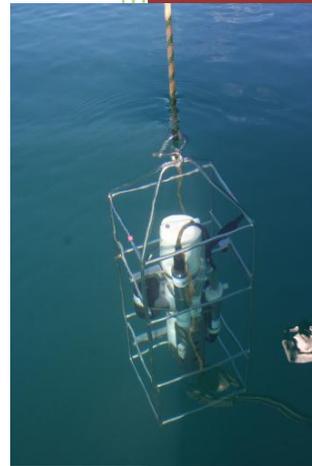




SUIVI ENVIRONNEMENTAL COLONNE D'EAU 2010-2012

QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS DES EAUX

(2^{ème} semestre 2012)



AEL - LEA

11 janvier 2013

Photos de couverture AEL : Sud Nouvelle Calédonie (Baie du Prony), sonde CTD et irradiateur à UV.

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

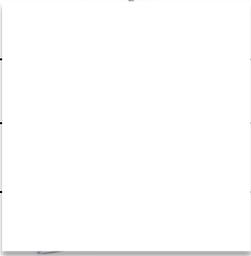
Convention n° C2445

SUIVI ENVIRONNEMENTAL COLONNE D'EAU 2010-2012
QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS
DES EAUX

2ième semestre 2012

Le Grand H.
Moreton B.
Hulliger M.
Roupsard F.
Kumar Roiné S.
Fernandez JM.

Nombre de pages : 87

	N/Ref	V/Ref	
Identification	100216-VI-04	C2445	
Titre complet	SUIVI ENVIRONNEMENTAL COLONNE D'EAU 2010-2012		
Auteurs	Le Grand H, Moreton B, Hulliger M, Rounsard F, Kumar Roiné S, Fernandez JM		
Résumé	<p>Cette étude fait suite à une demande de définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et des niveaux de concentration des métaux dissous des eaux. Ce programme de surveillance du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations localisées dans le Canal de la Havannah, la Baie du Prony et le Canal Woodin. Ce suivi est réalisé semestriellement ; une campagne ayant lieu en saison humide (mars) et une en saison sèche (août). Ce document présente les résultats obtenus lors de la campagne « saison sèche » d'août 2012.</p> <p>Les fluctuations des paramètres physico-chimiques et de la concentration des métaux dissous mettent en évidence l'impact des apports terrigènes des creeks de la Baie du Prony, de la Baie Kwé et de Port Boisé. Ces apports contribuent à l'apparition de couches turbides riches en chlorophylle <i>a</i> ainsi qu'à des concentrations de métaux dissous (Co, Cr(VI), Mn et Ni) et silicates plus élevées au niveau des stations proches des côtes. Certains paramètres tels que la concentration des ions majeurs, la charge de matière organique et la concentration de certains métaux dissous (As, Cd, Pb) ne présentent pas de distribution particulière dans l'ensemble de la zone d'étude.</p> <p>L'influence des apports terrigènes est également observée entre les campagnes « saison sèche ». La concentration de sels nutritifs et métaux dissous (Co, Cr(VI), Mn et Ni) des stations St06 (Récif de la Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord) varient en fonction de l'importance des précipitations avant et pendant la campagne mais du cycle de la marée (ex : campagne 2011). Aucune variation particulière n'a été observée lors de la campagne de 2012 par rapport aux précédentes campagnes « saison sèche ».</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Hélène Le Grand		28/12/2012
Vérificateur 1	Jean Michel Fernandez		03/01/2013
Vérificateur 2	Shilpa Kumar-Roiné		04/01/2013
Approbateur(s)	Jean-Michel Fernandez		07/01/2013
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR	DATE	
V1.0	Rapport final (2 ^{ème} semestre 2012)	07/01/2013	
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline Casalis	VALE NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit :

Le Grand Hélène, Moreton B, Hulliger M, Rounsard F, Kumar-Roiné S et Fernandez JM, 2013. SUIVI ENVIRONNEMENTAL COLONNE D'EAU 2010-2012. 2^{ème} Semestre. Contrat Vale-NC/AEL n° C2445, Rapport AEL 100216-VI-04, 87p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
II.	OBJECTIFS.....	8
III.	METHODOLOGIE	9
A.	SITE D'ETUDE ET CONDITIONS METEOROLOGIQUES	9
B.	ECHANTILLONNAGE	11
C.	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ANALYSE	11
IV.	RESULTATS	12
A.	ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	12
B.	MATIERE EN SUSPENSION (MES)	12
C.	STRUCTURES DES MASSES D'EAU	13
1.	Température.....	14
2.	Salinité	16
3.	Turbidité	18
4.	Fluorescence.....	20
D.	SELS NUTRITIFS	22
1.	Ammonium	22
2.	Nitrates et nitrites.....	23
3.	Phosphates	23
4.	Silicates	24
E.	MATIERE ORGANIQUE.....	25
1.	Azote et phosphore organiques dissous.....	25
2.	Azote et phosphore organiques particuliers.....	25
F.	CHLOROPHYLLE A ET PHEOPIGMENTS.....	26
G.	METAUX DISSOUS.....	27
V.	SYNTHESE 2008-2012	29
A.	COMPARAISON INTERANNUELLE DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS	30
1.	Distribution globale dans le domaine	30
2.	Distribution verticale aux stations sentinelles St05, St06, St09 et St15	32
B.	COMPARAISON INTERANNUELLE DES CONCENTRATIONS EN MATIERE ORGANIQUE ET PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS	34
C.	COMPARAISON INTERANNUELLE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS	35
1.	Distribution globale dans le domaine	35
2.	Distribution verticale aux stations sentinelles St05, St06, St09 et St15	38
	CONCLUSION	43
	REFERENCES	44
	LISTE DES FIGURES	46
	LISTE DES TABLEAUX	47
	LISTE DES ANNEXES.....	48

I. INTRODUCTION

Le programme de travail ici présenté a été défini en réponse au cahier des charges proposé par la Province-Sud de Nouvelle-Calédonie au titre des arrêtés ICPE 2008 relatifs à l'autorisation d'exploitation des installations industrielles et portuaires.

Cette étude fait suite à une demande de définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et des niveaux de concentration des métaux dissous des eaux (Conventions IRD-Goro-Ni n°1142 de 2005 et n°1312 de 2007).

Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE, Vale-NC poursuit un programme de suivi semestriel des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau depuis août 2008.

Ce document présente les résultats de la campagne de prélèvements du **2^{ième} semestre 2012** (août 2012) relative au suivi environnemental des impacts dans le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

II. OBJECTIFS

Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties comme suit :

- 4 dans la Baie du Prony ;
- 8 dans le système du Canal de la Havannah ;
- 1 dans le Canal Woodin ;
- 1 au nord-est de l'île Ouen.

Ce suivi consiste en une campagne complète de prélèvements d'eau (Baie du Prony et Canal de la Havannah) afin de déterminer les principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations de métaux dissous ainsi que les concentrations de sels nutritifs et de matière organique dissoute et particulaire.

Les techniques de prélèvement, de conditionnement, de traitement et d'analyses sont spécifiques et reconnues pour l'analyse en milieu marin et saumâtre.

III. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE ET CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les opérations de terrain ont été réalisées au cours de la campagne semestrielle du 7 au 9 août 2012 sur les 14 stations prédéfinies à bord du Slavko (Casy Express) (Tableau 1 ; Figure 1).

Tableau 1 : Liste et location des stations de prélèvement de la campagne semestrielle « colonne d'eau » (WGS-84).

STATION AU REFERENTIEL WGS-84				
Localisation	Station	Longitude E	Latitude S	Profondeur (m)
Basse Chambeyron	St02	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	St03	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	St05	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	St06	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif loro	St07	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	St09	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	St16	166° 53,365	22° 21,210	44
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	St19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21	166°55,501	22°26,728	36

Les conditions météorologiques et hydrodynamiques ont une influence sur les paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de resituer chaque prélèvement dans ce contexte, les principales données météorologiques ont été relevées (Prony pilot station) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 2).

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

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

CONDITIONS METEOROLOGIQUES PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE :

- 7/08/2012 : Vent, environ 5 Nœuds, beau temps, mer calme ;

- 8/08/2012 : Vent S-SE de 5-10 Nœuds, beau temps, mer calme ;
- 9/08/2012 : Vent O de 5-10 Nœuds, nuageux, pluie dans les terres.
- Pluie : pas de précipitation pendant la campagne.

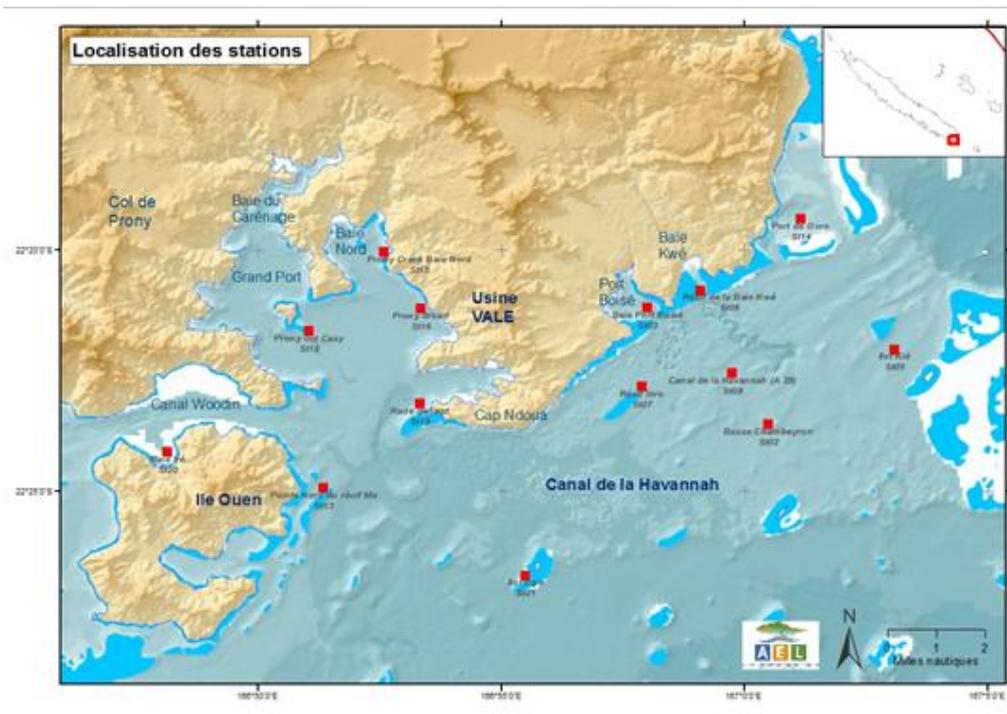


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement de la campagne semestrielle « colonne d'eau ».

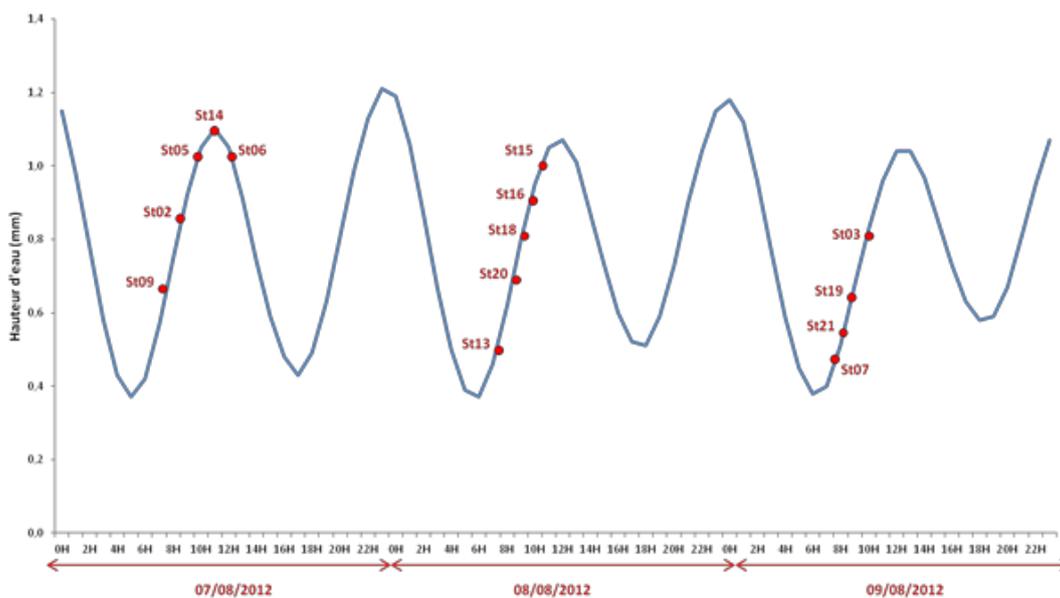


Figure 2 : Chronologie des prélèvements reportée sur le marégramme de la campagne semestrielle d'août 2012.

B. ECHANTILLONNAGE

Pour chaque station, les prélèvements d'eau ont été effectués par bouteille « Niskin® » pour le dosage des ions majeurs, des sels nutritifs et de la matière organique dissoute et particulaire et par bouteille « GoFlo®, Metal-Free » pour le dosage des métaux dissous. L'eau a été échantillonnée aux profondeurs suivantes :

- Sub-surface (-3 m) ;
- Mi-profondeur ;
- Proximité du fond (environ 3 m).

Les opérations suivantes ont été réalisées :

- Enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE 19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- Prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MEST et des concentrations en ions SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Cl^- ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous, azote et phosphore organiques particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous par :
 - spectrométrie d'émission optique couplée à une torche à plasma (ICP-OES) pour le dosage des éléments métalliques Co, Fe, Mn, Ni et Zn,
 - spectrométrie de masse couplée à une torche à plasma pour le dosage des éléments métalliques As, Cd, Cu et Pb ;
 - électrochimie (Voltammétrie) pour le dosage du couple Cr/Cr(VI).

C. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ANALYSE

Les méthodes sont décrites en Annexe 1.

IV. RESULTATS

A. ELEMENTS MAJEURS ET PH

Les mesures de pH et les concentrations des éléments majeurs mesurés lors de la campagne semestrielle d'août 2012 sont regroupées dans le Tableau 2 et en Annexe 2.

Les résultats d'analyse des éléments majeurs et du pH sont conformes aux valeurs attendues et similaires avec ceux obtenus lors des campagnes de suivis précédentes (Convention IRD/Vale-Inco N°C2284/E13517 ; Conception AEL-LEA/Vale-NC N°C2445). Aucune variation significative n'a été observée.

Tableau 2 : Valeurs de pH et concentrations des éléments majeurs dans la zone d'étude lors de la campagne d'août 2012.

		pH	Ca ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
Domaine entier	Minimum	8,00	424	406	1274	12964	18977	2473
	Maximum	8,26	631	605	2064	14170	21404	2793
	Moyenne	8,23 ± 0,05	521 ± 61	502 ± 61	1644 ± 231	13601 ± 314	20097 ± 689	2645 ± 83
Canal de La Havannah	Minimum	8,09	424	411	1294	13141	18854	2473
	Maximum	8,26	603	595	1989	14126	21404	2786
	Moyenne	8,22 ± 0,04	491 ± 59	473 ± 61	1525 ± 223	13460 ± 262	20283 ± 783	2643 ± 93
Baie du Prony	Minimum	8,23	505	482	1578	13722	19337	2520
	Maximum	8,26	599	584	1947	14170	21356	2753
	Moyenne	8,25 ± 0,01	562 ± 29	543 ± 30	1810 ± 108	13886 ± 115	20330 ± 587	2635 ± 79

B. MATIERE EN SUSPENSION (MES)

Rappel: La mesure des MES est importante dans les milieux côtiers et estuariens car elle reflète à la fois l'importance des apports continentaux et la remise en suspension de sédiments sous l'influence des conditions météorologiques (vent, pluie...). Les MES influencent également la production primaire : une charge particulaire élevée peut en effet modifier l'importance de la couche euphotique (Aminot et Kérouel 2004). En milieu côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,5 à 5 mg/L (Aminot et Kérouel 2004).

Les résultats de la détermination des MES de la campagne semestrielle d'août 2012 sont réunis en Annexe 2.

Les concentrations moyennes de MES dans l'ensemble de la zone d'étude et tous niveaux confondus, s'élèvent à 0,32 ± 0,13 mg/L ; les valeurs étant comprises entre 0,18 (St07-S) et 0,86 (St07-F) mg/L.

Malgré les écart-types assez élevés, les concentrations moyennes de MES obtenues dans la Baie du Prony ($0,36 \pm 0,14$ mg/L) sont supérieures à celles du Canal de la Havannah ($0,29 \pm 0,17$ mg/L). Les concentrations de MES mesurées au niveau des stations de la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19), de Port Boisé (St03) et de la Baie Kwé (St06) sont plus élevées en profondeur qu'en mi-profondeur et surface. Cette distribution n'est pas observée au niveau des autres stations, à l'exception de la station St07 (Récif Ioro) où la concentration de fond ($0,86$ mg/L) est assez élevée comparativement à celles mesurées aux autres stations du Canal de la Havannah ; celle-ci est environ 4 fois plus élevée que les concentrations mesurées à cette même station en mi-profondeur ($0,24$ mg/L) et surface ($0,18$ mg/L).

Tableau 3 : Concentrations de MES dans la zone d'étude lors de la campagne d'août 2012.

Secteur	MES (mg/L)	
Domaine entier	Minimum	0,18
	Maximum	0,86
	Moyenne	$0,32 \pm 0,13$
Canal de la Havannah	Minimum	0,18
	Maximum	0,86
	Moyenne	$0,29 \pm 0,17$
Baie du Prony	Minimum	0,19
	Maximum	0,63
	Moyenne	$0,36 \pm 0,14$

C. STRUCTURES DES MASSES D'EAU

Rappel : Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau. En milieux côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. La turbidité est définie comme étant la « réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes » (Aminot et Kérouel 2004) ; elle est le reflet de la charge particulaire dans l'eau. En milieux côtier et estuarien, la turbidité peut indiquer l'existence d'apports en particules provenant des rivières, d'une remise en suspension de dépôts sédimentaires ainsi que de blooms planctoniques. La fluorescence permet d'estimer la concentration en pigment chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse phytoplanctonique (Aminot et Kérouel 2004).

Les valeurs des variables température, salinité, fluorescence et turbidité obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2012 sont regroupées dans l'Annexe 3, le Tableau 4 et les Figure 3, Figure 4, Figure 5 et Figure 6.

Globalement, les valeurs de température mesurées en Baie du Prony ($21,62 \pm 0,07$ °C) sont plus faibles que celles mesurées dans le Canal de la Havannah ($22,18 \pm 0,26$ °C). A l'inverse, les valeurs de fluorescence et turbidité mesurées dans le Canal de la Havannah ($0,38 \pm 0,06$ mg/m³ ; $0,26 \pm 0,03$ NTU) sont plus faibles et relativement constantes que celles de la Baie du Prony ($0,44 \pm 0,17$ mg/m³ ; $0,56 \pm 0,19$ NTU) qui montrent une grande variabilité. Les valeurs de salinité restent similaires entre les deux zones d'étude avec une moyenne globale de $35,39 \pm 0,08$ ‰.

Tableau 4 : Synthèse des valeurs de température, salinité, turbidité et fluorescence dans le domaine entier, le Canal de la Havannah et la Baie du Prony lors de la campagne semestrielle d'août 2012.

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

1. TEMPERATURE

Les stations St02 ($22,38 \pm 0,03$ °C) et St05 ($22,49 \pm 0,02$ °C) localisées dans le Canal de la Havannah ainsi que les stations St13 (Pointe Nord Récif Ma : $21,68 \pm 0,03$ °C) et St20 (Baie Iré : $21,72 \pm 0,01$ °C) présentent des profils de température très homogènes au sein de la colonne d'eau (Figure 3).

Dans la Baie du Prony, les stations St15, St16, St18 et St19 présentent des températures légèrement plus faibles dans les deux premiers mètres de surface mais celles-ci sont globalement homogènes au sein de la colonne d'eau. Le profil de la station St15 diffère légèrement car les températures diminuent avec la profondeur passant de 21,84 à 21,67 °C.

A l'inverse, certaines stations du Canal de la Havannah (St07 et St21) ainsi que les stations St03, St06 et St14 présentent une couche de température plus élevée en surface ; celle-ci étant plus ou moins épaisse et prononcée. En effet, les stations St07, St21, St03 et St06 présentent une couche de température plus élevée en surface dans les 10 à 15 premiers mètres de surface alors que celle de la station St14 n'est visible que sur les deux premiers mètres de surface. Les couches de surface des stations St07, St14 et St21 sont très marquées avec une thermocline bien individualisée à 20, 2 et 12 m de fond avec une perte de 0,30, 0,30 et 0,60 °C, respectivement. Cette diminution de température est plus faible pour les stations St03 et St06, respectivement 0,20 et 0,10 °C.

La température mesurée à la station St09 augmente rapidement en surface passant de 21,97 à 22,34 °C dans les deux premiers mètres puis diminue progressivement jusqu'au fond (21,94 °C).

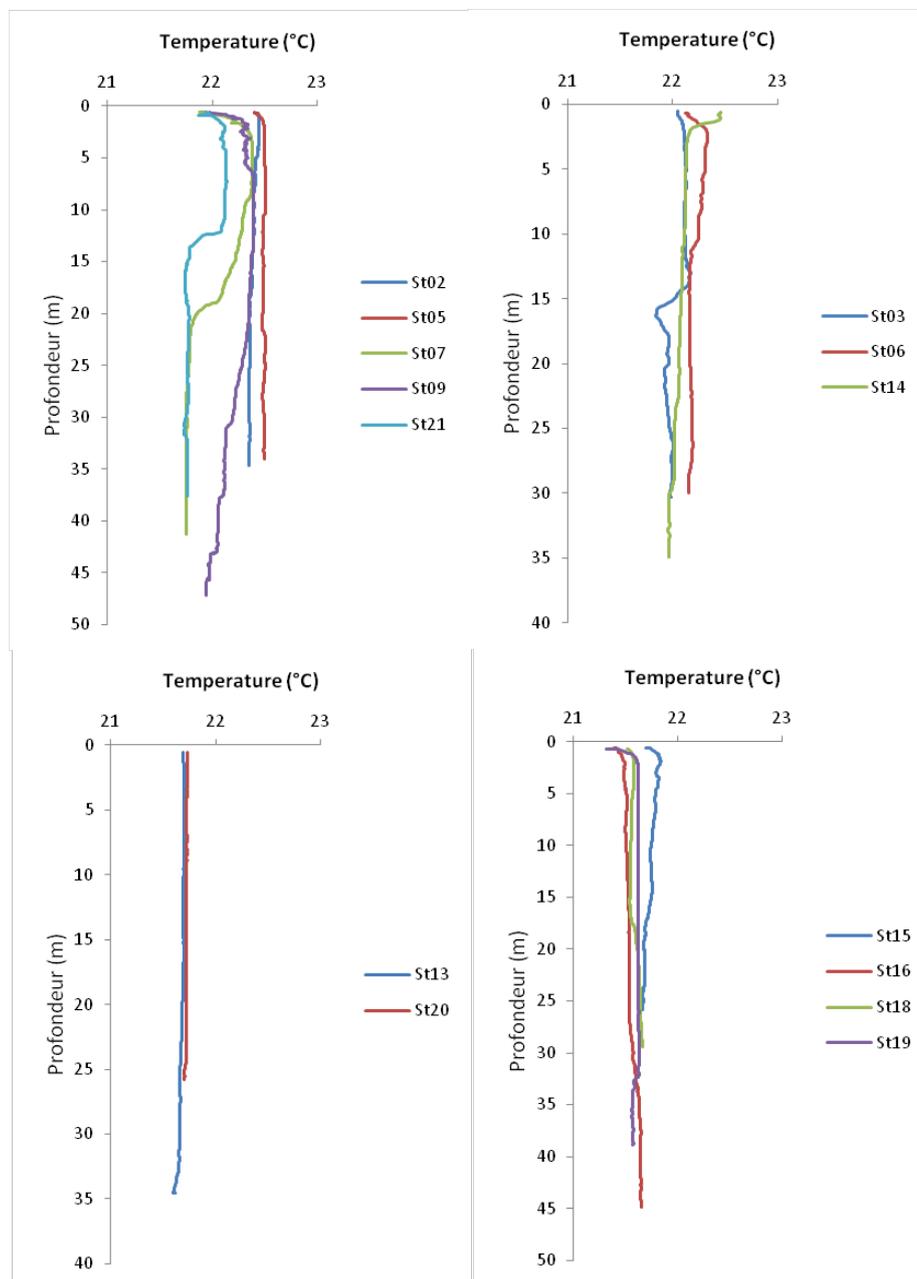


Figure 3 : Profils de température des stations échantillonnées lors de la campagne semestrielle d'août 2012.

2. SALINITE

Tout comme les profils de température des stations St02, St05, St13 et St20, les profils de salinité (Figure 4) sont, d'une manière générale, également très stables au sein de la colonne d'eau avec des moyennes respectives s'élevant à $35,35 \pm 0,01$, $35,33 \pm 0,01$, $35,54 \pm 0,01$ et $35,49 \pm 0,01$ ‰. Le profil de salinité de la station St14 ($35,32 \pm 0,01$ ‰) est aussi homogène au sein de la colonne d'eau mais présente une très fine couche de salinité plus élevée en surface atteignant une valeur maximale de 35,39 ‰ à 1,45 m de profondeur. Le profil de salinité de la station St03 est relativement stable malgré une très légère augmentation de salinité avec la profondeur (35,15 à 35,42 ‰).

Plusieurs profils de salinité mettent en évidence une couche de surface moins salée. Les profils de trois stations du Canal de la Havannah (St07, St09 et St21) présentent une couche de salinité plus faible entre 5 et 10 m de fond avec des valeurs minimales de 34,92, 35,08 et 35,13 ‰, respectivement. La salinité mesurée aux stations St07 et St21 diminuent progressivement avec la profondeur à partir de 3 et 10 m, respectivement, alors que la salinité mesurée à la station St09 reste stable jusqu'au fond. Une forte halocline est observée à la station St06 avec des valeurs de salinité passant de 34,85 à 35,30 ‰ de 0 à 3 m. A partir de 3 m jusqu'au fond, la salinité reste homogène avec des valeurs comprises entre 35,30 et 35,35 ‰.

Dans la Baie du Prony, les stations st15, St16 et St19 présentent également une masse d'eau moins salée en surface avec des valeurs minimales de 35,22, 35,29 et 35,24 ‰, respectivement. A la station St18, la salinité augmente progressivement avec la profondeur avec un écart de 0,11 ‰ entre la surface et le fond.

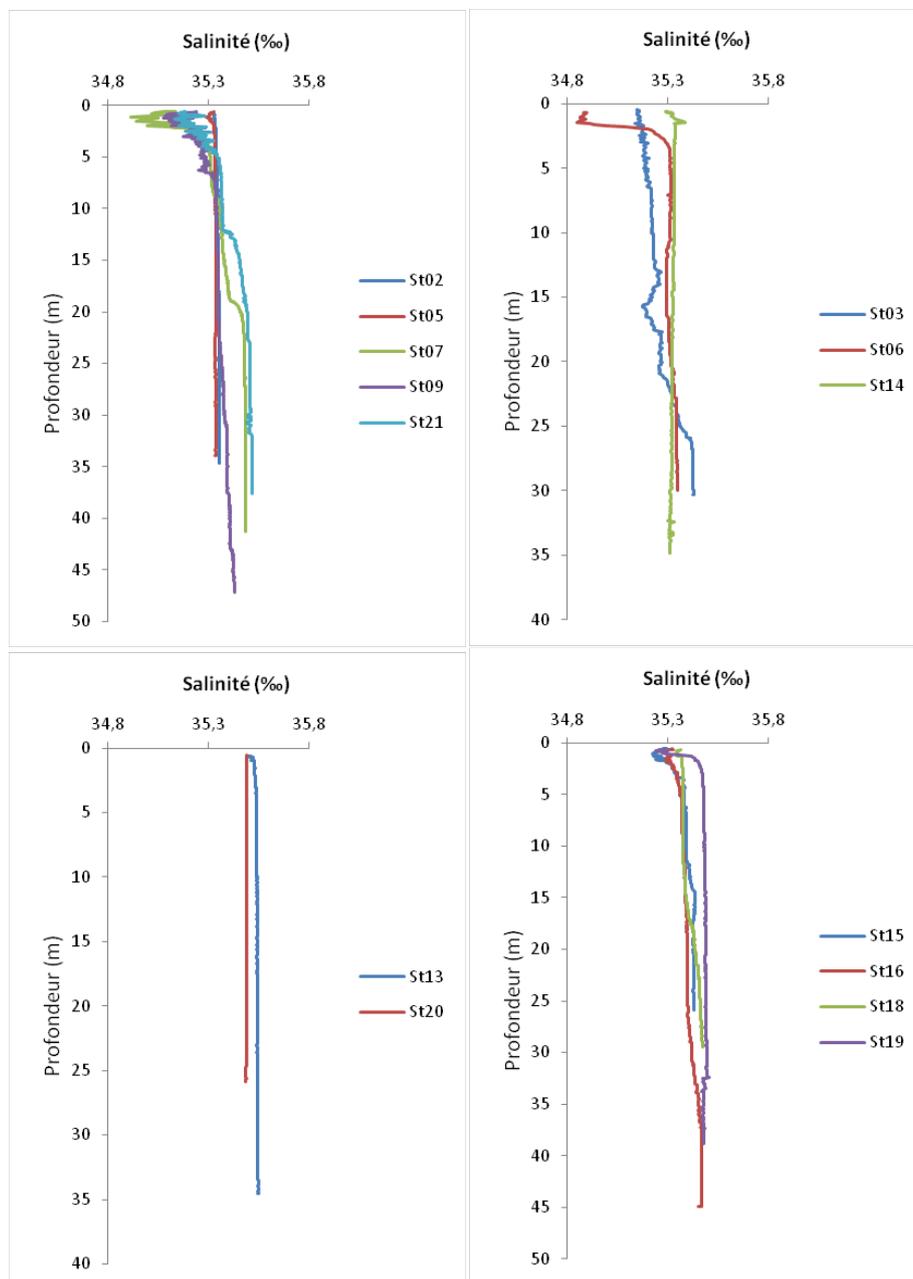


Figure 4 : Profils de salinité des stations échantillonnées lors de la campagne semestrielle d'août 2012.

