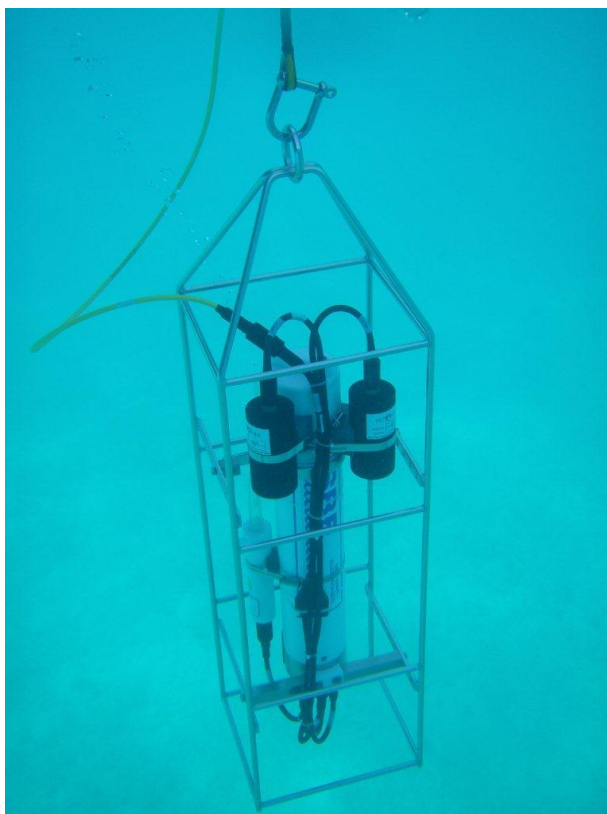




Suivi environnemental Second semestre 2011

MILIEU MARIN



Sommaire

INTRODUCTION	1
1. ACQUISITION DES DONNEES	2
1.1 Localisation	2
1.1.1 Positionnement des stations des suivis règlementaires du milieu marin	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 (<i>caging</i>)	5
1.1.5 Points de suivi des sédiments – qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures	7
1.1.6 Points de suivi du taux d'accumulation sédimentaire	8
1.1.7 Points de suivi des flux sédimentaire	8
1.2 Méthode	9
1.2.1 Surveillance de la qualité des eaux marines : paramètres physico-chimiques et structure de la colonne d'eau	9
1.2.2 Paramètres biologiques indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des populations associées, méthodologie	187
1.2.3 Bio-accumulation des métaux et solvants dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines	210
1.2.4 Qualité des sédiments, métaux dissous, éléments majeurs et hydrocarbures	232
1.2.5 Taux d'accumulation des sédiments	243
1.2.6 Flux sédimentaires	243
1.3 Bilan des données disponibles	265
1.4 Synthèse des suivis 2011	26
2. RESULTATS	298
2.1 Valeurs réglementaires	298
2.2 Valeurs obtenues	32
2.2.1 Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer	32
2.2.2 Suivi des écosystèmes coralliens et des populations associées	52
2.2.2.1 Rappels	53
2.2.2.2 Bilan par station suivie	54
2.2.2.3 Comparaisons spatiales entre stations	56
2.2.2.4 Analyse temporelle de l'évolution au cours des années de suivi	63
2.2.2.5 Conclusions sur le suivi écosystémique	83
2.2.3. Suivi des bio- indicateurs transplantés (<i>le caging</i>)	84
2.2.4. Suivi des flux sédimentaires	90
2.2.5 Suivi spécifique au port	94
2.2.6 Synthèse des résultats du suivi 2011	108
2.3 Interprétation et discussion	108
3. BILAN DES NON-CONFORMITES	109

Annexes

- Annexe 1 Liste restreinte des poissons faisant l'objet du suivi ichtyologique
- Annexe 2 Rapport intégral : Suivi environnemental de la qualité de la colonne d'eau de mer – Structure de la colonne d'eau, qualité physico-chimique et concentration en métaux dissous (Second semestre 2011).
- Annexe 3 Rapport intégral : Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah (Second semestre 2011).
- Annexe 4 Rapport intégral : Transplantation de bio-indicateurs bio-accumulateurs (*cagging*) Année 2011.
- Annexe 5 Rapport intégral : Les flux sédimentaires dans le canal de la Havannah et la baie Kwé. Année 2011.
- Annexe 6 Rapport intégral : Suivi trimestriel de la qualité de l'eau à la station ST16 du port de Prony. Année 2011.
- Annexe 7 Rapport intégral : Suivi des sédiments à la station St16 du port de Prony. Année 2011.

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 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)

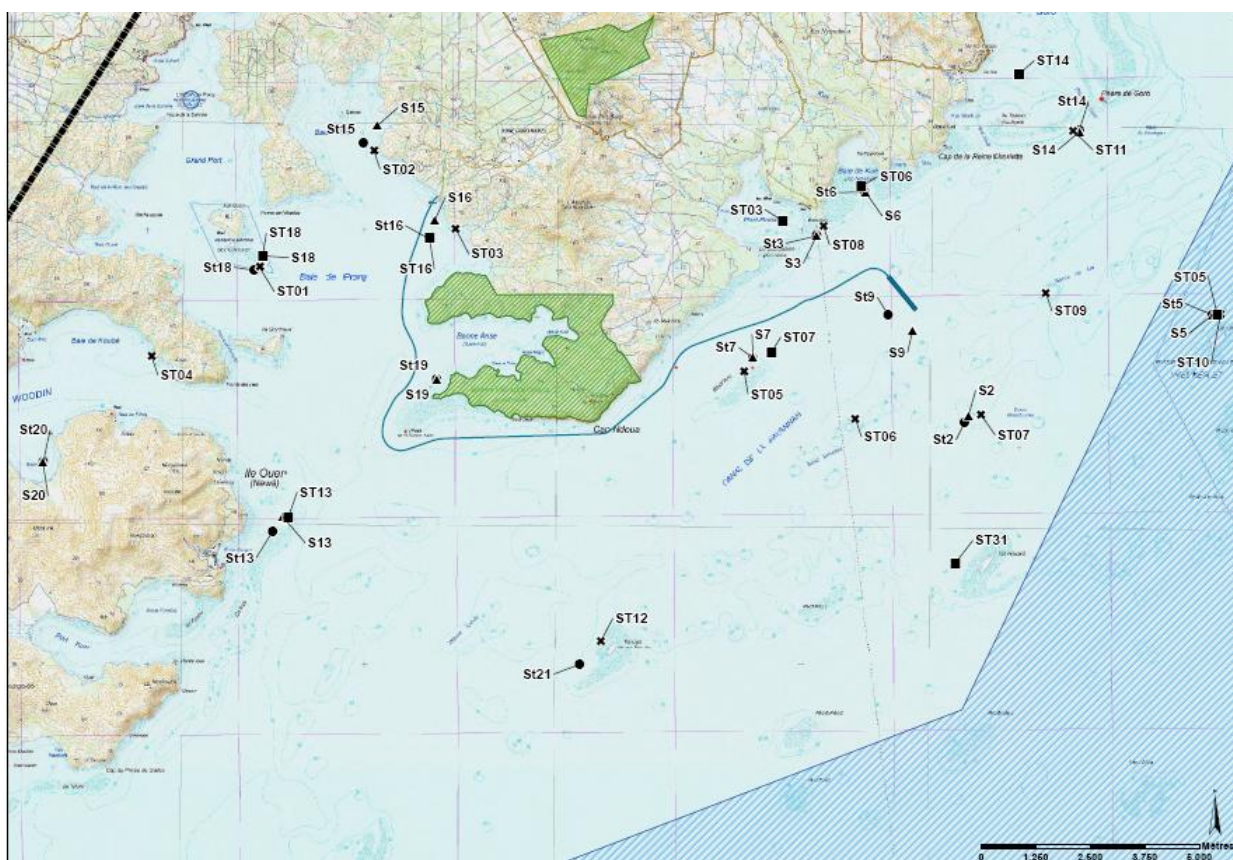
1. ACQUISITION DES DONNEES

1.1 Localisation

1.1.1 Positionnement des stations des suivis réglementaires du milieu marin

La carte suivante synthétise l'ensemble des points de suivi. Les paragraphes suivants reprennent les positions exactes de chaque station, en fonction des indicateurs suivis.

Figure 1 : Stations et points de surveillance du milieu marin



Légende :

- Station Cages
- ✕ Suivi Ecosystème
- ▲ Suivi Sédiments
- Suivi Chimie
- Tuyau
- Diffuseur
- ▨ Zones inscrites Grand Lagon Sud
- ▨ Réserve

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

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

Liste et localisation (référentiel WGS-84) des 14 stations de suivi				
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
Ilôt 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 Ilôt 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
Ilôt Ugo	St21	166°55,501	22°26,728	36

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



14 points sont suivis sur toute la colonne d'eau, c'est-à-dire de la surface jusqu'au fond. 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 des points de relevé des échantillons d'eau de mer correspond à une surveillance :

- de l'effluent,
- de la qualité des eaux des baies recevant des apports terrigènes,
- 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

Tableau 2 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des écosystèmes (peuplements récifaux et poissons associés), référentiel RGNC 91

Dans le canal de la Havannah

RGNC 91	ST05	ST06	ST07	ST08
Localisation	Récif Ioro	Banc Ionontea	Basse Chambeyron	Récif Pointe Puka
Longitude	166°57.507	166°58.995	167°00.671	166°58.566
Latitude	22°23.072	22°23.650	22°23.591	22°21.243
	ST09	ST010	ST011	ST012
Localisation	Banc de Kié	Illet Kié	Récif Touémo	Ugo
Longitude	167°01.529	167°03.862	167°01.875	166°55.625
Latitude	22°22.070	22°22.324	22°20.046	22°26.438

En baie de Prony et dans le canal Woodin

RGNC91	ST01	ST02	ST03	ST04
Localisation	Illet Casy	Creek de la baie Nord	Port de Prony	Canal Woodin
Longitude	166°51.033	166°52.546	166°53.639	166°49.593
Latitude	22°21.799	22°20.356	22°21.312	22°22.933

Une station est constituée de 3 *transects* fixes délimités sur le fond par des piquets implantés. Parfois 2 *transects* quand la topologie du fond ne permet pas d'en placer 3. Un schéma structural de chaque station est renouvelé à chaque rapport de mission.

Rapport « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés » / Mission octobre 2011 - Projet Ouen Nickel

Page 55/62

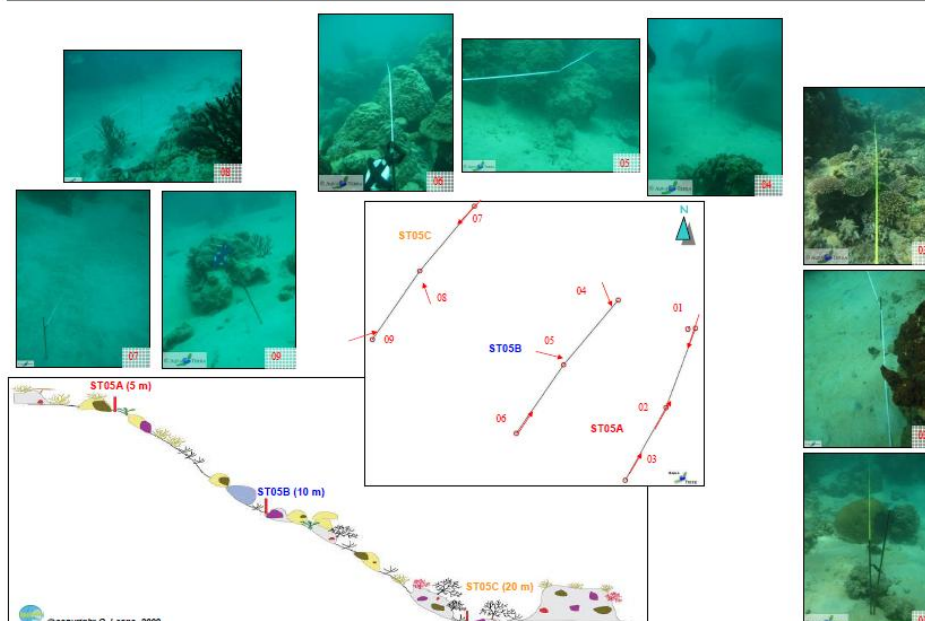
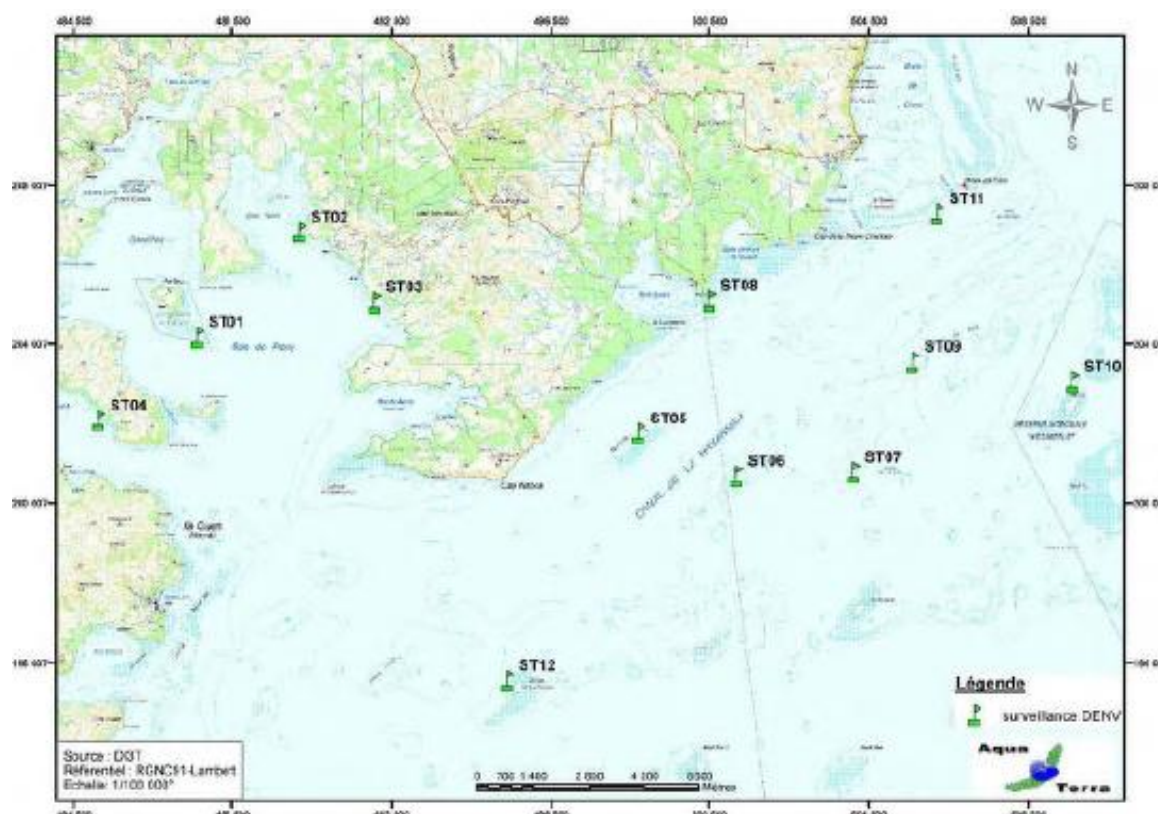


Figure 3 : Localisation géographique des stations fixes sous-marines de suivi des écosystèmes



Les stations 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 : Hugo ST12 située à l'est de l'île Ouen.

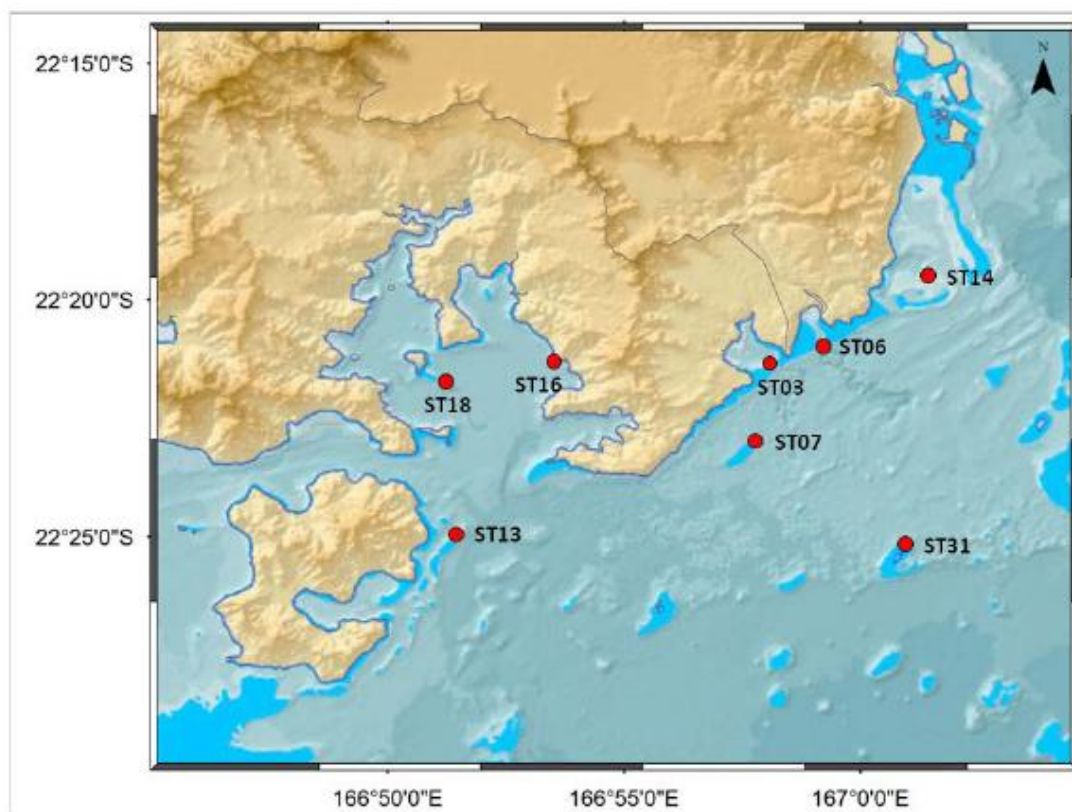
1.1.4 Stations de suivi de la bio- accumulation éventuelle des métaux dans des espèces bio-indicatrices placées en cages sous-marines (*caging*)

Tableau 3 : Localisation géographique des lieux de position des cages, référentiel WGS-84

Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur du point et de la cage (m)
Chenal Baie Port Boisé	St03	166° 58,011	22° 21,190	28,4 / 10,5
Chenal de la Baie Kwé	St06	166° 59,117	22° 20,829	27,2 / 10
Récif Ioro	St07	166° 57,633	22° 22,893	38,5 / 12,5
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,356	22° 24,914	32 ,4 / 10
Port naturel de Goro	St14	167° 01,153	22° 19,351	35,2 / 12,5
Port de Prony	St16	166° 53,290	22° 21,441	42,6 / 12, 5
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,068	22° 21,667	22 / 10
Ilot Nouaré	St31	167° 00,450	22° 25,560	35 / 11,5

Les cages ne doivent pas être placées à une profondeur trop grande, en fonction de la turbidité, afin que la photosynthèse puisse être effectuée par les algues en croissance dans les cages.

Figure 4 : Localisation géographique des cages pour transplantation de bio indicateurs



Il existe 8 stations de transplantation d'espèces bio-indicatrices en cages. Le choix exact de leur position a été effectué après conseil des experts, suite aux études prédictives du comportement de l'effluent (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) et après validation par le département de l'environnement de la Province Sud. Elles sont placées pour un suivi :

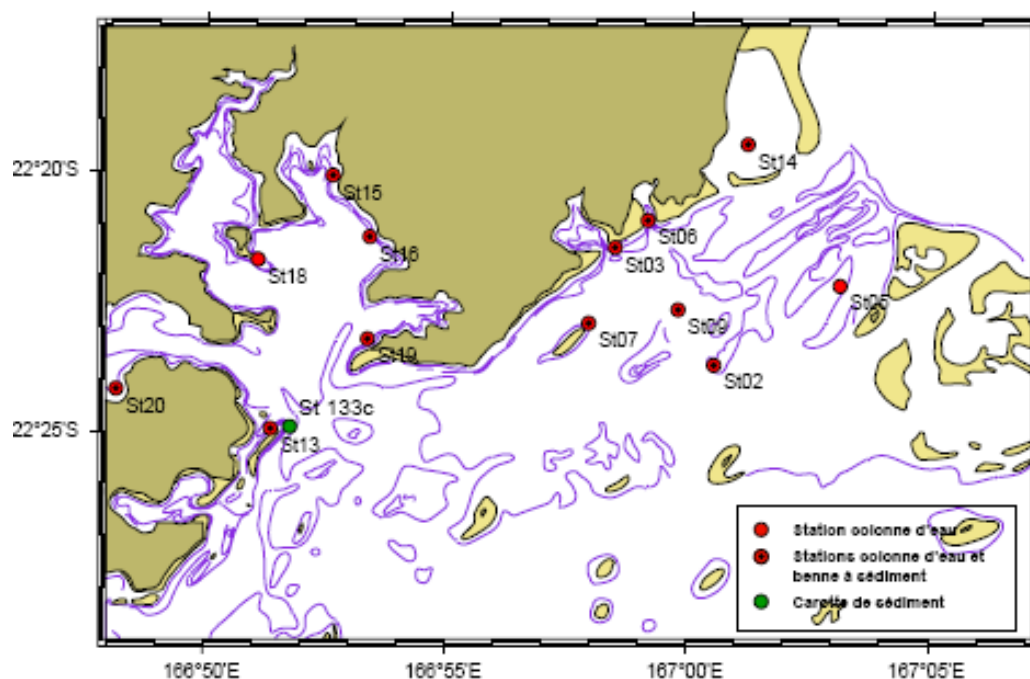
- de l'effluent marin et
- des baies recevant des apports terrigènes.
- La cage St31 est un témoin référentiel.

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

Tableau 4 : 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

Figure 5 : Localisation des stations de prélèvement des sédiments de surface et de la carotte ST133 de l'Île Ouen



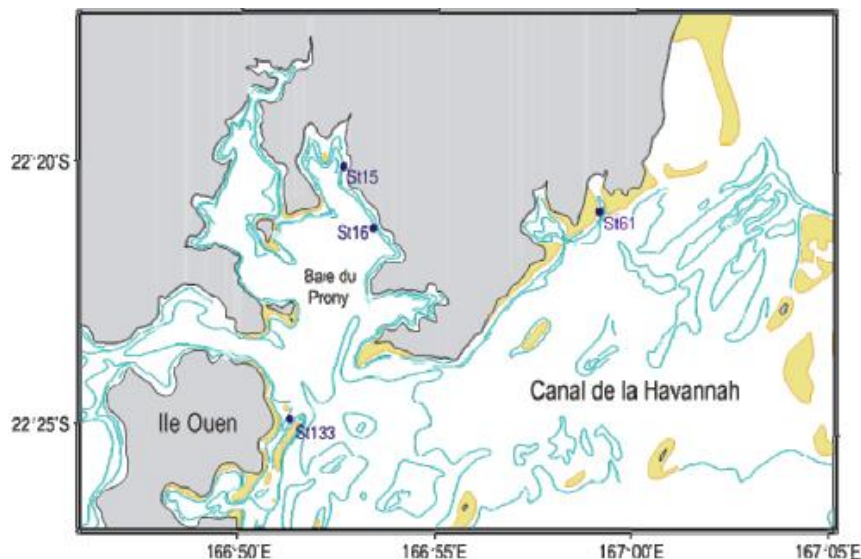
Positionnement du point de carottage supplémentaire effectué au large de l'Île Ouen (St133)

ST133 Longitude : 166° 52,398 E et Latitude : 22° 25,147 S Profondeur : 60m

1.1.6 Points de suivi du taux d'accumulation sédimentaire

Deux stations sont installées en baie de Prony : le creek de la Baie Nord et le port ; une station se trouve dans la baie Kwé et une, la station ST33, à l'est de l'île Ouen. 3 stations sont suivies de façon triennale et la station du port est suivie de façon annuelle.

Figure 6 : 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

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

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



Remarque : En ce qui concerne le milieu marin, 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 inventoriées, le suivi de la biodiversité, etc.) sont inclus dans les rapports des suivis.

L'étude peut être fournie en annexe quand il s'agit d'un travail complet Vale NC (ex. : suivi annuel de la population de baleines) et 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 Méthode

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

1.2.1 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 (Convention IRD-Goro-Nickel n°1312, 2007). 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 baies méthodologiques.

➤ Structure physique et chimique de la colonne d'eau

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 :

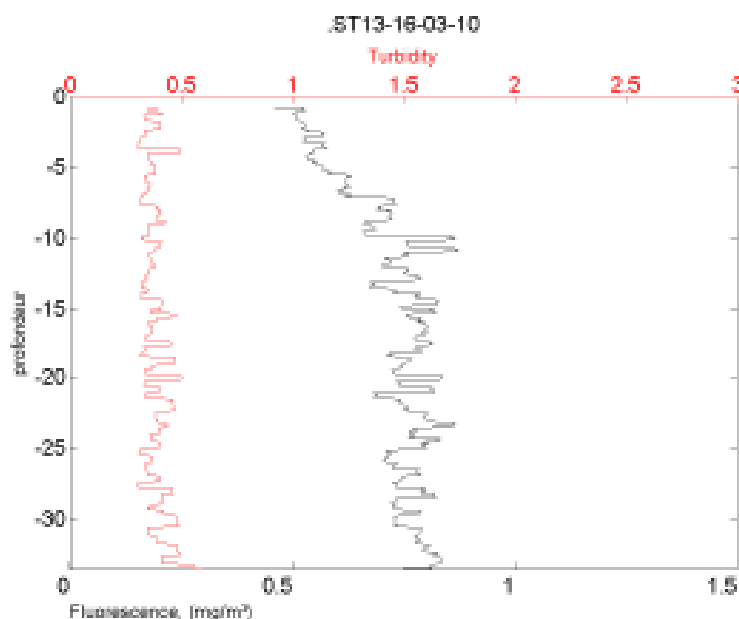
- température,
- salinité,
- fluorescence,
- turbidité,
- irradiance.

Ces paramètres sont des indicateurs classiques reconnus depuis de nombreuses années de façon internationale en temps qu'indicateurs de la structuration verticale de la colonne d'eau de mer.

NB : 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 fluorescence planctonique. La fluorescence permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse du phytoplancton.

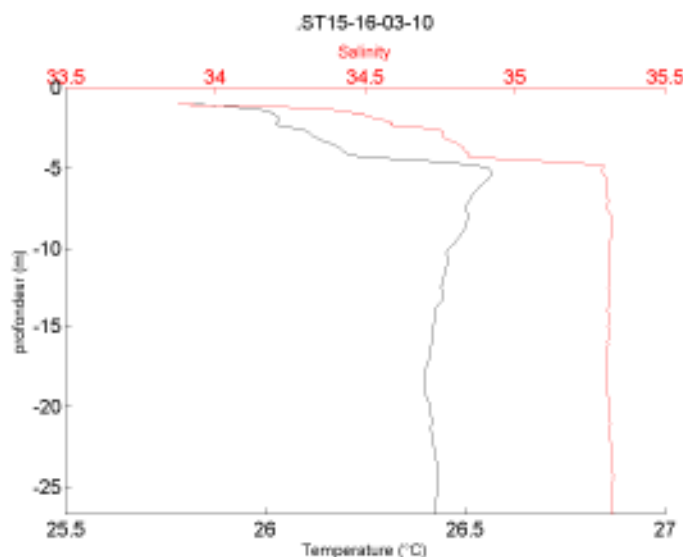
Pour chacune des stations suivies on obtient des profils formatés selon les schémas suivants (voir figures 7, 8 et 9) :

**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**



La turbidité et la fluorescence ont été enregistrés par la sonde multiparamétrique entre 0 et 35 m de fond sur la station St13 du récif Ma, le 16/03/2010 ; l'état de la marée et la pluviométrie au moment de ces relevés ont été notés. Une telle structure est dite « homogène », caractéristique du canal de la Havannah, par opposition à la suivante :

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



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 6 : Méthodes et limites de détection pour le suivi
De la structure de la colonne d'eau de mer**

Prélèvements	Sonde multiparamétrique CTD	Seabird Modèle SBE 19
Paramètres	Méthode	Limites de détection
Profondeur	Pression	
Salinité	Mesure de la conductivité	0,001%
Température	Pont de Weston	0,01 °C
Turbidité	Absorption lumineuse	0,1 FTU
Fluorescence	Excitation lumineuse	0,1 mg/m ³
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).

➤ **Eléments majeurs, pH et MES**

Sont suivis le **pH**, les matières en suspension **MES**, ainsi que : le **calcium**, le **potassium**, le **magnésium**, le **sodium**, le **chlore**, les **sulfates** à 3 profondeurs et sur chacune des stations. Prélèvements pas bouteilles Niskin.

Les paramètres suivis sont :

pH	MES mg/L	Ca mg/L	K mg/L	Na mg/L	Cl mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Mg mg/L
----	-------------	------------	-----------	------------	------------	---------------------------------------	------------

NB : la mesure des 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 : une charge particulaire élevée peut en effet modifier l'épaisseur de la couche euphotique.

Méthodes et limites de détection des éléments majeurs :

Tableau 7 : Méthodes et limites de détection pour le suivi de la qualité de l'eau de mer

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

L'échantillonnage est effectué à partir des prélèvements en bouteilles Niskin. Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en PEHD et les échantillons ont été conservés au froid (4 °C) jusqu'à leur analyse de retour au laboratoire.

Limites de détection : Pour le pH : 0,01 unité pH, par électrodes au calomel. Pour les MES : 0,1mg/L par filtration sur membrane spécifique.

Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en PEHD et les échantillons sont conservés au froid (4°C) jusqu'à leur analyse au laboratoire.

➤ **Sels nutritifs**

Les paramètres suivants sont suivis sur chacune des 14 stations et aux 3 profondeurs :

- **L'ammonium (NH_4^+)** : dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréments animaux et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nano-moles.
- **Les nitrates et les nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$)** : l'ion nitrate NO_3 est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (NO_3). Si la vitesse de régénération est différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en nitrates variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.
- **Les phosphates (PO_4^{2-})** : dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions ortho-phosphates (PO_4^{2-}). Leur concentration dépend de phénomènes physiques et biologiques ou chimiques. Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique. En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène.
- **L'azote organique dissous NOD et le phosphore organique dissous POD** : la contribution naturelle de l'azote et du phosphore provient de la dégradation de matière de nature biogénique, qu'elle soit d'origine océanique ou terrestre. D'une manière générale, la concentration en composés dissous est très faible, particulièrement dans l'océan.
- **Azote, phosphore et carbone particuliers** : la distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire ; cependant, les études environnementales considèrent généralement que la limite de taille est de 0,45 μm pour les séparer (Strickland & Parsons, 1972). La fraction particulaire de ces éléments N, P et C constitue des matières en suspension de tailles diverses transportées au sein des masses d'eau. Leur origine est océanique, terrestre voire éolienne. Les concentrations présentent d'ordinaire un gradient côte-large et peuvent montrer des discontinuités verticales en fonction de l'existence ou non de couches turbides.
- **Chlorophylle et phéo-pigments** : la chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et de ce fait le niveau trophique (oligotrophie /eutrophie) du milieu. Sa dégradation donne de nombreux composés, dont principalement les phéo-pigments.
- **Les silicates** : ils constituent l'essentiel des squelettes de divers organismes marins. Leur concentration dans l'eau de mer, sous forme de silicates (SiO_4^{4-}), qui peut devenir insuffisante en raison de sa très faible solubilité, varie en fonction de l'origine et de la nature des eaux. Les concentrations en surface sont généralement très faibles, mais elles augmentent progressivement à mesure que l'on se rapproche des côtes (ou des fonds abyssaux).

Méthodologie et limites de détection

Méthode de prélèvement : bouteille NISKIN 5L en surface, à mi profondeur et au fond (sans toucher le fond).

**Tableau 8 : Méthodes et limites de détection pour le suivi
Des éléments nutritifs et autres en milieu marin**

Analyses au laboratoire			
Paramètres	Méthodes : adaptées spécifiquement au milieu oligotrophe marin	Normes et publications	Limite de détection
NH ₄	Fluorimètre de terrain	Homes et Al 1999	1,5 nmol/L
NOD	Auto analyser Technicon		0,02 µmol/L
POD	Auto analyser Technicon	Raimbault et Al 1999	10 µmol/L
NO ₂ + NO ₃	Auto analyser Technicon	Outot 1988	0,002 µmol/L
PO ₄	Auto analyser Technicon	Murphy et Riley 1962	0,01 µmol/L
SiO ₄	Auto analyser Technicon	Fanning et Pilson 1973	0,05 µmol/L
POP	Auto analyser Technicon	Raimbault et Al 1999	10 µmol/L
CHN	Auto analyser Technicon		0,05 µg/L
Chlorophylle a	Fluorimètre		0,05 µg/L
MES	Filtration sur membrane spécifique		0,1 mg/L
pH	Electrode au Calomel		0,01 unité de pH

➤ Hydrocarbures totaux

La limite de détection de la méthode est : (LD <0,1 mg.L⁻¹). 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 s'est effectuée soit par 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). Les analyses sont été confiées au laboratoire : Micropolluants Technologie S.A., Thionville, France. Un autre laboratoire peut être impliqué mais l'externalisation des analyses est de règle.

Tableau 9 : Méthodes et limites de détection pour la détection d'hydrocarbures

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

➤ Métaux

Nickel (Ni), cobalt (Co), manganèse (Mn), fer (Fe), chrome total/Cr (VI), arsenic (As), cadmium (Cd), cuivre (Cu), plomb (Pb), zinc (Zn).

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. Le 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.

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

Méthodes et limites de détection

Tableau 10 : Méthodes et limites de détection pour le suivi des métaux en milieu marin

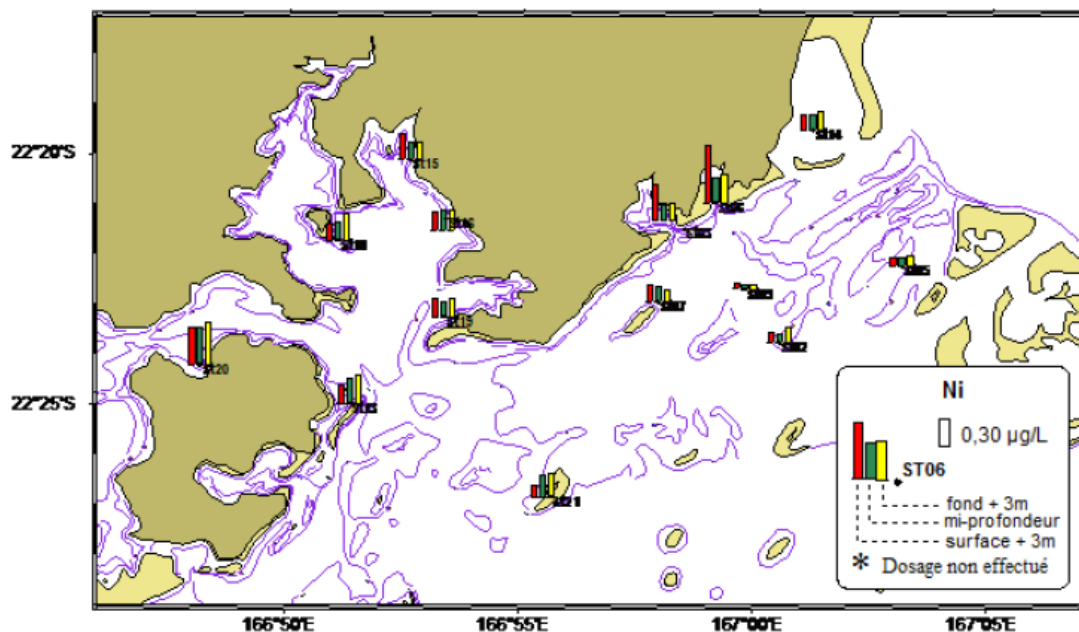
Description	
Normes et publications	Moreton et Al 2009
Paramètres	
Métaux dissous	Chrome Total, Chrome VI, Cobalt, Nickel Arsenic, Cadmium, Cuivre, Fer, Manganèse, Plomb, Zinc
Eléments majeurs	Calcium, Sulfates, Carbonates

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)	0,012 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)	0,011 µg/L
Mn	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,011 µg/L
Ni	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES	0,011 µg/L
Pb	Pré-concentration en labo de terrain puis élution en labo – ICP OES/ Moreton et Al (2009)	0,050 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	0,005 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 le département 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 graphique ci-dessous :

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



➤ *Fréquences des suivis physico chimiques*

Fréquence minimale règlementaire : semestrielle sur toutes les stations, sauf au port (ST16) où elle trimestrielle. Une campagne en saison sèche et une campagne en saison humide sont nécessaires, elles sont régulièrement effectuées en février/mars (fin de la saison chaude dite cyclonique) et en août (saison fraîche). En raison des fluctuations des saisons des pluies il est plus pertinent de parler de saison fraîche et de saison chaude.

