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

2ième semestre 2014

6 février 2015

Photos de couverture AEL : Ilot Ugo

CONTRAT DE CONSULTANCE

Contrat n° T1368

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

2ième semestre 2014

RAPPORT FINAL

Auteurs : Le Grand H., Kaplan H., Raynal A., Pluchino S., Achard R., Moreton B., Fernandez JM.

Nombre de pages : 86

	N/Ref	V/Ref
Identification	121205-VI-18	T1368
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 2ième semestre 2014	
Auteurs	Le Grand H., Kaplan H., Haddad L., Raynal A., Pluchino S., Achard R., Moreton B., 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 **2ième semestre 2014** (août 2014) 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 variations des paramètres physico-chimiques ainsi que les concentrations de paramètres tels que les sels nutritifs (NO_3+NO_2, NH_4 et SiO_4), la matière organique dissoute (NOD) et particulaire (NOP et POP), les métaux dissous (Co, Cr(VI), Cr-total, Cu, Fe, Mn et Ni) mettent en évidence l'influence des apports terrigènes des creeks adjacents aux baies du Prony, Kwé et de Pot Boisé ainsi que l'influence des apports océaniques au niveau du Canal de la Havannah. L'évolution temporelle des sels nutritifs (NH_4, NO_3+NO_2) et métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn, Ni et Zn) ne montre pas de tendance particulière depuis le début des campagnes semestrielles « saison fraiche ».	

APPROBATION

FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Hélène Le Grand		28/01/15
Vérificateur	Céline Pousse		22/01/15
Approbateur	Jean Michel Fernandez		29/01/15

EVOLUTION

VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR	DATE
V1.1	Rapport final (2ième semestre 2014)	29/01/15

COPIE - DIFFUSION

NOM	ORGANISME
Céline Casalis	VALE NC, Département Environnement

Ce rapport est cité comme suit :

Le Grand H., Kaplan H., Raynal A., Pluchino S., Achard R., 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 : 2ième semestre 2014. Contrat AEL/Vale-NC n°1368, 86p.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 6
OBJECTIFS 7
MATERIELS ET METHODES 8
A. Site d'étude 8
B. Conditions météorologiques et hydrodynamiques 9
C. Echantillonnage 11
RESULTATS 12
A. Structures des masses d'eau 12
1. Température 12
2. Salinité 14
3. Fluorescence 16
4. Turbidité 18
B. Matières en suspension 21
C. Eléments majeurs et pH 22
D. Sels nutritifs 23
1. Ammonium 23
2. Nitrates et nitrites 24
3. Phosphates 25
4. Silicates 25
E. Matière organique 27
1. Azote et phosphore organiques dissous 27
2. Azote, carbone et phosphore organiques particulaires 29
F. Chlorophylle *a* 32
G. Métaux dissous 33
1. Contrôle qualité des méthodes d'analyse des métaux dissous 33
2. Résultats d'analyse des métaux dissous 35
SYNTHESE 42
A. Sels nutritifs 43
1. Ammonium (NH_4) 43
2. Nitrates + Nitrites (NO_3+NO_2) 43
B. Métaux 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 48
3. Distribution verticale des concentrations de chrome dissous à la station de la baie d'Iré (St20) 51
4. Distribution verticale des concentrations de cuivre et zinc dissous à la station de Prony wharf (St16) 52
CONCLUSION 53
REFERENCES 54
LISTE DES FIGURES 56
LISTE DES TABLEAUX 59
ANNEXES 60

INTRODUCTION

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007[1] et 2008[2] 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 **2ième semestre 2014** (août 2014) 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'Ile 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.

MATERIELS ET METHODES

A. Site d'étude

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 5 au 7 août 2014 sur les 14 stations du suivi physico-chimique (Figure 1 et Tableau 1).

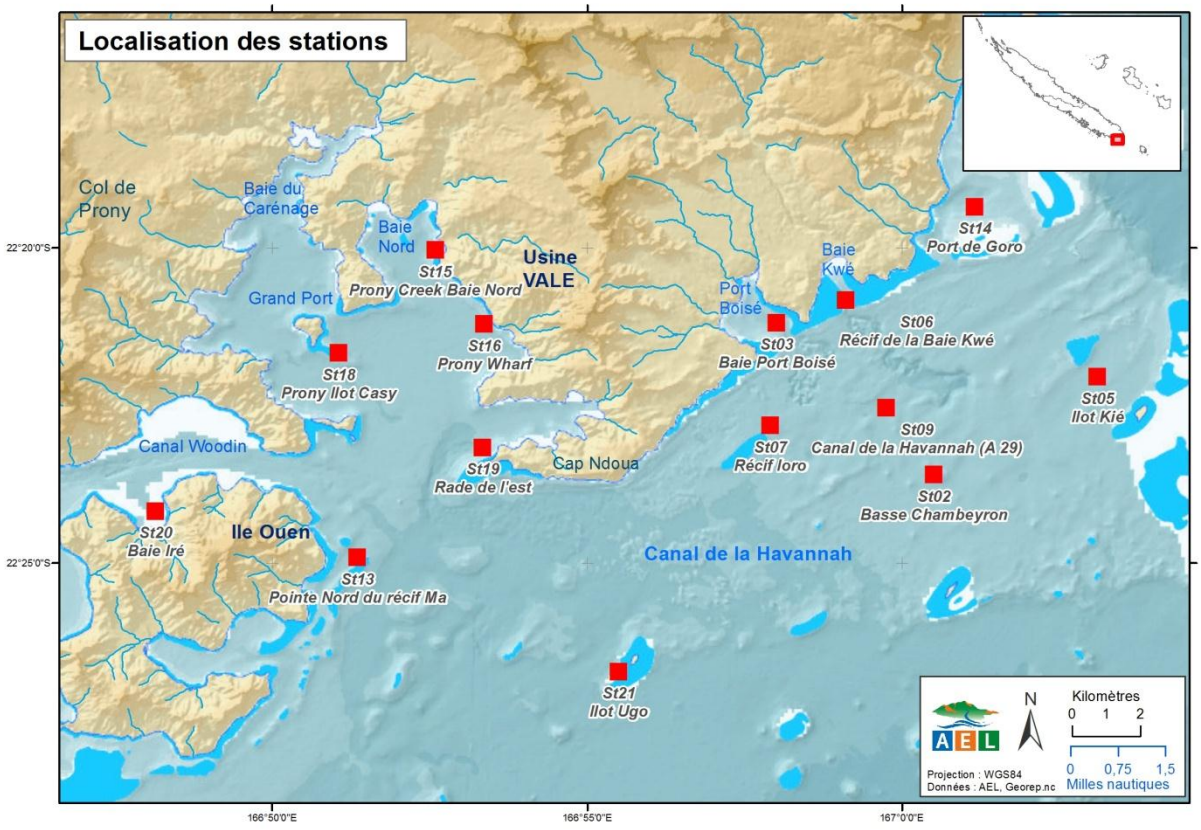

Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

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

	STATION AU REFERENTIEL WGS-84			
Localisation	**Station**	**Longitude E**	**Latitude S**	**Profondeur (m)**
Basse Chambeyron	St02	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	St03	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	St05	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	St06	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif loro	St07	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	St09	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	St16	166° 53,302	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

B. Conditions météorologiques 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).

CONDITIONS METEOROLOGIQUES PRECEDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (31/07/14 au 04/08/14) :

- Beau temps ;
- Vent faible <10 Nds ;
- 6 mm de pluie ont été relevés pendant les 5 jours précédant la campagne.

CONDITIONS METEOROLOGIQUES PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (05-07 août 2014) :

- 05/08/14 : Vent SE 20 Nds, temps très nuageux avec quelques averses ;
- 06/08/14 : Vent SE 15-20 Nds, temps nuageux ;
- 07/08/14 : Vent E 20 Nds, temps nuageux avec quelques averses.

Au total, 8 mm de pluie ont été relevés pendant la campagne.

Le 1er jour, les stations de la baie du Prony et de l'Ile Ouen ont été échantillonnées en marée montante. Le 2^{ième} jour, les prélèvements ont été effectués en fin de marée descendante et début de marée montante ; les stations St02 et St05 ayant été échantillonnées à l'étale de marée basse. Le 3^{ième} jour, les prélèvements ont été réalisés à mi-marée descendante ainsi qu'à l'étale de marée basse (Figure 3).

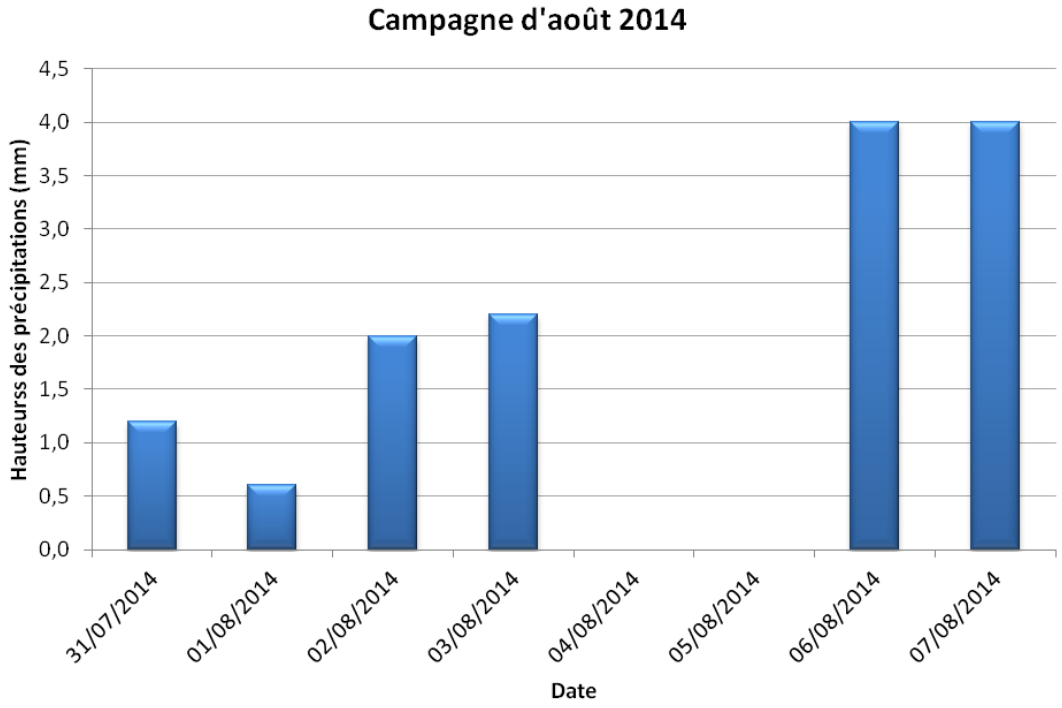

Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (31/07/14 au 04/08/14) la campagne et pendant la campagne semestrielle (5-7/08/14).

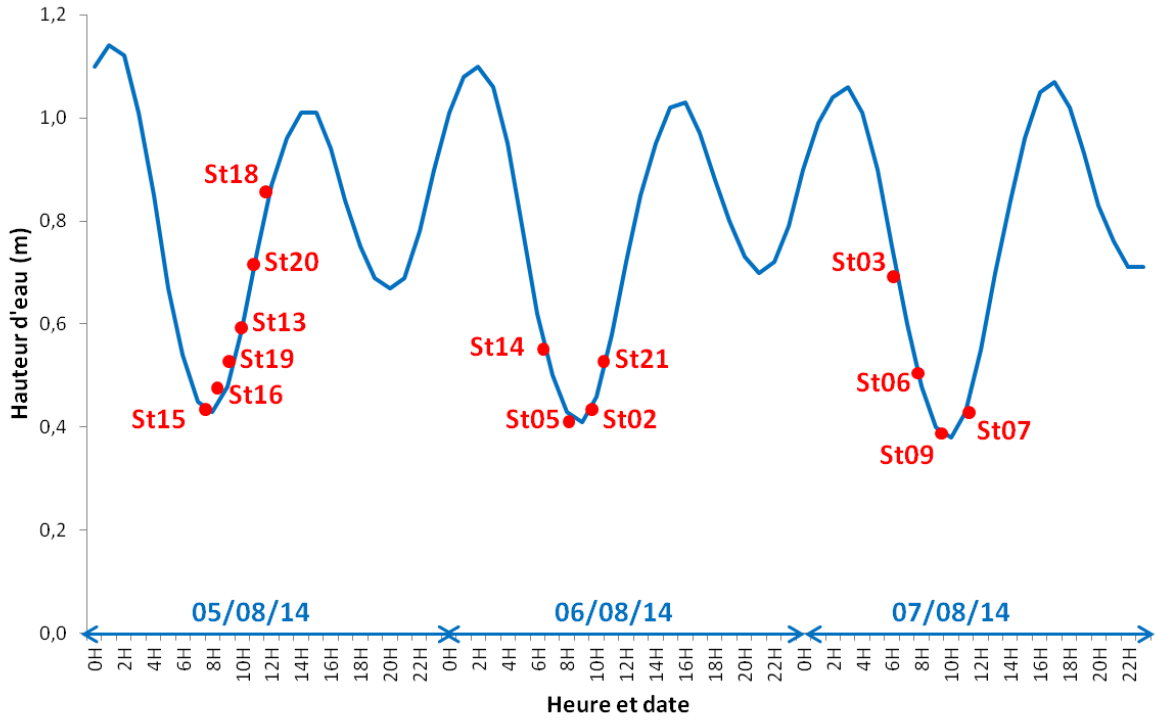

Figure 3 : Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'août 2014 reportée sur le marégramme du 5 au 7 août 2014.

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 ; 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^+), 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 particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous par :
    - spectrométrie d'émission optique couplée à une torche à plasma (ICP-OES) pour l'analyse des éléments métalliques 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) ;
    - électrochimie (Voltammétrie) pour l'analyse de l'arsenic (As) ;
    - spectrométrie de fluorescence atomique pour l'analyse du mercure (Hg) (laboratoire de Rouen).

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

Validation et vérification des analyses

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-tot, Cu, Fe, Hg, 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 du mercure dissous, les duplicatas ont été envoyés au laboratoire ALS (Sydney). Pour l'analyse des métaux dissous (As, Cd, Cr(VI), Ct-total, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn), les échantillons ont été envoyés au laboratoire de l'université de Southampton (NOCS : National Oceangraphy Centre Southampton).

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. 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 (Aminot et Kérouel 2004).*

Les valeurs de température, fluorescence, salinité et turbidité mesurées lors de cette campagne sont reportées dans les Figure 4, Figure 6, Figure 7 et Figure 8 et le Tableau 2.

1. Température

Remarque : *La Figure 5 présente les profils de température obtenus dans les baies du Canal et dans la Baie du Prony avec une échelle ajustée afin de mieux visualiser les fluctuations dans la colonne d'eau.*

Les profils des stations du Canal de la Havannah sont très homogènes au sein de la colonne d'eau à l'exception de la station St07 (Récif Ioro) où la température, stable jusqu'à 20 m de fond (22,23 ± 0,01 °C), diminue à partir de ce point pour atteindre 22,00 °C en profondeur. Les températures moyennes des stations St02 (Basse Chambeyron : 22,30 ± 0,01 °C), St05 (Kié : 22,25 ± 0,01 °C), St07 (de 0 à 20 m : 22,23 ± 0,01 °C) et St09 (Havannah : 22,31 ± 0,01 °C) sont relativement proches et plus élevées de ~0,50 °C que celle mesurée à la station St21 (Ilo Ugo : 21,80 ± 0,01 °C).

Dans la zone de l'Ile Ouen, la température moyenne de la station St20 (Baie d'Iré : 21,53 ± 0,01 °C) est plus faible de 0,40 °C que celle mesurée à la station St13 (Point Nord du récif Ma : 21,93 ± 0,01 °C) mais ces profils restent tous deux relativement homogènes au sein de la colonne d'eau.

Au niveau des baies du Canal de la Havannah, la température moyenne mesurée à la station St03 (Port Boisé : 21,74 ± 0,01 °C) ne diffère que très peu avec la profondeur alors que le profil de la station St06 présente une nette statification des masses d'eau. On distingue une couche de surface plus chaude que le reste de la colonne d'eau (22,15 ± 0,01 °C), une couche de mélange avec une température diminuant de 0,60 °C entre 8 et 21 m et une couche de fond de température plus fraiche (21,45 ± 0,01 °C). Une très légère stratification des masses d'eau est également visible à la station St14, séparant la colonne d'eau en trois couches avec des températures diffèrant de quelques dixièmes de degrés (de 0 à 15 m : 21,85 ± 0,01 °C ; de 15 à 29 m : 21,79 ± 0,01 °C ; de 29 m au fond : 21,66 ± 0,01 °C) (Figure 5).

Dans la Baie du Prony, les températures moyennes mesurées entre les quatre stations diffèrent mais sont globalement les plus fraiches de la zone d'étude (Tableau 2). La température moyenne la plus chaude a été mesurée à la station St15 (Prony Creek Baie Nord : 21,89 ± 0,05 °C) et la plus fraiche à la station St19 (Bonne Anse : 21,51 ± 0,03 °C). Les profils des stations de la Baie du Prony montrent quelques variations avec la

profondeur, à l'exception du profil de la station St18 dont la température reste constante avec la profondeur (21,77 ± 0,01 °C). Le profil de la station St15 met en évidence une fine couche de température plus fraiche en surface (21,86 °C) ainsi qu'en profondeur à partir de 20 m (21,81 °C). Entre 2 et 20 m, la température stagne autour de 21,92 ± 0,01 °C. La température baisse également à l'approche du fond au niveau des stations St16 et St19 à partir de 20 et 30 m, perdant 0,15 et 0,07 °C, respectivement. Par exemple, la température enregistrée à la station St16 passe de 21,62 à 21,47 °C à 30 m de fond (Figure 5).

