

**CONTRAT DE CONSULTANCE IRD/GORO-NI**

Convention n° 2172

**SUIVI ENVIRONNEMENTAL**

**QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX ET  
CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS**

**(4-8 AOUT 2008)**



**Rapport final**

**IRD-Nouméa, 24/12/08**

Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A

UR-103 CAMELIA, IRD-Nouméa

Nouvelle-Calédonie

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>OBJECTIFS .....</b>	<b>3</b>
<b>METHODOLOGIE .....</b>	<b>3</b>
ECHANTILLONNAGE .....	3
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES .....	5
<i>Profils verticaux .....</i>	<i>5</i>
<i>Analyse des ions majeurs.....</i>	<i>6</i>
<i>Carbonates (Station St16) .....</i>	<i>6</i>
<i>Sels nutritifs dissous .....</i>	<i>6</i>
<i>Matière organique particulaire .....</i>	<i>7</i>
ANALYSE DES HYDROCARBURES TOTAUX (STATION ST16) .....	8
ANALYSE DES METAUX .....	9
<i>Conditionnement et analyse.....</i>	<i>9</i>
<b>RESULTATS.....</b>	<b>10</b>
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES .....	10
<i>Structure des masses d'eau.....</i>	<i>10</i>
<i>Eléments majeurs.....</i>	<i>11</i>
<i>Carbonates (Station St16) .....</i>	<i>11</i>
<i>Sels nutritifs dissous .....</i>	<i>11</i>
<i>Carbone, azote et phosphore organiques .....</i>	<i>13</i>
<i>Chlorophylle a et phéopigments .....</i>	<i>14</i>
HYDROCARBURES TOTAUX .....	15
DISTRIBUTION DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU .....	15
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>16</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>19</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>20</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>21</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>22</b>
<b>ANNEXE 1.....</b>	<b>23</b>
<b>ANNEXE 2.....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE 3.....</b>	<b>35</b>
<b>ANNEXE 4.....</b>	<b>57</b>
<b>ANNEXE 5.....</b>	<b>59</b>

## INTRODUCTION

Ce document regroupe les études conduites en réponse au cahier des charges proposé par la Province-Sud de Nouvelle-Calédonie et fait suite à la définition de l'état de référence de la qualité physico-chimique de la colonne d'eau marine qui a été initiée dès 2000 et s'est poursuivie jusqu'en 2007. La zone concernée correspond au lagon sud de Nouvelle-Calédonie délimité par le Canal de la Havannah et la Baie du Prony lieux respectifs des rejets d'effluents industriels et des activités portuaires.

Dans le but de se conformer à l'arrêté d'autorisation d'exploiter les installations portuaires au titre des arrêtés ICPE, Goro-Nickel a demandé le démarrage d'un programme de suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer pour l'année 2008 dans le secteur ci-dessus délimité.

## OBJECTIFS

Ce programme de surveillance du milieu marin est réalisé sur un réseau de 18 stations dont 14 sont localisées dans le Canal de la Havannah et 4 autres dans la Baie du Prony.

Pour chaque station, le suivi consiste à déterminer dans la colonne d'eau les principaux paramètres physico-chimiques (Salinité, température, turbidité,...etc), les concentrations en métaux dissous ainsi qu'en sels nutritifs dissous et particuliers dans la Baie du Prony et du Canal de la Havannah, selon les techniques spécifiques reconnues qui ont été retenues pour l'analyse en milieu salin.

## METHODOLOGIE

### *Echantillonnage*

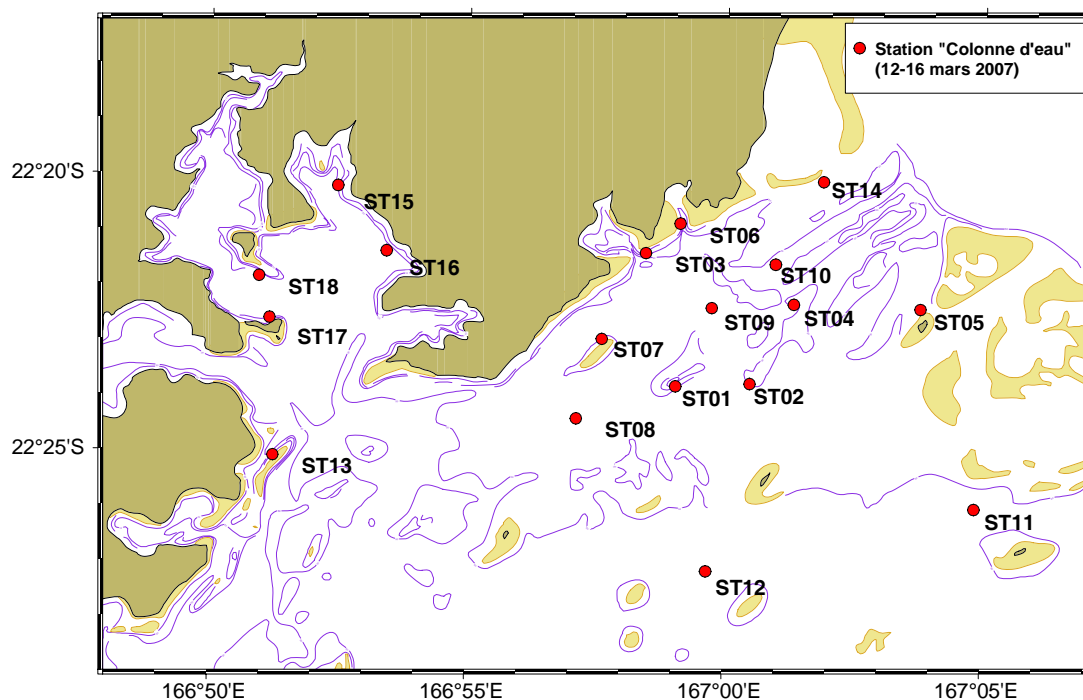
Les opérations de terrain ont été réalisées au cours d'une campagne de prélèvements à bord du *N/O CORIS* de l'IRD (4 au 8 août 2008) sur les 18 stations telles que prédéfinies (Tableau 1 et Figure 1). Les opérations suivantes ont été réalisées :

- Profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, modèle SBE 19);
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous et de la matière organique particulières, la détermination de la charge en MES ;
- Prélèvement d'eau pour la détermination des cations et anions majeurs ainsi que des hydrocarbures totaux ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous.

Les prélèvements d'eau destinés à la détermination des paramètres trophiques (sels nutritifs) et les ions majeurs ont été effectués par bouteille General Oceanics, modèle Niskin. Pour

l'analyse des métaux dissous et les hydrocarbures totaux, les prélèvements ont été réalisés avec une bouteille General Oceanics, Metal-Free (GoFlo, modèle 1080).

Pour chacune des 18 stations, les profondeurs échantillonnées ont été les suivantes : Sub-surface (-2 m), mi-profondeur et fond (2 m au-dessus du fond). Au total 54 échantillons ont été isolés pour chaque type d'analyse.



**Figure 1 :** Localisation géographique des stations de prélèvements dans la colonne d'eau (mission du 04-08 août 2008).

**Tableau 1 :** Liste et localisation des stations.

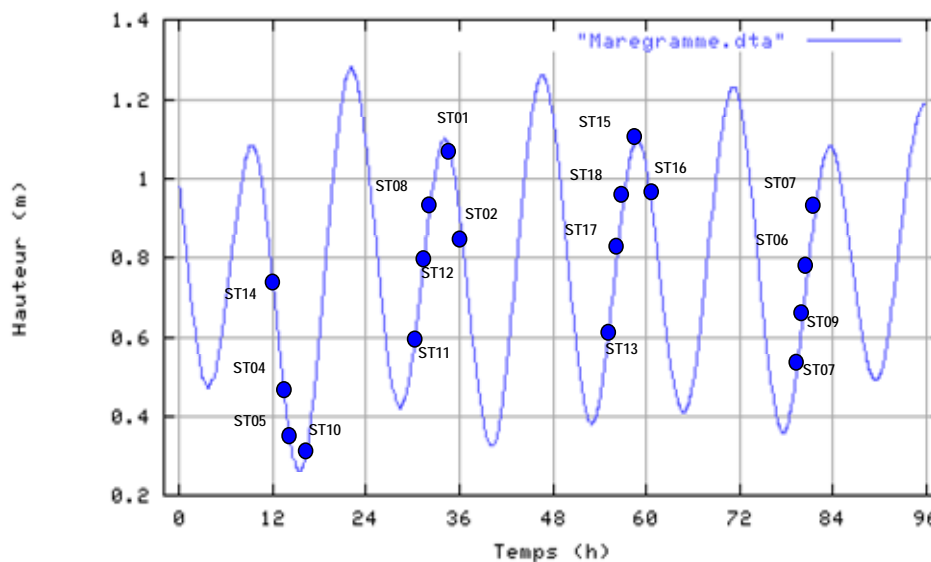
Stations	N°	Stations « colonne d'eau »		
		Longitude E	Latitude S	Prof. (m)
Corne NE du banc Ionontea	1	166° 59' 03	22° 23' 78	35
Basse Chambeyron	2	167° 00' 45	22° 23' 70	36
Récif pointe Puka	3	166° 58' 46	22° 21' 38	13
Bancs de Kié	4	167° 01' 30	22° 22' 25	36
Ilôt Kié	5	167° 03' 75	22° 22' 33	20
Récif de la Baie Kwé	6	166° 59' 10	22° 20' 83	15
Récif loro	7	166° 57' 62	22° 22' 90	31
Canal de la Havannah (A 28)	8	166° 57' 14	22° 24' 33	47
Canal de la Havannah (A 29)	9	166° 59' 42	22° 22' 35	35
Canal de la Havannah (A 30)	10	167° 00' 93	22° 21' 51	37
Fosse Est	11	167° 04' 87	22° 25' 92	55
Fosse Ouest	12	167° 00' 13	22° 27' 71	69
Pointe Nord du récif Ma	13	166° 51' 22	22° 25' 10	27
Tombant Est de L'île Toémo	14	167° 01' 96	22° 20' 05	23
Prony Creek Baie Nord	15	166° 52' 40	22° 20' 25	33
Prony Wharf	16	166° 53' 30	22° 21' 45	25
Prony Ilôt Montravel	17	166° 51' 10	22° 22' 75	10
Prony Ilôt Casy	18	166° 50' 95	22° 21' 85	15

## Météorologiques et hydrodynamiques

Un régime d'ouest rapide (20-25 nœuds) s'est installé sur tout le secteur à partir du 28/07 avec une fin de période le 04/8 vers minuit. Au-delà, le vent variable de secteur sud à est s'est établi jusqu'à la fin de la semaine. Les conditions de prélèvement ont été les suivantes :

- 04/08/08 : Vent S-E, 5-10 nœuds, mer agitée, nuageux, visibilité bonne ;
- 05/08/08 : Vent S-E, <10 nœuds, mer peu agitée, nuageux, visibilité bonne ;
- 06/08/08 : Vent E, 10 nœuds, mer peu agitée, variable, visibilité bonne ;
- 07/08/08 : Vent SE, 5-10 nœuds, mer peu agitée, nuageux, visibilité bonne.

Les heures d'arrivée en station ont été notées et reportées sur un marégramme (Figure 2) afin de situer chaque prélèvement dans le contexte courantologique naturel des cycles de marées.



**Figure 2 :** Chronologie des prélèvements dans la colonne d'eau et marégramme de la période (mission du 04-08 août 2008).

## Paramètres physico-chimiques

### Profils verticaux

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

Les paramètres mesurés par la sonde CTD sont les suivants :

- La pression qui permet de calculer la profondeur ;
- La salinité déduite de la mesure de la conductivité ;
- La température (°C) ;

- La turbidité par mesure de la néphélométrie exprimée en FTU (Formazin Turbidity Units) :  $1\text{FTU} \simeq 1\text{ mg L}^{-1}$  de matière particulaire sèche (capteur Sea Point) ;
- La fluorescence *in-vivo* exprimée en unités arbitraires et permettant après calibration par croisement avec les analyses effectuées sur les échantillons collectés, de calculer les concentrations en pigments chlorophylliens (capteur Wet labs).

## Analyse des ions majeurs

Un sous-échantillonnage à partir des prélèvements en bouteilles Niskin a été effectué pour :

- L'évaluation de charge en MEST. Celle-ci a été obtenue après filtration d'un volume connu et pesée du filtre (Nuclepore de  $0,45\text{ }\mu\text{m}$  de porosité).
- Les dosages de Ca, Na, K, Mg. Les concentrations ont été déterminées par analyse directe à l'ICP-OES (Perkin-Elmer, modèle Optima 3200 DV) de solutions diluées.
- Les dosages des chlorures et des sulfates ont été réalisés par chromatographie ionique capillaire (Waters, CIA).

Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en PEHD et les échantillons ont été conservés au froid ( $4^{\circ}\text{C}$ ) jusqu'à leur analyse de retour au laboratoire.

## Carbonates (Station St16)

Un sous-échantillonnage à partir des prélèvements en bouteilles Niskin a été effectué pour le dosage des carbonates.

La méthode utilisée est adaptée de celle d'Anderson et Robertson (1970) qui consiste à effectuer un dosage potentiométrique de l'alcalinité totale à partir d'une titration de l'eau de mer par un acide fort ( $\text{HCl}$ ,  $0,1\text{N}$ ).

Le flaconnage utilisé est en PEHD et les échantillons ont été conservés au froid ( $4^{\circ}\text{C}$ ) jusqu'à leur analyse.

## Sels nutritifs dissous

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

- PEHD pour être stockés à  $-20^{\circ}\text{C}$  en vue de leur traitement ultérieur à l'IRD. Ces dosages concernent les nitrates+nitrites ( $\text{NO}_3$ ), les phosphates ( $\text{PO}_4$ ), l'azote organique dissous (NOD) et le phosphore organique dissous (POD). Chaque niveau échantillonné a fait l'objet d'un duplicat ;
- Verre borosilicaté et addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 24 heures) de l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ). Compte tenu des faibles valeurs attendues, chaque niveau échantillonné a fait l'objet d'un triplicat.

### Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour leur dosage est celle fondée sur le dosage des ions nitrites obtenu par réduction des ions nitrates. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrites+nitrates par photométrie (Oudot et al., 1988), les concentrations en nitrites dans les eaux de surfaces étant quasiment nulles. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0,2 et 1  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  avec des limites de détection d'environ 0,002  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbe, modèle Autoanalyseur III.

### Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac  $\text{NH}_3$  et d'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  ce dernier étant prépondérant dans le milieu marin. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles et la méthode décrite par Holmes et al. (1999) est la plus adaptée. Il s'agit d'une méthode manuelle basée sur le principe d'une mesure fluorométrique qui permet de doser des quantités sub micromolaires d'ammonium. Les proportions de réactifs ont été déterminées pour des concentrations maximales d'ammonium de 3  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , la limite de détection de la méthode est de 1,5  $\text{nmol.L}^{-1}$ .

### Phosphates

Le dosage des orthophosphates a été effectué selon la méthode de Murphy et Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide ( $\text{pH} < 1$ ) de phosphomolybdate d'ammonium, complexe de couleur jaune dosable par photométrie. Le domaine de concentrations mesurable s'étend de 0 à 28  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , la limite de détection étant de 0,01  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  avec un intervalle de confiance de 95% sur la gamme de 0 à 3  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ .

### Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de Mullin et Riley (1965), modifiée par Fanning et Pilson (1973). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0 à 140  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , la limite de détection est de 0,05  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  et l'intervalle de confiance de 98,5% sur une gamme de 0 à 10  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  de Si.

### Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) et les composés inorganiques qui sont produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les nitrates+nitrites et les phosphates. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée (Raimbault et al., 1999) présente l'avantage d'être simple et rapide à mettre en oeuvre et ne nécessite pas d'appareillage lourd ou sophistiqué. Pour l'azote, dans le domaine de concentrations  $> 1 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , la limite de détection est de 0,020  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , pour le phosphore cette limite est 10  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ .

### Matière organique particulaire

La charge organique particulaire a été déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord puis filtrés au laboratoire quotidiennement sur des filtres Whatman GF/F (porosité 0,7  $\mu\text{m}$ ). Leur conservation a été assurée par congélation à  $-20^\circ\text{C}$  jusqu'à dosage du contenu en :



- Carbone ;
- Azote ;
- Phosphore ;
- Pigments chlorophylliens (chlorophylle A et phéo-pigments).

### **Carbone et azote**

L'analyse des filtres a été conduite sur un analyseur CHN (Perkin Elmer, modèle 2400) 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. Avec cette technique, 20 µg de C correspondent à la quantité limite au dessus de laquelle il est communément admis que l'erreur sur la mesure du carbone (COP) est négligeable. Pour l'azote (NOP) cette quantité limite est repoussée à 10 µg de N dans l'échantillon.

### **Phosphore organique particulaire**

Les filtres ont été soumis au même traitement que pour le dosage du phosphore organique dissous. Dans le domaine de concentrations étudié en mer, la limite de détection est de 0,010 µmol.L<sup>-1</sup>.

### **Pigments chlorophylliens**

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 (ce principe est identique à celui utilisé par le capteur de fluorescence *in-situ* équipant la sonde multiparamétrique SBE 19). 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 donné 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 détection pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 10ng.L<sup>-1</sup>.

## **Analyse des hydrocarbures totaux (Station St16)**

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

Les eaux ont été conditionnées dans des flacons en verre afin d'éviter tout contact prolongé avec des matières plastiques pouvant induire une contamination potentielle.

L'analyse des hydrocarbures totaux s'est effectuée soit par norme NF T90-203 ou bien DIN EN ISO 9377-2.

La définition de l'indice en hydrocarbure dissous revient au dosage des hydrocarbures des chaînes carbonées comprises entre C10 et C40 par chromatographie gazeuse (GC/FID). Cette méthode permet de doser 0,1 mg/l d'hydrocarbures (elle est cependant moins sensible que l'ancienne norme NF T90-114 utilisant la méthode au CCl<sub>4</sub> aujourd'hui interdite en raison de la très haute toxicité du solvant organique).



Les analyses ont été confiées au laboratoire : SGS Multilab –Environnemental Services, Courcouronnes, Evry, France

## Analyse des métaux

### Conditionnement et analyse

Pour chacune des 18 stations, les 3 profondeurs (surface, mi-profondeur et fond) ont été prélevées en double :

- Les échantillons du premier lot de 54 flacons ont été destinés pour les analyses des éléments As et Cr/CrVI. Ces analyses sont effectuées par voltamétrie au laboratoire : *Marine Biogeochemistry Lab., National Oceanography Centre Southampton, United Kingdom.*
- Les 54 échantillons du deuxième lot ont été directement filtrés à 0,45 µm en ligne (filtres Millipore, qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M enfin de concentrer les métaux dissous dès le jour même du prélèvement. Les percolations terminées chaque colonne de résine a été fermée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement.

De retour au laboratoire, les métaux ont été élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2M) et analysés à l'IRD-Nouméa par ICP-OES (Marque Perkin Elmer, modèle Optima 3200 DV). Les dosages ont été réalisées aux longueurs d'ondes suivantes : Cd 228.802 ; Co 230.786 ; Cu 327.393 ; Fe 238.204 ; Mn 257.610 ; Ni 231.604 ; Pb 217.000 ; Zn 206.200.

Deux échantillons certifiés pour le dosage des éléments traces (TM-26.3 et TMDA-61) délivrées par la société *Environment Canada* (Tableau 2) ont été intercalés dans chaque série d'analyses pour valider les calibrations.

**Tableau 2 :** Résultats d'analyse des échantillons certifiés TM-26.3 et TMDA-61.

Elément	TM-26.3 (µg l <sup>-1</sup> )		TMDA-61 (µg l <sup>-1</sup> )	
	Valeur déterminée	Valeur certifiée	Valeur déterminée	Valeur certifiée
Co	9,0 ± 0,5	8,1 ± 1	66,5 ± 1,0	62,9 ± 5,8
Cu	12,3 ± 0,5	13,4 ± 1,9	66,9 ± 2,1	69,2 ± 7,4
Fe	23,2 ± 0,7	21 ± 3,6	84,9 ± 1,2	81,1 ± 10,1
Mn	18,2 ± 0,3	17 ± 1,4	82,4 ± 0,8	74,8 ± 7,3
Ni	8,7 ± 0,4	10,2 ± 1,3	62,1 ± 0,8	58,7 ± 6,4
Zn	39,6 ± 1,4	39,0	67,3 ± 1,4	71,3 ± 8,7

### Validation des résultats

La validation des résultats d'analyse a été vérifiée par le dosage de deux échantillons certifiés : CASS-4 Nearshore Seawater et NASS-5 Open Ocean Seawater du National Research Council, du Canada (Tableau 3).