Remarque :

Vale Nouvelle-Calédonie a augmenté la fréquence du suivi sur la station ST15 Creek baie Bord, 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- ils effectués au minimum tous les trois mois.

➤ **VALIDATION DES RESULTATS**

- 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 car 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 avec les apports d'eau douce des creeks, avec une influence variable en fonction de la position des stations suivies.
- Les modélisations de l'hydrodynamisme du canal de la Havannah (2006 /2009) et de la baie du Prony (2011/2012) et du transport des fractions dissoutes et particulaires sont des outils décisionnels 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 du 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 TMDA-61) délivrées par la société Environment 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 dans :
 - les prélèvements des échantillons et
 - les analyses 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 infimes pour permettre une validation statistique 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.

1.2.2 Paramètres biologiques indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des populations associées, méthodologie

➤ Les paramètres suivis,

Selon les prescriptions établies par la DENV de la Province Sud suite à l'atelier de mars 2006, et validées dans la Convention pour la Conservation de la Biodiversité:

- **Le substrat** selon la méthode des *transects* fixes (3 *transects* de 20 m de longueur sur 3 profondeurs différentes par station quand c'est possible, deux couloirs à deux profondeurs différentes minimum). Méthode LIT. La liste des catégories de substrat 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.

ATTENTION : 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).

Tableau11 : 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 12 : 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 bënëitiers, Trocas, 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 demande.

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.

Vale Nouvelle-Calédonie complète ce suivi (sur 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.

-
- 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 toujours 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 et pluri annuelle 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).
- 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 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'ichtyo faune.
- 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.

➤ **Fréquence minimale des missions de suivis des écosystèmes:**

Semestrielle, en saison chaude et en saison fraîche, plus souvent si nécessaire ou de façon ponctuelle.

Une ou plusieurs autres missions de surveillance sont souvent ajoutées : en 2009, en raison de la fuite d'acide qui a affecté le creek de la baie nord, certaines stations situées proches de l'embouchure du creek ont été inventoriées 5 fois.

➤ **VALIDATION DES RESULTATS**

- 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 indépendant qui a assuré la mission, il est important que le rédacteur ait bien participé à la mission, cela évite des biais interprétatif notamment pour cette méthodologie semi quantitative - semi qualitative.
- 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 du aux échantillonneurs dans ce cas de suivi semi qualitatif qui laisse un part interprétative à l'expert, bien que cette part soit bien réduite par la méthodologie.
- La synthèse des données obtenues comporte une analyse comparative avec l'état initial et les avec les résultats des suivis précédents, 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. Une mission supplémentaire ciblée sur ce paramètre peut être effectuée. En cas de confirmation d'une modification significative la conclusion du rapport indiquerait bien ce fait.
- 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.

1.2.3 Bio- accumulation 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 de 3 années, dédiés à l'écotoxicité éventuelle de l'effluent marin, avaient fait l'objet d'une convention entre l'IRD et Vale Nouvelle-Calédonie. (Convention 1124 : IRD/ Vale Nouvelle-Calédonie. Volet écotoxicologie : L. BREAU, J. SENIA, A. PANGRANI, K. GARCIA, J.P. DEBENAYUR-103 CAMELIA, IRD Nouméa UR-055 Paléotropique, IRD Nouméa Nouvelle-Calédonie). Cette méthode est également reconnue au niveau international et fait l'objet d'une norme éditée par *l'American Society for Testing and Material* (E2122-02 ASTM, 2002), à laquelle le projet présenté est conforme.

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

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

Un total de 300 à 350 bivalves et d'environ 250 algues est récolté. Le bivalve *Isognomon* et la macro-algue brune *Lobophora variegata* précédemment identifiés sont des espèces bio-indicatrices de contamination métallique.

Métaux analysés : teneurs métalliques en As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn.

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 13 : 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 en cage des bio-indicateurs.
- **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.
- **VALIDATION DES RESULTATS**
 - 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.

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

➤ *Les paramètres suivis pour les sédiments marins sont les suivants :*

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

La collecte des sédiments de surface est effectuée par benne Van-Venne en acier inoxydable de nuance 316 L. Pour chaque échantillon, la couche centimétrique de surface est prélevée et conditionnée dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack) référencés. Les sédiments ainsi conditionnés sont conservés à 4°C, puis de retour au laboratoire ils sont congelés et lyophilisés.

Une séparation granulométrique des sédiments est effectuée par voie humide (Eau Milli-Q 18.6 µS.cm⁻¹) afin de récupérer la fraction sédimentaire chimiquement la plus réactive (**pélites = particules < 40 µm**). Les tamisages ont été conduits sur les aliquotes sédimentaires comprises entre 10 et 100 g selon nécessité et les fractions récoltées sont séchées à l'étuve (40°C) puis conditionnées pour leur conservation jusqu'à l'analyse des métaux.

Tableau 14 : Méthodologie pour le suivi des sédiments

Description	Distribution des métaux dans les sédiments disponibles : granulométrie, minéralogie et concentration en métaux		
Normes et publication	Tessier et Al 1979		
Prélèvements			
Méthode	Benne à sédiments ou carottier		
Nombre de stations	14		
Fréquence	Tous les 3 ans sauf au port où le suivi est annuel		
Analyses	Méthode	Normes	Limites de détection
Granulométrie	Diffraction laser		0,01µm
Minéralogie	Diffraction aux rayons x		
Extraction séquentielle des phases organiques	Dissolution fractionnée et dosage ICP-OES	Tessier et Al 1979	Entre 0,005 et 0,02µg/L selon le métal
Métaux	Attaque totale et dosage par ICP-OES		Entre 0,005 et 0,02µg/L selon le métal

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

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

1.2.5 Les sédiments : Taux d'accumulation des sédiments

➤ La méthodologie

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 paramètre suivi 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 15 : Méthodologie pour le suivi des sédiments : taux d'accumulation

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

La méthodologie est décrite en introduction de 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.

1.2.6 Flux sédimentaires

➤ Techniques et analyses

- 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) grées 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.

- 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 environ. 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** : annuelle, les pièges à sédiments doivent être immergés 1 à 2 mois.

1.3 Bilan des données disponible

Le présent rapport concerne les suivis semestriels effectués pendant les campagnes du **second semestre 2011**, il s'agit du :

- Suivi N°2 / 2011 de la qualité physico-chimique de l'eau – Mission AOUT 2011. (Rapport finalisé en JANVIER 2012)
- Suivi N°2 / 2011 des écosystèmes coralliens et des populations associées – Mission SEPT/OCT 2011, (Rapport finalisé en JANVIER 2012)

Ainsi que les autres campagnes de suivi déployées sur **toute l'année 2011** :

- Le *caging* ou transplantation d'espèces bio accumulatrice : Mission JUIN/JUILLET/ AOUT 2011. (Rapport finalisé en DECEMBRE 2011)
- Le suivi des flux sédimentaires : Mission : JUILLET/AOUT 2011 (Rapport finalisé en JANVIER 2012)
- Le suivi trimestriel du Port de Prony : qualité de l'eau et des sédiments 2011.

Les rapports Suivi N°1/ 2011 de la qualité de la qualité physico-chimique de l'eau et Suivi N°1 / 2011 des écosystèmes coralliens et des populations associées ont été communiqués dans le rapport-bilan du premier semestre 2011, en septembre 2011.

Il n'y a pas eu de retard ou de dysfonctionnement dans l'acquisition des données au cours de l'année 2011 ; les missions d'évaluation et les échantillonnages ainsi que les analyses des échantillons ont tous été effectués en temps.

Le calendrier des missions de suivi 2011 est rappelé ci-dessous.

1.4 Synthèse des suivis du milieu marin 2011

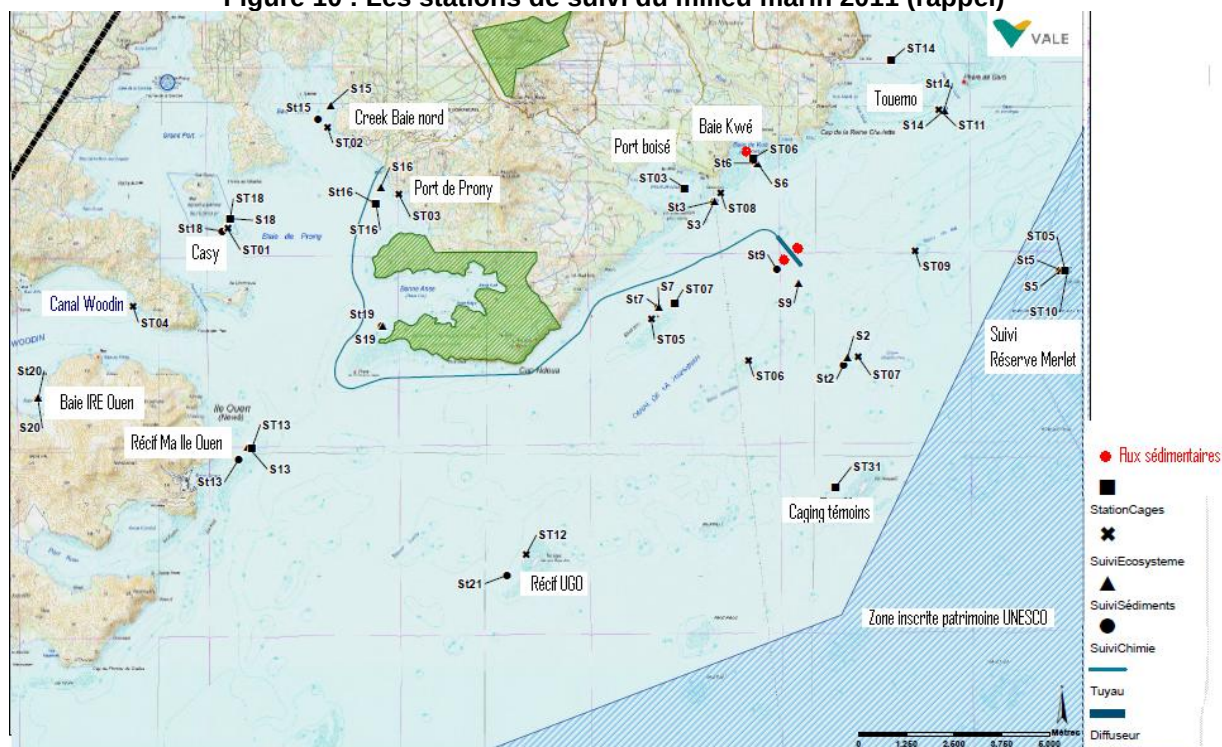
	Préparation de la mission
	Mission en cours
	Rendu du rapport de synthèse

Tableau 16 : Synthèse des suivis réglementaires effectués en 2011 avec rapports émis

Suivis réglementaires 2011	Indicateurs	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan 2012
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique													
Qualité de l'eau dont les concentrations en métaux	Chimique													
Suivi des écosystèmes	Biologique Corail Benthos Poissons													
Bio accumulation Sur transplants	Bio accumulateur													
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Suivi triennal, dernière mission en 2010, prochain suivi en 2013												
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Suivi triennal, dernière mission en 2009, prochain suivi en 2012.												
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique													
Suivi spécial zone Portuaire	Physique Chimique Sédiments													

Tableau 17 : Synthèse des suivis supplémentaires effectués en 2011 avec rapports émis

Suivis sur Initiative Vale NC 2011	Indicateurs	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan 2012
Dispersion effluent qualité de l'eau champ proche diffuseur	Physique Chimique													
EMISSAIRE	Biologique <i>Fouling</i> (Invertébrés) Poissons													
Massif corallien le plus proche du diffuseur	Biologique													
Embouchure creek baie nord et zone d'estuaires Prony après cyclone Vania	Eco-systémique Blanchisse-ment corallien													
Population des baleines à bosse	Biologique Animal emblématique													

Figure 10 : Les stations de suivi du milieu marin 2011 (rappel)


2. RESULTATS

2.1 Valeurs réglementaires

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 mais de santé des écosystèmes (milieux récepteurs).

- **Ce sont les états initiaux 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.

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.

La mise en annexe de l'intégralité du rapport de suivi effectué par le bureau d'étude mandaté 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 :

- **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 IRD 2005

- Etat de référence de la qualité physico-chimique des eaux du canal de la Havannah et de la baie de Prony. IRD 2007
- Dernières campagnes effectuées : mars 2009, août 2009, mars 2010, août 2010 et mars 2011.
- (Campagne actuelle de ce rapport : aout 2011).

➤ **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.
- Dernière campagne : 2010
- (Campagne actuelle de ce rapport : 2011)

➤ **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. IRD 2006.
- 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.

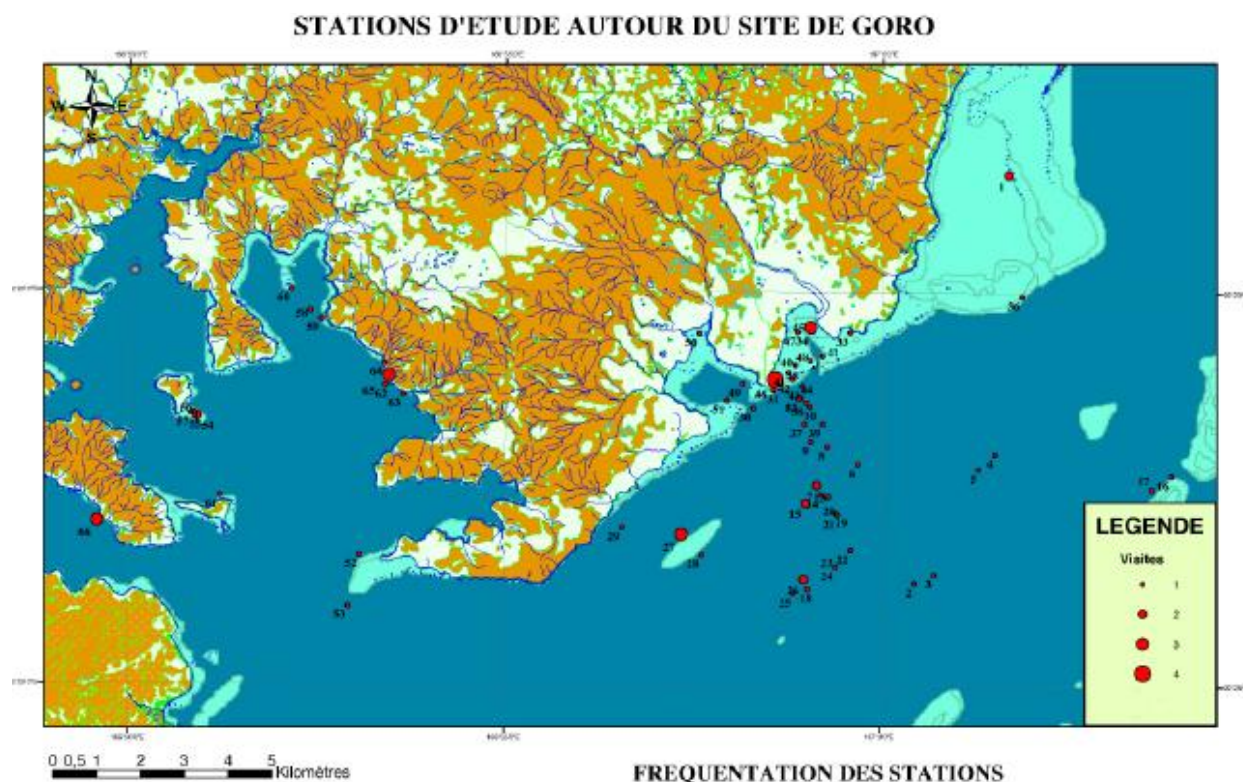
➤ **Stations éco-systémiques**

- La comparaison temporelle est effectuée systématiquement à partir de la base de données du suivi semestriel depuis 2007, suivi qui a été effectué sur les mêmes stations et avec la même méthodologie (7 missions).
- Les études 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**, ACREM, 2008.
(Cf. tableau récapitulatif ci-dessous).
- D'autres inspections et inventaires sous-marins peuvent donner lieu à des analyses comparatives, comme les trois suivis supplémentaires de l'embouchure du creek de la baie Nord en 2009, ou les suivis écologiques avant et après la pose de l'émissaire sur des stations situées sur l'émissaire.
- Dernières campagnes : aout 2007, octobre 2008, juin 2009, mars 2010, Aout/septembre 2010 et mars 2011.
- (Campagne actuelle : aout 2011)

Tableau 18 : Caractérisation du milieu marin – écosystèmes

N° rapport	Date	Auteur	Titre
01	Déc 1994	T&W A2EP	Etude de caractérisation biologique des milieux marins et dulçaquicoles dans la région de Prony
02	Déc1996	T&W A2EP	Evaluation des impacts du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la baie Kwé et de la zone portuaire de la baie de Prony
03	Juillet 2000	RESCAN-ACREM A2EP	Evaluation environnementale su projet Goro Nickel
04	Août 2000	RESCAN-ACREM A2EP	Caractérisation des communautés biologiques coralliennes dans le cadre du projet Goro Nickel (rapport préliminaire)
05	Avril 2004	RESCAN-ACREM	Caractérisation du milieu marin, volet <u>bio-physique</u> (15 stations)
06	Mai-juin 2004	LABOUTE	Caractérisation des communautés <u>biologiques</u> du banc <u>lonontea</u> dans le canal de la <u>Havannah</u>
07	<u>Nox</u> 2004	LABOUTE	Expertise rapide du site et comparaison avec d'autres sites similaires de la baie de Prony
08	Mai 2005	S. VIRLY C.	Caractérisation des communautés marines biologiques autour du futur émissaire en mer du projet Goro Nickel
09	Juillet 2005	LABOUTE	Rapport de la réalisation d'un état de référence des peuplements <u>écifaux</u> et organismes associés sur les 6 stations du canal de la <u>Havannah</u>
10	Août 2005	LABOUTE	Caractérisation simplifiée de l'état des communautés biologiques sous-marines sur la zone d'implantation du nouveau débarcadère temporaire pour le ferry de Goro Nickel en baie de Prony
11	Août 2005	ACREM A2EP	Etat de référence des peuplements <u>écifaux</u> et poissons associés, baie de Prony et canal de la <u>Havannah</u>
12	Mars 2007	MELANOPUS	Etat de référence des habitats coralliens le long du nouveau tracé de l'émissaire marin en baie de <u>Kwé</u> et canal de la <u>Havannah</u>
13	Mai 2007	SOPRONER	Caractérisation du milieu marin le long du tracé de l'émissaire du projet Goro Nickel
14	<u>Nox</u> 2007	AQUA TERRA	Suivi de l'état biologique du milieu marin, émissaire de l'effluent liquide
15	2007	A2EP	Suivi de l'état des communautés coralliennes en baie de Prony et canal de la <u>Havannah</u>
16	2008	Aqua Terra	Suivi de l'état des communautés coralliennes en baie de Prony et canal de la <u>Havannah</u>
17	2009	Aqua Terra	
18	2010a	Aqua Terra	
19	2010b	Aqua Terra	
20	2011a	Aqua Terra	

Figure 11 : Stations d'étude pour la caractérisation du milieu marin depuis 1994 et fréquentation des stations



➤ Flux sédimentaires

L'état de référence des densités de flux verticaux de particules a été déterminé pour le canal de la Havannah et la baie Kwé en 2007 (convention IRD/Goro nickel n°1230)

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 en 2010, dans leur intégralité.

2.2 Valeurs obtenues

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

La première campagne 2011 a eu lieu du 1er au 3 mars, en saison dite « pluvieuse » mais qui doit plutôt être intitulée « saison chaude » car la pluviométrie avant et pendant la mission varie au fil des ans. Le rapport a été communiqué dans les bilans du premier semestre 2011.

La seconde campagne 2011 a eu lieu du 7 au 11 août 2011. Elle s'est déroulée conformément aux protocoles de suivis réglementaires.

La figure 11 suivante situe les prélèvements lors de la mission du second semestre 2011, en fonction des marées et des précipitations.

Figures 12 : Conditions météorologiques et état des marées lors de la campagne du second semestre 2011

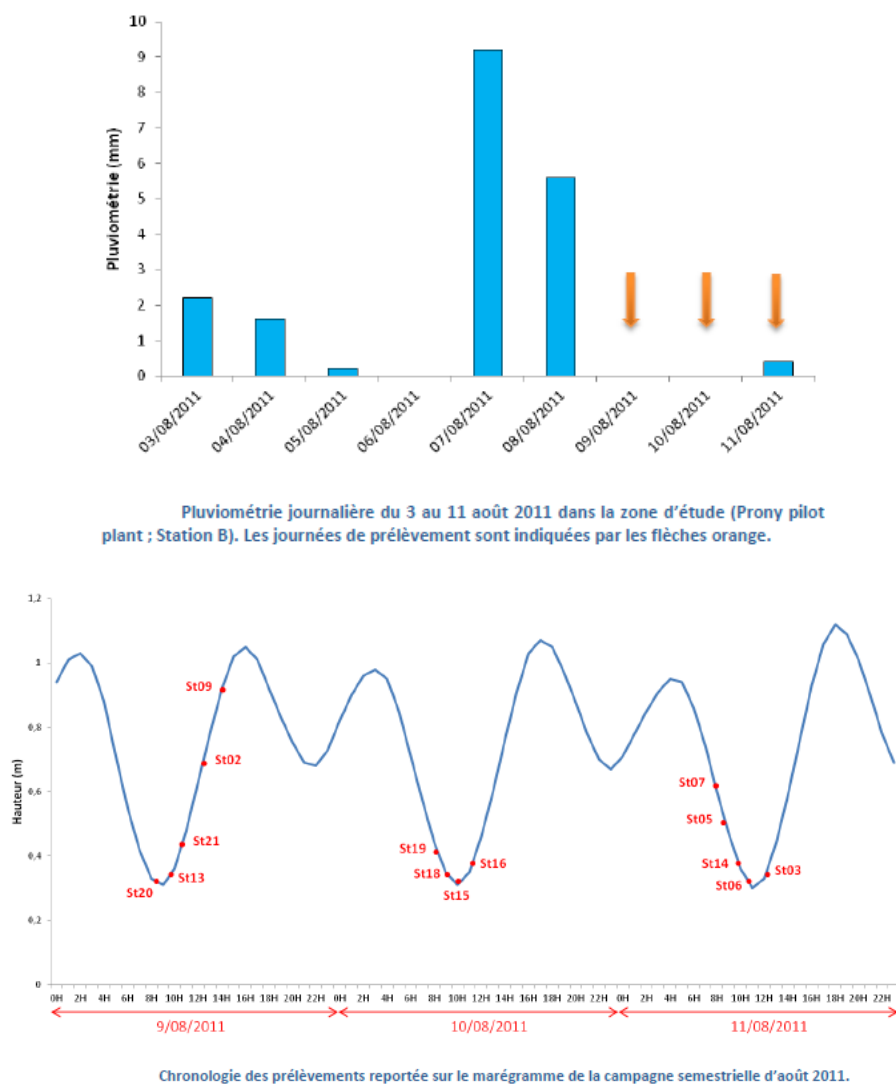
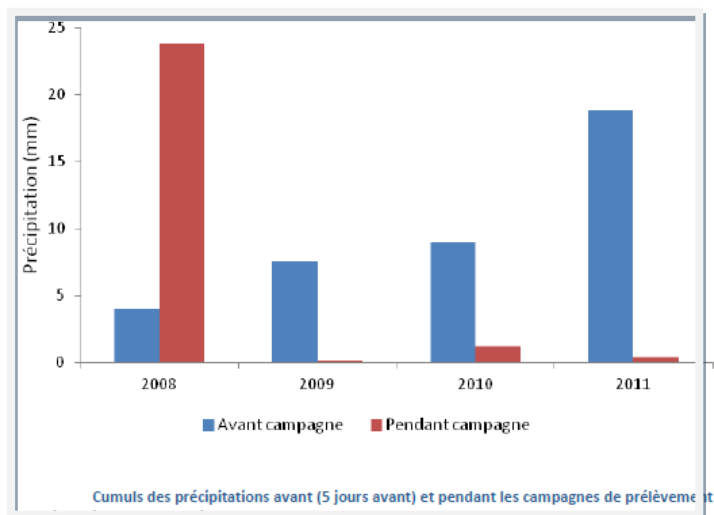
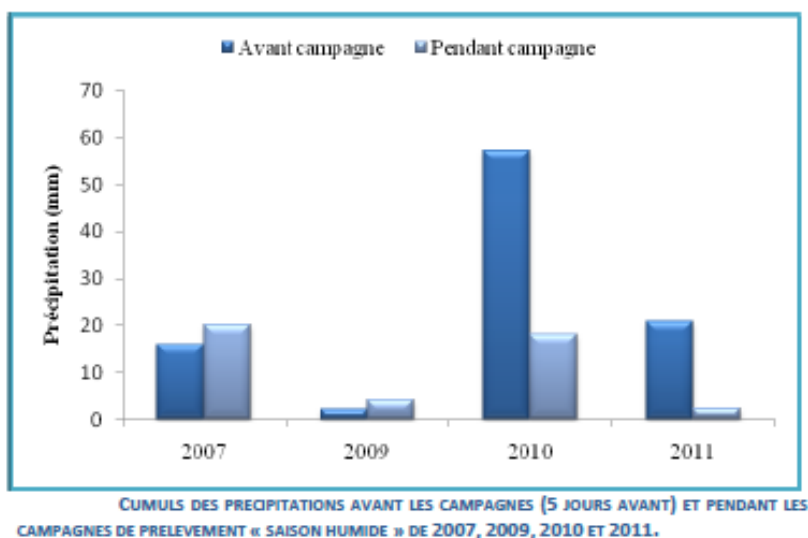


Figure 13 : Comparaison de la mission 2011 avec les missions antérieures, d'un point de vue pluviométrie « influente »
Pour la saison fraîche dite sèche (missions en d'août)



Et pour la saison chaude dite humide (missions en février /mars)



La mission d'août 2011 (dite de « saison sèche ») a été effectuée après un épisode pluvieux qui entrainera des conséquences notables car il est aussi accentué que celui de la mission de mars 2011, en « saison humide ».

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 les structures des masses d'eau, car 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.

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

Mission d'AOUT 2011 (Saison fraîche, second semestre 2011)

- **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).

Tableau 19 : Températures et salinité en saison fraîche et sèche (aout 2012)

		Température (°C)	Salinité (‰)
Domaine entier	Min	21,36	34,61
	Max	22,41	35,66
	Moyenne	21,89 ± 0,27	35,48 ± 0,06
Canal de la Havannah	Min	21,88	35,39
	Max	22,18	35,560
	Moyenne	22,12 ± 0,08	35,48 ± 0,02
Baie du Prony	Min	21,47	35,43
	Max	22,27	35,59
	Moyenne	21,64 ± 0,06	35,51 ± 0,02

Pour rappel ; en saison chaude (1 au 3 mars 2012) la température moyenne sur tout le domaine était de 26,3°C soit 4,4°C plus chaude qu'en aout.

La salinité dans le canal de la Havannah est d'une constance prédite et confirmée tandis qu'en baie du Prony, en saison humide, elle est en moyenne de 35,3 ‰ et en saison sèche de 35,51 ‰ (+/- 0,2)

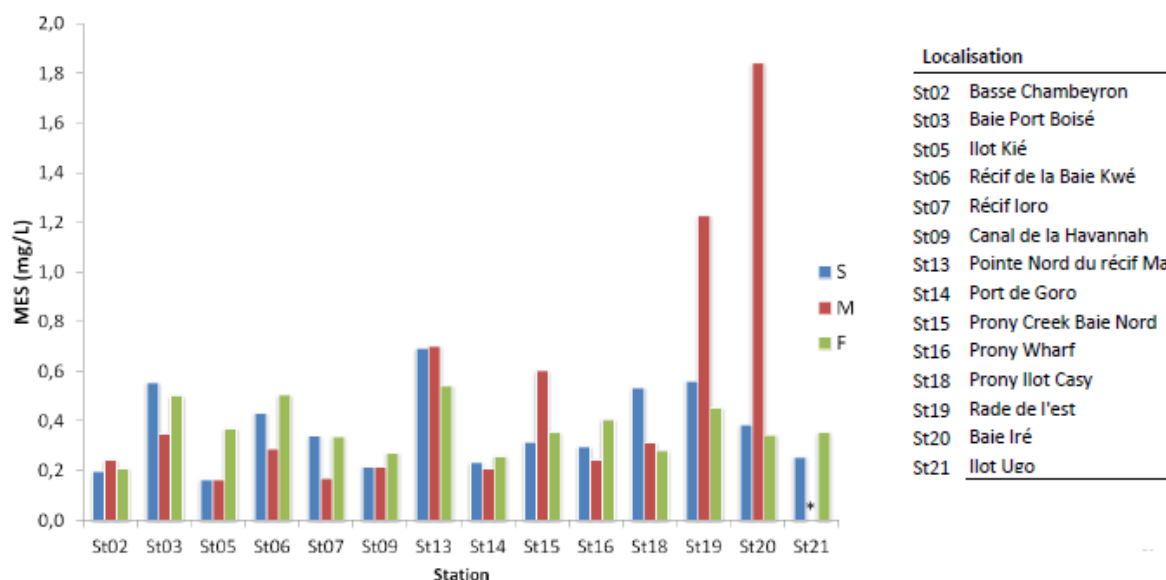
Tableau 20 : Températures et salinité en saison chaude et humide (mars 2012)

		Température (°C)	Salinité (‰)
Domaine entier	Min	24,4	33,0
	Max	28,4	35,5
	Moyenne	26,3 ± 0,3	35,3 ± 0,1
Canal de la Havannah	Min	24,7	34,9
	Max	27,6	35,5
	Moyenne	26,4 ± 0,2	35,4 ± 0,0
Baie du Prony	Min	24,4	33,0
	Max	28,4	35,5
	Moyenne	26,1 ± 0,3	35,3 ± 0,1

- **Éléments majeurs et 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 entre 8,10 et 8,30.

- **Matières en suspension (MES)** : Les stations à l'embouchure des baies (Baie de Prony et baie Kwé) présentent des concentrations en MES plus fortes que les stations du canal, ce qui est normal pour des prélèvements qui font suite à deux jours de pluie. Il est remarqué que la concentration en MES n'est pas toujours corrélée avec la turbidité.

Figure 14 : Concentrations en MES (Aout 2011)



Concentrations des MES (mg.L⁻¹) en surface (S), milieu (M) et fond (F) aux stations échantillonnées lors de la campagne d'août 2011.

(Les données sont en annexe 2 du rapport intégral donné en annexe de ce rapport)

Remarquons que sur ces stations suivantes:

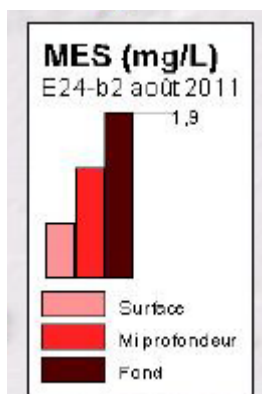
- St20 Nord de l'Ile Ouen, Canal Woodin, Baie Iré. (Maximum atteint avec MES : 1,86mg/L)
- St13 Ile Ouen
- St19 Bonne Anse, rade de l'Est en baie du Prony
- St03 Port Boisé

Les concentrations en MES sont supérieures à celles qui sont relevées sur les stations St06 de la Baie Kwé, St16 du Port et St15 du Creek Baie Nord.

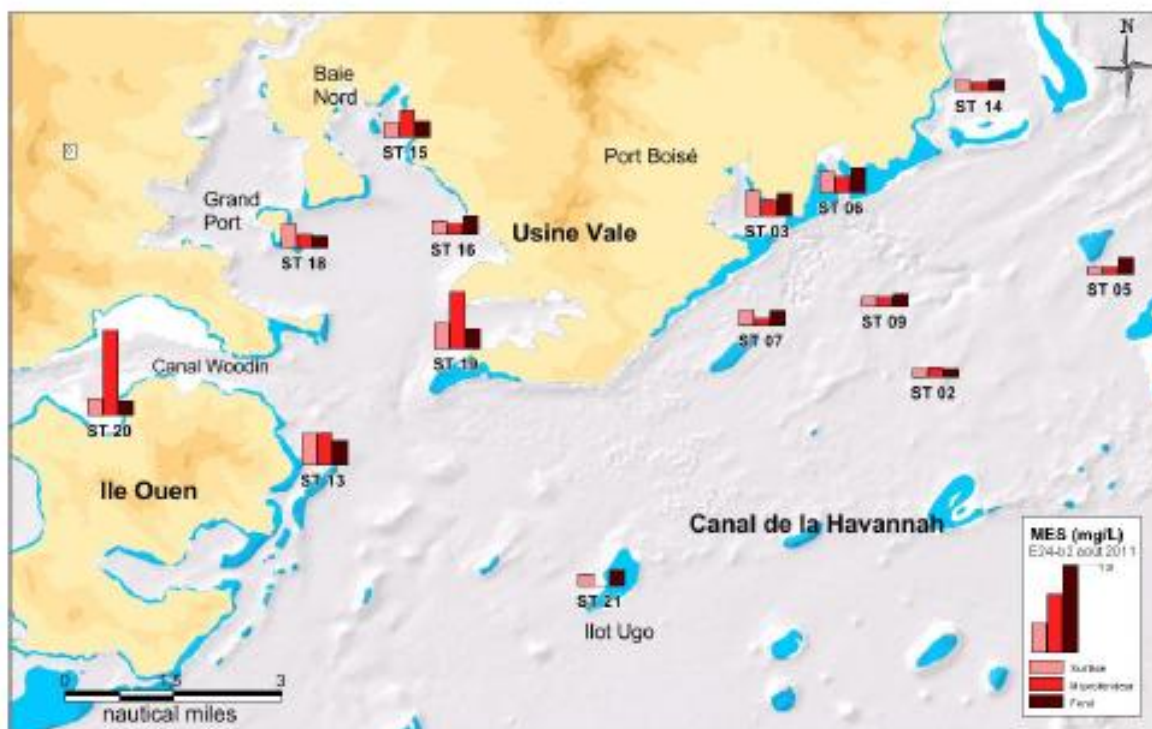
Globalement les stations côtières présentent des concentrations en MES presque deux fois plus élevées que les stations du centre du canal de la Havannah, ce qui est en cohérence avec les modélisations de l'hydrodynamisme de la zone.

Les stations qui encadrent la zone de rejet de l'effluent traité (St09, St 07 et St 02) ne présentent aucune élévation et aucune tendance évolutive à l'égard des MES.

Figure15 : Concentrations en MES selon les stations et la profondeur (Aout 2011)



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



Lors de cette mission d'août 2011 : C'est à l'île Ouen dans la canal Woodin (en dehors de toute influence de Vale NC) que les concentrations en MES sont maximales dans l'eau de mer, sur les stations St20 (avec 1,84 mg/L à mi- profondeur) et St 13, Les concentrations en MES y sont supérieures à celles de l'embouchure du creek de la baie Nord, du port de Prony ou en baie Kwé (0,43 mg/L max).

- **Chlorophylle « a » et phéo-pigments** : Lors de cette mission d'août 2011, les concentrations de chlorophylle « a » ne montrent pas une plus forte activité phyto-planctonique en profondeur, comme c'était le cas en saison chaude (mars 2011), elles peuvent être corrélées aux profils de fluorescence. Les phéo-pigments (dus à la dégradation de la chlorophylle a) confirment les observations.

En mars 2011 un gradient de concentration croissant de la chlorophylle « a » était très marqué en baie du Prony (St 16 et St 19 mais aussi en St 03, St 13 et St 21), les experts en attribuaient la cause à une accumulation de débris végétaux en profondeur donnant un phyto biomasse importante. Par exemple sur le récif Ugo St21, en dehors de toute influence anthropique et en profondeur (-35m) la concentration en chlorophylle « a » relevée en mars 2011 était de 1,17 µg/L.

En août 2011 les concentrations en chlorophylle a sont plus élevées dans le canal de la Havannah que dans la baie du Prony et cette accumulation en profondeur n'est plus visible.

Tableau 21 : concentration en chlorophylle « a » et en pigments dérivés en août 2011

Concentrations en pigments chlorophylliens dans la zone d'étude lors de la campagne semestrielle d'août 2011.

