



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

1^{er} semestre 2016



« Analyses des métaux dans
l'environnement et expertises »

Rapport
Août 2016

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Contrat n°3052-Avenant n°1

Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle- Calédonie

1^{er} semestre 2016

Kaplan H., Laurent A., Hubert M., Moreton B., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.

Nombre de pages : 90

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	121205-VI-18	E87583	
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1 ^{er} semestre 2016.		
Auteurs	Kaplan H., Laurent A., Hubert M., Moreton B., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.		
Résumé	<p>Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Vale-NC a mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2016 (mars 2016) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin).</p> <p>Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO₃+NO₂ et NH₄), de matières organiques (POD, NOP et POP) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, Cr^{VI}, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations des SiO₄ et métaux latéritiques, se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini, particulièrement au niveau des eaux de surface; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Baie du Port Boisé, de la Kwé et de Prony) et les plus faibles étant relevées dans le Canal de la Havannah. Pour la salinité, cette tendance s'inverse. La dessalure dans les eaux de surface souligne que les éléments chimiques sont transportés vers la mer par les réseaux d'eau douce se déversant dans les baies. Moins contrastés, les profils de turbidité et de fluorescence permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. Par ailleurs, l'augmentation de la fluorescence avec la profondeur dans la Baie de Prony est corrélée avec l'enrichissement des eaux de fond en NO₃+NO₂, NH₄, POD, NOP, POP et chlorophylle <i>a</i>. D'autres paramètres tels que les concentrations des éléments majeurs, As et NOD, sont relativement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et ne montrent pas de gradient spatial.</p> <p>Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison chaude ». L'étude comparant les concentrations de Cr^{VI}, Mn et Ni entre les stations « impactée » et « témoin » (St06-St03 et St09-St05) n'a pas démontré de tendance notable, sauf pour le Mn dans les eaux de surface de la station St06 ; en effet, les concentrations de Mn relevées depuis 2007 sont sensiblement plus élevées que de celles de son homologue témoin à Port Boisé (St03).</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kaplan H.	HK	24/06/20116
Vérificateur 1	Kumar-Roiné S.	SKR	07/07/2016
Vérificateur 2	Fernandez JM.	JMFA	30/07/2016
Approbateur	Pousse C.	CP	01/08/2016
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport final		02/08/2016
V1.1	Rapport final corrigé		24/08/2016
COPIE – DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C.	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kaplan H., Laurent A., Hubert M., Moreton B., Kumar-Roiné S., Fernandez JM. 2016. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1^{er} semestre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n°3052-Avenant n°1, 90p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	6
A.	CONTEXTE	6
B.	OBJECTIFS.....	6
II.	METHODOLOGIE	8
A.	SITE D'ETUDE.....	8
B.	ECHANTILLONNAGE	9
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES.....	10
III.	RESULTATS.....	12
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	12
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH	18
C.	MATIERES EN SUSPENSION	18
D.	SELS NUTRITIFS	20
E.	MATIERES ORGANIQUES	26
F.	CHLOROPHYLLE A	30
G.	METAUX DISSOUS	32
IV.	SYNTHESE.....	38
A.	SELS NUTRITIFS	39
B.	METAUX DISSOUS	42
V.	CONCLUSION	52

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007¹ et 2008² complétés par la Convention pour la Conservation de la Biodiversité (CCB 2009). La définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux marines a été réalisée entre 2005 et 2007 sur 18 stations ([Fernandez et al., 2006](#) ; [Fernandez et al., 2007](#)).

Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE, Vale-NC a mis en place le programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce suivi s'exerce, sans interruption, jusqu'à nos jours sur un total optimisé à 14 stations (13 ICPE + 1 Vale-NC).

L'objectif consiste à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de mer. A cet effet, il est effectué des prélèvements à des fins d'analyses.

L'analyse des séries temporelles permet de déceler l'évolution de tout impact des activités industrielles sur les masses d'eau dans la zone d'influence potentielle du projet Vale-NC.

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvements du **1^{er} semestre 2016** (mars 2016) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

B. OBJECTIFS

Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC:

- 4 dans la Baie du Prony ;
- 5 dans le système du Canal de la Havannah ;
- 1 dans la Baie de Port Boisé ;
- 1 dans la Baie Kwé ;
- 1 au niveau de Port Goro ;
- 1 dans le Canal Woodin ;
- 1 au nord-est de l'île Ouen.

Ce suivi consiste en une campagne complète de prélèvements d'eau afin de déterminer semestriellement les principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations de métaux dissous ainsi que les concentrations de sels nutritifs et de matière organique dissoute et particulaire.

Ces prélèvements permettent de compléter les séries temporelles acquises depuis 2005 afin de statuer sur l'impact des activités industrielles ou non sur l'ensemble du milieu marin.

¹ Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007

² Arrêté ICPE : usine d'extraction et usine de préparation des minerais ainsi que le parc à résidus de la Kwé ouest du 09 octobre 2008.



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

II. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE

Les opérations de terrain ont été réalisées sur les 14 stations du suivi physico-chimique (Tableau 1 ; Figure 1). Afin de faciliter l'interprétation, les stations sont regroupées dans quatre zones subissant différentes influences :

- **Canal de la Havannah** : St02, St05, St07, St09 et St21 influencées majoritairement par les apports océaniques ;
- **Baies du Canal** : St03, St06 et St14 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks des baies adjacents ;
- **Baie du Prony** : St15, St16, St18 et St19 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks de la Baie du Prony ;
- **Ile Ouen** : St13 et St20 influencées à la fois par les apports en eaux douces et les apports océaniques.

Tableau 1: Liste et position des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude E	Latitude S	
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 Ioro	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° 53,300	22° 21,455	42
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

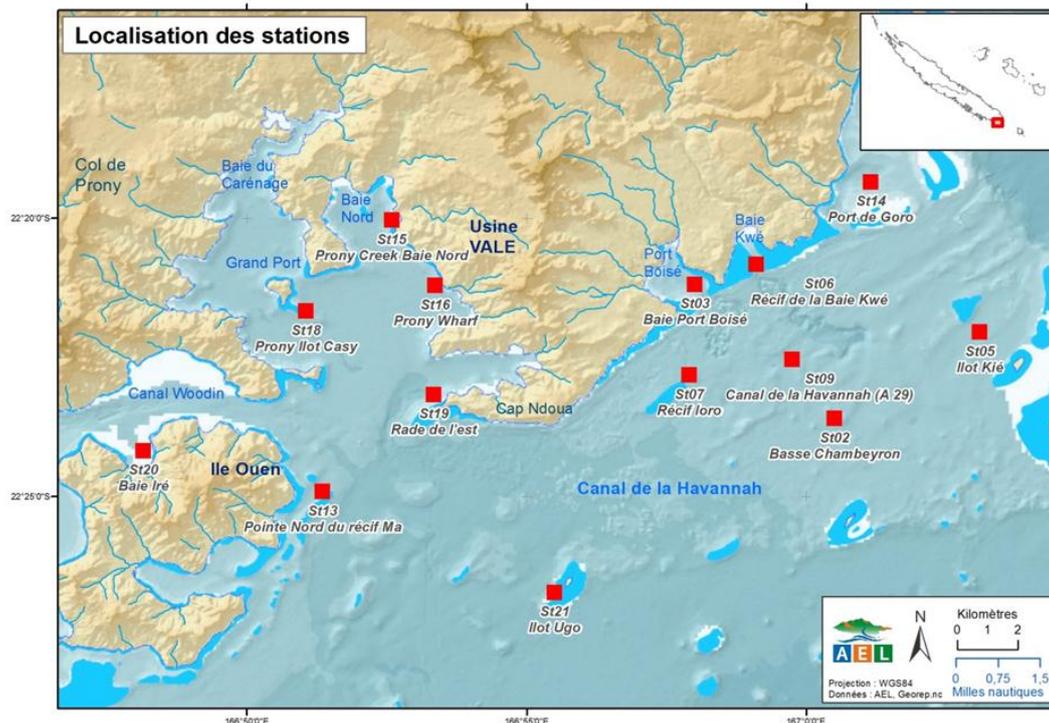


Figure 1: Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 01 au 04 mars 2016.

Pour chaque station, les prélèvements d'eau ont été effectués par bouteilles « Niskin® » pour le dosage des ions majeurs, des sels nutritifs et de la matière organique dissoute et particulaire, et les bouteilles « Go Flo®, Metal-Free » ont été utilisées 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 du fond ou +3 m).

Lors de la campagne de prélèvements semestriels, les opérations suivantes ont été réalisées :

- enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) 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 MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures (Cl⁻), sulfates (SO₄²⁻), calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) ;

- 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 et azote, phosphore et carbone organiques particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle a et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr^{VI}), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

La méthodologie détaillée des différentes analyses est décrite dans l'Annexe 1.

La qualité des mesures effectuées en métaux dissous lors de cette campagne a été évaluée selon trois approches complémentaires :

- en étudiant la fidélité de la méthode de prélèvement et d'analyse à l'aide de 10 % de triplicatas, soit sur 4 stations ;
- en étudiant la reproductibilité de la méthode de prélèvement et d'analyse par les analyses inter-laboratoires sur au moins 10 % de duplicatas, soit sur 4 stations. Ces duplicatas ont été envoyés dans différents laboratoires, en fonction de la mesure à effectuer ;
- en vérifiant la justesse de la méthode d'analyse d'AEL par la participation à un exercice inter-laboratoire international, organisé par Quasimeme en 2015.

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions météorologiques et hydro-climatiques ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de resituer chaque prélèvement dans son contexte, les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Vale-NC (Goro Usine n°98817104) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 2 et Figure 3)

Les conditions météorologiques précédant la campagne semestrielle (du 03 au 07 mars 2016) sont les suivantes :

- Vent ESE d'une moyenne de 10 ± 3 nœuds ;
- Au total, 24,7 mm de précipitation ont été relevés durant les 5 jours qui ont précédé la campagne.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (du 08 au 10 mars 2016) sont les suivantes :

- 08/03/16 : ESE 10-15 Nœuds, temps couvert le matin avec de légères précipitations lors des premiers prélèvements, le temps s'est dégagé en milieu de matinée;
- 09/03/16 : E 12-18 Nœuds, temps très couvert, averses passagères, houle moyenne et un fort courant dans le canal du Havannah ;
- 10/03/16 : ESE 12-18 Nœuds, temps très couvert, averses, houle moyenne avec du courant.

Au total, 79 mm de précipitation ont été relevés pendant la campagne, dont 64 mm le dernier jour des prélèvements (Figure 2).

La campagne s'est déroulée à différent moment de la marée. Le 1er jour, les stations de l'île Ouen (St13 et St20) et celles de la Baie de Prony (St18, St15, St16 et St19) ont été échantillonnées au cours de la marée descendante. Le 2ième jour, les prélèvements ont été effectués dans les baies du Canal de la Havannah (St03, St06 et St14) ainsi que St09 dans le Canal, lors de l'étalement de marée basse jusqu'au début de la marée montante. Le 3ième jour, les stations du Canal de la Havannah (St 02, St05, St07 et St21) ont été échantillonnées en fin de marée montante et à l'étalement (Figure 3).

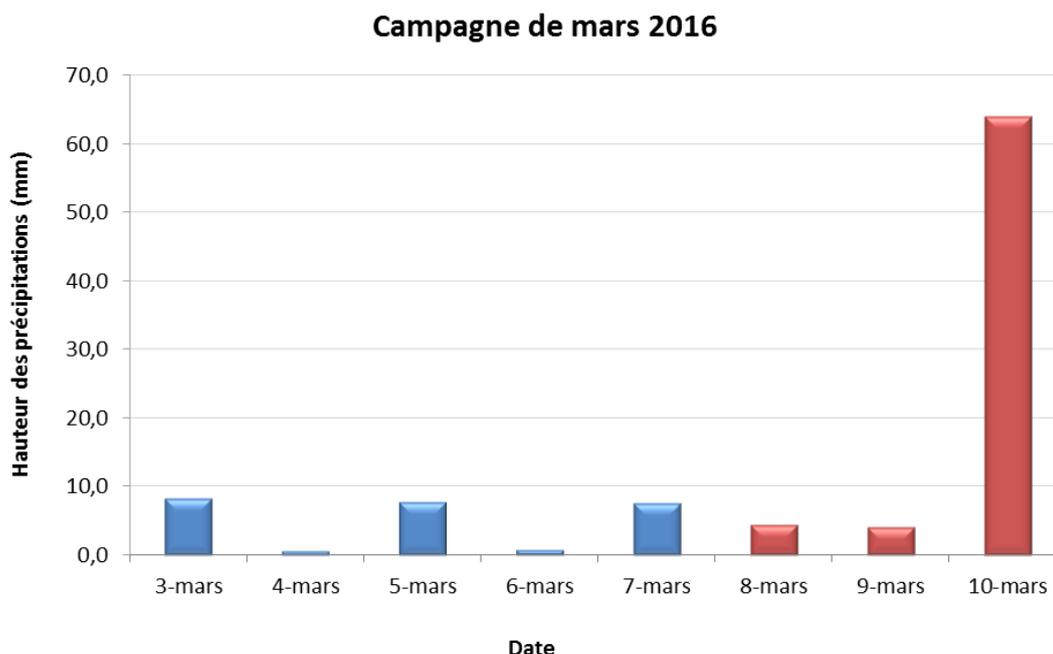


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant la campagne (03 au 07/03/16 ; en bleu) et pendant la campagne semestrielle (08 au 10/03/16 ; en rouge). Données météorologiques mesurées à la station d'observation "Prony Pilot station".

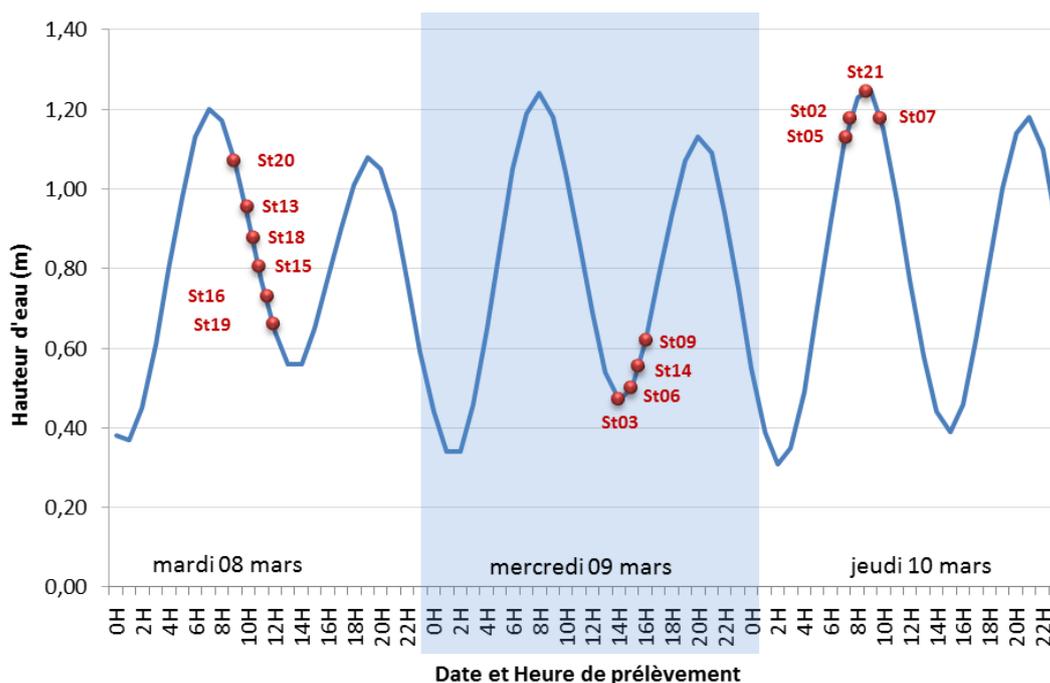


Figure 3: Chronologie des évènements de la campagne semestrielle de mars 2016 reportée sur le marégramme du 08 au 10 mars 2016.

III. RESULTATS

A. STRUCTURE DES MASSES D'EAU

Rappel : Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau et ont pour objectif principal de détecter toute modification importante des principales caractéristiques en lien ou non avec l'activité minière. 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 pigments chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse phytoplanctonique. Cette mesure fournit une bonne indication de statut trophique du milieu.

Les valeurs de température, fluorescence, salinité et turbidité mesurées lors de cette campagne sont reportées dans les Figure 4, Figure 5, Figure 6 et Figure 7 et dans le Tableau 2 ainsi qu'en Annexe 2.

Tableau 2: Valeurs de la température, salinité, fluorescence et turbidité enregistrées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
Canal de la Havannah	Minimum	26,1	35,5	0,01	0,19
	Maximum	26,8	35,6	1,46	5,33
	Moyenne	26,6	35,6	0,37	0,64
	Ecart-type	0,19	0,01	0,14	0,26
Baies du Canal	Minimum	26,7	34,0	0,08	0,29
	Maximum	28,0	35,6	3,38	4,50
	Moyenne	27,1	35,4	0,68	1,01
	Ecart-type	0,03	0,06	0,06	0,14
Baie du Prony	Minimum	25,4	34,8	0,00	0,02
	Maximum	28,1	35,6	5,40	3,39
	Moyenne	26,7	35,6	0,57	0,48
	Ecart-type	0,20	0,03	0,29	0,08
Ile Ouen	Minimum	26,3	35,2	0,02	0,34
	Maximum	26,9	35,8	2,97	2,40
	Moyenne	26,6	35,6	0,61	0,66
	Ecart-type	0,00	0,03	0,02	0,02

1. Température

Globalement la température est d'environ $26,7 \pm 0,3$ °C et varie très peu. Seules les stations des Baies du Canal sont légèrement plus chaudes de 0,4 °C par rapport aux autres zones d'étude (Tableau 2).

Dans le Canal de la Havannah, les profils de température des stations St02, St05, St07 et St09 sont très homogènes avec des températures moyennes similaires. A l'inverse, le profil de la station St21 montre des

valeurs plus fraîches de 0,4 °C. Au niveau de la station St07, la colonne d'eau est divisée en deux couches ; elle présente une température stable entre 0 et 15 m, puis elle diminue de 0,3 °C entre 15 et 40 m. Il en est de même pour les stations St05 et St09. Elles montrent une chute de la température, moins prononcée, à partir de 10 - 15 m de profondeur, se poursuivant légèrement jusqu'au bas de la colonne d'eau.

Au niveau des baies du Canal, la station St03 est plus chaude en surface de plus 0,5 °C que les deux autres stations de la zone. Pour les stations St03 et St06, la thermocline est bien marquée entre 0 et 5 m avec une perte respective 0,6 °C et 0,4 °C. La variation de température sur la colonne d'eau est plus importante pour la station St03 avec une chute de température de 1,7 °C entre la surface et le fond, contre 0,7 °C pour la St06. La station St14, quant à elle, présente un profil très homogène au sein de la colonne d'eau. La transition thermique pour cette station se fait vers 10 m de profondeur avec une diminution de 0,3 °C

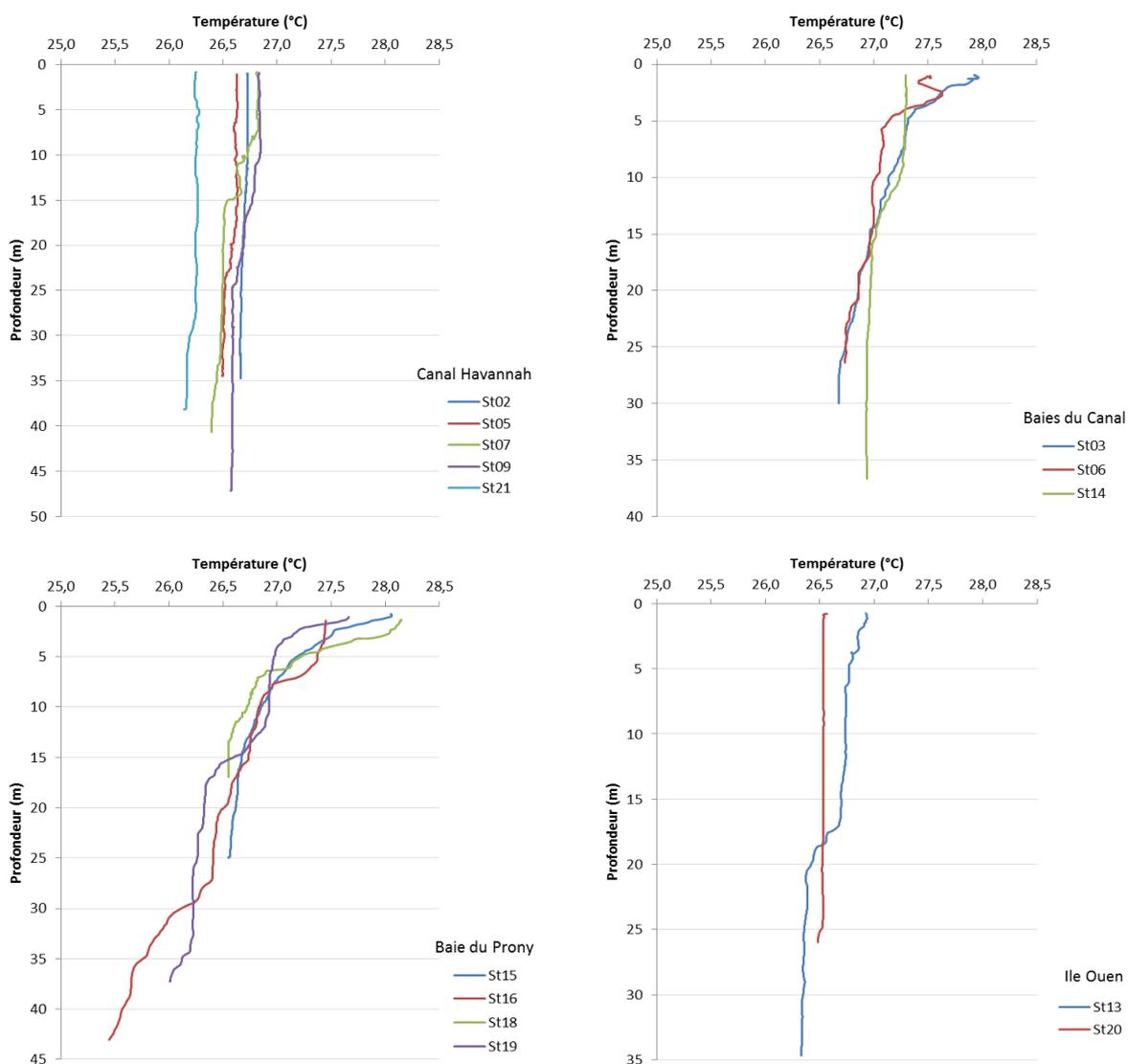


Figure 4: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Dans la Baie du Prony, les eaux de surface des stations St15 et St18 sont plus chaudes qu'en St16 et St19. Les quatre stations de cette zone présentent une variation de température de 1,7 °C en moyenne entre le haut et le bas de la colonne d'eau.

Les stations de l'île Ouen St13 et St20 présentent des profils de température distincts. Les températures de la station St20 varient très peu, sur toute la colonne d'eau. A contrario, celles de St13 présentent une thermocline aux alentours de 17 m de profondeur tout comme aux stations St05, St07 et St09 (Figure 4).

2. Salinité

Globalement, peu importe la zone d'étude, les moyennes de salinité ne présentent pas de différence notable (Tableau 2).

Dans le Canal de la Havannah (Figure 5), les profils mesurés sont relativement homogènes et similaires. Dans les Baies du canal, une variation importante de la salinité est visible dans la fine couche de surface de la station St06 entre 1 à 2 m de profondeur (différence de 0,8 ‰). Sur la St03, la variation est moins importante (différence de 0,4 ‰). A l'inverse, la salinité de St14 est plus stable. Toutefois, une très légère dessalure est visible sur les premiers 10 mètres montrant que la station est sous influence terrigène et marine à la fois.

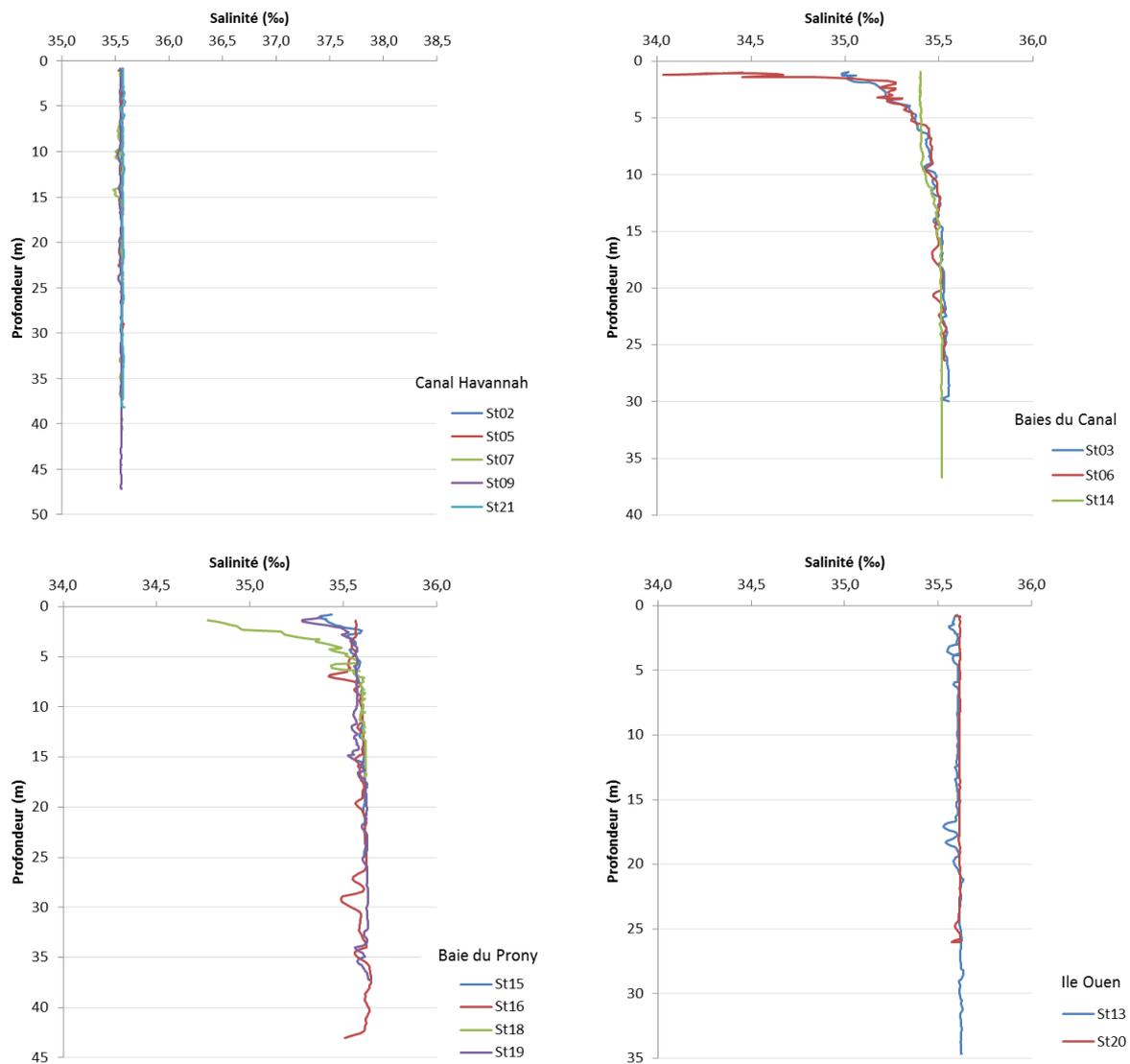


Figure 5: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

En baie du Prony, une forte dessalure se produit sur la station St18, dans les 5 premiers mètres. Le même phénomène se produit en St15 et St19 mais la variation est moins importante. Tandis qu'à la station St16, la salinité est plutôt stable.

La colonne d'eau de la zone de l'île Ouen est stratifiée en St13 avec des pics de salinité successifs en surface et mi-profondeur. A l'inverse, la salinité moyenne de St20 est très stable (Figure 5).

3. Fluorescence

Les profils de fluorescence sur l'ensemble des zones étudiées sont assez perturbés avec des pics de fluorescence dans chaque zone (Figure 6). Les plus fortes intensités de fluorescence ont été enregistrées dans le Canal du Havannah et dans la Baie du Prony (Tableau 2).

Dans le Canal de la Havannah, les profils des stations St02, St05, St07 et St21 sont relativement similaires. Le profil de la station St09 montre une fluorescence un peu plus importante que le reste des stations dans cette zone d'étude. Il est à noter que St09 a été échantillonnée à mi-marée montante, contrairement aux autres stations qui ont été échantillonnées le lendemain à l'étale de marée haute.