3. TURBIDITE

La turbidité enregistrée aux stations St07 ($0,28 \pm 0,08$ NTU), St13 ($0,37 \pm 0,03$ NTU), St14 ($0,31 \pm 0,07$ NTU) et St21 ($0,28 \pm 0,06$ NTU) est relativement homogène au sein de la colonne d'eau (Figure 5). A l'inverse, les profils des stations St02, St05 et St09 présentent quelques variations au sein de la colonne d'eau. La station St09 présente un pic de turbidité en surface avec un maximum de 1,05 NTU à 0,95 m. La turbidité se stabilise à partir de 10 m jusqu'au fond avec une moyenne de $0,21 \pm 0,03$ NTU. Un pic de turbidité est également observé sur le profil de la station St02 entre 5 et 15 m atteignant 0,77 NTU ; la turbidité oscille entre 0,14 et 0,20 NTU dans le reste de la colonne d'eau. A la station St05, la turbidité varie notablement entre 0 et 15 m de profondeur avec des valeurs oscillant entre 0,15 et 1,25 NTU. La turbidité devient stable à partir de 15 m jusqu'au fond ($0,17 \pm 0,02$ NTU).

La turbidité mesurée à la station St06 est assez variable dans les 10 premiers mètres avec des valeurs oscillant entre 0,24 et 0,81 NTU ; celle-ci se stabilise autour de $0,30 \pm 0,03$ NTU puis augmente à partir de 20 m jusqu'au fond atteignant un max de 1,08 NTU. La turbidité mesurée à la station St03 présente également une couche de turbidité plus élevée en profondeur ; celle-ci est située entre 15 et 26 m et atteint un maximum de 0,64 NTU. Dans le reste de la colonne d'eau, la turbidité mesurée à cette station est relativement stable avec des valeurs oscillant entre 0,21 et 0,38 NTU.

Dans la Baie du Prony, les profils de turbidité des 4 stations mettent tous en évidence une turbidité plus élevée en profondeur. Cette augmentation est particulièrement forte à la station St15 où les valeurs passent de 0,51 (12,54 m) à 1,70 NTU (fond). La station St16 présente une couche turbide bien individualisée à partir de 35 m jusqu'au fond. A cette station, les valeurs de turbidité sont stables entre 5 et 35 m avec une moyenne de $0,37 \pm 0,02$ NTU puis augmente rapidement jusqu'à 1,06 NTU à 37m. Le profil de ces deux stations met également en évidence une masse d'eau de surface plus turbide dont les valeurs diminuent de 0 à 5 m. Une baisse de turbidité est aussi observée à la station St20 (Baie d'Iré) dont les valeurs passent de 0,68 à 0,41 NTU dans les 5 premiers mètres pour ensuite stagner jusqu'à 25 m ; celle-ci augmente dans les derniers mètres de fond jusqu'à 0,61 NTU. La turbidité mesurée à la station St18 augmente progressivement avec la profondeur passant de 0,36 à 0,91 NTU. La turbidité de la station St19 est relativement stable entre 0 et 33 m avec une moyenne de $0,36 \pm 0,03$ NTU puis augmente jusqu'à un maximum de 0,57 NTU à 36 m.

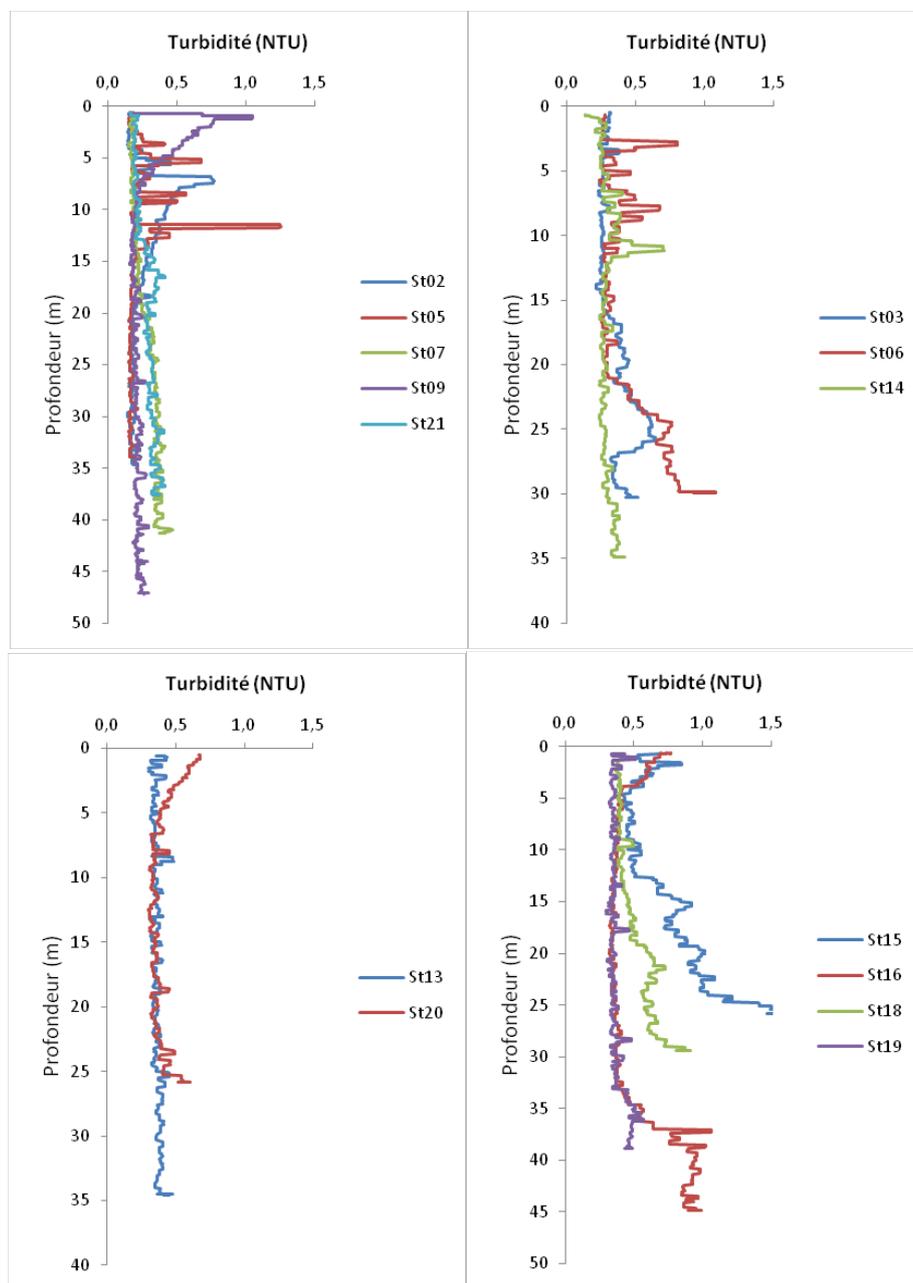


Figure 5 : Profils de turbidité des stations échantillonnées lors de la campagne d'août 2012.

4. FLUORESCENCE

Les valeurs de fluorescence mesurées aux stations du Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) varient peu dans la colonne d'eau (Figure 6). Celles-ci sont comprises entre 0,16 et 0,58 mg/m³ avec une moyenne de 0,38 ± 0,06 mg/m³. Les profils des stations St03 (0,36 ± 0,05 mg/m³), St13 (0,24 ± 0,03 mg/m³), St19 (0,31 ± 0,04 mg/m³) et St20 (0,21 ± 0,04 mg/m³) sont également très homogènes au sein de la colonne d'eau.

En Baie du Prony, les profils des stations St15, St16 et St18 se distinguent par une augmentation de la fluorescence avec la profondeur. La fluorescence augmente fortement au niveau des stations St15 et St18 passant de 0,05 à 1,36 mg/m³ et de 0,09 à 0,87 mg/m³, respectivement, à 20 m de profondeur. Cette augmentation est nettement moins visible à la station St16 ; un pic est observé à 36 m n'atteignant que 0,55 mg/m³.

Aux stations St03 (Port Boisé) et St06 (Baie Kwé), la fluorescence augmente progressivement avec la profondeur passant de 0,21 à 0,64 et de 0,24 à 1,08 mg/m³, respectivement. A la station St14, la fluorescence augmente dans les 15 premiers mètres où elle atteint une valeur maximale de 0,71 mg/m³ puis se stabilise autour de 0,59 ± 0,03 mg/m³ jusqu'au fond.

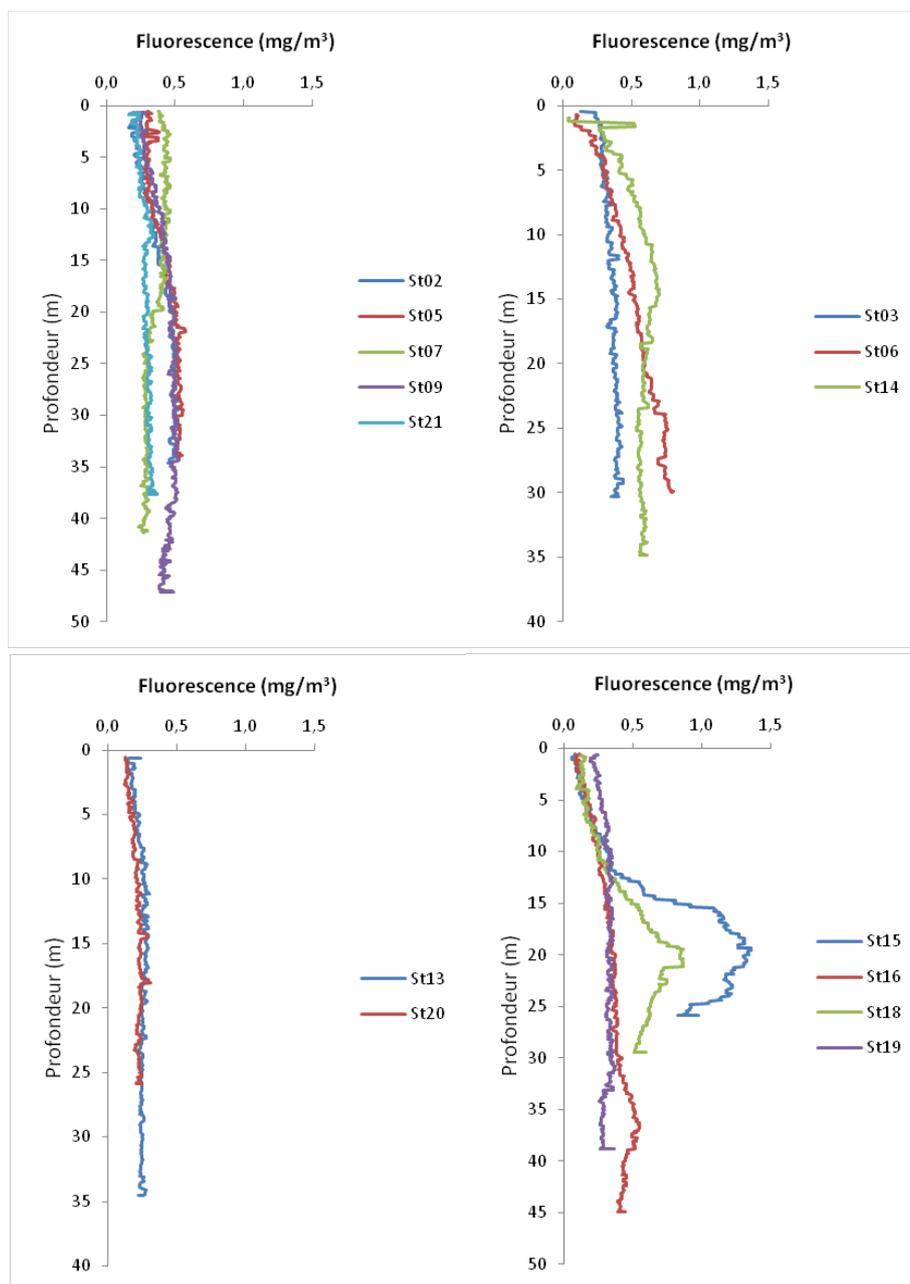


Figure 6 : Profils de fluorescence des stations échantillonnées lors de la campagne semestrielle d'août 2012.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence les stations influencées par les apports d'eaux douces des creeks de la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19), de la Kwé (St06) et de Port Boisé (St03). Ces apports se traduisent par une salinité plus faible en surface (St06, St15, St16, St18 et St19) et une turbidité plus élevée en surface (St15 et St16) mais aussi en profondeur ; le néphéloïde benthique étant particulièrement visible au niveau des stations St03, St06, St15, St16 et St18. Ces influences côtières sont également décelées par des pics de fluorescence en profondeur (St15 et St18, voire St19) correspondant à la décantation soit, d'un bloom phytoplanktonique, soit de matière en suspension organique accumulée dans la couche turbide.

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

Les stations St13 et St20 présentent également des variables physico-chimiques extrêmement constantes au sein de la colonne d'eau.

D. SELS NUTRITIFS

Les résultats d'analyse des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2012 sont regroupés en Annexe 4 et dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Concentrations des NO_2+NO_3 , NH_4 et PO_4 dans la zone d'étude pour la campagne d'août 2012.

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

(*) = valeur unique : pas de moyenne calculable ; (**) = valeur moyenne pour 2 concentrations : pas de calcul de l'écart-type.

1. AMMONIUM

Rappel : Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréations animales et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles par litre.

Les concentrations d'ammonium (NH_4) sont plus élevées dans le Canal de la Havannah ($0,053 \pm 0,030 \mu\text{M}$) que dans la Baie du Prony ($0,034 \pm 0,038 \mu\text{M}$). Une concentration se démarque néanmoins dans la Baie du Prony à la station St16 en profondeur ($0,149 \pm 0,002 \mu\text{M}$) ; celle-ci est de 3 à 10 fois plus élevée que les autres concentrations mesurées dans cette zone où sont également mesurées les concentrations minimales ($0,015 \mu\text{M}$) pour les stations St18 (surface et mi-profondeur) et St19 (surface).

Les concentrations de NH_4 ne présentent pas de distribution verticale particulière. En effet, certaines stations présentent des concentrations de fond plus élevées que celles mesurées en mi-profondeur et surface (St03, St07, St13, St15, St16 et St18) alors que d'autres présentent une distribution inversée (St05 et St06).

2. NITRATES ET NITRITES

Rappel : L'ion nitrate est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (NO_3). 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 du phytoplancton.

La majorité des concentrations de nitrates et nitrites (NO_2+NO_3) mesurées lors de la campagne d'août 2012 est anormalement inférieures aux limites de détection ($0,020 \mu\text{M}$)¹.

Dans le Canal de la Havannah, seules les concentrations de la station St02 (Basse Chambeyron) localisées dans le Canal de la Havannah ont été mesurées aux trois profondeurs échantillonnées ; la concentration maximale de NO_2+NO_3 a été observée en profondeur ($0,160 \mu\text{M}$). Dans ce secteur, les concentrations mesurables ont également été obtenues à la station St05 (Ilot Kié) pour les eaux de surface ($0,129 \mu\text{M}$) et de fond ($0,061 \mu\text{M}$).

Dans la Baie du Prony, parmi les 4 stations échantillonnées, seule la concentration de fond de la station St18 (Prony Ilot Casy) a pu être dosée ($0,053 \mu\text{M}$). Les stations St06 (Baie Kwé) et St14 (Port de Goro) présentent également des concentrations de NO_2+NO_3 quantifiables : $0,154 \mu\text{M}$ en surface et $0,085 \mu\text{M}$ à mi-profondeur pour la station St06 et $0,025 \mu\text{M}$ à mi-profondeur et $0,078 \mu\text{M}$ au fond pour la station St14. La concentration minimale de la zone d'étude a été mesurée à la station St14 à mi-profondeur.

3. PHOSPHATES

Rappel : Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{2-}). 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.

¹ Le nombre élevé de valeurs inférieures à la limite de détection conduit à s'interroger sur une anomalie technique non élucidée au moment de la rédaction de ce rapport.

² Comme pour les nitrates, le nombre élevé de valeurs de dosage inférieur à la limite de détection conduit à s'interroger sur une anomalie

Dans l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations de phosphates (PO_4) supérieures aux limites de détection ($0,01 \mu\text{M}$) varient de $0,012$ à $0,049 \mu\text{M}$ avec une valeur moyenne de $0,028 \pm 0,011 \mu\text{M}$; sur un total de 42 échantillons, 19 concentrations ont été mesurées². Les concentrations de PO_4 ne montrent pas de distribution particulière au sein de la zone d'étude.

Dans la Baie du Prony, seulement deux concentrations de phosphates ont été quantifiées dans les eaux de fond : St15 ($0,040 \mu\text{M}$) et St19 ($0,013 \mu\text{M}$).

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations supérieures aux limites de détection varient entre $0,012$ et $0,038 \mu\text{M}$, respectivement pour St02 et St21, avec une valeur concentration moyenne de $0,024 \pm 0,009 \mu\text{M}$. Aucune concentration supérieure à la limite de détection n'a été mesurée à la station St07 (Récif Ioro). La concentration maximale de la zone d'étude a été obtenue à la station St06 en profondeur ($0,049 \mu\text{M}$).

4. 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, sous forme de silicates (SiO_4^{2-}), qui peut devenir insuffisante en raison 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.

Les concentrations de SiO_4 présentent un gradient « côte-large » avec des concentrations plus élevées près des côtes. En effet, les concentrations sont deux fois plus élevées dans la Baie du Prony ($2,36 \pm 0,43 \mu\text{M}$) que dans le Canal de la Havannah ($1,31 \pm 0,11 \mu\text{M}$). La concentration maximale de silicates a été mesurée à la station St18 (Îlot Casy) à mi-profondeur ($3,07 \pm 0,01 \mu\text{M}$) alors que la concentration minimale a été mesurée à la station St05 (Îlot Kié) également à mi-profondeur ($1,14 \pm 0,06 \mu\text{M}$).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les concentrations de NH_4 , NO_2+NO_3 et PO_4 sont globalement plus faibles dans la Baie du Prony que dans le Canal de la Havannah ; un nombre important de d'analyses ont montré que les concentrations pour cette campagne en « saison fraîche » étaient en dessous des limites de détection respectives.

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

² Comme pour les nitrates, le nombre élevé de valeurs de dosage inférieur à la limite de détection conduit à s'interroger sur une anomalie technique non élucidée au moment de la rédaction de ce rapport.

E. MATIERE ORGANIQUE

La distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire. Cependant les études environnementales considèrent généralement que la limite de taille est de 0,45 μm (Strickland & Parsons, 1972).

Les concentrations d'azote et de phosphore organiques dissous et particulaires de la campagne d'août 2012 sont reportées en Annexe 5 et dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Concentrations d'azote et phosphore dissous, particulaires et totales dans la zone d'étude lors de la campagne d'août 2012.

Secteur		NOD (μM)	POD (μM)	NOP (μM)	POP (μM)	N Total (μM)	P Total (μM)
Domaine entier	Minimum	2,01	0,012	0,57	0,041	2,99	0,14
	Maximum	4,70	0,240	1,30	0,198	5,39	0,31
	Moyenne	3,44 \pm 0,63	0,151 \pm 0,051	0,87 \pm 0,21	0,065 \pm 0,031	4,40 \pm 0,59	0,23 \pm 0,04
Canal de la Havannah	Minimum	2,73	0,048	0,61	0,043	3,73	0,21
	Maximum	4,45	0,205	1,27	0,198	5,15	0,29
	Moyenne	3,42 \pm 0,50	0,162 \pm 0,040	0,95 \pm 0,21	0,065 \pm 0,041	4,46 \pm 0,43	0,24 \pm 0,02
Baie du Prony	Minimum	2,45	0,107	0,69	0,049	3,55	0,18
	Maximum	4,48	0,240	1,27	0,160	5,39	0,31
	Moyenne	3,47 \pm 0,57	0,175 \pm 0,037	0,86 \pm 0,17	0,070 \pm 0,031	4,46 \pm 0,60	0,25 \pm 0,03

1. AZOTE ET PHOSPHORE ORGANIQUES 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.

L'azote et le phosphore organiques dissous ne présentent pas de distribution spatiale particulière dans la zone étudiée ainsi que dans la colonne d'eau. La concentration de ces deux éléments est relativement stable au sein de la zone d'étude. En effet, les concentrations moyennes mesurées entre le Canal de la Havannah et la Baie du Prony sont quasiment similaires (3,44 \pm 0,63 μM ; Tableau 6).

2. AZOTE ET PHOSPHORE ORGANIQUES PARTICULAIRES

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

Globalement, les concentrations d'azote organique particulaire sont relativement homogènes au sein de la zone d'étude ainsi qu'entre les trois profondeurs échantillonnées ($0,87 \pm 0,21 \mu\text{M}$).

Les concentrations de phosphore organique particulaire (POP) de la Baie du Prony sont très légèrement supérieures à celles du Canal de la Havannah. Deux concentrations de POP se distinguent dans chacune de ces zones ; l'une mesurée en mi-profondeur à la station St07 ($0,198 \mu\text{M}$) et l'autre mesurée en profondeur à la station St15 ($0,160 \mu\text{M}$). Cette dernière peut être corrélée aux profils physico-chimiques présentant des valeurs de turbidité et fluorescence plus élevées en profondeur ; cette hausse de valeurs (turbidité, fluorescence et POP) est probablement générée par les apports d'eau douce provenant des creeks de la Baie du Prony. Par contre, la concentration de POP mesurée à mi-profondeur à la station St07 n'est pas expliquée par les profils ; celle-ci pourrait être éventuellement due à une remise en suspension.

CE QU'IL FAUT RETENIR

L'azote et le phosphore organiques dissous ainsi que l'azote organique particulaire ne montrent pas de distribution particulière dans l'ensemble de la zone d'étude ainsi qu'au sein de la colonne d'eau. Les concentrations de POP sont légèrement plus élevées dans la Baie du Prony que dans le Canal de la Havannah.

F. CHLOROPHYLLE A ET PHEOPIGMENTS

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 ; elle fournit une information globale sur l' « état de santé » du milieu (Beliaeff et al, 2011) . Sa dégradation donne de nombreux composés, dont principalement les phéopigments.

Les concentrations de chlorophylle *a* et de phéopigments de la campagne semestrielle d'août 2012 sont répertoriées en Annexe 6 et dans le Tableau 7.

Les concentrations de chlorophylle *a* des stations localisées proches des côtes présentent une distribution verticale avec des valeurs plus élevées en profondeur qu'en surface ; notamment au niveau de la station St15 dont la concentration de profondeur ($1,28 \mu\text{g/L}$) est 4 fois plus élevée que celle mesurée en surface ($0,33 \mu\text{g/L}$). Cette forte concentration de chlorophylle *a* est également mise en évidence avec les profils de fluorescence qui montrent des valeurs plus élevées en profondeur (St15 et St18). Pour les autres stations il ne semble pas possible de mettre en évidence de distribution particulière avec la profondeur (St02, St05, St07, St09, St21, St13, St20).

Les concentrations de phéopigments sont moins élevées dans la Baie du Prony ($0,06 \pm 0,03 \mu\text{g/L}$) que dans le Canal de la Havannah ($0,11 \pm 0,14 \mu\text{g/L}$) où les valeurs observées sont très dispersées avec un maxima à mi-profondeur à la station St05 ($0,61 \mu\text{g/L}$).

Les stations directement influencées par les apports d'eaux douces des creeks (St15, St16, St19, St03 et St06) montrent une distribution verticale des concentrations en phéopigments plus élevées en profondeur. Par exemple, la concentration mesurée à la station St06 ($0,25 \mu\text{g/L}$) est environ trois fois plus élevée que celles mesurées en surface ($0,07 \mu\text{g/L}$) et mi-profondeur ($0,08 \mu\text{g/L}$).

Tableau 7 : Concentrations et pourcentages des pigments chlorophylliens dans la zone d'étude lors de la campagne d'août 2012.

Secteur		Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$)	Phéopigment ($\mu\text{g/L}$)	% Phéopigment
Domaine entier	Minimum	0,17	0,01	3,23
	Maximum	1,28	0,61	62,50
	Moyenne	0,44 \pm 0,18	0,08 \pm 0,09	14,82 \pm 9,62
Canal de la Havannah	Minimum	0,17	0,02	3,84
	Maximum	0,60	0,61	62,50
	Moyenne	0,44 \pm 0,11	0,11 \pm 0,14	17,78 \pm 13,54
Baie du Prony	Minimum	0,20	0,01	3,23
	Maximum	1,28	0,10	23,63
	Moyenne	0,45 \pm 0,29	0,06 \pm 0,03	13,56 \pm 7,17

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les concentrations de chlorophylle a et de phéopigments mettent en évidence un gradient verticale au niveau des stations localisées près des côtes (St03, St06, St15, St16, St18 et St19) : les concentrations de profondeur sont plus élevées que celles mesurées à mi-profondeur et en surface.

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

G. METAUX DISSOUS

Les résultats d'analyse des métaux dissous de la campagne semestrielle d'août 2012 sont regroupés en Annexe 7 et dans le Tableau 8.

Les concentrations des métaux dissous, cobalt (Co), manganèse (Mn) et nickel (Ni), se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini. On différencie nettement les stations du Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) influencées par les masses d'eaux océaniques dont les concentrations sont beaucoup plus faibles que celles mesurées près des côtes et les stations influencées par les apports terrigènes des rivières (St03, St06, St15, St16, St18 et St19).

En effet, les concentrations moyennes de Mn et Ni mesurées dans la Baie du Prony (Mn : 0,22 \pm 0,05 $\mu\text{g/L}$; Ni : 0,32 \pm 0,04 $\mu\text{g/L}$) sont deux fois plus élevées que celles mesurées dans le Canal de la Havannah (Mn : 0,22 \pm 0,05 $\mu\text{g/L}$; Ni : 0,32 \pm 0,04 $\mu\text{g/L}$). Parmi les 5 stations du Canal de la Havannah, seule la station St07 présente des concentrations de Co supérieures aux limites de quantification en profondeur et mi-profondeur (0,020 $\mu\text{g/L}$) alors que les concentrations moyennes mesurées en Baie du Prony s'élèvent à 0,032 \pm 0,008 $\mu\text{g/L}$. Bien que située à l'extérieur de la Baie du Prony, la station St20 (Baie Iré) semble également être influencée par les apports terrigènes, celle-ci présentant des concentrations de Co, Mn et Ni (M et F) du même ordre de grandeur que celles observées dans la Baie du Prony. Exceptionnellement, les concentrations maximales de Co (0,045 $\mu\text{g/L}$), Mn (0,37

µg/L) et Ni (0,39 µg/L) ont été mesurées en surface en St03, station directement influencée par les apports terrigènes des creeks débouchant dans la baie de Port Boisé.

