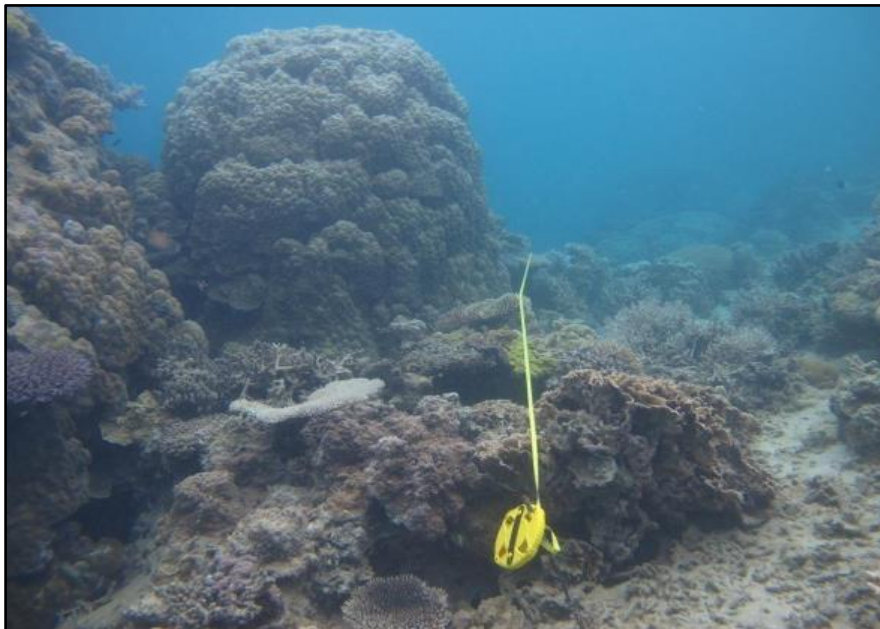


Surveillance des milieux récepteurs Rapport 2^{ème} semestre 2019 Milieu marin



Vale Nouvelle-Calédonie
Mars 2020

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

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

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

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

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

VALE NC, Département Communication
E-mail : ValeNC-communication@vale.com
Tel : +687 23.50.00

SOMMAIRE

1	PRESENTATION DES PLANS DE SUIVI DU MILIEU MARIN ET DES PROTOCOLES DE MESURE	2
1.1	POSITIONNEMENT GLOBAL DES STATIONS DE SUIVI DU MILIEU MARIN DE VALE NC	2
1.2	PRESENTATION DES PLANS DE SUIVI DU MILIEU MARIN PAR TYPE	3
1.2.1	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau	3
1.2.2	Suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés	5
1.2.3	Suivi de la qualité des sédiments marins de surface	7
1.2.4	Suivi des densités de flux verticaux de particules	9
1.2.5	Suivi du taux d'accumulation sédimentaire	9
1.2.6	Surveillance de l'herbier de la baie Kwé	11
1.2.7	Suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur	11
1.3	PROTOCOLES DE MESURE	12
1.3.1	Méthode de mesures de la qualité physico-chimique de l'eau de mer	12
1.3.2	Méthode de mesures des sédiments marins de surface	15
1.3.3	Méthode de mesures des densités de flux verticaux de particules	16
1.3.4	Méthode de mesures des taux d'accumulation des sédiments	17
1.3.5	Méthode de mesures des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur	18
1.3.6	Méthode de suivi des peuplements récifaux et organismes associés	19
1.3.7	Méthode de suivi des herbiers de la baie Kwé	28
2	BILAN DES DONNEES DISPONIBLES	29
2.1	BILAN DES DONNEES HISTORIQUES	29
2.2	BILAN DES DONNEES DISPONIBLES AU 2 ^{EME} SEMESTRE 2019	30
3	PRESENTATION DES RESULTATS DE SUIVI DU MILIEU MARIN	30
3.1	ETATS DE REFERENCE ET TENDANCES EVOLUTIVES	30
3.2	RESULTATS DU SUIVI DU 2 ^{EME} SEMESTRE 2019, ET INTERPRETATIONS	30
3.2.1	Résultats du suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer	30
3.2.2	Résultats du suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés	33
3.2.3	Résultats du suivi de la qualité des sédiments marins de surface	37
3.2.4	Résultats du suivi des densités de flux verticaux de particules	37
3.2.5	Résultats du suivi du taux d'accumulation sédimentaire	38
3.2.6	Résultats du suivi des herbiers en baie Kwé	38
3.2.7	Résultats du suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur	38
	CONCLUSION	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de l'ensemble des points de suivi du milieu marin.....	2
Figure 2 : Carte de localisation des stations de surveillance de la qualité des eaux marines.....	4
Figure 3 : Carte de localisation des stations de surveillance des écosystèmes marins.....	6
Figure 4 : Carte de localisation des points de suivi de la qualité des sédiments marins de surface.....	8
Figure 5 : Carte de localisation des points de suivi des densités de flux verticaux de particules.....	9
Figure 6 : Carte de localisation du taux d'accumulation sédimentaire.....	10
Figure 7 : Carte de localisation des quadras de suivi de l'herbier.....	11
Figure 8 : Positionnement des 4 stations composant le nouveau réseau de surveillance des concentrations en Mn et Ni dans le canal de la Havannah en 2019.....	12
Figure 9 : Hauteurs des précipitations enregistrées pendant les jours avant et pendant la campagne d'échantillonnage – données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation « Goro usine ».....	31
Figure 10 : Chronologie des événements de la campagne semestrielle d'août 2019 reportée sur les marégrammes du 20 au 22 août 2019.....	31
Figure 11 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le canal de la Havannah.....	36
Figure 12 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le site Woodin.....	36
Figure 13 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour la baie de Prony.....	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Localisation géographique des stations de surveillance de la qualité des eaux marines.....	3
Tableau 2 : Localisation des stations de surveillance des peuplements récifaux et des organismes associés.....	5
Tableau 3 : Localisation géographique des points de prélèvement des sédiments de surface.....	7
Tableau 4 : Localisation géographique des points de suivi des densités de flux verticaux de particules.....	9
Tableau 5 : Localisation géographique des stations de suivi du taux d'accumulation sédimentaire.....	9
Tableau 6 : Position des quadras de suivi de l'herbier (référentiel RGNC 91-93 Lambert).....	11
Tableau 7 : Positionnement des stations de suivi des concentrations en Mn et Ni pour 2019.....	12
Tableau 8 : Rappel des campagnes historiques de suivi du milieu marin.....	29
Tableau 9 : Récapitulatif des paramètres pour l'ichtyofaune.....	34
Tableau 10 : Note de chaque station selon la qualité du peuplement de poissons.....	35

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Carré servant de quadrat pour le suivi des herbiers.....	28
--	----

LISTE DES ANNEXES (En PJ du présent rapport)

Annexe 1 : rapport de « suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone Sud du lagon de Nouvelle-Calédonie – 2 nd semestre 2019 »
Annexe 2 : rapport de « suivi St16 : évolution physico-chimique de la colonne d'eau et géochimie des sédiments récents »
Annexe 3 : rapport de « suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah-octobre 2019 »
Annexe 4 : rapport de « suivi des densités de flux verticaux de particules dans le canal de la Havannah, la baie Kwé et la Rade Nord de Prony »
Annexe 5 : rapport de « suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur »

SIGLES ET ABREVIATIONS

PEHD	Polyéthylène Haute Densité
St	Station
ST	Station
NO3	Nitrate
NO2	Dioxyde d'azote
PO4	Phosphate
L	Litre
As	Arsenic
Cd	Cadmium
Co	Cobalt
CrVI	Chrome 6
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
Fe	Fer
Pb	Plomb
Zn	Zinc
LD	Limite de Détection
LQ	Limite de Quantification
Ca	Calcium
Mg	Magnésium
S	Soufre
K	Potassium
Na	Sodium
Cl	Chlorure
SO4	Sulfate
Ni	Nickel
Mn	Manganèse

INTRODUCTION

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

- Indicateurs physico-chimiques de la qualité de l'eau de mer de la surface jusqu'au fond ;
- Bio-indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des organismes associées ;
- Suivi d'un herbier de phanérogames ;
- Indicateurs physico-chimiques des matières en suspension et des sédiments marins (flux de matières en suspension, géochimie des sédiments, taux de sédimentation).

Cette surveillance s'effectue au niveau des stations sous-marines et points de prélèvement conformément aux prescriptions réglementaires issues des arrêtés suivants :

- N° 891-2007/PS du 13 juillet 2007 (Port) ;
- N°1467-2008/PS du 9 octobre 2008 (usine, unité de préparation du minerai, centre de maintenance de la mine) ;
- N°2698-2016/ARR/DIMENC du 30 septembre 2016 (autorisation d'exploitation minière) ;
- N°2767-2016/ARR/DIMENC du 21 novembre 2016.

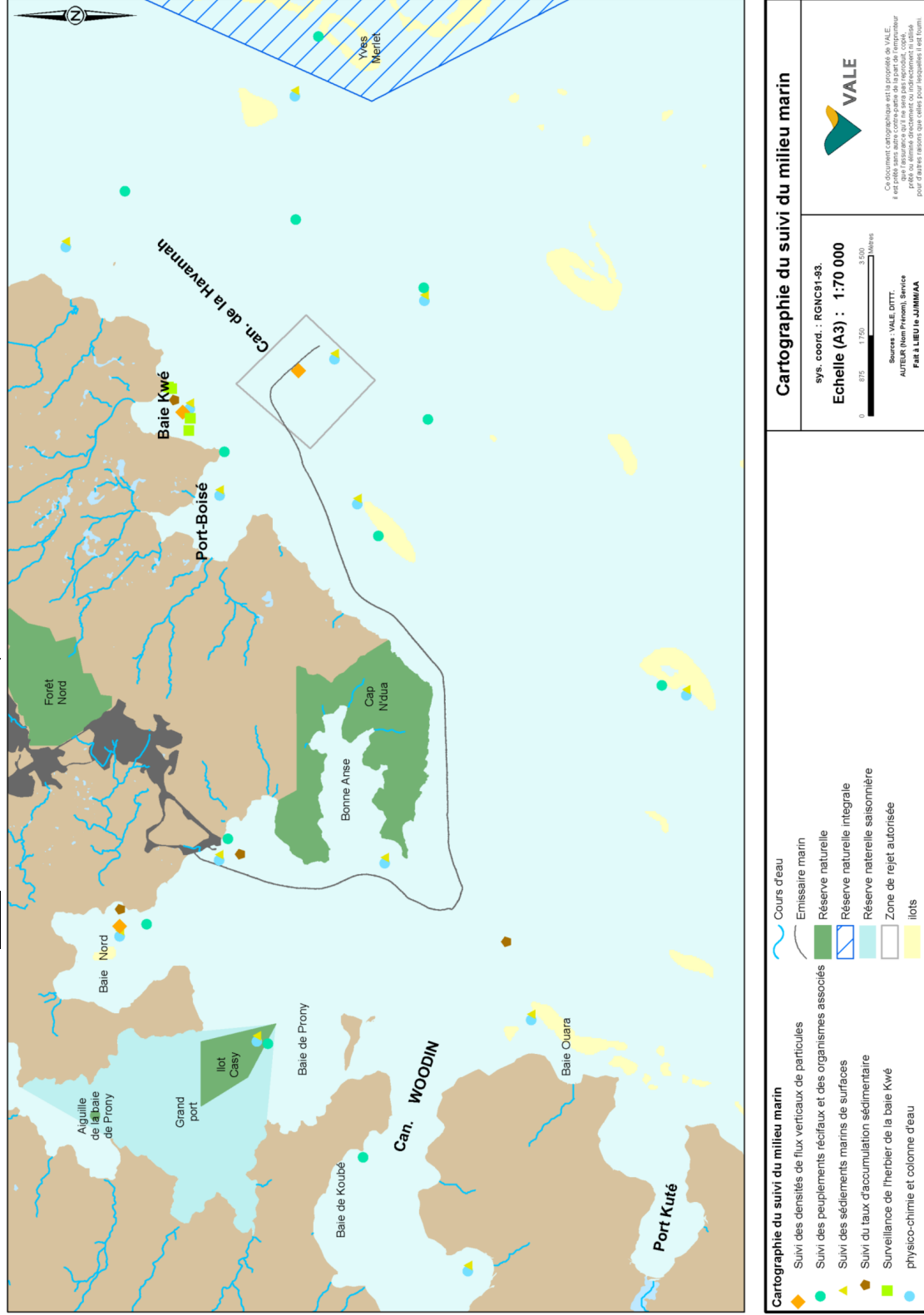
Les résultats de ces campagnes de suivis pour le second semestre 2019 sont présentés dans ce rapport.

1 PRESENTATION DES PLANS DE SUIVI DU MILIEU MARIN ET DES PROTOCOLES DE MESURE

1.1 Positionnement global des stations de suivi du milieu marin de Vale NC

La figure 1 synthétise l'ensemble des points de suivi du milieu marin de Vale NC.

Figure 1 : Localisation de l'ensemble des points de suivi du milieu marin de Vale NC



Le point 1.2 reprend les positions exactes de chaque station, en fonction des indicateurs suivis.

1.2 Présentation des plans de suivi du milieu marin par type

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

Le tableau 1 indique les positions réglementaires des 14 points de prélèvement de l'eau de mer, et la profondeur du lagon à ce point.

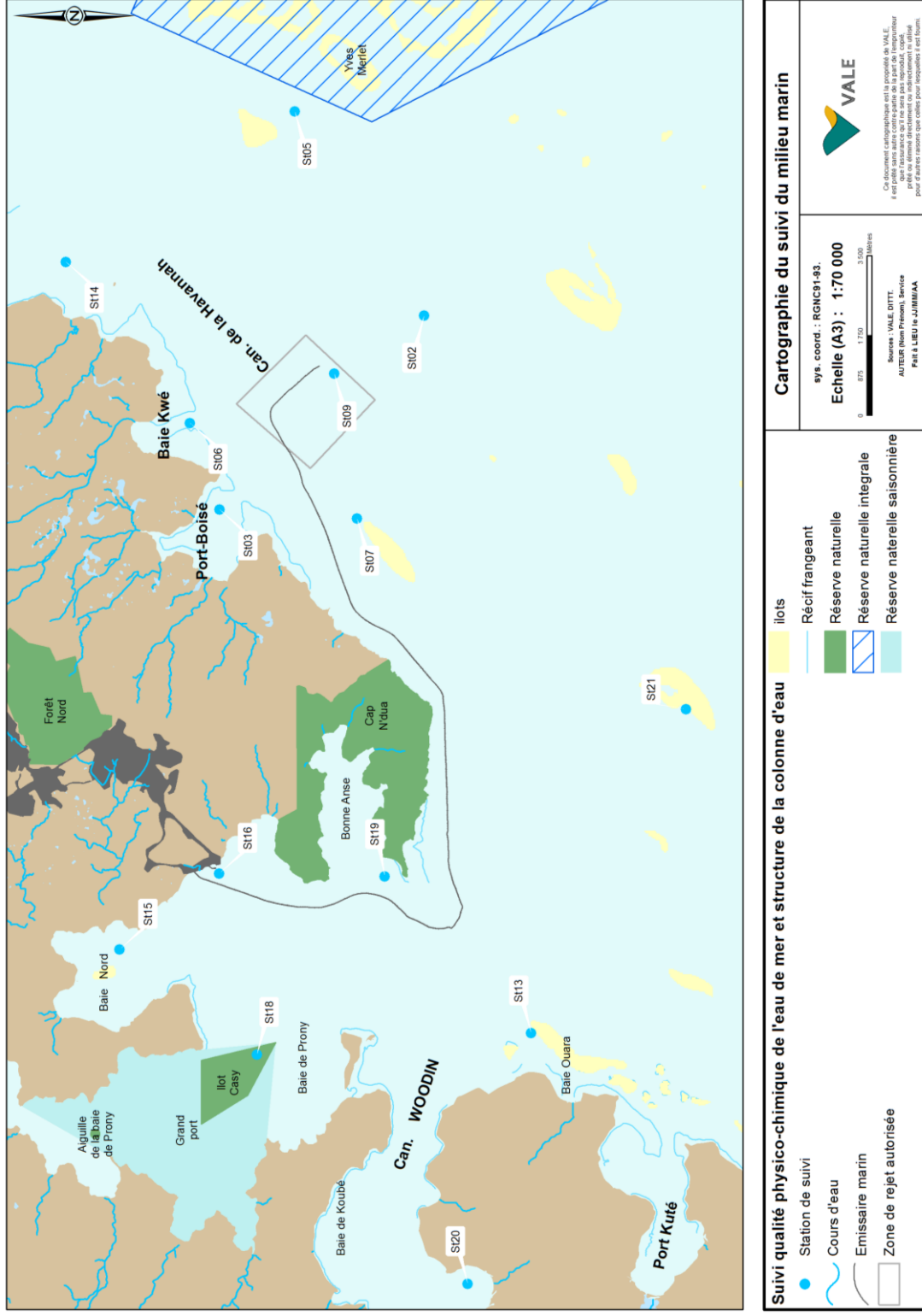
La figure 2 illustre le positionnement de ces points.

