



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

1^{er} semestre 2015



29/09/2015

Photos de couverture AEL : Banc de sable situé à côté de la station St14 (Port Goro)

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

Convention n° T1368

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

1^{er} semestre 2015

Le Grand H., Kaplan H., Haddad L., Achard R., Laurent A., Fernandez JM.

	N/Ref	V/Ref	
Identification	121205-VI-18	T1368	
Titre complet	SUIVI DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE MER DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE 1 ^{er} semestre 2015		
Auteurs	Le Grand H., Kaplan H., Haddad L., Achard R., Audrey L., et Fernandez JM.		
Résumé	Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, 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 rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2015 (mars 2015) 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'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin). Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de silicates et certains métaux dissous (ex : Co, Cr^{VI}, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence l'impact des apports terrigènes des creeks de la Baie du Prony, de la Baie Kwé et de Port Boisé. Ainsi, en fonction de la distance des émissaires naturels et des conditions hydrodynamiques, les concentrations des paramètres étudiés, particulièrement au niveau des eaux de surface, se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini ; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Port Boisé, Kwé et Baie du Prony), les plus faibles étant relevées dans le Canal de la Havannah. D'autres paramètres tels que les concentrations des éléments majeurs, de l'arsenic, de l'azote organique dissous sont relativement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et ne montrent pas de gradient spatial. Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison chaude » sauf dans le Canal de la Havannah où une légère augmentation des concentrations de Mn et Ni semblent se dessiner depuis 2013. Celle-ci devra donc être surveillée lors des prochaines campagnes.		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Hélène Le Grand		16/07/2015
Vérificateur 1	Shilpa Kumar-Roiné		28/07/2015
Approbateur(s)	Jean-Michel Fernandez		03/08/2015
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V2.0	Rapport final corrections chapitre E.		28/09/2015
V1.01	Rapport initial corrections présentation		03/08/2015
V1.0	Rapport initial		03/08/2015
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline Casalis	Vale NC		

Ce rapport est cité comme suit :

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.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	5
INTRODUCTION	7
OBJECTIFS	8
METHODOLOGIE	9
A. SITE D'ETUDE	9
B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	10
C. ECHANTILLONNAGE.....	12
RESULTATS	13
A. STRUCTURES DES MASSES D'EAU	13
1. Température.....	13
2. Salinité	14
3. Fluorescence.....	15
4. Turbidité	16
B. ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	19
C. MATIERES EN SUSPENSION	20
D. SELS NUTRITIFS	22
1. Nitrates et nitrites.....	22
2. Ammonium	23
3. Phosphates	24
4. Silicates	25
E. MATIERES ORGANIQUES	26
1. Azote et phosphore organiques dissous.....	27
2. Azote, carbone et phosphore organiques particuliers	29
F. CHLOROPHYLLE A	31
G. METAUX DISSOUS	33
SYNTHESE	41
A. SELS NUTRITIFS	42
1. Ammonium	42
2. Nitrates et nitrites.....	42
B. METAUX DISSOUS	45
1. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations de baies	45
2. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations du Canal de la Havannah.....	49
CONCLUSION	52
REFERENCES	53
LISTE DES FIGURES	55
LISTE DES TABLEAUX	57
LISTE DES ANNEXES	58

INTRODUCTION

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 (Conventions IRD-Goro-Ni n°1142 de 2005 et n°1312 de 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 d'eau de mer 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 2015** (mars 2015) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

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.

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.

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

METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 03 au 05 mars 2015 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° 53,302	22° 21,455	44
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	St19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21	166° 55,501	22° 26,728	36

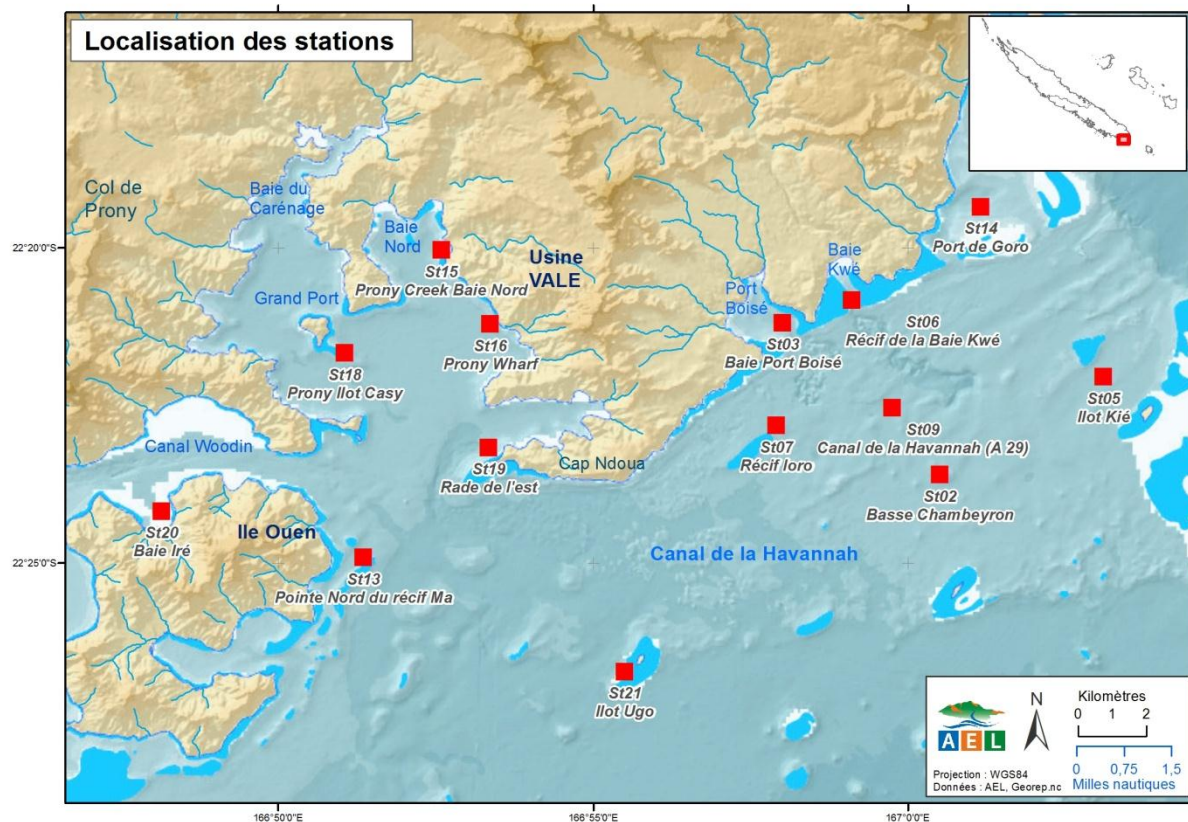


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

B. 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 (Usine de Vale-NC) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 2 ; Figure 3).

Les conditions météorologiques précédant la campagne semestrielle (du 26 février au 02 mars 2015) sont les suivantes :

- Temps nuageux ;
- Peu de vent ;
- De fortes précipitations ont eu lieu la veille de la campagne dans le sud de la Calédonie ; celles-ci ont été constatées par l'équipe déployée sur le terrain mais n'ont pas été enregistrées au niveau de la station météorologique.
- Au total, 13,8 mm de précipitations ont été relevés pour les 5 jours précédant la campagne.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (du 03 au 05 mars 2015) sont les suivantes :

- 03/03/15 : pas de vent, beau temps et mer calme ;
- 04/03/15 : vent <5 Nœuds, mer calme, beau temps avec quelques nuages éparses ;
- 05/03/15 : vent SE 5 Nœuds, léger voile nuageux.

Au total, 1,60 mm de précipitation ont été relevés pendant la campagne seulement le 05/03/15 (Figure 2).

Le 1^{er} jour de la campagne, les stations de l'île Ouen et de la Baie du Prony ont été échantillonnées à marée descendante. Le 2^{ème}, les prélèvements des stations du Canal de la Havannah ont également été effectués à marée descendante. Le 3^{ème} jour, les stations des baies de Port Boisé et Kwé ainsi que la station du récif loro ont été échantillonnées à l'étale de marée haute (Figure 3).

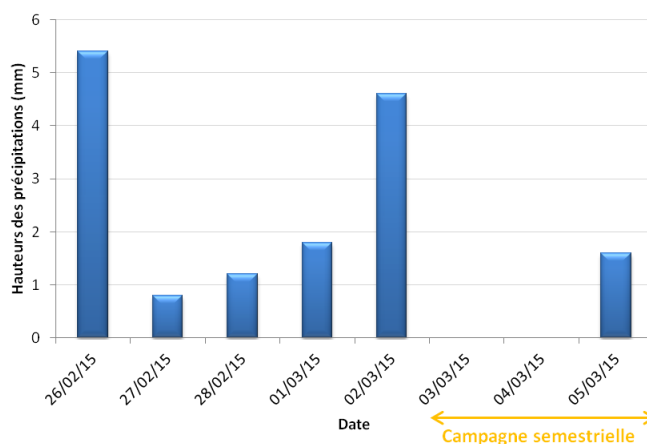


Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (26/03/15 au 02/03/15) la campagne et pendant la campagne semestrielle (03/03/15 au 05/03/15).

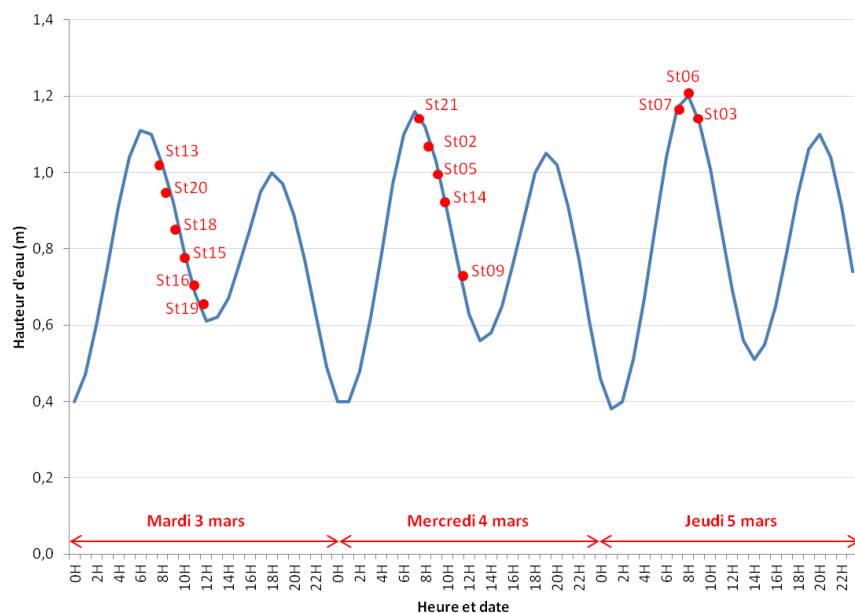


Figure 3 : Chronologie des événements de la campagne semestrielle de mars 2015 reportée sur le marégramme du 03 au 05 mars 2015.

C. ECHANTILLONNAGE

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 « GoFlo®, 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, SBE 19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous, azote, phosphore et carbone organiques particuliers) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous par :
 - spectrométrie d'émission optique couplée à une torche à plasma (ICP-OES) pour l'analyse des éléments métalliques suivants : cadmium (Cd), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn) ;
 - électrochimie (Voltammétrie) pour l'analyse du chrome hexavalent (Cr^{VI}) et du chrome total (Cr-total) ;
 - spectrométrie de masse couplée à une torche à plasma (ICP-MS) pour l'analyse de l'arsenic (As) (laboratoire de Rouen).

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

Environ 10 % des échantillons ont été prélevés en triplicatas afin de vérifier la répétabilité des mesures des métaux dissous (As, Cd, Co, Cr^{VI} , Cr-total, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn).

Un duplicata a également été effectué sur ces échantillons afin de vérifier la reproductibilité de la mesure. Ces duplicatas ont été envoyés dans différents laboratoires, en fonction de la mesure à effectuer.

Pour l'analyse des métaux dissous (As, Cd, Cr-total, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn), les échantillons ont été envoyés au laboratoire d'HydroScience de l'Université de Montpellier, France.

Note : Nous sommes actuellement à la recherche d'un laboratoire pouvant effectuer les analyses de Cr^{VI} à nos niveaux de sensibilité. Les résultats seront fournis dans le prochain rapport.

RESULTATS

A. STRUCTURES DES MASSES D'EAU

Rappel : Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau 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, Figure 7 et le Tableau 2.

1. Température

Pour la plupart des stations une stratification des masses d'eau est mise en évidence (Figure 4).

Au niveau des stations du Canal de la Havannah, les profils présentent une couche de surface plus chaude que celle de profondeur. Celle-ci est plus ou moins épaisse en fonction des stations. Par exemple, au niveau des stations St21 (Ilot Ugo) et St07 (Récif Ioro), cette couche de surface est observée jusqu'à 15 mètres alors que celle de la station St02 (Basse Chambeyron) n'est visible que jusqu'à 10 mètres sous la surface. Dans cette zone, les températures diffèrent également d'environ deux degrés entre certaines stations. La température la plus faible a été mesurée à la station St05 (Ilot Kié). Celle-ci perd un degré dans les 10 mètres sous la surface passant de 27,04 à 25,96 °C puis reste constante jusqu'au fond. La température la plus élevée a été mesurée dans la fine couche de surface de la station St09 atteignant 27,93 °C. A cette station, la température perd 1,93 °C entre la surface et le fond (26,00 °C).

Au niveau des stations de baies du Canal de la Havannah, la température diminue progressivement avec la profondeur aux stations St03 (Port Boisé) et St06 (Kwé) alors qu'à la station St14 (Port de Goro), celle-ci est relativement constante au sein de la colonne d'eau. Une fine couche de température plus élevée (26,75 °C) est, cependant, visible à cette station dans les premiers mètres sous la surface. Dans le reste de la colonne d'eau, la température est particulièrement constante ($26,60 \pm 0,04$ °C). Au niveau des stations St03 et St06, on distingue une couche d'eau plus chaude en surface (St03 = 28,43 °C ; St06 = 28,38 °C). La température diminue ensuite avec la profondeur jusqu'à 26,84 et 26,42 °C, respectivement.

Les profils des stations de l'île Ouen diffèrent légèrement entre eux. Comme observé dans le Canal de la Havannah, la couche d'eau de surface est plus chaude que le reste de la colonne d'eau (27,59 °C en St13 au récif Ma ; 27,32 °C en St20 à la Baie Iré ;). A cette dernière station, la température stagne avec la profondeur dans le reste de la

colonne d'eau ($27,20 \pm 0,03$ °C). A la station St13, le profil présente une température constante entre 7-8 m et 20 m ($\sim 27,22$ °C) puis met en évidence une couche de fond dont la température est plus fraîche que dans le reste de la colonne d'eau ($\sim 27,00$ °C).

Dans la Baie du Prony, les profils montrent également une baisse de la température avec la profondeur ainsi qu'une stratification dans les 5 à 10 premiers mètres sous la surface. Ces stations présentent une température maximale variant entre $27,89$ °C (St19 ; Rade Est) et $27,96$ °C (St15 ; Baie Nord). Les profils des stations St16 (Prony wharf) et St19 présentent une baisse de température avec la profondeur s'effectuant par paliers alors que ceux des stations St15 et St18 (Ilôt Casy) montrent une baisse de température progressive. La température minimale de la zone d'étude a été mesurée dans les eaux de fond de la station St16 et s'élève à $25,80$ °C (Figure 4 ; Tableau 2).

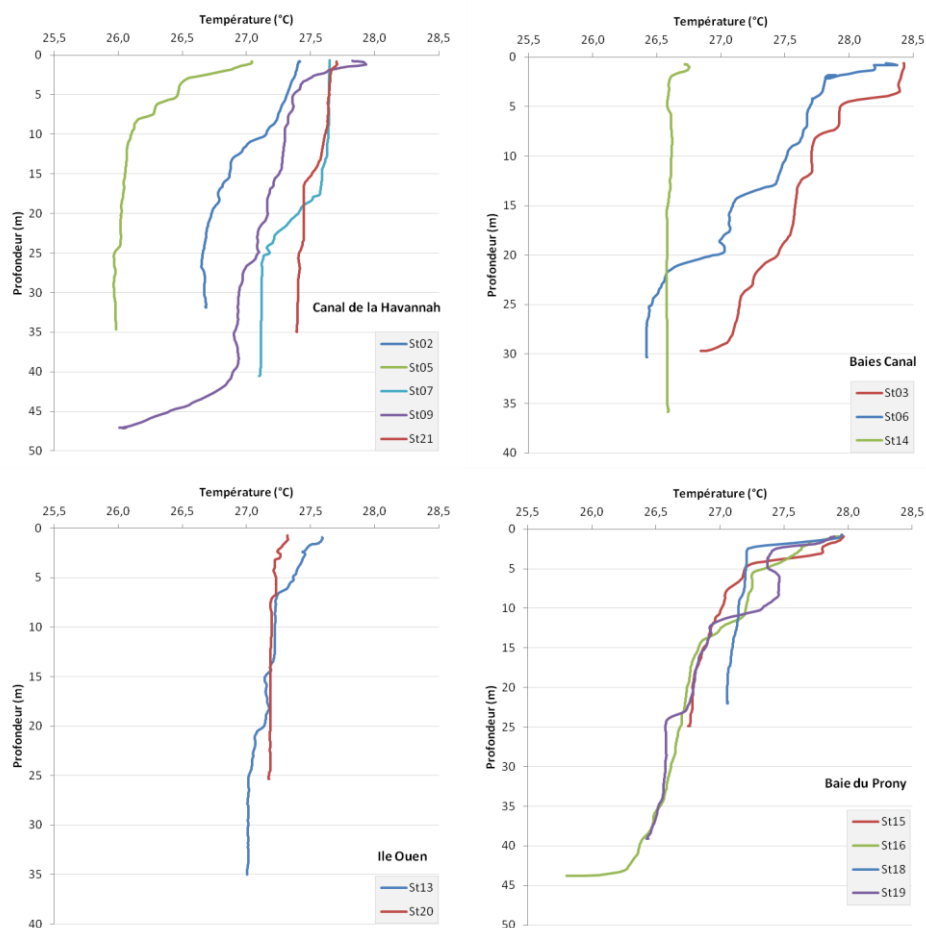


Figure 4 : Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

2. Salinité

Les profils de salinité enregistrés aux stations du Canal de la Havannah sont relativement similaires et constants au sein de la masse d'eau. Ceux-ci varient entre $35,36 \pm 0,01$ ‰ (St07) et $35,39 \pm 0,02$ ‰ (St09). Les salinités mesurées aux stations de l'île Ouen sont également très stables au sein de la colonne d'eau. La salinité moyenne obtenue à la station St13 ($35,38 \pm 0,01$ ‰) est légèrement plus élevée que celle de la station St20 ($35,31 \pm 0,01$ ‰) (Figure 5).

Au niveau des stations de baies du Canal de la Havannah, la station St06 (Baie Kwé) montre une forte dessalure des eaux de surface (34,58 ‰) (Tableau 2). Des dessalures sont également observées aux deux autres stations mais celles-ci sont nettement moins fortes (St03 = 35,09 ‰ ; St14 = 35,24 ‰) que celle de la Baie Kwé. Dans le reste de la colonne d'eau, les salinités enregistrées aux stations St03 (35,29 ± 0,05 ‰) et St06 (35,33 ± 0,09 ‰) sont assez variables alors que celle obtenue à la station St14 est particulièrement stable (35,32 ± 0,01 ‰) (Figure 5).

Toutes les stations de la Baie du Prony présentent toutes une forte dessalure des eaux de surface ; la plus faible salinité ayant été mesurée à la station St18 (îlot Casy) (34,51 ‰) (Tableau 2). A partir de 5 à 10 mètres sous la surface, la salinité repasse aux environ de 35,30 ‰ et reste constante jusqu'au fond. Une légère dessalure est néanmoins observée à la station St16 (Prony wharf) dans les eaux de fond. Cette dernière correspond à la baisse de température (Figure 4) mise en évidence en profondeur dans les eaux de cette même station (Figure 5).

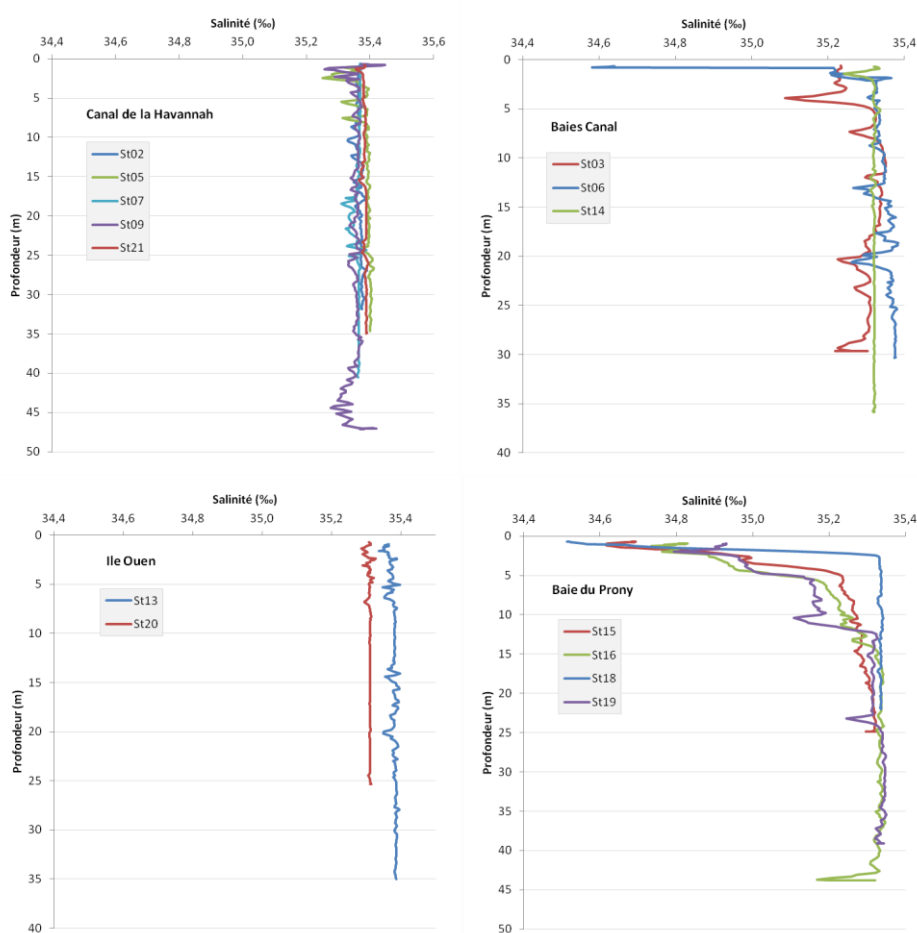


Figure 5 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

3. Fluorescence

La plupart des profils montrent une augmentation de fluorescence avec la profondeur plus ou moins importante en fonction de la zone étudiée. La plus forte hausse a été observée à la station St16 (Prony wharf) située dans la Baie du Prony où la fluorescence passe de 0,02 à 0,70 mg/m³. Dans cette zone, tous les profils présentent une fluorescence augmentant avec la profondeur (Figure 6).

