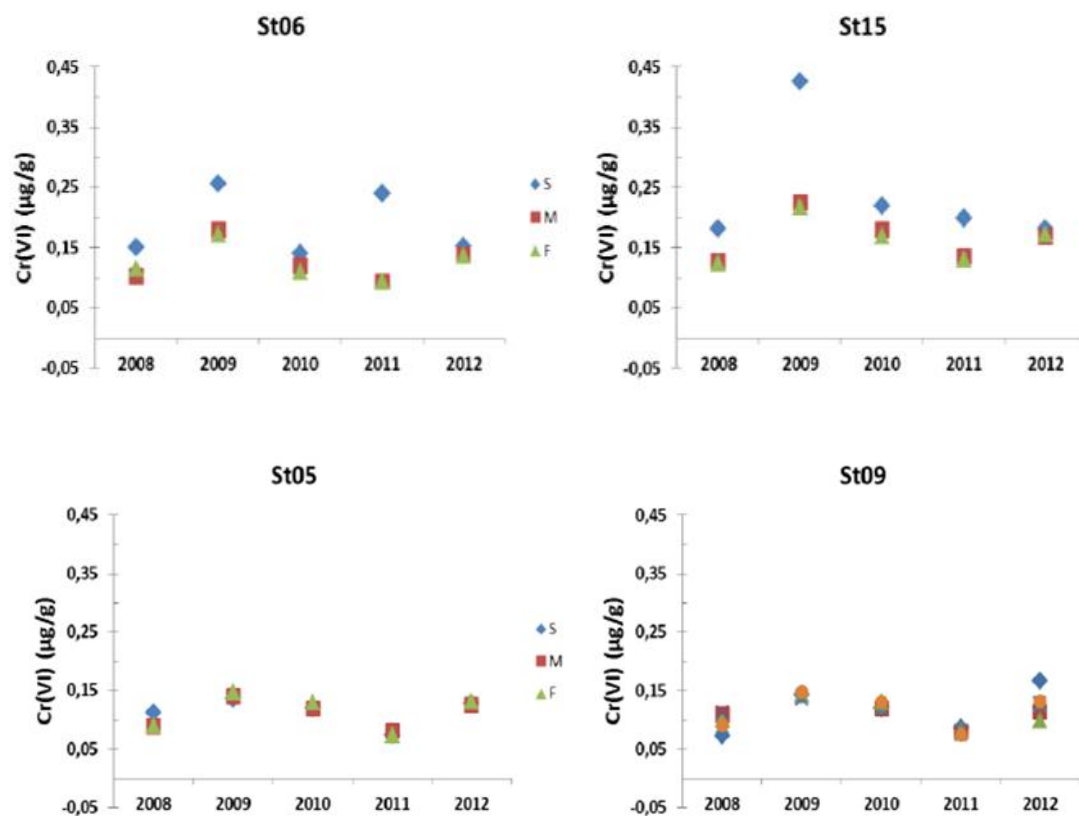
	St 14 Baie de Goro	St 06 Baie Kwé	St03 Baie de Port Boisée	St 16 Port de Prony	St 09 Canal Havannah
Cr VI µg/L	0,112	0,143	0,157	0,181	0,126

Le guide [ZoNeco /CNRT 2011](#) donne en grille de lecture indicative les concentrations en métaux suivants : Mn, Ni et Chrome VI (fiche 9).

o Milieu non perturbé : Cr VI < 0,25 µg/L ; ne pas dépasser 0,60 µg/L

		Cr (VI) (µg/l)					Cr (total) (µg/l)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,07	0,12	0,11	0,07	0,05	0,10	0,18	0,13	0,12	ND
	Max	0,18	0,43	0,22	0,24	0,27	0,24	0,71	0,25	0,30	ND
	Moy	0,10 ± 0,02	0,20 ± 0,07	0,14 ± 0,03	0,11 ± 0,04	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,03	0,32 ± 0,10	0,16 ± 0,03	0,18 ± 0,05	ND
Canal de la Havannah	Min	0,07	0,12	0,12	0,07	0,05	0,10	0,20	0,13	0,12	ND
	Max	0,11	0,18	0,14	0,11	0,17	0,24	0,46	0,18	0,21	ND
	Moy	0,09 ± 0,01	0,15 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,29 ± 0,09	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,03	ND
Baie du Prony	Min	0,09	0,19	0,15	0,11	0,12	0,12	0,24	0,17	0,16	ND
	Max	0,18	0,43	0,22	0,21	0,27	0,19	0,71	0,25	0,26	ND
	Moy	0,12 ± 0,02	0,27 ± 0,08	0,18 ± 0,02	0,14 ± 0,03	0,16 ± 0,05	0,15 ± 0,02	0,40 ± 0,12	0,20 ± 0,02	0,20 ± 0,03	ND

ND : Concentrations non déterminées



Les concentrations en Cr(VI) ne sont pas corrélables avec celles des 3 autres métaux.

A l'inverse, la variabilité temporelle des concentrations en Co, Mn et Ni montre qu'il existe une similarité de distribution de ces métaux pour les stations côtières St 15 (Creek baie nord) et St 06(Baie Kwé)

Pour les stations du canal de la Havannah :

Les concentrations en Cr(VI) ne sont pas corrélables avec celles des 3 autres métaux.

Et aussi : les concentrations avec les autres métaux Co, Mn et Ni ne sont pas corrélables dans leur évolution.

Cela est cohérent avec les modélisations et conclusions précédentes qui indiquent qu'une « barrière hydrodynamique » fait du centre du canal une zone indépendante de la zone côtière Nord, la variabilité des concentrations sur le centre du canal de la Havannah (St09 et St 05) ne paraît pas être en rapport direct avec les fluctuations des apports terrigènes identifiés (via la Baie Kwé : St06); les concentrations mesurées sont donc la combinaison des apports des différentes sources terrigènes et du bruit de fond géochimique existant avec une influence dominante marine.

Figure 29 : Evolution temporelle des concentrations en Cr (VI) Sur 4 stations sentinelles de la zone d'influence

St06: Baie Kwé

St15: Baie du Prony, Creek Baie Nord

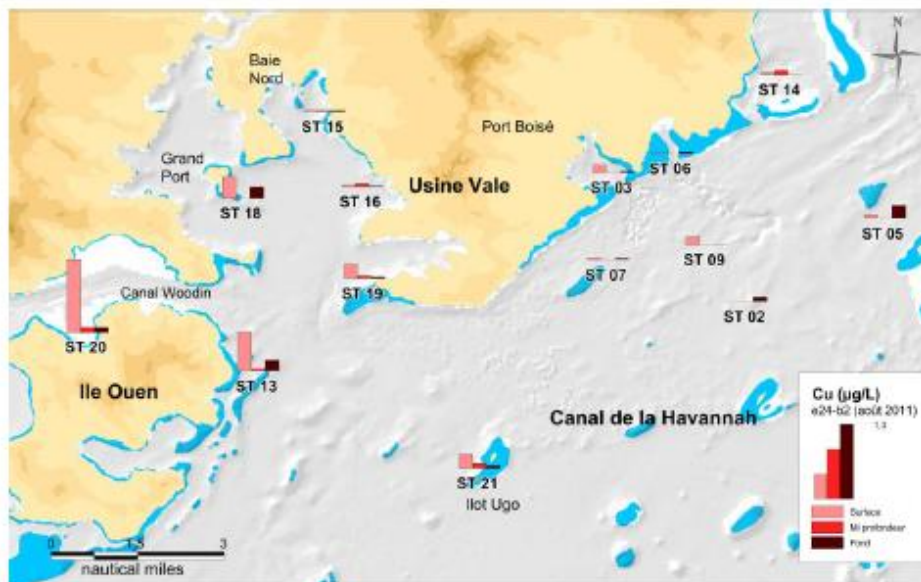
St05: Canal Havannah

St09: Canal de la Havannah (près du diffuseur)

Les deux figures suivantes (23 a et 23 b) présentent les concentrations en cuivre en 2011 et en 2012, en mars 2012 et comme précédemment en août 2001, elles sont plus élevées en surface dans la baie Iré (Nord de l'île Ouen) en dehors de l'influence du projet Vale Nouvelle-Calédonie.

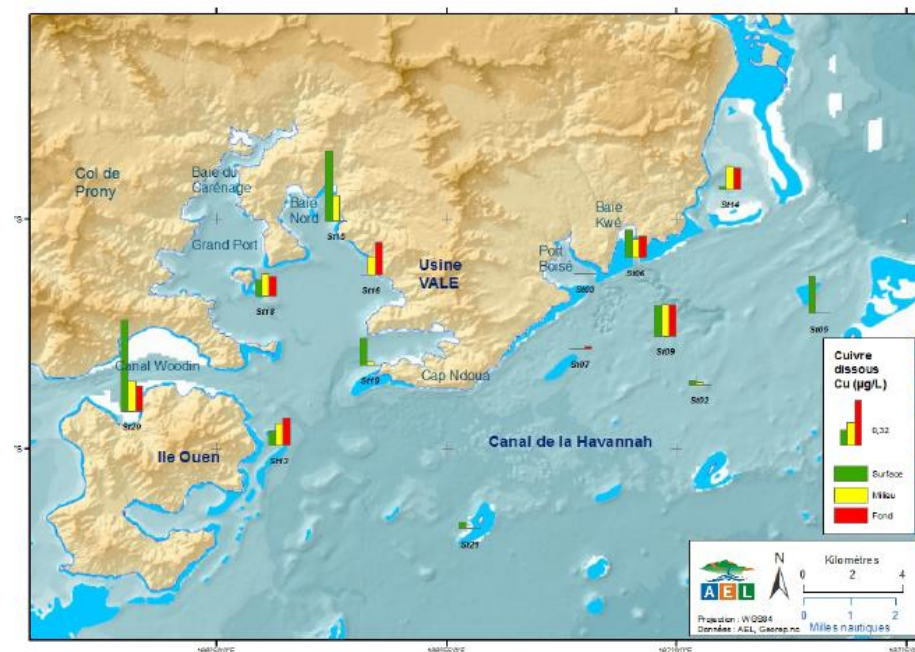
Figure 30: Concentrations en Cu sur toutes les stations en août 2011

Concentration de cuivre (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



Légende : la barre marron entière représente une concentration en Cu de 1,3 µg/L
La station St 20 nous avait alors intrigués car elle présentait 1,21 /L de Cu en surface.
En mars 2012 elle présente toujours une concentration en Cu maximale mais avec 0,63µg/L

Figure 31: Concentrations en Cu sur toutes les stations en mars 2012



Légende : la barre rouge entière représente une concentration en Cu de 0,32 µg/L

En mai 2012 les concentrations en Cu continuent à être suivies avec attention, elles sont en dessous du seuil de détection de 0, 25 µg/L. **La station qui nous intriguait, St 20, montre 0, 29 µg/L de Cu,**

– **Comparaisons interannuelles**

La seconde partie du rapport d'expertise est une analyse de l'évolution temporelle des indicateurs en réponse au cahier des charges et aux exigences du suivi réglementaire. Les conclusions d'expertises sont intégralement données dans ce rapport, en annexe n°2.

Les figures 24a, 24b et 24c suivantes montrent l'évolution temporelle des concentrations en métaux : Co, Mn et Ni 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 mai 2008 à mai 2012.

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

Les valeurs non marquées sont inférieures à la limite de quantification

Figure 32: Suivi annuel des métaux : Co, sur les stations caractéristiques des grands domaines :
St 09 (centre canal de la Havannah) ; St06 (Récif côtier de la baie Kwé), et St15 (Creek Baie Nord) ; durant les campagnes de mai 2008 à mai 2012.
 (S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond)

St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).

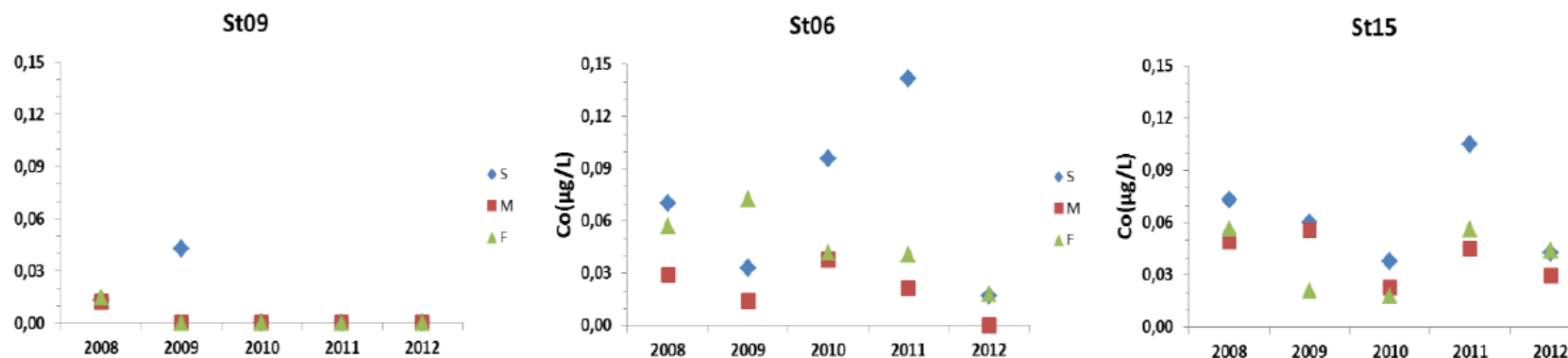


Figure 33: Suivi annuel des métaux : Mn sur les stations caractéristiques des grands domaines : St 09, St06 et St15 (Creek baie nord), durant les campagnes de mai 2008 à mai 2012. (S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond)

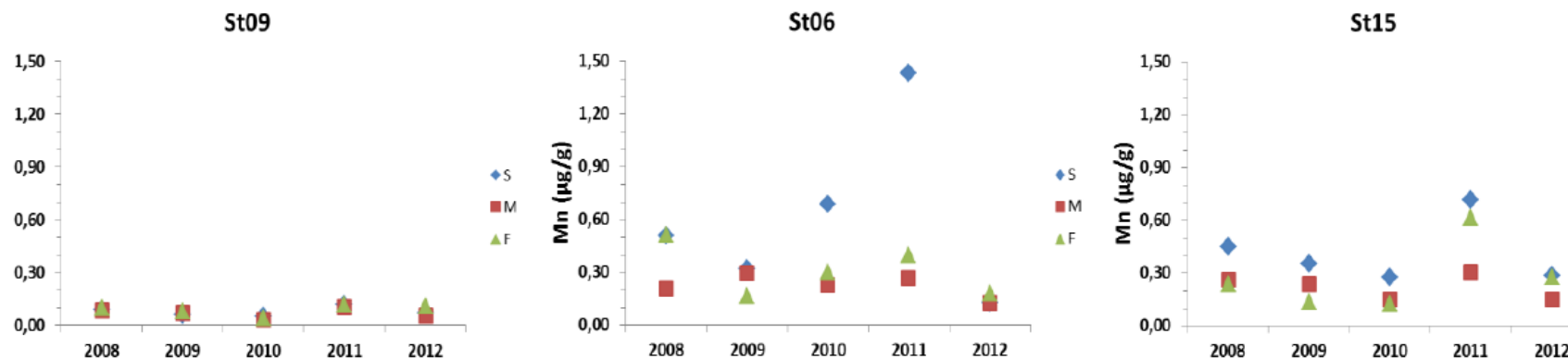
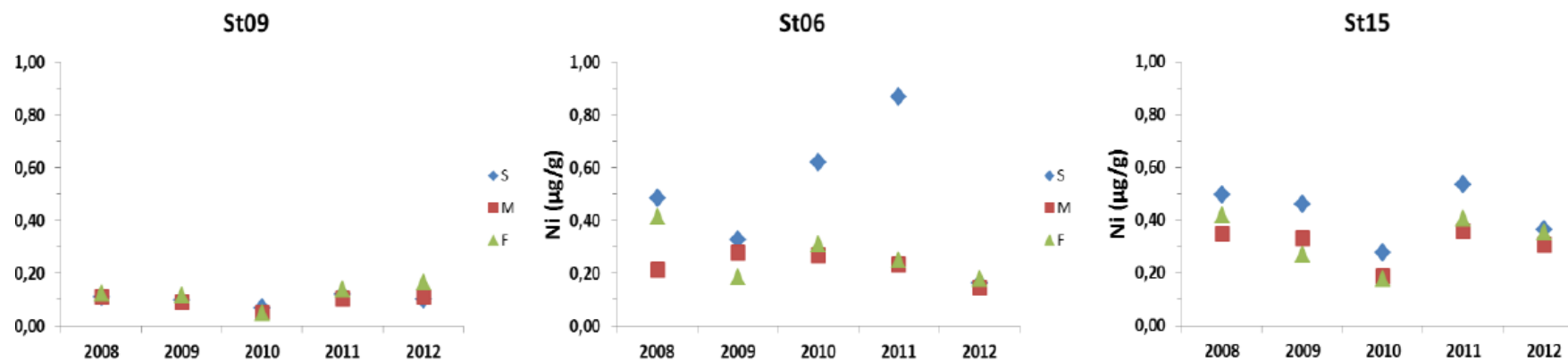


Figure 34: Suivi annuel des métaux : Ni sur les stations caractéristiques des grands domaines : St 09, St06 et St15 (Creek Baie Nord), durant les campagnes de mai 2008 à mai 2012. (S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond)



– **Conclusion**

- Les conditions météorologiques observées durant la campagne semestrielle de 2012 sont les plus proches, depuis 2007, des caractéristiques climatiques des zones tropicales. En effet, de fortes pluies ont marqué les jours précédant la mission de mars ainsi que les jours de mesure et de collecte des échantillons. Tandis qu'en août la saison a été sèche au moment des prélèvements. Ces conditions combinées à des températures élevées ont contribué au développement de phénomènes de minéralisation des sels nutritifs par augmentation des processus métabolique au niveau des interfaces « eau-sédiments ».
- Ces processus ont conduit à l'apparition de couches d'eau riches en nutriments (ammonium, nitrates + nitrites, ..) en profondeur dans les zones de faible hydrodynamisme comme la baie du Prony ainsi que celle de Port Boisé et de la Kwé. (néphéloïde)
- En ce qui concerne les éléments métalliques, les concentrations ne montrent pas de fluctuations significatives.

Cette constatation est particulièrement avérée aux stations sous influence terrigène (St15 et St06) et pour les éléments comme Co, Cr(VI), Mn et Ni. Les autres éléments (Cu, Zn, Cd et Pb) étant moins représentatifs car en bien moindre teneurs dans les sols latéritiques, la variabilité des concentrations dans l'eau de mer est plus grande ou bien leur présence est indétectable.

Les stations de prélèvement proches du diffuseur n'enregistrent pas de modification des paramètres physico-chimiques.

Au cours de la campagne du second semestre 2012, il n'apparaît 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 se trouvent 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.

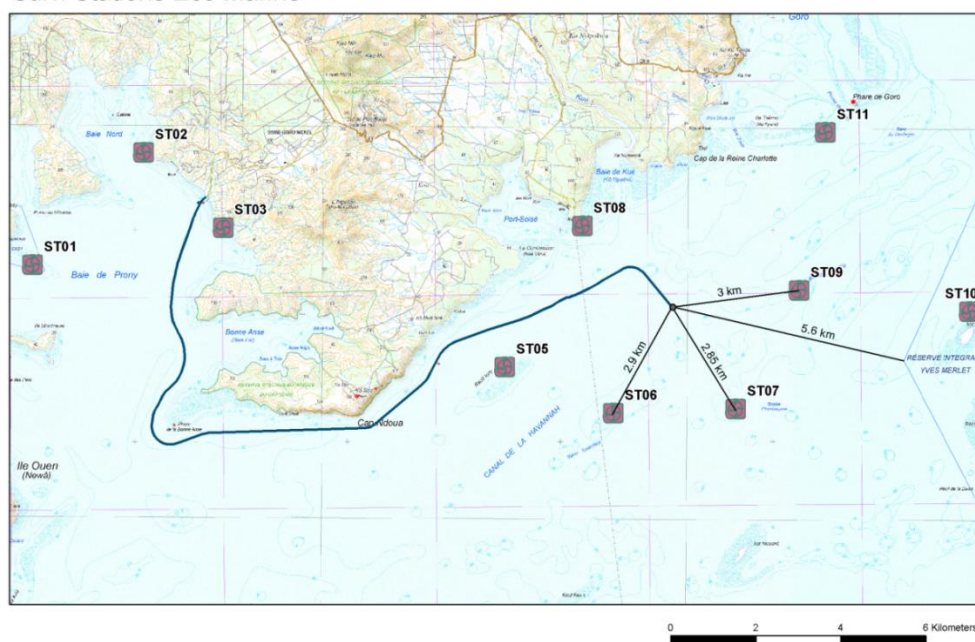
- La mission du premier semestre 2012 a eu lieu du **23 mars au 06 avril 2012**
- La mission de suivi du second semestre 2012 a dû être interrompue et reportée à deux reprises par les mauvaises conditions météorologiques (vent > 25 nœuds) et elle s'est déroulée entre le **5 et le 18 octobre**.

➡ **Pour 12 stations à évaluer, le temps imparti pour conduire une mission rigoureuse de suivi est de 6 jours au minimum.** Les conditions de la durée de l'étal ne permettent pas d'inventorier convenablement plus de 2 stations par jour. Les conditions météorologiques peuvent aussi interrompre les missions car le canal de la Havannah subit un hydrodynamisme puissant.

Tableau 23 : 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	Ilôt 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	Ilôt 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

Il convient de se remémorer qu'en janvier 2011 le cyclone *Vania* et de forts épisodes dépressionnaires (*dont la dépression Zelia*) avaient affecté le milieu en laissant des traces significatives sur les écosystèmes notamment les récifs coralliens des *transects* les moins profonds.

- **En mars 2011** : 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.
- **En octobre 2011** : 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 fin 2011.
La couverture de cyanophycées n'avait pas profité de cet affaiblissement corallien.
- **En mars 2012** : Des signes nets d'amélioration de la santé récifale sont observés : baisse du blanchissement, baisse du recouvrement des cyanobactéries, aucune prolifération des prédateurs « corallivores » et stabilité, voir légère augmentation, de la richesse spécifique corallienne ; la richesse spécifique des biocénoses benthiques s'intègre dans les variables saisonnières.
- **En octobre 2012** : Désormais, les récifs se stabilisent avec toutefois de nombreuses séquelles. Comme pour la mission de mars 2012, les trois systèmes montrent des signes de résilience récifale surtout les récifs de la baie de Prony et du canal Woodin. Concernant le canal de la Havannah, les signes d'améliorations sont également distincts mais les perturbations ont laissé de profonds stigmates.
La réponse de l'état de santé des colonies coralliennes aux perturbations est décalée entre les trois systèmes. Lors des événements dépressionnaires (début 2011), les colonies coralliennes de Prony et du canal Woodin ont été perturbées sur une plus longue période de temps (apports d'eau douce) mais avec un stress beaucoup moins brutal que la destruction mécanique induite par les agents hydrodynamiques dans le canal de la Havannah. Par la suite les conditions environnementales sont redevenues à la normale pour les trois systèmes 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) avec les réactions en chaîne. La résilience des colonies du canal de la Havannah est depuis mars 2012 plus difficile que les deux autres systèmes (Prony et canal Woodin).
- Suite à un événement 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 entraîné une pluviométrie quasi égale à celle de Vania / 2011 mais des vents de moindre force, le suivi du premier semestre 2013 enregistrera ses conséquences. Une mission spéciale a été conduite et donnera ses résultats en 2013.

3.2.2.2. Bilan des observations par station suivie (au second semestre 2012)

La baie du Prony

- **La station ST01 (Casy Sud)** : le recouvrement corallien est toujours faible et le sable est dominant. Avec 78% de substrat abiotique cette station au Sud de l'îlot Casy n'a jamais présenté un intérêt fort pour un suivi Eco systémique.
 - Les coraux scléractiniaires sont cependant en légère hausse lors de cette mission.
 - Les cyanobactéries sont peu abondantes et le recouvrement des alcyonaires et macrophytes (algues brunes) est très important.
 - Le suivi de la croissance de colonies coralliennes sur piquets donne 2,57cm/an.
- **La station ST02 (Creek Baie Nord) présente la richesse spécifique corallienne la plus importante des stations de la baie de Prony** (112 espèces coralliennes dont 108 espèces de scléractiniaires). C'est la station qui présente le plus fort taux de recouvrement corallien scléractinaire avec un taux (41.5%) de coraux « durs » sur le transect A. Ce seul transect de 20 m montre : 95 espèces coralliennes dont 91 espèces de Scléractiniaires et 3 espèces de millépores. 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.
 - Présence de 1 spécimen de *Culcita novaeguineae* (étoile de mer qui peut consommer du corail) ;
 - Absence de cyanobactéries.
- **La station ST03 à l'Est du port de Prony** montre une originalité des espèces coralliennes adaptées à un milieu turbide
 - Le recouvrement en algues brunes (*Lobophora variegata*) est toujours aussi important ;
 - La mortalité corallienne est induite par l'apport d'eau douce au niveau bathymétrique supérieur et par l'hyper sédimentation en profondeur ;
 - Présence de *Culcita novaeguineae*.
- **Pas d'Acanthaster** (étoile de mer dévoreuse du corail)
- La biodiversité α des poissons est stable avec de nombreux juvéniles. Cependant pour le domaine des poissons, et comme pour les années précédentes ce sont les **3 stations de la baie de Prony qui présentent les plus faibles chiffres en richesse spécifique, abondance, densité et biomasse.**
- **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**

Quelques chiffres sur la biodiversité benthique en baie du Prony

- En octobre 2012, la richesse spécifique du site Prony (3 stations) est composée de 152 espèces coralliennes, 75 espèces d'invertébrés, 12 espèces de macrophytes et de 2 espèces de cyanobactéries. Tous les groupes sont représentés. Cette richesse spécifique se répartie de la manière suivante :
 - 152 espèces coralliennes (dont 144 espèces de scléractiniaires, 3 espèces de millépores (branchu et encroûtant), 2 espèces de gorgones, 2 espèces d'antipathaires, une espèce de stolonifère).
 - Les familles scléractiniaires (144 taxons au sein de 13 familles)

- 75 espèces d'invertébrés dont 20 espèces de mollusques ; 19 espèces de cnidaires : alcyonaires (15 taxons), zoanthaires (2 taxons), actiniaires (1 taxon), hydrozoaires (1 taxon) ; 19 espèces d'échinodermes : holothurides (6 taxons), astéries (5 taxons), échinides (5 taxons), ophiurides (2 taxons), crinoïdes (1 taxon) ; 10 espèces d'éponges ; 7 espèces d'ascidies.
- 12 espèces de macrophytes : algues vertes (6 taxons), algues brunes (5 taxons), algues rouges (1 taxon).
- 2 espèces de cyanobactéries.
- **BAIE DU PRONY : Le blanchissement corallien affecte 8/144 espèces de Scléractiniaires (5,6%). Le blanchissement visuel moyen est de 0,21% de la surface totale observée.**

Stations du canal de la Havannah qui entourent la zone de rejet de l'effluent traité

- Les stations dans le canal de la Havannah sont très diversifiées, avec une dominance du substrat biotique. L'abiotique représente 17% en moyenne du recouvrement.
- Le peuplement corallien est adapté à un très fort hydrodynamisme.
- **Les coraux recolonisent les débris et les dalles retournées avec une forte compétition entre les coraux, les alcyonaires et les spongiaires;**
- La moyenne du taux de recouvrement corallien dans le canal de la Havannah est en hausse et elle dépasse toutes les précédentes mesures pour cette mission (18.8%).
- Les algues suivent leur fluctuation saisonnière et seront l'objet d'une analyse de leur évolution (depuis 2007) en fin d'année 2012 (rapport en 2013).
- De manière générale, la biodiversité est plus faible pour les niveaux bathymétriques les plus profonds. Les niveaux supérieur et médian sont généralement très similaires et leur variation dépendra de leur degré d'exposition aux agents hydrodynamiques ou à la dessalure des eaux de surface.
- **Les stations ST06 et ST07 (Ionotea et Chambeyron) présentent une richesse spécifique en poissons équivalente à celle de l'îlot Kié, et en biomasse ST06 est en tête.**
- La ST11 (Ioro) possède l'indice d'équitabilité (poissons) le plus élevé : c'est donc une station avec une structure des populations relativement homogène.
- **Aucune espèce exogène n'a été observée**

Quelques chiffres sur la biodiversité benthique du canal de la Havannah

- La richesse spécifique du site Havannah (8 stations) est composée de 212 espèces coralliennes, 120 espèces d'invertébrés, 25 espèces de macrophytes et d'une espèce de cyanobactéries. Tous les groupes sont représentés. Cette richesse spécifique se répartie de la manière suivante :
 - 212 espèces coralliennes (dont 202 espèces de scléractiniaires, 3 espèces de millépores (sub massif, branchu et encroûtant), 4 espèces de gorgones, 2 espèces d'antipathaires, une espèce de stolonifère).
 - Les familles scléractiniaires (202 taxons au sein de 14 familles)
- 120 espèces d'invertébrés dont 36 espèces de mollusques ; 24 espèces de cnidaires : alcyonaires (11 taxons), actiniaires (8 taxons), hydrozoaires (3 taxons), zoanthaires (2 taxons) ; 30 espèces d'échinodermes : astéries (9 taxons), holothurides (9 taxons), échinides (7 taxons), crinoïdes (3 taxons), ophiurides (2 taxons) ; 1 espèce d'éponges ; 14 espèces d'ascidies ;
- 25 espèces de macrophytes : algues vertes (14 taxons), algues rouges (7 taxons), algues brunes (4 taxons).
- 1 espèce de cyanobactéries.
- **CANAL HAVANNAH : Le blanchissement corallien affecte 13/202 espèces de scléractiniaires (6,4%). Le blanchissement visuel moyen est de 0,34% de la surface totale observée.**

Le cas de la station ST10 îlot Kié (en réserve Merlet)

- La richesse spécifique et le recouvrement des coraux sont très élevés (99% et 95% de biotique pour les *transects* A et B) mais le *transect* inférieur est surtout sableux.
- Les dégradations des communautés benthiques sur l'ensemble de la station lors des événements dépressionnaires du début d'année 2011 sont toujours observables et il sera intéressant de constater si la dépression Freda du 2 janvier 2013 a aussi laissé des effets.
- Recrutement des espèces coralliennes modéré aux *transects* A et C et faible en B
- Le blanchiment corallien affecte 12/131 espèces de scléactiniaires (9,2%) et le blanchiment visuel moyen est de 1,3% de la surface totale observée
- L'algue rouge *Asparagopsis taxiformis* est absente de la station, par contre l'algue *Lobophora variegata* colonise quelques colonies d'*Acropora* branchus
- Les cyanobactéries ont un recouvrement modéré sur les trois *transects* et se concentrent sur les colonies scléactiniaires dégradées
- L'éponge *Clathria rugosa* est en forte augmentation pour les *transects* B et C
- **Présente d'un spécimen d'*Acanthaster planci* au transect A (étoile ravageuse du corail)**
- Avec 220g/m2 de poissons c'est une station riche d'un point de vue ichtyo faune mais en biomasse le record est à la Station ST06 (lonon tea) avec 353 g/m2. En richesse spécifique (53) et en densité c'est l'îlot Kié qui est en tête de toutes les stations pour le domaine des poissons. De même pour la biodiversité.