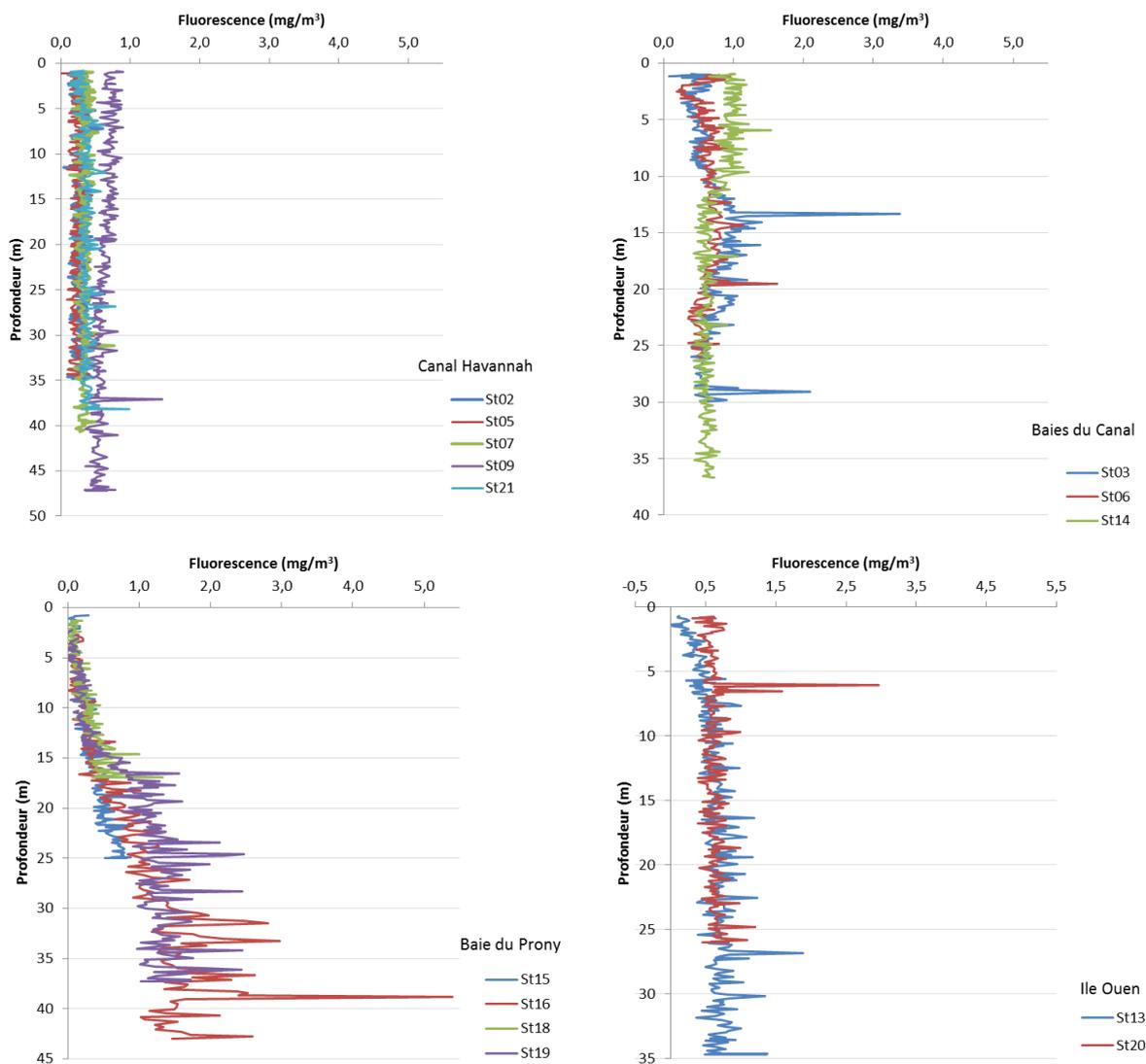


Figure 6: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Au niveau des stations des baies du Canal, les stations St03 et St06 ont des profils similaires avec une légère augmentation de fluorescence entre 10 et 20 m de profondeur. Pour la St14, la fluorescence est légèrement plus élevée dans les premiers 10 m que le reste de la colonne d'eau.

Dans la Baie du Prony, les valeurs de fluorescence sont regroupées et peu élevées dans les premiers 15 m sous la surface pour l'ensemble des stations. En dessous, à mesure que la profondeur augmente, un accroissement et une différenciation des profils sont observés.

Les profils de fluorescence obtenus aux stations de l'île Ouen sont plus homogènes avec des valeurs moyennes s'élevant à $0,61 \pm 0,02 \text{ mg/m}^3$ (Figure 6).

4. Turbidité

La turbidité moyenne la plus élevée a été mesurée dans la colonne d'eau de la zone Baies du Canal, et la plus faible dans celle de la Baie du Prony (Figure 7). En revanche, c'est dans le Canal de la Havannah que les plus fortes variations de turbidité ont été enregistrées. La zone dans laquelle la turbidité est la plus stable est la zone Ile Ouen avec un écart à la moyenne de 0,02 NTU (Tableau 2).

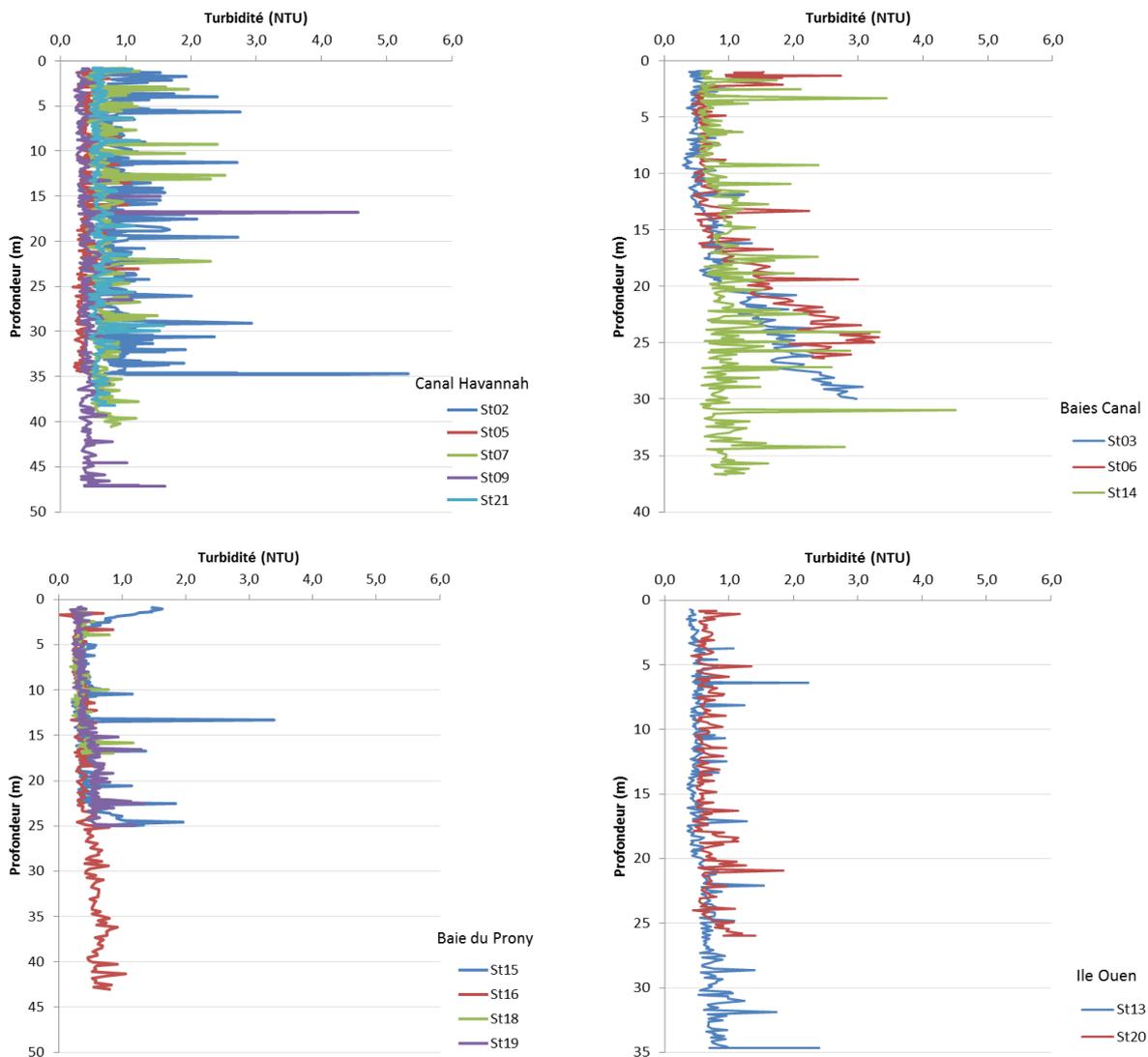


Figure 7: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Dans le Canal de la Havannah, malgré le bruit de fond, le profil de turbidité de toutes les stations reste stable, ne présentant aucune couche particulière de turbidité. Dans la zone d'étude des baies du Canal, la turbidité augmente à partir de 20 m sur les stations St03 et St06 mettant en évidence un néphéloïde benthique. Par ailleurs, une très fine couche de turbidité est également observée en surface de la station St06, tandis que celle de St14 reste stable de la surface au fond.

Pour les stations situées dans la Baie du Prony, seule la station St15 présente une variation avec une très fine couche de turbidité en surface (entre 0 et 3 m) et au fond (les derniers 2 m). Pour le reste des stations, aucune évolution n'est constatée. Il en est également de même pour les stations St13 et St20 de la zone de l'île Ouen (Figure 7).

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence les stations influencées par les apports d'eaux douces provenant des creeks de la Baie du Prony, de la Kwé et de Port Boisé. Ces apports sont décelables dans les fines couches d'eaux de surface (-5 m) de ces baies. Les températures sont plus élevées aux stations St03, St06, St15, St16, St16 et St19. Les turbidités les plus élevées sont aux stations St06 et St15. Les salinités les plus faibles sont aux stations St03, St06, St15, St18 et St19. L'augmentation de la fluorescence s'observe quand la profondeur augmente aux stations St03, St06, St15, St16, St18 et St19. La présence de néphéloïdes est observée à la fois à la surface aux stations (St06 et St15) et au fond aux stations (St03, St06 et St15).

Les couches turbides profondes proviennent des apports terrigènes de première sédimentation et sont aussi issues des phénomènes de remise en suspension et contribuent à l'enrichissement des eaux de fond en sels nutritifs et débris végétaux accentuant la productivité biologique de ces eaux de fond.

Concernant la station St14, dont une strate plus chaude, moins salée et plus riche en phytoplancton est visible sur les premiers 10 m, elle est nettement moins influencée par ces apports terrigènes que les autres stations de baie.

Les profils permettent également de distinguer que les stations situées dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont influencées par les apports océaniques. Ces stations sont soumises à d'importants mélanges verticaux résultant des courants générés et présentent des profils de salinité, fluorescence et turbidité (St02, St05, St07, St09, St13, St20 et St21) avec peu, voire aucune évolution. Par ailleurs, les stations St02, St05, St07 et St21 échantillonnées le 10 mars n'ont pas été influencées par les fortes précipitations du jour. Toutefois, certaines de ces stations du Canal peuvent néanmoins être influencées temporairement par les apports issus des baies en fonction de l'horaire de prélèvement. Par exemple, la station St09 a montré les valeurs de fluorescence plus élevées. Cette station a été prélevée à marée montante contrairement aux autres stations du Canal qui ont été échantillonnées à l'étape de la marée haute. Les températures sont également constantes sauf pour la station St21 dont les eaux sont sensiblement plus fraîches. Les profils aux stations St05, St07, St09 et St13 montrent, par ailleurs, une transition thermique à environ 20 m de la surface ; les premiers 20 m étant plus chauds.

B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

Les concentrations des éléments majeurs et les valeurs de pH sont regroupées dans le Tableau 3 ainsi qu'en Annexe 3.

Comme observées lors des précédentes campagnes semestrielles, les concentrations des éléments majeurs ne présentent pas de différences entre les zones étudiées (Tableau 3). Celles-ci restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Le Grand *et al.*, 2010 ; Le Grand *et al.*, 2011 ; Le Grand *et al.*, 2012 ; Le Grand *et al.*, 2013 ; Le Grand *et al.*, 2014 ; Le Grand *et al.*, 2015).

Le pH moyen ne diffère pas entre les zones étudiées. Il est particulièrement homogène dans l'ensemble de la zone d'étude ($8,16 \pm 0,02$) (Tableau 3). Le pH moyen global mesuré lors de cette campagne est dans le même ordre de grandeur que celui obtenu lors de la précédente campagne de mars 2015 ($8,18 \pm 0,05$) en saison chaude.

Tableau 3 : Concentrations des éléments majeurs et valeurs du pH mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,13	424	454	1414	11566	18074	2760
	Maximum	8,19	517	467	1446	11822	19464	3110
	Moyenne	8,16	437	461	1431	11717	18754	2926
	Ecart-type	0,02	23	4	10	84	269	125
Baies du Canal	Minimum	8,13	422	451	1405	11490	18074	2720
	Maximum	8,21	438	468	1456	11897	18769	3085
	Moyenne	8,18	431	459	1433	11704	18512	2927
	Ecart-type	0,02	6	6	17	132	337	127
Baie du Prony	Minimum	8,12	424	457	1414	11520	18074	2715
	Maximum	8,15	436	469	1448	11815	18769	2985
	Moyenne	8,14	430	462	1433	11703	18576	2843
	Ecart-type	0,01	4	4	11	94	310	103
Ile Ouen	Minimum	8,10	427	456	1411	11511	18074	2805
	Maximum	8,15	446	475	1448	11817	19464	2985
	Moyenne	8,14	436	467	1432	11714	18653	2904
	Ecart-type	0,02	7	7	14	110	523	74

C. MATIERES EN SUSPENSION

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

Les concentrations de matière en suspension (MES) déterminées lors de la campagne de mars 2016 sont représentées dans la Figure 8 et le Tableau 4 ainsi qu'en Annexe 3.

Les concentrations mesurées en MES sont très variables dans la zone d'étude (Tableau 4). Les concentrations les plus faibles ont été obtenues dans la Baie du Prony. Dans cette baie, seules les stations St16 et St19 présentent une distribution verticale des concentrations en MES. Cette distribution est en accord avec les profils de fluorescence qui montrent une augmentation très prononcée avec la profondeur.

A l'inverse, la zone la plus chargée en MES est celle des Baies du Canal avec une moyenne supérieure aux autres zones étudiées. Les stations St03 et St14 présentent des concentrations de MES augmentant avec la profondeur. Pour la St03, cela se corrèle à l'augmentation de la turbidité. C'est également le cas pour les stations St06 et St15 avec des valeurs de MES et de turbidité plus importantes à la surface et au fond. En revanche, aucune corrélation n'est constatée pour la station St14. Elle se distingue pourtant du groupe avec une quantité de MES au fond de 1,92 mg/L soit 3 fois supérieure à celle mesurée à la surface (0,60 mg/L).

La concentration moyenne en MES dans le Canal Havannah est de $0,45 \pm 0,25$ mg/L. Elle est homogène selon les niveaux de profondeur sur l'ensemble les stations St05, St07, St09 de cette zone en lien avec la turbidité des colonnes d'eau de ces stations. *A contrario*, les stations St02 et St21 présentent des quantités supérieures en MES, respectivement, à mi-profondeur et à la surface. Dans la zone de l'île Ouen, les quantités de MES mesurées pour la station St13 sont plus importantes à mi profondeur et au fond qu'en surface. Sur la station St20, les quantités mesurées sont quasiment similaires aux trois niveaux de profondeur.

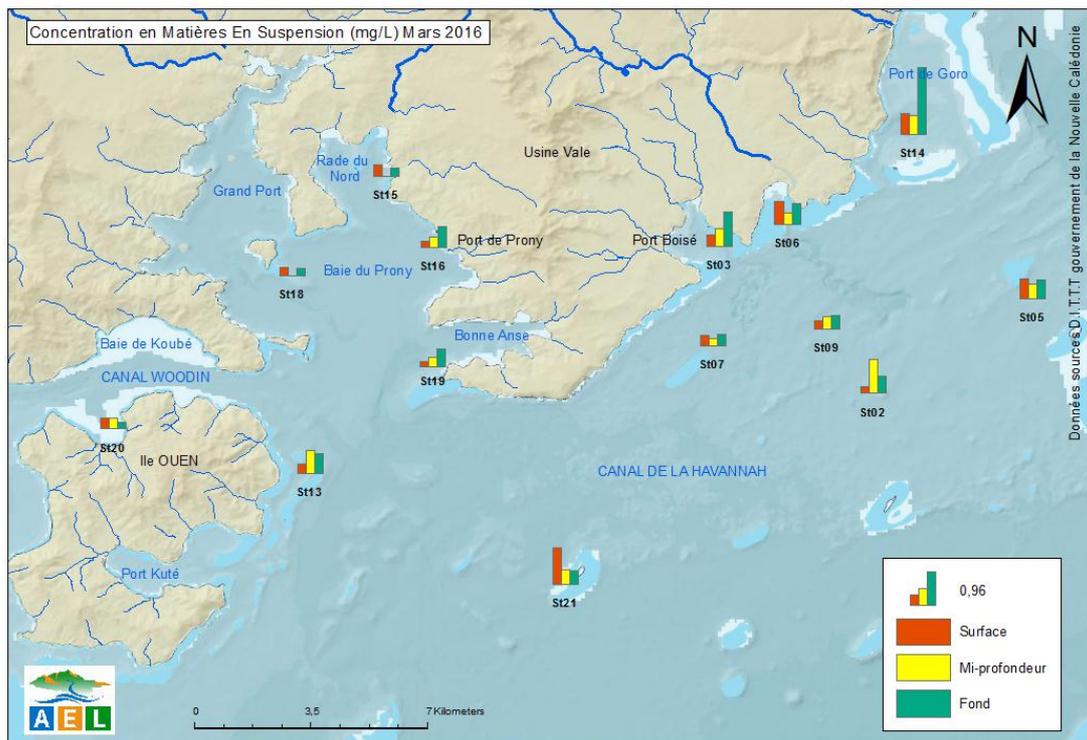


Figure 8: Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Tableau 4: Concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,200
	Maximum	1,032
	Moyenne	0,455
	Ecart-type	0,249
Baies du Canal	Minimum	0,333
	Maximum	1,916
	Moyenne	0,714
	Ecart-type	0,490
Baie du Prony	Minimum	0,158
	Maximum	0,595
	Moyenne	0,303
	Ecart-type	0,142
Ile Ouen	Minimum	0,184
	Maximum	0,667
	Moyenne	0,387
	Ecart-type	0,188

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en éléments majeurs et pH restent semblables aux différentes campagnes semestrielles effectuées et sont sensiblement homogènes entre les différentes zones étudiées.

A l'inverse, les concentrations de MES diffèrent entre les zones. En effet, ces dernières mettent en évidence les apports terrigènes et leur remise en suspension dans la Baie du Canal avec une moyenne plus importante. En revanche, dans la Baie du Prony, celle-ci est la plus faible. En ce qui concerne la distribution verticale, les concentrations mesurées dans ces baies sont nettement en lien avec les profils de turbidité et fluorescence enregistrés aux stations St03 et St06, St15, St16 et St19.

Dans le Canal de la Havannah et à l'île Ouen, où l'influence majeure est océanique, les concentrations moyennes sont également faibles. Les concentrations de MES mesurées dans cette zone sont également en lien avec les profils de turbidité et fluorescence enregistrés sauf pour les stations St02, St13 et St21.

D. SELS NUTRITIFS

Rappel : L'usage des limites de quantification (LQ) permet de garantir le niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements numériques lorsque les éléments sont en très faibles concentrations, mais supérieures aux limites instrumentales. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Afin de se rapprocher de la réalité, certaines équipes font appel aux limites de détection (LD), plus basses que les LQ. Dans cette étude, la relation qui peut être admise entre ces deux grandeurs correspond à un facteur 3. Ainsi, pour les analyses effectuées par le laboratoire AEL, les valeurs comprises entre ces deux seuils ont été prises en compte tandis que les valeurs inférieures à cette LD sont considérées comme nulles.

Note : Les concentrations comprises entre les valeurs nulles (inférieures à la LD) et la LQ sont prises en compte dans les calculs de moyennes et écart-types, ce qui explique que les moyennes calculées soient inférieures aux LQ dans les tableaux du rapport.

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle de mars 2016 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 10, Figure 11 et Figure 12 et dans le Tableau 5 ainsi qu'en Annexe 4.

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	0,055	0,034	0,070	0,80
	Maximum	0,312	0,211	0,139	2,91
	Moyenne	0,239	0,128	0,100	1,50
	Ecart-type	0,075	0,041	0,017	0,64
Baies du Canal	Minimum	0,053	0,050	0,047	1,27
	Maximum	0,268	0,267	0,113	3,98
	Moyenne	0,158	0,125	0,075	1,82
	Ecart-type	0,075	0,070	0,021	0,89
Baie du Prony	Minimum	<0,017	0,029	<0,017	0,49
	Maximum	0,224	0,279	0,112	3,99
	Moyenne	0,068	0,084	0,050	1,57
	Ecart-type	0,074	0,073	0,033	0,91
Ile Ouen	Minimum	0,023	0,042	0,030	0,63
	Maximum	0,257	0,141	0,072	2,72
	Moyenne	0,102	0,082	0,051	1,44
	Ecart-type	0,085	0,042	0,016	0,76

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,050 µmol/L) et >LD (0,017 µmol/L).

1. Nitrates et nitrites

Rappel : L'ion nitrate (NO₃⁻) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le NO₃). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en NO₃ variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.

Note : Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO₃ est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO₂) obtenus par réduction des ions NO₃. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrates + nitrites (NO₃+NO₂) par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

Les concentrations moyennes obtenues en NO₃+NO₂ diffèrent sensiblement entre les zones d'étude. Elles oscillent entre 0,068 ± 0,074 µmol/L (Baie du Prony) et 0,239 ± 0,075 µmol/L (Canal de la Havannah) avec des écart-types notables pour les zones de la Baie du Prony et de l'Ile Ouen (Tableau 5).

En ce qui concerne la distribution verticale, excepté les stations St06, St18 et St20, les eaux de fond d'autres stations concentrent les NO₃+NO₂. Ce gradient est relativement prononcé pour les stations des baies, voire à l'île Ouen, tandis qu'il est plus ténu pour les stations du Canal de la Havannah. En effet, dans la Baie du Prony et à l'île Ouen, les concentrations en NO₃+NO₂ à plusieurs stations demeurent non quantifiables à la surface et à mi-profondeur de la colonne d'eau (St15, St16, St19 et St20).

Sur l'île Ouen, la station St13 se distingue de la station St20 avec des concentrations en NO₃+NO₂ relativement plus fortes à la surface et au fond de la colonne d'eau (Figure 9).

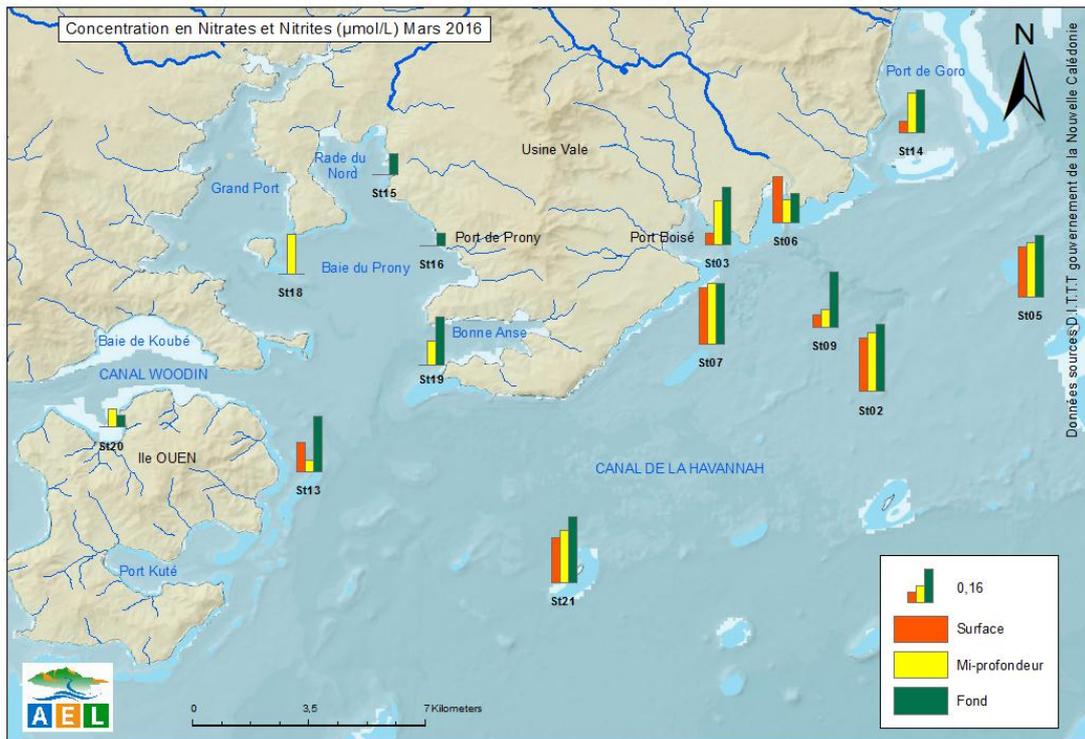


Figure 9: Concentrations en nitrates et nitrites (NO₃+NO₂) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

2. Ammonium

Rappel: Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH₄⁺). 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.

Comme pour le NO₃+NO₂, la concentration moyenne d'ammonium (NH₄) la plus haute a été obtenue pour le canal de la Havannah avec 0,128 ± 0,041 µmol/L et est très proche de la concentration moyenne de la zone des Baies du Canal (0,125 ± 0,070 µmol/L). A *contrario*, les concentrations moyennes les plus faibles ont été obtenues dans les zones de Baie du Prony et Ile Ouen (0,084 ± 0,073 et 0,082 ± 0,042 µmol/L, respectivement) (Tableau 5).

La Baie du Prony présente également les concentrations en NH_4 les plus dispersées. En effet, l'on observe en St19 la concentration la plus basse (0,029 $\mu\text{mol/L}$ en surface) et en St16 la concentration la plus élevée (0,279 $\mu\text{mol/L}$ au fond).

Globalement, les eaux de fond concentrent plus de NH_4 , exception faite pour les stations St06 et St15. Cette distribution verticale est particulièrement remarquable pour les stations St03 et St16 où les concentrations maximales ont été enregistrées (0,267 et 0,279 $\mu\text{mol/L}$, respectivement).

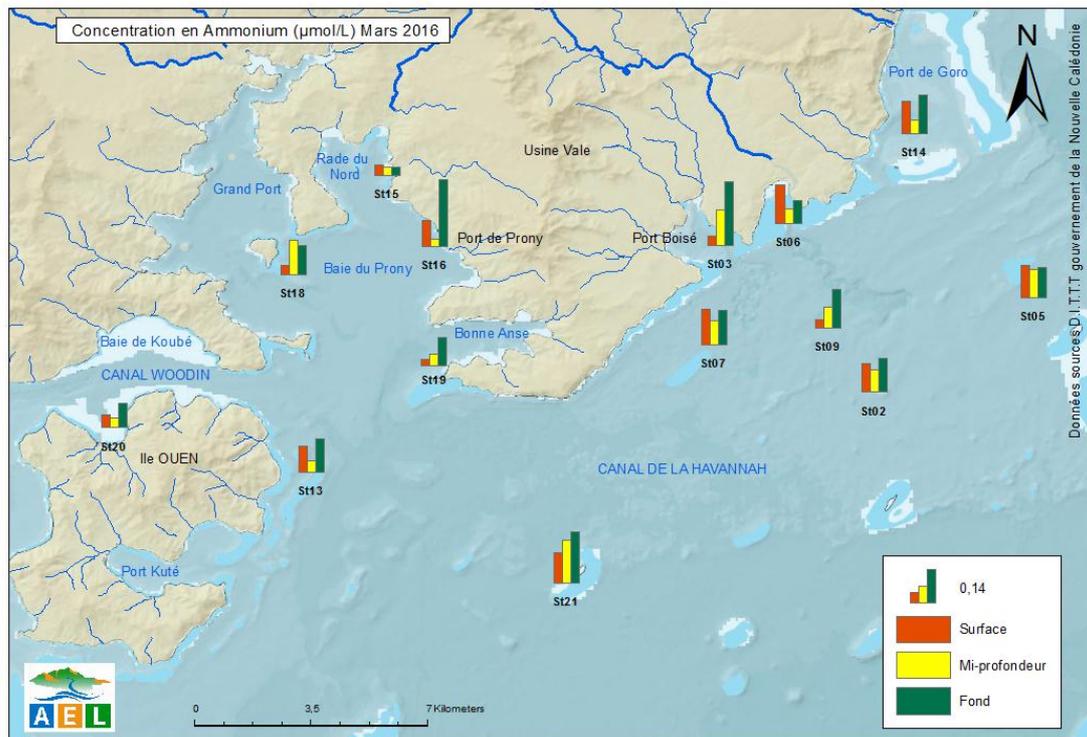


Figure 10: Concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

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 superficielle qui reçoit suffisamment de lumière pour que la production végétale y excède les pertes). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène et/ou anthropique.