Au niveau des baies du Canal, la fluorescence mesurée à la station St03 (Port Boisé) augmente également fortement avec la profondeur (0,13 à 0,65 mg/m^3), notamment à l'approche du fond. A l'inverse, les stations St06 (0,30 $\pm$ 0,05 mg/m^3) et St14 (0,36 $\pm$ 0,06 mg/m^3) restent relativement stables au sein de la colonne d'eau.

Dans le Canal de la Havannah, la fluorescence augmente également avec la profondeur. La plus forte augmentation a été relevée à la station St09 (0,05 à 0,53 mg/m^3) et la plus faible à la station St21 (0,08 à 0,27 mg/m^3). Seule la station St07 diffère légèrement car la fluorescence y est plus élevée dans la couche de surface (0,51 mg/m^3).

Les profils des stations de l'île Ouen diffèrent entre eux. En effet, alors que la fluorescence mesurée à la station St20 est relativement constante au sein de la colonne d'eau (0,27 $\pm$ 0,03 mg/m^3), celle de la station St13 augmente avec la profondeur passant de 0,08 à 0,50 mg/m^3 .

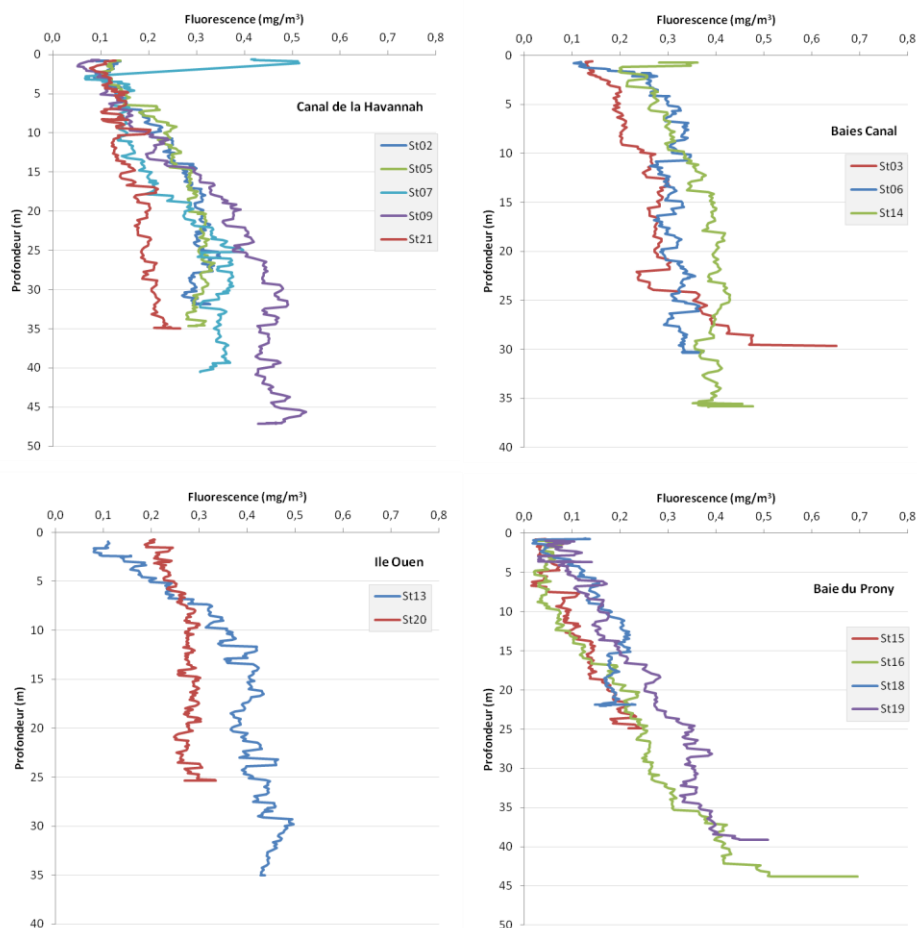


Figure 6 : Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

4. Turbidité

La turbidité mesurée aux stations du Canal de la Havannah ne varie quasiment pas avec la profondeur puisqu'elle est comprise entre 0,52 $\pm$ 0,03 (St02) et 0,57 $\pm$ 0,09 NTU (St09). Le profil de turbidité de la station St07 met en évidence une fine couche de surface de turbidité plus faible que le reste de la colonne d'eau (0,17 NTU) (Figure 7).

A l'île Ouen, la turbidité est plus élevée que celle du Canal de la Havannah (St13 = $0,76 \pm 0,09$ NTU ; St20 = $0,69 \pm 0,04$ NTU). Alors que la turbidité de la station St20 ne varie pas avec la profondeur, celle de la station St13 augmente à partir de 15 m de profondeur et atteint un pic à -25 m ($0,79$ NTU) (Figure 7).

A l'exception des stations St14 (Port de Goro) et St18 (ilot Casy), un néphéloïde benthique est observé au niveau des stations des baies du Canal de la Havannah (St03 et St06) ainsi que de la Baie du Prony (St15, St16 et St19).

Dans les baies du Canal, les valeurs les plus élevées ont été mesurées aux stations des baies de Port Boisé (St03 = $3,37$ NTU) et Kwé (St06 = $3,09$ NTU) (Tableau 2). Le profil de la station St14 met en exergue une fine couche de surface dont la turbidité ($1,98$ NTU) est plus élevée que le reste de la colonne d'eau ($1,03 \pm 0,25$ NTU). Dans la Baie du Prony, la turbidité maximale a été relevée à la station St19 (Bonne Anse) à 26 m de profondeur ($1,58$ NTU).

Dans ces deux zones d'étude, la turbidité la plus homogène a été enregistrée à l'ilot Casy (St18 = $0,55 \pm 0,05$ NTU). Cette turbidité moyenne étant relativement similaire à celle mesurée aux stations du Canal de la Havannah.

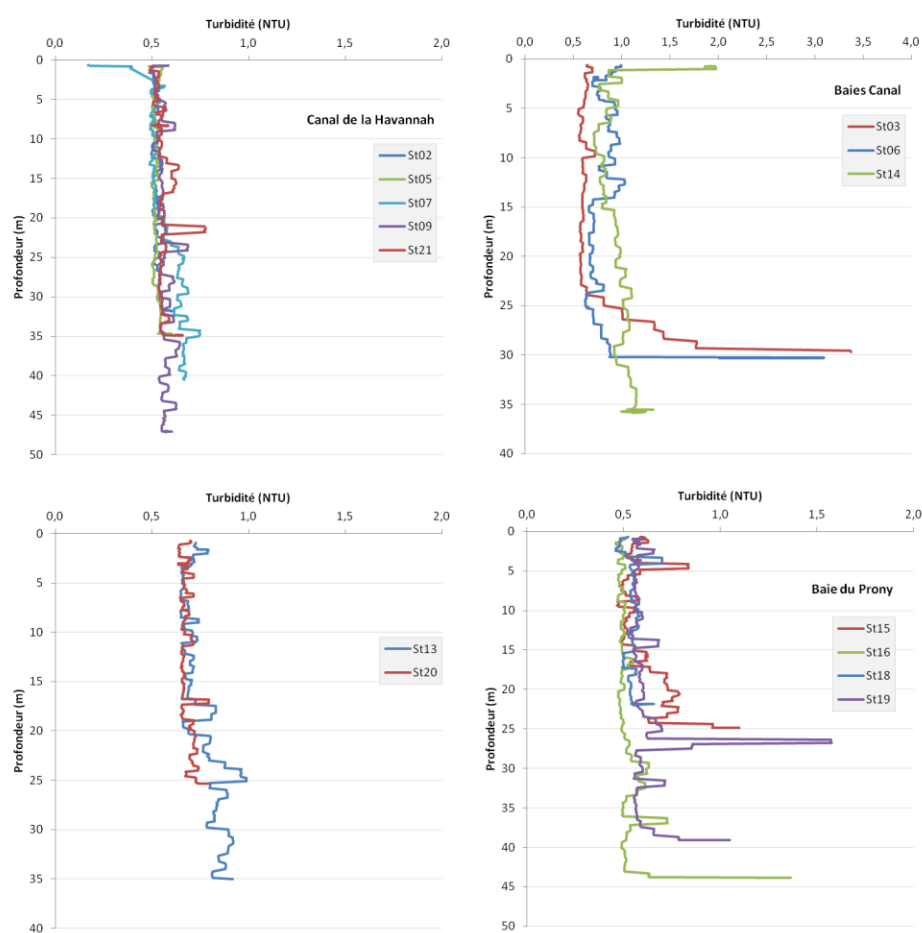


Figure 7 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

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 2015.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
Canal de la Havannah	Minimum	25,96	35,25	0,05	0,17
	Maximum	27,93	35,45	0,53	0,78
	Moyenne	27,00	35,37	0,25	0,55
	Ecart-type	0,53	0,01	0,06	0,02
	CV (%)	1,96	0,03	24	4
Baies Canal	Minimum	26,42	34,58	0,10	0,55
	Maximum	28,43	35,38	0,65	3,37
	Moyenne	27,17	35,32	0,31	0,92
	Ecart-type	0,53	0,02	0,05	0,11
	CV (%)	1,95	0,06	16	12
Baie du Prony	Minimum	25,80	34,51	0,01	0,46
	Maximum	27,96	35,35	0,70	1,58
	Moyenne	27,05	35,22	0,17	0,58
	Ecart-type	0,11	0,04	0,04	0,06
	CV (%)	0,41	0,11	24	10
Ile Ouen	Minimum	27,00	35,29	0,08	0,64
	Maximum	27,59	35,40	0,50	0,99
	Moyenne	27,20	35,34	0,31	0,72
	Ecart-type	0,01	0,05	0,06	0,05
	CV (%)	0,04	0,14	22	7

CV (%) : Coefficient de variation en pourcentage.

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 (St15, St16, St18 et St19), de la Kwé (St06), de Port Boisé (St03) et de Port Goro (St14). Ces apports sont décelables dans les eaux de surface de ces baies grâce aux températures et turbidité plus élevées et salinités plus faibles. Dans la colonne d'eau, les apports sont également mis en évidence par une forte augmentation de la fluorescence avec la profondeur (St03 et St16) et par la présence de néphéloïdes benthiques (St03, St06, St15, St16, St19) où les turbidités maximales ont été observées (Port Boisé et Baie Kwé). Ces couches turbides sont attribuables aux apports terrigènes de première sédimentation, voir issus 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.

Les profils permettent également de distinguer les stations influencées par les apports océaniques. Ces stations sont soumises à d'importants mélanges verticaux résultant des courants générés dans le Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) et au niveau de l'île Ouen (St13 et St20). Les variables mesurées à ces stations, principalement la salinité et la turbidité, sont généralement constantes. Certaines de ces stations peuvent néanmoins être influencées temporairement par les apports issus des baies en fonction de l'horaire de prélèvement. En effet, au vue des données de turbidité et de fluorescence dans la couche de surface, la station St07 semble légèrement impactée par les apports d'eaux douces provenant des baies du Canal.

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 2.

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).

Contrairement à ce qui été observé lors de la campagne de mars 2014, les valeurs moyennes de pH sont plus élevées dans la Baie du Prony et autour de l'île Ouen que dans le Canal de la Havannah et ses baies dont les valeurs diffèrent d'un dixième (Tableau 3).

Le pH moyen global mesuré lors de cette campagne ($8,18 \pm 0,05$) est plus faible que celui obtenu lors de la précédente campagne de mars 2014 ($8,26 \pm 0,04$) (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).

Tableau 3 : Concentrations des éléments majeurs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie et valeurs du pH mesurées lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

Zone d'étude	Statistique	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	pH
Canal de la Havannah	Minimum	380	466	1280	11958	19170	2860	8,10
	Maximum	432	519	1424	13431	20935	3559	8,15
	Moyenne	403	488	1342	12585	19978	3169	8,14
	Ecart-type	13	12	40	381	569	206	0,01
	CV (%)	3	3	3	3	3	7	0,2
Baie Canal	Minimum	381	469	1277	11949	19005	2378	8,12
	Maximum	434	517	1432	13461	20424	3565	8,17
	Moyenne	399	486	1331	12486	19789	3119	8,14
	Ecart-type	16	14	46	431	494	492	0,01
	CV (%)	4	3	3	3	2	16	0,2
Baie du Prony	Minimum	369	456	1243	11674	19146	2694	8,16
	Maximum	414	497	1378	12908	20456	3032	8,24
	Moyenne	388	476	1302	12165	19763	2869	8,22
	Ecart-type	14	12	40	375	394	116	0,02
	CV (%)	4	2	3	3	2	4	0,3
Ile Ouen	Minimum	378	469	1260	11719	18259	2685	8,21
	Maximum	440	531	1442	13645	19834	3068	8,24
	Moyenne	395	485	1314	12307	19387	2914	8,23
	Ecart-type	23	23	67	710	594	181	0,01
	CV (%)	6	5	5	6	3	6	0,2

CV (%) : Coefficient de variation en pourcentage.

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 continentaux et la remise en suspension de sédiments sous l'influence des conditions météorologiques (vent, pluie...). Les MES influencent également la production primaire : une charge particulaire élevée peut, en effet, modifier l'importance de la couche euphotique. 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 2015 sont représentées dans la Figure 8 et le Tableau 4 ainsi qu'en Annexe 2.

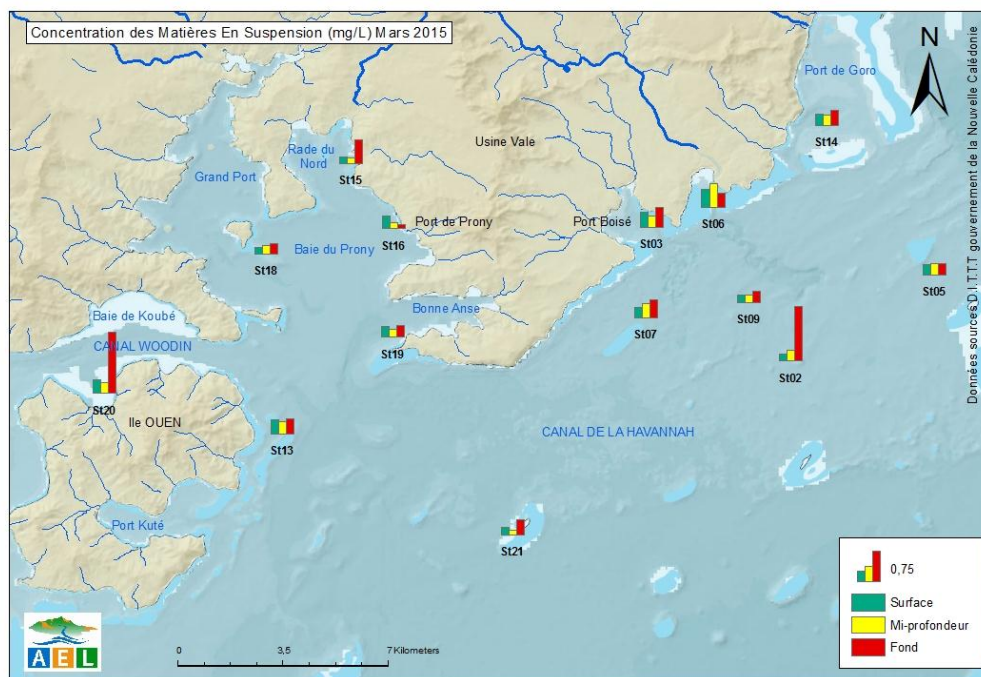


Figure 8 : Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

La concentration moyenne mesurée aux stations de la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19) est la plus faible de la zone d'étude ($0,23 \pm 0,13$ mg/L). Seule se démarque, les eaux de fond de la station St15, qui, de part leur position, reçoivent plus de matière particulaire (Prony Creek Baie Nord = 0,58 mg/L) (Figure 8).

Les stations des baies du Canal de la Havannah (St03, St06 et St14) présentent une concentration moyenne plus élevée que celle de la Baie du Prony ($0,38 \pm 0,10$ mg/L) mais ne montrent pas de distribution verticale particulière. Les concentrations de cette zone sont relativement homogènes (CV = 28 %) (Tableau 4).

La concentration maximale de la zone d'étude a été relevée dans les eaux de fond de la station St20 (Baie d'Iré ; 1,50 mg/L). Cette concentration peut provenir d'un phénomène de remise en suspension ; ceci n'a néanmoins pas été détecté par le profil de turbidité.

Dans le Canal de la Havannah, ce sont les eaux de fond de la station St02 (Basse Chambeyron ; 1,35 mg/L) qui se distinguent des autres car leur concentration en MES est entre 3 et 8 fois plus élevée que celles mesurées aux autres stations du Canal. Comme pour la station St20, cette concentration a pu être induite par un phénomène de remise en suspension. A l'exception de la station St05 (Illet Kié), les stations du Canal présentent un gradient vertical ; les concentrations augmentant avec la profondeur. Par exemple, à la station St07 (Récif Ioro), la concentration de MES a quasiment doublé entre la surface (0,25 mg/L) et le fond (0,45 mg/L).

La concentration moyenne du Canal de la Havannah obtenue lors de cette campagne est plus élevée que celle mesurée lors de la dernière campagne semestrielle « saison chaude » de mars 2014 ($0,22 \pm 0,14$ mg/L), alors que l'inverse est observé pour les concentrations moyennes des Baies du Canal (2014 = $0,46 \pm 0,20$ mg/L) et de la Baie du Prony (2014 = $0,38 \pm 0,19$ mg/L). Au niveau des stations de l'Île Ouen, les concentrations moyennes restent similaires (2014 = $0,52 \pm 0,25$ mg/L) (Le Grand *et al.* 2014).

Tableau 4 : Concentrations de MES dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,12
	Maximum	1,35
	Moyenne	0,33
	Ecart-type	0,30
	CV (%)	89
Baie Canal	Minimum	0,26
	Maximum	0,57
	Moyenne	0,38
	Ecart-type	0,10
	CV (%)	28
Baie du Prony	Minimum	0,10
	Maximum	0,58
	Moyenne	0,23
	Ecart-type	0,13
	CV (%)	55
Île Ouen	Minimum	0,26
	Maximum	1,50
	Moyenne	0,52
	Ecart-type	0,48
	CV (%)	93

CV (%) : Coefficient de variation en pourcentage.

D. SELS NUTRITIFS

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle de mars 2015 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 10, Figure 11, le Tableau 5 ainsi qu'en Annexe 3.

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle 2015.

Zone d'étude	Statistique	NO ₃ +NO ₂ (μmol/L)	NH ₄ (μmol/L)	SiO ₄ (μmol/L)
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,039	0,99
	Maximum	0,406	0,610	1,38
	Moyenne	0,189	0,138	1,14
	Ecart-type	0,118	0,138	0,13
	CV (%)	71	100	12
Baie Canal	Minimum	<0,050	0,065	1,24
	Maximum	0,522	0,323	4,22
	Moyenne	0,313	0,160	1,88
	Ecart-type	0,203	0,080	0,93
	CV (%)	65	50	49
Baie du Prony	Minimum	<0,050	0,066	1,36
	Maximum	0,258	0,276	4,48
	Moyenne	0,077	0,136	2,16
	Ecart-type	0,067	0,073	1,07
	CV (%)	87	54	50
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,059	1,25
	Maximum	0,257	0,339	2,01
	Moyenne	0,077	0,155	1,59
	Ecart-type	0,100	0,100	0,26
	CV (%)	130	65	16

CV (%) : Coefficient de variation en pourcentage.

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 nitrates 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 nitrates est celle fondée sur le dosage des ions nitrites obtenus par réduction des ions nitrates (NO₃). Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrates + nitrites (NO₃+NO₂) par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

Les concentrations de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ sont très variables au sein de la zone d'étude (Tableau 5). Au niveau des baies du Canal, les valeurs varient entre des concentrations non quantifiables ($<0,050 \mu\text{mol/L}$) à $0,522 \mu\text{mol/L}$. Les concentrations maximales ont toutes été obtenues à la station St14 (Port Goro) aux trois niveaux de profondeur prélevés (S= $0,409 \mu\text{mol/L}$; M= $0,441 \mu\text{mol/L}$; F= $0,522 \mu\text{mol/L}$) suggérant un enrichissement de la zone par les creeks adjacents. A l'inverse, seules deux concentrations ont été quantifiées aux stations des baies de Port Boisé et de Kwé en surface ($0,065 \mu\text{mol/L}$) et fond ($0,129 \mu\text{mol/L}$), respectivement (Figure 9).

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations sont également très variables passant de valeurs non quantifiables (St07 et St09-M) à une valeur maximale atteignant $0,406 \mu\text{mol/L}$ dans les eaux de fond à la station St02. Les concentrations mesurées aux stations St02, St05 et St09 augmentent avec la profondeur. Par exemple, à la station St02, les concentrations ont été multipliées par 5 entre la surface ($0,081 \mu\text{mol/L}$) et le fond ($0,406 \mu\text{mol/L}$).