		Chlorophylle a (µg.L ⁻¹)	Phéopigment (µg.L ⁻¹)	% Phéopigment
Domaine entier	Minimum	0,005	0,003	1,47
	Maximum	0,745	0,193	90,13
	Moyenne	0,399 ± 0,179	0,102 ± 0,053	21,47 ± 12,75
Canal de La Havannah	Minimum	0,103	0,032	10,84
	Maximum	0,734	0,187	39,55
	Moyenne	0,415 ± 0,165	0,112 ± 0,045	21,88 ± 6,26
Baie de Prony	Minimum	0,005	0,003	1,47
	Maximum	0,629	0,160	90,13
	Moyenne	0,348 ± 0,192	0,069 ± 0,044	21,87 ± 23,43

La chlorophylle « a » constitue un indicateur de niveau trophique (oligotrophie /eutrophie d'un système, en juin 2003 les concentrations en chlorophylle « a » atteignaient jusqu' à 0,48 µg/L à l'entrée de la passe de la Havannah, en baie de Prony elles sont de l'ordre de 0,40 à 0,50 µg/L. Ces concentrations correspondent à celles mesurées dans le lagon en dehors de toute influence anthropique. Dans les baies anthropisées près de Noumea les concentrations en chlorophylle « a » peuvent largement dépasser 1 µg/L, en dessous de ce seuil le système est considéré comme oligotrophe, et en dessus comme eutrophe.

L'étude sur l'état initial effectuée par l'IRD en 2005 donne le seuil de 1 µg/L comme seuil d'alerte révélant des altérations possibles des conditions environnementales liées à un enrichissement trophique du milieu, d'origine anthropique ou pas. Le guide Zonco / CNRT 2011, quant à lui, indique une grille de lecture pour la Nouvelle-Calédonie (ci-dessous).

Figure16: Grille de lecture du guide ZoNeco /CNRT pour les concentrations en chlorophylle a / Fiche 1.

grille de lecture pour les concentrations en chlorophylle *a* (d'après comm. pers. R. Arfi, 2010)

CHLOROPHYLLE A (µg/L)	Bon	Moyen	mauvais
Fond de baie, littoral	[0.2 – 1.5[	[1.5 – 5.0[	≥ 5.0
Lagon en milieu côtier	[0.1 – 1.0[	[1.0 – 2.0[	≥ 2.0
Proche récif barrière	< 0.3	Upwelling, bloom [0.3-0.5[	≥ 0.5

Remarquons qu'en saison chaude 2011, les fonds du récif Ugo ont présenté une concentration en chlorophylle *a* de 1, 17 µg/L, les grilles de lecture doivent être interprétées en fonction des connaissances des spécificités d'un milieu et un seul chiffre ne peut pas donner une tendance évolutive ni révéler une cause anthropique, c'est un long suivi qui va affiner la pertinence des alertes.

Les résultats obtenus lors des missions aout 2011 indiquent une bonne qualité des milieux sans risque eutrophique, à l'égard des suivis des pigments chlorophylliens.

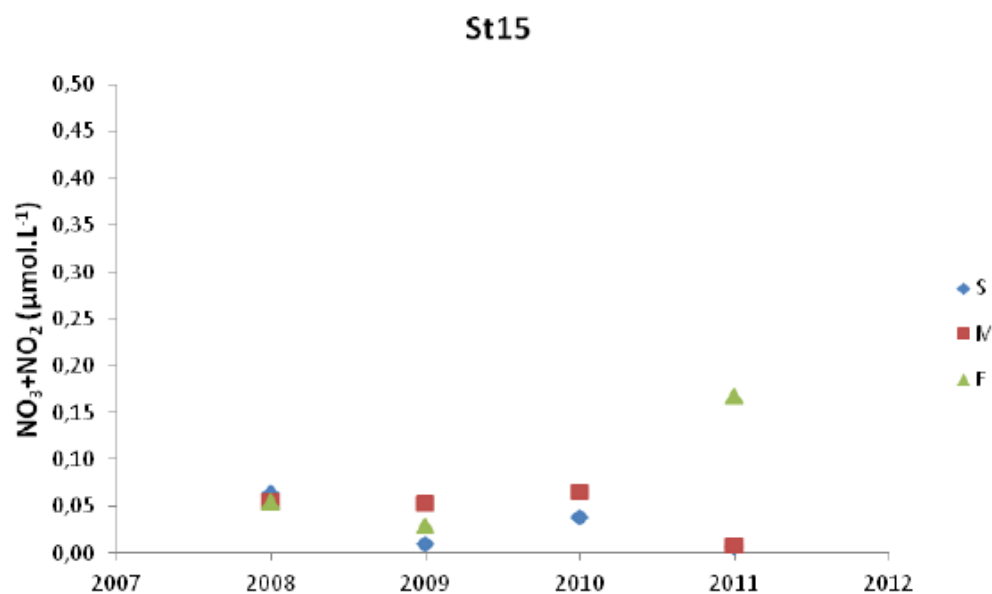
- **Concentrations en sels nutritifs : ammonium NH_4^+ , nitrates et nitrites, phosphates, silicates.**

Comme pour la chlorophylle « a », les concentrations en nitrates et nitrites sont plus élevées dans le canal de la Havannah qu'en baie du Prony.

Au niveau de la station St15 proche de l'embouchure du creek de la baie nord et en ST 16 du port : les concentrations en nitrates + nitrites et en ammonium sont plus faibles qu'au centre du canal de la Havannah St09) et ne montrent pas de tendance évolutive.

Figure 17: Concentrations en nitrates + nitrites sur la station ST15 Creek Baie Nord et évolution de cette concentration depuis 2008 en saisons fraîche

(S : Surface ; M : Mi profondeur ; F : Fond)



Concentrations Nitrates+ Nitrites sur ST15 depuis 2008 < 0,2 µmol/L.

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

Figure 18 : Concentrations en nitrates + nitrites sur la station ST09 du canal de la Havannah et évolution de cette concentration depuis 2008 en saisons fraîches

S : Surface ; M : mi profondeur ; F : au fond

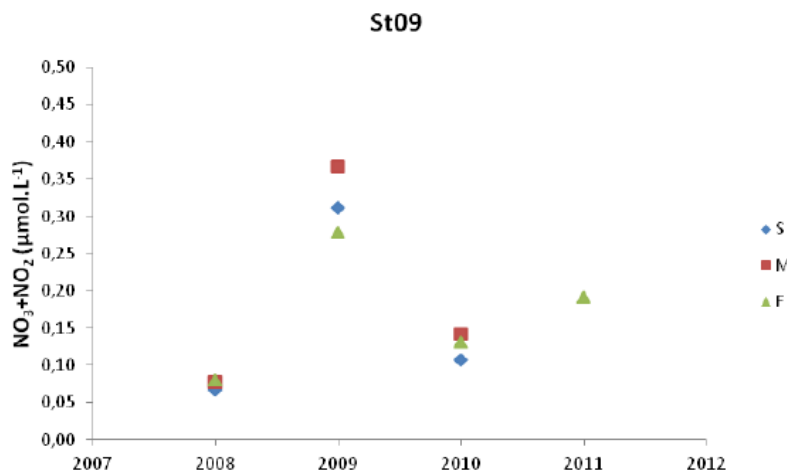
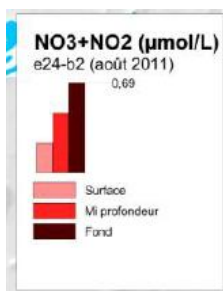
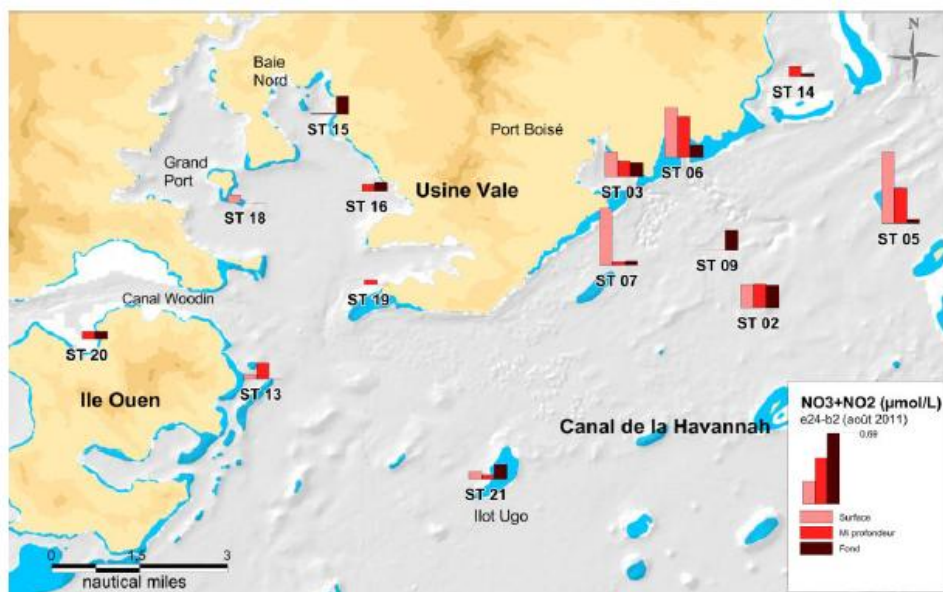


Figure 19 : Concentrations en nitrates + nitrites sur toute la zone d'étude en saison fraîche (août 2011)

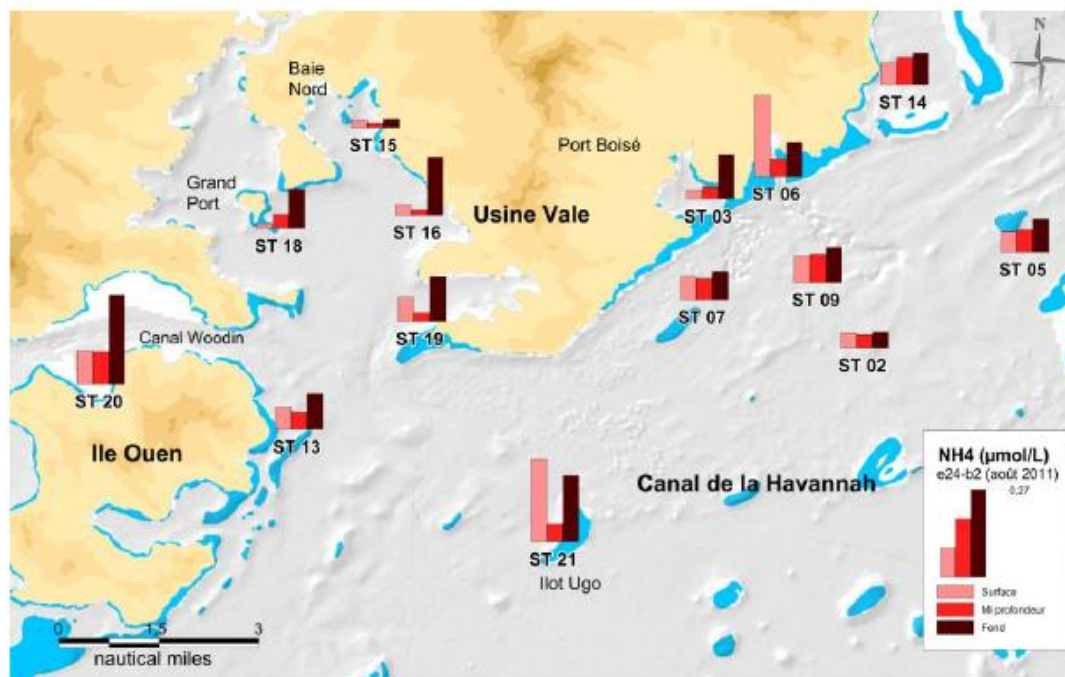
Concentration de Nitrates+Nitrites (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



La barre de hauteur marron de la légende représente 0,69 $\mu\text{mol/L}$

Figure 20 : Concentrations en ammonium NH_4 sur toute la zone d'étude en saison fraîche (août 2011)

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



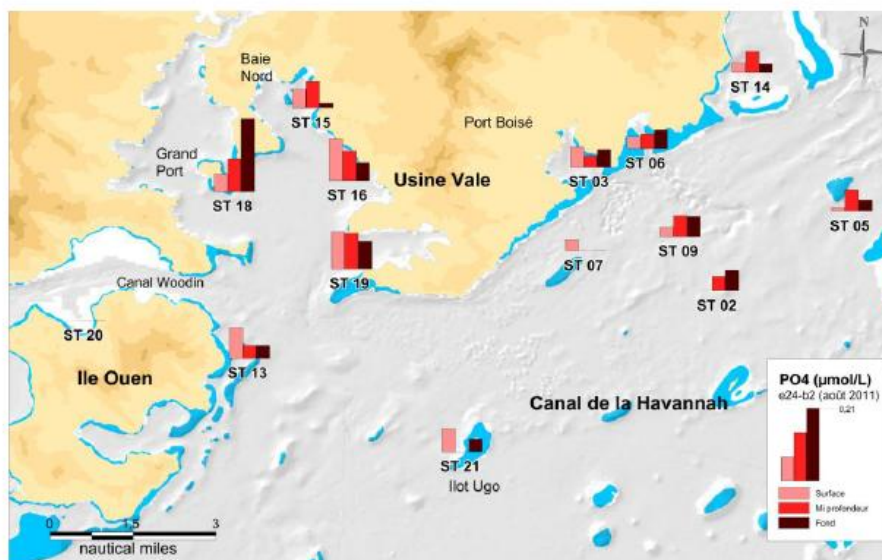
La hauteur de la barre marron de la légende représente $0,27 \mu\text{mol/L}$.

Le guide ZoNeco/CNRT indique en grille de lecture une concentration en $\text{NH}_4 < 0,5 \mu\text{mol/L}$ comme un indicateur de milieu non perturbé.

Pour les phosphates :

Figure 21 : Concentrations en phosphates sur toute la zone d'étude en saison fraîche (août 2011)

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



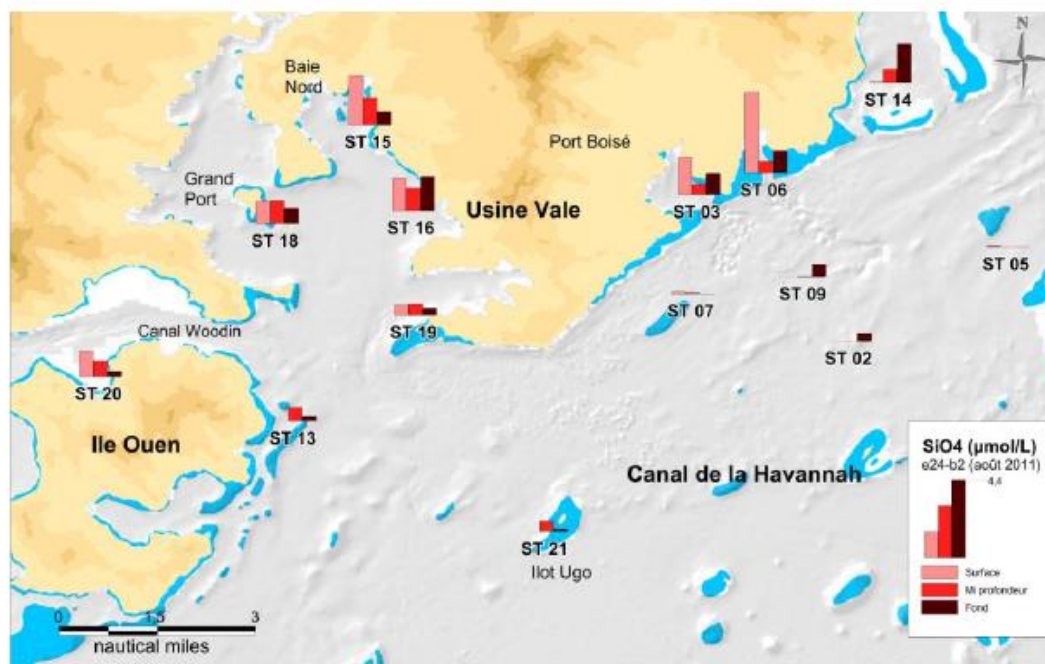
La hauteur de la barre marron dans la légende représente 0,21 $\mu\text{mol/L}$.

Le guide ZoNeco/CNRT indique en grille de lecture une concentration en ortho phosphates < 0,5 $\mu\text{mol/L}$ comme un indicateur de milieu non perturbé.

Les concentrations en silicates se distribuent selon le gradient attendu des influences terrigènes ou marines. Aucune variation significative n'est relevée.

Figure 22 : Concentrations en silicates sur toute la zone d'étude en saison fraîche (août 2011)

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



En conclusion : les nutriments nitrites/nitrates, ammonium et phosphates sont à des concentrations indiquant un milieu non perturbé, notamment aux stations en face le port de Prony (St 16) et en face le creek de la Baie Nord (St 15).

Ces deux stations font l'objet d'une surveillance plus fréquente et plus poussée qui fait l'objet d'un rapport séparé les concernant (en annexe de ce document). Le chapitre 2.2.5 leur est consacré.

- **Carbone, azote et phosphore organiques** : NOD, POD, NOP, POP et COP selon s'ils sont dissous ou particuliers, 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 leur concentration en métaux (Co, Mn, Ni, Cr(VI) et Cr (total)) nettement inférieure à celle mesurée 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.

En aout 2011 les fortes précipitations précédant la campagne sont bien marquées, notamment sur les stations des baies, comme la St06 à l'embouchure de la Baie Kwé.

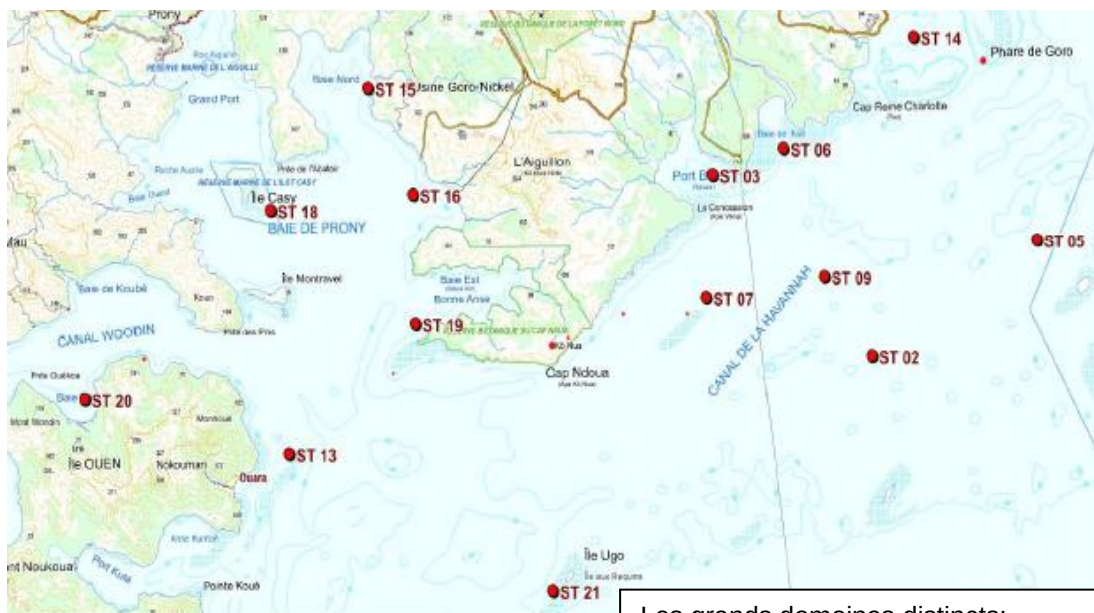
• **Analyses de l'évolution spatio-temporelle (saisons « fraîches » comparées entre elles depuis aout 2008)**

L'analyse des fluctuations des paramètres suivis lors des 4 campagnes : aout 2008, 2009, 2010 et 2011 sont expliquées par le lessivage des sols par la forte pluviométrie précédant la campagne 2011. 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 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 :

Figure23 : Rappel de la position et de la nomenclature des stations suivies


Les grands domaines distincts:

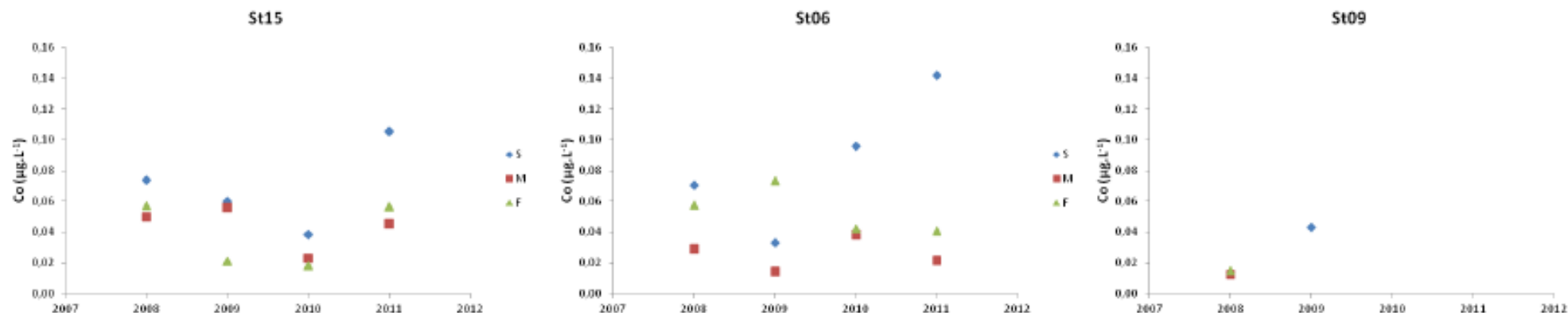
1. Domaine de la baie du Prony : St15 ; St16, St18 et St19
2. Domaine du canal Woodin: St20
3. Domaine des baies côtières : St03 et St06
4. Domaine du canal de la Havannah : St09, St02, St05, et St 21 .

Les stations qui entourent le diffuseur : St09, St07 et St02

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

Figure 24: Concentrations en Cobalt (Co) aux stations St15, St06 et St 09, durant les campagnes d'aout 2008 à 2011. (S : en surface ; M : à mi profondeur ; F : au fond)

Les valeurs non marquées sont inférieures à la limite de quantification (au centre du canal de la Havannah en St 09 pour le Co)



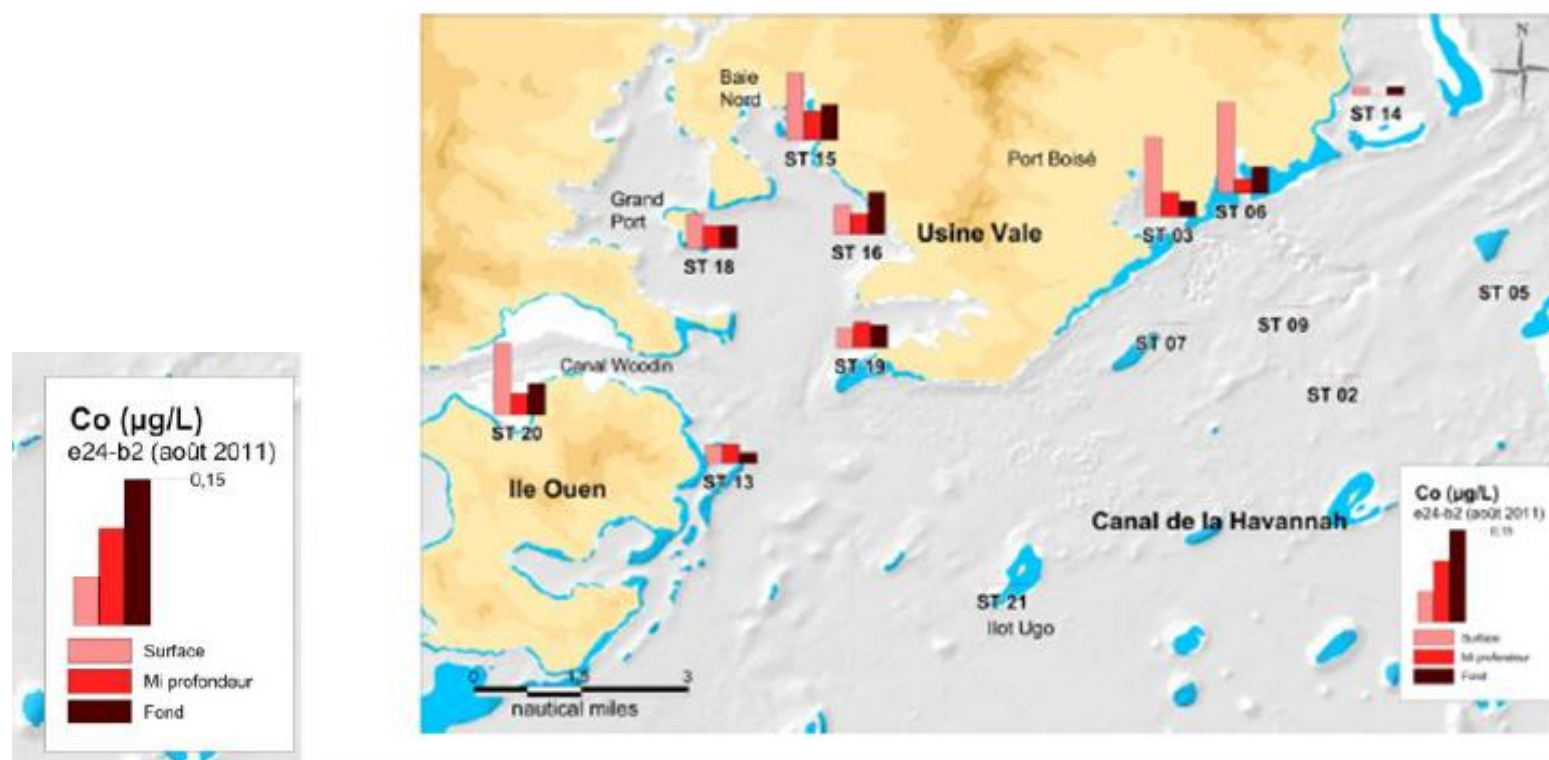
La carte suivante montre la distribution spatiale des concentrations en Co sur toutes les stations (en aout 2011). Ce marqueur terrigène est absent ou en infime quantité sur les stations du canal de la Havannah, malgré les pluies précédant la mission d'échantillonnage. Cela confirme bien les modélisations 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 et pendant un épisode pluvieux, la carte suivante indique ce fait en St20 à l'île Ouen, à St15, St03 et St06. Ce qui est attendu et normal et confirme la qualité des analyses.

(Données brutes en annexe de ce rapport).

Figure 25 : Concentrations en Co sur toutes les stations en aout 2011.

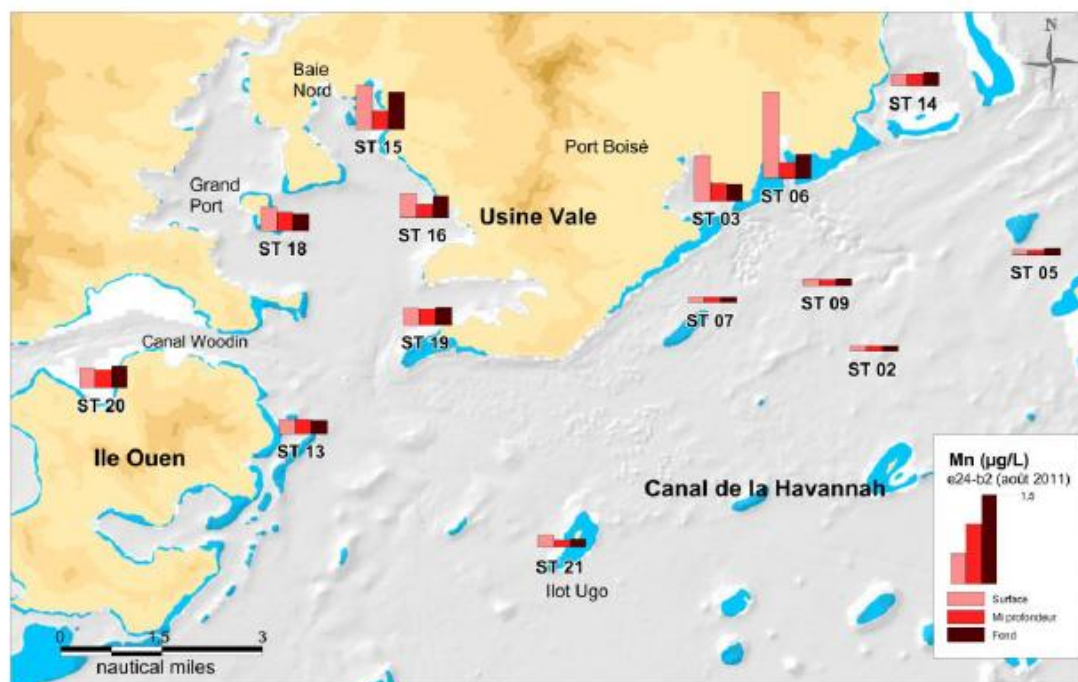
Concentration de cobalt (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



La carte suivante montre la distribution spatiale des concentrations en manganèse sur toutes les stations en août 2011. Les mêmes conclusions sont observées, cet indicateur terrigène est en très faible concentration dans le canal malgré les fortes pluies précédant la mission.

Figure 26 : Concentrations en Mn sur toutes les stations en août 2011.

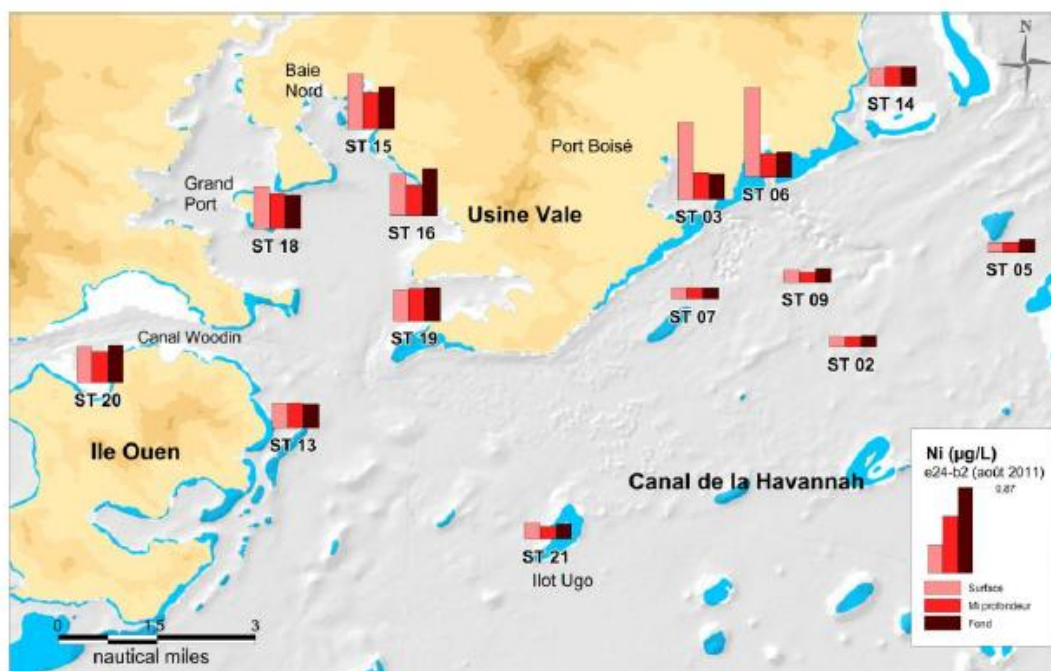
Concentration de manganèse (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



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 août 2011.

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

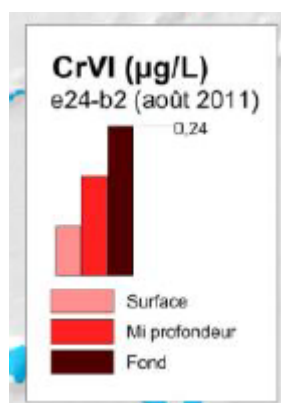
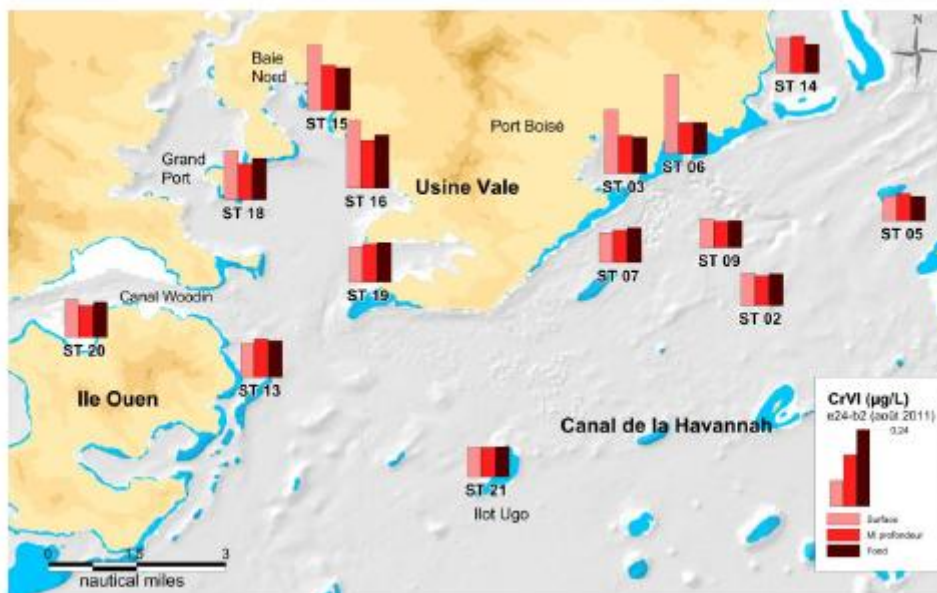


(Toutes les données brutes sont en annexes de ce rapport)

Les résultats 2011 corroborent les résultats des dernières campagnes de suivis.

Figure 28: Concentrations en Cr VI sur toutes les stations en aout 2011.

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



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

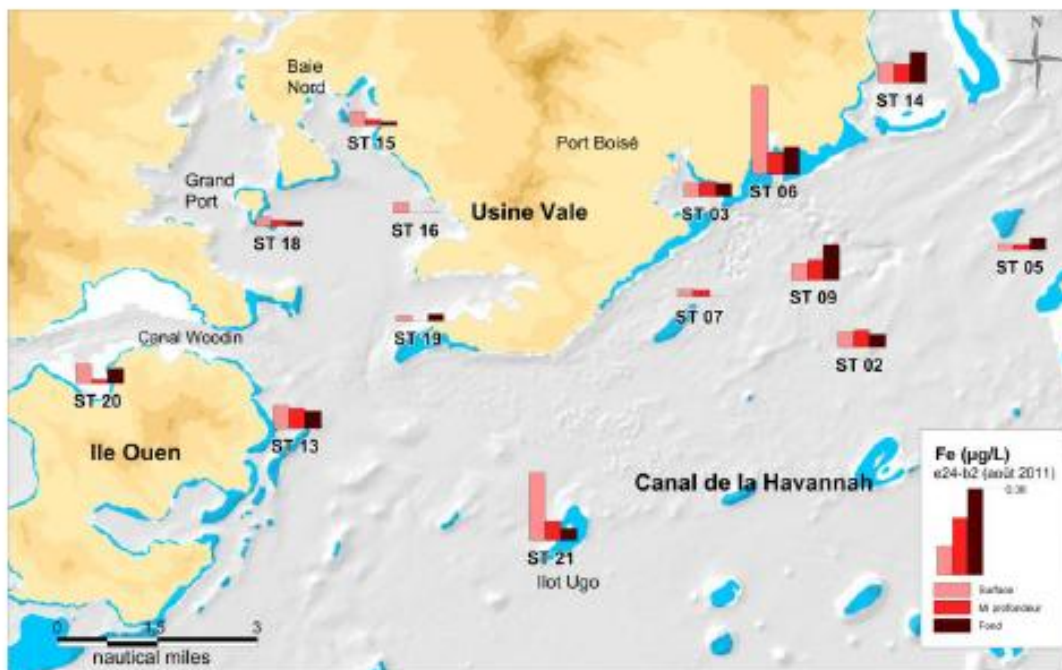
Milieu non perturbé : Cr VI < 0,25 µg/L ; ne pas dépasser 0,60 µg/L

Milieu non perturbé : Ni < 0,40 µg/L ; ne pas dépasser 0,75 µg/L

Milieu non perturbé : Mn < 0,35 µg/L ; ne pas dépasser 0,80 µg/L

Figure 29: Concentrations en Fer sur toutes les stations en aout 2011.