Les variations des concentrations moyennes de phosphates (PO_4) sont moins prononcées mais suivent le même schéma que les concentrations de NH_4 et de NO_3+NO_2 . Elles sont légèrement plus élevées dans le Canal de la Havannah et ses baies (0,100 \pm 0,017 et 0,075 \pm 0,021 $\mu\text{mol/L}$, respectivement) et plus faibles dans la Baie du Prony et Ile Ouen (0,050 \pm 0,033 et 0,051 \pm 0,016 $\mu\text{mol/L}$, respectivement) (Tableau 5).

Toutefois, elles ne présentent pas de distribution verticale singulière comme constatée pour le NH_4 et NO_3+NO_2 .

Plus faibles, les concentrations en PO_4 restent globalement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude. L'exception est tout de même faite pour les concentrations mesurées dans la Baie du Prony puisqu'elles oscillent entre <LD (St19) à 0,112 $\mu\text{mol/L}$ (St16) (Figure 11).

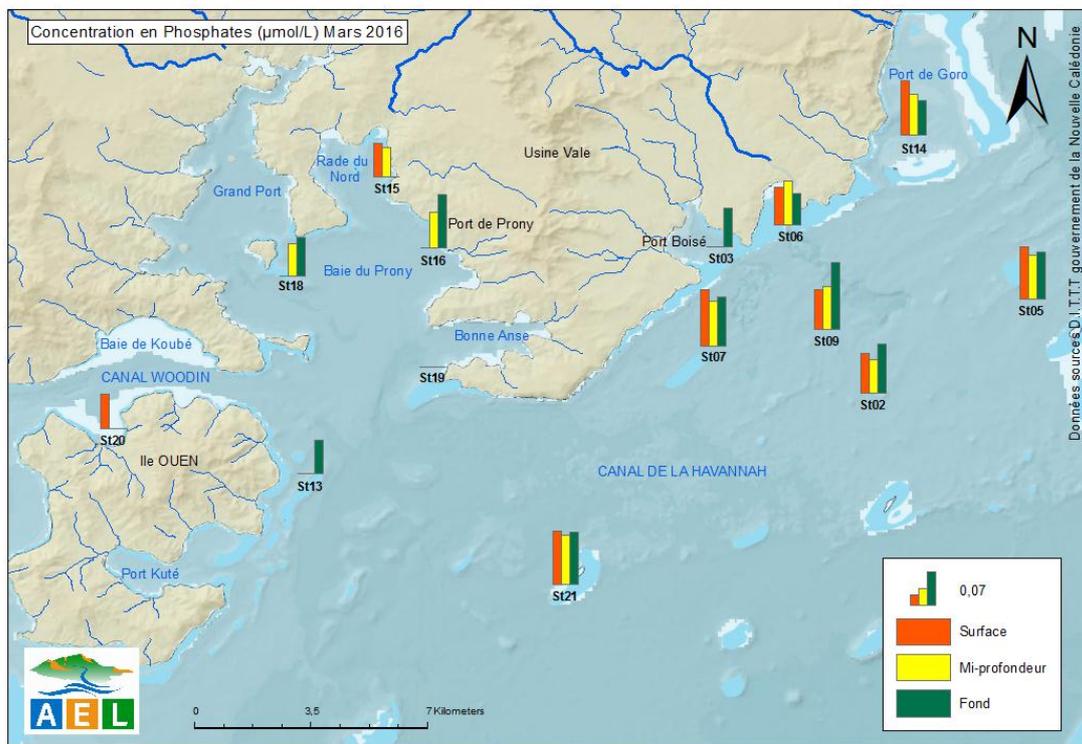


Figure 11: Concentrations en phosphates (PO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

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 silicates, dans certains contextes géologiques comme en Nouvelle-Calédonie, sont aussi des traceurs de l'altération des roches terrestres.

La distribution spatiale et verticale des SiO_4 diffère de celle des autres formes de sels nutritifs. La concentration moyenne en SiO_4 obtenue dans le Canal de la Havannah est l'une des plus faibles ($1,50 \pm 0,64 \mu\text{mol/L}$), tandis que celle mesurée dans les Baies du Canal est la plus élevée ($1,82 \pm 0,89 \mu\text{mol/L}$) (Tableau 5). Cette dernière est majorée par la valeur haute de $3,98 \mu\text{mol/L}$ relevée dans les eaux de surface de la station St06. En outre, une concentration équivalente a également été mesurée à la surface de la station St18 ($3,99 \mu\text{mol/L}$) (Figure 12).

D'une part, ces résultats mettent en évidence une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante et d'autre part, elles sont inversement corrélées aux profils de salinité. En effet, les eaux de surface des stations St06 et St18 présentent une forte dessalure jusqu'au 5 m de profondeur. Ces observations regroupées

traduisent la présence des apports terrigènes arrivant par les différents réseaux d'eau douce dans les baies de Kwé et du Prony.

Par ailleurs, il semblerait que les vents moyens de 10-15 ESE enregistrés le jour des prélèvements dans la Baie du Prony aient poussé les eaux dessalées de surface vers la station St18. Ceci explique le profil de salinité et la concentration de SiO_4 obtenue à la station St18 par rapport aux stations St15, St16 et St19 qui sont pourtant plus proches des termes sources d'apports en eau douce. La campagne de prélèvement d'avril 2014 effectuée sous les conditions semblables (vent de 10-15 E et 1,6 mm de pluie) avait donné des résultats comparables (Le Grand *et al.*, 2014). En revanche, lors de celle de mars 2015 effectuée sous des conditions plus clémentes (pas de vent ni de pluie), les concentrations hautes dans la Baie du Prony ont été enregistrées à la surface pour les stations St 15, St16 et St19 (Le Grand *et al.*, 2015).

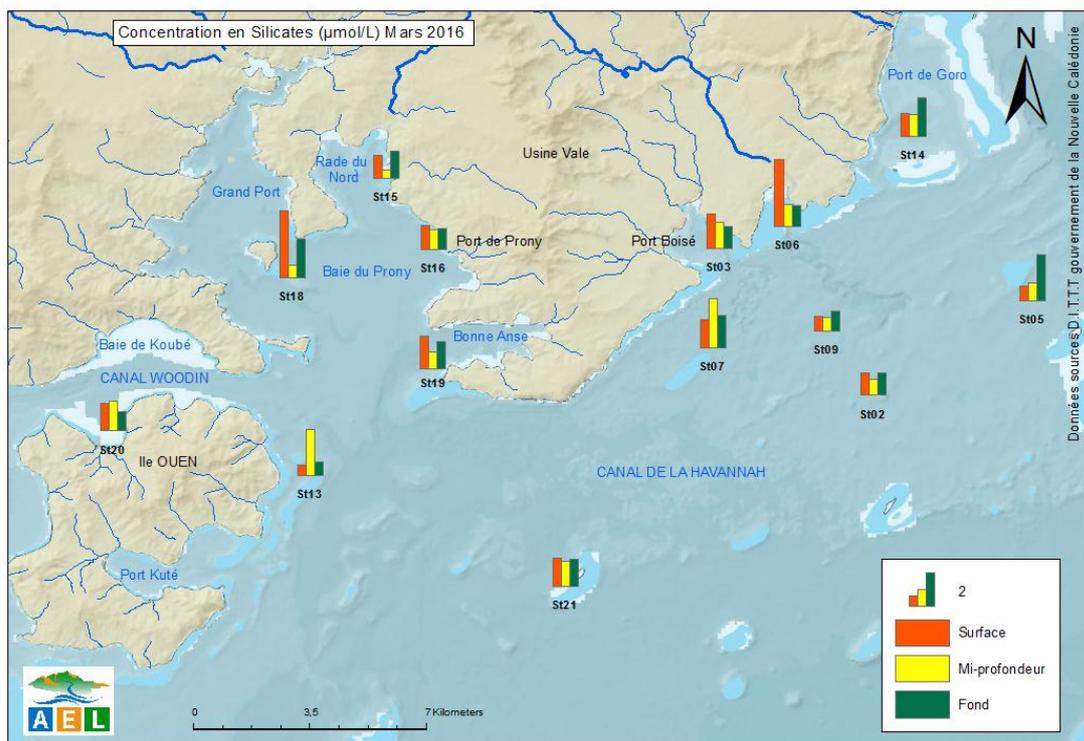


Figure 12: Concentrations en silicates (SiO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Ce qu'il faut retenir :

Les distributions des concentrations des différents sels nutritifs mettent en évidence les diverses influences agissant dans le lagon du Sud de la Nouvelle-Calédonie. La répartition des concentrations de NO_3+NO_2 semble majoritairement être influencée par les apports océaniques. Les concentrations les plus élevées et les moins dispersées ont été mesurées aux stations soumises au plus fort hydrodynamisme (St02, St05, St07, St09 et St21). Les concentrations commencent à s'affaiblir aux stations situées à l'entrée des baies (St03, St06 et St13 et St19) alors que dans les eaux de fond de baie (St15, St16, St18 et St20), elles sont très faibles voir non quantifiables et plus disparates. Aux stations St15, St16 et St19, les eaux de fond concentrent plus de NO_3+NO_2 , ce qui montre la présence de matière organique comme le soulignent les profils de la fluorescence.

Pour le NH_4 et PO_4 , la répartition est moins singulière. Les concentrations semblent être influencées à la fois par les apports océaniques et terrigènes, voire anthropiques. Sur l'ensemble de la zone d'étude, parmi les sels nutritifs analysés, les concentrations de PO_4 sont moins dispersées tant horizontalement que verticalement. Les

concentrations de NH_4 les plus importantes ont été mesurées dans le Canal de la Havannah et les Baies de Canal, mais particulièrement dans les eaux de fond aux stations St03 et St16. La présence de NH_4 dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Ces stations subissent probablement les impacts des installations hôtelière (St03) et portuaire (St16).

En revanche, les concentrations de SiO_4 mettent en évidence les apports terrigènes grâce à leur distribution « côte-large » et « surface-fond » dans les eaux de surface du St06 et St18. Celles-ci sont inversement corrélées aux valeurs de salinité.

L'étude temporelle ne montre pas d'évolution particulière des concentrations moyennes de NO_3+NO_2 , NH_4 , PO_4 et SiO_4 obtenues dans les 4 zones étudiées depuis le début des campagnes « saisons chaudes ». Elles restent globalement dans le même ordre de gamme depuis 2007 (Annexe 7).

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle de mars 2016 sont regroupées dans les Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16 et Figure 17 et dans le Tableau 6 ainsi qu'en Annexe 5.

Tableau 6 : Concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique ($\mu\text{mol/L}$)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	2,94	0,56	0,000	0,049	1,27
	Maximum	8,56	1,15	0,505	0,119	13,7
	Moyenne	3,69	0,80	0,109	0,070	6,45
	Ecart-type	1,41	0,16	0,116	0,017	3,39
Baie Canal	Minimum	3,76	0,88	0,035	0,077	7,71
	Maximum	6,94	1,61	0,150	0,140	16,0
	Moyenne	4,77	1,17	0,109	0,107	10,5
	Ecart-type	1,09	0,26	0,023	0,023	2,93
Baie du Prony	Minimum	2,45	0,49	0,000	0,046	5,46
	Maximum	5,13	1,82	0,218	0,145	8,15
	Moyenne	3,71	1,26	0,096	0,103	7,47
	Ecart-type	0,68	0,33	0,060	0,028	1,14
Ile Ouen	Minimum	3,52	1,00	0,000	0,108	8,15
	Maximum	5,46	1,32	0,122	0,151	14,4
	Moyenne	4,25	1,18	0,054	0,128	10,7
	Ecart-type	0,81	0,12	0,055	0,015	2,32

1. Azote et phosphore organiques dissous

Rappel : La contribution naturelle de l'azote et du phosphore organique 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 organiques dissous est très faible, particulièrement dans l'océan ouvert.

Dans l'ensemble, les concentrations d'azote organique dissous (NOD) sont relativement homogènes au sein de la zone d'étude et de la colonne d'eau. Quant à celles de phosphore organique dissous (POD), elles sont plus variables (Tableau 6). En dépit de cette variabilité des concentrations, aucune évolution horizontale n'est constatée pour les POD. En ce qui concerne, la distribution verticale, les POD semblent se concentrer légèrement plus dans les eaux de fond notamment aux stations dans la Baie du Prony (St15, St16, St8 et St19).

Les concentrations de NOD les plus dispersées sont mesurées dans la zone du Canal de la Havannah. Ceci s'explique par les fortes concentrations de NOD mesurées à la station St21 à mi- profondeur (Figure 13). Il est à noter que la plus forte concentration de POD a également été mesurée à la station St21 à mi- profondeur (Figure 14). Elles sont 2,8 et 6,1 fois, respectivement, plus élevées que celles mesurées à la surface et au fond.

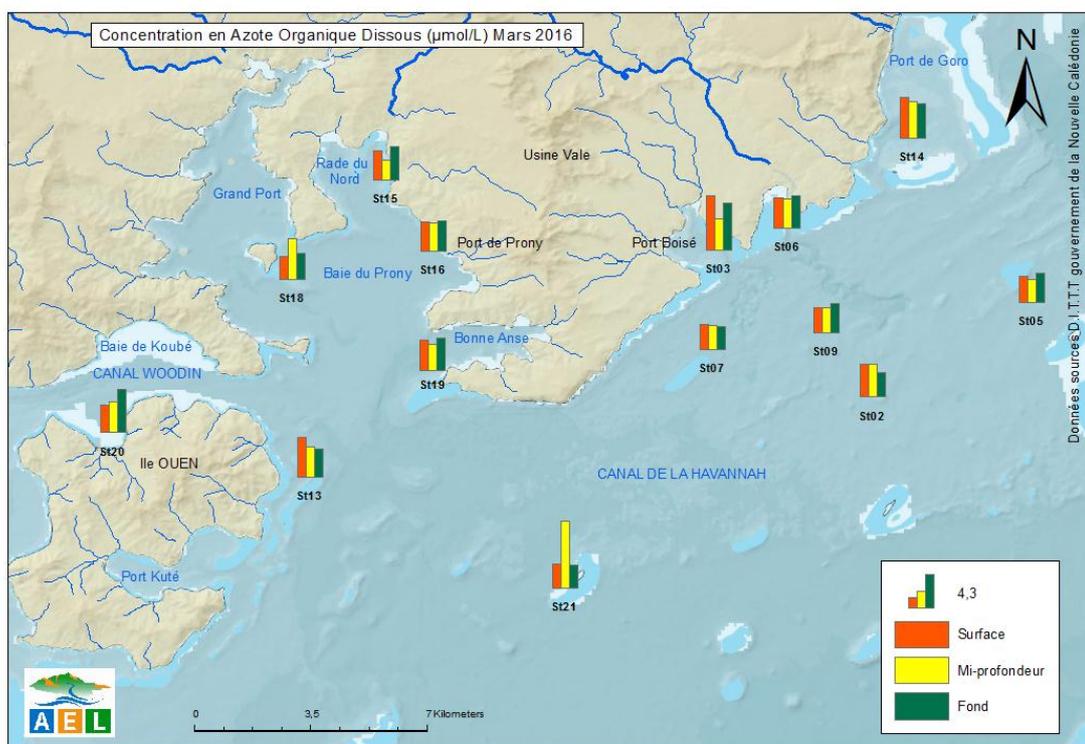


Figure 13 : Concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

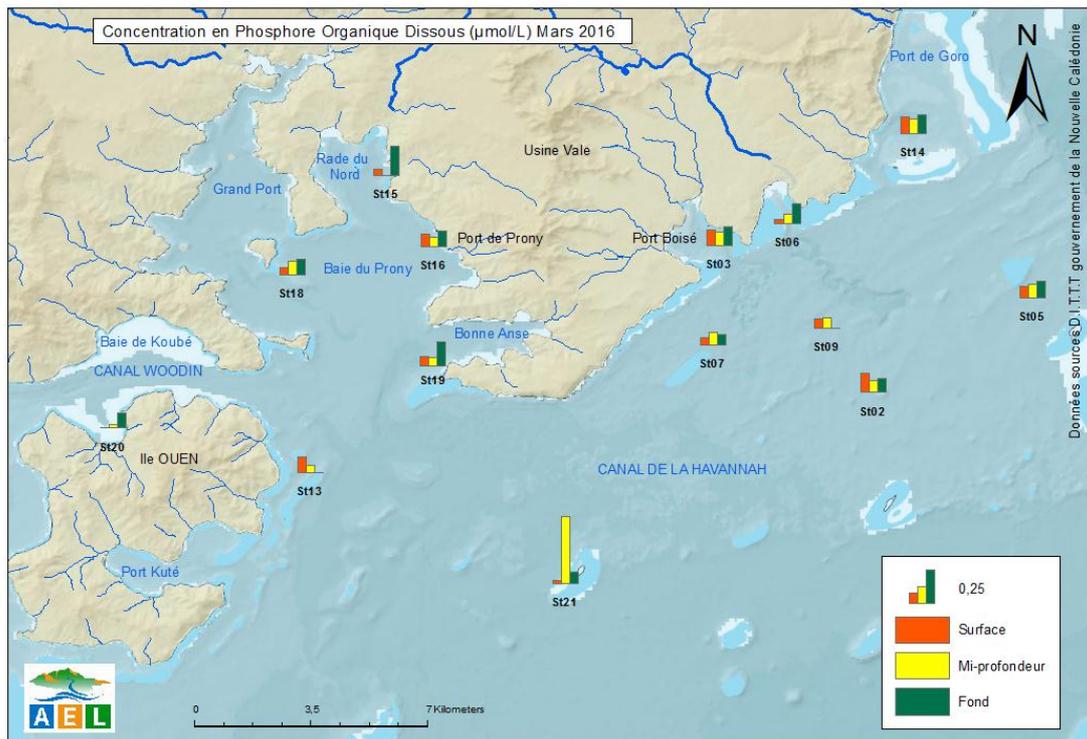


Figure 14 : Concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

2. Azote, carbone 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.

Note : La distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire. Cependant, les études environnementales fixent généralement la limite de taille à $0,45 \mu\text{m}$ (Strickland et Parsons 1972). Grâce à des filtres la charge organique particulaire est récupérée et analysée.

Pour l'azote et le phosphore organique particulaire (NOP et POP), la distribution des concentrations moyennes montre clairement un gradient « côte-large » décroissant. Les concentrations les plus faibles sont en effet mesurées dans le Canal de la Havannah. En ce qui concerne le carbone organique particulaire (COP), elles sont également mesurées dans le Canal de la Havannah (Tableau 6).

Pour les trois paramètres, une distribution verticale est constatée, notamment pour le COP. Mis à part les quelques stations au milieu du Canal de la Havannah (St02, St05 et St07), les concentrations en COP augmentent avec la profondeur. Pour le NOD et POD, c'est également le cas pour les stations situées dans la Baie du Prony. Ces résultats sont corrélés avec les profils de fluorescence aux stations St15, St16, St18 et St19 (Figure 15, Figure 16 et Figure 17).

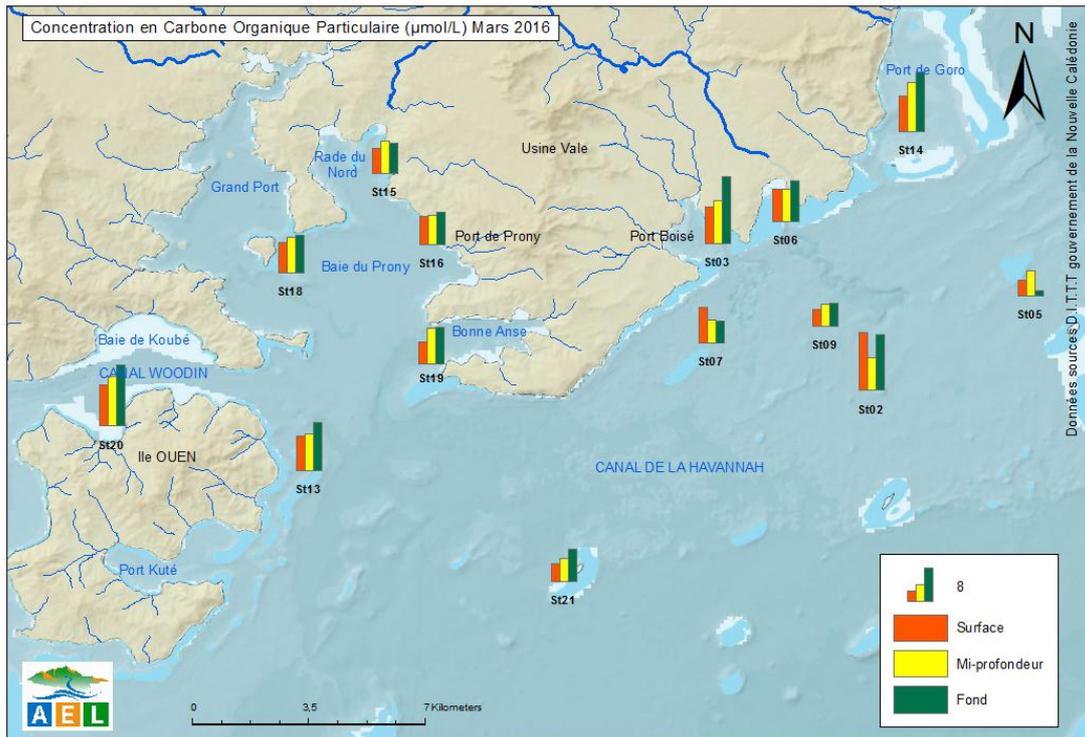


Figure 15 : Concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

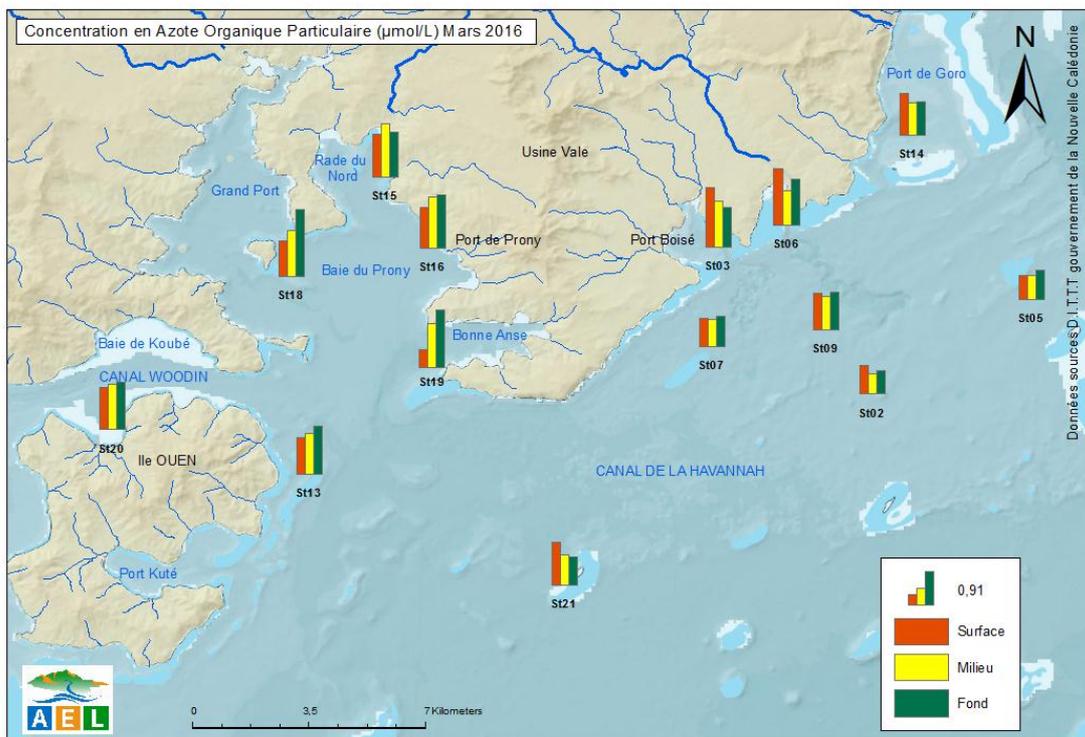


Figure 16 : Concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

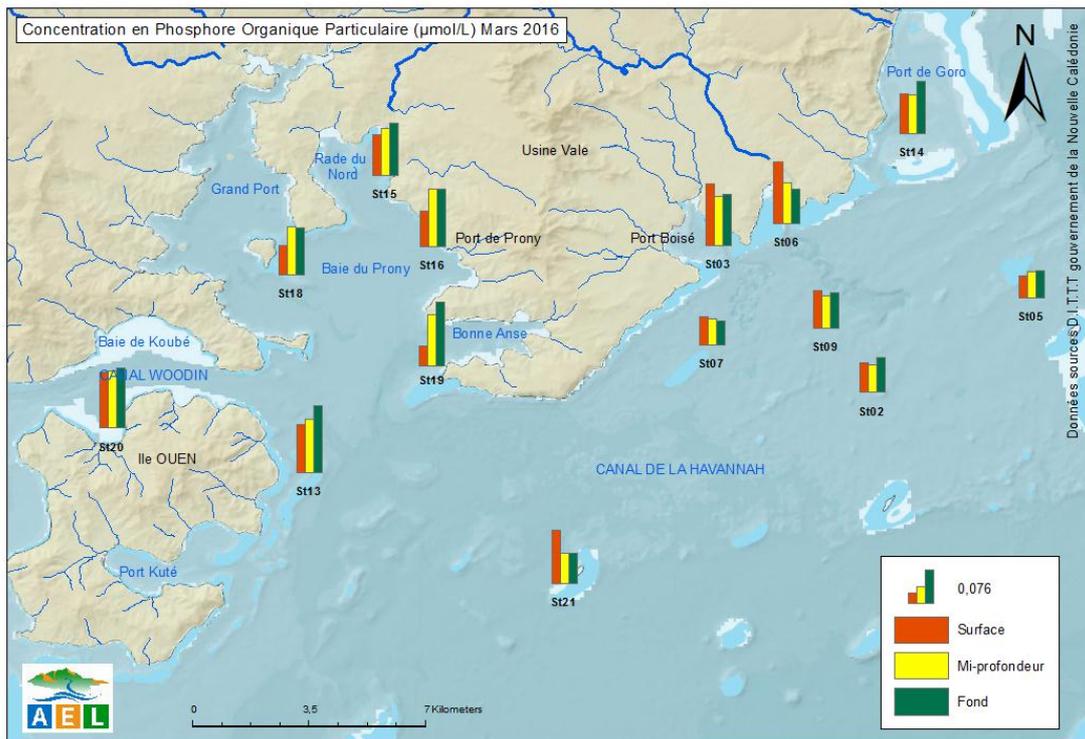


Figure 17 : Concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

F. CHLOROPHYLLE A

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

Les concentrations de chlorophylle *a* déterminées lors de la campagne de mars 2016 sont représentées dans la Figure 18 et dans le Tableau 7 ainsi qu'en Annexe 5.

Les concentrations de chlorophylle *a* obtenues sont très variables. Les eaux de Baies du Canal sont les plus chargées en chlorophylle *a* alors que celles du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony sont les zones les moins chargées (Tableau 7). Malgré les faibles concentrations mesurées dans la Baie du Prony, la chlorophylle *a* se concentre dans les eaux de mi-profondeur et du fond, ce qui est en corrélation avec les profils de fluorescence aux stations St15, St16 et St19. Les faibles concentrations des stations St15, St18 et St19 contrastent avec la forte concentration du fond de la station St16 (1,13 μg/L), ce qui explique le fort écart-type calculé pour cette zone (moyenne de 0,300 μg/L ± 0,293) (Figure 18).