Les concentrations de chrome hexavalent (Cr(VI)) présentent également une distribution selon un gradient « côte-large » ; celui-ci étant moins marqué que pour les métaux Co, Mn et Ni car les concentrations de Cr(VI) mesurées dans la Baie du Prony ($0,16 \pm 0,04$ µg/L) ne sont que légèrement plus élevées que celles mesurées dans le Canal de la Havannah ($0,11 \pm 0,02$ µg/L). Les concentrations les plus élevées ont été obtenues pour les eaux de surface aux stations St15 (0,18 µg/L) et St16 (0,27 µg/L), stations directement influencées par les apports terrigènes des creeks de la Rade Nord et de la Rade Est.

Les concentrations d'arsenic (As) sont remarquablement homogènes au sein de la zone d'étude ainsi qu'entre les trois niveaux de profondeurs étudiés ($1,19 \pm 0,06$ µg/L).

A l'exception de la station St19 (mi-profondeur) dont la concentration de plomb (Pb) s'élève à 0,24 µg/L, toutes les concentrations de cadmium (Cd) et Pb sont en dessous des limites de quantification fixées, compte tenu des très basses teneurs de ces métaux dans les roches latéritiques du sud calédonien (Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981).

Les analyses du cuivre (Cu) ont été effectuées par le laboratoire UT2A pour cette campagne suite à un problème technique. Ces analyses ont été réalisées par ICP-MS. La limite de quantification de cette méthode (LQ = 0,25 µg/L) est plus élevée que celle obtenue par pré-concentration/élution (0,015 µg/L) (protocole AEL), la plupart des concentrations de Cu obtenues sont inférieures aux limites de quantification. Seules 5 concentrations ont pu être déterminées au niveau des stations localisées dans la Baie du Prony et ses alentours pour les eaux de fond essentiellement ou de mi-profondeur (St13 : 0,25 µg/L ; St15 : 0,53 µg/L ; St18 : 0,69 µg/L ; St19 : 0,55 µg/L ; St20 : 0,29 µg/L).

Les concentrations de fer (Fe) et de zinc (Zn) ne présentent pas de distribution particulière au sein de la zone d'étude et sont particulièrement dispersées (Tableau 8).

Tableau 8 : Concentrations des métaux dissous dans la zone d'étude lors de la campagne semestrielle d'août 2012.

		As (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (VI) (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)
Domaine entier	Minimum	1,07	0,017	0,05	0,012	0,04	0,09	0,06
	Maximum	1,27	0,045	0,27	0,140	0,37	0,39	0,47
	Moyenne	$1,19 \pm 0,06$	$0,029 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,03$	$0,044 \pm 0,034$	$0,17 \pm 0,08$	$0,22 \pm 0,10$	$0,22 \pm 0,13$
Canal de la Havannah	Minimum	1,13	0,019	0,05	0,012	0,04	0,09	0,06
	Maximum	1,27	0,020	0,17	0,140	0,17	0,20	0,47
	Moyenne	$1,23 \pm 0,04$	$0,020 \pm 0,001$	$0,11 \pm 0,02$	$0,042 \pm 0,043$	$0,11 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,13$
Baie du Prony	Minimum	1,07	0,023	0,12	Nd	0,14	0,27	0,07
	Maximum	1,19	0,044	0,27	Nd	0,29	0,38	0,24
	Moyenne	$1,13 \pm 0,04$	$0,032 \pm 0,008$	$0,16 \pm 0,04$	Nd	$0,22 \pm 0,05$	$0,32 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,09$

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les concentrations des métaux dissous Co, Cr(VI), Mn et Ni se distribuent selon un gradient côte large bien défini mettant en évidence les stations influencées par le lessivage des sols et celles influencées par les masses d'eaux océaniques. L'arsenic (As) est particulièrement stable dans l'ensemble de la colonne d'eau alors que le Fe et le Zn présentent une distribution relativement hétérogène.

V. SYNTHÈSE 2008-2012

Cette synthèse regroupe les valeurs moyennes des concentrations des sels nutritifs, des matières organiques dissoutes et particulaires, des pigments chlorophylliens et des métaux dissous pour les campagnes de suivis « **saison sèche** » réalisées depuis août 2008. Les précipitations ayant une influence sur la physico-chimie des eaux et les concentrations en métaux, les cumuls de pluies avant (5 jours précédant la campagne) et pendant la campagne sont reportées dans la Figure 7.

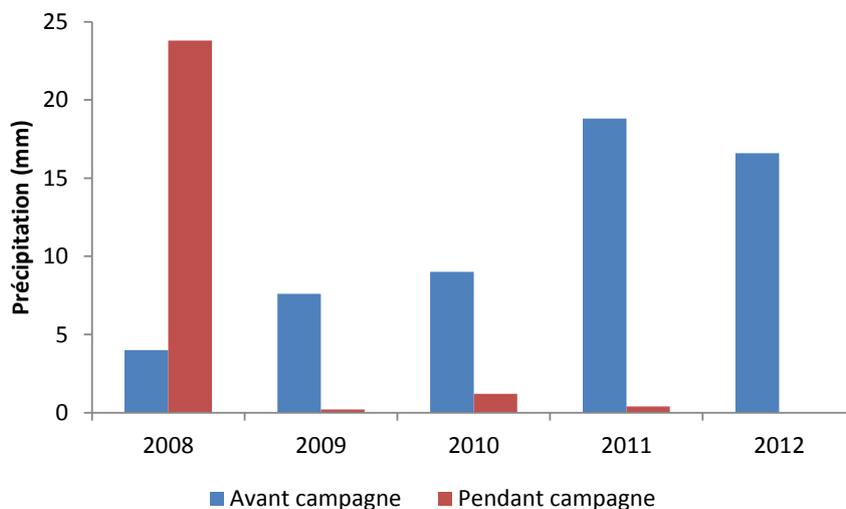


Figure 7 : Cumuls des précipitations avant (5 jours avant) et pendant les campagnes de prélèvement « saison sèche » de 2008 à 2012 ; Station d'observation : « Prony Pilot Station ».

A. COMPARAISON INTERANNUELLE DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS DISTRIBUTION GLOBALE DANS LE DOMAINE

DOMAINE ENTIER

Dans l'ensemble du domaine d'étude, les concentrations d'ammonium (NH_4), de nitrites+nitrates (NO_2+NO_3), de phosphates (PO_4) et de silicates (SiO_4) montrent de grandes variations pour chacune des campagnes depuis 2008 (Tableau 9 et Tableau 10). Cette dispersion des valeurs ne permet pas de mettre en évidence d'évolution spatio-temporelle de l'un de ces paramètres pour le domaine entier alors que des tendances temporelles peuvent être dégagées des deux sous-ensembles que sont le Canal de la Havannah et la Baie du Prony.

CANAL DE LA HAVANNAH

Pour ce premier domaine, les principales observations sont les suivantes :

- les concentrations de NH_4 les plus faibles ont été mesurées en 2008 ($0,024 \pm 0,012 \mu\text{M}$) et les fortes en 2010 ($0,080 \pm 0,060 \mu\text{M}$) et 2011 ($0,086 \pm 0,057 \mu\text{M}$) ;
- les concentrations de NO_2+NO_3 les plus élevées ont été observées en 2009 ($0,220 \pm 0,101 \mu\text{M}$) et 2011 ($0,203 \pm 0,202 \mu\text{M}$), les plus faibles ont été mesurées en 2012 ($0,097 \pm 0,046 \mu\text{M}$). Les concentrations obtenues dans le Canal de la Havannah en 2011 sont particulièrement dispersées avec des valeurs comprises entre 0,033 et 0,685 μM ;
- les concentrations de PO_4 de 2008 ($0,045 \pm 0,020 \mu\text{M}$), 2009 ($0,056 \pm 0,015 \mu\text{M}$) et 2011 ($0,040 \pm 0,019 \mu\text{M}$) sont similaires. Les concentrations de PO_4 les plus faibles ont été mesurées lors de la campagne 2012 ; les valeurs sont comprises entre 0,012 et 0,038 μM avec une moyenne de $0,024 \pm 0,009 \mu\text{M}$;
- les concentrations de SiO_4 ne diffèrent pas entre les campagnes semestrielles, à l'exception de celles obtenues en 2011 ; en effet, les concentrations de SiO_4 de 2011 ($0,22 \pm 0,26 \mu\text{M}$) sont environ 5 à 6 fois plus faibles que celles obtenues lors des autres campagnes semestrielles (2008, 2009, 2010 et 2012).

BAIE DU PRONY

Pour ce deuxième domaine, les principales observations sont les suivantes :

- Les concentrations de NH_4 les plus faibles ont été mesurées lors de la campagne de 2008 et se caractérisent par une très grande dispersion ($0,019 \pm 0,025 \mu\text{M}$). Les concentrations moyennes de NH_4 obtenues depuis 2009 ne diffèrent pas entre-elles, celles-ci sont toutes comprises entre $0,034 \pm 0,038 \mu\text{M}$ (2012) et $0,058 \pm 0,036 \mu\text{M}$ (2009) ;
- les concentrations de NO_2+NO_3 obtenues entre les campagnes de 2008 à 2011 restent dans le même ordre de grandeur. La campagne de 2012 montre des valeurs souvent très inférieures mais ces résultats demandent à être vérifiés ;
- les concentrations moyennes de PO_4 mesurées en 2008 ($0,023 \pm 0,008 \mu\text{M}$) et 2009 ($0,031 \pm 0,021 \mu\text{M}$) sont relativement similaires. Les concentrations moyennes les plus fortes ont été obtenues en 2011 ($0,084 \pm 0,047 \mu\text{M}$). Comme pour NO_2+NO_3 , les concentrations de PO_4 de 2012 sont presque toutes inférieures à la limite de détection, ces résultats demandent à être vérifiés ;

- les concentrations moyennes de SiO_4 les plus fortes ont été observées lors des campagnes de 2009 ($2,88 \pm 0,84 \mu\text{M}$) et de 2012 ($2,36 \pm 0,43 \mu\text{M}$). La concentration moyenne la plus faible est de $1,22 \pm 0,65 \mu\text{M}$ en 2011 (Tableau 10).

Remarque : de manière systématique depuis 2008, les concentrations en NO_2+NO_3 sont plus élevées dans le Canal de la Havannah que dans la Baie du Prony. Cette constatation est avérée, tant en « saison chaude » qu'en « saison fraîche », bien que pour cette dernière les niveaux de concentration dans les deux domaines soit nettement inférieurs et que leur écart soit plus faible. Il est donc manifeste que les nitrates sont consommés plus rapidement dans la Baie et que cette décroissance en nitrates est liée à la quantité de biomasse. Toutefois, si la biomasse (estimation basée sur les résultats de la fluorimétrie) semble plus importante en « saison chaude » dans le Canal de la Havannah que dans la Baie du Prony, en « saison fraîche » la situation inverse se produit ; cette inversion des charges pouvant être alors compensée par une activité phytoplanctonique supérieure en raison de températures bien plus élevées dans la Baie par rapport au Canal.

Tableau 9 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) d'ammonium et nitrites+nitrates mesurées semestriellement en août de 2008 à 2012.

		NH_4 (μM)					NO_2+NO_3 (μM)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	<LQ	0,019	0,017	0,014	0,015	0,006	0,003	0,038	0,007	0,025
	Max	0,098	0,148	0,240	0,263	0,149	0,106	0,397	0,274	0,685	0,160
	Moy	$0,025 \pm 0,018$	$0,062 \pm 0,033$	$0,068 \pm 0,049$	$0,084 \pm 0,062$	$0,044 \pm 0,032$	$0,065 \pm 0,025$	$0,148 \pm 0,121$	$0,143 \pm 0,071$	$0,164 \pm 0,164$	$0,088 \pm 0,045$
Canal de la Havannah	Min	<LQ	0,019	0,030	0,041	0,017	0,006	0,040	0,051	0,033	0,054
	Max	0,070	0,127	0,240	0,247	0,126	0,106	0,367	0,274	0,685	0,160
	Moy	$0,024 \pm 0,012$	$0,051 \pm 0,033$	$0,080 \pm 0,060$	$0,086 \pm 0,057$	$0,053 \pm 0,030$	$0,141 \pm 0,025$	$0,220 \pm 0,101$	$0,171 \pm 0,074$	$0,203 \pm 0,202$	$0,097 \pm 0,046$
Baie du Prony	Min	0,006	0,027	0,017	0,014	0,015	0,055	0,003	0,038	0,007	
	Max	0,098	0,148	0,121	0,172	0,149	0,102	0,176	0,142	0,168	
	Moy	$0,019 \pm 0,025$	$0,058 \pm 0,036$	$0,048 \pm 0,036$	$0,057 \pm 0,054$	$0,034 \pm 0,038$	$0,077 \pm 0,016$	$0,043 \pm 0,048$	$0,079 \pm 0,042$	$0,065 \pm 0,056$	$0,053$ (n=1)

Tableau 10 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) de phosphates (PO_4) et silicates (SiO_4) mesurées semestriellement en août de 2008 à 2012.

		PO_4 (μM)					SiO_4 (μM)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,010	0,010	ND	0,011	0,012	0,80	0,92	0,45	0,02	1,14
	Max	0,084	0,117	ND	0,203	0,049	3,02	4,31	3,15	4,34	3,07
	Moy	$0,037 \pm 0,019$	$0,047 \pm 0,022$	ND	$0,057 \pm 0,036$	$0,028 \pm 0,011$	$1,36 \pm 0,48$	$1,98 \pm 0,88$	$1,26 \pm 0,68$	$0,95 \pm 0,90$	$1,74 \pm 0,52$
Canal de la Havannah	Min	0,013	0,023	ND	0,011	0,012	0,80	0,92	0,45	0,02	1,14
	Max	0,084	0,084	ND	0,063	0,038	2,40	1,76	2,48	0,70	1,50
	Moy	$0,045 \pm 0,020$	$0,056 \pm 0,015$	ND	$0,040 \pm 0,019$	$0,024 \pm 0,009$	$1,18 \pm 0,29$	$1,32 \pm 0,31$	$1,25 \pm 0,72$	$0,22 \pm 0,26$	$1,31 \pm 0,11$
Baie du Prony	Min	0,010	0,010	ND	0,015	0,013	1,23	1,89	0,75	0,39	1,80
	Max	0,039	0,086	ND	0,203	0,040	3,02	4,31	3,15	2,65	3,07
	Moy	$0,023 \pm 0,008$	$0,031 \pm 0,021$	ND	$0,084 \pm 0,047$	$0,027$ (n=2)	$1,87 \pm 0,59$	$2,88 \pm 0,84$	$1,44 \pm 0,81$	$1,22 \pm 0,65$	$2,36 \pm 0,43$

ND : Concentrations non déterminées

2. DISTRIBUTION VERTICALE AUX STATIONS SENTINELLES ST05, ST06, ST09 ET ST15

AMMONIUM (NH₄)

Aux stations St05, St09 et St15, les concentrations mesurées montrent que les colonnes d'eaux respectives sont relativement homogènes d'une campagne « saison sèche » à l'autre depuis 2008 (Figure 8). Toutefois, une gradation des concentrations semble se dessiner avec le temps pour St05 et St09.

Ainsi, à la station St05, les concentrations les plus élevées ont été mesurées en 2011 et les plus faibles en 2008. Il en est de même à la station St09, où les concentrations mesurées en 2010 et 2011 sont 3 à 4 fois supérieures à celles mesurées en 2008 et 2009 ; en 2012, les concentrations évoluent avec la profondeur, les plus élevées étant mesurées à mi-profondeur, puis au fond et enfin en surface. Les concentrations obtenues à la station St15 sont relativement faibles comparées à celles mesurées aux autres stations ; les concentrations maximales ont été dosées en 2010 à mi-profondeur et fond.

Les eaux de la station St06 montrent, à l'inverse, une forte dispersion verticale des valeurs ainsi qu'une augmentation dans le temps. Exception faite de 2008, les concentrations des eaux de surface sont bien plus élevées que dans le reste de la colonne d'eau.

NITRITES+NITRATES (NO₂+NO₃)

Exception faite des prélèvements de surface et de mi-profondeur en 2011 pour la station St06, les eaux de la Baie Kwé (St06) et de la Rade Nord (St15) sont très homogènes avec des niveaux de concentrations en **NO₂+NO₃** relativement faibles (Figure 9).

Les concentrations de NO₃+NO₂ de la station St09 ne diffèrent que très légèrement entre 2008, 2010 et 2011, et sont de 2 à 4 fois plus élevées en 2009.

Les concentrations de la station St05 sont très dispersées dans le temps mais aussi dans la colonne d'eau pour 2011 ; les plus faibles ont été mesurées lors des campagnes de 2008 et 2012. A cette même station, la concentration maximale a été mesurée en surface lors de la campagne de 2011 (0,69 µM).

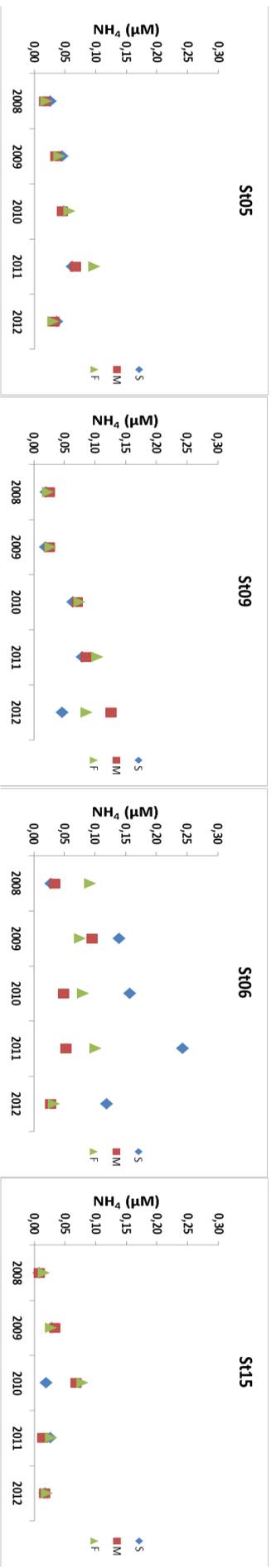


Figure 8 : Concentrations d'ammonium mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).

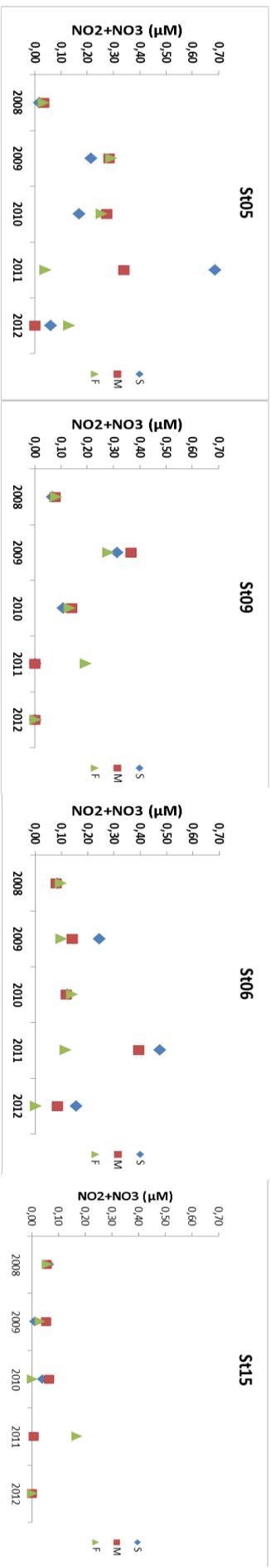


Figure 9 : Concentrations de nitrates + nitrites mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).

B. COMPARAISON INTERANNUELLE DES CONCENTRATIONS EN MATIERE ORGANIQUE ET PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

DOMAINE ENTIER, CANAL DE LA HAVANNAH ET BAIE DU PRONY

Dans le domaine entier ainsi que pour chacune des deux zones étudiées séparément (Canal de la Havannah et Baie du Prony), les concentrations de phosphore organique dissous (**POD**) les plus fortes ont été mesurées lors de la campagne de 2009. En effet, ces concentrations sont de 2 à 6 fois plus élevées que celles mesurées lors des autres campagnes. Les concentrations les plus faibles ont été obtenues lors de la campagne de 2011 mais restent dans le même ordre de grandeur que celles des campagnes 2008 et 2012 (Tableau 11).

De la même façon, dans le domaine entier ainsi que dans le Canal de la Havannah et Baie du Prony, les concentrations d'azote organique dissous (**NOD**) ne diffèrent quasiment pas entre les différentes campagnes, à l'exception de 2010 qui présente des valeurs légèrement plus élevées (Tableau 11).

Les concentrations moyennes de phosphore (**POP**) et azote organiques particulaires (**NOP**) ne diffèrent que peu entre les campagnes, la campagne 2010 montrant les concentrations moyennes les plus faibles (Tableau 12).

A l'inverse des concentrations des composés phosphatés et azotés (POP et NOP), les concentrations des pigments chlorophylliens les plus importantes ont été observées lors de la campagne 2010. Les concentrations mesurées lors des autres campagnes semestrielles ne diffèrent que très peu entre les années (Tableau 13).

Tableau 11 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) de phosphore et azote organiques dissous (POD et NOD) mesurées lors des campagnes semestrielles d'août de 2008 à 2012.

		POD (µM)					NOD (µM)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,11	0,23	ND	0,01	0,01	2,55	1,56	4,51	2,26	2,01
	Max	0,32	0,90	ND	0,23	0,24	4,85	4,59	7,44	6,87	4,7
	Moy	0,19 ± 0,04	0,59 ± 0,15	ND	0,09 ± 0,06	0,15 ± 0,05	3,97 ± 0,43	3,40 ± 0,65	6,03 ± 0,81	4,06 ± 0,79	3,44 ± 0,63
Canal de la Havannah	Min	0,11	0,23	ND	0,01	0,05	2,55	1,56	4,54	2,26	2,73
	Max	0,32	0,84	ND	0,20	0,21	4,85	4,59	7,43	4,76	4,45
	Moy	0,18 ± 0,04	0,51 ± 0,16	ND	0,08 ± 0,07	0,16 ± 0,04	3,94 ± 0,49	3,09 ± 0,85	5,88 ± 0,92	3,73 ± 0,76	3,42 ± 0,50
Baie du Prony	Min	0,16	0,53	ND	0,05	0,11	3,59	2,45	4,51	3,11	2,45
	Max	0,28	0,90	ND	0,16	0,24	4,08	4,25	7,16	4,57	4,48
	Moy	0,20 ± 0,03	0,68 ± 0,10	ND	0,10 ± 0,04	0,18 ± 0,04	3,86 ± 0,16	3,50 ± 0,49	5,79 ± 0,68	3,72 ± 0,49	3,47 ± 0,57

ND : Concentrations non déterminées

Tableau 12 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) de phosphore et azote organiques particulaires mesurées lors des campagnes semestrielles d'août de 2008 à 2012.

		POP (µM)					NOP (µM)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,03	0,03	0,08	0,01	0,04	0,34	0,11	0,05	0,36	0,57
	Max	0,11	0,34	0,16	0,07	0,20	1,32	4,58	0,60	1,25	1,30
	Moy	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,05	0,10 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,07 ± 0,03	0,73 ± 0,19	0,93 ± 0,89	0,28 ± 0,11	0,69 ± 0,21	0,87 ± 0,21
Canal de la Havannah	Min	0,03	0,04	0,09	0,01	0,04	0,34	0,39	0,14	0,37	0,61
	Max	0,10	0,34	0,16	0,07	0,20	1,32	3,28	0,51	1,21	1,27
	Moy	0,07 ± 0,02	0,09 ± 0,07	0,10 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,07 ± 0,04	0,70 ± 0,21	1,33 ± 0,91	0,27 ± 0,11	0,61 ± 0,22	0,95 ± 0,21
Baie du Prony	Min	0,07	0,05	0,09	0,02	0,05	0,70	0,11	0,19	0,36	0,69
	Max	0,11	0,09	0,12	0,06	0,16	1,12	1,72	0,60	0,90	1,27
	Moy	0,09 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,07 ± 0,03	0,85 ± 0,10	0,66 ± 0,42	0,30 ± 0,12	0,65 ± 0,16	0,86 ± 0,17

Tableau 13 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) de pigments chlorophylliens mesurées lors des campagnes semestrielles d'août de 2008 à 2012.

		Chlorophylle a (µg/L)					Pheopigments (µg/L)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,09	0,15	0,40	0,01	0,17	0,05	0,04	0,19	0,00	0,01
	Max	0,98	0,90	2,55	0,75	1,28	0,47	0,40	1,35	0,19	0,61
	Moy	0,43 ± 0,13	0,33 ± 0,13	0,92 ± 0,37	0,40 ± 0,18	0,44 ± 0,18	0,17 ± 0,07	0,15 ± 0,07	0,42 ± 0,20	0,10 ± 0,05	0,08 ± 0,09
Canal de la Havannah	Min	0,09	0,15	0,59	0,10	0,17	0,11	0,08	0,22	0,03	0,02
	Max	0,98	0,43	2,55	0,73	0,6	0,47	0,36	1,35	0,19	0,61
	Moy	0,44 ± 0,15	0,32 ± 0,09	1,03 ± 0,48	0,40 ± 0,18	0,44 ± 0,11	0,18 ± 0,07	0,17 ± 0,06	0,49 ± 0,26	0,11 ± 0,05	0,11 ± 0,14
Baie du Prony	Min	0,16	0,16	0,59	0,01	0,20	0,05	0,04	0,19	0,00	0,01
	Max	0,57	0,90	1,09	0,63	1,28	0,23	0,40	0,57	0,16	0,10
	Moy	0,39 ± 0,11	0,35 ± 0,19	0,76 ± 0,14	0,35 ± 0,19	0,45 ± 0,29	0,13 ± 0,04	0,14 ± 0,10	0,31 ± 0,11	0,07 ± 0,04	0,06 ± 0,03

C. COMPARAISON INTERANNUELLE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS

1. DISTRIBUTION GLOBALE DANS LE DOMAINE

DOMAINE ENTIER :

- Les concentrations moyennes en Co sont assez dispersées mais les valeurs restent dans le même ordre de grandeur ; les concentrations mesurées en 2011 étant légèrement plus élevées que celles des autres campagnes (Tableau 14) ;
- les concentrations en Cu ne diffèrent que très légèrement entre 2008 et 2010. En 2011, la concentration moyenne augmentent ($0,14 \pm 0,23$ µg/L) avec cependant des valeurs très dispersées ($0,02-1,21$ µg/L) ; en 2012 les concentrations ($0,46 \pm 0,19$ µg/L) semblent être de 3 à 10 fois plus élevées qu'auparavant³ (Tableau 14) ;
- les concentrations de Cr(VI) et Cr total sont très stables dans l'ensemble de la zone d'étude. Les concentrations mesurées lors des campagnes de 2008, 2010, 2011 et 2012 sont remarquablement similaires ; pour le Cr(VI), celles-ci varient entre $0,10 \pm 0,02$ (2008) et $0,14 \pm 0,03$ µg/L (2010 et 2012). Les concentrations obtenues en 2009 sont les plus élevées que l'on ait mesurées jusqu'à présent (Cr(VI) = $0,20 \pm 0,07$ µg/L ; Tableau 15) ;
- la concentration moyenne de Fe la plus faible est mesurée en 2012 ($0,04 \pm 0,03$ µg/L) et la plus élevée lors de la campagne de 2009 ($0,11 \pm 0,05$ µg/L ; Tableau 16) : aucune évolution sensible n'est à signaler ;

³ Ces dernières analyses ont été effectuées par un laboratoire extérieur (UT2A) dont la méthode est moins sensible que celle habituellement employée (AEL) et seulement 5 valeurs de Cu ont pu être déterminées. Les résultats de 2012 ne peuvent donc pas être facilement comparés avec ceux des années précédentes.

- à l'exception de la concentration en Mn de 2011 ($0,28 \pm 0,24 \mu\text{g/L}$) qui est légèrement plus élevée, les concentrations mesurées depuis 2008 sont quasiment similaires (Tableau 16) : aucune évolution sensible n'est à signaler ;
- les concentrations moyennes en Ni ne diffèrent que très légèrement entre les campagnes de 2008 à 2012 ; celles-ci variant entre $0,20 \pm 0,10$ (2008) et $0,27 \pm 0,17 \mu\text{g/L}$ (2011) (Tableau 17) ;
- les concentrations en Zn sont habituellement très dispersées au sein de la zone d'étude et ne permettent quasiment jamais de montrer de nette variabilité interannuelle (Tableau 17).