Tableau 1 : Localisation géographique des stations de surveillance de la qualité des eaux marines

Localisation de la station	Référence Station	Coordonnées IGN72	Coordonnées RGNC91	Coordonnées WGS-84 Longitude E *	Coordonnées WGS-84 Latitude S *	Profondeur (m)
Basse Chambeyron	St02	167° 00.47' E 22° 22.24' S	167° 00.67' E 22° 23.59' S	167° 00,506	22° 23,599	33
Récif pointe Puka Baie de Port Boisé	St03	166° 58.37' E 22° 22.21' S	166° 58.57' E 22° 21.24' S	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié Banc de Kié	St05	167° 03.66' E 22° 22.22' S	167° 03.86' E 22° 22.32' S	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la baie Kwé Baie Kwé	St06	166° 58.85' E 22° 20.93' S	166° 59.05' E 22° 20.76' S	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif Ioro	St07	166° 57.30' E 22° 22.23' S	166° 57.50' E 22° 23.10' S	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah A29 Canal de la Havannah	St09	166° 59.42' E 22° 22.35' S	166° 59.62' E 22° 22.18' S	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord récif Ma	St13	166° 51.22' E 22° 25.10' S	166° 51.42' E 22° 24.93' S	166° 51,354	22° 24,914	35
Récif Touémo Port/baie de Goro	St14	167° 00.65' E 22° 20.40' S	167° 00.85' E 22° 20.23' S	167° 01,160	22° 19,350	37
Embouchure Creek baie Nord Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52.35' E 22° 22.21' S	166° 52.55' E 22° 20.36' S	166° 52,390	22° 20,037	25
Port de Prony	St16	166° 52.35' E 22° 22.21' S	166° 52.35' E 22° 20.36' S	166° 53,365	22° 21,210	44
Ilot Casy Prony Ilot Casy	St18	166° 50.87' E 22° 22.22' S	166° 51.07' E 22° 21.80' S	166° 51,061	22° 21,668	26
Bonne Anse Rade de l'Est	St19	166° 53.15' E 22° 23.02' S	166° 53.35' E 22° 22.85' S	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Tioaré Baie Iré	St20	166° 48.86' E 22° 25.59' S	166° 46.06' E 22° 25.42' S	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21 *			166° 55,501	22° 26,728	36

*La station ST21 « Ilot Ugo » n'est pas réglementaire mais a été rajoutée au suivi en août 2009 suite à une demande sociétale.

Figure 2 : Carte de localisation des stations de surveillance de la qualité des eaux marines



1.2.2 Suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés

Le tableau 2 présente la position des 12 stations fixes de surveillance de la santé des écosystèmes par un suivi des peuplements récifaux et des organismes associés (invertébrés et poissons) dans la zone d'influence potentielle des activités de Vale NC.

Tableau 2 : Localisation des stations de surveillance des peuplements récifaux et des organismes associés

Localisation de la station	Référence Station	Longitude (référentiel RGNC 91)	Latitude (référentiel RGNC 91)
Ilot Casy	ST01	166°51.033	22°21.799
Creek Baie Nord	ST02	166°52.546	22°20.356
Port de Prony	ST03	166°53.639	22°21.312
Canal Woodin	ST04	166°49.593	22°22.933
Récif Ioro	ST05	166°57.507	22°23.072
Banc Ionontea	ST06	166°58.995	22°23.650
Basse Chambeyron	ST07	167°00.671	22°23.591
Récif Pointe Puka	ST08	166°58.566	22°21.243
Banc de Kié	ST09	167°01.529	22°22.070
Ilot Kié Réserve Merlet	ST10	167°03.862	22°22.324
Récif Touémo	ST11	167°01.875	22°20.046
Ugo	ST12	166°55.625	22°26.438

Les stations ST05 à ST11 sont situées dans le canal de la Havannah, dont 1 en réserve Merlet (ST10). Cette dernière station est non réglementaire et nécessite une demande d'autorisation spécifique auprès de la province Sud pour y accéder.

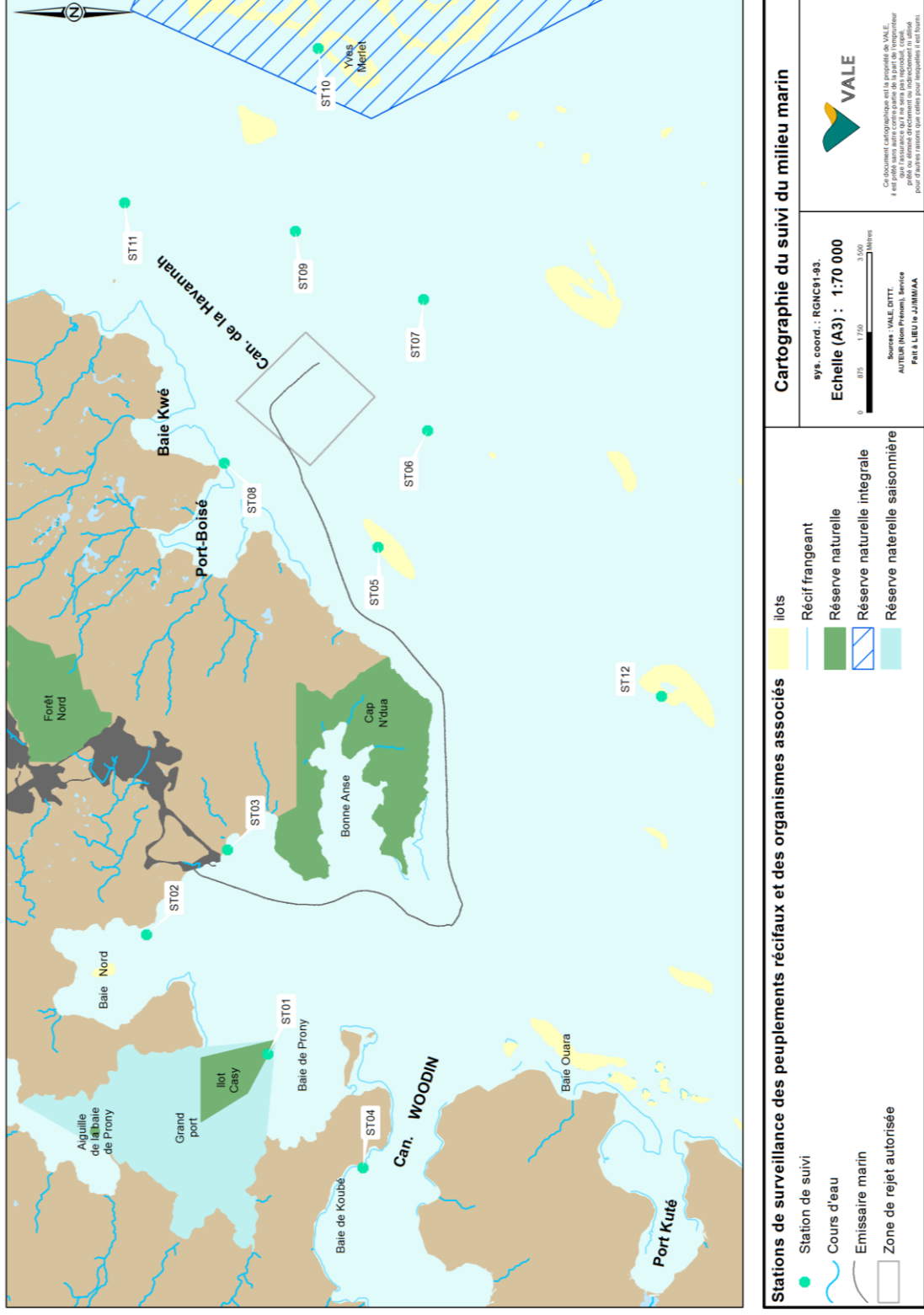
La station ST12 est située à l'Est de l'île Ouen et a été rajoutée au suivi depuis juin 2009 à la demande de la population de l'île Ouen.

Les stations ST01 à ST03 sont situées dans la baie de Prony.

La station ST04 se situe dans le canal Woodin.

La figure 3 illustre la localisation de ces stations.

Figure 3 : Carte de localisation des stations de surveillance des écosystèmes marins



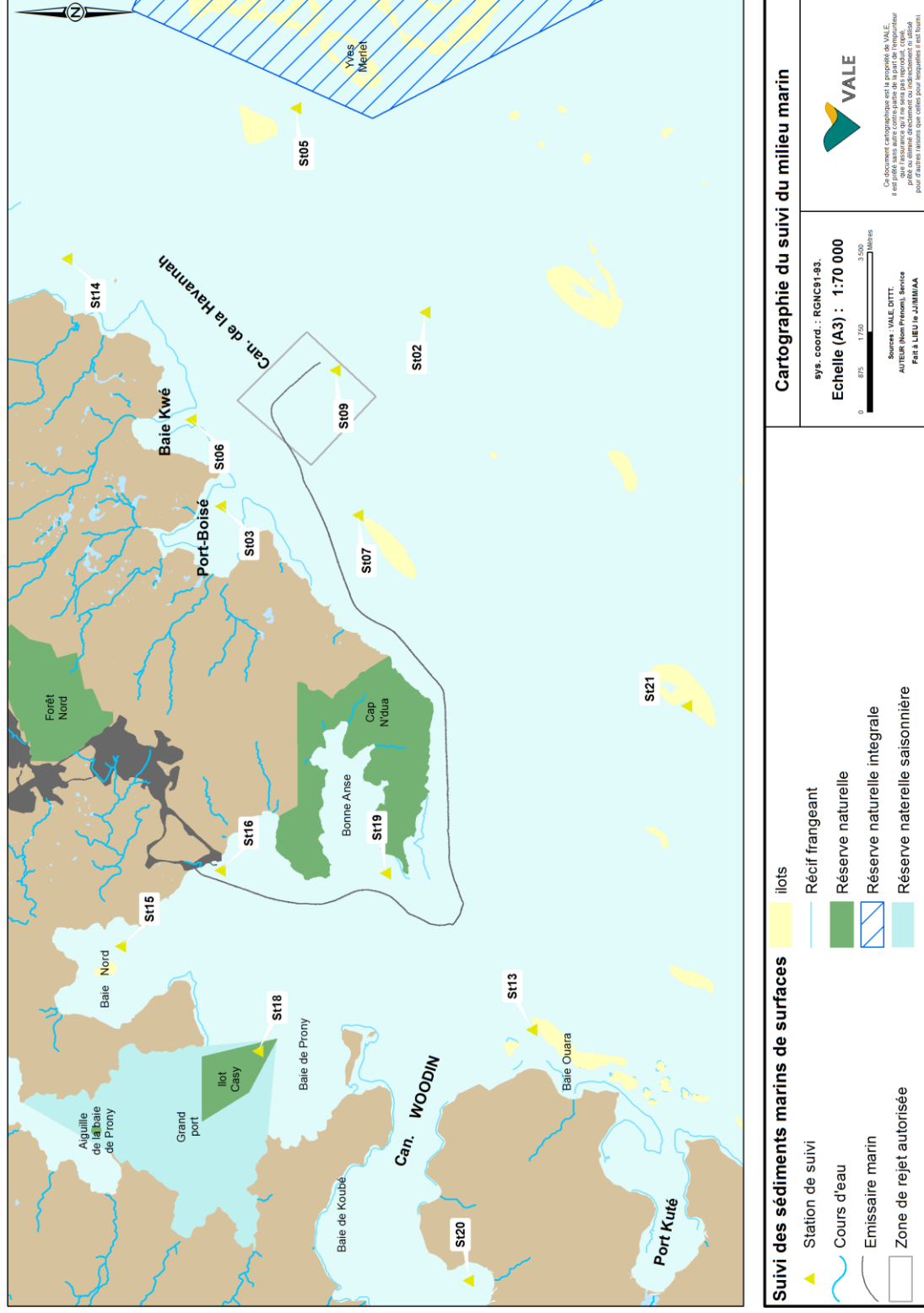
1.2.3 Suivi de la qualité des sédiments marins de surface

Le suivi de la qualité des sédiments marins de surface est effectué sur 14 stations (cf. tableau 3 et figure 4).

Tableau 3 : Localisation géographique des points de prélèvement des sédiments de surface

Localisation de la station	Référence Station	Coordonnées WGS-84 Longitude E *	Coordonnées WGS-84 Latitude S *
Basse Chambeyron	St02	167° 00,506	22° 23,599
Récif pointe Puka Baie de Port Boisé	St03	166° 58,010	22° 21,190
Ilot Kié Banc de Kié	St05	167° 03,100	22° 22,050
Récif de la baie Kwé Baie Kwé	St06	166° 59,112	22° 20,830
Récif Ioro	St07	166° 57,910	22° 22,820
Canal de la Havannah A29 Canal de la Havannah	St09	166° 59,754	22° 22,540
Pointe Nord récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914
Récif Touémo Port/baie de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350
Embouchure Creek baie Nord Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52,390	22° 20,037
Port de Prony	St16	166° 53,365	22° 21,210
Ilot Casy Prony Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668
Bonne Anse Rade de l'Est	St19	166° 53,340	22° 23,170
Baie Tioaré Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180
Ilot Ugo	St21	166° 55,501	22° 26,728

Figure 4 : Carte de localisation des points de suivi de la qualité des sédiments marins de surface



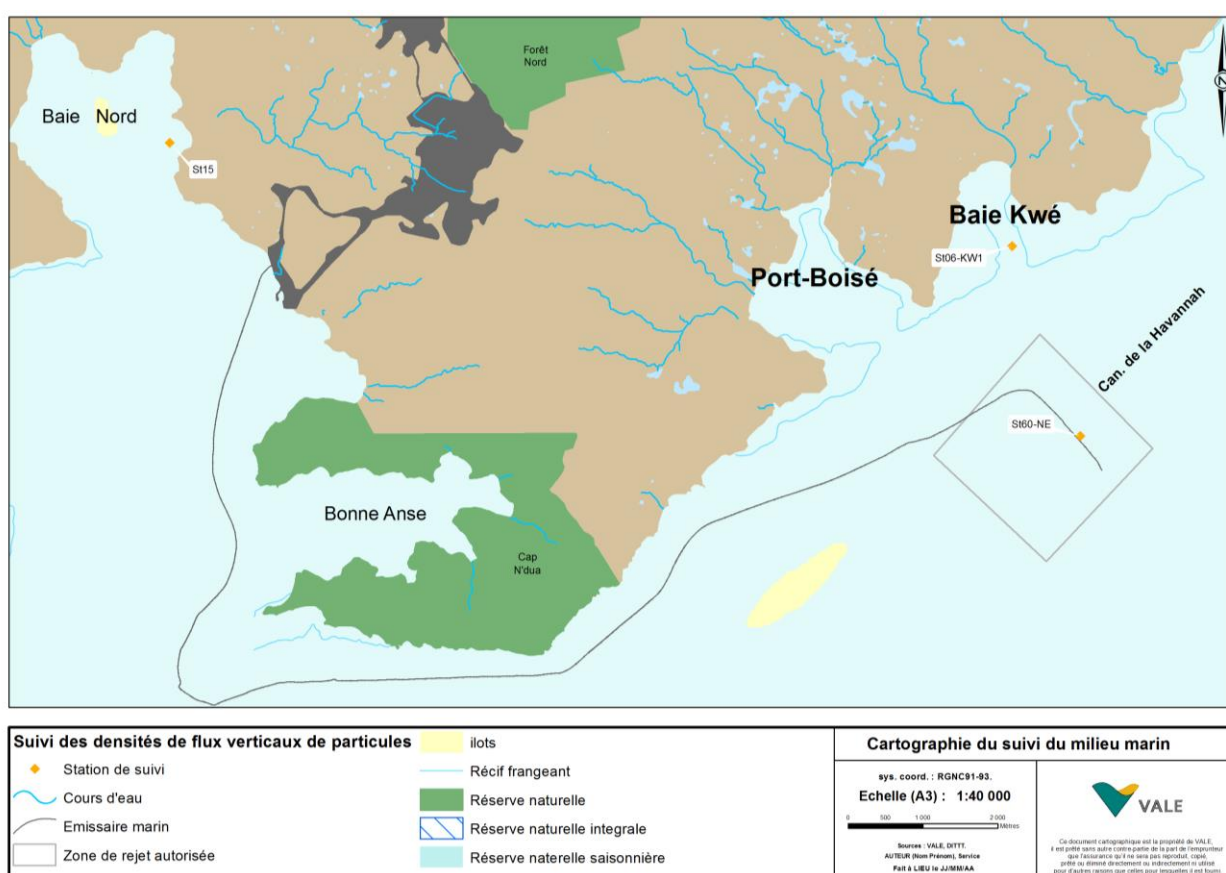
1.2.4 Suivi des densités de flux verticaux de particules

Le suivi des densités de flux verticaux de particules est effectué sur un total de 3 stations dont la répartition a été révisée en 2014. Les stations et leur positionnement sont présentés au tableau 4 et à la figure 5.

Tableau 4 : Localisation géographique des points de suivi des densités de flux verticaux de particules

Localisation de la station	Référence Station	Coordonnées WGS-84	Coordonnées WGS-84
		Longitude	Latitude
Creek Baie Nord	St15	166°52.590	22°20.037
Baie Kwé	St06-KW1	166°59.140	22°20.747
Canal de la Havannah	St60-NE	166°59.677	22°22.113

Figure 5 : Carte de localisation des points de suivi des densités de flux verticaux de particules



1.2.5 Suivi du taux d'accumulation sédimentaire

Le suivi du taux d'accumulation sédimentaire est effectué sur 4 stations présentées au tableau 5 et à la figure 6.