Le tableau suivant présente les « indicateurs poissons » sur liste restreinte (densité, biomasse, et biodiversité 1 sur liste restreinte, + la biodiversité des poissons observés sur liste exhaustive) en réserve Merlet, station extrêmement importante, et l'évolution de ces indicateurs depuis 2007. Un tel tableau synthétique avec les courbes d'évolution associées est disponible pour chacune des stations dans le rapport intégral.

Tableau 24 : et graphes associés : récapitulation des données ichthyologiques sur la station ST10 en réserve Merlet, (depuis 2007).

Ilot Kié ST10		Liste DENV				Toutes espèces	
		Transect TLV				Station	Station
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2012b	Transect A	583	6,89	107,42	26		
	Transect B	202	2,47	138,10	20		
	Transect C	174	2,19	414,68	24		
	Moy. ABC	319,70	3,90	220,10	53	90	134
2012a	Transect A	835	9,23	195,21	30		
	Transect B	239	2,72	107,76	20		
	Transect C	297	2,84	73,27	21		
	Moy. ABC	457,00	4,93	125,40	52	102	146
2011 b	Moy. ABC	289,00	3,48	357,27	58	90	145
2011 a	Moy. ABC	461,67	5,47	1014,91	59	96	131
2010 b	Moy. ABC	384	3,46	576,45	67	78	113
2010 a	Moy. ABC	109,33	2,94	298,40	52	107	167
2009	Moy. ABC	120,00	8,30	291,10	49	92	116
2008	Moy. ABC	534,33	9,37	451,97	37	64	71
2007 ²	Moy. ABC	353,00	5,57	881,82	46	65	84

Abondance : nombre d'individus par transect selon la liste réglementaire restreinte

Densité : en poissons /m² par transect selon la liste restreinte

Biomasse : en grammes /m² par transect et selon la liste restreinte

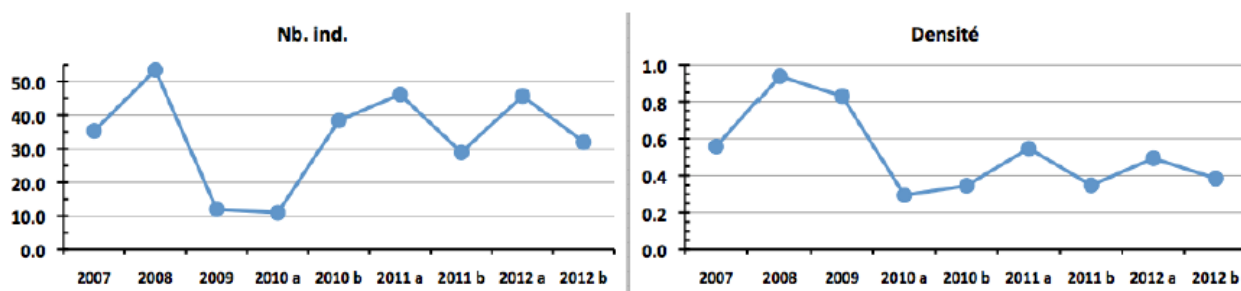
Biodiversité 1 : espèces observées sur les transects et selon la liste réglementaire restreinte.

Biodiversité 2 : espèces observées sur la station entière et selon la liste réglementaire restreinte

Biodiversité 3 : toutes les espèces observées sur la station et selon la liste exhaustive depuis 2007

Les figures suivantes présentent l'évolution des indicateurs « poissons » sur la station ST10, le rapport intégral (en annexe) montre ces évolutions pour chacun des 12 stations.

Figure 35: Récapitulation des données ichthyologiques sur la station ST10 en réserve Merlet, (Depuis 2007).



Abondance : nombre d'individus par transect selon la liste réglementaire restreinte

Densité : en poissons /m² par transect selon la liste restreinte

Biomasse : en grammes /m² par transect et selon la liste restreinte

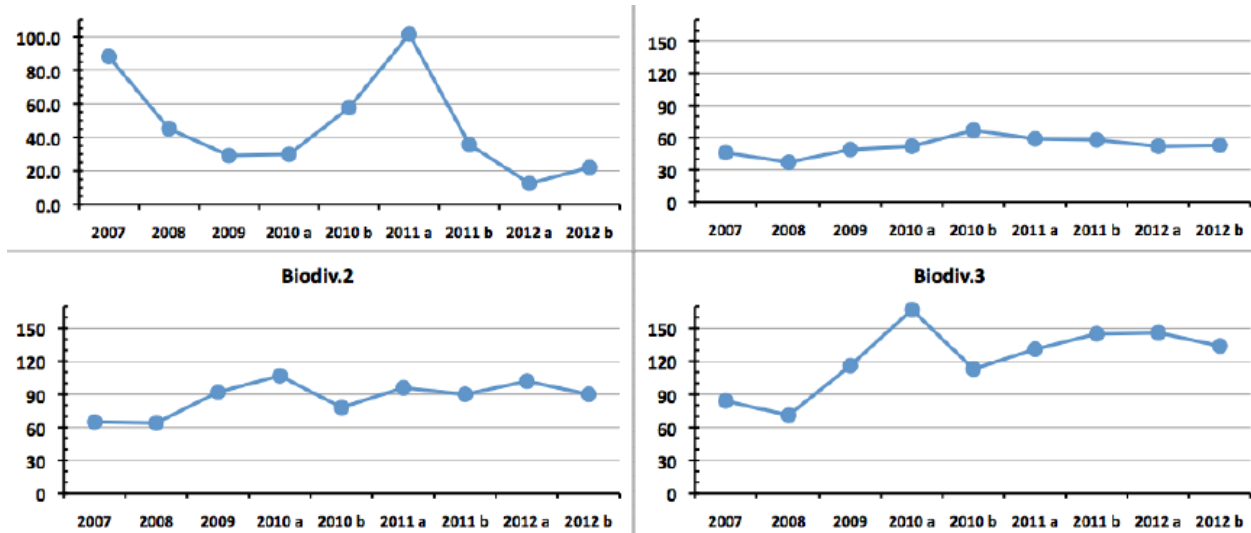
Biodiversité 1 : espèces observées sur les transects et selon la liste réglementaire restreinte.

Biodiversité 2 : espèces observées sur la station entière et selon la liste réglementaire restreinte

Biodiversité 3 : toutes les espèces observées sur le station et selon la liste exhaustive depuis 2007

Le tableau n° 266 du rapport intégral (annexe 3, partie 3.2, chapitres 6) récapitule les particularités de chaque station et leur évolution.

² Les données 2007 ont été reprises en éliminant les espèces qui ne figurent pas sur cette liste car le rapport 2007 ne tient pas compte de la liste DENV sur le TLV.

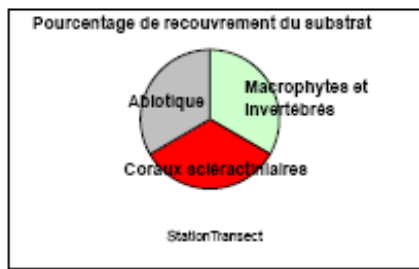


3.2.2.3. Comparaisons spatiales entre stations

De façon synthétique, il est possible de présenter les résultats de la mission de suivi du mois mars 2012 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 pages 342 et 343

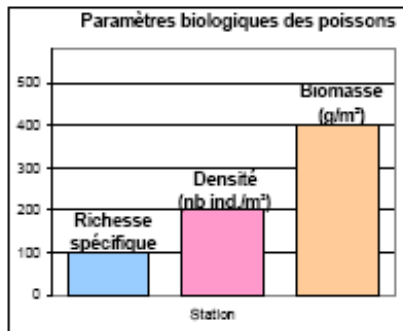
Figure 36: Représentation cartographique – légende



La légende de cette carte indique :

Le SUBSTRAT : camembert présentant le pourcentage

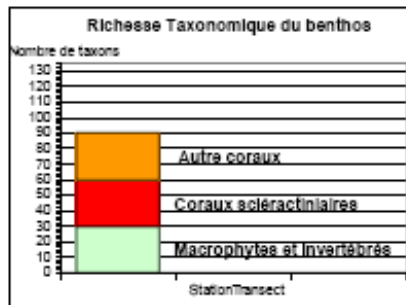
- Abiotique (en gris) du LIT sur chaque *transect* et à chaque station ;
- le pourcentage de coraux durs (Scléractiniaires) en rouge
- et les Macrophytes (algues) et Invertébrés.



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 37 : Résultats de la campagne de suivi, octobre 2012 (Baie de Prony : ST01, ST02 et ST03)

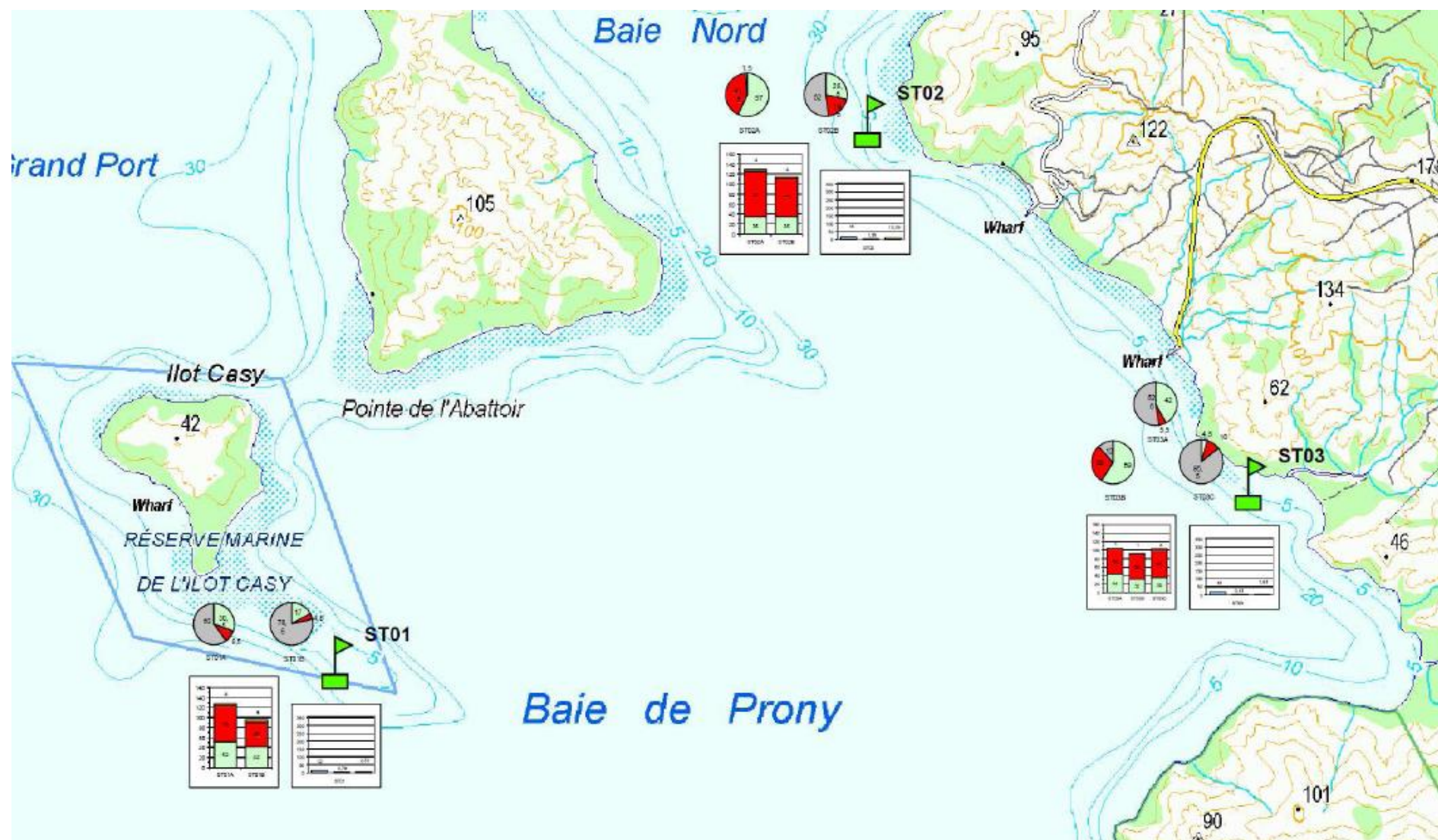
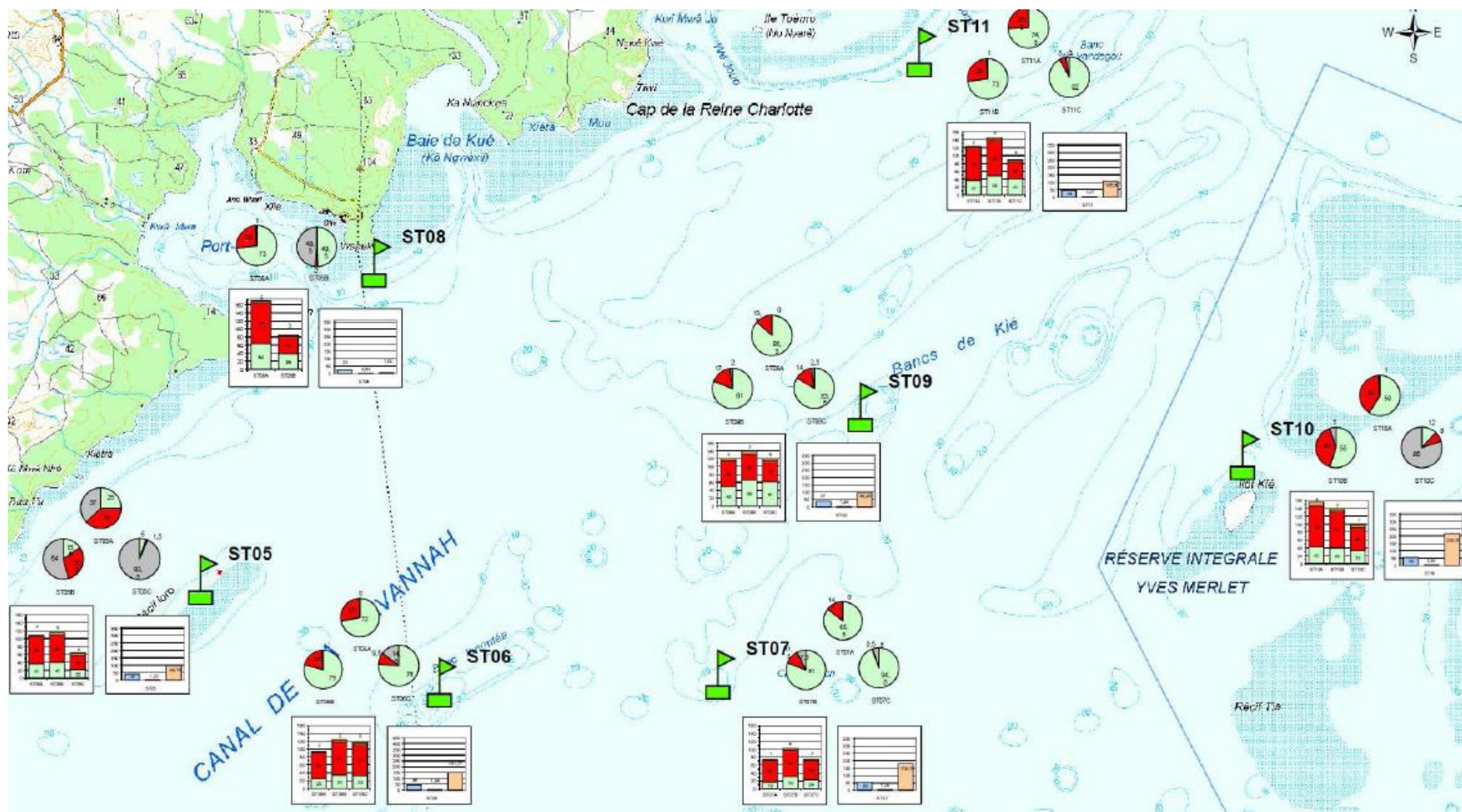


Figure 38: Résultats de la campagne de suivi, octobre 2012 (Canal de la Havannah)



Les figures suivantes comparent les stations entre elles en ce qui concernent :

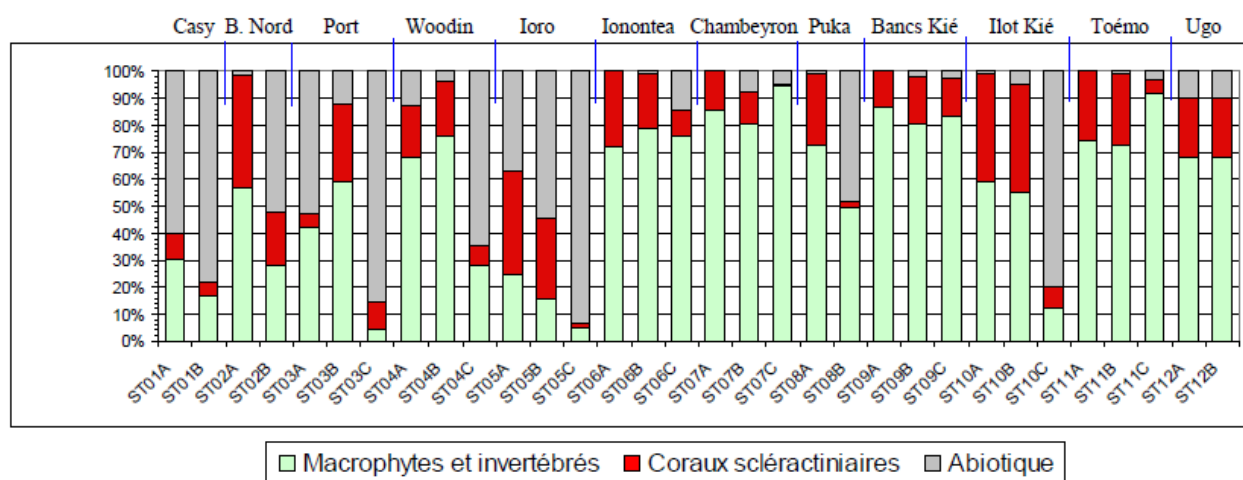
- le substrat (sur *transects* fixes LIT),
- le benthos (sur couloirs fixes) et
- les poissons (selon la liste restreinte imposée).

Figure 39 : SUBSTRAT

Comparaison entre stations pour le substrat, Octobre 2012

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 (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) ont globalement un substrat à majorité abiotique

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.

Figure 40: BENTHOS:

Comparaisons entre stations pour le benthos, Octobre 2012

3 grands groupes :

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

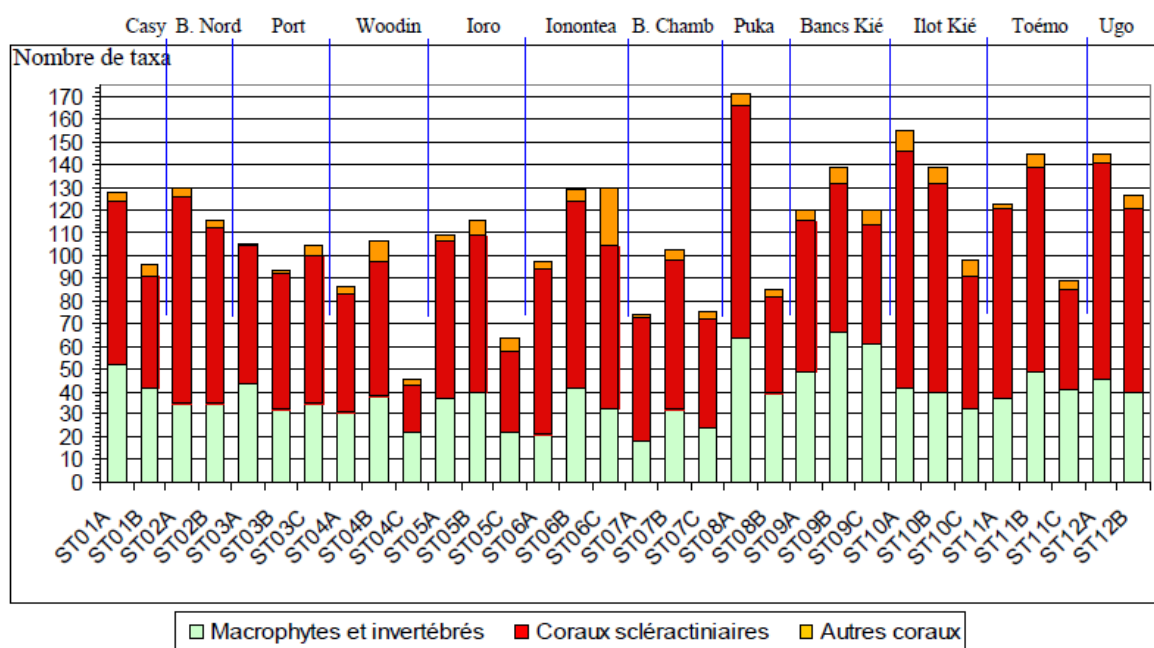


Figure 41: Détails au niveau des coraux : familles selon les stations

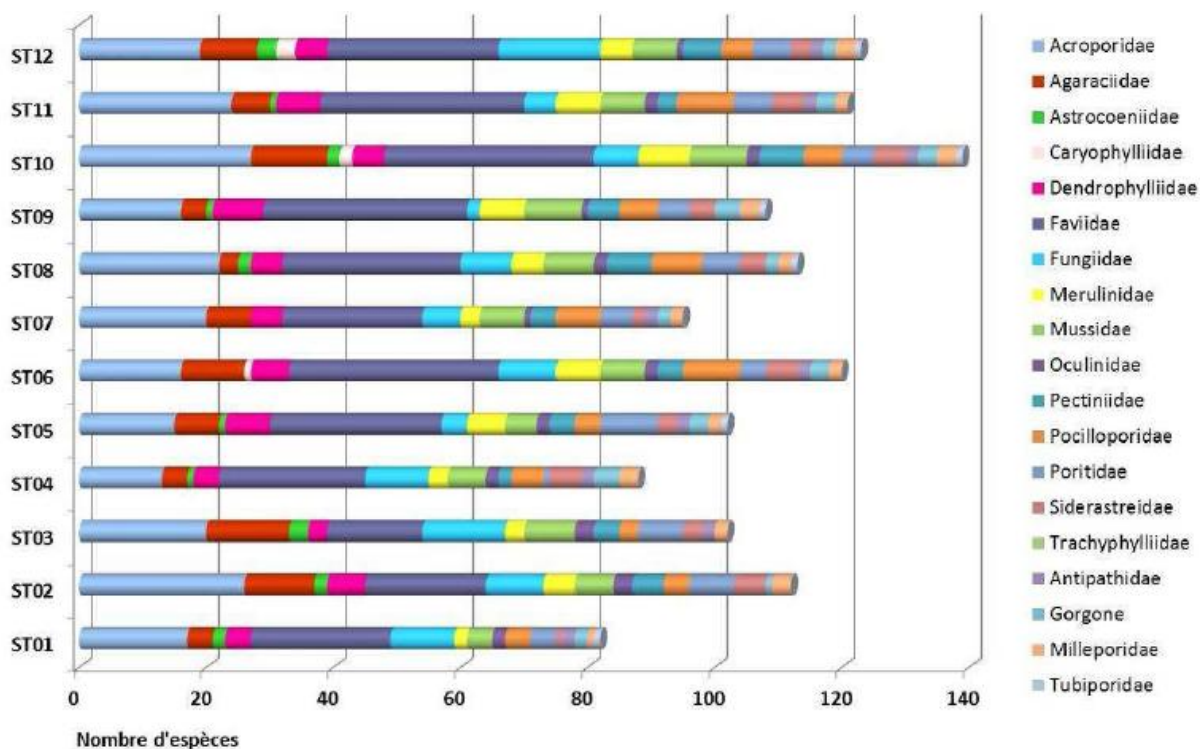


Figure 42 : Détails au niveau du benthos, selon des groupes d'Invertébrés (autres que les coraux) et par stations