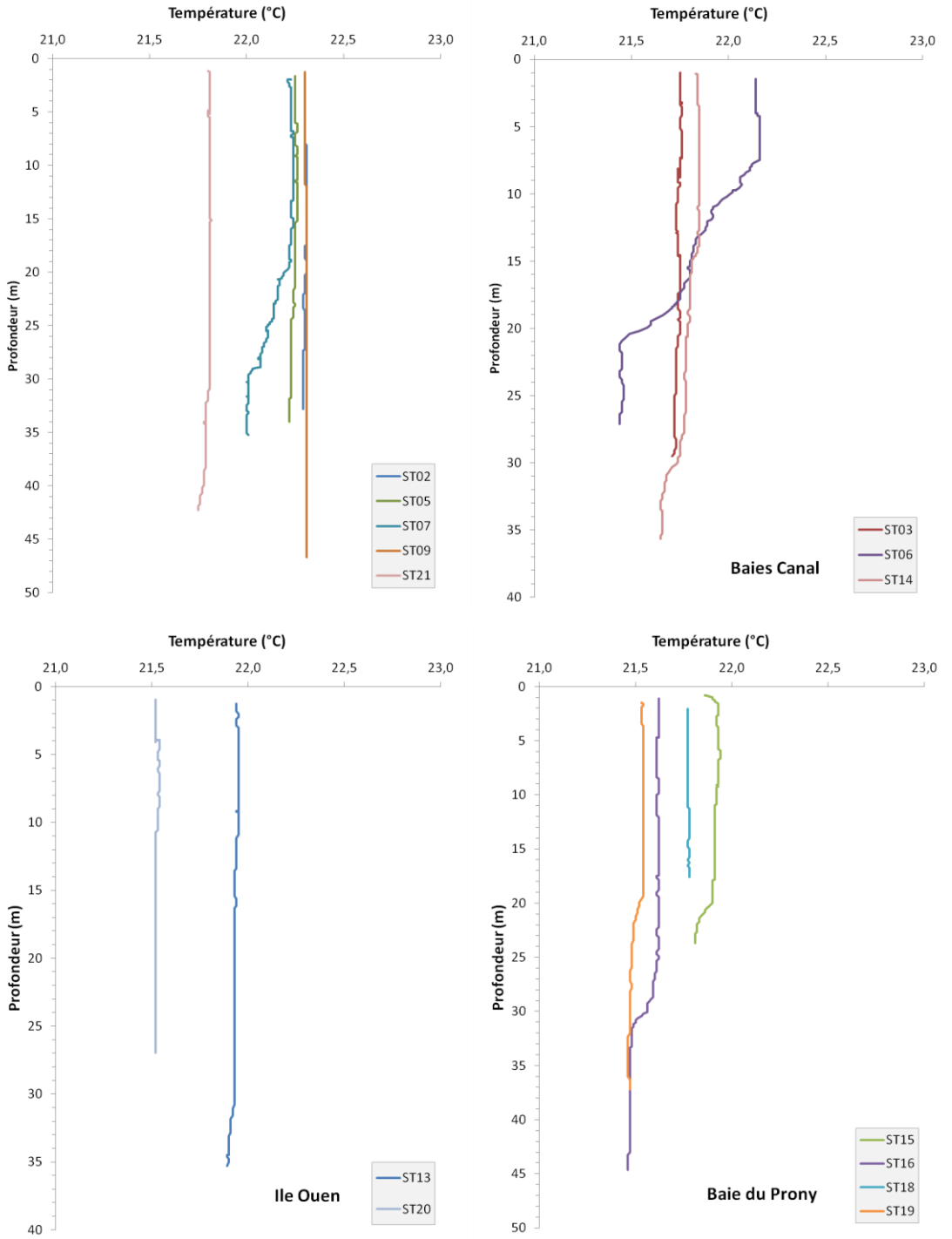

Figure 4 : Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

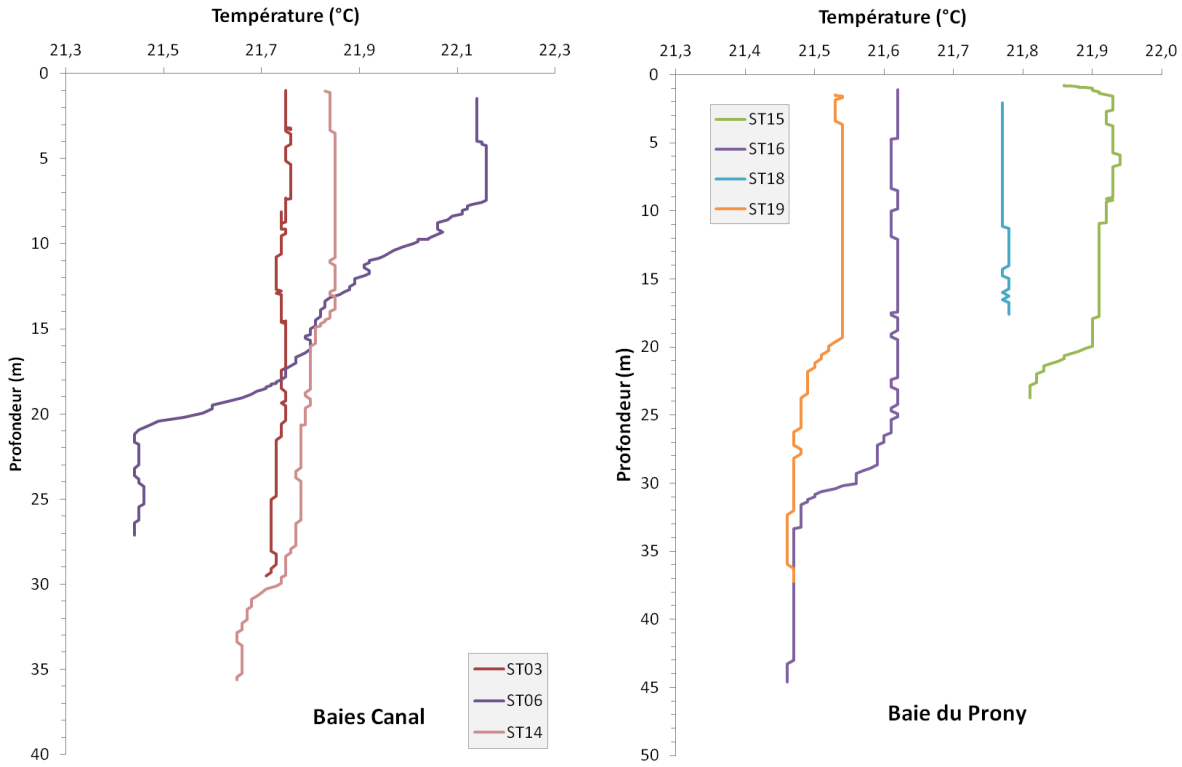

Figure 5 : Profils de température des stations échantillonnées dans les Baies du Canal de la Havannah et la Baie du Prony lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

2. Salinité

Les profils de salinité observés aux stations du Canal de la Havannah et de l'Ile Ouen sont relativement homogènes au sein de la colonne d'eau. Quelques différences ont cependant été remarquées entre ces profils. Dans le Canal de la Havannah, les stations St02 (35,64 ± 0,01 ‰), St05 (35,64 ± 0,01 ‰), St07 (35,65 ± 0,01 ‰) et St09 (35,63 ± 0,01 ‰) présentent des valeurs de salinité relativement similaires et ne variant pas ou très peu avec la profondeur. Seule la station St07 présente une très fine couche de salinité plus élevée en surface ainsi qu'une très légère augmentation à partir de 20 m de profondeur jusqu'au fond ; les valeurs passant de 35,64 à 35,67 ‰. Cette variation de salinité correspond à la diminution de la température observée à cette même station à partir de 20 m de fond. Parallèlement à ce qui a été observé avec la température, la station St21 diffère également des quatre autres stations du Canal avec une salinité moyenne plus élevée que celles relevées à ces stations (35,72 ± 0,01 ‰) (Figure 6).

La salinité moyenne des stations de l'Ile Ouen est également plus élevée que celle des stations du Canal de la Havannah ; les valeurs atteignant 35,75 ± 0,01 ‰ (St13) et 35,80 ± 0,01 ‰ (St20). Les salinités mesurées à ces deux stations ne varient pas avec la profondeur (Figure 6).

La salinité des stations de baies du Canal St03 (Port Boisé : 35,64 ± 0,01 ‰) et St14 (Port de Goro : 35,67 ± 0,01 ‰) reste relativement homogène au sein de la colonne d'eau alors qu'à la station St06 (Baie Kwé), celle-ci varie avec la profondeur comme observé avec la température. En effet, la salinité diminue à partir de 7 m passant de 35,63 à 35,46 ‰ puis celle-ci remonte à partir de 20 m de fond pour atteindre 35,56 ‰ et ensuite stagner jusqu'au fond (Figure 6).

Dans la Baie du Prony, seule la station St15 (Prony Creek Baie Nord) présente une très nette stratification des masses d'eau ; la couche de surface étant nettement moins salée que le reste de la colonne d'eau. Dans cette couche, la salinité passe de 35,40 (salinité minimale mesurée dans la zone d'étude) à 35,70 ‰ dans les 5 premiers mètres sous la surface puis reste assez stable jusqu'au fond. A l'inverse, les profils des trois autres

stations de la Baie présentent des salinités relativement homogènes et similaires au sein de la colonne d'eau (St16 : 35,74 ± 0,01 ‰ ; St18 et St19 : 35,75 ± 0,01 ‰) (Figure 6).

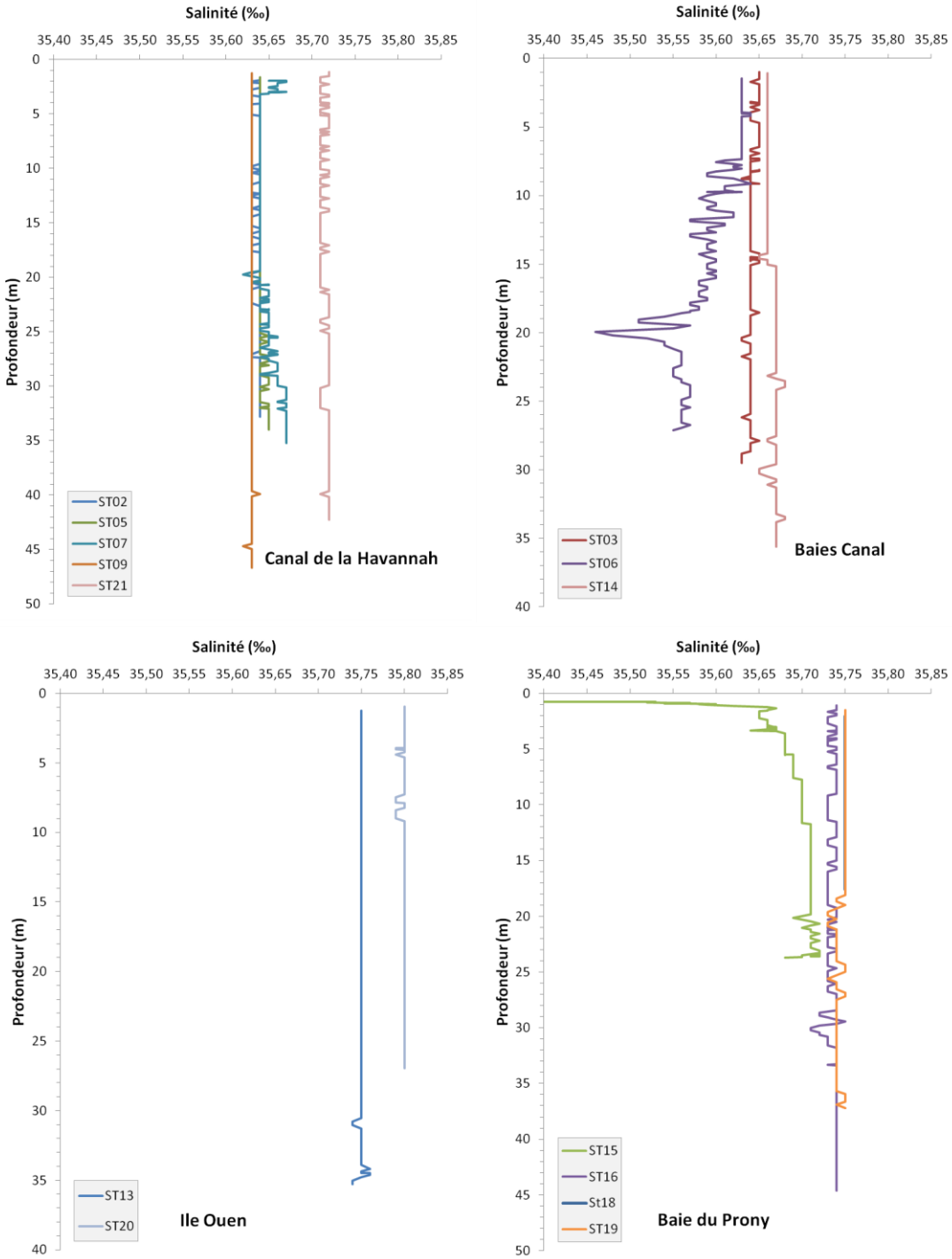

Figure 6 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

3. Fluorescence

Les profils de fluorescence des stations du Canal de la Havannah présentent des valeurs légèrement plus faibles en surface. Le profil de la station St07 montre la plus grande variation de fluorescence. En effet, la fluorescence augmente de 0,10 à 0,35 mg/m^3 entre la surface et 20 m sous la surface puis la fluorescence stagne jusqu'au fond. La fluorescence des stations St02, St05 et St09 double dans les 10 premières mètres puis stagne dans le reste de la colonne d'eau. Les valeurs mesurées à ces stations sont relativement similaires. Le profil de la station St21 diffère légèrement des quatre autres profils des stations du Canal. Celui-ci présente un pic de fluorescence à mi-profondeur (0,36 mg/m^3) (Figure 7).

Le profil de fluorescence de la station St13 montre une séparation de deux masses d'eau. La fluorescence mesurée dans la couche de surface (0,26 ± 0,03 mg/m^3), observée jusqu'à 15 m sous la surface, est plus élevée que celle de profondeur (0,20 ± 0,02 mg/m^3). Le profil de la station St20, quant à lui, est similaire à ceux observés dans le Canal de la Havannah (Figure 7).

Au niveau des baies du Canal, le profil mesuré à la station St03 (Port Boisé) est relativement homogène au sein de la colonne d'eau (0,33 ± 0,02 mg/m^3) alors que ceux obtenus aux stations St06 et St14 présentent des valeurs diminuant progressivement avec la profondeur ; les valeurs mesurées à la station St06 étant plus faibles que celles de la station St14. Ces dernières passent de 0,24 à 0,09 et de 0,48 à 0,18 mg/m^3, respectivement (Figure 7).

Les stations de la Baie du Prony présentent des valeurs de fluorescence relativement stables sur les 15 à 20 premiers mètres puis augmentent à l'approche du fond pour les stations St15, St16 et St19. Seule la fluorescence mesurée à la station St18 ne varie pas avec la profondeur (0,28 ± 0,02 mg/m^3). La couche de fond de la station St16 est nettement individualisée par rapport au reste de la colonne d'eau avec une valeur maximale s'élevant à 0,49 mg/m^3 (Figure 7).

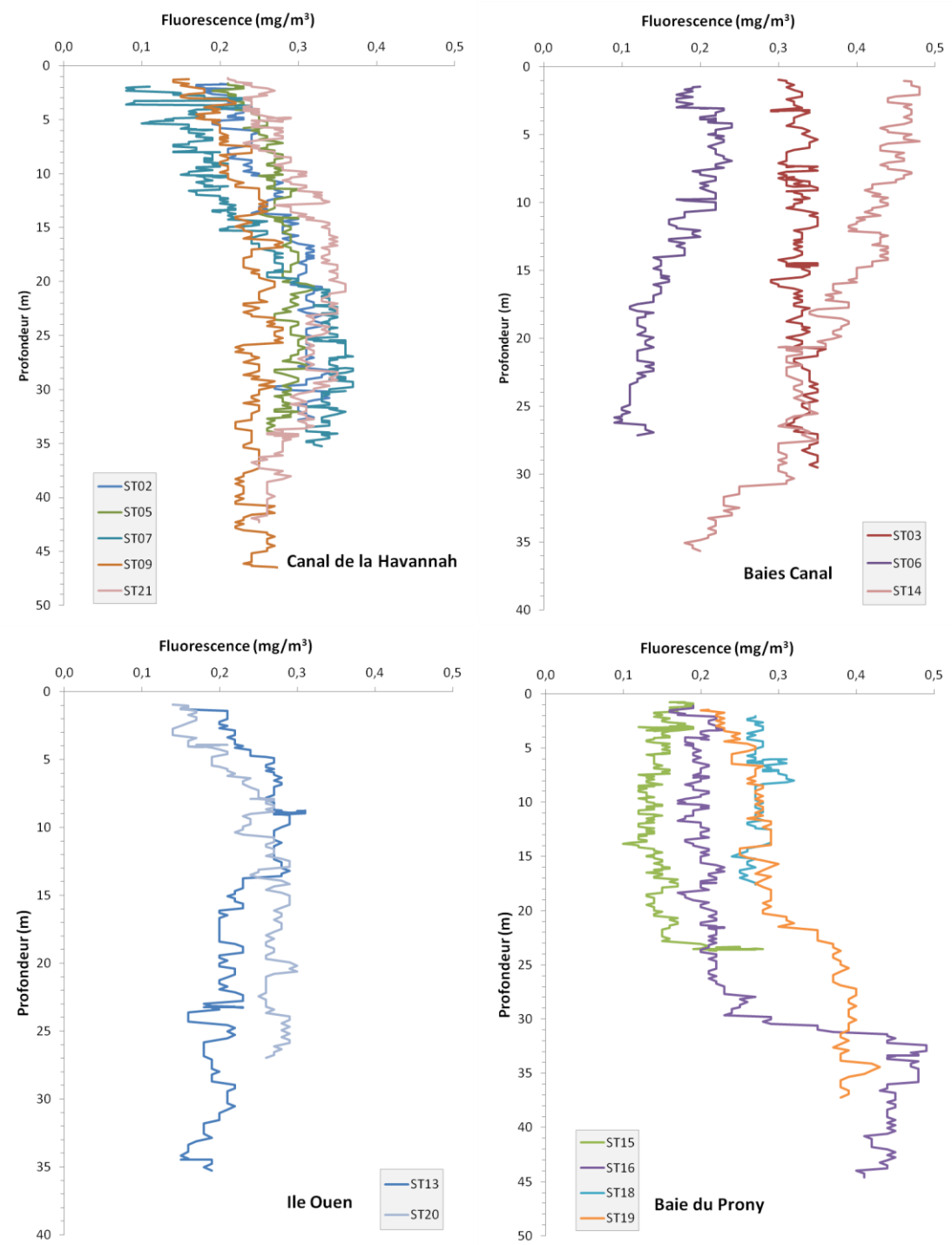

Figure 7 : Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

4. Turbidité

Les stations du Canal de la Havannah montrent des valeurs de turbidité très homogènes au sein de la colonne d'eau. Les turbidités moyennes mesurées aux stations St02 (0,22 ± 0,01 NTU), St05 (0,23 ± 0,01 NTU) et St09 (0,22 ± 0,01 NTU) sont relativement similaires. La turbidité mesurée à la station St07 (0,27 ± 0,03 NTU) est légèrement plus élevée que celles mesurées à ces trois stations et augmente à partir de 30 m atteignant 0,35 NTU en profondeur. Comme observé pour la température et la salinité, le profil de turbidité de la station St21 diffère de ceux des autres stations du canal de la Havannah ; la turbidité moyenne étant légèrement moins stable et nettement plus élevée que celles mesurées aux autres stations du canal (0,39 ± 0,03 NTU).

Les profils des stations de l'Ile Ouen présentent des valeurs turbidité plus élevées que celles mesurées dans le Canal de la Havannah et augmentant progressivement avec la profondeur passant de 0,40 à 0,66 et de 0,45 à 0,65 NTU, respectivement.

Au niveau des stations des baies du canal, la turbidité mesurée à la station St14 ne varie pas avec la profondeur (0,50 ± 0,04 NTU) alors que la turbidité des stations St03 et St06 évolue avec la profondeur. En effet, à la station St03, la turbidité augmente à l'approche du fond passant de 0,56 à 0,93 NTU entre 20 et 30 m de fond. A la station St06, la turbidité augmente progressivement de la surface (0,28 NTU) jusqu'au fond (1,23 NTU).

Dans la Baie du Prony, seule la station St15 présente une couche de turbidité plus élevée en surface (1,30 NTU) ainsi qu'en profondeur (1,08 NTU). Entre ces deux fines couches, la turbidité stagne à 0,35 ± 0,05 NTU. La turbidité des stations St16 et St19 augmente seulement à l'approche du fond atteignant 0,83 et 0,70 NTU, respectivement. A l'inverse, la station St18 présente une turbidité très homogène au sein de la colonne d'eau (0,33 ± 0,01 NTU).