Tableau 5 : Localisation géographique des stations de suivi du taux d'accumulation sédimentaire

Localisation de la station	Référence Station	Coordonnées WGS-84	Coordonnées WGS-84
		Longitude	Latitude
Baie Kwé	St06	166°59.077	22°20.643
Ile Ouen	St13	166°52.204	22°24.611
Baie de Prony	St15	166°52.590	22°20.037
	St16	166°53.300	22°21.455

Figure 6 : Carte de localisation du taux d'accumulation sédimentaire



1.2.6 Surveillance de l'herbier de la baie Kwé

Le suivi de l'herbier présent en baie Kwé est effectué sur des quadras positionnés à l'Est et à l'Ouest du chenal central de cette baie (cf. tableau 6 ; figure 7).

Tableau 6 : Position des quadras de suivi de l'herbier (référentiel RGNC 91-93 Lambert)

Station	Latitude	Longitude	Distance à la côte
Station 01 = HE01 (Est)	501 835	206 345	62 m
Station 02 = HO02 (Ouest)	500 885	205 902	220 m
Station 03 = HE03 (Est)	501 800	206 274	145 m
Station 04 = HO04 (Ouest)	501 150	205 871	480 m

Figure 7 : Carte de localisation des quadras de suivi de l'herbier



Surveillance de l'herbier de la baie Kwé  Station de suivi	Cartographie du suivi du milieu marin sys. coord. : RGNC91-93. Echelle (A3) : 1:7 500  Source : VALE, DITTE AUTEUR (Nom Prénom), Service Fait à LIEU le JJJJMMAAA  Ce document cartographique est la propriété de VALE. Il est prêt à être utilisé sous réserve de la signature de l'utilisateur. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de VALE est formellement interdite. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de VALE est formellement interdite.
---	--

1.2.7 Suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur

Le suivi en champ proche du diffuseur a été réalisé en 2019 sur 4 stations dans la zone d'influence du panache de l'effluent du diffuseur de l'émissaire marin.

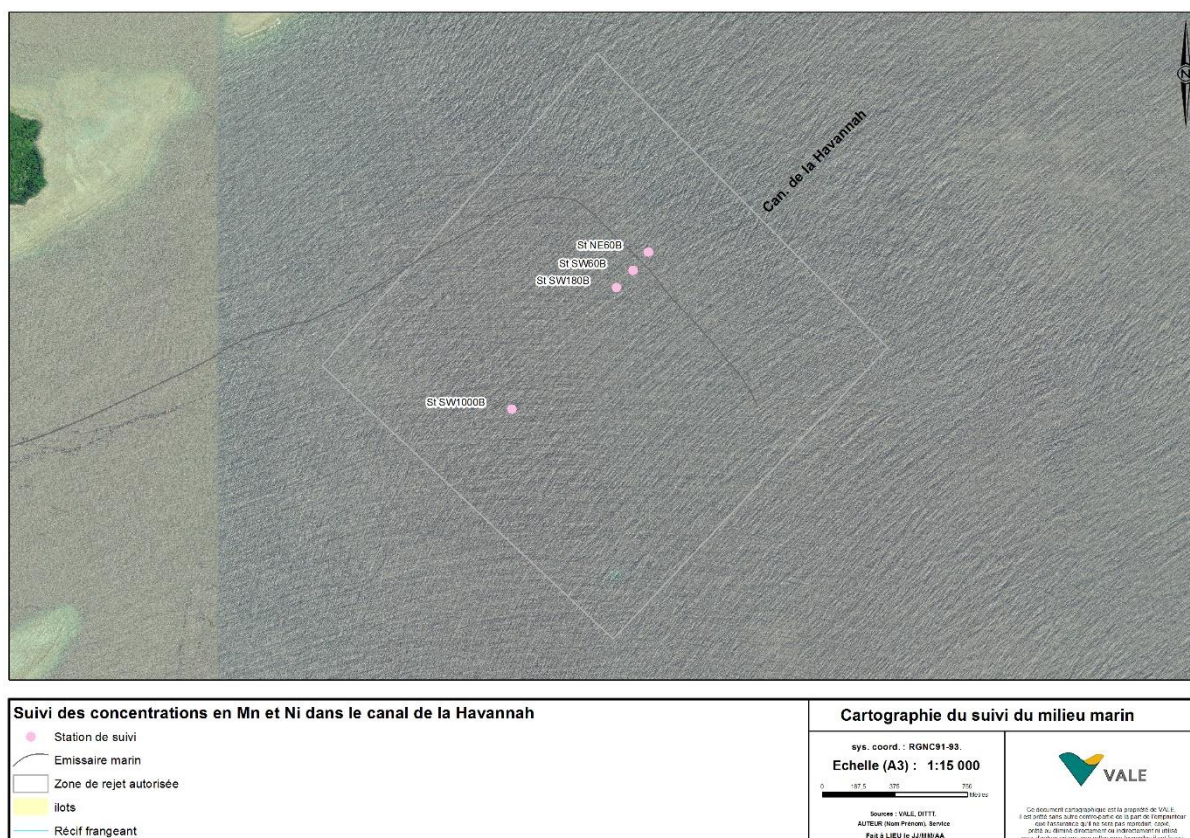
Le site d'étude initial a évolué en raison du dysfonctionnement hydraulique de la portion distrale du diffuseur constaté en 2018. Cette translation de la radiale a eu pour but de contrôler la dispersion de l'effluent marin rejeté au niveau des 48 premiers orifices fonctionnels du diffuseur.

Un THOË équipe les stations SW180B et SW1000B à 3 m du fond, les stations NE60B et SW60B étant équipées avec deux THOË chacune, l'un à 3 m et l'autre à 6 m. Le trait rouge de la figure 8 représente l'emplacement du diffuseur.

Tableau 7 : Positionnement des stations de suivi des concentrations en Mn et Ni pour 2019

Station	Coordonnées WGS-84 Longitude	Coordonnées WGS-84 Latitude
St NE60B	166°59'31.2"	22°21'56.2"
St SW60B	166°59'28.4"	22°21'59.3"
St SW180B	166°59'25.4"	22°22'2.2"
St SW1000B	166°59'06.7"	22°22'22.7"

Figure 8 : Positionnement des 4 stations composant le nouveau réseau de surveillance des concentrations en Mn et Ni dans le canal de la Havannah en 2019



1.3 Protocoles de mesure

1.3.1 Méthode de mesures de la qualité physico-chimique de l'eau de mer

1.3.1.1 Structures des masses d'eau

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnées est obtenue grâce aux profils verticaux réalisés avec une sonde CTD SBE19 équipée de capteurs additionnels. La fréquence d'acquisition des données étant de 0,5 s et la vitesse de descente d'environ 0,5m/s, une série d'acquisition est générée tous les 25cm environ.

Les paramètres de la sonde sont les suivants :

- Pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- Salinité, déduite de la mesure de conductivité ;
- Température ;
- Turbidité par mesure de la néphélométrie ;

- Fluorescence qui permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

1.3.1.2 Analyse des éléments majeurs, pH, Hydrocarbures et MES

Un sous-échantillonnage à partir de prélèvements en bouteilles Niskin est effectué pour :

- Le dosage des ions calcium, sodium, potassium, magnésium, qui sont déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- Le dosage des ions chlorures réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- La mesure de pH (pHmètre WTW) ;
- La détermination de la concentration en MES obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore de 0,45µm de porosité).

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

L'analyse des hydrocarbures est réalisée uniquement sur la station St16. Celle-ci est effectuée au laboratoire d'analyse Micropolluant en France. L'analyse est effectuée d'après la norme NF T90-203 ou DINEN ISO 9377-2. La définition de l'indice en hydrocarbures dissous revient au dosage des hydrocarbures des chaînes carbonées comprises entre C10 et C40 par chromatographie gazeuse. Cette méthode permet de doser 0,1mg/l d'hydrocarbures.

1.3.1.3 Analyse des sels nutritifs

Les échantillons d'eau nécessaires aux différentes déterminations analytiques sont directement conditionnés à bord du bateau dans du flaconnage soit en :

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6h qui suivent le prélèvement) de l'ammonium ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire du prestataire. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites et de phosphates sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous et du phosphore organique dissous sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatman GF/F le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20°C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire du prestataire. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire et le phosphore organique particulaire.

La méthodologie de mesure pour les nitrates + nitrites, ammonium, phosphates, silicates est précisée dans les rapports de suivi du prestataire.

1.3.1.4 Analyse de matière organique

Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique dissous ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation et les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. Ceci par la méthode d'oxydation par voie humide utilisée, simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures sont effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbe, modèle Autoanalyseur III.

Les valeurs brutes obtenues correspondent à la concentration de matière organique totale. Les valeurs de la matière organique dissoute sont alors calculées par la différence entre les valeurs de matière organique totale et celles de forme minérale et particulaire.

Pour l'azote organique dissous, le domaine de concentrations mesurées est <40%mol/L et la limite de quantification est de 0,130%mol/L. Pour le phosphore organique dissous, le domaine de concentrations mesurées est <7µmol/L et la limite de quantification est de 0,050µmol/L.

Azote et phosphore organiques particulaires

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ et les PO_4 . La méthode d'oxydation par voie humide utilisée est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures sont effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbe, modèle Autoanalyseur III.

Les valeurs de la matière organique particulaire sont alors calculées de la façon suivante :

Concentrations en azote organique particulaire = $(\text{NO}_3 + \text{NO}_2) \times V_1/V_2$

Concentrations en phosphate organique particulaire = Phosphate $\times V_1/V_2$

V_1 étant le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V_2 le volume d'eau de mer filtré (mL).

Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et $40 \mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification de $0,130 \mu\text{mol/L}$ pour l'azote organique particulaire et entre 0,75 et $7 \mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification de $0,050 \mu\text{mol/L}$ pour le phosphate organique particulaire.

Carbone organique particulaire

L'analyse des filtres a été conduite sur un analyseur CHN (Carbone, Hydrogène, Azote) selon le principe de la combustion de la matière organique par l'oxygène, suivi d'un dosage du dioxyde de carbone et de l'azote formés. L'analyse de carbone organique particulaire est effectuée par le laboratoire des moyens analytiques de Dakar.

1.3.1.5 Analyse des pigments chlorophylliens

La concentration de pigments chlorophylliens est déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord du bateau puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

Les dosages ont été effectués par la méthode fluorométrique de Lorenzen (1966) qui présente une très grande sensibilité. Les pigments chlorophylliens sont extraits du filtre par un solvant organique, leur détection s'effectue, après excitation dans un faisceau lumineux à 450 nm, par mesure de la fluorescence émise à 670 nm. Sur chaque extrait, la mesure de fluorescence est effectuée deux fois, avant et après acidification.

L'écart de fluorescence observé entre ces deux lectures est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle a + Phéophytine a. Etant données les interférences dues aux chlorophylles b et c, la précision des mesures dépend de la nature même des communautés de producteurs primaires. La limite de quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de $0,01 \mu\text{g/L}$.

1.3.1.6 Analyse des métaux dissous dans la colonne d'eau

Conditionnement des échantillons :

Pour chacune des stations d'une campagne de suivi, les 3 profondeurs (surface, mi-profondeur et fond) sont prélevées en 3 lots destinés à différents types d'analyse :

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à $0,45 \mu\text{m}$ (pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments dissous CrVI/Cr-total effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- Les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à $0,45 \mu\text{m}$ (filtres Millipore, qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de Rouen pour l'analyse de l'As dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) (NF EN ISO 17294-2).
- Les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à $0,45 \mu\text{m}$ en ligne (filtres Millipore, qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les pré-concentrations terminées, chaque colonne de résine est bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux sont élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2mol/L).

L'analyse des éléments dissous Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, et Zn est ensuite effectuée par spectrométrie d'émission optique par torche à plasma (ICP-OES ; Marque Varian, modèle Vista). Cette méthode a été développée par Moreton et al. (2009).

Les limites de quantification des métaux dissous pour cette méthode sont les suivantes :

Element	LQ (µg/L)
As	1
Cd	0,025
Co	0,027
CrVI/Cr-total	0,05
Cu	0,025
Fe	0,059
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,1
Zn	1

Traitements statistiques :

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Afin de se rapprocher de la réalité, les limites instrumentales de détection (LD), plus basses que les LQ, sont incluses dans le traitement statistique. Dans cette étude, la relation qui peut être admise entre ces deux grandeurs correspondant à un facteur de 3, les valeurs prises en compte ont été diminuées d'autant. Les valeurs inférieures à cette LD sont considérées comme nulles.

1.3.2 Méthode de mesures des sédiments marins de surface

Granulométrie

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est réalisée sur 4 échantillons de fraction fine (<41µm) par granulométrie laser (Malvern master Sizer 2000). La granulométrie laser est réalisée à l'Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC).

Minéralogie

Les déterminations minéralogiques sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur 4 échantillons de fraction fine (<41µm). Cette analyse a été confiée à l'ALS Metallurgy basé en Australie.

Dosage de la concentration totale des métaux

La concentration totale des éléments, contenue dans les différents horizons de la carotte sédimentaire, est déterminée par l'addition des concentrations analysées lors des extractions séquentielles sélectives menées sur la fraction pélitique des sédiments.

Dosage des métaux dans les phases géochimiques

Les étapes d'extractions séquentielles sont conduites avec un protocole modifié de type Tessier et al., 1979 et Quevauvillier et al., 1997 comprenant 4 phases géochimiques. Cette méthode d'extraction est adaptée aux milieux carbonatés.

Pour chaque échantillon, 2g de pélites ont été nécessaires pour extraire les métaux des 4 phases géochimiques qui sont :

- La phase oxydable (Phase 1) : cette fraction représente les éléments liés à la matière organique et aux sulfures des sédiments. Leur extraction est conduite par un oxydant fort (H₂O₂) en milieu acide ;
- La phase acido-soluble (Phase 2) : c'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné qui attaque en particulier la matrice carbonatée du sédiment. Elle contient également des éléments très faiblement liés aux autres phases géochimiques ;
- Formes réductibles (Phase 3) : elles sont associées aux oxy-hydroxydes de fer et de manganèse principalement. Leur extraction s'opère avec un agent réducteur puissant en milieu faiblement acide ;
- La phase résiduelle (phase 4) : elle représente les éléments fortement liés aux constituants de la matière minérale tels que les silicates et aluminosilicates. L'analyse des métaux réfractaires a été conduite après attaque de la matrice géochimique par fusion alcaline, selon le protocole en vigueur à l'IRD.

Tous les réactifs utilisés sont de marque Merck, qualité ProAnalysis. Les béchers et ustensiles sont soit en verre, PEHD ou en téflon.

Après une mise en solution, les 8 éléments suivants sont analysés par ICP-OES : Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni et Zn.

Après conversion des données en concentrations relatives, les limites de quantification (LQ en mg/kg MS) des métaux sont les suivantes :

Elément	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Phase 1,2 et 3 (mg/kg ps)	13	0,125	0,25	0,125	0,5	0,125	0,25	1,25
Phase 4 (mg/kg ps)		5		4			41	103

Traitements statistiques

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Dans cette étude, afin de se rapprocher de la réalité, les valeurs en dessous de la LQ sont majorées au seuil de limites respectives pour chaque élément.

1.3.3 Méthode de mesures des densités de flux verticaux de particules

Immersion des pièges à sédiments séquentiels

Les flux verticaux de particules apportés par le réseau hydrologique sont estimés par collecte de séries temporelles d'échantillons de MES. Cette opération est assurée par le déploiement de pièges à particules de type séquentiel de 0,05 m² de section efficace (Technicap, type PPS4/3) qui sont grésés sur une ligne de mouillage. La collecte séquentielle est réalisée avec un pas de temps programmé de 96 heures (4 jours), soit un total de 12 échantillons pour 48 h. Une fois réceptionnés au laboratoire, les prélèvements de MES sont séchés, conditionnés puis conservés dans des sachets à usage unique.

Tamissage

Les MES piégées sont tamisées afin de séparer la fraction fine (<41µm) de la fraction grossière (>41µm).

Teneur en carbonates

Celle-ci est calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations de Ca et Mg établies en mg/kg après attaque totale (fusion alcaline) des fractions fines (<41µm) de MES.

Granulométrie

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est réalisée sur 4 échantillons de fraction fine (<41µm) par granulométrie laser (Malvern master Sizer 2000). La granulométrie laser est effectuée à l'UNC.

Minéralogie

Les déterminations minéralogiques sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur 4 échantillons de fraction fine (<41µm). Cette analyse a été confiée à l'ALS Metallurgy en Australie.

Dosage élémentaire

Celui-ci est réalisé par la méthode dite « minéralisation eau régale ». Les échantillons de fraction fine sont attaqués avec de l'acide à haute température en conditions hyperbares. Le Ca, Mg, S et 5 métaux (Co, Cr, Fe, Mn, Ni) sont analysés par ICP-OES. Des échantillons de référence (MESS-3 et PACS-2) ont été attaqués selon le même protocole pour la validation des résultats de mesures.