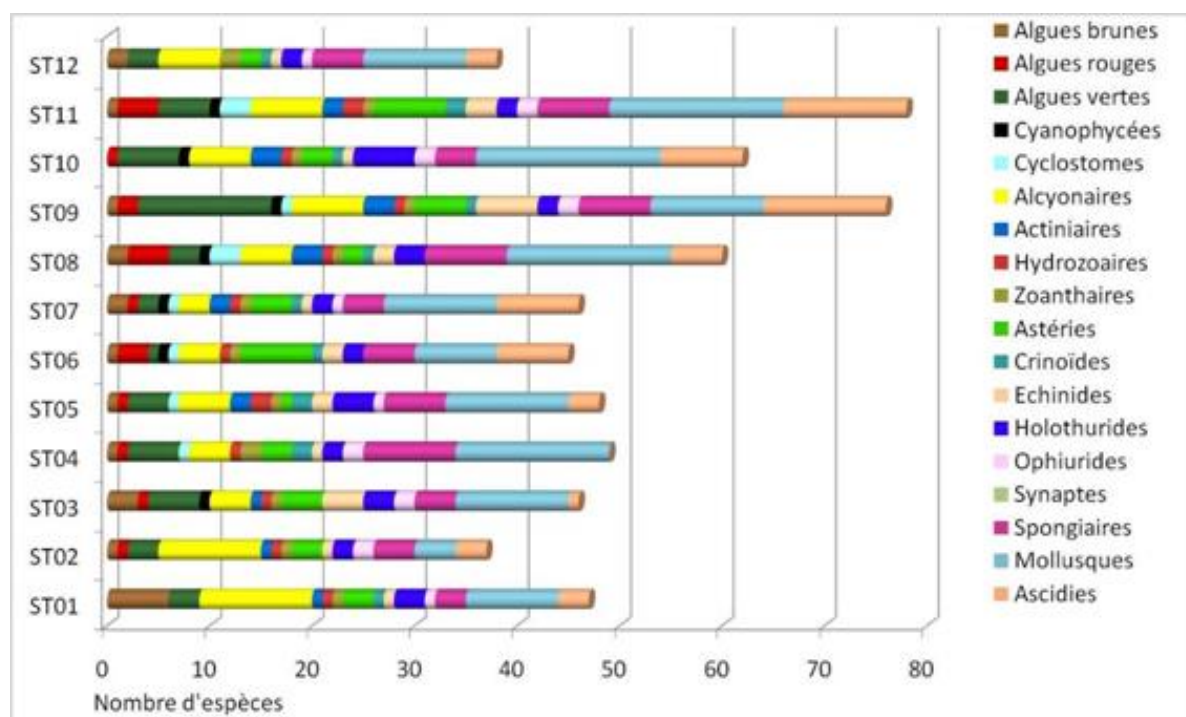
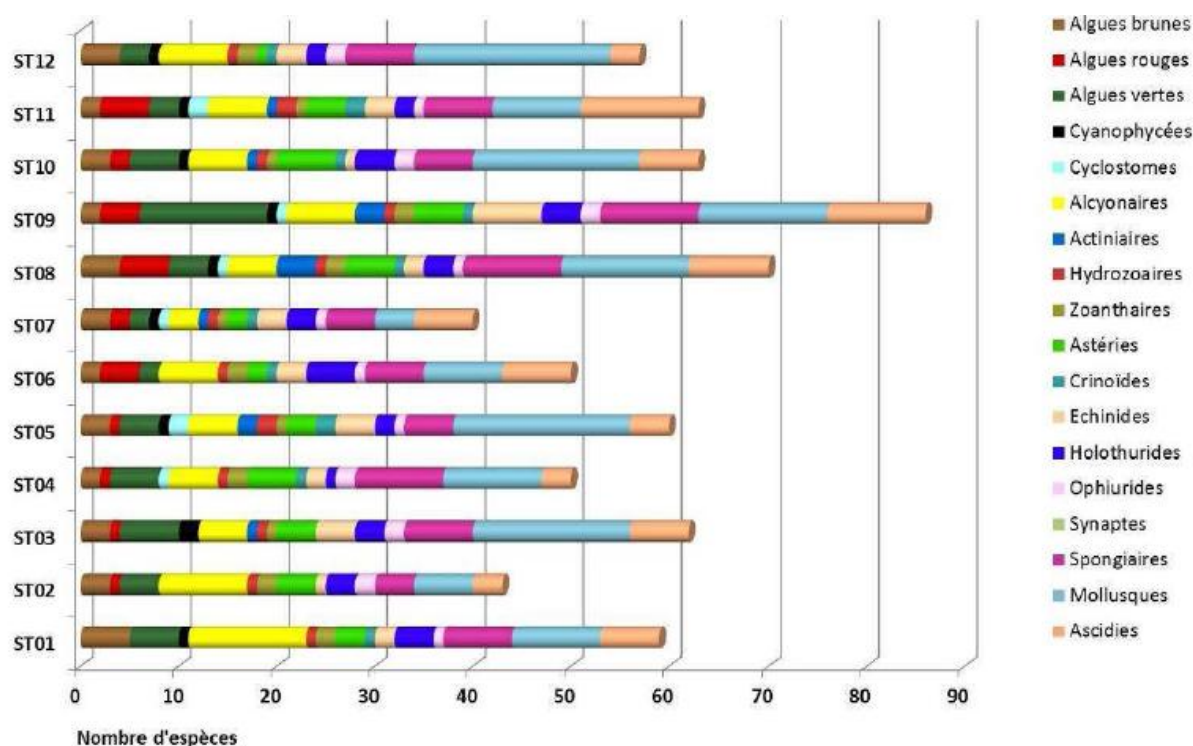


Figure 43 : Détails au niveau des Invertébrés et Macrophytes selon les 3 grands compartiments : Canal de la Havannah, canal Woodin et baie du Prony



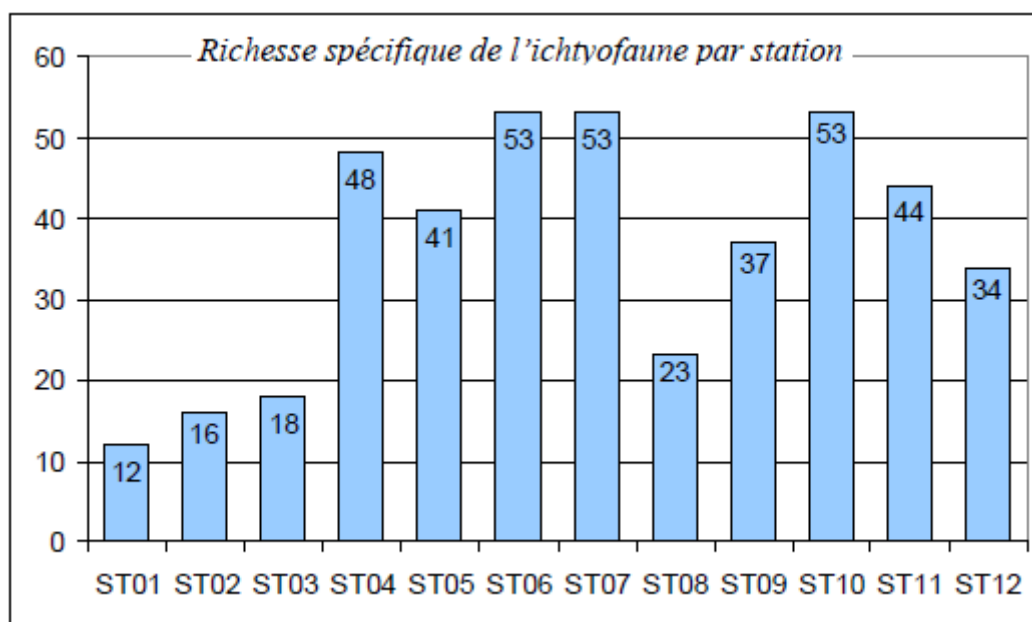
Les espèces inféodées à la baie de Prony développent des morphoses particulières dans le monde, la conjonction des paramètres environnementaux de cette baie rendant le développement des coraux unique. Certaines espèces sont considérées comme rares dans les eaux calédonniennes (*Alveopora catalai*, *Blastomussa merleti*...). 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 ST02 (Creek baie nord) recense un nombre très important d'espèces.

Tableau 25 : POISSONS
Récapitulatif des paramètres biologiques pour l'ichtyo faune. Octobre 2012.

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	134	197	97	297	320	619	361	101	473	959	292	245
Richesse spécifique	12	16	18	48	41	53	53	23	37	53	44	34
Densité (nb ind/m ²)	0,78	1,36	0,41	1,09	1,22	2,25	1,24	0,63	1,96	3,85	1,27	1,46
Biomasse (g/m ²)	2,72	10,09	1,61	105,52	99,73	353,11	179,16	7,00	99,46	220,07	108,09	49,33
Indice de Shannon	2,663	1,873	2,828	4,763	4,403	4,421	4,858	3,841	4,240	3,905	4,728	4,237
Indice Equitabilité	0,743	0,468	0,678	0,664	0,822	0,772	0,848	0,849	0,814	0,682	0,866	0,833

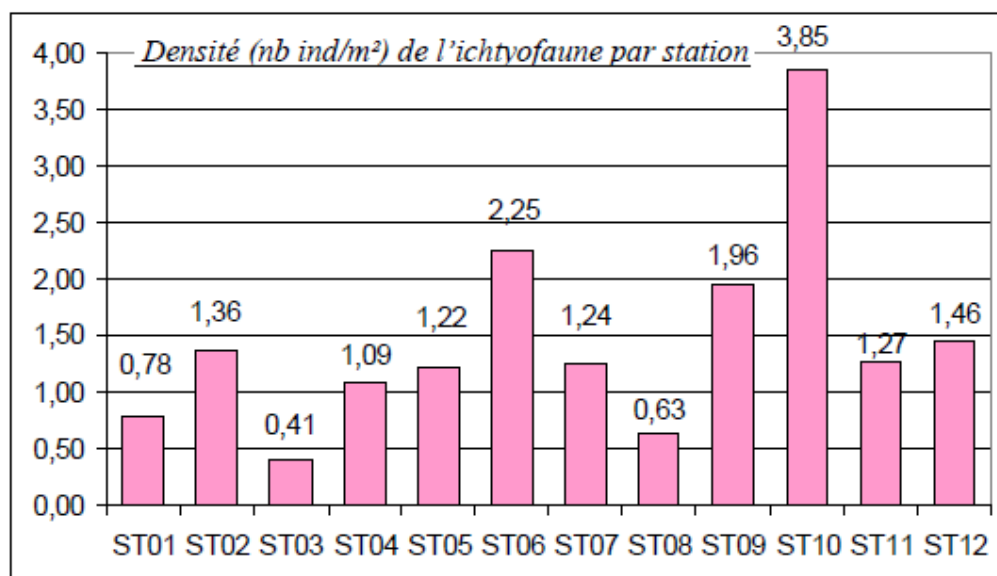
Pour cette mission, encore une fois c'est la station de l'îlot Kié qui est particulièrement riche en individus et donc en densité, ainsi qu'en diversité.

Le record de biomasse est cette fois-ci détenu par la station Ionontea (ST06),

Figure 44: Richesse spécifique de l'ichtyo faune par station, Octobre 2012


La réserve Merlet (ST10) est en tête, comme toujours, en ce qui concerne la richesse spécifique en poissons.

Figure 45: Densité de poissons (individus par m²) par station, Octobre 2012



ST01	Casy
ST02	B. Nord
ST03	Port
ST04	Woodim
ST05	Ioro
ST06	Ionontea
ST07	Chambeyron
ST08	Puka
ST09	Bancs Kié
ST10	Ilot Kié
ST11	Toémo
ST12	Ugo

Rappel du nom géographique des stations

Figure 46: Biomasse des poissons (liste restreinte réglementaire) par station.
Mission d'octobre 2012

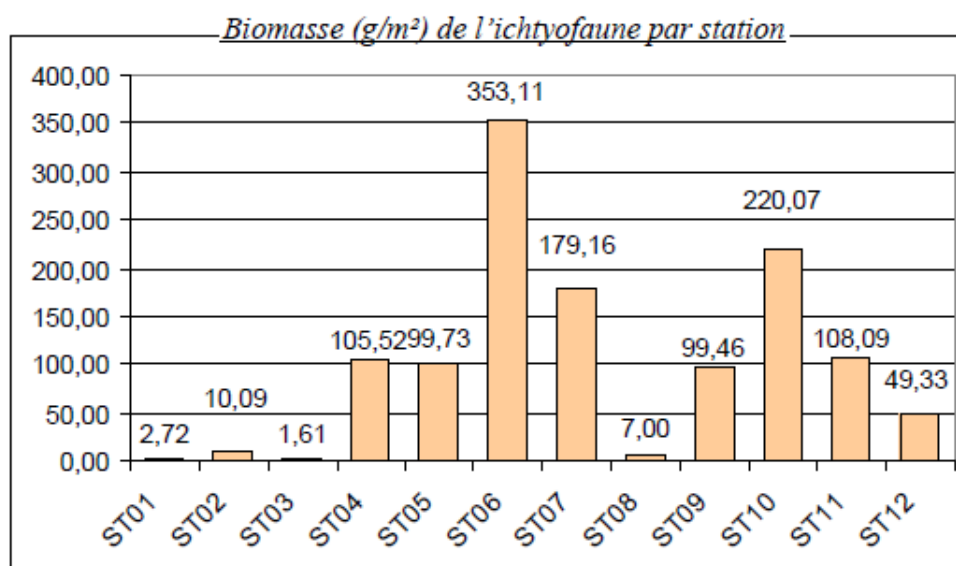
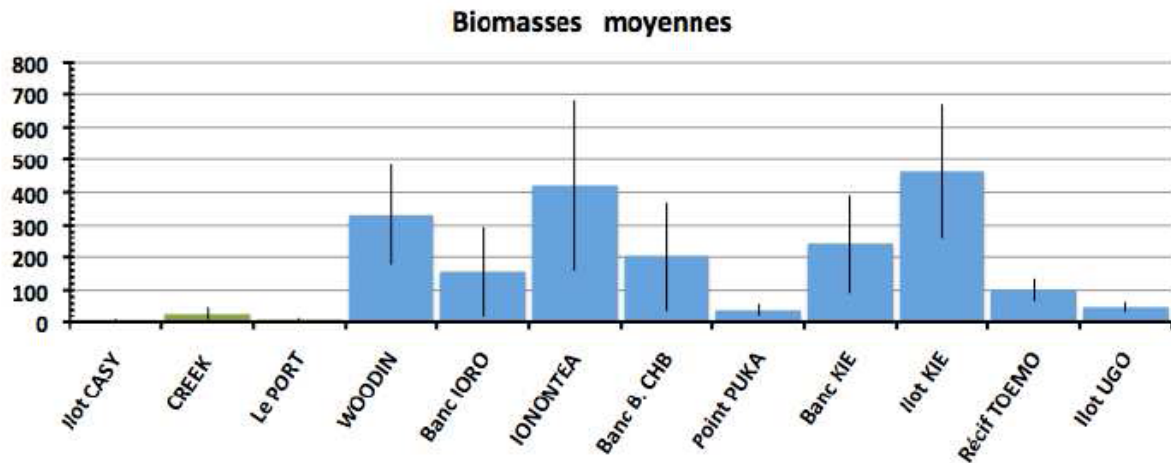


Figure 47: Biomasse moyenne des poissons depuis 2007 (liste restreinte réglementaire) par station avec l'intervalle de confiance.



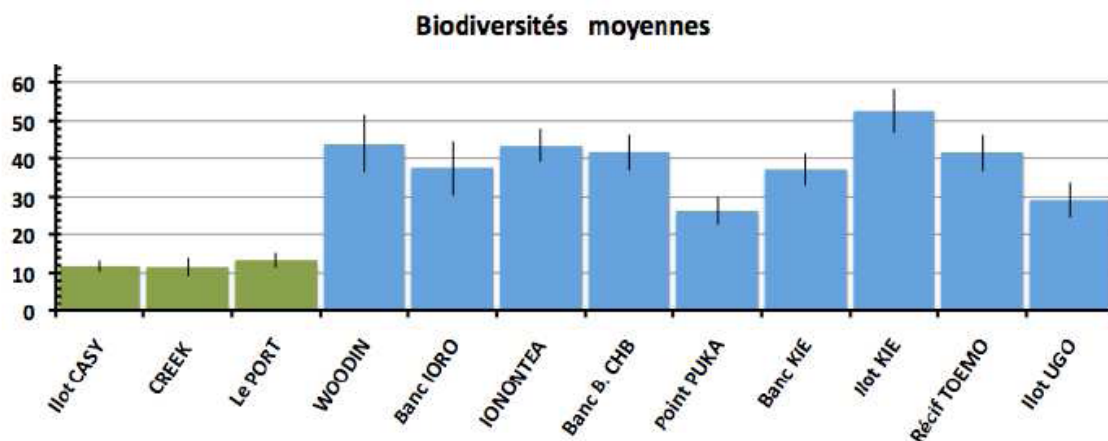
Représentation par station des biomasses moyennes depuis 2007 et de leur intervalle de confiance

En vert les stations de la Baie de Prony, en bleu les stations du Canal de la Havannah

Ponctuellement pour cette mission d'octobre 2012 c'est la station ST06 qui présente la plus forte biomasse, en mars il s'agissait de St 04 à cause du passage d'un banc de Caesio. Cependant la biomasse moyenne des poissons dans la réserve Merlet est la plus forte (suivis depuis 2007), tout comme la densité et la richesse spécifique en poissons.

Le tableau suivant montre le classement des stations suivies en fonction de leur biodiversité (biodiversité α) depuis 2007.

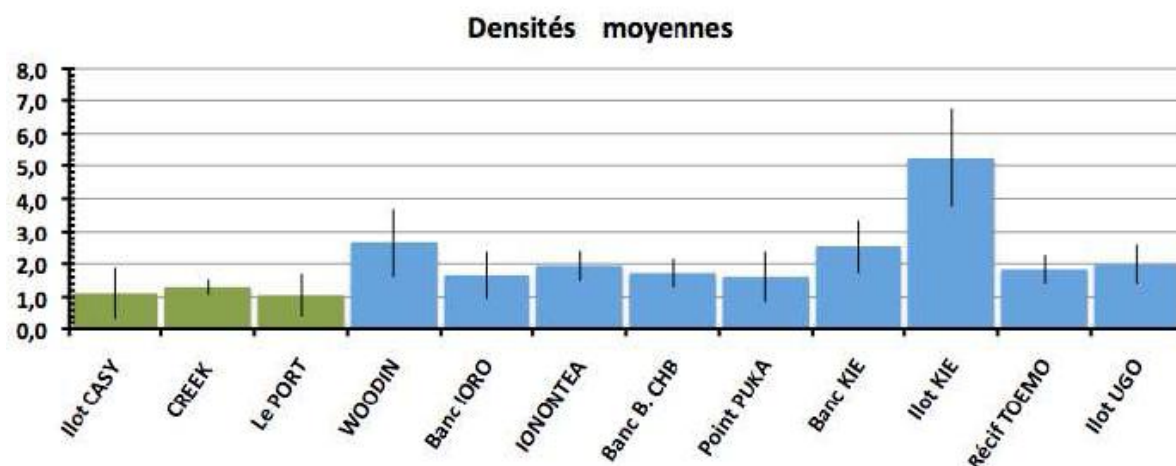
Figure 48: Classement des stations en fonction de leur biodiversité α



Représentation par station des biodiversités 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 49: Classement des stations en fonction de leur densité moyenne (depuis 2007)



Représentation par station des densités 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

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 trois 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 et des stations côtières.

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

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 des suivis semestriels est consacrée à l'étude des variations temporelles, grâce à l'historique du suivi des stations depuis 2007. (A partir du chapitre 6, page 344). 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 2 du présent rapport.
- La conclusion est au chapitre 8.
- Toute modification d'un paramètre supérieure aux variations saisonnières (– qui se dessinent de plus en plus clairement au fur et à mesure des campagnes –) et aux biais méthodologiques est systématiquement approfondie par les experts qui effectuent le suivi 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 anomalie ou incohérence entre ces deux types de suivis 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.
- Si une anomalie ou une variation apparaissait lors d'une mission d'évaluation, une nouvelle mission, supplémentaire serait 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. Dans cette démarche de suivis supplémentaire, suite au cyclone *Vania*, une mission d'évaluation du blanchissement corallien a été menée en baie du Prony en 2011. Une évaluation de l'état écologique de l'émissaire sous- marin a aussi été conduite en 2011.

- 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...).

L'évolution de l'envasement en baie du Prony (% du substrat Vase aux stations ST01, ST02 et ST 03) est aussi suivi au fil des ans.

✎ *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%.*

Les variations qui apparaissent sont peu nombreuses (5 transects concernés) et ce sont des augmentations du recouvrement biotique qui sont la résultante d'une hausse du substrat « corail mort avec algues », au détriment du sédiment (sable ou vase) précédemment rencontré. Recouvrement en coraux scléractiniaires (fourchette de variation entre - 4.0% et + 14.5%), avec une tendance générale qui semble être une légère hausse (+ 2.3%)

Les variations de recouvrement, liées aux algues, sont cycliques et ne paraissent pas avoir de cause liée à une pollution ou une dégradation d'origine anthropique du milieu. De même on observe régulièrement des mouvements dans le recouvrement par les sédiments fins (vase et/ou sable), liés aux grands phénomènes hydrodynamiques climatiques.

Les algues seront l'objet d'une analyse de leur évolution temporelle sur 4 ans (rapport en 2013).

- Richesse taxonomique du benthos

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 du couloir d'inventaire pour rechercher de la nourriture ou un abri... .

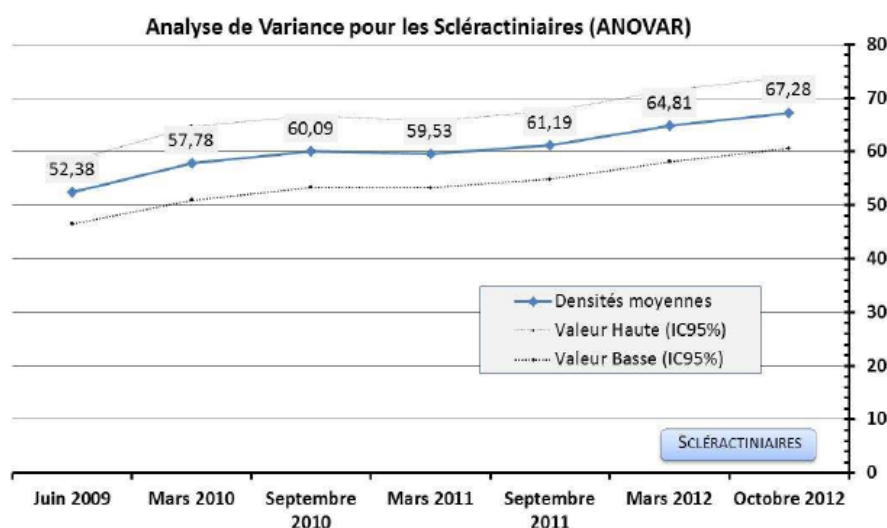
En considérant la variabilité saisonnière des macrophytes (algues) et la mobilité de certaines espèces (particulièrement les échinodermes et les mollusques), il est très important de s'attacher aux variations d'abondance et de richesse spécifique (RSp) des organismes fixés et présentant des variations épisodiques relativement faibles (les scléractiniaires, alcyonaires et spongiaires). Par exemple, si les données de richesse spécifique et d'abondance concernant les groupes des scléractiniaires, des alcyonaires et des spongiaires sont en diminution, c'est qu'il y a eu inévitablement une dégradation du milieu (anthropique ou naturelle). Après avoir fait ce constat, il faut par la suite chercher les causes de ces dégradations (mécanique, chimique, variations des paramètres environnementaux : augmentation de température de l'eau, apport d'eau douce, apport de particules...).

Le chapitre 6.2. du rapport intégral (en annexe de ce rapport) présente une synthèse de l'analyse de l'évolution des coraux depuis 2007, ce travail est permis grâce à la présence d'un expert reconnu en coraux calédonien.

Le chapitre 6.2.4 du rapport intégral (Cf. annexe 3, partie 3.2) présente une étude de l'évolution de la biodiversité depuis 2007, par transect. Deux analyses sont développées ; le test ANOVAR et le test de FRIEDMAN. L'hypothèse (H0) du test est de s'assurer que les variations observées d'année en année au niveau de chacune des stations sont bien aléatoires et donc pour chacune, le fruit du hasard et non qu'il existerait au cours du temps, une tendance globale à la hausse ou à la baisse des valeurs des paramètres choisis pour caractériser ces stations.

- **Pour les coraux** : la richesse spécifique corallienne paraît augmenter légèrement au fur et à mesure des missions entre 2009 et octobre 2012. 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 que suite à cet événement dépressionnaire, le récif se régénère progressivement (septembre 2011, mars 2012 et octobre 2012).