**Tableau 3** : Résultats d'analyses des échantillons de référence NASS-5 et CASS-4.

Elément	NASS-5 ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )		CASS-4 ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	
	Valeur déterminée	Valeur certifiée	Valeur déterminée	Valeur certifiée
Co	ND	ND	$0,023 \pm 0,007$	$0,026 \pm 0,003$
Cu	0,324	$0,297 \pm 0,046$	$0,558 \pm 0,034$	$0,592 \pm 0,055$
Fe	0,281	$0,207 \pm 0,035$	0,635	$0,713 \pm 0,058$
Mn	1,010	$0,919 \pm 0,057$	$2,75 \pm 0,06$	$2,78 \pm 0,19$
Ni	0,273	$0,253 \pm 0,028$	$0,295 \pm 0,025$	$0,314 \pm 0,030$

(CASS-4 n=5) ND = Non déterminé

## RESULTATS

### Paramètres physico-chimiques

#### Structure des masses d'eau

Les valeurs des paramètres, température, fluorescence, turbidité et salinité obtenues pour la campagne d'août 2008 (saison sèche) montrent que les masses d'eau sont très homogènes. Très peu de variations en termes de température et de salinité sont observées pour l'ensemble du domaine (Tableau 4, Annexe 1). La fluorescence et surtout la turbidité évoluent selon un double gradient côte-large et en fonction de la profondeur.

On remarque cependant une différence relativement nette entre les eaux de la Baie du Prony ( $T = 22,14 \pm 0,06$  °C) plus froides en moyenne de quelques dixièmes de degré que les eaux du Canal de la Havannah ( $T = 22,55 \pm 0,03$  °C) directement influencées par les eaux océaniques qui se refroidissent moins pendant la période fraîche que les eaux lagunaires.

**Tableau 4** : Synthèse des valeurs de température, fluorescence, turbidité et salinité.

		Température	Fluorescence	Turbidité	Salinité
Domaine entier	Min	21,94	0,031	1,079	35,027
	Max	22,73	0,114	2,119	35,302
	Moyenne	22,46	0,078	1,268	35,228
	Ecart type	0,04	0,004	0,043	0,008
Baie du Prony	Min	21,94	0,058	1,240	35,154
	Max	22,35	0,114	1,707	35,255
	Moyenne	22,14	0,077	1,324	35,235
	Ecart type	0,06	0,008	0,051	0,009
Canal de la Havannah	Min	22,02	0,031	1,079	35,027
	Max	22,73	0,101	2,119	35,302
	Moyenne	22,55	0,078	1,252	35,226
	Ecart type	0,03	0,003	0,041	0,007

## Eléments majeurs

Les résultats d'analyses pour les ions majeurs sont conformes aux valeurs attendues.

Les concentrations de l'ensemble des stations du domaine étudié sont regroupées dans l'Annexe 2.

## Carbonates (Station St16)

Les résultats d'analyses de l'alcalinité carbonatée est conforme aux valeurs attendues.

Les concentrations au niveau de la station St16 sont regroupées dans l'Annexe 2.

## Sels nutritifs dissous

### Nitrates + Nitrites

Rappel : L'ion nitrate est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Il entre dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui une fois dégradé rend au système l'azote sous forme minérale. La vitesse de régénération peut-être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en nitrates variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance des algues.

Pour l'ensemble de la zone étudiée (Tableau 5 et Annexe 3), les concentrations en *nitrates+nitrites* déterminées en saison sèche sont comprises entre  $0,006 \mu\text{mol.L}^{-1}$  et  $0,106 \mu\text{mol.L}^{-1}$  avec une moyenne qui se situe à  $0,065 \pm 0,025 \mu\text{mol.L}^{-1}$ . Toutefois, malgré cette apparente homogénéité, les eaux côtières du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony sont, en moyenne, environ 2 fois plus élevées que les masses d'eau océaniques échantillonnées aux stations St04, St05, St10, St11 et St12).

Le long de la colonne d'eau les valeurs ne varient pratiquement pas.

Cette distribution spatiale des valeurs de *nitrates+nitrites* est inversée par rapport à celle constatée en saison humide en raison probablement de l'absence d'alizés qui peuvent être à l'origine de la formation d'un upwelling côtier (Fichez et al, 2005).

### Ammonium

Rappel : Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium. Naturellement, il provient des excréments animaux et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles.

Quasi systématiquement les valeurs les plus fortes sont mesurées dans les couches de fond et dans le Canal de la Havannah ( $0,027 \pm 0,015 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) ; dans la Baie du Prony, on ne mesure que  $0,011 \pm 0,004 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , (Tableau 5 et Annexe 3). Les valeurs maximales sont enregistrées dans les eaux profondes du Canal, comme aux stations St06 et St11.

Les concentrations sont globalement inférieures d'un facteur 3 en moyenne à celles obtenues en saison humide pour l'ensemble de la zone.

## Phosphates

**Rappel :** Dans l'eau de mer le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates. Leur concentration dépend de phénomènes physiques et biologiques ou chimiques. Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique (La zone euphotique correspond à la hauteur d'eau qui est pénétrée par la lumière). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène.

Les concentrations en phosphates sont comprises entre  $0,010 \mu\text{mol.L}^{-1}$  et  $0,084 \mu\text{mol.L}^{-1}$  avec une valeur moyenne pour l'ensemble de la zone étudiée de  $0,037 \pm 0,019 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (Tableau 5 et Annexe 3).

Globalement, malgré une légère augmentation dans les couches de fond, les analyses montrent que la colonne d'eau est assez homogène quelque soit le secteur du domaine étudié. Cependant, il existe un gradient inverse entre la côte et le large puisque les concentrations les plus élevées sont mesurées dans le Canal de la Havannah ( $0,041 \pm 0,019 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) et particulièrement dans les eaux influencées par les apports océaniques (St02, St04, St05, St10, St11, St12). A l'inverse, dans la Baie du Prony les eaux sont appauvries en phosphates ( $0,023 \pm 0,008 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ), ce qui traduit la faible influence des apports terrigènes en saison sèche (Tableau 5 et Annexe 3).

## Silicates

**Rappel :** Bien que le silicium ne soit pas un composant de la matière vivante proprement dite, il constitue l'essentiel des squelettes de divers organismes marins. Sa concentration dans l'eau de mer qui peut devenir insuffisante par suite de sa très faible solubilité, varie en fonction de l'origine et la nature des eaux. Ainsi, dans le domaine océanique, les concentrations en surface sont généralement très faibles mais elles augmentent progressivement à mesure que l'on se rapproche des côtes ou des fonds abyssaux.

Pour l'ensemble de la zone, les concentrations en silice sont comprises entre  $0,804 \mu\text{mol.L}^{-1}$  et  $3,023 \mu\text{mol.L}^{-1}$  et la valeur moyenne est de  $1,360 \pm 0,447 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (Tableau 5 et Annexe 3).

Bien que peu marqués, les analyses permettent de distinguer les deux domaines suivants : La Baie du Prony dont les eaux contiennent en moyenne  $1,872 \pm 0,589 \mu\text{mol.L}^{-1}$  et le Canal de la Havannah où l'on mesure les concentrations les plus faibles ( $1,213 \pm 0,321 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) (Tableau 5).

Bien que cette distribution spatiale soit légèrement moins tranchée en saison sèche qu'en saison humide, d'une façon générale, la gamme de concentrations et la distribution spatiale des silicates sont très similaires d'une saison à l'autre.

**Tableau 5 :** Concentrations en sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates et silicates) dans la zone d'étude en saison sèche.

		NH4 ( $\mu\text{M}$ )	NO2+NO3 ( $\mu\text{mol/L}$ )	PO4 ( $\mu\text{mol/L}$ )	SiO4 ( $\mu\text{mol/L}$ )
Domaine entier	Min	0,001	0,006	0,010	0,804
	Max	0,098	0,106	0,084	3,023
	Moyenne	0,025	0,065	0,037	1,360
	Ecart-type	0,018	0,025	0,019	0,477
Canal de la Havannah	Min	0,001	0,006	0,013	0,804
	Max	0,091	0,106	0,084	2,399
	Moyenne	0,027	0,061	0,041	1,213
	Ecart-type	0,015	0,027	0,019	0,321
Baie du Prony	Min	0,006	0,055	0,010	1,227
	Max	0,098	0,102	0,039	3,023
	Moyenne	0,011	0,077	0,023	1,872
	Ecart-type	0,004	0,016	0,008	0,589

## Carbone, azote et phosphore organiques

La distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire, cependant dans les études environnementales, il est admis que la limite de taille pour les séparer est de  $0,45 \mu\text{m}$  (Strickland et Parsons, 1972).

### Azote et phosphore dissous

Rappel : La contribution naturelle de l'azote et du phosphore provient de la dégradation de matière de nature biogénique qu'elle soit d'origine océanique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, macro-organismes pélagiques, ...) ou terrestre (bactéries, débris végétaux, ...) voire éolienne (bactéries, pollens, ...). D'une manière générale, la concentration en composés dissous est très faible particulièrement dans l'océan ouvert.

Les répartitions spatiales de l'azote (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) ne présentent pas de distribution particulière (Tableau 6 et Annexe 3), les concentrations ne montrant aucun gradient horizontal ni vertical bien défini.

Les valeurs moyennes pour l'azote et le phosphore sont respectivement de  $4,022 \pm 0,429$  et de  $0,193 \pm 0,042 \mu\text{mol.L}^{-1}$  pour tout le domaine. Aucune différence n'est notable entre la Baie du Prony et le Canal de Havannah.

Les quantités d'azote organique dissous sont légèrement plus élevées en saison humide ( $4,300 \pm 0,391 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) qu'en saison sèche ( $4,022 \pm 0,429 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ). A l'inverse, pour le phosphore organique dissous, les concentrations sont un peu plus basses en saison humide ( $0,109 \pm 0,015 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) qu'en saison sèche ( $0,193 \pm 0,042 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

## Carbone, azote et phosphore particulaires

**Rappel :** La fraction particulaire de ces éléments est constituée des matières en suspension de tailles diverses qui sont transportées au sein des masses d'eau. Leur origine est également océanique, terrestre voir éolienne. Les concentrations présentent d'ordinaire un gradient de côte-large et peuvent montrer des discontinuités verticales en fonction de l'existence ou non de couches turbides.

Les fractions particulaires du phosphore et de l'azote se distribuent selon des schémas remarquablement superposables (Tableau 6 et Annexe 3). En effet, les concentrations moyennes pour la Baie du Prony (respectivement  $0,093 \pm 0,015$  et  $0,851 \pm 0,105 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) sont un peu plus importantes que dans le Canal de la Havannah ( $0,074 \pm 0,017$  et  $0,698 \pm 0,194 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ). Ces mesures confirment que les valeurs mesurées en saison sèche montrent l'existence d'un gradient côte-large mieux identifié à partir de la Baie du Prony.

Les valeurs sont du même ordre de grandeur d'une saison à l'autre en Baie du Prony et dans le Canal de la Havannah.

Le carbone organique particulaire suit une distribution spatiale semblable à celle de l'azote et du phosphore, c'est-à-dire sans grande évolution. Cependant, un gradient vertical de concentration est quelques mis en évidence, en particulier dans les eaux du Canal de la Havannah où les concentrations maximales de carbone sont mesurées dans les couches profondes (Tableau 6 et Annexe 3). En effet, les concentrations passent de 50-70  $\mu\text{g/L}$  en surface à plus de 120  $\mu\text{g/L}$  dans les eaux profondes.

**Tableau 6 :** Concentrations en carbone, azote et phosphore organiques dissous et particulaires dans la zone d'étude en saison sèche.

		POD ( $\mu\text{mol/l}$ )	NOD ( $\mu\text{mol/l}$ )	POP ( $\mu\text{mol/L}$ )	NOP (tec) ( $\mu\text{mol/L}$ )	C Org (CHN)
Domaine entier	Min	0,113	2,604	0,033	0,341	49
	Max	0,316	4,899	0,115	1,321	197
	Moyenne	0,193	4,022	0,078	0,733	90
	Ecart-type	0,042	0,429	0,018	0,188	29
Canal de la Havannah	Min	0,113	2,604	0,033	0,341	52
	Max	0,316	4,899	0,106	1,321	161
	Moyenne	0,192	4,050	0,074	0,698	90
	Ecart-type	0,044	0,478	0,017	0,194	30
Baie du Prony	Min	0,161	3,666	0,075	0,697	49
	Max	0,277	4,146	0,115	1,115	117
	Moyenne	0,199	3,926	0,093	0,851	82
	Ecart-type	0,033	0,151	0,015	0,105	22

## Chlorophylle a et phéopigments

**Rappel :** La chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et de ce fait le niveau trophique (oligotrophie/eutrophie) du milieu (Fichez et al., 2005). Sa dégradation donne de nombreux composés dont principalement les phéopigments.

Les concentrations sont relativement homogènes dans tout le domaine étudié. Toutefois, les masses d'eau influencées par les apports océaniques sont légèrement plus riches en chlorophylle a, en particulier près de la Passe de la Havannah où les concentrations sont maximales (St 04, St05, St10 et St14).

Pour l'ensemble de la zone (Annexe 3), les valeurs moyennes sont de  $0,43 \pm 0,13 \mu\text{g.L}^{-1}$  et sont comprises entre  $0,16$  et  $0,57 \mu\text{g.L}^{-1}$  en Baie du Prony et entre  $0,09$  et  $0,98 \mu\text{g.L}^{-1}$  dans le Canal de la Havannah. Ces valeurs sont identiques à celles mesurées pendant les saisons sèche et humide.

En matière de phéopigments, les tendances sont en tous points similaires à celles décrites pour la chlorophylle. Les concentrations sont comprises entre  $0,05$  and  $0,23 \mu\text{g.L}^{-1}$  dans la Baie du Prony et entre  $0,11$  and  $0,47 \mu\text{g.L}^{-1}$  dans le Canal de la Havannah.

### **Hydrocarbures totaux**

L'analyse des 3 prélèvements de la station St16 (Annexe 4), n'a pas permis de mettre en évidence des concentrations en hydrocarbures totaux supérieures à la limite de détection de la méthode ( $1\text{d} < 0,05 \text{ mg. L}^{-1}$ ).

### **Distribution des métaux dissous dans la colonne d'eau**

Les résultats d'analyses des métaux dissous sont regroupés dans l'Annexe 5.

Pour l'ensemble des zones étudiées, tous les éléments métalliques analysés exception faite de l'arsenic et le chrome total dissous, se distribuent selon un gradient côte-large bien individualisé ; l'arsenic montre un gradient de concentration inverse alors que le chrome total est réparti de manière homogène dans les masses d'eau échantillonnées.

Les concentrations en Cd et Pb sont en dessous des limites de détection et celles de Cu demeurent extrêmement faibles compte tenu des très basses teneurs de ces métaux dans les roches latéritiques du sud calédonien (Atlas de la Nouvelle Calédonie, 1981).

A l'inverse, la distribution des éléments métalliques dissous tels que Co, Mn, Ni, Zn (et dans une moindre mesure CrVI) possèdent des caractéristiques très différentes. En effet, les concentrations montrent des variations spatiales qui peuvent être importantes. Ainsi, il est possible de distinguer trois phénomènes :

- Une diminution globale des concentrations en direction du large. Ce gradient de concentration est, bien sûr, à relier à l'influence des apports terrigène et sa diminution au fur et mesure que l'on s'éloigne du rivage (Figure 3 et Annexe 5) ;
- La singularisation de la Baie du Prony où les concentrations en métaux sont bien plus élevées que dans le Canal de la Havannah. Cette zonation avait déjà été mise en évidence en saisons sèche et humide. Ainsi pour le manganèse et le nickel, les concentrations sont respectivement de l'ordre de  $0,26$  et  $0,33 \mu\text{g/L}$

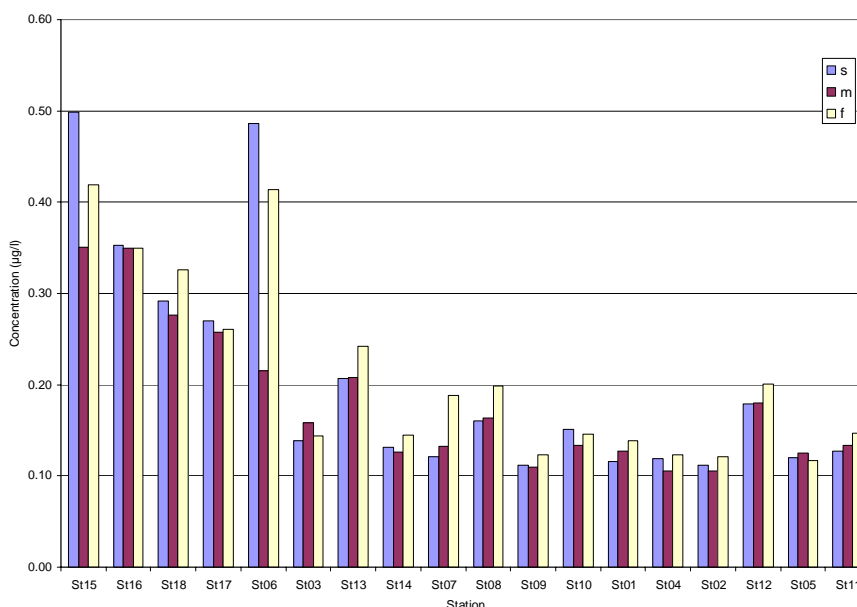


dans la Baie du Prony et de 0,12 et 0,14  $\mu\text{g/L}$  dans le Canal de la Havannah (Tableau 7, Annexe 5) ;

- Dans le Canal de la Havannah, hormis l'influence de la rivière Kwé, les masses d'eau qui s'écoulent montrent une grande homogénéité avec cependant une perceptible influence des eaux océaniques au niveau de la Passe de la Havannah. Cette zone de mélange avait déjà été mise en évidence pour la saison sèche.

Dans le Canal de la Havannah, cette distribution spatiale est à relier avec, d'une part, les effets de la dilution générale des métaux directement introduits par les sources terrigènes via des émissaires comme la Kwé.

D'autre part, les très faibles concentrations de fer déterminées dans la Passe de la Havannah sont à mettre en parallèle avec les concentrations en phosphates et chlorophylle plus fortes que dans eaux du reste du Canal de la Havannah. En effet, cette relation est en parfait accord avec les mécanismes de consommation d'une fraction du fer dissous qui entre dans les cycles de la production primaire et notamment de développement du phytoplancton.



**Figure 3 :** Evolution spatiale des concentrations en Ni en fonction de l'éloignement à la côte. Mise en évidence de l'influence des apports de la rivière Kwé (St06) et du Creek de Rade Nord (St15).

## CONCLUSION

Les tableaux ci-dessous montrent que les valeurs en sels nutritifs sont relativement stables d'une saison à l'autre si l'on se réfère aux campagnes 2007 et 2008 (Tableau 7). Cependant, les gradients de concentration mis en évidence peuvent varier entre la saison humide et sèche en fonction du taux de mélange des eaux océaniques et continentales, en particulier consécutivement aux épisodes pluvieux et à l'établissement des courants météorologiques rapides de sud-est.

**Tableau 7 :** Comparaison des valeurs de concentrations des sels nutritifs dissous et particulaire ainsi que de chlorophylle A et phéo-pigments enregistrées au cours des campagnes précédentes dans tout le domaine d'étude ainsi que dans les sous-domaines de la Baie du Prony et du Canal de la Havannah.

Année		POP (μmol/L)		NOP (μmol/L)		Chl a (μg/L)		Pheo (μg/L)	
		07	08	07	08	07	08	07	08
Domaine entier	Min	0.007	0.033	0.001	0.341	0.20	0.09	0.04	0.05
	Max	0.107	0.115	1.750	1.321	0.97	0.98	0.30	0.47
	Mean	0.051	0.078	0.513	0.733	0.43	0.43	0.15	0.17
Canal de la Havannah	Min	0.013	0.033	0.001	0.341	0.20	0.09	0.04	0.11
	Max	0.099	0.102	1.700	1.321	0.59	0.98	0.28	0.47
	Mean	0.053	0.070	0.657	0.701	0.40	0.43	0.15	0.19
Baie du Prony	Min	0.007	0.075	0.002	0.697	0.27	0.16	0.07	0.05
	Max	0.058	0.115	0.014	1.115	0.59	0.57	0.23	0.23
	Mean	0.037	0.093	0.008	0.851	0.43	0.39	0.13	0.13

Année		NH4 (μM)		POD (μmol/L)		NOD (μmol/L)		NO2+NO3 (μmol/L)	
		07	08	07	08	07	08	07	08
Domaine entier	Min	0.01	0.001	0.16	0.11	3.97	2.55	0.002	0.01
	Max	0.41	0.10	0.28	0.32	9.89	4.85	4.92	0.11
	Mean	0.09	0.02	0.21	0.19	5.23	3.97	0.27	0.06
Canal de la Havannah	Min	0.01	0.001	0.16	0.11	4.50	2.55	0.002	0.01
	Max	0.41	0.07	0.28	0.32	9.89	4.85	4.92	0.11
	Mean	0.40	0.19	0.35	0.18	5.19	3.83	0.42	0.14
Baie du Prony	Min	0.01	0.01	0.17	0.16	4.48	3.59	0.02	0.06
	Max	0.17	0.10	0.23	0.28	6.32	4.08	1.21	0.10
	Mean	0.04	0.02	0.20	0.20	5.11	3.86	0.26	0.08

Année		PO4 (μM)		SiO4 (μmol/L)		C Org	
		07	08	07	08	07	08
Domaine entier	Min	0.00	0.01	0.43	0.80	48.9	
	Max	0.13	0.08	4.07	3.02	160.6	
	Mean	0.04	0.04	1.36	1.36	88.2	
Canal de la Havannah	Min	0.00	0.01	0.43	0.80	48.9	
	Max	0.13	0.08	1.80	2.40	150.4	
	Mean	0.04	0.04	0.96	1.18	81.9	
Baie du Prony	Min	0.01	0.01	1.25	1.23	54.0	
	Max	0.06	0.04	4.07	3.02	126.7	
	Mean	0.04	0.02	2.38	1.87	85.4	

En ce qui concerne les métaux dissous, si les concentrations de Co, Mn, Ni, Zn et Cr VI montrent un gradient de concentration de la côte vers le large comme pour la campagne précédente (mars 2007), cette fois ci, les apports terrigènes sont plus prononcés, notamment

près des sources d'apports terrigènes comme en Baie Kwe (St06) et face au Creek de la Rade Nord (St15).