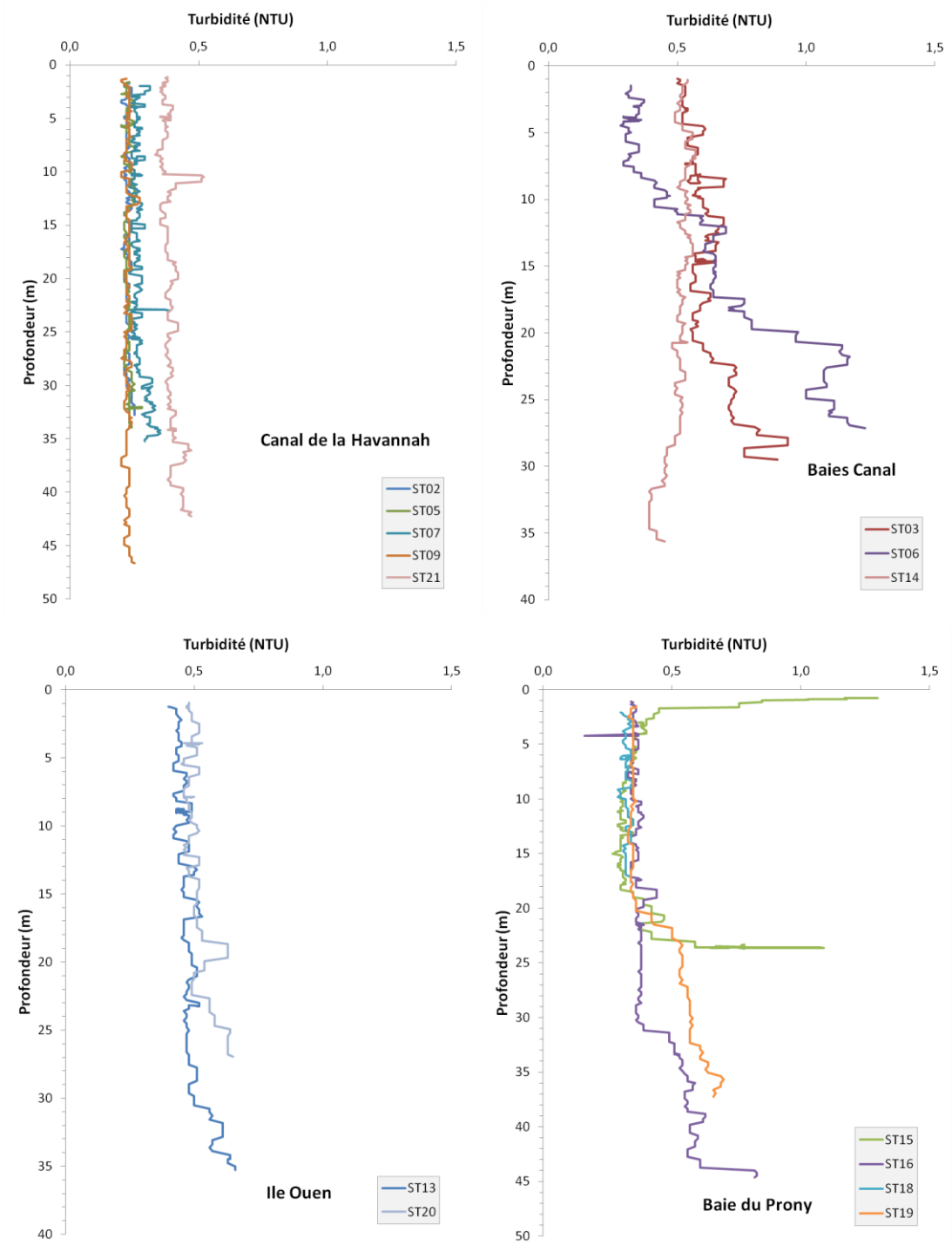

Figure 8 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

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 d'août 2014.

		Température (°C)	Fluorescence (mg/m^3)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Canal de la Havannah	Minimum	21,75	0,08	0,20	35,62
	Maximum	22,31	0,37	0,52	35,72
	Moyenne	22,16 ± 0,21	0,26 ± 0,02	0,27 ± 0,07	35,65 ± 0,03
Baies Canal	Minimum	21,44	0,09	0,28	35,46
	Maximum	22,16	0,48	1,23	35,68
	Moyenne	21,81 ± 0,07	0,29 ± 0,10	0,57 ± 0,06	35,63 ± 0,03
Baie du Prony	Minimum	21,46	0,10	0,16	35,40
	Maximum	21,94	0,49	1,30	35,75
	Moyenne	21,67 ± 0,19	0,25 ± 0,06	0,43 ± 0,08	35,75 ± 0,04
Ile Ouen	Minimum	21,52	0,14	0,40	35,74
	Maximum	21,95	0,31	0,66	35,80
	Moyenne	21,73 ± 0,29	0,23 ± 0,01	0,50 ± 0,02	35,77 ± 0,03

Ce qu'il faut retenir :

Les profils mettent en évidence les stations influencées par les apports en eaux douces provenant des creeks de la baie du Prony (St15, St16, St18 et St19), de la Baie Kwé (St06) et de Port Boisé (St03). Les apports ont été détectés dans les eaux de surface grâce aux températures et salinités plus faibles et aux turbidités plus élevées (St15) et dans les eaux de fond par les néphéloïdes benthiques (St03, St06, St15, St16 et St19). Ces néphéloïdes benthiques enrichissent les eaux de fond en sels nutritifs et débris végétaux et probablement par des phénomènes de remise en suspension accentuant la productivité dans les eaux de fond de la Baie du Prony (St15, St16 et St19). A la station St06 (Baie Kwé), le profil de fluorescence semble être corrélé avec le profil de salinité car les deux variables diminuent avec la profondeur. Dans cette baie, l'activité phytoplanctonique est plus importante en surface qu'en profondeur. Ceci a également été observé à la station St14 (Port de Goro) ; station faiblement influencée par les apports en eaux douces des baies adjacentes.

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'Ile Ouen (St13 et St20). Les variables mesurées à ces stations sont généralement constantes au sein de la colonne d'eau. Certaines de ces stations peuvent néanmoins être légèrement influencées par les apports des baies en fonction de l'horaire de prélèvement. En effet, les stations St07 et St21 ayant été prélevées au début de la marée montante, elles peuvent subir l'influence des apports des baies adjacentes.

B. Matières 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 (Aminot et Kérouel 2004). En milieux côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,5 à 5 mg/L (Aminot et Kérouel 2004).*

Les concentrations de matière en suspension (MES) déterminées lors de la campagne d'août 2014 sont représentées dans la Figure 9 et le Tableau 3.

Les concentrations moyennes de MES les plus faibles ont été mesurées dans la Baie du Prony et autour de l'Ile Ouen (Tableau 3). Les concentrations des stations de l'Ile Ouen varient entre 0,16 et 0,29 mg/L. Les concentrations de la Baie du Prony sont plus faibles que dans le canal ; la concentration minimale a été relevée en mi-profondeur à la station St18 (0,11 mg/L) et la maximale en profondeur à la station St19 (0,53 mg/L).

La concentration la plus élevée a été relevée à la station St06 (Baie Kwé) en profondeur (1,00 mg/L). Cette valeur est en correspondance avec la valeur de turbidité maximale observée dans la couche néphéloïde de cette même station.

La concentration moyenne de MES des stations du Canal de la Havannah est moins élevée que celle des baies mais reste supérieure à celles de la Baie du Prony et de l'Ile Ouen. Ces concentrations sont assez dispersées passant de 0,15 (St05-M) à 0,93 (St21-F) mg/L. La concentration mesurée en profondeur à la station St07 est relativement élevée s'élevant à 0,81 mg/L.

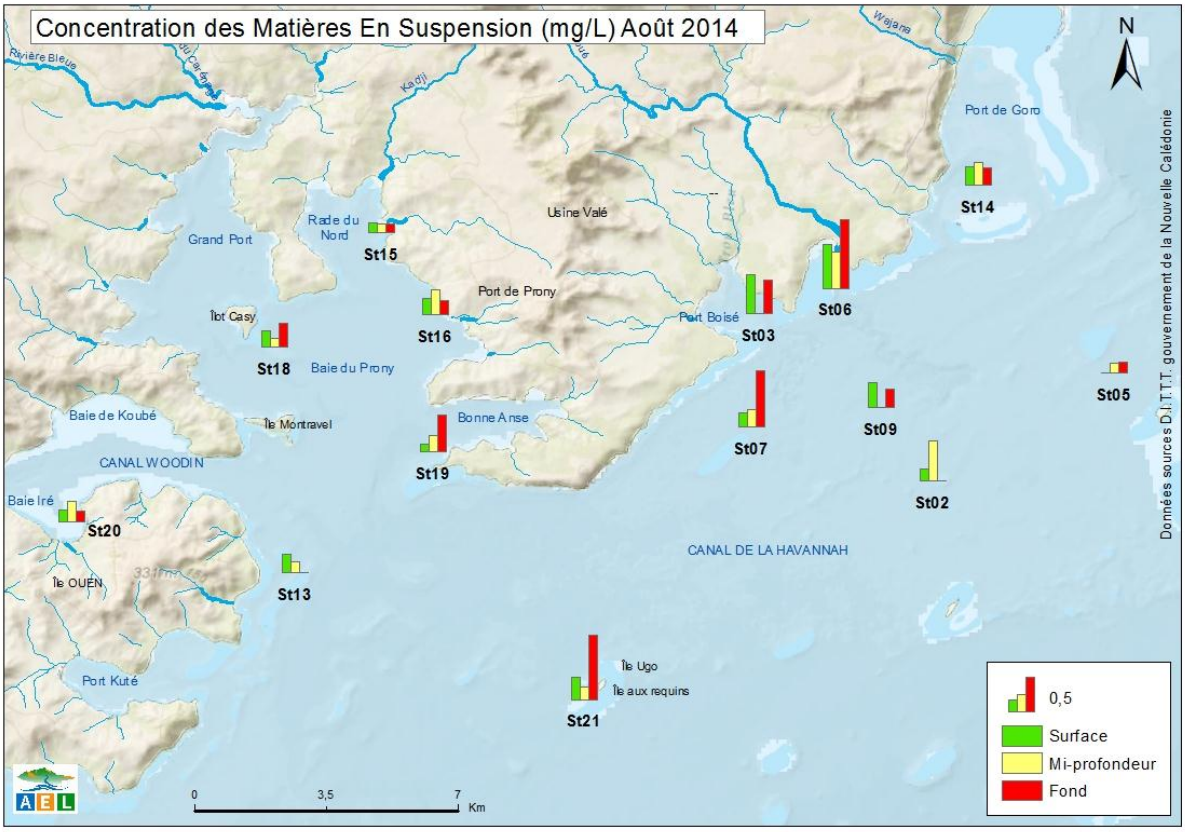

Figure 9 : Concentration des matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

Tableau 3 : Concentrations des MES dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle (août 2014).

		MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,15
	Maximum	0,93
	Moyenne	0,37 ± 0,27
Baies Canal	Minimum	0,25
	Maximum	1,00
	Moyenne	0,50 ± 0,24
Baie du Prony	Minimum	0,10
	Maximum	0,53
	Moyenne	0,23 ± 0,13
Ile Ouen	Minimum	0,16
	Maximum	0,29
	Moyenne	0,21 ± 0,06

C. Eléments majeurs et pH

Les concentrations des éléments majeurs et les valeurs du pH sont regroupées dans le Tableau 4.

Comme observées lors des précédentes campagnes semestrielles, les concentrations des éléments majeurs ne présentent pas de différences entre les zones étudiées (Tableau 4). Celles-ci restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Contrat AEL-LEA/Vale-NC N°C2445 et N°T1368).

Les valeurs moyennes de pH sont plus faibles dans la Baie du Prony et autour de l'Ile Ouen qu'au niveau du Canal de la Havannah et de ses stations de baies (Tableau 4). Ceci s'explique par des valeurs de pH relativement faibles mesurées en profondeur aux stations St13 (8,15) et St20 (8,08) de l'Ile Ouen ainsi qu'aux stations St18 et St19 de la Baie du Prony en profondeur (7,97) et surface (7,93), respectivement. A l'exception de ces 4 valeurs, le pH mesuré aux autres stations est relativement stable (8,37 ± 0,02[3]).

[3] Moyenne des pH mesurés aux stations de la zone d'étude à l'exception des 4 valeurs plus faibles (St13-F, St20-F, St18-F et St19-S).

Tableau 4 : Concentrations des éléments majeurs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie et valeurs du pH mesurées lors de la campagne semestrielle (août 2014).

		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	426	383	1383	12648	19306	2611	8,35
	Maximum	452	399	1469	12940	21306	2917	8,41
	Moyenne	435 ± 8	390 ± 4	1418 ± 30	12811 ± 82	20221 ± 577	2742 ± 97	8,39 ± 0,02
Baie du Prony	Minimum	424	391	1391	12617	19557	2676	7,93
	Maximum	450	404	1471	12901	21017	2988	8,36
	Moyenne	434 ± 8	396 ± 4	1420 ± 29	12787 ± 72	20186 ± 389	2834 ± 77	8,28 ± 0,16
Ile Ouen	Minimum	425	390	1382	12667	19598	2673	8,08
	Maximum	448	399	1456	12830	21178	2945	8,36
	Moyenne	435 ± 10	393 ± 4	1415 ± 34	12742 ± 67	20533 ± 557	2852 ± 111	8,27 ± 0,12
Baies Canal	Minimum	427	386	1389	12637	19551	2736	8,35
	Maximum	444	395	1449	12819	20565	2884	8,40
	Moyenne	434 ± 6	390 ± 3	1415 ± 22	12754 ± 54	20035 ± 320	2786 ± 51	8,38 ± 0,02

D. Sels nutritifs

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2014 sont regroupées dans les Figure 10, Figure 11, Figure 12 et le Tableau 5.

1. Ammonium

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

Les concentrations moyennes d'**ammonium** (NH_4) les plus faibles ont été mesurées dans le Canal de la Havannah ainsi que dans la Baie du Prony (Tableau 5). Les concentrations du Canal de la Havannah (0,035 ± 0,008 µmol/L) sont néanmoins nettement plus homogènes que celles de la Baie du Prony (0,039 ± 0,026 µmol/L). En effet, dans cette baie, pour une même station (St15), les concentrations diffèrent d'un facteur 5 entre la mi-profondeur (0,100 µmol/L) et le fond (0,018 µmol/L) (Figure 10).

Les concentrations moyennes mesurées aux stations de l'Ile Ouen et des baies du Canal sont quasiment similaires. Pour la plupart d'entre elles, les concentrations augmentent avec la profondeur, notamment pour les stations St06 et St14 dont la concentration a doublé entre la surface et le fond (Figure 10). Cette distribution verticale est inversement proportionnelle à celle observée pour la fluorescence à ces deux stations (Figure 7).

Les concentrations moyennes de NH_4 mesurées sont nettement plus faibles que celles obtenues lors de la précédente campagne d'août 2013 et restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées entre les campagnes de 2008 et 2012 (Annexe 7)

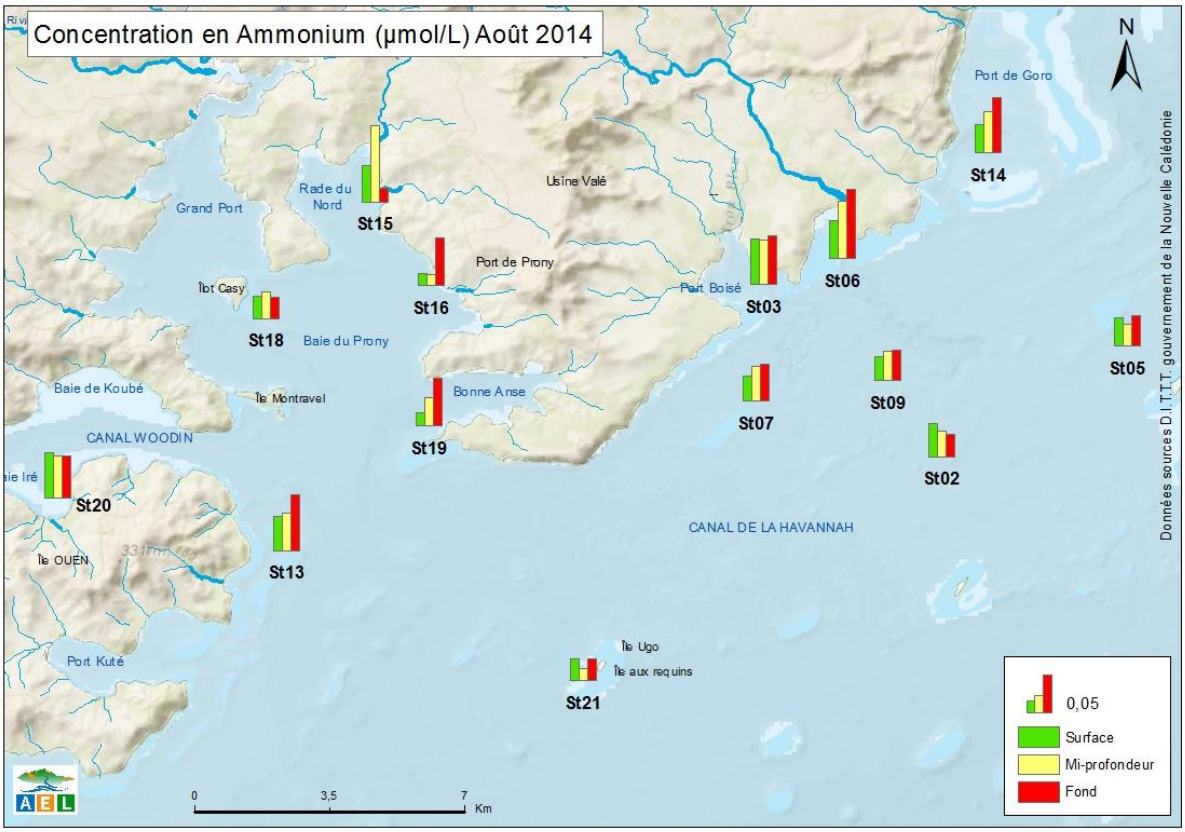

Figure 10 : Concentration en ammonium dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

2. Nitrates et nitrites

Rappel : *L'ion nitrate (NO_3) 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 NO_3). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en nitrates variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.*

Les concentrations des **nitrates et nitrites** (NO_3+NO_2) se répartissent de façon très hétérogène dans la zone d'étude. Les stations localisées dans le Canal de la Havannah et dans la Baie du Prony présentent les concentrations les plus faibles de la zone d'étude. Les concentrations du Canal de la Havannah sont relativement homogènes (0,160 ± 0,090 µmol/L). Les concentrations mesurées dans la baie du Prony sont plus dispersées ; celles-ci varient de 0,053 (St16-S) à 0,382 (St18-M) µmol/L. La station St16 présente les concentrations les plus faibles de la baie car seule la concentration de surface a pu y être quantifiée (Tableau 5 ; Figure 11).

A l'inverse, les concentrations des stations localisées au niveau des baies du Canal (St03, St06 et St14) semblent influencées par les apports terrigènes des creeks adjacents ; leurs concentrations étant plus élevées que celles du Canal et également plus hautes en profondeur. Parmi ces trois stations, la concentration la plus élevée a été mesurée à la station St14 (Port Goro = 0,644 µmol/L).

A la station St20, localisée dans la Baie d'Iré, les concentrations de NO_3+NO_2 de mi-profondeur et fond sont particulièrement élevées atteignant 1,048 et 1,201 µmol/L, respectivement.

Les concentrations moyennes de NO_3+NO_2 d'août 2014 sont globalement inférieures à celles obtenues lors de la campagne d'août 2013 à l'exception des concentrations mesurées au tour de l'Ile Ouen dont la valeur moyenne a doublé (Annexe 7).