Dosage des HCT

L'analyse des hydrocarbures totaux est effectuée sur le sédiment brut par la norme NF EN ISO 9377-2. Ce dosage n'a pas pu être conduit en raison du manque de masse récoltée dans les godets des pièges séquentiels à particules.

Evaluation des flux de MES

Une fois les MES caractérisés, les influences terrigènes et marines (ratio de Ca/Fe) ainsi que les flux sont estimés ($\text{g/m}^2/\text{j}$) et confrontés aux différents régimes météorologiques.

1.3.4 Méthode de mesures des taux d'accumulation des sédiments

Extraction des carottes

Les prélèvements des carottes sont effectués avec un carottier conçu pour les faibles profondeurs afin que la mise en œuvre puisse s'effectuer à partir d'une embarcation à faible tirant d'eau. Le carottier est composé de tubes amovibles de 0,60m ou 1,20m de longueur pour un diamètre externe de 8cm. Des tubes en plexiglass sont utilisés afin de conserver l'intégrité géochimique des sédiments. Par ailleurs, ce type de carottier présente l'avantage d'assurer une très bonne conservation de l'interface eau-sédiments.

Après extraction, chaque carotte est maintenue verticalement jusqu'à son découpage intégral en différents horizons d'une épaisseur égale à 1 cm. Une prise d'essai d'un volume de 10mL de sédiment a été effectuée à l'aide d'une seringue dans chaque horizon pour les déterminations des densités et de la porosité des sédiments nécessaires au calcul des taux d'accumulation.

Les horizons de carotte échantillonnés ont été conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-pack), congelés puis lyophilisés.

Les opérations réalisées sur les différents horizons dans les colonnes sédimentaires St16, St15, St13 et St06 sont les suivantes :

- Détermination de la concentration totale des métaux après attaque des sédiments par fusion alcaline et analyse par spectrométrie d'émission (ICP-OES) ;
- Détermination des taux d'accumulation par la méthode dite du « ^{210}Pb en excès ». Dans cet objectif, la radioactivité des radionucléides naturels ^{210}Pb et ^{226}Ra a été déterminée par spectrométrie gamma basse énergie dans chaque horizon de sédiment brut.

Sur seulement 4 horizons sélectionnés après un examen visuel de la carotte, une analyse des populations de grains par granulométrie laser et une détermination de la composition minéralogique par diffraction de rayons X (DRX) sont conduites.

Tous les échantillons de sédiments destinés au dosage des métaux ont été tamisés par voie humide afin de récupérer les fractions pélitiques (particules de diamètre $<40\mu\text{m}$) ; la fraction pélitique étant considérée de longue date comme la fraction la plus réactive en matière d'échanges géochimiques avec les métaux.

Dosage des carbonates

Les teneurs en carbonate sont déterminées par la méthode dite du « calcimètre de Bernard ». Cette méthode consiste en une attaque du sédiment par une solution d'acide chlorhydrique qui génère la formation de CO_2 . Le volume de gaz est titré et la concentration en carbonate de calcium est déterminée par relation stœchiométrique.

Granulométrie

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction $<2000\mu\text{m}$. La distribution de ces 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 (DRX)

La minéralogie sera déterminée par diffraction de rayons X (DRX) avec un appareillage INEL équipé d'une anticathode Cu. Une fois les différents minéraux identifiés (carbonates, sulfures, oxydes...), leurs proportions relatives sont évaluées en utilisant une procédure de type affinement Rietveld. Les diffractions semi-quantitatives sont effectuées par AEL à l'UNC.

Dosage de la concentration totale en métaux

L'analyse de la concentration totale des métaux, contenus dans les horizons des différentes carottes, a été conduite par attaque totale des sédiments par fusion alcaline. Après mise en solution, les métaux Co, Cr, Fe, Mn, Ni et Ca ont été dosés par ICP-OES.

Géochronologie

La datation des horizons sédimentaires nécessaire à l'évaluation des taux d'accumulation, a été obtenue par l'analyse de la radioactivité d'un radio-scope, le ^{210}Pb , naturellement présent dans les sédiments. La technique consiste à déterminer :

- Le ^{210}Pb « atmosphérique », dit « en excès » qui provient indirectement de la désintégration du ^{222}Rn , descendant gazeux du ^{226}Ra contenu dans les roches qui se dégage dans l'atmosphère. Intégré aux aérosols, en quantités importantes selon un flux supposé constant, le ^{210}Pb est d'abord entraîné par les pluies, puis transporté par les rivières jusqu'à la mer, où il va sédimenter avec les particules.
- Le ^{210}Pb « supporté » qui apparaît au sein même de la roche (ou du sédiment) et qui ne subit donc pas le cycle atmosphérique. Son apport en sédiments découle de l'érosion des sols et de son transport fluvial vers le bassin de sédimentation.

Le ^{210}Pb constitue un excellent outil permettant la datation des carottes sédimentaires sur une échelle de temps de l'ordre de 100 ans.

Dans les couches sédimentaires, la radioactivité du ^{210}Pb d'origine atmosphérique décroît de manière exponentielle en fonction du temps à un taux fixé par sa période de demi-vie. A une profondeur donnée sous l'interface eau-sédiment, la radioactivité du ^{210}Pb dépend donc de la durée écoulée depuis sa déposition et du taux d'accumulation. La radioactivité propre du ^{210}Pb en excès est calculée en soustrayant à la radioactivité totale du ^{210}Pb celle du ^{210}Pb « supporté », mesurée dans les niveaux les plus profonds, où la contribution atmosphérique est négligeable.

L'âge du sédiment est obtenu selon les équations issues des modèles CIC et CRS.

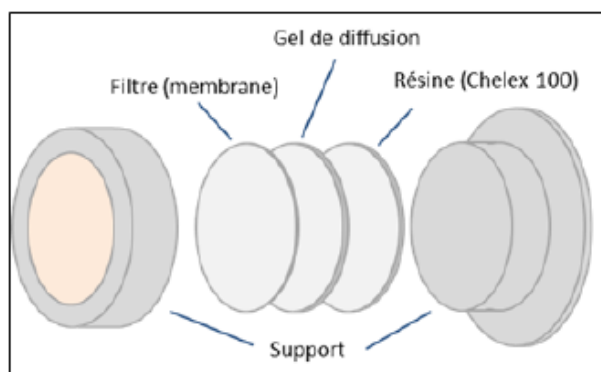
La radioactivité du ^{210}Pb est déterminée par spectrométrie gamma basse énergie à 46.54 keV. La chaîne de mesures utilisée est composée d'un spectromètre ORTEC X et d'un détecteur au béryllium de 80% de rendement.

1.3.5 Méthode de mesures des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur

Les échantillonneurs passifs (DGT)

Un échantillonneur passif correspond à un dispositif de type DGT (Diffusive Gel in Thin layer) de 4 cm de diamètre environ. Le DGT est composé, d'une part, d'un support en plastique inerte en 2 parties (couronne de maintien et piston) et, d'autre part, de l'empilement d'une membrane filtrante, d'un gel de diffusion et d'une résine absorbante spécifique de type Chelex-100 permettant de piéger les métaux pour lesquels il existe un agent de liaison sélectif (éléments divalents).

Le DGT permet ainsi de mesurer les espèces dissoutes labiles des métaux (assimilables à celles disponibles pour le biote), que celles-ci soient de nature inorganique ou issues de complexes organiques, dans un large éventail de concentrations. Lorsque cette technique est associée à l'analyse par ICPE-MS en particulier, les limites de quantification figurent alors parmi les plus basses atteignables.



Le passeur d'échantillonneurs passifs : THOË

L'exposition des DGT au milieu à surveiller est assurée par un passeur automatisé appelé THOË. Cet appareil novateur, développé par AEL, permet d'effectuer in situ une série d'échantillonnages étalés dans le temps en fonction d'une programmation prédéfinie. Cet échantillonnage séquentiel du milieu

naturel est réalisé par l'intermédiaire d'un plateau rotatif, pouvant accueillir 12 DGT, équipé d'une fenêtre d'exposition.



Les THOËs sont grées sur une ligne instrumentée permettant leur mouillage à 3m et/ou 6m au-dessus du fond selon la station.

A la fin de chaque campagne, les THOËs sont démontés et l'ensemble des DGT de chaque appareil est récupéré. Cette opération est réalisée en conditions ultra-propres au laboratoire. Les DGT sont identifiés et observés visuellement afin de constater la présence ou l'absence de biofilm à leur surface. Les résines sont ensuite extraites de leurs supports en plastique respectifs et éluées dans une solution d'acide nitrique. Enfin, les éluats sont analysés par ICP-MS pour le dosage des concentrations en Mn et Ni.

1.3.6 Méthode de suivi des peuplements récifaux et organismes associés

Les paramètres biologiques indicateurs de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés sont suivis selon les prescriptions établies par la Direction de l'Environnement de la province Sud suite à l'atelier dédié aux suivis marins de mars 2006, et validés dans la Convention pour la Conservation de la Biodiversité établie en 2008.

Le bureau d'études en charge de ce suivi est AQUA TERRA.

- **Organisation de l'échantillonnage sur les stations**

Vérification des stations

Les travaux d'échantillonnages sur site peuvent être séparés en deux grandes phases :

- ✓ Localisation des stations sur le terrain (coordonnées GPS) et vérification sous l'eau ;
- ✓ Echantillonnage. La récolte des données porte sur l'habitat (le substrat), le benthos et les poissons ainsi qu'en la réalisation de vidéos et de photos.

Positionnement

Les coordonnées des stations sont préalablement rentrées dans le GPS (appareil Garmin GPSmap 60CSx), dont la précision est métrique.

Une fois rendue sur place, l'équipe vérifie la concordance entre ces coordonnées et les profondeurs aussi prévues selon les cartes, grâce au sondeur du bateau.

Une reconnaissance en PMT (palmes / masque / tuba, de la surface) est alors effectuée afin de repérer les piquets marquants des transects de la station.

Les plongeurs emmènent à cette occasion une bouée qu'ils attachent au 1^{er} piquet (0 m) du 1^{er} transect haut (le A), afin de permettre la prise des coordonnées exactes par GPS.

Lorsque les transects sont éloignés les uns des autres, cette manœuvre est répétée pour chacun.

Matérialisation

La méthode de suivi temporel statistique retenue exige que les échantillonnages soient toujours réalisés sur les mêmes zones.

Cette précision implique la matérialisation physique de la station sous l'eau.

Les stations avaient toutes été matérialisées en 2005 puis vérifiées ou rematérialisées en 2007 & 2008. Elles sont, depuis, entretenues à chaque mission (remplacement des piquets quand nécessaire).

Pour la résistance à l'oxydation, au recouvrement par les organismes marins, ... et faciliter leur perception visuelle sous l'eau, les piquets employés pour les campagnes sont en acier galvanisé dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Longueur : 2 m,
- ✓ Diamètre : 12 mm,
- ✓ Peinture de protection grise et bande de marquage visuel (20 cm) en haut orange fluo,
- ✓ Une pointe effilée.

Pour placer à bonne distance les piquets, un ruban métré est déroulé.

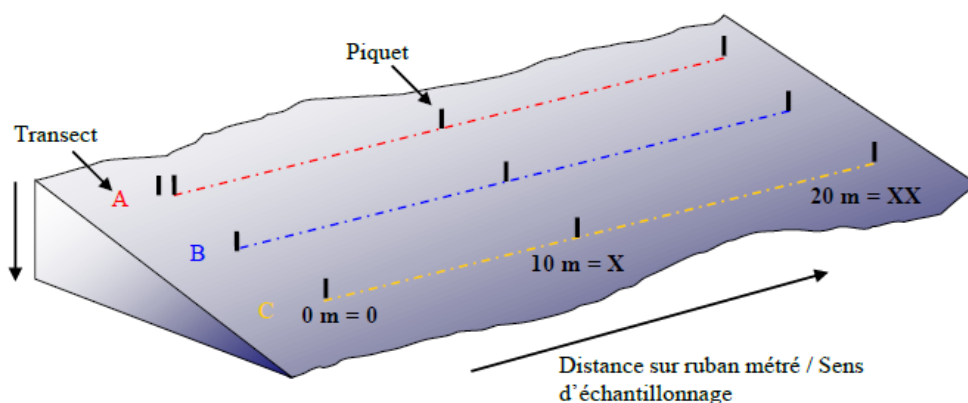
Les transects de suivi

Pour permettre le suivi des peuplements récifaux et des organismes associés, le suivi est effectué selon des transects (lignes) de 20m de long.

A chaque station, 3 transects de 20m sont positionnés en fonction de la profondeur :

- Sur le haut du tombant (noté A) ;
- Sur le milieu du tombant (noté B) ;
- Sur le bas du tombant (mais au maximum à 20m de profondeur, et à l'exclusion des zones de vase et dans ce cas, le transfert est effectué avant la zone de vase) (noté C).

Pour matérialiser les transects, 3 piquets permanents sont positionnés sur chacun : au départ (soit 0m), à 10m, et à la fin (soit 20m). Par ailleurs, un 2^{ème} piquet est posé au point 0m du 1^{er} transect (le plus haut).



Organisation temporelle

L'échantillonnage du substrat étant basé sur la méthode en continu sur une ligne fixe, il est primordial pour la fiabilité du suivi de retrouver les transects placés précédemment et de les entretenir.

Cependant, cette maintenance peut influencer sur la biocénose : les mouvements des plongeurs et le bruit occasionné par les coups sur les piquets peuvent perturber la faune pélagique (attraction ou au contraire fuite).

Par ailleurs, selon le substrat, cet effort peut rendre la visibilité très mauvaise du fait de la mise en suspension de sédiments fins du fond.

• Protocole pour l'étude du substrat

L'analyse temporelle doit permettre de montrer les variations entre les pourcentages de couverture corallienne, de végétaux, d'éponges,

Les pourcentages de substrat biotique et de substrat abiotique doivent aussi bien être mis en évidence. Pour cela, c'est la méthode dite « LIT » qui a été appliquée.

La méthode du Line Intercept Transect (LIT) de English & al (1997) [01] est largement utilisée par les experts locaux pour l'évaluation de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés.

Cette méthode est dite à points fixes car seules les espèces et le substrat sous le transect sont notés. Cette méthode permet d'évaluer la variabilité du substrat (suivi environnemental tous les semestres et/ou tous les ans). Cependant le LIT n'est pas représentatif de la biodiversité de la zone car les données prises en compte sont exclusivement celles sous le ruban.

L'évaluation du substrat est faite le long du transect (sous le ruban) selon le principe des classes continues, avec une résolution de 10 cm.

Le principe est de noter à chaque changement de catégorie de substrat (= classe) la distance donnée par le ruban : le diagramme montre les points de transition (D) de chaque catégorie de substrat rencontré sous le transect. La différence entre deux points de transition est la "longueur" correspondante à cette catégorie.

• **Protocole pour l'étude du benthos**

Cet échantillonnage doit permettre de quantifier la richesse spécifique (biodiversité) et de montrer si des changements ont lieu sur des taxons cibles.

Pour cela, c'est la méthode d'observation sur couloirs qui a été appliquée.

Le couloir fait une largeur de 5 m (2.5 m de part et d'autre de chaque transect de 20 m de longueur).

Cette méthode donne une bonne représentation des communautés benthiques (inventaires faune et flore) car une zone importante est prospectée et étudiée (100 m² pour chaque transect soit 300 m² par station théorique).

Inventaire détaillé et détermination au niveau taxonomique

Les taxons cibles retenus sont :

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

Par ailleurs, la densité en organismes dans une zone d'étude étendue est difficile à évaluer précisément et peut conduire à de nombreuses erreurs. Aussi, afin de simplifier les opérations sous-marines et d'éviter les erreurs d'abondance, une échelle de recouvrement de 1 à 5 a été mise en place au sein des groupes faunistiques suivant (détermination au niveau taxonomique le plus bas possible : générique et si possible spécifique) :

- ✓ Scléractiniaires, Millépores, Antipathaires, Gorgones, Stolonifères (coraux durs),
- ✓ Alcyonaires (coraux mous),
- ✓ Algues (macrophytes),
- ✓ Spongiaires,
- ✓ Ascidies,
- ✓ Mollusques (bivalves, gastéropodes, nudibranches),
- ✓ Echinodermes (étoiles de mer, oursins, holothuries, crinoïdes).

Cette échelle d'abondance a été modifiée par rapport à l'échelle d'abondance de English et al, 1997. Elle a été élaborée afin de caractériser l'abondance spécifique ou générique des biocénoses marines. Ainsi les pourcentages de recouvrement ont été réduits pour les indices (numéroté de 1 à 5) afin de pouvoir décrire les scléractiniaires, les macrophytes et les invertébrés sur l'ensemble de l'échelle.

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

Certains genres de scléractiniaires (coraux durs) s'édifient en de grandes colonies de plusieurs mètres carrés (en particulier les formes massives, *Porites* spp., *Lobophyllia* spp., *Platygyra* spp., *Diploastrea heliophora*). Une seule de ces colonies peut ainsi construire un massif atteignant jusqu'à 10 mètres de diamètre. Dans ce cas, le fait d'indiquer le nombre de colonies n'a pas de sens. Pour ces espèces, une échelle paramétrée supplémentaire de 1 à 5 tient compte des mètres carrés colonisés par les colonies sur le couloir (pourcentage de recouvrement).