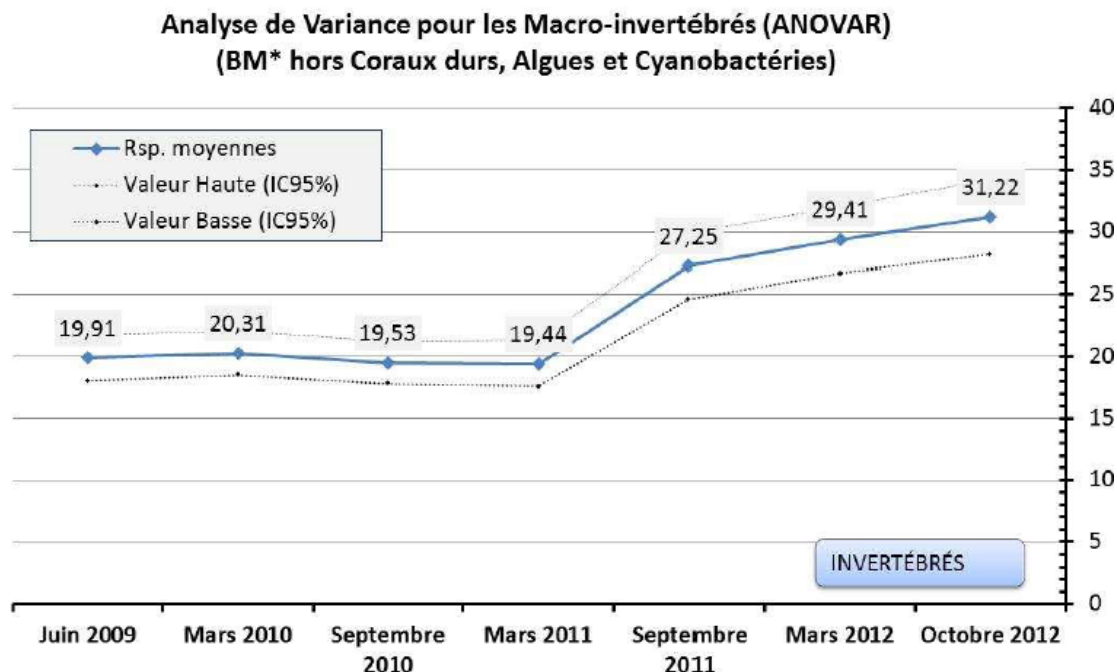
Figure 50: Valeur de la richesse spécifique moyenne des coraux durs (scléractiniaires) depuis 2007



- Pour les Invertébrés (sauf le corail dur)

Le même travail d'analyse a été conduit avec les Invertébrés (excepté les coraux durs)

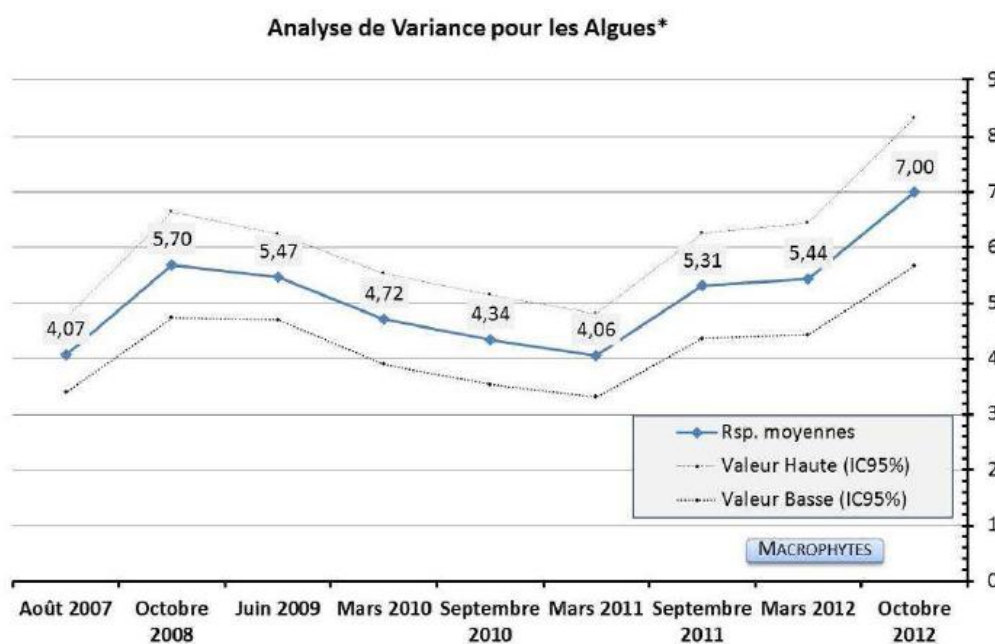
Figure 51: Valeur de la richesse spécifique moyenne des invertébrés (hors coraux durs) depuis 2007



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

- Pour les Macrophytes

Figure 52: Valeur de la richesse spécifique moyenne des Macrophytes depuis 2007



Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance

La présence d'un expert en coraux calédoniens durant les 8 dernières campagnes de suivis Vale Nouvelle-Calédonie donne un degré d'analyse très fin sur cet indicateur fixe et sensible. L'évolution temporelle de la richesse spécifique des coraux a été analysée sur tous les transects (cf. les figures suivantes).

- 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 connaît depuis de nombreuses missions notamment en baie du Prony.
- **Le blanchissement corallien.** Il est potentiellement réversible et différemment ressenti par les espèces. Il est à prendre en compte car il donne des indications sur l'affaiblissement des récifs. Les colonies blanchies ne sont pas vouées à mourir car leur résilience est importante et elles peuvent réintégrer rapidement leur zooxanthelles si les conditions environnementales redeviennent meilleures. La coloration des coraux varie selon les espèces et ne peut pas être un indicateur universel facile de blanchissement pour tous les coraux.

Le phénomène de blanchissement tend à s'amoinrir. Les colonies coralliennes ont réintégré leurs zooxanthelles. Désormais le blanchissement est anecdotique et relève de la sédimentation et de la prédation des « corallivores ». (Mission d'octobre 2012)

Les trois systèmes : La baie du Prony, le canal de la Havannah, le canal Woodin, montrent des signes d'amélioration de la santé récifale : baisse du blanchissement, baisse du recouvrement des cyanobactéries, aucune prolifération des prédateurs corallivores et stabilité voir légère augmentation de la richesse spécifique corallienne et la richesse spécifique des biocénoses benthiques s'intègre dans les variables saisonnières.

Remarque (janvier 2013) : Suite à la forte dépression tropicale Freda du 2 janvier 2013 accompagnée d'une pluviométrie comparable à celle du cyclone Vania, une mission de suivi de l'embouchure du creek Baie Nord et de la baie du carénage est en cours d'analyse, elle donnera des informations sur ce phénomène de blanchiment du corail en corrélation avec les apports naturels d'eaux douces en baie du Prony, 5 missions de ce type ont déjà été effectuées.

Figure 53: Comparaison des richesses spécifiques des coraux, par station, entre aout 2007 et octobre 2012

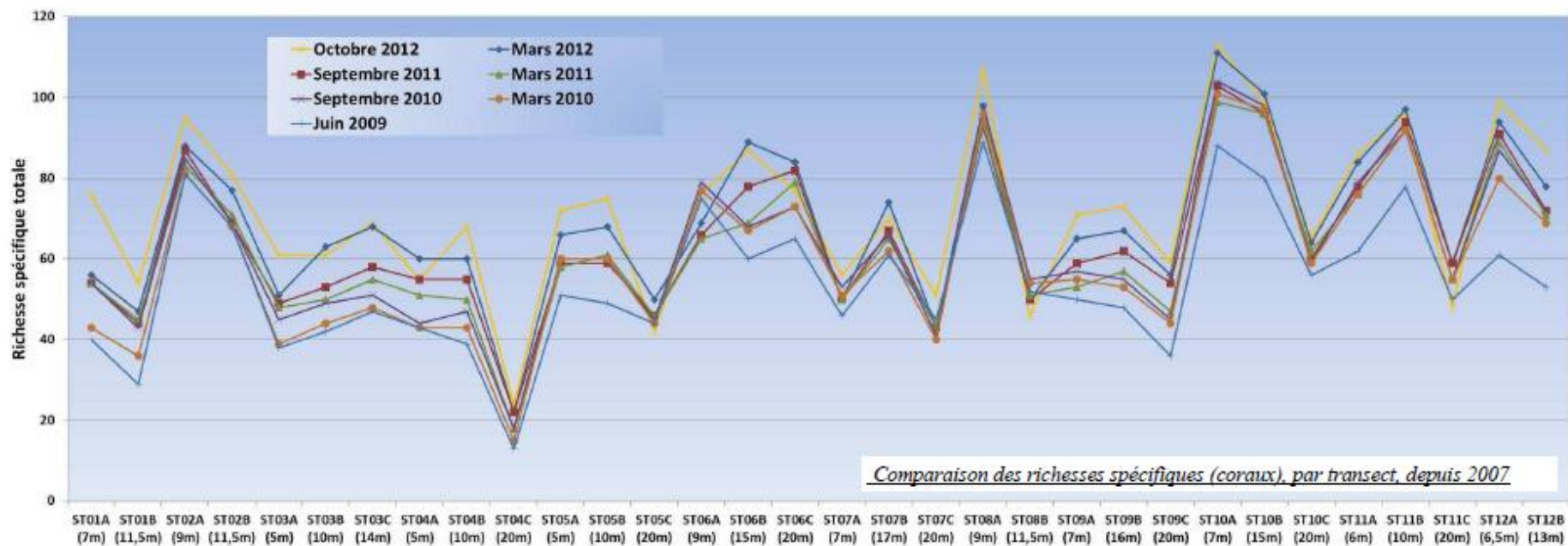


Figure 54 : Comparaison des richesses spécifiques des taxons du benthos (hors coraux), par station, entre août 2007 et octobre 2012

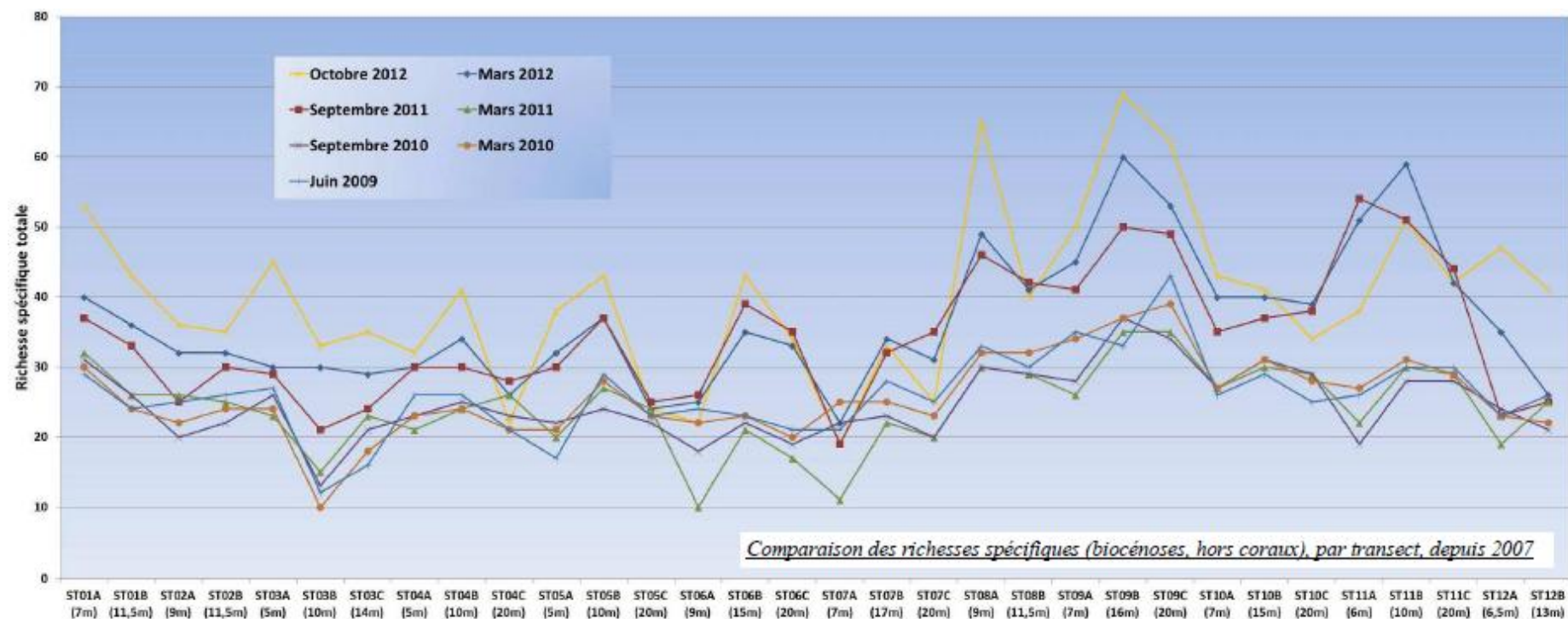
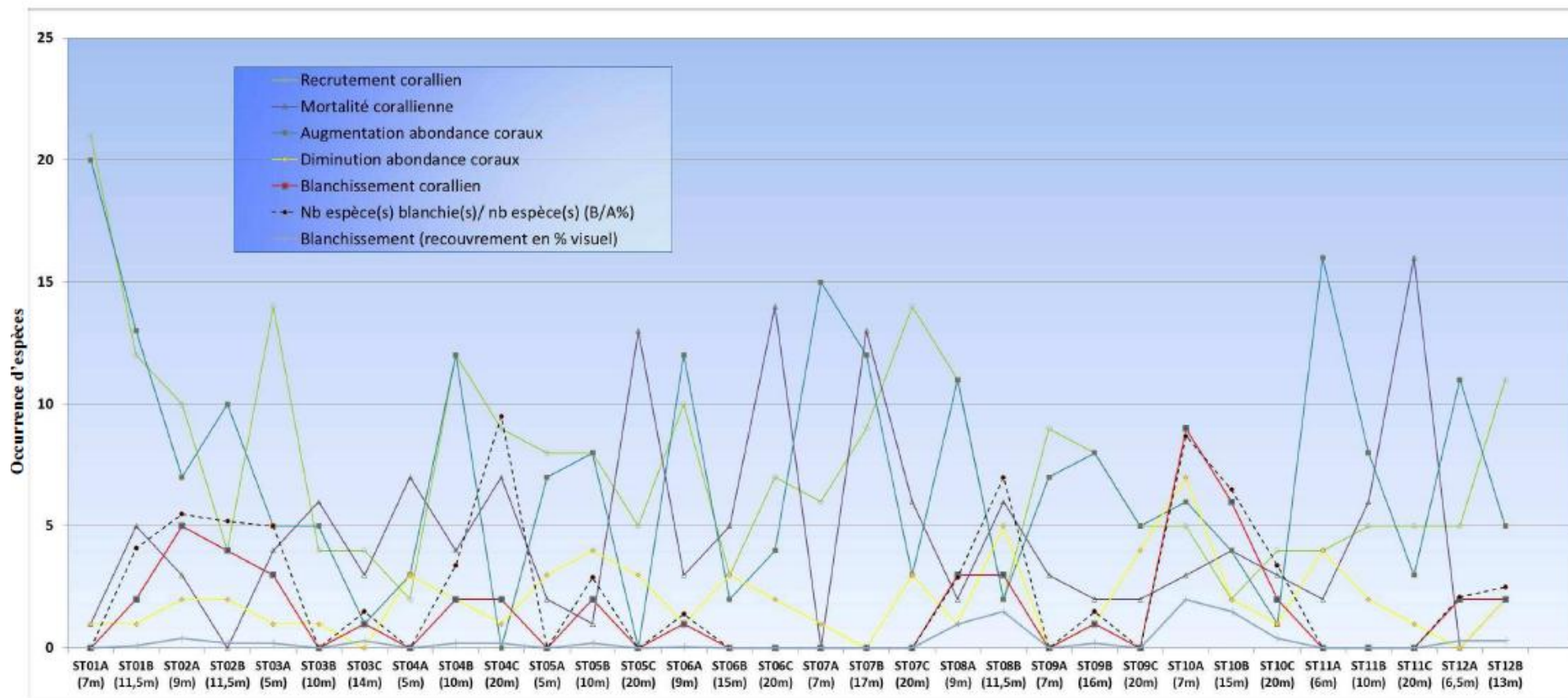


Figure 55: Evolution temporelle des indicateurs de santé des coraux entre octobre 2012 et mars 2012 sur tous les transects

Le blanchiment corallien par *transect* et le % de blanchiment sont indiqués



- Cyanobactéries et algues

Elles sont caractéristiques d'un dérèglement du système environnemental lorsque leur développement est en hausse par rapport à leurs variations naturelles importantes (milieu riche en composés organiques dissous et plus particulièrement en composés azotés...). Leur développement est favorisé par l'augmentation de la température de l'eau et les dégradations d'origine variée des récifs coralliens. Leur développement en faible proportion est un phénomène naturel à surveiller mais qui n'a pas d'incidence sur l'environnement à ce stade (résultats cohérents avec ceux de la thèse d'A.S. Kerbrat, 2010).

Les macrophytes montrent de grandes variations d'abondance et de biodiversité qui évoluent selon :

- a) La saisonnalité : **les algues rouges sont très abondantes durant l'été austral mais disparaissent quasiment durant la période hivernal**. Les **algues brunes** sont relativement abondantes au début de l'été austral (septembre, octobre et novembre) et **les algues vertes** sont présentes toutes l'année avec cependant une majorité durant la période estival ;
- b) L'intensité des agents hydrodynamiques sur le récif va également être déterminante pour le maintien des organismes sessiles. En effet les récifs les plus exposés vont voir leurs populations de macrophytes, ascidies, spongiaires et alcyonaires, évoluer plus rapidement car le ressac, la houle et les courants de marée vont arracher les plus vieux thalles ou colonies (sénescence) du substrat.

Fin 2012/début 2013 une étude spécifique de l'évolution des algues macroscopiques et des cyanophycées, depuis 2007, sera finalisée, afin de mieux cerner ces variations saisonnières.

Lors de la mission du premier semestre 2012 il n'a pas été observé de prolifération ou de changement.

- Espèces exogènes

Le chapitre 5.4 page 340 du rapport intégral 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.

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.

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).

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.

L'étude 2012/2013 qui leurs est dédiée permettra de mieux encadrer leurs cycles saisonniers naturels et à ce jour ce sont des espèces locales qui ne peuvent pas être qualifiées d'invasives.

ST06B *Asparagopsis taxiformis* (algue rouge)

Récif envahi par *Asparagopsis taxiformis*

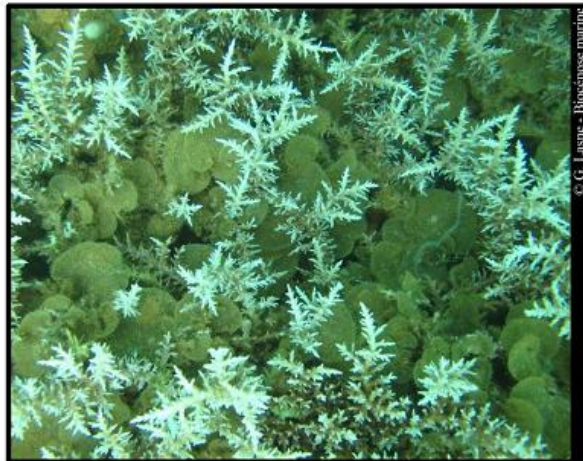


© G. Lasne - Biocénose marine



© G. Lasne - Biocénose marine

ST02A *Lobophora variegata* (algue brune)



© G. Lasne - Biocénose marine

Acropora branchu envahi par
Lobophora variegata

ST12B



© G. Lasne - Biocénose marine

Lobophora variegata envahissant
Acropora branchu

- Poissons

Le chapitre 6.3 du rapport intégral (en annexe de ce document) est consacré à une étude approfondie des résultats 2012 comparés à ceux des années précédentes. Elle est due au professeur universitaire Claude Chauvet (ACREM), ichtyologue.

Il assure en supplément des exigences réglementaires une analyse statistique, notamment sur la biodiversité des poissons, sur 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.

• Rappel :

Lors du suivi de mars 2011 un banc de Sprats avait « dopé » certaines stations du canal de la Havannah, Ces poissons ne sont pas dans la liste restreinte des poissons cibles mais ils ont attiré d'autres espèces, ce qui explique ce « dopage ».

La station ST10 de l'îlot Kié (en réserve intégrale Merlet) occupe le premier rang pour tous les indicateurs de la richesse en ichtyofaune au fil des ans, cependant cet effet de « dopage » ponctuel des indicateurs se traduit cette en mars 2011 par un banc de *Caesio* sur la station ST04 du canal Woodin.

• 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 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 m²

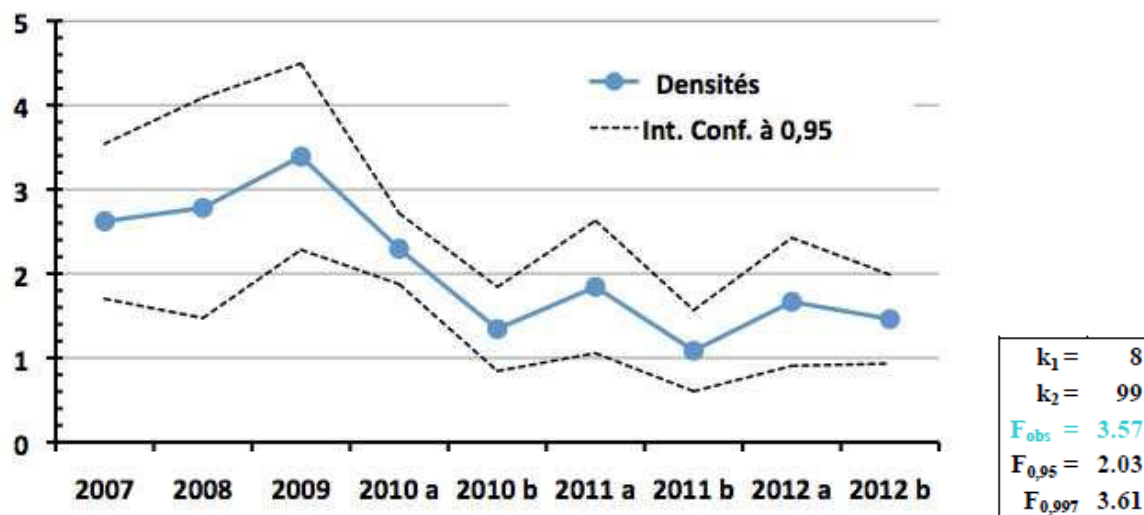
Rappel : la densité s'exprime en nombre de poissons /m² par transect selon la liste restreinte

Tableau 26: Densités (ind. /m²) moyennes par station (sur les 3 transects) et variance de celle-ci, par station et sur toutes les campagnes avec la même méthodologie sur liste restreinte

Années	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012b
Stations	Densité moy. (transects ABC)								
Ilot CASY	2,63	0,87	3,5	0,93	0,33	0,30	0,36	0,33	0,78
CREEK	1,12	1,76	1,49	1,68	1,41	0,61	1,18	1,10	1,36
Le PORT	1,59	0,92	3,03	1,95	0,31	0,86	0,22	0,24	0,41
WOODIN	5,45	2,71	4,07	3,38	0,84	2,11	0,95	3,20	1,09
Banc IORO	0,73	2,02	4,09	2,37	1,23	1,56	0,81	0,87	1,22
IONONTEA	2,45	2,99	1,17	2,05	1,91	2,23	0,75	1,64	2,25
Banc B. CHB	1,78	2,73	0,91	2,66	1,79	1,62	1,05	1,70	1,24
Point PUKA	2,32	1,84	3,5	3,05	0,46	0,68	1,30	0,70	0,63
Banc KIE	4,13	4,21	4,01	1,66	1,35	1,81	1,42	2,18	1,96
Ilot KIE	5,57	9,37	8,3	2,94	3,46	5,47	3,48	4,93	3,85
Récif TOEMO	1,64	1,9	3,12	1,86	1,59	2,50	0,90	1,70	1,27
Ilot UGO	2,18	2,18	3,49	3,01	1,44	2,36	0,60	1,40	1,46
n	11	11	12	12	12	12	12	12	12

Moy.	2,67	2,85	3,39	2,30	1,34	1,84	1,09	1,67	1,46
Ecart type	1,66	2,36	1,92	0,73	0,864	1,36	0,834	1,32	0,91
Int. de conf ±	1,05	1,49	1,16	0,44	0,499	0,79	0,481	0,76	0,53
Coef. de Var	0,62	0,83	0,57	0,32	0,64	0,74	0,77	0,79	0,62

Figure 56 : Analyse de la Variance des densités moyennes (ind./m²) par station sur toutes les campagnes(toutes stations confondues)



$$F_{obs} > F_{0,95}$$

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 2011 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 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.

➤ 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 réglementaire 2006 et CCB).

$$W_i = a l_i^b$$

W_i = poids

l_i = longueur du poisson

a et b sont des variables mises au point par Kulbicki & Al pour environ 350 poissons du lagon (En annexe dans les rapports intégraux).

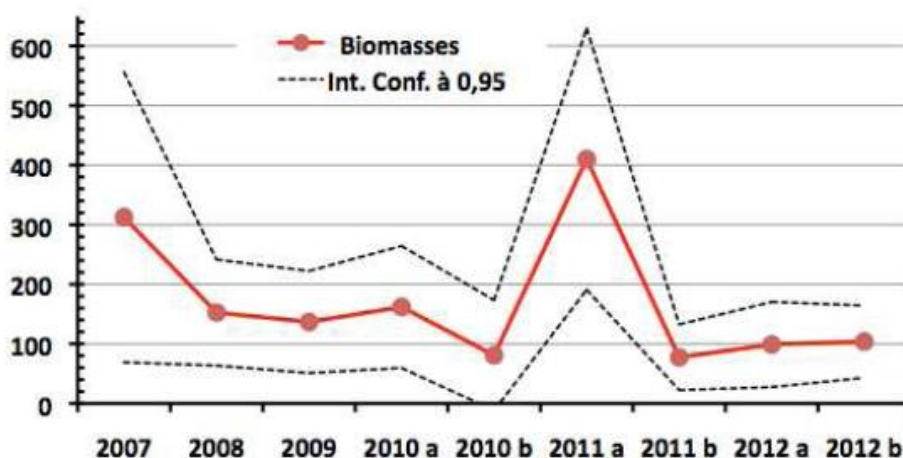
Tableau 27: Analyse de la Variance des biomasses (g/m²) moyennes par station sur toutes les campagnes

Années	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	2012 a	2012 b
Stations	Biomasse moy. (transects ABC)								
Ilot CASY	14,86	6,68	13,08	5,79	2,30	1,01	3,97	0,82	2,72
CREEK	5,46	26,05	6,73	6,71	4,23	60,95	100,16	23,17	20,09
Le PORT	14,73	14,05	4,55	5,13	1,26	19,13	1,50	0,80	1,62
WOODIN	408,31	267,8	456,26	460,91	38,60	730,66	65,36	446,85	105,52
Banc IORO	47,65	57,97	315,96	93,78	37,89	661,47	41,01	51,11	99,73
IONONTEA	1322,4	385,65	226,52	487,76	92,96	687,65	76,87	151,77	353,11
Banc B. CHB	155,24	146,76	57,4	84,96	103,51	855,00	71,29	175,75	179,16
Point PUKA	67,39	87,54	53,22	57,64	11,73	28,27	39,78	4,93	7,00
Banc KIE	607,71	273,92	62,69	303,36	10,62	593,06	118,86	96,25	99,46
Ilot KIE	881,82	451,97	291,1	298,4	576,45	1014,91	357,27	73,27	220,07
Récif TOEMO	174,47	61,85	79,63	75,42	75,08	188,39	38,56	110,94	108,09
Ilot UGO	57,60	57,60	73,03	63,58	13,93	79,86	14,12	52,08	49,33
n	11	11	12	12	12	12	12	12	12
Moy.	336,37	161,84	136,68	161,95	80,71	410,03	77,40	98,98	103,83
Ecart type	433,55	157,78	148,28	177,31	160,26	379,75	95,42	123,90	105,06
Int. de conf ±	274,20	99,79	89,41	106,92	92,53	219,25	55,09	71,53	60,66
Coef. de Var	1,29	0,97	1,08	1,09	1,99	0,93	1,23	1,25	1,01

$k_1 =$	8
$k_2 =$	99
$F_{obs} =$	3.09
$F_{0,950} =$	2.03
$F_{0,996} =$	3.10

$F_{obs} > F_{0,95}$

Figure 57 : Biomasse. Toutes les stations confondues



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

- 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

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).

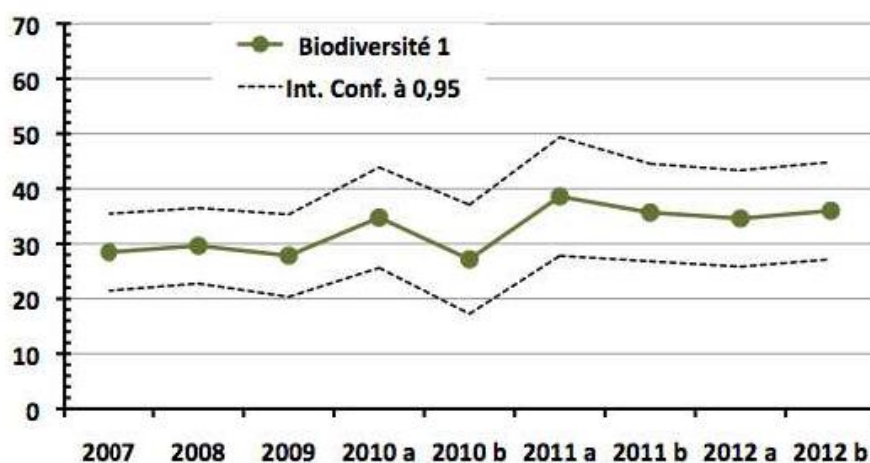
$k_1 =$	8
$k_2 =$	99
$F_{obs} =$	0.95
$F_{0,95} =$	2.03

L'analyse des variances de la biodiversité pour les 8 campagnes montre une similarité. (Valeur de F).