Dans la Baie du Prony, la concentration moyenne est plus faible que celles du Canal de la Havannah et ses baies. La maximale a été mesurée en profondeur à la station St16 ($0,258 \mu\text{mol/L}$).

Au niveau de l'île Ouen, seule la concentration de mi-profondeur de la station St20 est quantifiable ($0,257 \mu\text{mol/L}$).

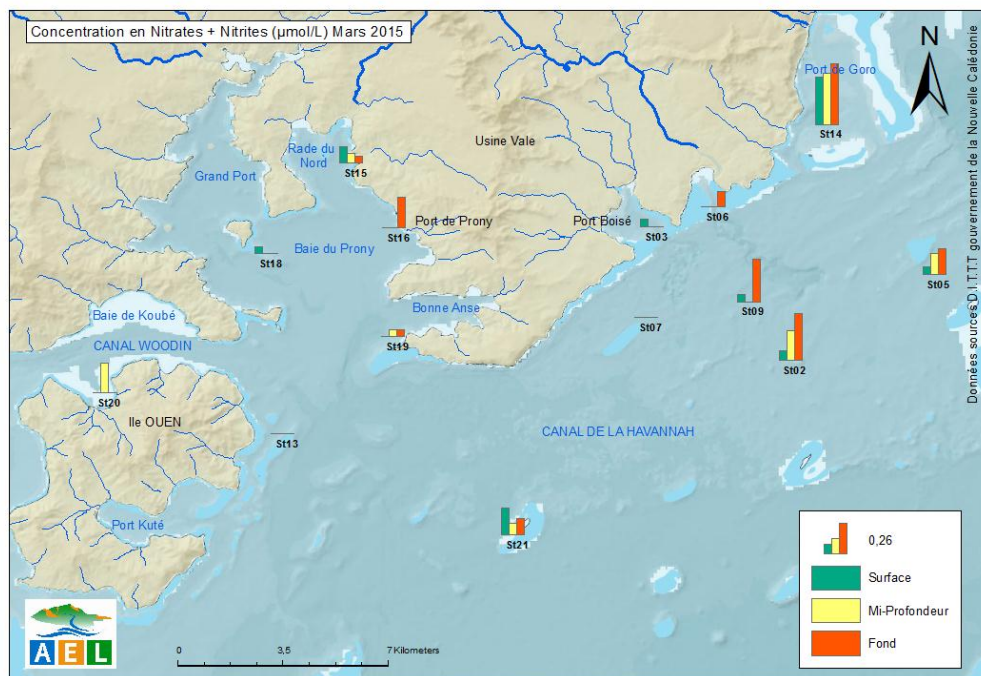


Figure 9 : Concentrations en nitrates et nitrites dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

2. Ammonium

Rappel : Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréments animaux et de la dégradation bactérienne des composés organiques

azotés. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles par litre.

Comme pour les ions NO_3+NO_2 , les concentrations de NH_4 sont très dispersées au sein de la zone d'étude variant de 0,039 (St07-S) à 0,610 (St02-F) $\mu\text{mol/L}$. Ces concentrations minimales et maximales ont toutes deux été mesurées dans le Canal de la Havannah. En effet, cette zone présente la plus grande dispersion des concentrations de NH_4 (CV = 100%) (Tableau 6). De plus, les concentrations de NH_4 mesurées dans cette même zone, comme observé pour les ions NO_3+NO_2 , augmentent avec la profondeur (Figure 10).

Dans l'ensemble du domaine d'étude, les concentrations de NH_4 ne présentent pas de distribution particulière et les moyennes obtenues entre chaque zone sont quasiment similaires.

Comme observé pour les ions NO_3+NO_2 , la concentration maximale du Canal de la Havannah a été mesurée en profondeur à la station St02.

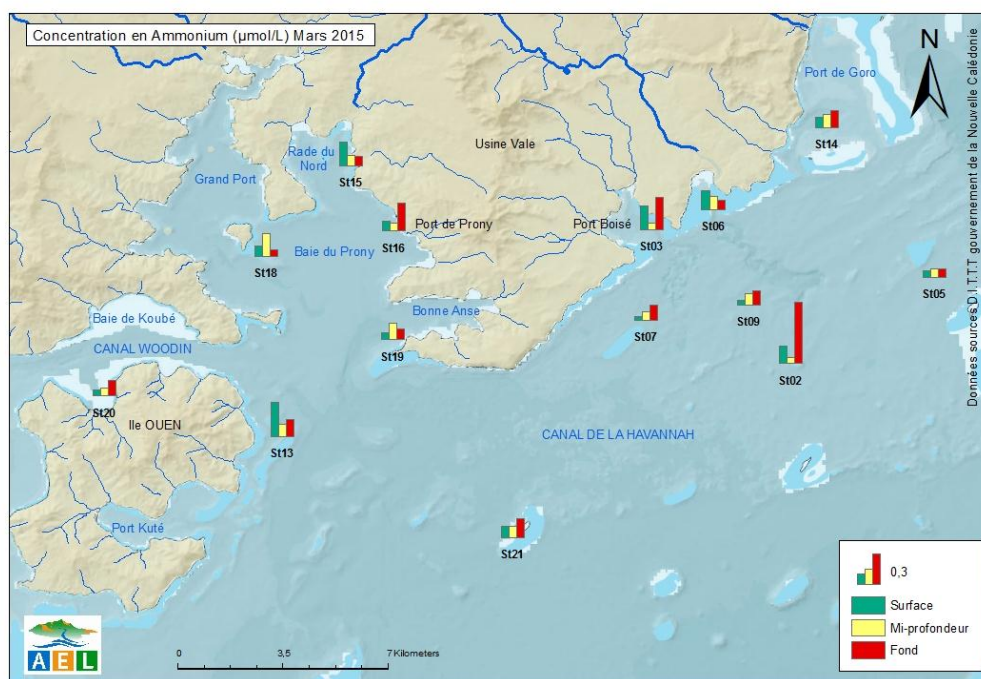


Figure 10 : Concentrations en ammonium dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

3. Phosphates

Rappel : Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{2-}). Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique (la zone euphotique correspond à la hauteur d'eau qui est pénétrée par la lumière). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène.

Sur les 14 stations de la zone d'étude, seulement une station présente une concentration de PO_4 quantifiable ($>0,05 \mu\text{mol/L}$). Cette dernière a été mesurée dans les eaux de surface de la station St02 (0,127 $\mu\text{mol/L}$). Seulement

deux stations présentaient des concentrations de PO_4 quantifiables lors de la campagne d'août 2014 mesurées dans les eaux de fond (St06=0,064 $\mu\text{mol/L}$ et St13=0,090 $\mu\text{mol/L}$).

La plupart des concentrations de PO_4 mesurées lors de cette campagne sont plus faibles que celles obtenues lors des précédentes campagnes « saison chaude » car la majorité n'a pas pu être quantifiable (Annexe 3 ; Annexe 6).

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.

Les concentrations de SiO_4 se distribuent selon un gradient décroissant de la côte vers le large mettant en évidence les apports en eaux douces provenant des creeks adjacents. En effet, les concentrations mesurées au niveau des stations de baies sont plus élevées que celles obtenues autour de l'Ile Ouen ainsi que dans le Canal de la Havannah (Tableau 5). De plus, ces stations se distinguent par des eaux de surface nettement plus concentrées que les eaux de mi-profondeur et fond ; ces concentrations étant relativement similaires. Par exemple, les concentrations de surface des stations St15 (4,48 $\mu\text{mol/L}$) et St06 (4,22 $\mu\text{mol/L}$) sont trois fois plus élevées que celles mesurées en profondeur (1,39 et 1,24 $\mu\text{mol/L}$, respectivement). Les concentrations moyennes relevées autour de l'Ile Ouen sont légèrement plus élevées que celles obtenues dans le Canal de la Havannah du fait de leur localisation intermédiaire. Ces dernières sont néanmoins nettement plus influencées par les apports océaniques que par les apports en eaux douces de la Baie du Prony (Figure 11).

Ce qu'il faut retenir

Les concentrations des ions NO_3+NO_2 et NH_4 sont très dispersées au sein du domaine d'étude et reflètent la complexité de la circulation hydrodynamique des masses d'eau sous influences terrigène, océanique et/ou lagonaire.

Les concentrations de NO_3+NO_2 sont plus élevées dans le Canal de la Havannah et ses baies alors que pour le NH_4 , celles-ci ne présentent pas de distribution particulière dans le domaine d'étude. Seule une concentration de PO_4 est au-dessus de la limite de quantification.

Les concentrations de SiO_4 présentent, quant à elles, une nette distribution « côte-large » mettant en évidence les apports en eaux douces dans les baies du domaine d'étude (Prony, Port Boisé et Kwé).

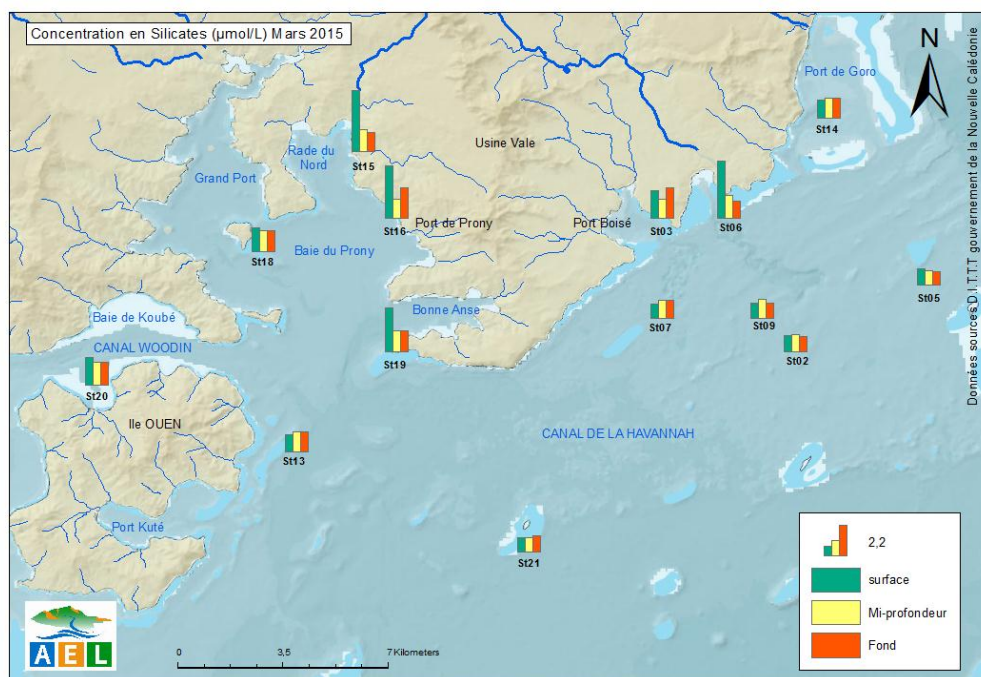


Figure 11 : Concentrations en silicates dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires sont regroupées dans les Figure 12, Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16, le Tableau 6 ainsi qu'en Annexe 4.

Tableau 6 : Concentrations de matière organique dissoute (NOD et POD) et particulaire (NOP, COP et POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle 2015.

Zone d'étude	Statistique	NOD ($\mu\text{mol/L}$)	POD ($\mu\text{mol/L}$)	NOP ($\mu\text{mol/L}$)	COP ($\mu\text{mol/L}$)	POP ($\mu\text{mol/L}$)
Canal de la Havannah	Minimum	3,03	0,05	0,70	6,91	0,03
	Maximum	6,02	0,18	1,14	11,40	0,10
	Moyenne	4,06	0,12	0,86	8,32	0,05
	Ecart-type	0,83	0,04	0,14	1,12	0,02
	CV (%)	20	37	17	14	36
Baie Canal	Minimum	3,55	0,01	0,71	7,76	0,03
	Maximum	5,58	0,27	1,18	13,80	0,11
	Moyenne	4,21	0,11	0,80	9,26	0,05
	Ecart-type	0,61	0,08	0,14	1,85	0,03
	CV (%)	15	70	17	20	56

Zone d'étude	Statistique	NOD ($\mu\text{mol/L}$)	POD ($\mu\text{mol/L}$)	NOP ($\mu\text{mol/L}$)	COP ($\mu\text{mol/L}$)	POP ($\mu\text{mol/L}$)
Baie du Prony	Minimum	3,36	0,02	0,86	5,61	0,09
	Maximum	5,61	0,18	1,38	10,46	0,14
	Moyenne	4,57	0,08	1,08	7,79	0,11
	Ecart-type	0,80	0,05	0,16	1,56	0,02
	CV (%)	18	65	15	20	14
Ile Ouen	Minimum	3,15	0,03	0,93	9,96	0,05
	Maximum	5,07	0,16	1,58	22,60	0,11
	Moyenne	4,33	0,13	1,28	15,36	0,07
	Ecart-type	0,75	0,05	0,22	5,46	0,02
	CV (%)	17	37	17	36	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.

Les concentrations d'azote organique dissous (NOD) ne présentent pas de distribution bien définie au sein du domaine d'étude. Les concentrations moyennes obtenues dans chaque zone restent relativement proches les unes des autres (Figure 12 ; Tableau 6).

A l'inverse, les concentrations de phosphore organique dissous (POD) sont relativement variables au sein du domaine d'étude. La plus grande dispersion est observée au niveau des baies du Canal (CV = 70%) (Tableau 6). En effet, les concentrations mesurées à la station du Port de Goro (St14) présentent une distribution verticale croissante avec la profondeur ; les concentrations doublant entre la surface (0,115 $\mu\text{mol/L}$) et le fond (0,269 $\mu\text{mol/L}$). La moyenne des concentrations de POD mesurée à cette station ($0,191 \pm 0,077 \mu\text{mol/L}$) est environ 4 et 3 fois plus élevée que les moyennes relevées aux stations des baies de Port Boisé (St03 = $0,052 \pm 0,040 \mu\text{mol/L}$) et de Kwé (St06 = $0,083 \pm 0,011 \mu\text{mol/L}$), respectivement (Figure 13).

Alors que les concentrations de NOD ne montrent pas d'évolution particulière depuis le début des campagnes « saison chaude », les concentrations de POD mesurées lors de cette campagne sont faibles, en comparaison des précédentes campagnes « saison chaude » (Annexe 4 ; Annexe 7).

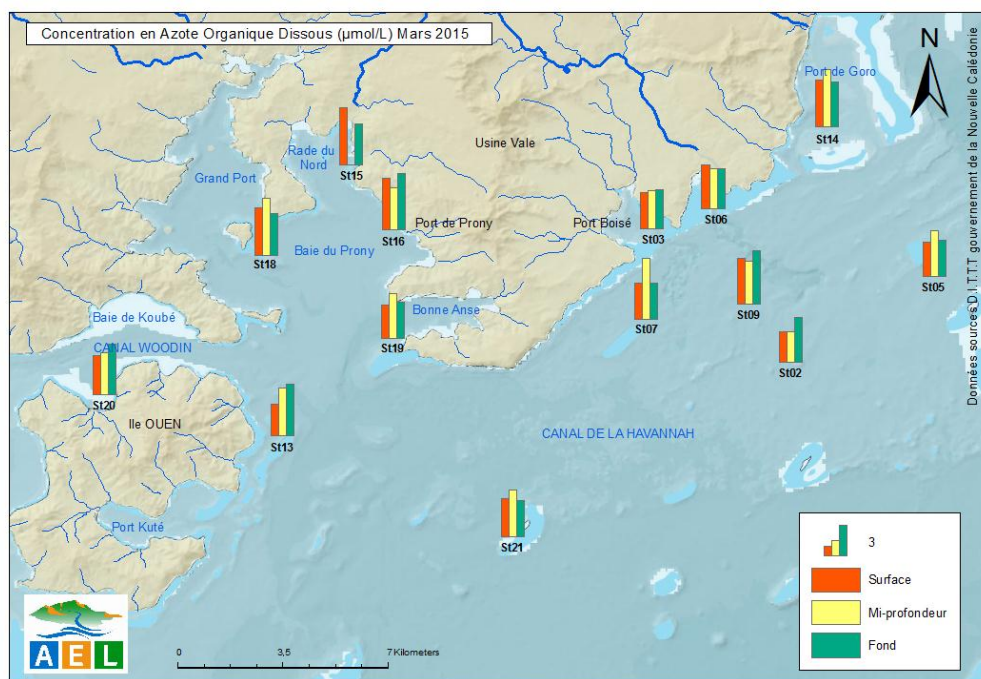


Figure 12 : Concentrations en azote organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

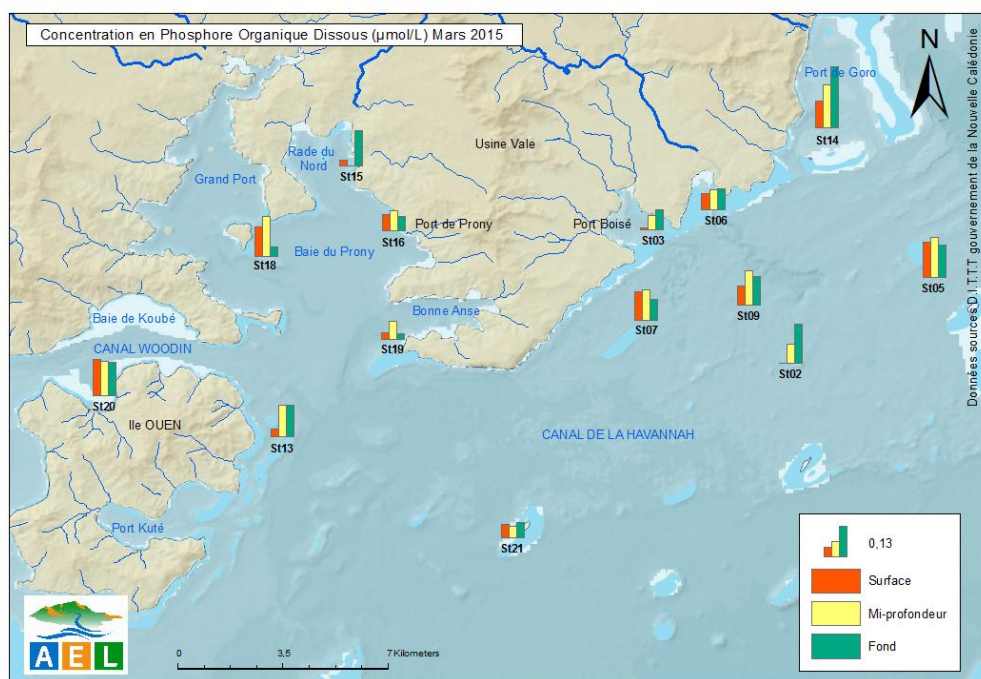


Figure 13 : Concentrations en phosphore organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

2. Azote, carbone et phosphore organiques particuliers

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 & Parsons 1972). Grâce à des filtres la charge organique particulaire est récupérée et analysée.

A l'exception des stations de l'Île Ouen, les concentrations de carbone organique particulaire (COP) sont relativement homogènes. Celles-ci ne présentent pas de distribution horizontale ni verticale particulière. Dans le domaine d'étude, seules les stations de l'Île Ouen se démarquent par leurs concentrations plus élevées et plus dispersées que dans les autres zones. En effet, les maximales ont été relevées dans les eaux de fond de la station St20 ($22,60\ \mu\text{mol/L}$) ainsi que dans les eaux de mi-profondeur de la station St13 ($21,61\ \mu\text{mol/L}$) (Figure 14 ; Tableau 6).

La concentration maximale mesurée à la station St20 peut être corrélée avec la concentration de MES également mesurée dans ces eaux de fond et pourrait provenir d'un phénomène de remise en suspension (Figure 8). La concentration des eaux de mi-profondeur de la station St13 ne peut être reliée aux concentrations de MES et reste difficilement interprétable.

Les concentrations d'azote organique particulaire (NOP) sont relativement homogènes au sein du domaine d'étude. On remarque, cependant, que les moyennes obtenues dans la Baie du Prony et aux alentours des stations de l'Île Ouen sont légèrement plus élevées que celles relevées dans le Canal de la Havannah et ses baies (Figure 15 ; Tableau 6).

Cette distribution est également observée pour les concentrations de phosphore organique particulaire (POP) mais est néanmoins plus prononcée que celles de NOP. En effet, la moyenne de POP obtenue dans la Baie du Prony est presque deux fois plus élevée que celles du Canal et ses baies (Figure 16 ; Tableau 6).

Les concentrations de COP, NOP et POP ne montrent pas d'évolution particulière au fil des campagnes « saison chaude » (Annexe 4 ; Annexe 7).