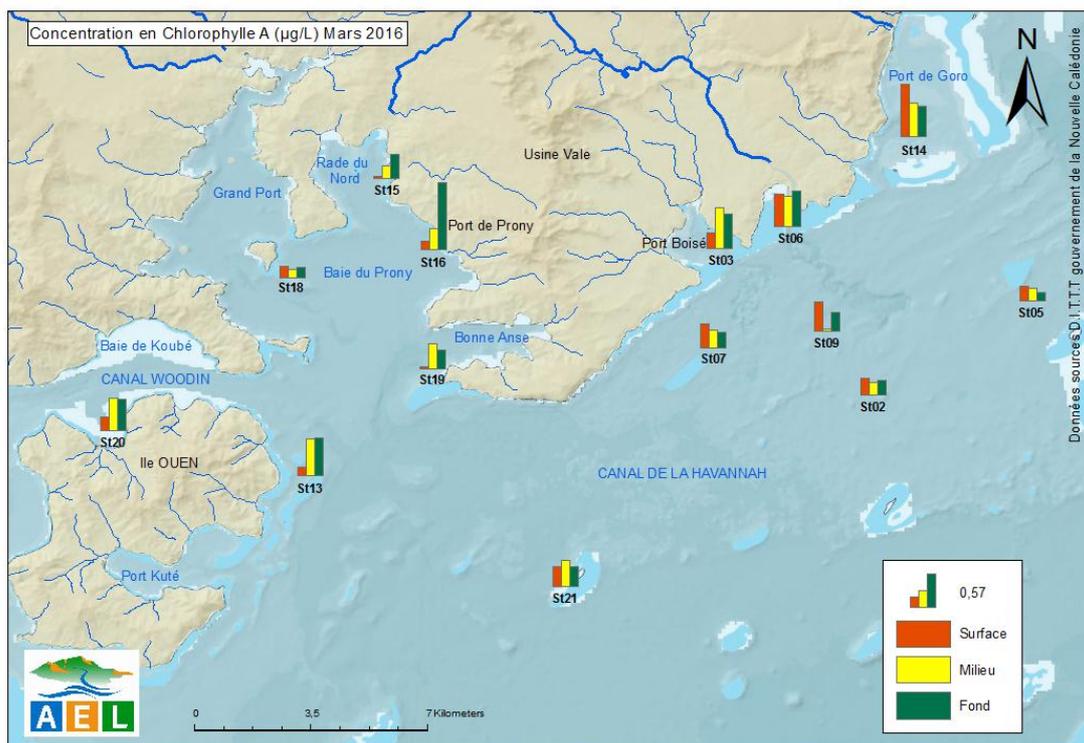


Figure 18 : Concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Tableau 7: Concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$)
Canal de la Havannah	Minimum	0,024
	Maximum	0,491
	Moyenne	0,283
	Ecart-type	0,117
Baie Canal	Minimum	0,257
	Maximum	0,870
	Moyenne	0,570
	Ecart-type	0,162
Baie du Prony	Minimum	0,028
	Maximum	1,132
	Moyenne	0,300
	Ecart-type	0,293
Ile Ouen	Minimum	0,141
	Maximum	0,636
	Moyenne	0,453
	Ecart-type	0,212

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations de NOD, POD et COP ne présentent pas de distribution spatiale marquée au sein de la zone d'étude. En revanche, pour NOP et POP, voire pour la chlorophylle a , les concentrations diminuent en s'éloignant des baies. Dans la Baie du Prony, l'on constate que les concentrations en POD, NOP, POP et chlorophylle a augmentent avec la profondeur, en corrélation avec les profils de la fluorescence aux stations St15, St16, St18 et St19.

Globalement, les concentrations de NOD, NOP et COP mesurées lors de la campagne de mars 2016 restent dans le même ordre de gamme que celui des campagnes « saison chaude » depuis 2007. En revanche, les concentrations de POD sont en diminution et celles de POP en légère augmentation (Annexe 8).

G. METAUX DISSOUS

Rappel : L'usage des limites de quantification (LQ) permet de garantir le niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements numériques lorsque les éléments sont en très faibles concentrations, mais supérieures aux limites instrumentales. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Afin de se rapprocher de la réalité, certaines équipes font appel aux limites de détection (LD), plus basses que les LQ. Dans cette étude, la relation qui peut être admise entre ces deux grandeurs correspond à un facteur 3. Ainsi, pour les analyses effectuées par le laboratoire AEL, les valeurs comprises entre ces deux seuils ont été prises en compte tandis que les valeurs inférieures à cette LD sont considérées comme nulles. En ce qui concerne les analyses effectuées par un laboratoire prestataire dont les données en dessous de la LQ ne sont pas fournies, celles-ci sont minorées à $LQ/3$ pour les traitements numériques.

Note : Les concentrations comprises entre les valeurs nulles (inférieures à la LD) et la LQ sont prises en compte dans les calculs de moyennes et écart-types, ce qui explique que les moyennes calculées soient inférieures aux LQ dans les tableaux du rapport.

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle de mars 2016 sont regroupées dans les Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23 et Figure 24 et dans les Tableau 8 et Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Les concentrations de Cd sont toutes en dessous de la LQ fixée ($<0,025 \mu\text{g/L}$) ; cet élément étant présent à l'état de traces dans les roches latéritiques du sud calédonien ([Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981](#)). Une seule concentration en Pb et Zn a été quantifiable au niveau de l'île Ouen en St13, au fond pour chacun de ces éléments avec respectivement $0,191$ et $3,07 \mu\text{g/L}$. Pour rappel, la limite de quantification du Pb est de $0,100 \mu\text{g/L}$ et $1,00 \mu\text{g/L}$ pour Zn.

Les concentrations moyennes d'As sont relativement proches pour l'ensemble des zones étudiées (Tableau 8). En effet, aucune tendance claire (horizontale ni verticale) n'est constatée (Figure 19). L'arsenic étant un élément ubiquiste, les variations sans un apport tiers, sont à lier avec les évolutions naturelles du milieu.

Une seule valeur au-dessus de la LQ a été déterminée pour le Fe à mi profondeur de la station St19 ($0,088 \mu\text{g/L}$). Peu de valeurs se situent entre la LD et la LQ. Elles sont données à titre indicatif (Tableau 8).

Le Cu ne présente pas de distribution particulière au sein du domaine d'étude. Toutefois, sur les cinq stations montrant la présence quantifiable de Cu, trois se situent dans la Baie du Prony autour de l'installation portuaire dont notamment la station St19 qui a montré des concentrations mesurables aux trois niveaux de profondeur. Néanmoins, c'est la station St13 qui se démarque avec une concentration maximale mesurée de 0,203 µg/L (Tableau 8).

Tableau 8 : Concentrations de métaux dissous (As, Cr^{VI}, Crtot, Co et Cu) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		As*	Cr ^{VI}	Crtot	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	0,03	0,102	0,137	<0,009	<0,008
	Maximum	2,60	0,132	0,255	<0,009	0,026
	Moyenne	1,78	0,117	0,155	-	0,002
	Ecart-type	0,64	0,010	0,029	-	0,007
Baies du Canal	Minimum	1,20	0,115	0,153	<0,009	<0,008
	Maximum	3,10	0,272	0,329	0,114	0,014
	Moyenne	1,81	0,157	0,222	0,034	0,002
	Ecart-type	0,60	0,057	0,071	0,038	0,005
Baie du Prony	Minimum	0,03	0,130	0,165	0,010	<0,008
	Maximum	2,50	0,295	0,319	0,069	0,043
	Moyenne	1,46	0,181	0,223	0,028	0,016
	Ecart-type	0,61	0,045	0,050	0,019	0,019
Ile Ouen	Minimum	0,03	0,115	0,145	0,015	<0,008
	Maximum	2,30	0,147	0,185	0,032	0,203
	Moyenne	1,24	0,130	0,163	0,020	0,038
	Ecart-type	1,01	0,011	0,015	0,007	0,081

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,027 et 0,025 µg/L, respectivement pour Co et Cu) et >LD (0,009 et 0,008 µg/L, respectivement, pour Co et Cu). * : les analyses effectuées par un laboratoire prestataire dont les valeurs en dessous de la LQ n'étant pas fournies sont minorées à LQ/3.

Tableau 9 : Concentrations de métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	<0,023	<0,009	0,045	<0,033	<0,33
	Maximum	0,053	0,093	0,135	0,082	<0,33
	Moyenne	0,004	0,044	0,079	0,017	-
	Ecart-type	0,014	0,020	0,021	0,026	-
Baies du Canal	Minimum	<0,023	0,034	0,053	<0,033	<0,33
	Maximum	<0,023	0,394	0,571	<0,033	<0,33
	Moyenne	-	0,140	0,214	-	-
	Ecart-type	-	0,110	0,179	-	-
Baie du Prony	Minimum	<0,023	0,016	0,075	<0,033	<0,33
	Maximum	0,088	0,396	0,453	0,040	0,923
	Moyenne	0,019	0,168	0,199	0,003	0,136
	Ecart-type	0,030	0,124	0,116	0,012	0,320
Ile Ouen	Minimum	<0,023	0,054	0,102	<0,033	<0,33
	Maximum	<0,023	0,143	0,184	0,191	3,07
	Moyenne	-	0,097	0,141	0,039	3,07
	Ecart-type	-	0,030	0,027	0,077	0,51

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,068, 0,028, 0,100 et 1,00 µg/L, respectivement pour Fe, Mn, Pb et Zn) et >LD (0,023, 0,009, 0,033 et 0,333 µg/L, respectivement, Fe, Mn, Pb et Zn).

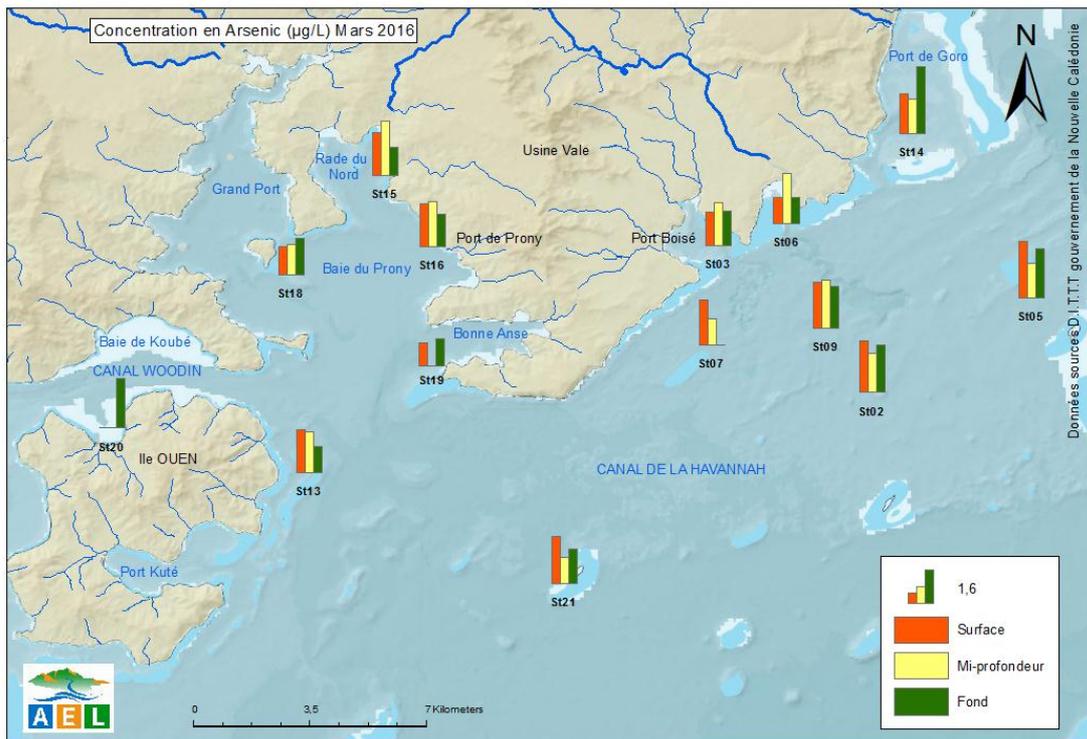


Figure 19 : Concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Les métaux dissous Cr^{VI} , Crtot, Co, Mn et Ni présentent une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante bien définie. Les résultats, inversement corrélés aux profils de salinité, distinguent les stations du Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21), influencées par les apports océaniques, des stations de baies (St03, St06, St14, St15, St16 et St19), influencées par les apports terrigènes des rivières et creeks. Autour de l’Ile Ouen (St13 et St20), les niveaux de concentrations sont intermédiaires (Tableau 8 et Tableau 9).

A quelques exceptions près (St06, St09 et St15), les distributions spatiale et verticale des concentrations Cr^{VI} et Cr-total sont quasi-identiques. Globalement, les valeurs maximales se concentrent aux stations St03, St06, St15, St16, St18 et St19 dans les eaux de surface (Figure 20 et Figure 21). Comme pour le Cr^{VI} et Crtot, les maximales de concentrations en Co, Mn et Ni ont également été mesurées dans les eaux de surface des stations St03, St06, St15, St16, St18 et St19. Les répartitions verticale et horizontale des concentrations de Co, Mn et Ni sont fortement corrélées (Figure 22, Figure 23 et Figure 24).

Il est à noter que la station St18 se distingue lors de cette campagne par des concentrations en Co, Cr^{VI} et Crtot, Mn et Ni dans les eaux de surface aussi fortes, voire plus fortes, que celles enregistrées aux stations St15, St16 et St19 soumises aux apports d’eau douce. Ces résultats sont en accord avec le profil de salinité et les concentrations de SiO_4 acquis qui avaient suggéré le déplacement de masse d’eau de surface vers cette station avec les vents venant de ESE enregistrés le jour du prélèvement dans la Baie du Prony.

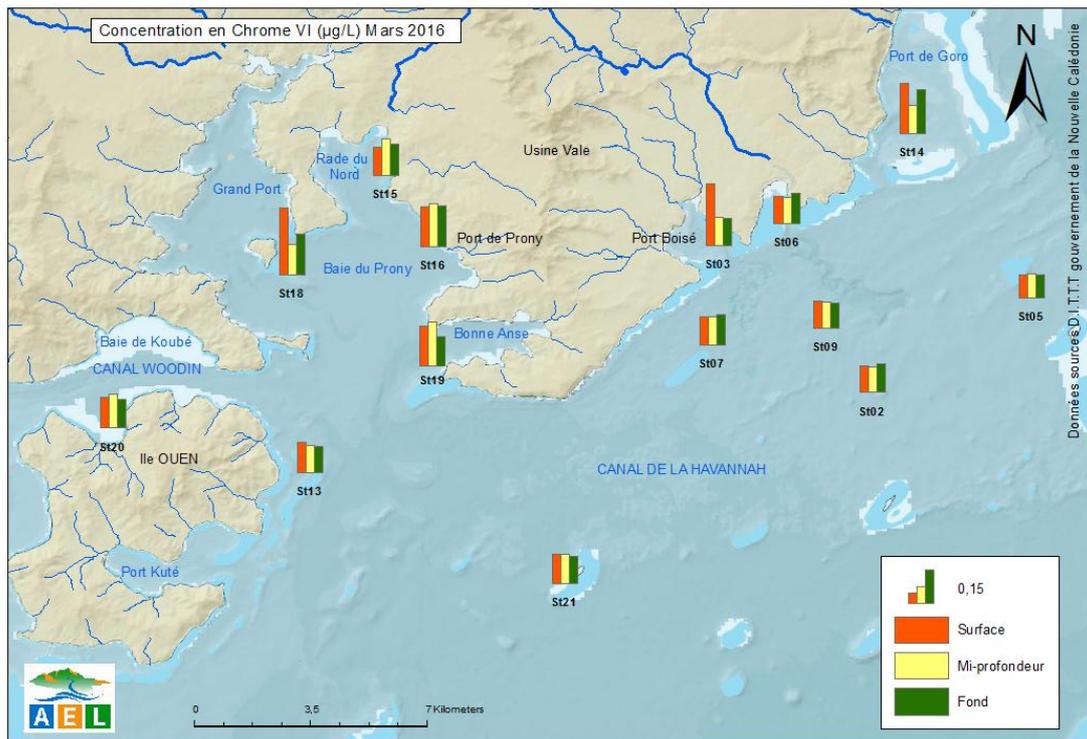


Figure 20 : Concentrations en chrome (CrVI) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

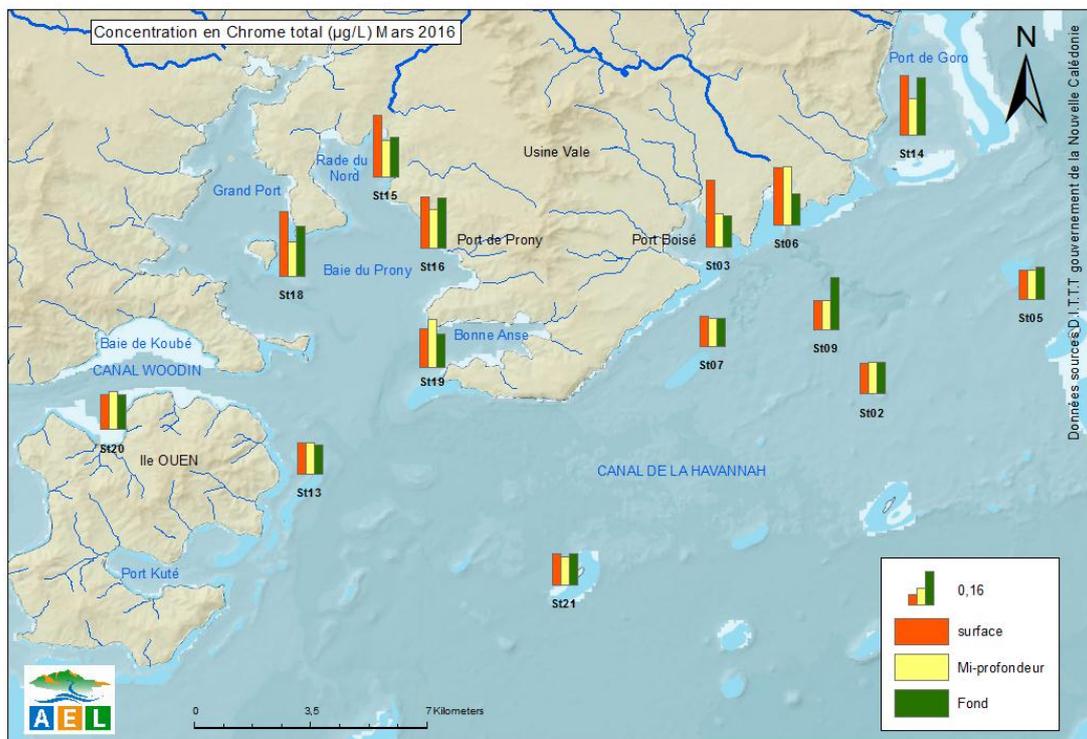


Figure 21 : Concentrations en chrome-total (CrTot) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

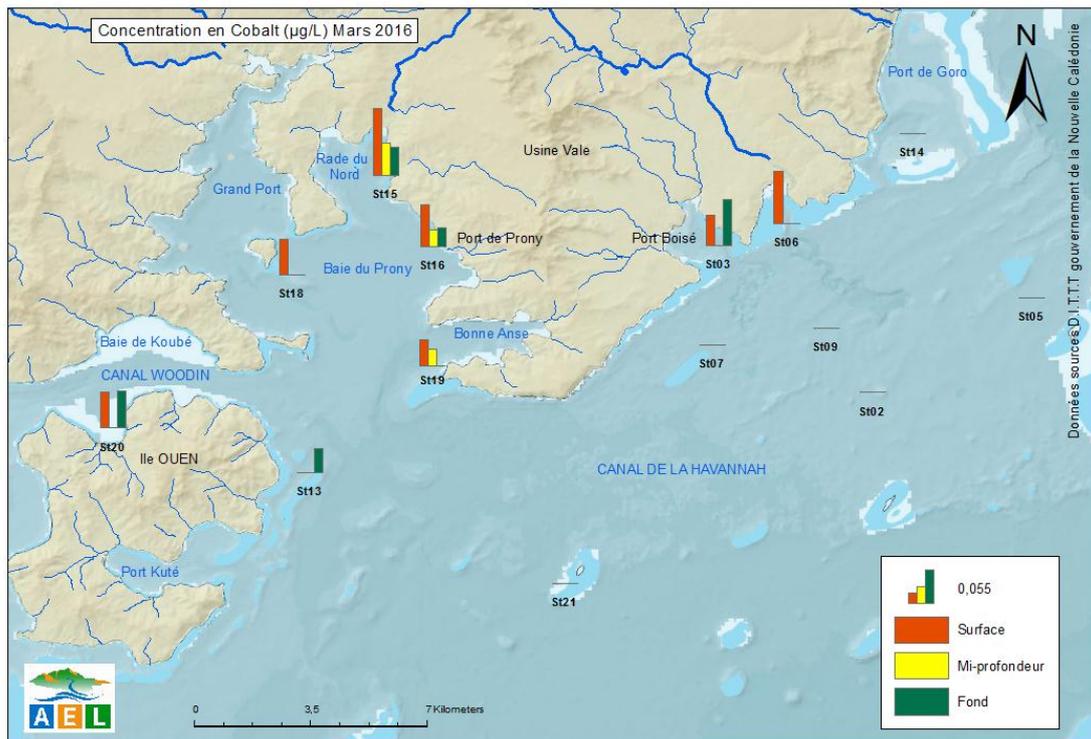


Figure 22 : Concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

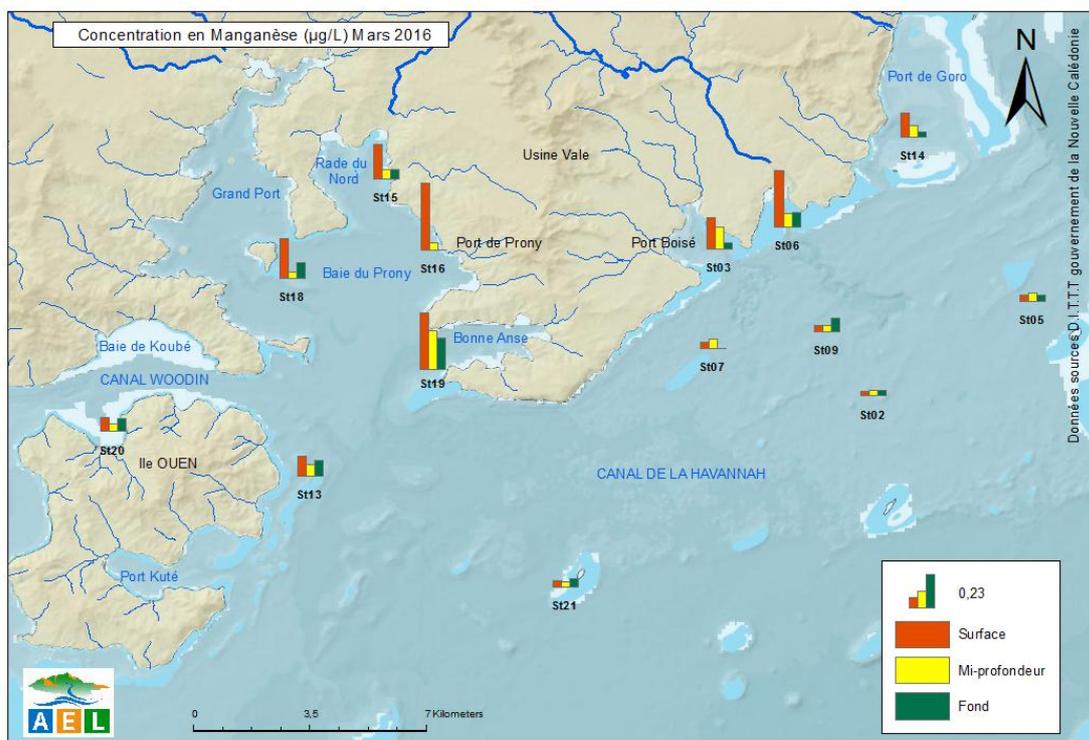


Figure 23 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

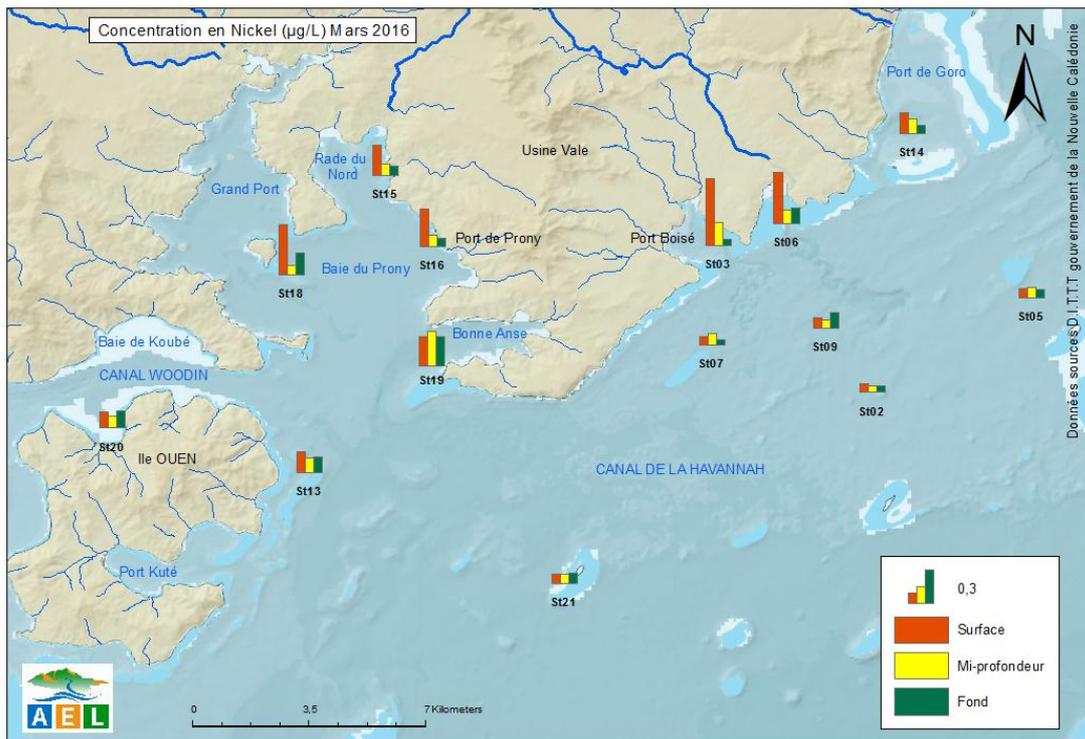


Figure 24 : Concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Ce qu'il faut retenir :

Les métaux dissous Cr^{VI} , $Crtot$, Co, Mn et Ni présentent une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau dans les baies du Canal et la Baie du Prony, correspondant aux premiers mètres de dessalure. Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du Canal de la Havannah et de l'île Ouen qui sont majoritairement influencées par les apports océaniques.

Les concentrations de Cd demeurent non quantifiables, quant à celles d'As, elles ne présentent pas de distribution particulière dans le domaine d'étude. Pour le Cu, Fe, Pb et Zn, seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées, notamment les plus élevées en Cu, Pb et Zn mesurées au fond de la station St13.

Globalement, les concentrations d'As, Cr^{VI} , $Crtot$, Co, Mn et Ni mesurées lors de la campagne de mars 2016 restent dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des campagnes « saison chaude » depuis 2007.

IV. SYNTHÈSE

Rappel : Cette synthèse regroupe les concentrations des sels nutritifs et des métaux dissous mesurées aux stations sentinelles depuis 2007 : St03 (Port Boisé), St05 (ilot Kié), St06 (Baie Kwé), St07 (Récif Ioro), St09 (Canal de la Havannah) et St15 (Prony Creek Rade Nord) pour les campagnes de suivi « **saison chaude** ». Ces stations reflètent deux différents types d'influence dénombrés dans la zone d'étude i) influence terrigène des creeks des baies de Port Boisé (St03), de la Kwé (St06) et du Prony (St15) et (ii) influence océanique dans le Canal de la Havannah (St05 et St07). La station St09 est également suivie en raison de la proximité du diffuseur (influence industrielle).

Les conditions météorologiques, notamment les précipitations, ont une influence sur la physico-chimie des eaux et sur la concentration en métaux dissous. Le cumul des précipitations, avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes, a été reporté, pour rappel, dans la Figure 25 et confronté avec les évolutions des sels nutritifs et métaux dissous.

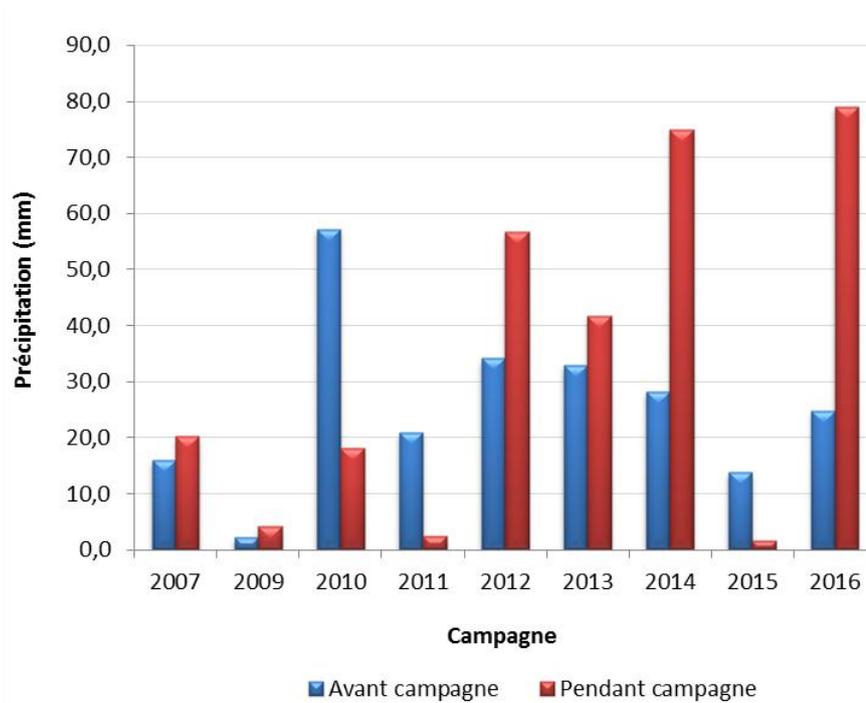


Figure 25 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2016 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

A. SELS NUTRITIFS

L'évolution des concentrations de NH_4 et de NO_3+NO_2 entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 a été reportée dans les Figure 26, Figure 27, Figure 28 et Figure 29. Leur évolution a été étudiée aux stations St03, St05, St06 et St09.