Tableau 28: Analyse des biodiversités par station sur toutes les campagnes

Années	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 a	2012 a	2012b
Stations	Biodiversité moy. (transects ABC)								
Ilot CASY	16	9	11	13	11	12	13	9	12
CREEK	6	12	9	10	8	13	16	14	16
Le PORT	15	14	9	10	11	16	13	14	18
WOODIN	37	39	35	54	26	64	42	51	48
Banc IORO	22	30	44	42	24	56	43	36	41
IONONTEA	45	41	31	44	37	51	46	44	53
Banc B. CHB	33	44	29	45	38	46	43	44	53
Point PUKA	28	30	28	29	14	26	33	27	23
Banc KIE	36	32	35	34	28	39	48	45	37
Ilot KIE	46	37	49	52	67	59	58	52	53
Récif TOEMO	29	39	31	43	44	51	48	45	44
Ilot UGO	28	28	23	41	18	30	25	34	34
n	11	11	12	12	12	12	12	12	12
Moy.	28,45	29,73	27,83	34,75	27,17	38,58	35,67	34,58	36
Ecart type	12,71	12,46	12,97	15,81	17,17	18,67	15,35	15,16	15,30
Int. de conf ±	8,04	7,88	7,82	9,54	9,91	10,78	8,86	8,75	8,83
Coef. de Var	0,45	0,42	0,47	0,45	0,63	0,48	0,43	0,44	0,42

Figure 58: Biodiversité toutes stations avec intervalle de confiance



Cet exercice peut être refait en séparant les stations en deux lots : 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 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.

Tableau 29: Récapitulation des résultats quant aux tests d'homogénéités selon les années et selon les stations.

Récapitulatif de la comparaison temporelle

Ho = Hypothèse d'égalité des variances. i.e. homogénéité des années				
Paramètres testés		Densité	Boimasse/m ²	Biodiversité 1
Prise en compte	de toutes les stations	Refusée ***	Refusée ***	Acceptée ***
	des stations de Prony	Refusée ***	Acceptée ***	Acceptée **
	des stations de la Havanah	Refusée ***	Refusée ***	Refusée **

Récapitulatif de la comparaison spatiale

Ho = Hypothèse d'égalité des variances. i.e. homogénéité des stations				
Paramètres testés		Densité	Boimasse/m ²	Biodiversité 1
Prise en compte	de toutes les stations	Refusée ***	Refusée ***	Refusée ***
	des stations de Prony	Acceptée ***	Refusée ***	Acceptée ***
	des stations de la Havanah	Refusée ***	Refusée ***	Refusée ***

Les analyses précédentes sur la densité et la biomasse montrent une importante dissemblance entre la variance entre colonnes et la variance globale du tableau. Cela traduit de grandes fluctuations dans les résultats interannuels ou inter-semestriels.

- En ce qui concerne la densité, la série historique apparaît comme divisée en deux : une partie avec des valeurs hautes (2007-08-09-10a) et une partie avec des valeurs basses (depuis 2010b). Rappelons que la méthode du TLV est sensible à la position des poissons par rapport à la ligne de transect et surtout sensible à la position des bancs, comme les bancs de *Caesio* par exemple qui sont très mobiles sur le transect. Autre exemple, les bancs ou nuages de Pomacentridés peuvent d'une part se placer plus ou moins loin du transect ou plus ou moins haut dans la tranche d'eau et d'autre part être le résultat d'un recrutement plus ou moins récent. Ces derniers sont donc également responsables d'une part importante des variations de densité sans pour autant faire varier sensiblement la biomasse.

- En ce qui concerne la biomasse cette même ségrégation des résultats ne se retrouve pas. La biomasse est un paramètre sensible essentiellement aux grosses espèces - souvent à un seul individu - qui sont, ou non, attirées sur les transects, soit par le plongeur, soit comme en 2011a par des bancs de Sprats. La présence conjoncturelle d'une loche ou de 2 ou 3 carangues plus ou moins proches du transect modifient considérablement ce paramètre, sans pour autant faire varier sensiblement la densité.

○ **Test de X² de rangs Kruskal-Wallis**

Sous l'angle de vue temporel la biomasse et la biodiversité sur la zone apparaissent stables d'année en année. En revanche, le test sur les densités montre une distribution contrastée.

Sous l'angle de vue spatial l'hypothèse Ho d'homogénéité est rejetée pour les 3 paramètres.

○ **Test de X² de rangs Friedman**

Le test de Friedman a donc sans doute dans notre cas plus d'intérêt que celui de Kruskal & Wallis (raisons explicitées dans le rapport intégral en annexe).

Il permet de s'assurer que les variations observées d'année en année au niveau de chacune des stations sont bien aléatoires et donc pour chacune, le fruit du hasard, et non qu'il existerait au cours du temps, une tendance globale à la hausse ou à la baisse des valeurs des paramètres choisis pour caractériser ces stations.

Tableau 30: Classement des stations

n°	Stations	Classements			
		Densité	Biomasse	Diversité	Global
1	Ilot CASY	2	1	2	1
2	CREEK	3	3	1	3
3	Le PORT	1	2	3	2
4	WOODIN	10	10	11	11
5	Banc IORO	4	6	6	5
6	IONONTEA	9	11	10	10
7	Banc B. CHB	7	9	8	8
8	Point PUKA	5	4	4	4
9	Banc KIE	11	8	7	9
10	Ilot KIE	12	12	12	12
11	Récif TOEMO	6	7	9	7
12	UGO	8	5	5	6

Tableau 31 : classement des années

Années	Classements			
	Densité	Biomasse	Diversité	Global
2007	6	8	3	6
2008	8	7	4	7
2009	9	5	2	5
2010 a	7	6	6	7
2010 b	2	1	1	1
2011 a	5	9	9	9
2011 b	1	2	8	2
2012 a	3	3	5	2
2012 b	4	4	7	4

- 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

Indice Global Annuel (IGA) et Indice Annuel par Station (IAS)

Figure 59 : clef de cotation

Cotations	1	2	3	4
Densité (ind./m ²)	< 1	1-2	2-3	> 3
Biomasse (g/m ²)	< 100	100-200	200-400	> 400
Diversité (nb espèces)	< 20	20-30	30-40	> 40

L'Indice Global Annuel (IGA)

ou

L'Indice Annuel d'une Station (IAS) est la moyenne des 3 valeurs obtenues en pondérant la cotation de la diversité par deux :

$$IG = (Densité + Biomasse + 2 \times Biodiversité) / 4$$

Sous l'angle ichthyologique (poissons) cette cotation permet de « noter » ainsi les stations :

Figure 60 : IAS par stations et classement des stations par IAS en 2012

IAS = Indice Annuel par Station

	Indices 2012 b			IAS	Rappel de l'IAS 2012 a
	Dens.	Biom.	Diver.		
Ilot CASY	2	1	1	1,25	1,25
CREEK	2	1	1	1,25	1,25
Le PORT	2	1	1	1,25	1,25
WOODIN	3	3	4	3,50	3,50
Banc IORO	2	2	3	2,50	2,50
IONONTEA	2	4	4	3,50	3,50
Banc B. CHB	2	3	4	3,25	3,00
Point PUKA	2	1	2	1,75	1,75
Banc KIE	3	3	3	3,00	3,00
Ilot KIE	4	4	4	4,00	4,00
Récif TOEMO	2	2	4	3,00	3,00
Ilot UGO	2	1	2	1,75	2,00

Cotations

	1	2	3	4
Densité (ind./m ²)	< 1	1-2	2-3	> 3
Biomasse (g/m ²)	< 100	100-200	200-400	> 400
Diversité (nb espèces)	< 20	20-30	30-40	> 40

Figure 61 : IGA (Indice Global Annuel) Classement par années selon les valeurs moyennes IAS des stations au cours de l'année

	Indices			IGA
	Dens.	Biom.	Diver.	
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

Pour les poissons 2012 b est une année moyenne et toutes les stations, sauf UGO, demeurent inchangées.

Une synthèse selon des indicateurs ainsi développés peut être une aide dans les limites de cet outil.

Il est très important de pérenniser la méthodologie une fois celle-ci établie, si un tel indicateur venait à être choisi, car c'est en fidélisant les échantillonneurs (surtout s'ils ont un degré d'expertise reconnu scientifiquement en halieutique / ichtyologie et traitement statistique des données et s'ils participent à la fois aux plongées et à l'élaboration raisonnée de leur rapport), et en stabilisant la méthodologie que l'on pourra réduire les biais et intervalles de confiances pour un suivi de l'évolution temporelle

Synthèse conclusive sur l'évolution temporelle (POISSONS) entre 2007 et mai 2012

La densité sur la zone présente toujours une valeur moyenne et cela depuis 2010. La biomasse est toujours à un faible niveau, entre 100 et 200 g/m².

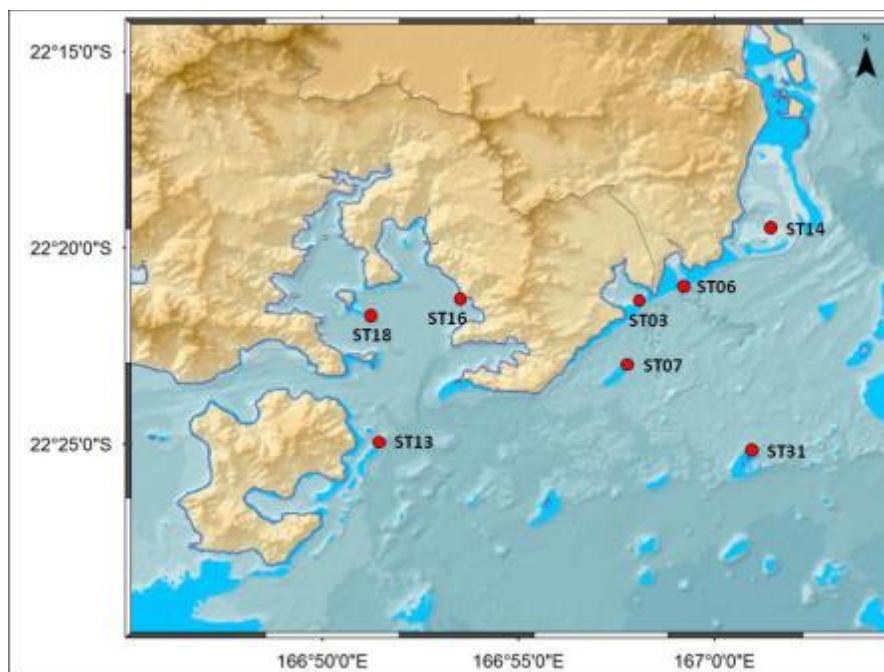
Compte tenu de l'importance des intervalles de confiance ces deux résultats quantitatifs sont à considérer comme stables depuis 2007.

La biodiversité alpha est toujours à un niveau élevé. La régularité de ce paramètre quantitatif cache en réalité d'importants remaniements qualitatifs annuels, notamment dans la Baie de Prony dont le rôle de nursery est toujours très marqué. Ce dernier point est mis en évidence dans la deuxième partie du rapport qui porte sur l'analyse de la biodiversité totale, et qui est donc hors cahier des charges.

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

Huit cages contenant les algues et les coquillages bio- accumulateurs sont mise en eau pour 3 mois niveau des points montré ici dessous en rouge et selon la méthodologie décrite précédemment et validée.

Figure 62: 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



La campagne d'immersion des cages a été réalisée les 7 et 8 juin 2012. A chaque station, un lot de bivalves et un lot d'algues ont été transférés dans une cage en plastique rigide surmontée d'un flotteur et reliée par un bout à une gueuse. Les cages ont été immergées à 10 m de profondeur en plongée sous-marine. La profondeur est importante afin de permettre la photosynthèse des algues et une protection des cages à l'égard de la navigation ou des curieux.

Après un mois et demi d'immersion (le 02 aout 2012), les dispositifs de transplantation immergés aux huit stations ont été contrôlés en plongées sous-marines puis brossés afin d'éliminer le « *biofouling* » déposé sur les cages et les flotteurs.

Enfin, les 26, 27 et 28 septembre 2012, soit après un peu plus de trois mois d'immersion, les huit dispositifs de transplantation ont été récupérés. Une fois les cages remontées à bord, les spécimens des deux espèces sont immédiatement transférés et stockés dans des glacières compartimentées référencées contenant de l'eau de mer du site jusqu'à leur retour au laboratoire.

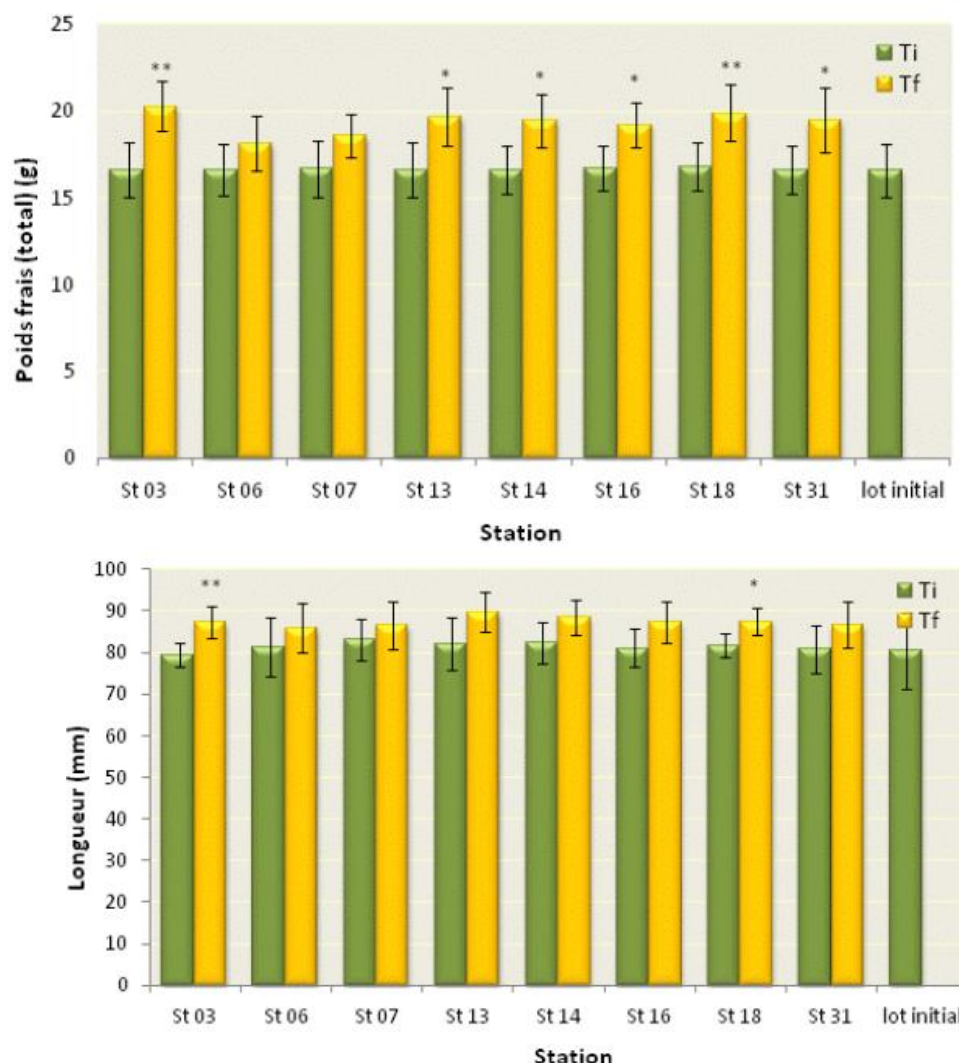
Les conditions météorologiques durant les 3 mois d'immersion (pluviométrie et vents) sont enregistrées de façon journalière. Le rapport intégral en annexe 4 de ce document indique toutes ces données.

3.2.3.1. Les données correspondant à la biométrie des bivalves avant et après transplantation (poids, longueurs et taux de croissance)

La comparaison interannuelle des deux taux de croissance (TCJ pondérale et taille) obtenus respectivement pour les campagnes 2011 et 2012 indique que le développement des organismes est assez semblable d'une année sur l'autre entre les stations.

Il est à noter également que la valeur « TCJ en longueur » la plus élevée a été observée au niveau de la station St03 (Chenal de Port Boisé) pour les deux années consécutives.

Figure 63 : Comparaison des valeurs moyennes des poids frais totaux moyens (A) et des longueurs des coquilles (B) avant (Ti en vert) et après (Tf en jaune) transplantation chez le bivalve *Isognomon isognomon* (n=15 individus par station). Les astérisques indiquent le niveau de signification entre Ti et Tf après l'analyse de la variance (ANOVA) à $P < 0,01$ (**) ou $P < 0,05$ (*).



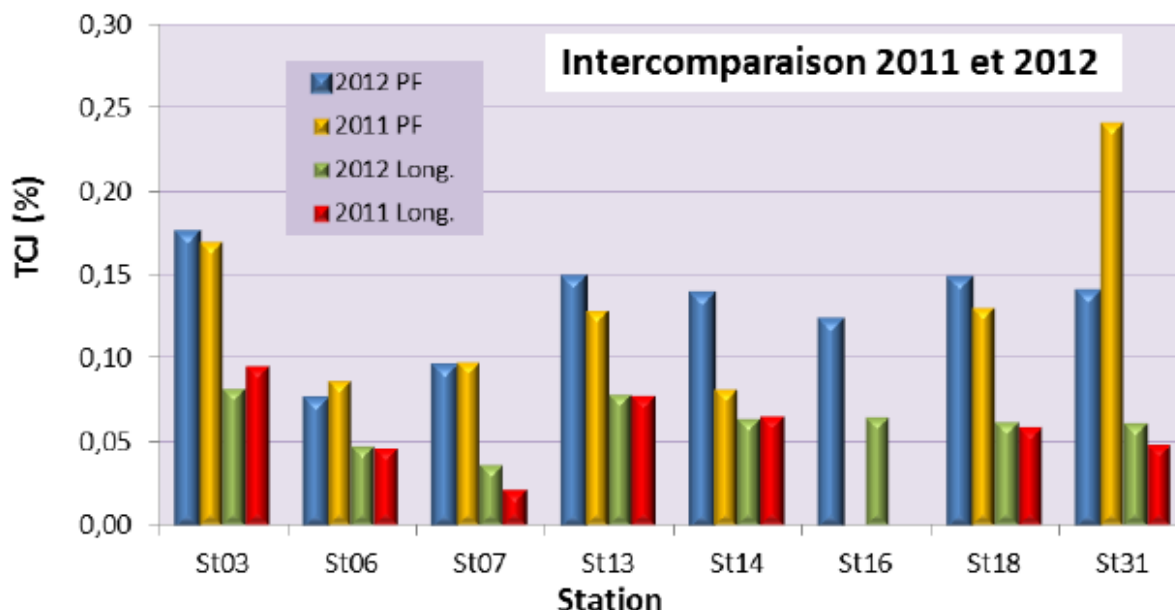
Les taux de croissance varient selon la station et le paramètre considéré ; leur évolution semble globalement obéir à la hiérarchisation suivante :

- 1 - les croissances les plus fortes correspondent aux bivalves de la station St03 (Port Boisé) ;
- 2 - celle-ci est suivie par les bivalves des stations St13 (Récif Ma) et St18 (Ilot Casy) ;
- 3 - ensuite, sont concernées les stations St14 (Baie de Goro) et St31 (Ilot Nouaré) ;
- 4 - puis la station St16 (Port de Prony) ;
- 5 - et finalement les stations St07 (Récif Ioro) et St06 (Baie Kwé).

Exceptions faites des deux stations St14 et St31, les taux de croissance mesurés en 2012 sont du même ordre de grandeur que ceux précédemment obtenus en 2011. Par ailleurs, le taux de croissance pondérale le plus important en 2011 et 2012 concernent les bivalves de la station St03. A l'inverse, les stations St06 et St07 montrent les taux de croissance pondérale et en taille le plus faible. Après 114 jours d'immersion, les bivalves montrent des indices physiologiques relativement proches de ceux observés avant l'immersion (lot initial récolté à la Baie Maa) et homogène entre les différentes stations. Ces indices sont également très proches de ceux calculés en 2011.

En bref, tous les bivalves de sont développés et sont en bonne condition.

Figure 64 : Comparaison interannuelle des taux moyens de croissance journalière en poids frais total (PF total) et en longueur des coquilles (Long.) chez les bivalves *Isognomon isognomon* transplantés lors des campagnes 2011 et 2012.



3.2.3.2. Concentrations en métaux dans les bivalves (bio indicateurs accumulateurs)

(Les résultats intégraux bruts sont en en annexe de ce document)

Les résultats d'analyses indiquent que les gammes de concentrations sont très différentes selon le métal considéré, à savoir que les valeurs moyennes extrêmes vont de $0,37 \pm 0,05 \mu\text{g/g ps}$ (ps = poids sec) pour le cobalt à $814,8 \pm 60,4 \mu\text{g/g ps}$ pour le zinc.

Arsenic (As) : les concentrations médianes varient de $49,7$ à $57,9 \mu\text{g/g ps}$, soit une moyenne globale de $53,5 \pm 3,2 \mu\text{g/g ps}$. Les concentrations mesurées sont équivalentes aux concentrations maximales, voire même légèrement supérieures à celles observées dans la région de Nouméa ($38,0$ à $54,0 \mu\text{g/g ps}$). Après 114 jours d'immersion, les teneurs en arsenic ne montrent aucune variation spatiale significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$), ni entre les différentes stations, ni entre ces stations et le lot témoin (Baie Maa : $55,4 \pm 7,3 \mu\text{g/g ps}$).

Cobalt (Co) : les concentrations médianes du cobalt varient de $0,31$ à $0,44 \mu\text{g/g ps}$, soit une moyenne globale de $0,37 \pm 0,05 \mu\text{g/g ps}$. Ces concentrations s'inscrivent toutes dans la gamme des valeurs précédemment mesurées dans la région de Nouméa ($0,18$ à $0,69 \mu\text{g/g ps}$). Aucune variation spatiale significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$), ni entre les différentes stations, ni entre ces stations et le lot témoin, n'a été avérée pour ce métal.

Cependant, les teneurs obtenues pour les stations St03 (chenal de Port boisé) , St14 (baie de Goro) et St16 (Port) (respectivement $0,40 \pm 0,03$; $0,41 \pm 0,12$ et $0,45 \pm 0,11 \mu\text{g/g ps}$) sont proches de celles observées au fond de la Grande Rade (Nouméa), tandis que les teneurs des autre stations ne diffèrent pas significativement de celle du lot témoin, même sur St 06 en baie Kwé.

Chrome (Cr) : les concentrations médianes du chrome varient de $1,2$ à $2,3 \mu\text{g/g ps}$, soit une moyenne globale de $1,7 \pm 0,4 \mu\text{g/g ps}$. Ces concentrations sont comprises dans la gamme des valeurs précédemment mesurées en 2007 et 2008 ($1,0$ à $3,7 \mu\text{g/g ps}$). Les stations St03 (Port boisé) et St16 (Port de Prony) , avec des valeurs moyennes de $2,1 \pm 0,5$ et $2,2 \pm 0,8 \mu\text{g/g ps}$, respectivement, montrent des teneurs très proches de celles observées au fond de la Grande Rade (Nouméa) et supérieures à celle du lot témoin ($1,6 \pm 0,3 \mu\text{g/g ps}$) ; à l'inverse, les teneurs aux stations St13, St 18 et St31, voire St06 (Baie Kwé) sont bien plus faibles ($1,3$ à $1,5 \mu\text{g/g ps}$). Malgré ces constations, le test de Kruskal-Wallis ne révèle aucune différence significative dans les teneurs en chrome entre les lots transplantés et le lot témoin.

Cuivre (Cu) : les concentrations médianes du cuivre varient de 4,7 à 6,9 µg/g ps, soit une moyenne globale de $5,9 \pm 0,6$ µg/g ps. Ces concentrations sont largement inférieures à celles précédemment mesurées dans la Grande Rade (Nouméa) en 2007 et 2008 (8,6 à 12,1 µg/g ps). Ces résultats se caractérisent par une variabilité spatiale notable.

Fer (Fe) : les concentrations médianes du fer varient de 126,8 à 171,5 µg/g ps, soit une moyenne globale de $151,9 \pm 23,9$ µg/g ps. Ces teneurs varient peu entre les différents lots transplantés (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$) et correspondent aux teneurs minimales mesurées en Grande Rade (117 à 311 µg/g ps). De plus, les teneurs sont toutes inférieures ou égales à la valeur Ti fournie par le lot témoin ($180,9 \pm 10,8$ µg/g ps), exception faite de St07 qui montre une grande dispersion des résultats. Cette observation est particulièrement avérée pour les stations St13 et St18 où ces valeurs sont significativement plus faibles que celles du lot témoin (test Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$).

Manganèse (Mn) : les concentrations médianes du manganèse varient de 15,4 à 26,8 µg/g ps, soit une moyenne globale de $22,0 \pm 4,7$ µg/g ps. Elles sont proches, voire légèrement supérieures, aux valeurs enregistrées en 2007 et 2008 dans la Grande Rade (12,3 à 24,4 µg/g ps). La variabilité des teneurs n'est statistiquement significative, ni entre les lots transplantés et le lot témoin ($22,7 \pm 5,0$ µg/g ps), ni entre les lots transplantés (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$)

Nickel (Ni) : les concentrations médianes du nickel varient de 1,5 à 3,0 µg/g ps, soit une moyenne globale de $1,9 \pm 0,4$ µg/g ps. Ces teneurs correspondent aux valeurs minimales précédemment enregistrées en 2007 et 2008 dans la Grande Rade de Noumea (2,0 à 13,2 µg/g ps). Les teneurs mesurées dans les lots transplantés varient peu par rapport aux teneurs du lot témoin ($2,1 \pm 0,4$ µg/g ps) à l'exception des stations St31 et St16 où, respectivement on observe la teneur minimale ($1,5 \pm 0,1$ µg/g ps) et la maximale ($2,8 \pm 1,0$ µg/g ps). Pour la station St31, la concentration moyenne est différente de celle du lot témoin de façon significative (test Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$).

Zinc (Zn) : les concentrations médianes du zinc varient de 712,6 à 856,0 µg/g ps, soit une moyenne globale de $817,6 \pm 63,9$ µg/g ps. Elle correspond aux valeurs minimales, voire sont inférieures à celles antérieurement mesurées dans la Grande Rade (748 à 1663 µg/g ps). Ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs pour en conclure à une variation.

Pour les trois métaux (Co, Cr et Ni) mesurés dans les bivalves, les concentrations moyennes suivent une hiérarchisation approximativement similaire de celle obtenue pour les formes dissoutes déterminées dans la colonne d'eau (valeurs 2012). Par ordre décroissant, les deux classements sont les suivants :

- (As) > (Zn) > (Mn) = (Ni) > (Cu) > (Cr) ≥ (Fe) > (Co) dans la colonne d'eau (mi- profondeur) ;
- (Zn) > (Fe) > (As) > (Mn) > (Cu) > (Ni) > (Cr) > (Co) dans les bivalves.