Hormis cette différence, les concentrations demeurent exactement identiques d'une saison à l'autre (Tableau 8).

**Tableau 8 :** Evolution temporelle des concentrations en métaux dissous pour les périodes 2007 et 2008 dans l'ensemble du domaine étudié et les sous-domaines du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony.

Année		As (µg/L)		Co (µg/L)		Cu (µg/L)		Cr (tot) (µg/L)	
		07	08	07	08	07	08	07	08
Domaine entier	Min	1.1	0.2	0.003	0.012	0.03	0.03	0.02	0.10
	Max	1.5	1.9	0.082	0.073	0.15	0.18	0.18	0.24
	Mean	1.3	0.8	0.026	0.027	0.08	0.06	0.11	0.14
Canal de la Havannah	Min	1.2	0.3	0.003	0.012	0.03	0.03	0.02	0.10
	Max	1.5	1.9	0.046	0.029	0.15	0.13	0.18	0.24
	Mean	1.3	0.8	0.019	0.018	0.08	0.05	0.11	0.13
Baie du Prony	Min	1.1	0.2	0.024	0.032	0.07	0.03	0.05	0.12
	Max	1.3	0.8	0.082	0.073	0.09	0.18	0.14	0.19
	Mean	1.2	0.5	0.044	0.046	0.08	0.09	0.11	0.15

Année		Fe (µg/L)		Mn (µg/L)		Ni (µg/L)		Zn (µg/L)	
		07	08	07	08	07	08	07	08
Domaine entier	Min	0.03	0.01	0.03	0.08	0.04	0.11	0.16	-
	Max	0.41	0.39	0.43	0.51	0.54	0.50	1.29	1.45
	Mean	0.11	0.10	0.18	0.17	0.20	0.20	0.54	0.28
Canal de la Havannah	Min	0.05	0.01	0.03	0.08	0.04	0.11	0.16	
	Max	0.41	0.15	0.25	0.18	0.26	0.20	1.07	1.45
	Mean	0.12	0.06	0.14	0.12	0.14	0.14	0.35	0.18
Baie du Prony	Min	0.03	0.10	0.17	0.20	0.21	0.26	0.60	0.23
	Max	0.10	0.17	0.43	0.45	0.54	0.50	1.29	1.06
	Mean	0.06	0.13	0.24	0.26	0.35	0.33	0.88	0.59

## BIBLIOGRAPHIE

- Anderson D.H. and Robinson R.J., 1947. Rapid electrometric determination of the alkalinity of sea water using a glass electrode. *Ind. Eng. Chem. Anal.*, ISSN 0096-4484, 18 :767-769
- Fanning G.O., Pilson M.E.Q., 1973. On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Anal. Chem.*, 45 : 136-140.
- Fichez R., Moreton B., Pringault O., Viret H., 2005 – Fiche 1 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux. Convention de Recherche IRD/Goro-Ni N°9104
- Fichez R., Adjeroūd M., Bozec Y.M., Breau L., Chancerelle Y., Chevillon C., Douillet P., Fernandez J.M., Frouin P., Kulbicki M., Moreton B., Ouillon S., Payri C., Perez T., Sasal P., Thébault J., 2005. A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147
- Holms-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W., Strickland J.D.H., 1965. Fluorimetric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 30 : 3-15.
- Lorenzen C.J., 1966. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Res.*, 13 : 223-227.
- Murphy J., Riley J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27 : 31-36.
- Oudot C., Montel Y., 1988. A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in seawater with a Technicon Autoanalyzer II. *Mar. Chem.*, 24 : 239-252.
- Raimbault P., Slawyk G., Coste B., Fry J., 1990. Feasibility of measuring an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100nM range : examples from field and culture. *Mar. Biol.*, 104 : 347-351.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation géographique des stations de prélèvements dans la colonne d'eau (mission du 04-08 août 2008). .....	4
Figure 2 : Chronologie des prélèvements dans la colonne d'eau et marégramme pour la période (mission du 04-08 août 2008).....	5
Figure 3 : Evolution spatiale des concentrations en Ni en fonction de l'éloignement à la côte. Mise en évidence de l'influence des apports de la rivière Kwé (St06) et du Creek de Rade Nord (St15). .....	16

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste et localisation des stations. ....	4
Tableau 2 : Résultats d'analyse des échantillons certifiés TM-26.3 et TMDA-61. ....	9
Tableau 3 : Résultats d'analyses des échantillons de référence NASS-5 et CASS-4.....	10
Tableau 4 : Synthèse des valeurs de température, fluorescence, turbidité et salinité.....	10
Tableau 5 : Concentrations en sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates et silicates) dans la zone d'étude en saison sèche.....	13
Tableau 6 : Concentrations en carbone, azote et phosphore organiques dissous et particulaires dans la zone d'étude en saison sèche.....	14
Tableau 7 : Comparaison des valeurs de concentrations des sels nutritifs dissous et particulaires ainsi que de chlorophylle A et phéo-pigments enregistrées au cours des campagnes précédentes dans tout le domaine d'étude ainsi que dans les sous-domaines de la Baie du Prony et du Canal de la Havannah.....	17
Tableau 8 : Evolution temporelle des concentrations en métaux dissous pour les périodes 2007 et 2008 dans l'ensemble du domaine étudié et les sous-domaines du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony.....	18

## LISTE DES ANNEXES

### Annexe 1

Principales caractéristiques physico-chimiques : Profils CTD obtenus avec une sonde multiparamétrique SBE 19 pour les 18 stations de prélèvements dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony.

### Annexe 2

Concentration en matières en suspension (MEST), en éléments majeurs (Ca, K, Mg, Na, Cl), sulfates et mesure du pH pour les 3 niveaux de prélèvements des 18 stations de prélèvements dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony.

### Annexe 3

Concentrations en sels nutritifs dissous (Nitrates+nitrites, ammonium, Phosphates, Silicates azote et phosphore organique) et particulaires (Carbone, azote, phosphore, pigments chlorophylliens) pour les 3 niveaux de prélèvements des 18 stations de prélèvements dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony.

### Annexe 4

Concentration en hydrocarbures totaux dans les eaux de la station St16 (Port industriel) de la Baie du Prony.

### Annexe 5

Concentrations des métaux dissous pour les 3 niveaux de prélèvements des 18 stations de prélèvements dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony.

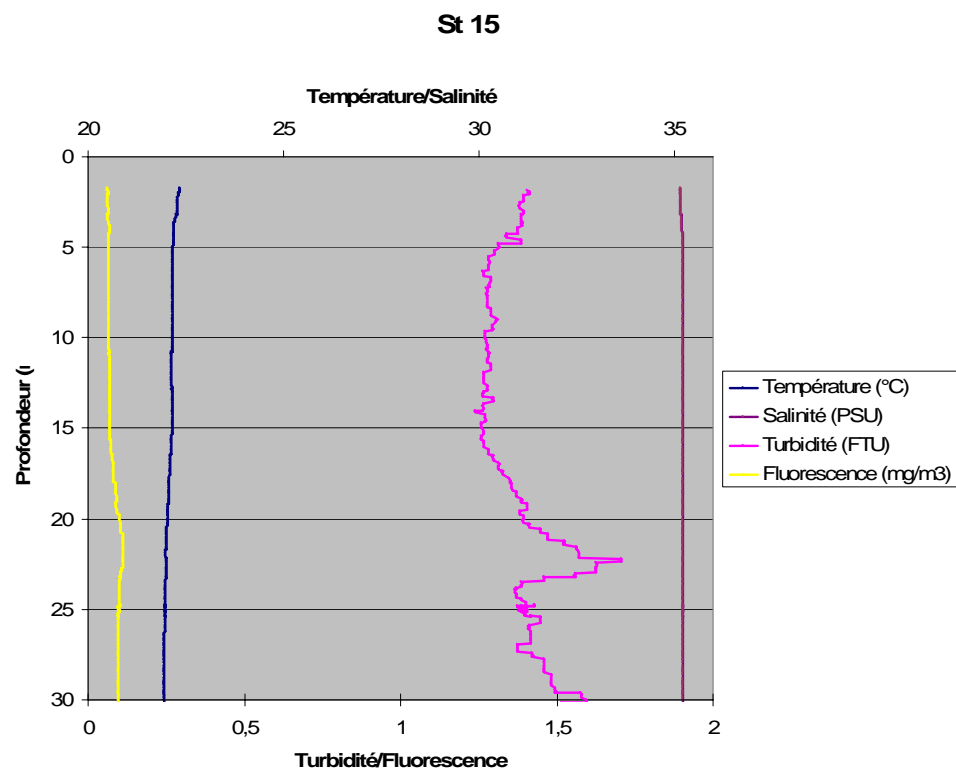


## ANNEXE 1

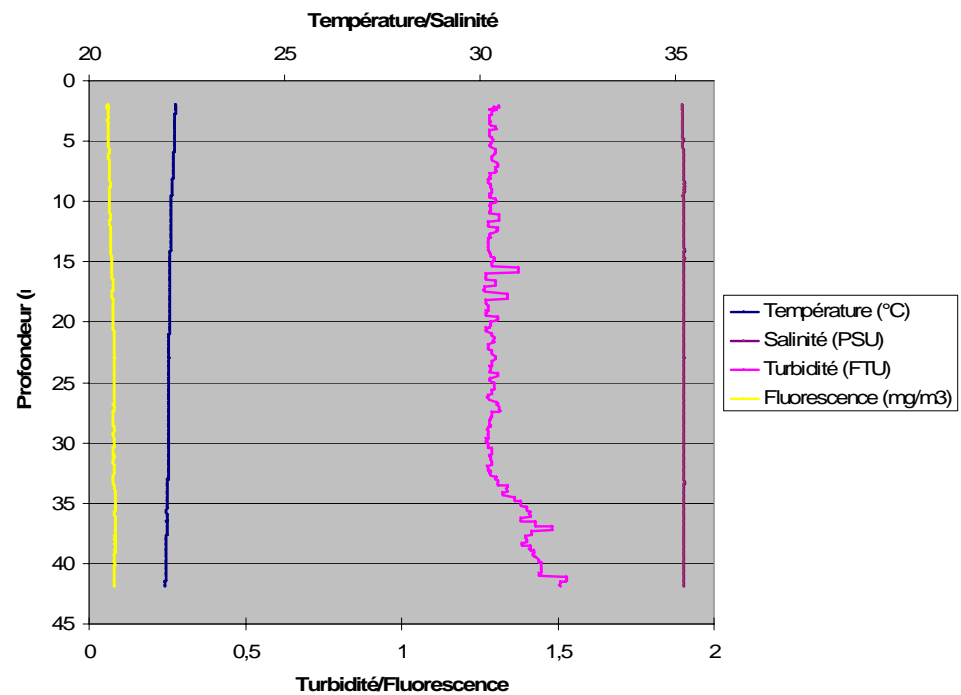
### Principales caractéristiques physico-chimiques : Profils CTD obtenus avec une sonde multiparamétrique SBE 19.

Les valeurs des paramètres température, salinité, turbidité, fluorimétrie et irradiance sont regroupées par unité physiographique, les profils

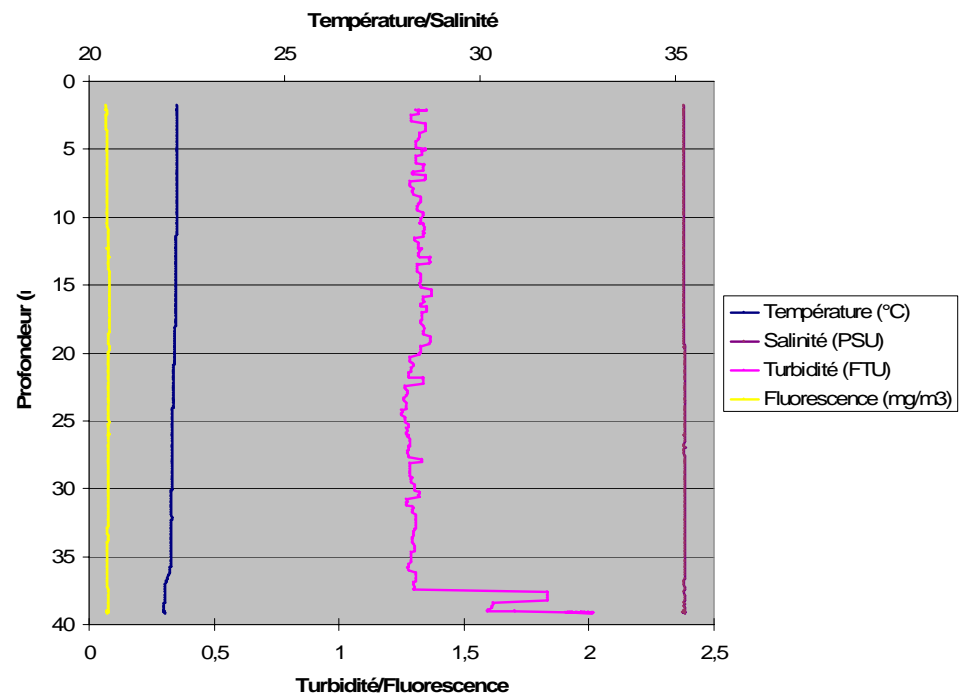
- St13, St15, St16, St17 et St18 correspondent aux eaux influencées par les apports terrigènes de la Baie du Prony et de l'Ile Ouen;
- St03 et St06 décrivent les eaux de la frange littorale du Canal de la Havannah ;
- St01, St07, St08, St09, St10 et St14 sont représentatifs des eaux intermédiaires du Canal;
- St02, St04, St05, St11 et St12 sont proches de la signature des eaux océaniques.