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

Evaluation du blanchissement

Si les espèces recensées sont influencées par le blanchissement, elles sont alors mises en valeur dans les tableaux d'inventaire taxonomique par un surlignage de couleur rouge et une échelle de degré de blanchissement (numérotée de B1 à B5) est annotée à côté de l'abondance.

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

Par ailleurs, une estimation du pourcentage de blanchissement par estimation visuelle est aussi donnée (% de recouvrement sur le couloir de 100 m²).

Les autres indicateurs à suivre

Les plongeurs relèvent aussi tous les autres indices (négatifs ou positifs) pouvant permettre d'affiner le diagnostic de l'état de santé du milieu, notamment :

- ✓ Les cyanobactéries qui font l'objet d'un suivi de leur abondance, de leur localisation et des substrats recouverts ;
- ✓ Les espèces corallivores (prédatrice de coraux), qui sont particulièrement surveillées ;
- ✓ Les espèces exogènes et/ou envahissantes qui sont recherchées ;
- ✓ Le blanchissement des espèces coralliennes est noté et quantifié, au niveau de tous les taxons observés (B1 à B5) ;
- ✓ Le recouvrement de coraux blanchis est également estimé (pourcentage visuel de blanchissement de la surface récifale étudiée) ;
- ✓ Les maladies coralliennes (particulièrement la maladie de la bande blanche et les anomalies de croissance) sont notées au niveau de tous les taxons observés ;

Les perturbations récifales : dégradations mécaniques et hyper sédimentation sont relevées.

• **Protocole pour l'étude des poissons**

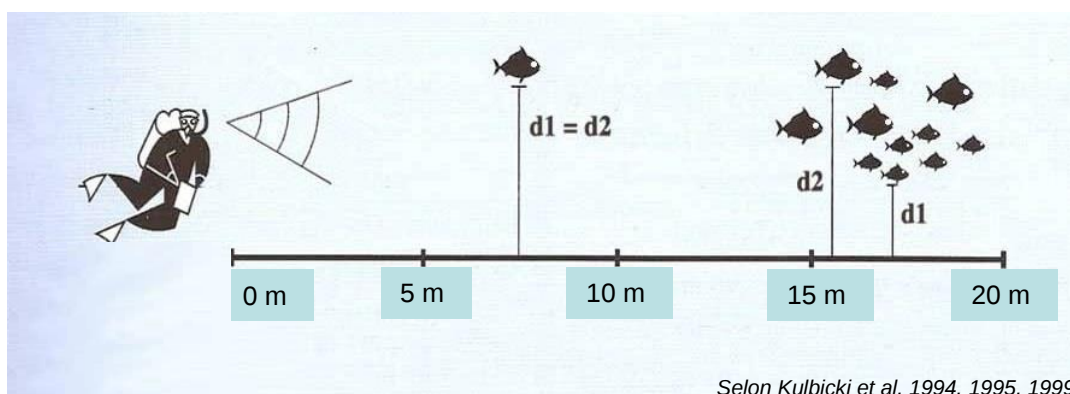
Ce protocole doit permettre d'évaluer les variations de divers paramètres liés à la structure des populations ciblées, en relation avec l'impact potentiel de l'usine et de ses activités ou toute autre cause de changements.

Pour cela, c'est la méthode dite des Transects à Largeur Variable « TLV » qui est appliquée.

Les poissons sont échantillonnés par comptage visuel sous-marin : un ou deux plongeurs progressent le long du transect et comptent les espèces retenues de part et d'autre.

Au cours de cette opération les plongeurs notent pour chaque espèce le nombre d'individus et estiment leur taille et leur distance perpendiculaire au transect.

Lorsque les individus d'une même espèce sont en banc, le plongeur note la distance du poisson le plus proche (D1) et la distance du poisson le plus éloigné (D2).



Les paramètres de chaque plongée sont notés par la personne de surface, au fur et à mesure. Ils comprennent notamment (liste non exhaustive) :

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

• Le traitement des données

Traitement des données pour le substrat

Le principe d'échantillonnage par LIT est de noter à chaque changement de catégorie de substrat (= classe) la distance donnée par le ruban. La différence entre deux points de transition est alors la "longueur" correspondante à cette catégorie.

Le traitement consiste ici à faire le calcul du pourcentage de recouvrement de chaque classe, qui est obtenu par la somme de "ses longueurs" divisée par la longueur du substrat multipliée par 100.

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

Traitement des données pour le benthos

La recherche de paramètres écologiques types (et représentatifs) ont été réalisés sur les taxons cibles :

- ✓ Listing au niveau taxinomique demandé ;
- ✓ Richesse spécifique (le cas échéant) ;
- ✓ Abondance (semi-quantitative).

Ces résultats seront comparés entre les transects, les stations et les sites.

Par ailleurs, afin de pouvoir évaluer rapidement le changement d'état d'une station d'une mission à une autre (recrutement, mortalité, blanchissement et abondance), un code couleur simple est établi.

Nouvelle espèce recensée	Recrutement si la colonie est juvénile et/ou nouvelle espèce recensée dans le couloir ou la zone prospectée par rapport à la dernière mission
Mortalité	Espèce absente dans le couloir par rapport à la dernière mission
Blanchissement	Espèce influencée par le blanchissement et de couleur blanche
Espèce cible	Espèce cible (biocénoses benthiques hors coraux durs)
Echelle (1 à 5)	Augmentation de l'abondance par rapport à la dernière mission
Echelle (1 à 5)	Diminution de l'abondance par rapport à la dernière mission
Echelle (1 à 5)	Pas de changement de l'abondance par rapport à la dernière mission

La restitution des données comprend donc aussi :

- ✓ La liste taxonomique des biocénoses benthiques (liste conservative) ;
- ✓ Les tableaux (biodiversité) des groupes biotiques par sites, stations et transects ;
- ✓ Les tableaux (abondance) des groupes biotiques par transect ;
- ✓ Les tableaux de variations spécifiques des biocénoses et de l'état de santé des coraux scléractiniaires entre 2 missions ;
- ✓ Les particularités et commentaires des biocénoses benthiques ;
- ✓ La liste d'espèces classées sur la liste rouge de l'UICN ;
- ✓ L'analyse des indicateurs de l'état de santé des récifs :
 - a) Coraux scléractiniaires (recrutement, mortalité, maladies) ;
 - b) Blanchissement corallien en termes de nombre d'espèces et de recouvrement (en %) ;
 - c) Espèces cibles (a minima Cyanobactéries, *Drupella cornus*, *Acanthaster planci*, *Culcita novaeguineae*, *Cliona orientalis* et *C. jullieni*).

Les données sont comparées aux missions précédentes.

La grille de lecture des tableaux de variations entre 2 missions (mission actuelle vs mission précédente) est présentée dans le tableau ci-après. Pour cette étude, il est fait une différence entre les biocénoses et les coraux.

Glossaire des tableaux comparatifs de l'évolution de biodiversité, d'abondance et de l'état de santé	
Biocénoses	Ensembles des espèces vivantes coexistant dans un espace défini
Biocénoses*	Englobe l'ensemble des espèces benthiques hors Coraux* à exosquelette
Coraux*	Coraux à exosquelette (scléractiniaires, millépores, antipathaires, gorgones, stolonifères)
n	Nombre d'espèce
i	Degré d'abondance compris entre 1 et 5 (Échelle semi-quantitative relative au nombre de colonie par unité de surface)
A	Abondance (nombre de colonie par unité de surface)
B	Blanchissement (nombre de colonies blanchies par unité de surface)
Genre espèce	Identification se référant à la liste taxonomique
sp.	Spécimen sans identification spécifique
spp.	Plusieurs spécimens du même genre mais pas de la même espèce sans identification spécifique
• Evolution de la richesse spécifique des Coraux* et des Biocénoses*	
Genre sp. (+n spp.)	n espèce(s) du genre cité ont nouvellement été recensée(s)
Genre sp. (-n spp.)	n espèce(s) du genre cité ont disparu
• Variation d'abondance « A »	
Ai	L'espèce est abondante au degré « i » compris entre A1 à A5
ΔAi /+ x	L'espèce est abondante au degré « i » mais a augmenté d'abondance de «+x» degré(s) depuis la mission précédente
ΔAi /- x	L'espèce est abondante au degré « i » mais a diminué d'abondance de «-x» degré(s) depuis la mission précédente

• Blanchissement corallien « B »	
n blanchies	Nombre d'espèce(s) blanchie(s)
% d'espèces blanchies	(n espèces scléractiniales blanchies / n espèces scléractiniales)*100
Bi	L'espèce est blanchie au degré « i » compris entre B1 à B5
• Evolution du nombre d'espèce(s) blanchie(s)	
N	Espèce nouvellement blanchie depuis à la mission précédente
+n spp. B*	Augmentation du nombre d'espèces blanchies au sein d'un genre
-n spp. B*	Diminution du nombre d'espèces blanchies au sein d'un genre
• Evolution du degré de blanchissement	
ΔB +i	Le blanchissement de l'espèce a augmenté de « i » degré(s) depuis la mission précédente (le degré actuel apparaît dans les espèces blanchies)
ΔB -i	Le blanchissement de l'espèce a diminué de « i » degré(s) depuis la mission précédente (le degré actuel apparaît dans les espèces blanchies)
∞	Espèce toujours blanchie mais pas de changement par rapport à la dernière mission
ØB	L'espèce n'est plus blanchie par rapport à la mission précédente

L'approche statistique s'est intéressée à la variation de la biodiversité α dans le temps, en considérant que la biodiversité α d'une station la caractérise.

Ce rapport présente les résultats obtenus lors de la dernière mission sur le peuplement benthique (coraux à exosquelette, invertébrés hors coraux durs et macrophytes) et les compare aux résultats des missions précédentes qui lui sont comparables.

Deux analyses statistiques sont proposées : par Anovar et le test de Friedman.

ANOVAR (comparaisons temporelles) : La prise en considération de l'ensemble des transects et stations de la zone donne une série statistique exploitable et permet une analyse temporelle. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée :

- Par l'amélioration du protocole au fur et à mesure des missions,
- Par un choix de stations très hétérogènes : baie de Prony *versus* canal Woodin et canal de la Havannah. Les stations du canal de la Havannah montrent également une grande hétérogénéité des paramètres environnementaux (stations sur des bancs à fort courant, stations exposées aux alizés et d'autres au contraire protégées à plus faible hydrodynamisme).

Test de Friedman (test de rang) : Le test de Friedman a dans le cas présent plus d'intérêt que celui de Kruskal & Wallis. Ce test, appelé «test en blocs aléatoires complets », a pour préalable d'ordonner les résultats des différents traitements à l'intérieur de chaque bloc préétablis.

Ici, sera considéré que les « traitements » sont les conditions environnementales propres à chacune des années de la série historique et que les « blocs » sont les transects qui sont chaque année réévaluée, et dans ce cas, ce sera une analyse en colonnes :

$$\chi^2_{\text{obs}} = 12/pq(p+1) \cdot \sum Y_i^2 - 3q(p+1)$$

p et *q* désignant respectivement le nombre d'années (donc de colonnes) et le nombre de transects (donc de lignes). Le degré de liberté $ddl = p-1$ pour l'analyse par années.

Les données quantitatives sont obtenues sans réplicat et sont donc sans intervalle de confiance. Les stations ne peuvent donc être comparées individuellement, ni entre elles, ni d'une année sur l'autre. Seule la considération de l'ensemble des stations de la zone comme une série statistique permet le calcul d'un intervalle de confiance. Avec ce subterfuge la comparaison temporelle de la zone (et uniquement temporelle) peut alors être faite. Toutefois, la puissance de cette analyse est lourdement entravée par l'hétérogénéité des stations et les fortes variances que cette hétérogénéité entraîne.

Traitement des données pour les poissons

Les résultats des comptages par TLV reprennent la nomenclature et l'orthographe des espèces, des genres et des familles de Randall J.E. ou Fish Base.

FAMILLES	ABREVIATIONS	FAMILLES	ABREVIATIONS	FAMILLES	ABREVIATIONS
Acanthuridae	Aca	Epinephelinae	Epi (Serranidae)	Ophidiidae	Oph
Anthiidae	Ant (Serranidae)	Fistulariidae	Fist	Ostraciidae	Ost
Apogonidae	Apo	Gobiidae *	Gob	Pinguipedidae	Pin
Atherinidae	Ath	Grammistidae	Gra (Serranidae)	Platacidae	Pla
Aulostomidae	Aul	Haemulidae	Hae	Plesiopidae	Ple
Balistidae *	Bal	Holocentridae	Hol	Pomacanthidae	Poc
Blenniidae *	Ble	Kyphosidae	Kyp	Pomacentridae *	Pom
Caesionidae	Cae	Labridae *	Lab	Priacanthidae	Pri
Canthigasteridae *	Can	Latridae	Lat	Pseudochromidae *	Pse
Carangidae	Car	Leiognathidae	Lei	Ptereleotridae	Pte
Carcharhinidae	Cac	Lethrinidae	Let	Scaridae	Sca
Centriscidae	Cen	Lutjanidae	Lut	Scombridae	Scom
Chaetodontidae	Cha	Malacanthidae	Mal	Scorpaenidae *	Sco
Cirrhitidae	Cir	Microdesmidae	Mic	Siganidae	Sig
Dasyatidae	Das	Monacanthidae	Mon	Sphyraenidae	Sph
Diodontidae	Dio	Mullidae	Mul	Synodontidae	Syn
Dussumieriidae	Dus	Muraenidae	Mur	Tetraodontidae	Tet
Echeneidae	Ech	Myliobatidae	Myl	Uranoscopidae	Ura
Ephippidae	Eph	Nemipteridae *	Nem	Zanclidae	Zan

Les familles retenues par la DENV sont en caractères gras

* Familles dont les espèces ne sont pas toutes retenues au cahier des charges

La densité et la biomasse des poissons sont calculées selon les formules théoriques suivantes :

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

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

Où :

- ✓ L : longueur du transect (20 m)
- ✓ n_i : nombre d'individus de l'espèce i
- ✓ w_i : poids de l'espèce i (g) (de l'espèce i : donc de tous les individus i de cette espèce)
- ✓ d_i : distance moyenne de l'espèce i au transect (m)
- ✓ p : nombre d'espèces.

Le poids des individus (en g) a été estimé d'après leur taille en utilisant une relation d'allométrie taille-poids, du type :

$$w_i = a l_i^b$$

Où :

- ✓ l_i = longueur du poisson
- ✓ a et b = variables

Ces variables sont des coefficients mis au point par Kulbicki & al. [15] pour environ 350 poissons du lagon. Ils sont utilisés couramment et notamment par la CPS dans leur logiciel de traitement.

Exemple de calcul pour « poisson »

Espèce	Nombre (ni)	Longueur (li) cm	Poids (wi) g	D 1	D2	Surf m ²	Densité (D) / m ²	Biomasse (W) g/m ²	a	b
<i>Pomacentrus aurifrons</i>	20	3	15,52	1	1,5	25	0,8	0,621	0,028	3,02

ni = nombre de poissons observés de cette espèce = 20

li = longueur moyenne de chaque individu = 3 cm

wi = poids de tous les individus de cette espèce = $(0.028 * 3^{3.02}) * 20 = 15.52$ g

D1 et D2 sont les distances minimale et maximale des individus observés = 1 m et 1.5 m

Surf = surface d'échantillonnage = $di * L = (1+1.5) / 2 * 20 = 25$ m²

D = densité eg. le nombre de poissons par m² = $20 / 25 = 0.8$ individu au m²

W = biomasse = $15.52 / 25 = 0.621$ g/m²

La stabilité spatiale et temporelle des résultats sur la zone est alors testée par des analyses paramétriques (ANOVA) et des analyses non-paramétriques de type χ^2 de Pearson et dérivés (tests de rangs de Friedman et de Kruskal-Wallis).

Présentation des données

Les données recueillies sont ensuite présentées par station avec un rappel des résultats des précédentes missions.

Chaque fiche-station se décline selon 4 tableaux :

- ✓ Un premier tableau donne les résultats quantitatifs obtenus sur les TLV (Densité et Biomasse/m²) et la biodiversité relative à la liste du cahier des charges de la DENV.

Ce tableau présente une moyenne pour la station.

En effet, il a été démontré au cours des précédentes missions que la proximité des transects les uns par rapport aux autres ne permettait pas d'isoler dans le peuplement de la station, les individus par tranche bathymétrique et donc par transect. La majorité des espèces, notamment les plus grosses (loches, dawas, carangues, etc.), n'ont pas de préférence bathymétrique sur l'intervalle de profondeurs des stations, c'est-à-dire entre 4 et 20 m. Seules de petites espèces sont inféodées à la profondeur – essentiellement entre la surface et 5 m et au-delà de 5 m – mais la plupart d'entre elles ne figurent pas sur la liste de la DENV (gobies, blennies, syngnathes, ...).

- ✓ Un 2^{ème} tableau donne l'ensemble des espèces.
- ✓ Un 3^{ème} tableau regroupe les espèces (liste DENV) en familles et donne une comparaison des structures par famille depuis 2007.