1. Ammonium

A la station St05, à l'exception des valeurs de 2010, les concentrations en NH_4 diffèrent peu d'une année à l'autre et d'un niveau à l'autre en raison de sa proximité avec le récif barrière et du fort hydrodynamisme.

De la même manière, à la station St09, les concentrations de NH_4 mesurées en « saison chaude » depuis le début des campagnes sont globalement dans le même ordre de grandeur. C'est notamment le cas des concentrations mesurées en surface qui sont même très stables. Celles recueillies à mi- profondeur et au fond sont sujettes à plus de variations.

En ce qui concerne les stations St03 et St06, les concentrations en NH_4 ne montrent pas de tendance particulière entre les campagnes. Il est, cependant possible de remarquer que les concentrations sont plus variables entre les campagnes ainsi qu'au sein de la colonne d'eau ; par exemple, en St06 pour 2007, 2010 et 2012 et en St03 pour 2010, 2015 et 2016. Ces observations seraient en partie à lier avec la présence de matières organiques océaniques et de débris végétaux terrigènes.

1. Nitrates et nitrites

A la station St05, hormis quelques valeurs, les concentrations de NO_3+NO_2 ne montrent pas de tendance particulière. Il en est de même pour la station St09. A l'exception de la concentration haute mesurée au fond en 2009, les concentrations restent dans le même ordre de grandeur entre les différentes campagnes. Toutefois, il semblerait qu'à cette station le NO_3+NO_2 se concentre plus au fond, comme constaté pour le NH_4 .

Les concentrations obtenues en NO_3+NO_2 sont également très homogènes à la station St03. En revanche, celles obtenues à la station St06 sont plus dispersées, peu importe les profondeurs.

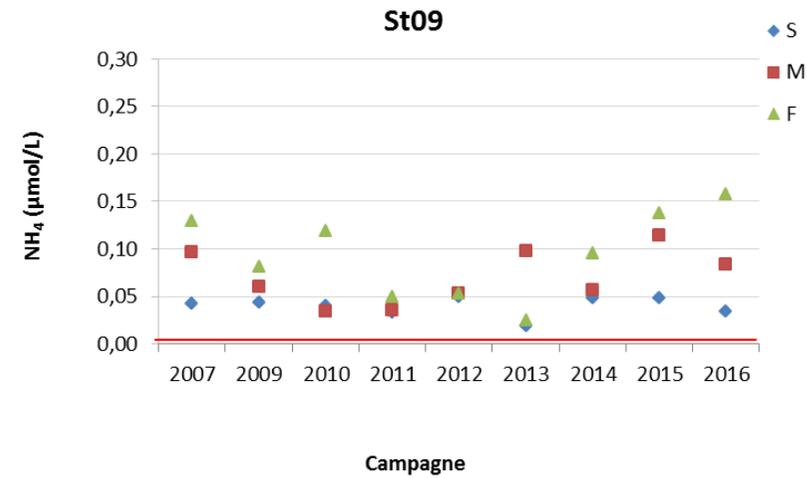
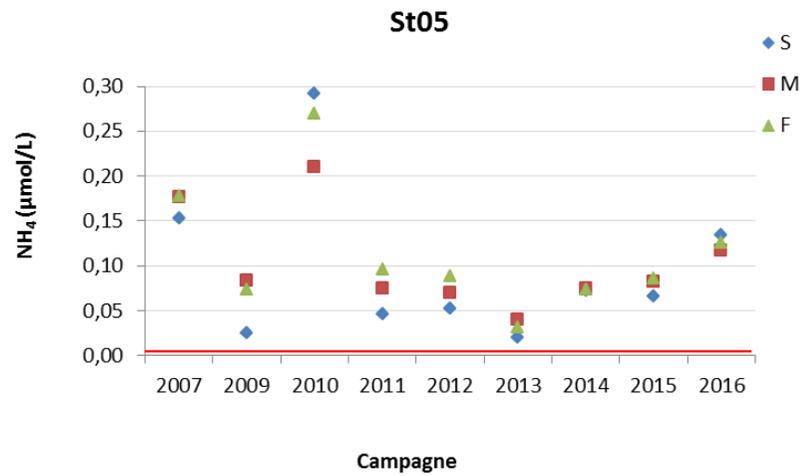


Figure 26 : Concentrations d'ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 µmol/L).

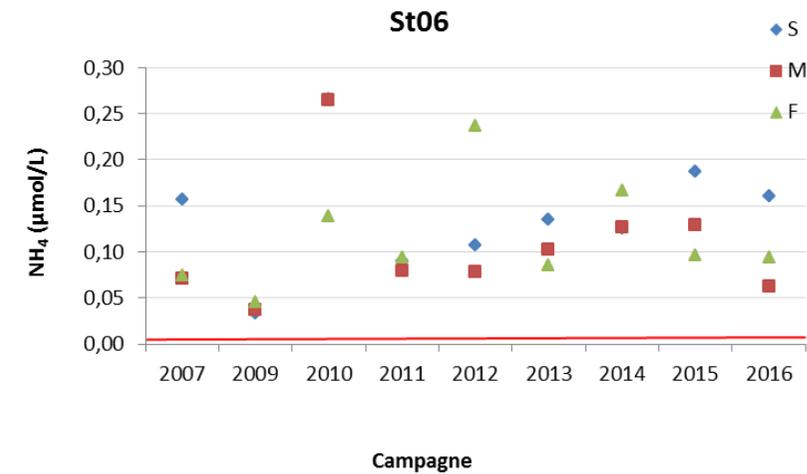
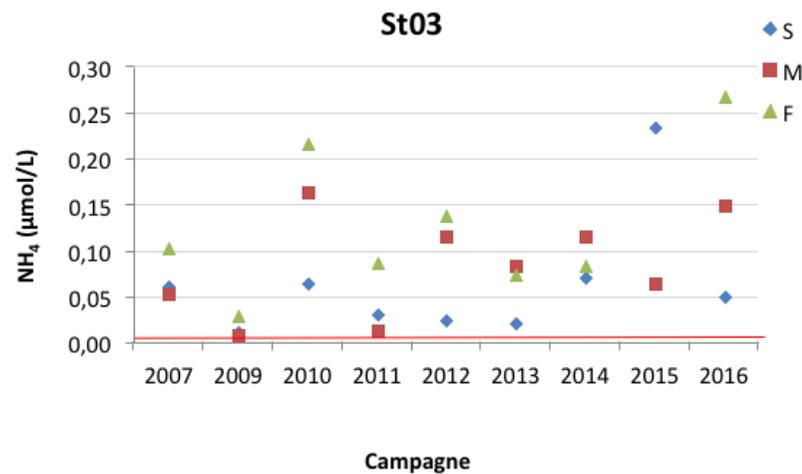


Figure 27 : Concentrations d'ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 µmol/L).

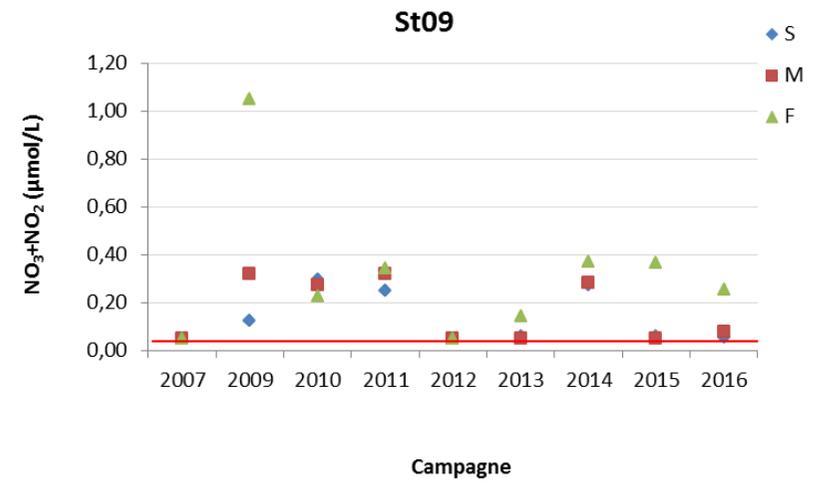
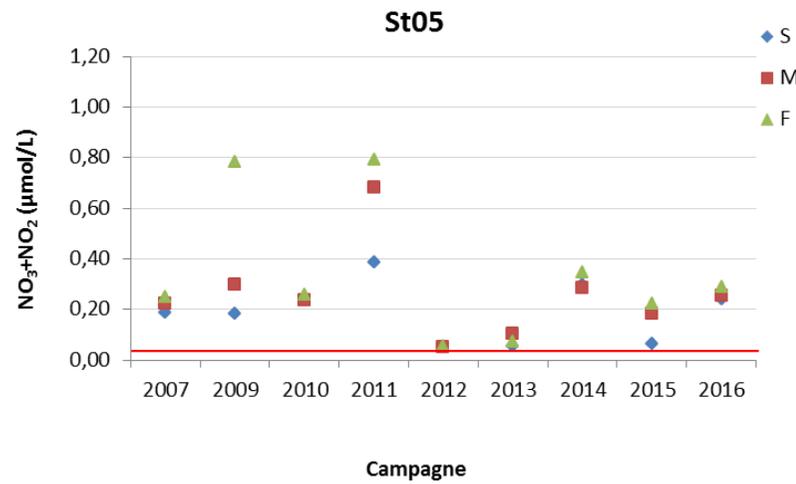


Figure 28 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO₃+NO₂) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

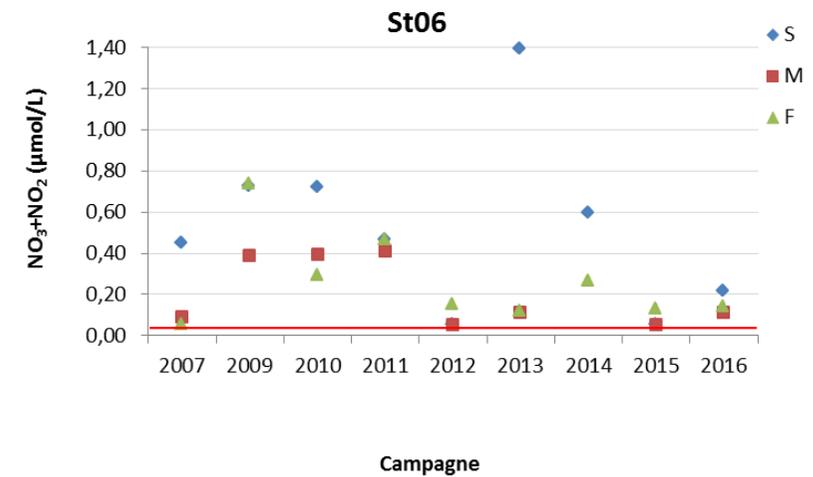
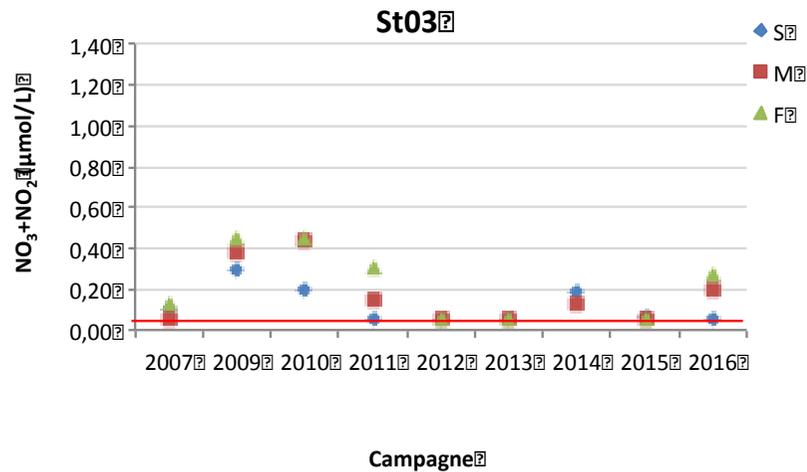


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO₃+NO₂) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

B. METAUX DISSOUS

1. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations de baies

L'évolution des concentrations de Co, Cr^{VI}, Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 aux stations St03, St06 et St15 a été reportée dans les Figure 30, Figure 31, Figure 32 et Figure 33.

Les concentrations des différents métaux dissous mesurées aux 3 stations des baies présentent une relative variabilité inter-campagne, notamment au niveau des couches de surface. En effet le Co, Cr^{VI} et Ni et dans une moindre mesure le Mn, sont davantage concentrés dans les eaux de surface et les valeurs diminuent avec la profondeur.

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations de baie, les concentrations de :

- Mn sont très dispersées puisque les concentrations varient sur l'intégralité de la colonne d'eau (S : $0,455 \pm 0,321$ µg/L ; M : $0,251 \pm 0,170$ et F : $0,441 \pm 0,777$ µg/L). Cette variabilité est liée au comportement intrinsèque du Mn dissous qui est très fortement corrélé à la quantité de MES présente dans les eaux ;
- Cr^{VI}, sa variation est observée uniquement dans les eaux de surface (S : $0,298 \pm 0,253$ µg/L ; M : $0,151 \pm 0,045$ et F : $0,139 \pm 0,031$ µg/L) ;
- Co et Ni (S : $0,078 \pm 0,051$ µg/L ; M : $0,038 \pm 0,015$ et F : $0,050 \pm 0,045$ µg/L et S : $0,561 \pm 0,328$ µg/L ; M : $0,224 \pm 0,095$ et F : $0,246 \pm 0,166$ µg/L, respectivement), les concentrations varient dans les eaux de surface mais également dans les eaux de fond. Ce dernier s'explique par des concentrations en Co et Ni exceptionnelles hautes mesurées en 2011 au fond de la station St15.

Les Figure 34, Figure 35 et Figure 36 représentent de la distribution des concentrations de Cr^{VI}, Mn et Ni sur l'ensemble des campagnes (2007 à 2016), à la station d'impact St06, comparativement à la station témoin St03. Il est toutefois à noter que le bassin versant de Port Boisé est constitué dans sa bordure ouest de mines orphelines dont l'influence ne semble pas être régulière, ni importante, à la station témoin St03.

Cette étude n'a pas montré d'évolution remarquable à la station St06 par rapport à la station St03, sauf pour le Mn dont la concentration moyenne obtenue dans la couche d'eau de surface est sensiblement plus élevée en baie Kwé.

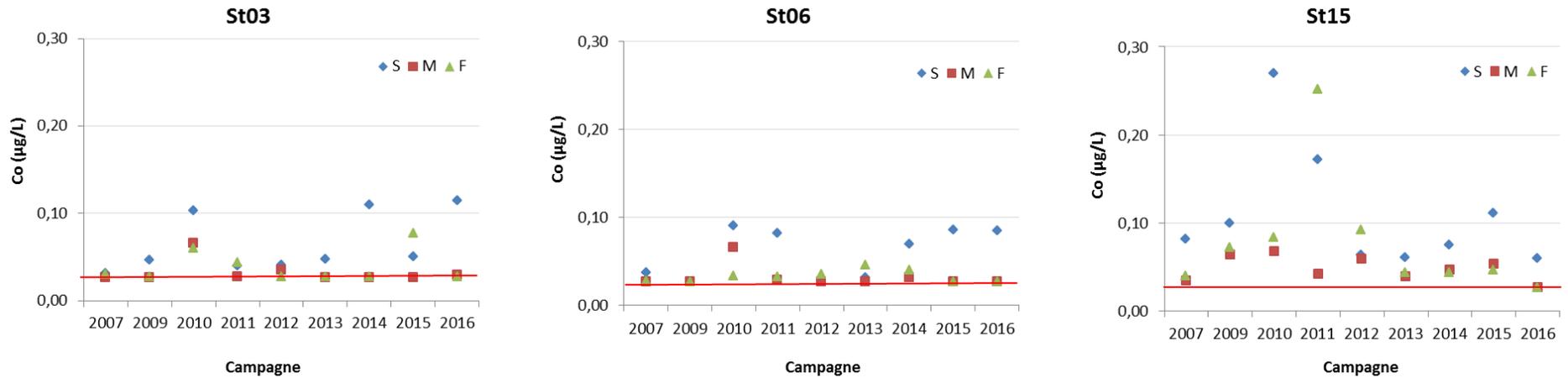


Figure 30 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

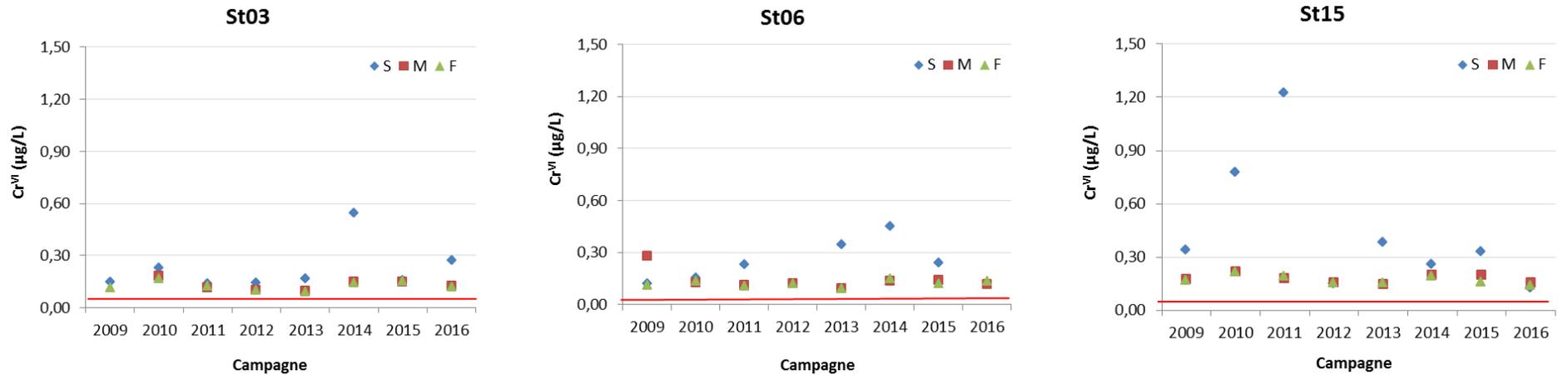


Figure 31 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

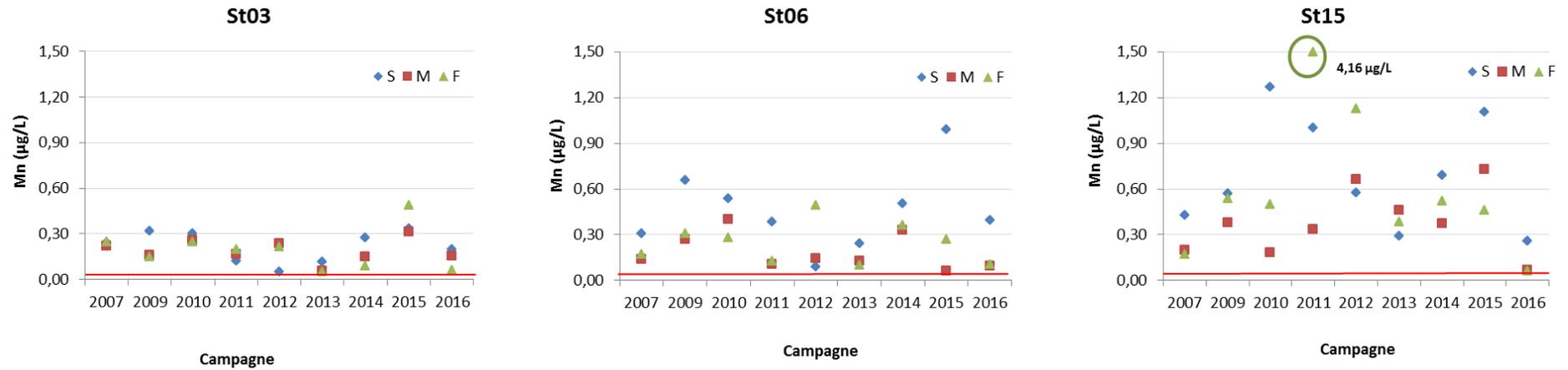


Figure 32 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

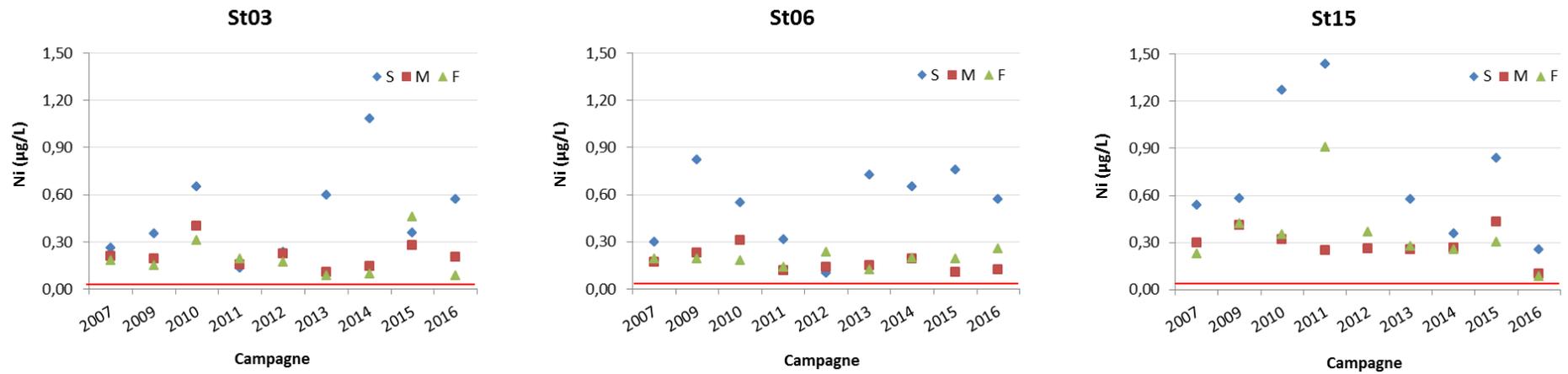


Figure 33 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

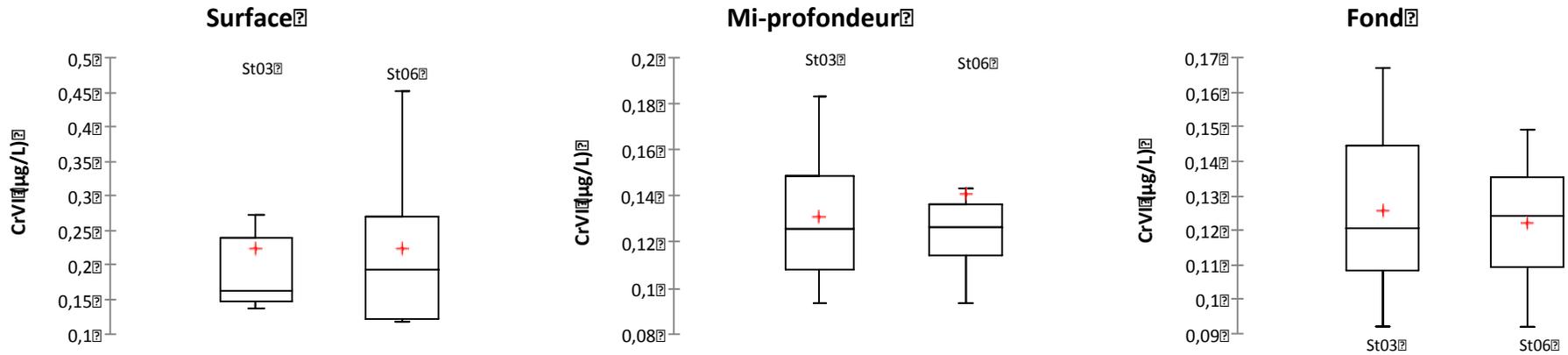


Figure 34 : Variabilité des concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03 et St06 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal, la valeur médiane des données ; les barres verticales représentent les écart-type.

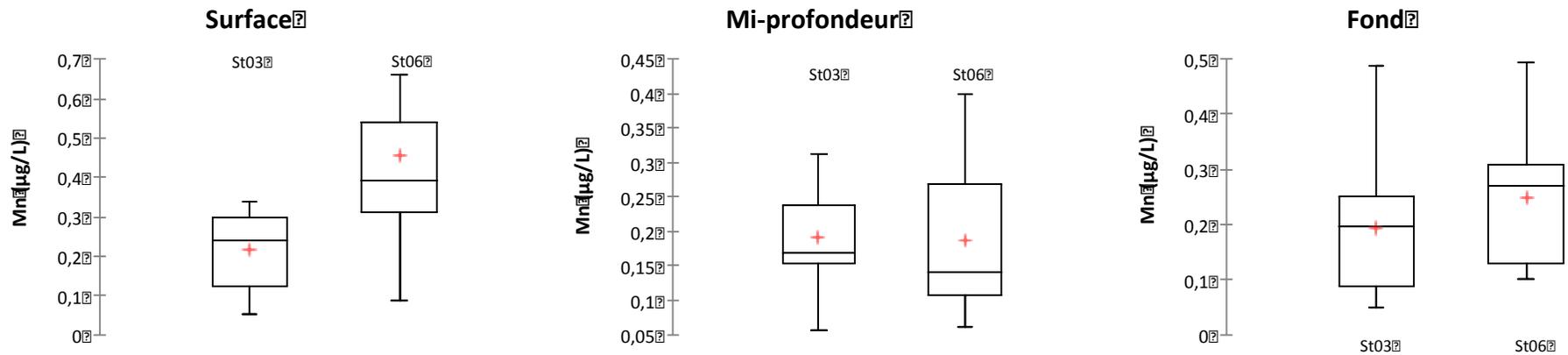


Figure 35 : Variabilité des concentrations de manganèse (Mn) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03 et St06 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal la valeur médiane des données ; les barres verticales représentent les écart-type.

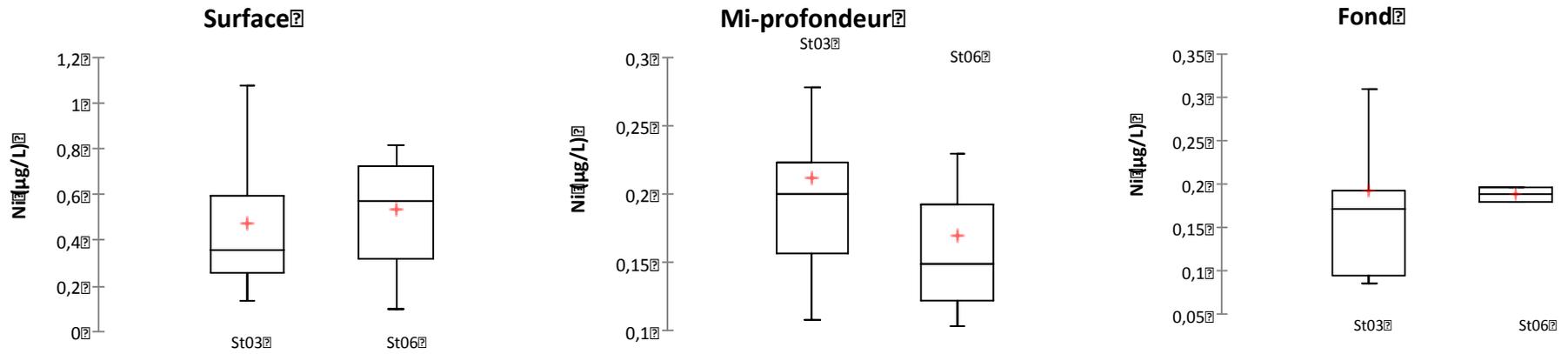


Figure 36 : Variabilité des concentrations de nickel (Ni) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03 et St06 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal la valeur médiane des données ; les barres verticales représentent les écart-type.

2. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations du Canal de la Havannah

L'évolution des concentrations de Cr^{VI}, Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 aux stations St05, St07 et St09 a été reportée dans les Figure 37, Figure 38 et Figure 39.

Note : Aucune donnée n'existe pour Cr^{VI} pour l'année 2007.