CANAL DE LA HAVANNAH :

- Les concentrations moyennes de Co les plus élevées sont mesurées en 2009 ($0,031 \pm 0,015 \mu\text{g/L}$) alors qu'en 2011, toutes les concentrations étaient inférieures aux limites de quantification ; pour les campagnes 2008, 2010 et 2012, les concentrations sont remarquablement similaires (Tableau 14) ;
- les concentrations moyennes de Cu sont très proches entre les différentes campagnes, seules les concentrations mesurées en 2011 sont légèrement plus élevées que les années précédentes. En 2012, aucune valeur de concentration en Cu n'a été obtenue pour le Canal de la Havannah⁴ (Tableau 14) ;
- les concentrations moyennes de Cr(VI) et Cr total sont très stables pour le domaine entier avec toutefois une légère augmentation qui s'est produite en 2009 (Tableau 15) ;
- les concentrations de Fe sont assez dispersées et ne permettent pas de montrer de nette différence entre les campagnes (Tableau 16) ;
- les concentrations de Mn et Ni sont également remarquablement stables entre les campagnes (Tableau 16 et Tableau 17) : aucune évolution sensible n'est à signaler ;
- d'une année à l'autre les concentrations moyennes en Zn étant assez variables, aucune tendance ne peut être proposée pour cette période d'observation (Tableau 17).

BAIE DU PRONY

- Les concentrations moyennes de Co les plus élevées sont obtenues pour les campagnes de 2008 ($0,046 \pm 0,012 \mu\text{g/L}$) et de 2011 ($0,049 \pm 0,021 \mu\text{g/L}$). En 2011, les concentrations sont particulièrement dispersées avec des valeurs comprises entre 0,030 et 0,105 $\mu\text{g/L}$; la concentration moyenne la plus faible a été mesurée en 2010 ($0,024 \pm 0,006 \mu\text{g/L}$; Tableau 14) ;
- les concentrations de Cu restent dans le même ordre de grandeur entre les campagnes de 2008 et 2011 (Tableau 14). En 2012, les concentrations semblent particulièrement élevées, comparées à celles mesurées lors des précédentes campagnes⁴ ;
- hormis, les concentrations de Cr(VI) et Cr total de 2009 plus élevées que la moyenne des résultats d'analyse ((Cr(VI) : $0,27 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$), les concentrations sont très similaires pour les campagnes de 2008, 2010, 2011 et 2012 (Tableau 15) ;
- la concentration moyenne maximale de Fe est observée en 2008 ($0,13 \pm 0,02 \mu\text{g/L}$) et les concentrations moyennes minimales sont mesurées pour les campagnes de 2010 et 2011 ($0,03 \pm 0,01 \mu\text{g/L}$; Tableau 16) ;

⁴ **Rappel :** Les analyses ont été effectuées par le laboratoire UT2A dont la méthode est moins sensible que celle utilisée par le laboratoire AEL. Les résultats de 2012 ne peuvent donc pas être facilement comparés avec ceux des années précédentes.

- la concentration moyenne de Mn la plus élevée est mesurée en 2011 ($0,37 \pm 0,15 \mu\text{g/L}$) avec une dispersion importante des valeurs ($0,22\text{-}0,72 \mu\text{g/L}$; Tableau 16). Les concentrations moyennes mesurées pour les autres campagnes « saison sèche » ne diffèrent que très légèrement ; elles sont comprises entre $0,15 \pm 0,05$ (2010) et $0,26 \pm 0,06$ (2008) $\mu\text{g/L}$;
- d'une manière générale, les concentrations moyennes de Ni sont très similaires d'une campagne à l'autre, la concentration moyenne la plus faible ayant été mesurée en 2010 ($0,21 \pm 0,04 \mu\text{g/L}$; Tableau 17) ;
- les concentrations moyennes de Zn les plus faibles sont obtenues en 2009 ($0,10 \pm 0,05 \mu\text{g/L}$), les concentrations mesurées en 2008, 2010 et 2011 sont plus élevées mais très dispersées et ne permettent pas de montrer de nette différence entre ces campagnes (Tableau 17).

Tableau 14 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) du cobalt (Co) et du cuivre (Cu) mesurées lors des campagnes semestrielles d'août de 2008 à 2012.

		Co ($\mu\text{g/l}$)					Cu ($\mu\text{g/l}$)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,012	<LQ	0,012	0,012	0,017	0,03	0,01	0,02	0,02	0,25
	Max	0,073	0,132	0,096	0,142	0,045	0,18	0,08	0,28	1,21	0,69
	Moy	$0,027 \pm 0,015$	$0,032 \pm 0,024$	$0,029 \pm 0,017$	$0,049 \pm 0,034$	$0,029 \pm 0,010$	$0,06 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,23$	$0,46 \pm 0,19$
Canal de la Havannah	Min	0,012	0,013	0,012	<LQ	0,019	0,03	0,01	0,02	0,03	<LQ
	Max	0,029	0,059	0,024	<LQ	0,020	0,13	0,08	0,28	0,23	<LQ
	Moy	$0,018 \pm 0,004$	$0,031 \pm 0,015$	$0,018 \pm 0,004$	<LQ	$0,020 \pm 0,001$	$0,05 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,08$	$0,10 \pm 0,07$	<LQ
Baie du Prony	Min	0,032	<LQ	0,015	0,030	0,023	0,03	0,01	0,02	0,02	0,53
	Max	0,073	0,060	0,038	0,105	0,044	0,18	0,05	0,07	0,36	0,69
	Moy	$0,046 \pm 0,012$	$0,031 \pm 0,017$	$0,024 \pm 0,006$	$0,049 \pm 0,021$	$0,032 \pm 0,008$	$0,09 \pm 0,05$	$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,12$	$0,59 \pm 0,09$

<LQ : Concentrations inférieures aux limites de quantification.

Tableau 15 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) du chrome hexavalent (Cr(VI)) et du chrome total (Cr total) mesurées lors des campagnes semestrielles d'août de 2008 à 2012.

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

ND : Concentrations non déterminées

Tableau 16 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) du fer (Fe) et du manganèse (Mn) mesurées lors des campagnes semestrielles d'août de 2008 à 2012.

		Fe (µg/l)					Mn (µg/l)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,08	0,05	0,03	0,08	0,04
	Max	0,39	0,26	0,13	0,37	0,14	0,51	0,47	0,69	1,43	0,37
	Moy	0,10 ± 0,08	0,11 ± 0,05	0,06 ± 0,03	0,07 ± 0,07	0,04 ± 0,03	0,17 ± 0,10	0,17 ± 0,10	0,18 ± 0,13	0,28 ± 0,24	0,17 ± 0,08
Canal de la Havannah	Min	0,01	0,07	0,03	0,02	0,01	0,08	0,05	0,03	0,08	0,04
	Max	0,15	0,13	0,08	0,29	0,14	0,18	0,19	0,21	0,21	0,17
	Moy	0,06 ± 0,04	0,10 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,08 ± 0,07	0,04 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,05	0,10 ± 0,06	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,04
Baie du Prony	Min	0,10	0,03	0,01	0,02	ND	0,20	0,14	0,11	0,22	0,14
	Max	0,17	0,10	0,05	0,06	ND	0,45	0,36	0,28	0,72	0,29
	Moy	0,13 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	ND	0,26 ± 0,06	0,23 ± 0,08	0,15 ± 0,05	0,37 ± 0,15	0,22 ± 0,05

Tableau 17 : Concentrations minimales (Min), maximales (Max) et moyennes (Moy) du nickel (Ni) et du zinc (Zn) mesurées lors des campagnes semestrielles d'août de 2008 à 2012.

		Ni (µg/l)					Zn (µg/l)				
		2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Domaine entier	Min	0,11	0,07	0,05	0,09	0,09	<LQ	0,02	0,01	0,07	0,06
	Max	0,50	0,71	0,62	0,87	0,39	1,06	0,80	1,15	1,22	0,47
	Moy	0,20 ± 0,10	0,23 ± 0,13	0,21 ± 0,11	0,27 ± 0,17	0,22 ± 0,10	0,26 ± 0,25	0,14 ± 0,16	0,23 ± 0,24	0,38 ± 0,28	0,22 ± 0,13
Canal de la Havannah	Min	0,11	0,07	0,05	0,09	0,09	0,00	0,03	0,01	0,08	0,06
	Max	0,20	0,25	0,25	0,16	0,20	0,31	0,80	1,15	1,22	0,47
	Moy	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,07	0,13 ± 0,06	0,12 ± 0,02	0,13 ± 0,04	0,14 ± 0,09	0,27 ± 0,27	0,21 ± 0,28	0,38 ± 0,32	0,21 ± 0,13
Baie du Prony	Min	0,26	0,22	0,17	0,29	0,27	0,23	0,02	0,11	0,08	0,07
	Max	0,50	0,48	0,29	0,54	0,38	1,06	0,22	1,09	0,71	0,24
	Moy	0,33 ± 0,07	0,32 ± 0,09	0,21 ± 0,04	0,37 ± 0,07	0,32 ± 0,04	0,59 ± 0,27	0,10 ± 0,05	0,38 ± 0,27	0,28 ± 0,20	0,15 ± 0,09

2. DISTRIBUTION VERTICALE AUX STATIONS SENTINELLES ST05, ST06, ST09 ET ST15

En fonction de la station, les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni évoluent différemment entre les campagnes « saison sèche ».

STATION St06 (BAIE KWE)

Les concentrations de Co, Mn et Ni présentent les mêmes fluctuations entre les campagnes depuis 2008 (Figure 10, Figure 11, Figure 12 et Figure 13). En effet, les concentrations de mi-profondeur et fond ne varient que très légèrement entre les campagnes 2008 et 2012 alors que les concentrations de surface atteignent une valeur maximale en 2011. Ce pic est particulièrement flagrant pour le Mn dont les concentrations en 2011 (1,43 µg/L) sont 2 à 4 fois supérieures à celles des autres années : 0,13 µg/L (2012) et 0,69 (2010) µg/L. Ces fortes concentrations sont à lier au rythme des apports terrigènes de la rivière Kwé, eux-mêmes générés par le régime des précipitations atmosphériques (Figure 7) et également au fait que le prélèvement ayant été effectué en fin de marée basse, la dilution des eaux du creek a probablement été moins efficace.

Pour le Cr(VI), d'une manière générale, les concentrations les plus fortes sont systématiquement mesurées dans les eaux de surfaces avec une variabilité modérée d'une année sur l'autre (Figure 10, Figure 11, Figure 12 et Figure 13). En profondeur, la variabilité en Cr(VI) est encore plus ténue, et montre, comme en surface des valeurs maximales en 2009, respectivement 0,26 µg/L et environ 0,18 µg/L ; une deuxième concentration importante, pour les eaux de surface, est mesurée en 2011 (0,24 µg/L).

Les résultats du traitement numérique des données montrent que les concentrations en Cr(VI) ne sont pas corrélables avec celles des 3 autres métaux. A l'inverse, la variabilité temporelle des concentrations en Co, Mn et Ni montre qu'il existe une similarité de distribution de ces métaux dans les eaux de la Baie Kwé. (Tableau 18). En d'autres termes, la variabilité des concentrations de ces 4 métaux reflète à la fois l'impact des fluctuations, en matière d'apports terrigènes par le creek Kwé, et des modifications temporaires de la composition de ce terme source.

Tableau 18 : Matrice de proximité (Coefficient de Pearson) pour la station localisée à proximité de l'embouchure du creek Kwé (St06) : seuil de dissimilarité = 0,85

Station St06	Cr(VI)	Mn	Ni	Co
Cr(VI)	1			
Mn	0,440	1		
Ni	0,439	0,964	1	
Co	0,394	0,878	0,890	1

STATION St15 (CREEK DE LA RADE NORD)

Les concentrations de Co, Mn et Ni suivent des distributions semblables entre les campagnes : les concentrations maximales sont mesurées pour les eaux de surface en 2011, les concentrations de surface de Mn (0,72 µg/L) et Co (0,11 µg/L) sont environ deux fois plus élevées que celles obtenues précédemment (Figure 10, Figure 11, Figure 12 et Figure 13).

Pour Ni, les concentrations des eaux de surface sont les plus élevées, mais les niveaux de concentration avec le reste de la colonne d'eau sont quasiment du même ordre de grandeur depuis 2008. Seule, la campagne de 2010 a fourni des résultats plus faibles (0,28 µg/L en surface et 0,18 µg/L au fond ; Figure 10, Figure 11, Figure 12 et Figure 13). Comme pour Mn et Co, les précipitations accumulées avant la campagne de 2011, sont sans aucun doute à l'origine des valeurs importantes obtenues à cette station.

L'ensemble des analyses montre que les concentrations en Cr(VI) n'évoluent quasiment pas dans le temps et qu'une seule valeur plus élevée dans les eaux de surface est observée en 2009 (0,43 µg/L), les valeurs varient habituellement de 0,18 à 0,22 µg/L (Figure 10, Figure 11, Figure 12 et Figure 13).

Comme pour les résultats de la station St06, le traitement numérique des données met en évidence que les concentrations en Cr(VI) ne sont pas corrélables avec celles des 3 autres métaux. A l'inverse, la variabilité temporelle des concentrations en Co, Mn et Ni montre qu'il existe une similarité de distribution des métaux dans les eaux de la Rade Nord (Tableau 19). Il en résulte d'une part, que la variabilité des concentrations en Cr(VI) est infime (bruit de fond géochimique) et d'autre part que, la seule fluctuation notable (2009 ; Figure 11) n'est

probablement que l'expression des conséquences de l'accident du 01 avril 2009 ; les concentrations des 3 autres métaux reflètent l'impact des fluctuations en matière d'apports terrigènes par le Creek de la Rade Nord.

Tableau 19 : Matrice de proximité (Coefficient de Pearson) pour la station localisée à proximité de l'embouchure du Creek de la Rade Nord (St15) : seuil de dissimilarité = 0,85

Station St15	Cr(VI)	Mn	Ni	Co
Cr(VI)	1			
Mn	0,018	1		
Ni	0,180	0,797	1	
Co	0,115	0,866	0,919	1

STATION St05 (ILOT KIE) ET STATION St09 (CANAL DE LA HAVANNAH)

Les concentrations des métaux sont 2 à 4 fois plus faibles que celles mesurées aux stations St06 et St15. La majorité des concentrations en Co sont inférieures aux limites de quantification, seules les valeurs des campagnes 2008 et 2009 (en surface) sont quantifiées aux deux stations St05 et St09. A ces deux stations, les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni ne montrent pas d'évolution particulière au cours du temps et sont même remarquablement stables entre les différentes campagnes depuis 2008 (Figure 10, Figure 11, Figure 12 et Figure 13).

Au niveau de ces deux stations, il ne semble pas que les concentrations en métaux (Co, Cr(VI), Mn et Ni) analysées dans les eaux du Canal de la Havannah soient liées entre-elles, comme le montre les résultats du traitement numérique⁵ (Tableau 20). En d'autres termes, la variabilité des concentrations ne paraît pas être en rapport direct avec les fluctuations des apports terrigènes identifiés (Baie Kwé : St06) ; les concentrations mesurées sont donc la combinaison des apports des différentes sources terrigènes et du bruit de fond géochimique existant.

Tableau 20 : Matrices de proximité (Coefficient de Pearson) pour les stations localisées à proximité d'une part, de la réserve Merlet (St05) et d'autre part, du diffuseur (St09, Canal de la Havannah) : seuil de dissimilarité = 0,85

Station St05	Cr(VI)	Mn	Ni	Co	Station St09	Cr(VI)	Mn	Ni	Co
Cr(VI)	1				Cr(VI)	1			
Mn	-0,353	1			Mn	-0,635	1		
Ni	-0,609	0,531	1		Ni	-0,397	0,861	1	
Co	0,895	-0,983	-0,959	1	Co	0,833	-0,902	-0,781	1

⁵ Les coefficients de corrélation élevés pour les couples impliquant Co avec les 3 autres éléments résultent d'un artéfact dû au nombre très réduit d'observations quantifiées (4 sur 15) pour ce métal.

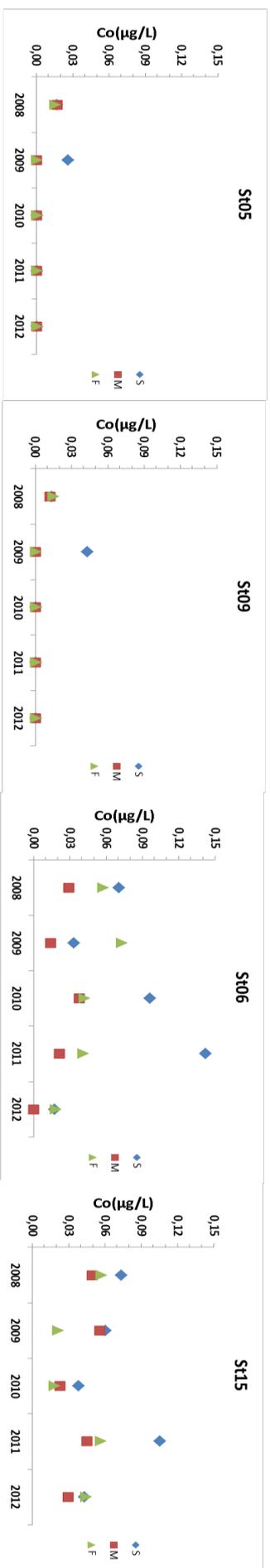


Figure 10 : Concentrations de cobalt mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).

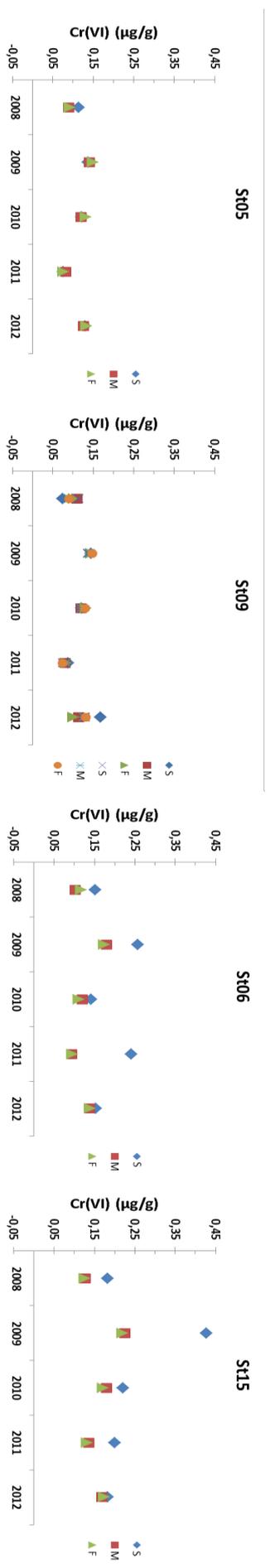


Figure 11 : Concentrations de Cr(VI) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).

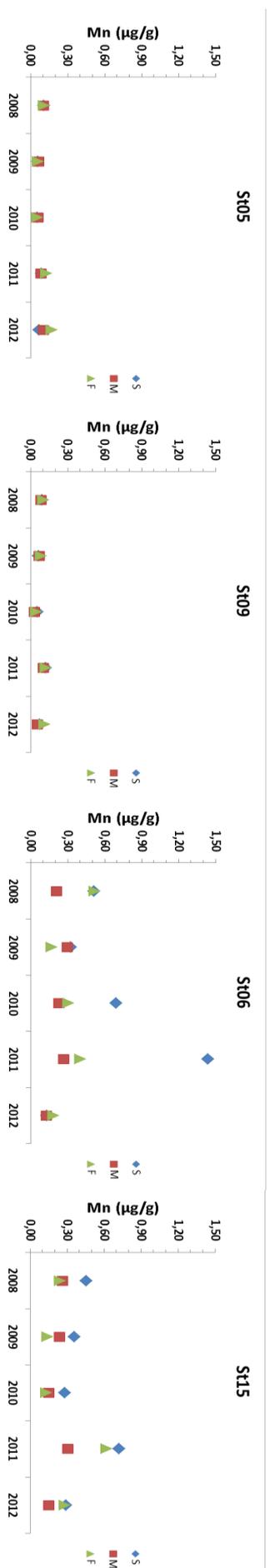


Figure 12 : Concentrations de manganèse mesurées en surface, mi-profondeur et fond aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).

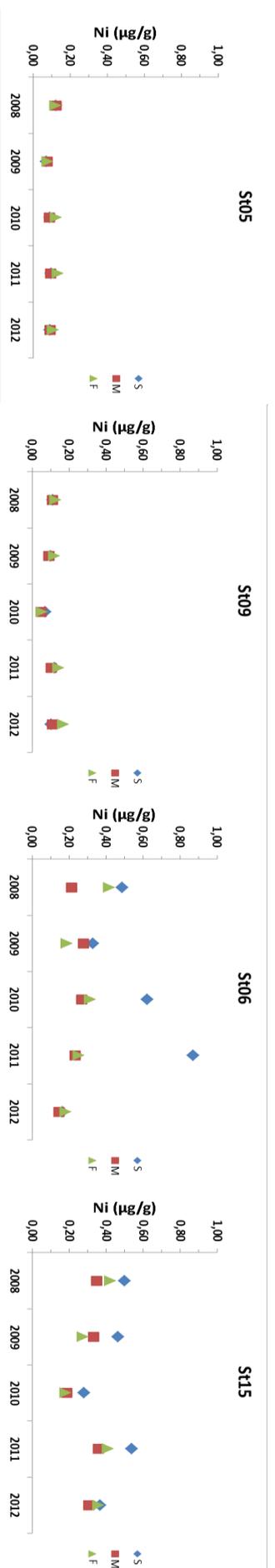


Figure 13 : Concentrations de nickel mesurées en surface, mi-profondeur et fond aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison sèche » (2008 à 2012).

CONCLUSION

Les fluctuations des paramètres physico-chimiques et des concentrations en métaux dissous observées lors de la campagne semestrielle d'août 2012 mettent en évidence l'impact des apports terrigènes des creeks de la Baie du Prony, de la Baie Kwé et de Port Boisé. Ces apports contribuent à l'apparition de couches turbides riches en chlorophylle *a* ainsi qu'à des concentrations de métaux dissous (Co, Cr(VI), Mn et Ni) et silicates plus élevées au niveau des stations proches des côtes.

Cette influence terrigène est également remarquée entre les différentes campagnes « saison sèche ». Les précipitations ainsi que le moment de marée ont un impact certain sur les variations des paramètres physico-chimiques et la concentration des métaux dissous.

Aucune évolution particulière n'a été observée lors de la campagne d'août 2012 qui reste conforme aux mesures déjà réalisées depuis 2008.

REFERENCES

Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.

Aminot A, Kérouel (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.

Beliaeff B., G. Bouvet, J.-M. Fernandez, C. David, T. Laugier. 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 87 pages.

Breau L, Senia A, Pangrani K, Garcia JP et Debenay JP (2009). Développement de méthodes d'évaluation de la toxicité et analyse du risque chimique de l'effluent pour l'environnement marin. Convention IRD/Goro-Ni, n°1124, « Ecotoxicologie », 117p.

Douillet P, Fernandez JM (2009). Modélisation et simulation du transport des formes particulières d'origine naturelle : Simulation annuelle de la sédimentation des particules naturelles en contact avec l'effluent. Convention IRD/Goro-Ni, n°1124, « Modélisation hydrodynamique », 55p.

Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters, *Analytical Chemistry*, 45 : 136-140.

Fernandez JM, Dolbecq M, Damien P et Le Grand H (2009). Validation du modèle de transport en phase dissoute par traçage à la rhodamine-WT. Convention IRD/Vale-Inco, N° 2131, 2009, 152p.

Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimique des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (saison humide). Convention n°1312.

Fernandez JM, Le Grand H, Moreton B, Dolbecq M, Damien P (2010). Suivi environnemental 2009: Qualité physico-chimique et concentrations en métaux dissous des eaux. Convention n°C2284/E13517.

Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, 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.

Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999). A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 56 : 1801-1808.

Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n°C2445.

Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13 : 223-227.

Mullin JB, Riley JP (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters, *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-176.

Murphy J, Riley JP, (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Analytica Chimica 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, *Marine Chemistry*, 24: 239-252.

Strickland JDH, Parsons TR (1972). A practical handbook of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 167:207-211.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE « COLONNE D'EAU »	10
FIGURE 2 : CHRONOLOGIE DES PRELEVEMENTS REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2012.	10
FIGURE 3 : PROFILS DE TEMPERATURE DES STATIONS ECHANTILLONNEES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2012.....	15
FIGURE 4 : PROFILS DE SALINITE DES STATIONS ECHANTILLONNEES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2012.	17
FIGURE 5 : PROFILS DE TURBIDITE DES STATIONS ECHANTILLONNEES LORS DE LA CAMPAGNE D'AOUT 2012.	19
FIGURE 6 : PROFILS DE FLUORESCENCE DES STATIONS ECHANTILLONNEES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2012.	21
FIGURE 7 : CUMULS DES PRECIPITATIONS AVANT (5 JOURS AVANT) ET PENDANT LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON SECHE » DE 2008 A 2012 ; STATION D'OBSERVATION : « PRONY PILOT STATION »	29
FIGURE 8 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON SECHE » (2008 A 2012).....	33
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS DE NITRATES + NITRITES MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON SECHE » (2008 A 2012).....	33
FIGURE 10 : CONCENTRATIONS DE COBALT MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON SECHE » (2008 A 2012).	41
FIGURE 11 : CONCENTRATIONS DE Cr(VI) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON SECHE » (2008 A 2012).	41
FIGURE 12 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE MESUREES EN SURFACE, MI-PROFONDEUR ET FOND AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON SECHE » (2008 A 2012).	42
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS DE NICKEL MESUREES EN SURFACE, MI-PROFONDEUR ET FOND AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON SECHE » (2008 A 2012).	42

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE ET LOCATION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE « COLONNE D'EAU » (WGS-84)	9
TABLEAU 2 : VALEURS DE PH ET CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS DANS LA ZONE D'ETUDE LORS DE LA CAMPAGNE D'AOUT 2012.....	12
TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS DE MES DANS LA ZONE D'ETUDE LORS DE LA CAMPAGNE D'AOUT 2012.	13
TABLEAU 4 : SYNTHESE DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, TURBIDITE ET FLUORESCENCE DANS LE DOMAINE ENTIER, LE CANAL DE LA HAVANNAH ET LA BAIE DU PRONY LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2012.	14
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES NO ₂ +NO ₃ , NH ₄ ET PO ₄ DANS LA ZONE D'ETUDE POUR LA CAMPAGNE D'AOUT 2012.	22
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS D'AZOTE ET PHOSPHORE DISSOUS, PARTICULAIRES ET TOTALES DANS LA ZONE D'ETUDE LORS DE LA CAMPAGNE D'AOUT 2012.....	25
TABLEAU 7 : CONCENTRATIONS ET POURCENTAGES DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS DANS LA ZONE D'ETUDE LORS DE LA CAMPAGNE D'AOUT 2012.....	27
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DES METAUX DISSOUS DANS LA ZONE D'ETUDE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2012.....	28
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) D'AMMONIUM ET NITRITES+NITRATES MESUREES SEMESTRIELLEMENT EN AOUT DE 2008 A 2012.	31
TABLEAU 10 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DE PHOSPHATES (PO ₄) ET SILICATES (SiO ₄) MESUREES SEMESTRIELLEMENT EN AOUT DE 2008 A 2012.	31
TABLEAU 11 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DE PHOSPHORE ET AZOTE ORGANIQUES DISSOUS (POD ET NOD) MESUREES LORS DES CAMPAGNES SEMESTRIELLES D'AOUT DE 2008 A 2012.....	34
TABLEAU 12 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DE PHOSPHORE ET AZOTE ORGANIQUES PARTICULAIRES MESUREES LORS DES CAMPAGNES SEMESTRIELLES D'AOUT DE 2008 A 2012.....	34
TABLEAU 13 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DE PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS MESUREES LORS DES CAMPAGNES SEMESTRIELLES D'AOUT DE 2008 A 2012.	35
TABLEAU 14 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DU COBALT (Co) ET DU CUIVRE (Cu) MESUREES LORS DES CAMPAGNES SEMESTRIELLES D'AOUT DE 2008 A 2012.	37
TABLEAU 15 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DU CHROME HEXAVALENT (Cr(VI)) ET DU CHROME TOTAL (Cr TOTAL) MESUREES LORS DES CAMPAGNES SEMESTRIELLES D'AOUT DE 2008 A 2012.	37
TABLEAU 16 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DU FER (Fe) ET DU MANGANESE (Mn) MESUREES LORS DES CAMPAGNES SEMESTRIELLES D'AOUT DE 2008 A 2012.	38
TABLEAU 17 : CONCENTRATIONS MINIMALES (MIN), MAXIMALES (MAX) ET MOYENNES (MOY) DU NICKEL (Ni) ET DU ZINC (Zn) MESUREES LORS DES CAMPAGNES SEMESTRIELLES D'AOUT DE 2008 A 2012.	38
TABLEAU 18 : MATRICE DE PROXIMITE (COEFFICIENT DE PEARSON) POUR LA STATION LOCALISEE A PROXIMITE DE L'EMBOUCHURE DU CREEK KWE (St06) : SEUIL DE DISSIMILARITE = 0,85	39
TABLEAU 19 : MATRICE DE PROXIMITE (COEFFICIENT DE PEARSON) POUR LA STATION LOCALISEE A PROXIMITE DE L'EMBOUCHURE DU CREEK DE LA RADE NORD (St15) : SEUIL DE DISSIMILARITE = 0,85.....	40
TABLEAU 20 : MATRICE DE PROXIMITE (COEFFICIENT DE PEARSON) POUR LES STATIONS LOCALISEES A PROXIMITE D'UNE PART, DE LA RESERVE MERLET (St05) ET D'AUTRE PART, DU DIFFUSEUR (St09, CANAL DE LA HAVANNAH) : SEUIL DE DISSIMILARITE = 0,85	40

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Méthodologie

Annexe 2 : Concentrations des éléments majeurs, de la MES et pH

Annexe 3 : Principales caractéristiques physico-chimiques

Annexe 4 : Concentrations des sels nutritifs

Annexe 5 : Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale

Annexe 6 : Concentrations de la chlorophylle *a* et de phéopigments

Annexe 7 : Concentrations des métaux dissous dans la colonne d'eau

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

Structures des masses d'eau

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnées a été 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 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 de la sonde CTD et leurs spécifications sont les suivants (Tableau 1) :

- 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 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- La fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m^3 , permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1 : Spécifications des paramètres de la sonde.