Cette approche statistique permet de conclure que :

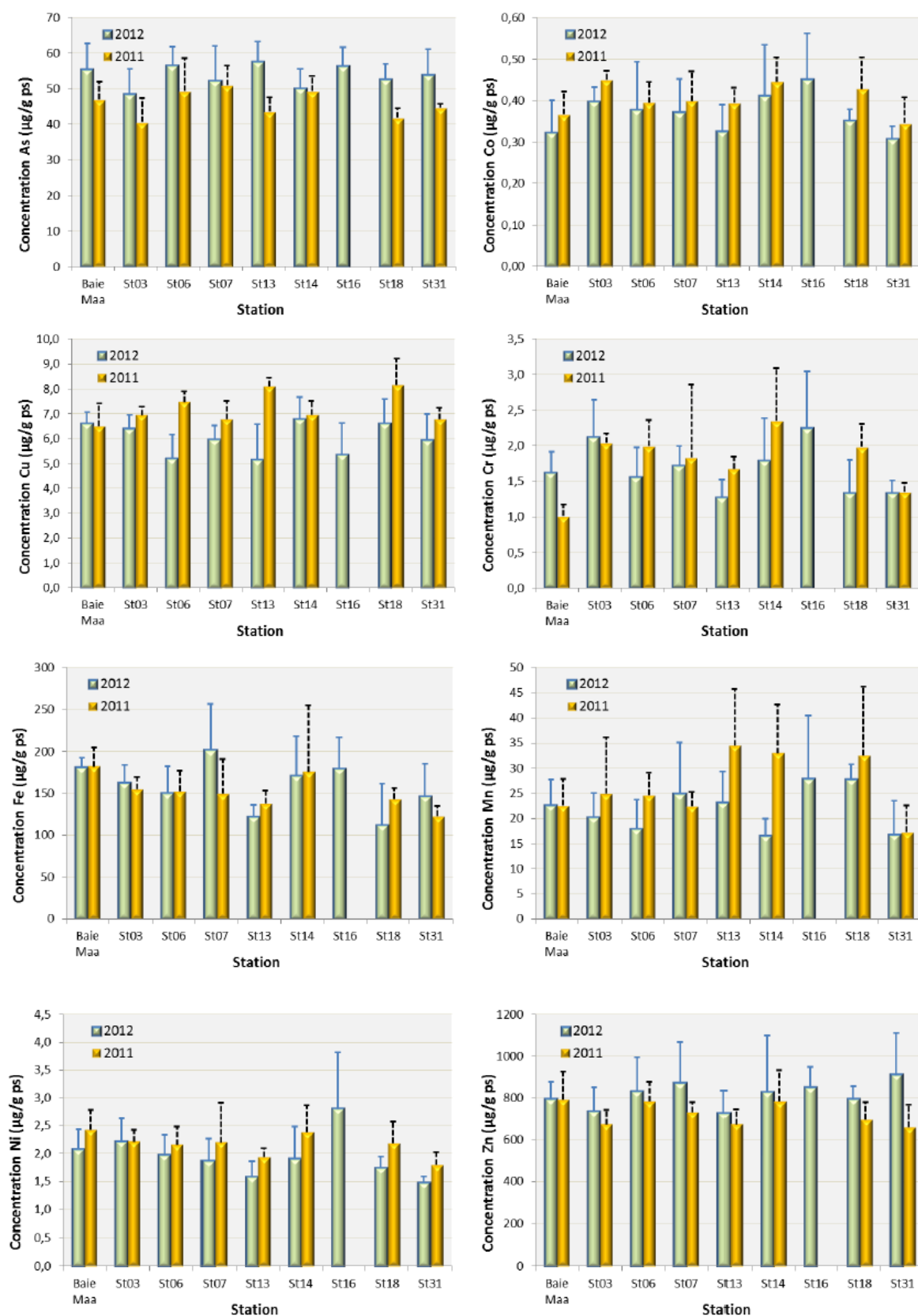
Malgré une grande variabilité des conditions environnementales et d'un faible gradient de concentrations pour les trois métaux (Co, Cr et Ni), les organismes bio-accumulateurs répondent relativement clairement par :

- Un classement des stations selon leurs niveaux de concentration: St31 < St13 < St18 < St07 = St06 = St14 = St03 < St16. Ainsi les teneurs minimales sont toujours enregistrées au niveau de station St31 (Ilot Nouaré, station de référence éloigné de la côte) et les teneurs maximales sont observées à la station St16 (port commercial de Vale NC situé près de la côte).
- Bien que proche de la côte Est de l'île Ouen, la station St13 (Récif Ma) présente également des teneurs parmi les plus faibles, voire semblables (dans le cas du chrome) à celles de la station St 31 (Ilot Nouaré).

Evolution et variabilité interannuelle

A l'exception de la station St18 (Ilot Casy), la distribution spatiale 2011 des teneurs montre également de grandes similitudes avec celle obtenue en 2012.

Figure 65 : Evolution temporelle des concentrations moyennes des huit métaux analysés (As, Co, Cr, Cr, Fe, Mn, Ni et Zn) chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplanté aux différentes stations en 2011 (en jaune) et 2012 (en vert) .



Globalement, pour toutes les stations et métaux confondus, les teneurs mesurées dans les chairs en 2012 sont du même ordre de grandeur, voire quasi similaires, à celles obtenues l'année précédente (2011). L'arsenic montrent des teneurs qui semblent statistiquement augmenter de façon significative et ceci pour l'ensemble du domaine, même sur les stations témoins.

Comme pour l'année précédente, le classement par ordre d'importance en métaux bioaccumulés est : $Zn > Fe > As > Mn > Cu > Ni > Cr > Co$. Malgré les faibles niveaux de concentration dans l'environnement lagunaire, le zinc montre une affinité toute particulière pour le bivalve *Isognomon isognomon* (Breau, 2003).

3.2.3.3. Concentration des métaux dans les algues

Après les 114 jours d'immersion, une énorme perte de matériel biologique a été constatée sur toutes les stations.

En effet, sur cinq des huit stations (St03, St06, St07, St14 et St31), une seule fronde a pu être analysée sur les lots de 15 frondes initialement placées dans les cages pour l'étude complète de transplantation d'organismes marins. Pour les stations St13 et St16 seules 2 frondes ont pu être récupérées pour l'analyse et 3 frondes pour St18. A noter, cette perte en nombre de frondes a été constatée depuis 2009, bien que beaucoup moins importante qu'en 2012.

L'origine de cette perte semble être le broutage des frondes d'algues par les poissons. En effet, lors des plongées en bouteille destinées au brossage des cages pour éliminer le *biofouling*, mais aussi lors de la récupération des lignes de mouillage, de grandes colonies de petits poissons ont pu être observées à l'intérieur des nasses.

Une réduction de la taille de la maille des filets protecteurs des algues est à l'étude.

3.2.4. Suivi des flux sédimentaires

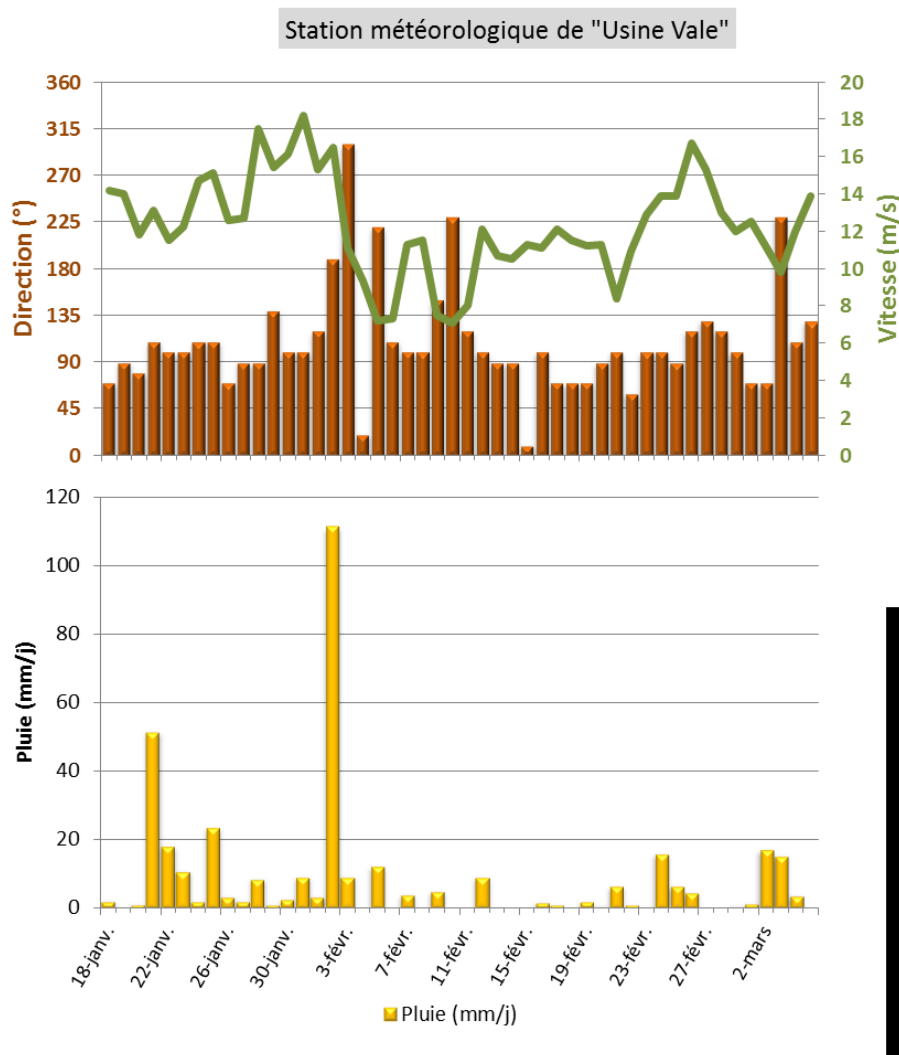
Les flux sédimentaires sont suivis de part et d'autre de l'émissaire au niveau du diffuseur terminal (représenté par un trait rouge sur cette carte schématique) et dans le chenal d'entrée en baie de la Kwé. Il s'agit des lieux marqués par les points StKW1, St60SW et St60NE. KW pour « Kwé Ouest », SW pour Sud-Ouest de diffuseur et NE pour Nord - Est du diffuseur. Le point ST09 est une station de suivi de la qualité physico chimique de l'eau.

Figure 66: Rappel de la position des stations d'études des flux sédimentaires



Les résultats sont à corréliser avec les conditions météorologiques, pour la campagne de janvier, février et mars 2012 les conditions météorologiques ont été les suivantes : (force et direction du vent et pluviométrie) :

Figure 67 : Paramètres météorologiques influant sur les flux de sédiments marins et leur remise en suspension, période de la campagne de collecte n°1



Les fortes précipitations atmosphériques du 02 février (111,2 mm) semblent être le facteur prépondérant de l'augmentation des MES mesurée dans les eaux de la Baie Kwé. Cependant, les régimes de vents de secteur S dont la vitesse est supérieure à 10 m/s sont aussi, à eux seuls, capables de générer des structures néphéloïdes dans la baie. Ils remettent en suspension des sédiments de la passe de l'entrée de la baie.

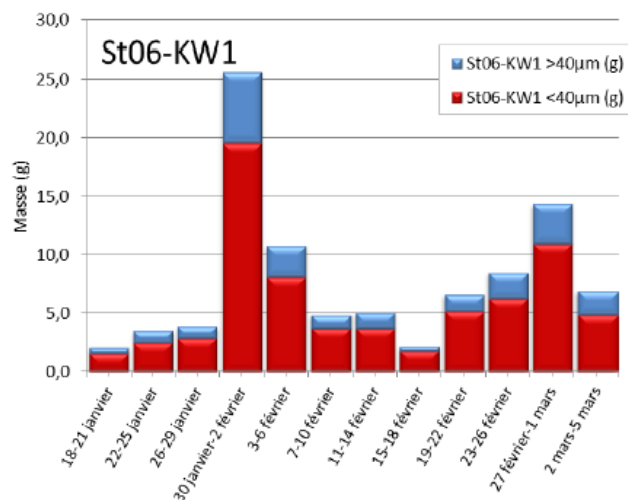
Dans le Canal, la formation de couches néphéloïdes semble plutôt être favorisée par les régimes météorologiques du secteur E-SE.

D'une manière générale, les MES collectées dans la Baie Kwé ont une granulométrie plus fine que dans le Canal ; 20% des particules mesurent plus de 40 μm , contre 50 %, respectivement. Cette différence est particulièrement sensible pour les particules des classes argiles (0,02-2 μm) et silts fins (2-20 μm). Les principaux minéraux sont : la calcite, la calcite magnésienne et l'aragonite pour le domaine marin et la goethite pour l'influence terrigène que l'on ne retrouve bien identifiée que dans la Baie Kwé.

BAIE KWE : Station St06-KW1

Les masses collectées montrent des valeurs très variables dans le temps. En effet, elles se distribuent entre 2,10 g pour les 4 premiers jours de la collecte (18-21 janvier ; godet KW1-1) et 25,61 g pour le quatrième godet (30 janvier au 02 février ; godet KW1-4). Hormis ces deux valeurs extrêmes, la moyenne se situe à $6,70 \pm 3,70$ g, six valeurs dépassant les 5 g.

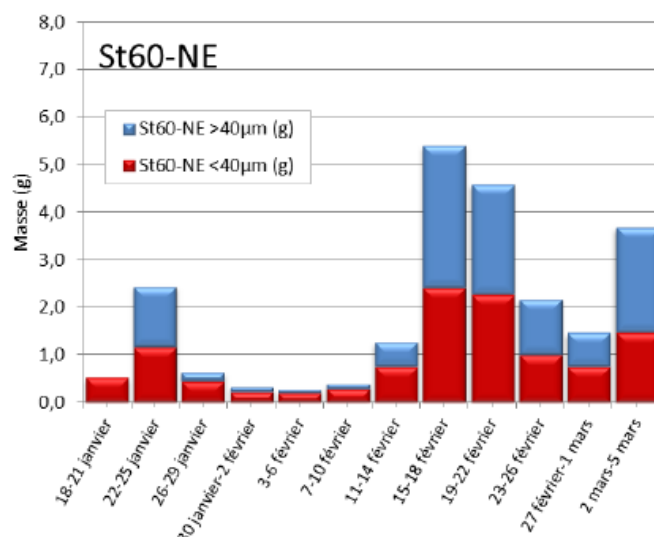
Figure 68 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 18 janvier au 05 mars 2012 en Baie Kwé (St06-KW1). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines ($< 40 \mu\text{m}$) et fractions grossières ($> 40 \mu\text{m}$).



Les analyses montrent que les MES sont composées de minéraux comme la goethite qui est une signature minéralogique des formations latéritiques. La calcite, la calcite magnésienne, qui est la phase majoritaire, et l'aragonite sont également présentes et mettent en évidence l'importante influence marine ; l'aragonite étant un des constituants des coquilles d'invertébrés. En Baie Kwé, les MES collectées sont constituées d'une importante fraction carbonatée puisque celle-ci oscille entre 74,9 et 83,4 %.

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

Figure 69 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 18 janvier au 05 mars 2012 dans le Canal de la Havannah, au nord-est du diffuseur (St60-NE). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines ($< 40 \mu\text{m}$) et fractions grossières ($> 40 \mu\text{m}$).

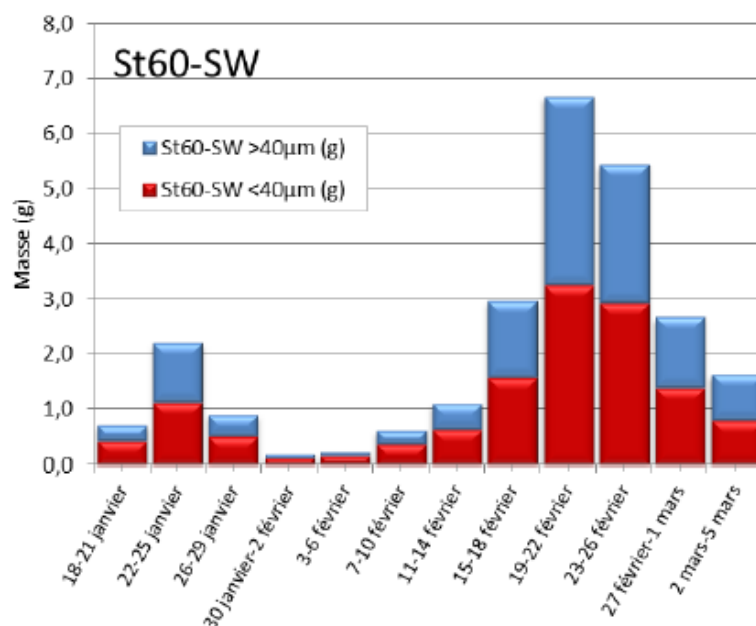


La masse moyenne collectée, hormis les masses extrêmes, est de $1,74 \pm 1,47$ g. Cette valeur est exactement du même ordre de grandeur qu'en St60-SW.

Aucune évolution particulière des populations n'a été observée en fonction de la pluie

Les analyses réalisées montrent que les MES sont composés de minéraux comme la calcite, la calcite magnésienne et l'aragonite. Ici, aussi, ces minéraux mettent en évidence la dominance quasi-totale de l'influence marine, l'aragonite en particulier, étant un des constituants des coquilles des invertébrés. La goethite, marqueur des apports terrigènes issus des formations latéritiques est présente notablement dans les deux godets NE-4 et NE-11 correspondant aux événements pluvieux.

Figure 70 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 18 janvier au 05 mars 2012 dans le Canal de la Havannah, au sud-ouest du diffuseur (St60-SW). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines ($< 40 \mu\text{m}$) et fractions grossières ($> 40 \mu\text{m}$).



La composition géochimique des matières en suspensions récoltées a été analysée.

Les éléments analysés dans les MES de la Baie Kwé ont permis de mettre évidence l'interaction des apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) ainsi que marins (Ca). Les concentrations obtenues ne montrent pas de grandes variations d'un godet à l'autre mais suivent, toutefois, une évolution temporelle. Bien que comprises dans le même ordre de grandeur, les concentrations mesurées sont toutes en légèrement augmentation par rapport aux résultats de 2007.

Figure 71 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées en Baie Kwé entre le 18 janvier et le 05 mars 2012

(Station St06-KW1 ; n=12). :

	ELEMENT ANALYSE (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
MIN	232 112	87	2 889	90 815	683	1 635
MAX	248 665	119	3 846	113 569	929	2 119
MOYENNE	239 104	101	3 414	103 323	822	1 885
ECART-TYPE	5 873	10	302	6 769	77	144
% RSD	2	10	9	7	9	8

La matrice de corrélation met en évidence une similarité (seuil de 0,95) des évolutions des concentrations massiques en Co, Cr, Fe, Mn et Ni (Cf. rapport intégral en annexe). Cette similarité souligne que ces éléments métalliques sont tous des composés appartenant à la même formation latéritique.

Les concentrations en calcium sont remarquablement constantes et montrent une anti-corrélation avec les métaux d'origine terrigène. Cela confirme la cohérence des résultats et interprétations.

Les éléments analysés dans les MES collectées à l'est du diffuseur (St60-NE) ont logiquement permis de mettre en évidence l'influence principalement marine (Ca). Toutefois, les apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) sont décelables, bien que beaucoup moins marqués que dans la Baie Kwé

Les paramètres physico-chimiques et géochimiques analysés montrent des évolutions temporelles tant au niveau de la Baie Kwé que dans le Canal de la Havannah : ces variations, qui sont d'ordre qualitatif et quantitatif, sont à mettre en parallèle avec les conditions météorologiques observées et leurs influences respectives sur l'un ou l'autre des deux domaines distincts que sont la Baie Kwé et le Canal de la Havannah.

La composition carbonatée ne semble pas être notablement influencées par la charge particulaire terrigène issue de la Kwé. En effet, les teneurs sont, respectivement d'environ 85 à 90 % près du diffuseur en milieu ouvert (Canal de la Havannah) et 80 % en milieu fermé (Baie Kwé).

Les compositions en métaux traduisent clairement l'origine latéritique des particules dans la Baie Kwé, alors que cette influence est amoindrie dans le Canal, en progressant vers l'ouest, de St60-NE à St60-SW. Dans tous les cas de figures, à l'exception du calcium (Ca) dont les concentrations demeurent constantes d'une saison à l'autre (campagnes de juillet-août 2011 et de janvier-mars 2012), celles des métaux analysés montrent des augmentations notables pouvant atteindre 14 à 26 % pour les MES de la Baie Kwé, 40 à 55 % pour celles du Canal de la Havannah.

Les experts donnent une interprétation de ces constations et ils effectuent une corrélation entre les paramètres météorologiques et les flux de particules en suspension. Pour la période étudiée (« saison chaude », pluies modérées à faibles), la distribution des MES dans les eaux, tant en Baie Kwé que dans le Canal de la Havannah, est grandement régie par les actions combinées :

- des effets mécaniques de lixiviation des bassins versants
- de la houle, elle-même générée par les vents.

En cohérence avec les résultats précédents (« saison fraîche »), seuls les régimes d'un large secteur S sont susceptibles de remettre en suspension les particules sédimentées jusqu'à une profondeur de 10 m, ce mécanisme étant notamment observable dans la Baie Kwé mais également le long des côtes. Une fraction de ces particules suit ensuite les courants dominant vers le secteur W du Canal de la Havannah. Dans le Canal, l'alimentation en particules quasi exclusivement carbonatées, coïncide avec les vents de secteurs SW à W qui balayent l'important système récifal du lagon sud-est.

Les valeurs de flux de matière particulaire (MES) entrent toutes dans les gammes observées antérieurement. Cependant, les flux de métaux ont tous augmenté, parfois de manière importante. Cette évolution est probablement à mettre en parallèle avec la saisonnalité des apports terrigènes qu'un fort rythme de précipitations caractérise habituellement.

Les valeurs de flux de matière particulaire (MES) entrent toutes dans les gammes observées antérieurement. Cependant, les flux de métaux ont tous augmenté. Cette évolution est probablement à mettre en parallèle avec la saisonnalité des apports terrigènes qu'un fort rythme de précipitations caractérise.

A ce stade de l'activité industrielle, aucune trace d'enrichissement anormal en calcium ou en soufre (signatures potentielles du rejet) dans les MES collectées à la station St60-SW (près du diffuseur) ne permet de déceler l'influence de l'effluent (présence de gypse).

Le rapport intégral est placé en annexe de ce document, fin du premier semestre 2013 seront présentés les résultats sur les flux de particules de la mission fin 2012 et de la mission du premier semestre 2013, avec une analyse des tendances évolutives.

3.2.5. Suivi spécifique au port (La surveillance de la Station St16 du port de Prony). Qualité de l'eau et sédiments.

La station St16 du port de Prony est suivie de façon réglementaire au minimum 4 fois par an pour surveiller la qualité de l'eau de mer et une fois par an pour le suivi sédimentaire (St 16). La station de suivi des écosystèmes (ST 03) est suivie de façon semestrielle quant à elle (Cf. chapitre 3.2.2) Les missions ont été effectuées en **mars, mai, août et novembre 2012**.

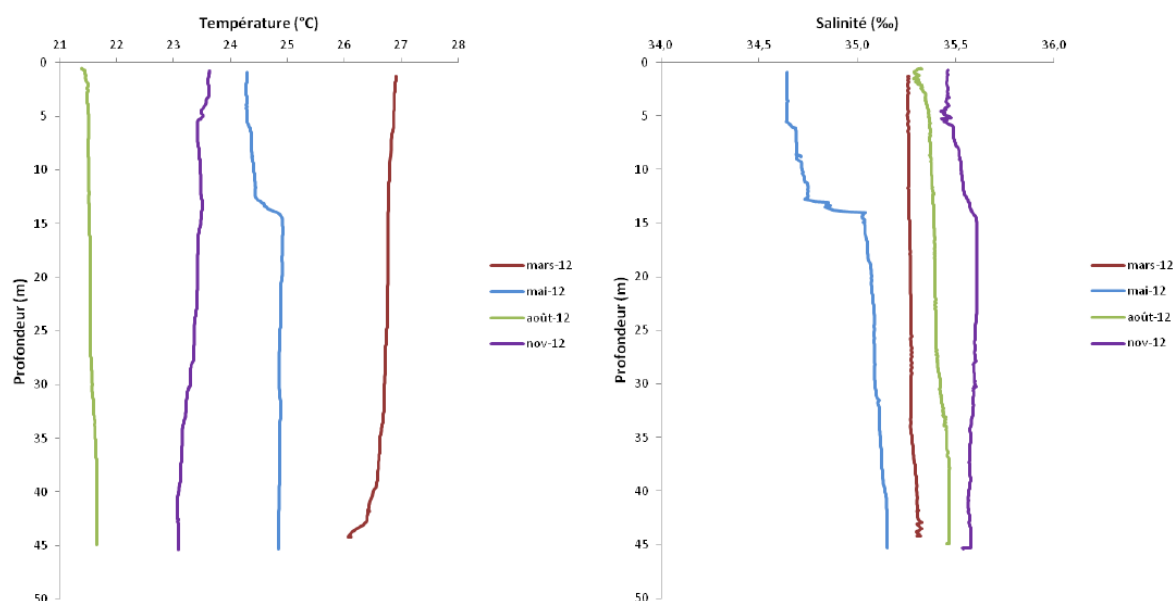
Il a aussi été décidé de doubler la fréquence des suivis au niveau de la Station St15 du creek de la baie Nord, de façon volontariste par Vale NC, les résultats trimestriels de St 15 sont présentés avec ceux de St16, de façon globale et en fin d'année. Le rapport intégral est placé en annexe de ce document.

Figure 72: Rappel de la position des stations suivies trimestriellement



3.2.5.1. Suivi physico chimique de la qualité de l'eau sur la station du port St 16

- A la station St16, la dessalure et la baisse de température de l'importante couche de surface (15 mètres de profondeur) enregistrées en en mai 2012 résultent probablement de l'entrée d'eaux en provenant du Canal et poussées par les vents forts de secteur SW. (Cf. courbes bleues en figure 63). Le pic de fluorescence sous cette couche délimite les eaux sous-jacentes purement lagunaires de la baie. Une telle couche d'eau de surface ne correspond pas à l'apport d'un creek et en mai la pluviométrie cumulée (cf. figure 64) n'a pas été importante.

Figure 73 : structure de la colonne d'eau Stations St16, 4 relevés 2012


- Les valeurs moyennes de SO_4^{2-} , Mg^{2+} et pH sont conformes aux valeurs attendues et similaire avec celles obtenues lors des campagnes de suivi précédentes.