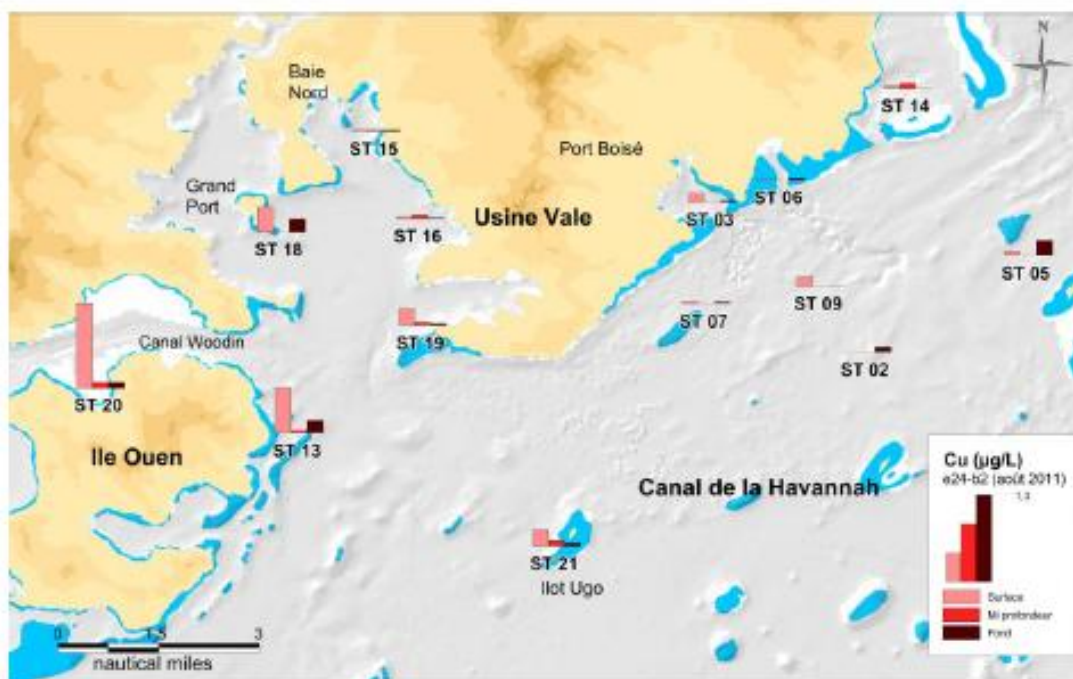
Concentration de fer (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



Légende, la barre marron entière représente une concentration en Fer de 0,38 µg/L

Figure 30: Concentrations en Cu sur toutes les stations en aout 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 concentration maximale en Cu est relevée au nord de l'île Ouen, dans la baie Iré, et en surface avec 1,21 µg/L, et sur St 13 : 0,66 µg/L. Le fait de relever une plus forte concentration d'un élément en surface est corrélé aux écoulements d'eau douce (moins dense que l'eau de mer) aux embouchures des creeks et aux éléments d'origine terrigènes véhiculés par ces creeks. Ces éléments dépendent de la nature des sols érodés.

Par contre au niveau du port de Prony les concentrations en Cu sont très faibles avec 0,03 µg/L (surface) ; 0,05 µg/L (mi profondeur) et 0,02 µg/L (au fond) ce qui est inférieur aux concentrations sur ST05 près de la réserve Merlet: 0,04 µg/L. (Limite quantification du Cu, voir méthodologie, 0,015 µg/L)

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

Au cours de la campagne du second trimestre 2011, il n'apparaît aucune non-conformité aux valeurs attendues, par rapport aux valeurs des états de référence et des campagnes précédentes.

Le rapport intégral se trouve à l'annexe 2 de ce document.

2.2.2 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.

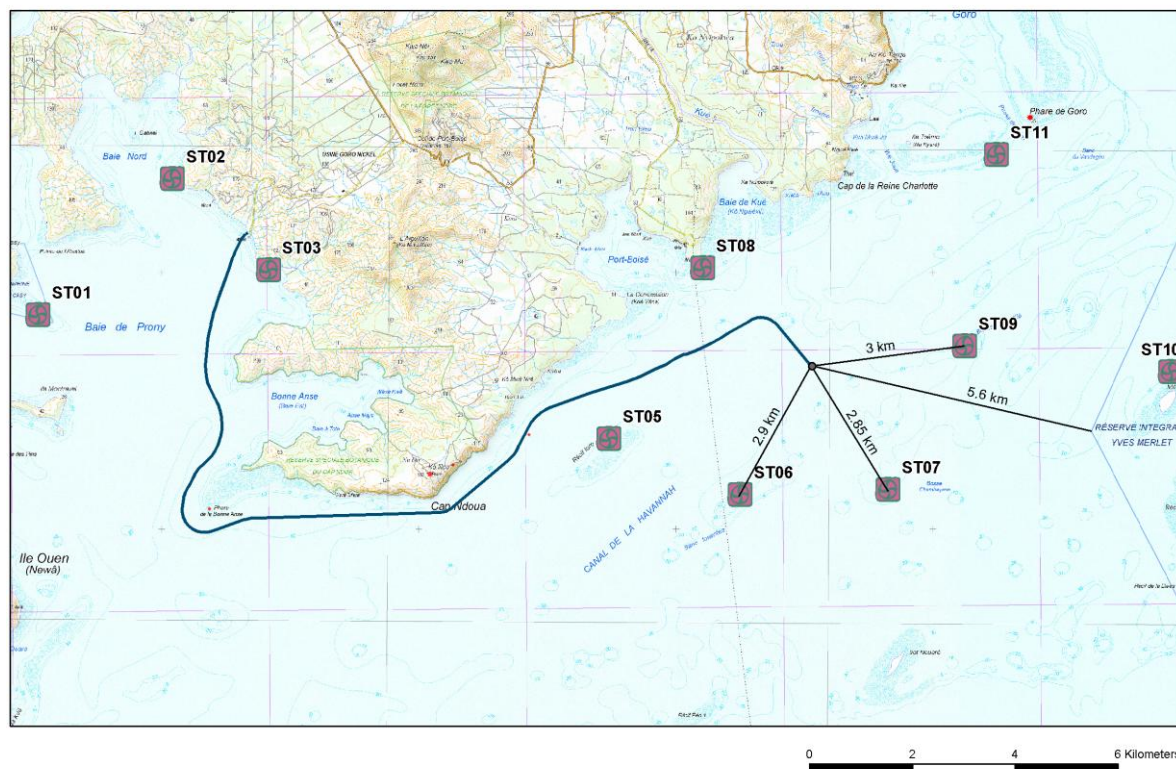
- La mission du premier semestre avait eu lieu du 21 mars au 1 avril 2011 et le rapport a été communiqué lors des bilans semestriels 2011.
- La mission de suivi du second semestre 2011 a été effectuée du 25 septembre au 06 octobre 2011.

Pour 12 stations à évaluer la longueur minimale d'une mission effectuée avec rigueur est de 10 jours.

Tableau 22 et carte associée: Caractéristiques et position des stations et de leurs transects

STATION	LOCALISATION	NOMBRE DE TRANSECTS	PROFONDEUR (m) DES TRANSECTS		
			A	B	C
01	Ilot Casy	2	7	10	-
02	Creek Baie Nord	2	10	12	-
03	Port	3	5	10	13
04	Woodin	3	4	11	21
05	Récif Ioro	3	5	10	20
06	Banc Iononlea	3	9	15	21
07	Basse Chambeyron	3	7	17	22
08	Récif pointe Puka	2	9	12	-
09	Bancs de Kié	3	7	17	20
10	Ilot Kié	3	10	16	21
11	Récif Toémo	3	6	11	20
12	Ugo	2	5	13	-

Suivi Stations Eco Marine



2.2.2.1 Rappels

Il convient de se remémorer qu'en janvier 2011 le cyclone Vania et de forts épisodes dépressionnaires (Zelia) avaient impacté le milieu en laissant des traces 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 étaient nettement observables 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 indéniable 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.

En mars 2011 : Les stations de suivi biologiques ne montraient pas d'évolution qui aurait pu révéler des anomalies biologiques induite par l'activité anthropique mais plutôt d'ordre naturel (événement climatique de longue période « La Niña » et événements dépressionnaires violents mais de courte période « Vania et Zelia »).

Dans le canal de la Havannah et le canal Woodin, les principales dégradations étaient d'origine mécanique « Dépressions Vania. Nombreux débris, mortalité importante et blanchissement corallien induit par les effondrements ». Malgré les courants de marée conséquents dans le canal Woodin, les dégradations mécaniques sont moindres que dans le canal de la Havannah car les récifs sont moins exposés au ressac et à la houle.

Dans la baie de Prony (milieu protégé), les principales dégradations étaient d'origine d'une dessalure des eaux de surface (colonies blanchies encore en place, mortalité importante sur les récifs à proximité des embouchures des creeks et des rivières).

Les populations de poissons quant à elles n'indiquaient pas un effet du passage de ces dépressions ; densité, biomasse et diversité étaient en augmentation.

Le rapport intégral a été communiqué lors des bilans des suivis environnementaux du premier semestre 2011.

En octobre 2011 : Le blanchissement a nettement diminué, laissant derrière son passage une mortalité réduite et de nombreuses colonies ayant réintégré leurs zooxanthelles. La couverture de cyanophycées n'a pas profité de cet affaiblissement corallien.

Les cyanobactéries subissent une grande régression du recouvrement, seuls les niveaux St1A et St03A sont occupés en proportion réduite (absence St01B, St02, St03B, St03C par rapport à la mission de mars 2011).

Les chapitres suivants détaillent les résultats des évaluations de septembre/octobre 2011 et mettent en relief quelques points « phares »

2.2.2.2 Bilan par station suivi (du second semestre 2011)

Conclusions pour la baie de Prony :

- Fortes sédimentation sur toutes les stations ; (cf. suivis des flux sédimentaires) ;
- Richesse spécifique corallienne forte (87 espèces sur un *transect* de 20m) avec des espèces coralliennes adaptées à l'hyper sédimentation et recouvrement corallien toujours faible à Casy où le suivi de la croissance d'une colonie corallienne sur un piquet est de 3,35 cm/6 mois (Suivi spécifique) ;
- Recouvrement en cyanobactéries rare ou absent ;
- Présence d'individus d'étoile de mer *Culcita novaeguinea*.
- La biodiversité α des poissons s'est accrue, de nombreux juvéniles.

Conclusion pour les stations du canal de la Havannah qui entourent la zone de rejet de l'effluent traité :

- Pas développement du recouvrement en cyanobactéries malgré la mortalité corallienne de surface due à l'hydrodynamisme fort après le cyclone Vania ;
- Blanchissement corallien modéré suite à l'impact des dépressions de janvier et régénéscence des récifs coralliens, les dalles retournées sont recolonisées ;
- Peuplement corallien adaptée à un fort hydrodynamisme.
- L'étoile de mer rugeuse de corail *Acanthaster planci* a été inventoriée à Ioro.
- Biodiversité des poissons stable.

Le cas de la station ST 10 en réserve Merlet

- La station de l'îlot Kié en réserve Merlet n'échappe pas à ces phénomènes ci-dessus énumérés ;
- Au niveau des poissons elle est comme toujours largement au premier rang sur tous les paramètres de richesse : richesse spécifique, densité, biomasse et biodiversité maximales.

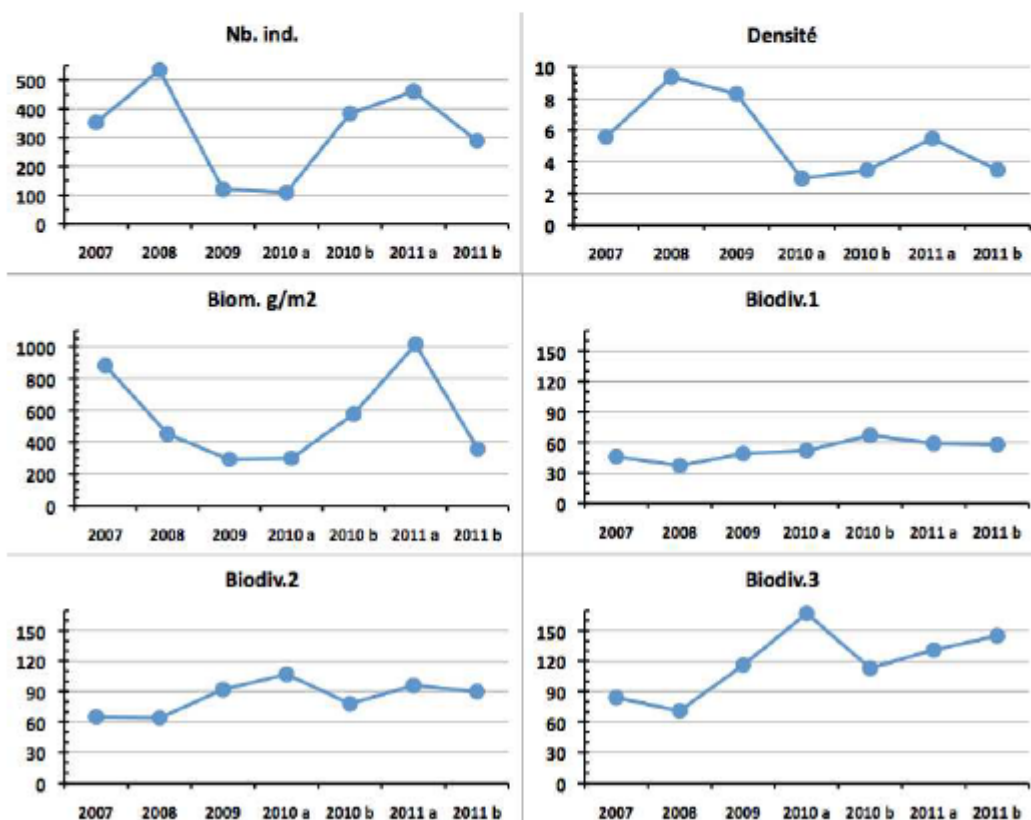
Figures suivantes : récapitulation des données ichtyologiques (poissons) sur la station ST10 en réserve Merlet, depuis 2007.

De telles synthèses des données sont présentées pour chaque station dans le rapport intégral en annexe de ce document, ainsi l'évolution temporelle est bien prise en compte et récapitulée pour chaque station.

Tableau 23 et graphes associés : récapitulation des données ichthyologiques sur la station ST10 en réserve Merlet, depuis 2007.

: Synopsis des résultats 2011 et récapitulatif des années précédentes (ST10)

Ilot Kié ST10		Liste DENV				Toutes espèces	
		Transect TLV			Station	Station	
		Nb. ind.	Densité	Biom. g/m ²	Biodiv.1	Biodiv.2	Biodiv.3
2011 b	Transect A	494	6,18	118,82	38		
	Transect B	204	2,16	144,93	17		
	Transect C	169	2,10	808,04	21		
	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 ¹⁴	Moy. ABC	353,00	5,57	881,82	46	65	84



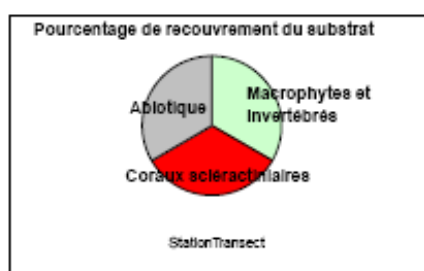
Evolution des paramètres biologiques ichthyologiques depuis 2007 (ST10)

Depuis 2005 : 588 espèces de poissons ont été observées sur toute la zone d'études.

2.2.2.3. Comparaisons spatiales entre stations

De façon synthétique, il est possible de présenter les résultats de la mission de suivi du mois d'octobre 2011 sur des cartes à vocation de **présentation synoptique** (sujettes à évoluer selon les besoins). Un exemple est donné ci-après.

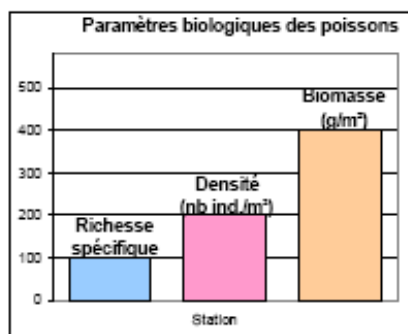
Figure 31: Représentation cartographique – légende



La légende de cette carte indique :

Le SUBSTRAT : camembert présentant le pourcentage

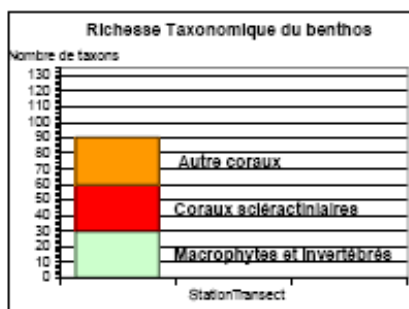
- Abiotique (en gris) du LIT sur chaque *transect* et à chaque station ;
- le pourcentage de coraux durs (Scléractiniaires) en rouge
- et les Macrophytes (algues) et Invertébrés.



Les POISSONS : histogramme présentant :

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

Sur liste restreintes réglementaires 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 32 : Résultats de la campagne de suivi, Sept /octobre 2011 (Baie de Prony : ST01, ST02 et ST03)

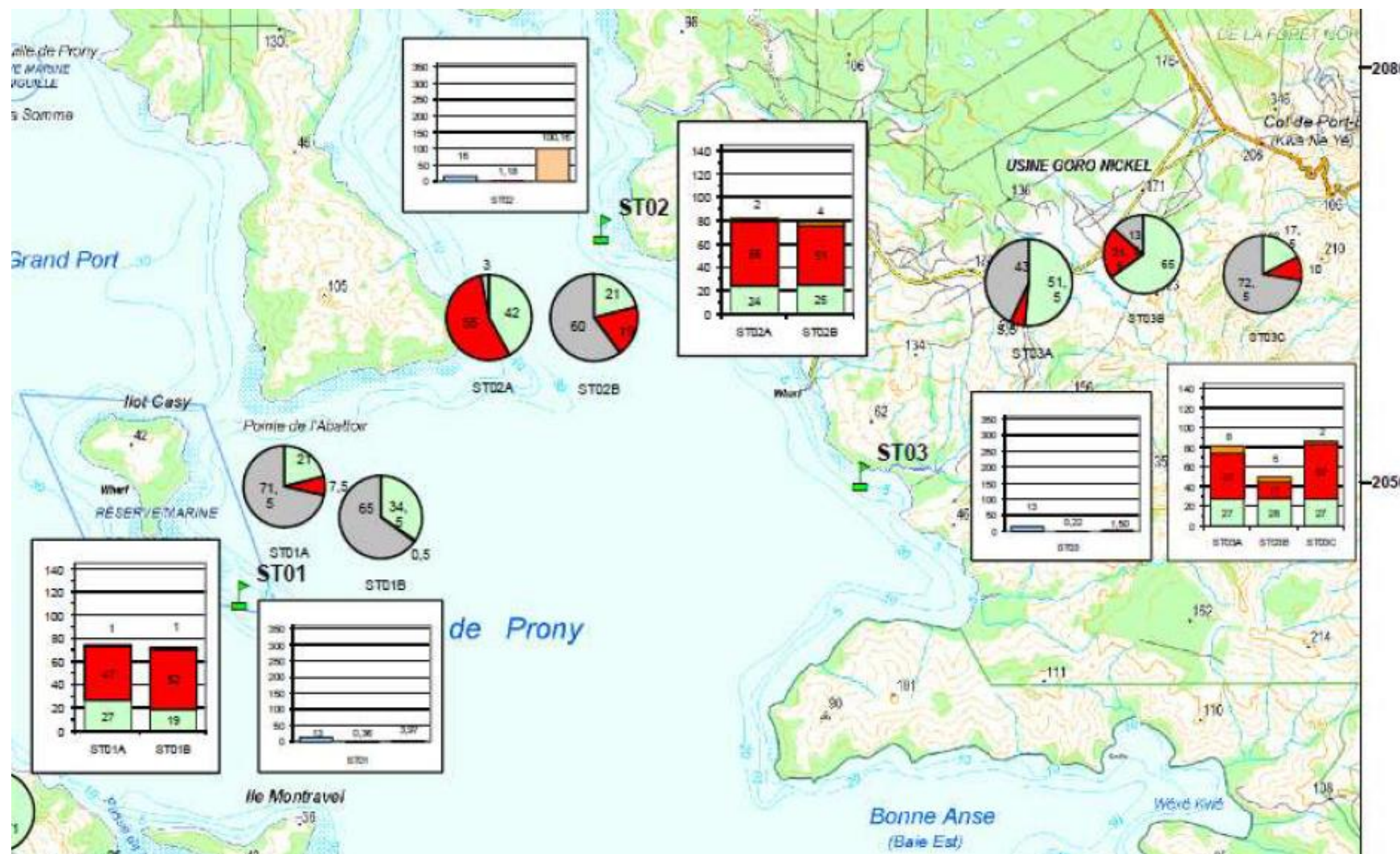
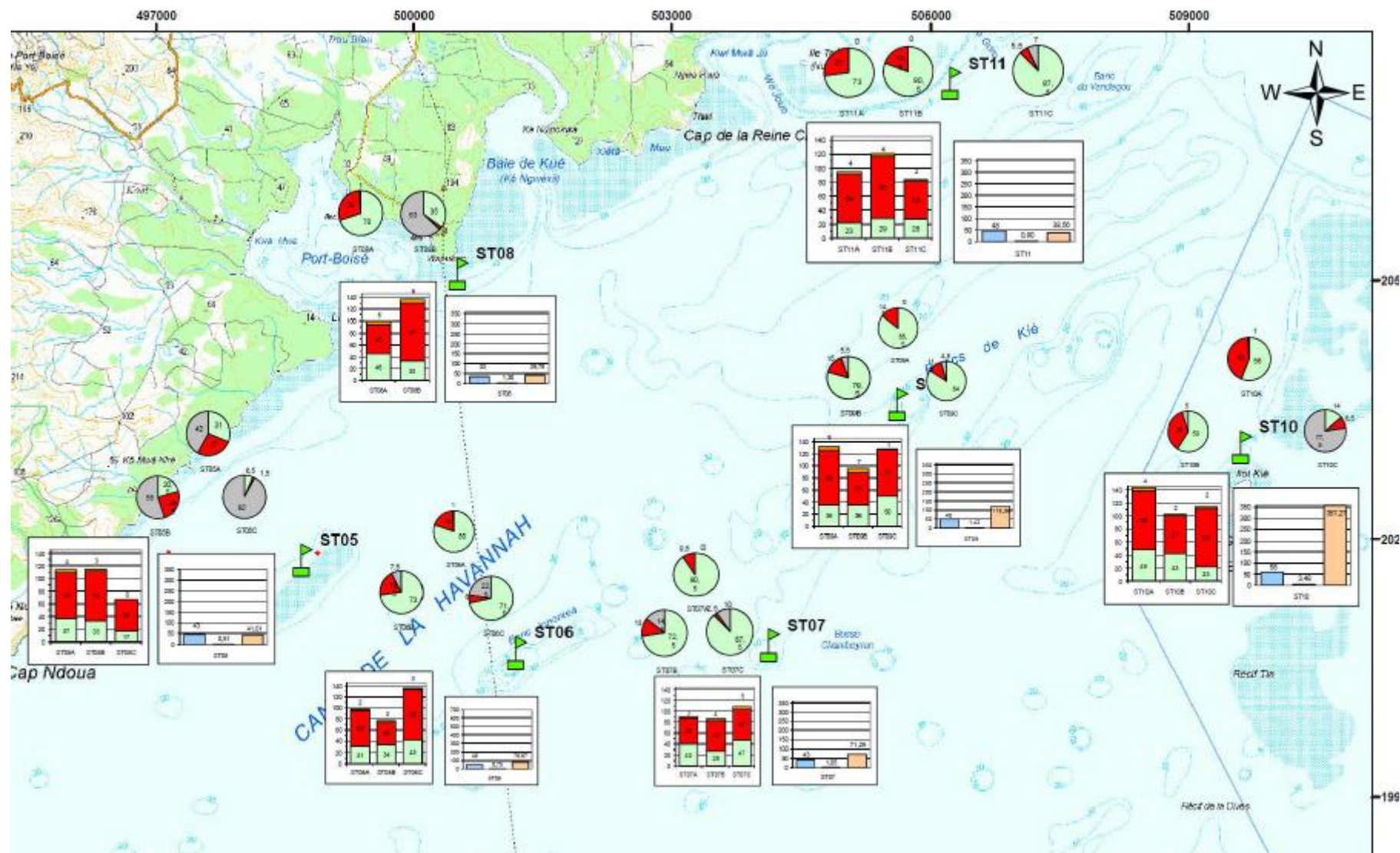


Figure 33 : Résultats de la campagne de suivi, septembre /octobre 2011 (Canal de la Havannah)



Les graphes suivants comparent toutes les stations entre elles en ce qui concerne le substrat sur transects fixes LIT, le benthos sur couloirs fixes et les poissons selon la liste restreinte imposée.

Figure 34 : Comparaison entre stations pour le substrat sur LIT, Octobre 2011

Recouvrement en % du substrat sur chaque *transect* LIT en considérant des compartiments clefs : biotique et abiotique et coraux scléractiniaires (Coraux durs)

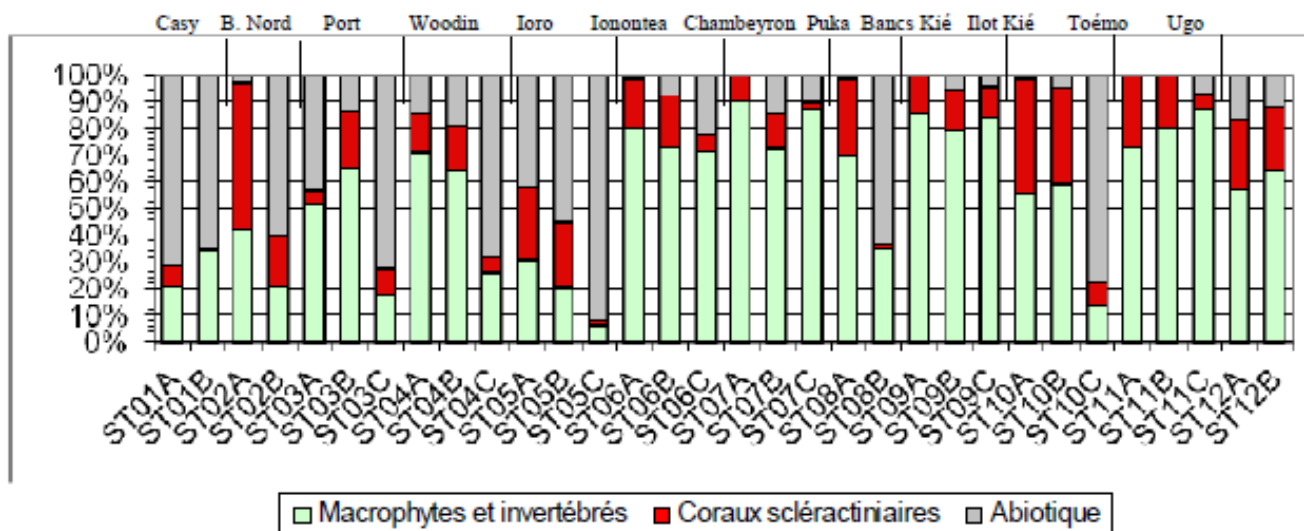


Figure 35 : Comparaison entre stations pour le benthos, Octobre 2011

Richesse taxonomique du benthos en considérant 3 groupes clefs : les algues et macrophytes, le corail dur et les autres coraux.

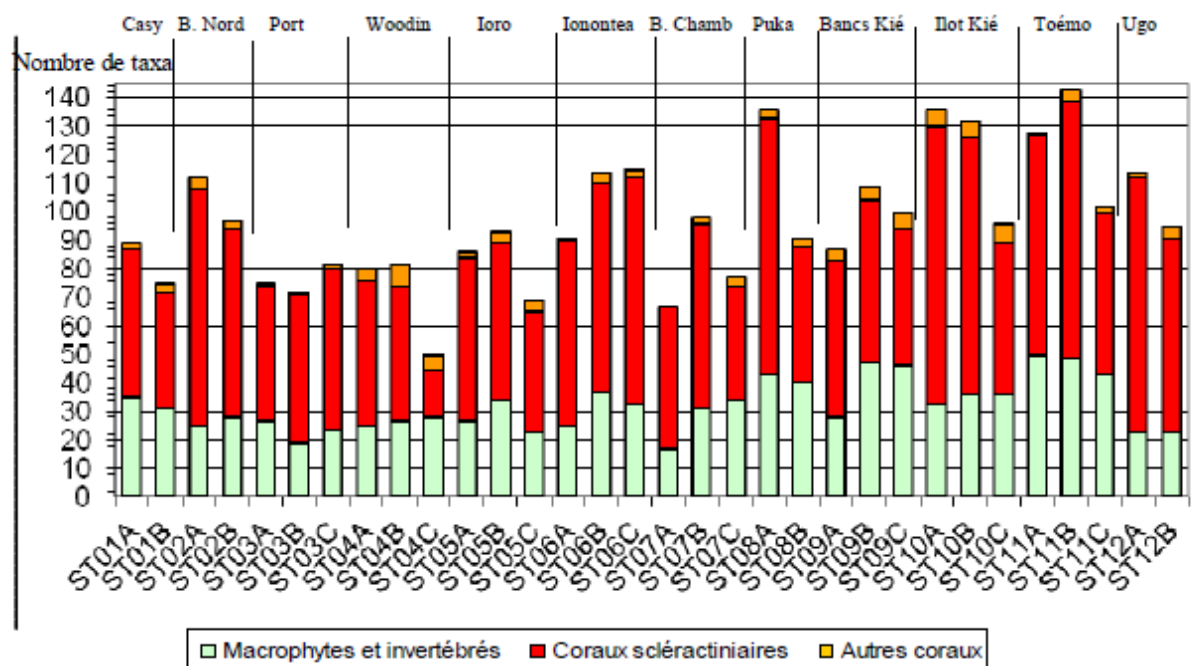


Tableau 24 : Récapitulatif des paramètres biologiques pour l'ichtyofaune. Octobre 2011.

STATION	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10	ST11	ST12
PARAMETRES BIOLOGIQUES	Casy	B. nord	Port	Wood.	Ioro	Ionon.	Chamb	Puka	B. Kié	I. Kié	Toémo	Ugo
Nombre individus	58	268	53	286	213	187	269	190	351	867	222	96
Richesse spécifique	13	16	13	42	43	46	43	33	48	58	48	25
Densité (nb ind/m ²)	0,36	1,18	0,22	0,95	0,81	0,75	1,05	1,30	1,42	3,48	0,90	0,60
Biomasse (g/m ²)	3,97	100,16	1,50	65,36	41,01	76,87	71,29	39,78	118,86	357,27	38,56	14,12
Indice de Shannon	3,23	2,62	2,92	4,44	4,98	4,91	5,03	3,49	4,44	4,01	4,94	4,17
Indice Equitabilité	0,87	0,66	0,79	0,82	0,86	0,89	0,87	0,69	0,80	0,68	0,88	0,90

Figure 36: Richesse spécifique de l'ichtyofaune par station, octobre 2011

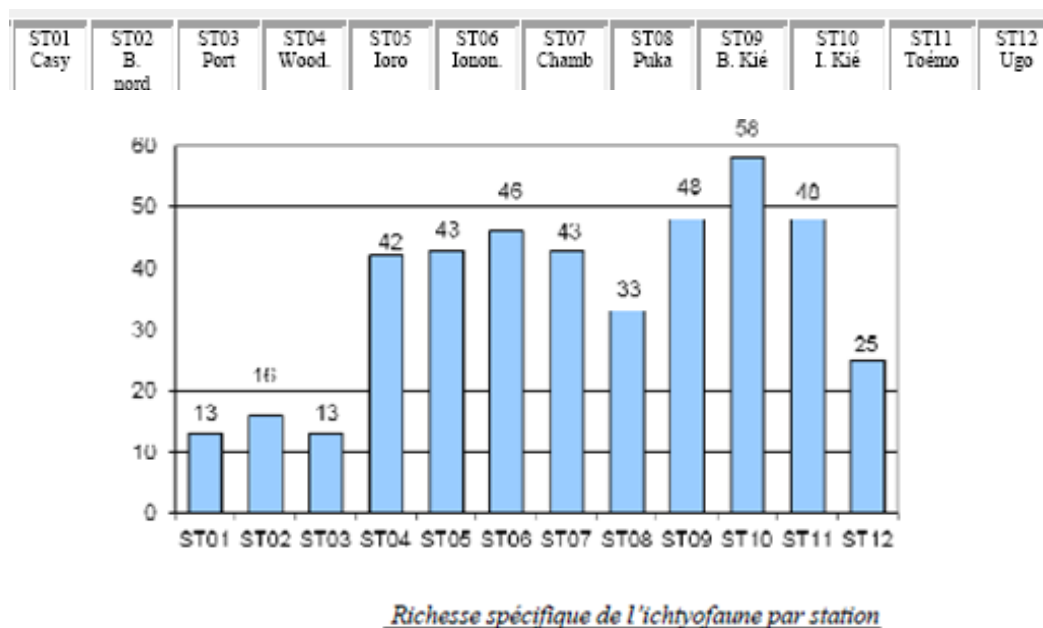


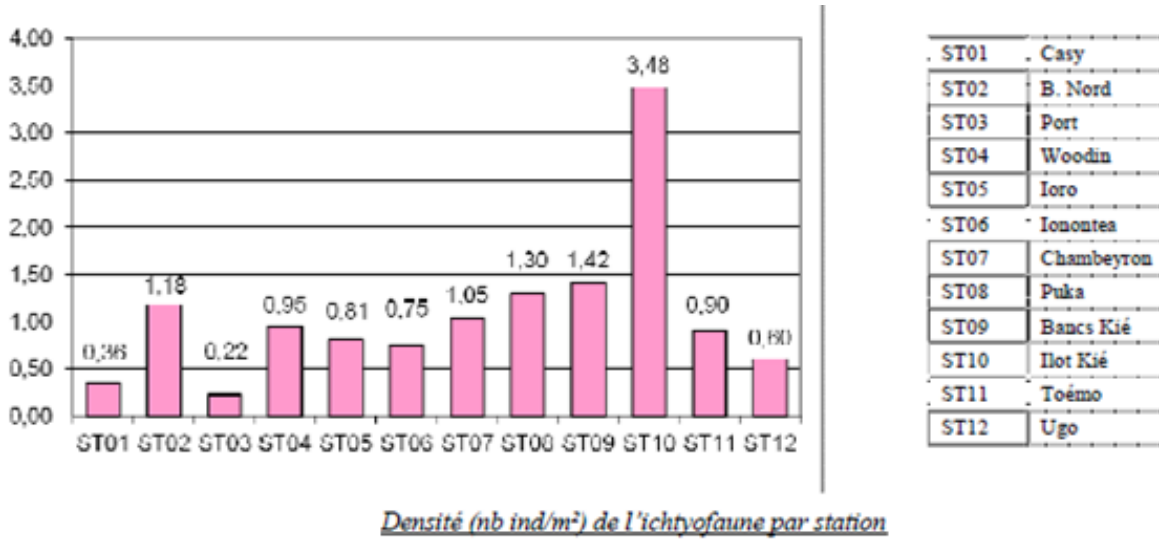
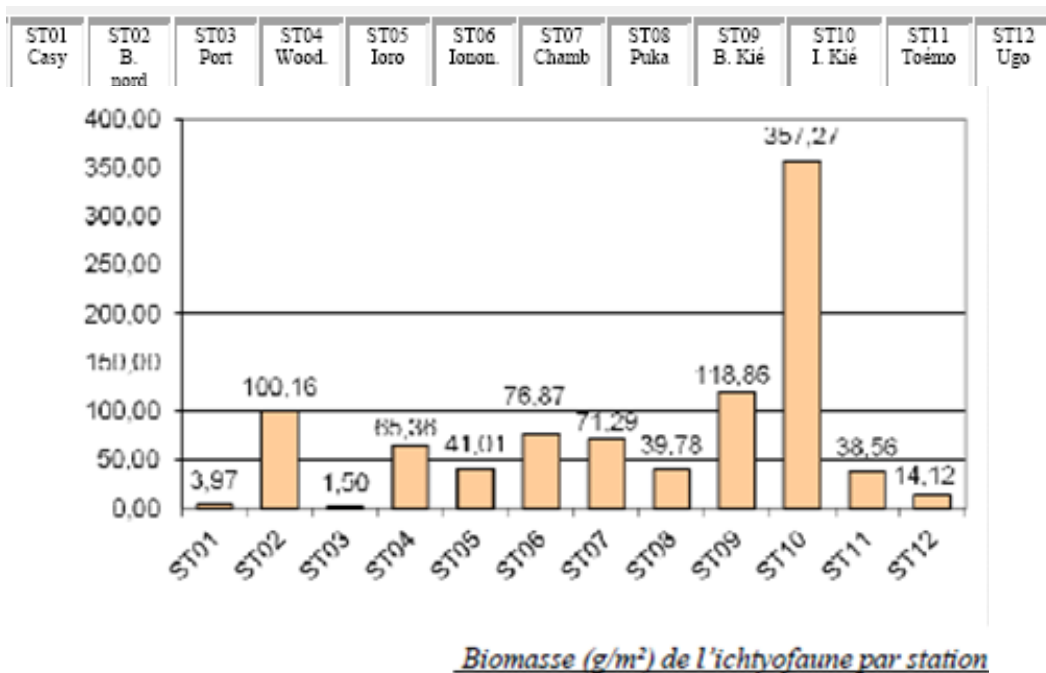
Figure 37 : Densité de poissons (m^2) par station, octobre 2011

Figure38 : Biomasse des poissons (liste restreinte) par station suivie, Octobre 2011



Pour cette mission encore une fois c'est la station ST10 en réserve Merlet qui est la plus riche en biomasse (Moyenne des 3 transects : de **357,27 g/m²**, le transect le plus profond atteignant 808g/m²).