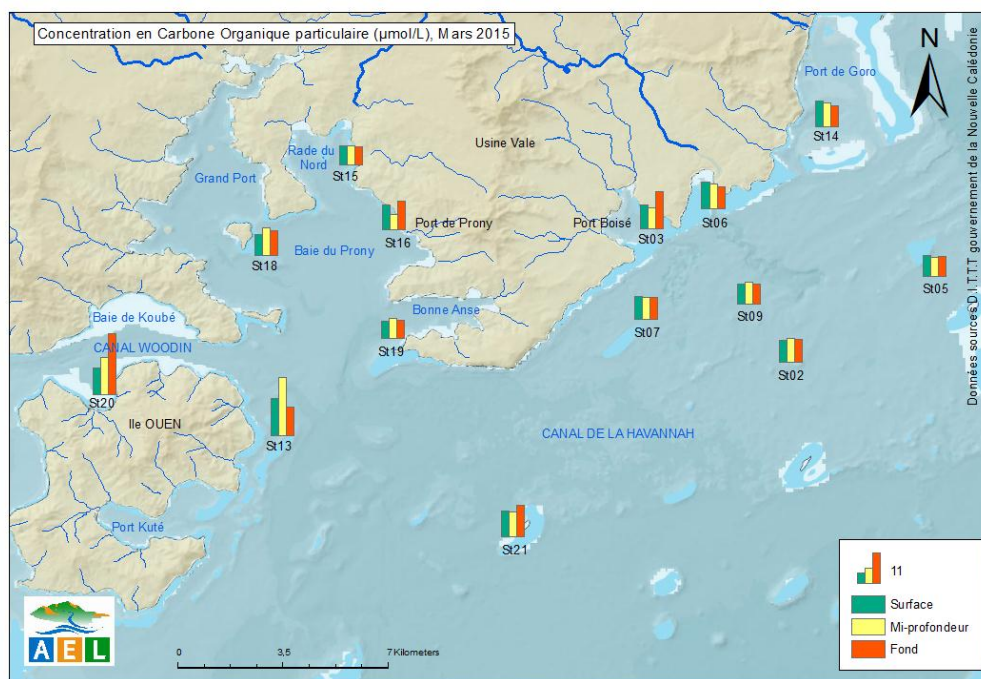


Figure 14 : Concentrations en carbone organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

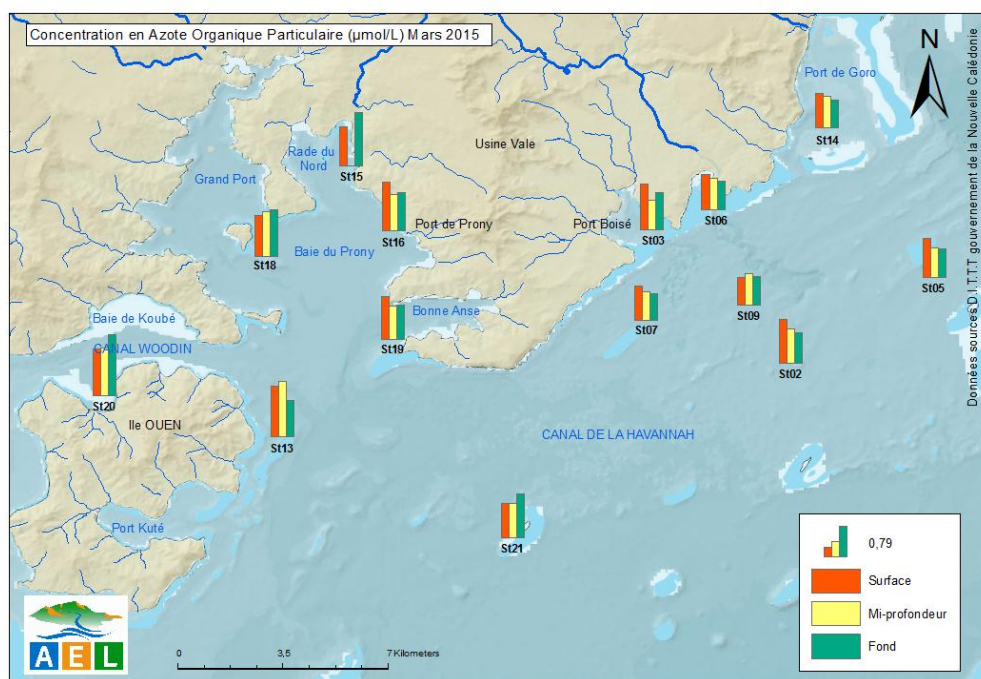


Figure 15 : Concentrations en azote organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

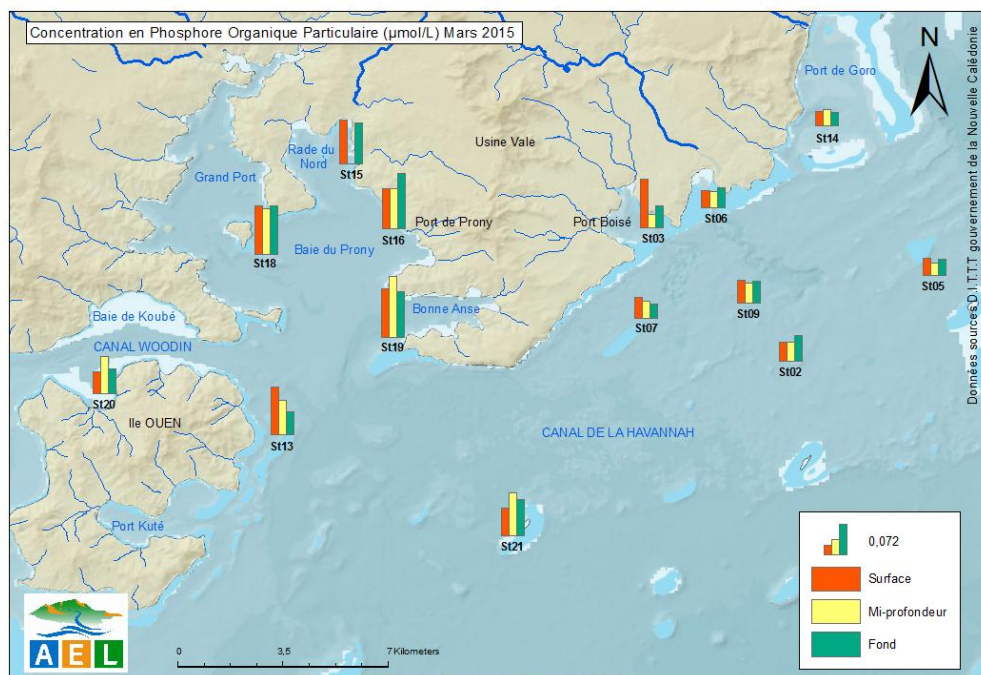


Figure 16 : Concentrations en phosphore organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

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 donne de nombreux composés, dont principalement les phéopigments.

Les concentrations de chlorophylle *a* sont regroupées dans le Figure 17, le Tableau 7 ainsi qu'en Annexe 4.

Les concentrations de chlorophylle *a* ne présentent pas de distribution particulière (Figure 17).

Les concentrations moyennes de chlorophylle *a* obtenues dans le Canal de Havannah, les baies du Canal ainsi que dans la Baie du Prony sont quasiment équivalentes (Tableau 7) et la plupart des stations présentent une augmentation des concentrations avec la profondeur. Les maximales du domaine d'étude ont été relevées dans les eaux de fond des stations St07 (Récif Ioro ; 0,65 μg/L) et St15 (Prony Creek Baie Nord ; 0,64 μg/L) et sont jusqu'à deux fois plus élevées que les concentrations de surface de ces mêmes stations (0,37 et 0,33 μg/L, respectivement).

Bien qu'influencées par les apports en eaux douces des creeks adjacents, les eaux de la Baie du Prony et des baies du Canal ne sont pas plus productives que les eaux du Canal de la Havannah influencées par les apports océaniques. Les concentrations de NO₃+NO₂ mesurées à la station St14 lors de cette campagne ne sont pas visiblement pas liées à la production primaire.

Les concentrations moyennes de chlorophylle a mesurées en mars 2015 dans le Canal de la Havannah ($0,46 \pm 0,09 \mu\text{g/L}$) et autour de l'Ile Ouen ($0,34 \pm 0,11 \mu\text{g/L}$) sont identiques à celles obtenues dans ces mêmes zones en mars 2014 ($0,43 \pm 0,14$ et $0,32 \pm 0,15 \mu\text{g/L}$, respectivement).

Au niveau de la Baies du Prony et des baies bordant le Canal de la Havannah, les moyennes relevées diffèrent légèrement d'une année sur l'autre. En effet, alors que la moyenne a diminué entre 2014 ($0,63 \pm 0,37 \mu\text{g/L}$) et 2015 ($0,41 \pm 0,11 \mu\text{g/L}$) dans la Baie du Prony, celle-ci a augmenté dans les baies du Canal ($2014=0,31 \pm 0,12 \mu\text{g/L}$; $2015=0,43 \pm 0,09 \mu\text{g/L}$).

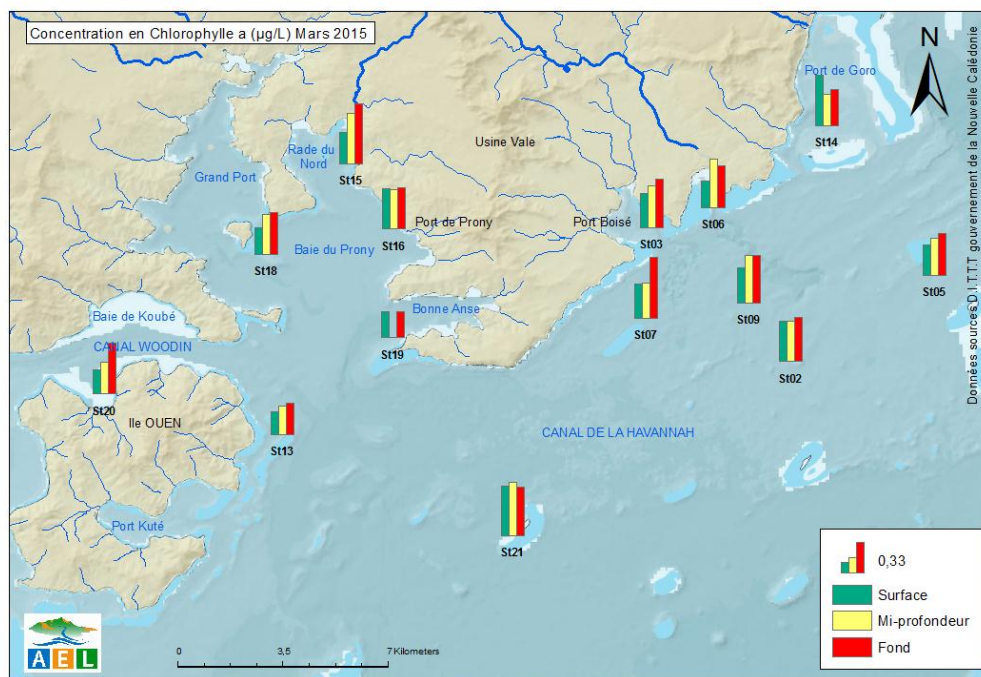


Figure 17 : Concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

Ce qu'il faut retenir

Les concentrations de NOD sont relativement homogènes au sein du domaine d'étude alors que celles de POD sont particulièrement dispersées. Les concentrations maximales de cet élément ont été mesurées à la station St14.

Les concentrations de COP sont relativement homogènes à l'exception de la zone de l'Ile Ouen dont les concentrations sont plus élevées.

Les concentrations de NOP et POP montrent une légère influence des apports terrigènes, seulement détectée dans la Baie du Prony et dans une moindre mesure aux alentours de l'Ile Ouen. Les concentrations mesurées dans les deux autres zones restent relativement similaires.

Les concentrations de chlorophylle *a*, quant à elles, ne présentent pas de distribution particulière au sein du domaine d'étude, mais pour la plupart des stations, celles-ci présentent une distribution verticale croissante avec la profondeur. Globalement, les concentrations de chlorophylle *a* ne présentent pas de tendance particulière depuis le début des campagnes semestrielles « saison chaude », ce qui traduit, à travers ce proxy, une stabilité de la qualité des eaux de la zone d'étude.

Tableau 7 : Concentrations de chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle 2015.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,33
	Maximum	0,65
	Moyenne	0,46
	Ecart-type	0,09
	CV (%)	19
Baie Canal	Minimum	0,28
	Maximum	0,54
	Moyenne	0,43
	Ecart-type	0,09
	CV (%)	21
Baie du Prony	Minimum	0,28
	Maximum	0,64
	Moyenne	0,41
	Ecart-type	0,11
	CV (%)	28
Ile Ouen	Minimum	0,25
	Maximum	0,54
	Moyenne	0,34
	Ecart-type	0,11
	CV (%)	32

CV (%) : Coefficient de variation en pourcentage.

G. METAUX DISSOUS

Les concentrations des métaux dissous sont regroupées dans les Figure 18, Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24, le Tableau 8, Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 5.

Remarque : Dans un souci d'amélioration continue, les limites de quantification des métaux dissous Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn ont été recalculées (Annexe 1).

Les concentrations de Cd et de Pb sont en dessous des limites de quantification fixées ; ces éléments étant à l'état de traces dans les roches latéritiques du sud calédonien (Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981). La limite de

quantification du Zn ayant été revue à la hausse (1,00 µg/L), aucune concentration n'a été quantifiable lors de cette campagne.

Les concentrations d'As sont homogènes à l'exception des stations de l'île Ouen présentant des concentrations légèrement plus faibles (Figure 18 ; Tableau 8).

Comme observé lors des précédentes campagnes, les métaux dissous Cr^{VI} , Cr-total, Co, Mn et Ni présentent une distribution « côte-large » bien définie et, dans les stations de baies, les concentrations sont plus élevées dans les eaux de surface que dans le reste de la colonne d'eau. Les stations du Canal de la Havannah, influencées par les apports océaniques (St02, St05, St07, St09 et St21) sont nettement différenciées des stations de baies, influencées par les apports terrigènes des rivières (St03, St06, St14, St15, St16, St18 et St19). Autour de l'île Ouen (St13 et St20), les niveaux de concentrations sont intermédiaires (Figure 19 ; Figure 20 ; Figure 21 ; Figure 22 ; Figure 23).

La distribution des concentrations du Cr^{VI} et Cr-total est sensiblement similaire (Tableau 8). Les concentrations moyennes obtenues dans le Canal de la Havannah ainsi qu'aux stations de l'île Ouen sont très homogènes. De part leur influence intermédiaire, les moyennes obtenues aux stations de l'île Ouen sont légèrement plus élevées que celles du Canal.

Les moyennes mesurées dans la Baie du Prony ainsi que dans les baies du Canal sont plus dispersées que celles du Canal et de l'île Ouen. En effet, les concentrations de surface de la plupart des stations de baie sont plus élevées que celles de mi-profondeur et fond. Par exemple, les concentrations de surface des stations St15 ($\text{Cr}^{\text{VI}} = 0,325 \mu\text{g/L}$; Cr-total = $0,344 \mu\text{g/L}$) et St06 ($\text{Cr}^{\text{VI}} = 0,243 \mu\text{g/L}$; Cr-total = $0,334 \mu\text{g/L}$), les maximales de la zone d'étude, sont deux fois plus hautes que les concentrations des eaux de fond de ces mêmes stations (St15 : $\text{Cr}^{\text{VI}} = 0,157 \mu\text{g/L}$; Cr-total = $0,207 \mu\text{g/L}$; St06 : $\text{Cr}^{\text{VI}} = 0,124 \mu\text{g/L}$; Cr-total = $0,179 \mu\text{g/L}$) (Figure 19 ; Figure 20).

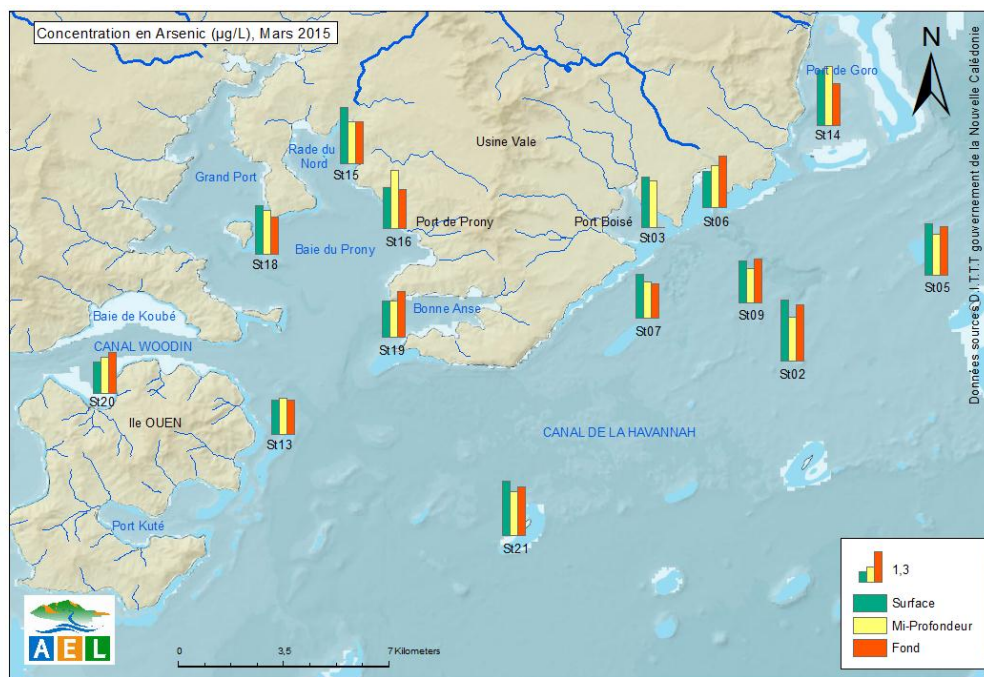


Figure 18 : Concentrations en arsenic dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

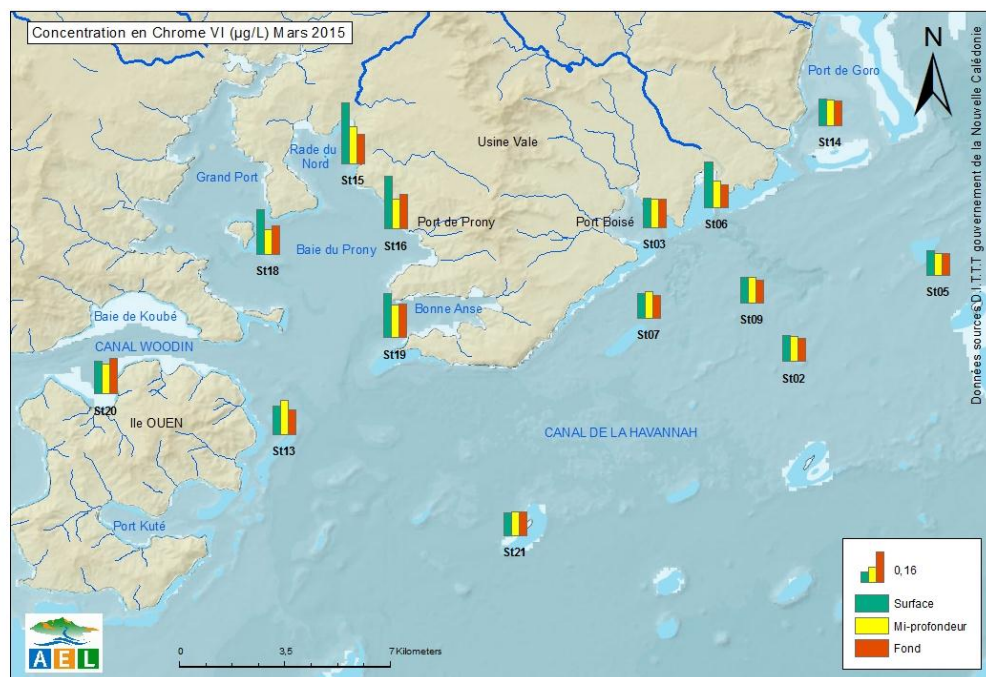


Figure 19 : Concentrations en chrome hexavalent dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

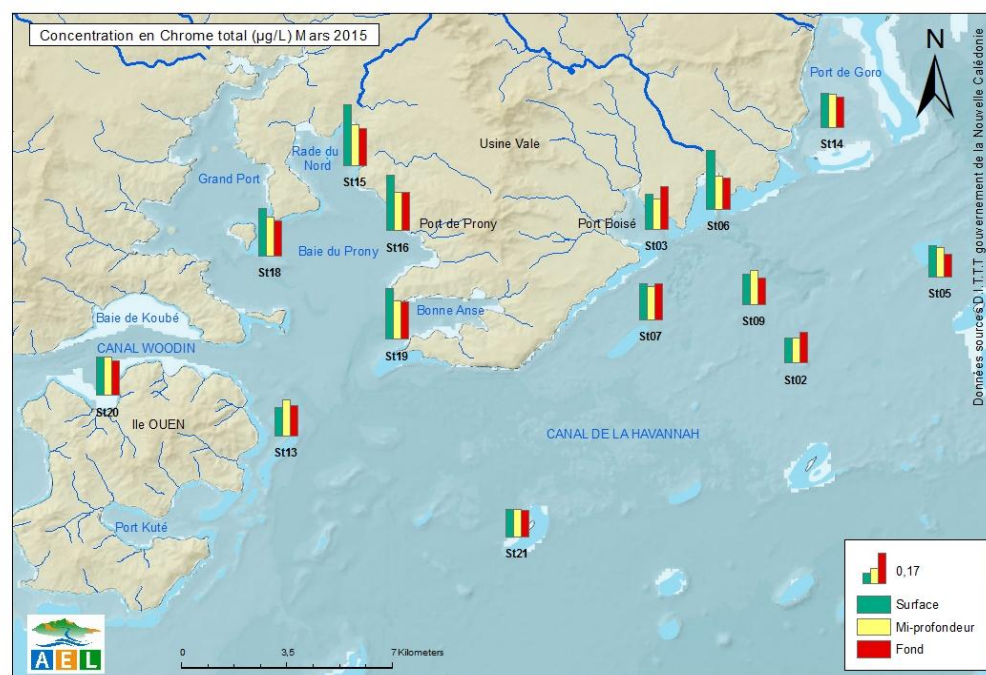


Figure 20 : Concentrations en chrome-total dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

La distribution des métaux dissous Co, Mn et Ni est relativement similaire à celle observée pour Cr^{VI} et Cr-total mais les concentrations sont nettement plus dispersées (Tableau 8 et Tableau 9). Les concentrations maximales du domaine d'étude ont été obtenues dans les eaux de surface des stations St15 et St06 pour le Co (0,111 et 0,086 $\mu\text{g/L}$, respectivement) et Mn (1,107 et 0,992 $\mu\text{g/L}$, respectivement) (Figure 21 ; Figure 22). Ces concentrations sont nettement plus hautes que celles mesurées dans les eaux de mi-profondeur et fond. Par exemple, pour le Co, seule la concentration de surface de la station St06 a pu être quantifiée. Les concentrations de mi-profondeur et fond sont inférieures à la limite de quantification ($<0,027 \mu\text{g/L}$). A cette même station, la concentration de Mn en surface est 16 fois plus élevée que celle de mi-profondeur (0,061 $\mu\text{g/L}$).