Attention : Fort des remarques pertinentes de la mission INERIS, cette comparaison a été modifiée. Celle-ci se faisait à l'aide d'un χ^2 de Pearson global, en ce sens qu'il portait sur l'ensemble des données obtenues depuis 2007. Le tableau ainsi analysé comportait un grand nombre de 0 et un grand nombre de valeurs < 5, soit deux travers qui nuisent à la signification du test.

Nous procéderons dorénavant à une transformée de variables en mettant à profit la série de données obtenue depuis 2007, et cela de la manière suivante :

Supposons qu'en octobre 2019, 13 espèces de Pomacentridés aient été observées sur une station particulière Sti et que sur toute la série historique 55 espèces aient été observées sur cette Sti - bien que le lagon néocalédonien en contienne 93. La valeur 13 sera alors transformée en la rapportant à son maximum possible (55) soit 23,6 (%).

En revanche, s'il s'agit des Siganidae, qui ne sont que 12 espèces en Calédonie et 10 dans le sud, à supposer que sur cette même Sti, 6 aient été dénombrées le même mode de transformation aboutira à la valeur 60 (%).

Notons que ces nouvelles valeurs ne sont pas de véritables % ce qui obérerait l'utilisation raisonnable d'un test de χ^2 . En effet, elles ne correspondent pas à des pourcentages pour la mission j à la station i, mais pour l'item Pomacentridae, Siganidae, etc., à la Sti... leur somme ne fait d'ailleurs pas 100 sur la Sti. Ces valeurs sont donc indépendantes et répondent aux critères d'utilisation du test de χ^2 .

En substance cette transformation a plusieurs avantages :

1° - Elle gomme les disparités naturelles entre familles. En effet, dans l'exemple précédent 13 espèces de Pomacentridés a l'air d'être une valeur forte par rapport à la valeur 8 des espèces de Siganidae. Mais en fait, si l'on considère que ces dernières ne peuvent pas dépasser 10 sur notre aire de surveillance et même 12 pour le lagon calédonien tout entier, alors que les Pomacentridés sont 55 sur cette aire de surveillance et 93 sur l'ensemble du lagon, il apparaît alors que les Siganidae sont mieux représentés que les Pomacentridés... ce qui est correctement traduit par la nouvelle variable.

2° - Elle réduit considérablement le nombre de zéros et de valeurs faibles (i.e. < 5), et écarte ainsi le risque d'avoir une matrice de données dégénérées.

3° - Elle procure des valeurs indépendantes qui peuvent donc être traitées par des tests statistiques.

- ✓ Un 4^{ème} tableau reprend l'historique de l'ensemble des données quantitatives auquel fait suite leurs représentations graphiques.

Comparaison des données

Des indices calculés à partir des paramètres de densité, de biomasse et de biodiversité permettent une appréciation globale de la qualité du peuplement. Ce qui permet de proposer une cotation à 12 niveaux tant pour les stations que pour les missions.

CODES 1 (MAUVAIS)		CODES 2 (MÉDIOCRE)		CODES 3 (BON)		CODES 4 (EXCELLENT)	
Valeur d'Indice	Notes	Valeur d'Indice	Notes	Valeur d'Indice	Notes	Valeur d'Indice	Notes
1,00	1	1,75	4	2,50	7	3,25	10
1,25	2	2,00	5	2,75	8	3,50	11
1,50	3	2,25	6	3,00	9	≥ 3,75	12

1.3.7 Méthode de suivi des herbiers de la baie Kwé

Une première mission a été effectuée en avril 2014 et a permis de réaliser :

- ✓ Le parcours de toute la baie afin de déterminer les grandes formations présentes ;
- ✓ La première description générale, avec prise de points (ou de tracés) GPS des zones remarquables, des limites, ... ;
- ✓ Le repérage pour situer la radiale traversant chaque herbier et positionner les stations ;
- ✓ La matérialisation des quadrats (1 à chaque station) ;
- ✓ La description des communautés benthiques et des peuplements de poissons des zones remarquables (composées d'herbiers) ;
- ✓ L'échantillonnage des quadrats.

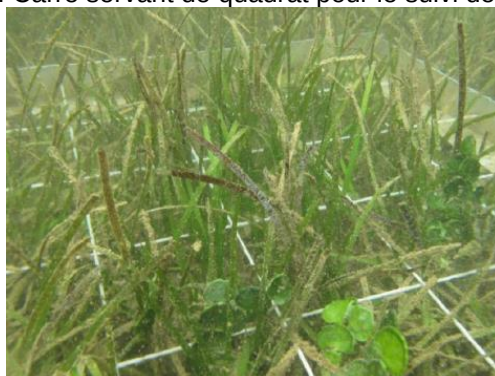
Les stations sont positionnées le long d'une radiale traversant chaque herbier et perpendiculaire à la terre.

L'intérêt de toute étude biologique est de pouvoir comparer les évolutions du milieu dans le temps. Cette méthode de suivi temporel statistique exige que les échantillonnages soient toujours réalisés sur les mêmes zones. Cette précision a impliqué la matérialisation physique des quadrats (1 par station) sous l'eau.

Pour cela des piquets ont été plantés dans le sol en formant un carré délimitant les 4 angles des quadrats. Les quadrats retenus ont comme dimension 50 X 50 cm et possèdent des séparations, verticalement et horizontalement tous les 10 cm, qui forment en tout 25 carrés de 10 X 10 cm soit 100 cm² (0.01 m²) chacun. Afin d'obtenir des répliques, 9 carrés ont été échantillonnés à chaque fois (soit une surface de 0.09 m²).

L'échantillonnage consiste à compter tous les pieds de phanérogames présentes et de les déterminer, ainsi que de noter les autres organismes inclus dans ce périmètre.

Photo 1 : Carré servant de quadrat pour le suivi des herbiers



2 BILAN DES DONNEES DISPONIBLES

2.1 Bilan des données historiques

Le tableau 8 dresse la liste des campagnes historiques de suivi du milieu marin.

Tableau 8 : Rappel des campagnes historiques de suivi du milieu marin

Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer et de la structure de la colonne d'eau	Rescan, Supplemental Baseline Technical Report : Physical Oceanography (octobre 2000) Supplmental Baseline Technical Report : Marine Environment (novembre 2000)
	Caractérisation physico-chimique des eaux sur 18 stations - IRD (2005) (Convention Goro
	Etat de référence de la qualité physico-chimique des eaux du canal de la Havannah et de la baie de Prony sur 18 stations - IRD (2007) (Convention Goro Ni/IRD n°1312)
	Campagnes de suivi réalisées par Vale NC (AEL) : mars 2009, août 2009, mars 2010, août 2010, mars 2011, août 2011, mars 2012, août 2012, mars 2013, août 2013, mars 2014, août 2014, mars 2015, août 2015, mars 2016, août 2016, avril 2017, août 2017, mars 2018, août 2018
Caractérisation des sédiments	Rescan (2000)
	Apports sédimentaires à l'embouchure du creek de la rade Nord en baie de Prony - IRD
	Etat de référence de la qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments sur 18 stations - IRD (2006) (Convention IRD/Goro Ni n°9135 AO)
	Etat de référence de la distribution superficielle des sédiments, flux sédimentaires et taux d'accumulation dans la baie de Prony et dans la baie Kwé - IRD (2007)
	Campagnes de suivi effectuées par Vale NC (AEL) : 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018
Caractérisation des éco-systèmes marins	Caractérisation des milieux marins dans la région de Prony - Pierre Thollot/Laurent Wantiez (1994)
	Evaluation environnementale du projet Goro Nickel Milieu marin - Rescan/ACREM/AZEP (août 2000)
	Caractérisation des communautés biologiques coralliennes dans le cadre du projet Goro Nickel - ACREM/Sebastien Saramegna (juillet 2000)
	Caractérisation du milieu marin sur 15 stations - Rescan/ACREM (avril 2004)
	Caractérisation des communautés marines biologiques autour du futur émissaire du projet Goro Nickel - Sabrina Virly/Pierre Laboute (mai 2005)
	Caractérisation des communautés marines biologiques sur 6 stations du canal de la Havannah - Pierre Laboute (juillet 2005)
	Etat de référence des peuplements récifaux et poissons associés en baie de Prony et dans le canal de la Havannah - AZEP/ACREM (août 2005)
	Expertise en baie de Prony - Pierre Laboute (août 2005)
	Etat de référence des habitats coralliens le long du tracé de l'émissaire en baie Kwé et canal de la Havannah - Melanopus (mars 2007)
	Caractérisation du milieu marin le long du tracé de l'émissaire - Soproner (mai 2007)
	Etat biologique de 5 stations sur le tracé de l'émissaire - Aqua Terra/ACREM (novembre 2007)
	Suivi de l'état des communautés coralliennes en baie de Prony et canal de la Havannah - AZEP (décembre 2007)
	Campagnes de suivis réalisées par Vale NC sur l'état des communautés coralliennes et des populations associées en baie de Prony et dans le canal de la Havannah - Aqua Terra : octobre 2008, juin 2009, mars 2010, août 2010, mars 2011, août 2011, mars 2012, octobre 2012, mars 2013, septembre 2013, mars 2014, octobre 2014, mars 2015, octobre 2015, avril 2016, novembre 2016, avril 2017, septembre 2017, mai 2018, novembre 2018
Caractérisation des herbiers en baie Kwé	Herbier de la baie Kwé : Etude des phanérogames dans quadrats - Aqua Terra (avril 2017)
Suivi des concentrations en manganèse et autres métaux dans le champ proche du diffuseur	Rapport de synthèse des phases 1 & 2 - AEL (campagnes de décembre 2016 à octobre 2017)
	Rapport de synthèse - AEL (2018)

2.2 Bilan des données disponibles au 2^{ème} semestre 2019

Au deuxième semestre 2019, 100% du plan de suivi réglementaire du milieu marin prescrit dans les arrêtés d'autorisation a été réalisé.

Les campagnes de suivi réalisées sont les suivantes :

- ✓ Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone Sud du lagon de Nouvelle-Calédonie ;
- ✓ Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le canal de la Havannah, la baie Kwé et la rade Nord de Prony ;
- ✓ Suivi de la station ST16 : évolution physico-chimique de la colonne d'eau et géochimie des sédiments récents ;
- ✓ Suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur ;
- ✓ Suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés.

3 PRESENTATION DES RESULTATS DE SUIVI DU MILIEU MARIN

3.1 Etats de référence et tendances évolutives

Concernant le suivi du milieu marin, il n'y a pas de dépassement de seuils réglementaires proprement dit. En effet, il ne s'agit pas d'émissions sujettes à des seuils¹ mais de la surveillance de la santé des écosystèmes et de la qualité du milieu récepteur (eau et sédiments) par rapport à leur état de référence et par comparaison avec des zones témoins.

La méthode de suivi BACI (Before/After & Control/Impact) est appliquée.

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

3.2 Résultats du suivi du 2^{ème} semestre 2019, et interprétations

3.2.1 Résultats du suivi de la qualité physico-chimique de l'eau et de la structure de la colonne d'eau de mer

La campagne de suivi est effectuée par AEL.

Le rapport de « suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone Sud du lagon de Nouvelle-Calédonie – 2nd semestre 2019 », présentant les résultats détaillés de la campagne, est disponible en annexe 1.

La campagne a été effectuée du 20 au 22 août 2019, correspondant à la « saison fraîche », sur les 14 stations de suivi listées au point 1.2.1.

Cas particulier de la station St16 qui est suivie à fréquence trimestrielle. Les campagnes du 2^{ème} semestre ont été effectuées le 22 août et le 10 octobre 2019.

Le rapport 2019 de AEL est disponible en annexe 2.

Pour l'ensemble des stations de suivi, l'eau a été échantillonnée sur 3 profondeurs (sub-surface : -3m ; mi-profondeur ; proximité du fond : +3m du fond) puis analysée selon un protocole bien spécifique développé au point 1.3.1.

¹ Le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, élaboré en 2011 par ZoNeCo/CNRT présente des grilles de lecture et des références bibliographiques pour chaque type d'indicateur. Ce guide est actuellement en cours de révision pour optimisation du plan de suivi.

Il est important de noter que les conditions hydro-climatiques ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Ainsi, les conditions météorologiques avant et pendant la campagne d'échantillonnage sont illustrées aux figures 9 et 10.

Figure 9 : Hauteurs des précipitations enregistrées pendant les jours avant et pendant la campagne d'échantillonnage – données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation « Goro usine »

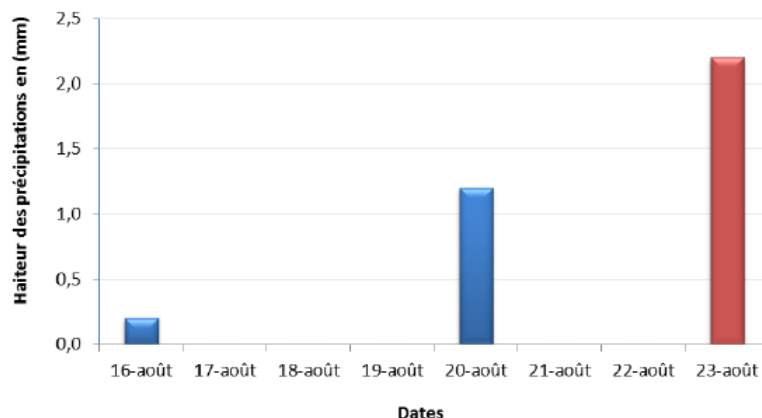
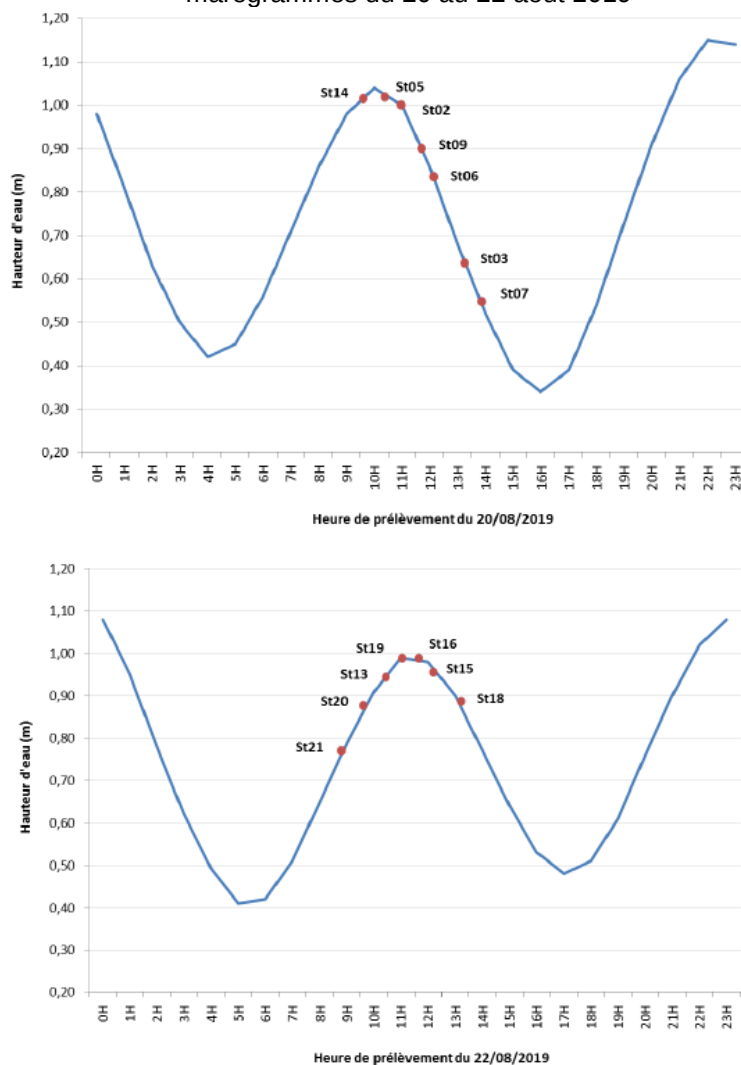


Figure 10 : Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'août 2019 reportée sur les marégrammes du 20 au 22 août 2019



Les analyses des résultats de cette campagne pour les différents types de suivi sont indiquées ci-après :

- **Structure des masses d'eau (température, salinité, fluorescence, turbidité)**

Les profils des variables physico-chimiques révèlent l'impact de l'effet saisonnier et des conditions météorologiques. En effet, le faible volume de précipitations relevé avant et pendant la campagne rend moins visible l'influence des apports d'eau douce provenant des creeks. Ces influences sont décelables tant au niveau des baies (St03, St06 et St15) que dans celle de l'île Ouen (St13 et St20) où les valeurs de salinité sont plus faibles en corrélation avec des températures plus fraîches.

Aucune couche turbide de profondeur n'est observée comme à l'accoutumée. Néanmoins, des couches turbides sont présentes en surface dans la baie du Prony (St16 et St19) pouvant être liées au brassage des masses d'eau à l'étal de marée.

De manière générale, la fluorescence est faible et augmente légèrement avec la profondeur. Quelques valeurs fortes ont été relevées au niveau des stations des baies en surface (St16 et St19) et à mi-profondeur (St15) de la baie du Prony et en profondeur de Port-Boisé (St03) et baie Kwé (St06).