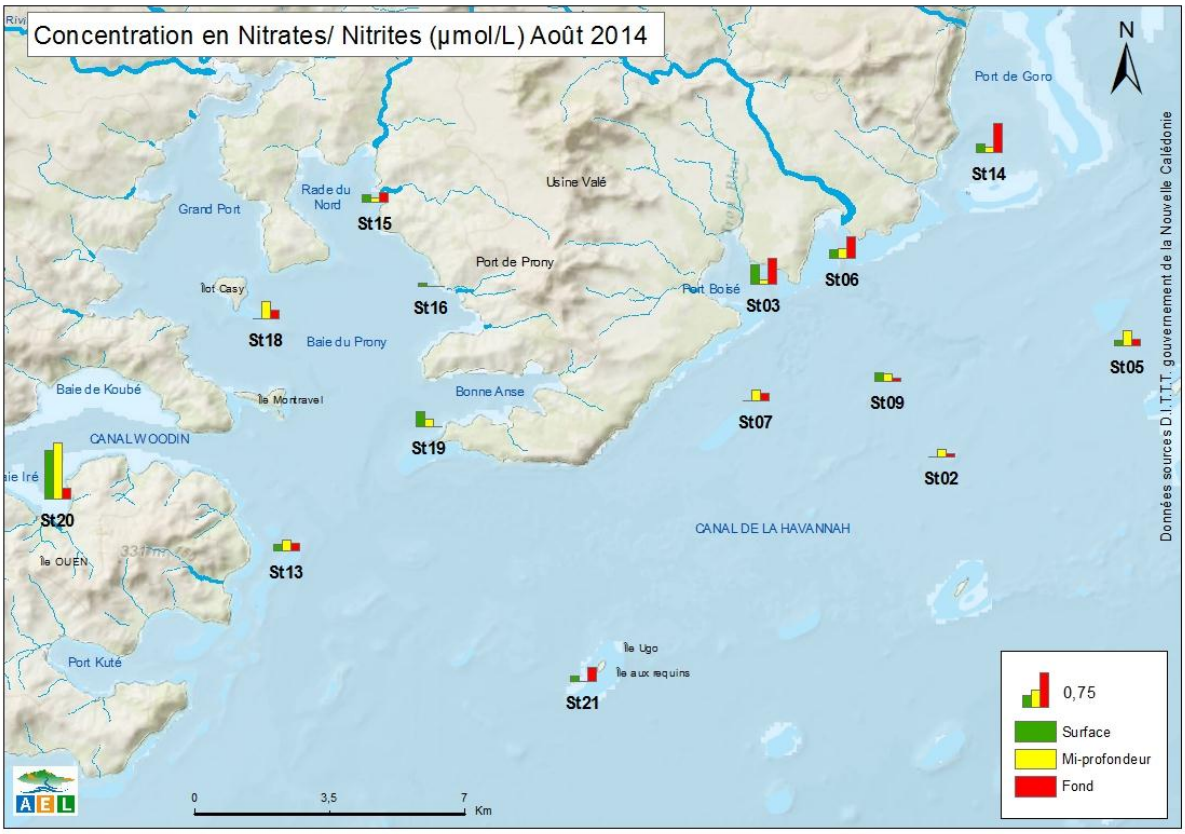

Figure 11 : Concentration en nitrates+nitrites dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

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.*

Seulement deux concentrations de **phosphates** (PO_4) ont pu être quantifiées. Celles-ci ont été mesurées en profondeur aux stations St06 (0,064 µmol/L) et St13 (0,090 µmol/L).

La plupart des concentrations de PO_4 mesurées lors de cette campagne sont plus faibles que celles obtenues lors des précédentes campagnes « saison fraiche » car celles-ci n'ont pas été quantifiées (Annexe 7).

4. Silicates

Rappel : *Bien que le silicium ne soit pas un composant de la matière vivante proprement dite, il constitue l'essentiel des squelettes de divers organismes marins. Sa concentration dans l'eau de mer, sous forme de silicates (SiO_4^{2-}), qui peut devenir insuffisante en raison de sa très faible solubilité, varie en fonction de l'origine et la nature des eaux. Ainsi, dans le domaine océanique, les concentrations en surface sont généralement très*

faibles mais elles augmentent progressivement à mesure que l'on se rapproche des côtes ou des fonds abyssaux.

Les concentrations de **silicates** (Si) présentent une légère distribution décroissante côte large. Celles-ci sont plus élevées au niveau des stations proches des côtes, notamment dans la Baie du Prony. Les concentrations les plus élevées de cette zone ont été mesurées aux stations St15 et St16 ; le maximum ayant été relevé en surface et profondeur de ces deux stations, respectivement (3,31 µmol/L). Les concentrations des baies du Canal, bien que plus élevées que celles obtenues dans le Canal lui-même, sont néanmoins plus faibles que celles de la Baie du Prony. Dans la zone de l'Ile Ouen, les concentrations de la station St20 sont plus élevées que celles de la station St13 ; la concentration de fond mesurée à la station St20 correspondant à la maximale de toute la zone d'étude (3,46 µmo/L). Les concentrations des stations du Canal de la Havannah, placées sous influence océanique, sont les plus faibles et les plus homogènes de la zone d'étude (Tableau 5 ; Figure 12).

Les concentrations de silicates mesurées lors de la campagne d'août 2014 restent globalement du même ordre de grandeur que celles obtenues lors des différentes campagnes semestrielles « saison fraiche ». Certaines concentrations sont cependant plus faibles (ex : août 2011 dans le Canal de la Havannah et l'Ile Ouen) ou plus élevées (ex : août 2014 dans les baies Canal et du Prony) (Annexe 7).

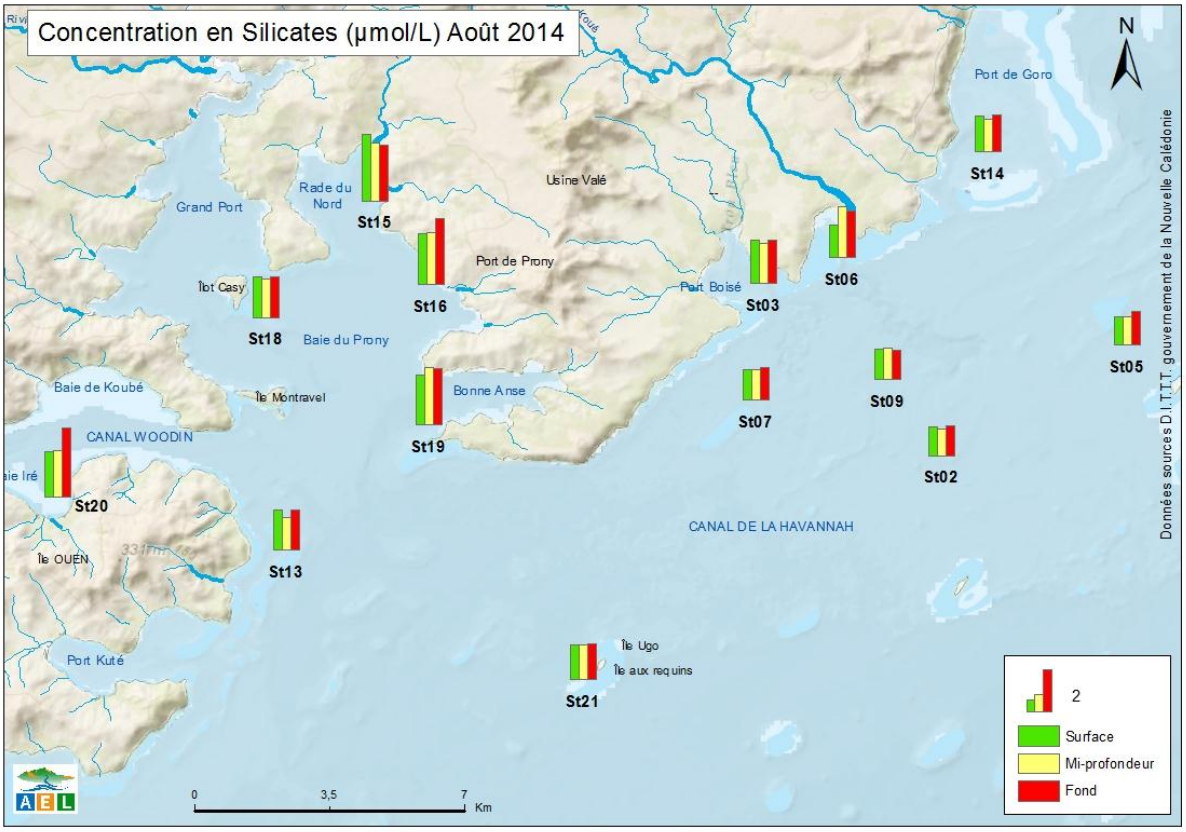

Figure 12 : Concentration en silicates dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

		NH_4 (µmol/L)	NO_3+NO_2 (µmol/L)	Si (µmol/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,016	0,033	1,32
	Maximum	0,048	0,334	1,76
	Moyenne	0,035 ± 0,008	0,160 ± 0,090	1,55 ± 0,14
Baies Canal	Minimum	0,038	0,101	1,60
	Maximum	0,091	0,382	2,53
	Moyenne	0,062 ± 0,016	0,156 ± 0,127	1,99 ± 0,31
Baie du Prony	Minimum	0,015	<LQ	1,94
	Maximum	0,100	0,382	3,31
	Moyenne	0,039 ± 0,026	0,194 ± 0,110	2,64 ± 0,46
Ile Ouen	Minimum	0,045	0,143	1,59
	Maximum	0,073	1,201	3,46
	Moyenne	0,056 ± 0,010	0,507 ± 0,482	2,27 ± 0,64

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations de NH_4, NO_2+NO_3 et Si présentent un léger gradient côte large et mettent en évidence les apports en eaux douces dans les baies pour les stations proches des côtes ainsi que les apports océaniques pour les stations du Canal de la Havannah. Les concentrations mesurées dans le Canal sont les plus faibles et les plus homogènes de la zone d'étude.

Pour le NH_4, les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans les stations de baies du Canal et de l'Ile Ouen. Les concentrations des stations St06 et St14 augmentant avec la profondeur, elles présentent une distribution inversement proportionnelle à celle obtenue pour la fluorescence.

Pour le NO_2+NO_3, les concentrations les plus élevées ont été mesurées à la station St20 située dans la baie Iré. Ces dernières ne sont pas corrélées aux profils de fluorescence, ni de turbidité.

Pour le Si, les concentrations les plus élevées correspondent à celles de la Baie du Prony ; les maximales ayant été relevées aux stations St15 et St16.

E. Matière organique

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

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires sont regroupées dans les Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17 et Tableau 6.

1. Azote et phosphore organiques dissous

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

Bien que globalement homogènes, les concentrations d'**azote organique dissous** (NOD) sont légèrement plus élevées en Baie du Prony que dans le reste de la zone d'étude. La concentration maximale a été relevée en profondeur à la station St16 (NOD = 8,62 µmol/L) (Figure 13). A l'inverse, les concentrations de **phosphore organique dissous** (POD) sont légèrement plus faibles dans la Baie du Prony que dans les trois autres zones étudiées (Figure 14). Ces concentrations ne présentent pas de distribution verticale particulière.

Les concentrations de NOD d'août 2014 sont relativement plus élevées que celles obtenues lors des précédentes campagnes semestrielles « saison fraiche » à l'exception de la campagne d'août 2010 dont les concentrations sont presque similaires. Les concentrations moyennes de POD, quant à elles, restent dans le même ordre de grandeur que celles obtenues précédemment (Annexe 8).

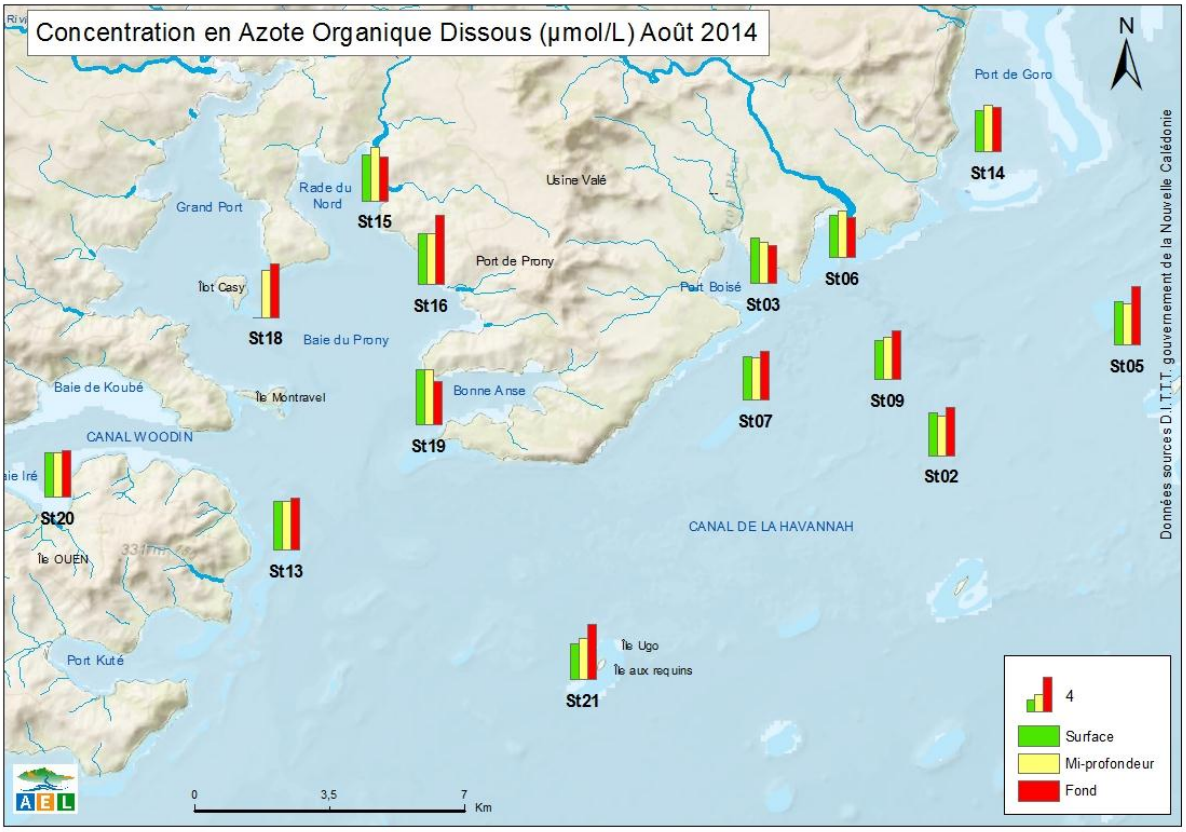

Figure 13 : Concentration en azote organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

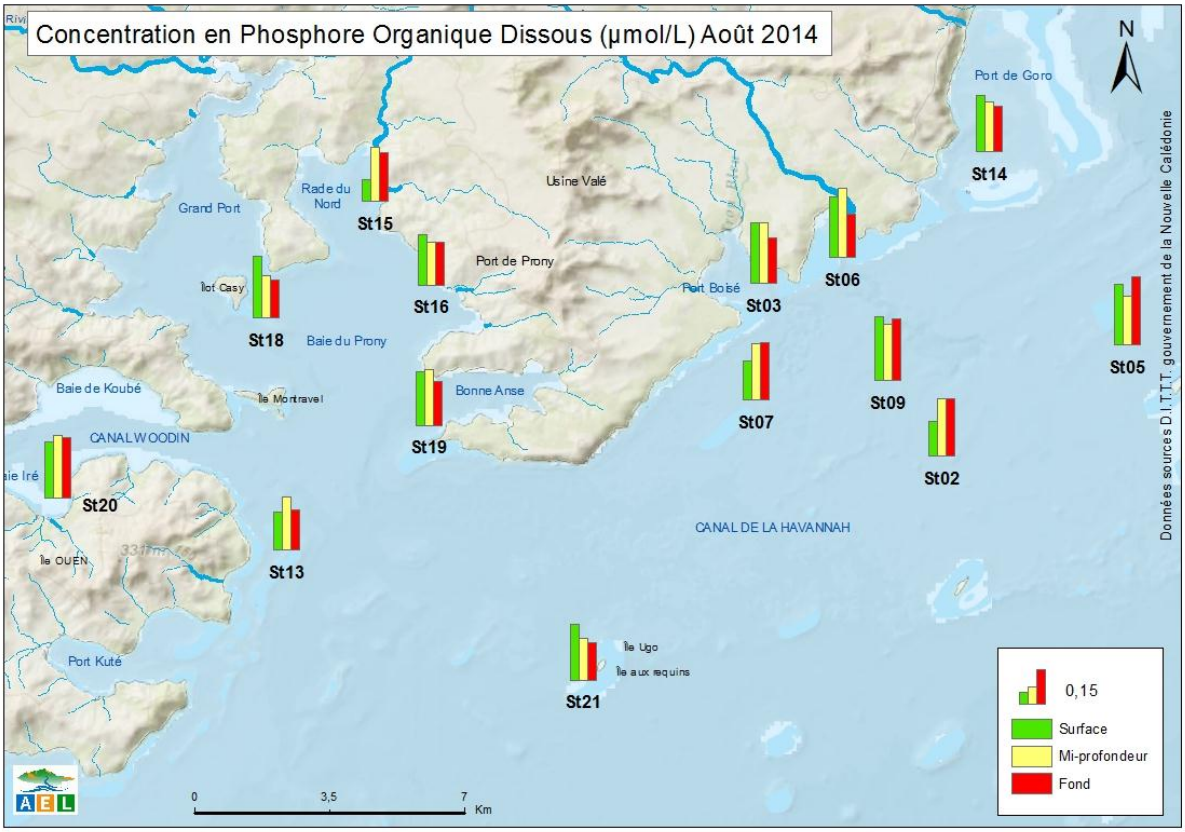

Figure 14 : Concentration en phosphore organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

2. Azote, carbone et phosphore organiques particulaires

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

Les concentrations d'**azote organique particulaire** (NOP) sont plus élevées au niveau des stations de la baie du Prony (0,94 ± 0,22 µmol/L) et de l'Ile Ouen (0,75 ± 0,12 µmol/L) que dans les zones du Canal de la Havannah et ses baies ; ces deux zones présentant des concentrations relativement similaires (0,63 ± 0,19 µmol/L ; 0,68 ± 0,18 µmol/L, respectivement) (Figure 15).

Les concentrations de **carbone** et de **phosphore organique particulaire** (POP) les plus élevées ont été relevées dans la baie du Prony (COP = 15,1 ± 7,1 µmol/L ; POP = 0,047 ± 0,016 µmol/L). Les concentrations maximales de ces éléments ont été mesurées dans les eaux de surface de la station St15 (COP = 22,7 µmol/L ; POP = 0,072 µmol/L) ainsi que dans les eaux de surface (COP = 22,2 µmol/L) et mi-profondeur (POP = 0,067 µmol/L) de la station St16. A l'inverse, les concentrations observées dans le Canal de la Havannah sont les plus faibles et ne varient que très peu au sein de cette zone (COP = 8,6 ± 4,4 µmol/L ; POP = 0,028 ± 0,008 µmol/L) (Figure 17).

Les concentrations moyennes de NOP d'août 2014 restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes semestrielles « saison fraiche » alors que celles de POP sont parmi les plus faibles (Annexe 8).