Pour le Ni, la moyenne des stations de l'Île Ouen est plus élevée que celles de la Baie du Prony et des baies du Canal : 0,753 $\mu\text{g/L}$ à la station St13 dans les eaux de fond et 1,128 $\mu\text{g/L}$ en St20 en surface, cette dernière valeur étant la maximale du domaine d'étude (Tableau 9 ; Figure 23). Hormis cette concentration particulièrement élevée, ce sont, comme observé pour le Co et Mn, les eaux de surface des stations St06 (0,755 $\mu\text{g/L}$) et St15 (0,838 $\mu\text{g/L}$) qui présentent les maximales du domaine d'étude.

Pour Cu seulement 8 concentrations ont pu être quantifiées ($>0,025 \mu\text{g/L}$) et ne montrent, par ailleurs, aucune distribution particulière. Dans les stations des baies du Canal, aucune concentration n'a été quantifiable et seulement une dans le Canal de la Havannah (St02-S=0,048 $\mu\text{g/L}$). Quatre concentrations ont été quantifiées dans la Baie du Prony dont la plus haute dans les eaux de surface de la station St19 (0,266 $\mu\text{g/L}$). Aux stations de l'Île Ouen, trois concentrations ont été mesurées en St13-S (0,066 $\mu\text{g/L}$), St13-F (0,067 $\mu\text{g/L}$) et St20-S (0,060 $\mu\text{g/L}$).

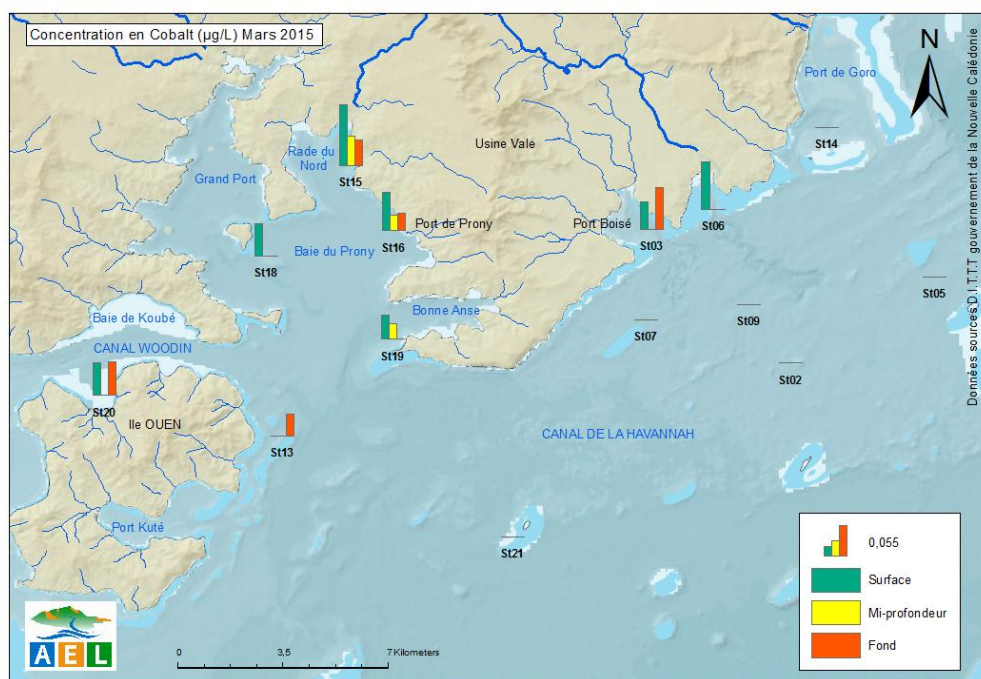


Figure 21 : Concentrations en cobalt dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

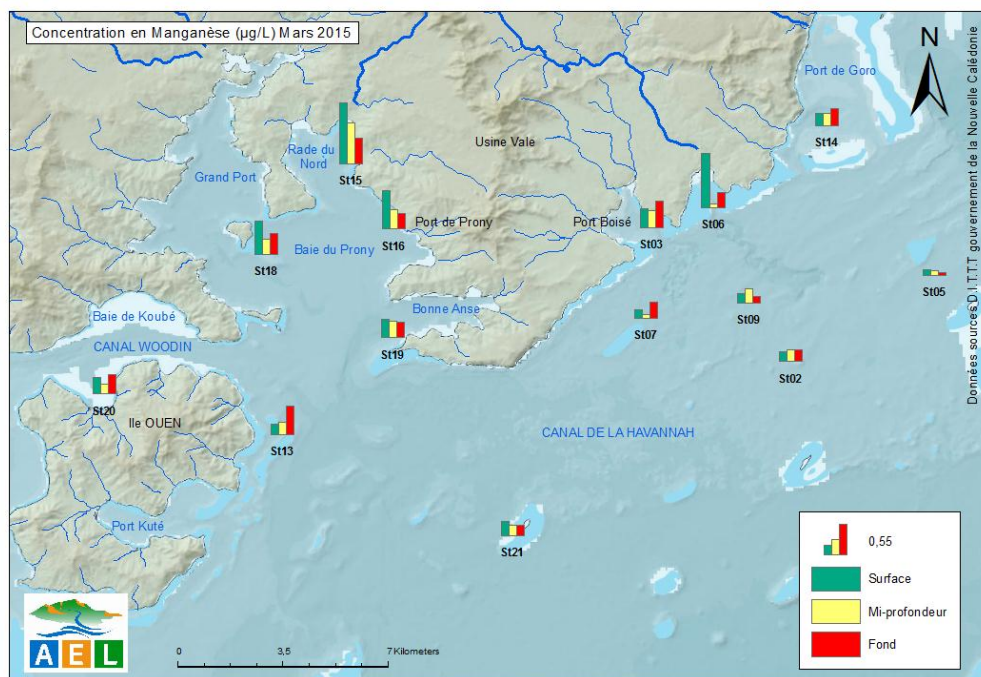


Figure 22 : Concentrations en manganèse dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

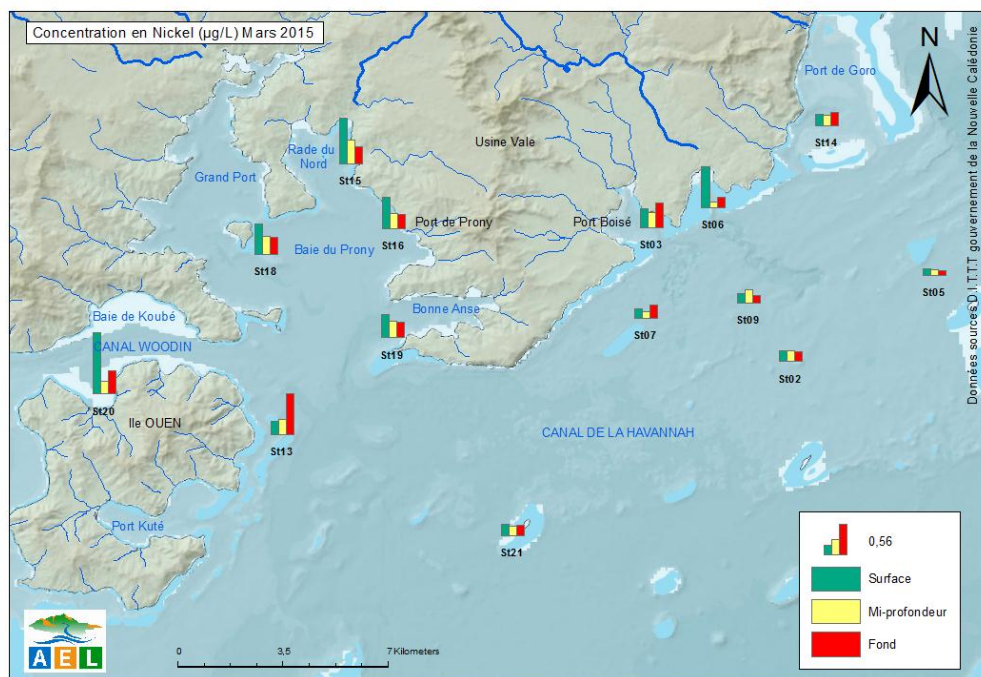


Figure 23 : Concentrations en nickel dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

Ce qu'il faut retenir

Les concentrations de As sont particulièrement homogènes au sein du domaine d'étude.

A l'inverse, les concentrations des métaux dissous Cr^{VI} , Cr-total, Co, Fe, Mn, Ni se distribuent selon un gradient « côte-large » décroissant mettant en évidence les stations influencées directement par les apports terrigènes des rivières, les distinguant ainsi de celles influencées par les apports océaniques. Les stations St06 et St15, influencées par les apports terrigènes des creeks débouchant dans la Baie Kwé et la Baie du Prony, présentent les concentrations maximales des métaux dissous Cr^{VI} , Cr-total, Co, Mn et Ni dans leurs couches de surface identifiée par une dessalure marquée.

Le Ni se distingue des autres métaux latéritiques issus des apports terrigènes car sa concentration est également élevée dans les eaux de fond et surface des stations de l'Ile Ouen, St13 et St20.

Les concentrations de Cu et Fe, quant à elles, ne présentent pas de distribution particulière dans le domaine d'étude. Il est à noter, cependant, que les concentrations de Fe les plus élevées ont été mesurées à la station St13.

Tableau 8 : Concentrations de métaux dissous (As, Cr^{VI} , Cr-total et Co) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle 2015.

Zone d'étude	Statistique	As ($\mu\text{g/L}$)	Cr^{VI} ($\mu\text{g/L}$)	Cr-total ($\mu\text{g/L}$)	Co ($\mu\text{g/L}$)
Canal de la Havannah	Minimum	1,40	0,115	0,127	<0,027
	Maximum	2,50	0,144	0,203	<0,027
	Moyenne	1,87	0,127	0,166	<0,027
	Ecart-type	0,32	0,008	0,023	NA
	CV (%)	1	7	14	NA
Baie Canal	Minimum	1,50	0,124	0,172	<0,027
	Maximum	2,40	0,243	0,334	0,086
	Moyenne	1,95	0,154	0,207	0,029
	Ecart-type	0,31	0,035	0,052	0,033
	CV (%)	1	23	25	114
Baie du Prony	Minimum	1,50	0,129	0,196	<0,027
	Maximum	2,40	0,325	0,344	0,111
	Moyenne	1,80	0,201	0,244	0,044
	Ecart-type	0,30	0,058	0,048	0,027
	CV (%)	1	29	19	62
Ile Ouen	Minimum	1,30	0,134	0,164	<0,027
	Maximum	1,70	0,190	0,217	0,061
	Moyenne	1,47	0,166	0,195	0,031
	Ecart-type	0,14	0,021	0,022	0,026
	CV (%)	1	12	11	83

CV (%) : Coefficient de variation en pourcentage.

Tableau 9 : Concentrations de métaux dissous (Cu, Fe, Mn et Ni) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle 2015.

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	<0,025	0,045	0,057	0,088
	Maximum	0,048	0,201	0,292	0,239
	Moyenne	<0,025	0,112	0,169	0,171
	Ecart-type	NA	0,051	0,070	0,045
	CV (%)	NA	46	41	26
Baie Canal	Minimum	<0,025	0,037	0,061	0,104
	Maximum	<0,025	0,243	0,992	0,755
	Moyenne	<0,025	0,117	0,357	0,309
	Ecart-type	NA	0,057	0,264	0,197
	CV (%)	NA	49	74	64
Baie du Prony	Minimum	<0,025	0,056	0,281	0,260
	Maximum	0,266	0,112	1,107	0,838
	Moyenne	0,041	0,089	0,481	0,410
	Ecart-type	0,079	0,020	0,255	0,171
	CV (%)	195	23	53	42
Ile Ouen	Minimum	<0,025	0,057	0,173	0,240
	Maximum	0,067	0,443	0,525	1,128
	Moyenne	0,036	0,212	0,297	0,510
	Ecart-type	0,031	0,166	0,130	0,360
	CV (%)	87	78	44	71

CV (%) : Coefficient de variation en pourcentage ; NA : non attribué.

SYNTHESE

Rappel : Cette synthèse regroupe les concentrations des sels nutritifs et des métaux dissous mesurées aux stations sentinelles depuis mars 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'influences 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.

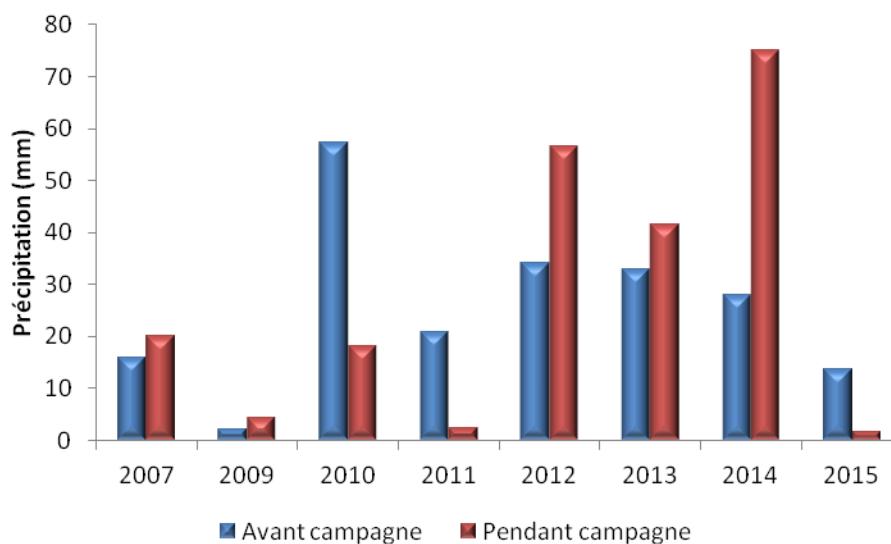


Figure 25 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saisons chaude » de 2007 à 2015 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

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 et Figure 27. Leur évolution a été étudiée aux stations St05 (Ilot Kié), St09 (Canal de la Havannah), St06 (Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord).

1. Ammonium

A la station St05, les concentrations maximales de NH_4 ont été observées lors de la campagne de 2010 ; la plus élevée ayant été mesurée en surface ($0,29 \mu\text{mol/L}$). A l'exception de cette valeur, les concentrations de NH_4 diffèrent peu d'une année à l'autre en raison de sa proximité avec le récif barrière et la forte influence océaniques.

De la même manière à la station St09, les concentrations de NH_4 mesurées en « saison chaude » depuis le début des campagnes sont relativement stables.

En ce qui concerne la station St06, si les concentrations en NH_4 ne montrent pas de tendance particulière entre les campagnes il est cependant possible de remarquer deux résultats d'analyse légèrement plus élevés que les autres : à mi-profondeur en 2010 ($0,27 \mu\text{mol/L}$) et au fond en 2012 ($0,24 \mu\text{mol/L}$).

A la station St15, trois concentrations de NH_4 se démarquent par leurs valeurs plus élevées que les autres : celles-ci ont été mesurées en profondeur lors des campagnes de 2010 ($0,25 \mu\text{mol/L}$) et 2011 ($0,29 \mu\text{mol/L}$) ainsi que lors de la dernière campagne en surface ($0,24 \mu\text{mol/L}$). Les concentrations de NH_4 mesurées entre mars 2012 et 2014 sont relativement similaires.

2. Nitrates et nitrites

A la station St05, les concentrations de NO_3+NO_2 ne montrent pas de tendance particulière, hormis trois valeurs plus élevées que la moyenne. Il s'agit de la concentration de fond de mars 2009 ($0,78 \mu\text{mol/L}$) et celles de fond et mi-profondeur de mars 2011 s'élevant à $0,79$ et $0,68 \mu\text{mol/L}$, respectivement. Les concentrations minimales de NO_3+NO_2 ont été mesurées lors des campagnes de 2012 à mi-profondeur et fond ($<0,05 \mu\text{mol/L}$) et 2013 en surface ($0,03 \mu\text{mol/L}$) et fond ($0,07 \mu\text{mol/L}$) ainsi que dans les eaux de surface de la campagne 2015 ($0,06 \mu\text{mol/L}$).

A la station St09, les concentrations de NO_3+NO_2 ont atteint un maximum à $1,05 \mu\text{mol/L}$ en 2009. Hormis cet épisode unique, celles-ci ne présentent aucune évolution entre les campagnes « saison chaude » : la concentration moyenne s'élève à $0,21 \pm 0,13 \mu\text{mol/L}$.

Pour ce qui est de la station St06, les concentrations en NO_3+NO_2 montrent une relative variabilité entre les différentes campagnes « saison chaude » ; la concentration moyenne s'élevant à $0,42 \pm 0,32 \mu\text{mol/L}$. La concentration maximale NO_3+NO_2 de cette station a été relevée dans les eaux de surface en 2013 ($1,39 \mu\text{mol/L}$).

La variabilité temporelle la plus importante est observée à la station St15, les concentrations de NO_3+NO_2 étant différentes entre les campagnes. Cette évolution ne semble pas être liée à la pluviométrie mesurée avant et pendant les campagnes et une tendance à la diminution globale semble se dessiner entre 2007 et 2013. En 2014, la concentration de fond ($0,82 \mu\text{mol/L}$) remonte nettement, sans toutefois atteindre le niveau de concentration mesuré en 2009 ($0,93 \mu\text{mol/L}$). Les concentrations mesurées en 2015 sont relativement faibles comparées à celles

obtenues lors des précédentes campagnes en surface (0,14 $\mu\text{mol/L}$), mi-profondeur (0,08 $\mu\text{mol/L}$) et fond (0,05 $\mu\text{mol/L}$).

Ce qu'il faut retenir

Pour les ions NH_4 , aucune tendance temporelle ni réellement spatiale ne se dessine au fil des campagnes. Toutefois, on remarque que les concentrations varient plus verticalement aux stations St06 et St15 (terrigènes) qu'aux stations St05 et St09 (océanique). Une attention particulière est tout de même portée sur les eaux de surface de la station St15. En effet, la concentration la plus élevée depuis le début des campagnes a été mesurée en 2015 à cette station.

En ce qui concerne les nitrates et nitrites (NO_3+NO_2), les stations de baies semblent refléter les différentes contributions terrigènes (apports de débris organiques) et présentent une forte variabilité temporelle. Des variations, bien que modérées, sont également observées à proximité du récif barrière, probablement en raison de l'activité de la production primaire rythmée par les conditions hydro-climatiques. Au centre du Canal de la Havannah, on enregistre la moins grande variabilité, en grande partie explicable par les mécanismes de brassage qui tendent à homogénéiser les eaux.

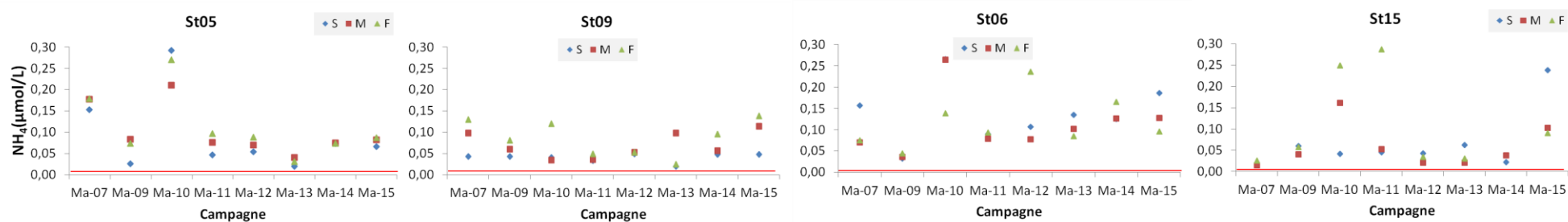


Figure 26 : Concentrations d'ammonium mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 $\mu\text{mol/L}$).

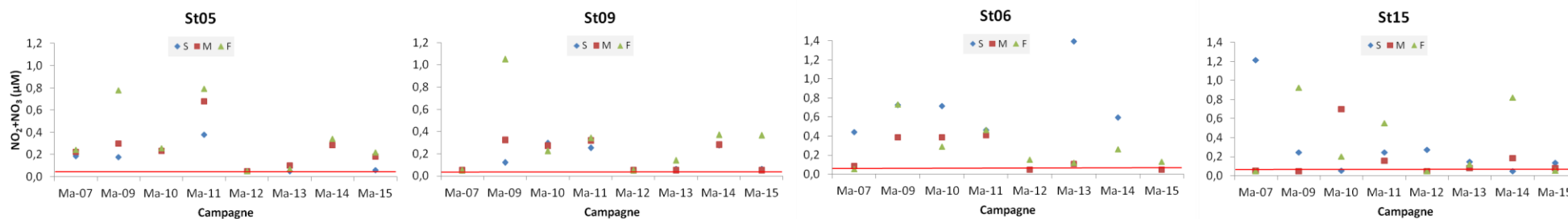


Figure 27 : Concentrations de nitrates+nitrites mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 μM).

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 (Port Boisé), St06 (Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord) a été reportée dans les Figure 28, Figure 29, Figure 30 et Figure 31.

a) Station St03 (Port Boisé)

Les concentrations des métaux dissous présentent une relative variabilité interannuelle, notamment au niveau des couches de surface où, par ailleurs, il a été mesuré en 2014 les valeurs maximales pour Co (0,11 µg/L), Cr(VI) (0,55 µg/L) et Ni (1,08 µg/L), concentrations proches de celles de 2010 ([Co] = 0,10 µg/L ; [Ni] = 0,65 µg/L). La variabilité la plus prononcée est exprimée par les concentrations en Ni.

Relativement stable depuis le début des campagnes « saison chaude », toutes profondeurs confondues ($0,16 \pm 0,10$ µg/L), la concentration en Cr^{VI} dans les eaux de surface a été multipliée par 2,5 fois en mars 2014. En 2015, un retour à la normale est observé, la concentration des eaux de surface s'élevant à 0,16 µg/L.

Pour les deux autres métaux Co et Ni, des augmentations sont également décelées en mars 2014, mais elles restent plus ténues. Comme pour le Cr^{VI}, les concentrations de surface de ces métaux ont diminuées entre 2014 et 2015.