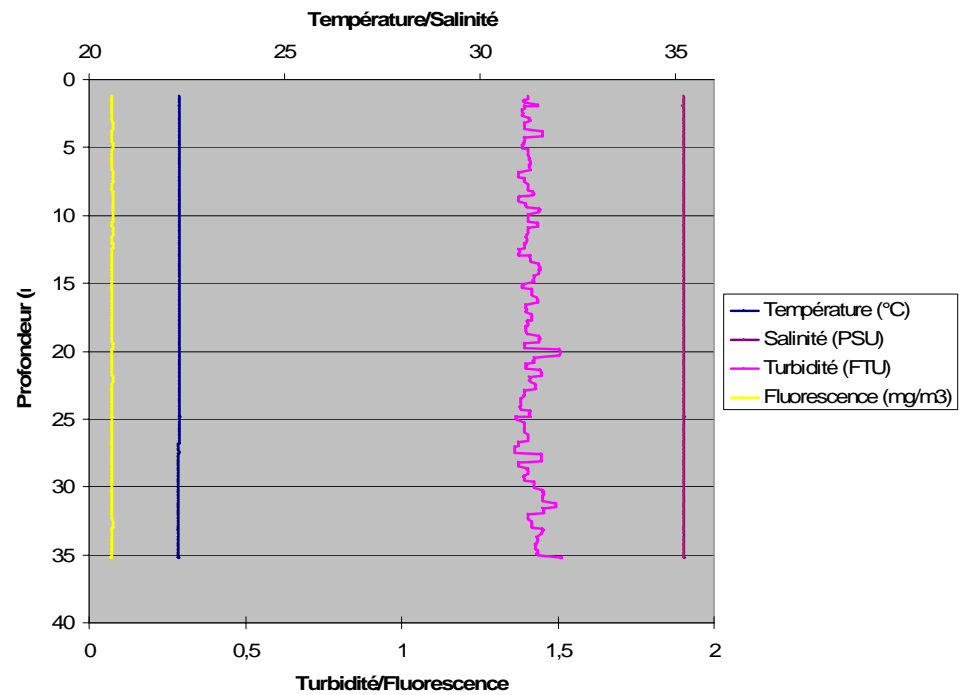
### St 16



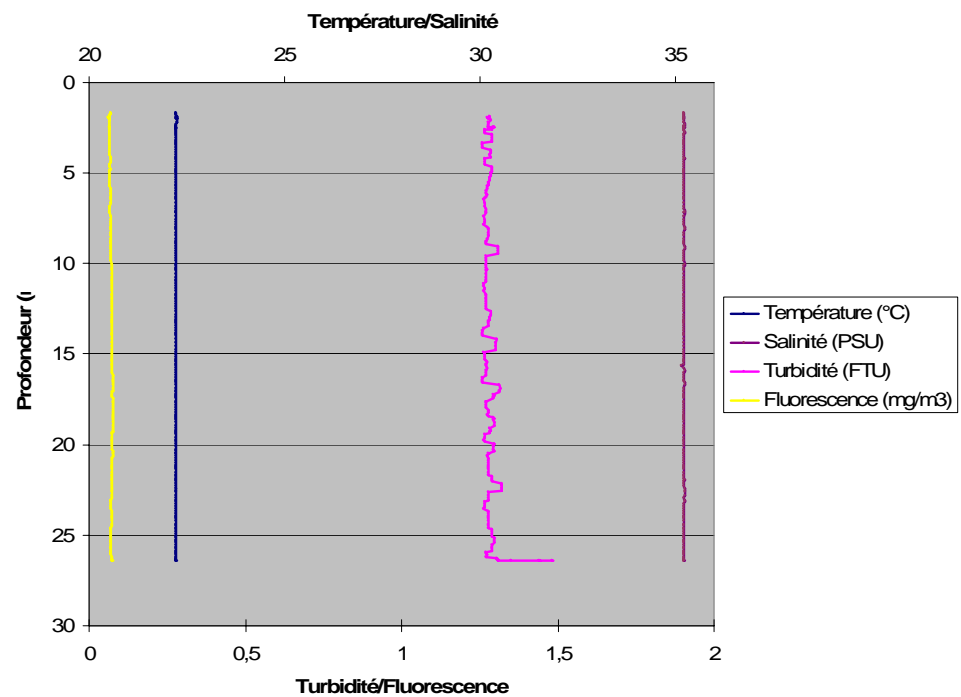
### St 18



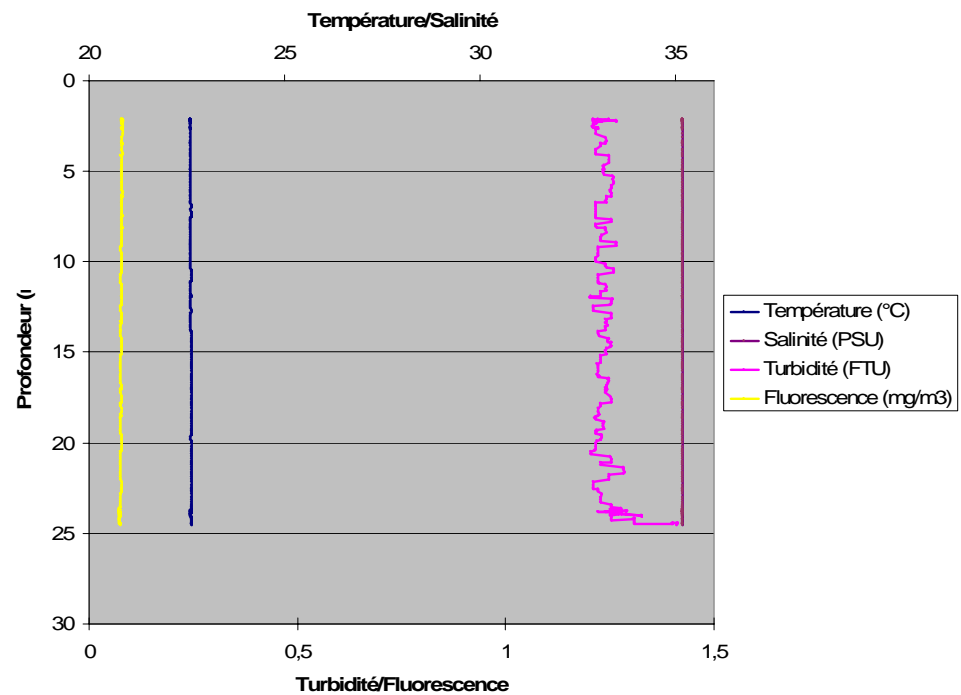
### St 13



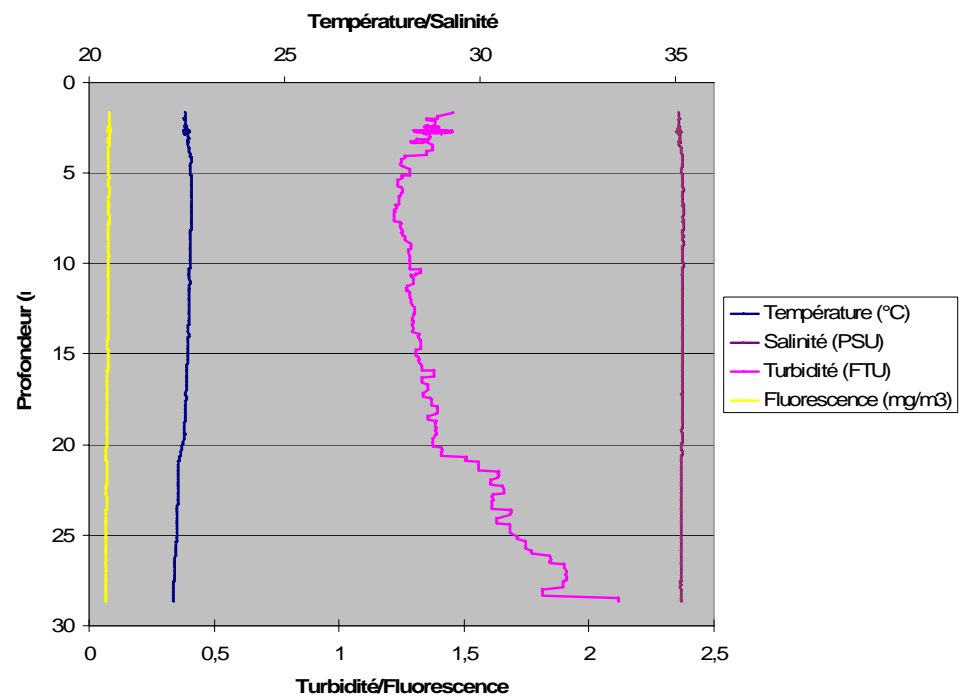
### St 17



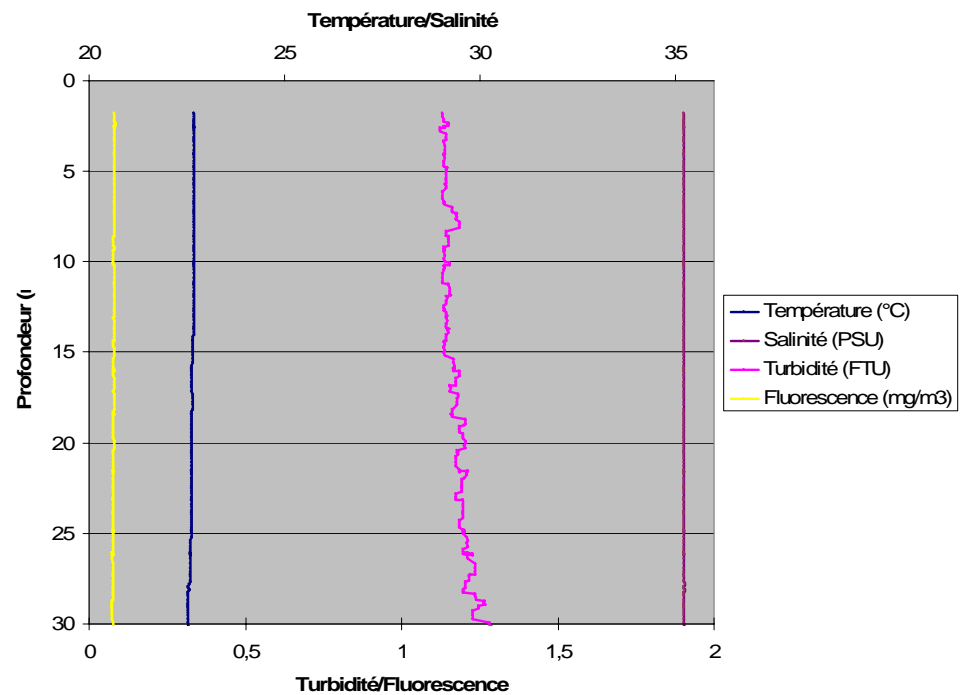
### St 03



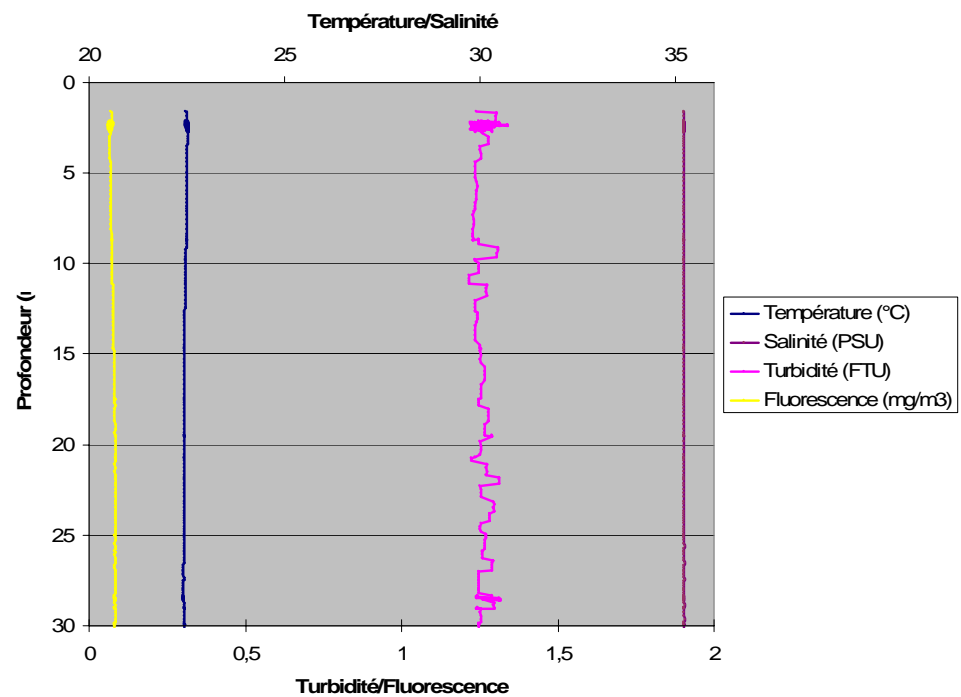
### St 06



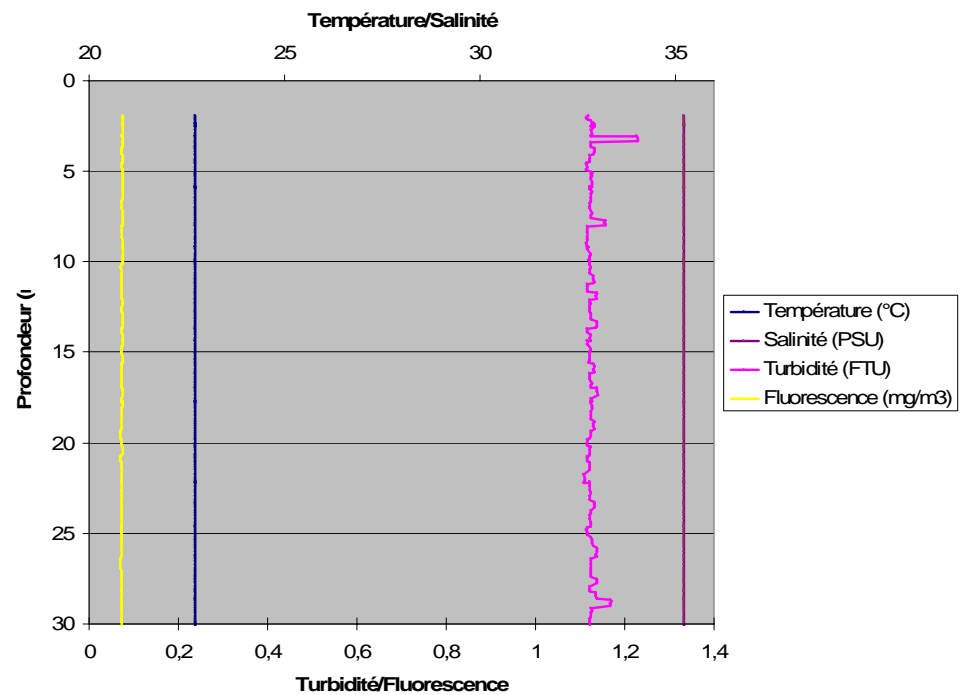
### St 07



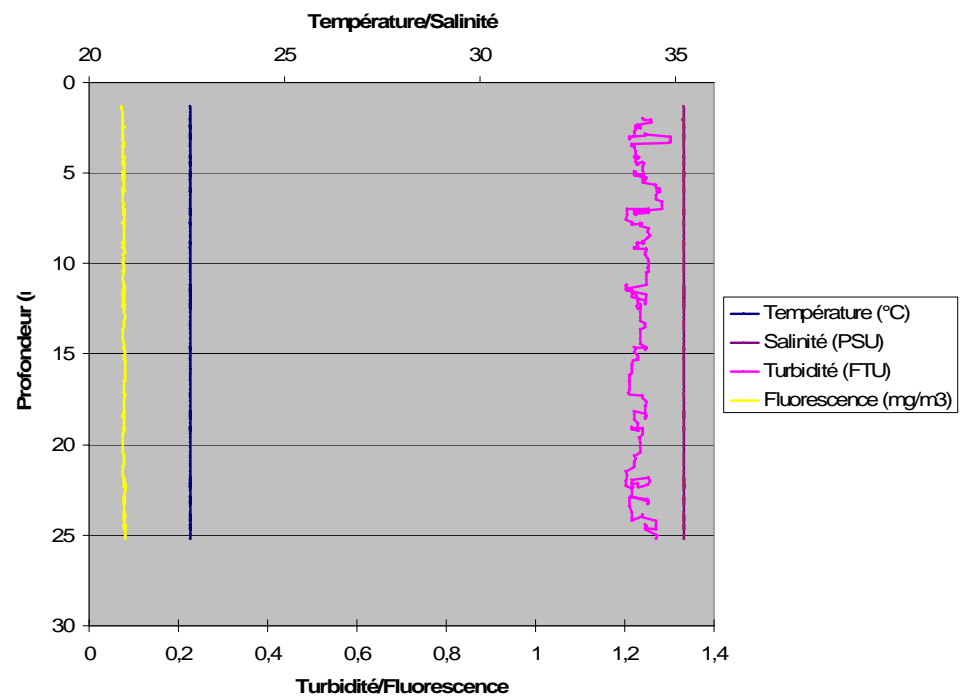
### St 08



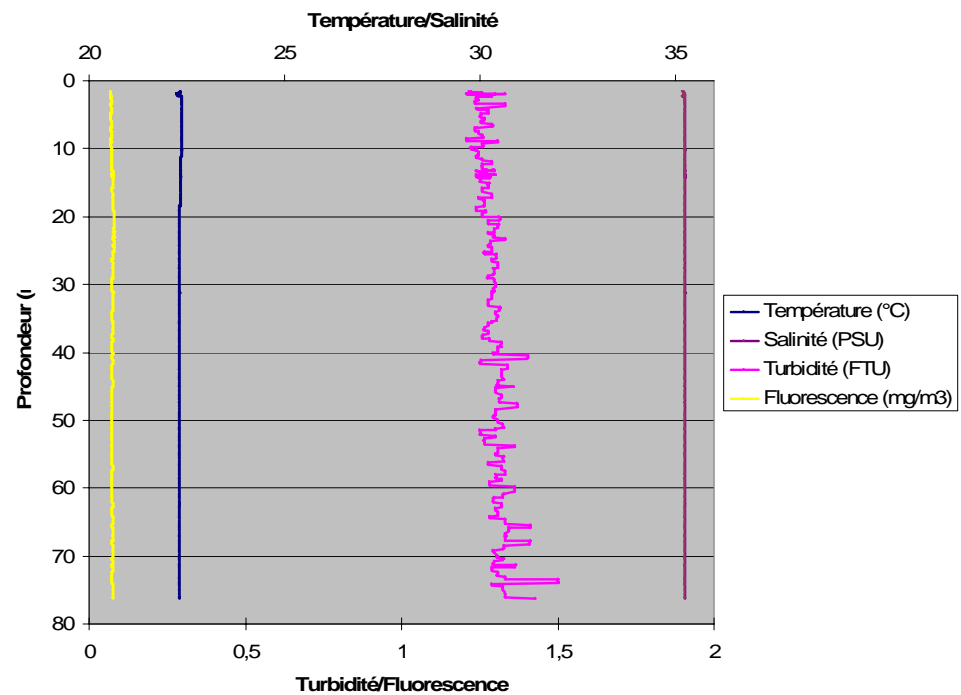
### St 09



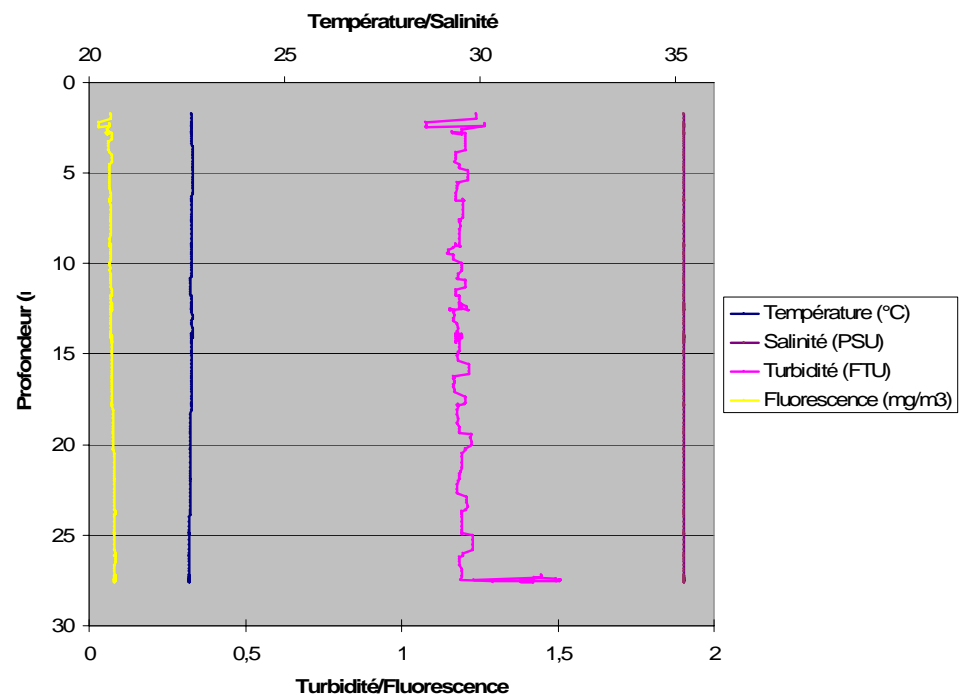
### St 14



### St 12

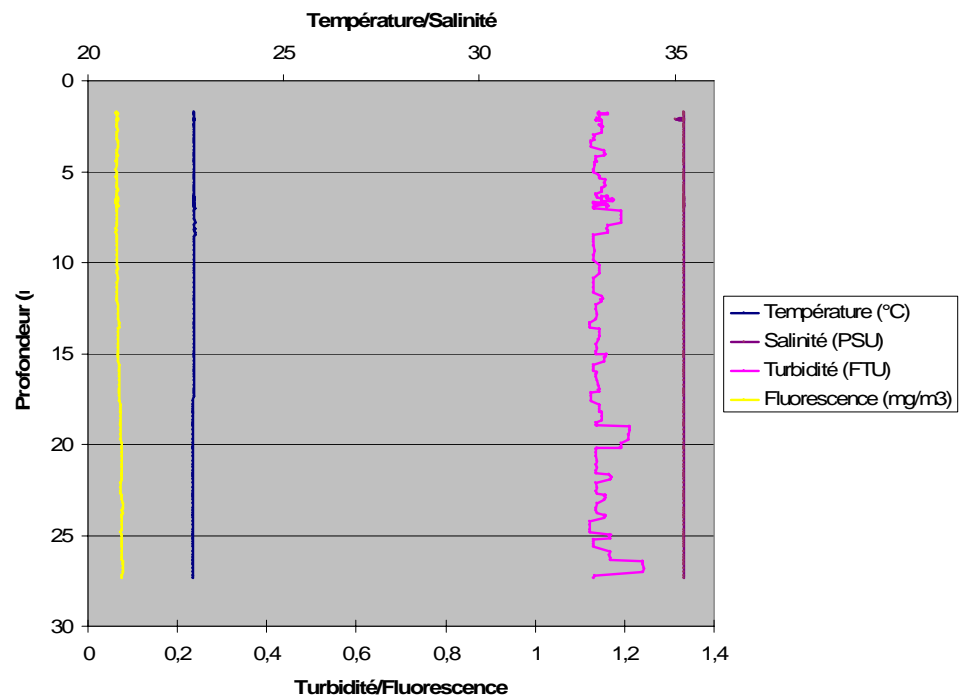


### St 01

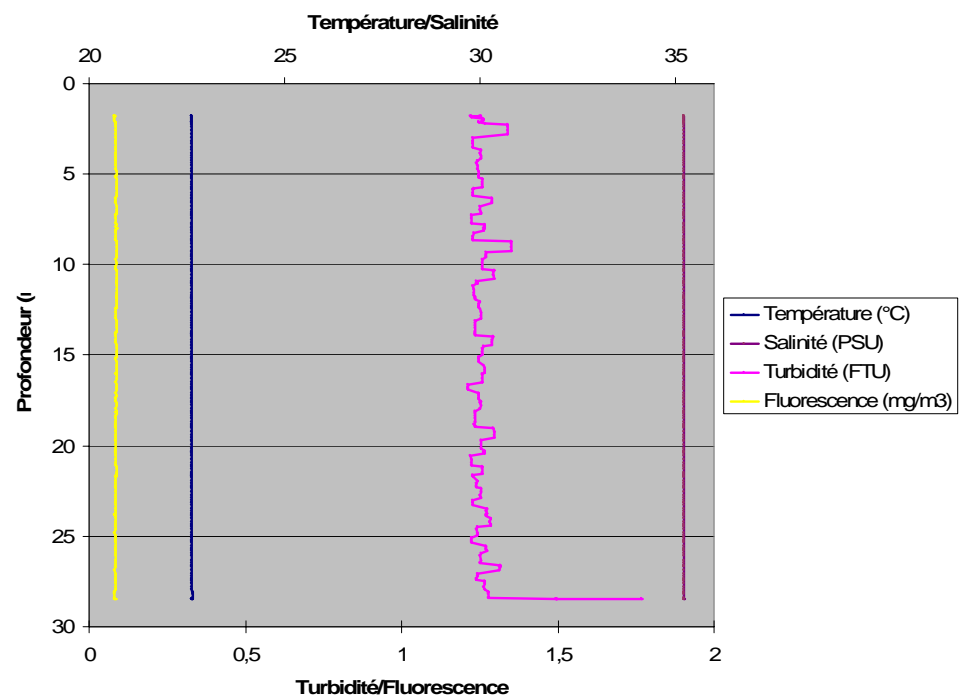




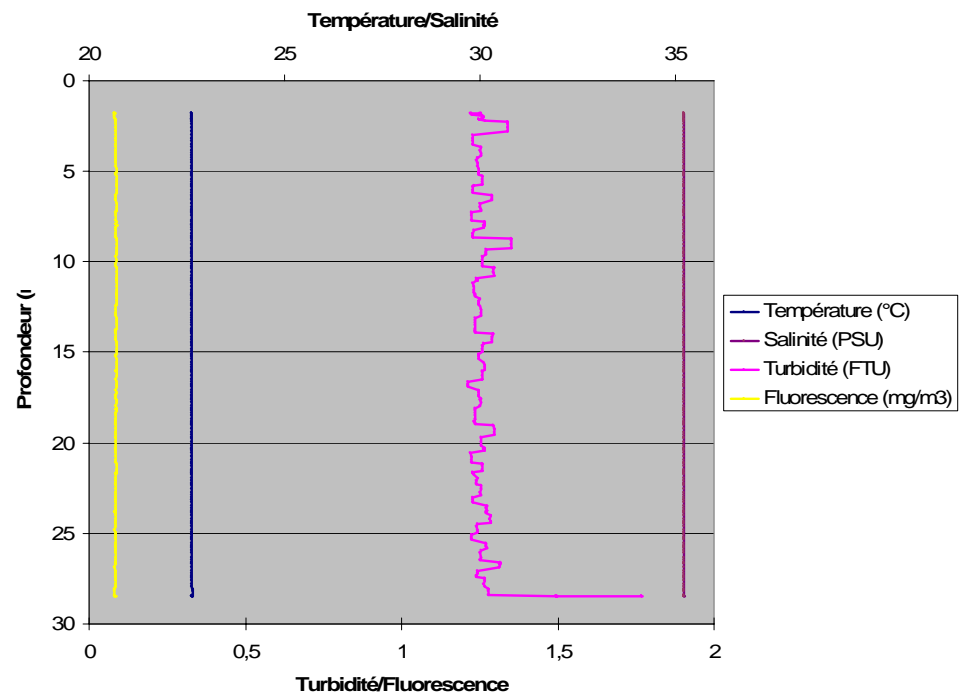
### St 02



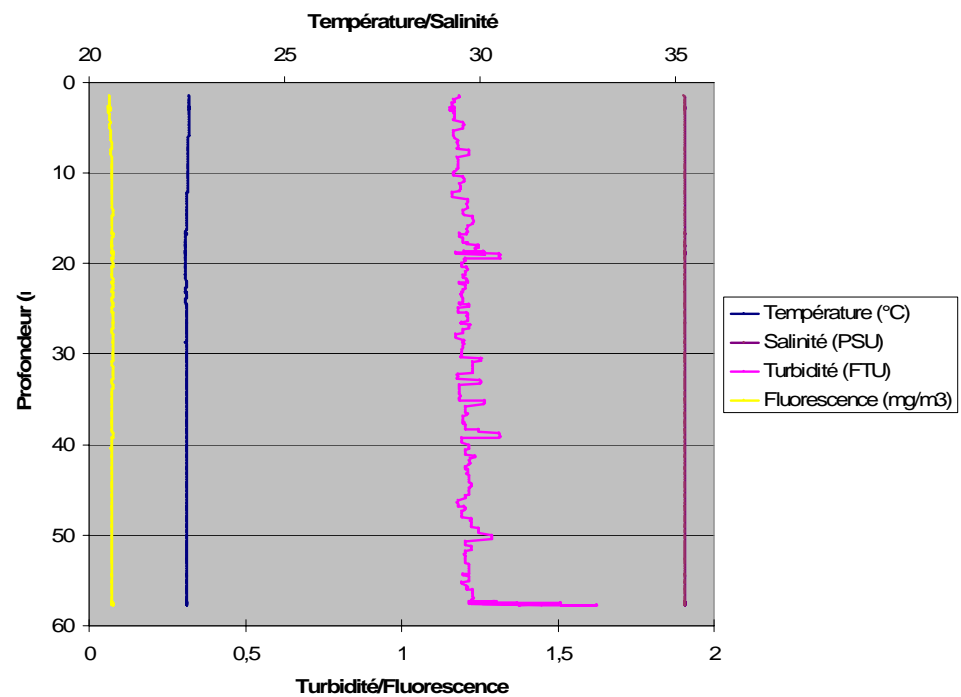
### St 05



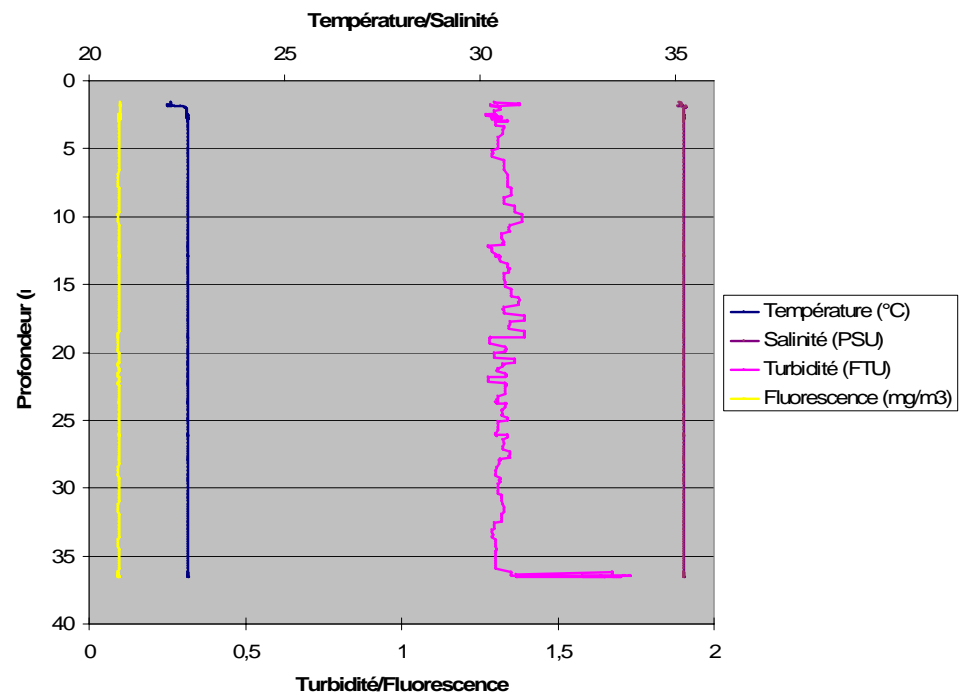
### St 04



### St 11



St 10



## ANNEXE 2

### Eléments majeurs et hydrocarbures totaux

Concentration en matières en suspension (MES), en éléments majeurs (Ca, K, Mg, Na, Cl), sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et mesure du pH pour les 3 niveaux de prélèvements des 18 stations de prélèvements dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ; Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) Absence de résultat ; (Nd) = Non déterminée.

Station	Profondeur (m)	pH	MES (mg/L)	Ca (mg/L) (n=1)	K (mg/L) (n=1)	Mg (mg/L) (n=1)	Na (mg/L) (n=1)	Cl (mg/L) (n=1)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L) (n=1)	Alcalinité totale (meq/L)
ST01	S	8,26	0,2	433	417	1411	11134	20 105	2 626	Nd
ST01	M	8,26	0,6	434	417	1410	11089	19 496	2 610	Nd
ST01	F	8,26	0,1	431	416	1407	11205	20 014	2 686	Nd
ST02	S	8,26	0,4	433	416	1409	11156	19 021	2 436	Nd
ST02	M	8,25	0,3	432	414	1407	11084	19 505	2 593	Nd
ST02	F	8,26	0,2	429	411	1397	11103	19 448	2 464	Nd
ST03	S	8,25	0,5	436	421	1419	11091	19 691	2 671	Nd
ST03	M	8,25	0,5	431	410	1401	10994	19 065	2 311	Nd
ST03	F	8,25	0,5	428	408	1391	11018	19 865	2 594	Nd
ST04	S	8,27	0,0	445	428	1445	11112	18 636	2 257	Nd
ST04	M	8,26	0,3	430	409	1396	10997	20 102	2 623	Nd
ST04	F	8,26	-	442	425	1438	11012	19 523	2 543	Nd
ST05	S	8,28	0,3	441	425	1433	10953	18 659	2 363	Nd
ST05	M	8,26	0,1	436	415	1415	11097	20 221	2 684	Nd
ST05	F	8,25	-	430	409	1397	11040	19 200	2 614	Nd
ST06	S	8,24	0,5	426	406	1386	11426	19 379	2 491	Nd
ST06	M	8,24	0,5	435	415	1412	11424	18 916	2 617	Nd
ST06	F	8,21	0,5	429	411	1395	11337	19 716	2 653	Nd
ST07	S	8,25	0,5	425	403	1381	11417	19 975	2 738	Nd
ST07	M	8,25	0,5	435	416	1416	11435	20 012	2 768	Nd
ST07	F	8,25	0,5	433	413	1406	11410	19 987	2 647	Nd
ST08	S	8,25	0,3	432	413	1404	11452	18 912	2 465	Nd
ST08	M	8,25	0,2	436	418	1416	11432	19 365	2 504	Nd
ST08	F	8,25	0,8	426	406	1386	11364	19 315	2 615	Nd
ST09	S	8,26	0,5	421	397	1367	11467	19 683	2 612	Nd
ST09	M	8,25	0,5	428	409	1392	11455	19 946	2 835	Nd
ST09	F	8,25	0,5	430	409	1396	11433	20 143	2 856	Nd
ST10	S	8,27	0,4	433	415	1407	11506	20 024	2 855	Nd
ST10	M	8,28	0,1	422	401	1374	11479	19 798	2 811	Nd
ST10	F	8,28	0,2	429	411	1397	11446	20 104	2 900	Nd

Station	Profondeur (m)	pH	MEST (mg/L)	Ca (mg/L) (n=1)	K (mg/L) (n=1)	Mg (mg/L) (n=1)	Na (mg/L) (n=1)	Cl (mg/L) (n=1)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) (n=1)	Alcalinité totale (meq/L)
ST11	S	8,26	0,1	429	407	1392	11434	19 687	2 703	Nd
ST11	M	8,26	-	428	404	1386	11331	20 028	2 679	Nd
ST11	F	8,26	0,5	423	401	1373	11413	19 855	2 863	Nd
ST12	S	8,26	0,2	423	400	1373	11323	19 738	2 652	Nd
ST12	M	8,25	0,2	431	407	1391	11365	19 272	2 659	Nd
ST12	F	8,26	6,3	417	394	1356	11380	19 560	2 647	Nd
ST13	S	8,24	0,2	424	402	1377	11477	20 554	2 902	Nd
ST13	M	8,23	0,3	427	406	1385	11321	19 302	2 564	Nd
ST13	F	8,24	0,4	425	405	1381	11409	19 396	2 516	Nd
ST14	S	8,24	0,1	425	404	1381	11352	18 224	2 413	Nd
ST14	M	8,27	0,2	432	413	1401	11328	19 811	2 718	Nd
ST14	F	8,28	0,2	435	415	1409	11329	19 826	2 689	Nd
ST15	S	8,23	-	421	402	1370	11303	19 401	2 507	Nd
ST15	M	8,24	0,6	422	402	1371	11369	19 644	2 660	Nd
ST15	F	8,23	0,2	427	409	1391	11399	18 319	2 131	Nd
ST16	S	8,25	0,5	427	410	1391	11427	19 765	2 521	2278
ST16	M	8,25	0,5	429	412	1395	11341	19 068	2 449	2423
ST16	F	8,25	0,5	416	396	1355	11335	18 886	2 414	2361
ST17	S	8,25	0,1	417	388	1339	11387	18 748	2 374	Nd
ST17	M	8,25	0,2	411	389	1339	11323	19 218	2 384	Nd
ST17	F	8,24	0,2	420	400	1366	11381	19 421	2 541	Nd
ST18	S	8,25	6,3	415	394	1350	11318	19 745	2 678	Nd
ST18	M	8,25	0,2	424	406	1380	11274	19 207	2 539	Nd
ST18	F	8,25	0,3	418	398	1361	11315	19 303	2 591	Nd

## ANNEXE 3

### Nitrates + Nitrites

Concentration en  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$  dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ;  
Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond - 3m ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) = Echantillon unique, pas d'écart-type calculable ou absence de résultat.

Station	Profondeur	$\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ $\mu\text{mol/L}$	Ecart-type (n=2)
ST01	S	0.084	0,024
ST01	M	0.016	0,002
ST01	F	0.006	-
ST02	S	0.102	0,014
ST02	M	0.106	0,005
ST02	F	0.078	0,002
ST03	S	0.093	0,006
ST03	M	0.081	0,003
ST03	F	0.095	0,041
ST04	S	0.044	0,001
ST04	M	0.037	0,007
ST04	F	0.031	0,011
ST05	S	0.017	0,002
ST05	M	0.035	0,004
ST05	F	0.032	0,011
ST06	S	0.083	0,002
ST06	M	0.081	0,001
ST06	F	0.095	0,007
ST07	S	0.098	0,007
ST07	M	0.075	0,014
ST07	F	0.069	0,002
ST08	S	0.037	0,014
ST08	M	0.030	0,018
ST08	F	0.059	0,028
ST09	S	0.066	0,026
ST09	M	0.077	0,003
ST09	F	0.080	0,009
ST10	S	0.042	0,002
ST10	M	0.038	0,001
ST10	F	0.038	0,007
ST11	S	0.045	0,014
ST11	M	0.037	0,009
ST11	F	0.066	0,002

Station	Profondeur	NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> μmol/L	Ecart-type (n=2)
ST12	S	0.055	0,005
ST12	M	0.044	0,003
ST12	F	0.056	0,003
ST13	S	0.095	-
ST13	M	0.086	-
ST13	F	0.079	0,001
ST14	S	0.078	0,012
ST14	M	0.063	0,016
ST14	F	0.029	0,010
ST15	S	0.064	0,003
ST15	M	0.055	0,003
ST15	F	0.055	0,017
ST16	S	0.076	-
ST16	M	0.070	-
ST16	F	0.076	0,004
ST17	S	0.094	0,007
ST17	M	0.102	0,023
ST17	F	0.087	0,016
ST18	S	0.072	0,019
ST18	M	0.099	0,014
ST18	F	0.078	0,003



## Ammonium

Concentration en  $\text{NH}_4$  dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ; Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m ; (\*) = Echantillons non traité ; (-) = Echantillon unique, écart-type non calculable.