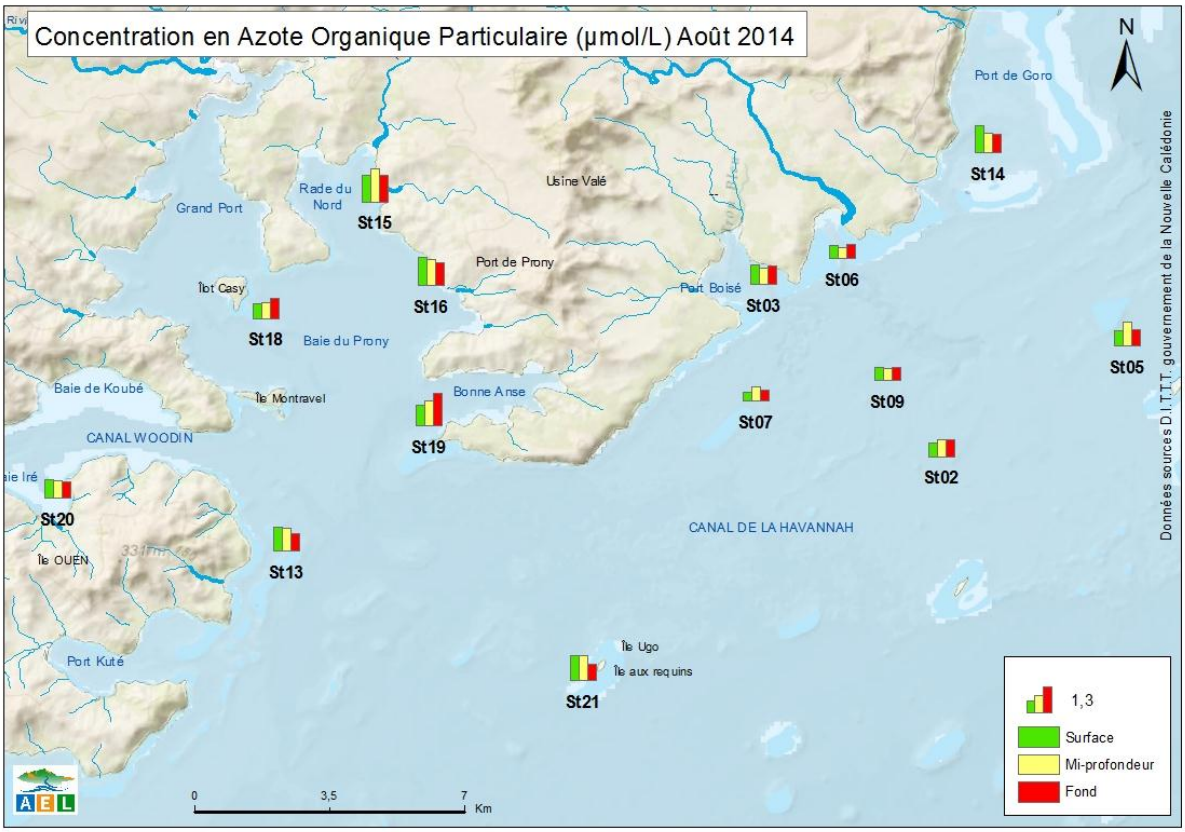

Figure 15 : Concentration en azote organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

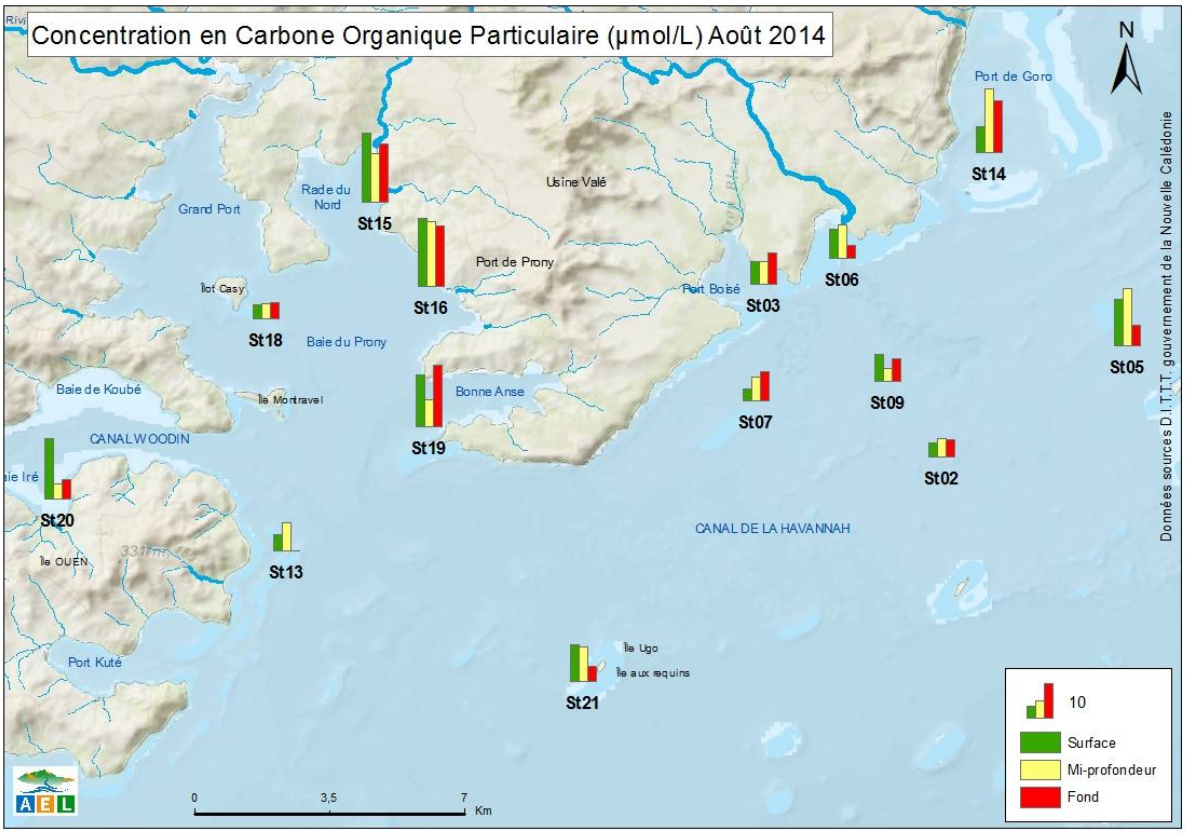

Figure 16 : Concentration en carbone organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

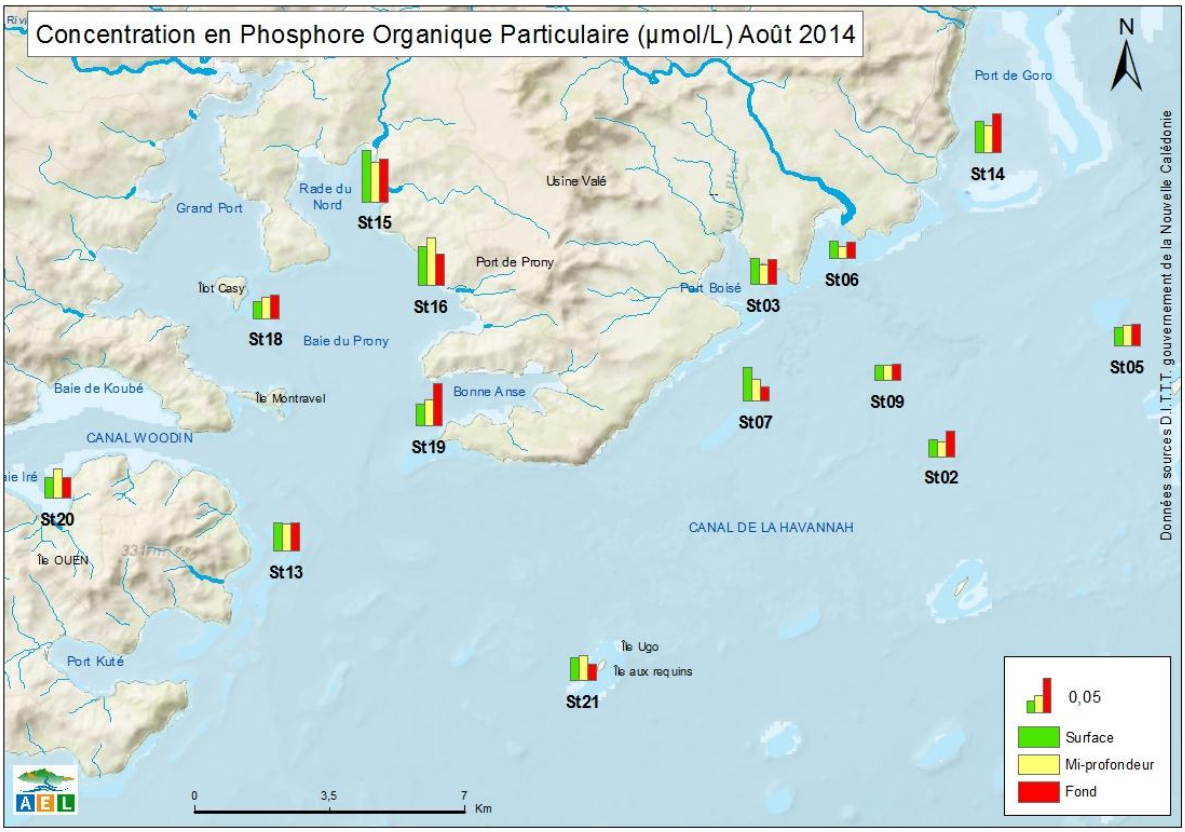

Figure 17 : Concentration en phosphore organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

Tableau 6 : Concentrations de l'azote et phosphore organiques dissous et de l'azote, carbone et phosphore organiques particulaires dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

		NOD (µmol/L)	POD (µmol/L)	COP (µmol/L)	NOP (µmol/L)	POP (µmol/L)
Canal de la Havannah	Minimum	4,44	0,16	4,0	0,34	0,019
	Maximum	7,33	0,32	19,1	0,99	0,047
	Moyenne	5,58 ± 0,77	0,25 ± 0,04	8,6 ± 4,4	0,63 ± 0,19	0,028 ± 0,008
Baie du Prony	Minimum	5,40	0,10	4,5	0,59	0,023
	Maximum	8,62	0,29	22,7	1,27	0,072
	Moyenne	6,45 ± 0,90	0,22 ± 0,05	15,1 ± 7,1	0,94 ± 0,22	0,047 ± 0,016
Ile Ouen	Minimum	5,56	0,18	4,9	0,62	0,028
	Maximum	6,45	0,29	19,8	0,92	0,041
	Moyenne	5,91 ± 0,33	0,24 ± 0,05	9,1 ± 6,2	0,75 ± 0,12	0,035 ± 0,005
Baies Canal	Minimum	4,75	0,20	4,6	0,43	0,017
	Maximum	5,86	0,32	21,0	1,04	0,054
	Moyenne	5,36 ± 0,40	0,26 ± 0,04	10,8 ± 5,2	0,68 ± 0,18	0,033 ± 0,011

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 répertoriées dans la Figure 18 et le Tableau 7.

Remarque : *suite à un problème d'analyse, 5 concentrations n'ont pas pu être déterminées (St03-M, St03-F, St05-M, St07-S, St15-S).*

Les concentrations de **chlorophylle *a*** mesurées dans l'ensemble de la zone d'étude ne présentent pas de distributions horizontale ni verticale particulières. Les concentrations moyennes mesurées dans les zones des baies du Prony et du Canal ainsi que celles de l'Ile Ouen restent globalement dans le même ordre de grandeur (Tableau 7). La concentration moyenne obtenue dans le Canal de la Havannah est plus élevée que celles des trois autres zones. En effet, les concentrations maximales de la zone d'étude ont été mesurées à la station St21 en surface (0,82 µg/L) et profondeur (0,83 µg/L).

Les concentrations moyennes de chlorophylle *a* d'août 2014 sont parmi les plus faibles mesurées depuis le début des campagnes « saison fraiche ». A l'exception des concentrations maximales relevées lors de la campagne d'août 2010, les concentrations de chlorophylle *a* restent relativement dans le même ordre de grandeur (Annexe 9).

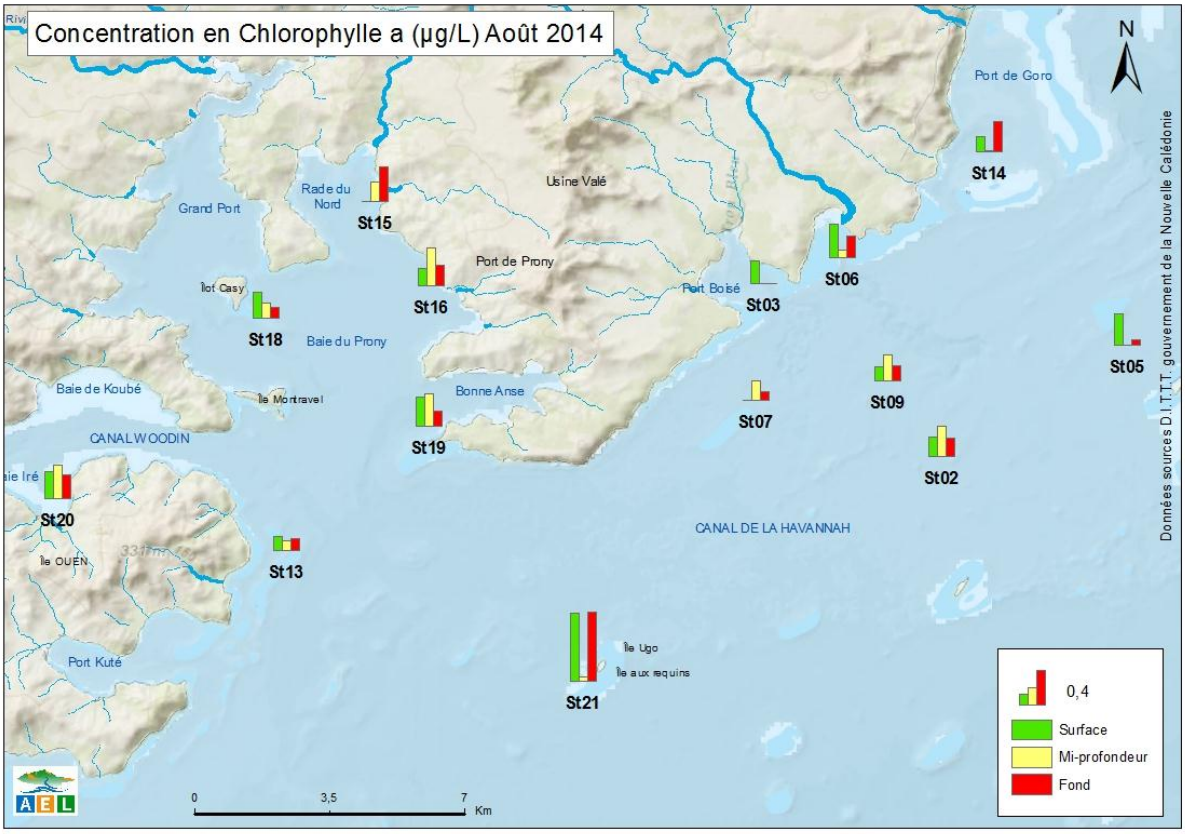

Figure 18 : Concentration en chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

Tableau 7 : Concentrations de chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

		Chlorophylle *a* (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,047
	Maximum	0,833
	Moyenne	0,305 ± 0,253
Baie du Prony	Minimum	0,130
	Maximum	0,457
	Moyenne	0,280 ± 0,108
Ile Ouen	Minimum	0,125
	Maximum	0,397
	Moyenne	0,242 ± 0,110
Baies Canal	Minimum	0,011
	Maximum	0,403
	Moyenne	0,230 ± 0,141

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations de NOD, NOP, COP et POP montrent une légère influence des apports terrigènes, seulement détectée dans la Baie du Prony. Les concentrations mesurées dans les trois autres zones restent relativement similaires.

Les concentrations de chlorophylle *a*, quant à elles, ne présentent pas de distribution particulière. Les maximales ont été relevées au niveau de l'ilot Ugo en surface et fond.

G. Métaux dissous

1. Contrôle qualité des méthodes d'analyse des métaux dissous

Remarque : *les échantillons prélevés en duplicata ont été envoyés l'université de Southampton (NOCS : National Oceangraphy Centre Southampton) afin d'effectuer un exercice d'inter-comparaison des résultats. Les analyses sont actuellement en cours et les résultats seront fournis dans le rapport final.*

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 lors de la campagne d'août 2014 (n=4).

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

Les concentrations des triplicatas pour les métaux **cadmium** (Cd) et **plomb** (Pb) sont toutes inférieures aux limites de quantification respectives.

Les précisions des mesures obtenues pour les métaux dissous **fer** (Fe), **manganèse** (Mn) et **nickel** (Ni) sont très acceptables (Tableau 8). Les faibles concentrations de **cobalt** (Co) et **cuivre** (Cu) rendent les analyses de ces éléments moins précises. En effet, bien que les précisions du Cu soient très acceptables, plusieurs concentrations de cet élément n'ont pas pu être quantifiées. L'analyse la moins précise est celle du **zinc** (Zn) mais celle-ci reste néanmoins acceptable (Tableau 8).

Tableau 8 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations des métaux dissous (Co, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

Station	Co (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)
St03-S	0,031	ND	0,050	0,235	0,273	0,251
St03-S	0,016	0,024	0,042	0,192	0,275	0,336
St03-S	0,030	0,017	0,064	0,220	0,276	0,245
Précision (%)	**34**	**22**	**21**	**10**	**1**	**18**
St06-S	<LQ	ND	0,043	0,096	0,146	0,206
St06-S	<LQ	0,028	0,045	0,084	0,120	0,369
St06-S	<LQ	0,032	0,046	0,092	0,121	0,292
Précision (%)	**-**	**9**	**3**	**7**	**11**	**28**
St14-S	0,020	0,036	0,099	0,265	0,256	0,187
St14-S	0,016	ND	0,102	0,239	0,233	0,139
St14-S	ND	0,035	0,126	0,233	0,249	0,211
Précision (%)	**16**	**2**	**13**	**7**	**5**	**20**
St21-S	<LQ	<LQ	0,053	0,098	0,139	0,173
St21-S	<LQ	<LQ	0,066	0,136	0,176	0,049
St21-S	0,013	0,021	0,036	0,089	0,149	0,130
Précision (%)	**25**	**11**	**17**	**12**	**7**	**30**

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

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

Les précisions des mesures de Cr(VI) et Cr-total sont excellentes (Tableau 9). Les analyses de Cr-total sont légèrement moins précises que celles de Cr(VI) car celles-ci nécessitent une étape d'analyse supplémentaire (attaque UV).

Tableau 9 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations du chrome dissous (Cr(VI) et Cr-total) lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

Station	CrVI (µg/L)	Cr total (µg/L)
St14-S	0,093	0,130
St14-S	0,094	0,154
St14-S	0,094	0,140
Précision (%)	**1**	**9**
St21-S	0,097	0,130
St21-S	0,099	0,138
St21-S	0,101	0,134
Précision (%)	**2**	**3**
St03-S	0,094	0,340
St03-S	0,107	0,276
St03-S	0,102	0,294
Précision (%)	**6**	**11**
St06-S	0,103	0,238
St06-S	0,110	0,130
St06-S	0,098	0,154
Précision (%)	**6**	**33**

c) *Analyse du mercure dissous par spectrométrie de fluorescence atomique et de l'arsenic dissous par ICP-MS*

Les analyses d'**arsenic** (As) et de **mercure** dissous ont été effectuées par le laboratoire de Rouen.

Les analyses d'As ont été envoyées au laboratoire de Rouen afin de pallier à un problème d'instrumentation. Il résulte que les résultats d'analyses (triplicatas) effectuées sur les prélèvements des stations St14 et St21 sont identiques, alors que celles effectuées sur les triplicatas des deux autres stations (St03 et St06) varient d'un facteur 2 (Tableau 10), avec les LQ annoncées par ce laboratoire.

Tableau 10 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations de l'arsenic dissous lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

Station	As (µg/L)
St14-S	2
St14-S	2
St14-S	2
St21-S	2
St21-S	2
St21-S	2
St03-S	2
St03-S	<1
St03-S	2
St06-S	2
St06-S	1
St06-S	<1

Pour le Hg, les concentrations des triplicatas sont toutes inférieures à la limite de quantification de la méthode (0,005 µg/L). L'exercice d'inter-comparaison a été effectué entre le laboratoire de Rouen et le laboratoire ALS (Sydney). Les analyses effectuées sur les 4 échantillons prélevés en duplicata sont toutes inférieures aux limites de quantification (0,1 µg/L).