La variabilité temporelle des concentrations de Mn est de moindre ampleur (0,05 et 0,32 µg/L) que pour les trois autres métaux. Une légère augmentation des concentrations est observée entre 2013 et 2015 particulièrement pour les concentrations de fond dont les valeurs ont été multipliées par 10 entre 2013 (0,05 µg/L) et 2015 (0,49 µg/L).

b) Station St06 (Baie Kwé)

Alors qu'entre 2009 et 2012, les concentrations de Cr^{VI} sont relativement similaires ($0,14 \pm 0,05$ µg/L), en 2013 et 2014, les valeurs dans les eaux de surface ont doublé (0,35 µg/L), voire triplé (0,45 µg/L), respectivement. Inversement, entre 2014 et 2015, la concentration de surface a diminué s'élevant à 0,24 µg/L. Dans les eaux de fond et à mi-profondeur, les concentrations restent similaires entre chaque campagne.

Les concentrations les plus élevées de Co, Mn et Ni sont majoritairement mesurées dans les eaux de surface avec des écarts notables entre les différentes campagnes. A l'inverse de la couche de surface, peu de fluctuations sont observées entre les eaux de fond et de mi-profondeur, et dans les deux cas, les valeurs ne montrent pas d'évolution temporelle particulière du milieu.

Pour le Mn, une variabilité plus importante affecte l'intégralité de la colonne d'eau ($0,29 \pm 0,16$ µg/L), la valeur maximale ayant été mesurée en 2015 dans les eaux de surface (0,99 µg/L). Cette variabilité est liée au comportement intrinsèque du Mn dissous qui est très fortement corrélée à la quantité de MES présente dans les eaux.

c) Station St15 (Prony Creek Rade Nord)

A la station St15, alors que les concentrations de Cr^{VI} dans les eaux de mi-profondeur et de fond sont remarquablement stables depuis 2007 ($0,18 \pm 0,02 \mu\text{g/L}$), les concentrations en surface, qui sont environ trois fois plus élevées en moyenne que celles de mi-profondeur et fond, montrent une grande variabilité entre les campagnes ($0,49 \pm 0,38 \mu\text{g/L}$). La concentration maximale a été mesurée en 2011 ($1,22 \mu\text{g/L}$).

En ce qui concerne les concentrations de Co et Ni, dans les eaux de mi-profondeur elles ne diffèrent pas ou très légèrement depuis 2007 ($0,05 \pm 0,01 \mu\text{g/L}$ et $0,31 \pm 0,07 \mu\text{g/L}$, respectivement). A l'inverse, l'amplitude des variations est importante dans les eaux de fond et particulièrement élevée dans la couche de surface où l'on rencontre les concentrations les plus élevées (2010 : $[\text{Co}] = 0,27 \mu\text{g/L}$; 2011 : $[\text{Ni}] = 1,44 \mu\text{g/L}$).

Pour Mn, la variabilité des concentrations concerne de manière indifférenciée les trois couches d'eau, la valeur la plus élevée ayant été mesurée en 2011 dans les eaux de fond ($4,16 \mu\text{g/L}$) ; cette concentration est 4 et 12 fois plus forte par rapport aux valeurs de surface ($1,00 \mu\text{g/L}$) et de mi-profondeur ($0,33 \mu\text{g/L}$) et est à relier à la présence d'un néphéloïde benthique bien développé (2-3 NTU) sur les derniers mètres de la colonne d'eau (Le Grand *et al.* 2011). Cette structure turbide explique également l'augmentation des concentrations de Co ($0,25 \mu\text{g/L}$) et Ni ($0,91 \mu\text{g/L}$).

Pour ces 4 métaux (Co, Cr^{VI} , Mn et Ni), les concentrations de surface les plus élevées ont été mesurées en 2010 et 2011. Pour le Mn, la concentration de surface mesurée en 2015 fait également partie de ces maximales ($1,11 \mu\text{g/L}$).

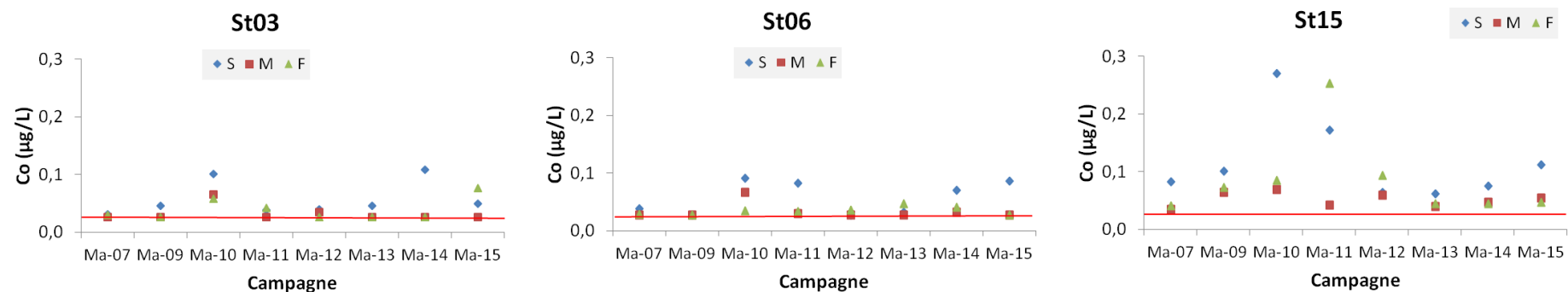


Figure 28 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 $\mu\text{g/L}$).

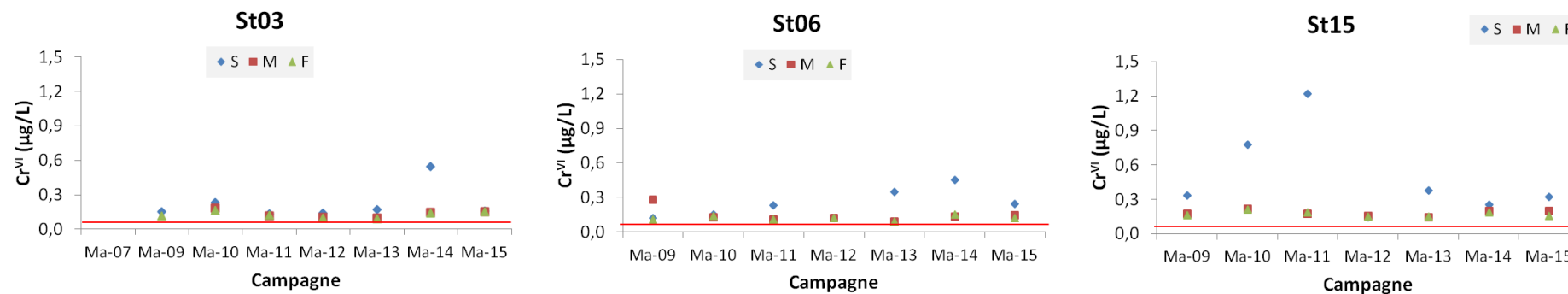


Figure 29 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,030 $\mu\text{g/L}$).

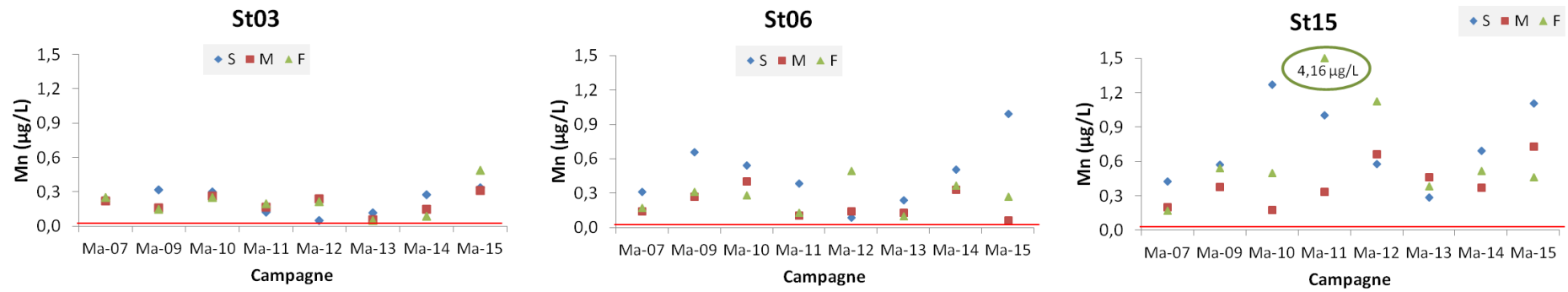


Figure 30 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µmol/L).

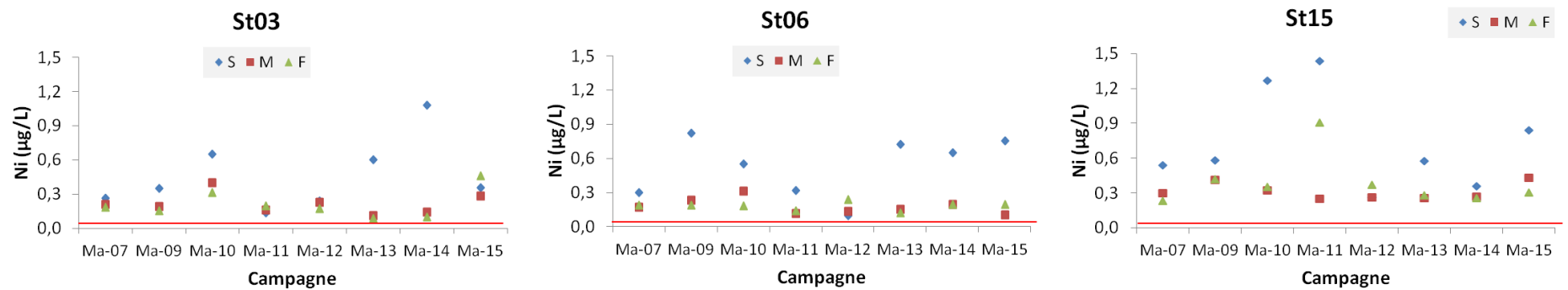


Figure 31 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µmol/L).

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

L'évolution des concentrations de Co, Cr^{VI}, Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 aux stations St05 (Ilot Kié), St07 (Récif Ioro) et St09 (Canal de la Havannah) a été reportée dans les Figure 32, Figure 33, Figure 34 et Figure 35.

Remarque : la limite quantification du Co a été recalculée ; celle-ci est passée de 0,012 à 0,027 µg/L. Les concentrations des précédentes campagnes ont donc été ajustées à cette nouvelle limite.

Les concentrations demeurent faibles et, notamment à la station St05, sont d'une grande constance interannuelle pour Cr^{VI}, Mn et Ni. Par ailleurs, les masses d'eau sont particulièrement homogènes.

Pour Co, les concentrations restent régulièrement en dessous des limites de quantification (<0,027 µg/L) dans tout le Canal de la Havannah.

Aux stations St07 et St09, la distribution temporelle des concentrations dessine, pour l'ensemble de la colonne, une baisse des concentrations de Co, Mn, Ni et dans une moindre mesure Cr^{VI}, entre 2007 et 2010. Si depuis 2011, les concentrations de Cr^{VI} des campagnes « saison chaude » montrent une stabilisation, à l'inverse, les concentrations de Mn et Ni semblent en augmentation à partir de 2013. En effet, en 2015, pour ces deux métaux, les concentrations maximales ont été mesurées dans les eaux de fond de la station St07 ([Mn]=0,292 µg/L ; [Ni]=0,239 µg/L) et dans les eaux de mi-profondeur de la station St09 ([Mn]=0,255 µg/L ; [Ni]=0,234 µg/L).

Les concentrations mesurées à ces stations d'influence océanique, sont plus faibles que celles mesurées aux stations St03, St06 et St15, d'influence terrigène.

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations de Co, Cr^{VI}, Mn et Ni, comme les concentrations en sels nutritifs (NO₃+NO₂ et NH₄), ne semblent pas corrélées à la pluviométrie.

Ce qu'il faut retenir

A l'intérieur des baies, les eaux de surface montrent des variations de concentrations des métaux dissous (Co, Cr^{VI}, Mn et Ni). Les concentrations les plus fortes et les fluctuations les plus marquées sont observées à la station St15, au droit du Creek de la Rade Nord. En Baie de Port Boisé (St03) une influence du degré de lixiviation des sols latéritiques induit par les précipitations est parfois perceptible (mai 2014), alors qu'en Baie Kwé (St06) s'ajoutent d'autres paramètres hydro-climatiques (Achard et al, 2015) qui rendent l'interprétation moins immédiate.

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations demeurent faibles, voire en dessous de la limite de quantification (Co). Au niveau de la réserve Merlet (St05), pour chaque métal, les valeurs sont homogènes et remarquablement constantes sur toute la hauteur de la colonne d'eau depuis 2007. Pour les stations St07 et St09, les concentrations de Mn et Ni semblent en légère augmentation depuis 2013.

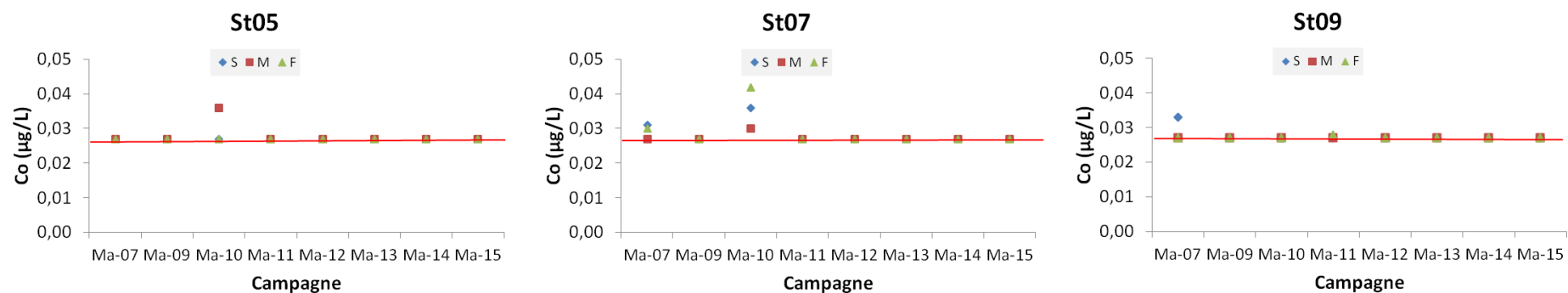


Figure 32 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 $\mu\text{g/L}$).

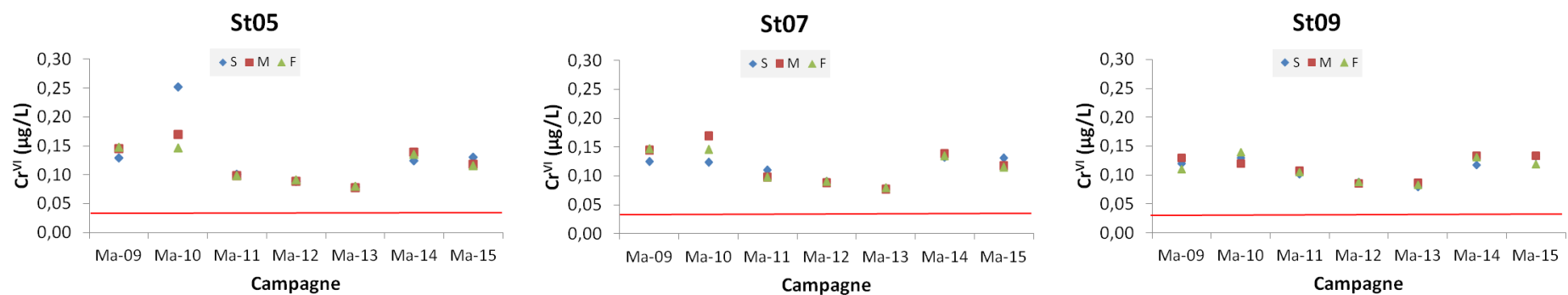


Figure 33 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,030 $\mu\text{g/L}$).

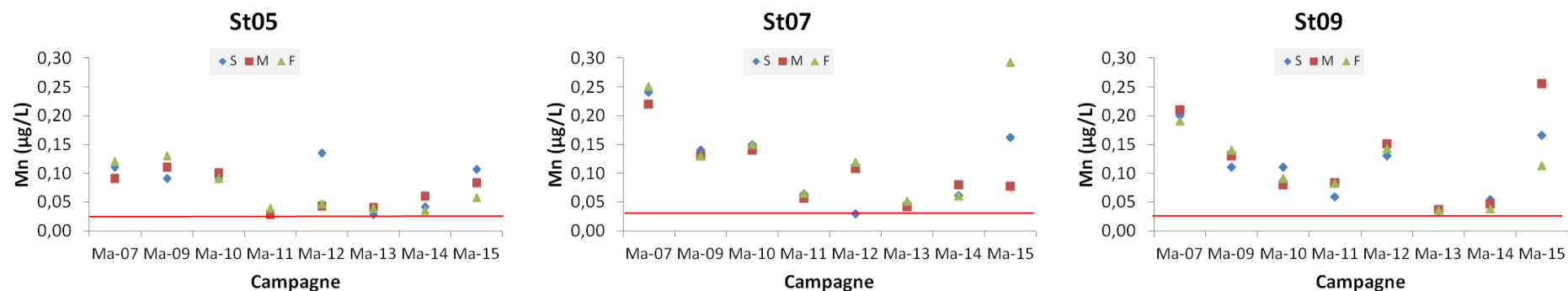


Figure 34 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 $\mu\text{g/L}$).

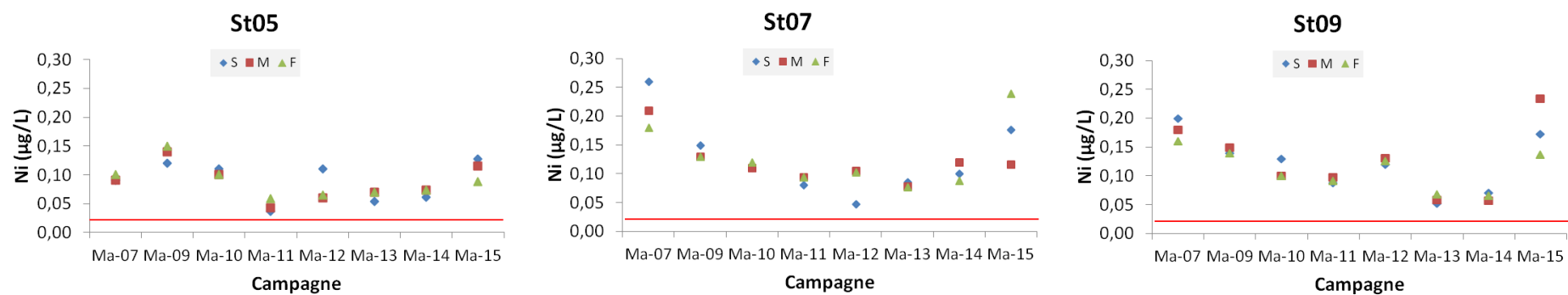


Figure 35 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 $\mu\text{g/L}$).

CONCLUSION

Comme observé lors des précédentes campagnes semestrielles « **saison chaude** », les principales variations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence), des concentrations en sels nutritifs tels que les Si(OH)_4 ou en métaux dissous (ex. : Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni) observées lors de la campagne 2015, mettent en évidence l'influence des terrigènes des creeks au niveau des baies de la zone étudiée. Ainsi, en fonction de la distance des émissaires naturels et des conditions hydrodynamiques, les concentrations des paramètres étudiés, particulièrement au niveau des eaux de surface, se distribuent selon un même gradient « côte-large » bien défini ; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Port Boisé, Kwé et Baie du Prony), les plus faibles étant relevées dans le Canal de la Havannah.

L'étude des variations interannuelles des sels nutritifs (NO_3+NO_2 et NH_4) aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15) ne mettent pas en évidence d'évolution particulière depuis le début des campagnes. Les variations observées dépendent des conditions hydrodynamiques et biologiques du milieu. Une attention particulière est tout de même portée sur les eaux de surface de la station St15 ; celles-ci présentant la concentration la plus élevée de NH_4 mesurée depuis le début des campagnes.

Pour les métaux dissous (Co, Cr^{VI} , Mn et Ni), l'étude de la série chronologique n'a pas montré d'évolution particulière pour les stations de baies (Port Boisé, Kwé et Prony). Les fortes concentrations des métaux dissous Co, Cr^{VI} et Ni mesurées dans les eaux de surface de la baie de Port Boisé (St03) en 2014 ont nettement diminué en 2015, passant au même ordre de grandeur que celles observées entre 2007 et 2013.

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations demeurent faibles (Cr^{VI} , Mn et Ni), voire en dessous de la limite de quantification (Co) quelle que soit la profondeur, observation particulièrement avérée à proximité de la réserve Merlet (St05) où les concentrations sont remarquablement constantes depuis 2007. Au niveau du récif Ioro (St07) et du Canal de la Havannah (St09), une légère augmentation des concentrations de Mn et Ni semblent se dessiner depuis 2013 et devra donc être surveillée lors des prochaines campagnes.

REFERENCES

Achard R, Kumar-Roiné S, Kaplan H, Pluchino S, Haddad L, Laurent A, et Fernandez JM (2015). Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony : mission janvier-mars 2015. Contrat Vale-NC/AEL n° 3052-2013, 68p.

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

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

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.

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.

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, Moreton B, Goyaud A, Malet A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (août 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, Moreton B, Dolbecq M, Haddad L, Roupsard F, Douchin C, Dubuc A, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison sèche (août 2011). Convention n°C2445.

Le Grand H, Roupsard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roiné 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, Moreton M, Hulliger M, Roupsard F, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison sèche (août 2012). Convention n°C2445.

Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roiné 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, Senia J, Pluchino S, Raynal A, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (2^{ème} semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 81p.

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, Raynal A, Pluchino S, Achard R, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (2^{ème} semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 86p.

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

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

Murphy J, Riley JP (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, Analytica Chimica Acta, 27: 31-36.