Paramètres	Gamme	Précision initiale	Résolution
Conductivité (S.m^{-1})	0 - 9	0,0005	0,0007
Température (°C)	-5 à +35	0,005	0,0001
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (mg/m^3)	0 - 50	NA*	0,025

Eléments majeurs, MES et pH

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

- Les dosages des ions calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) : après dilution, les concentrations ont été déterminées par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'émission optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- Les dosages des chlorures (Cl^-) et des sulfates (SO_4^{2-}) ont été réalisés par chromatographie ionique capillaire (Waters, CIA) ;
- La mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- L'évaluation de charge en MES (Matière en Suspension). Celle-ci a été obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon et la pesée du filtre (Nucleopore® de 0,45 μm 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.

Sels nutritifs

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

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH_4). Chaque niveau échantillonné a fait l'objet d'un triplicat ;
- PEHD et stockage en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates+nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) et de phosphates (PO_4) 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 (NOD) et le phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C . Chaque niveau de profondeur échantillonné a fait l'objet d'un triplicat ;
- PEHD ambrés et sont filtré sur des filtres Whatman® GF/F (porosité $0,7 \mu\text{m}$) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20°C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire et le phosphore organique particulaire.

Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_3) 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 le dosage des nitrates est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenu par réduction des ions nitrates. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrites+nitrates ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) par photométrie (Oudot & Montel, 1988), le dosage des ions nitrites est obtenu directement. Cependant, les concentrations en nitrites dans les eaux de surfaces restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre $0,025$ et $1 \mu\text{M}$ avec des limites de détection d'environ $0,02 \mu\text{M}$.

Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac NH_3 et d'ion ammonium 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 $3 \mu\text{M}$, la limite de détection de la méthode est de $1,5 \text{ nM}$.

Phosphates

Le dosage des orthophosphates (PO_4) a été effectué selon la méthode de Murphy & Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide ($\text{pH}<1$) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre $0,025$ et $0,75 \mu\text{M}$ avec des limites de détection d'environ $0,01 \mu\text{M}$.

Azote et phosphore organiques particulaires

La charge organique particulaire est déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord du « Slavco » puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F (porosité 0,7 µm). Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

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 nitrates+nitrites et les phosphates. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée (Raimbault et al., 1990) est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et 40 µM avec des limites de détection de 0,13 µM pour l'azote organique particulaire et entre 0,75 et 7 µM avec des limites de détection de 0,010 µM pour le phosphore organique particulaire.

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

$$[\text{NOP}] = [\text{NO}_3 + \text{NO}_2]_t \times V_1/V_2$$

$$[\text{POP}] = [\text{PO}_4]_t \times V_1/V_2$$

Soit,

- [NOP] et [POP] = les concentrations respectives en azote et phosphate particulaires ;
- $[\text{NO}_3 + \text{NO}_2]_t$ et $[\text{PO}_4]_t$ = les concentrations respectives en nitrates+nitrites et phosphates mesurées après oxydation au persulfate ;
- V_1 = le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V_2 le volume d'eau de mer filtré (mL).

Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique 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 nitrates+nitrites et les phosphates. Pour l'azote organique dissous, le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 40 µM et la limite de détection est de 0,130 µM. Pour le phosphore organique dissous, le domaine de concentrations mesurées est inférieure à 7 µM et la limite de détection est de 0,010 µM. Les mesures ont été 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.

Pigments chlorophylliens

La concentration de pigments chlorophylliens est déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord du « Slavco » puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F (porosité 0,7 µm). 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 (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 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 détection pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 10 ng/L.

Analyse des métaux dissous dans la colonne d'eau

Conditionnement et analyse

Pour chacune des 14 stations de la campagne semestrielle (« saison sèche »), les trois profondeurs (surface, mi-profondeur et fond) ont été prélevées en triple :

- Les 42 échantillons du premier lot ont été filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments Cr(total)/Cr(VI) effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire de AEL ;
- Les 42 échantillons du deuxième lot ont été filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons ont été envoyés au laboratoire UT2A (France) pour l'analyse des éléments dissous As, Cd, Cu et Pb par ICP-MS ;
- Les 42 échantillons du troisième 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 afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les percolations terminées, chaque colonne de résine a été bouchée 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). L'analyse des éléments dissous Co, Fe, Mn, Ni et Zn a ensuite été effectués par ICP-OES (Marque Varian, modèle Vista).

Les limites de quantification des ces métaux dissous sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.

Elément	LQ (µg/L)
As	0,100
Cd	0,100
Co	0,012
Cr(VI)	0,050
Cu	0,250
Fe	0,011
Mn	0,011
Ni	0,012
Pb	0,200
Zn	0,015

Validation de la méthode de percolation et de l'analyse des métaux dissous (Co, Fe, Mn, Ni et Zn)

Deux échantillons certifiés pour le dosage des éléments traces (TM-26,3 et TMDA-61) délivrés par la société *Environment Canada* ont été intercalés dans chaque série d'analyses pour valider les calibrations (Tableau 3).

La validation des résultats d'analyse a été vérifiée par le dosage d'un échantillon certifié d'eau de mer : CASS-5 (Tableau 4).

Tableau 3 : Résultats d'analyse des échantillons certifiés TM-26,3 et TMDA-61.

Elément	TM-26,3 (µg/L)		TMDA-61 (µg/L)	
	Valeur déterminée	Valeur certifiée	Valeur déterminée	Valeur certifiée
Co	9,5 ± 0,7	8,1 ± 1,0	66,8 ± 0,7	62,9 ± 5,8
Fe	22,4 ± 0,6	21 ± 3,6	82,9 ± 1,9	81,1 ± 10,1
Mn	17,4 ± 0,3	17 ± 1,4	77,8 ± 1,1	74,8 ± 7,3
Ni	14,1 ± 1,6	10,2 ± 1,3	68,3 ± 1,7	58,7 ± 6,4
Zn	48,0 ± 2,8	39	83,5 ± 3,7	71,3 ± 8,7

Tableau 4 : Résultats d'analyses de l'échantillon de référence CASS-5 (09/10/12).

CASS-5 (n=3)	Co (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)
Conc. obtenue	0,104	1,07	2,48	0,279	0,772
Ecart-type +/-	0,006	0,13	0,25	0,006	0,167
Conc. Certifié	0,095	1,44	2,62	0,330	0,719
Ecart-type +/-		0,11	0,2	0,023	0,068

ANNEXE 2

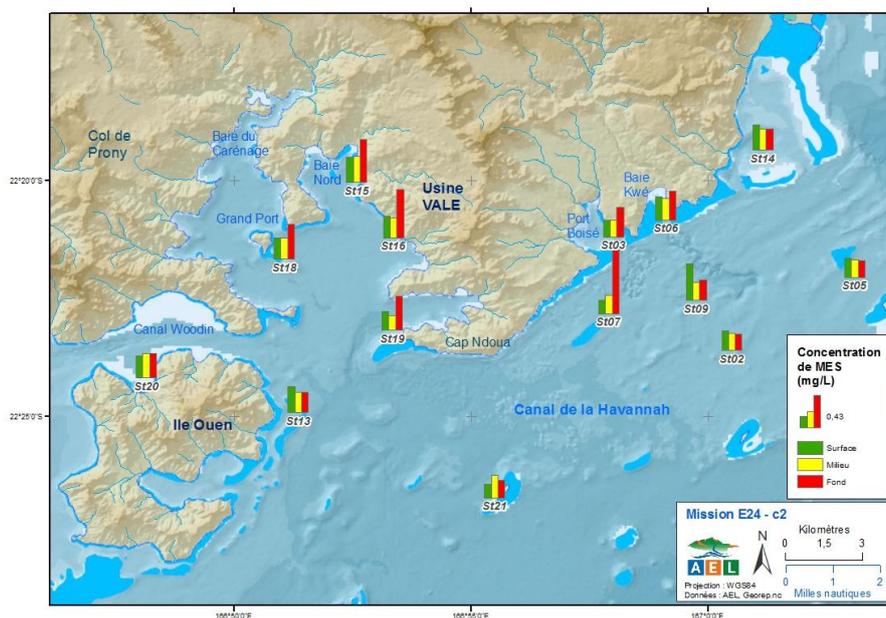
CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS, CHARGE EN MES ET pH

Concentrations des éléments majeurs (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-}), de la MES et pH des 14 stations de la zone d'étude lors de la campagne semestrielle d'août 2012 et des stations St15 et St16 lors de la campagne trimestrielle d'octobre 2012 ; Les stations ont été échantillonnées à 3 profondeurs : S = surface + 3 m, M = mi-profondeur, F = fond - 3 m.

Station	Niveau	Ca^{2+} (mg/L)	K^+ (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	Cl^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	MES (mg/L)	pH
St02	S	513	494	1595	13203	20595	2743	0,26	8,20
St02	M	452	429	1373	13511	19337	2612	0,23	8,22
St02	F	430	411	1323	13566	19785	2525	0,22	8,22
St03	S	597	576	1900	12964	20605	2740	0,22	8,26
St03	M	533	509	1655	13136	20664	2721	0,22	8,20
St03	F	454	433	1393	13632	20185	2764	0,39	8,22
St05	S	473	455	1455	13354	20778	2726	0,25	8,23
St05	M	444	422	1358	13397	20746	2473	0,24	8,19
St05	F	562	547	1747	13171	20822	2669	0,23	8,20
St06	S	531	504	1640	13074	19700	2593	0,31	8,25
St06	M	439	420	1318	13560	19739	2553	0,28	8,00
St06	F	426	406	1274	13497	19295	2602	0,38	8,17
St07	S	498	477	1531	13141	19213	2587	0,18	8,25
St07	M	455	442	1404	13392	18854	2478	0,24	8,26
St07	F	527	513	1647	13235	20458	2690	0,86	8,25
St09	S	459	436	1402	13424	19711	2641	0,48	8,20
St09	M	424	411	1294	13653	19879	2652	0,24	8,20
St09	F	437	422	1312	13368	20312	2650	0,27	8,09
St13	S	443	426	1360	13528	19979	2639	0,35	8,23
St13	M	508	486	1581	13326	19546	2633	0,27	8,26
St13	F	515	495	1616	13246	20010	2628	0,27	8,24
St14	S	631	605	2064	13534	19754	2591	0,34	8,25
St14	M	536	517	1718	13963	19774	2676	0,28	8,19
St14	F	459	442	1416	13406	19227	2793	0,28	8,22
St15	S	557	542	1805	13814	19775	2668	0,34	8,25
St15	M	576	551	1861	13954	19836	2753	0,35	8,26
St15	F	598	584	1920	13925	19337	2706	0,57	8,26
St16	S	556	539	1798	13828	20271	2520	0,28	8,25
St16	M	599	571	1927	13759	20479	2719	0,27	8,26
St16	F	505	482	1578	14170	19748	2619	0,63	8,26

Station	Niveau	Ca ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	MES (mg/L)	pH
St18	S	566	545	1817	13722	20729	2539	0,29	8,25
St18	M	528	507	1690	13884	20713	2571	0,28	8,24
St18	F	574	553	1854	13874	20608	2560	0,46	8,23
St19	S	589	582	1947	13940	20138	2585	0,25	8,26
St19	M	566	548	1824	13845	21356	2693	0,19	8,26
St19	F	534	517	1700	13921	20970	2686	0,45	8,25
St20	S	605	592	1957	13872	19378	2698	0,29	8,22
St20	M	569	543	1818	14063	19332	2683	0,32	8,24
St20	F	536	518	1731	13897	18677	2519	0,33	8,24
St21	S	603	595	1989	13547	21035	2708	0,18	8,24
St21	M	602	586	1957	13815	21311	2699	0,29	8,26
St21	F	480	463	1494	14126	21404	2786	0,23	8,26

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

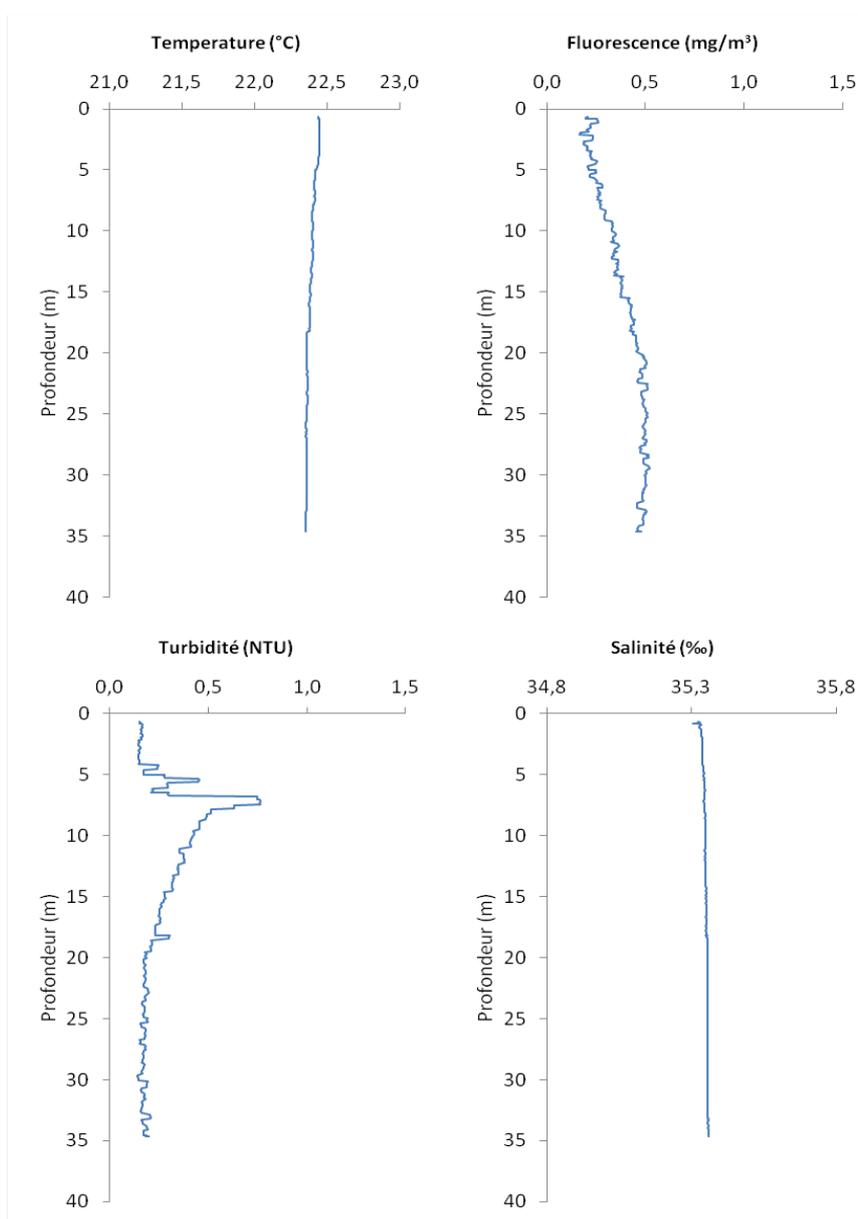


ANNEXE 3

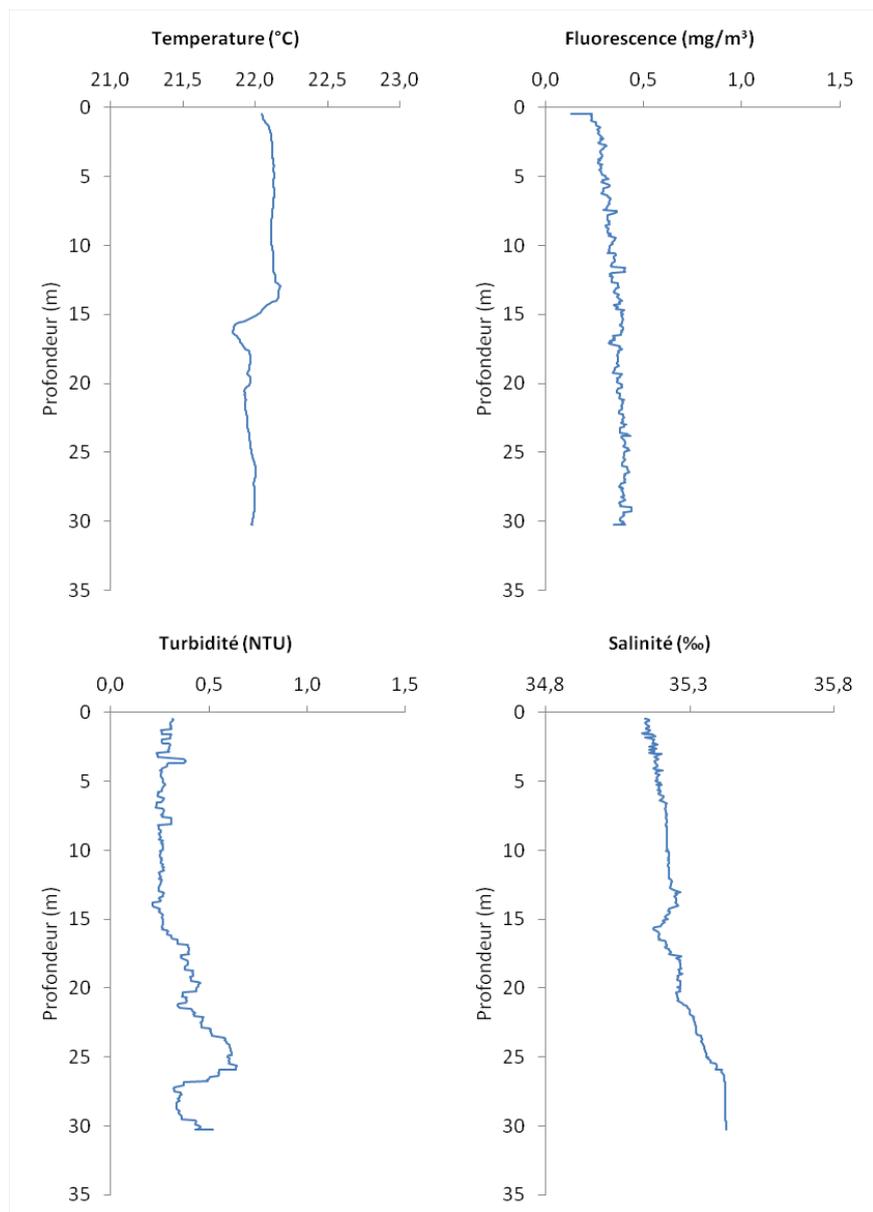
PRINCIPALES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Profils CTD de salinité (‰), température (°C), turbidité (NTU) et fluorescence (mg/m³) obtenus lors de la campagne semestrielle d'août 2012 et lors de la campagne trimestrielle d'octobre 2012.

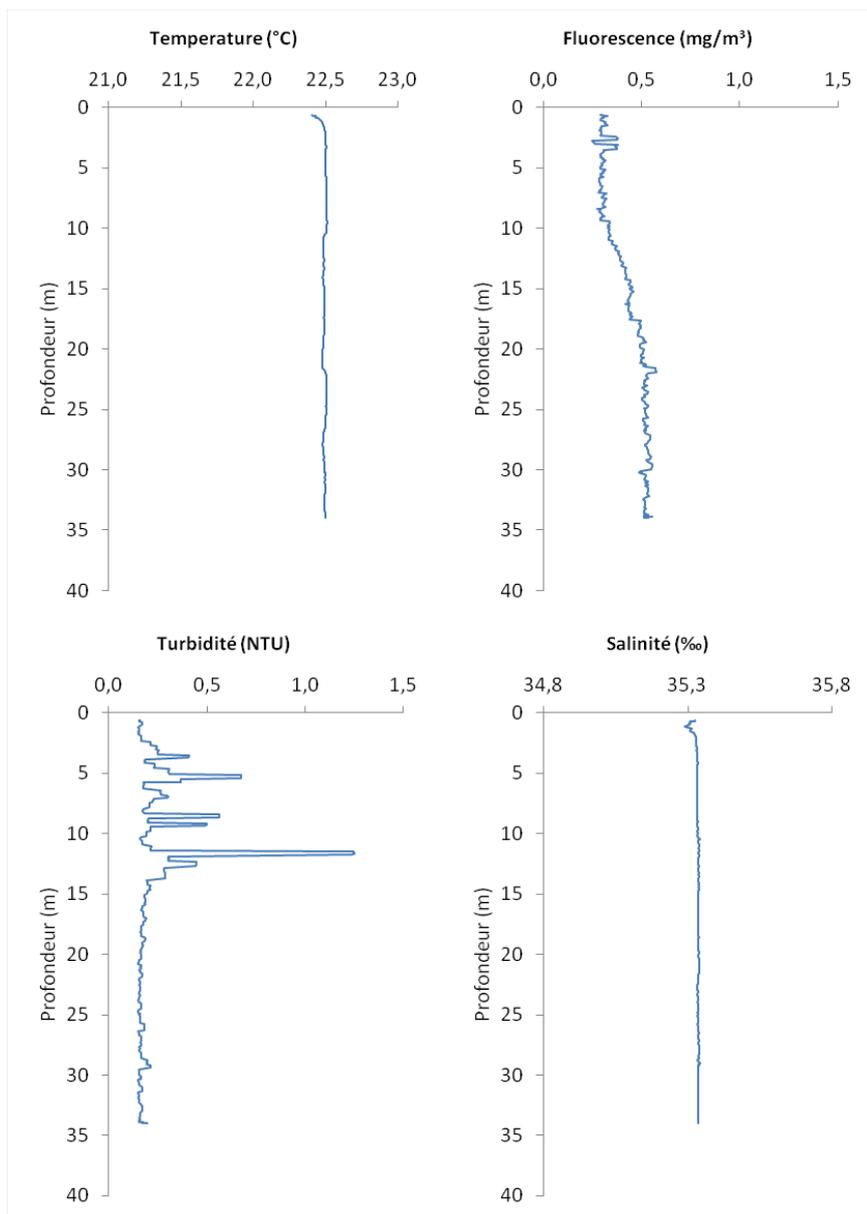
Station St02 (Basse Chambeyron)



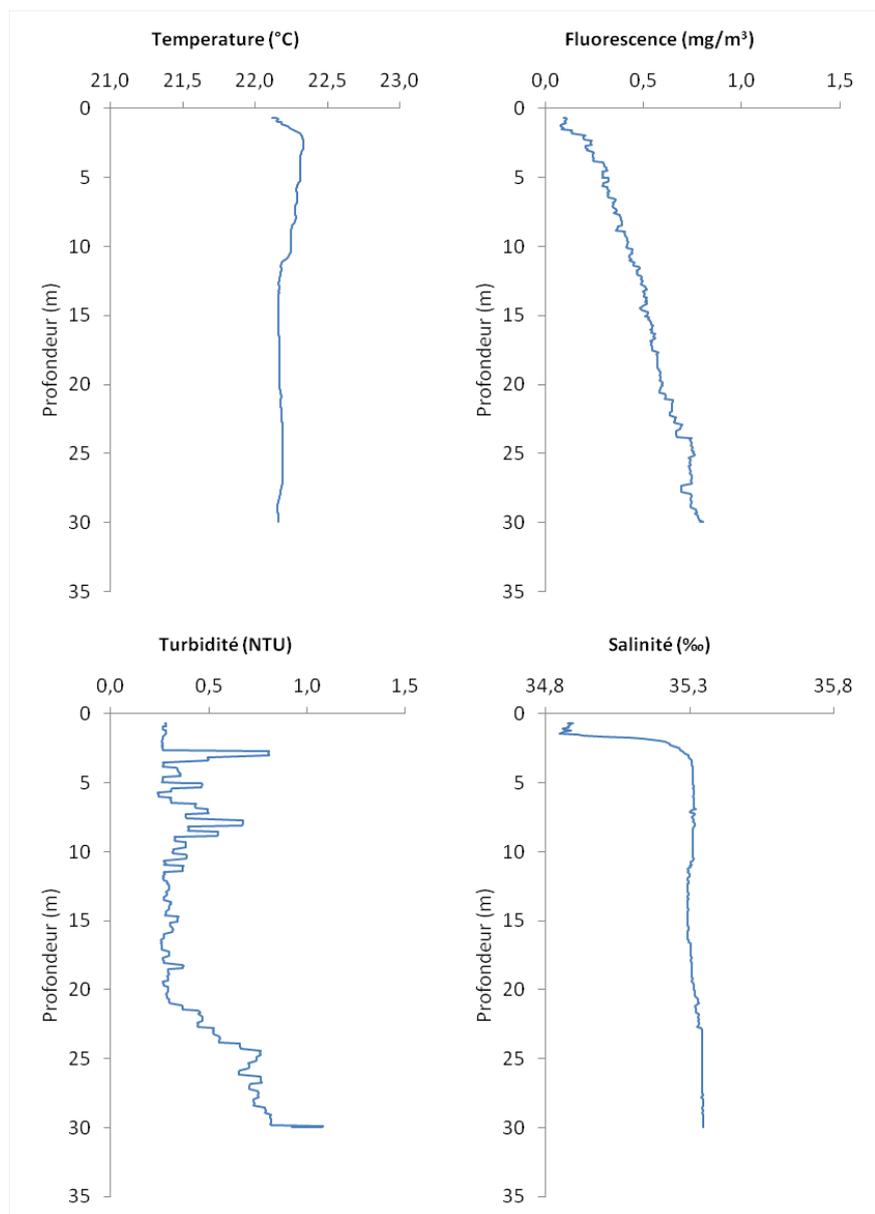
Station St03 (Baie Port Boisé)