- Au niveau des matières en suspension MES : Un rappel des données pluviométrique est indispensable (figure suivante)

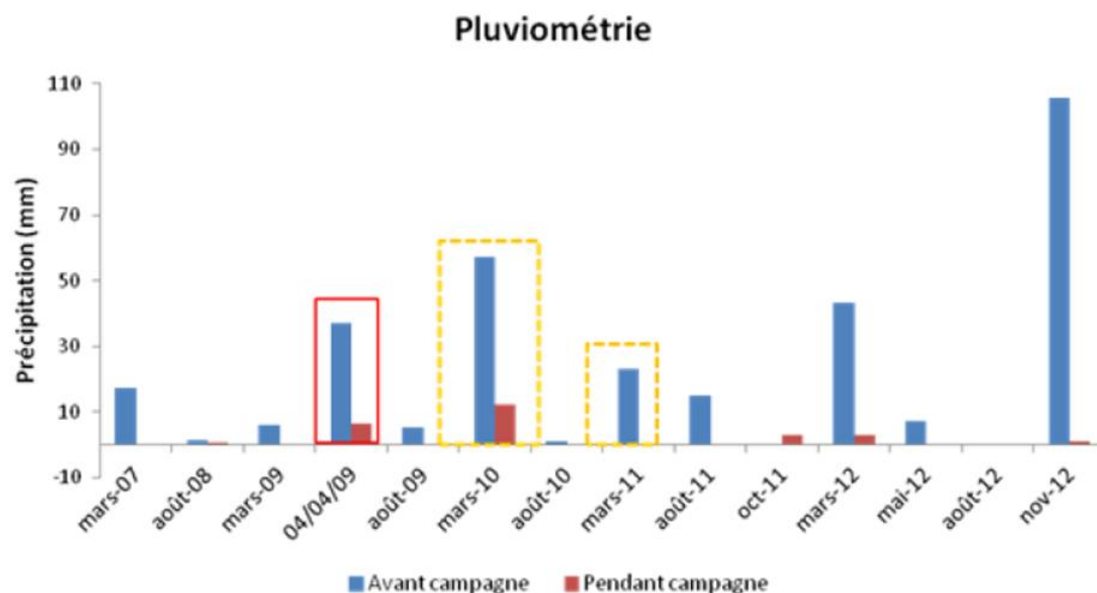
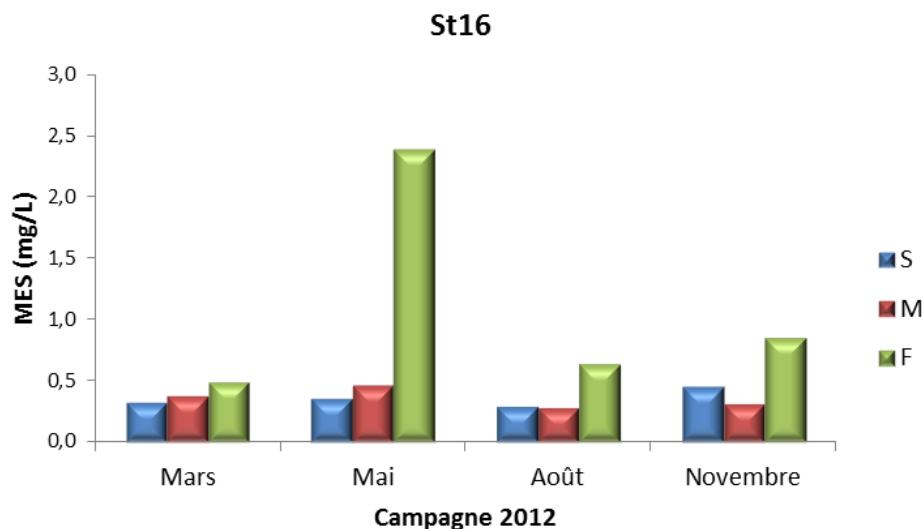
Figure 74: Cumul des précipitations avant les campagnes (5 jours avant) et pendant les campagnes de prélèvement effectuées entre 2007 et 2012


Figure 75 : Concentrations des MES de la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnés (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.



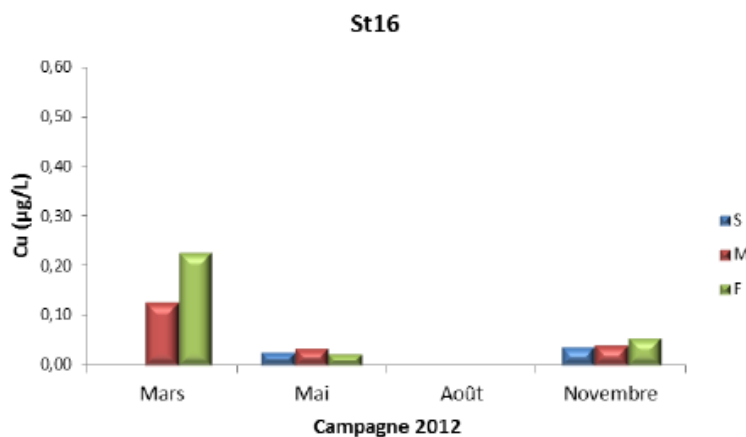
MES : Maximum en profondeur et en mai avec : 2,39mg/L

- Les concentrations de carbonates sont relativement similaires et conformes aux valeurs attendues.

- HT : 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 détection de la méthode (LQ <0,1 mg/L).

- Les métaux dissous : La distribution temporelle des concentrations des métaux dissous tels que le Co, Cr(VI), Mn et Ni au niveau des stations St15 et St16 présentent des similitudes. Les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni sont presque systématiquement plus élevées en surface qu'à mi- profondeur et au fond pour les campagnes de mai et novembre 2012. Ces résultats sont à relier avec les apports d'eaux douces provenant des creeks de la Baie du Prony, également bien mis évidence sur les profils des variables physico-chimiques et/ou l'influence terrigène globale observée en Baie de Prony. Les graphes représentatifs et les données brutes sont en annexe de ce document de synthèse. Ils ne présentent aucune anomalie, au contraire, leur cohérence et précision sont à noter. Et pour le cuivre :

Figure 76 : Concentrations de Cu aux stations St16 aux trois profondeurs échantillonnées lors des campagnes trimestrielles de 2012

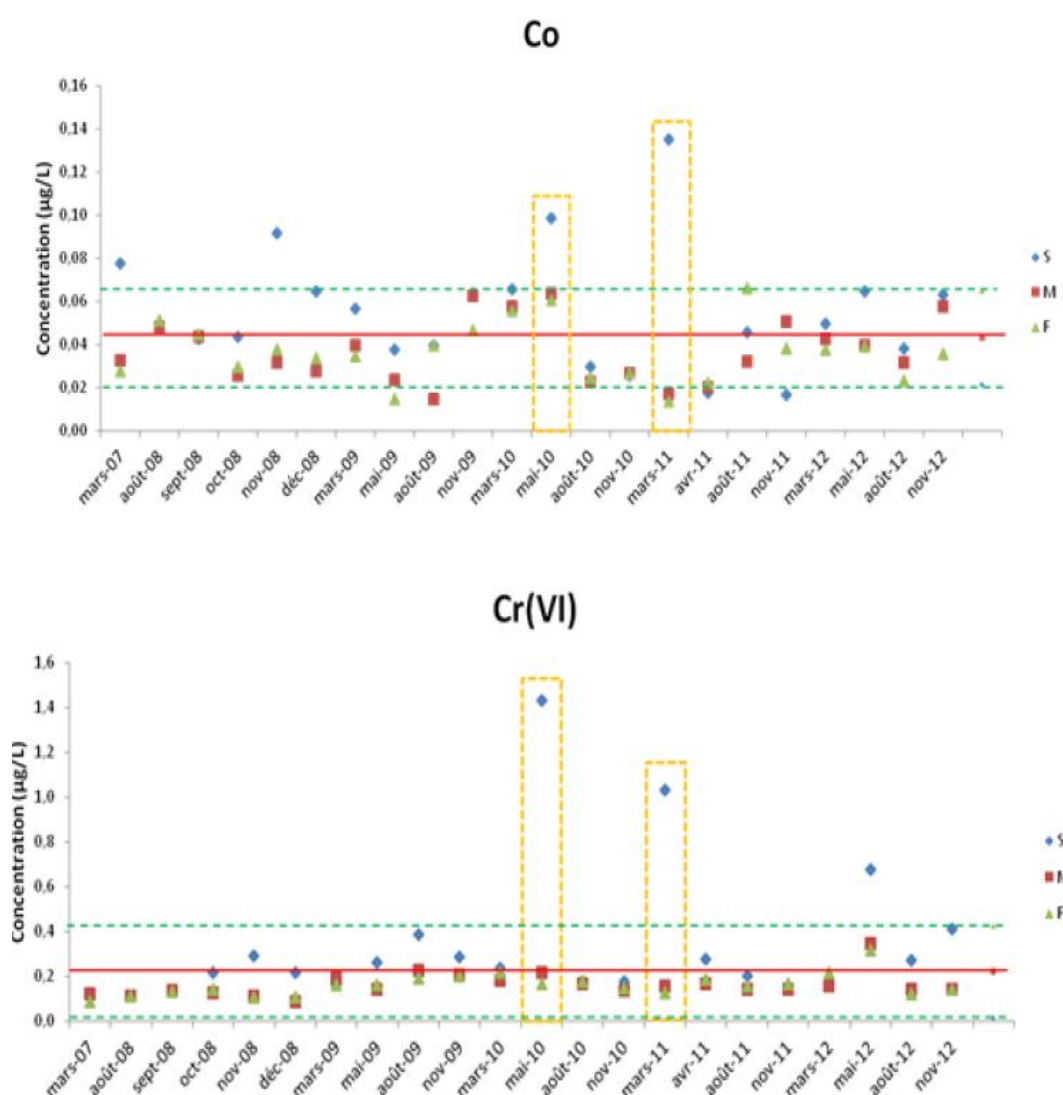


- Evolution temporelle de St 16

Quelques concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni (cf. Figures suivantes) sont situées au-delà des bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ; celles-ci correspondent uniquement à des concentrations des eaux de surface. Les concentrations maximales de ces métaux ont été mesurées lors des campagnes de mai 2010 et mars 2011 ; celles-ci étant nettement plus élevées que les bornes supérieures du bruit de fond de ces métaux. Ce phénomène n'apparaît pas en 2012.

Sur les graphiques suivants (figures 66), la moyenne des concentrations est représentée par une ligne rouge continue encadrée par les bornes de l'écart-type inférieures et supérieures, représentées par des lignes vertes discontinues. Les encadrés discontinus orange correspondent aux campagnes de mars 2010 et 2011. La campagne de mars 2012 ne montre pas de concentrations supérieures au bruit de fond

Figures 77 : Concentrations en métaux dissous mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012



Les concentrations de surface de Cr(VI) mesurées en mai 2010 (1,43 µg/L) et en mars 2011 (1,29 µg/L) sont 2 à 3 fois plus élevées que la borne supérieure du bruit de fond de Cr(VI) (0,43 µg/L). Cette constatation ponctuelle ne réapparaît pas au second semestre 2011 ni en 2012.

Elle ne peut pas être entièrement due à la pluviométrie, cela ne se renouvelle pas en novembre 2012 où la pluviométrie est maximale.

Les fortes précipitations sont responsables d'apports terrigènes relayés par les creeks de la Baie du Prony qui sont donc les sources principales en métaux particuliers et dissous comme mesurées à la station St16 en mai 2010 et en mars 2011. Si le cumul des précipitations tombées avant la campagne de mai 2010 est d'un volume conséquent, il ne peut pas à lui seul expliquer les augmentations de concentrations observées dans les eaux de surface, ce lien n'est pas démontré systématiquement. D'autres paramètres entrent probablement en jeu (déplacement des masses d'eau en fonction de l'état de la marée, la direction et la force des vents...). Une analyse de synthèse et de réflexion sera menée en 2015 en reprenant l'évolution des paramètres sur un nombre de mission suffisant (8 ans).

Le suivi temporel de la station St15 (au Sud de l'embouchure du Creek Nord) suit la même évolution que St 16, ce sont deux stations de « fonds de baie » soumises à des influences terrigènes et sensibles aux apports des creeks, les structures de leur colonne d'eau sont similaires, avec un apport d'eau douce de surface constant pour St 15. Il est intéressant de noter que pour les métaux et leur évolution temporelle, le même phénomène apparaît aussi sur St15 en mars 2011, aucunement sur les stations sous influence marine, bien sûr, mais les stations côtières de la baie de Prot Boisé et de la baie Kwé présentent des similitudes.

En 2012 la station ST16 du port ne présente aucune variation dans ses indicateurs physico chimique de qualité de l'eau.

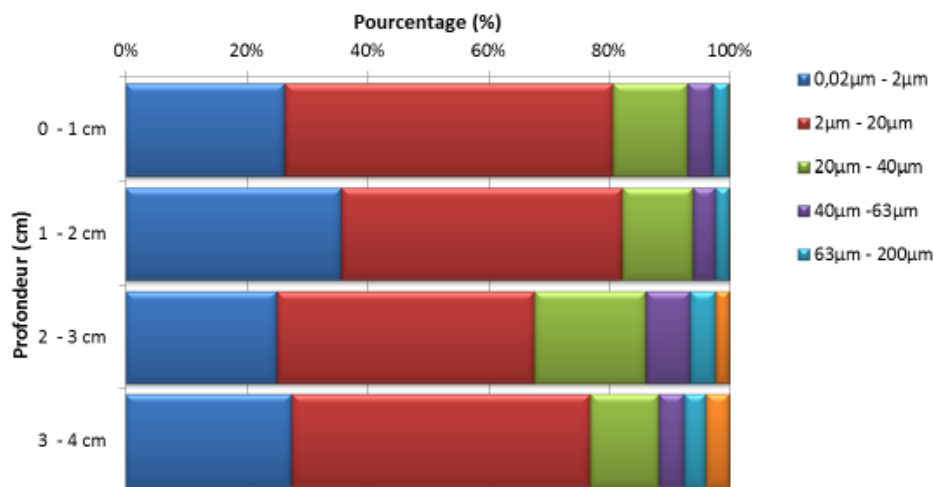
En 2012 la station ST15 (suivi en même temps avec la même fréquence que St16) ne présente aucune variation dans ses indicateurs physico chimique de qualité de l'eau et aucune concentration en métaux supérieure au bruit de fond, elle non plus.

3.2.5.2. Suivi des sédiments à la Station St 16 du port de Prony (suivi annuel)

Caractéristique de la carotte sédimentaire prélevée :

- Les sédiments qui composent les couches les plus récentes sont potentiellement plus riches en particules latéritiques, cette constatation par la couleur n'est pas datée à ce stade.
- La granulométrie montre un affinement de la composition en particules dans les deux horizons les plus récents.

Figure 78 : Distribution granulométrique en pourcentage volumique pour les horizons (0-1 cm), (1-2 cm), (2-3 cm) et (3-4 cm) de la carotte St16 et représentation graphique de l'évolution des pourcentages en fractions pélitiques ($\phi < 40\mu\text{m}$).



Au niveau des horizons de surface de 0 à 2cm, les populations granulométriques de silts moyen et sables fins (classe 200-2000 μm) sont inexistantes. En revanche, plus de 80% des particules sont des argiles ou des silts fins (0,02-20 μm).

Pour les sédiments les plus anciens les fractions grossières (silts moyens - sables fins) et fines (argiles - silts fins) représentent respectivement, 2-4 % et 68-77%.

- La minéralogie de la carotte sédimentaire montre que les sédiments contiennent des marqueurs terrigènes d'origine latéritique comme la goéthite. Cependant les minéraux comme la calcite, la calcite magnésienne et l'aragonite (constituant des coquilles d'invertébrés) sont amplement majoritaires. Leur présence met en évidence la prédominance claire de l'origine marine des 4 niveaux étudiés.

- Composition géochimique des sédiments

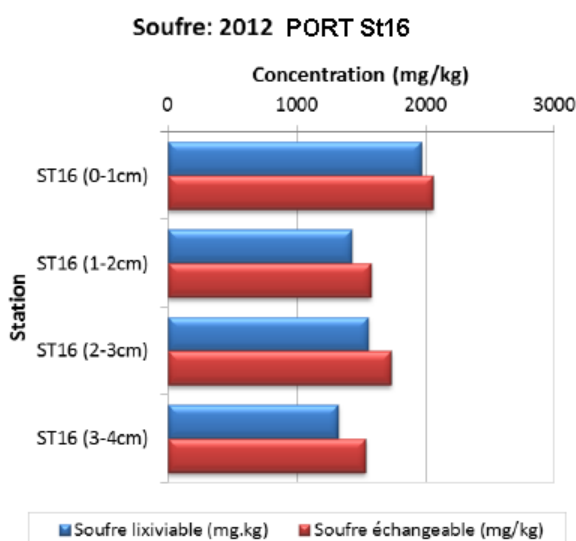
Pour tous les métaux analysés, les concentrations totales sont inférieures dans les deux premières couches sédimentaires à celles des deux suivantes (Tableau suivant). Les écarts peuvent atteindre et même dépasser les 25% dans le cas de Co, Cu, Fe et Ni ; la différence la moins prononcée est observée pour Cr qui diminue en surface seulement de 2%. Pour Ca, Mn et Zn, la différence est intermédiaire (15%).

Tableau 32 : Concentrations totales dans les fractions pélitiques ($\phi < 40\mu\text{m}$) des sédiments de surface de la carotte St16.

	HORIZON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Surface ↓	0 - 1 cm	199 766	75	2 367	9	65 920	782	1 032	60
	1 - 2 cm	180 194	67	2 232	8	60 758	679	959	47
	2 - 3 cm	222 251	94	2 287	11	83 325	874	1 350	62
	3 - 4 cm	224 393	95	2 427	11	85 563	852	1 387	63

Pour le soufre d'une façon générale, les concentrations montrent une tendance à la baisse avec la profondeur d'enfouissement : pour le soufre lixiviable, les teneurs décroissent de 1969 à 1321 mg/kg, Pour la fraction échangeable, elles passent de 2059 à 1535 mg/kg ; les niveaux de concentration en soufre lixiviable et échangeable sont sensiblement proches pour 4 horizons. Cela signifie donc une tendance à la hausse dans les horizons de surface récents.

Figure 79 : Evolution des concentrations en soufre lixiviable et en soufre échangeable dans la fraction brute des sédiments de la carotte St16.



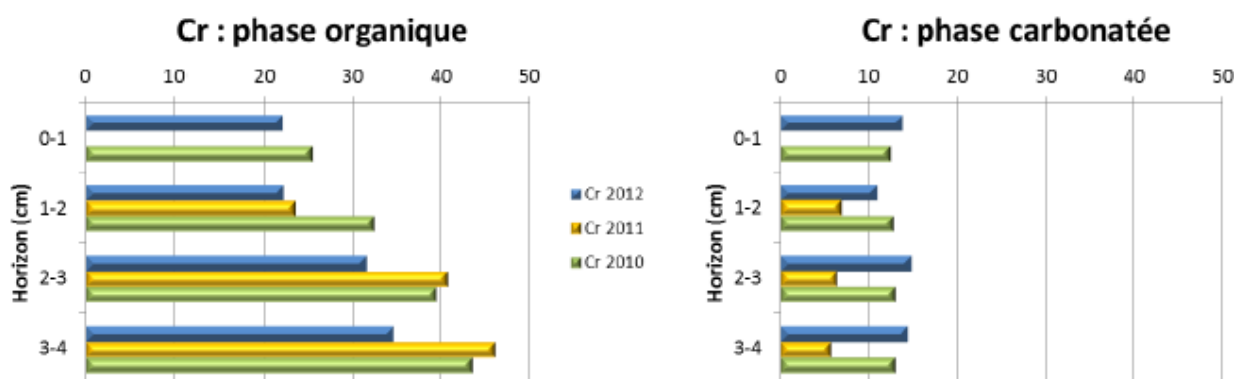
D'un point de vue géochimique, les 2 premiers centimètres du dépôt sont enrichis en phase organique ($\approx 30\%$) comparativement aux dépôts sous-jacents ($\approx 10\%$) ; cette couche à caractère organique et la fraction carbonatée des sédiments renferment une proportion importante du cuivre total (jusqu'à 50%). Un faible gradient de concentration vertical des métaux semble se dessiner dans les phases organiques et carbonatées, **tout comme pour le soufre qui montre une légère sur- concentration dans le premier centimètre des dépôts.**

- Evolution temporelle

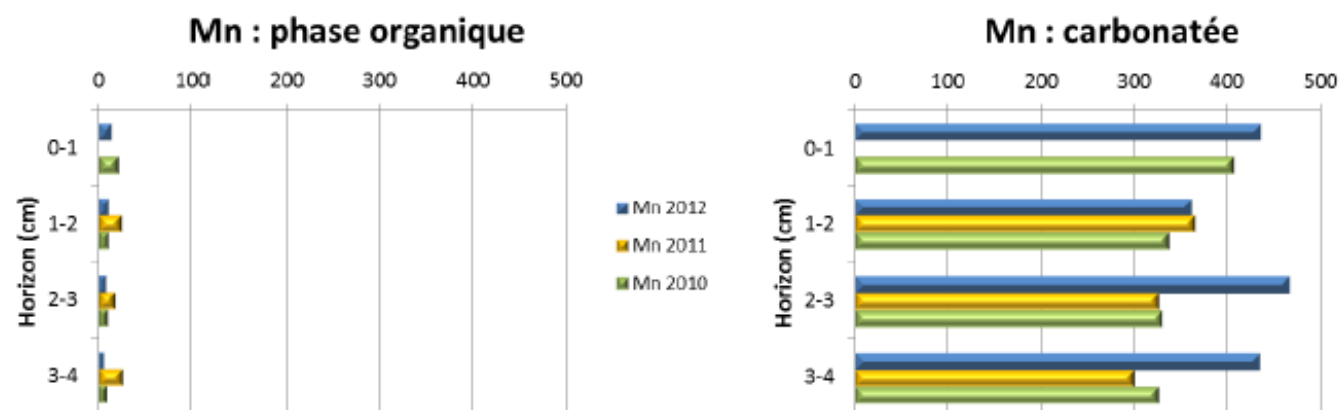
Dans la phase organique : L'évolution des concentrations de chrome sont relativement constantes dans le temps. En effet, les fluctuations observées pour chaque niveau ne résultent probablement que de la variabilité spatiale du prélèvement. Pour le cuivre, les concentrations semblent être plus élevées en 2012 mais, là encore la variabilité spatiale de la composition des sédiments pourrait être avancée. En ce qui concerne le manganèse, aucune tendance temporelle ne peut être dégagée.

Dans la phase carbonatée : Le chrome, qui est en concentration moindre que dans la phase organique, ne montre pas de tendance avec le temps ; la variabilité de l'échantillonnage pouvant être à l'origine des fluctuations.

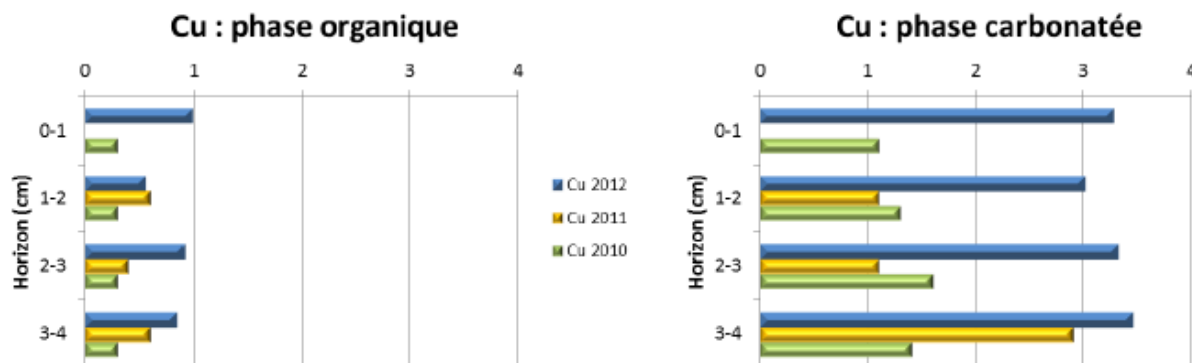
Tableau 33 : Evolution temporelle des métaux dans les sédiments prélevés en 2010, 2011 et 2012 à la Station St16.



Pour le manganèse dont les concentrations sont environ 30 fois plus élevées dans cette phase carbonatée, il ne semble pas non plus qu'une évolution temporelle émerge.



A l'inverse, pour le cuivre, les concentrations semblent être 3 fois plus élevées en 2012 qu'auparavant. Toutefois, cet accroissement des concentrations affectant les 4 horizons sédimentaires simultanément, c'est-à-dire même l'horizon profond (ancien), la tendance observable devra être confirmée par les prélèvements à venir.



3.2.5.3. Rappel sur la station éco systémique du port ST03

La station du suivi des écosystèmes coralliens et populations associées du port est la station ST03 située en face un creek temporaire.

Cette station est surveillée avec la plus grande attention, la proximité du port et les mouvements de gros bateaux peuvent occasionner une remobilisation des particules sédimentaires et un engorgement plus conséquent des colonies coralliennes. Sur la photographie suivante l'emplacement de la station ST03 est indiqué par une croix rouge.

Photographie 1 : Le port de Prony et l'emplacement de la station ST03



Les modifications enregistrées en 2012 sur ST03 font partie du rapport sur le suivi des écosystèmes sur 12 stations (chapitre 3.2.2 et annexe) et elles sont synthétisées dans le tableau suivant.

- La part de biotique du transect A (5m de fond) ré-augmente par rapport à la précédente mission (47.5% vs 20%), pour reprendre des taux proche de la campagne d'octobre 2011, du fait d'un recouvrement accru par le DCA (« corail mort avec algues », biotique), au détriment de la vase. Le recouvrement des coraux scléactiniaires est en légère baisse
- Les algues continuent à diminuer au transect B (10 m) , pour être quasi absentes (1.5%). Les cyanobactéries sont toujours totalement absentes. Les coraux scléactiniaires sont stables (29%).
- Le transect C (13m) , est stable, avec 0.5% de cyanobactéries.

Le blanchissement corallien affecte 4/98 espèces de scléactiniaires (4,1%). Le blanchissement visuel moyen est de 0,267% de la surface totale observée.