Oudot C, Montel Y (1988). A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in seawater with a Technicon Autoanalyzer II, Marine Chemistry, 24: 239-252.

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.	10
FIGURE 2 : HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES 5 JOURS PRECEDANT (26/03/15 AU 02/03/15) LA CAMPAGNE ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (03/03/15 AU 05/03/15).	11
FIGURE 3 : CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 03 AU 05 MARS 2015.	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 2015.	14
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 2015.	15
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 2015.	16
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 2015.	17
FIGURE 8 : CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	20
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	23
FIGURE 10 : CONCENTRATIONS EN AMMONIUM DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	24
FIGURE 11 : CONCENTRATIONS EN SILICATES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	26
FIGURE 12 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	28
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	28
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	30
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	30
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	31
FIGURE 17 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	32
FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	34
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN CHROME HEXAVALENT DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	35
FIGURE 20 : CONCENTRATIONS EN CHROME-TOTAL DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	35
FIGURE 21 : CONCENTRATIONS EN COBALT DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	36
FIGURE 22 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	37

FIGURE 23 : CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	37
FIGURE 24 : CONCENTRATIONS EN FER DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.....	38
FIGURE 25 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISONS CHAUDE » DE 2007 A 2015 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».	41
FIGURE 26 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 µMOL/L).	44
FIGURE 27 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05, St09, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	44
FIGURE 28 : CONCENTRATIONS DE COBALT 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).....	47
FIGURE 29 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXVALENT 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,030 µG/L).	47
FIGURE 30 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µMOL/L).	48
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE NICKEL 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µMOL/L).	48
FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE COBALT 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	50
FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXVALENT 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,030 µG/L).	50
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	51
FIGURE 35 : CONCENTRATIONS DE NICKEL 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 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	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.	9
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 2015.	18
TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE ET VALEURS DU pH MESUREES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	19
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS DE MES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE MESUREES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2015.	21
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE 2015.	22
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS DE MATIERE ORGANIQUE DISSOUTE (NOD ET POD) ET PARTICULAIRE (NOP, COP ET POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE 2015.	26
TABLEAU 7 : CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE MESUREES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE 2015.	33
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (As, Cr ^{VI} , Cr-TOTAL ET Co) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE 2015.	39
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (Cu, Fe, Mn ET Ni) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE MESUREES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE 2015.	40

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : METHODOLOGIE.....	59
ANNEXE 2 : CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS, VALEURS DU PH ET CONCENTRATION DES MATIERES EN SUSPENSION (MES).....	68
ANNEXE 3 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS	70
ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE ET DE LA CHLOROPHYLLE A	72
ANNEXE 5 : CONCENTRATIONS DES METAUX DISSOUS.....	74
ANNEXE 6 : COMPILATION DES CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE »	76
ANNEXE 7 : COMPILATION DES CONCENTRATIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE »	78
ANNEXE 8 : COMPILATION DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE »	81
ANNEXE 9 : COMPILATION DES CONCENTRATIONS DES METAUX DISSOUS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE »	82

Annexe 1 : Méthodologie

STRUCTURE DES MASSES D'EAU

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

Les paramètres de la sonde CTD et leurs spécifications sont les suivants (Tableau 1) :

- la pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- la salinité (‰), déduite de la mesure de la conductivité ;
- la température (°C) ;
- la turbidité par mesure de la néphélométrie, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- la fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m^3 , 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

ELEMENTS MAJEURS, PH ET MATIERES EN SUSPENSION (MES)

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

- le dosage des ions calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) 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^-) et sulfates (SO_4^{2-}) qui ont été réalisés par chromatographie ionique capillaire (Waters, CIA) ;
- 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.

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 stockage en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates+nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) et de phosphates (PO_4) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et le phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et sont filtré sur des filtres Whatmaⁿ® GF/F (porosité $0,7 \mu\text{m}$) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20°C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

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) obtenu 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 & Montel, 1988), le dosage des ions (NO_2) est obtenu directement. 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 & Luegbbe, 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 $0,05 \mu\text{mol/L}$.

Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac NH_3 et d'ion NH_4^+ , ce dernier étant prépondérant dans le milieu marin. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles et la méthode décrite par Holmes *et al.*, (1999) est la plus adaptée. Il s'agit d'une méthode manuelle basée sur le principe d'une mesure fluorométrique qui permet de doser des quantités sub-micromolaires d'ammonium. Les proportions de réactifs ont été déterminées pour des concentrations maximales d'ammonium de $3 \mu\text{mol/L}$, la limite de quantification de la méthode est de $1,5 \text{ nmol/L}$.

Phosphates

Le dosage des PO_4 a été effectué selon la méthode de Murphy & Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide ($\text{pH} < 1$) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, 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 $0,05 \mu\text{mol/L}$.

Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de Mullin & Riley, 1955, modifiée par Fanning & 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 Si(OH)₄.

MATIERE ORGANIQUE

Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation et les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée (Raimbault *et al.*, 1990) est simple et rapide à mettre en œuvre. Pour le 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 POD, le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 7 µmol/L et la limite de quantification est de 0,050 µmol/L. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Lueggbe, 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.

Azote et phosphore organiques particulaires

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

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée (Raimbault *et al.*, 1990) est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Lueggbe, modèle Autoanalyseur III. 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.

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).

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. Cette analyse a été effectuée par le laboratoire des moyens analytiques de l'IRD de Dakar.

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.

METEAUX DISSOUS

Conditionnement et analyse

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

1. 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.
2. 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).
3. 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).

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

Note : les LQ des métaux dissous Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn diffèrent de celles utilisées lors des précédentes campagnes. En effet, dans un souci d'amélioration continue de nos méthodes, celles-ci ont été redéfinies. Ainsi dans les tableaux des annexes 6, 7, 8 et 9, les concentrations des métaux dissous mesurées lors des précédentes campagnes ont été ajustées aux nouvelles limites.

Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.

Elément	LQ (µg/L)
As	1,000
Cd	0,025
Co	0,027
Cr ^{VI}	0,030
Cu	0,025
Fe	0,068
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,150
Zn	1,000

Validation de méthode

La validation des résultats d'analyse a été vérifiée par le dosage d'un échantillon certifié d'eau de mer : CASS-5 (Tableau 3).

Remarque : La concentration de Zn obtenue est plus élevée que la concentration certifiée. Les concentrations de Zn mesurées dans les échantillons d'eau de mer doivent donc être interprétées avec précaution car celles-ci sont probablement surestimées.

Tableau 3 : Résultats d'analyse de l'échantillon de référence CASS-5 (2014).

CASS-5 (n=3)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
Conc. Mesurée	0,022	0,085	0,267	1,00	2,56	0,30	<0,1	1,68
Ecart-type	0,003	0,009	0,031	0,06	0,05	0,02		0,16
Conc. Certifiée	0,022	0,095	0,380	1,44	2,62	0,33	0,011	0,72
Ecart-type	0,002	*	0,028	0,11	0,20	0,02	0,002	0,07

*valeur non certifiée

Contrôle qualité des méthodes d'analyse des métaux dissous

Afin de vérifier la précision des mesures et la sensibilité des méthodes d'analyse des métaux dissous, des triplicatas ont été échantillonnés sur environ 10 % des stations (n=4). Ces échantillons ont également été réalisés en duplicata pour être envoyés au laboratoire d'HydroScience de l'Université de Montpellier (GPTR AETE), Montpellier, France afin d'effectuer un exercice d'inter-comparaison des résultats de As, Cd, Cr-total, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn.

Remarque : Malgré sa compétence internationale reconnue, le laboratoire (NOCS : National Oceanography Centre Southsampton, Angleterre) sélectionné pour l'inter-comparaison des analyses de Cr^{VI} ne satisfait pas aux exigences en matière de délais (>9 mois). AEL est actuellement à la recherche d'un autre laboratoire effectuant l'analyse du

Cr^{VI} à nos niveaux de sensibilité. Les échantillons prélevés en duplicata y seront envoyés dès qu'un autre laboratoire aura été identifié ; les résultats seront fournis dans le prochain rapport.

a) 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, Cu, Pb et Zn sont toutes inférieures aux limites de quantification (0,025, 0,025, 0,150 et 1,000 µg/L, respectivement).

Les précisions des mesures obtenues pour les métaux Co, Fe, Mn et Ni sont très acceptables (<30%) à l'exception des précisions des mesures de Mn des stations St06 (40 %) et St14 (45 %). Ces analyses restent néanmoins globalement acceptables (Tableau 4).

Pour les 4 échantillons analysés en duplicatas (Tableau 5 ; Tableau 6), aucune des concentrations de Cd n'a pu être quantifiées. Les concentrations de Pb et Zn ont toutes pu être quantifiées par le laboratoire GPTR AETE mais pas par le laboratoire AEL. En effet, les limites de quantification fixées par le laboratoire GPTR AETE (Pb = 0,003 µg/L ; Zn = 0,029 µg/L) sont plus faibles que celles de AEL (Pb = 0,150 µg/L ; Zn = 1,000 µg/L). On remarque, cependant, que la concentration de Zn de la station St14 quantifiée par le laboratoire GPTR AETE est plus élevée que la limite de quantification de AEL. Cet échantillon dont la concentration est particulièrement élevée comparée aux trois autres pourrait avoir été contaminé.

Tableau 4 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations des métaux dissous (Co, Fe, Mn et Ni) lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

Station	Co (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)
St03-S	0,050	0,108	0,303	0,324
	0,056	0,118	0,387	0,401
	0,043	0,108	0,323	0,345
Précision (%)	13	6	13	11
St06-S	0,100	0,277	1,385	0,924
	0,062	0,195	0,592	0,581
	0,095	0,256	1,000	0,760
Précision (%)	24	18	40	23
St09-S	<0,027	0,112	0,153	0,156
	<0,027	0,159	0,195	0,189
	<0,027	0,124	0,148	0,171
Précision (%)	NA	18	16	10
St14-S	<0,027	0,094	0,128	0,148
	<0,027	0,119	0,222	0,218
	<0,027	0,162	0,332	0,242
Précision (%)	NA	28	45	24

NA : non attribué.

Tableau 5 : Comparaison des résultats d'analyse des métaux dissous (Cd, Co, Cu et Fe) mesurés en duplicatas par les laboratoires GPTR AETE (Montpellier, France) et AEL.

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	<0,005	<0,025	0,099	0,050 ± 0,007	0,121	<0,025	0,959	0,111 ± 0,006
St06-S	<0,005	<0,025	0,157	0,086 ± 0,021	0,087	<0,025	0,933	0,243 ± 0,043
St09-S	<0,005	<0,025	0,025	<0,027	0,142	<0,025	0,830	0,132 ± 0,024
St14-S	<0,005	<0,025	0,031	<0,027	0,130	<0,025	1,200	0,125 ± 0,034

Tableau 6 : Comparaison des résultats d'analyse des métaux dissous (Mn, Ni, Pb et Zn) mesurés en duplicatas par les laboratoires GPTR AETE (Montpellier, France) et AEL.

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	0,617	0,338 ± 0,044	0,724	0,357 ± 0,040	0,079	<0,150	0,759	<1,000
St06-S	1,248	0,992 ± 0,397	1,289	0,755 ± 0,172	0,182	<0,150	0,482	<1,000
St09-S	0,289	0,165 ± 0,026	0,392	0,172 ± 0,016	0,100	<0,150	0,931	<1,000
St14-S	0,284	0,227 ± 0,102	0,389	0,203 ± 0,049	0,071	<0,150	2,438	<1,000

Les concentrations des métaux dissous Co, Cu, Fe, Mn et Ni déterminées par le laboratoire GPTR AETE sont toutes systématiquement plus élevées que celles de AEL mais restent dans les mêmes ordres de grandeur à l'exception de Fe. L'explication réside dans le mode de traitement des échantillons. En effet, alors qu'AEL ne mesure que les métaux dissous potentiellement disponibles pour les organismes, la technique du laboratoire GPTR AETE par ICP-MS directe comptabilise la totalité de chacun des éléments métalliques, complexés sous différentes formes colloïdales, toutes non disponibles pour les organismes (maximisation des concentrations). Le Fe se trouvant majoritairement sous forme colloïdale non disponible, les concentrations obtenues par le laboratoire GPTR AETE sont donc nettement supérieures à celles mesurées par AEL.

b) Analyse du chrome dissous (Cr^{VI} et Cr-total) par voltammétrie

Les précisions des mesures de Cr^{VI} et Cr-total sont excellentes (<15% ; Tableau 7 et Tableau 8).

Les concentrations de Cr-total mesurées par le laboratoire GPTR AETE sont très proches de celles obtenues par AEL malgré les différentes techniques d'analyse utilisées (GPTR AETE : ICP-MS ; AEL : Voltammétrie) (Tableau 8).

Station	Cr-total (µg/L)	
	GPTR AETE	AEL
St03-S	0,225	0,198 ± 0,028
St06-S	0,355	0,334 ± 0,003
St09-S	0,223	0,172 ± 0,017
St14-S	0,219	0,194 ± 0,023

Tableau 7 : Comparaison des résultats d'analyse de Cr-total mesurés en duplicatas par les laboratoires GPTR AETE (Montpellier, France) et AEL.

Station	Cr ^{VI} (µg/L)	Cr-total (µg/L)
St03-S	0,142	0,219
	0,170	0,210
	0,166	0,166
Précision (%)	10	14
St06-S	0,281	0,335
	0,226	0,336
	0,222	0,33
Précision (%)	14	1
St09-S	0,129	0,163
	0,133	0,161
	0,136	0,192
Précision (%)	3	10
St14-S	0,139	0,191
	0,144	0,218
	0,143	0,172
Précision (%)	2	12

Tableau 8 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations de chrome dissous (Cr^{VI} et Cr-total) lors de la campagne semestrielle de mars 2015.

c) Analyse de l'arsenic dissous par ICP-MS

Les analyses d'As ont été effectuées par le laboratoire Alpa Chimie (Rouen, France) ; celles-ci présentent une bonne précision (Tableau 9).

Les concentrations de As mesurées par le laboratoire GPTR AETE dans le cadre de l'exercice inter-laboratoire avoisinent celles obtenues par le laboratoire Alpa Chimie (Tableau 10).

Station	As (µg/L)
St03-S	2,4
	2,2
	1,6
Précision (%)	20
St06-S	ND
	1,4
	1,6
Précision (%)	9
St09-S	1,9
	1,8
	1,4
Précision (%)	16
St14-S	2,2
	2,3
	ND
Précision (%)	3

Tableau 9 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations d'arsenic dissous (As) lors de la campagne semestrielle de mars 2015 ; ND : concentration non déterminée.

Station	As (µg/L)	
	GPTR AETE	ALPA
St03-S	1,7	2,1 ± 0,4
St06-S	1,6	1,5 ± 0,1
St09-S	1,4	1,7 ± 0,3
St14-S	1,6	2,3 ± 0,1

Tableau 10 : Comparaison des résultats d'analyse d'As mesurés en duplicatas par les laboratoires GPTR AETE (Montpellier, France) et Alpa Chimie (Rouen, France).

TRAITEMENT STATISTIQUE

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

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations des MES 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	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	pH	MES (mg/L)
St02	S	392	481	1314	12255	20366	2892	8,14	0,18
	M	407	492	1357	12684	20935	3192	8,14	0,27
	F	395	477	1300	12167	20785	3070	8,14	1,35
St03	S	388	474	1293	12152	20075	3510	8,17	0,38
	M	434	517	1432	13461	19005	3444	8,14	0,28
	F	392	478	1310	12316	19679	3367	8,13	0,49
St05	S	408	489	1359	12731	20138	3100	8,15	0,27
	M	387	474	1296	12104	20615	3091	8,15	0,29
	F	395	482	1323	12368	20147	3007	8,15	0,29
St06	S	397	482	1329	12447	19214	3387	8,12	0,43
	M	381	469	1277	11949	19636	3381	8,14	0,57
	F	408	490	1352	12647	19572	3565	8,14	0,34
St07	S	411	495	1372	12866	19922	3559	8,15	0,25
	M	412	494	1368	12773	19226	3451	8,14	0,34
	F	401	486	1337	12548	19544	3365	8,13	0,45
St09	S	432	519	1424	13431	19475	3380	8,15	0,17
	M	408	491	1360	12768	19430	3266	8,14	0,18
	F	407	490	1356	12697	19170	3220	8,14	0,26
St13	S	440	531	1442	13645	19754	3042	8,21	0,34
	M	381	473	1276	11896	19233	2687	8,23	0,30
	F	378	469	1260	11719	18259	2685	8,22	0,37
St14	S	392	481	1309	12318	20424	2589	8,13	0,28
	M	409	491	1358	12696	20167	2378	8,13	0,26
	F	394	487	1319	12389	20332	2451	8,13	0,36
St15	S	383	473	1287	12006	19205	2837	8,22	0,16
	M	401	488	1334	12485	20456	2989	8,23	0,14
	F	373	464	1259	11764	20089	2842	8,23	0,58
St16	S	391	479	1308	12225	19613	2694	8,23	0,32
	M	369	456	1243	11674	19838	2934	8,23	0,14
	F	384	473	1290	12055	19551	2715	8,21	0,10

Station	Niveau	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	pH	MES (mg/L)
St18	S	378	467	1267	11772	19494	2926	8,16	0,16
	M	384	471	1286	11978	19746	2860	8,24	0,21
	F	406	488	1354	12581	19884	3032	8,24	0,25
St19	S	379	473	1289	12078	19146	2706	8,23	0,26
	M	414	497	1378	12908	20274	2997	8,23	0,19
	F	397	487	1327	12449	19855	2899	8,23	0,29
St20	S	382	473	1281	11909	19506	2948	8,24	0,33
	M	400	486	1328	12501	19736	3053	8,22	0,26
	F	391	480	1299	12176	19834	3068	8,24	1,50
St21	S	416	497	1383	12978	19543	2948	8,14	0,17
	M	380	466	1280	11958	20427	3135	8,12	0,12
	F	388	479	1295	12448	19942	2860	8,10	0,37

Annexe 3 : Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs 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	NO ₃ +NO ₂ (μmol/L)	NH ₄ (μmol/L)	PO ₄ (μmol/L)	Si(OH) ₄ (μmol/L)
St02	S	0,081	0,172	0,127	1,15
	M	0,253	0,059	<0,050	1,27
	F	0,406	0,610	<0,050	1,11
St03	S	0,065	0,234	<0,050	2,00
	M	<0,050	0,065	<0,050	1,38
	F	<0,050	0,323	<0,050	2,20
St05	S	0,062	0,066	<0,050	1,15
	M	0,183	0,082	<0,050	1,02
	F	0,220	0,087	<0,050	0,99
St06	S	<0,050	0,187	<0,050	4,22
	M	<0,050	0,129	<0,050	1,64
	F	0,129	0,096	<0,050	1,24
St07	S	<0,050	0,039	<0,050	1,01
	M	<0,050	0,082	<0,050	1,34
	F	<0,050	0,154	<0,050	1,32
St09	S	0,060	0,048	<0,050	1,07
	M	<0,050	0,114	<0,050	1,38
	F	0,364	0,138	<0,050	1,13
St13	S	<0,050	0,339	<0,050	1,25
	M	<0,050	0,124	<0,050	1,47
	F	<0,050	0,173	<0,050	1,46
St14	S	0,409	0,102	<0,050	1,35
	M	0,441	0,129	<0,050	1,43
	F	0,522	0,171	<0,050	1,49
St15	S	0,137	0,238	<0,050	4,48
	M	0,080	0,103	<0,050	1,58
	F	0,052	0,090	<0,050	1,39
St16	S	<0,050	0,093	<0,050	3,81
	M	<0,050	0,078	<0,050	1,36
	F	0,258	0,276	<0,050	2,25
St18	S	0,057	0,107	<0,050	1,76
	M	<0,050	0,225	<0,050	1,53
	F	<0,050	0,066	<0,050	1,50

Station	Niveau	NO ₃ +NO ₂ (μmol/L)	NH ₄ (μmol/L)	PO ₄ (μmol/L)	Si(OH) ₄ (μmol/L)
St19	S	<0,050	0,072	<0,050	3,21
	M	0,061	0,170	<0,050	1,51
	F	0,058	0,112	<0,050	1,50
St20	S	<0,050	0,059	<0,050	2,01
	M	0,257	0,077	<0,050	1,69
	F	<0,050	0,155	<0,050	1,65
St21	S	0,224	0,116	<0,050	1,03
	M	0,097	0,109	<0,050	0,99
	F	0,133	0,193	<0,050	1,14