Dans la plupart des cas, les profils physico-chimiques obtenus permettent de confirmer que les stations situées dans le canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont principalement influencées par les apports océaniques qui renouvellent les masses d'eaux par le biais des phénomènes de marées. Ces mécanismes distinguent ces stations de celles du reste du réseau. De plus, un phénomène d'halocline est visible dans la couche de surface aux stations St03, St06, St16 et St19 comme conséquence de la stratification des eaux.

Enfin, des turbidités notables sont observées en surface des stations St16 et St19.

- **Éléments majeurs et pH**

Les concentrations en éléments majeurs (Ca, K, Mg, Na, Cl, SO₄) sont très homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes.

Le pH moyen est également particulièrement homogène dans l'ensemble de la zone d'étude (8,10).

- **Matières en suspension**

Les concentrations en MES sont relativement homogènes dans la zone d'étude à l'exception de celles mesurées dans la baie du Prony qui sont légèrement plus élevées. Aucun gradient côte-large est visible à contrario des campagnes précédentes.

La quantité de MES la plus élevée a été mesurée à mi-profondeur de la station loro (St07).

- **Sels nutritifs (nitrates et nitrites, ammonium, phosphates, silicates)**

La quantification des sels nutritifs réalisée sur l'ensemble de la zone montre des profils de répartition bien distincts.

La distribution spatiale des silicates suit un gradient côte-large décroissant traduisant les apports terrigènes dans les baies du Prony essentiellement mais également observables au niveau des baies du Canal.

Les concentrations moyennes en sels nutritifs du Canal de la Havannah et de l'île Ouen, majoritairement influencées par les apports océaniques, sont plus faibles que celles des baies à l'exception des nitrates et nitrites par la présence d'une valeur forte à la station de loro. La répartition verticale de ces éléments dans la colonne d'eau est variable.

Les quelques concentrations en nitrates, nitrites et ammonium plus importantes reflètent l'influence des apports de matières organiques d'origines océaniques et ses cycles de production/dégradation concomitants.

Les concentrations en phosphates n'étant pas quantifiables, à l'exception de la station St07, aucune interprétation ne peut être faite.

Depuis le début des campagnes « saisons fraîches », la mesure des concentrations en sels nutritifs ne montre pas d'évolution significative des concentrations moyennes obtenues dans les 4 zones étudiées.

- **Matières organiques et chlorophylle**

Les concentrations en azote organique particulaire (NOP) et phosphate organique particulaire (POP) ainsi que celles en azote organique dissous (NOD) montrent une légère influence terrigène. Leur répartition côte-large décroissante habituelle n'est pas franchement marquée lors de cette campagne. En revanche les concentrations de phosphate organique dissous (POD) sont réparties de manière

homogène dans toute la zone d'étude et ne présente pas de gradient. Globalement, les concentrations en NOD/POD et NOP/POP sont du même ordre de grandeur que lors des campagnes précédentes. Les concentrations de chlorophylle-a mesurées sont plus importantes dans le canal de la Havannah et ses baies, tout comme celles en ammonium (baies du canal) et en nitrates + nitrites (canal de la Havannah) qui entrent dans le cycle de la production primaire exprimée en première approximation par la chlorophylle-a. Ces concentrations restent globalement faibles lors de cette campagne comparativement aux années précédentes.

- **Métaux dissous**

Les métaux latéritiques chrome 6, chrome total, manganèse et nickel présentent dans l'ensemble une distribution côte-large décroissante avec la distance à la côte. Ces métaux proviennent directement des sols miniers dans lesquels ils sont prédominants dans cette zone géographique. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau dans les baies du canal et de la baie du Prony.

Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du canal de la Havannah et de l'île Ouen qui sont majoritairement influencées par les apports océaniques.

Les concentrations de zinc, cadmium et cobalt sont souvent non quantifiables inférieurs à la limite de quantification, à l'exception d'une valeur pour le cobalt.

L'arsenic est naturellement présent dans le milieu (élément ubiquiste) et ne présente donc pas de distribution spatiale particulière dans le domaine d'étude.

Pour le cuivre, fer et plomb, seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées.

Globalement, les concentrations d'arsenic, chrome 6, chrome total, manganèse et nickel mesurées lors de la campagne d'août 2019 restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées depuis 2007.

Résultats des campagnes de suivi sur la station St16 :

La qualité physico-chimique des masses d'eau de la station St16 est sous influence des apports terrigènes de la baie du Prony.

Les niveaux de concentrations des éléments majeurs, du pH, des carbonates et des hydrocarbures de St16 ne montrent pas de tendance particulière pour 2019.

L'étude des concentrations des métaux dissous mesurées depuis le début des campagnes trimestrielles ne dégage également aucune tendance au fil des ans.

Les concentrations obtenues lors des campagnes de 2019 restent dans les mêmes ordres de grandeur que celles mesurées depuis le début des campagnes.

3.2.2 Résultats du suivi de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés

La campagne de suivi est effectuée par AQUA TERRA, ACREM et BIOCENOSE MARINE.

Le rapport complet « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah-octobre 2019 » est disponible en annexe 3.

La campagne s'est déroulée respectivement en octobre et novembre 2019 (S43 et S46).

Il convient de noter que seule 1 station n'a pas pu être échantillonnée. Il s'agit de la station ST10 située dans la réserve intégrale Yves Merlet.

Les suivis montrent que l'ensemble de la zone d'étude est sous influence de facteurs anthropiques, et de facteurs perturbateurs naturels (houle, ressac, courant de marée, turbidité, dessalure) et météorologiques exceptionnels. La conjugaison de ces facteurs perturbateurs entraîne dans le temps des réactions en chaîne comme la remobilisation du matériel corallien le long des pentes récifales, le développement de cyanobactéries, d'algues...

- **Analyse du substrat**

Les observations sur les indicateurs coralliens et les espèces cibles s'orientent lors de cette mission sur un état de santé « peu satisfaisant » à « bon » :

- ✓ **Peu satisfaisant :**

- ST01 : ancienne prolifération d'*Acanthaster planci* et mortalité corallienne importante ;
- ST02 : prolifération d'*Acanthaster planci*, perturbation sédimentaire et mortalité corallienne importante ;

- ST03 : prolifération d'*Acanthaster planci* et perturbation sédimentaire régulière, développement de *Lobophora* et mortalité corallienne importante ;
- ST04 : prolifération d'*Acanthaster planci* et mortalité corallienne importante, et perturbation sédimentaire au transect A ;
- ST12 : ancienne prolifération d'*Acanthaster planci*, maladie de la bande blanche et mortalité corallienne.
- ✓ Moyen :
- ST05
- ST06
- ST07
- ST09
- ST11
- ✓ Bon :
- ST08 : résilience notable.

La résilience des récifs est déterminante dans l'évaluation de l'état de santé.

Or, cette régénération paraît être plus lente pour les stations exposées aux agents hydrodynamiques depuis que les événements dépressionnaires sont de plus en plus fréquents.

Les proliférations d'*Acanthaster planci* en baie de Prony et Woodin ont fait et vont continuer de faire augmenter significativement la mortalité corallienne dans ces zones.

De plus, cette résilience est particulièrement sinieuse et affaiblie pour 2 stations. Ces récifs ayant une reprise lente et en dent de scie, sont soumis comme toutes les stations du réseau aux perturbations naturelles et anthropiques (activité portuaire, ...).

• Analyse des populations ichtyologiques

Cette mission ne présente pas de valeur ni d'événement exceptionnel à soulever en comparaison avec les précédents suivis.

Le tableau 9 dresse un récapitulatif des paramètres biologiques pour l'ichtyofaune.

Tableau 9 : Récapitulatif des paramètres pour l'ichtyofaune

	Stations	Nb	Dens	Biom	Biod.1	Biod.2	Biod.3	Ish	Eq
Baie de PRONY	ST01 ILOT CASY	74	1,23	17,66	17	50	76	3,251	0,795
	ST02 CREEK BAIE NORD	63,5	1,06	8,26	16	50	70	2,796	0,699
	ST03 PORT	57,33	1,43	5,26	18	47	67	3,153	0,756
	Variances (σ^2)	71,03	0,03	41,85	1	3	21	0,06	0
	Ecart types (σ)	8,43	0,19	6,47	1	1,73	4,58	0,24	0,05
	Moyennes (μ)	64,94	1,24	10,39	17	49	71	3,07	0,75
	Coef. de Var(σ/μ)	0,13	0,15	0,62	0,06	0,04	0,06	0,08	0,06
	Int. de Conf. 95%	9,73	0,21	7,47	1,15	2	5,29	0,28	0,06
Canal de la HAVANNAH	ST04 WOODIN	355	4,56	372,66	75	91	135	4,591	0,737
	ST05 IORO	118,67	1,76	32,54	48	62	97	4,628	0,829
	ST06 IONONTEA	129,67	1,43	80,08	58	87	136	4,949	0,845
	ST07 B. CHAMBEYRON	661,67	6,07	1960,11	76	90	118	2,678	0,429
	ST08 PUKA	119	1,14	42,73	35	74	106	3,995	0,779
	ST09 BANCS KIE	130,33	1,69	20	50	72	102	4,538	0,804
	ST11 TOEMO								
	ST12 UGO	206	1,59	134,05	70	93	127	5,107	0,833
	Variances (σ^2)	276	3,96	186,9	30	52	84	2,651	0,54
	Ecart types (σ)	35188	3,37	434722	310,5	228,84	357,27	0,94	0,02
	Moyennes (μ)	187,58	1,83	659,33	17,62	15,13	18,9	0,97	0,15
	Coef. de Var(σ/μ)	249,54	2,78	353,63	55,25	77,63	113,13	4,14	0,72
	Int. de Conf. 95%	0,75	0,66	1,86	0,32	0,19	0,17	0,23	0,21

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

Pour cette mission, c'est la station ST03 (Port) qui présente les plus faibles chiffres pour le nombre d'individus et la biomasse. C'est la station ST02 (Creek baie nord) qui a la richesse spécifique et la densité les moins élevées. C'est la station ST07 (Basse Chambeyron) qui présente l'indice d'équitabilité le plus bas (comme précédemment) et la station 12 (Ugo) pour l'indice de Shannon.

Pour cette mission c'est la station ST07 (Basse Chambeyron) qui est particulièrement riche en nombre d'individus, densité, richesse spécifique et biomasse.

La station ST11 (Toémo) présente le meilleur taux pour l'indice de Shannon et c'est la station 06 (Ionotea) qui a le plus fort indice d'équitabilité : ce sont donc des stations avec une structure des populations très homogène. A noter : pour une fois, ce n'est pas le cas de toutes les stations puisque la ST07 et la ST12 ont un indice d'équitabilité < 0.6.

Le tableau 10 quant à lui fournit une appréciation de la qualité du peuplement au travers d'une cotation à 12 niveaux.

Tableau 10 : Note de chaque station selon la qualité du peuplement de poissons

	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST11	ST12
	Casy	C. baie nord	Port	Woodin	Ioro	Ionotea	B. Chamb.	Puka	B. Kié	Toémo	Ugo
2019 a	12	8	5	12	8	11	12	5	9	10	5
Moy. 3 ans	11	5	6	12	7	12	11	6	9	8	6
2018 b	11	7	6	12	5	12	11	8	6	8	4
2018 a	12	2	8	12	8	12	ind	7	12	9	7
2017 b	11	3	6	11	6	12	10	5	9	7	6
2017 a	9	7	6	12	6	12	11	6	7	6	8

Lors de cette mission, les stations de Casy, Basse Chambeyron, Bancs Kié et Toémo ont eu une meilleure note, alors que la station de Puka a eu une note en légère baisse. Les autres stations sont restées à peu près stables.

Il faut souligner que les stations de Casy, Woodin, Ionotea et Basse Chambeyron ont de plus des peuplements ichtyologiques exceptionnels.

Enfin, on peut noter que l'invasion d'Acanthaster notée à Woodin depuis 2018 n'a pas eu d'incidences notables sur l'ichtyofaune de cette station.

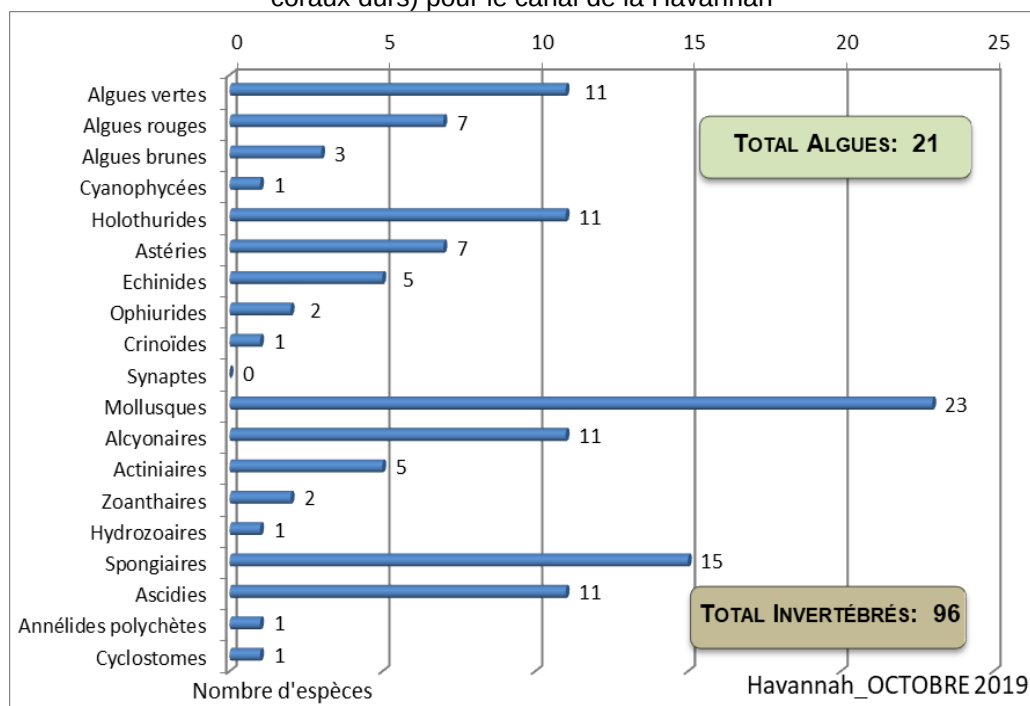
• **Analyse du benthos**

La composition spécifique du benthos est définie par site : canal de la Havannah, canal Woodin, baie de Prony.

En octobre 2019, la richesse spécifique du site Havannah est composée de :

- 96 espèces d'invertébrés ;
- 21 espèces de macrophytes ;
- 1 espèce de cyanobactéries.

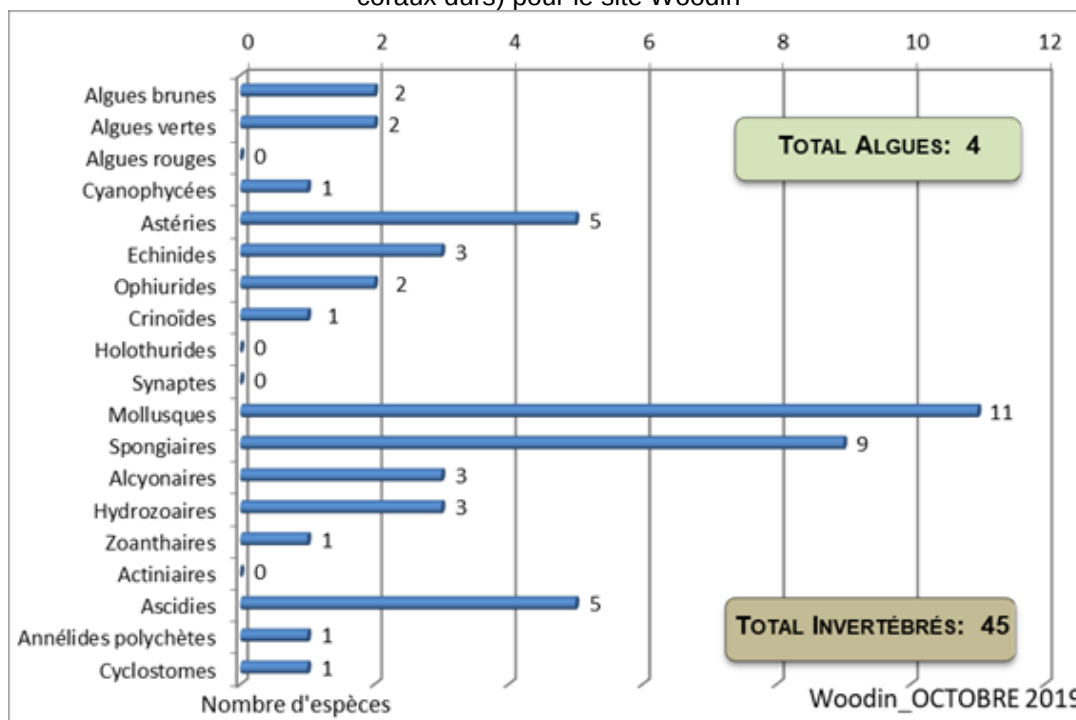
Figure 11 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le canal de la Havannah



La richesse spécifique du site Woodin en octobre 2019 est composée de :

- 45 espèces d'invertébrés ;
- 4 espèces de macrophytes ;
- 1 espèce de cyanobactérie.