La réserve Merlet au niveau de la station ST10 près de l'îlot Kié, avec une moyenne de 118 espèces, est toujours (depuis 2007) en tête des stations quant à sa richesse en poissons quelques soient les indicateurs suivis. Le tableau suivant montre le classement des Stations suivies en fonction de leur biodiversité (biodiversité α) et depuis 2007.

Tableau 25 : Classement des stations par ordre décroissant en fonction de leur biodiversité α

Stations	Rangs							Moy.
	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	
Ilot KIE	1	3	1	1	1	1	1	1
Banc B. CHB	3	2	2	2	2	2	5	2
WOODIN	5	1	3	3	3	3	7	2
Récif TOEMO	5	3	6	4	6	4	3	5
IONONTEA	2	5	5	4	5	5	2	4
Ilot UGO	3	8	4	6	4	6	9	6
Banc IORO	8	8	9	7	8	7	8	9
Banc KIE	5	7	7	7	9	8	6	7
Point PUKA	9	5	7	9	7	9	4	7
Le PORT	10	10	11	11	11	10	10	10
Ilot CASY	10	10	10	10	10	11	12	10
CREEK	10	12	12	12	12	12	11	12

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.

2.2.2.4 Analyse de l'évolution temporelle au cours des années de suivis

↳ **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. Cela correspond au cahier des charges du suivi réglementaire. Seuls quelques indicateurs sont rapportés ici, le document contenant les données intégrales se trouve en annexe du présent rapport.
- Toute modification d'un paramètre supérieure aux variations saisonnières (– qui se dessinent de plus en plus clairement au fur et à mesure des campagnes –) est systématiquement approfondie par les experts qui effectuent le suivi et elle est notifiée dans leur rapport.
- L'externalisation des missions de suivi du milieu marin permet aux experts de conclure 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 de cibler un suivi approfondi des paramètres suspectés d'avoir variés, confirmer ou infirmer la modification et en rechercher les causes. Dans cette démarche de suivis supplémentaire, suite au cyclone Vania, une mission de suivi du blanchissement corallien a été menée en baie du Prony. Une évaluation de l'état écologique de l'émissaire sous- marin a aussi été conduite.

↳ **Richesse taxonomique du benthos**

Si l'on considère le système avec toutes les stations confondues de la baie de Prony et du canal Woodin (milieux protégés aux dépressions du début d'année 2011), la majorité des groupes benthiques des scléractiniaires, des alcyonaires, des algues rouges, des astéries, des holothuries, des échinides, des éponges et des zoanthaires montrent une stabilité sauf les mollusques, les ascidies et les algues vertes qui ont une forte augmentation de la RS. (RS=Richesse spécifique).

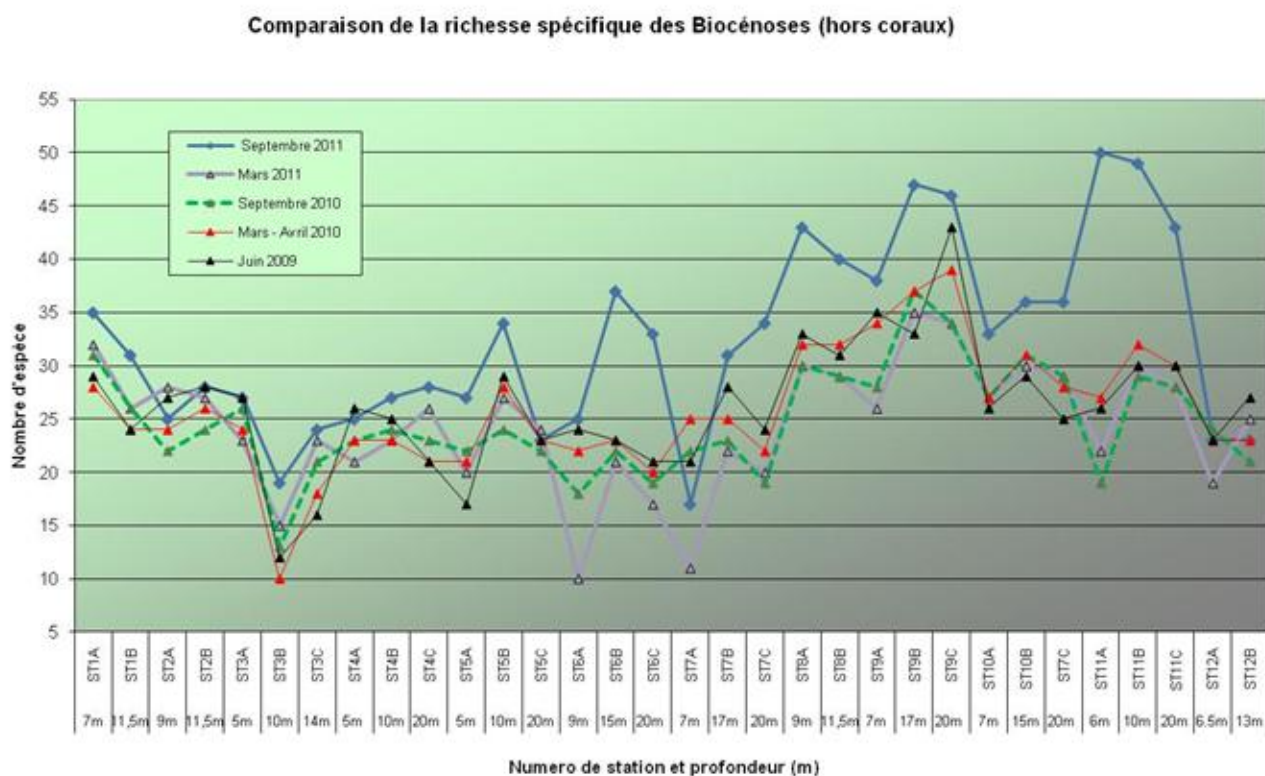
Les algues brunes voient leur RS diminuer

Les cyanobactéries subissent une grande régression du recouvrement, seuls les niveaux St1A et St03A sont occupés en proportion réduite (absence St01B, St02, St03B, St03C par rapport à la mission de mars 2011).

Si l'on considère le système avec toutes les stations confondues du canal de la Havannah, les groupes benthiques des scléractiniaires, des alcyonaires, des algues brunes et vertes, des anémones, des crinoïdes, des spongiaires et des zoanthaires montrent plutôt une stabilité alors que les groupes biotiques des mollusques, les ascidies, les algues rouges et les astéries sont en forte augmentation de la RS.

Par contre les holothuries voient leur RS fortement diminuer (milieux exposés aux dépressions du début d'année 2011).

Figure 39 : Comparaison des richesses spécifiques (biocénoses benthique, hors coraux), par station, depuis juin 2009

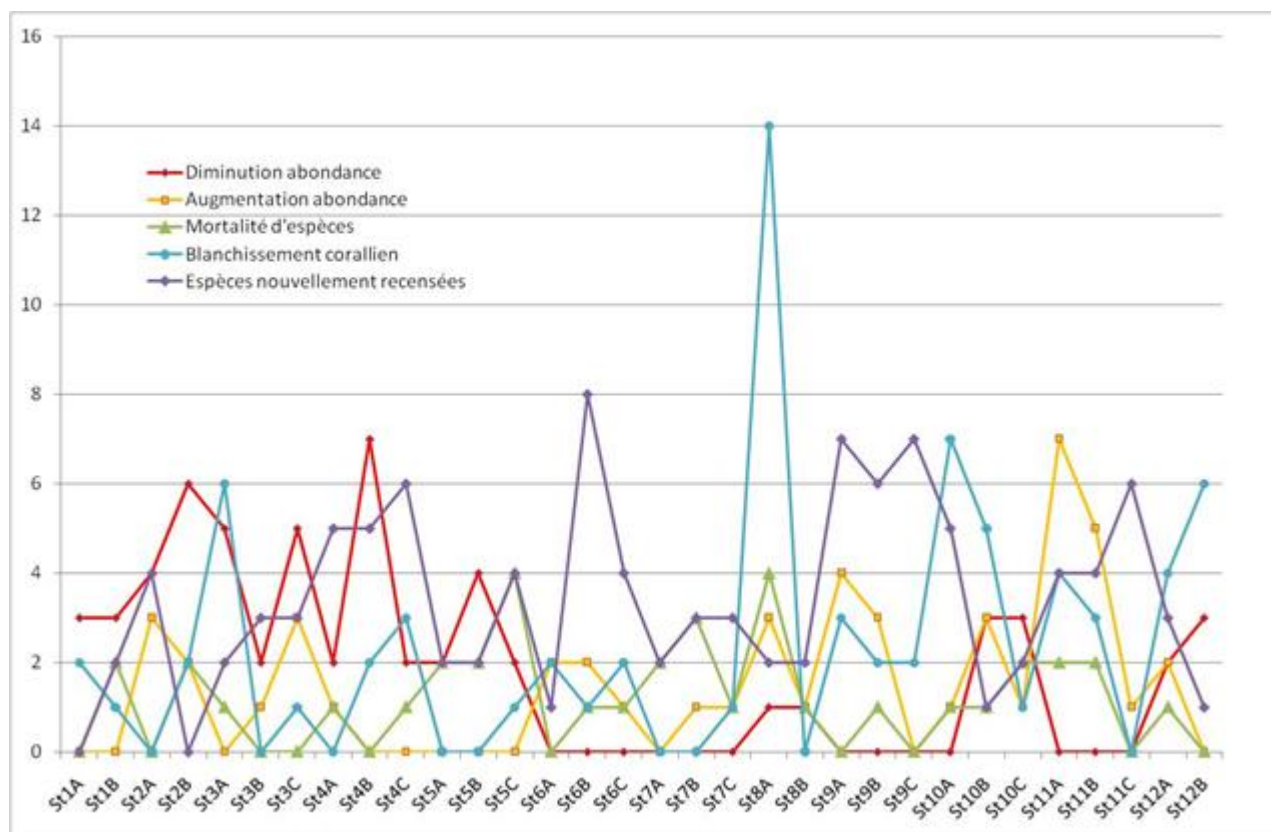


🔗 Indicateurs de la santé des coraux

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. 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.

Figure40 : Indicateurs de la santé des coraux sur tous les transects de toutes les stations entre mars et octobre 2011



Les dégradations récifales sont bien moins importantes que pour la mission de mars 2011 où l'évènement climatique « la Nina » et les événements dépressionnaires « Vania et Zelia » avaient perturbés considérablement la santé des récifs. Les stations colonisées par des coraux en plus mauvaise état santé et qui mettent plus de temps à retrouver leur équilibre sont St03 (port de Prony) , St04B (canal Woodin) , St07A (Basse Chambeyron dans le canal) , St08A (Pointe Puka), St10A -10B (Ilot Kié en réserve intégrale Merlet) et St12B (Ugo).

Désormais les récifs se stabilisent avec toutefois des séquelles encore visibles du passage du cyclone et des dépressions de janvier 2011.

↳ **Cyanobactéries**

Elles sont caractéristiques d'un dérèglement du système environnemental lorsque leur développement est important par rapport à leurs variations naturelles importantes (milieu riche en composés organiques dissous et plus particulièrement en composés azotés). Leur développement est favorisé avec 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).

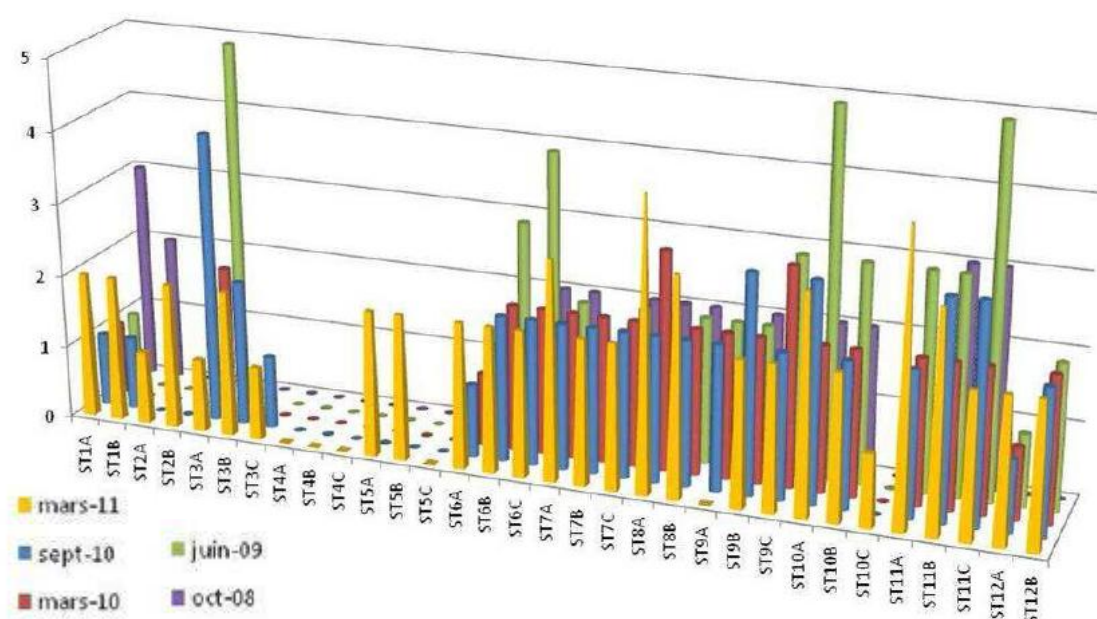
Remarque : une prolifération importante de cyanobactéries a été observée sur les récifs à l'embouchure de la rivière du Carénage en avril 2011. La baie du Carénage est hors zone d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie mais elle est suivie comme zone témoin pour le corail depuis 2009. La majeure partie des coraux du sommet du récif a été dégradée (blanchie) par la dessalure des eaux de surface (*Acropora grandis* dont la répartition est quasi mono-spécifique sur cette zone) ; ce blanchissement est la conséquence directe des fortes précipitations impliquées par les événements dépressionnaires du début d'année 2011. Le blanchissement fut quasi-général suite à l'arrivée d'eau douce dans la zone des 6 m de profondeur. Les cyanobactéries se sont ensuite développées rapidement et abondamment ne laissant pas de chance aux coraux pour se rétablir et réintégrer de nouvelles zooxanthelles. En conséquence, la majeure partie des coraux branchus s'édifiant dans la tranche bathymétrique supérieure à 6 m sont morts (sommet du récif).

Une synthèse sur l'évolution saisonnière des algues macrophytes et des cyanobactéries est en cours et paraîtra en 2012.

La dernière mission de septembre /octobre 2011 montre une forte régression de l'abondance des cyanobactéries en baie du Prony et dans le canal Woodin, Leur évolution est stable ou en diminution dans le canal de la Havannah.

Seuls le *transect* St07A (au niveau de la basse Chambeyron) demeure élevé avec un niveau 3. Ce niveau récifal a été particulièrement perturbé lors des événements dépressionnaires et de nombreux coraux ont été cassés ou arrachés. Les cyanobactéries se sont développées sur les colonies affaiblies et sur les débris coralliens.

Figure 41 : Abondance de cyanobactéries, 2008-2011



↪ Algues

Le recul grâce aux suivis consécutifs selon la même méthodologie permet de mieux cerner les variations saisonnières de l'abondance des algues.

Un travail d'analyse de l'évolution temporelle a déjà été effectué pour les algues vertes, rouges et brunes, selon les stations et leurs *transects*, il a été présenté dans le rapport du premier semestre 2011. Un travail de synthèse sur les suivis des populations d'algues et de cyanobactéries (2007/2011) est en cours de finalisation.

↪ Espèces exogènes

Non observées

Poissons

Le chapitre 6.3 du rapport intégral (en annexe de ce document) est consacré à une étude approfondie des résultats de mars et octobre 2011 comparés à ceux des années précédentes. Elle est due au professeur Claude Chauvet, ichtyologue.

- 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.

La station ST10 de l'îlot Kié en réserve intégrale Merlet occupe le premier rang pour tous les indicateurs de la richesse en ichtyofaune. Et de façon constante au fil des ans.

- Evolution temporelle selon la méthodologie réglementaire : (Liste restreinte)

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

Tableau 26: Densités moyennes (ind./m²) par station sur toutes les campagnes

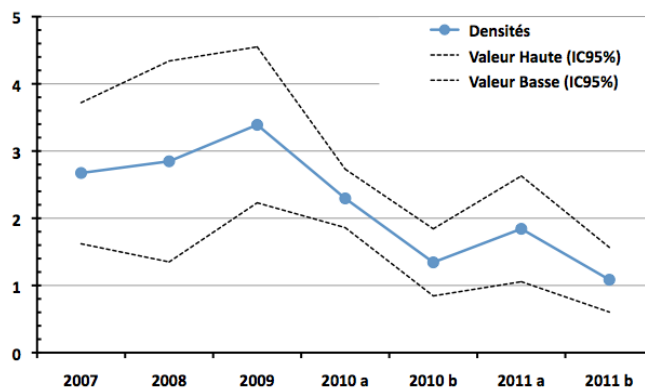
Années	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b
Stations	Densité moy. (transects ABC)						
Ilot CASY	2,63	0,87	3,5	0,93	0,33	0,30	0,36
CREEK	1,12	1,76	1,49	1,68	1,41	0,61	1,18
Le PORT	1,59	0,92	3,03	1,95	0,31	0,86	0,22
WOODIN	5,45	2,71	4,07	3,38	0,84	2,11	0,95
Banc IORO	0,73	2,02	4,09	2,37	1,23	1,56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

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

L'analyse des variances de la densité pour les 7 campagnes précédentes montre une similarité, mais qu' à une valeur de F à 0.997.

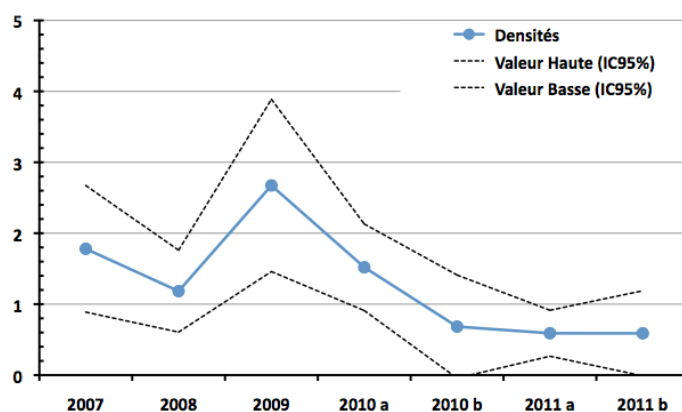
Figure 42 : Densité Toutes les stations confondues

Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance

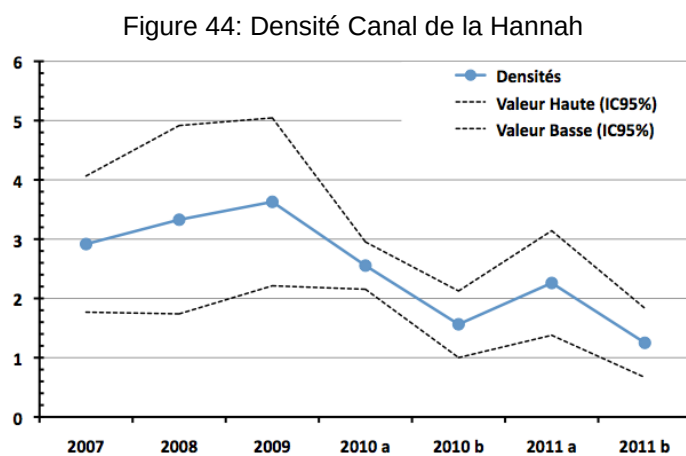


Cet exercice peut être refait en séparant les stations en deux lots : celles de la baie de Prony et celles situées dans la Canal de la Havannah, en raison de l'hétérogénéité des stations c'est une démarche pertinente.

Pour les 3 stations de la baie de Prony, l'analyse des variances de la densité pour les différentes campagnes montre une similarité, mais que à une valeur de F à 0.990.

Figure 43: Densité Baie du Prony

Pour les 9 stations du Canal de la Havannah, l'analyse des variances de la densité pour les différentes campagnes (cf. tableau 146 et figure XX) montre une similarité, à une valeur de F à 0.985.



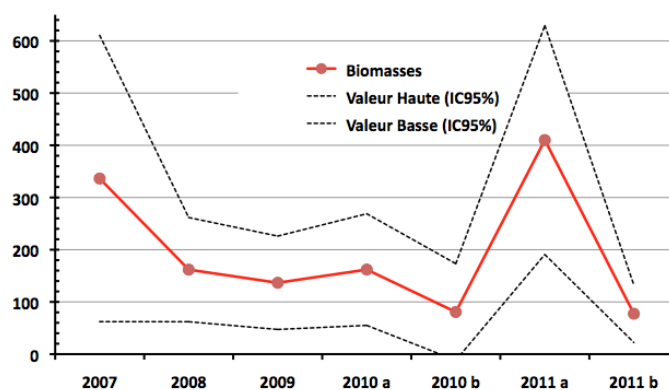
LA BIOMASSE en gramme de poissons listés sur la liste restreinte par m2

L'analyse des variances de la biomasse pour les 7 campagnes montre une similarité, mais à une valeur de F à 0.997

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

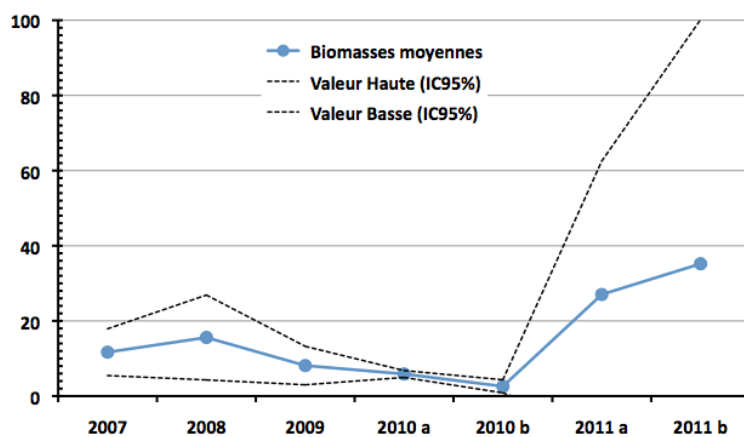
Années	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b
Stations	Biomasse moy. (transects ABC)						
Ilot CASY	14,86	6,68	13,08	5,79	2,30	1,01	3,97
CREEK	5,46	26,05	6,73	6,71	4,23	60,95	100,16
Le PORT	14,73	14,05	4,55	5,13	1,26	19,13	1,50
WOODIN	408,31	267,8	456,26	460,91	38,60	730,66	65,36
Banc IORO	47,65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

Figure 45: Biomasse. Toutes les stations confondues

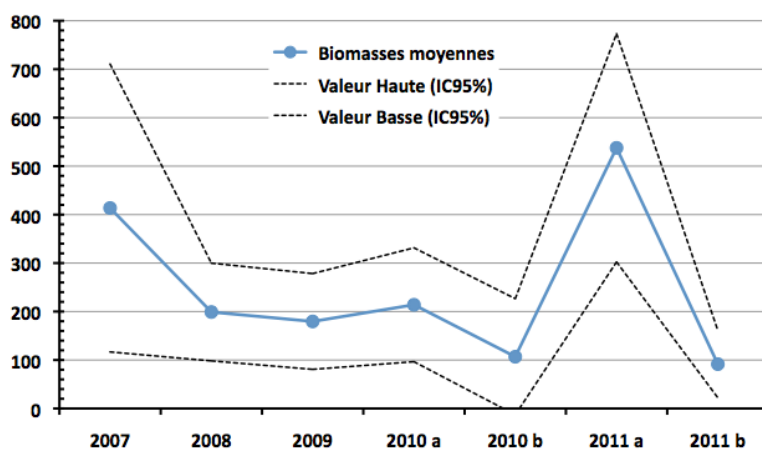


Cet exercice peut être refait en séparant les stations en deux lots : celles de la baie de Prony et celle situées dans la Canal de la Havannah.

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.

Figure 46: Biomasse Baie du Prony

Pour les 9 stations du Canal de la Havannah, l'analyse des variances de la biomasse pour les différentes campagnes montre une similarité, mais que à une valeur de F à 0.997.

Figure 47: Biomasse Canal de la Havannah

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 en annexe).

L'analyse des variances de la biodiversité pour les 7 campagnes montre une similarité.

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

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

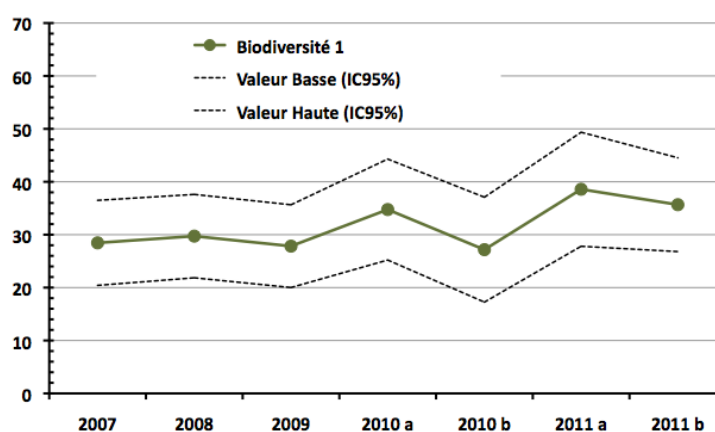
$$k_1=p-1 \quad 6$$

$$k_2=n-p \quad 77$$

$$F_{obs} = 1,09$$

$$F_{0,95} = 2,22$$

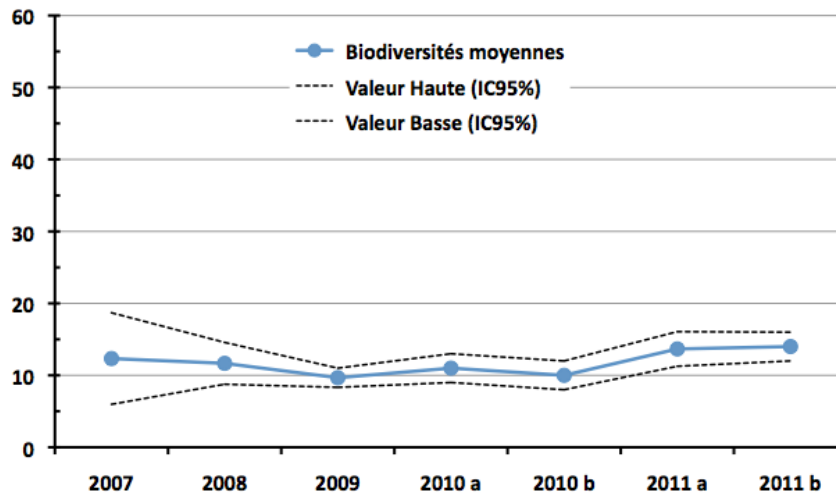
Figure 48: Biodiversité toutes stations



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

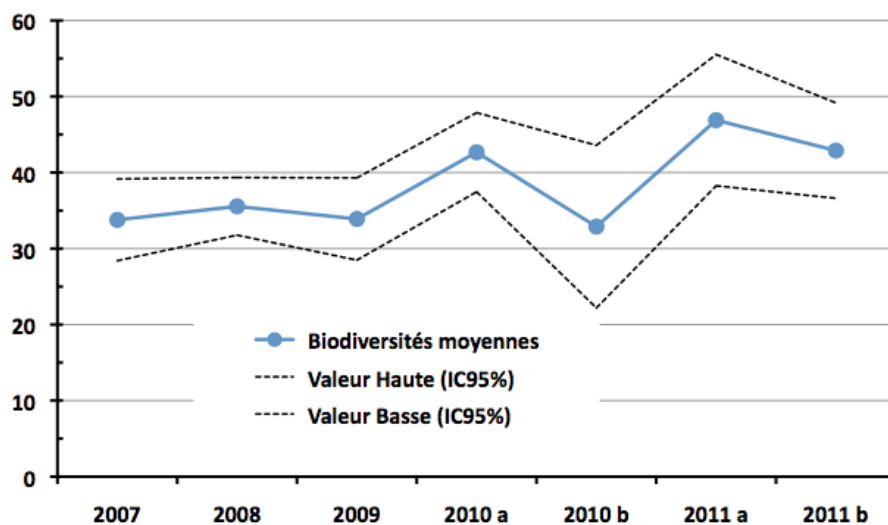
Pour les 3 stations de la baie de Prony, l'analyse des variances de la biodiversité pour les différentes campagnes montre une similarité, à une valeur de F à 0.950.

Figure 49: Biodiversité. Baie du Prony



Pour les 9 stations du Canal de la Havannah, l'analyse des variances de la biodiversité pour les différentes campagnes montre une similarité, à une valeur de F à 0.980.

Figure 50: Biodiversité. Canal de la Havannah



ATTENTION :

Comme indiqué: Selon la méthodologie règlementaire 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.

Conclusion :

Les paramètres de Densité et de Biomasse des poissons de la zone étudiée sont revenus aux valeurs qu'ils avaient lors de la mission 2010 b, (présence conjoncturelle de Sprats *Spratelloides gracilis* au premier semestre 2011), tandis que la Biodiversité garde une valeur proche de celle obtenue en mars dernier et s'inscrit dans la tendance progressive que nous observons depuis le début de cette série historique en 2007.

- **Les stations de la Baie de Prony** sont homogènes et très différentes de celles du Canal.
- **Les stations du Canal** sont moins homogènes. (La station de l'îlot Kié en réserve Merlet et d'Ugo devraient être considérée séparément). Mais cette disparité n'apparaît nettement que sur le paramètre de Densité. La Biomasse est un paramètre trop instable.

BIODIVERSITES α , γ et β sur listes exhaustives

- la biodiversité α ($B\alpha$) est le nombre d'espèces n_i présentes sur une station i : $B\alpha_i = n_i$
- la biodiversité γ ($B\gamma$) est la biodiversité totale de la zone, en d'autres termes, la réunion des $B\alpha_i$ sur l'ensemble p des stations. $B\gamma = \cup_p B\alpha_i$
- la biodiversité β ($B\beta$) est une représentation de la diversité des stations caractérisées par leur $B\alpha$ respective.

Une étude plus approfondie sur la liste complète des poissons inventoriés depuis 2008 permet de conclure que :

- les stations de Prony, notamment le creek de la Baie Nord et le port, abritent de nombreux juvéniles,
- *Ionotea* ne présente toujours pas de Carangidae,
- il n'y a toujours aucune espèce nomade à UGO comme les Carangidae, ni même de Lutjanidae.
- la biodiversité de l'îlot Kié est toujours très nettement la plus forte,
- toutes les stations de la Havannah et de Woodin sont « perturbées » par la présence d'importants bancs de sprats en mars 2011.

a)- La biodiversité dite α ($B\alpha$) est le nombre d'espèces n présentes sur une station.

La $B\alpha$ des stations de Prony est toujours en moyenne deux fois plus faible que celle des stations du canal de la Havannah. La station en réserve Merlet présente toujours la biodiversité α la plus forte.

Tableau 29 : Biodiversité α pour chaque station, depuis 2005

	2005	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	MOYENNE
Casy	46	34	47	56	66	55	37	37	47
Creek	5	33	30	34	47	55	35	54	41
Port	14	34	47	39	50	64	64	66	52
Woodin	53	54	89	81	110	92	111	88	89
Ioro	41	50	52	69	79	66	94	84	71
Ionon tea	104	60	67	81	94	81	102	124	87
B. Chbey	107	56	82	106	113	86	97	91	90
Puka	79	44	68	66	80	41	76	101	68
Bc Kie	104	55	62	60	66	75	86	91	71
Ilot Kie	84	84	71	116	167	113	131	145	118
Toemo	71	53	71	74	95	88	116	109	87
Hugo	75	75	75	70	92	50	81	80	75
MOYENNE	65	53	63	71	88	72	86	89	

Tableau 30: Classement des stations par biodiversité décroissante

Stations	Rangs							
	2007	2008	2009	2010 a	2010 b	2011 a	2011 b	Moy.
Ilot KIE	1	3	1	1	1	1	1	1
Banc B. CHB	3	2	2	2	2	2	5	2
WOODIN	5	1	3	3	3	3	7	2
Récif TOEMO	5	3	6	4	6	4	3	5
IONONTEA	2	5	5	4	5	5	2	4
Ilot UGO	3	8	4	6	4	6	9	6
Banc IORO	8	8	9	7	8	7	8	9
Banc KIE	5	7	7	7	9	8	6	7
Point PUKA	9	5	7	9	7	9	4	7
Le PORT	10	10	11	11	11	10	10	10
Ilot CASY	10	10	10	10	10	11	12	10
CREEK	10	12	12	12	12	12	11	12

Les figures suivantes 51 a, b et c montre l'évolution temporelle de la biodiversité α sur évaluations exhaustives

Figure 51a : Biodiversité α pour chaque station, depuis 2005. POISSONS.

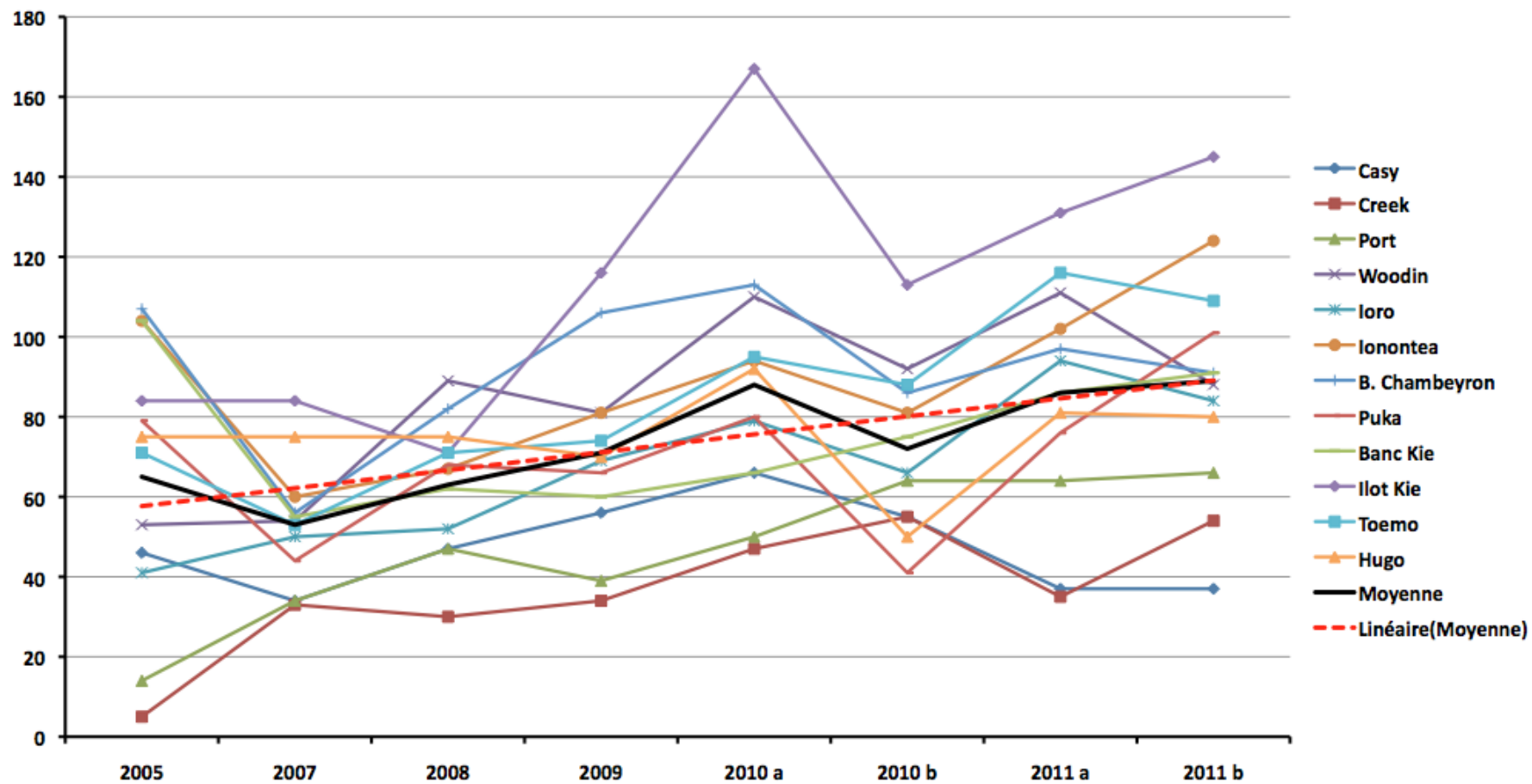
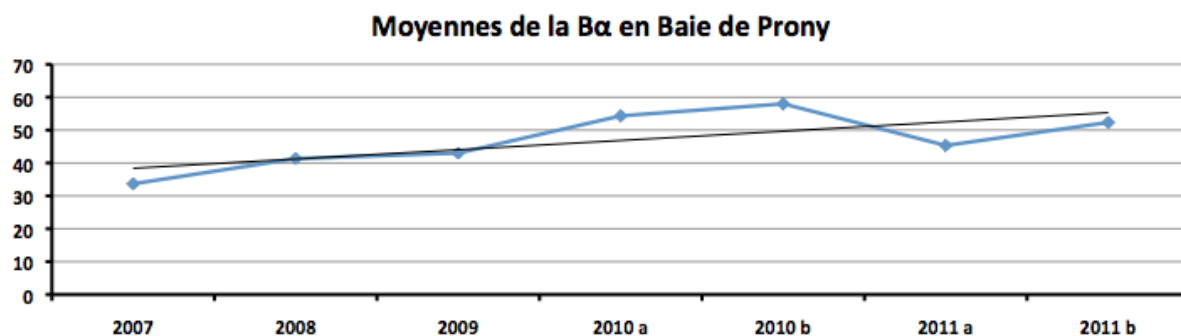
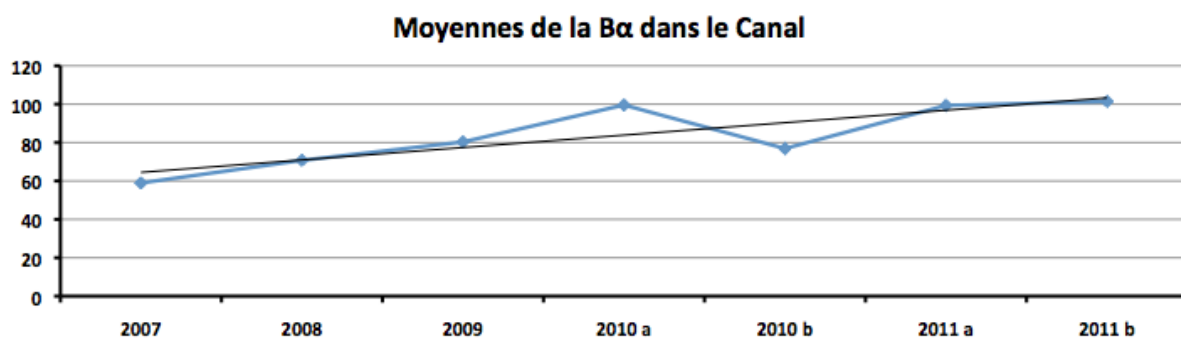


Figure 51b : Biodiversité α pour la baie du Prony, depuis 2007. POISSONS.Figure 51c : Biodiversité α pour le canal de la Havannah, depuis 2007. POISSONS.