Annexe 4 : Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle *a*

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle *a* 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	NOD (μmol/L)	NOP (μmol/L)	POD (μmol/L)	POP (μmol/L)	COP (μmol/L)	NT (μmol/L)	PT (μmol/L)	Chlorophylle <i>a</i> (μg/L)
St02	S	3,06	1,142	ND	0,047	8,16	4,46	0,13	0,43
St02	M	3,03	0,892	0,084	0,046	9,02	4,23	0,13	0,43
St02	F	4,44	0,802	0,175	0,061	8,76	6,26	0,24	0,47
St03	S	3,55	1,179	0,009	0,115	8,77	5,03	0,12	0,37
St03	M	3,77	0,774	0,061	0,032	7,79	4,61	0,09	0,45
St03	F	3,83	0,950	0,087	0,052	13,80	5,10	0,14	0,52
St05	S	3,35	1,013	0,156	0,041	7,82	4,49	0,20	0,33
St05	M	4,53	0,775	0,178	0,029	6,91	5,57	0,21	0,40
St05	F	3,54	0,745	0,145	0,039	7,55	4,59	0,18	0,45
St06	S	4,28	0,919	0,070	0,039	9,74	5,38	0,11	0,28
St06	M	3,91	0,818	0,088	0,039	9,09	4,86	0,13	0,52
St06	F	3,94	0,734	0,091	0,048	8,00	4,90	0,14	0,45
St07	S	3,59	0,886	0,125	0,049	8,28	4,51	0,17	0,37
St07	M	6,02	0,739	0,133	0,039	7,93	6,84	0,17	0,38
St07	F	3,56	0,702	0,093	0,033	8,08	4,42	0,13	0,65
St09	S	4,46	0,717	0,084	0,052	7,20	5,28	0,14	0,37
St09	M	4,17	0,813	0,152	0,045	7,87	5,10	0,20	0,51
St09	F	5,19	0,722	0,123	0,050	7,27	6,41	0,17	0,51
St13	S	3,15	1,307	0,033	0,112	13,63	4,82	0,15	0,25
St13	M	4,72	1,428	0,138	0,082	21,61	6,30	0,22	0,30
St13	F	5,07	0,928	0,138	0,055	10,59	6,21	0,19	0,34
St14	S	4,59	0,872	0,115	0,033	9,54	5,97	0,16	0,54
St14	M	5,58	0,802	0,189	0,037	8,86	6,95	0,23	0,34
St14	F	4,41	0,710	0,269	0,030	7,76	5,81	0,30	0,38
St15	S	5,61	1,002	0,023	0,103	7,12	6,99	0,13	0,33
St15	M	ND	ND	ND	ND	7,04	6,44	0,16	0,54
St15	F	4,04	1,379	0,155	0,095	6,47	5,56	0,25	0,64
St16	S	5,09	1,272	0,070	0,095	9,08	6,50	0,17	0,43
St16	M	4,13	0,945	0,088	0,094	5,61	5,19	0,18	0,42
St16	F	5,55	0,984	0,063	0,129	10,46	7,06	0,19	0,44
St18	S	4,72	1,055	0,127	0,113	7,67	5,94	0,24	0,28
St18	M	5,58	1,149	0,176	0,108	10,23	6,97	0,28	0,43
St18	F	4,11	1,212	0,039	0,113	9,01	5,40	0,15	0,45

Station	Niveau	NOD (µmol/L)	NOP (µmol/L)	POD (µmol/L)	POP (µmol/L)	COP (µmol/L)	NT (µmol/L)	PT (µmol/L)	Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
St19	S	3,36	1,127	0,032	0,115	6,35	4,60	0,15	0,28
St19	M	4,48	0,861	0,083	0,143	7,55	5,57	0,23	ND
St19	F	3,62	0,892	0,026	0,108	6,94	4,68	0,13	0,28
St20	S	3,86	1,220	0,159	0,051	9,96	5,17	0,21	0,26
St20	M	4,17	1,242	0,153	0,088	13,76	5,74	0,24	0,34
St20	F	5,01	1,581	0,148	0,059	22,60	6,75	0,21	0,54
St21	S	3,71	0,884	0,059	0,063	9,50	4,94	0,12	0,53
St21	M	4,63	0,895	0,049	0,100	9,05	5,73	0,15	0,56
St21	F	3,58	1,126	0,067	0,084	11,40	5,04	0,15	0,52

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

Annexe 5 : Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous 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	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cr ^{VI} (µg/L)	Cr-total (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
St02	S	2,5	<0,025	<0,027	0,139	0,140	0,048	0,107	0,188	0,206	<0,15	<1,0
	M	1,8	<0,025	<0,027	0,135	0,144	<0,025	0,110	0,206	0,204	<0,15	<1,0
	F	2,3	<0,025	<0,027	0,122	0,173	<0,025	0,094	0,206	0,185	<0,15	<1,0
St03	S	2,1	<0,025	0,050	0,159	0,198	<0,025	0,111	0,338	0,357	<0,15	<1,0
	M	1,9	<0,025	<0,027	0,150	0,173	<0,025	0,104	0,313	0,278	<0,15	<1,0
	F	<1	<0,025	0,077	0,153	0,241	<0,025	<0,068	0,487	0,459	<0,15	<1,0
St05	S	2,1	<0,025	<0,027	0,130	0,175	<0,025	0,076	0,107	0,127	<0,15	<1,0
	M	1,7	<0,025	<0,027	0,117	0,168	<0,025	<0,068	0,083	0,115	<0,15	<1,0
	F	2	<0,025	<0,027	0,115	0,127	<0,025	<0,068	0,057	0,088	<0,15	<1,0
St06	S	1,5	<0,025	0,086	0,243	0,334	<0,025	0,243	0,992	0,755	<0,15	<1,0
	M	1,7	<0,025	<0,027	0,143	0,190	<0,025	<0,068	0,061	0,104	<0,15	<1,0
	F	2,1	<0,025	<0,027	0,124	0,179	<0,025	0,119	0,272	0,194	<0,15	<1,0
St07	S	1,8	<0,025	<0,027	0,131	0,202	<0,025	0,112	0,161	0,176	<0,15	<1,0
	M	1,5	<0,025	<0,027	0,144	0,190	<0,025	<0,068	0,077	0,116	<0,15	<1,0
	F	1,4	<0,025	<0,027	0,123	0,203	<0,025	0,130	0,292	0,239	<0,15	<1,0
St09	S	1,7	<0,025	<0,027	0,133	0,172	<0,025	0,132	0,165	0,172	<0,15	<1,0
	M	1,4	<0,025	<0,027	0,134	0,189	<0,025	0,120	0,255	0,234	<0,15	<1,0
	F	1,8	<0,025	<0,027	0,119	0,148	<0,025	<0,068	0,112	0,137	<0,15	<1,0
St13	S	1,4	<0,025	<0,027	0,154	0,164	0,066	0,202	0,196	0,242	<0,15	<1,0
	M	1,5	<0,025	<0,027	0,182	0,205	<0,025	0,390	0,233	0,277	<0,15	<1,0
	F	1,4	<0,025	0,039	0,134	0,174	0,067	0,443	0,525	0,753	<0,15	ND
St14	S	2,3	<0,025	<0,027	0,142	0,194	<0,025	0,125	0,227	0,203	<0,15	<1,0
	M	2,4	<0,025	<0,027	0,137	0,186	<0,025	0,119	0,213	0,191	<0,15	<1,0
	F	1,7	<0,025	<0,027	0,132	0,172	<0,025	0,136	0,307	0,238	<0,15	<1,0
St15	S	2,3	<0,025	0,111	0,325	0,344	0,115	0,112	1,107	0,838	<0,15	<1,0
	M	1,7	<0,025	0,054	0,199	0,228	0,029	0,104	0,731	0,429	<0,15	<1,0
	F	1,7	<0,025	0,046	0,157	0,207	<0,025	<0,068	0,461	0,306	<0,15	<1,0
St16	S	1,7	<0,025	0,070	0,280	0,310	0,061	0,100	0,688	0,581	<0,15	<1,0
	M	2,4	<0,025	0,027	0,159	0,213	<0,025	0,084	0,346	0,290	<0,15	<1,0
	F	1,6	<0,025	0,032	0,184	0,218	<0,025	<0,068	0,282	0,260	<0,15	<1,0
St18	S	2	<0,025	0,058	0,236	0,270	<0,025	0,110	0,597	0,555	<0,15	<1,0
	M	1,8	<0,025	<0,027	0,129	0,220	<0,025	0,104	0,281	0,332	<0,15	<1,0
	F	1,5	<0,025	<0,027	0,153	0,196	<0,025	0,106	0,371	0,319	<0,15	<1,0

Station	Niveau	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cr ^{VI} (µg/L)	Cr-total (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
St19	S	1,5	<0,025	0,045	0,237	0,288	0,266	0,090	0,327	0,421	<0,15	<1,0
	M	1,5	<0,025	0,029	0,174	0,219	<0,025	0,071	0,292	0,304	<0,15	<1,0
	F	1,9	<0,025	<0,027	0,182	0,211	<0,025	0,078	0,286	0,285	<0,15	<1,0
St20	S	1,3	<0,025	0,059	0,176	0,214	0,060	0,090	0,304	1,128	<0,15	<1,0
	M	1,5	<0,025	<0,027	0,160	0,217	<0,025	<0,068	0,173	0,240	<0,15	<1,0
	F	1,7	<0,025	0,061	0,190	0,196	<0,025	0,092	0,349	0,422	<0,15	<1,0
St21	S	2,2	<0,025	<0,027	0,120	0,156	<0,025	0,190	0,250	0,203	<0,15	<1,0
	M	1,8	<0,025	<0,027	0,125	0,157	<0,025	0,201	0,187	0,175	<0,15	<1,0
	F	2,0	<0,025	<0,027	0,125	0,149	<0,025	0,189	0,192	0,186	<0,15	<1,0

Annexe 6 : Compilation des concentrations des sels nutritifs des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO_3+NO_2), ammonium (NH_4), phosphates (PO_4) et silicates (SiO_4) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2015 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NO_3+NO_2 ($\mu\text{mol/L}$)							
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,103	0,086	0,170	0,117	<0,050	<0,050	0,060
	Maximum	4,921	1,050	0,309	1,040	0,318	0,263	0,469	0,406
	Moyenne	0,422	0,395	0,212	0,473	0,184	0,084	0,251	0,189
	Ecart-type	0,853	0,318	0,073	0,242	0,116	0,073	0,119	0,118
Baies du Canal	Minimum	<0,050	0,233	0,194	0,060	0,146	<0,050	0,123	0,065
	Maximum	0,445	0,735	0,717	0,720	0,146	1,393	0,596	0,522
	Moyenne	0,205	0,491	0,355	0,374	0,146 (n=1)	0,233	0,253	0,313
	Ecart-type	0,165	0,187	0,167	0,196	-	0,439	0,158	0,203
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	0,060	<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
	Moyenne	0,259	0,378	0,108	0,402	0,129	0,070	0,252	0,077
	Ecart-type	0,439	0,532	0,194	0,526	0,098	0,042	0,242	0,067
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,349	0,056	0,100	<0,050	<0,050	0,055	<0,050
	Maximum	0,252	1,470	0,286	0,770	0,080	0,465	0,727	0,257
	Moyenne	0,124	0,719	0,131	0,322	0,060	0,160	0,273	0,077
	Ecart-type	0,113	0,389	0,085	0,251	0,028	0,176	0,261	0,100

Zone d'étude	Statistique	NH_4 ($\mu\text{mol/L}$)							
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015
Canal de la Havannah	Minimum	0,009	0,026	0,034	0,010	0,018	0,019	0,044	0,039
	Maximum	0,413	0,125	0,292	0,262	0,088	0,135	0,114	0,610
	Moyenne	0,396	0,059	0,135	0,071	0,050	0,047	0,069	0,132
	Ecart-type	0,100	0,029	0,092	0,062	0,020	0,032	0,020	0,136
Baies du Canal	Minimum	0,054	0,009	0,064	0,014	0,025	0,022	0,043	0,065
	Maximum	0,157	0,136	0,266	0,230	0,237	0,135	0,166	0,323
	Moyenne	0,094	0,045	0,169	0,102	0,112	0,079	0,096	0,160
	Ecart-type	0,036	0,038	0,074	0,065	0,058	0,032	0,040	0,080
Baie du Prony	Minimum	0,012	0,004	0,018	0,012	0,016	0,014	0,014	0,066
	Maximum	0,168	0,114	0,249	0,287	0,199	0,073	0,595	0,276
	Moyenne	0,044	0,042	0,111	0,079	0,058	0,036	0,139	0,136
	Ecart-type	0,046	0,028	0,078	0,094	0,057	0,021	0,181	0,073
Ile Ouen	Minimum	0,029	0,005	0,043	0,018	0,061	0,022	0,064	0,059
	Maximum	0,113	0,163	0,389	0,216	0,162	0,246	0,137	0,339
	Moyenne	0,066	0,063	0,155	0,066	0,104	0,118	0,098	0,155
	Ecart-type	0,043	0,070	0,128	0,075	0,039	0,103	0,030	0,100

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (μmol/L)							
		Mars 2007	Mars 2009	Mars 2010	Mars 2011	Mars 2012	Mars 2013	Mars 2014	Mars 2015
Canal de la Havannah	Minimum	<0,010	0,020	0,031	<0,010	<0,010	0,012	0,055	0,127
	Maximum	0,125	0,061	0,074	0,102	0,093	0,051	0,091	0,127
	Moyenne	0,038	0,041	0,050	0,038	0,042	0,032	0,066	0,127 (n=1)
	Ecart-type	0,028	0,015	0,011	0,027	0,028	0,014	0,011	-
Baies du Canal	Minimum	0,018	0,013	0,052	0,019	<0,010	0,012	0,064	0,014
	Maximum	0,048	0,060	0,072	0,120	0,096	0,038	0,072	0,014
	Moyenne	0,035	0,040	0,062	0,047	0,038	0,024	0,069	0,014 (n=1)
	Ecart-type	0,011	0,016	0,008	0,036	0,028	0,009	0,004	-
Baie du Prony	Minimum	<0,010	0,023	0,039	0,015	0,034	0,026	0,068	<0,010
	Maximum	0,058	0,171	0,202	0,185	0,094	0,063	0,273	<0,010
	Moyenne	0,037	0,055	0,071	0,058	0,068	0,041	0,126	<0,010
	Ecart-type	0,017	0,045	0,043	0,054	0,019	0,012	0,066	-
Ile Ouen	Minimum	0,026	0,044	0,026	0,019	0,048	0,022	0,056	<0,010
	Maximum	0,062	0,082	0,073	0,070	0,115	0,038	0,088	<0,010
	Moyenne	0,043	0,062	0,045	0,041	0,080	0,030	0,072	<0,010
	Ecart-type	0,018	0,015	0,015	0,018	0,027	0,006	0,016	-

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

Annexe 7 : 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 2015 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
Canal de la Havannah	Minimum	4,50	0,68	0,38	2,92	2,81	0,96	3,62	3,03
	Maximum	9,89	3,51	6,83	5,48	4,72	4,72	5,24	6,02
	Moyenne	5,19	2,52	2,30	4,40	3,52	3,42	4,59	4,06
	Ecart-type	0,91	0,90	1,94	0,72	0,56	1,03	0,52	0,83
Baies du Canal	Minimum	3,97	0,95	0,87	4,23	1,09	3,26	4,11	3,55
	Maximum	5,61	3,79	3,32	5,55	3,80	4,27	5,83	5,58
	Moyenne	4,84	2,56	2,13	4,99	3,24	3,72	4,89	4,21
	Ecart-type	0,47	0,86	0,76	0,41	0,99	0,31	0,46	0,61
Baie du Prony	Minimum	4,48	1,51	1,07	3,79	1,78	2,98	4,31	3,36
	Maximum	6,32	4,46	2,90	5,78	4,45	4,05	6,39	5,61
	Moyenne	5,11	2,68	2,07	4,82	3,54	3,66	5,36	4,57
	Ecart-type	0,54	0,80	0,67	0,65	0,69	0,32	0,65	0,80
Ile Ouen	Minimum	5,05	2,03	0,83	2,85	3,31	2,39	5,33	3,15
	Maximum	5,19	3,73	3,08	5,39	4,94	3,87	6,69	5,07
	Moyenne	5,12	3,09	1,73	4,24	4,01	3,32	5,81	4,33
	Ecart-type	0,07	0,63	0,97	0,85	0,57	0,50	0,48	0,75

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

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

NA : Élément non analysé

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

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

Annexe 8 : 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 2015 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

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

Annexe 9 : Compilation des concentrations des métaux dissous des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, Cr^{VI}, Cr-total, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2015 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
Canal de la Havannah	Minimum	1,20	ND	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,40
	Maximum	1,47	ND	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,50
	Moyenne	1,29	ND	ND	ND	ND	1,79	1,50	1,84
	Ecart-type	0,06	ND	ND	ND	ND	0,07	0,52	0,33
Baies du Canal	Minimum	1,20	ND	ND	ND	ND	1,60	2,00	1,50
	Maximum	1,41	ND	ND	ND	ND	2,00	2,00	2,40
	Moyenne	1,31	ND	ND	ND	ND	1,79	2,00	1,95
	Ecart-type	0,06	ND	ND	ND	ND	0,15	0,00	0,31
Baie du Prony	Minimum	1,07	ND	ND	ND	ND	1,50	1,00	1,50
	Maximum	1,32	ND	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,40
	Moyenne	1,20	ND	ND	ND	ND	1,70	1,80	1,80
	Ecart-type	0,08	ND	ND	ND	ND	0,13	0,42	0,30
Ile Ouen	Minimum	1,29	ND	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,30
	Maximum	1,31	ND	ND	ND	ND	1,80	3,00	1,70
	Moyenne	1,30	ND	ND	ND	ND	1,77	2,00	1,47
	Ecart-type	0,01	ND	ND	ND	ND	0,05	0,71	0,14

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
Canal de la Havannah	Minimum	<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
	Moyenne	0,019	<0,027	0,025	0,023	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	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
	Maximum	0,046	0,102	0,102	0,082	0,058	0,046	0,109	0,086
	Moyenne	0,028	0,034	0,057	0,036	0,030	0,032	0,063	0,071
	Ecart-type	0,011	0,027	0,027	0,020	0,015	0,014	0,035	0,019
Baie du Prony	Minimum	<0,027	0,031	0,055	<0,027	0,032	<0,027	<0,027	0,027
	Maximum	0,082	0,100	0,270	0,252	0,092	0,061	0,075	0,111
	Moyenne	0,044	0,053	0,085	0,075	0,048	0,028	0,040	0,052
	Ecart-type	0,019	0,023	0,059	0,075	0,017	0,017	0,019	0,026
Ile Ouen	Minimum	0,027	<0,027	0,039	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,039
	Maximum	0,036	0,048	0,058	0,054	0,052	<0,027	0,031	0,061
	Moyenne	0,031	0,036	0,050	0,027	0,033	0,013	0,026	0,053
	Ecart-type	0,005	0,009	0,008	0,015	0,010	0,000	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
Canal de la Havannah	Minimum	0,113	0,106	0,098	0,086	0,067	0,096	0,115
	Maximum	0,147	0,251	0,231	0,116	0,123	0,160	0,144
	Moyenne	0,131	0,141	0,113	0,093	0,081	0,126	0,127
	Ecart-type	0,012	0,035	0,032	0,011	0,013	0,017	0,009
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,110	0,107	0,098	0,079	0,119	0,124
	Maximum	0,277	0,230	0,232	0,264	0,348	0,546	0,243
	Moyenne	0,144	0,153	0,133	0,133	0,130	0,218	0,154
	Ecart-type	0,057	0,036	0,039	0,051	0,086	0,161	0,035
Baie du Prony	Minimum	0,163	0,182	0,115	0,114	0,095	0,080	0,129
	Maximum	0,409	0,776	1,222	0,218	0,380	0,638	0,325
	Moyenne	0,216	0,280	0,431	0,148	0,167	0,220	0,201
	Ecart-type	0,077	0,168	0,422	0,027	0,087	0,139	0,058
Ile Ouen	Minimum	0,089	0,136	0,136	0,088	0,083	0,079	0,134
	Maximum	0,219	0,160	0,238	0,138	0,096	0,203	0,190
	Moyenne	0,142	0,149	0,162	0,118	0,090	0,147	0,166
	Ecart-type	0,047	0,008	0,039	0,021	0,006	0,053	0,021

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

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
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	<0,025	0,030	<0,025	<0,025	<0,025	0,047	<0,025
	Maximum	0,150	<0,025	0,330	0,182	0,254	0,043	0,049	<0,025
	Moyenne	0,090	0,100 (n=1)	0,093	0,055	0,114	0,024	0,047	0,048 (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	<0,025
	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
	Maximum	0,090	<0,025	0,130	0,052	0,483	0,075	<0,025	0,266
	Moyenne	0,079	<0,025	0,054	0,033	0,179	0,034	0,087 (n=1)	0,118
	Ecart-type	0,007	-	0,043	0,015	0,128	0,021	-	0,105
Ile Ouen	Minimum	0,080	0,070	0,060	<0,025	0,098	<0,025	0,045	0,060
	Maximum	0,140	0,160	0,860	0,123	0,630	0,047	0,275	0,067
	Moyenne	0,103	0,120	0,245	0,074	0,241	0,033	0,160	0,064
	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
Canal de la Havannah	Minimum	<0,068	0,070	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,076
	Maximum	0,410	1,020	0,160	<0,068	0,204	<0,068	<0,068	0,201
	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
	Maximum	0,140	0,450	0,290	0,178	0,135	<0,068	0,166	0,243
	Moyenne	0,118	0,199	0,166	0,044	0,070	0,037	0,084	0,137
	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
	Maximum	0,100	0,140	0,120	<0,068	0,140	<0,068	<0,068	0,112
	Moyenne	0,060	0,110	0,090	0,037	0,062	0,027	0,031	0,096
	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
	Maximum	0,220	0,150	0,190	<0,068	0,230	<0,068	0,143	0,443
	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
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	0,090	0,080	<0,028	0,029	<0,028	0,029	0,057
	Maximum	0,250	0,140	0,150	0,134	0,150	0,052	0,082	0,292
	Moyenne	0,204	0,126	0,108	0,046	0,086	0,038	0,049	0,162
	Ecart-type	0,064	0,015	0,025	0,035	0,045	0,010	0,016	0,073
Baies du Canal	Minimum	0,030	0,130	0,180	0,098	0,053	0,039	0,087	0,061
	Maximum	0,310	0,660	0,540	0,383	0,496	0,251	0,504	0,992
	Moyenne	0,178	0,253	0,291	0,186	0,180	0,116	0,226	0,357
	Ecart-type	0,077	0,171	0,114	0,109	0,132	0,080	0,148	0,264
Baie du Prony	Minimum	0,170	0,190	0,180	<0,028	0,206	0,072	0,060	0,281
	Maximum	0,430	0,570	1,270	4,157	1,127	0,462	0,692	1,107
	Moyenne	0,240	0,341	0,357	0,615	0,439	0,197	0,267	0,481
	Ecart-type	0,071	0,135	0,299	1,163	0,252	0,123	0,184	0,255
Ile Ouen	Minimum	0,200	0,180	0,210	<0,028	0,234	0,052	0,110	0,173
	Maximum	0,250	0,330	0,330	0,258	0,422	0,136	0,285	0,525
	Moyenne	0,227	0,255	0,243	0,129	0,290	0,099	0,197	0,297
	Ecart-type	0,025	0,056	0,044	0,078	0,068	0,029	0,075	0,130

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