Station	Profondeur	$\text{NH}_4$ $\mu\text{mol/L}$	Ecart-type (n=3)
ST01	S	0.022	0.001
ST01	M	0.020	< 0.0001
ST01	F	0.023	0.003
ST02	S	0.018	0.001
ST02	M	0.017	0.002
ST02	F	0.042	0.002
ST03	S	0.029	0.006
ST03	M	0.032	0.001
ST03	F	0.031	< 0.001
ST04	S	0.017	0.004
ST04	M	0.034	0.006
ST04	F	0.027	0.006
ST05	S	0.026	0.011
ST05	M	0.017	< 0.001
ST05	F	0.019	0.001
ST06	S	0.027	0.001
ST06	M	0.034	0.001
ST06	F	0.091	0.002
ST07	S	0.018	0.002
ST07	M	0.023	0.003
ST07	F	0.044	0.001
ST08	S	0.013	0.001
ST08	M	0.018	0.001
ST08	F	0.031	0.003
ST09	S	0.020	< 0.001
ST09	M	0.025	0.004
ST09	F	0.022	0.001
ST10	S	0.015	0.004
ST10	M	0.001	< 0.001
ST10	F	0.023	0.008
ST11	S	0.022	0.002
ST11	M	0.028	0.002
ST11	F	0.070	< 0.001

Station	Profondeur	NH4 μmol/L	Ecart-type (n=3)
ST12	S	0.010	0.001
ST12	M	0.032	0.006
ST12	F	0.032	0.001
ST13	S	0.018	0.006
ST13	M	0.020	0.001
ST13	F	0.034	0.006
ST14	S	0.018	0.007
ST14	M	0.029	0.004
ST14	F	0.030	0.007
ST15	S	0.007	< 0.001
ST15	M	0.008	0.002
ST15	F	0.015	0.002
ST16	S	0.010	0.004
ST16	M	0.008	0.003
ST16	F	0.011	0.001
ST17	S	0.010	0.003
ST17	M	0.006	0.001
ST17	F	0.019	0.002
ST18	S	0.017	0.002
ST18	M	0.013	0.002
ST18	F	0.098	0.001

## Phosphates

Concentration en  $\text{PO}_4$  dissous dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ;  
Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m  
; (\*) = Echantillon non traité ; (-) = Echantillon unique, pas d'écart-type calculable ou absence de résultat.

Station	Profondeur	$\text{PO}_4$ $\mu\text{mol/L}$	Ecart-type (n=2)
ST01	S	0,013	0,006
ST01	M	0,019	0,008
ST01	F	0,014	0,003
ST02	S	0,036	0,001
ST02	M	0,038	-
ST02	F	0,039	0,007
ST03	S	0,036	0,008
ST03	M	0,039	0,004
ST03	F	0,036	0,006
v ST04	S	0,069	0,004
ST04	M	0,069	0,005
ST04	F	0,073	0,004
ST05	S	0,065	0,003
ST05	M	0,057	0,003
ST05	F	0,064	0,001
ST06	S	0,031	0,002
ST06	M	0,025	0,010
ST06	F	0,029	0,010
ST07	S	0,026	0,003
ST07	M	0,027	0,002
ST07	F	0,027	-
ST08	S	0,020	0,010
ST08	M	0,044	0,001
ST08	F	0,040	0,001
ST09	S	0,019	0,002
ST09	M	0,027	0,003
ST09	F	0,026	0,003
ST10	S	0,071	-
ST10	M	0,074	-
ST10	F	0,062	0,003
ST11	S	0,043	0,001
ST11	M	0,052	0,004
ST11	F	0,063	-0,000

Station	Profondeur	PO4 μmol/L	Ecart-type (n=2)
ST12	S	0,059	0,005
ST12	M	0,041	0,002
ST12	F	0,041	0,002
ST13	S	0,016	-
ST13	M	0,020	0,009
ST13	F	0,014	0,005
ST14	S	0,040	0,006
ST14	M	0,030	0,001
ST14	F	0,084	0,003
ST15	S	0,010	0,004
ST15	M	0,014	0,001
ST15	F	0,025	0,003
ST16	S	0,017	0,003
ST16	M	0,019	0,003
ST16	F	0,024	-
ST17	S	0,030	0,003
ST17	M	0,028	0,002
ST17	F	0,028	0,005
ST18	S	0,019	0,006
ST18	M	0,039	0,005
ST18	F	0,019	0,003

## Silicates

Concentration en  $\text{SiO}_2$  dissous dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ;  
 Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m  
 ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) = Echantillon unique, pas d'écart-type calculable ou absence de résultat.

Station	Profondeur	$\text{SiO}_2$ $\mu\text{mol/L}$	Ecart-type (n=2)
ST01	S	1,453	0,588
ST01	M	1,008	0,083
ST01	F	1,186	0,016
ST02	S	1,367	0,630
ST02	M	2,399	0,216
ST02	F	0,804	-
ST03	S	0,955	0,093
ST03	M	1,105	0,022
ST03	F	0,901	0,037
ST04	S	0,994	0,001
ST04	M	1,112	0,026
ST04	F	1,091	0,037
ST05	S	1,034	0,046
ST05	M	1,262	0,004
ST05	F	1,268	0,201
ST06	S	1,606	-
ST06	M	1,042	0,053
ST06	F	1,871	0,095
ST07	S	0,900	0,056
ST07	M	1,022	0,244
ST07	F	1,335	0,245
ST08	S	1,147	0,110
ST08	M	1,269	0,415
ST08	F	1,702	0,558
ST09	S	1,120	-
ST09	M	0,953	0,092
ST09	F	0,923	0,297
ST10	S	1,238	0,055
ST10	M	1,183	0,278
ST10	F	1,056	0,066
ST11	S	1,066	0,086
ST11	M	1,068	0,034
ST11	F	1,131	0,008

Station	Profondeur	SIO2 μmol/L	Ecart-type (n=2)
ST12	S	1,129	-
ST12	M	1,113	0,030
ST12	F	1,589	0,077
ST13	S	1,218	-
ST13	M	1,963	-
ST13	F	1,429	0,352
ST14	S	0,988	-!
ST14	M	0,818	-
ST14	F	1,139	0,170
ST15	S	2,744	0,028
ST15	M	1,800	0,033
ST15	F	2,388	0,065
ST16	S	1,988	0,106
ST16	M	1,693	0,012
ST16	F	2,021	-
ST17	S	1,609	0,219
ST17	M	1,227	-
ST17	F	1,285	-
ST18	S	1,367	-
ST18	M	1,317	-
ST18	F	3,023	0,037

## Azote et Phosphore organique dissous

Concentration en N et P organique dissous (NOD et POD) dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ; Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) = Echantillon unique, pas d'écart-type calculable ou absence de résultat.

Station	Profondeur	POD μmol/L	Ecart-type (n=2)	NOD μmol/L	Ecart-type (n=2)
ST01	S	0.229	0.051	4.144	0.525
ST01	M	0.233	0.024	4.404	
ST01	F	0.159		4.071	
ST02	S	0.197	0.025	4.359	0.525
ST02	M	0.195		4.095	0.427
ST02	F	0.214	0.016	4.270	0.974
ST03	S	0.239	0.030	4.037	0.202
ST03	M	0.206	0.061	4.249	0.094
ST03	F	0.203	0.043	4.076	
ST04	S	0.198	0.065	4.069	0.295
ST04	M	0.166	0.027	3.831	0.153
ST04	F	0.175	0.022	3.648	0.277
ST05	S	0.138		3.725	
ST05	M	0.151		4.148	
ST05	F	0.170	0.006	4.013	0.212
ST06	S	0.288	0.005	4.828	0.213
ST06	M	0.175	0.018	3.713	0.192
ST06	F	0.255	0.062	4.637	1.259
ST07	S	0.211	0.012	3.750	0.329
ST07	M	0.316	0.063	4.339	0.367
ST07	F	0.189		3.262	0.303
ST08	S	0.215	0.014	4.432	0.205
ST08	M	0.171	0.011	4.594	1.319
ST08	F	0.204	0.065	4.288	0.471
ST09	S	0.230	0.009	3.709	
ST09	M	0.197	0.033	4.033	0.377
ST09	F	0.197	0.051	3.730	0.870
ST10	S	0.123		4.137	0.506
ST10	M	0.113		3.989	
ST10	F	0.146	0.045	3.602	0.075
ST11	S	0.162	0.003	3.813	0.236
ST11	M	0.208	0.026	4.176	0.521
ST11	F	0.183	0.025	3.504	

Station	Profondeur	POD μmol/L	Ecart-type (n=2)	NOD μmol/L	Ecart-type (n=2)
ST12	S	0.140	0.022	4.850	1.106
ST12	M	0.170	0.011	3.918	0.329
ST12	F	0.158		4.504	
ST13	S	0.196		3.927	
ST13	M	0.294	0.027	4.499	
ST13	F	0.191	0.010	3.861	0.017
ST14	S	0.132	0.073	2.717	0.599
ST14	M	0.156	0.066	2.549	0.330
ST14	F	0.160	0.008	3.362	0.107
ST15	S	0.246	0.046	3.853	
ST15	M	0.183	0.012	3.929	0.245
ST15	F	0.171	0.009	4.010	0.479
ST16	S	0.194	0.023	3.776	
ST16	M	0.189	0.031	4.028	
ST16	F	0.210		4.084	0.055
ST17	S	0.165	0.017	3.894	0.340
ST17	M	0.161	0.006	3.586	0.494
ST17	F	0.199	0.007	3.670	0.228
ST18	S	0.196	0.015	3.959	0.131
ST18	M	0.194		3.655	0.036
ST18	F	0.277	0.044	3.901	0.194



## Carbone, Azote et Phosphore organique particuliers

Concentration en N et P organique particulaire (NOP et POP) dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ; Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) = Echantillon unique, pas d'écart-type calculable ou absence de résultat.