Note : Etant donné le peu de concentrations de Co supérieures à la limite de quantification, celles-ci ne sont plus illustrées graphiquement.

Les concentrations des différents métaux dissous mesurées aux 3 stations du canal demeurent d'une grande constance inter-campagne. Par ailleurs, les masses d'eau sont particulièrement homogènes, notamment à la station St05. Ceci contraste nettement avec les stations des baies dont les concentrations sont plus fortes à la surface.

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations du canal, les concentrations de Co restent régulièrement en dessous des limites de quantification (<0,027 µg/L). Les concentrations obtenues de Cr^{VI}, quelle que soit la profondeur, sont moins dispersées (S : 0,117 ± 0,034 µg/L ; M : 0,115 ± 0,025 et F : 0,112 ± 0,022 µg/L) tandis que celles de Mn sont un peu plus variables (S : 0,093 ± 0,057 µg/L ; M : 0,095 ± 0,059 et F : 0,099 ± 0,066 µg/L). Les concentrations de Ni montrent également une certaine variabilité sur l'intégralité de la colonne d'eau, mais moins que celles de Mn (S : 0,109 ± 0,051 µg/L ; M : 0,108 ± 0,045 et F : 0,107 ± 0,043 µg/L).

Enfin globalement, les concentrations mesurées à ces stations d'influence océanique, sont plus faibles que celles mesurées aux stations St03, St06 et St15, d'influence terrigène, notamment pour le Co, Ni et Mn.

Les Figure 40, Figure 41 et Figure 42 représentent de la distribution des concentrations de Cr^{VI}, Mn et Ni sur l'ensemble des campagnes (2007 à 2016) à la station d'impact St09, comparativement à la station témoin St05. Bien que cette étude ait montré que les concentrations moyennes en Mn et Ni obtenues à la station St09, dans les trois couches d'eau, soient plus élevées par rapport à celles de la station St03, les écarts ne sont pas significatifs.

Ce qu'il faut retenir :

En ce qui concerne les NH₄ et NO₃+NO₂, aux stations du large, hormis certaines valeurs de concentrations ponctuelles, aucune tendance verticale, voire temporelle, ne semble se dessiner. Les quelques variations temporelles modérées observées à la station St05, située à proximité du récif barrière, et à la station St09, située dans le Canal de la Havannah pourraient être en lien avec l'activité de la production primaire et/ou du phénomène dit « up-welling ». La moins grande variabilité temporelle et verticale que l'on enregistre à ces stations du large sont, en grande partie, explicables par les mécanismes de brassage qui tendent à homogénéiser les eaux. Toutefois, et en dépit des conditions hydrodynamiques à la station St09, l'étude chronologique met en évidence un léger gradient « surface-fond » croissant.

En revanche, les concentrations en NH₄ et NO₃+NO₂, sont plus variables entre les campagnes aux stations de baies, St06 et St15, ce qui reflète les différentes contributions terrigènes.

En ce qui concerne le Co, Cr^{VI}, Mn et Ni dissous, un enrichissement des eaux de surface des stations des baies, notamment à la station St15 a été mis en évidence. Aux stations du canal, les concentrations demeurent faibles (Cr^{VI}, Mn et Ni) voire en dessous de la LQ (Co) et particulièrement stables dans la colonne d'eau depuis la mise en place du début du suivi marin.

Enfin, les concentrations obtenues aux différentes stations lors de la campagne de 2016 sont globalement du même ordre de grandeur que celles mesurées depuis 2007. Cependant, il est à noter qu'aux stations St09 et St07 (voire St05 dans une toute autre mesure), certaines concentrations en Mn et Ni mesurées en 2015 avaient atteint des valeurs comparables à celles de 2007. En 2016, ces concentrations ont diminué fortement. Ces variations ne sont pas corrélables avec les taux de précipitations car la campagne de 2015 a été relativement sèche comparée à celles de 2013, 2014 et 2016 ; une conjonction d'autres facteurs doit entrer en jeu.

Plus globalement, l'étude de la distribution des concentrations en Cr^{VI}, Mn et Ni obtenues depuis 2007 n'a pas démontré d'évolution notable entre les stations des baies (St06 et St03) et du Canal (St09 et St05). Il est à noter cependant que la concentration moyenne de Mn obtenue dans la couche d'eau de surface à la station St06 est sensiblement plus élevée par rapport à celle de la station St03.

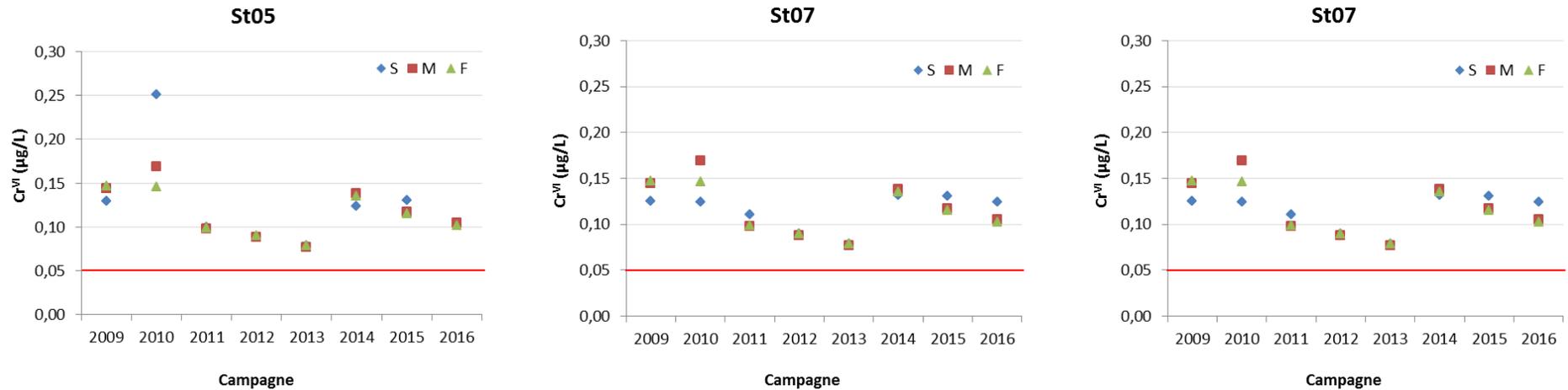


Figure 37 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

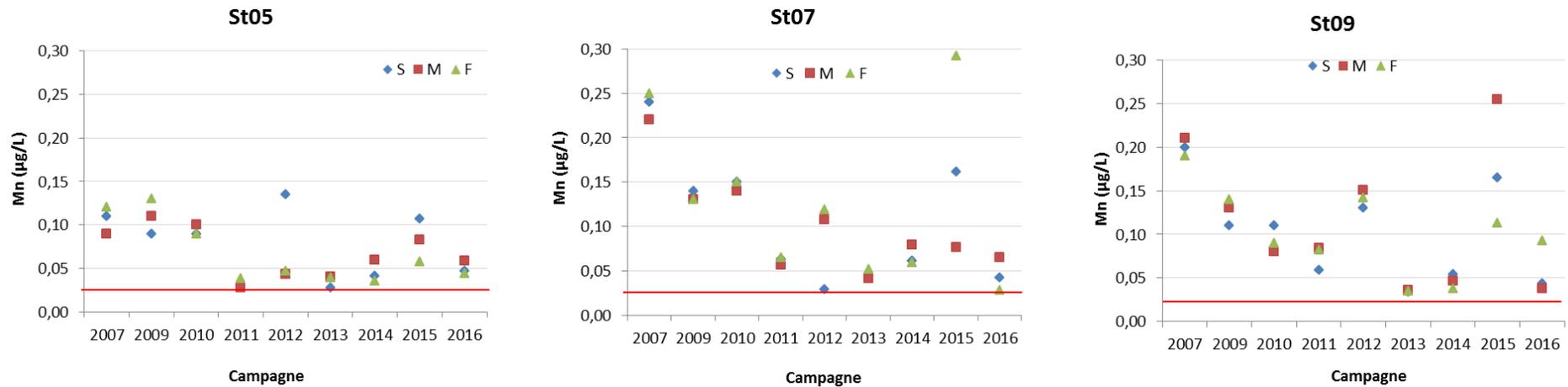


Figure 38 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

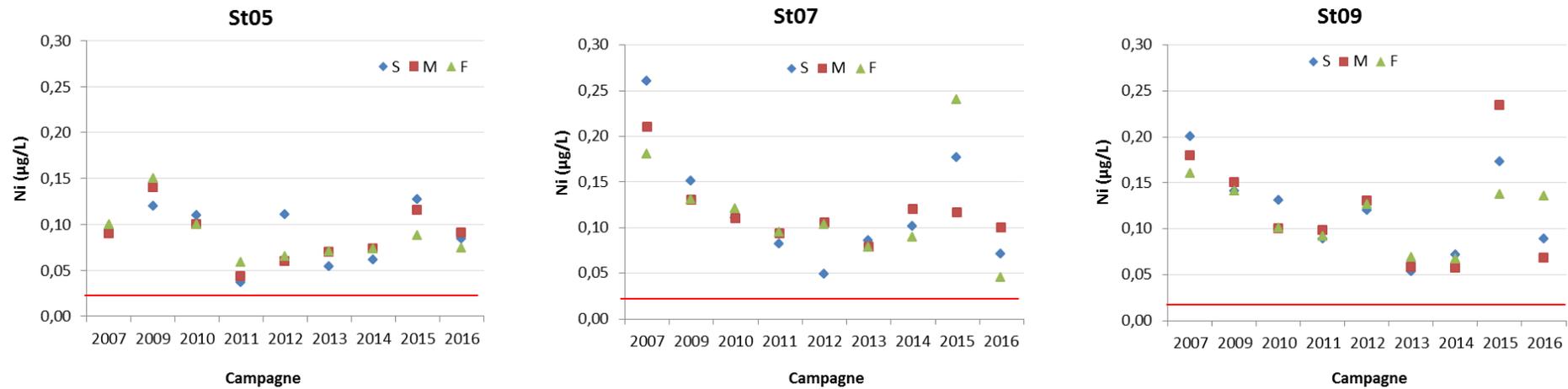


Figure 39 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

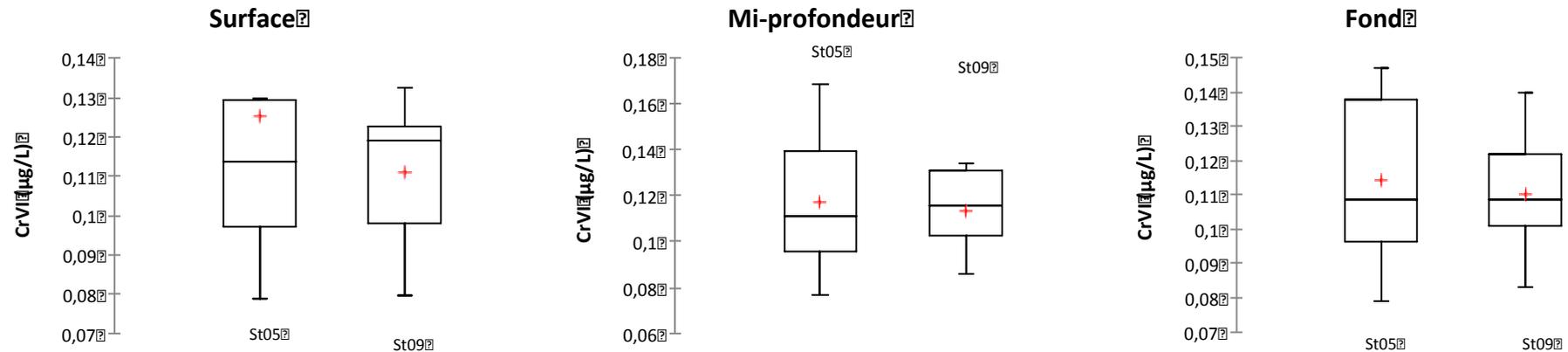


Figure 40 : Variabilité des concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal la valeur médiane des données ; les barres verticales représentent les écart-type.

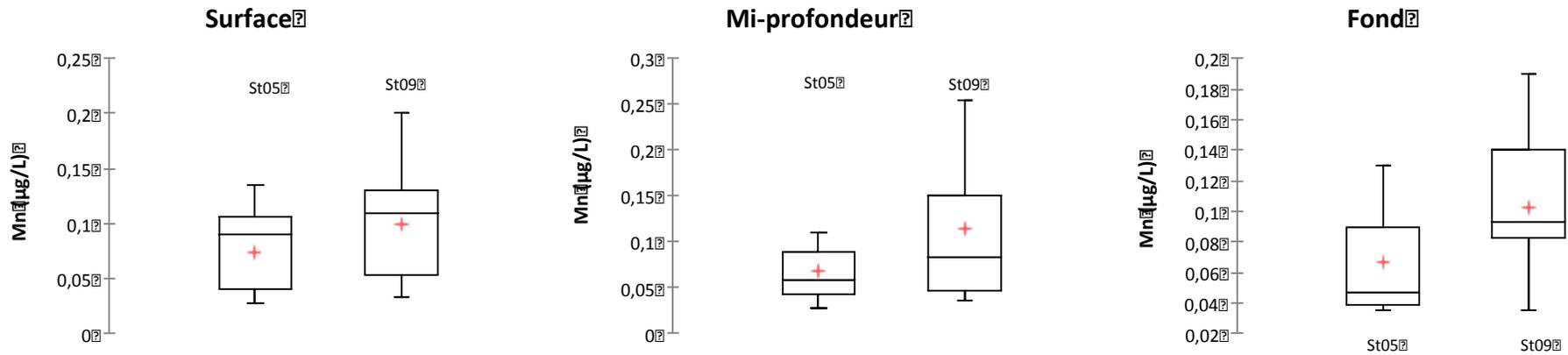


Figure 41 : Variabilité des concentrations de manganèse (Mn) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal la valeur médiane des données ; les barres verticales représentent les écart-type.

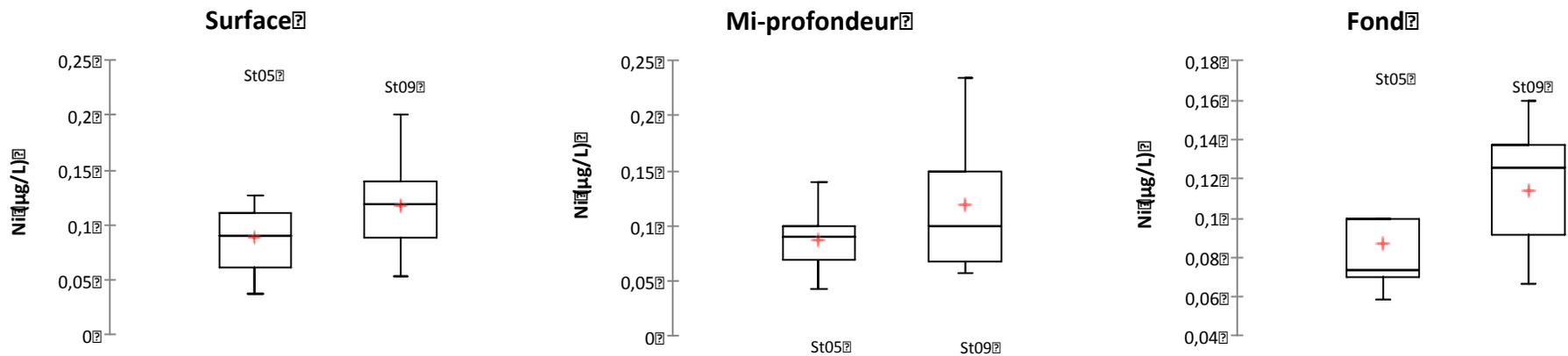


Figure 42 : Variabilité des concentrations de nickel (Ni) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2016) ; les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal la valeur médiane des données ; les barres verticales représentent les écart-type.

V. CONCLUSION

Comme relaté lors des précédentes campagnes semestrielles « saison chaude », les principales variations des paramètres physico-chimiques (ex : salinité, turbidité et fluorescence), des concentrations en sels nutritifs tels que les SiO_4 ou en métaux latéritiques dissous (ex. : Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni) observées en 2016, mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie.

Ainsi, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations de ces paramètres chimiques se distribuent selon un même gradient « côte-large » de manière évidente. Les concentrations de SiO_4 et le Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni dissous sont plus élevées près des côtes (Baie du Port Boisé, de la Kwé et du Prony) et les plus faibles dans le Canal de la Havannah. Pour ces stations de côte, les concentrations se distribuent également selon un gradient « surface-fond » ; les eaux de surface étant plus riches. Les concentrations de SiO_4 et Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni dissous, élevées dans les eaux de surface sont corrélées avec les profils de salinité ; une couche dessalée ayant été observée dans les eaux de surface dans ces baies.

Pour ce qui est des profils de turbidité et de fluorescence, c'est plutôt par leur degré d'homogénéité qu'ils permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. En effet, contrairement aux stations de la côte où les profils de turbidité (Baie de la Kwé) et de fluorescence (Baie du Prony) montrent des gradients croissants avec la profondeur, ceux du canal sont très constants. Le profil de fluorescence croissant dans la Baie du Prony se corrèle avec les concentrations des eaux de fond plus riches en NO_3+NO_2 , NH_4 , POD, NOP, POP et chlorophylle *a*. Cette corrélation est toutefois, moins contrastée que celle observée entre le SiO_4 et les métaux latéritiques et la salinité. Ceci est expliqué par le fait que pour les sels nutritifs et les matières organiques, plusieurs termes sources peuvent agir simultanément dans une zone d'étude donnée : le ruissellement naturel et forcé des sols, les diverses activités anthropiques terrestres et aquatiques (épandage, urbanisation, dragage, ...), les activités biologiques (l'absorption d'azote et phosphore minérales, la production d'azote et de phosphore *via* la fixation du N_2 et par la dégradation des formes organiques) et enfin la remontée d'eaux profondes riches en minéraux par le phénomène dit d' « up-welling ». En raison de leurs multiples sources, en plus de la labilité chimique de certains éléments (par exemple, la réduction et l'oxydation rapide de NH_4 et NO_2) et le court temps de résidence dans l'environnement (par exemple, absorption de NO_3 par les organismes), la répartition spatio-temporelle de ces éléments dans un bassin versant peut fortement diverger au sein et au fil des campagnes.

D'autres paramètres chimiques tels que les concentrations des éléments majeurs, de l'As et de NOD sont relativement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et ne montrent pas, ni de gradient spatial, ni de gradient vertical.

L'étude des variations inter-campagne des sels nutritifs (NO_3+NO_2 et NH_4) aux stations sentinelles (St03, St05, St06, et St09) ne met pas en évidence d'évolution temporelle depuis le début des campagnes.

Pour les métaux dissous (Co, Cr^{VI} , Mn et Ni), cette étude n'a pas non plus montré d'évolution temporelle pour les stations de baies (St03, St06 et St15) ni pour les stations du canal (St05, St07 et St09). Cependant, il est à noter que dans le Canal (St09, St07, voire St05 mais une toute autre mesure), certaines concentrations en Mn et Ni mesurées en 2015 à certaines profondeurs avaient atteint des valeurs comparables à celles décelées en 2007 ; en 2016, ces concentrations ont diminué fortement, pour toute hauteur de la colonne d'eau.

Ces variations ne sont pas corrélables avec l'influence terrigène que pourrait engendrer les précipitations puisque, paradoxalement, en 2015 très peu de pluie a été enregistrée, comparativement à 2013, 2014 et 2016 ; une conjonction d'autres facteurs doit être recherchée. .

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. Analytical Chemistry, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n  9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n  1312.
- 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.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n C2445.
- Le Grand H, Rouspard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roin  S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roin  S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n 1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n 1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n  T1368, 85p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. Deep Sea Research, 13: 223-227.
- Moreton B, Fernandez JM, Dolbecq M (2009). Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia lagoon. Geostandards and Geoanalytical Research 33 (2) : 205-218.
- 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.
- NF EN ISO 17294-2 : Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma   couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage de 62 élément.



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.

Raimbault P, Coste B, Fry J (1990) Feasibility of measuring an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100nM range: examples from field and culture. *Mar. Biol* 104: 347-351.

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 DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	9
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (03 AU 07/03/16 ; EN BLEU) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (08 AU 10/03/16 ; EN ROUGE). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION D'OBSERVATION "PRONY PILOT STATION".	11
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 08 AU 10 MARS 2016.....	11
FIGURE 4: PROFILS DE TEMPERATURE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	13
FIGURE 5: PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	14
FIGURE 6: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	15
FIGURE 7: PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	16
FIGURE 8: CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	19
FIGURE 9: CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES (NO ₃ +NO ₂) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	22
FIGURE 10: CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	23
FIGURE 11: CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	24
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	25
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	27
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	28
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	29
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	29
FIGURE 17 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	30
FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	31
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	34
FIGURE 20 : CONCENTRATIONS EN CHROME (CrVI) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	35
FIGURE 21 : CONCENTRATIONS EN CHROME-TOTAL (CrTOT) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	35
FIGURE 22 : CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	36
FIGURE 23 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	36
FIGURE 24 : CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	37

FIGURE 25 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON CHAUDE » DE 2007 A 2016 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».38

FIGURE 26 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 μMOL/L).....40

FIGURE 27 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 μMOL/L).....40

FIGURE 28 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO₃+NO₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 μMOL/L).41

FIGURE 29 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO₃+NO₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 μMOL/L).41

FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 μG/L).43

FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 μG/L).....43

FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 μG/L).44

FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 μG/L).44

FIGURE 35 : VARIABILITE DES CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr^{VI}) MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03 ET St06 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LES RECTANGLES REPRESENTENT LA DISTRIBUTION DE 50 % DES DONNEES ; A L'INTERIEUR, LA CROIX ROUGE REPRESENTA LA MOYENNE ET LE TRAIT HORIZONTAL LA VALEUR MEDIANE DES DONNEES ; LES POINTS BLEUS REPRESENTENT LES VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES ET LES BARRES VERTICALES REPRESENTENT LES ECART-TYPE.....45

FIGURE 36 : VARIABILITE DES CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03 ET St06 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LES RECTANGLES REPRESENTENT LA DISTRIBUTION DE 50 % DES DONNEES ; A L'INTERIEUR, LA CROIX ROUGE REPRESENTA LA MOYENNE ET LE TRAIT HORIZONTAL LA VALEUR MEDIANE DES DONNEES ; LES POINTS BLEUS REPRESENTENT LES VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES ET LES BARRES VERTICALES REPRESENTENT LES ECART-TYPE.45

FIGURE 37 : VARIABILITE DES CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03 ET St06 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LES RECTANGLES REPRESENTENT LA DISTRIBUTION DE 50 % DES DONNEES ; A L'INTERIEUR, LA CROIX ROUGE REPRESENTA LA MOYENNE ET LE TRAIT HORIZONTAL LA VALEUR MEDIANE DES DONNEES ; LES POINTS BLEUS REPRESENTENT LES VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES ET LES BARRES VERTICALES REPRESENTENT LES ECART-TYPE.46

FIGURE 38 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH St05, St07 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 μG/L).....49

FIGURE 39 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH St05, St07 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 μG/L).....49

FIGURE 40 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH St05, St07 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 μG/L).....50

FIGURE 41 : VARIABILITE DES CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr^{VI}) MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LES RECTANGLES REPRESENTENT LA DISTRIBUTION DE 50 % DES DONNEES ; A L'INTERIEUR, LA CROIX ROUGE REPRESENTA LA MOYENNE ET LE TRAIT HORIZONTAL LA VALEUR MEDIANE DES DONNEES ; LES POINTS BLEUS REPRESENTENT LES VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES ET LES BARRES VERTICALES REPRESENTENT LES ECART-TYPE.....50

FIGURE 42 : VARIABILITE DES CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LES RECTANGLES REPRESENTENT LA DISTRIBUTION DE 50 % DES DONNEES ; A L'INTERIEUR, LA CROIX ROUGE REPRESENTE LA MOYENNE ET LE TRAIT HORIZONTAL LA VALEUR MEDIANE DES DONNEES ; LES POINTS BLEUS REPRESENTENT LES VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES ET LES BARRES VERTICALES REPRESENTENT LES ECART-TYPE.....51

FIGURE 43 : VARIABILITE DES CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2016) ; LES RECTANGLES REPRESENTENT LA DISTRIBUTION DE 50 % DES DONNEES ; A L'INTERIEUR, LA CROIX ROUGE REPRESENTE LA MOYENNE ET LE TRAIT HORIZONTAL LA VALEUR MEDIANE DES DONNEES ; LES POINTS BLEUS REPRESENTENT LES VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES ET LES BARRES VERTICALES REPRESENTENT LES ECART-TYPE.51

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.	8
TABLEAU 2: VALEURS DE LA TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE ENREGISTREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	12
TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS ET VALEURS DU PH MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	18
TABLEAU 4: CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	20
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	21
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	26
TABLEAU 7: CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	31
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (As, CrVI, CRTOT, Co ET Cu) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	33
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (Fe, Mn, Ni, Pb ET Zn) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2016.	33

ANNEXES

ANNEXE 1.....	60
ANNEXE 2.....	69
ANNEXE 3.....	71
ANNEXE 4.....	73
ANNEXE 5.....	75
ANNEXE 6.....	77
ANNEXE 7.....	79
ANNEXE 8.....	82
ANNEXE 9.....	85
ANNEXE 10.....	86

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 néphélogéométrie, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- la fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m³, qui 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

ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS, PH ET MATIERE EN SUSPENSION (MES)

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

- le dosage des ions calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) qui ont été déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- le dosage des ions chlorures (Cl⁻) a été réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- le dosage des ions sulfates (SO₄²⁻) a été réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- la mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- la détermination de la concentration en MES (Matière En Suspension) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore® de 0,45 µm de porosité).

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

ANALYSE DES 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) ;
- PEHD et stockés 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 du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés 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 (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) 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 NO_3 est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenus par réduction des ions NO_3 . Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ par photométrie (Oudot et Montel, 1988). Cependant, les concentrations en NO_2 dans les eaux de surfaces restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et $1 \mu\text{M}$ avec des limites de quantification d'environ $0,05 \mu\text{mol/L}$.

b) 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 infimes de NH_4 . Les proportions de réactifs ont été déterminées pour des concentrations maximales d'ammonium de $3 \mu\text{mol/L}$, la limite de quantification de la méthode est de $1,5 \text{ nmol/L}$.

c) Phosphates

Le dosage des PO_4 a été effectué selon la méthode de Murphy et Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide ($\text{pH} < 1$) de phosphomolybdate d'ammonium 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 & Luegbbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et $0,75 \mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification d'environ $0,05 \mu\text{mol/L}$.

e) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de [Mullin et Riley, 1955](#), modifiée par [Fanning et Pilson \(1973\)](#). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0 à 140 µmol/L, la limite de quantification est de 0,05 µmol/L et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µmol/L de SiO₄.

ANALYSE DE MATIERE ORGANIQUE

a) Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique dissous ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)) et les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. Ceci par la méthode d'oxydation par voie humide utilisée, simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures 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.

Pour l'azote organique dissous (NOD), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 40 µmol/L et la limite de quantification est de 0,130 µmol/L. Pour le phosphore organique dissous (POD), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 7 µmol/L et la limite de quantification est de 0,050 µmol/L.

b) Azote et phosphore organiques particulaires

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)) et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée 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.

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 organiques particulaires ;
- [NO₃ + NO₂]_t et [PO₄]_t = les concentrations respectives en nitrates+nitrites et phosphates mesurées après oxydation au persulfate ;
- V₁ = le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V₂ le volume d'eau de mer filtré (mL).

Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et 40 µmol/L avec des limites de quantification de 0,130 µmol/L pour le NOP et entre 0,75 et 7 µmol/L avec des limites de quantification de 0,050 µmol/L pour POP.

c) Carbone organique particulaire

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

ANALYSE DES 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. 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 quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 0,01 µg/L.

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

a) Conditionnement et analyse

Pour chacune des 14 stations de la campagne semestrielle, les trois profondeurs (surface, mi-profondeur et fond) sont prélevées en trois lots destinés à différents type d'analyse :

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments dissous **Cr^{VI}/Cr-total** effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de Rouen pour l'analyse de l'**As** dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) (NF EN ISO 17294-2).
- les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à 0,45 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 pré-concentrations terminées, chaque colonne de résine est bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer[®]) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux sont élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2 mol/L). L'analyse des éléments dissous **Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn** est ensuite effectuée par spectrométrie d'émission optique par torche à plasma (ICP-OES ; Marque Varian, modèle Vista). Cette méthode a été développée par [Moreton et al., \(2009\)](#).

Les limites de quantification (LQ) des métaux dissous sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.