2. Résultats d'analyse des métaux dissous

Les résultats d'analyse des métaux dissous de la campagne semestrielle d'août 2014 sont regroupés dans les Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24, Figure 25, Figure 26 ainsi que dans les Tableau 11 et Tableau 12 ainsi qu'en Annexe 5.

*Remarque : les analyses d'**arsenic** As d'avril 2014 ont été effectuées par le laboratoire de Rouen et sont réunies en Annexe 6.*

Afin de pallier à un problème technique, toutes les analyses d'**arsenic As** ont été effectuées par le laboratoire de Rouen. Les concentrations sont comprises entre 1 et 2 µg/L comme observé habituellement dans cette zone. Toutefois, certaines concentrations n'ont pas pu être quantifiées (<1 µg/L) du fait de leur limite de quantification (Tableau 11).

Les concentrations de **cadmium** (Cd), de **mercure** (Hg) et de **plomb** (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).

Comme observé lors des précédentes campagnes, les concentrations des métaux dissous **cobalt** (Co), **chrome hexavalent** (Cr(VI)), **chrome total** (Cr-total), **manganèse** (Mn) et **nickel** (Ni) se distribuent selon un gradient

côte-large bien défini. Les stations du Canal de la Havannah, influencées par les apports océaniques (St02, St05, St07, St09 et St21) sont nettement différenciées dans les stations de baies, influencées par les apports terrigènes des rivières (St03, St06, St14, St15, St16, St18 et St19). Autour de l'ile Ouen, les niveaux de concentrations sont intermédiaires.

Le gradient est nettement plus prononcé pour les métaux dissous Co, Mn et Ni que pour le Cr (Cr(VI) et Cr-total). Les concentrations de ces métaux mesurées en Baie du Prony sont nettement plus élevées que celles obtenues dans les trois autres zones d'étude. En effet, les concentrations moyennes de Co (0,036 ± 0,018 µg/L) y sont deux fois plus élevées que celles des stations de baies du Canal (0,020 ± 0,014 µg/L) et de l'ile Ouen (0,018 ± 0,012 µg/). Aucune concentration de Co n'a été quantifiable dans le Canal de la Havannah. Pour le Mn et Ni, ces concentrations moyennes en Mn (0,091 ± 0,031 µg/L) et Ni (0,113 ± 0,031 µg/L) sont trois fois plus faibles que celles relevées dans la Baie du Prony (Mn = 0,266 ± 0,177 µg/L ; Ni = 0,344 ± 0,177 µg/L). Les concentrations moyennes de Mn et Ni des baies du Canal et de l'Ile Ouen sont plus élevées que celles du Canal mais restent inférieures à celles de la Baie du Prony. La concentration maximale de la zone d'étude a été mesurée à la station St15 de la Baie du Prony, station la plus proche de l'embouchure des creeks de la Baie. Celle-ci a été relevée dans la couche d'eaux de surface, dessalée et turbide, pour le Co (0,068 µg/L) et le Ni (0,519 µg/L) et dans les eaux de fond pour le Mn (0,454 µg/L) enrichis par les apports turbides des creeks adjacents.

Les concentrations de Cr(VI) présentent un léger gradient côte-large avec une concentration moyenne plus élevée dans la Baie du Prony comme observé pour le Co, Mn et Ni. La concentration maximale a également été mesurée dans la couche d'eaux de surface de la station St15 (0,151 µg/L). Les concentrations mesurées dans le Canal de la Havannah sont très homogènes et sont les plus faibles de la zone d'étude (0,096 ± 0,005 µg/L). La distribution des concentrations de Cr-total diffère légèrement de celle observée pour les précédents métaux. En effet, les concentrations de cet élément sont plus élevées au niveau des baies du Canal de la Havannah que des trois autres zones étudiées. Les concentrations maximales ont, en effet, été mesurées dans les eaux de surface de la station St03 (Port Boisé = 0,303 ± 0,033 µg/L) et les eaux de fond de la station St06 (Baie Kwé = 0,270 µg/L).

Les concentrations de ces métaux ne présentent pas de distribution verticale particulière à l'exception de la station St06 (Baie Kwé) dont les valeurs de Co, Mn, Ni, Cr(VI) et Cr-total augmentent avec la profondeur. Par exemple, pour le Ni, les concentrations triplent entre la surface (0,121 µg/L) et le fond (0,310 µg/L).

Contrairement à ce qui avait été observé lors de la campagne d'août 2013, les concentrations de **cuivre** (Cu) et de **fer** (Fe) de cette campagne présentent un gradient côte large. Les concentrations de ces deux éléments sont plus élevées en Baie du Prony que dans les trois autres zones étudiées. En effet, pour le Cu, les concentrations moyennes obtenues dans les baies du Canal (0,026 ± 0,021 µg/L) ainsi qu'aux stations de l'Ile Ouen (0,017± 0,013 µg/L) sont 2 et 3 fois plus faibles que celles de la Baie du Prony (0,055 ± 0,031 µg/). Les concentrations les plus faibles se situent dans le Canal de la Havannah mais n'ont pas été quantifiables. Les concentrations maximales de la zone d'étude ont été relevées, respectivement, dans les eaux de fond (0,107 µg/L) et de mi-profondeur (0,104 µg/L) des stations St16 et St18. Comme pour le Cu, la concentration moyenne mesurée dans la Baie du Prony est la plus élevée (0,128 ± 0,082 µg/L) et la plus faible a été relevée dans le Canal de la Havannah (0,046 ± 0,028 µg/L). La concentration maximale a également été mesurée dans les eaux de fond de la station St16 (0,270 µg/L).

Les concentrations de **zinc** Zn se démarquent au niveau des stations St15 et St16 de la Baie du Prony présentant les concentrations les plus fortes de la zone d'étude. Comme observé pour les deux métaux précédemment étudiés (Cu et Fe), la maximale a été relevée dans les eaux de fond de la station St16 (1,790 µg/L). Ces trois concentrations maximales pourraient être liées à l'activité portuaire de la zone.

Les concentrations moyennes des métaux dissous d'août 2014 restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes semestrielles « saison fraiche » (Annexe 10).

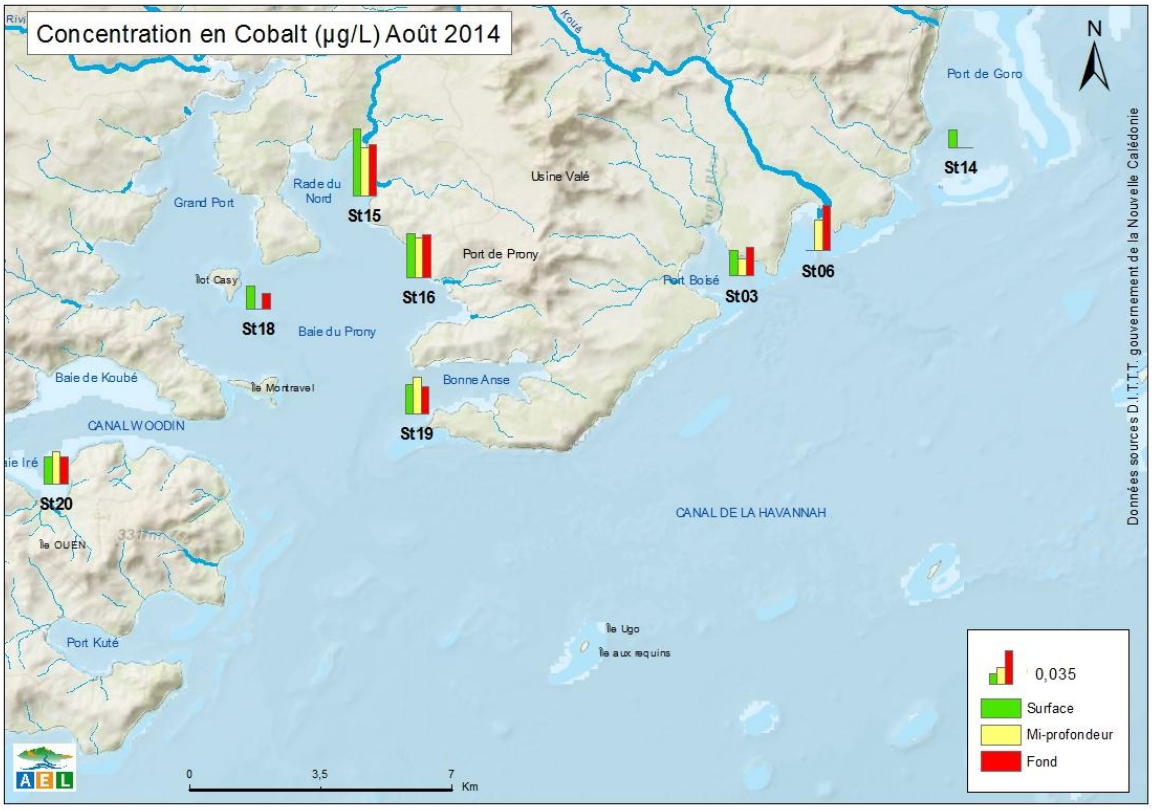

Figure 19 : Concentration en cobalt dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

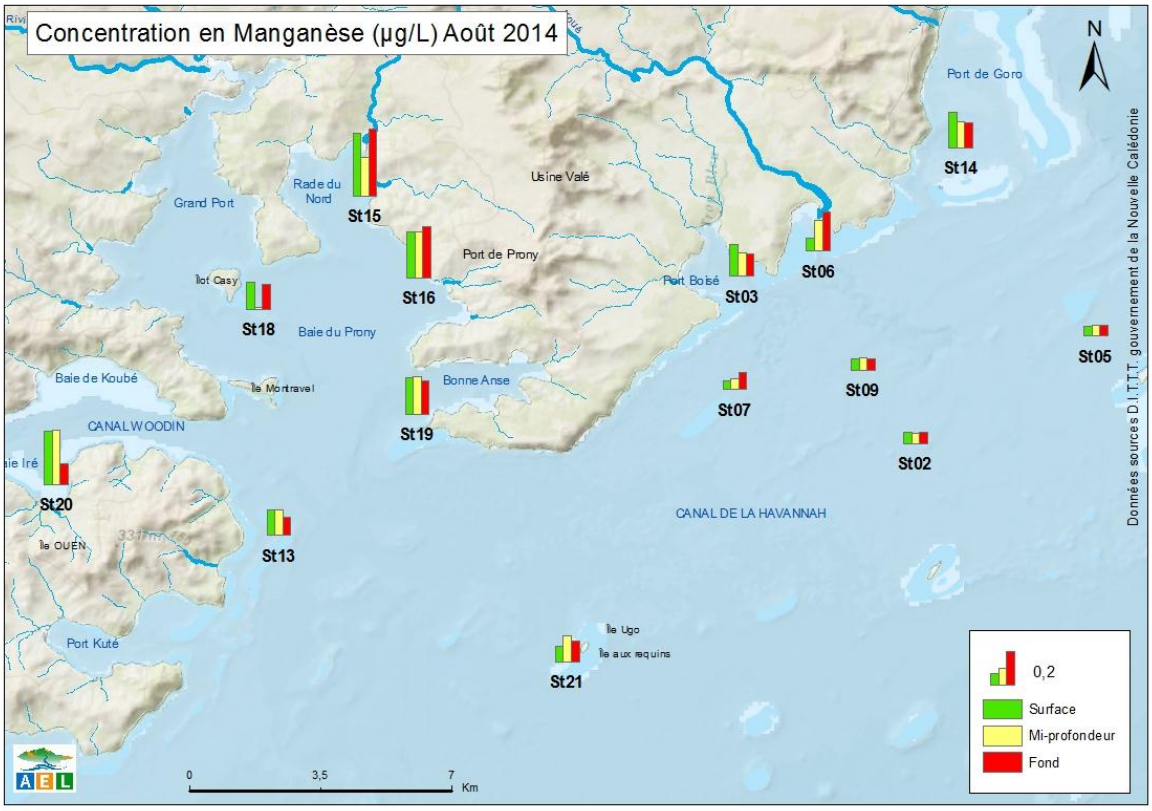

Figure 20 : Concentration en manganèse dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

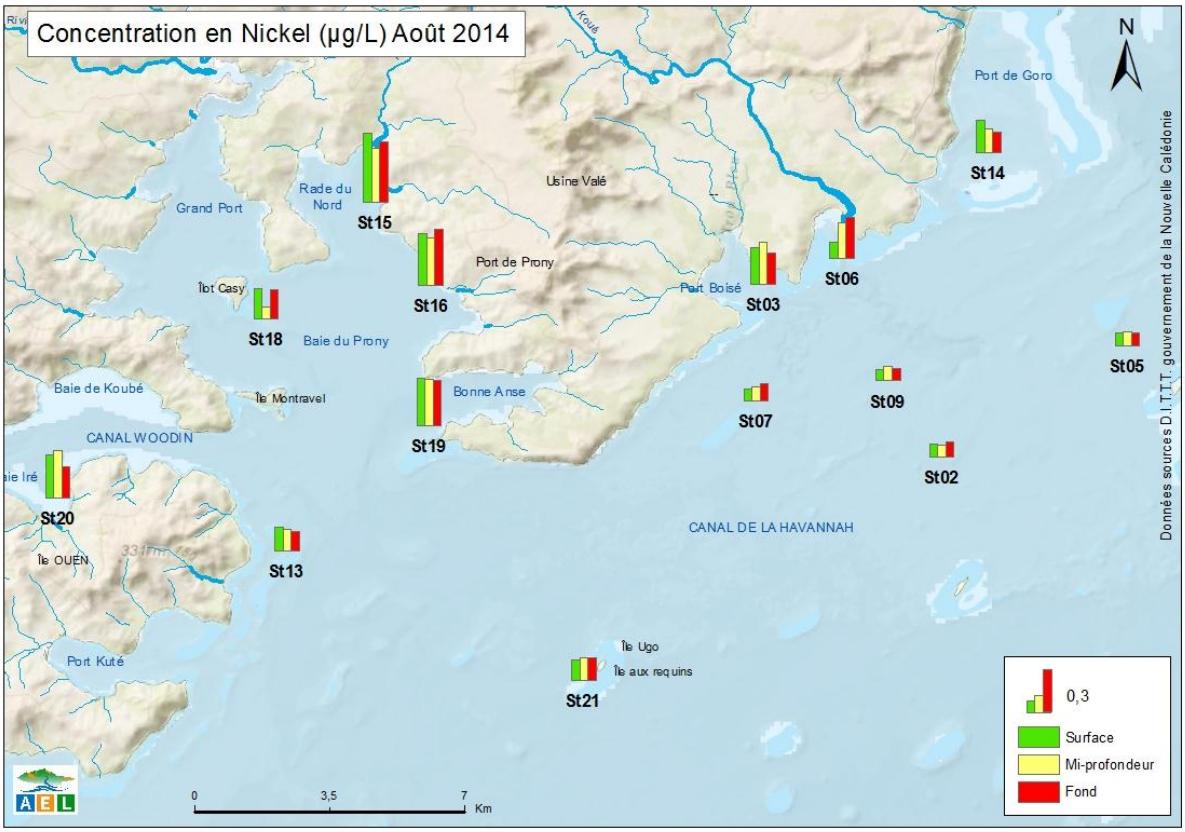

Figure 21 : Concentration en nickel dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

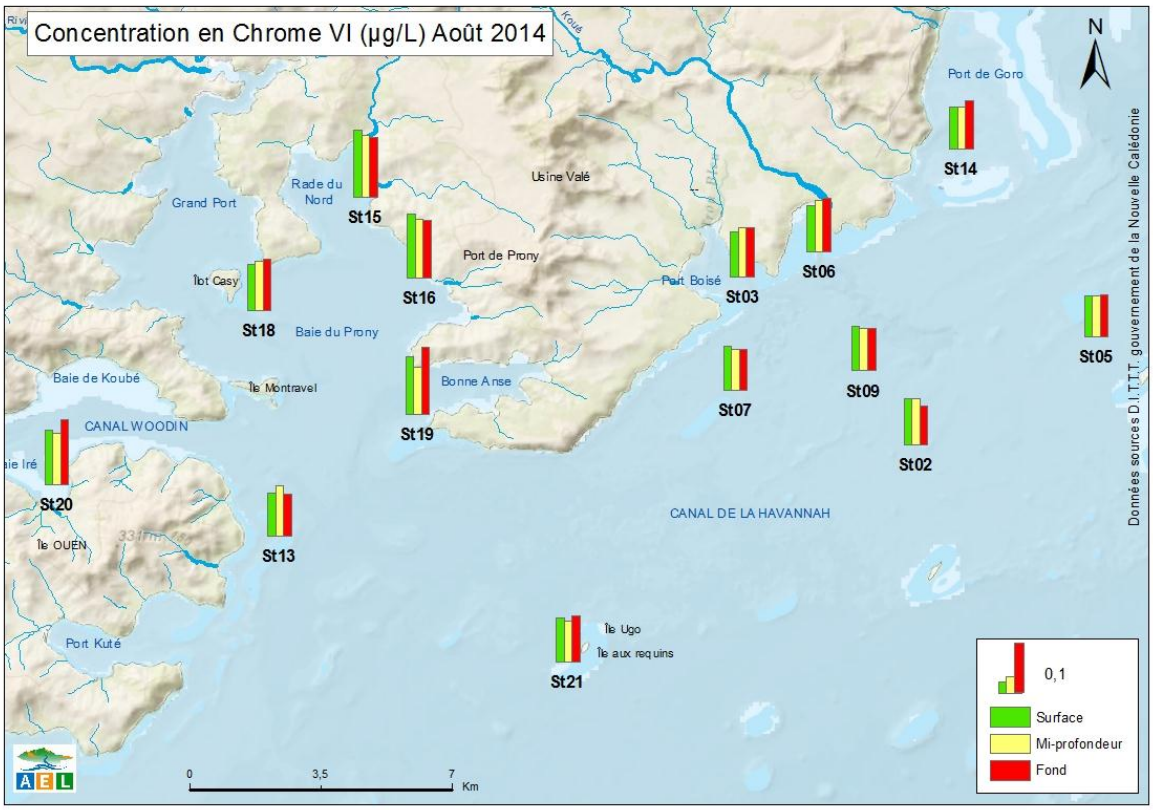

Figure 22 : Concentration en chrome hexavalent dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

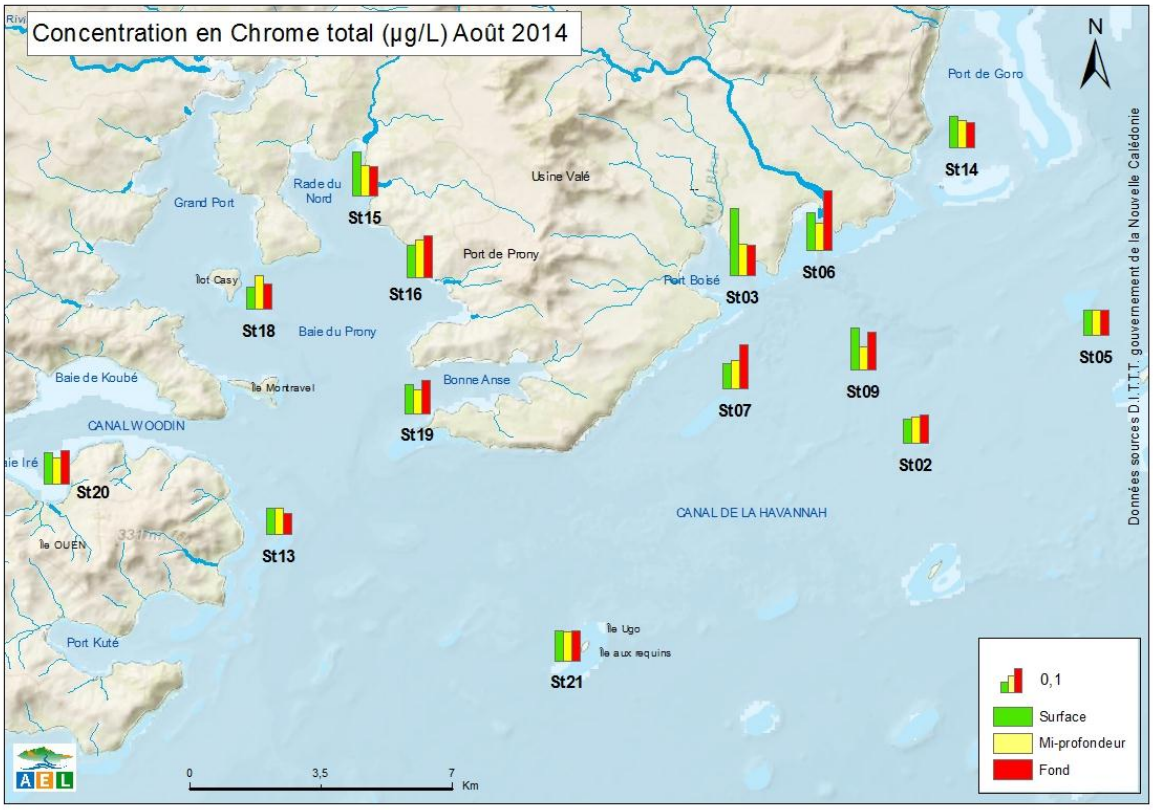

Figure 23 : Concentration en chrome total dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