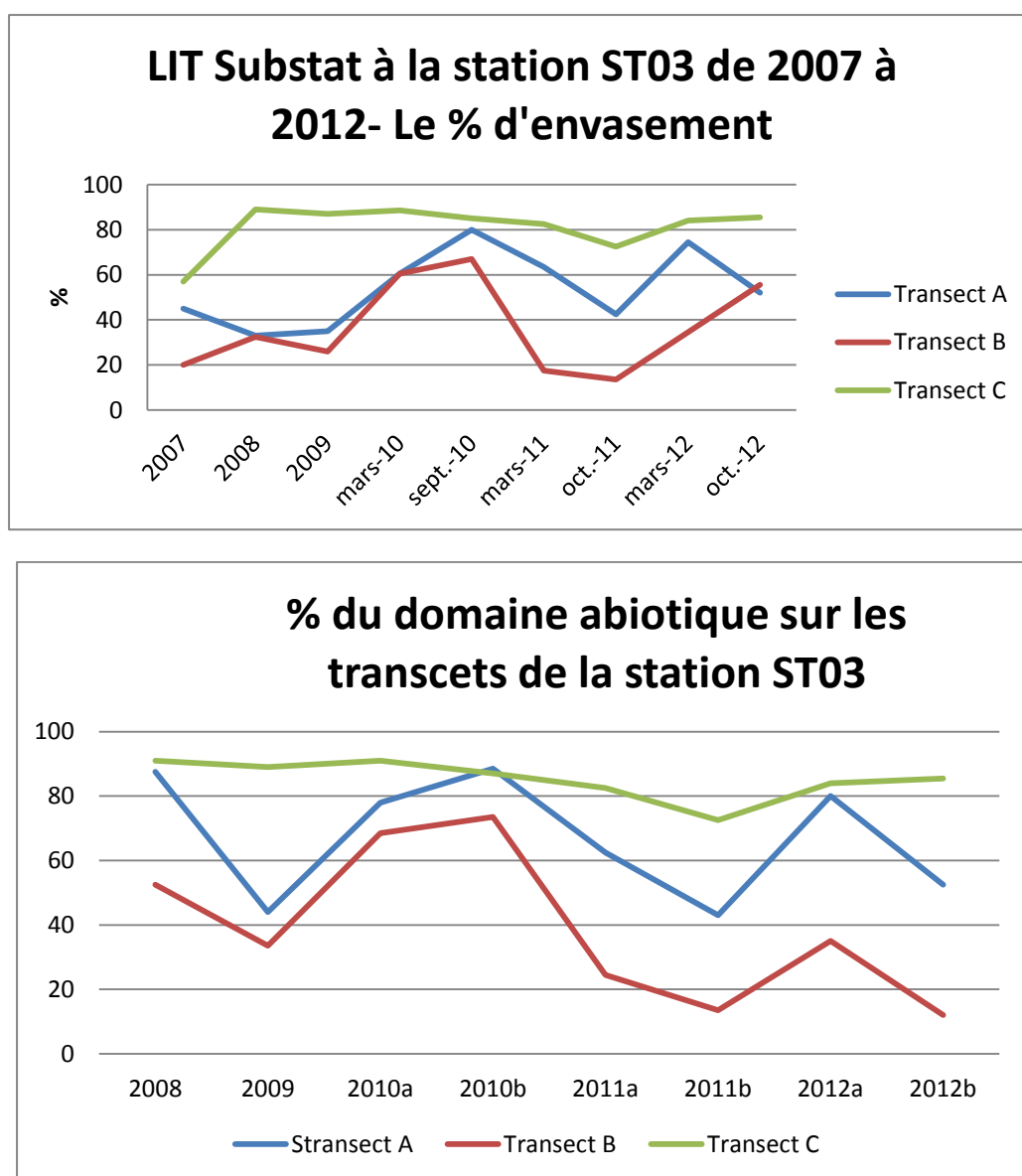
La station ST03 est dans son ensemble assez stable avec des valeurs qui rappellent la mission d'il y a un an.

Figure 80 : Evolution ST 03 PORT en 2012

Variations entre mars 2012 et octobre 2012	
↗	Richesse spécifique des coraux a particulièrement augmenté en ST03A (recrutement corallien important)
↗	Le blanchissement corallien affecte 4/98 espèces de scléractiniaires mais le recouvrement en espèce blanchie est faible
↗	Le turn over corallien est positif malgré les conditions turbide importante, les colonies juvéniles remplacent progressivement les colonies envasées
↗	Présence de <i>Culcita novaeguineae</i> sur ST03C (alternance cyclique de cette étoile de mer en coussin prédatrice des coraux)
↗	Recouvrement des cyanobactéries en augmentation sur ST03A et absent sur les deux autres transects
↗	La richesse spécifique des mollusques a augmentée en ST03C (dont 4 nouveaux nudibranches)

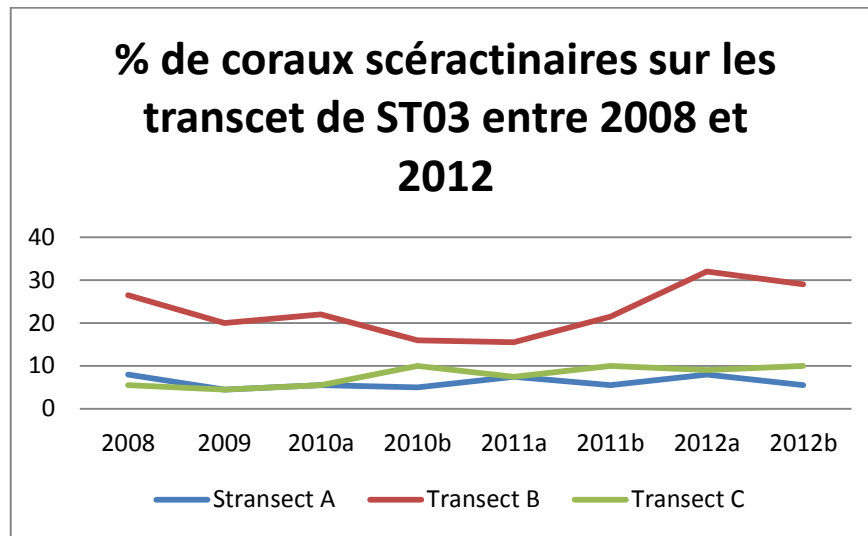
Pour le risque d'envasement, celui-ci est suivi, entre autres indicateurs, grâce aux LIT /Substrat sur les 3 transects situés à 5, 10 et 13 mètres de profondeur

Figure 81 : Rappel de l'évolution du substrat sur la station ST03 du Port entre 2007 et 2012



L'évolution des coraux Scléractinaires (durs) sur la station ST03 (Evaluation du substrat par LIT), au niveau des 3 transects, est montrée sur les figures suivantes.

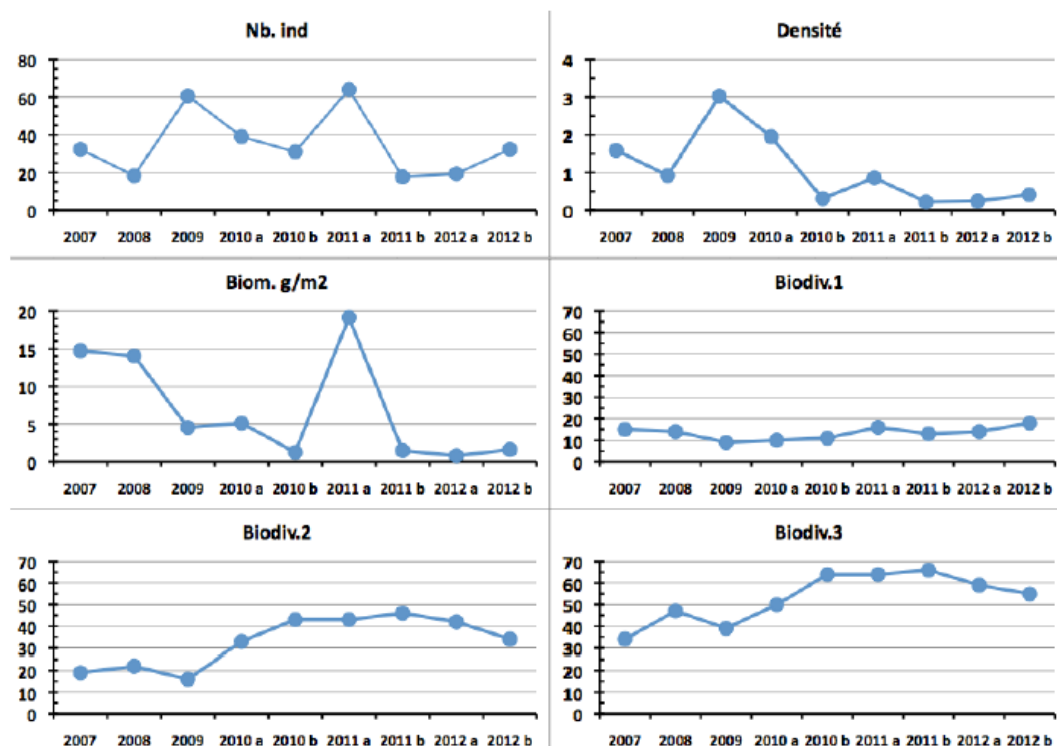
Figure 82 : LIT / substrat sur les 3 transects de la Station ST03 du Port de Prony



En octobre 2012, la station ST03 présente 102 espèces coralliennes (dont 98 espèces de coraux scléractinaires répartis sur 13 familles), 50 espèces d'Invertébrés et 10 espèces de macrophytes. Le chapitre 4.3 du rapport intégral du suivi des écosystèmes du second semestre 2012 présente une synthèse sur cette station (en annexe).

Pour les poissons 97 individus appartenant à 184 espèces ont été observés durant la mission d'octobre 2012 (liste restreinte) ce qui donne une densité de 0,41 poisson au m²

Figure 83 : Evolution des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST03/PORT)



Evolution des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST03)

3.2.6. Suivi des sédiments sur les 14 stations (mission triennale sauf au port où elle est annuelle)

3.2.6.1. Granulométrie des sédiments

Sur les 4 stations localisées dans la Baie de Prony, les stations St15 et St16 sont composées d'une très forte proportion de pélites, respectivement 83,5% et 78,5%.

Les pourcentages pélitiques des stations localisées dans le Canal de la Havannah sont assez contrastés. Ils démontrent la diversité des conditions hydrodynamiques régnantes qui permettent, seulement localement, la formation de lentilles de dépôts pélitiques, quelques fois d'ordre temporaire

Tableau 34 : Teneur en fraction pélitique (< 40µm) des sédiments échantillonnés dans le domaine d'étude ; (nd) = non déterminé en raison de la présence de sédiments meubles en quantité insuffisante.

	STATIONS	LOCALISATION	% PELITES		
			2006	2009	2012
Baie de Prony	St15	Creek Baie Nord	1,2	9,8	0,2
	St16	Prony Warf	0,6	70,6	34,6
	St18	Ilot Casy	5,7	nd	nd
	St19	Rade de l'Est	48,6	39	16,9
Ile Ouen / Canal Woodin	St20	Baie Iré	26,5	65,3	38
	St13	Pointe Nord du récif Ma	2,7	13,6	nd
Canal de la Havannah	St02	Basse Chambeyron	47,9	58,1	36,3
	St03	Baie de Port Boisé	0,6	27,2	23
	St05	Ilot Kié	72,3	98	83,4
	St06	Récif de la baie Kwé	56,2	97,8	78,5
	St07	Récif Ioro	9	nd	2,6
	St09	Canal de la Havannah		79,3	50,1
	St14	Port de Goro		41,3	30,5
	St21	Ilot Ugo			5,9

La granulométrie des sédiments n'a pas évolué de manière probante dans l'ensemble des stations entre 2009 et 2012, à l'exception de St06 (en sortie de la baie Kwé).

Pour cette station, une augmentation des fractions grossières semble se dessiner depuis 2006. Ailleurs, les variations sont imputables à la variabilité naturelle et à l'imprécision du prélèvement (dérive de l'embarcation pendant les prélèvements).

3.2.6.2. Minéralogie des sédiments

Les minéraux carbonatés dominent la composition des 12 échantillons de sédiments. La goethite, minéral issu de l'altération des latérites, est décelable sur un nombre de stations limité aux proches embouchures des sources d'apports terrigènes uniquement.

3.2.6.3. Métaux associés aux phases géochimiques des sédiments

Le rapport intégral en annexe de ce document présente les résultats des analyses dans leur ensemble.

En résumé : La phase carbonatée des métaux permet de mettre en évidence une distribution spatiale qui globalement suit un gradient de décroissance des concentrations en fonction de la distance à la côte. Cependant, les différents termes sources terrigènes n'exercent pas des pressions identiques, notamment la Kwé et le Creek de la Rade Nord ; le bassin versant de ce dernier s'avérant prépondérant pour les apports en Co, Cr, Mn et Ni.

En ce qui concerne les phases oxy-hydroxydées, les niveaux de concentration des métaux sont faibles et une seule source avérée (Creek de la Rade Nord) est mise en évidence ; la Baie Iré montrant aussi des teneurs notables.

Le Creek de la Baie Nord est le principal vecteur identifié du cortège des métaux terrigènes; la Kwé ainsi que les creeks qui alimentent les baies de Port Boisé et Iré sont autant de sources secondaires à prendre en compte.

3.2.6.4. Comparaison interannuelle 2006, 2009, 2012.

Les stations sensibles à la sédimentation que sont St15 (creek baie Nord en baie du Prony) et St06 (Baie Kwé) sont présentées ci-dessous.

Figure 84 : Concentrations en Co dans les 4 différentes phases géochimiques : évolutions temporelles 2006, 2009 et 2012 pour les stations sentinelles St06 (Baie Kwé) et St15 (Creek de la Baie Nord).

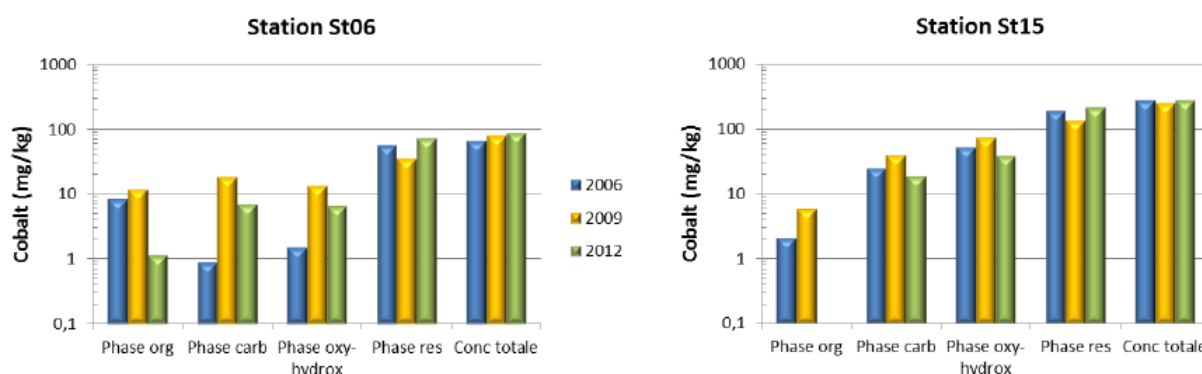


Figure 85 : Concentrations en Cr: évolutions temporelles 2006, 2009 et 2012

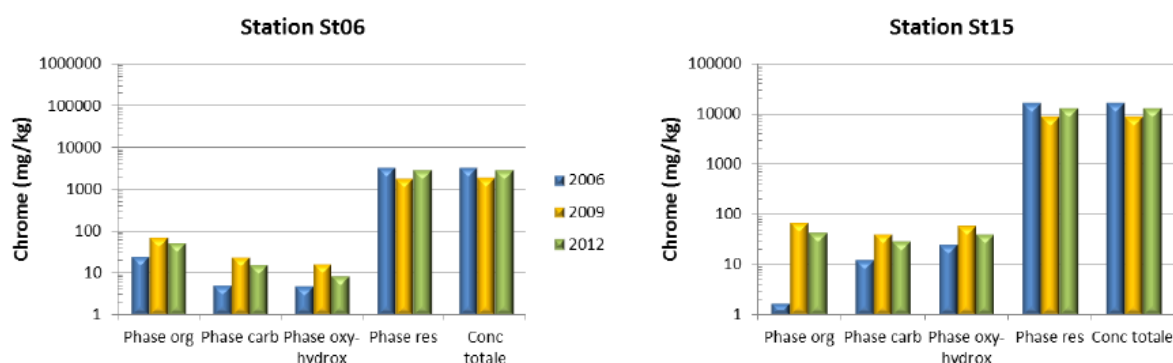
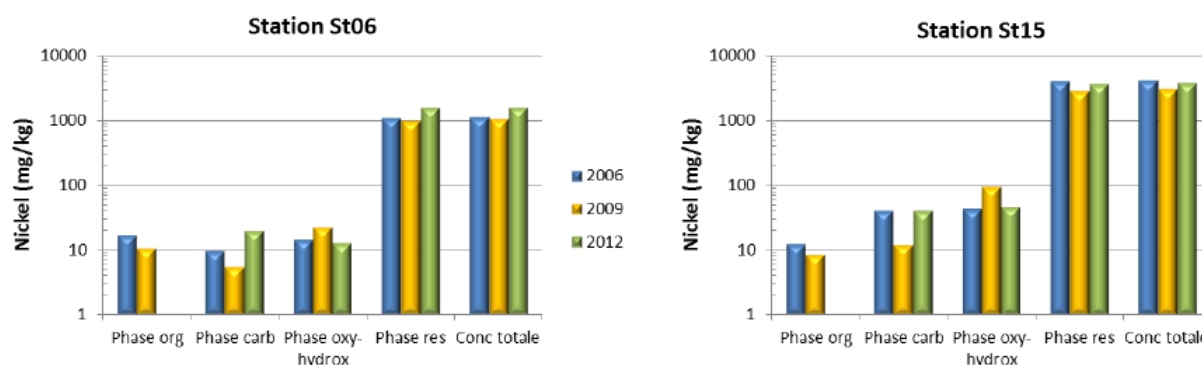


Figure 86 : Concentrations en Ni: évolutions temporelles 2006, 2009 et 2012 pour les stations sentinelles



Les quantités totales de cobalt, chrome et nickel sont constantes depuis 2006, toutefois une différence est notée dans la répartition de certaines formes géochimiques de ces métaux, en particulier les carbonates. Cette évolution temporelle affecte de manière différente les métaux en fonction, d'une

part, des caractéristiques physico-chimiques propres et d'autre part, du terme source (creeks Rade Nord ou Kwé). Les formes organiques évoluent de manière assez aléatoire tandis que les formes carbonatées semblent bien être liées aux apports en métaux dissous ; les concentrations étant plus élevées au droit du Creek de la Rade Nord que dans la Baie Kwé.

4. CONCLUSION

	Rapport finalisé et remis aux administrations de contrôle
	La mission est en cours

Tableau 30 : Synthèse des résultats des missions réglementaires de suivis du milieu marin du 1er semestre 2012.

Suivi réglementaire 2012	Indicateurs	Premier semestre 2012	REPORTING	Second semestre 2012	REPORTING
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique	Conforme aux valeurs attendues		Conforme aux valeurs attendues et à la modélisation hydro dynamique	
Qualité de l'eau et concentrations en métaux	Chimique	Conforme aux valeurs attendues		pH conforme, pas d'hydro-carbure HT, aucune tendance évolutive des métaux et sels nutritifs sans augmentation. Conforme aux valeurs attendues	
Suivi des écosystèmes	Biologique Corail Benthos Poissons	Très bonne santé des récifs et des populations associées Aucune anomalie ou indice d'alerte.		Bonne santé des récifs et des populations associées. Pas de prolifération des cyanobactéries, algues ou prédateurs du corail ; stabilité ou tendance à la hausse de la richesse sp. en coraux, stabilité de l'ichtyofaune.	
Bioaccumulation Sur transplants	Bioaccumulateur	Résultats cohérents avec les bivalves, pas d'accumulation de métaux Perte des algues par broutage.			
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Suivi triennal, dernière mission en 2010, prochain suivi en 2013			
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Les quantités totales de cobalt, chrome et nickel sont constantes depuis 2006. Une différence dans la répartition de certaines formes géochimiques de ces métaux, en particulier les carbonates. Les formes organiques évoluent de manière assez aléatoire tandis que les formes carbonatées semblent bien être liées aux apports en métaux dissous ; les concentrations étant plus élevées au droit du Creek de la Rade Nord que dans la Baie Kwé.			
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique	Les valeurs de flux de matière particulaire (MES) entrent toutes dans les gammes observées antérieurement. Les flux de métaux montrent une tendance à la hausse. Cette évolution est à mettre en parallèle avec la saisonnalité des apports terrigènes qu'un fort rythme de précipitations caractérise. Aucune trace d'enrichissement anormal en calcium ou en soufre (signatures potentielles du rejet dans les MES collectées à la station près du diffuseur) ne permet de déceler l'influence de l'effluent			

Suivi spécial zone portuaire	Physique Chimique Et sédiments	Pas de HT, pas de variation du pH. Le soufre montre une tendance à la hausse dans les horizons de surface récents. Le cuivre présente des concentrations 2012 plus élevées mais cet accroissement affectant les 4 horizons sédimentaires simultanément, c'est-à-dire l'horizon profond aussi (ancien), la tendance observable devra être confirmée par les prélèvements à venir.	
---------------------------------	--------------------------------------	---	--

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 est pertinent.
- Le suivi écologique montre que le passage des dépressions et du cyclone de janvier 2011 a bien été décelé, ce qui est logique, le contraire eut fait douter de la finesse des méthodologies de suivi. La récupération des écosystèmes a été rapidement amorcée, cependant la dépression Freda du 02 janvier 2013 aura à nouveau causé des effets, encore non analysés dans ce rapport 2012. Une mission spéciale d'évaluation a été réalisée durant les semaines 3 et 4 de l'année 2013, les résultats seront analysés et communiqués dans le premier bilan semestriel 2013.
- Il n'a pas eu de pollution ni d'impact sur le milieu marin, la qualité du milieu marin est bonne.
- L'effluent ne montre aucun effet, comme attendu par les études, modélisations et expertises antérieures.

6. BILAN DES NON-CONFORMITES

Aucune non-conformité n'a été constatée pour le milieu « récepteur marin » au cours de ces suivis 2012 en comparaison avec les données des états des lieux et des suivis depuis 2007 ou 2005 selon les bases de données.

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	<i>Anthias</i> et <i>Pseudanthias</i>	spp
	<i>Cromileptes</i>	<i>altivelis</i>
	<i>Epinephelus</i>	<i>cyanopodus</i>
	Autres loches	spp
	<i>Plectropomus</i>	spp
Pseudochromidae	<i>Pictichromis</i>	<i>coralensis</i>
Carangidae		spp
Lutjanidae	<i>Aphareus</i>	<i>furca</i>
	<i>Aprion</i>	<i>virescens</i>
	<i>Lutjanus</i>	<i>adeti</i>
	<i>Lutjanus</i>	<i>sebae</i>
	<i>Lutjanus</i>	spp
	<i>Symphorus</i>	<i>nematophorus</i>
Caesionidae		spp
Haemulidae	<i>Diagramma</i>	<i>pictum</i>
	<i>Plectorhinchus</i>	spp
Lethrinidae	<i>Lethrinus</i>	<i>nebulosus</i>
	Autres bossus et bec	spp
Nemipteridae	<i>Scolopsis</i>	<i>bilineatus</i>
Mullidae		spp
Kyphosidae		spp
Ephippidae	<i>Platax</i>	spp
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>auriga</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>baronessa</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>bennetti</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>citrinellus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ephippium</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>flavirostris</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>kleinii</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lineolatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lunula</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>melannotus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>mertensii</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ornatissimus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>pelewensis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>plebeius</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>rafflesi</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>reticulatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>speculum</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>semeion</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>trifascialis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lunulatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ulietensis</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>unimaculatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>vagabundus</i>
	<i>Coradion</i>	<i>altivelis</i>
	<i>Forcipiger</i>	<i>flavissimus</i>
	<i>Forcipiger</i>	<i>longirostris</i>
	<i>Hemitaenichthys</i>	<i>polylepis</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>acuminatus</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>chrysostomus</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>monoceros</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>singularis</i>
	<i>Heniochus</i>	<i>varius</i>
Pomacanthidae	<i>Centropyge</i>	<i>bicolor</i>

Famille	Genre	espèce
	<i>Centropyge</i>	<i>bispinosus</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>flavissima</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>heraldi</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>tibicen</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>vroliki</i>
	<i>Chaetodontoplus</i>	<i>conspicillatus</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>imperator</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>semicirculatus</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>sextriatus</i>
	<i>Pygoplites</i>	<i>diacanthus</i>
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	spp
	<i>Amphiprion</i>	<i>perideraion</i>
	<i>Amphiprion</i>	spp
	<i>Chromis</i>	<i>viridis</i>
	<i>Chromis</i>	<i>fumea</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>taupou</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>rollandi</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>aruanus</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>reticulatus</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>trimaculatus</i>
	<i>Neopomacentrus</i>	<i>azysron</i>
	<i>Neopomacentrus</i>	<i>violascens</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>coelestis</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>moluccensis</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>aurifrons</i>
	<i>Stegastes</i>	spp
Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>loxozone</i>
	<i>Bodianus</i>	<i>perditio</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>chlorourous</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>trilobatus</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>undulatus</i>
	<i>Choerodon</i>	<i>graphicus</i>
	<i>Coris</i>	<i>aygula</i>
	<i>Coris</i>	<i>gaimard</i>
	<i>Gomphosus</i>	<i>varius</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>hortulanus</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>margaritaceus</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>trimaculatus</i>
	<i>Hemigymnus</i>	<i>melapterus</i>
	<i>Labroides</i>	<i>dimidiatus</i>
	<i>Novaculichthys</i>	<i>taeniourus</i>
	<i>Stethojulis</i>	<i>bandanensis</i>
	<i>Stethojulis</i>	<i>strigiventer</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>amblycephalum</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>hardwicke</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>lunare</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>lutescens</i>
Scaridae	<i>Bolbometopon</i>	<i>muricatum</i>
	<i>Scarus</i>	<i>ghobban</i>
	<i>Chlorurus</i>	<i>microrhinos</i>
	<i>Scaridae</i>	spp
Blennidae	<i>Ecsenius</i>	<i>bicolor</i>
	<i>Meicanthus</i>	<i>atrodorsalis</i>
Gobiidae	<i>Amblygobius</i>	<i>phalaena</i>
Ptereleotridae	<i>Ptereleotris</i>	<i>evides</i>
	<i>Ptereleotris</i>	<i>microlepis</i>
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>dussumieri</i>
	<i>Acanthurus</i>	<i>blochii</i>
	<i>Acanthurus</i>	<i>triostegus</i>
	<i>Acanthurus</i>	spp
	<i>Ctenochaetus</i>	spp
	<i>Naso</i>	<i>unicornis</i>
Acanthuridae	<i>Naso</i>	spp

Famille	Genre	espèce
(suite)	<i>Zebrasoma</i>	spp
Siganidae	<i>Siganus</i>	<i>argenteus</i>
	<i>Siganus</i>	spp
Zanclidae	<i>Zanclus</i>	<i>cornutus</i>
Scombridae	<i>Scomberomorus</i>	<i>commerson</i>
Balistidae	<i>Balistoides</i>	<i>conspicillum</i>
	<i>Oxymonacanthus</i>	<i>longirostris</i>
	<i>Rhinecanthus</i>	<i>aculeatus</i>
	<i>Rhinecanthus</i>	<i>rectangulus</i>
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	spp

ANNEXE II

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

(Second semestre 2012)

ANNEXE III

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

Mission octobre 2012

ANNEXE IV

CAGING

TRANSPLANTATION DE BIO INDICATEURS

BIO ACCUMULATEURS

ANNEXE V

LES FLUX SEDIMENTAIRES 2012

ANNEXE VI

LA QUALITE DES SEDIMENTS

2012

ANNEXE VII

SUIVI AU NIVEAU DU PORT

ST16 ET ST03

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
CaCO ₃	Carbonates de calcium
Cd	Cadmium
Cl	Chlore
Co	Cobalt
COT	Carbone organique total
Cr	Chrome
CrVI	Chrome VI
Cu	Cuivre
DBO ₅	Demande biologique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
F	Fluor
Fe	Fer
FeII	Fer II
HT	Hydrocarbures totaux
K	Potassium
Li	Lithium
MES	Matières en suspension
MEST	Matières en suspension totales
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
Mo	Molybdène
Na	Sodium

NB	Nota bene
NH3	Ammonium
Ni	Nickel
NO2	Nitrites
NO3	Nitrates
NT	Azote total
P	Phosphore
Pb	Plomb
pH	Potentiel hydrogène
PO4	Phosphates
S	Soufre
Sb	Antimoine
Se	Sélénium
Si	Silice
SiO2	Oxyde de silicium
Sn	Etain
SO4	Sulfates
Sr	Strontium
T°	Température
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
Te	Tellure
Th	Thorium
Ti	Titane
Tl	Thallium
U	Uranium
V	Vanadium
WJ	Wadjana
Zn	Zinc