Element	LQ (µg/L)
As	1,000
Cd	0,025
Co	0,027
Cr ^{VI}	0,050
Cu	0,025
Fe	0,068
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,150
Zn	1,000

b) Contrôle qualité des méthodes d'analyse des métaux dissous

La qualité des mesures effectuées en métaux dissous a été évaluée selon trois approches complémentaires :

- en étudiant la fidélité de la méthode de prélèvement et d'analyse à l'aide de 10 % de triplicatas ce qui correspond à 4 stations;
- en étudiant la reproductibilité de la méthode de prélèvement et d'analyse par les analyses inter-laboratoires sur au moins 10 % de duplicatas soit pour 4 stations;
- en vérifiant la justesse de la méthode d'analyse d'AEL par la participation à un exercice inter-laboratoire international, organisé par Quasimeme en 2015.

Pré-concentration des métaux dissous et analyse par ICP-OES (Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn)

Les concentrations des triplicatas pour les métaux Cd, Pb et Zn sont toutes inférieures aux limites de quantification (respectivement : 0,025, 0,100 et 1,000 µg/L). Les quelques concentrations de Cu et Fe quantifiées n'ont pas permis de calculer la fidélité des mesures. Seuls les métaux Co, le Mn et le Ni sont les plus présents. La fidélité de leurs résultats est, respectivement, de 7, 34 et de 20%, ce qui est acceptable (Tableau 3).

Pour l'exercice d'inter-calibration, les échantillons prélevés en duplicatas ont été expédiés au laboratoire GPTR-AETE de l'Université de Montpellier (France).

Les comparaisons des résultats entre les laboratoires (Tableau 4 et Tableau 5) sont difficiles pour les raisons évoquées ci-dessous :

- d'un part, le laboratoire GPTR-AETE n'a pas établi la LQ de leur méthode et ne fournit que la LD de l'appareil. La LQ étant nettement plus élevée que la LD, la comparaison des résultats des deux laboratoires est alors rendue difficile ;
- d'autre part, le mode de traitement des échantillons entre les deux laboratoires est également différent. En effet, alors qu'AEL ne mesure que les métaux dissous cationiques (disponibles et captés par les résines), la technique du laboratoire GPTR-AETE par ICP-MS directe comptabilise la totalité des formes métalliques, y compris les métaux fortement complexés sous différentes formes colloïdales. En effet, pour les métaux tel que le Fe, se trouvant majoritairement sous la forme colloïdale dans les

eaux, les concentrations obtenues par le laboratoire GPTR-AETE sont donc nettement supérieures à celles mesurées par AEL. Bien que dans une moindre mesure, c'est aussi le cas pour les métaux Cu, Mn et Ni. Il faut souligner que ces variabilités avaient aussi été observées lors des précédentes campagnes.

Tableau 3: Concentration en triplicatas pour les métaux (Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) dissous lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Station	Métaux dissous (µg/L)							
	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St03-S	<0,025	0,120	<0,025	<0,068	0,219	0,601	<0,100	<1,000
	<0,025	0,118	<0,025	<0,068	0,199	0,569	<0,100	<1,000
	<0,025	0,103	<0,025	<0,068	0,172	0,544	<0,100	<1,000
St15-S	<0,025	0,056	<0,025	<0,068	0,243	0,266	<0,100	<1,000
	<0,025	0,060	<0,025	<0,068	0,183	0,217	<0,100	<1,000
	<0,025	0,064	<0,025	<0,068	0,350	0,285	<0,100	<1,000
St16-S	<0,025	0,027	<0,025	<0,068	0,105	0,111	<0,100	<1,000
	<0,025	<0,027	<0,025	<0,068	0,134	0,152	<0,100	<1,000
	<0,025	<0,027	0,082	0,099	0,469	0,336	<0,100	<1,000
St21-S	<0,025	<0,027	<0,025	<0,068	0,041	0,083	<0,100	<1,000
	<0,025	<0,027	<0,025	<0,068	0,045	0,086	<0,100	<1,000
	<0,025	<0,027	<0,025	0,159	<0,028	<0,022	<0,100	<1,000
Coefficient de variation (%)	-	7	-	-	34	20	-	-

Tableau 4: Comparaison des résultats d'analyse des métaux dissous (Cd, Co, Cu et Fe) mesurés en duplicats par les laboratoires GPTR AETE (ICP-MS) et AEL (ICP-OES).

Station	Cd (µg/L)		Co (µg/L)		Cu (µg/L)		Fe (µg/L)	
	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL
St03-S	0,004	<0,025	0,221	0,114 ± 0,009	0,410	<0,025	1,911	<0,068
St15-S	0,007	<0,025	0,119	<0,027	0,096	<0,025	1,001	<0,068
St16-S	0,006	<0,025	0,115	0,032 (n=1)	0,170	0,036 ± 0,04	8,814	<0,068
St21-S	0,005	<0,025	0,025	<0,027	0,047	<0,025	0,977	0,159 (n=1)
Ecart relatif (%)	-		49		134		181	

Tableau 5 : Comparaison des résultats d'analyse des métaux dissous (Mn, Ni, Pb, Zn) mesurés en duplicats par les laboratoires GPTR AETE (ICP-MS) et AEL (ICP-OES).

Station	Mn (µg/L)		Ni (µg/L)		Pb (µg/L)		Zn (µg/L)	
	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL
St03-S	0,665	0,197 ± 0,024	1,286	0,571 ± 0,028	0,059	<0,100	0,680	<1,000
St15-S	0,754	0,259 ± 0,085	0,663	0,256 ± 0,035	0,350	<0,100	1,009	<1,000
St16-S	0,684	0,236 ± 0,202	1,207	0,199 ± 0,120	0,139	<0,100	1,996	<1,000
St21-S	0,181	0,030 ± 0,022	0,308	0,057 ± 0,046	<0,005	<0,100	0,998	<1,000
Ecart relatif (%)	104		105		-		-	

La justesse de la méthode d'analyse des métaux dissous (Cd, Co, Cu, Pb, Mn et Zn) dans l'eau de mer, par pré concentration, a été validée lors d'un exercice inter laboratoire international organisé par Quasimeme (z-score < 2).

Analyse du chrome dissous (Cr^{VI} et Crtot) par voltammétrie

Pour les concentrations de Cr^{VI} et Crtot en triplicata, toutes stations confondues, la fidélité des mesures obtenues est, respectivement de 16% et de 9%, ce qui est excellent (Tableau 6)

Tableau 6: Résultats d'analyse de Cr^{VI} et Crtot dissous mesurés en triplicata par AEL (voltammétrie).

Station	CrVI (µg/L)	Crtot (µg/L)
St03-S	0,274	0,300
	0,227	0,326
	0,314	0,361
St15-S	0,122	0,301
	0,297	0,305
	0,239	0,269
St16-S	0,177	0,202
	0,175	0,262
	0,178	0,289
St21-S	0,134	0,151
	0,116	0,159
	0,127	0,151
Coefficient de variation (%)	16	9

Pour les exercices d'inter-calibration, les échantillons prélevés en duplicatas ont été expédiés au laboratoire PPME de l'Université de la Nouvelle-Calédonie et GPTR-AETE (France) pour l'analyse de Cr^{VI} et Cr-total respectivement. L'écart relatif moyen entre les valeurs de Cr^{VI} mesurées par le laboratoire PPME et par AEL est de 45%. Les concentrations de Crtot mesurées par le laboratoire GPTR AETE sont également très proches de celles obtenues par AEL malgré les différentes techniques d'analyse utilisées (Tableau 7).

Tableau 7: Comparaison des résultats d'analyse de Cr^{VI} et Crtot mesurés en duplicats, respectivement, par les laboratoires PPME (voltammétrie) et AEL (voltammétrie) et les laboratoires GPTR AETE (ICP-MS) et AEL (voltammétrie).

Station	Cr ^{VI} (µg/L)		Crtot (µg/L)	
	PPME	AEL	GPTR AETE	AEL
St03-S	0,110	0,271	0,414	0,329
St15-S	0,147	0,219	0,355	0,291
St16-S	0,183	0,176	0,552	0,251
St21-S	0,073	0,125	0,309	0,154
Ecart relatif (%)	43		46	

Analyse de l'arsenic dissous par ICP-MS

Toutes les analyses de l'As ont été effectuées par le laboratoire ALPA Chimies (France). Les résultats de l'analyse d'As montrent une fidélité très acceptable de 19 % (Tableau 9).

Tableau 9 : Résultats d'analyse de l'As en triplicata réalisé par le laboratoire ALPA Chimies (ICP-MS).

Station	As ($\mu\text{g/l}$)
St03-S	1,50
	1,50
	1,60
St15-S	2,50
	2,20
	1,20
St16-S	2,30
	1,70
	<1,00
St21-S	1,60
	2,70
	<1,00
Coefficient de variation (%)	19

Pour les exercices d'inter-calibration, les échantillons prélevés en duplicatas ont été expédiés au laboratoire GPTR AETE (France). L'écart relatif entre les mesures en As de ces deux laboratoires est de 3 % (Tableau 10).

Tableau 10 : Comparaison des résultats d'analyse d'As mesurés en duplicatas par les laboratoires GPTR AETE (ICP-MS) et ALPA Chimie (ICP-MS).

Station	As ($\mu\text{g/L}$)	
	GPTR AETE	ALPA Chimie
St03-S	1,85	1,53 \pm 0,06
St15-S	1,72	1,97 \pm 0,68
St16-S	1,892	2,00 \pm 0,42
St21-S	1,96	2,15 \pm 0,78
Ecart relatif (%)	3	

TRAITEMENTS STATISTIQUES

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Afin de se rapprocher de la réalité, les limites instrumentales de détection (LD), plus basses que les LQ, sont incluses dans



le traitement statistique. Dans cette étude, la relation qui peut être admise entre ces deux grandeurs correspondant à un facteur 3, les valeurs prises en compte ont été diminuées d'autant. Les valeurs inférieures à cette LD sont considérées comme nulles.

ANNEXE 2

Variables physico-chimiques

Minimums, maximums, moyennes et écart-types des données physico-chimiques mesurées dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St02	Minimum	26,7	0,05	0,53	35,6
	Maximum	26,7	0,60	5,33	35,6
	Moyenne	26,7	0,29	1,04	35,6
	Ecart-type	-	0,08	0,49	-
St03	Minimum	26,7	0,08	0,29	35,0
	Maximum	28,0	3,38	3,07	35,6
	Moyenne	27,1	0,68	0,91	35,4
	Ecart-type	0,4	0,31	0,63	0,2
St05	Minimum	26,5	0,01	0,19	35,5
	Maximum	26,6	0,48	1,35	35,6
	Moyenne	26,6	0,2	0,41	35,6
	Ecart-type	0,1	0,07	0,13	-
St06	Minimum	26,7	0,19	0,44	34,0
	Maximum	27,6	1,63	3,32	35,5
	Moyenne	27,1	0,62	1,17	35,3
	Ecart-type	0,3	0,18	0,763	0,3
St07	Minimum	26,4	0,13	0,39	35,5
	Maximum	26,8	0,77	2,53	35,6
	Moyenne	26,6	0,35	0,70	35,6
	Ecart-type	0,2	0,08	0,30	-
St09	Minimum	26,6	0,35	0,22	35,5
	Maximum	26,8	1,46	4,56	35,6
	Moyenne	26,7	0,61	0,43	35,6
	Ecart-type	0,1	0,12	0,27	-
St13	Minimum	26,3	0,02	0,34	35,5
	Maximum	26,9	1,88	2,40	35,6
	Moyenne	26,6	0,63	0,64	35,6
	Ecart-type	0,2	0,24	0,25	-
St14	Minimum	26,9	0,43	0,49	35,4
	Maximum	27,3	1,54	4,50	35,5
	Moyenne	27,1	0,75	0,94	35,5
	Ecart-type	0,2	0,21	0,47	0,1

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St15	Minimum	26,6	0,00	0,21	35,4
	Maximum	28,1	1,18	3,39	35,6
	Moyenne	26,9	0,35	0,56	35,6
	Ecart-type	0,4	0,23	0,39	-
St16	Minimum	25,4	0,00	0,02	35,4
	Maximum	27,5	5,40	1,05	35,6
	Moyenne	26,5	0,84	0,45	35,6
	Ecart-type	0,6	0,75	0,17	-
St18	Minimum	26,6	0,00	0,18	34,8
	Maximum	28,1	1,33	1,18	35,6
	Moyenne	26,9	0,32	0,38	35,5
	Ecart-type	0,5	0,20	0,11	0,2
St19	Minimum	26,0	0,00	0,19	35,3
	Maximum	27,7	2,47	1,34	35,6
	Moyenne	26,6	0,81	0,51	35,6
	Ecart-type	0,4	0,59	0,20	0,1
St20	Minimum	26,5	0,31	0,41	35,6
	Maximum	26,6	2,97	1,84	35,6
	Moyenne	26,5	0,62	0,68	35,6
	Ecart-type	-	0,22	0,20	-
St21	Minimum	26,1	0,12	0,44	35,5
	Maximum	26,3	0,99	1,59	35,6
	Moyenne	26,2	0,36	0,62	35,6
	Ecart-type	-	0,11	0,16	-

ANNEXE 3

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations des matières en suspension (MES)

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St02	S	431	467	1435	11731	18769	2975	0,20	8,17
	M	424	454	1414	11566	18769	2845	0,98	8,17
	F	427	456	1423	11630	18769	2910	0,49	8,16
St03	S	430	458	1428	11675	18538	2857	0,33	8,18
	M	438	466	1447	11792	18074	2720	0,51	8,17
	F	433	466	1433	11830	18769	2940	0,98	8,13
St05	S	429	459	1429	11716	18769	2865	0,56	8,15
	M	428	454	1423	11617	18769	3050	0,43	8,15
	F	517	465	1439	11815	18769	2810	0,55	8,13
St06	S	427	452	1421	11554	18769	3085	0,65	8,21
	M	436	459	1456	11779	18769	2935	0,33	8,19
	F	438	468	1456	11897	18769	2955	0,59	8,18
St07	S	432	465	1442	11797	18769	3060	0,31	8,17
	M	432	462	1438	11730	18769	2760	0,21	8,17
	F	428	462	1433	11737	18769	3070	0,32	8,17
St09	S	426	458	1422	11655	19464	2790	0,24	8,19
	M	427	455	1424	11655	18769	2920	0,34	8,19
	F	434	458	1422	11654	18769	3100	0,38	8,19
St13	S	431	465	1433	11736	18769	2875	0,27	8,14
	M	427	456	1411	11511	18769	2975	0,67	8,14
	F	431	464	1424	11710	18074	2940	0,57	8,13
St14	S	427	460	1425	11655	18769	3015	0,60	8,18
	M	427	452	1427	11663	18074	3070	0,51	8,19
	F	422	451	1405	11490	18074	2765	1,92	8,19
St15	S	426	458	1416	11549	18538	2973	0,31	8,13
	M	436	469	1448	11775	18769	2985	<0,10	8,15
	F	435	465	1443	11804	18769	2975	0,24	8,14
St16	S	429	458	1427	11658	18769	2805	0,18	8,15
	M	430	462	1428	11723	18769	2935	0,31	8,15
	F	433	467	1441	11735	18074	2745	0,60	8,12

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St18	S	424	459	1414	11520	18074	2715	0,25	8,14
	M	433	464	1441	11761	18769	2750	<0,1	8,15
	F	433	464	1441	11815	18769	2790	0,20	8,15
St19	S	428	460	1431	11711	18074	2835	0,16	8,15
	M	427	457	1426	11639	18769	2885	0,29	8,14
	F	431	464	1438	11744	18769	2725	0,51	8,14
St20	S	440	475	1448	11805	19464	2805	0,31	8,15
	M	446	471	1444	11817	18769	2845	0,32	8,15
	F	439	472	1431	11705	18074	2985	0,18	8,10
St21	S	452	466	1446	11818	18538	2802	1,03	8,16
	M	431	464	1441	11809	18074	2820	0,40	8,15
	F	432	462	1439	11822	18769	3110	0,39	8,15

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St02	S	0,252	0,118	0,083	1,36
	M	0,275	0,095	0,070	0,95
	F	0,312	0,142	0,102	1,36
St03	S	0,053	0,050	0,047	2,04
	M	0,203	0,149	0,049	1,55
	F	0,268	0,267	0,080	1,28
St05	S	0,235	0,135	0,108	0,86
	M	0,255	0,117	0,091	1,05
	F	0,287	0,126	0,098	2,73
St06	S	0,216	0,160	0,077	3,98
	M	0,109	0,063	0,092	1,30
	F	0,138	0,094	0,066	1,27
St07	S	0,262	0,146	0,117	1,69
	M	0,284	0,102	0,093	2,91
	F	0,282	0,143	0,102	1,90
St09	S	0,055	0,034	0,081	0,86
	M	0,079	0,084	0,089	0,80
	F	0,255	0,158	0,139	1,18
St13	S	0,136	0,108	0,047	0,63
	M	0,055	0,048	0,030	2,72
	F	0,257	0,141	0,070	0,81
St14	S	0,054	0,135	0,113	1,35
	M	0,184	0,055	0,083	1,31
	F	0,199	0,161	0,070	2,29
St15	S	<0,017	0,048	0,069	1,33
	M	<0,017	0,036	0,060	0,49
	F	0,096	0,035	0,036	1,62
St16	S	0,038	0,092	0,037	1,43
	M	0,022	0,032	0,073	1,18
	F	0,057	0,279	0,112	1,25

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St18	S	0,030	0,037	<0,017	3,99
	M	0,183	0,142	0,067	0,71
	F	0,046	0,121	0,080	2,29
St19	S	<0,017	0,029	0,024	1,93
	M	0,116	0,051	0,042	1,03
	F	0,224	0,118	<0,017	1,62
St20	S	0,023	0,052	0,072	1,61
	M	0,085	0,042	0,049	1,74
	F	0,057	0,103	0,042	1,12
St21	S	0,210	0,133	0,111	1,68
	M	0,244	0,177	0,102	1,50
	F	0,304	0,211	0,107	1,62

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,050 µmol/L) et >LD (0,017 µmol/L).

ANNEXE 5

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle α

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle α du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique ($\mu\text{mol/L}$)							Chlorophylle α ($\mu\text{g/L}$)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St02	S	4,22	0,781	0,145	0,068	13,7	5,37	0,296	0,296
	M	4,16	0,559	0,093	0,062	7,76	5,10	0,226	0,217
	F	3,17	0,636	0,107	0,078	13,3	4,26	0,287	0,254
St03	S	6,94	1,609	0,116	0,138	8,78	8,65	0,302	0,257
	M	4,00	1,239	0,100	0,110	10,3	5,59	0,259	0,691
	F	6,02	1,081	0,141	0,116	16,0	7,63	0,338	0,574
St05	S	3,31	0,653	0,089	0,049	3,79	4,33	0,247	0,247
	M	2,94	0,646	0,106	0,060	5,97	3,96	0,257	0,205
	F	3,73	0,788	0,123	0,061	1,27	4,94	0,283	0,138
St06	S	3,86	1,531	0,035	0,140	7,71	5,77	0,253	0,554
	M	3,76	0,946	0,067	0,092	7,71	4,88	0,252	0,514
	F	4,15	1,259	0,150	0,077	9,78	5,63	0,294	0,601
St07	S	3,19	0,778	0,055	0,063	8,60	4,38	0,236	0,406
	M	3,08	0,740	0,094	0,059	5,38	4,21	0,246	0,296
	F	2,95	0,826	0,079	0,055	5,33	4,20	0,236	0,258
St09	S	3,11	0,973	0,066	0,084	3,99	4,17	0,231	0,491
	M	3,14	0,907	0,077	0,073	5,04	4,21	0,240	0,024
	F	3,74	1,009	0,000	0,080	5,29	5,16	0,115	0,315
St13	S	5,08	1,000	0,122	0,108	8,15	6,33	0,277	0,141
	M	3,87	1,108	0,059	0,121	8,80	5,09	0,210	0,615
	F	3,68	1,316	0,000	0,151	11,6	5,39	0,205	0,636
St14	S	5,21	1,130	0,121	0,089	8,36	6,54	0,323	0,870
	M	4,62	0,876	0,111	0,086	11,6	5,73	0,280	0,555
	F	4,38	0,889	0,143	0,117	14,2	5,62	0,330	0,514
St15	S	3,71	1,152	0,049	0,092	5,81	4,92	0,211	0,028
	M	2,45	1,444	0,000	0,105	7,59	3,93	0,147	0,215
	F	4,24	1,222	0,218	0,117	7,18	5,60	0,371	0,396
St16	S	3,71	1,106	0,145	0,080	6,81	4,94	0,211	0,152
	M	3,64	1,402	0,093	0,131	6,99	5,10	0,276	0,353
	F	3,88	1,440	0,107	0,129	7,76	5,66	0,359	1,132

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St18	S	2,96	0,970	0,094	0,066	7,11	4,00	0,123	0,198
	M	5,13	1,235	0,071	0,107	8,45	6,69	0,276	0,144
	F	3,25	1,819	0,118	0,105	8,85	5,24	0,302	0,170
St19	S	3,94	0,488	0,056	0,046	5,46	4,46	0,142	0,048
	M	3,45	1,217	0,101	0,116	8,66	4,83	0,227	0,438
	F	4,17	1,585	0,117	0,145	8,94	6,10	0,333	0,326
St20	S	3,52	1,144	0,072	0,125	9,72	4,74	0,188	0,232
	M	3,86	1,234	0,069	0,129	11,7	5,22	0,205	0,557
	F	5,46	1,294	0,188	0,136	14,4	6,92	0,294	0,538
St21	S	3,11	1,149	0,000	0,119	4,11	4,60	0,247	0,327
	M	8,56	0,832	0,027	0,067	5,36	9,82	0,675	0,442
	F	2,94	0,752	0,116	0,069	7,75	4,21	0,259	0,333

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2016 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr ^{VI}	Crtot	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St02	S	2,40	<0,008	0,117	0,153	<0,009	<0,008	<0,023	0,031	0,078	<0,033	<0,333
	M	1,80	<0,008	0,114	0,156	<0,009	<0,008	<0,023	0,036	0,064	<0,033	<0,333
	F	2,20	<0,008	0,125	0,155	<0,009	0,026	<0,023	0,038	0,059	0,036	<0,333
St03	S	1,53	<0,008	0,272	0,329	0,114	<0,008	<0,023	0,197	0,571	<0,033	<0,333
	M	2,00	<0,008	0,126	0,162	0,030	<0,008	<0,023	0,153	0,201	<0,033	<0,333
	F	1,60	<0,008	0,119	0,153	<0,009	<0,008	<0,023	0,040	0,053	<0,033	<0,333
St05	S	2,60	<0,008	0,103	0,144	<0,009	<0,008	<0,023	0,047	0,084	0,039	<0,333
	M	1,60	<0,008	0,105	0,144	<0,009	<0,008	<0,023	0,059	0,091	<0,033	<0,333
	F	2,30	<0,008	0,102	0,161	<0,009	<0,008	<0,023	0,044	0,074	0,048	<0,333
St06	S	1,20	<0,008	0,118	0,281	0,085	<0,008	<0,023	0,394	0,460	<0,033	<0,333
	M	2,30	<0,008	0,115	0,288	0,015	0,014	<0,023	0,094	0,123	<0,033	<0,333
	F	1,20	<0,008	0,135	0,153	0,020	<0,008	<0,023	0,104	0,143	<0,033	<0,333
St07	S	2,10	<0,008	0,124	0,149	<0,009	<0,008	<0,023	0,042	0,070	<0,033	<0,333
	M	1,20	<0,008	0,124	0,137	<0,009	<0,008	<0,023	0,065	0,100	<0,033	<0,333
	F	0,03	<0,008	0,132	0,138	<0,009	<0,008	<0,023	<0,009	0,045	<0,033	<0,333
St09	S	2,10	<0,008	0,120	0,143	<0,009	<0,008	<0,023	0,044	0,088	0,082	<0,333
	M	2,20	<0,008	0,112	0,144	<0,009	<0,008	<0,023	0,038	0,068	<0,033	<0,333
	F	1,90	<0,008	0,107	0,255	<0,009	<0,008	<0,023	0,093	0,135	<0,033	<0,333
St13	S	2,00	<0,008	0,132	0,153	0,017	0,016	<0,023	0,143	0,184	<0,033	<0,333
	M	1,90	<0,008	0,122	0,154	0,015	0,009	<0,023	0,080	0,131	<0,033	<0,333
	F	1,20	<0,008	0,115	0,145	0,016	0,203	<0,023	0,113	0,138	0,191	3,070
St14	S	1,80	<0,008	0,157	0,175	0,019	<0,008	<0,023	0,169	0,183	<0,033	<0,333
	M	1,60	<0,008	0,122	0,176	0,009	<0,008	<0,023	0,078	0,125	<0,033	<0,333
	F	3,10	<0,008	0,191	0,281	0,017	<0,008	<0,023	0,034	0,070	<0,033	<0,333
St15	S	1,97	<0,008	0,219	0,291	0,060	0,008	<0,023	0,259	0,256	<0,033	<0,333
	M	2,50	<0,008	0,158	0,177	0,014	<0,008	<0,023	0,066	0,101	<0,033	<0,333
	F	1,30	<0,008	0,139	0,193	0,012	<0,008	<0,023	0,063	0,086	<0,033	<0,333
St16	S	1,34	<0,008	0,177	0,251	0,032	0,036	0,033	0,236	0,199	<0,033	<0,333
	M	2,10	<0,008	0,189	0,192	0,010	<0,008	<0,023	0,051	0,105	<0,033	<0,333
	F	1,50	<0,008	0,178	0,246	0,015	<0,008	<0,023	0,016	0,075	<0,033	<0,333

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr ^{VI}	Crtot	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St18	S	1,30	<0,008	0,295	0,319	0,069	0,036	<0,023	0,279	0,453	<0,033	<0,333
	M	1,40	<0,008	0,131	0,166	0,013	<0,008	<0,023	0,044	0,083	<0,033	<0,333
	F	1,70	<0,008	0,130	0,165	0,020	<0,008	<0,023	0,109	0,194	<0,033	<0,333
St19	S	1,10	<0,008	0,179	0,191	0,040	0,043	0,038	0,396	0,265	0,040	<0,333
	M	0,03	<0,008	0,197	0,240	0,033	0,027	0,088	0,274	0,314	<0,033	0,923
	F	1,30	<0,008	0,177	0,244	0,022	0,041	0,063	0,224	0,262	<0,033	0,706
St20	S	0,03	<0,008	0,136	0,170	0,032	<0,008	<0,023	0,096	0,145	0,042	<0,333
	M	0,03	<0,008	0,147	0,185	0,016	<0,008	<0,023	0,054	0,102	<0,033	<0,333
	F	2,30	<0,008	0,126	0,173	0,024	<0,008	<0,023	0,093	0,149	<0,033	<0,333
St21	S	1,44	<0,008	0,126	0,154	<0,009	<0,008	0,053	0,029	0,056	<0,033	<0,333
	M	1,20	<0,008	0,127	0,137	<0,009	<0,008	<0,023	0,037	0,080	0,042	<0,333
	F	1,60	<0,008	0,117	0,155	<0,009	<0,008	<0,023	0,058	0,087	<0,033	<0,333

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,027, 0,025, 0,068, 0,028, 0,100 et 1,00 µg/L µg/L, respectivement pour Co, Cu, Fe, Mn, Pb et Zn) et >LD (0,009, 0,008, 0,023, 0,009, 0,033 et 0,333 µg/L, respectivement, pour Co, Cu, Fe, Mn, Pb et Zn). * : les analyses effectuées par un laboratoire prestataire dont les données en dessous de la LQ n'étant pas fournies sont minorées à LQ/3.