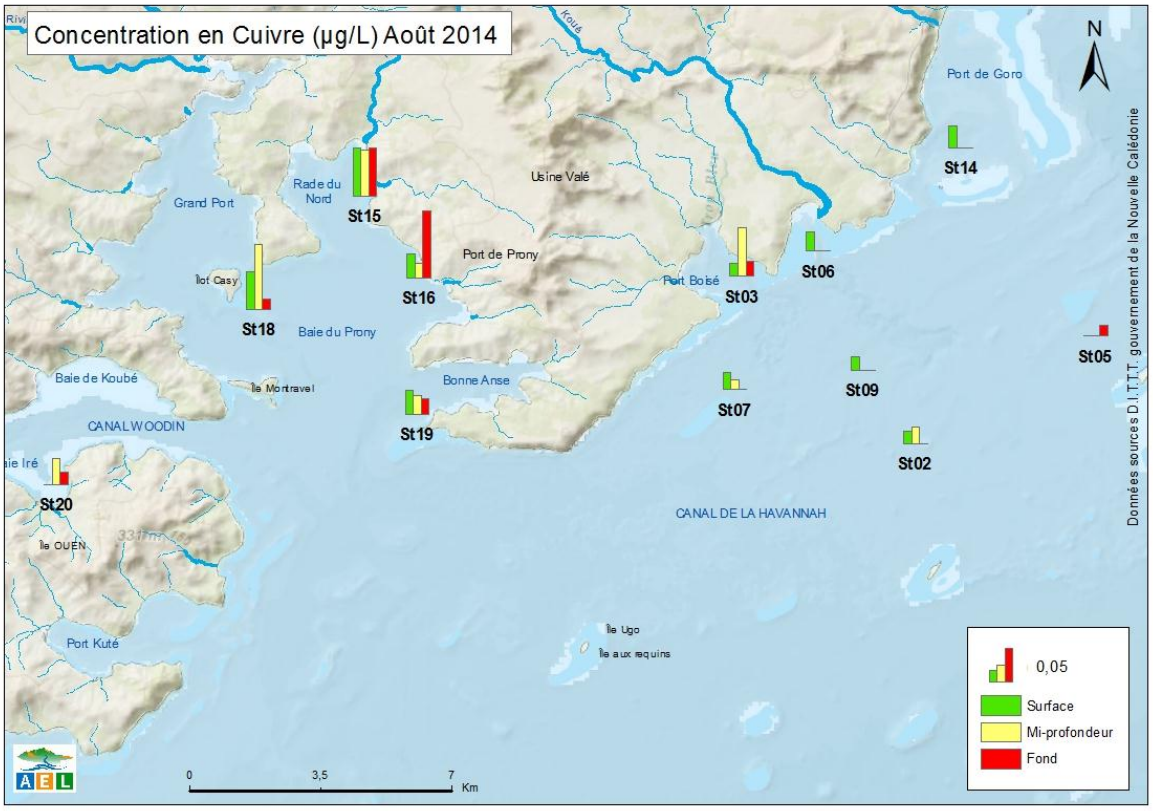

Figure 24 : Concentration en cuivre dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

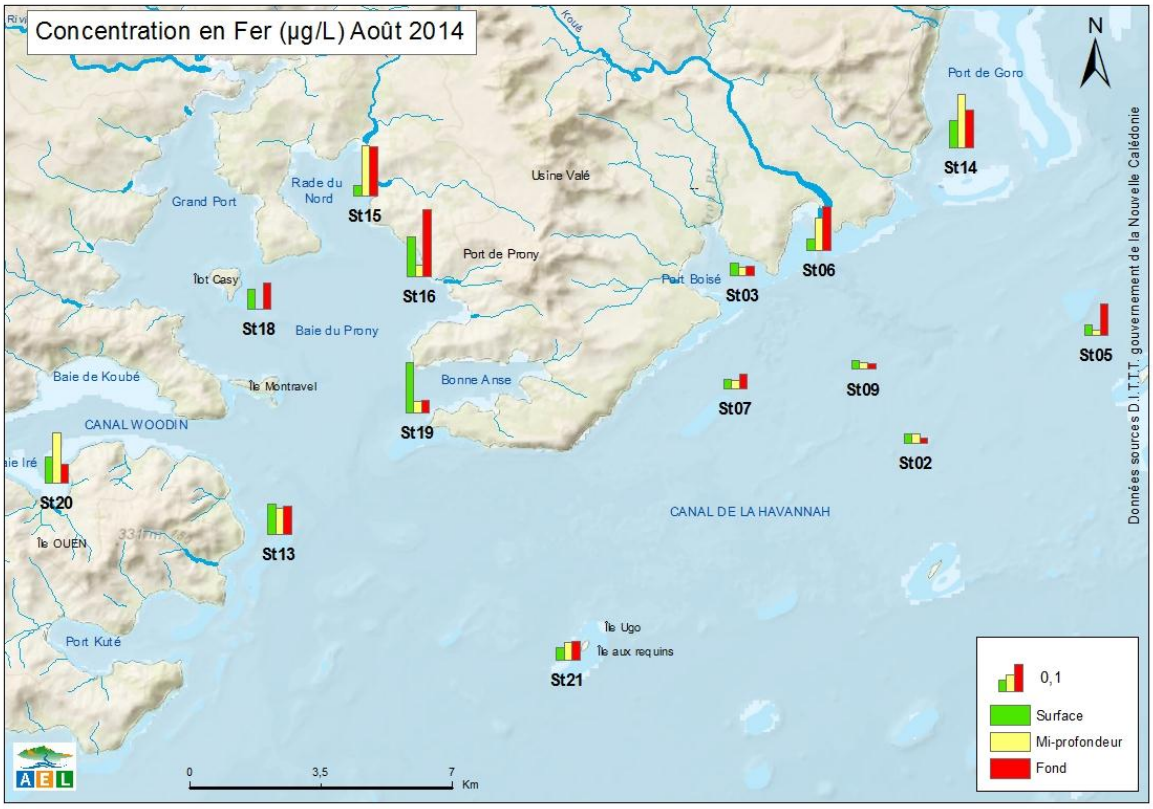

Figure 25 : Concentration en fer dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

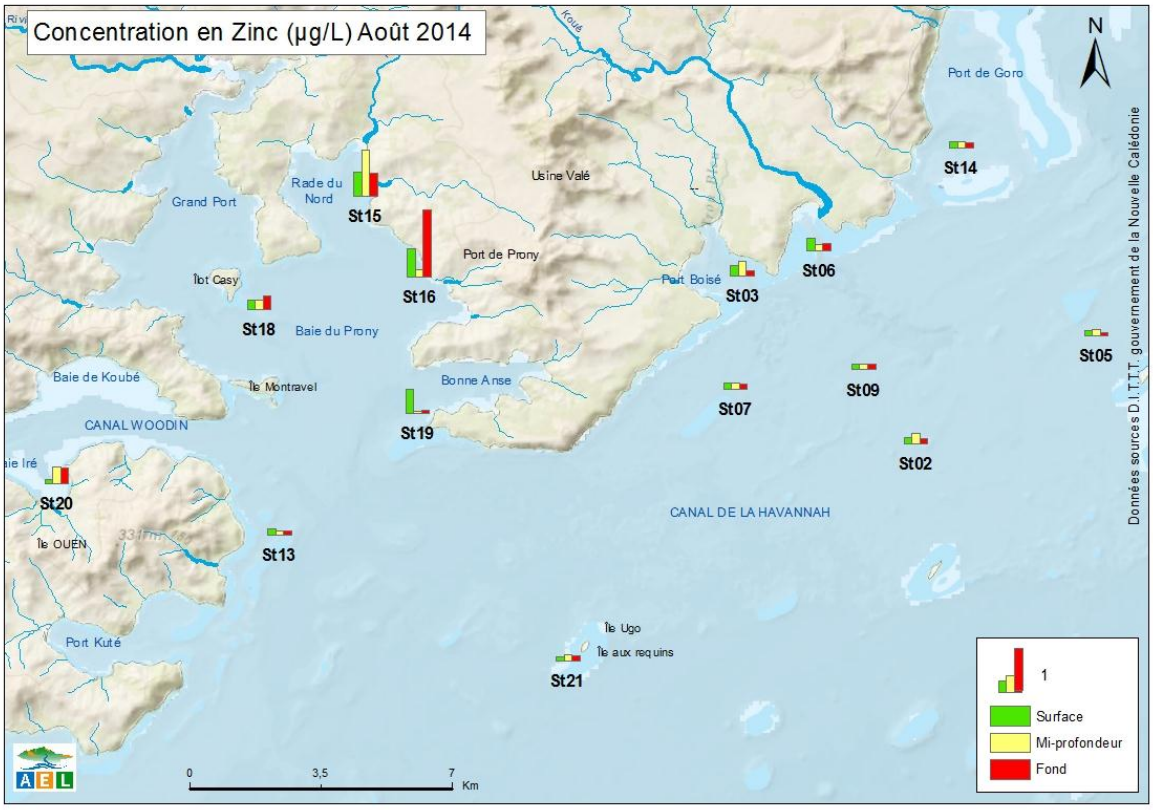

Figure 26 : Concentration en zinc dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014).

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations des métaux dissous Co, Cr(VI), Cu, Cr-total, Fe, Mn, Ni se distribuent selon un gradient « côte-large » décroissant mettant en évidence les stations influencées directement par les apports terrigènes des rivières et celles influencées par les apports océaniques.

La station St15, la plus influencée par les apports terrigènes des creeks de la Baie du Prony, montre les concentrations maximales des métaux dissous Co, Cr(VI) et Ni dans sa couche d'eau de surface particulièrement dessalée et turbide comparée aux autres stations. Cette station présente également un néphéloïde benthique dont la concentration en Mn est la plus élevé de la zone d'étude.

Le Cr-total réagit différemment des autres métaux car sa concentration est maximale dans la couche de surface de la station de la Baie de Port Boisé (St03) et la couche de fond de la station de la Baie Kwé (St06).

Les concentrations de Cu, Fe et Zn sont, quant à elles, maximales au niveau des eaux de fond de la station de Prony Wharf (St16) et pourraient être liées à l'activité portuaire de la zone.

Tableau 11 : Concentrations des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Crtotal et Cu) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

Station	Niveau	As (µg/L)	Co (µg/L)	Cr(VI) (µg/L)	Crtot (µg/L)	Cu (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	1	<LQ	0,087	0,106	<LQ
	Maximum	3	<LQ	0,104	0,202	<LQ
	Moyenne	2 ± 1	<LQ	0,096 ± 0,005	0,134 ± 0,029	<LQ
Baies Canal	Minimum	1	<LQ	0,094	0,116	<LQ
	Maximum	2	0,046	0,120	0,303	0,077
	Moyenne	2 ± 1	0,020 ± 0,014	0,107 ± 0,009	0,171 ± 0,068	0,026 ± 0,021
Baie du Prony	Minimum	1	<LQ	0,102	0,102	0,016
	Maximum	2	0,068	0,151	0,198	0,107
	Moyenne	2 ± 0	0,036 ± 0,018	0,129 ± 0,017	0,144 ± 0,030	0,055 ± 0,031
Ile Ouen	Minimum	1	<LQ	0,095	0,095	<LQ
	Maximum	2	0,033	0,146	0,148	0,041
	Moyenne	2 ± 1	0,018 ± 0,012	0,115 ± 0,019	0,124 ± 0,019	0,017 ± 0,013

Limite de quantification de l'As par le laboratoire de Rouen : LQ=1 µg/L

Tableau 12 : Concentrations des métaux dissous (Fe, Mn, Ni et Zn) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2014.

Station		Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,021	0,057	0,083	0,000	0,076
	Maximum	0,126	0,173	0,174	0,100	0,263
	Moyenne	0,046 ± 0,028	0,091 ± 0,031	0,113 ± 0,031	0,035 ± 0,038	0,153 ± 0,039
Baies Canal	Minimum	0,034	0,091	0,129	0,000	0,131
	Maximum	0,215	0,264	0,318	0,139	0,380
	Moyenne	0,106 ± 0,068	0,188 ± 0,053	0,236 ± 0,066	0,083 ± 0,045	0,213 ± 0,084
Baie du Prony	Minimum	0,040	0,014	0,085	0,000	0,061
	Maximum	0,270	0,454	0,519	0,290	1,790
	Moyenne	0,128 ± 0,082	0,266 ± 0,117	0,344 ± 0,117	0,104 ± 0,090	0,566 ± 0,510
Ile Ouen	Minimum	0,076	0,125	0,144	0,000	0,094
	Maximum	0,202	0,370	0,356	0,165	0,459
	Moyenne	0,120 ± 0,043	0,223 ± 0,110	0,233 ± 0,090	0,069 ± 0,077	0,225 ± 0,168

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 fraiche** ». 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 dans la Figure 27 et confronté avec les évolutions des sels nutritifs et métaux dissous.

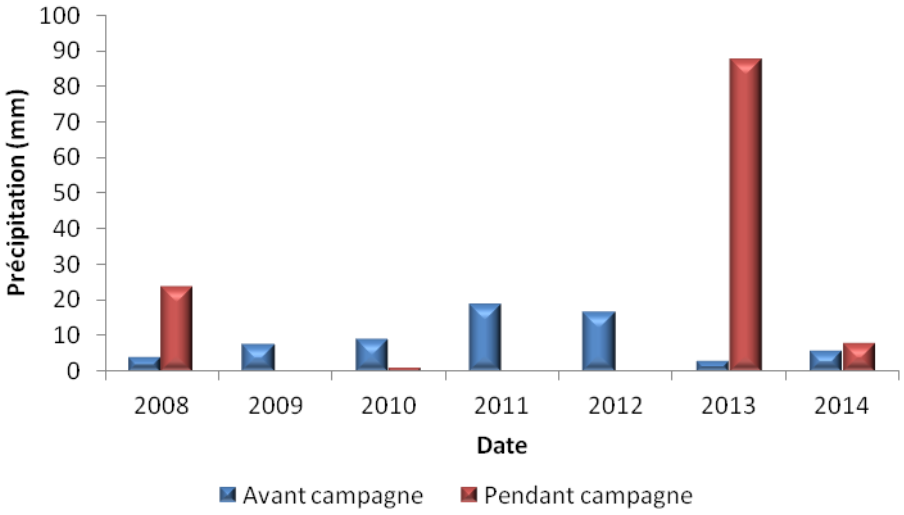

Figure 27 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraiche » de 2008 à 2014 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

A. Sels nutritifs

L'évolution des concentrations d'ammonium (NH_4) et de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) entre les différentes campagnes « saison fraiche » réalisées depuis 2007 a été reportée dans les Figure 28 et Figure 29. L'évolution de ces paramètres a été étudiée aux stations St05 (Ilot Kié), St09 (Canal de la Havannah), St06 (Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord).

1. Ammonium (NH_4)

Aux stations St05, St09 et St15, les concentrations mesurées montrent que les colonnes d'eaux respectives sont relativement homogènes d'une campagne « saison sèche » à l'autre depuis 2008. Pour les stations St05 et St09, les concentrations ont très légèrement augmenté entre 2008 et 2013. En effet, pour St05, les concentrations semblent avoir progressé régulièrement d'un facteur 4 à 6 entre 2008 et 2013. A la station St09, la concentration de surface (0,589 µmol/L) est jusqu'à 31 fois plus élevée que celles mesurées en 2008 (0,020 µmol/L). Entre août 2013 et 2014, les concentrations mesurées ont diminuées d'un facteur 3 pour la station St05 et St09, l'exception des concentrations mesurées en surface à la station où celle-ci a été divisée par 18. En effet, les concentrations maximales ont été mesurées lors de la campagne d'août 2013, en surface à la station St09 et également en mi-profondeur et au fond à la station St15. Hormis cette année exceptionnelle, les concentrations obtenues à la station St15 sont relativement faibles comparées à celles mesurées aux autres stations.

2. Nitrates + Nitrites (NO_3+NO_2)

Les concentrations de NO_2+NO_3 de la station St05 sont dispersées dans le temps et dans la colonne d'eau pour les campagnes 2011 et 2013, toutefois, globalement celles-ci ont légèrement tendance à augmenter entre 2008 et 2013. La concentration maximale a été mesurée à mi-profondeur en 2013 (0,885 µmol/L). En août 2014, les concentrations sont plus faibles que celles obtenues en 2013. Ces dernières sont relativement homogènes et similaires à celles mesurées en août 2009 et 2010.

A la station St09, les concentrations de NO_2+NO_3 ne diffèrent que très légèrement entre les différentes campagnes « saison sèche » depuis 2008.

Pour les stations St06 et St15, à l'exception des prélèvements de surface et mi-profondeur effectués en 2011 pour St06, les eaux de la Baie Kwé et de la Rade Nord sont très homogènes avec des niveaux de concentrations relativement faibles entre 2008 et 2012. En 2013, les concentrations en surface (1,013 ± 0,091 µmol/L) et au fond (0,838 ± 0,033 µmol/L) de St06 ont été multipliées par 2 environ par rapport à 2011. Pour la station St15, les concentrations sont également nettement plus élevées en 2013, notamment dans les eaux de fond (0,748 ± 0 ,037 µmol/L). Les concentrations mesurées à ces deux stations en août 2014 sont nettement plus faibles que celles de 2013. Par exemple, les concentrations de surface et mi-profondeur de la station St06 ont été divisées par 5 entre 2013 et 2014.

Ce qu'il faut retenir

Les précipitations observées pendant la dernière mission semestrielle « saison fraiche » d'août 2013 ont été responsables d'un lessivage des sols induisant un enrichissement des eaux en composés organiques minéralisables en sels nutritifs, phénomène particulièrement notable au niveau des stations de baies (St06 et St15).