La biodiversité des poissons observés aux différentes stations et la biodiversité totale montrent une progression légère mais régulière.

b)- La biodiversité γ (By) est la biodiversité totale de la zone d'étude, en d'autres termes la réunion des biodiversités α obtenues sur l'ensemble p des stations choisies pour caractériser la zone : la By observée sur toute la zone en mars 2011 est de **343 espèces réparties dans 44 familles**. En octobre 2011 elle est de **338 espèces réparties dans 43 familles**.

Les listes exhaustives sont en annexe des rapports.

Le nombre total d'espèces observées depuis 2005 sur les stations du suivi est de **589**. Il s'agit d'espèces diurnes non cryptiques et facilement observables (taille > 2 cm).

Figure 52 : Nombre d'espèces par famille en 2011 b et comparaison avec la moyenne 2005-2011 b

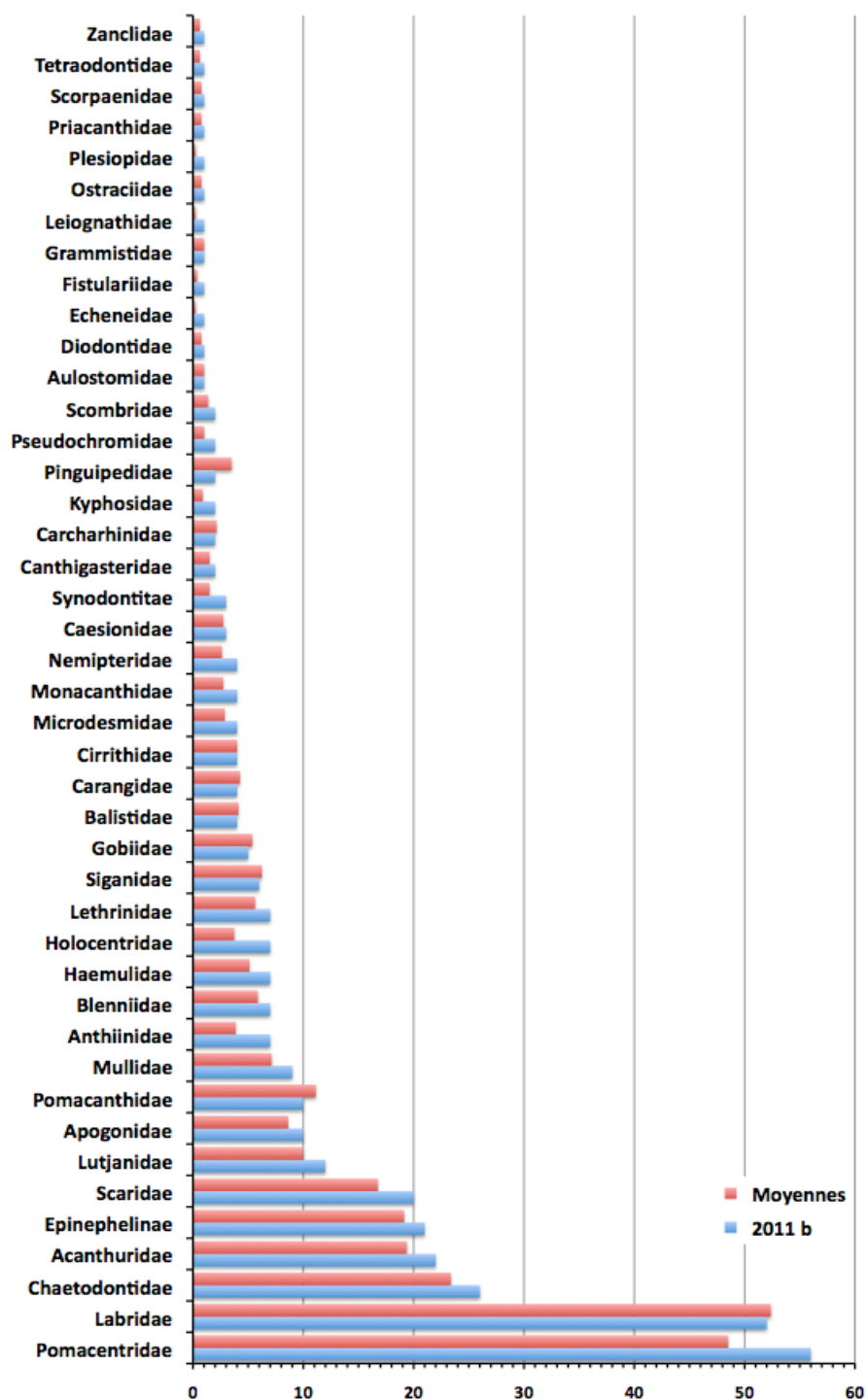
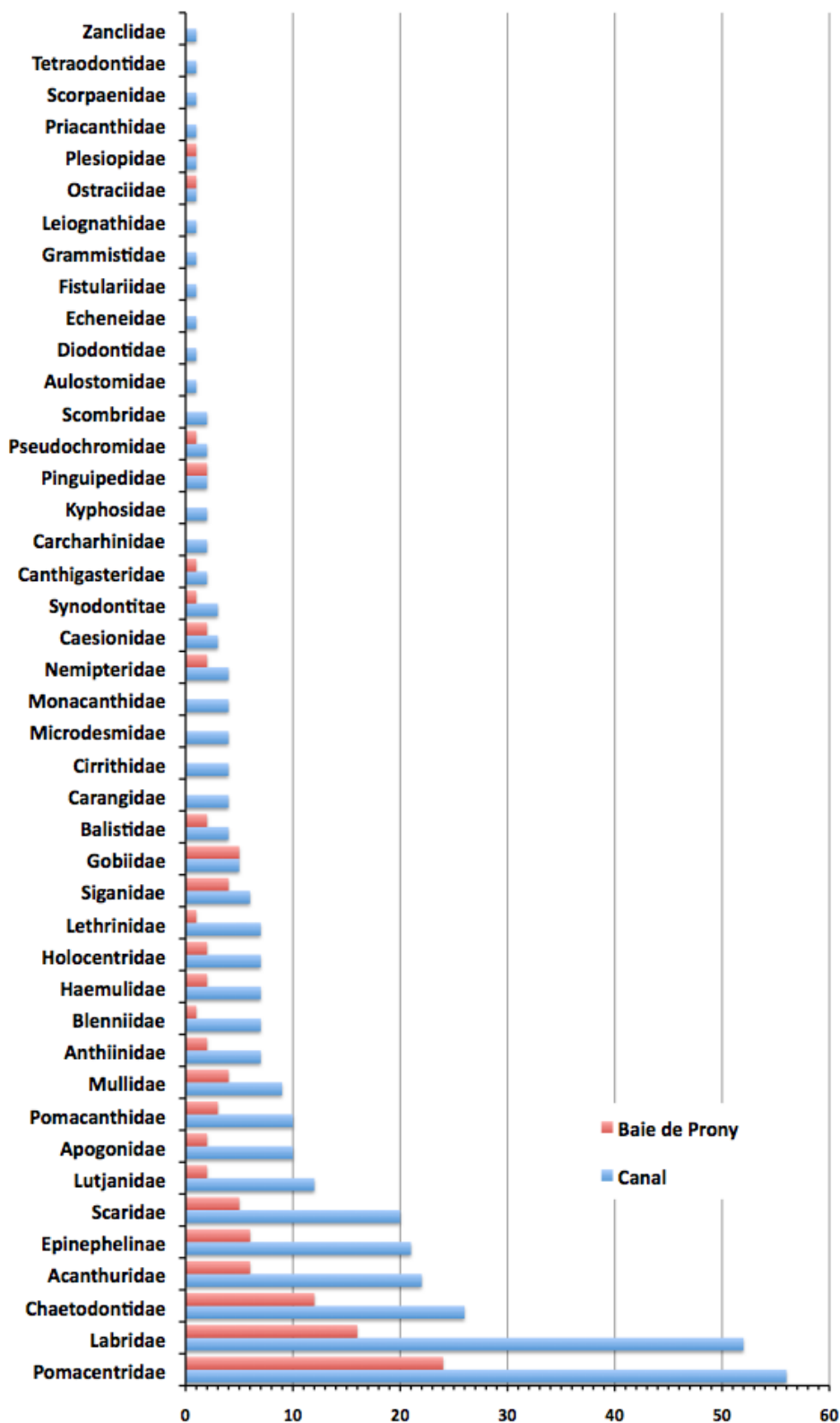


Figure 53 : Nombre d'espèces par Familles et comparaison entre le canal et la Baie de Prony



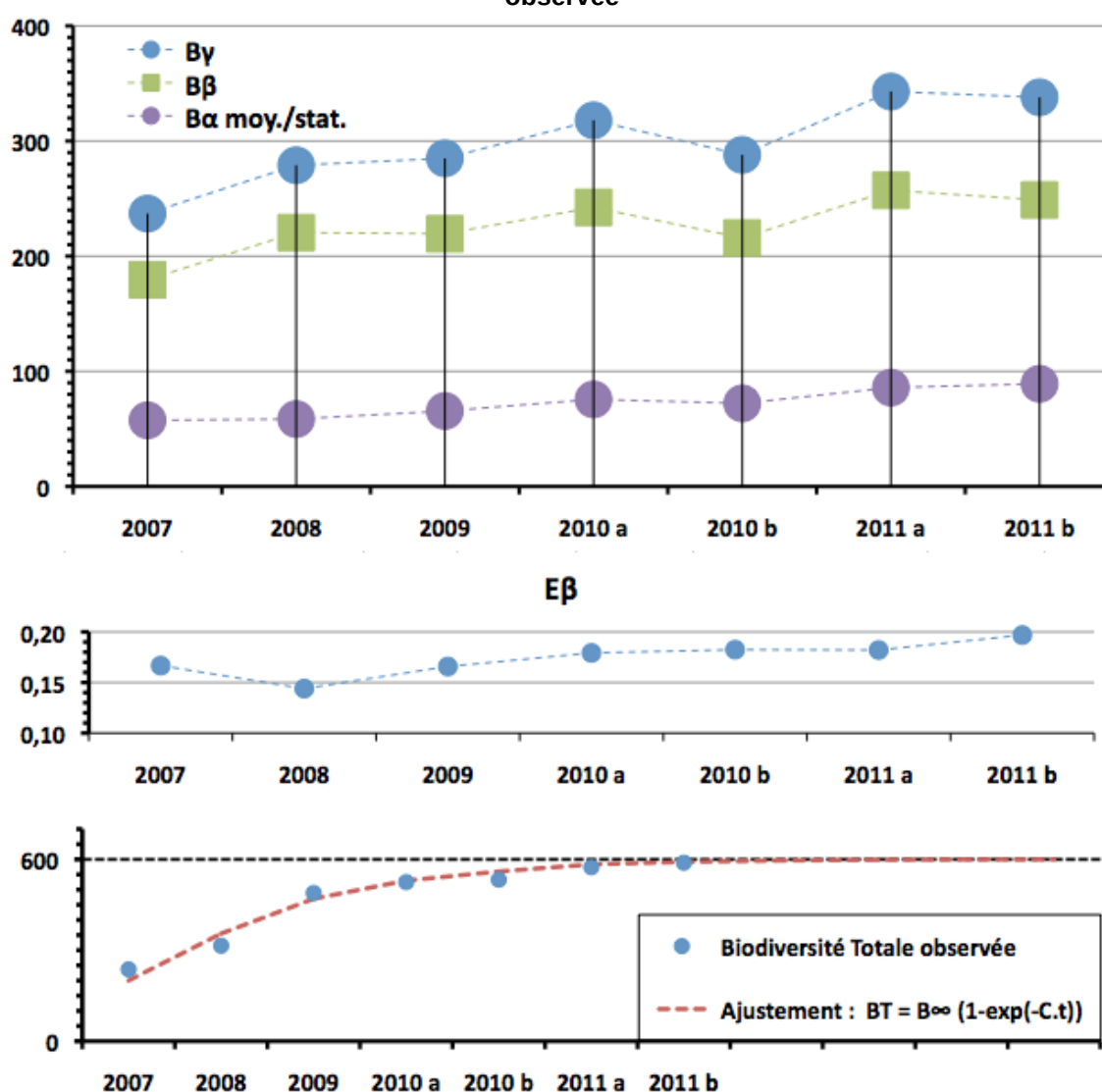
c)- La biodiversité β ($B\beta$) est la diversité des valeurs de diversités α , soit en d'autres termes la diversité des stations qui caractérisent la zone étudiée. La biodiversité $B\beta$ mesure l'hétérogénéité entre toutes les stations.

La biodiversité $B\beta$ est considérée comme un indicateur d'impact pour certains écosystèmes.

Elle rend compte du contraste entre les stations d'une zone. L'idée est que si un facteur environnemental majeur (une pollution par exemple) venait à envahir la zone, les stations tendraient à se ressembler (faisant chuter la $B\beta$), y compris des stations aux environnements naturels très différents comme peuvent l'être les stations du canal de la Havannah et les stations de la baie de Prony.

La chute de la $B\beta$ est en principe accompagnée d'une chute des $B\alpha$, donc si seules les $B\alpha$ chutent c'est qu'il faut plutôt chercher d'autres causes, comme la pêche par exemple.

Figure 54 : Biodiversités et Equitabilités par mission depuis 2007
Evolution des biodiversités α , β , γ , de l'indice d'Equitabilité $E\beta$ et de la biodiversité totale observée

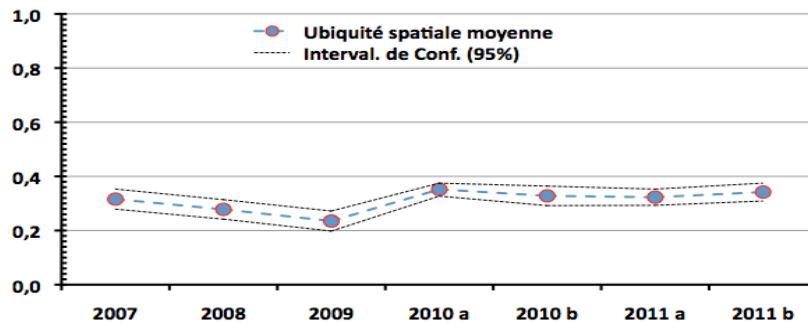


A chaque mission nous rencontrons entre 300 et 350 espèces depuis 2010. Nous en notions autour de 280 les années précédentes. En revanche, à part l'année 2008, les valeurs de l' $E\beta$ sont d'une part, stables et d'autre part, faibles ($<0,2$) montrant que les stations du suivi sont très différentes les unes des autres sous l'angle de vue de leur biodiversité..

UBIQUITE

L'**ubiquité**, ou **occurrence spatiale**, est la permanence temporelle des espèces. Une analyse de l'ubiquité apporte également des informations intéressantes sur l'évolution des écosystèmes.

Figure 55: Evolution de l'Indice d'Ubiquité moyen et de son intervalle de confiance à 95%



Bien que sensible, ce paramètre n'a pas beaucoup changé depuis 2007. Il reste autour de la valeur 0,3 qui traduit, typiquement, un peuplement où une grande majorité des espèces (les 2/3 environ) ont été vues au plus 3 fois depuis 2007 et où, seules, moins de 10 % d'entre-elles ont été vues plus d'une fois sur deux.

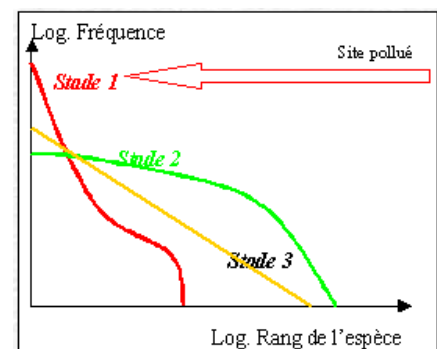
STRUCTURE DES POPULATIONS

Pour Frontier (et beaucoup d'autres auteurs dont Mendelbrot et le cas particulier de Zipf) :

Il y a 3 stades au développement d'un peuplement :

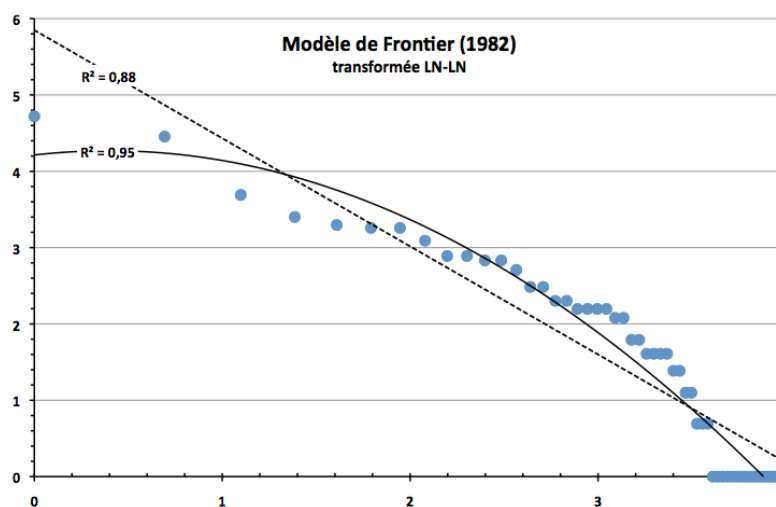
- le stade 1 immature et c'est aussi le stade d'un site pollué,
- le stade 3 mature ou
- le stade 2 en voie de l'être.

En réalité les peuplements sont toujours naturellement bouleversés et présentent donc un pattern 2 plus ou moins proche du stade 3, lequel est censé être le stade ultime ou climacique (lequel, on le sait, n'est qu'une vue de l'esprit idéalisée.).



Si l'on applique de modèle aux résultats des suivis ichtyologiques obtenus depuis 2007 :

Figure 56 : Modélisation de la structuration des populations de poissons



Le résultat est un stade 2 assez proche de l'état mature.

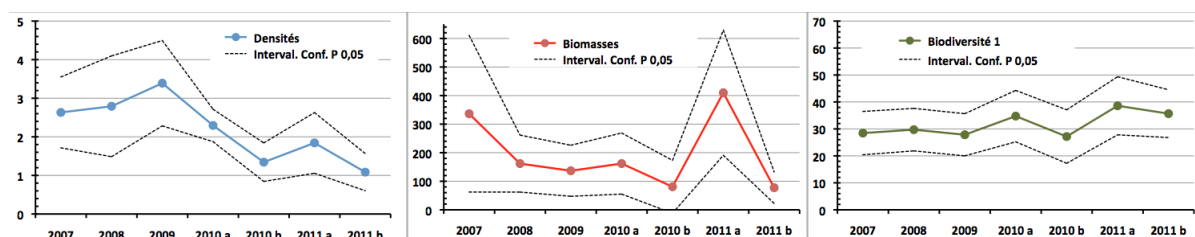
Le modèle de Motomura appliqué aussi confirme ce résultat : un peuplement stable peu perturbé.

CONCLUSION ICTHYOFAUNE

Compte tenu des intervalles de confiance importants, les résultats quantitatifs de densité et de biodiversité sont à considérer comme stables depuis 2007. La biomasse qui présentait une valeur très élevée en mars 2011, due à la présence conjoncturelle de Sprats (*Spratelloides gracilis*) est revenue à un niveau habituel.

Le nombre total d'espèces observées sur toute la zone depuis 2005 s'est accru de 15 espèces et il atteint maintenant 588 espèces.

L'ichtyofaune ne montre pas de variation ou anomalie.



1.1.1.1. 2.2.2.5 Conclusions sur l'ensemble du suivi éco-systémique

Les traces des fortes dépressions de janvier 2011 sont encore visibles notamment sur l'indicateur corallien extrêmement sensible, elles sont en voie de résiliation et il n'y pas eu de prolifération algale ou de cyanobactéries.

L'ensemble des stations est en bonne santé.

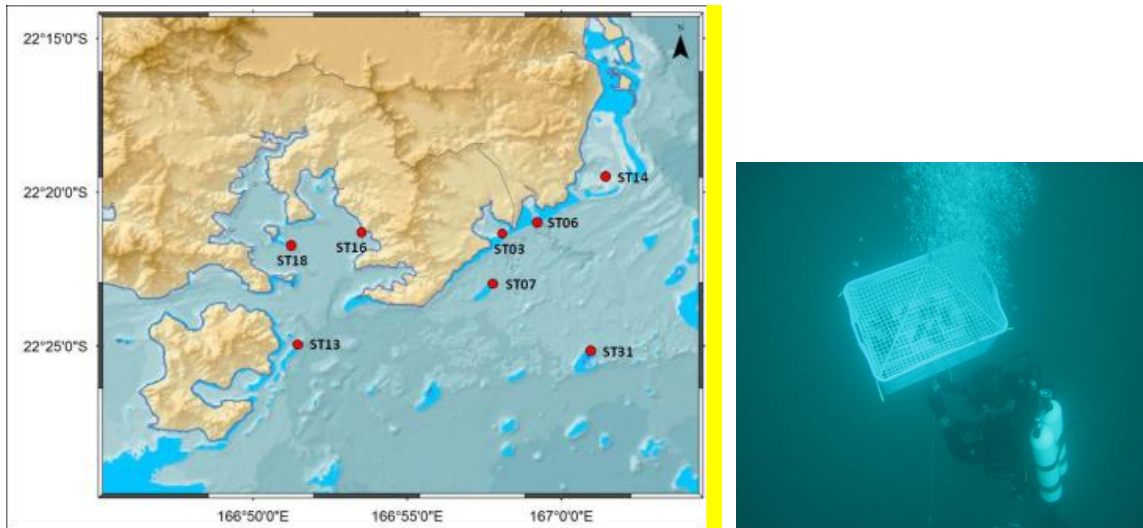
Les stations du canal de la Havannah les plus proches du diffuseur n'indiquent aucune perturbation. (Vérification additionnelle par une mission de suivi supplémentaire en champ très proche du diffuseur).

L'ensemble du domaine est hétérogène et les sous - domaines qui peuvent être identifiés par la structure des récifs coralliens et des populations associées correspondent bien aux sous-domaines identifiés par les suivis de la qualité physico chimique de l'eau et des sédiments. Ils sont aussi en étroite corrélation et cohérence avec les modélisations de l'hydrodynamisme de la zone.

Il n'y a pas d'indicateur qui puisse montrer une tendance vers une modification du milieu supérieure aux fluctuations attendues.

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

Figure 57 : Rappel de la position des cages pour la croissance des algues et des bivalves transplantés et mise en place d'une cage par 10m de profondeur



Le rapport complet avec les résultats des analyses est inclus en annexe 3 de ce document

Il s'agit de la troisième campagne de transplantation, elle s'est déroulée de fin mai à fin août 2011.

➤ Déroulement de la campagne 2011 :

- Les bivalves *Isognomon isognomon* Linnaeus (335 individus) et les macro-algues brunes *Lobophora variegata* (Lamouroux) Womersley ont été récoltés le 30 mai 2011 dans la Baie Maa, précédemment identifiée comme un site de référence.
- La campagne d'immersion des cages a été réalisée les 2 et 3 juin 2011. 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 entre 9 et 12 m de profondeur.
- Après environ un mois et demi d'immersion (soit les 12 et 13 juillet 2011), les dispositifs de transplantation immergés ont été contrôlés en plongée puis brossés afin d'éliminer le bio-fouling déposé sur les cages et les flotteurs. En revanche, la cage de la station St16-Port n'a pas été retrouvée.
- Les 29 et 30 août 2011, soit après environ trois mois d'immersion, six des huit dispositifs de transplantation ont été récupérés en plongée sous-marine (soit St03, St06, St07, St13, St14 et St18). La recherche de la cage de la station St31-Nouaré a été re-conduite le 15 septembre, au cours de laquelle la cage a finalement pu être retrouvée.

➤ Incidents et mesures correctives

La perte de la cage située en baie de Prony à la station St16-Port fait suite à une rupture de son attache en 2010, mais en 2010 la cage avait été retrouvée.

En 2011 seule la gueuse a été retrouvée et le bout la reliant à la cage était sectionné. Afin d'éviter de nouvelles pertes de cage à cette station clé lors des prochaines campagnes, celle-ci devra être immergée à une profondeur supérieure (soit entre 13 à 15 m). L'augmentation de la profondeur d'immersion de la cage ne posera a priori aucun problème pour les bivalves ; en revanche, un effet pourrait s'observer sur les algues en raison d'une diminution sensible de l'intensité lumineuse par rapport à la profondeur initiale et des autres cages, qui sera conservée à 10 m afin de faciliter les interventions en plongée.

Un déplacement de cette station est aussi envisagé, pour le suivi 2012, en concertation avec les administrations de contrôle.

➤ Résultats 2011

La météorologie a été relevée durant les 90 jours de transplantation, en effet les conditions météorologiques notamment les précipitations ainsi que la force et la direction des vents, sont susceptibles d'influer la nature et la quantité des apports en métaux dans le milieu marin côtier puis la dispersion de ces apports en mer (selon l'orientation et la force des vents).

La température de l'eau peut également influencer sur le métabolisme des organismes transplantés, donc potentiellement sur la croissance et la bioaccumulation des contaminants chimiques.

- La pluviométrie est mesurée par la station météorologique de Vale NC, située sur l'ancienne usine pilote en bordure de la baie de Prony.
- Les données de vents (vitesse et direction) et de température (de l'air et de l'eau) sont obtenues par la station météorologique de l'IRD installée sur la balise du récif Ioro, dans le Canal de la Havannah.
- La température moyenne de l'eau au niveau du récif de Ioro sur l'ensemble de la campagne de 2011 est de $21,6 \pm 0,8$ °C et a oscillé entre 23,1°C et 20,5°C, avec une tendance régulière à la baisse (saison fraîche). Les températures moyennes journalières de l'eau enregistrées lors de cette campagne 2011 sont très légèrement inférieures à celles de 2010 pendant la première moitié de la période d'immersion des cages, mais nettement supérieures à celles de 2009.

• La croissance des bivalves transplantés

Les spécimens immergés à chaque station ont effectués une croissance en poids et en taille, cela montre que les conditions environnementales leur ont été favorables, leur métabolisme global n'a pas été perturbé. Les taux de croissance sont comparables en 2009, 2010 et 2011.

En 2011 la meilleure croissance a été mesurée à Port Boisé ST03 et sur la station témoin ST31 de Nouaré, stations qui sont cependant sous des influences terrigènes et océaniques différentes.

La variabilité de croissance inter annuelle qui se dessine semble assez forte.

• La bio - accumulation chez les bivalves

Métaux analysés : Cobalt et Nickel, Arsenic, Zinc, Chrome, Cuivre, Fer et Manganèse.

Les 3 premières années de suivi montrent une variabilité inter annuelle des concentrations en métaux chez les bivalves transplantés, surtout par rapport à 2009, en effet les années 2010 et 2011 présentent des concentrations inférieures à celles de 2009. Les prochains suivis permettront de mieux encadrer cette variabilité naturelle.

Tableau 31 : Rappel des stations de mise en place de cages de transplantation

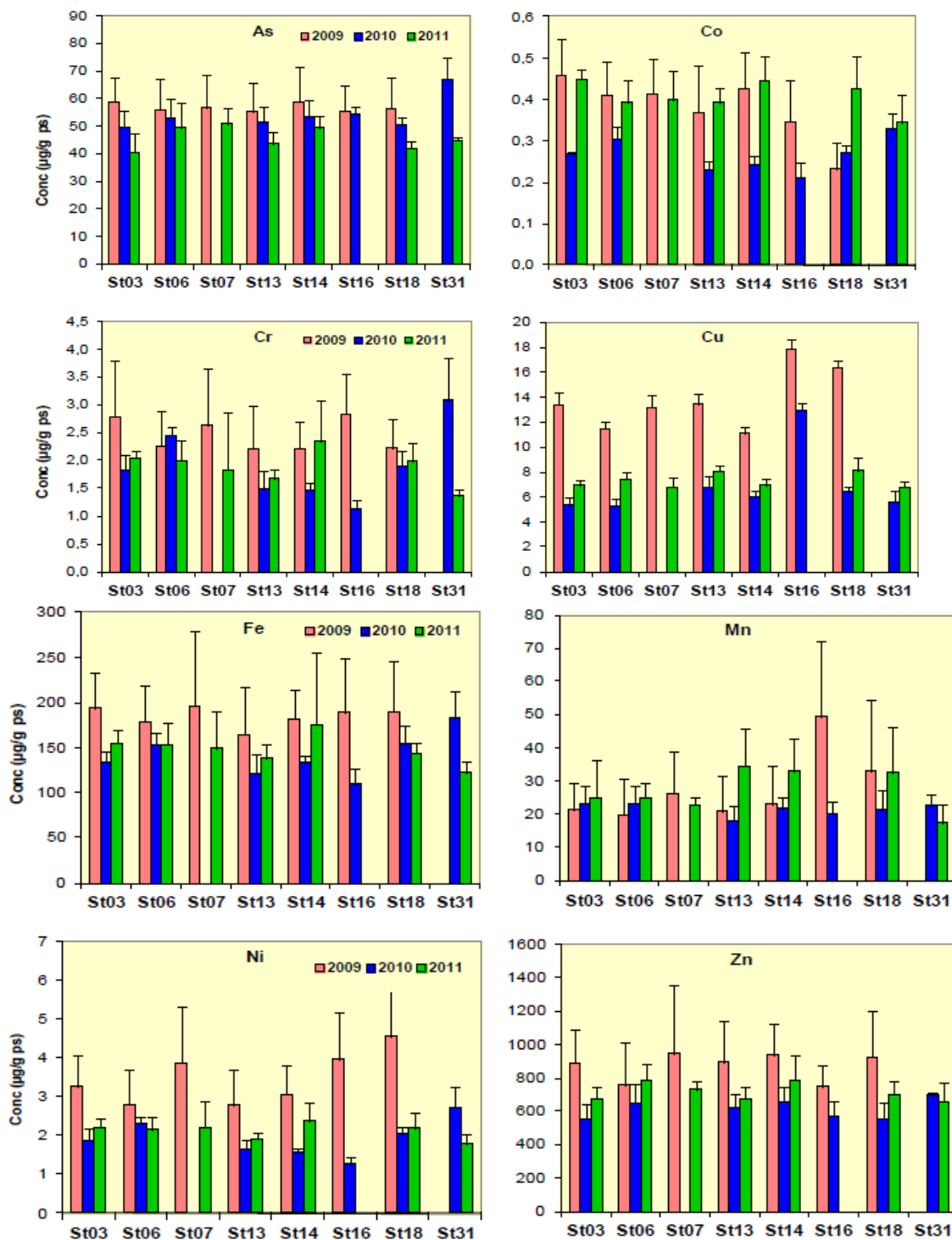
St 03	Chenal de la Baie de Port Boisé
St 06	Chenal de la Baie Kwé
St 07	Récif Ioro (pointe nord)
St 13	Récif Ma (pointe nord), Ile Ouen
St 14	Baie de Goro
St 16	Port commercial de l'usine Vale NC
St 18	Îlot Casy (pointe du platier sud-est)
St 31	Îlot Nouaré (bord ouest)

La station St 07 est la station la plus proche du diffuseur

La station témoins est St31

Figure 58: Evolution interannuelle des concentrations en métaux des bivalves bios accumulateurs sur les stations de transplantation

Evolution temporelle (interannuelle) des concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des métaux analysés dans les chairs entières du bivalve *Isoignon isogomon* transplantés sur les diverses stations de suivi lors des campagnes de 2009 (n=20 spécimens), 2010 et 2011 (n=5 pools/station).



Les résultats obtenus permettent de conclure que les premiers rejets d'effluent traité dans le canal de la Havannah n'ont pas provoqué d'augmentation des concentrations en métaux, en aucun métal, dans les bivalves bio accumulateurs, par rapport à leur état initial et à 2009.

• La bio – accumulation chez les algues

Après 3 mois d'immersion ce sont les algues des stations de ST18 Casy et de ST14 Goro qui présentent les concentrations les plus élevées en Co, Cr, Cu, Ni ; mais si les concentrations en As, Cr, Co et Ni ont bien augmenté au cours de la croissance des algues, au contraire les concentrations en Cu, Mn et Zn ont diminué, ce qui montre que les concentrations en ces métaux près des cages sont plus basses que dans leur milieu de prélèvement initial, ce qui a induit une diminution de leur bio accumulation.

La variabilité interannuelle parfois forte (mais dégagée seulement sur 3 années de suivis) ne suit aucune tendance similaire entre les métaux ou les stations, cela est susceptible de rendre cet indicateur moins sensible en cas d'un apport très faible, le bureau d'étude chargé de ce suivi affine sa méthodologie, pour le suivi 2012.

La station la plus proche de l'émissaire est la station ST07. Pour le manganèse Mn - qui est un indicateur d'influence terrigène et un indicateur de l'effluent - la concentration en Mn dans les lots d'algues en croissance sur ST07, après 3 mois d'immersion et de « bonne » croissance, est plus faible que sur le lot initial. C'est une caractéristique d'une zone recevant très peu de Mn. Sur ST07 le Mn est en concentration, sur un laps de temps de 3 mois, plus faible que sur le lieu « exempt de pollution » de récolte des algues.

Ce résultat est confirmé par les concentrations en Mn dans les bivalves, sur ST07, la concentration en Mn n'a pas augmenté en trois mois de croissance, tout porte à conclure que sur la station ST07 le milieu est encore plus pauvre en Mn que sur la zone de récolte des spécimens. Les figures suivantes montrent ce fait.