Station	Profondeur	COP $\mu$ g/L (n=1)	NOP $\mu$ mol/L (n=1)	POP $\mu$ mol/L (n=1)
ST01	S	73	0,55	0,081
ST01	M	66	0,54	0,042
ST01	F	90	0,68	0,072
ST02	S	90	0,49	0,047
ST02	M	86	0,57	0,064
ST02	F	131	0,57	0,058
ST03	S	197	0,71	0,106
ST03	M	54	0,57	0,087
ST03	F	113	0,56	0,089
ST04	S	107	0,56	0,054
ST04	M	161	0,62	0,060
ST04	F	103	0,58	0,052
ST05	S	103	0,80	0,084
ST05	M	81	0,34	0,033
ST05	F	122	0,65	0,050
ST06	S	*	*	*
ST06	M	127	0,70	0,098
ST06	F	69	0,66	0,090
ST07	S	123	1,32	0,089
ST07	M	72	0,62	0,072
ST07	F	112	1,29	0,088
ST08	S	114	0,71	0,066
ST08	M	52	0,60	0,078
ST08	F	62	0,68	0,078
ST09	S	73	0,93	0,064
ST09	M	64	0,51	0,102
ST09	F	82	0,77	0,075
ST10	S	64	0,70	0,074
ST10	M	76	0,70	0,086
ST10	F	82	0,78	0,073
ST11	S	57	0,60	0,054
ST11	M	69	0,56	0,078
ST11	F	150	0,74	0,052

Station	Profondeur	COP $\mu$ g/L (n=1)	NOP $\mu$ mol/L (n=1)	POP $\mu$ mol/L (n=1)
ST12	S	96	0,74	0,076
ST12	M	73	0,73	0,081
ST12	F	73	0,60	0,083
ST13	S	96	0,75	0,086
ST13	M	84	0,72	0,090
ST13	F	80	0,81	0,082
ST14	S	79	1,19	0,091
ST14	M	96	0,62	0,073
ST14	F	88	0,78	0,067
ST15	S	99	0,90	0,077
ST15	M	107	0,84	0,102
ST15	F	96	1,12	0,115
ST16	S	73	0,92	0,104
ST16	M	57	0,92	0,102
ST16	F	94	0,80	0,075
ST17	S	117	0,82	0,082
ST17	M	57	0,81	0,113
ST17	F	99	0,70	0,076
ST18	S	64	0,77	0,078
ST18	M	77	0,82	0,099
ST18	F	49	0,80	0,094

## Azote total et Phosphore total

Concentration en N et P totaux dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ; Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) = Echantillon unique, pas d'écart-type calculable ou absence de résultat.

Station	Profondeur	P (total) μmol/L	Ecart-type (n=2)	N (total) μmol/L	Ecart-type (n=2)
ST01	S	0,324	0,045	4,80	0,50
ST01	M	0,293	0,016	4,98	0,24
ST01	F	0,245	-	4,78	0,29
ST02	S	0,280	0,024	4,97	0,51
ST02	M	0,297	0,000	4,78	0,42
ST02	F	0,311	0,009	4,97	0,97
ST03	S	0,381	0,022	4,87	0,19
ST03	M	0,332	0,057	4,93	0,09
ST03	F	0,329	0,037	4,76	0,01
ST04	S	0,321	0,061	4,69	0,29
ST04	M	0,295	0,022	4,52	0,14
ST04	F	0,300	0,018	4,29	0,26
ST05	S	0,287	-	4,57	-
ST05	M	0,241	-	4,54	-
ST05	F	0,284	0,005	4,72	0,20
ST06	S	0,319	0,003	4,94	0,21
ST06	M	0,298	0,008	4,53	0,19
ST06	F	0,374	0,052	5,48	1,25
ST07	S	0,325	0,009	5,19	0,32
ST07	M	0,415	0,061	5,06	0,35
ST07	F	0,303	0,004	4,67	0,30
ST08	S	0,301	0,004	5,19	0,19
ST08	M	0,293	0,010	5,24	1,30
ST08	F	0,323	0,064	5,06	0,44
ST09	S	0,313	0,007	4,73	0,00
ST09	M	0,326	0,030	4,64	0,37
ST09	F	0,298	0,048	4,60	0,86
ST10	S	0,267	0,032	4,89	0,50
ST10	M	0,273	0,009	4,73	0,29
ST10	F	0,280	0,042	4,44	0,06
ST11	S	0,259	0,002	4,48	0,22
ST11	M	0,338	0,022	4,80	0,51
ST11	F	0,298	0,025	4,38	0,22

Station	Profondeur	P (total) μmol/L	Ecart-type (n=2)	N (total) μmol/L	Ecart-type (n=2)
ST12	S	0,276	0,017	5,65	1,10
ST12	M	0,291	0,009	4,72	0,32
ST12	F	0,282	-	5,20	-
ST13	S	0,299	0,004	4,79	0,00
ST13	M	0,404	0,018	5,32	1,40
ST13	F	0,287	0,005	4,79	0,01
ST14	S	0,263	0,067	4,00	0,58
ST14	M	0,258	0,065	3,26	0,31
ST14	F	0,312	0,005	4,20	0,09
ST15	S	0,334	0,042	4,83	0,45
ST15	M	0,299	0,011	4,83	0,24
ST15	F	0,311	0,006	5,20	0,46
ST16	S	0,315	0,020	4,78	0,61
ST16	M	0,310	0,028	5,02	0,08
ST16	F	0,308	0,004	4,97	0,05
ST17	S	0,278	0,014	4,82	0,33
ST17	M	0,302	0,004	4,51	0,47
ST17	F	0,303	0,002	4,47	0,21
ST18	S	0,293	0,009	4,82	0,11
ST18	M	0,332	-	4,59	0,02
ST18	F	0,390	0,041	4,88	0,19

## Chlorophylle a et Phéopigments

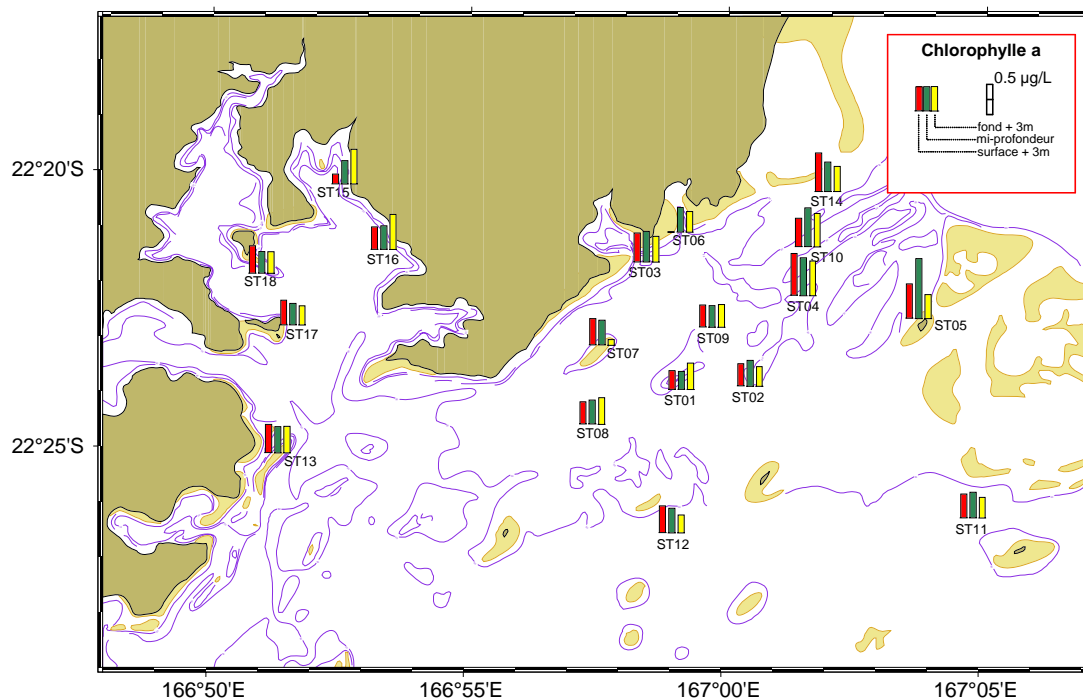
Concentration en Chlorophylle a et en Phéopigments dans les eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony ; Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) Absence de résultats.

Station	Profondeur	Chloro µg/L (n=1)	Pheo µg/L (n=1)	%Pheo
ST01	S	0,302	0,118	28,1
ST01	M	0,291	0,129	30,7
ST01	F	0,429	0,173	28,8
ST02	S	0,361	0,106	22,7
ST02	M	0,420	0,122	22,6
ST02	F	0,324	0,127	28,1
ST03	S	0,470	0,156	24,9
ST03	M	0,495	0,194	28,2
ST03	F	0,418	0,169	28,9
ST04	S	0,681	0,196	22,4
ST04	M	0,617	0,201	24,6
ST04	F	0,561	0,201	26,4
ST05	S	0,560	0,188	25,1
ST05	M	0,975	0,385	28,3
ST05	F	0,390	0,126	24,4
ST06	S	-	-	-
ST06	M	0,404	0,167	29,3
ST06	F	0,333	0,203	37,9
ST07	S	0,430	0,188	30,4
ST07	M	0,403	0,160	28,5
ST07	F	0,088	0,475	84,3
ST08	S	0,357	0,140	28,2
ST08	M	0,388	0,162	29,4
ST08	F	0,432	0,173	28,6
ST09	S	0,358	0,133	27,1
ST09	M	0,349	0,132	27,4
ST09	F	0,369	0,140	27,5
ST10	S	0,463	0,183	28,4
ST10	M	0,632	0,223	26,1
ST10	F	0,542	0,235	30,3
ST11	S	0,385	0,141	26,8
ST11	M	0,418	0,175	29,5
ST11	F	0,336	0,147	30,4

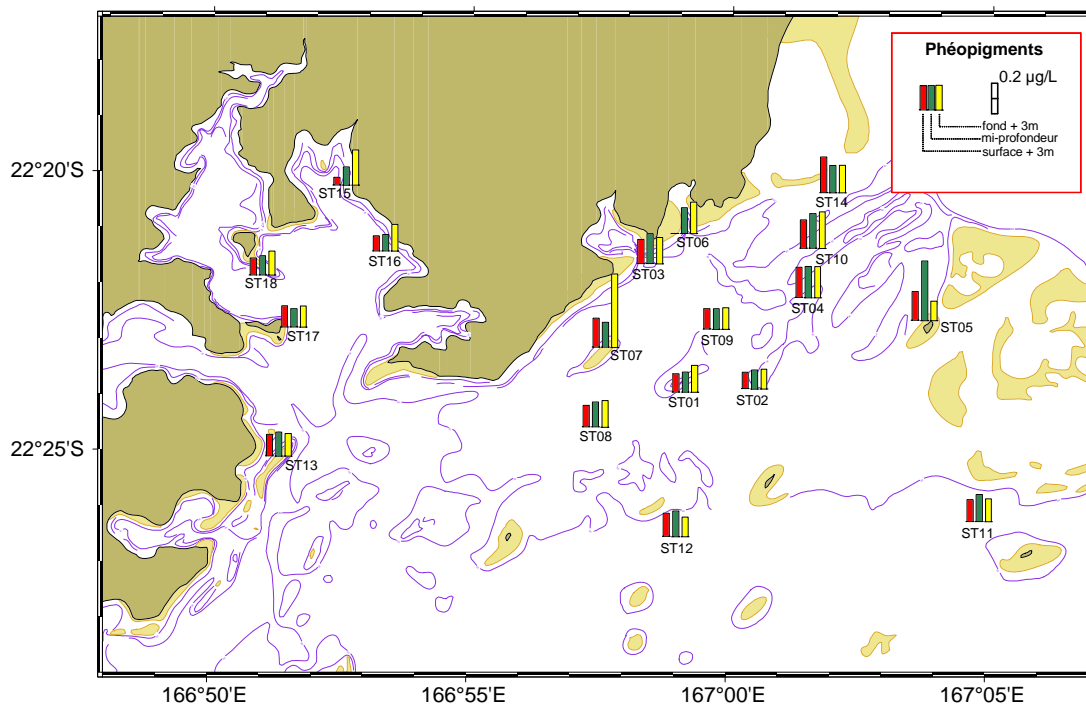
Station	Profondeur	Chloro µg/L (n=1)	Pheo µg/L (n=1)	%Pheo
ST12	S	0,435	0,150	25,7
ST12	M	0,401	0,166	29,3
ST12	F	0,293	0,128	30,4
ST13	S	0,464	0,138	22,9
ST13	M	0,428	0,155	26,6
ST13	F	0,432	0,146	25,3
ST14	S	0,629	0,230	26,7
ST14	M	0,478	0,176	26,9
ST14	F	0,413	0,178	30,1
ST15	S	0,161	0,049	23,2
ST15	M	0,376	0,116	23,5
ST15	F	0,564	0,228	28,8
ST16	S	0,361	0,096	21,0
ST16	M	0,383	0,106	21,7
ST16	F	0,570	0,173	23,3
ST17	S	0,398	0,137	25,5
ST17	M	0,350	0,119	25,3
ST17	F	0,314	0,136	30,3
ST18	S	0,446	0,109	19,6
ST18	M	0,351	0,124	26,0
ST18	F	0,348	0,154	30,6

## Cartes de distribution de la chlorophylle a et des phéopigments.

Concentration de la chlorophylle a dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

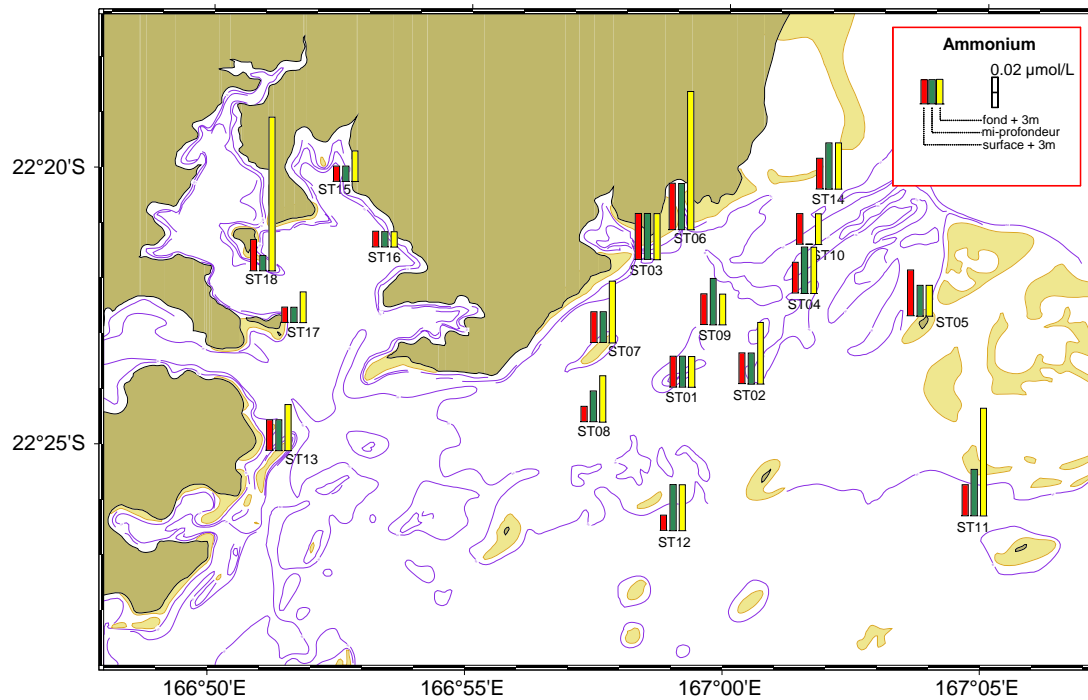


Concentration des phéopigments dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

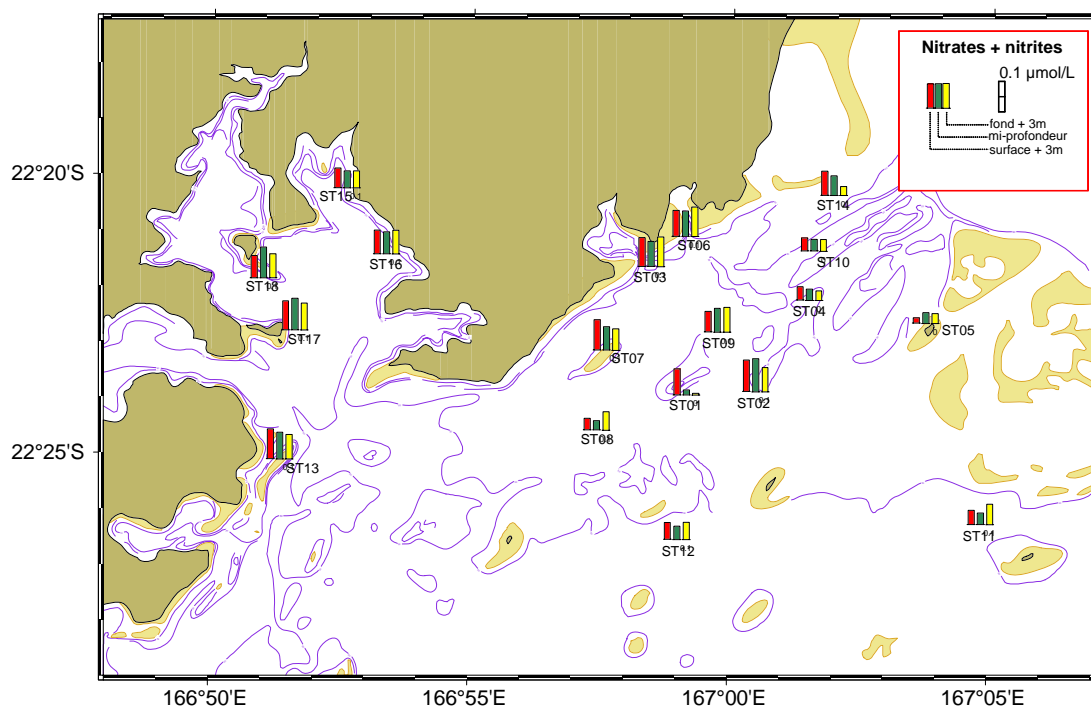


## Cartes de distribution de l'ammonium et des nitrates.

Concentration de l'ammonium dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