Figure 12 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour le site Woodin

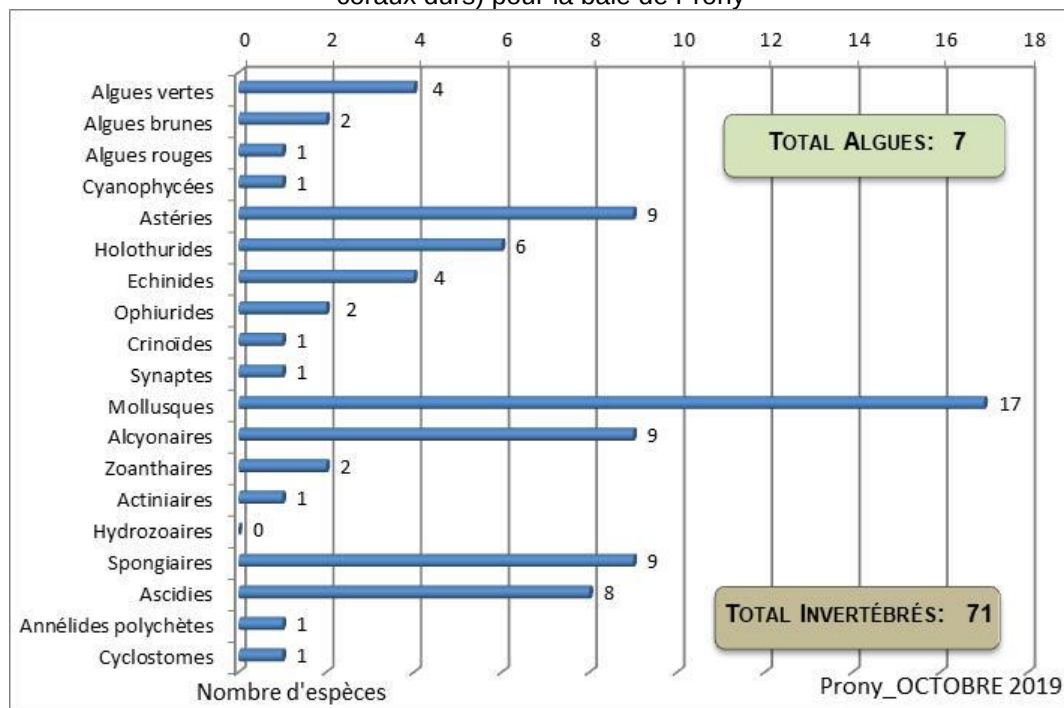


Enfin, pour la même période, la richesse spécifique du site Prony est composée de :

- 71 espèces d'invertébrés ;

- 7 espèces de macrophytes ;
- 1 espèce de cyanobactérie.

Figure 13 : Répartition par groupe de la richesse spécifique des macrophytes et invertébrés (hors coraux durs) pour la baie de Prony



Il convient de noter que la biodiversité de chaque site est dépendante des conditions du milieu mais également du nombre de stations échantillonnées car les espèces se répartissent à travers le récif (ainsi le nombre potentiel d'espèces recensées augmente généralement avec la surface prospectée). Le plan d'échantillonnage est très disparate dans la zone d'étude car 7 à 8 stations sont étudiées dans le canal de la Havannah, 3 stations dans la baie de Prony et une station seulement dans le canal Woodin.

3.2.3 Résultats du suivi de la qualité des sédiments marins de surface

Ce suivi est effectué à fréquence triennale pour les stations indiquées au point 1.2.3. (Prochain suivi en 2021) ; à l'exception de la station St16 qui est suivie annuellement par AEL. La campagne a été effectuée le 14 mars 2019.

Le rapport de suivi est consultable en annexe 2.

La caractérisation physico-chimique des 4 premiers horizons de la carotte montre que les sédiments sont composés quasi-exclusivement de fraction pélitique (<41µm). Ils contiennent de la calcite (influence océanique) et, dans une moindre mesure de la goethite (influence terrigène).

On constate également des concentrations résiduelles et totales de Co, Cr, Fe et Ni mesurées en 2019 supérieures à celles de 2010, ce qui suggère un accroissement des apports terrigènes. Cette progression n'a toutefois pas de conséquence sur la fraction disponible (oxydable + acido-soluble).

Enfin, les concentrations de S lixiviable et échangeable mesurées lors de la campagne sont semblables à celles recueillies en 2011.

3.2.4 Résultats du suivi des densités de flux verticaux de particules

La campagne de suivi s'est déroulée du 31 juillet au 17 septembre aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE.

Cette prestation est réalisée par AEL. Le rapport complet « Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le canal de la Havannah, la baie Kwé et la Rade Nord de Prony » est disponible en annexe 4.

Cette campagne est caractérisée par une pluviométrie très faible et quelques épisodes venteux.

Les paramètres influant les apports de particules sont :

- Les précipitations pour la St15 via l'érosion et le transport des sols par le creek de la Rade Nord et la dispersion du panache dans la baie du Prony conditionnée par les vents ;
- Les précipitations et/ou vents des régimes S pour la station St06-KW1 via l'effet de houle et de re-suspension des particules fines sédimentées dans la baie Kwé ;

Pour la St60-NE, comme à l'accoutumée aucune corrélation pertinente ne se dégage. Les panaches latéritiques, beaucoup plus dilués à cette station, seraient conditionnés par un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore possible d'expliquer.

Depuis 2007, les ratios Ca/Fe en St60-NE et St06-KW1 enregistrés mettent en évidence un enrichissement du canal de la Havannah et de la baie Kwé en matières latéritiques, ce qui continue à s'exercer lors de cette campagne. En effet, les concentrations en métaux latéritiques sont globalement supérieures à celles recueillies lors de l'état de référence. Pour la St15, ceux-ci restent relativement invariables. En ce qui concerne les concentrations de Ca et S, seul l'enrichissement du S est observé à St60-NE. Toutefois, l'hypothèse d'une potentielle influence de l'effluent sur la formation de gypse reste non avérée ; selon les analyses minéralogiques, les MES piégées à cette station n'en contiendraient pas.

3.2.5 Résultats du suivi du taux d'accumulation sédimentaire

Ce suivi est effectué par AEL à fréquence triennale. Aucun suivi n'a été réalisé en 2019. Le prochain suivi du taux d'accumulation sédimentaire est programmé pour 2020.

3.2.6 Résultats du suivi des herbiers en baie Kwé

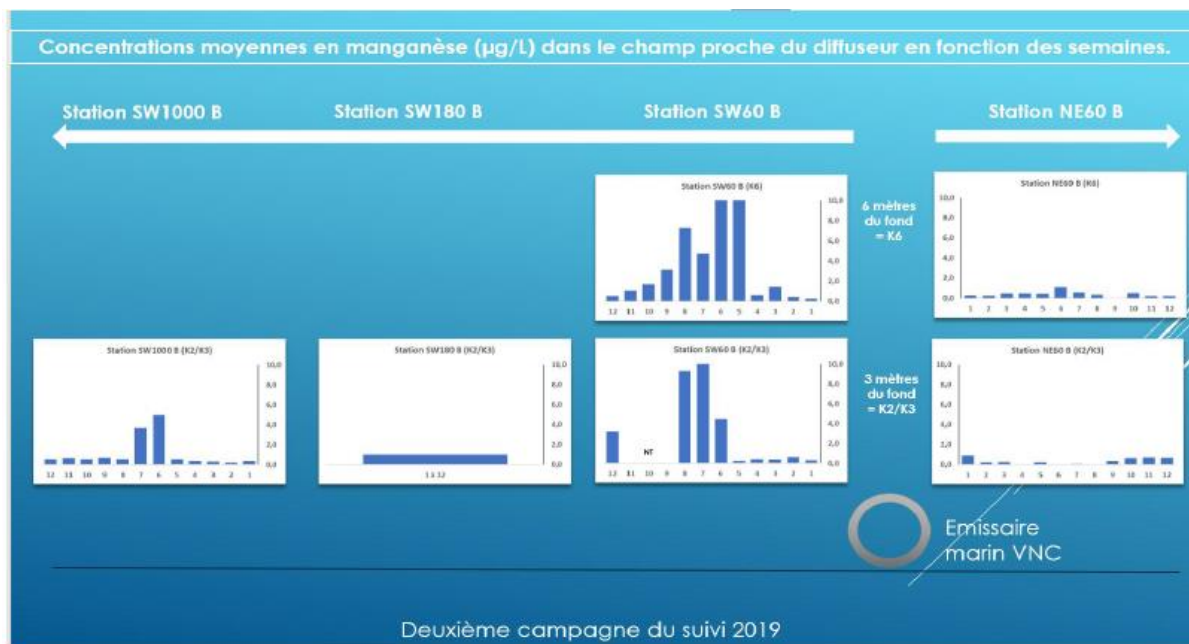
Ce suivi est effectué par AQUA TERRA tous les 3 ans. Aucun suivi n'a été réalisé en 2019. Le prochain suivi du taux d'accumulation sédimentaire est programmé pour 2020.

3.2.7 Résultats du suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur

La campagne de suivi du 2nd semestre 2019 a été réalisée du 10 juillet au 02 octobre par AEL. Le rapport de synthèse 2019 est disponible en annexe 5.

Les concentrations de l'élément manganèse montrent une grande variabilité, au sein d'une même station ainsi qu'entre les différentes stations du suivi ; la concentration moyenne globale est de 2,36µg/L. Cette moyenne globale semble coïncider fortement avec la présence de micro-paillottes/micro-agrégats, probablement riches en métaux. En effet, sur les 61 DGT analysés, 11 présentent une concentration moyenne supérieure à cette valeur dont 8 correspondent à des filtres colonisés par des micro-paillottes. Ces échantillons impactés sont très majoritairement issus de SW60 B, sous l'influence directe du panache de l'effluent traité rejeté.

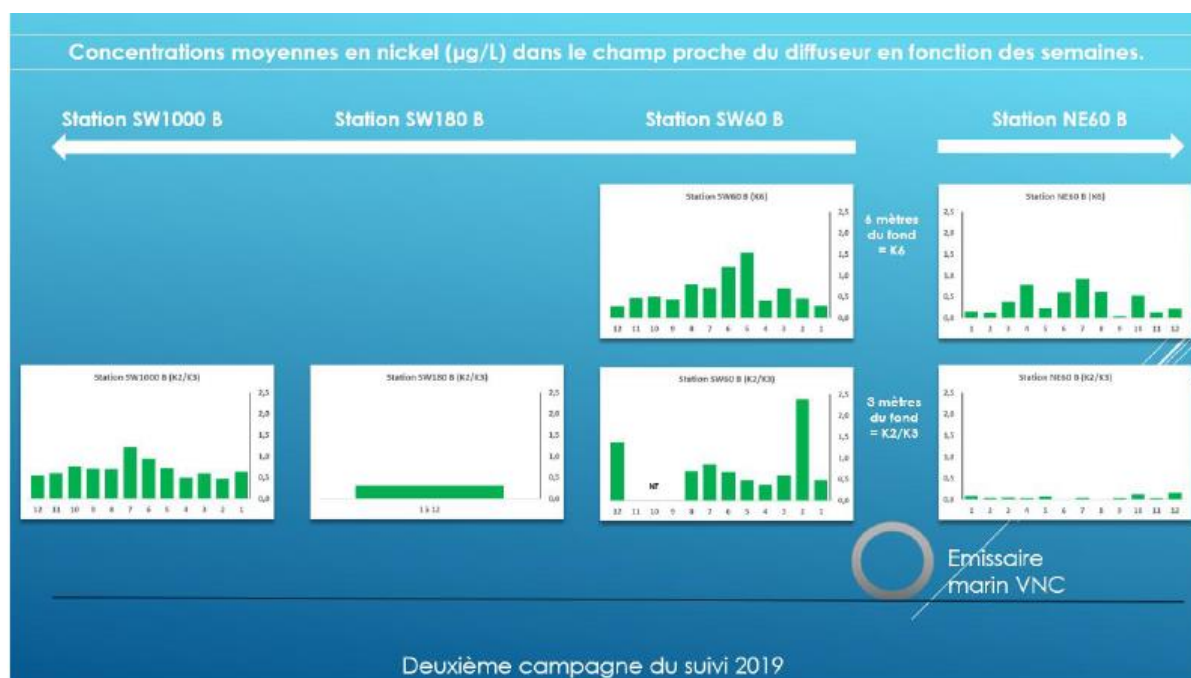
La concentration moyenne maximale est observée sur la station SW60 B, dans la couche K6. Sa valeur est 37,1µg/L soit environ 15 fois la concentration moyenne globale. Cette maximale est supérieure au seuil des 10µg/L préconisé. Au total, 3 valeurs dépassant le seuil autorisé sont observées au cours de ce suivi, toutes issues de la station SW60 B, et toutes concernées par la présence de micro-paillottes. La concentration moyenne minimale est, quant à elle, retrouvée au niveau de la couche profonde K2/K3 de la station située au Nord-Est du diffuseur (NE60 B). Sa valeur est de 0,011µg/L, ce qui correspond approximativement à 38 fois moins que la concentration moyenne globale du suivi.



Les concentrations de l'élément nickel montrent une certaine homogénéité au sein d'une même station. La concentration moyenne globale en nickel au cours de ce suivi est de $0,525\mu\text{g/L}$. Les échantillons dont les concentrations moyennes sont supérieures à celle-ci (26 au total) sont majoritairement observés sur les stations situées au Sud-ouest du diffuseur, SW60 B et SW1000 B, le long de l'axe principal de dilution des effluents.

La concentration moyenne maximale est observée dans la couche K2/K3 sur la station SW60 B. La valeur de cette concentration moyenne maximale est de $2,37\mu\text{g/L}$ soit plus de 4 fois la concentration moyenne globale du suivi.

La concentration moyenne minimale est de $0,030\mu\text{g/L}$, une concentration 16 fois moins élevée que la moyenne globale du suivi. Cette observation correspond à la couche profonde K2/K3 de la station NE60 B située au Nord-Est du diffuseur. Pour ce même site, 2 échantillons se retrouvent sous la limite de quantification.



Conclusion

Au 2^{ème} semestre 2019, 100% du plan de suivi réglementaire du milieu marin a été respecté.

Aucun incident notable liées aux activités industrielles et minières ne s'est produit au cours de l'année 2019.

Les résultats des plans de suivi font apparaître notamment les conclusions suivantes :

Concernant la physico-chimie de l'eau,

- ✓ Aucune variation spécifique des concentrations en MES sur l'ensemble des stations, mis à part au niveau de la baie de Prony avec des concentrations plus élevées, en raison probablement des apports terrigènes en provenance des cours d'eau ;
- ✓ Pas d'anomalie observée au niveau de la structure des masses d'eau ;
- ✓ Pas de tendances anormales des mesures en éléments majeurs, pH par rapport aux précédentes campagnes de suivi ;
- ✓ Globalement, les concentrations en métaux dissous mesurées lors de la campagne d'août 2019 restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées depuis 2007.
- ✓ Pas de concentration en hydrocarbures supérieure à la limite de quantification au niveau de la station St16 située à proximité du port de Prony. Pas de variations particulières des concentrations en soufre, qui restent semblables à celles de 2011.

Concernant les écosystèmes marins,

- ✓ La prolifération d'éléments perturbateurs naturels tels que *I'Acanthaster planci* impacte fortement les substrats sur plusieurs stations de suivi. Il sera important de suivre ces évolutions. La station ST08 située à la pointe Puka (Port-Boisé) présente la meilleure note ;
- ✓ Pas d'évènement exceptionnel concernant la partie ichtyologique à noter, par rapport aux précédentes campagnes.

Concernant les concentrations en métaux en champ proche du diffuseur,

- ✓ Des fortes variations des concentrations en manganèse entre les stations et au sein d'une même station sont observées, probablement causées par la présence de micro-paillottes/agrégats riches en métaux ;
- ✓ Des concentrations moyennes importantes en manganèse sont relevées sur la station SW60 B, avec 3 valeurs dépassant le seuil autorisé au cours de ce suivi.
Ces concentrations peuvent être expliquées par une augmentation ponctuelle de la concentration dans les rejets, un rejet des effluents plus proches de la côte (bouchon dans le diffuseur) ou encore la présence de ces micro-paillottes issues du rejet dans l'environnement proche du diffuseur.

Le diffuseur de l'émissaire marin est prévu d'être totalement débouché dès le début d'année 2020.

Les suivis marins à fréquence triennale qui seront effectués en 2020 concerneront les taux d'accumulation et l'évolution géochimique des sédiments en baie du Prony, baie Kwé et à l'île Ouen, ainsi que l'étude de l'état des herbiers en baie Kwé.

ANNEXE I : SUIVI DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE MER DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE

ANNEXE II : SUIVI STATION ST16 : EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DE LA COLONNE D'EAU ET GEOCHIMIE DES SEDIMENTS RECENTS

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

**ANNEXE IV : SUIVI DES DENSITES DE FLUX VERTICAUX DE
PARTICULES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, LA BAIE KWE
ET LA RADE NORD DE PRONY**

ANNEXE V : SUIVI DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE ET NICKEL DANS LE CHAMP PROCHE DU DIFFUSEUR