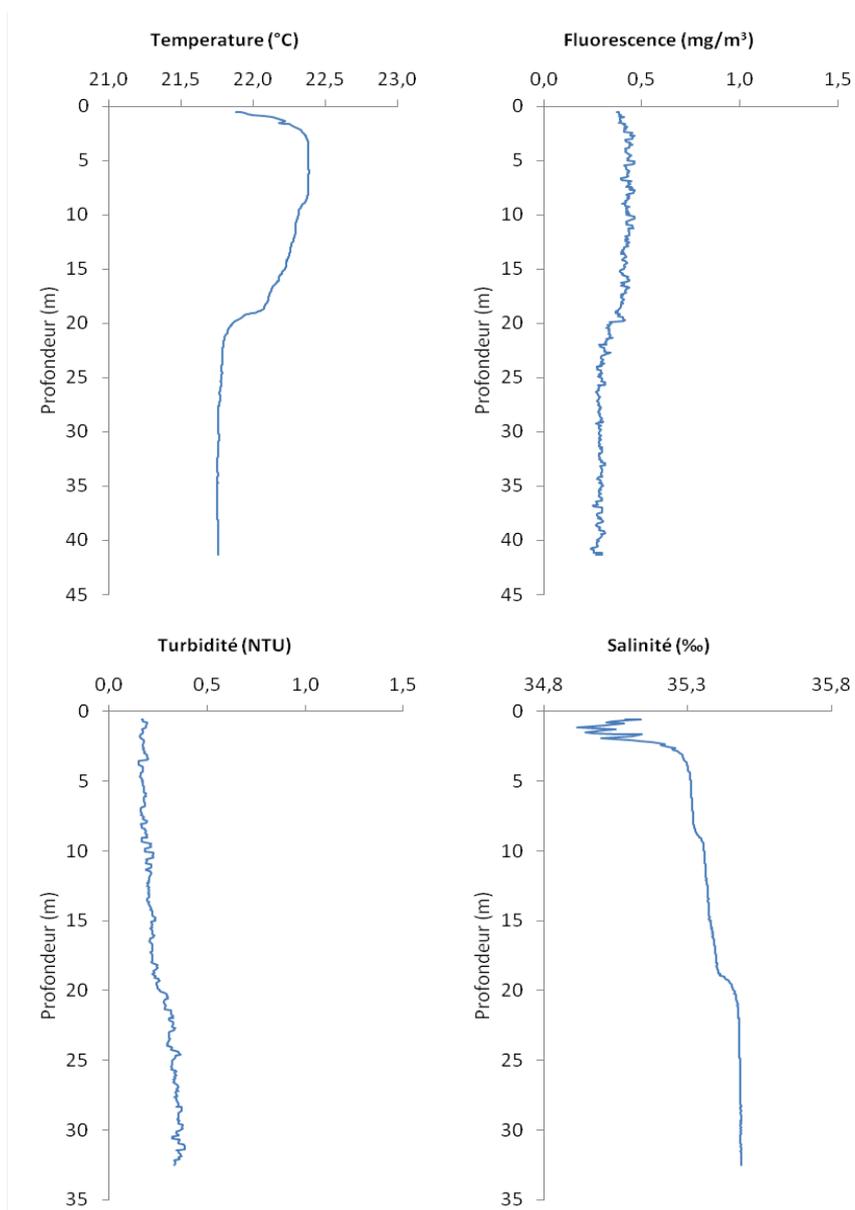
Station St05 (Ilot Kié)

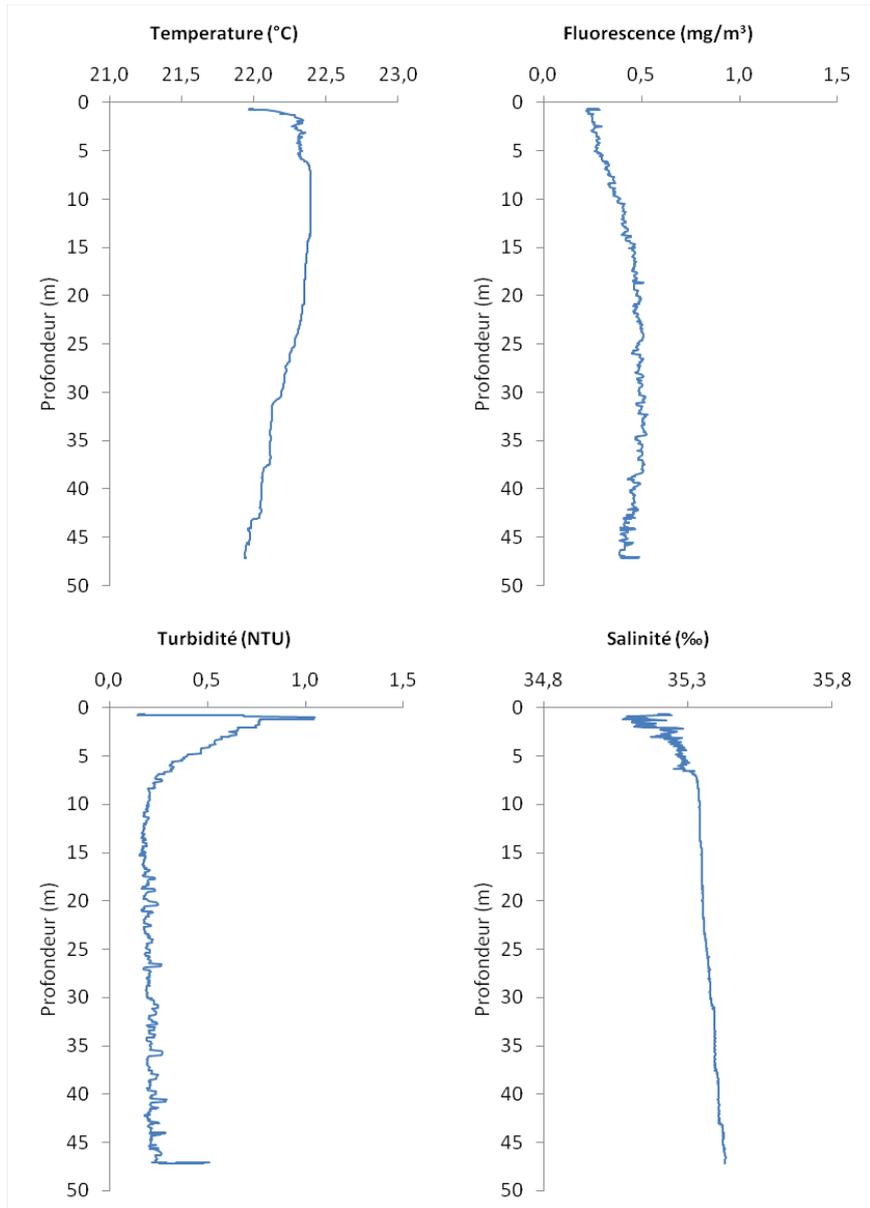


Station St06 (Récif de la Baie Kwé)

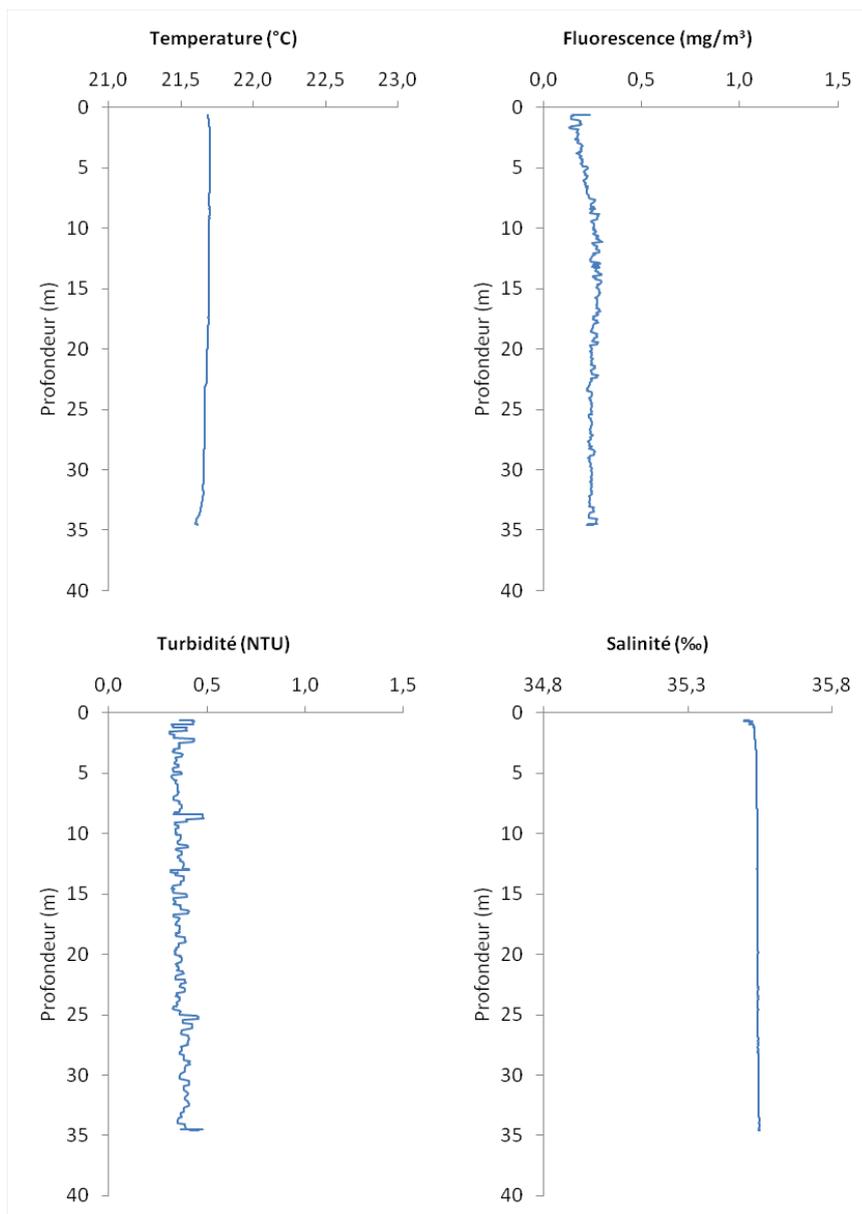


Station St07 (Récif Ioro)

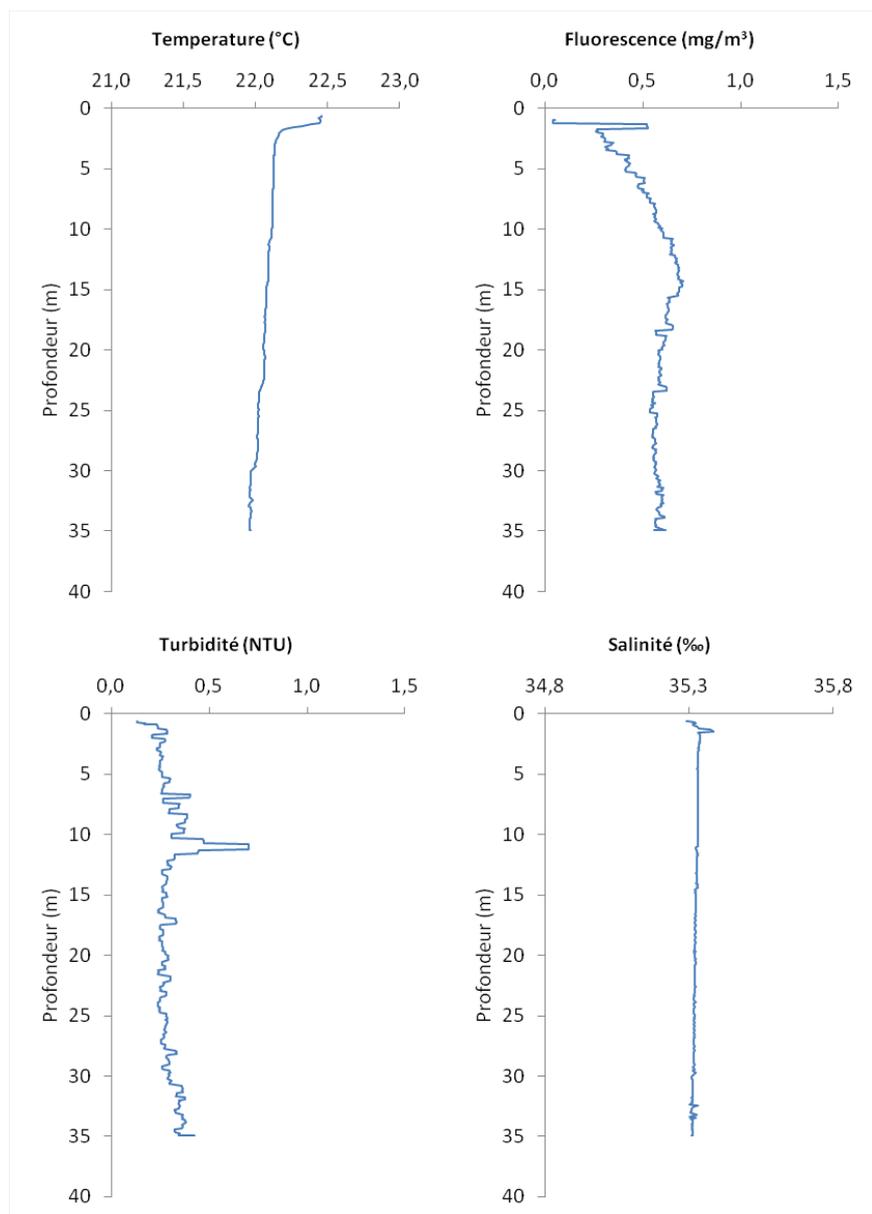


Station St09 (Canal de la Havannah)

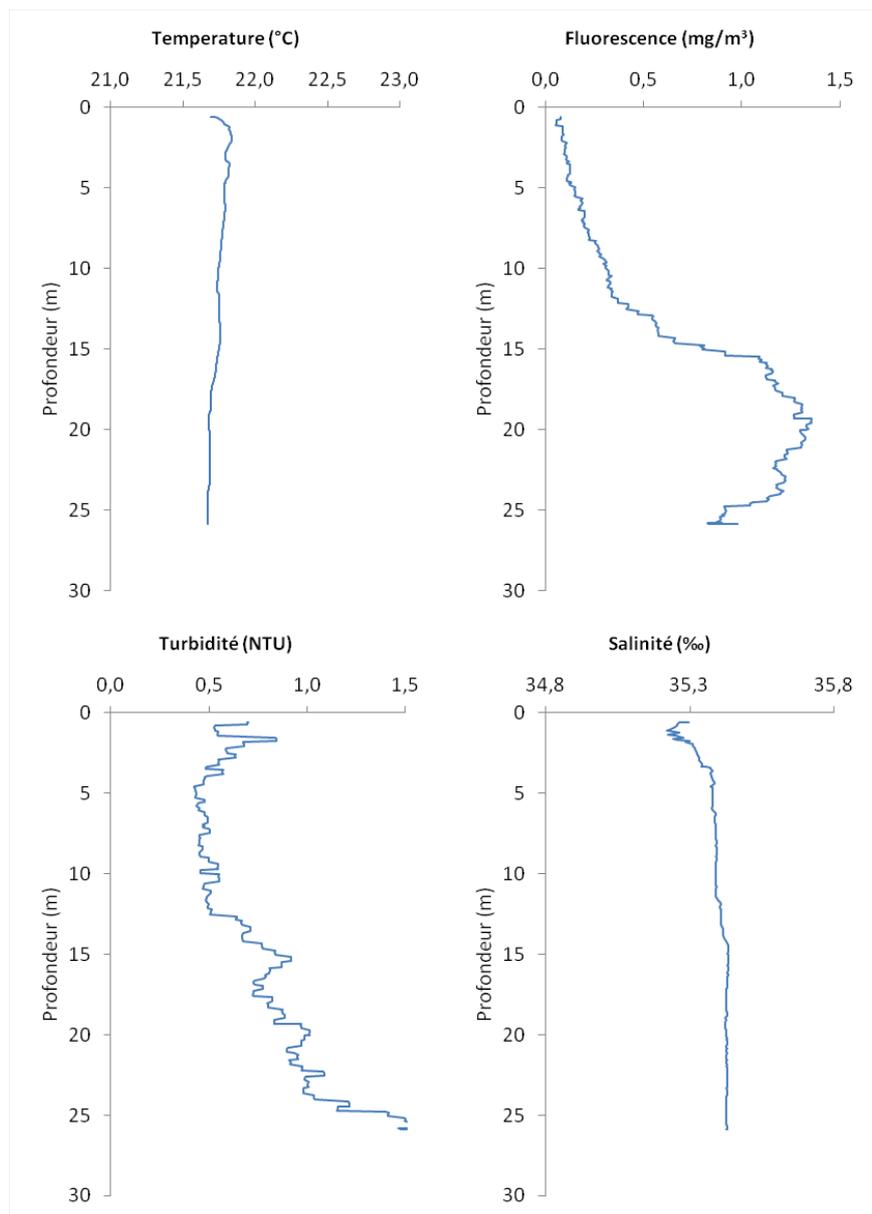
Station St13 (Pointe Nord du récif Ma)



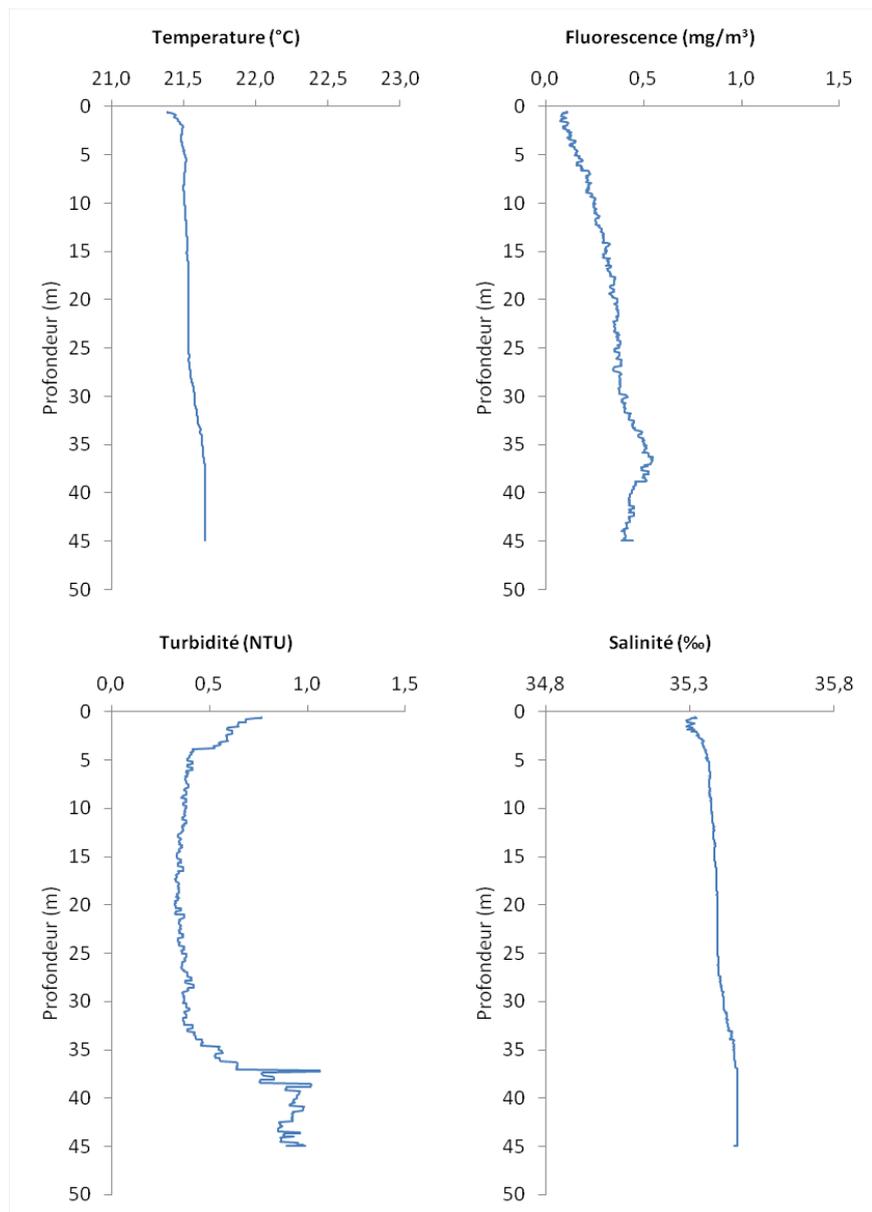
Station St14 (Port de Goro)



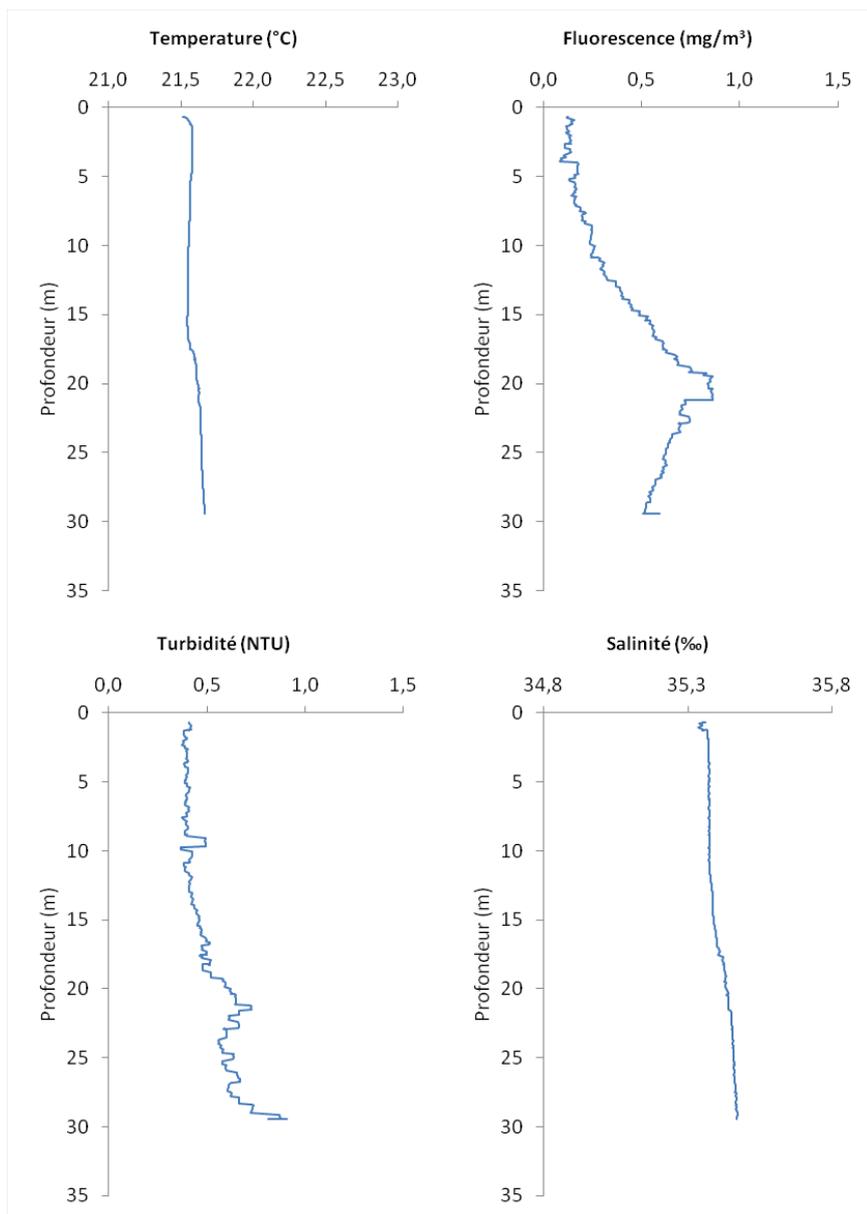
Station St15 (Prony Creek Baie Nord)

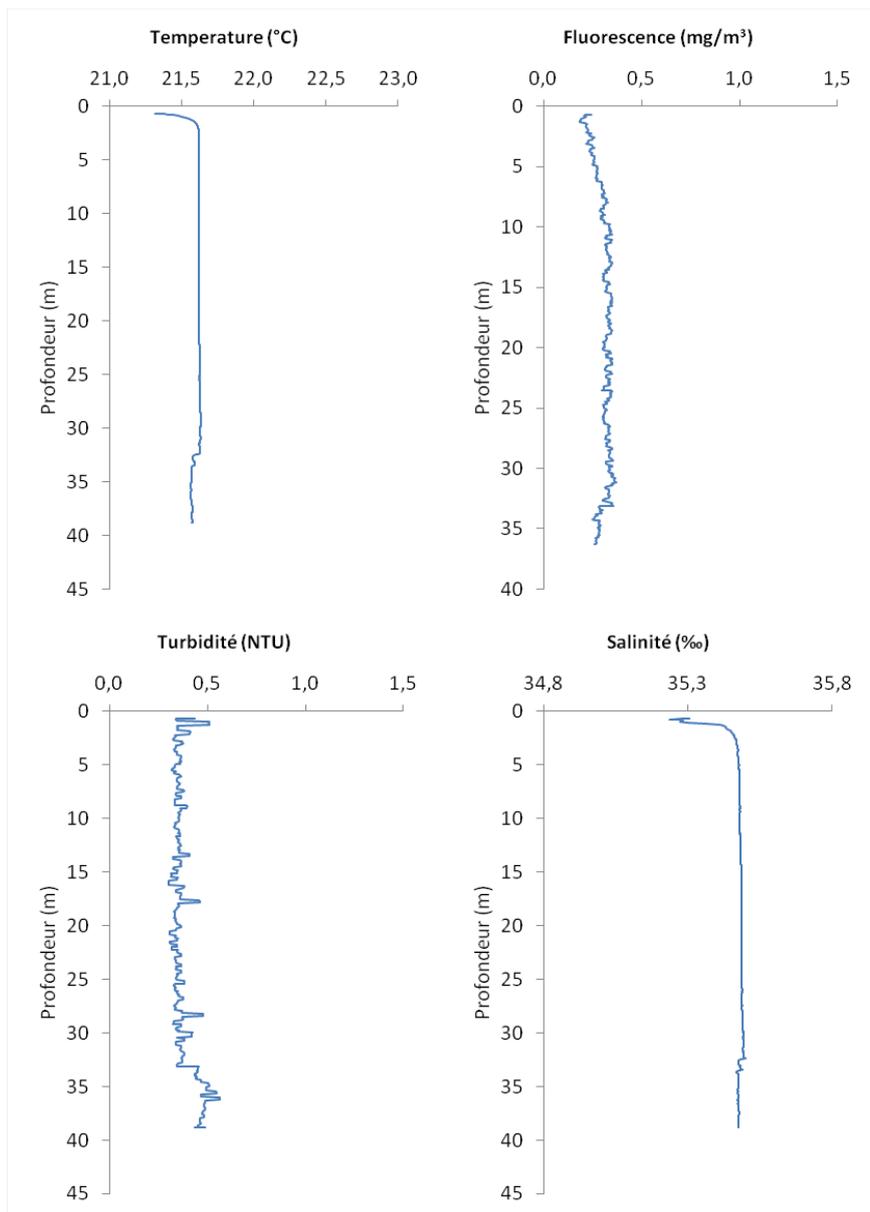


Station St16 (Prony Wharf)

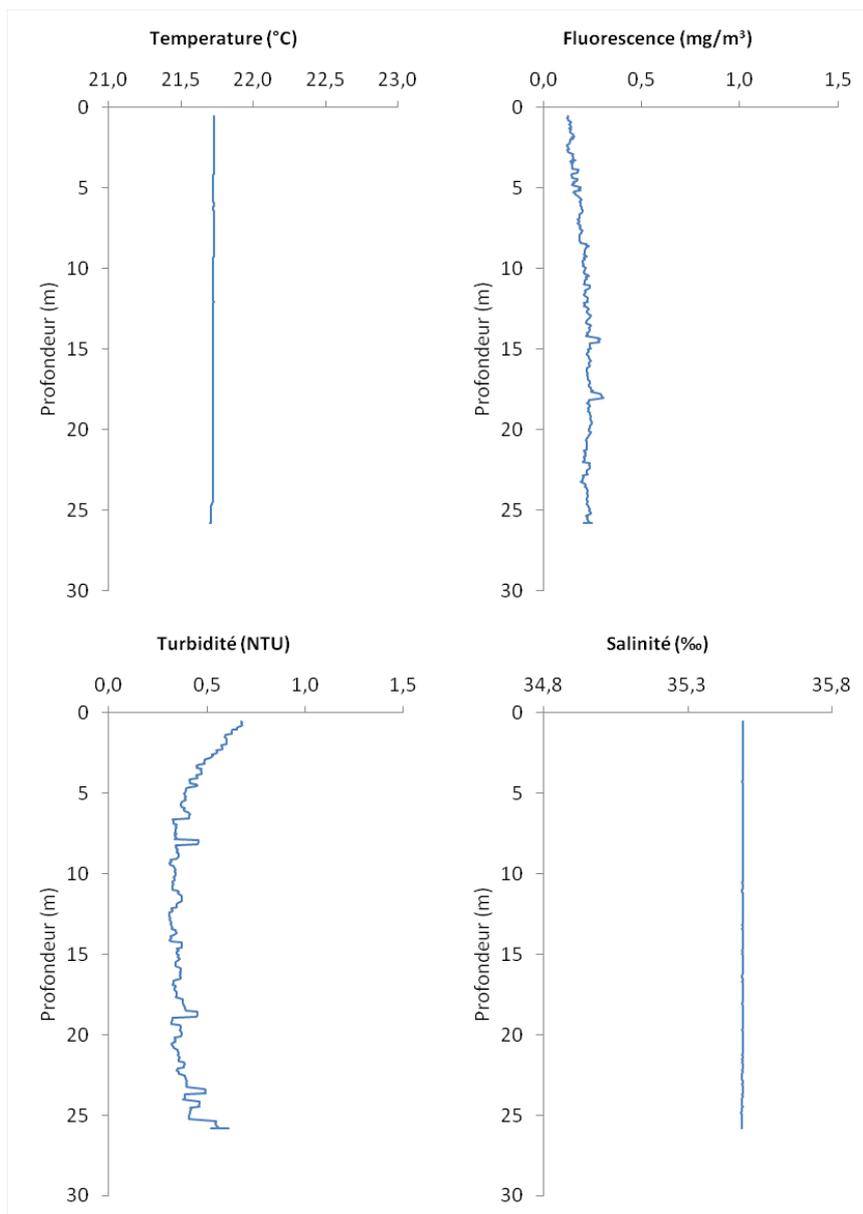


Station St18 (Prony Ilot Casy)