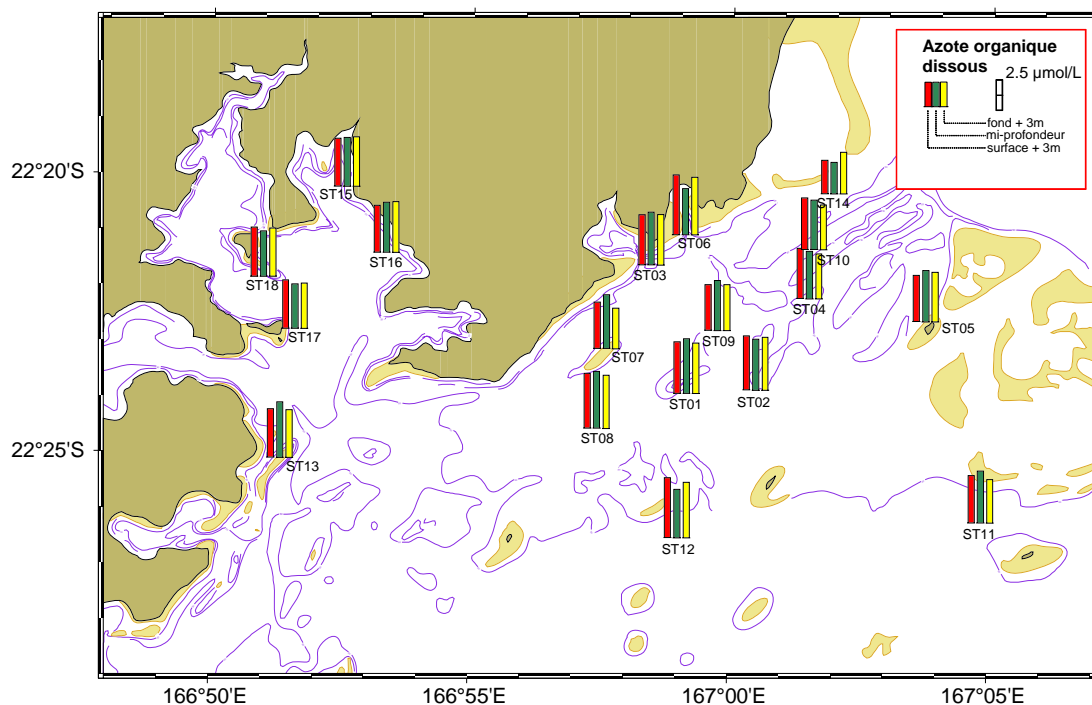
Concentration des nitrates+nitrites dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



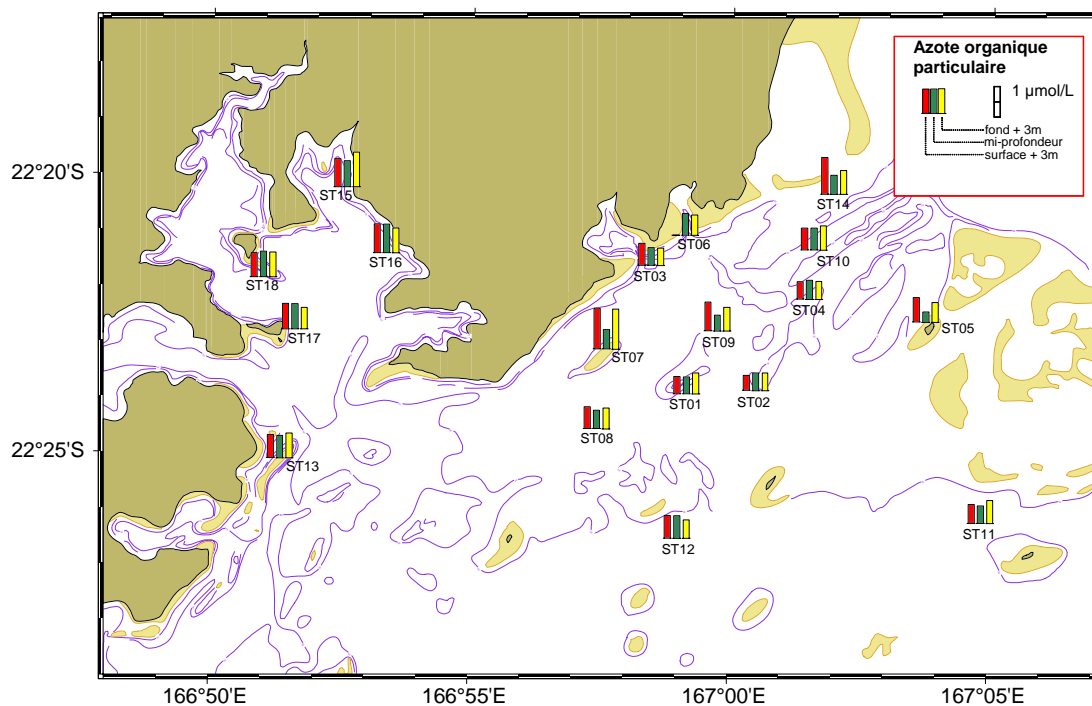


**Cartes de distribution de l'azote organique dissous et particulaire.**

Concentration de l'azote organique dissous (NOD) dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

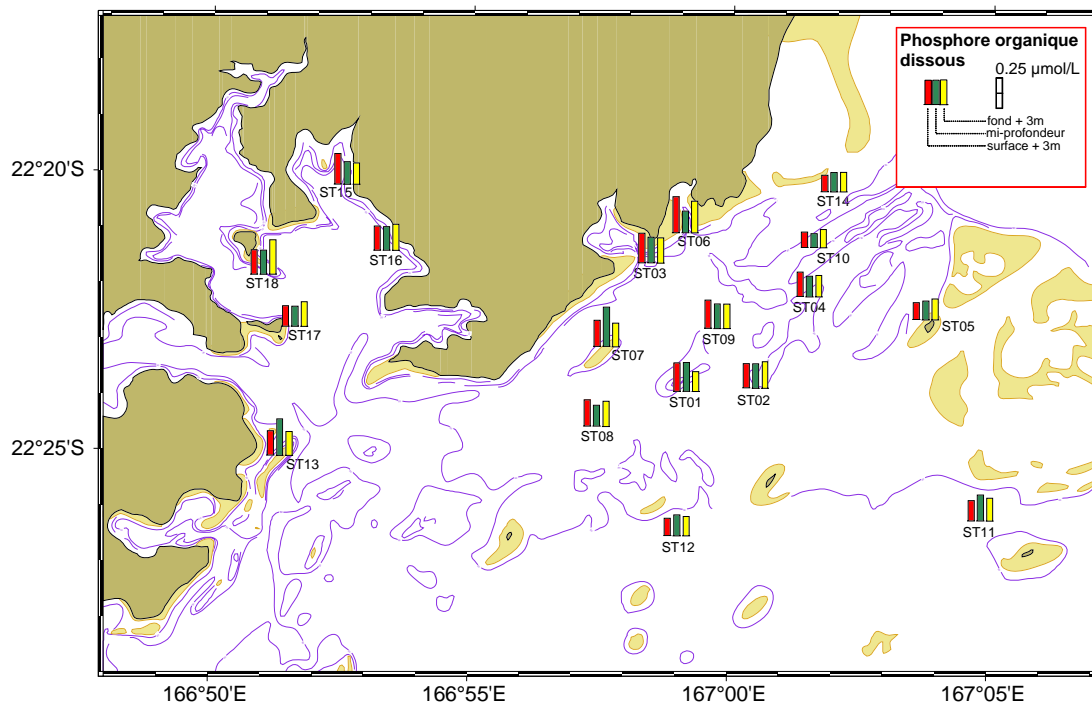


Concentration de l'azote organique particulaire (NOP) dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

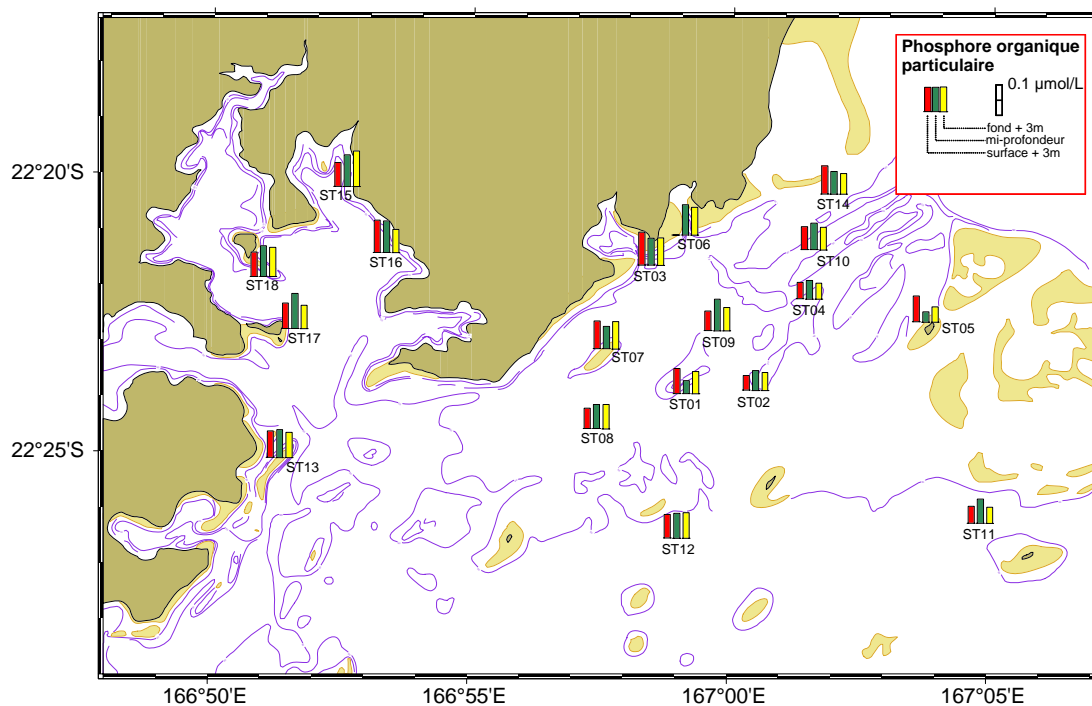


## Cartes de distribution du phosphore organique dissous et particulaire.

Concentration du phosphore organique dissous (POD) dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

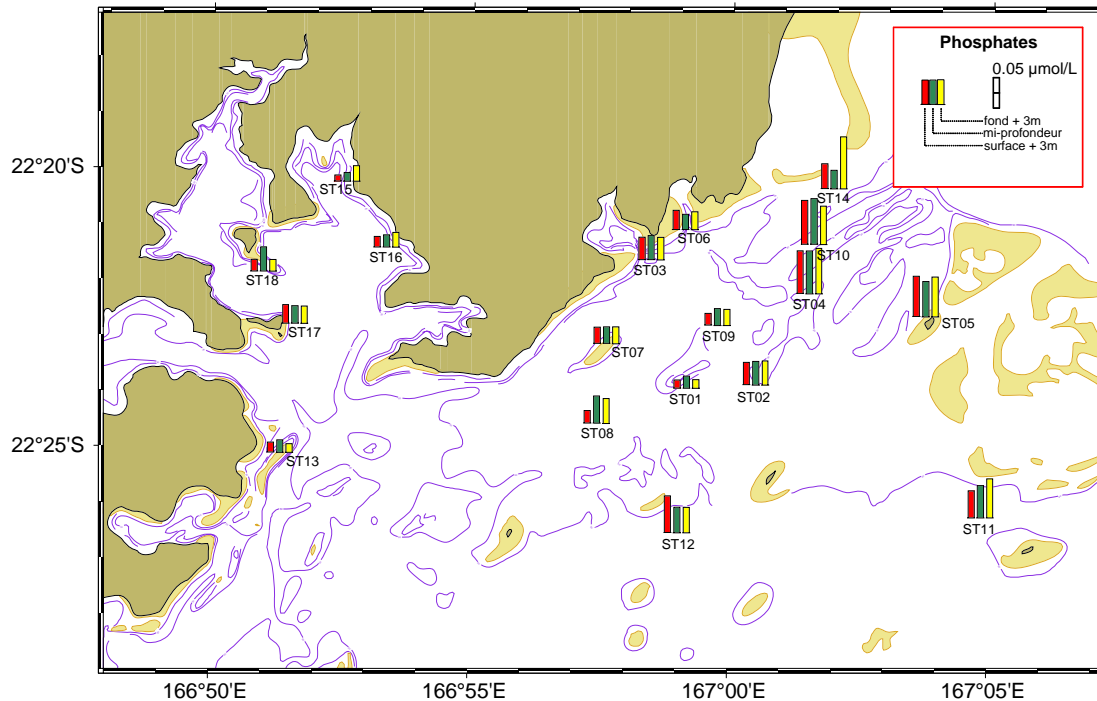


Concentration du phosphore organique particulaire (POP) dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

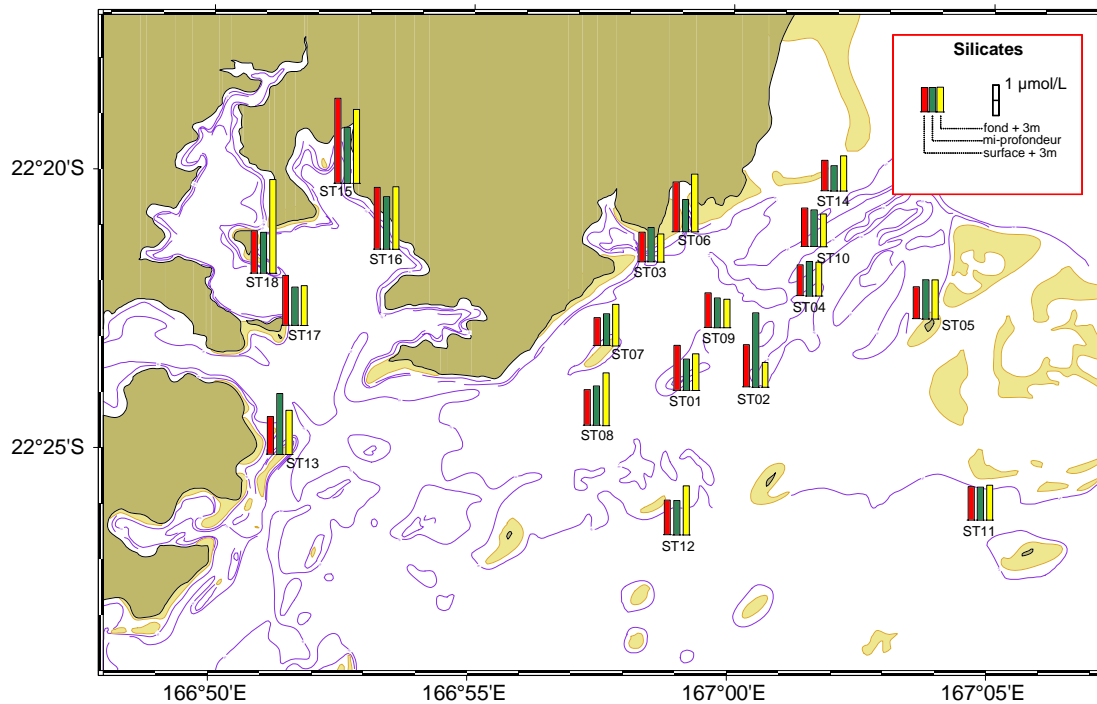


## Cartes de distribution des phosphates et des silicates.

Concentration des phosphates dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



Concentration des silicates dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.





## ANNEXE 4

### Hydrocarbures totaux

Concentration en hydrocarbures totaux dans les eaux de la station St16 (Port industriel) de la Baie du Prony ; Les profondeurs de prélèvement sont : S = surface + 3 m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m ; (\*) = Echantillon non traité ; (-) Absence de résultats.

Station	Profondeur	Hydrocarbures mg/L (n=1)
ST16	S	< 0,05
ST16	M	< 0,05
ST16	F	< 0,05



## ANNEXE 5

### Concentrations des métaux dissous dans la colonne d'eau

Concentrations des métaux dissous analysés dans la colonne d'eau à 3 profondeurs : S = surface -3m, M = mi-profondeur, F = fond + 3 m ; (<DL) = Valeur inférieure à la limite de détection de l'ICP-OES ; (-) = Dosage non effectué.

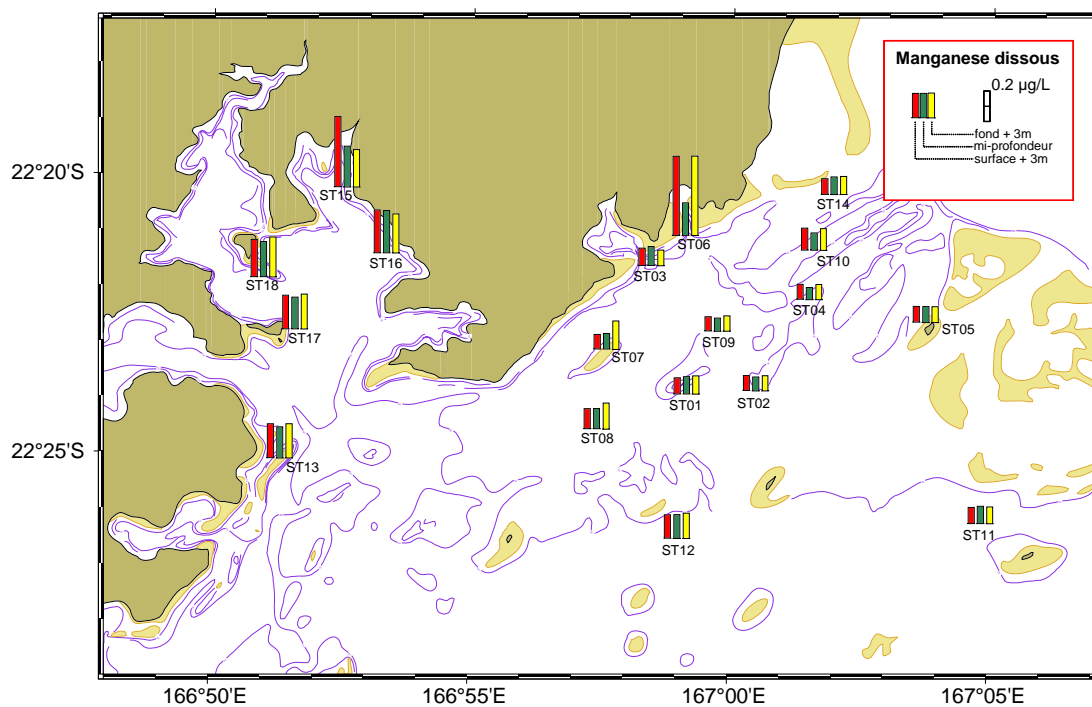
Station	Profondeur	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cu (µg/L)	Cr tot (µg/L)	Cr VI (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
St01	S	0,65	<DL	0,018	0,10	0,111	0,093	0,02	0,10	0,12	<DL	0,29
St01	M	1,13	<DL	0,017	0,06	0,117	0,088	0,03	0,11	0,13	<DL	0,08
St01	F	1,26	<DL	0,017	0,07	0,122	0,092	0,05	0,12	0,14	<DL	0,18
St02	S	0,97	<DL	0,013	0,09	0,130	0,088	0,09	0,10	0,11	<DL	0,22
St02	M	0,90	<DL	0,016	0,04	0,121	0,085	0,09	0,09	0,11	<DL	0,07
St02	F	0,79	<DL	0,014	0,05	0,151	0,085	0,11	0,10	0,12	<DL	0,13
St03	S	0,81	<DL	0,015	0,04	0,125	0,099	0,13	0,11	0,14	<DL	0,09
St03	M	0,78	<DL	0,018	0,04	0,141	0,093	0,18	0,12	0,16	<DL	0,07
St03	F	0,83	<DL	0,016	0,04	0,135	0,092	0,20	0,10	0,14	<DL	0,25
St04	S	0,89	<DL	0,015	0,05	0,123	0,099	0,01	0,10	0,12	<DL	0,04
St04	M	0,74	<DL	0,015	0,04	0,126	0,093	0,01	0,08	0,11	<DL	0,04
St04	F	0,41	<DL	0,019	0,05	0,125	0,086	0,01	0,10	0,12	<DL	0,11
St05	S	1,89	<DL	0,017	0,05	0,157	0,112	0,03	0,10	0,12	<DL	0,11
St05	M	0,95	<DL	0,017	0,05	0,120	0,090	0,04	0,10	0,13	<DL	0,04
St05	F	1,69	<DL	0,015	0,04	0,115	0,090	0,02	0,10	0,12	<DL	0,04
St06	S	1,28	<DL	0,071	0,06	0,189	0,150	0,38	0,51	0,49	<DL	0,21
St06	M	0,56	<DL	0,029	0,04	0,141	0,102	0,19	0,21	0,22	<DL	0,08
St06	F	0,81	<DL	0,057	0,05	0,140	0,116	0,39	0,51	0,41	<DL	0,28
St07	S	0,39	<DL	0,013	0,04	0,126	0,076	0,10	0,09	0,12	<DL	0,31
St07	M	0,63	<DL	0,016	0,03	0,121	0,085	0,11	0,10	0,13	<DL	0,18
St07	F	0,37	<DL	0,022	0,07	0,128	0,089	0,15	0,18	0,19	<DL	1,45
St08	S	0,56	<DL	0,019	0,06	0,131	0,088	0,12	0,13	0,16	<DL	0,10
St08	M	0,70	<DL	0,022	0,04	0,098	0,073	0,03	0,13	0,16	<DL	0,07
St08	F	1,16	<DL	0,029	0,05	0,140	0,083	0,03	0,17	0,20	<DL	0,08
St09	S	0,32	<DL	0,013	0,04	0,111	0,073	0,12	0,09	0,11	<DL	0,31
St09	M	0,74	<DL	0,012	0,03	0,137	0,109	0,09	0,08	0,11	<DL	0,10
St09	F	0,53	<DL	0,015	0,05	0,135	0,101	0,11	0,10	0,12	<DL	0,27
St10	S	0,53	<DL	0,020	0,04	0,134	0,103	0,08	0,14	0,15	<DL	0,17
St10	M	0,79	<DL	0,019	0,04	0,126	0,091	0,02	0,11	0,13	<DL	0,04
St10	F	0,73	<DL	0,022	0,04	0,121	0,098	0,02	0,14	0,15	<DL	0,00