Figure 59: Concentration en Mn chez l'algue *Lobophora variegata* lors de la campagne de transplantation 2011

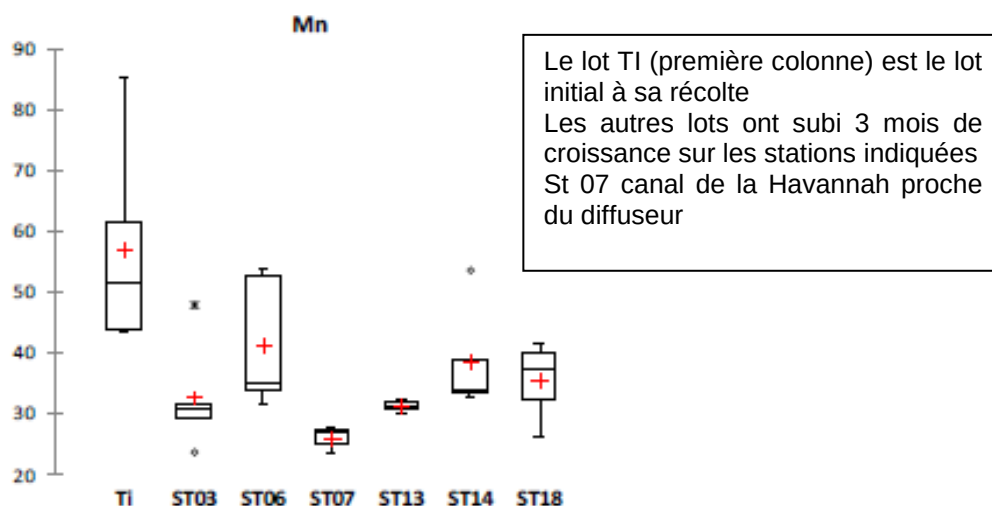
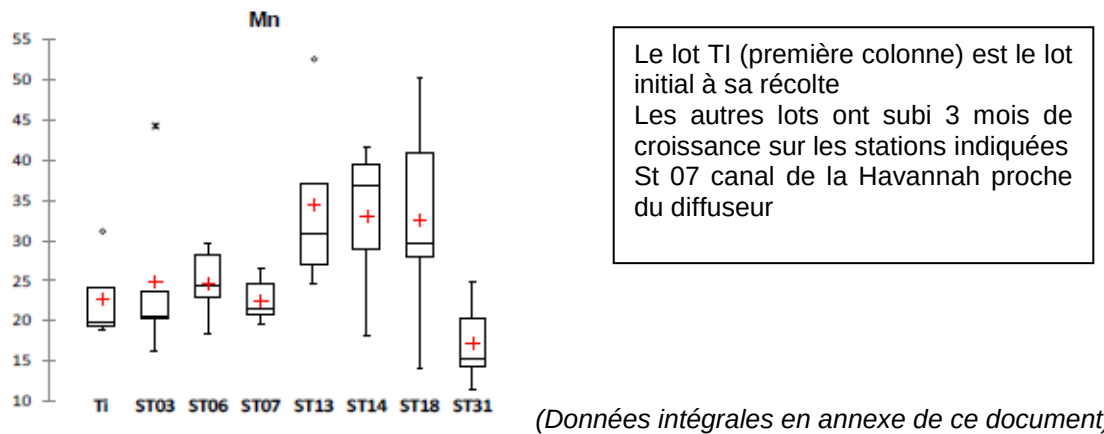


Figure 60 : Concentration en Mn chez le bivalve *Isognomon isognomon* lors de la campagne de transplantation 2011



Le cas des concentrations en cuivre (Cu) a été analysé par les experts car en 2009, surtout chez les algues, et sur toutes les stations, il présentait des concentrations de bio accumulation qui pourraient indiquer une contamination, mais sur toutes les stations indépendamment de leur position, cela ouvre la piste d'une contamination artificielle au moment des échantillonnages et/ou analyses. Les indices physiologiques de « santé » des bivalves en 2009 ont aussi montré que cette année fut une année particulière d'un point de vue trophique et donc bio accumulateur. Le cas du Cu dont les concentrations ont diminué en 2010 et 2011 montre la variabilité forte de ces indicateurs, en dehors de toute contamination anthropique.

Les figures suivantes 61 a et b présentent la synthèse des résultats avec le cuivre sur les bivalves et sur les algues.

Figure 61a : Evolution temporelle des concentrations en Cu dans les chairs des bivalves

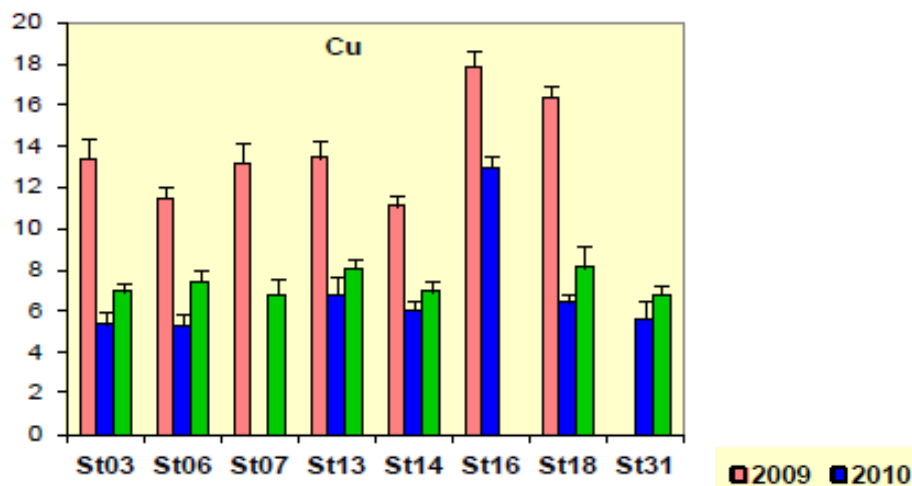
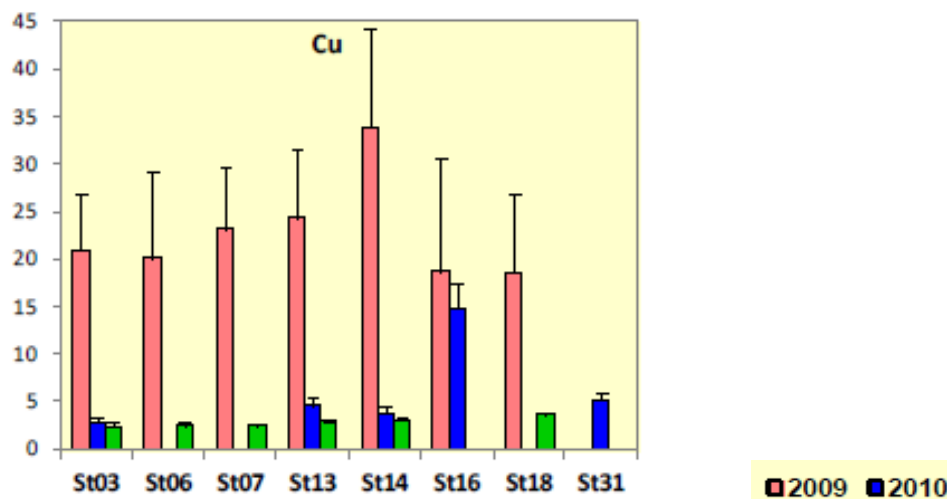


Figure 61 b : Evolution temporelle des concentrations en Cu dans les chairs des algues



Evolution temporelle (interannuelle) des concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des métaux analysés dans les frondes des macroalgues *Lobophora variegata* transplantées sur les diverses stations de suivi lors des campagnes de 2009 (n=20 spécimens), 2010 et 2011 (n=5 pools/station).

- Synthèse des transplantations de bivalves et d'algues

Les suivis 2011 ne montrent aucune accumulation de métaux dans les bivalves et dans les algues transplantés durant les 3 mois d'immersion et de croissance.

Aucune évolution particulière ne se dégage entre 2009 et 2011, si ce n'est que 2009, année un peu plus chaude au début de la campagne de transplantation (+2°C) aurait pu engendrer des conditions physiologiques légèrement différentes, incluant la bio accumulation qui est étroitement liée aux conditions physiologiques et trophiques, notamment des bivalves.

2.2.4. Suivi des flux sédimentaires

Figure 62 : Rappel de la position des stations d'études des flux sédimentaires

Aire d'étude pour le suivi des flux verticaux de particules issues du process de production de l'usine de Vale-NC. Le trait rouge représente le diffuseur, de part et d'autre figurent les deux stations St60SW et St60NE localisées à 60m du rejet.



Aire d'étude pour le suivi des flux verticaux de particules issues des activités d'excavation de mine de Vale-NC. Le piège à sédiments sera mouillé à la station StKW-1.



➤ Déroulement de la campagne 2011

Les opérations de terrain pour ma mise en place ont été conduites le 8 juillet 2011 sur les stations définies dans la méthodologie.

Le dispositif de collecte a été placé à 3 m du fond de part et d'autre du diffuseur (St 60) pour que les pièges soient bien en « contact » avec l'effluent conformément aux résultats obtenus par traçage avec le colorant « rhodamine ». L'effluent traité a bien été rejeté durant ce suivi (cf. rapport sur les émissions).

La collecte des particules a débuté le 10 juillet avec un pas de temps programmé de 48 heures par godet immergé. Cette collecte s'est terminée le 27 août.

Sur un site d'échantillonnage du canal de la Havannah le matériel a été perdu, le matériel placé sur ST60 NE par 36 m de profondeur n'a pas été retrouvé.

Par contre les résultats sur ST 60 SW dans le sens du courant entrant et dans le flux maximal de l'effluent ont bien été obtenus dans leur intégralité, ainsi que au niveau de la baie Kwé.

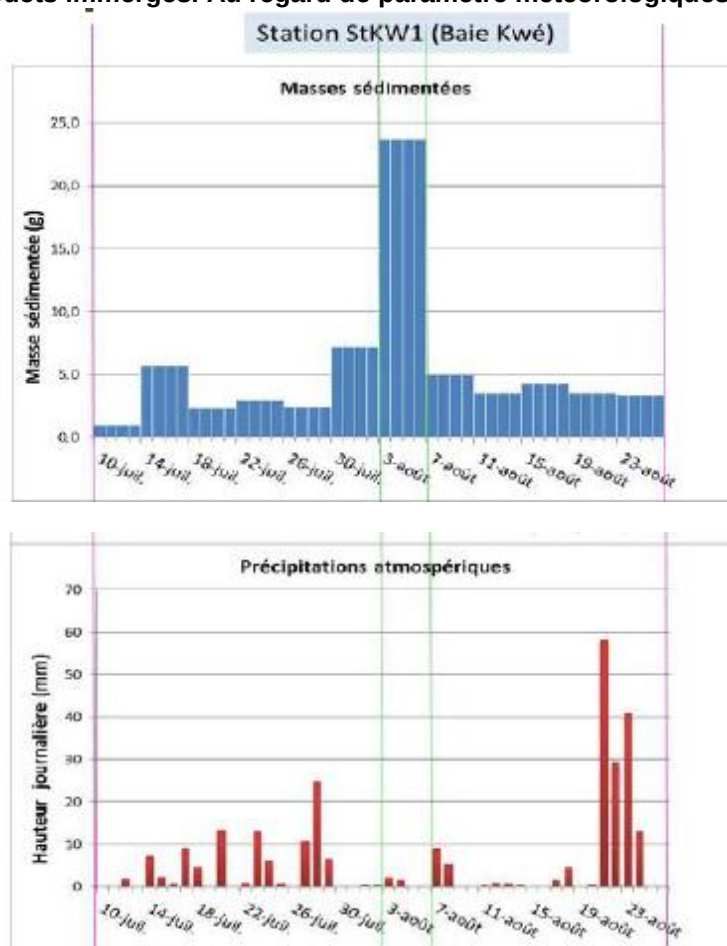
➤ Résultats

Caractérisation des matières en suspension

• Baie Kwé

Masses collectées : valeurs variables dans le temps allant de 1g / jour à 24 g /jour avec une moyenne de 4 g/ jour

Figure 63 : Période du 10 juillet au 26 août 2011. Evolution temporelle des flux sédimentaires dans les godets immergés. Au regard de paramètre météorologiques. Baie Kwé.



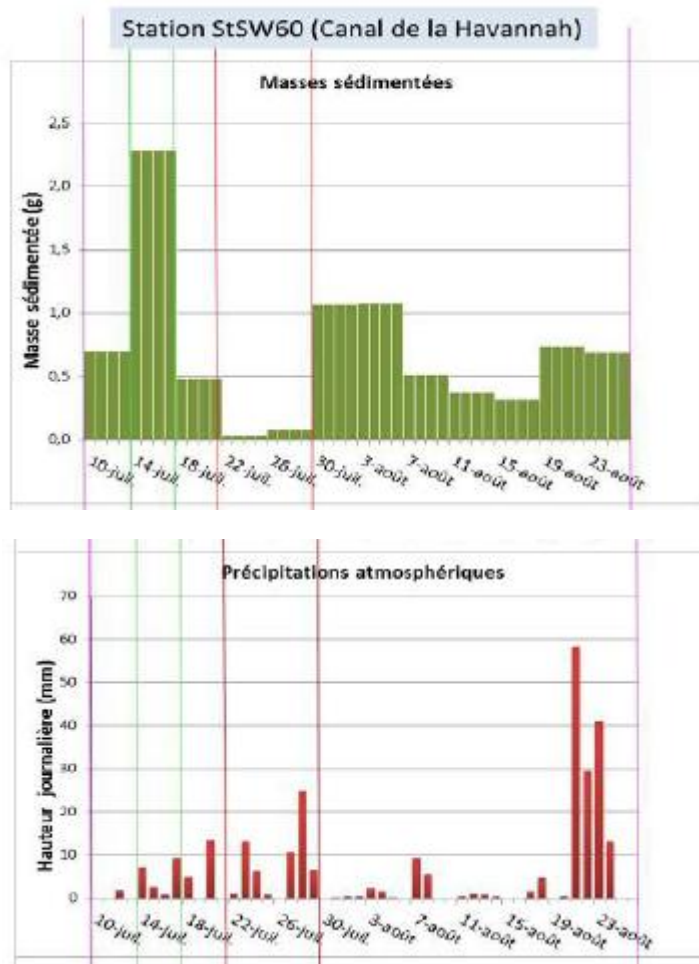
Leur composition minéralogique montre une origine latéritique (goethite et hématite) mais l'influence marine reste relativement forte avec de la calcite et de l'aragonite.

Aucune évolution particulière en fonction de la pluie ne peut être décelée.

• Proximité du diffuseur ST60 SW

Masses collectées : 10 fois moindres qu'en baie Kwé et très variables.

Figure 64 : Période du 10 juillet au 26 août 2011. Evolution temporelle des flux sédimentaires dans les godets immergés. Au regard de paramètre météorologiques (Canal Havannah proximité du diffuseur)



Aucune évolution particulière en fonction de la pluie.

L'analyse minérale montre une origine quasi intégralement marine : calcite et aragonite. La goethite est à peine décelée.

Composition géochimique des matières en suspension

• Baie Kwé

Tous les éléments traceurs de l'influence terrestre ; Co, Cr, Fe, Mn et Ni appartiennent à une même formation latéritique. Le calcium, traceur d'une origine marine, fluctue en indiquant un apport encore mal connu à ce jour.

• Canal de la Havannah

Le calcium évolue très différemment des métaux traces. Les concentrations mesurées, assez homogènes, sont similaires aux résultats de 2007.

(Etat de référence des densités de flux verticaux de particules pour le canal de la Havannah et la baie Kwé / 2007 /Convention IRD/Goro nickel n°1230)

Conclusion :

Les précipitations ne sont pas le facteur prépondérant de l'augmentation des MES mesurées dans les eaux de la station située dans le chenal de la baie Kwé, comme sur la station proche du diffuseur en plein canal de la Havannah.

Les actions combinées de la direction et de la force du vent sont en revanche corrélées aux MES.

Au niveau de la baie Kwé les vents de secteur Sud font entrer une houle dans la baie, houle capable de remettre en suspension des vases latéritiques sédimentées et des débris carbonatés venues des récifs, ce phénomène est à l'origine du fort piégeage de MES lors des vents de secteur S.

Les suivis suivants à une fréquence semestrielle vont affiner ces constatations.

Pour la période de cette étude les eaux du canal proche du diffuseur ne sont pas influencées de façon notable par la charge terrigène de la baie Kwé.

Les résultats sont en cohérence avec les modélisations de l'hydrodynamisme et la caractérisation des sédiments marins.

2.2.5. La surveillance de la Station St16 du port de Prony

• Contexte

La station St16 du port de Prony est suivie de façon réglementaire au minimum 4 fois par an. Les missions ont été effectuées en **mars, avril, aout et octobre 2011**.

Il a été décidé de doubler la fréquence des suivis au niveau de la Station St15 du creek de la baie Nord, de façon volontariste par Vale NC, aussi les résultats trimestriels de St 15 seront-ils présentés avec ceux de St16, à partir de ce rapport.

Figure 65 : Rappel de la position des stations suivies trimestriellement

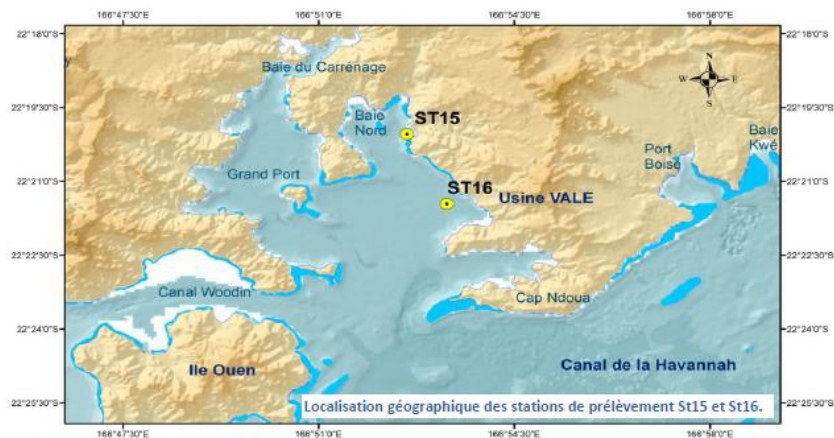


Figure 66 : Rappel des positions des points de suivis au niveau du port de Prony. ST03 est une station de suivi fixe sous – marine



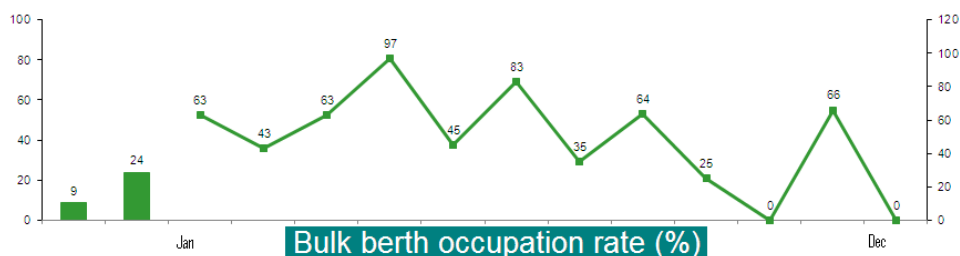
Ce chapitre synthétise les résultats de la qualité de l'eau sur St 1- et St15. L'analyse doit prendre en compte la pluviométrie

Tableau 32: Hauteur des précipitations cumulées lors des 5 jours précédents chaque campagne et le jour de la mission

Missions	Pluviométrie en mm / 5 jours précédents la mission et le jour de la mission
Mars	23,3
Avril	12,4
Aout	15
Octobre	3,2

Il est pertinent de prendre en compte un indicateur de fonctionnement du port, comme le taux d'occupation des quais qui est indiqué si dessous. (En dehors du ferry qui effectue une allé et retour quotidien et de la présence des deux remorqueurs).

Figure 67 : Taux mensuel d'occupation des quais pour le port de Prony en 2011



Au mois d'octobre il n'y a pas eu de cargo ou de vraquiers au port tandis que pour le mois d'avril le port a enregistré durant 97% du temps (de ce mois) une occupation par un cargo.

- **Structure de la colonne d'eau**

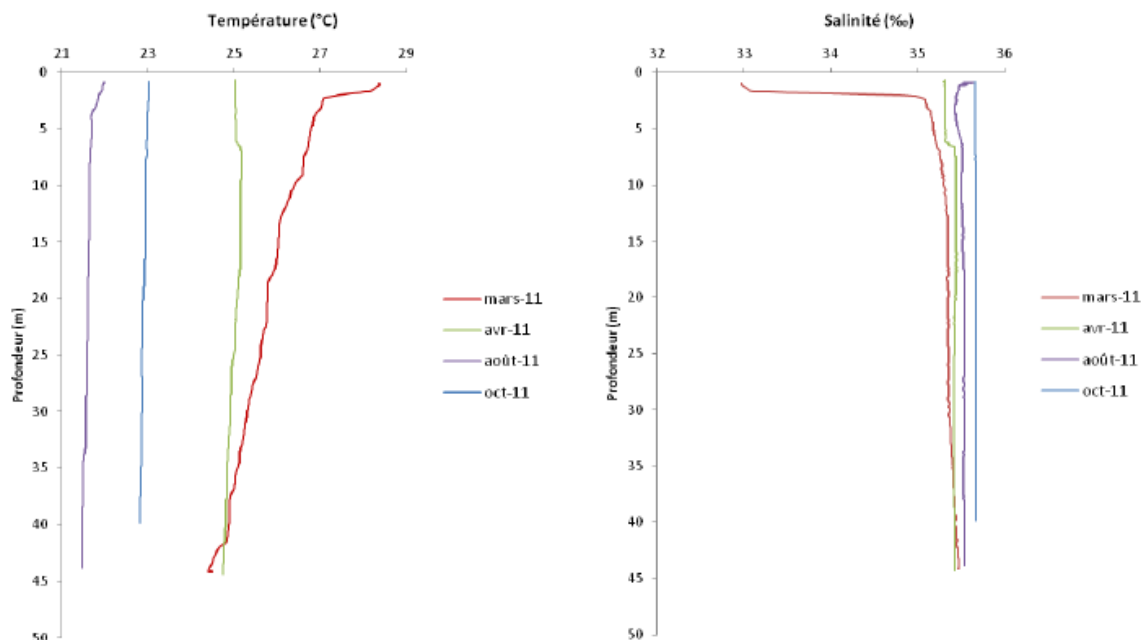
Pas de non-conformité aux résultats attendus et à l'égard des suivis antérieurs et d'état des lieux.

Tableau 33 : ST16 Port de Prony 2011. Qualité de l'eau suivis trimestriels

Minimum, maximum et moyennes des valeurs de température, salinité, fluorescence et turbidité de la station St16 lors des campagnes trimestrielles de mars, avril, août et octobre 2011.

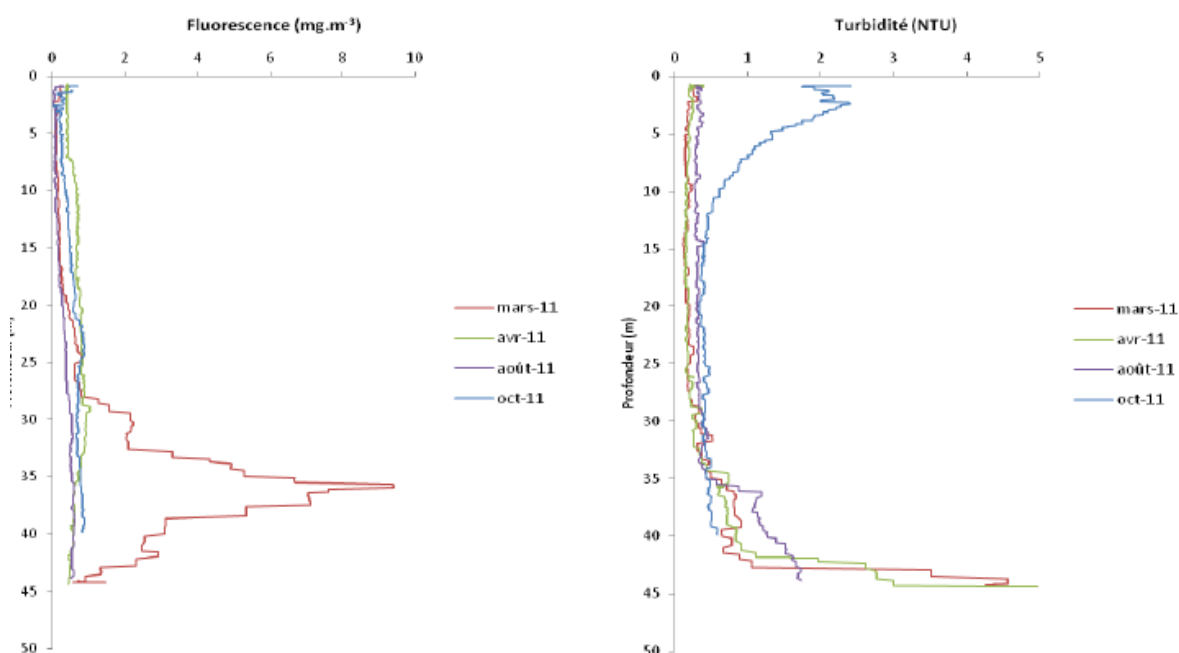
Campagne		Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg.m ⁻³)	Turbidité (NTU)
Mars	Min	24,40	32,98	0,01	0,12
	Max	28,38	35,47	9,40	4,56
	Moyenne	25,73 ± 0,93	35,26 ± 0,43	1,45 ± 2,05	0,84 ± 1,36
Avril	Min	24,74	35,29	0,39	0,14
	Max	25,17	35,45	1,04	4,97
	Moyenne	25,01 ± 0,13	35,41 ± 0,05	0,63 ± 0,16	0,45 ± 0,75
Août	Min	21,47	35,43	0,01	0,27
	Max	22,00	35,64	0,62	1,73
	Moyenne	21,63 ± 0,13	35,51 ± 0,04	0,30 ± 0,20	0,50 ± 0,39
Octobre	Min	22,81	35,66	0,03	0,33
	Max	23,02	35,68	0,88	2,41
	Moyenne	22,93 ± 0,06	35,67 ± 0,01	0,51 ± 0,22	0,86 ± 0,64

**Figures 68 : profil de température (°C) et de salinité (‰) sur la station St 16 du port
Lors des 4 campagnes annuelles : mars, avril, aout et octobre 2011**



Les pluies du mois de mars précèdent les échantillonnages (cf. Tableau 32) sont bien indiquées avec une dessalure de surface sur les 3 premiers mètres (campagne de mars, trait rouge.) due aux apports en eau douce. Les autres épisodes pluvieux plus faibles ne montrent pas ce phénomène caractéristique des zones côtières et fond de baie.

**Figures 69 : profil de fluorescence (mg/m^3) et de turbidité (NTU) sur la station St 16 du port
Lors des 4 campagnes annuelles : mars, avril, aout et octobre 2011**



L'eau de surface moins salée ne montre pas aucune turbidité accrue (en mars, courbe rouge), cela indique qu'il n'y a pas eu de panache turbide avec cet épisode pluvieux.

• Ph, éléments majeurs et MES

Les valeurs relevées en mars, avril, août et octobre 2011 ne montrent aucune anomalie à l'égard des valeurs attendues (état des lieux et suivis précédents) et leur moyennes sont :

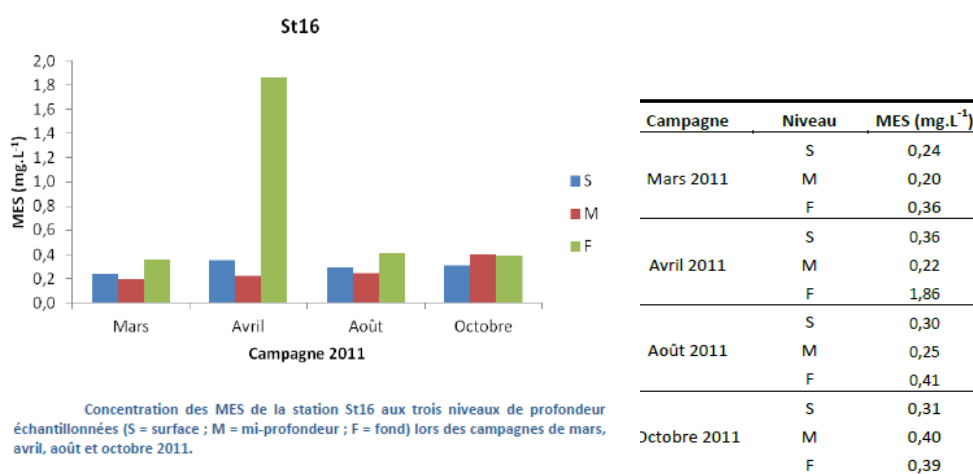
- pH : 8,23 +/- 0,07
- Magnésium (Mg^{2+}) : 1421 mg/L +/- 154
- Sulfates (SO_4^{2-}) : 2628 mg/L +/- 243

Pour les MES, les concentrations en MES sont stables au niveau de St16/ Port. L'épisode pluvieux de mars qui a été enregistré par une dessalure de surface n'a pas fait augmenter ni la turbidité ni la teneur en MES.

La forte concentration en MES (1,86 mg/L) enregistrée au fond en avril est certainement due au fait qu'il est difficile de prélever à 40 cm du fond sans toucher celui-ci par 40 m de profondeur. (La turbidité quant à elle n'a pas augmenté au fond, comme le profil l'indique). Les augmentations de turbidité ou de MES au fond sont souvent dus à l'échantillonnage et au contact de la bouteille de prélèvement, notamment s'il y a de la houle.

Les figures suivantes montrent les concentrations en MES au niveau de la station du port de Prony.

Figure 70 : Concentrations en MES relevées au port sur la station St 16 en 2011



La turbidité de surface n'est pas corrélée aux précipitations

Les MES sont en moyenne de concentration 0,44 mg/L au niveau de la station portuaire St16, pour rappel l'état de référence initial donnait au niveau du *warf* de Prony des MES en moyenne 9,77 mg/L (En 2000 : 12, 19,5 et 12 mg/L).

Les indicateurs pH, concentrations en ions majeurs et MES sont conformes aux valeurs attendues, à l'état de référence et aux suivis précédents.

Les concentrations en MES au port sont relativement constantes et indépendantes de la pluviométrie, ce qui indique un bon fonctionnement des bassins de sédimentation sur ce bassin versant portuaire.

Aucune concentration en hydrocarbures totaux n'a été relevée, les résultats sont inférieurs à la limite de détection (LQ < 0,1 mg/L)

• Les métaux

Au port (St16) les métaux, dont le cuivre, sont suivis avec attention. Les données suivantes rappellent les concentrations en Cu au niveau de la station du port de Prony, aux trois profondeurs de la colonne d'eau, pour 2010 et les résultats obtenus en 2011.

Tableau 34 : St16 Port de Prony. Concentration en Cu 2010 et 2011.

St 16 Cu (µg/L)	Mars 2010	Mai 2010	Aout 2010	Novembre 2010	Mars 2011	Avril 2011	Aout 2011	Oct. 2011
S	0,04	0,05	0,06	0,01*	0,05	< LQ	0,03	0,11
M	0,01*	0,02	0,04	0,01*	< LQ	< LQ	0,05	0,03
F	0,02	0,012*	0,03	0,02	< LQ	< LQ	0,02	0,04

Concentration inférieure à la Limite de quantification : < LQ.

*Concentration inférieure ou très proche de LQ

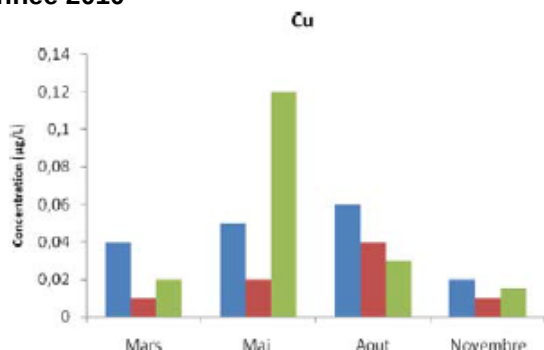
LQ=0,015 µg/L

Base de données détaillée en annexe des rapports

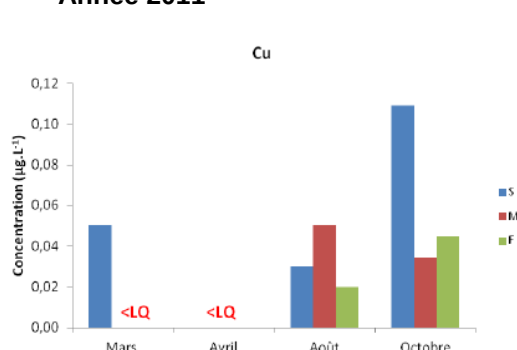
Les concentrations en Cu des échantillons analysées sont très basses voire indétectables, un maximum de 0,11 µg/L est détecté en octobre 2011 sur les eaux de surface de St16, ce mois-là précisément est le mois de l'année qui fut le moins occupé à l'égard du trafic maritime du port de Prony.

Figure 69 : St16 Port de Prony. Concentration en Cu en 2011 avec rappel des campagnes 2010

Année 2010



Année 2011



Pour rappel : en dehors de toute influence de Vale NC et en dehors de tout trafic maritime portuaire, une concentration de 1,2 µg/L Cu a été relevée au nord de l'île Ouen (canal Woodin) soit 10 fois plus qu'au maximum du port de Prony.

Des concentrations en Cu de 0,12 µg/L sont constatées sur de nombreuses stations dont St05 près de la réserve Merlet. L'état de référence 2000 au niveau du *warf* de Prony indiquait des concentrations en Cu total de 0,19 µg/L en moyenne.

Le guide line ANZECC pour le cuivre est de 1000 µg/L pour les aires récréatives et 0,3 µg/L pour les écosystèmes.

Les concentrations en cuivre Cu mesurées sur la station St16 du port de Prony en 2011 ne montrent pas de tendance à une élévation de la teneur en Cuivre de l'eau de mer.

L'évolution des concentrations en Cu reste sous étroite surveillance et n'est pas expliqué de façon certaine, au niveau de l'île Ouen c'est la qualité des sols érodés qui est présumé être la cause d'un apport en Cu.

Les figures suivantes montrent les concentrations en Cu mesurées en mars 2011 et en aout 2011 dans toute la zone du projet.