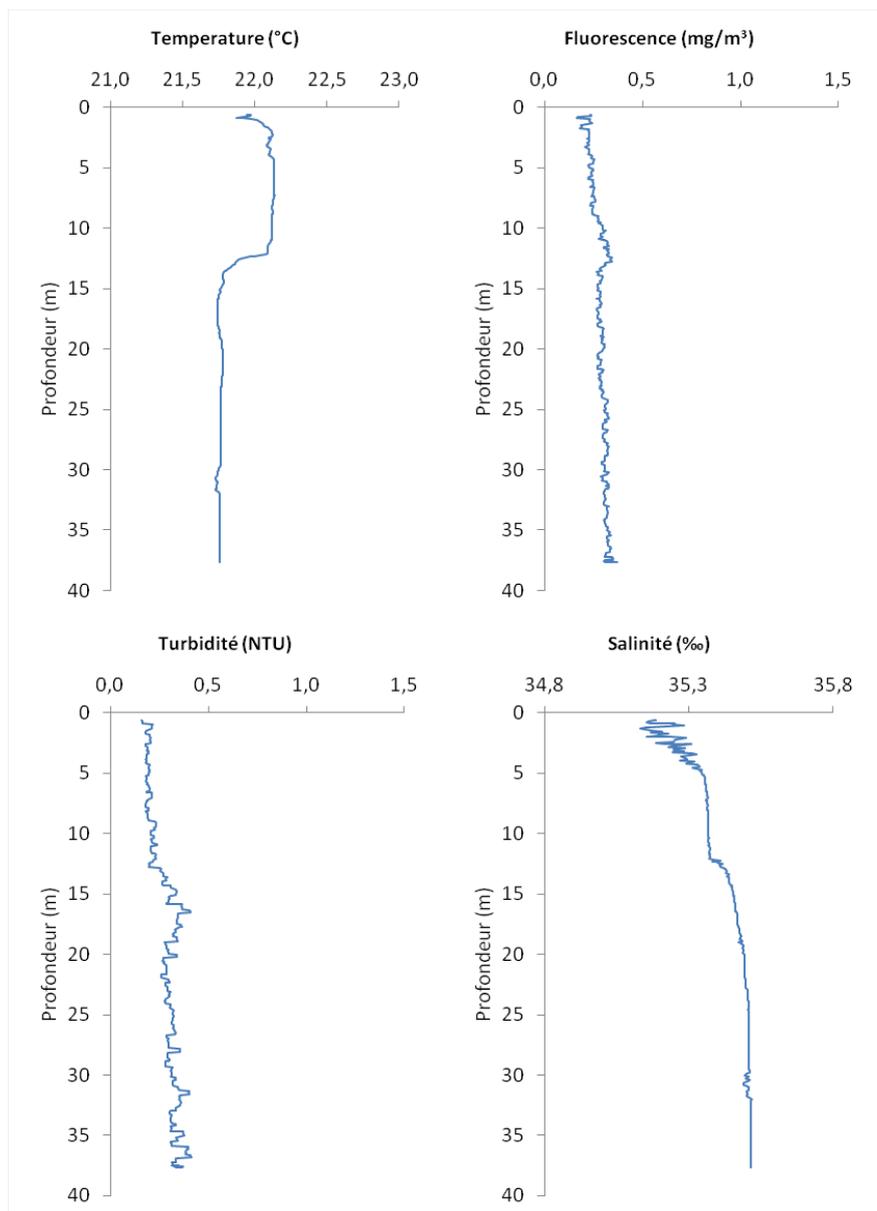


Station St19 (Rade de l'est)

Station St20 (Baie Iré)



Station St21 (Ilot Ugo)



ANNEXE 4

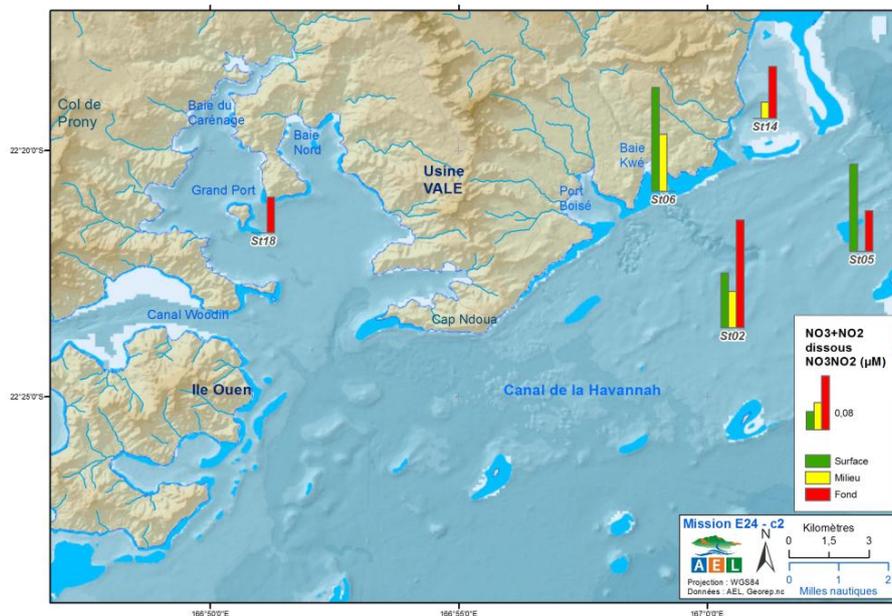
CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS

Concentrations moyennes (n=3) des sels nutritifs (NO₃+NO₂, NH₄, PO₄, SiO₄) des 14 stations de la zone d'étude lors de la campagne semestrielle d'août 2012 ; Les stations ont été échantillonnées à trois profondeurs : S = surface +3 m, M = mi-profondeur, F = fond -3 m ; <LQ = Valeurs inférieures à la limite de quantification.

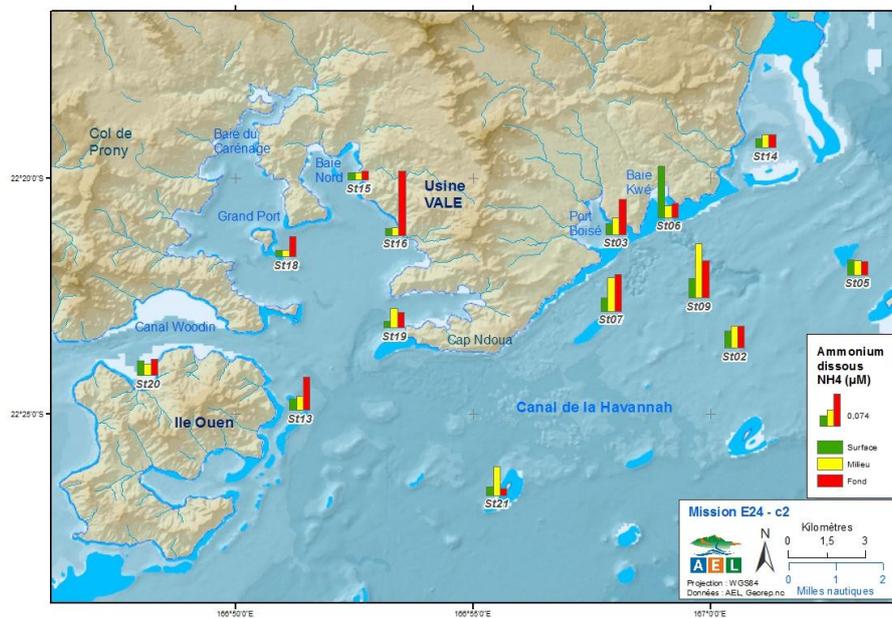
Station	Niveau	NO ₂ +NO ₃ (µM)	NH ₄ (µM)	PO ₄ (µM)	SiO ₄ (µM) Mars 2012	SiO ₄ (µM) Août 2012
St02	S	0,081 (n=1)	0,040 ± 0,008	0,012 ± 0,002	1,36 ± 0,16	1,25 ± 0,14
St02	M	0,054 (n=1)	0,051 ± 0,002	0,020 (n=1)	1,25 ± 0,05	1,20 ± 0,10
St02	F	0,160 ± 0,025	0,051 ± 0,002	<LQ	1,12 ± 0,06	1,25 ± 0,17
St03	S	<LQ	0,024 ± 0,004	0,015 ± 0,002	4,15 ± 0,13	2,23 ± 0,02
St03	M	<LQ	0,039 ± 0,011	<LQ	2,76 ± 0,11	2,28 ± 0,08
St03	F	<LQ	0,081 ± 0,001	0,039 ± 0,008	2,61 ± 0,11	1,47 ± 0,07
St05	S	0,129 ± 0,019	0,036 ± 0,005	0,027 ± 0,013	1,15 ± 0,17	1,47 ± 0,28
St05	M	<LQ	0,032 ± 0,003	<LQ	1,61 ± 0,78	1,14 ± 0,06
St05	F	0,061 ± 0,037	0,031 ± 0,001	<LQ	1,33 ± 0,13	1,27 ± 0,18
St06	S	0,154 ± 0,007	0,118 ± 0,069	<LQ	2,90 ± 0,11	1,51 ± 0,13
St06	M	0,085 ± 0,023	0,027 ± 0,005	0,030 ± 0,020	2,71 ± 0,38	1,70 ± 0,34
St06	F	<LQ	0,033 ± 0,018	0,049 ± 0,010	2,99 ± 0,12	1,64 ± 0,09
St07	S	<LQ	0,030 ± 0,003	<LQ	2,29 ± 0,17	1,29 ± 0,23
St07	M	<LQ	0,078 ± 0,025	<LQ	2,16 ± 0,13	1,42 ± 0,14
St07	F	<LQ	0,086 ± 0,002	<LQ	2,22 ± 0,16	1,50 ± 0,04
St09	S	<LQ	0,046 ± 0,002	0,023 ± 0,018	2,42 ± 0,22	1,24 ± 0,04
St09	M	<LQ	0,126 ± 0,002	0,022 ± 0,009	2,33 ± 0,12	1,15 ± 0,06
St09	F	<LQ	0,086 ± 0,005	<LQ	2,22 ± 0,13	1,38 ± 0,18
St13	S	<LQ	0,027 ± 0,006	0,033 ± 0,002	1,64 ± 0,26	1,29 ± 0,05
St13	M	<LQ	0,032 ± 0,004	<LQ	2,00 ± 0,24	1,79 ± 0,19
St13	F	<LQ	0,077 ± 0,004	0,028 ± 0,004	2,24 ± 0,14	1,29 ± 0,05
St14	S	<LQ	0,020 ± 0,001	0,030 ± 0,023	2,02 ± 0,14	1,38 ± 0,04
St14	M	0,025 ± 0,004	0,030 ± 0,011	0,017 ± 0,004	1,51 ± 0,11	1,33 ± 0,04
St14	F	0,078 ± 0,018	0,030 ± 0,001	0,027 ± 0,010	1,50 ± 0,08	1,85 ± 0,73
St15	S	<LQ	0,017 ± 0,003	<LQ	2,99 ± 0,16	2,46 ± 0,05
St15	M	<LQ	0,017 ± 0,004	<LQ	2,12 ± 0,07	2,97 ± 0,20
St15	F	<LQ	0,020 ± 0,003	0,040 ± 0,001	2,37 ± 0,18	2,40 ± 0,04
St16	S	<LQ	0,016 ± 0,003	<LQ	1,91 ± 0,08	2,73 ± 0,02
St16	M	<LQ	0,019 ± 0,004	<LQ	1,92 ± 0,09	2,14 ± 0,12
St16	F	<LQ	0,149 ± 0,002	<LQ	2,54 ± 0,07	1,98 ± 0,07

Station	Niveau	NO ₂ +NO ₃ (µM)	NH ₄ (µM)	PO ₄ (µM)	SiO ₄ (µM) Mars 2012	SiO ₄ (µM) Août 2012
St18	S	<LQ	0,015 ± 0,003	<LQ	3,25 ± 0,18	2,61 ± 0,02
St18	M	<LQ	0,015 ± 0,001	<LQ	1,81 ± 0,13	3,07 ± 0,01
St18	F	0,053	0,047 ± 0,014	<LQ	2,09 ± 0,08	2,40 ± 0,13
St19	S	<LQ	0,015 ± 0,001	<LQ	1,51 ± 0,15	1,88 ± 0,10
St19	M	<LQ	0,045 ± 0,037	<LQ	1,47 ± 0,23	1,80 ± 0,18
St19	F	<LQ	0,035 ± 0,003	0,013 ± 0,001	1,91 ± 0,23	1,93 ± 0,03
St20	S	<LQ	0,033 ± 0,001	0,046 ± 0,008	1,82 ± 0,10	1,75 ± 0,06
St20	M	<LQ	0,026 ± 0,003	0,032 ± 0,022	1,74 ± 0,21	1,78 ± 0,06
St20	F	<LQ	0,037 ± 0,003	<LQ	2,11 ± 0,12	1,87 ± 0,10
St21	S	<LQ	0,021 ± 0,007	<LQ	2,28 ± 0,20	1,30 ± 0,17
St21	M	<LQ	0,067 ± 0,026	0,038 ± 0,002	2,53 ± 0,24	1,39 ± 0,04
St21	F	<LQ	0,017 ± 0,002	<LQ	2,36 ± 0,12	1,33 ± 0,02

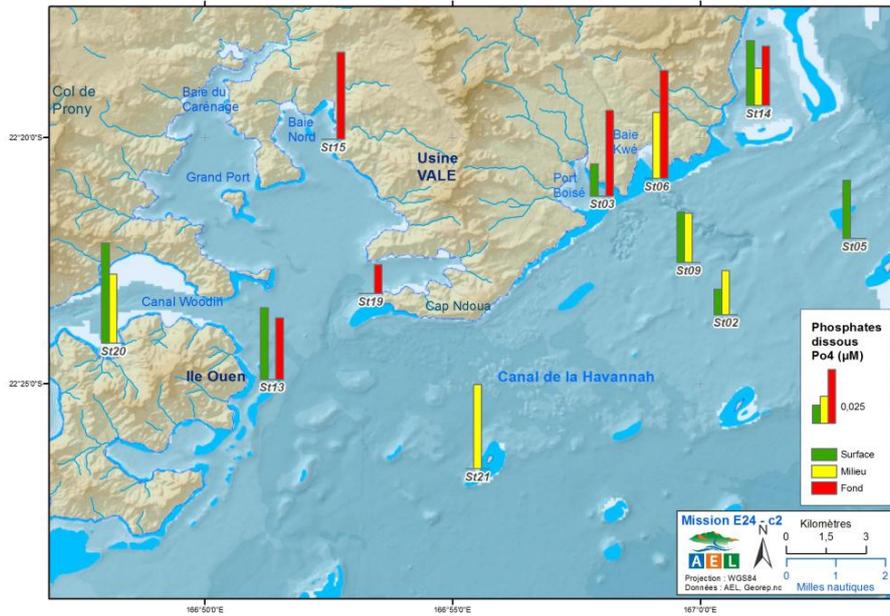
Concentration de nitrates+nitrites (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



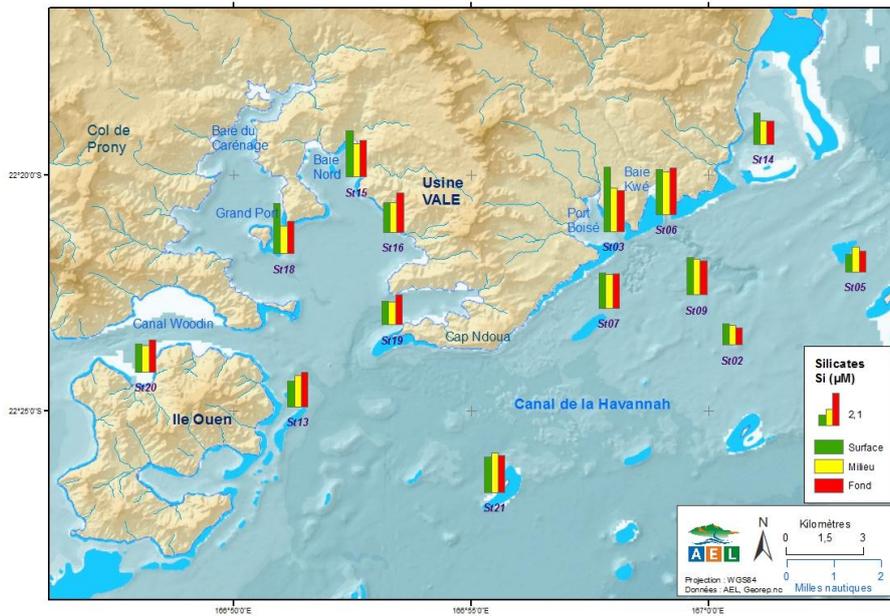
Concentration d'ammonium (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



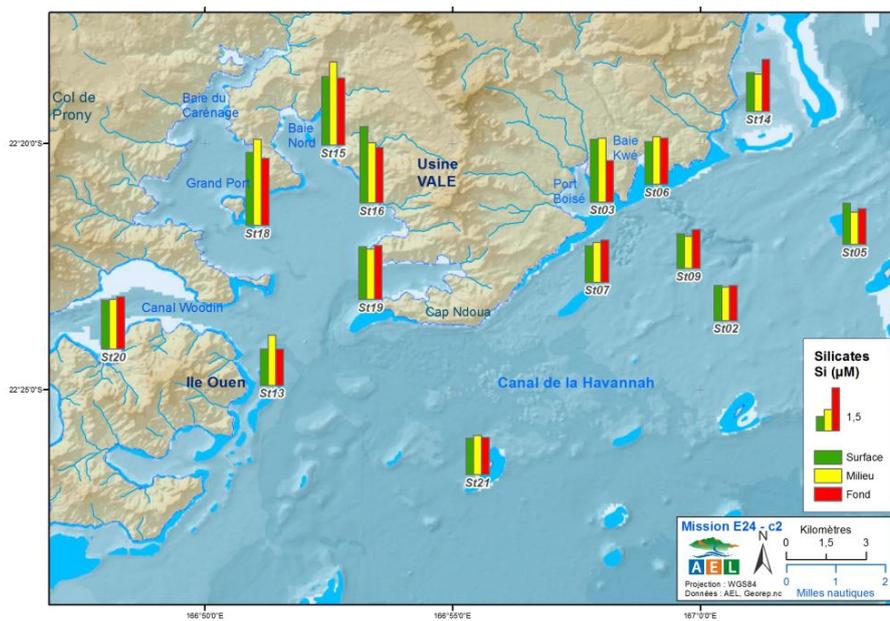
Concentration de phosphates (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



Concentration de silicates (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude lors de la campagne semestrielle de mars 2012



Concentration de silicates (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude lors de la campagne semestrielle d'août 2012



ANNEXE 5

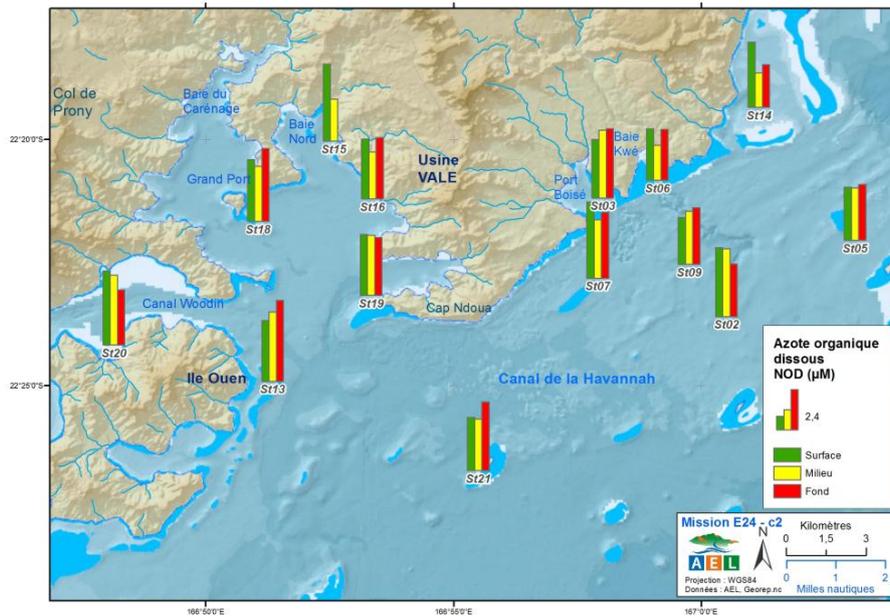
CONCENTRATIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE DISSOUTE, PARTICULAIRE ET TOTALE

Concentrations de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD), de l'azote et phosphore organiques particulaires (NOP et POP) et de l'azote et phosphore total (NT et PT) des 14 stations de la zone d'étude lors de la campagne semestrielle d'août 2012 ; Les stations ont été échantillonnées à 3 profondeurs : S = surface +3 m, M = mi-profondeur, F = fond -3 m ; ND = valeur non déterminée.

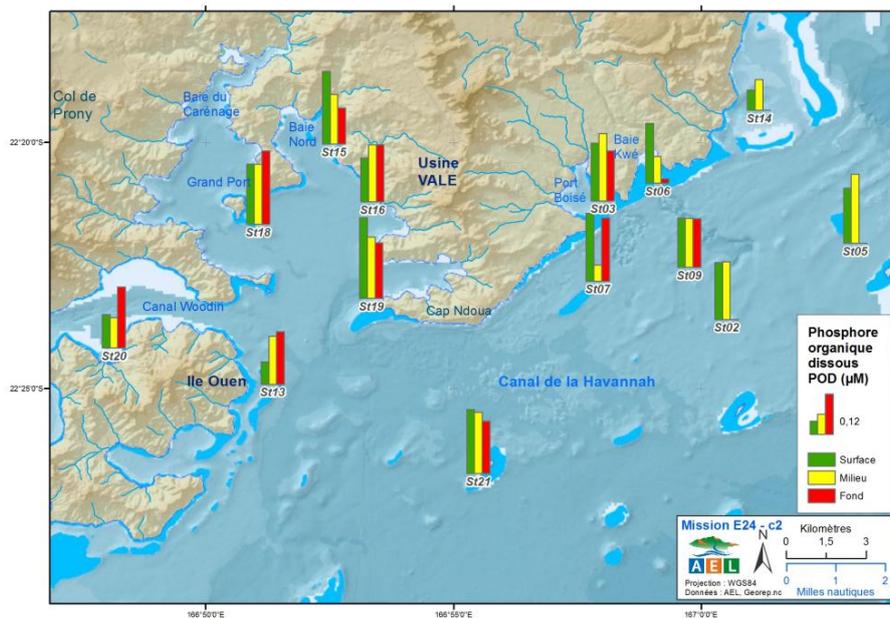
Station	Niveau	NOD (µM)	POD (µM)	NOP (µM)	POP (µM)	N Total (µM)	P Total (µM)
St02	S	4,01	0,169	0,68	0,04	4,81 ± 0,76	0,22 ± 0,02
St02	M	3,95	0,172	1,02	0,05	5,08 ± 0,35	0,24 ± 0,02
St02	F	3,05	ND	0,97	ND	4,24 ± 0,23	0,21 ± 0,05
St03	S	3,40	0,172	1,14	0,07	4,56 ± 0,55	0,25 ± 0,01
St03	M	3,94	0,200	0,93	0,07	4,90 ± 0,29	0,27 ± 0,02
St03	F	4,02	0,148	0,68	0,05	4,79 ± 0,86	0,23 ± 0,06
St05	S	3,10	0,164	0,80	0,05	4,06 ± 0,32	0,24 ± 0,09
St05	M	3,04	0,205	1,05	0,05	4,12 ± 0,63	0,25 ± 0,07
St05	F	3,24	ND	1,11	ND	4,44 ± 0,53	0,29 ± 0,05
St06	S	2,99	0,177	0,57	0,04	3,83 ± 1,61	0,22 ± 0,04
St06	M	2,04	0,080	0,85	0,06	3,00 ± 0,49	0,17 ± 0,03
St06	F	2,96	0,012	1,30	0,10	4,30 ± 0,25	0,16 ± 0,02
St07	S	4,45	0,202	0,61	0,05	5,90 ± 0,87	0,25 ± 0,02
St07	M	3,41	0,048	0,74	0,20	4,23 ± 0,41	0,25 ± 0,05
St07	F	3,83	0,188	0,72	0,05	4,63 ± 0,73	0,23 ± 0,02
St09	S	2,73	0,147	0,95	0,07	3,73 ± 0,14	0,24 ± 0,01
St09	M	3,09	0,146	1,27	0,06	4,49 ± 0,91	0,23 ± 0,05
St09	F	3,30	0,145	1,27	0,06	4,65 ± 0,87	0,21 ± 0,06
St13	S	3,55	0,067	0,66	0,05	4,23 ± 0,72	0,15 ± 0,01
St13	M	4,02	0,143	0,68	0,06	4,73 ± 0,49	0,20 ± 0,07
St13	F	4,70	0,156	0,61	0,05	5,39 ± 0,92	0,23 ± 0,03
St14	S	3,80	0,060	0,63	0,05	4,45 ± 0,92	0,14 ± 0,04
St14	M	2,01	0,092	0,92	0,06	2,99 ± 0,31	0,17 ± 0,05
St14	F	2,48	ND	0,78	ND	3,37 ± 0,57	0,21 ± 0,03
St15	S	4,48	0,216	0,74	0,05	5,24 ± 0,36	0,27 ± 0,02
St15	M	2,45	0,148	1,27	0,09	3,74 ± 0,81	0,24 ± 0,01
St15	F	ND	0,107	ND	0,16	5,37 ± 0,78	0,31 ± 0,04
St16	S	3,47	0,131	0,69	0,05	4,18 ± 0,58	0,18 ± 0,03
St16	M	2,73	0,170	0,79	0,08	3,55 ± 0,07	0,25 ± 0,03
St16	F	3,57	0,170	0,74	0,06	4,46 ± 0,95	0,23 ± 0,05

Station	Niveau	NOD (μM)	POD (μM)	NOP (μM)	POP (μM)	N Total (μM)	P Total (μM)
St18	S	3,61	0,179	0,74	0,05	4,36 \pm 0,82	0,23 \pm 0,01
St18	M	3,22	0,179	0,77	0,06	4,01 \pm 0,38	0,24 \pm 0,03
St18	F	4,24	0,219	1,05	0,07	5,39 \pm 0,35	0,29 \pm 0,04
St19	S	3,54	0,240	0,86	0,05	4,41 \pm 0,97	0,29 \pm 0,10
St19	M	3,49	0,182	0,94	0,06	4,48 \pm 0,31	0,24 \pm 0,06
St19	F	3,37	0,165	0,88	0,06	4,29 \pm 0,66	0,23 \pm 0,02
St20	S	4,33	0,100	0,61	0,04	4,97 \pm 0,28	0,19 \pm 0,02
St20	M	4,07	0,091	0,59	0,10	4,69 \pm 0,87	0,22 \pm 0,02
St20	F	3,21	0,182	0,81	0,06	4,06 \pm 0,42	0,24 \pm 0,02
St21	S	3,10	0,190	1,01	0,06	4,13 \pm 0,14	0,25 \pm 0,04
St21	M	3,01	0,182	0,99	0,06	4,07 \pm 0,70	0,28 \pm 0,04
St21	F	4,00	0,156	1,13	0,06	5,15 \pm 0,76	0,22 \pm 0,03