Station	Profondeur	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cu (µg/L)	Cr total (µg/L)	Cr (VI) (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
St11	S	0,66	<DL	0,018	0,13	0,137	0,096	0,07	0,10	0,13	<DL	0,28
St11	M	0,74	<DL	0,018	0,06	0,097	0,082	0,04	0,11	0,13	<DL	0,13
St11	F	0,90	<DL	0,018	0,06	0,128	0,089	0,04	0,11	0,15	<DL	0,23
St12	S	1,18	<DL	0,022	0,06	0,148	0,094	0,09	0,15	0,18	<DL	0,20
St12	M	1,23	<DL	0,025	0,05	0,122	0,094	0,04	0,16	0,18	<DL	0,12
St12	F	0,83	<DL	0,028	0,05	0,245	0,088	0,02	0,16	0,20	<DL	0,12
St13	S	0,82	<DL	0,025	0,06	0,164	0,083	0,22	0,22	0,21	<DL	0,40
St13	M	0,70	<DL	0,028	0,04	0,168	0,088	0,16	0,20	0,21	<DL	0,27
St13	F	0,90	<DL	0,033	0,05	0,207	0,095	0,16	0,22	0,24	<DL	0,69
St14	S	0,83	<DL	0,016	0,06	0,143	0,103	0,04	0,10	0,13	<DL	0,21
St14	M	0,96	<DL	0,018	0,05	0,126	0,093	0,03	0,12	0,13	<DL	0,09
St14	F	0,99	<DL	0,018	0,07	0,116	0,098	0,04	0,12	0,14	<DL	0,10
St15	S	0,44	<DL	0,073	0,12	0,187	0,182	0,17	0,45	0,50	<DL	0,89
St15	M	0,51	<DL	0,050	0,15	0,150	0,127	0,12	0,26	0,35	<DL	1,03
St15	F	0,22	<DL	0,057	0,08	0,191	0,124	0,14	0,24	0,42	<DL	1,06
St16	S	0,22	<DL	0,050	0,18	0,150	0,116	0,12	0,28	0,35	<DL	0,49
St16	M	0,30	<DL	0,048	0,09	0,152	0,116	0,13	0,27	0,35	<DL	0,63
St16	F	0,84	<DL	0,051	0,06	0,148	0,113	0,12	0,25	0,35	<DL	0,49
St17	S	0,38	<DL	0,034	0,05	0,133	0,115	0,14	0,22	0,27	<DL	0,36
St17	M	0,65	<DL	0,033	0,03	0,142	0,107	0,14	0,20	0,26	<DL	0,23
St17	F	0,59	<DL	0,032	0,05	0,160	0,109	0,15	0,23	0,26	<DL	0,44
St18	S	0,55	<DL	0,038	0,17	0,119	0,094	0,14	0,24	0,29	<DL	0,69
St18	M	0,54	<DL	0,035	0,04	0,141	0,109	0,13	0,23	0,28	<DL	0,34
St18	F	0,35	<DL	0,045	0,05	0,153	0,121	0,10	0,26	0,33	<DL	0,41

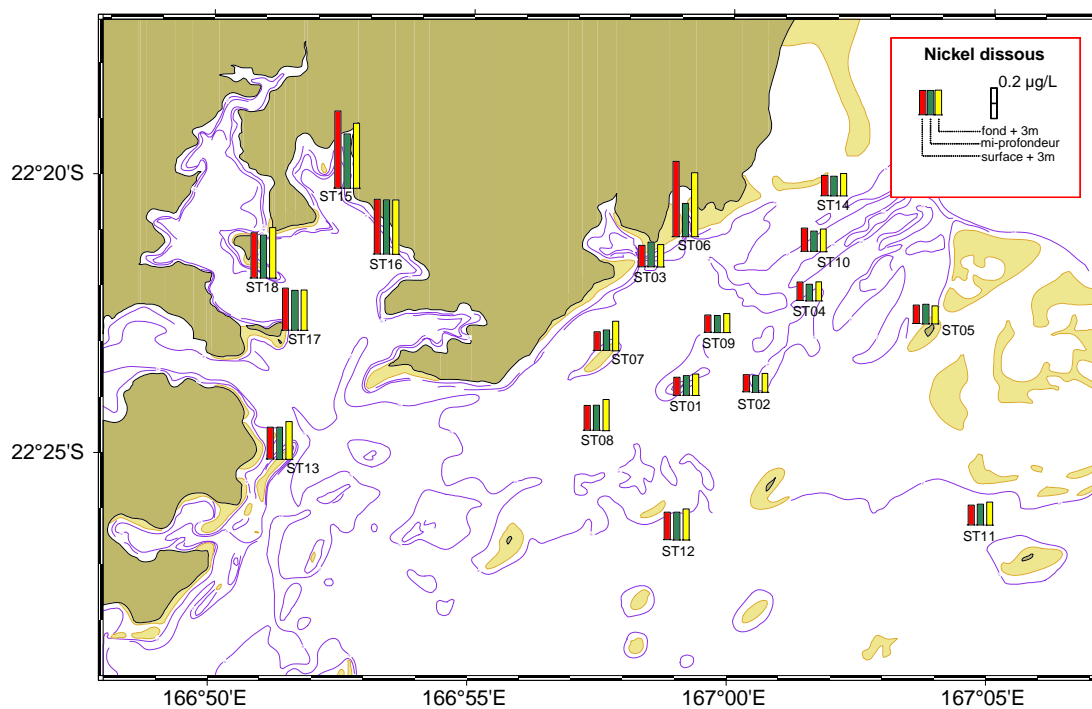


## Cartes de distribution des métaux dissous dans la colonne d'eau.

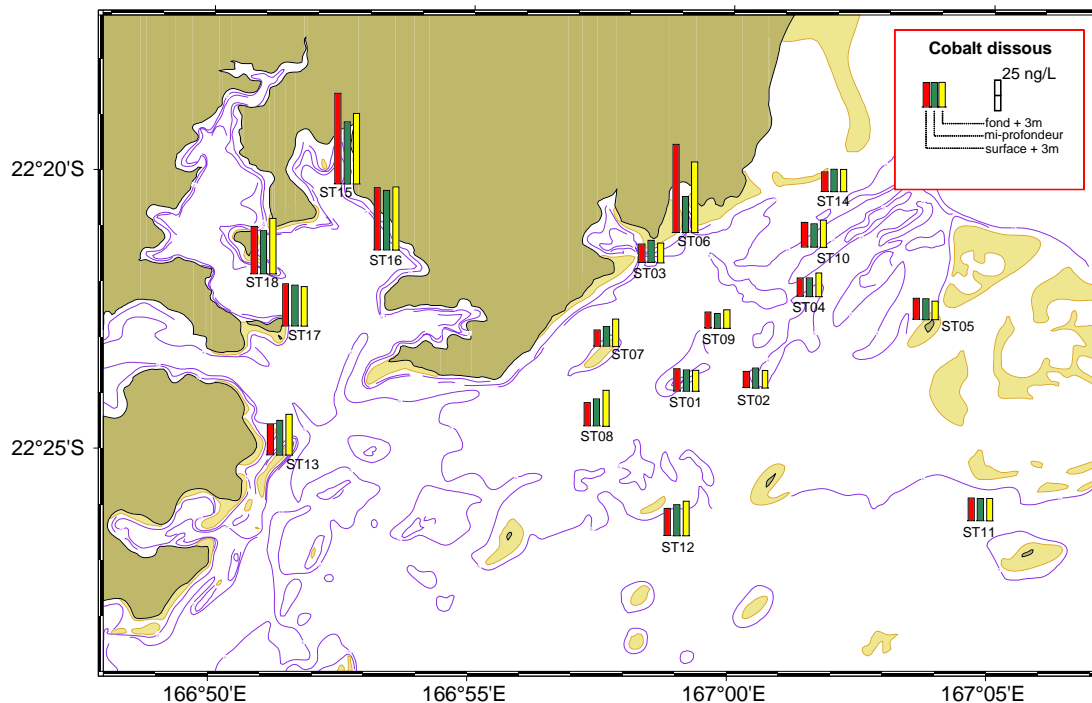
Concentration en manganèse dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



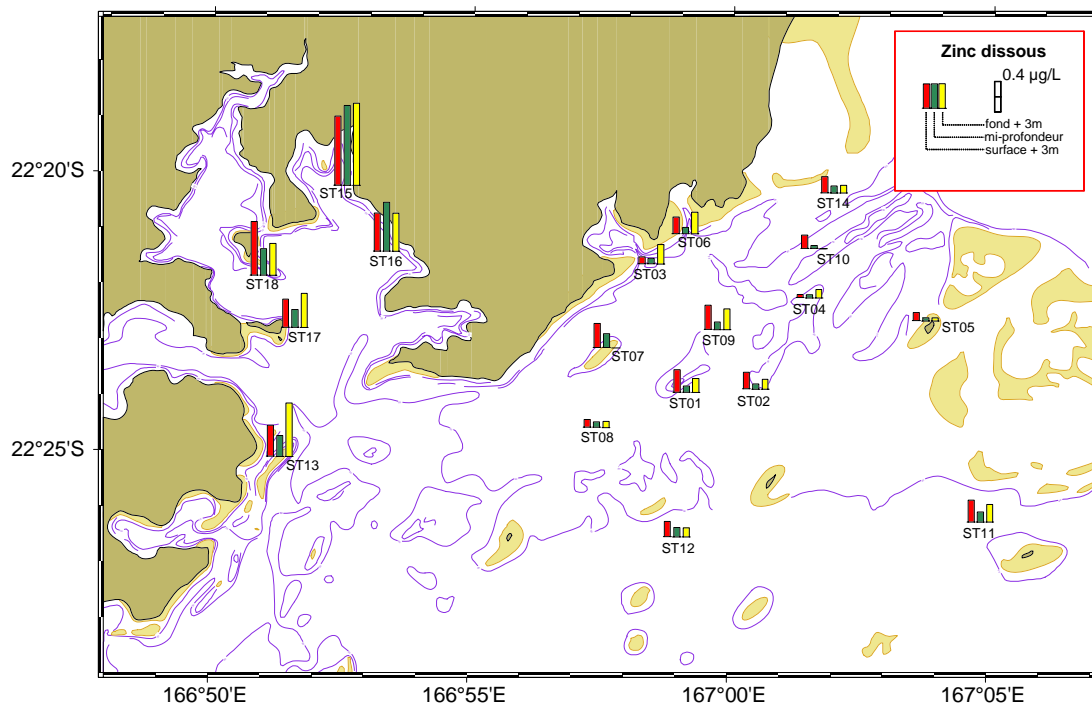
Concentration en nickel dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



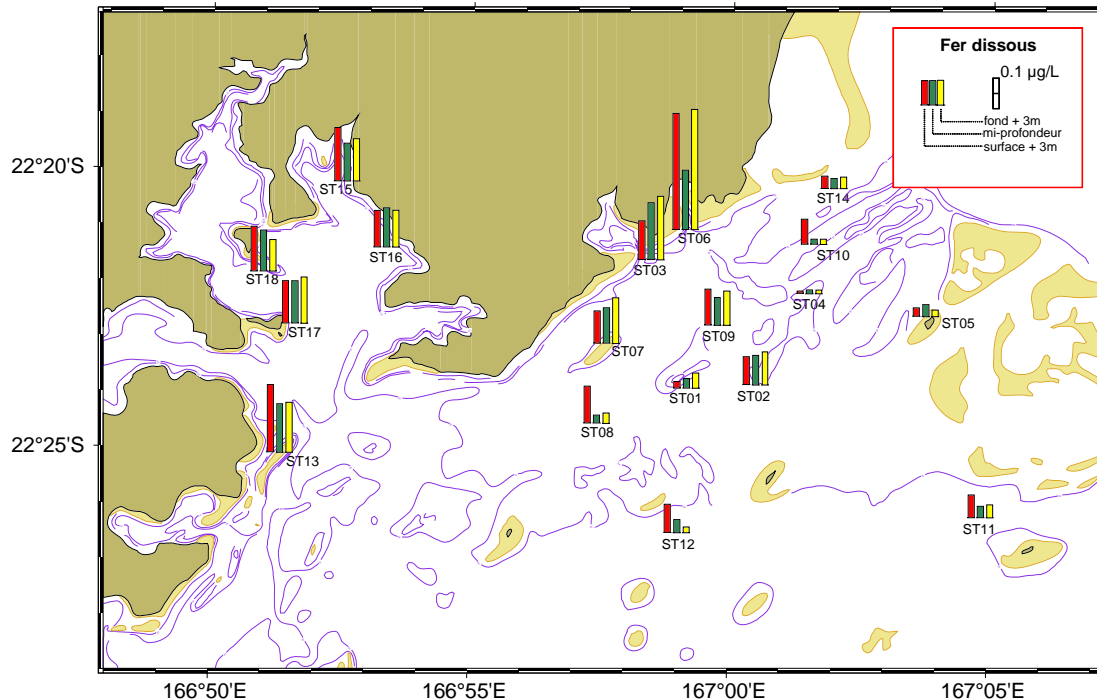
Concentration en cobalt dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



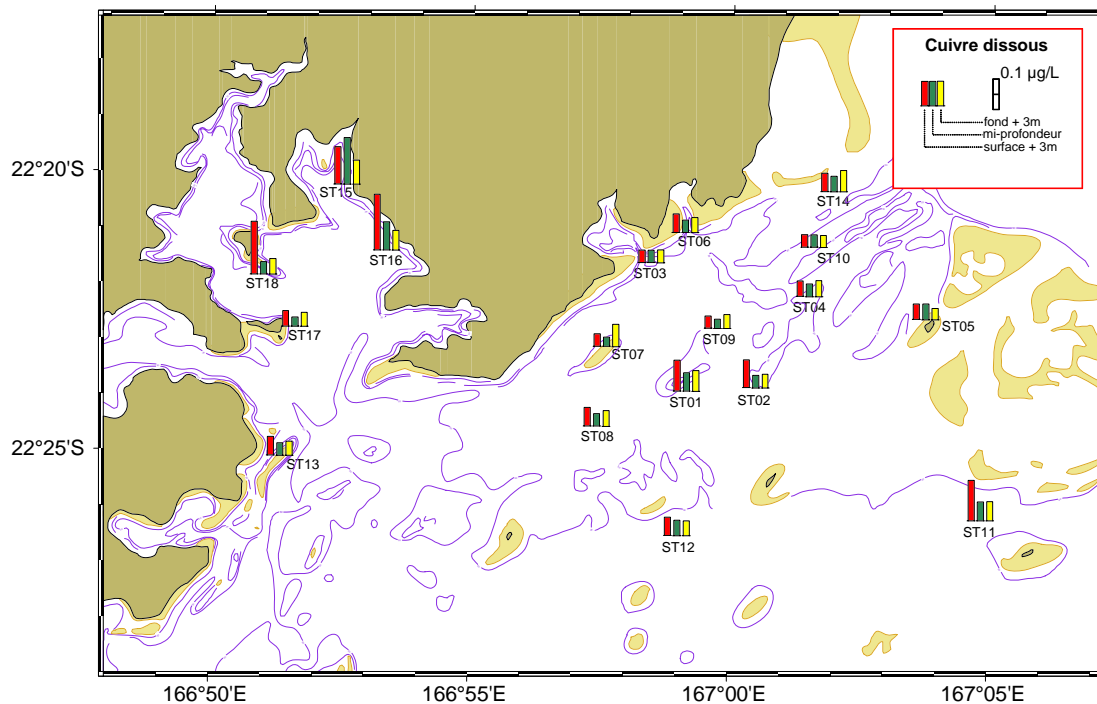
Concentration en zinc dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



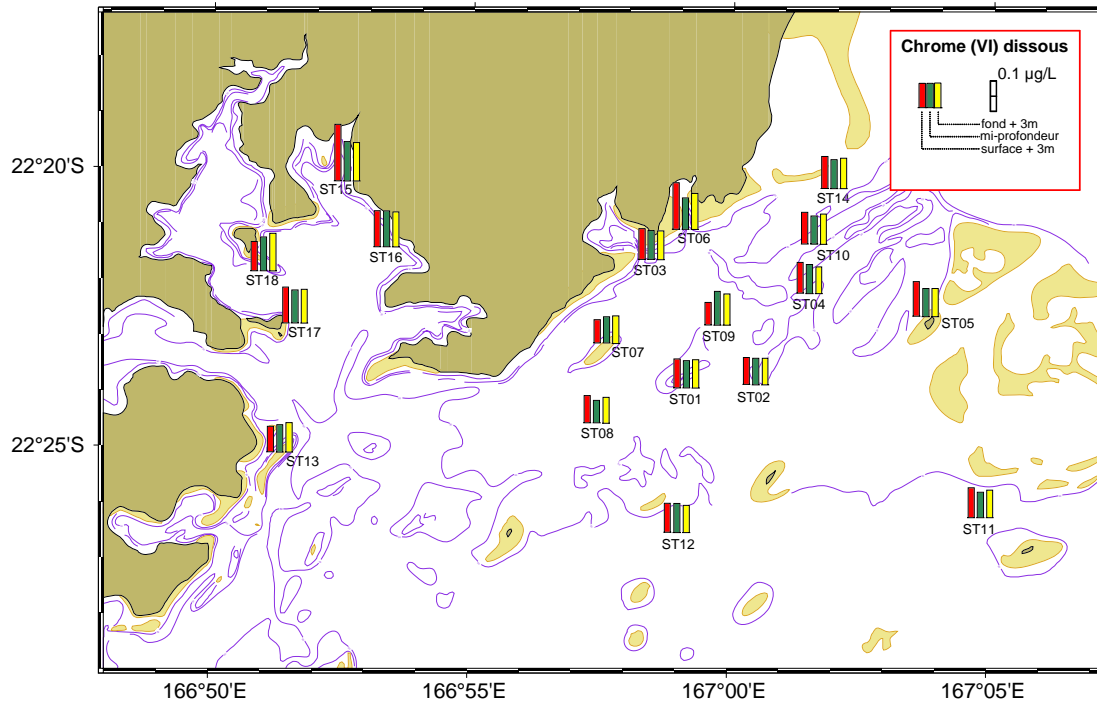
Concentration en fer dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



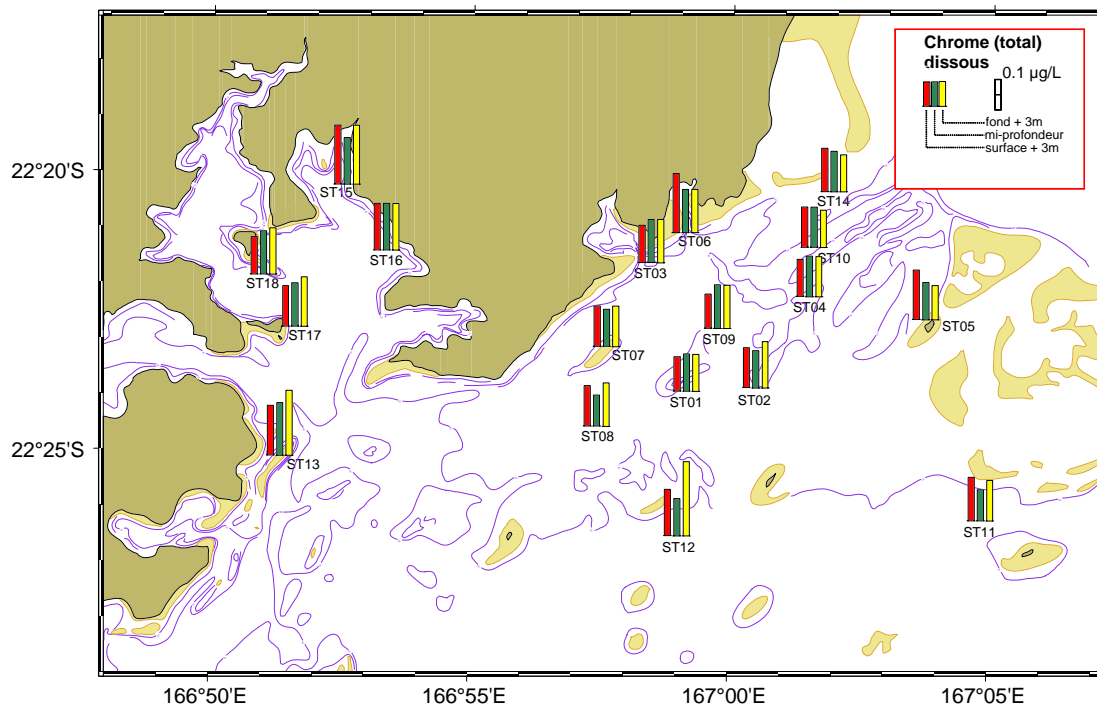
Concentration en cuivre dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



Concentration en chrome VI dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



Concentration en chrome total dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.



Concentration en arsenic dissous dans la colonne d'eau ; échantillonnage en surface, mi-profondeur et fond dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