Figure70: Concentrations de l'eau de mer à 3 profondeurs en Cu mesurées en Mars 2011
Maximum de 0,18 µg/L sur le récif Ugo en St21

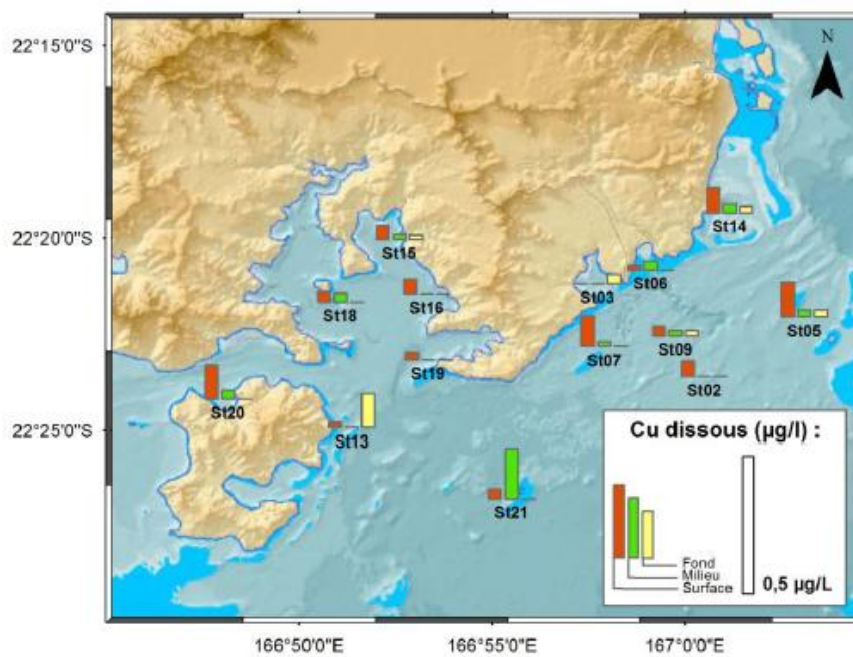


Figure71 : Concentrations de l'eau de mer à 3 profondeurs en Cu mesurées en Aout 2011
Maximum de 1,2 µg/L sur St20 dans le canal Woodin

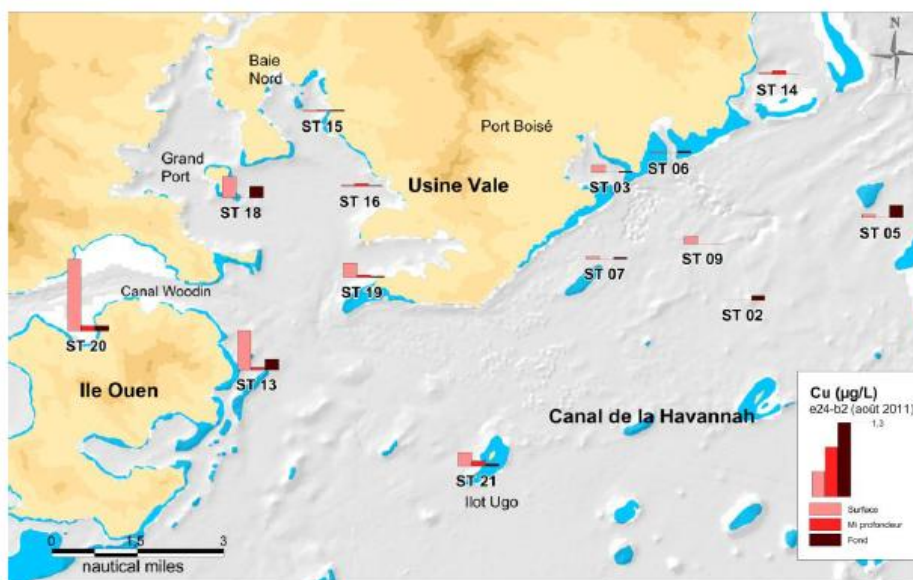
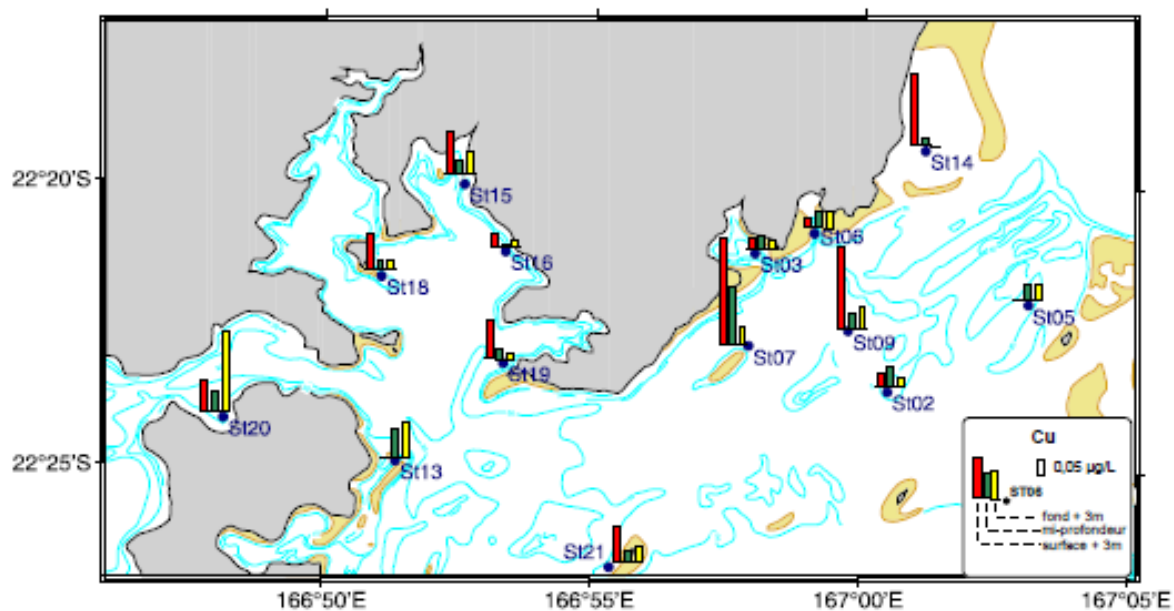


Figure 72 : Rappel des concentrations en Cu mesurées en 2010

Et en rappel pour l'année 2010 : MARS 2010

Le port est en St16



2010 : AOUT 2010

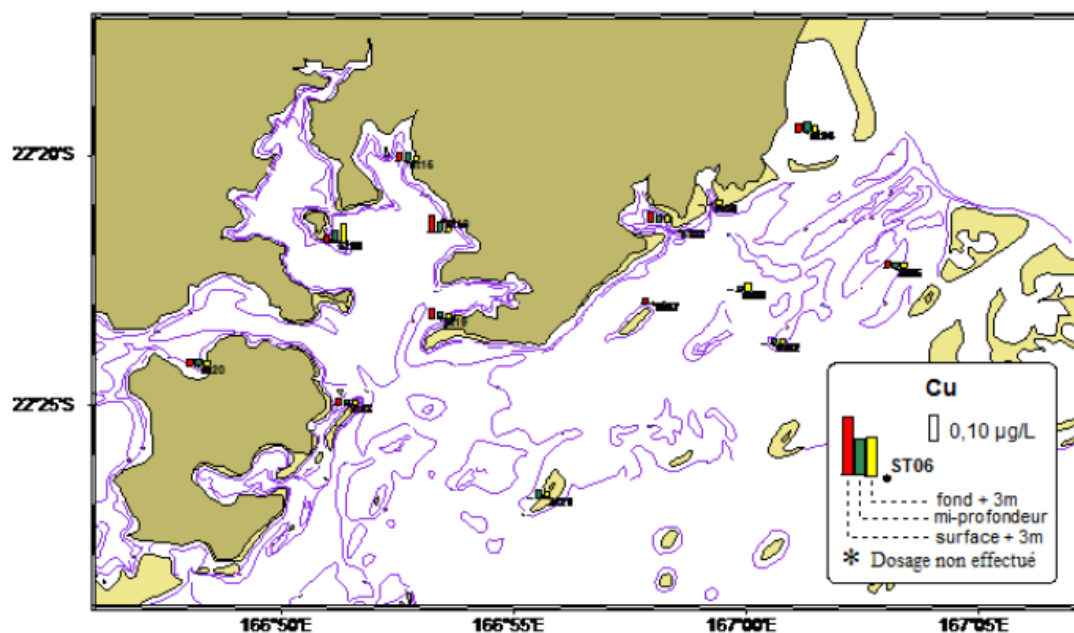
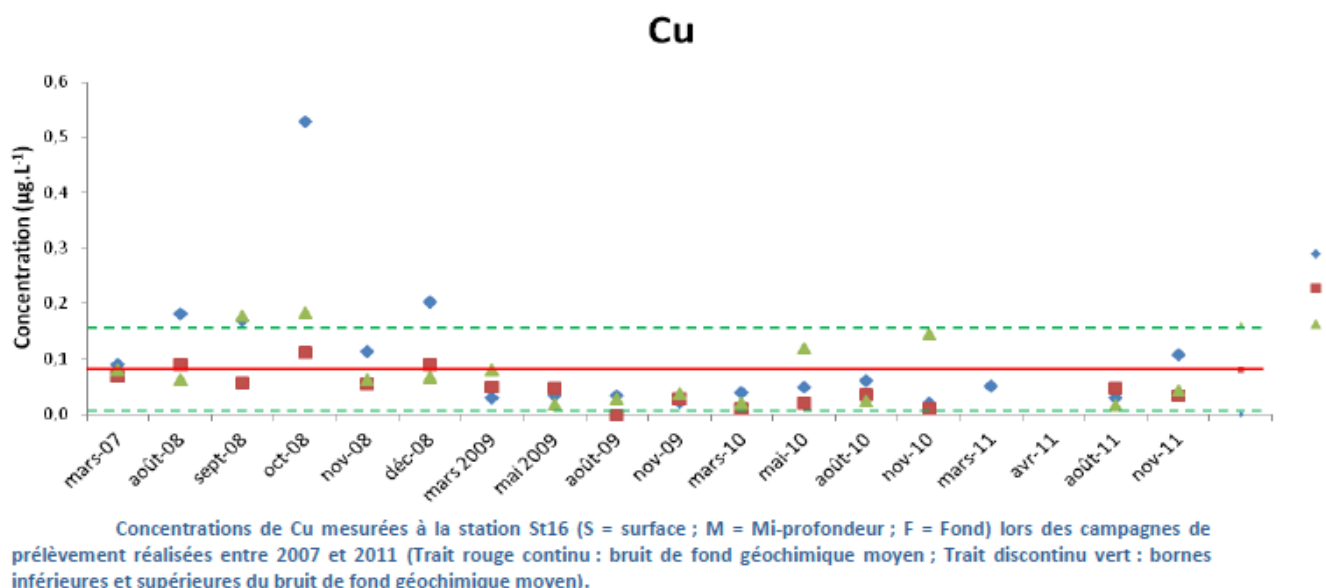


Figure 73 : Evolution temporelle de la concentration en Cu au port de Prony (St 16) depuis 2007

Le maximum au-dessus du bruit de fond qui avait été enregistré en octobre 2008 (en surface) est de : 0,53µg/L, en novembre 2008 la concentration en Cu était à nouveau en conformité avec le bruit de fond. Cependant en 2008 les concentrations étant souvent proches du maximum du bruit de fond le suivi du cuivre a été effectué avec une attention soutenue.

Depuis début 2009 il n'y a pas eu de concentration mesurée qui ne soit pas dans les limites du bruit de fond.

• **Une synthèse des suivis a été effectuée, pour la station St16 du port de Prony**

La synthèse des concentrations des métaux dissous sur la station St 16 du port (et aussi sur la station St15 du creek de la baie Nord) de 2007 à 2011 est donnée en annexe de ce rapport, les experts concluent que les précipitations ayant lieu quelques jours avant les campagnes de prélèvement sont la source principale d'apport en métaux indicateurs terrigènes Co, Cr, Ni et Mn, cependant d'autres paramètres entrent en jeu comme le moment du prélèvement à l'égard de la marée, la force et la direction des vents...

La modélisation fine de l'hydrodynamisme en baie du Prony, en cours de finalisation, apportera des éléments pour une meilleure compréhension du déplacement des masses d'eau.

Conclusion quant à la qualité physico chimique de l'eau de mer au niveau du port de Prony :

Il n'y a pas de pollution détectée au niveau des eaux de la station St16 de contrôle du Port de Prony.

La qualité des eaux au niveau de St16 Port de Prony ne présente aucune non-conformité

• Les sédiments au niveau de la station de surveillance du port de Prony

Une carotte de 20 cm de profondeur a été extraite de la station de surveillance des sédiments du port afin d'en déduire le taux d'accumulation des sédiments. Cette carotte va compléter les informations obtenues lors du prélèvement des 5 premiers centimètres pour un bilan de la qualité des sédiments.

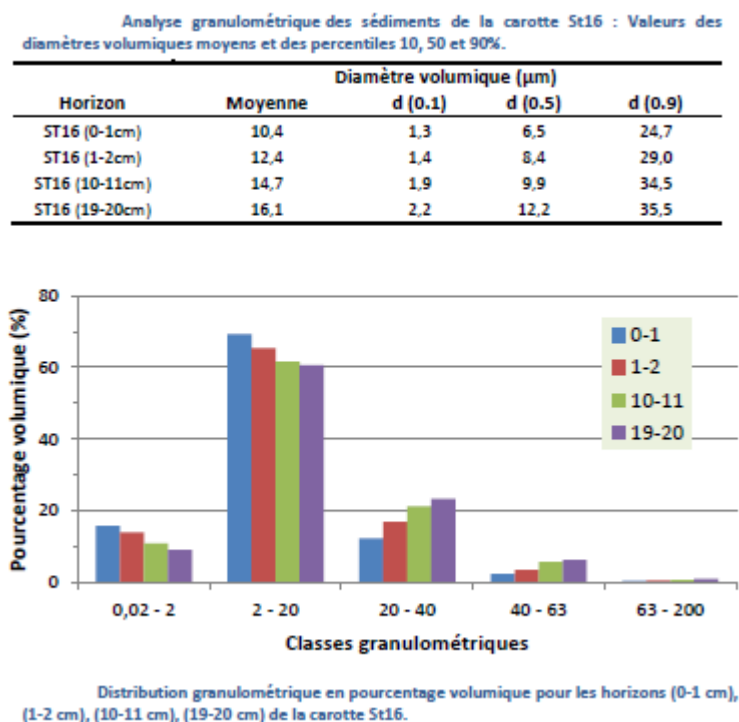
Date	Station	Longitude Est	Latitude Sud	Profondeur (m)	Longueur carotte (cm)
10/05/2011	St16	166°53.300	22°21.455	45	20

Les paramètres analysés à partir de cette carotte sédimentaire sont les suivants :

- Granulométrie
- Composition minéralogique
- Concentration totale en métaux
- Concentrations en métaux selon les horizons chronologiques
- Analyse du soufre
- Analyse par radioactivité du Plomb 210.

Résultats :

Figure 74 : Distribution granulométrique en % volumique des sédiments de la carotte du port de Prony pour 4 horizons de celle-ci de la surface à 20 cm de profondeur



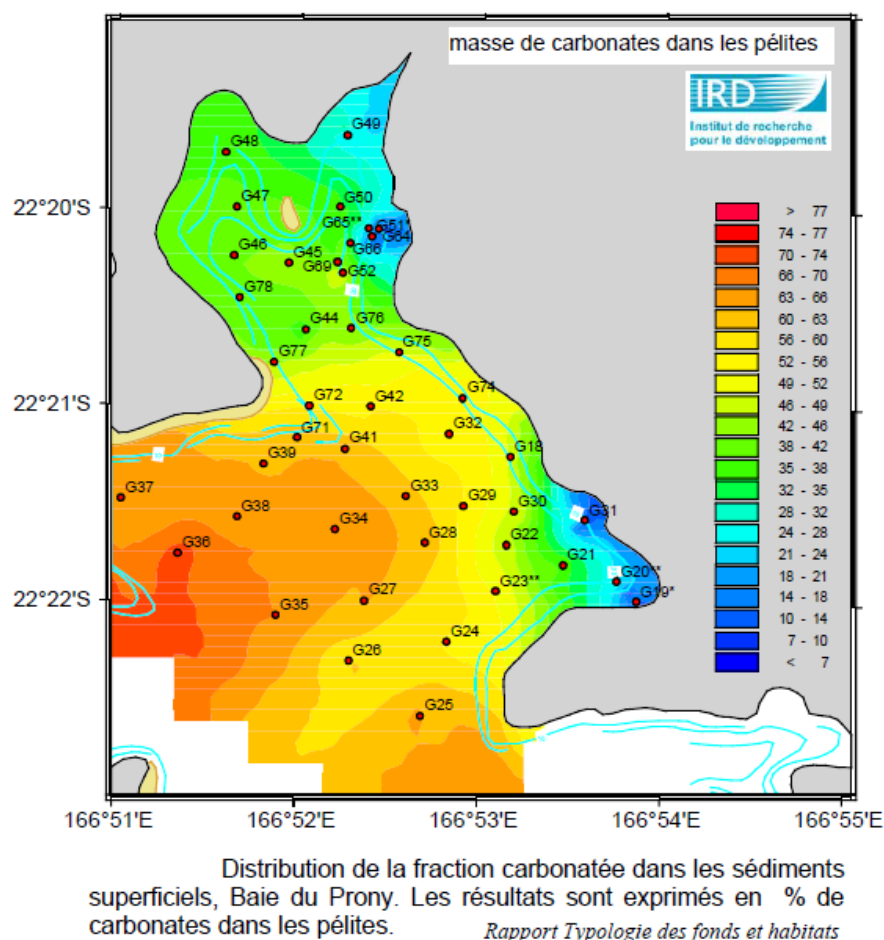
- **Les analyses de leur composition globale** montrent que ces sédiments contiennent seulement des traces de marqueurs terrigènes comme la goethite. A l'inverse les minéraux provenant de coquilles carbonatées sont amplement majoritaires sur cette station de 45 mètres de profondeur qui n'est pas située dans l'embouchure proche d'un creek. L'influence des creeks s'atténue rapidement.

Les teneurs carbonatées dans ces sédiments sont en moyenne de 59,1% +/- 2, 5%.

Cela met en évidence une origine marine prédominante claire des sédiments de cette station de Prony, particulièrement pour les horizons au bas de la carotte.

Cela confirme bien le travail de caractérisation des fonds de la baie de Prony effectué par l'IRD : « *Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la NC – Typologie des fonds lagonaire par prospection acoustique AGDS) : Etudes des secteurs du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony/ 2006/2009* ». La figure ci-dessous rappelle ce travail finalisé en 2009.

Figure 75 : Masse de carbonates dans les pélites de surface. Caractérisation des fonds.



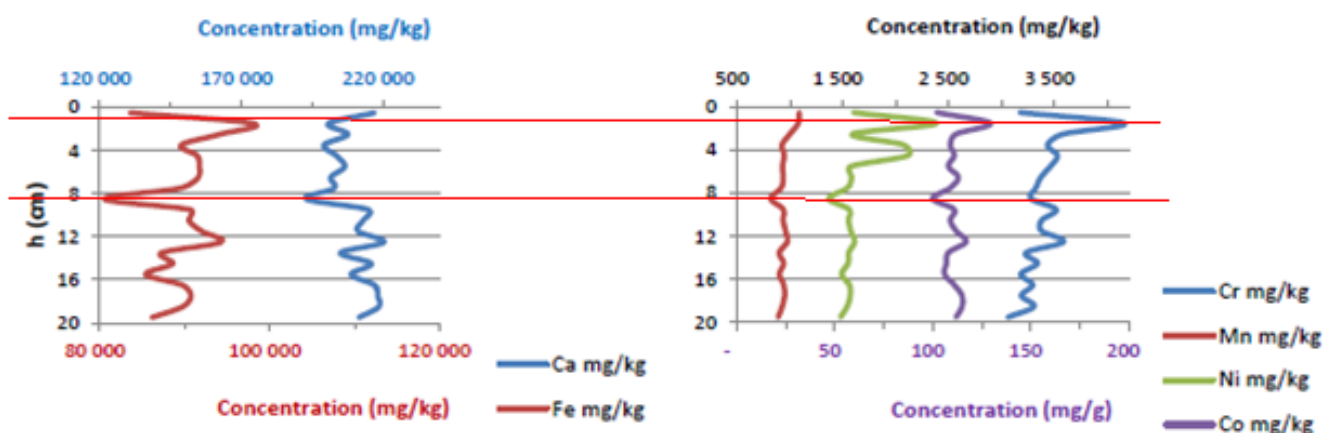
➤ Les concentrations obtenues en métaux

Analyses globales : Les concentrations sont relativement stables pour les indicateurs terrigènes Co, Cr, Fe et Mn, alors que les concentrations en Ni montrent une hétérogénéité selon les horizons de la carotte. Cependant ces 5 métaux indicateurs suivent une tendance à l'augmentation du bas de la carotte (horizons anciens) vers le haut de la carotte (horizon récent), au cours des années il y a une tendance à un enrichissement progressif qui est dessinée. L'horizon 9cm montre une discontinuité pour Fe, Ni et Co. (9cm : âge 49 ans. Cf. chapitre suivant pour les datations)

En sub - surface l'horizon 2cm montre aussi une discontinuité avec une augmentation en Fe, Cr, Co et Ni mais pas en Mn. La figure suivante présente ces faits.

Les données sont présentées en annexe de ce document et une analyse des résultats, synthétisée ici, est demandée à l'expert qui a effectué cette mission de suivi.

Figure 76 : Analyse minéralogique par horizons de la carotte de sédiments de la surface à 20 cm de profondeur. Concentrations en Ca, Fe, Cr, Co, Mn et Ni.



Le coefficient de corrélation de Pearson montre que le Co et le Fe, mais seulement ces deux métaux, ont des comportements corrélables. Les autres métaux montrent des tendances globalement similaires parce que ce sont tous des indicateurs terrigènes mais ils ne sont pas corrélables. Cela traduit la faible influence terrigène dans les sédiments prélevés.

Le Calcium a un comportement indépendant de celui de tous les métaux. Ce qui est normal pour un indicateur marin.

Extractions séquentielles : Les concentrations sont du même ordre de grandeur que celles obtenues en 2010.

Ces résultats démontrent une bonne reproductibilité de la méthodologie employée.

Pour les métaux liés aux phases organiques et carbonatées les deux campagnes menées avec cette même méthodologie les pics de concentrations sont dans l'horizon récent de sub-surface.

Pour les métaux réductibles la concentration maximale est aussi en surface.

(Données en annexe).

Ces concentrations ne présentent pas de particularités et sont conformes aux résultats obtenus pour les milieux lagunaires similaires.

Les données brutes sont en annexe de ce document, ainsi que le rapport intégral suite à cette mission.

➤ Le soufre :

Les concentrations montrent une tendance à la baisse avec la profondeur d'enfouissement des sédiments.

- Pour le Soufre « lixiviable » les teneurs décroissent de 1735 à 1244 mg/kg.
- Pour le Soufre « échangeable » les teneurs passent de 1477 à 2525 mg/kg. Il s'agit de Soufre qui concerne un soufre d'une combinaison faible (= faible minéralisation) avec la matière (organique et minérale), ce qui suggère un apport récent.

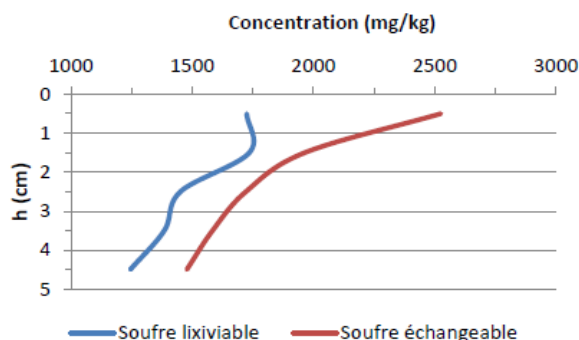
Dans les 4 horizons les plus anciens les concentrations en S sont relativement proches.

Pour l'horizon de surface (0 -1cm) la concentration en S échangeable est maximale avec 2525 mg/kg alors que la concentration en S lixiviable n'est que de 1735 mg/kg

La carotte prélevée en 2010 indiquait :

- Pour le Soufre « lixiviable » les teneurs décroissent de 1,37 à 1,01 mg/g (1370 à 1010 mg/kg)
- Pour le Soufre « échangeable » la teneur maximale est de 1,81 mg/g (1810 mg/kg)

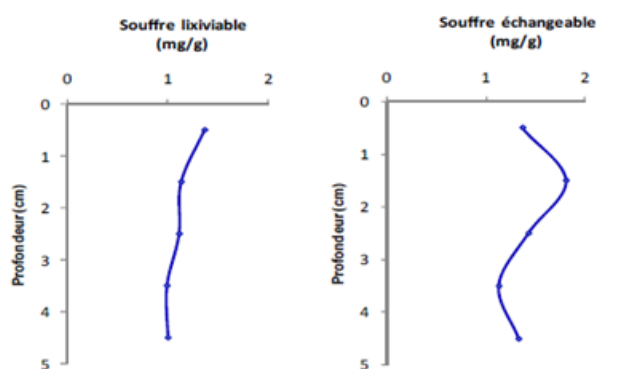
Figure 77 : Concentration en S lixiviable et en S échangeable dans la carotte de sédiments du port et pour les 5 premiers centimètres (2011)



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

Le suivi des sédiments 2010, sur St16, porte une attention au soufre échangeable, les résultats disponibles dans le rapport « bilans 2010 » sont rappelés sur la figure suivante :

Figure 78 : Concentration en S lixiviable et en S échangeable dans la carotte de sédiments du port et pour les 5 premiers centimètres (2010)



Evolution verticale des concentrations en soufre lixiviable et en soufre échangeable dans la fraction brute des sédiments. 2010

➤ Analyse par radioactivité du Pb²¹⁰

Deux épisodes se distinguent :

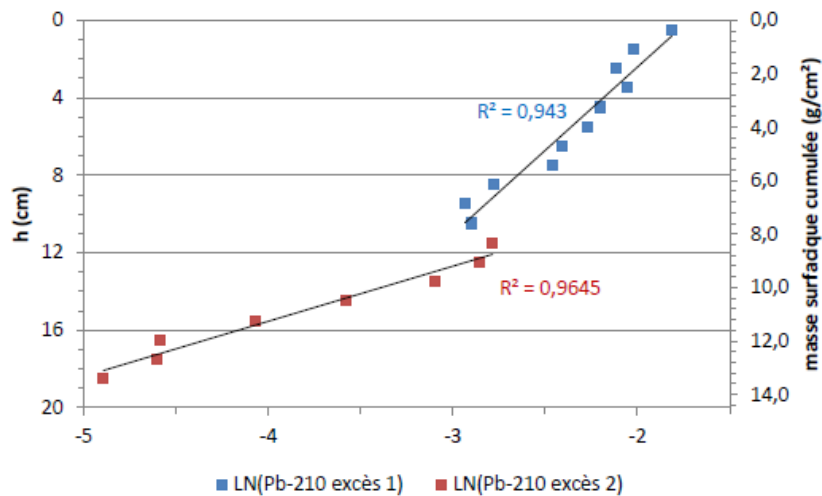
- Entre la surface et l'horizon 10 -11 cm : très peu de perturbations. Taux d'accumulation : $0,12 \text{ g/cm}^2/\text{an}$

Horizon 10cm-11 cm de profondeur : datation de la décennie 1955 à 1964.

- Entre la profondeur 10cm et le bas de la carotte sédimentaire : un taux d'accumulation différent des sédiments. Taux d'accumulation : $0,1 \text{ g/cm}^2/\text{an}$

La discontinuité indiquée sur la figure ci-dessous date des années 1955/1963 ou 64

Figure 78 : Profil vertical de la carotte du port à l'égard du Pb210



La datation géochronologique des horizons sédimentaires est possible sur cette carotte exceptionnellement non perturbée, voici des résultats par deux méthodologie (CRS et CIC) qui ont concordé, (Méthodologies explicitées en annexe de ce document).

Figure 79 : Datation chronologique des horizons de la carotte sédimentaire du port

Datation des horizons sédimentaires de la section supérieure (0-12 cm) de la carotte St16 par les modèles CRS et CIC. Identification de l'horizon contenant du Cs-137 (bande verte)

Horizon (cm)	MODÈLE « CONSTANT RATE SUPPLY » (CRS)			MODÈLE: « CONSTANT INITIAL CONCENTRATION » (CIC)		
	Pb-210 (Bq/g)	Age (an)	Date calculée	M cumulées (g/cm²)	Age (an)	Date calculée
0-1	0,1629	0,000	2011,7	0,395	3,331	2008,4
1-2	0,1325	4,123	2007,6	0,830	6,999	2004,7
2-3	0,1206	7,918	2003,8	1,321	11,138	2000,6
3-4	0,1282	11,810	1999,9	1,855	15,641	1996,1
4-5	0,1111	16,541	1995,2	2,474	20,863	1990,8
5-6	0,1034	21,296	1990,4	3,034	25,590	1986,1
6-7	0,0901	26,456	1985,2	3,768	31,774	1979,9
7-8	0,0855	31,748	1980,0	4,485	37,820	1973,9
8-9	0,0624	37,731	1974,0	5,094	42,962	1968,7
9-10	0,0532	42,929	1968,8	5,881	49,597	1962,1
10-11	0,0553	48,137	1963,6	6,697	56,475	1955,2

Le taux d'accumulation actuel est de : 0,12g/cm²/an

A titre indicatif, le guide CNRT/ ZoNéCo donne une grille de lecture :

Milieu considéré comme non perturbé : pour un fond de baie : jusqu' à 0,15 g/cm²/an et pour une baie côtière avec embouchure de creeks : jusqu'à 0,40 g/cm²/an. (Fiche 7- Indicateur : taux d'accumulation).

Tableau 35 : Indicateur « taux de sédimentation » selon le guide pour le suivi du milieu marin en Nouvelle-Calédonie CNRT/ ZoNéCo

Grille de lecture pour l'indicateur « taux de sédimentation » habituellement mesurés dans les trois différents types de milieu du lagon de Nouvelle-Calédonie.

Taux de sédimentation (g/cm ² /an)	Milieu considéré comme non perturbé	Milieu considéré comme modérément perturbé	Milieu considéré comme fortement perturbé
Fond de baie, littoral vaseux	< 0.15	[0.15– 0.60[	≥ 0.60
Baies avec embouchures, milieu côtier	< 0.40	[0.40 – 1.80[	≥ 1.80
Canyon sous-marin zones profondes	< 0.30	[0.30 1.25[	≥ 1.25

➤ **Conclusion au niveau des sédiments de la station St 16 du port de Prony:**

Un suivi de plusieurs années est nécessaire pour dégager une tendance évolutive. Il est impossible de conclure à une évolution temporelle à ce jour par manque de données. Nous pouvons cependant noter :

- L'origine marine prépondérante des sédiments de St 16.
- L'appauvrissement progressif en carbonates selon un gradient qui va des couches profondes anciennes vers les couches récentes, accompagné à l'inverse d'un enrichissement progressif en particules plus fines.
- Une discontinuité nette qui se situe vers l'horizon 10-12 cm et qui est daté entre les années 1955 et 1963. Une étude historique montrerait certainement un évènement cause de ce fait.
- L'horizon de surface entre 0 et 2 cm, récent, doit être suivi avec attention pour en déceler les tendances évolutives actuelles.
- L'influence terrigène est traduite par le Fe (qui est un excellent indicateur des horizons de surface latéritiques érodés). Celui-ci augmente depuis les sédiments profonds anciens vers la surface récente, et notamment dans l'horizon de sub-surface de 0-1cm.
- L'horizon de surface est enrichi en soufre échangeable.
- Le taux d'accumulation des sédiments quant à lui est celui d'un milieu non perturbé à l'égard de cet indicateur, sur cette station St16.

2.2.6 Synthèse des résultats du suivi 2011

	Rapport finalisé et remis aux administrations de contrôle
--	---

	Rapport finalisé
--	------------------

**Tableau 35 : Synthèse des résultats des missions réglementaires de suivis
Du milieu marin en 2011**

Suivi réglementaire 2011	Indicateurs	Premier semestre 2011	REPORTING Semestriel	Second semestre 2011	REPORTING Annuel
Structure de la colonne d'eau 14 stations	Physique Chimique	Conforme aux valeurs attendues		Conforme aux valeurs attendues	
Qualité de l'eau dont les concentrations en métaux	Chimique	Conforme aux valeurs attendues		Conforme aux valeurs attendues	
Suivi des écosystèmes	Biologique : Corail Benthos Poissons	L'indicateur corail signale le passage du cyclone « Vania » en janvier 2011 Aucune modification d'origine anthropique		Résiliation corallienne Bonne santé des récifs et des populations associées	
Bio accumulation Sur transplants	Bio accumulateur	Aucune bio accumulation n'est détectée, au contraire.			
Suivi du taux de sédimentation	Physique	Suivi triennal, dernière mission en 2010, prochain suivi en 2013			
Suivi de la qualité des sédiments	Chimique	Suivi triennal, dernière mission en 2009, prochain suivi en 2012.			
Suivi des flux sédimentaires	Physique Chimique	Conforme aux valeurs et non lié à la pluviométrie lors des missions effectuées			
Suivi spécial zone portuaire	Physique Chimique Et sédiments	Conforme aux valeurs attendues et sans dépassement ni anomalie qui pourrait indiquer une pollution. Au niveau des sédiments le soufre doit continuer à être suivi avec attention			

**Tableau 35 : Synthèse des résultats des missions supplémentaires de suivis
Du milieu marin en 2011**

Suivi sur Initiative Vale NC 2011	Indicateurs	Premier semestre 2011		Second semestre 2011	
Dispersion effluent qualité de l'eau champ proche diffuseur	Physique Chimique	Conforme aux modèles prédictifs. Aucune concentration d'un élément décelable		Conforme aux modèles prédictifs Aucune concentration d'un élément n'est décelable	
EMISSAIRE	Biologique <i>Fouling</i> (Invertébrés) Poissons	Conforme à l'évolution attendue En voie de peuplement benthique « <i>bio fouling</i> » comme un récif artificiel et augmentation de la biodiversité notamment celle des poissons.			
Massif corallien le plus proche du diffuseur	Biologique	En excellente santé			
Embouchure creek baie nord et zone d'estuaires Prony après cyclone Vania	Eco-systémique Blanchissement corallien	Suivi spécifique du corail au niveau de l'embouchure du creek CBN et des creeks témoins en baie du Prony, qui fait suite à 3 missions antérieures. Le blanchissement du à <i>Vania</i> et aux fortes pluies est surtout destructeur sur la station Témoins de la baie du carénage.			
Population des baleines à bosse	Biologique Animal emblématique	Population dont la tendance en augmentation se confirme			

2.3 Interprétation 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.
- Il n'a pas eu de pollution ni d'impact sur le milieu marin, les conséquences naturelles du passage du cyclone Vania en janvier 2011 sont en résiliation, la qualité du milieu marin est bonne.
- L'effluent ne montre aucun effet, comme attendu par les études, modélisations et expertises antérieures.

3. BILAN DES NON-CONFORMITES

Aucune non-conformité n'a été constatée pour le milieu « récepteur marin ».

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>adettii</i>
	<i>Lutjanus</i>	<i>sebae</i>
	<i>Lutjanus</i>	spp
	<i>Symphorus</i>	<i>nematophorus</i>
Caesionidae		spp
Haemulidae	<i>Diagramma</i>	<i>pictum</i>
	<i>Plectorhinchus</i>	spp
Lethrinidae	<i>Lethrinus</i>	<i>nebulosus</i>
	Autres bossus et bec	spp
Nemipteridae	<i>Scolopsis</i>	<i>bilineatus</i>
Mullidae		spp
Kyphosidae		spp
Ephippidae	<i>Platax</i>	spp
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>auriga</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>baronessa</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>bennetti</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>citrinellus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>ephippium</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>flavirostris</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>kleinii</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>lineolatus</i>
	<i>Chaetodon</i>	<i>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>
	<i>Centropyge</i>	<i>bispinosus</i>

Famille	Genre	espèce
	<i>Centropyge</i>	<i>flavissima</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>heraldi</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>tibicen</i>
	<i>Centropyge</i>	<i>vroliki</i>
	<i>Chaetodontoplus</i>	<i>conspicillatus</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>imperator</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>semicirculatus</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>sextriatus</i>
	<i>Pygoplites</i>	<i>diacanthus</i>
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	spp
	<i>Amphiprion</i>	<i>perideraion</i>
	<i>Amphiprion</i>	spp
	<i>Chromis</i>	<i>viridis</i>
	<i>Chromis</i>	<i>fumea</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>taupou</i>
	<i>Chrysiptera</i>	<i>rollandi</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>aruanus</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>reticulatus</i>
	<i>Dascyllus</i>	<i>trimaculatus</i>
	<i>Neopomacentrus</i>	<i>azysron</i>
	<i>Neopomacentrus</i>	<i>violascens</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>coelestis</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>moluccensis</i>
	<i>Pomacentrus</i>	<i>aurifrons</i>
	<i>Stegastes</i>	spp
Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>loxozonus</i>
	<i>Bodianus</i>	<i>perditio</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>chlorourous</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>trilobatus</i>
	<i>Cheilinus</i>	<i>undulatus</i>
	<i>Choerodon</i>	<i>graphicus</i>
	<i>Coris</i>	<i>aygula</i>
	<i>Coris</i>	<i>gaimard</i>
	<i>Gomphosus</i>	<i>varius</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>hortulanus</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>margaritaceus</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>trimaculatus</i>
	<i>Hemigymnus</i>	<i>melapterus</i>
	<i>Labroides</i>	<i>dimidiatus</i>
	<i>Novaculichthys</i>	<i>taeniourus</i>
	<i>Stethojulis</i>	<i>bandanensis</i>
	<i>Stethojulis</i>	<i>strigiventer</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>amblycephalum</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>hardwicke</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>lunare</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>lutescens</i>
Scaridae	<i>Bolbometopon</i>	<i>muricatum</i>
	<i>Scarus</i>	<i>ghobban</i>
	<i>Chlorurus</i>	<i>microrhinos</i>
	<i>Scaridae</i>	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 (suite)	<i>Naso</i>	spp
	<i>Zebrasoma</i>	spp
Siganidae	<i>Siganus</i>	<i>argenteus</i>

Famille	Genre	espèce
	<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 STRUCTUREDE LA COLONNE D'EAU, QUALITE PHYSICO- CHIMIQUE ET CONCENTRATION EN METAUX DISSOUS (Second semestre 2011)

ANNEXE III

SUIVI DE L'ETAT DES PEUPLEMENTS RECIFAUX ET DES ORGANISMES ASSOCIES EN BAIE DE PRONY ET CANAL DE LA HAVANNAH Mission D'AOUT 2011

ANNEXE IV

TRANSPLANTATION DE BIO – INDICATEURS

CAGGING

ANNEE 2011

ANNEXE V

LES FLUX SEDIMENTAIRES DANS

LE CANAL DE LA HAVANNAH

ET

LA BAIE KWE

ANNEE 2011

ANNEXE VI

SUIVI SEMESTRIEL DE LA STATION DU PORT DE PRONY QUALITE DE L'EAU ANNEE 2011

ANNEXE VII

SUIVI DES SEDIMENTS STATION DU PORT DE PRONY ANNEE 2011