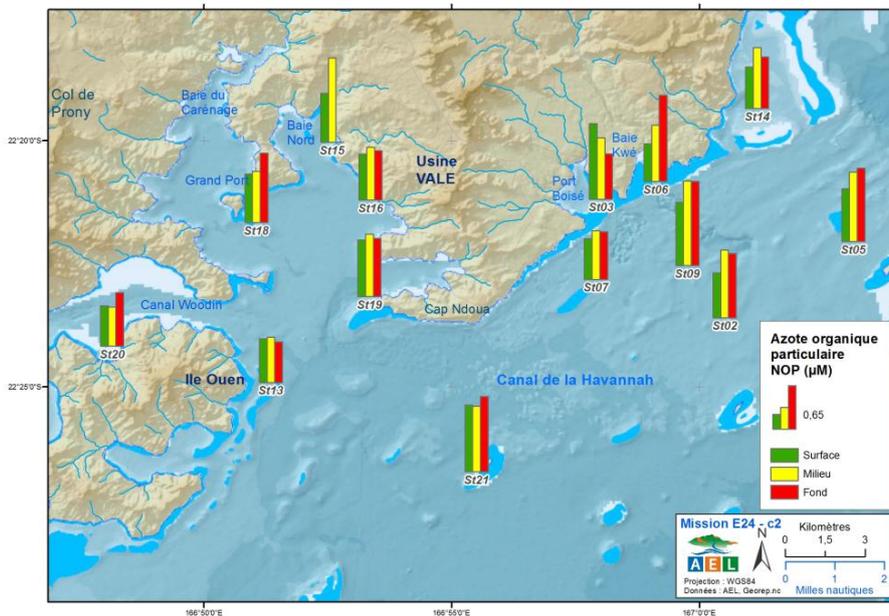
Concentration d'azote organique dissous (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



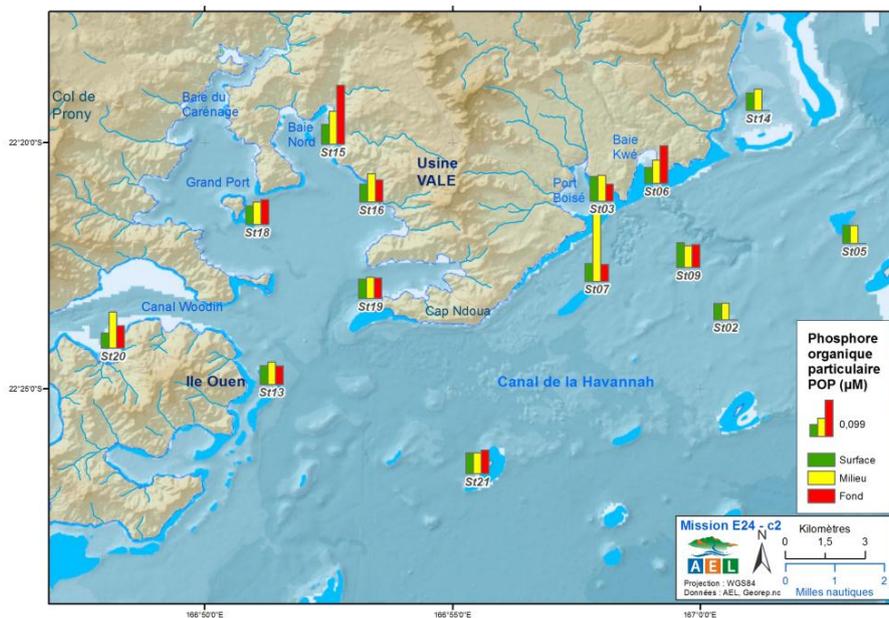
Concentration de phosphore organique dissous (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



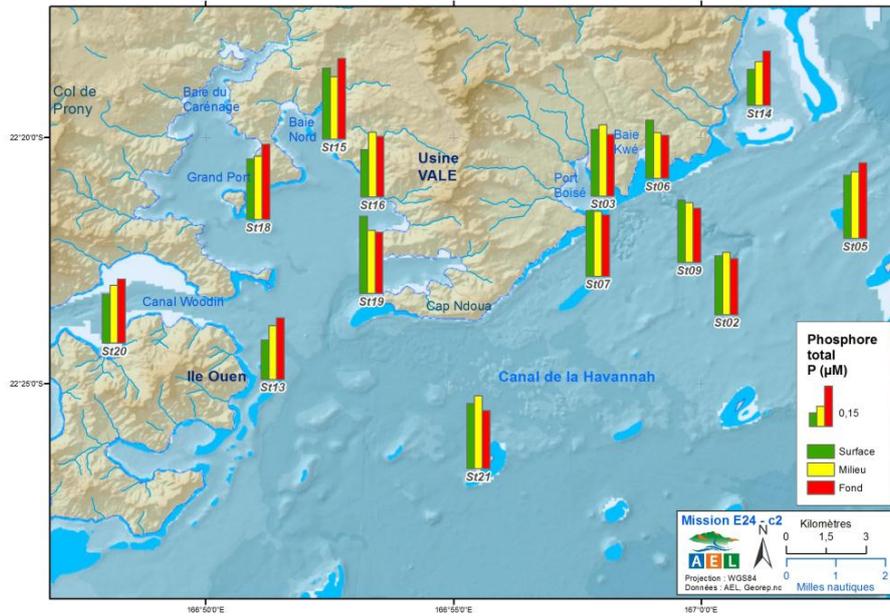
Concentration d'azote organique particulaire (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



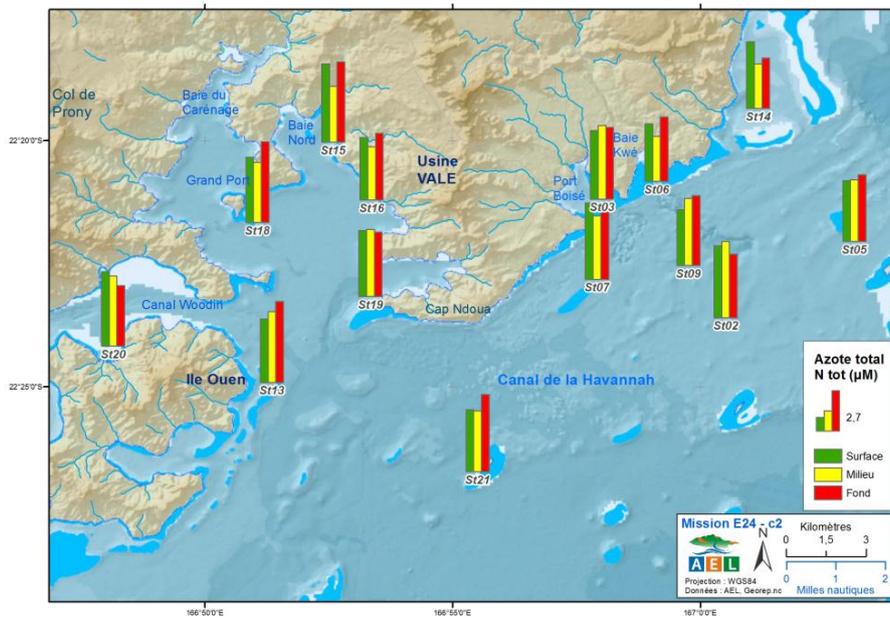
Concentration de phosphore organique particulaire (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



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



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



ANNEXE 6

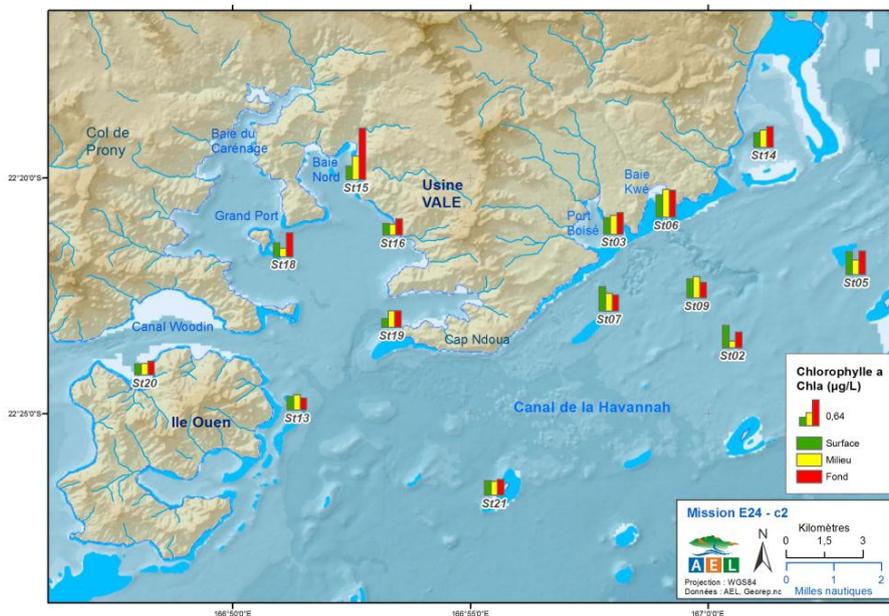
CONCENTRATIONS DE LA CHLOROPHYLLE A ET DES PHEOPIGMENTS

Concentrations des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) et pourcentage de phéopigments aux 14 stations de la zone d'étude lors de la campagne semestrielle d'août 2012 ; Les stations ont été échantillonnées à trois profondeurs : S = surface +3 m, M = mi-profondeur, F = fond -3 m.

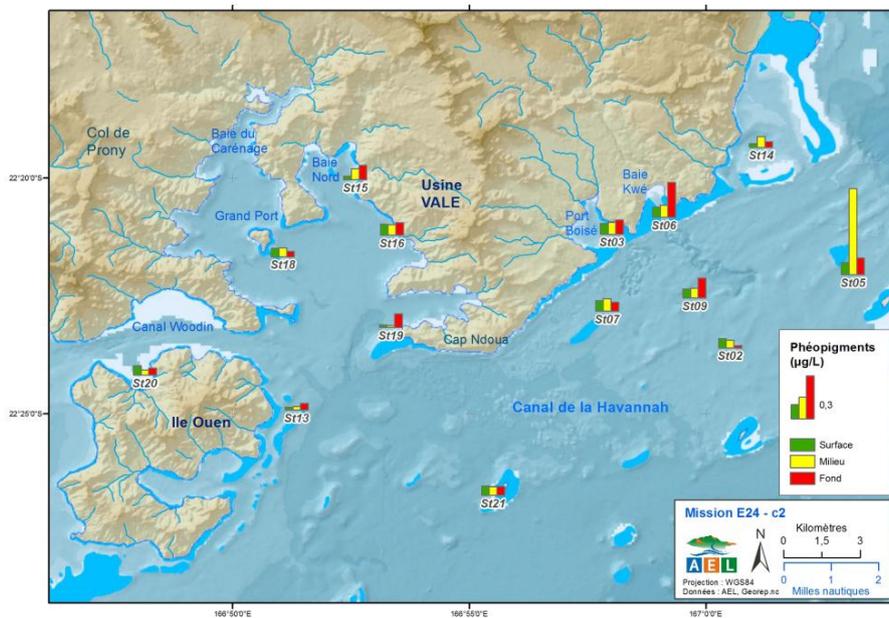
Station	Niveau	Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)	Phéopigments (µg/L)	% Phéopigments
St02	S	0,55	0,06	10,35
St02	M	0,17	0,05	23,89
St02	F	0,39	0,02	3,84
St03	S	0,40	0,08	15,97
St03	M	0,46	0,08	15,40
St03	F	0,53	0,10	15,65
St05	S	0,57	0,09	13,38
St05	M	0,36	0,61	62,50
St05	F	0,58	0,12	17,03
St06	S	0,55	0,07	11,52
St06	M	0,69	0,08	10,81
St06	F	0,67	0,25	26,82
St07	S	0,60	0,07	11,03
St07	M	0,44	0,09	16,51
St07	F	0,40	0,06	13,36
St09	S	0,47	0,06	11,74
St09	M	0,53	0,07	11,26
St09	F	0,38	0,14	27,10
St13	S	0,33	0,02	4,92
St13	M	0,37	0,02	5,90
St13	F	0,29	0,04	13,21
St14	S	0,36	0,03	6,98
St14	M	0,42	0,08	15,23
St14	F	0,51	0,04	7,33
St15	S	0,33	0,03	8,63
St15	M	0,59	0,08	11,60
St15	F	1,28	0,10	7,32
St16	S	0,29	0,08	22,49
St16	M	0,27	0,07	21,38
St16	F	0,40	0,09	18,12

Station	Niveau	Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)	Phéopigments (µg/L)	% Phéopigments
St18	S	0,34	0,06	14,69
St18	M	0,20	0,06	23,63
St18	F	0,59	0,04	5,86
St19	S	0,22	0,02	7,06
St19	M	0,42	0,01	3,23
St19	F	0,42	0,10	18,70
St20	S	0,28	0,07	19,49
St20	M	0,29	0,04	11,36
St20	F	0,35	0,05	12,22
St21	S	0,36	0,07	15,66
St21	M	0,35	0,06	15,32
St21	F	0,40	0,06	13,75

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



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



ANNEXE 7

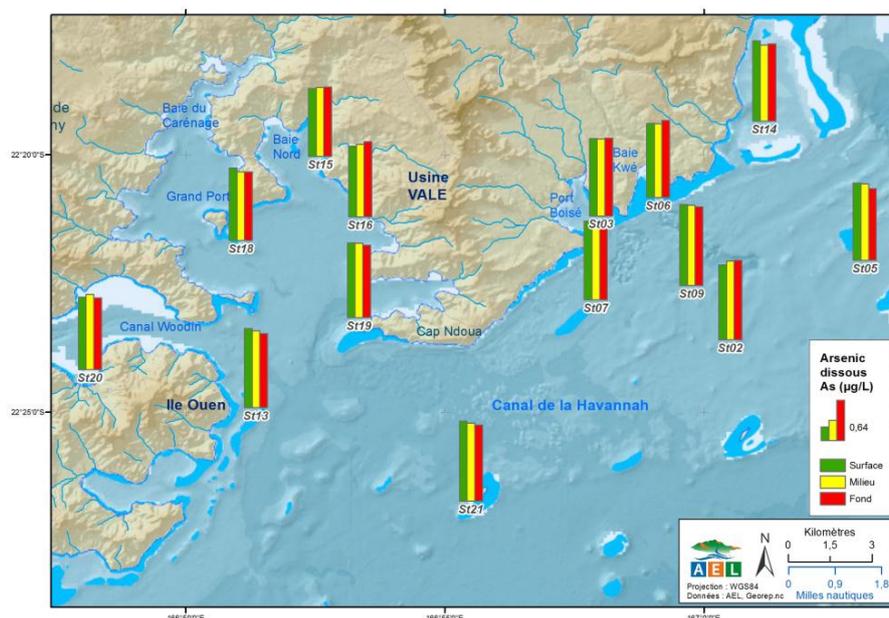
CONCENTRATIONS DES MÉTAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

Concentrations des métaux dissous ($\mu\text{g/L}$) des 14 stations de la zone d'étude mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2012 et des stations St15 et St16 mesurées lors de la campagne trimestrielle de novembre 2012 ; Les stations ont été échantillonnées à 3 profondeurs : S = surface +3 m, M = mi-profondeur, F = fond -3 m ; <LQ = Valeurs inférieures à la limite de quantification ; Nd = valeur non déterminée.

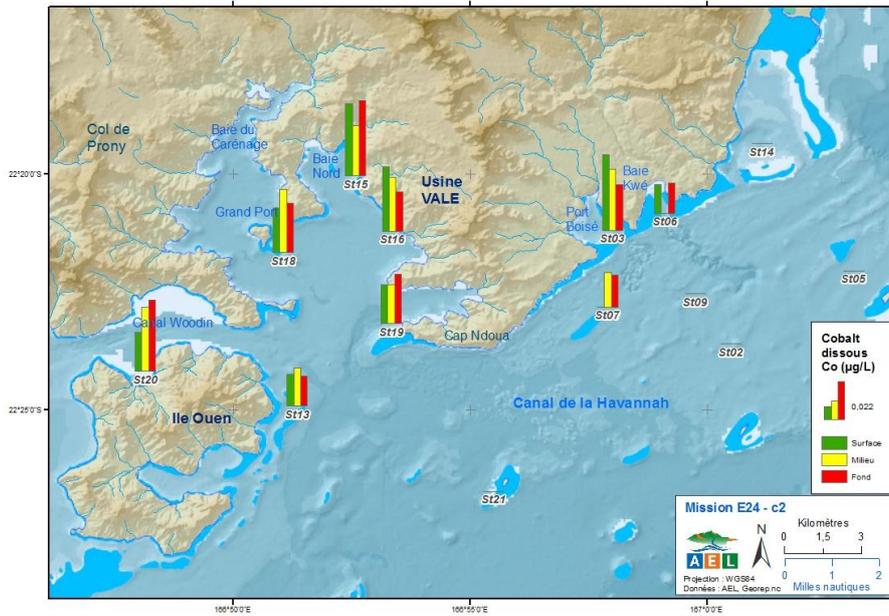
Station	Niveau	As	Cd	Co	Cr(VI)	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St02	S	1,18	<LQ	<LQ	0,108	<LQ	0,026	0,091	0,103	<LQ	0,065
St02	M	1,25	<LQ	<LQ	0,128	<LQ	0,012	0,102	0,113	<LQ	0,058
St02	F	1,25	<LQ	<LQ	0,052	<LQ	0,012	0,094	0,090	<LQ	Nd
St03	S	1,22	<LQ	0,045	0,168	<LQ	0,034	0,373	0,391	<LQ	Nd
St03	M	1,22	<LQ	0,036	0,162	<LQ	0,022	0,320	0,311	<LQ	Nd
St03	F	1,23	<LQ	0,027	0,140	<LQ	0,025	0,292	0,257	<LQ	Nd
St05	S	1,22	<LQ	<LQ	0,128	<LQ	Nd	0,065	0,087	<LQ	0,211
St05	M	1,20	<LQ	<LQ	0,126	<LQ	<LQ	0,104	0,091	<LQ	Nd
St05	F	1,13	<LQ	<LQ	0,132	<LQ	0,017	0,166	0,103	<LQ	0,165
St06	S	1,17	<LQ	0,017	0,152	<LQ	0,052	0,127	0,163	<LQ	0,209
St06	M	1,16	<LQ	<LQ	0,138	<LQ	0,016	0,130	0,147	<LQ	0,411
St06	F	1,21	<LQ	0,018	0,138	<LQ	0,091	0,179	0,178	<LQ	0,419
St07	S	1,24	<LQ	<LQ	0,108	<LQ	Nd	0,039	0,087	<LQ	Nd
St07	M	1,25	<LQ	0,020	0,116	<LQ	Nd	0,133	0,194	<LQ	0,133
St07	F	1,21	<LQ	0,019	0,122	<LQ	Nd	0,136	0,204	<LQ	0,262
St09	S	1,27	<LQ	<LQ	0,166	<LQ	<LQ	0,068	0,100	<LQ	0,243
St09	M	1,26	<LQ	<LQ	0,114	<LQ	0,051	0,056	0,110	<LQ	0,469
St09	F	1,24	<LQ	<LQ	0,100	<LQ	0,140	0,109	0,164	<LQ	0,262
St13	S	1,25	<LQ	0,019	0,110	<LQ	0,064	0,209	0,216	<LQ	0,405
St13	M	1,21	<LQ	0,022	0,172	<LQ	0,025	0,149	0,185	<LQ	Nd
St13	F	1,17	<LQ	0,018	0,180	0,25	0,016	0,147	0,175	<LQ	0,203
St14	S	1,27	<LQ	<LQ	0,102	<LQ	0,034	0,094	0,128	<LQ	0,062
St14	M	1,20	<LQ	<LQ	0,122	<LQ	0,080	0,120	0,133	<LQ	Nd
St14	F	1,22	<LQ	<LQ	0,112	<LQ	0,086	0,159	0,171	<LQ	0,072
St15	S	1,07	<LQ	0,043	0,182	<LQ	Nd	0,287	0,364	<LQ	0,069
St15	M	1,09	<LQ	0,030	0,168	<LQ	Nd	0,152	0,309	<LQ	Nd
St15	F	1,10	<LQ	0,044	0,172	0,53	Nd	0,279	0,357	<LQ	<LQ
St16	S	1,11	<LQ	0,038	0,272	<LQ	Nd	0,224	0,333	<LQ	0,244
St16	M	1,14	<LQ	0,032	0,146	<LQ	Nd	0,174	0,301	<LQ	Nd
St16	F	1,19	<LQ	0,023	0,126	<LQ	Nd	0,219	0,266	<LQ	Nd

Station	Niveau	As	Cd	Co	Cr(VI)	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St18	S	1,14	<LQ	0,026	0,154	<LQ	Nd	0,142	0,302	<LQ	0,133
St18	M	1,08	<LQ	0,037	0,144	<LQ	Nd	0,255	0,380	<LQ	Nd
St18	F	1,08	<LQ	0,030	0,140	0,69	Nd	0,199	0,302	<LQ	<LQ
St19	S	1,18	<LQ	0,023	0,140	<LQ	Nd	0,229	0,366	<LQ	Nd
St19	M	1,17	<LQ	0,023	0,124	0,55	Nd	0,221	0,275	0,24	Nd
St19	F	1,15	<LQ	0,029	0,136	<LQ	Nd	0,221	0,333	<LQ	Nd
St20	S	1,15	<LQ	0,023	0,118	<LQ	Nd	0,099	0,223	<LQ	Nd
St20	M	1,19	<LQ	0,038	0,120	<LQ	Nd	0,340	0,352	<LQ	0,333
St20	F	1,13	<LQ	0,042	0,120	0,29	Nd	0,317	0,351	<LQ	0,167
St21	S	1,26	<LQ	<LQ	0,106	<LQ	<LQ	0,116	0,140	<LQ	Nd
St21	M	1,23	<LQ	<LQ	0,094	<LQ	0,049	0,147	0,169	<LQ	Nd
St21	F	1,20	<LQ	<LQ	0,100	<LQ	0,026	0,155	0,188	<LQ	Nd

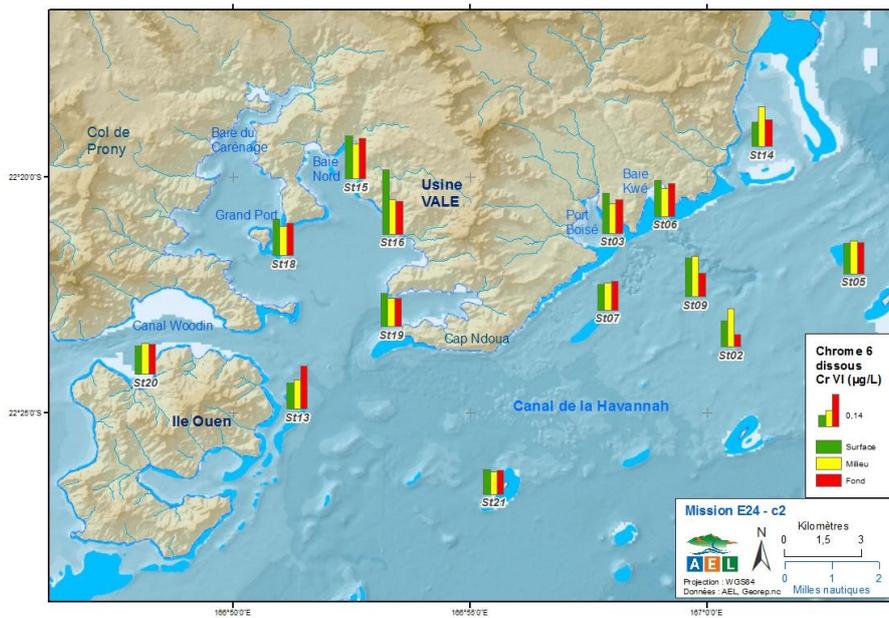
Concentration d'arsenic (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



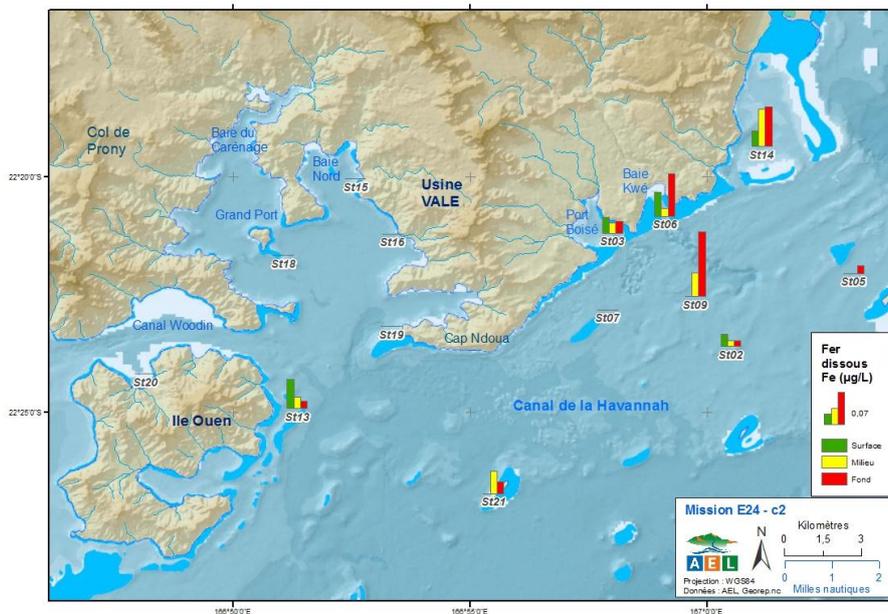
Concentration de cobalt (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



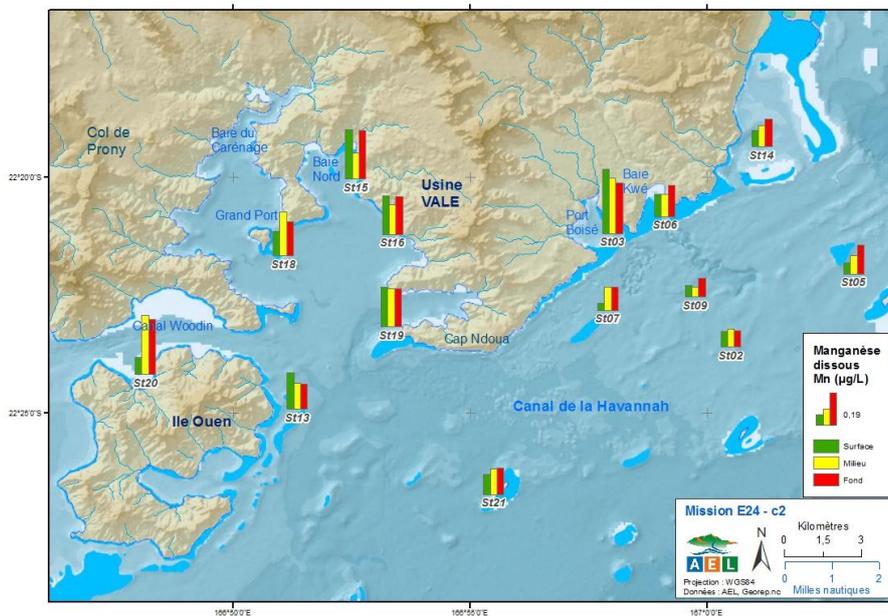
Concentration de chrome(VI) (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



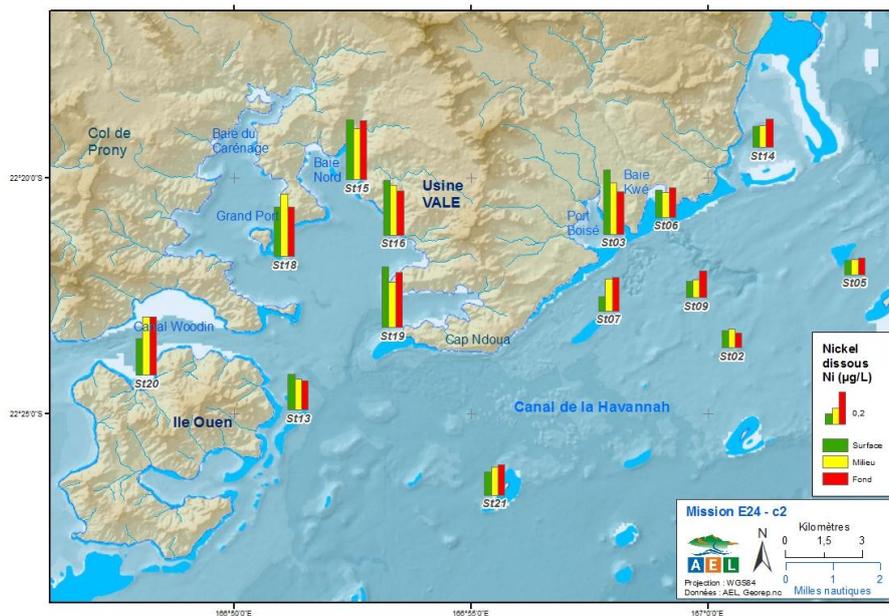
Concentration de fer (S = surface, M = mi-profondeur, F = fond) dans l'ensemble de la zone d'étude



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



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



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