ANNEXE 7

Compilation des concentrations des sels nutritifs des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO₃+NO₂), ammonium (NH₄), phosphates (PO₄) et silicates (SiO₄) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2016 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NO ₃ +NO ₂ (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,103	0,086	0,170	0,117	<0,050	<0,050	0,060	0,055
	Maximum	4,921	1,050	0,309	1,040	0,318	0,263	0,469	0,406	0,312
	Moyenne	0,422	0,395	0,212	0,473	0,184	0,084	0,251	0,189	0,239
	Ecart-type	0,853	0,318	0,073	0,242	0,116	0,073	0,119	0,118	0,075
Baies du Canal	Minimum	<0,050	0,233	0,194	0,060	<0,050	<0,050	0,123	0,065	0,053
	Maximum	0,445	0,735	0,717	0,720	0,146	1,393	0,596	0,522	0,268
	Moyenne	0,205	0,491	0,355	0,374	0,146 (n=1)	0,233	0,253	0,313	0,158
	Ecart-type	0,165	0,187	0,167	0,196	-	0,439	0,158	0,203	0,075
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	0,060	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	1,212	1,740	0,700	1,860	0,270	0,148	0,818	0,258	0,224
	Moyenne	0,259	0,378	0,108	0,402	0,129	0,070	0,252	0,077	0,135
	Ecart-type	0,439	0,532	0,194	0,526	0,098	0,042	0,242	0,067	0,067
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,349	0,056	0,100	<0,050	<0,050	0,055	<0,050	<0,050
	Maximum	0,252	1,470	0,286	0,770	0,080	0,465	0,727	0,257	0,257
	Moyenne	0,124	0,719	0,131	0,322	0,060	0,160	0,273	0,077	0,118
	Ecart-type	0,113	0,389	0,085	0,251	0,028	0,176	0,261	0,100	0,084

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,009	0,026	0,034	0,010	0,018	0,019	0,044	0,039	0,034
	Maximum	0,413	0,125	0,292	0,262	0,088	0,135	0,114	0,610	0,211
	Moyenne	0,396	0,059	0,135	0,071	0,050	0,047	0,069	0,132	0,128
	Ecart-type	0,100	0,029	0,092	0,062	0,020	0,032	0,020	0,136	0,046
Baies du Canal	Minimum	0,054	0,009	0,064	0,014	0,025	0,022	0,043	0,065	0,050
	Maximum	0,157	0,136	0,266	0,230	0,237	0,135	0,166	0,323	0,267
	Moyenne	0,094	0,045	0,169	0,102	0,112	0,079	0,096	0,160	0,126
	Ecart-type	0,036	0,038	0,074	0,065	0,058	0,032	0,040	0,080	0,070
Baie du Prony	Minimum	0,012	0,004	0,018	0,012	0,016	0,014	0,014	0,066	0,029
	Maximum	0,168	0,114	0,249	0,287	0,199	0,073	0,595	0,276	0,279
	Moyenne	0,044	0,042	0,111	0,079	0,058	0,036	0,139	0,136	0,085
	Ecart-type	0,046	0,028	0,078	0,094	0,057	0,021	0,181	0,073	0,073
Ile Ouen	Minimum	0,029	0,005	0,043	0,018	0,061	0,022	0,064	0,059	0,042
	Maximum	0,113	0,163	0,389	0,216	0,162	0,246	0,137	0,339	0,141
	Moyenne	0,066	0,063	0,155	0,066	0,104	0,118	0,098	0,155	0,082
	Ecart-type	0,043	0,070	0,128	0,075	0,039	0,103	0,030	0,100	0,041

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,055	<0,050	0,070
	Maximum	0,125	0,061	0,074	0,102	0,093	0,051	0,091	0,127	0,139
	Moyenne	0,038	0,041	0,050	0,038	0,042	0,032	0,066	0,127 (n=1)	0,100
	Ecart-type	0,028	0,015	0,011	0,027	0,028	0,014	0,011	-	0,017
Baies du Canal	Minimum	<0,050	<0,050	0,052	<0,050	<0,050	<0,050	0,064	<0,050	<0,050
	Maximum	0,048	0,060	0,072	0,120	0,096	0,038	0,072	<0,050	0,113
	Moyenne	0,035	0,040	0,062	0,047	0,038	0,024	0,069	-	0,083
	Ecart-type	0,011	0,016	0,008	0,036	0,028	0,009	0,004	-	0,016
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,068	<0,050	<0,050
	Maximum	0,058	0,171	0,202	0,185	0,094	0,063	0,273	<0,050	0,112
	Moyenne	0,037	0,055	0,071	0,058	0,068	0,041	0,126	-	0,077
	Ecart-type	0,017	0,045	0,043	0,054	0,019	0,012	0,066	-	0,018
Ile Ouen	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,056	<0,050	<0,050
	Maximum	0,062	0,082	0,073	0,070	0,115	0,038	0,088	<0,050	0,072
	Moyenne	0,043	0,062	0,045	0,041	0,080	0,030	0,072	-	0,071
	Ecart-type	0,018	0,015	0,015	0,018	0,027	0,006	0,016	-	0,001

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (μmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,43	0,97	0,02	<0,050	1,12	0,74	0,60	0,99	0,80
	Maximum	1,80	1,58	0,94	1,62	2,53	1,16	1,06	1,38	2,91
	Moyenne	0,96	1,21	0,34	0,41	1,86	0,94	0,81	1,13	1,50
	Ecart-type	0,36	0,17	0,26	0,40	0,55	0,15	0,15	0,13	0,64
Baies du Canal	Minimum	0,79	1,34	0,52	0,14	1,50	1,14	1,03	1,24	1,27
	Maximum	1,89	4,79	4,69	2,84	4,15	12,34	8,14	4,22	3,98
	Moyenne	1,20	2,13	1,81	1,07	2,57	3,12	2,58	1,88	1,82
	Ecart-type	0,33	1,13	1,28	1,12	0,82	3,67	2,68	0,93	0,89
Baie du Prony	Minimum	1,25	1,55	1,32	<0,050	1,47	1,19	1,81	1,36	0,49
	Maximum	4,07	4,21	6,64	9,95	3,25	12,96	6,62	4,48	3,99
	Moyenne	2,38	2,63	2,43	4,78	2,16	2,68	2,68	2,16	1,57
	Ecart-type	0,89	1,01	1,45	4,21	0,55	3,32	1,43	1,07	0,91
Ile Ouen	Minimum	1,56	1,31	0,54	0,21	1,64	1,21	1,05	1,25	0,63
	Maximum	1,97	1,67	1,34	0,40	2,24	1,47	1,75	2,01	2,72
	Moyenne	1,79	1,50	0,98	0,32	1,93	1,36	1,47	1,59	1,44
	Ecart-type	0,21	0,14	0,28	0,08	0,23	0,09	0,28	0,26	0,76

ANNEXE 8

Compilation des concentrations de la matière organique des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD) et du carbone, de l'azote et du phosphore organiques particuliers mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2016 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NOD (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	4,50	0,68	0,38	2,92	2,81	0,96	3,62	3,03	2,94
	Maximum	9,89	3,51	6,83	5,48	4,72	4,72	5,24	6,02	8,56
	Moyenne	5,19	2,52	2,30	4,40	3,52	3,42	4,59	4,06	3,69
	Ecart-type	0,91	0,90	1,94	0,72	0,56	1,03	0,52	0,83	1,41
Baies du Canal	Minimum	3,97	0,95	0,87	4,23	1,09	3,26	4,11	3,55	3,76
	Maximum	5,61	3,79	3,32	5,55	3,80	4,27	5,83	5,58	6,94
	Moyenne	4,84	2,56	2,13	4,99	3,24	3,72	4,89	4,21	4,77
	Ecart-type	0,47	0,86	0,76	0,41	0,99	0,31	0,46	0,61	1,09
Baie du Prony	Minimum	4,48	1,51	1,07	3,79	1,78	2,98	4,31	3,36	2,45
	Maximum	6,32	4,46	2,90	5,78	4,45	4,05	6,39	5,61	5,13
	Moyenne	5,11	2,68	2,07	4,82	3,54	3,66	5,36	4,57	3,71
	Ecart-type	0,54	0,80	0,67	0,65	0,69	0,32	0,65	0,80	0,68
Ile Ouen	Minimum	5,05	2,03	0,83	2,85	3,31	2,39	5,33	3,15	3,52
	Maximum	5,19	3,73	3,08	5,39	4,94	3,87	6,69	5,07	5,46
	Moyenne	5,12	3,09	1,73	4,24	4,01	3,32	5,81	4,33	4,25
	Ecart-type	0,07	0,63	0,97	0,85	0,57	0,50	0,48	0,75	0,81

Zone d'étude	Statistique	POD (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,159	0,132	0,671	0,470	0,107	0,165	0,121	0,049	0,000
	Maximum	0,279	0,322	0,953	0,710	0,294	0,327	0,273	0,178	0,505
	Moyenne	0,346	0,195	0,837	0,604	0,196	0,230	0,195	0,116	0,109
	Ecart-type	0,027	0,077	0,100	0,071	0,056	0,051	0,051	0,043	0,116
Baies du Canal	Minimum	0,155	0,064	0,708	0,440	0,164	0,130	0,093	0,009	0,035
	Maximum	0,238	0,220	0,920	0,700	0,253	0,251	0,216	0,269	0,150
	Moyenne	0,204	0,127	0,847	0,607	0,228	0,162	0,158	0,109	0,109
	Ecart-type	0,025	0,048	0,064	0,081	0,030	0,041	0,042	0,077	0,038
Baie du Prony	Minimum	0,172	0,124	0,596	0,550	0,079	0,128	0,139	0,023	0,000
	Maximum	0,230	0,374	0,942	0,720	0,240	0,238	0,253	0,176	0,218
	Moyenne	0,201	0,228	0,776	0,624	0,163	0,167	0,218	0,080	0,096
	Ecart-type	0,017	0,085	0,105	0,048	0,053	0,037	0,032	0,053	0,060
Ile Ouen	Minimum	0,211	0,105	0,792	0,550	0,067	0,174	0,207	0,033	0,000
	Maximum	0,228	0,329	1,050	0,710	0,161	0,203	0,303	0,159	0,122
	Moyenne	0,218	0,211	0,875	0,620	0,120	0,191	0,249	0,128	0,054
	Ecart-type	0,009	0,104	0,092	0,068	0,036	0,011	0,035	0,047	0,055

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	4,1	10,8	6,4	8,5	ND	6,2	9,5	6,9	1,3
	Maximum	12,5	28,1	12,1	18,3	ND	15,1	21,5	11,4	13,7
	Moyenne	6,8	17,6	8,0	11,9	ND	11,3	14,1	8,2	6,4
	Ecart-type	2,0	5,1	1,5	3,1	ND	2,9	4,1	1,1	3,4
Baies Canal	Minimum	4,7	8,9	5,2	10,8	ND	9,5	11,4	7,8	7,7
	Maximum	13,4	26,0	11,5	16,0	ND	61,8	22,2	13,8	16,0
	Moyenne	8,4	17,2	6,9	12,7	ND	17,2	16,2	9,3	10,5
	Ecart-type	2,8	5,6	2,2	1,9	ND	16,9	4,3	1,8	2,9
Baie du Prony	Minimum	4,5	8,4	5,7	7,9	ND	9,8	8,6	5,6	5,5
	Maximum	10,6	18,6	10,9	27,1	ND	21,4	18,9	10,5	8,9
	Moyenne	7,1	12,4	8,4	12,4	ND	12,4	13,3	7,8	7,5
	Ecart-type	2,2	2,9	1,5	4,9	ND	3,1	3,0	1,6	1,1
Ile Ouen	Minimum	8,0	11,8	6,7	9,4	ND	11,9	12,8	10,0	8,1
	Maximum	8,9	17,8	27,9	20,1	ND	16,8	34,7	22,6	14,4
	Moyenne	8,4	14,3	13,6	13,6	ND	13,7	18,6	15,4	10,7
	Ecart-type	0,5	2,5	7,9	4,3	ND	1,7	8,1	5,5	2,3

ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	NOP (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,00	1,12	0,92	0,78	0,75	0,54	0,82	0,70	0,56
	Maximum	1,70	3,54	3,11	1,35	1,23	0,93	1,90	1,14	1,15
	Moyenne	0,66	1,75	1,85	1,03	0,91	0,72	1,19	0,86	0,80
	Ecart-type	0,41	0,79	0,77	0,17	0,13	0,12	0,36	0,14	0,16
Baies du Canal	Minimum	0,00	0,96	0,78	0,95	0,85	0,59	0,74	0,71	0,88
	Maximum	1,75	5,01	3,01	1,69	1,32	1,33	1,82	1,18	1,61
	Moyenne	0,69	2,12	1,35	1,22	1,08	0,90	1,20	0,86	1,17
	Ecart-type	0,64	1,24	0,68	0,24	0,17	0,25	0,31	0,14	0,26
Baie du Prony	Minimum	0,00	1,02	0,83	0,83	0,87	0,82	0,91	0,86	0,49
	Maximum	0,00	3,82	2,53	1,52	1,35	1,25	2,24	1,38	1,82
	Moyenne	-	1,65	1,49	1,08	1,05	0,99	1,37	1,08	1,26
	Ecart-type	-	0,78	0,49	0,21	0,16	0,12	0,44	0,16	0,33
Ile Ouen	Minimum	0,00	1,17	1,37	0,80	1,00	0,73	1,02	0,93	1,00
	Maximum	0,00	1,57	6,25	3,53	1,33	1,05	2,69	1,58	1,32
	Moyenne	-	1,42	3,40	1,51	1,19	0,93	1,37	1,28	1,18
	Ecart-type	-	0,15	2,30	1,02	0,12	0,13	0,65	0,22	0,12

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,013	0,051	0,00	0,00	0,038	0,053	0,038	0,029	0,049
	Maximum	0,099	0,080	0,107	0,083	0,091	0,094	0,089	0,100	0,119
	Moyenne	0,053	0,061	0,056	0,025	0,059	0,065	0,053	0,052	0,070
	Ecart-type	0,015	0,010	0,029	0,024	0,019	0,010	0,014	0,019	0,017
Baies du Canal	Minimum	0,041	0,069	0,034	0,012	0,052	0,060	0,051	0,030	0,077
	Maximum	0,107	0,119	0,141	0,045	0,087	0,123	0,087	0,115	0,140
	Moyenne	0,065	0,089	0,080	0,025	0,066	0,091	0,068	0,047	0,107
	Ecart-type	0,022	0,019	0,033	0,012	0,014	0,022	0,013	0,026	0,023
Baie du Prony	Minimum	0,00	0,056	0,021	0,00	0,047	0,064	0,051	0,094	0,046
	Maximum	0,058	0,111	0,090	0,039	0,068	0,107	0,096	0,143	0,145
	Moyenne	0,037	0,080	0,054	0,026	0,060	0,087	0,070	0,111	0,103
	Ecart-type	0,017	0,017	0,022	0,011	0,007	0,014	0,015	0,015	0,028
Ile Ouen	Minimum	0,026	0,062	0,020	0,015	0,059	0,063	0,054	0,051	0,108
	Maximum	0,062	0,105	0,072	0,106	0,084	0,101	0,076	0,112	0,151
	Moyenne	0,043	0,081	0,054	0,053	0,073	0,079	0,065	0,075	0,128
	Ecart-type	0,018	0,020	0,018	0,043	0,011	0,014	0,009	0,024	0,015

ANNEXE 9

Compilation des concentrations de chlorophylle a des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de la chlorophylle a mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2016 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,20	0,38	0,50	0,26	0,01	0,39	0,25	0,33	0,02
	Maximum	0,59	0,77	1,12	1,17	0,43	0,60	0,64	0,65	0,49
	Moyenne	0,40	0,53	0,89	0,64	0,26	0,49	0,43	0,45	0,28
	Ecart-type	0,10	0,12	0,18	0,25	0,13	0,07	0,14	0,09	0,12
Baie du Canal	Minimum	0,30	0,36	0,32	0,24	0,02	0,31	0,07	0,28	0,26
	Maximum	0,56	0,80	0,95	1,21	0,41	0,69	0,45	0,54	0,87
	Moyenne	0,44	0,56	0,61	0,64	0,28	0,54	0,31	0,43	0,57
	Ecart-type	0,08	0,15	0,25	0,28	0,14	0,11	0,12	0,09	0,16
Baie du Prony	Minimum	0,27	0,27	0,52	0,24	0,17	0,28	0,10	0,28	0,03
	Maximum	0,59	1,20	1,05	3,34	0,66	0,88	1,34	0,64	1,13
	Moyenne	0,43	0,61	0,76	0,82	0,35	0,55	0,63	0,41	0,30
	Ecart-type	0,11	0,34	0,14	0,97	0,17	0,19	0,37	0,11	0,29
Ile Ouen	Minimum	0,50	0,33	0,63	0,26	0,14	0,48	0,22	0,25	0,14
	Maximum	0,97	1,01	0,92	0,95	0,36	0,77	0,61	0,54	0,64
	Moyenne	0,76	0,76	0,77	0,56	0,26	0,67	0,32	0,34	0,45
	Ecart-type	0,24	0,26	0,10	0,26	0,07	0,10	0,15	0,11	0,21

ANNEXE 10

Compilation des concentrations des métaux dissous des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, CrVI, Cr-total, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2016 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)*								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	1,20	ND	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,40	<1,00
	Maximum	1,47	ND	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,50	2,60
	Moyenne	1,29	ND	ND	ND	ND	1,79	1,50	1,84	1,90
	Ecart-type	0,06	ND	ND	ND	ND	0,07	0,52	0,33	0,44
Baies du Canal	Minimum	1,20	ND	ND	ND	ND	1,60	2,00	1,50	1,20
	Maximum	1,41	ND	ND	ND	ND	2,00	2,00	2,40	3,10
	Moyenne	1,31	ND	ND	ND	ND	1,79	2,00	1,95	1,81
	Ecart-type	0,06	ND	ND	ND	ND	0,15	0,00	0,31	0,60
Baie du Prony	Minimum	1,07	ND	ND	ND	ND	1,50	1,00	1,50	<1,00
	Maximum	1,32	ND	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,40	2,50
	Moyenne	1,20	ND	ND	ND	ND	1,70	1,80	1,80	1,59
	Ecart-type	0,07	ND	ND	ND	ND	0,13	0,42	0,30	0,43
Ile Ouen	Minimum	1,29	ND	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,30	<1,00
	Maximum	1,31	ND	ND	ND	ND	1,80	3,00	1,70	2,30
	Moyenne	1,30	ND	ND	ND	ND	1,77	2,00	1,47	1,85
	Ecart-type	0,01	ND	ND	ND	ND	0,05	0,71	0,14	0,47

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammétrie) et par différents laboratoires expliquant les différent seuil de LQ ; ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	Co (µg/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	0,046	<0,027	0,044	0,042	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Moyenne	0,019	-	0,025	0,023	-	-	-	-	-
	Ecart-type	0,010	-	0,011	0,011	-	-	-	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,027	<0,027	0,029	<0,027	<0,027	<0,027	0,032	0,050	<0,027
	Maximum	0,046	0,102	0,102	0,082	0,058	0,046	0,109	0,086	0,114
	Moyenne	0,028	0,034	0,057	0,036	0,030	0,032	0,063	0,071	0,076
	Ecart-type	0,011	0,027	0,027	0,020	0,015	0,014	0,035	0,019	0,043
Baie du Prony	Minimum	<0,027	0,031	0,055	<0,027	0,032	<0,027	<0,027	0,027	<0,027
	Maximum	0,082	0,100	0,270	0,252	0,092	0,061	0,075	0,111	0,069
	Moyenne	0,044	0,053	0,085	0,075	0,048	0,028	0,040	0,052	0,047
	Ecart-type	0,019	0,023	0,059	0,075	0,017	0,017	0,019	0,026	0,017
Ile Ouen	Minimum	0,027	<0,027	0,039	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,039	<0,027
	Maximum	0,036	0,048	0,058	0,054	0,052	<0,027	0,031	0,061	0,032
	Moyenne	0,031	0,036	0,050	0,027	0,033	0,013	0,026	0,053	0,032 (n=1)
	Ecart-type	0,005	0,009	0,008	0,015	0,010	-	0,003	0,012	-

Zone d'étude	Statistique	Cr ^{VI} (µg/L)								
		Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016	
Canal de la Havannah	Minimum	0,113	0,106	0,098	0,086	0,067	0,096	0,115	0,102	
	Maximum	0,147	0,251	0,231	0,116	0,123	0,160	0,144	0,132	
	Moyenne	0,131	0,141	0,113	0,093	0,081	0,126	0,127	0,117	
	Ecart-type	0,012	0,035	0,032	0,011	0,013	0,017	0,009	0,010	
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,110	0,107	0,098	0,079	0,119	0,124	0,115	
	Maximum	0,277	0,230	0,232	0,264	0,348	0,546	0,243	0,272	
	Moyenne	0,144	0,153	0,133	0,133	0,130	0,218	0,154	0,151	
	Ecart-type	0,057	0,036	0,039	0,051	0,086	0,161	0,035	0,052	
Baie du Prony	Minimum	0,163	0,182	0,115	0,114	0,095	0,080	0,129	0,130	
	Maximum	0,409	0,776	1,222	0,218	0,380	0,638	0,325	0,295	
	Moyenne	0,216	0,280	0,431	0,148	0,167	0,220	0,201	0,181	
	Ecart-type	0,077	0,168	0,422	0,027	0,087	0,139	0,058	0,045	
Ile Ouen	Minimum	0,089	0,136	0,136	0,088	0,083	0,079	0,134	0,115	
	Maximum	0,219	0,160	0,238	0,138	0,096	0,203	0,190	0,147	
	Moyenne	0,142	0,149	0,162	0,118	0,090	0,147	0,166	0,130	
	Ecart-type	0,047	0,008	0,039	0,021	0,006	0,053	0,021	0,011	

Zone d'étude	Statistique	Crtot (µg/L)*								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,023	0,177	0,150	0,127	ND	0,097	0,135	0,127	0,137
	Maximum	0,175	0,676	0,270	0,702	ND	0,255	0,176	0,203	0,255
	Moyenne	0,107	0,372	0,179	0,278	ND	0,142	0,153	0,164	0,155
	Ecart-type	0,037	0,181	0,037	0,181	ND	0,048	0,013	0,024	0,029
Baies du Canal	Minimum	0,071	0,187	0,150	0,184	ND	0,103	0,147	0,172	0,153
	Maximum	0,173	0,730	0,170	0,488	ND	0,425	0,584	0,334	0,329
	Moyenne	0,128	0,383	0,160	0,320	ND	0,177	0,240	0,207	0,222
	Ecart-type	0,035	0,177	0,008	0,112	ND	0,102	0,165	0,052	0,071
Baie du Prony	Minimum	0,049	0,174	0,200	0,200	ND	0,142	0,197	0,196	0,165
	Maximum	0,136	0,579	0,450	1,857	ND	0,414	1,670	0,344	0,319
	Moyenne	0,101	0,321	0,258	0,640	ND	0,199	0,375	0,244	0,223
	Ecart-type	0,027	0,123	0,078	0,534	ND	0,087	0,432	0,048	0,050
Ile Ouen	Minimum	0,154	0,236	0,170	0,194	ND	0,119	0,133	0,164	0,145
	Maximum	0,182	0,404	0,250	1,000	ND	0,168	0,239	0,217	0,185
	Moyenne	0,170	0,302	0,195	0,579	ND	0,138	0,196	0,195	0,163
	Ecart-type	0,014	0,057	0,028	0,312	ND	0,023	0,037	0,022	0,015

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammétrie) et différents laboratoires expliquant les différents seuils de LQ ;
 ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	<0,025	0,030	<0,025	<0,025	<0,025	0,047	<0,025	<0,025
	Maximum	0,150	<0,025	0,330	0,182	0,254	0,043	0,049	<0,025	0,026
	Moyenne	0,090	0,100 (n=1)	0,093	0,055	0,114	0,024	0,047	0,048 (n=1)	0,026 (n=1)
	Ecart-type	0,025	-	0,092	0,054	0,107	0,008	0,001	-	-
Baies du Canal	Minimum	0,050	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,038		<0,025
	Maximum	0,120	<0,025	0,230	0,093	0,159	0,065	0,176		<0,025
	Moyenne	0,080	0,100 (n=1)	0,060	0,038	0,125	0,032	0,107		-
	Ecart-type	0,019	-	0,069	0,028	0,054	0,016	0,098		-
Baie du Prony	Minimum	0,070	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,029	<0,025
	Maximum	0,090	<0,025	0,130	0,052	0,483	0,075	<0,025	0,266	0,043
	Moyenne	0,079	-	0,054	0,033	0,179	0,034	0,087 (n=1)	0,118	0,037
	Ecart-type	0,007	-	0,043	0,015	0,128	0,021	-	0,105	0,006
Ile Ouen	Minimum	0,080	0,070	0,060	<0,025	0,098	<0,025	0,045	0,060	<0,025
	Maximum	0,140	0,160	0,860	0,123	0,630	0,047	0,275	0,067	0,203
	Moyenne	0,103	0,120	0,245	0,074	0,241	0,033	0,160	0,064	0,203 (n=1)
	Ecart-type	0,032	0,046	0,308	0,056	0,194	0,011	0,163	0,004	-

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	<0,068	0,070	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,076	<0,068
	Maximum	0,410	1,020	0,160	<0,068	0,204	<0,068	<0,068	0,201	<0,068
	Moyenne	0,132	0,190	0,098	0,017	0,057	0,023	0,030	0,128	-
	Ecart-type	0,062	0,276	0,032	0,007	0,048	0,010	0,007	0,043	-
Baies du Canal	Minimum	0,090	0,100	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,104	<0,068
	Maximum	0,140	0,450	0,290	0,178	0,135	<0,068	0,166	0,243	<0,068
	Moyenne	0,118	0,199	0,166	0,044	0,070	0,037	0,084	-	-
	Ecart-type	0,018	0,108	0,071	0,054	0,030	0,011	0,048	0,048	-
Baie du Prony	Minimum	<0,068	0,100	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,071	<0,068
	Maximum	0,100	0,140	0,120	<0,068	0,140	<0,068	<0,068	0,112	0,088
	Moyenne	0,060	0,110	0,090	0,037	0,062	0,027	0,031	0,096	0,088 (n=1)
	Ecart-type	0,017	0,015	0,017	0,023	0,035	0,014	0,010	0,014	-
Ile Ouen	Minimum	0,120	0,100	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,090	<0,068
	Maximum	0,220	0,150	0,190	<0,068	0,230	<0,068	0,143	0,443	<0,068
	Moyenne	0,157	0,125	0,122	0,035	0,097	0,022	0,093	0,243	-
	Ecart-type	0,055	0,024	0,047	0,010	0,068	0,003	0,036	0,165	-

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	0,090	0,080	<0,028	0,029	<0,028	0,029	0,057	<0,028
	Maximum	0,250	0,140	0,150	0,134	0,150	0,052	0,082	0,292	0,093
	Moyenne	0,204	0,126	0,108	0,046	0,086	0,038	0,049	0,162	0,047
	Ecart-type	0,064	0,015	0,025	0,035	0,045	0,010	0,016	0,073	0,017
Baies du Canal	Minimum	0,030	0,130	0,180	0,098	0,053	0,039	0,087	0,061	0,034
	Maximum	0,310	0,660	0,540	0,383	0,496	0,251	0,504	0,992	0,394
	Moyenne	0,178	0,253	0,291	0,186	0,180	0,116	0,226	0,357	0,140
	Ecart-type	0,077	0,171	0,114	0,109	0,132	0,080	0,148	0,264	0,110
Baie du Prony	Minimum	0,170	0,190	0,180	<0,028	0,206	0,072	0,060	0,281	<0,028
	Maximum	0,430	0,570	1,270	4,157	1,127	0,462	0,692	1,107	0,396
	Moyenne	0,240	0,341	0,357	0,615	0,439	0,197	0,267	0,481	0,182
	Ecart-type	0,071	0,135	0,299	1,163	0,252	0,123	0,184	0,255	0,120
Ile Ouen	Minimum	0,200	0,180	0,210	<0,028	0,234	0,052	0,110	0,173	0,054
	Maximum	0,250	0,330	0,330	0,258	0,422	0,136	0,285	0,525	0,143
	Moyenne	0,227	0,255	0,243	0,129	0,290	0,099	0,197	0,297	0,097
	Ecart-type	0,025	0,056	0,044	0,078	0,068	0,029	0,075	0,130	0,030

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)								
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015	Mars 2016
Canal de la Havannah	Minimum	0,040	0,120	0,090	0,025	0,048	0,041	0,051	0,088	0,045
	Maximum	0,260	0,160	0,130	0,215	0,131	0,085	0,120	0,239	0,453
	Moyenne	0,177	0,141	0,106	0,071	0,088	0,066	0,076	0,166	0,079
	Ecart-type	0,056	0,011	0,010	0,046	0,029	0,014	0,020	0,048	0,021
Baies du Canal	Minimum	0,140	0,150	0,150	0,116	0,099	0,074	0,096	0,104	0,053
	Maximum	0,300	0,820	0,650	0,316	0,235	0,726	1,082	0,755	0,571
	Moyenne	0,206	0,277	0,322	0,175	0,168	0,261	0,306	0,309	0,214
	Ecart-type	0,055	0,212	0,180	0,076	0,052	0,247	0,337	0,197	0,179
Baie du Prony	Minimum	0,210	0,230	0,240	0,056	0,215	0,109	0,124	0,260	0,075
	Maximum	0,540	0,630	1,060	1,435	0,369	0,578	0,702	0,838	0,453
	Moyenne	0,346	0,350	0,383	0,495	0,261	0,241	0,264	0,410	0,199
	Ecart-type	0,124	0,134	0,226	0,509	0,042	0,143	0,148	0,171	0,116
Ile Ouen	Minimum	0,170	0,170	0,170	0,048	0,194	0,073	0,118	0,240	0,102
	Maximum	0,270	0,340	0,280	0,287	0,300	0,403	0,247	1,128	0,184
	Moyenne	0,233	0,268	0,220	0,160	0,230	0,175	0,186	0,510	0,141
	Ecart-type	0,055	0,061	0,037	0,082	0,037	0,115	0,054	0,360	0,027