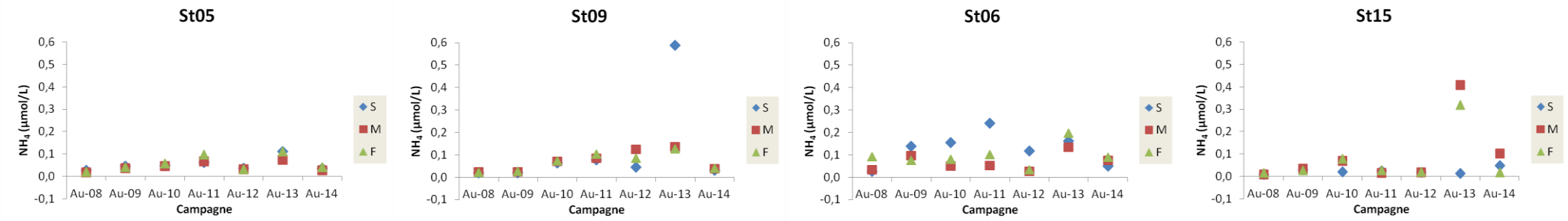

Figure 28 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

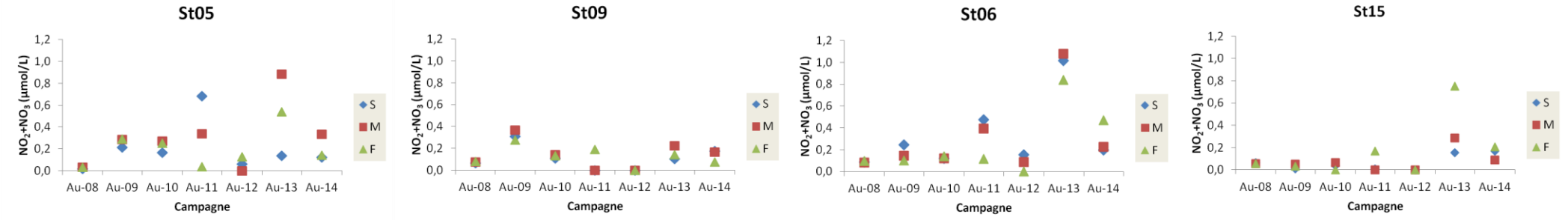

Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

B. Métaux 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 fraiche » réalisées depuis 2008 aux stations St03 (Port Boisé), St06 (Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord) a été reportée dans les Figure 30, Figure 31, Figure 32 et Figure 33.

L'évolution des concentrations de Cu et Zn entre les différentes campagnes « saison fraiche » réalisées depuis 2008 a été étudiée à la station St16 (Prony wharf).

L'évolution des concentrations de chrome (Cr(VI) et Cr-total) a été étudiée entre toute les campagnes semestrielles « saison chaude » et « saison fraiche » depuis mars 2009.

Station St03 (Port Boisé) et St06 (Baie Kwé)

Les concentrations de Co, Mn et Ni présentent les mêmes fluctuations entre les campagnes depuis 2008. En effet, les concentrations de mi-profondeur et fond ne varient que très peu entre les campagnes, alors qu'en surface, elles ont atteint des valeurs maximales en 2011 puis en 2013. En effet, les concentrations de Ni mesurées aux stations St03 (2,53 µg/L) et St06 en surface (2,99 µg/L), par exemple, sont 3 fois plus élevées que celles obtenues en 2011 (St03 : 0,75 µg/L ; St06 : 0,87 µg/L).

D'une manière générale, les concentrations de Cr(VI) sont systématiquement plus fortes dans les eaux de surface, à mi-profondeur et au fond, elles ne montrent pas d'évolution particulière entre les campagnes. Les concentrations maximales (1,40 µg/L pour St03 et 1,17 µg/L pour St06) sont mesurées dans les eaux de surface, en 2013. Celles-ci sont de 5 à 10 fois plus élevées que les concentrations obtenues lors des précédentes campagnes.

Station St15 (Prony Creek Rade Nord)

Les concentrations de Co et Mn suivent des distributions quasiment similaires entre les campagnes : les concentrations maximales sont mesurées pour les eaux de surface en 2011 (Mn = 0,72 µg/L ; Co = 0,11 µg/L), soit environ deux fois plus élevées que celles mesurées lors des autres campagnes.

Les concentrations de Ni des eaux de surface sont toujours plus élevées qu'à mi-profondeur et qu'au fond, mais elles sont quasiment du même ordre de grandeur à l'exception de la campagne d'août 2013. En effet, la concentration de Ni mesurée en surface (0,80 µg/L) est 9 et 3 fois plus forte que celles mesurées à mi-profondeur (0,09 µg/L) et au fond (0,30 µg/L), respectivement. Cette dernière correspond à la valeur maximale mesurée depuis 2008.

Entre 2008 et 2012, à l'exception de la concentration mesurée dans les eaux de surface en 2009, les concentrations de Cr(VI) ont très peu varié. En 2013, les concentrations mesurées aux 3 niveaux de profondeur (S = 0,69 µg/L ; M = 0,30 µg/L ; F = 0,26 µg/L) sont les maximums respectifs mesurés à cette station depuis 2008.

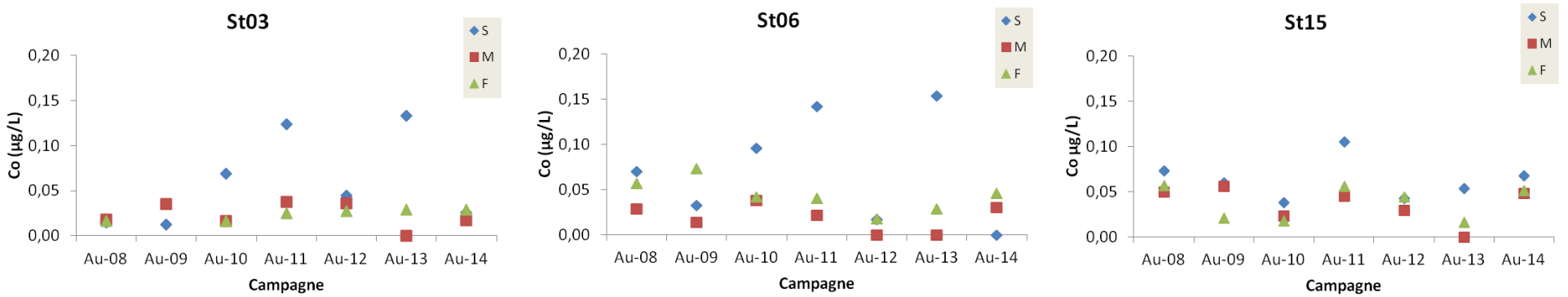

Figure 30 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

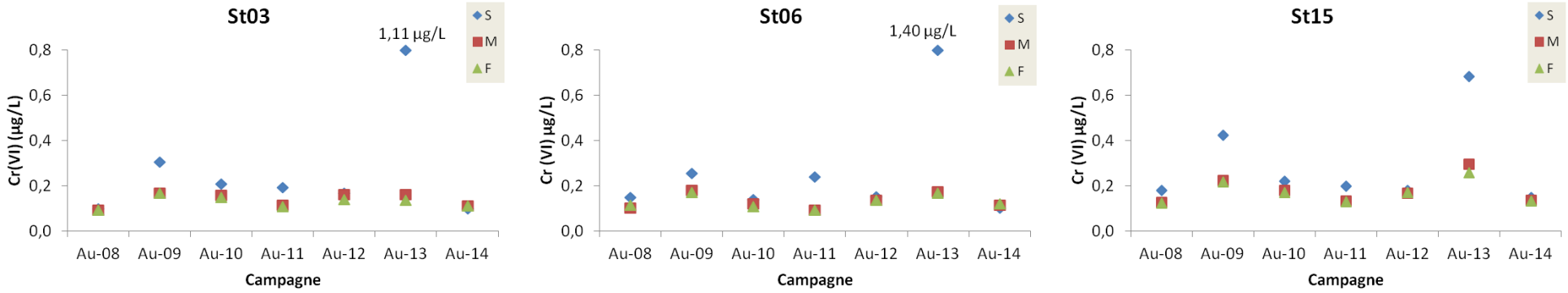

Figure 31 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

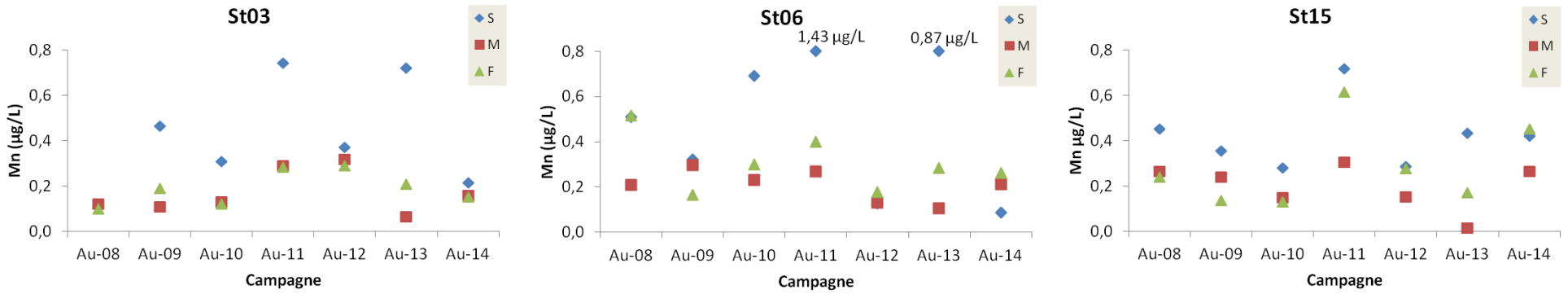

Figure 32 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2008 à 2014).

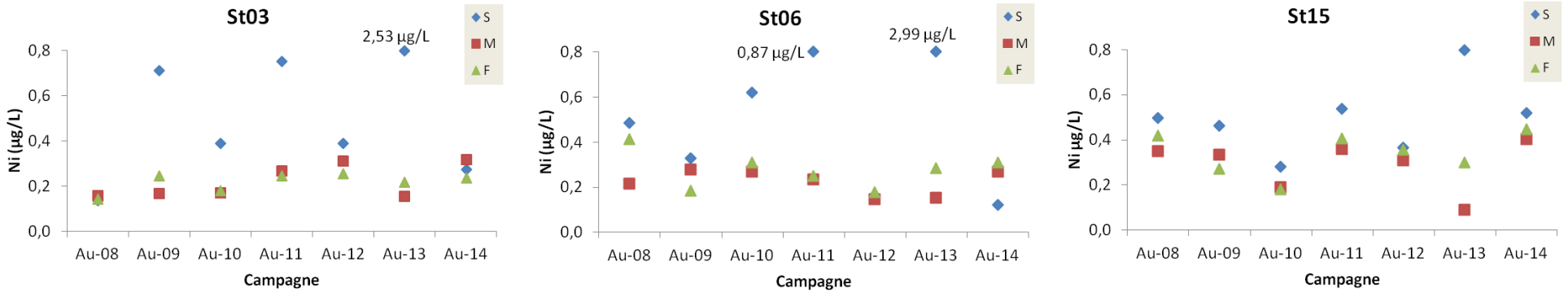

Figure 33 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2008 à 2014).

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 fraiche » réalisées depuis 2008 aux stations St05 (Ilot Kié), St07 (Récif Ioro) et St09 (Canal de la Havannah) a été reportée dans les Figure 34, Figure 35, Figure 36 et Figure 37.

Les concentrations des métaux mesurées aux stations du Canal de la Havannah sont 2 à 4 fois plus faibles que celles des stations des baies (St03, St06 et St15).

La plupart des concentrations de Co mesurées aux stations St05 et St09 sont inférieures aux limites de quantification, seules les valeurs des campagnes 2008 et 2009, pour les eaux de surface, étaient quantifiables. A la station St07, compte tenu des niveaux de concentration, les valeurs pour Co peuvent être considérées comme stables entre 2008 et 2012, exception faite des eaux de surface (0,06 µg/L) prélevées en 2009. Les concentrations mesurées en 2013 et 2014 n'ont pas été quantifiées.

A ces trois stations du Canal, les concentrations de Cr(VI), Mn et Ni ne montrent pas d'évolution particulière au cours du temps et sont même remarquablement stables entre les différentes campagnes depuis 2008. Par exemple, les concentrations de Ni mesurées en surface à la station St05 s'élèvent à 0,09 µg/L depuis 5 campagnes.

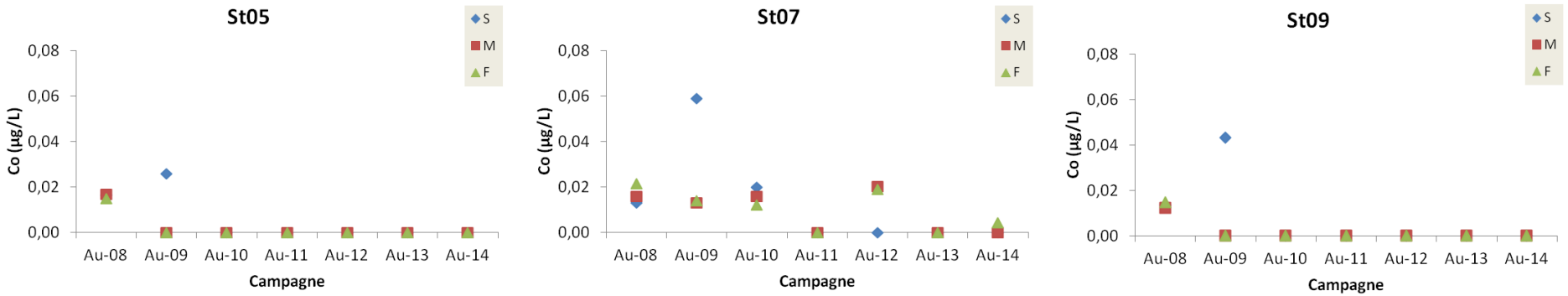

Figure 34 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

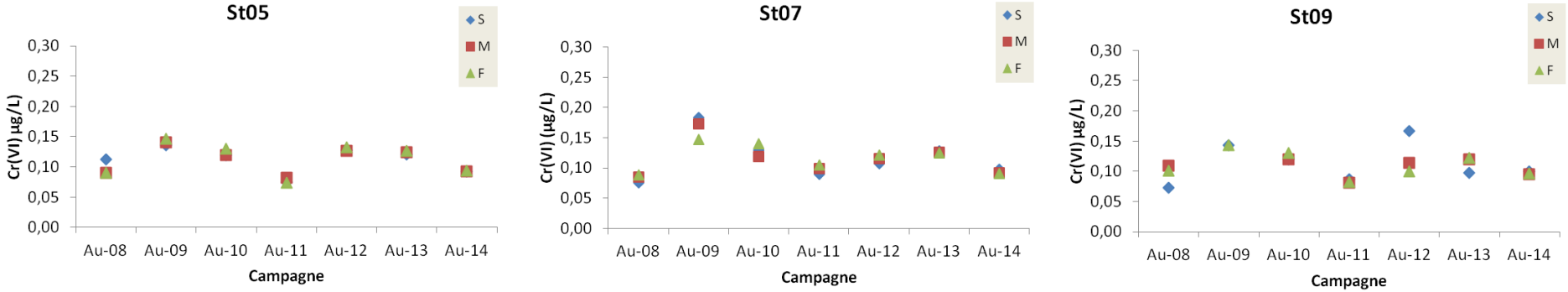

Figure 35 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

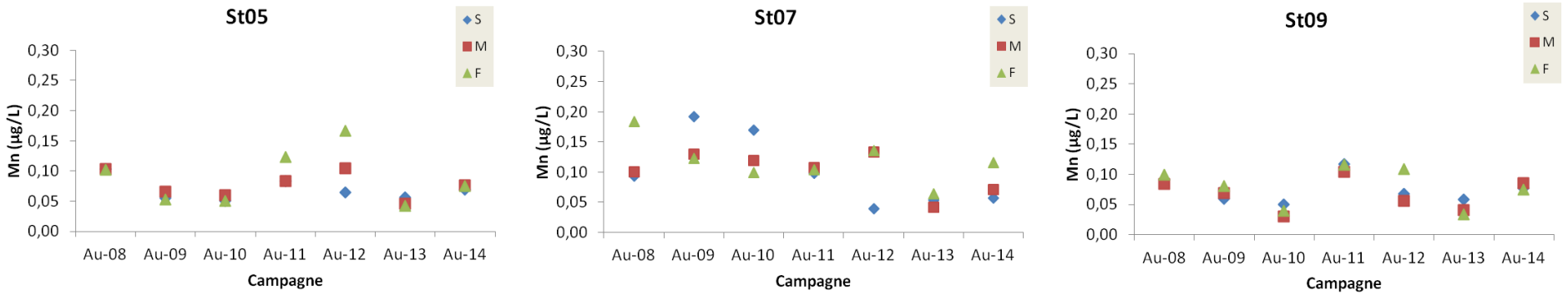

Figure 36 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

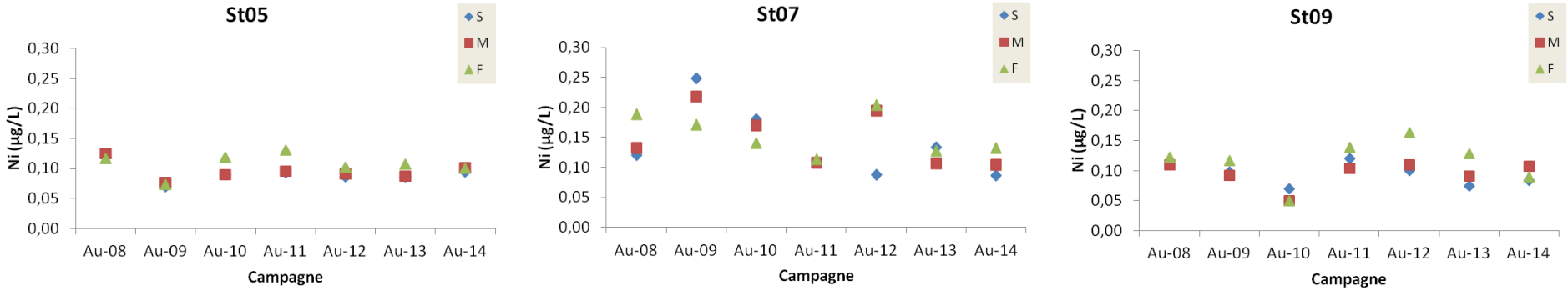

Figure 37 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

3. Distribution verticale des concentrations de chrome dissous à la station de la baie d'Iré (St20)

L'évolution des concentrations de chrome (Cr(VI) et Cr-total) entre les différentes campagnes « saison chaude » et « saison fraiche » réalisées depuis 2009 à la station St20 a été reportée dans la Figure 38.

Les concentrations de Cr(VI) mesurées entre les campagnes de mars 2009 et mars 2013 ne montrent pas de tendance particulière. Celles-ci varient entre 0,09 et 0,22 µg/L et ne présentent pas de différence entre les trois niveaux de profondeur échantillonnées. En août 2013, les concentrations de Cr(VI) sont les maximales obtenues depuis le début des campagnes semestrielles et ce, pour les trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = 0,41 µg/L ; M = 0,28 µg/L ; F = 0,29 µg/L). Cette hausse des concentrations de Cr(VI) résulte de l'intensification du lessivage des sols due aux fortes précipitations ayant eu lieu pendant la campagne. Cette même hausse a également été remarquée au niveau des stations de baies (St03, St06 et St15). Les concentrations de Cr(VI) mesurées lors des deux dernières campagnes de 2014 (Avril 2014 = 0,19 ± 0,02 µg/L ; Août 2014 = 0,13 ±0,02 µg/L) retrouvent les niveaux de base, c'est-à-dire du même ordre de concentrations que celles obtenues entre mars 2009 et mars 2013 (0,14 ± 0,04 µg/L).

Les concentrations de Cr-total sont plus dispersées que celles de Cr(VI). On constate une diminution des concentrations entre les campagnes de mars 2009 à mars 2010, notamment pour la concentration de surface ayant diminuée d'un facteur 2 (0,40 à 0,19 µg/L). Entre mars 2010 et avril 2014, les concentrations ne présentent pas de tendance particulière à l'exception de pics mesurés lors des campagnes de mars 2011 (S = 0,74 µg/L) et août 2013 (S = 0,43 µg/L ; F = 0,74 µg/L).

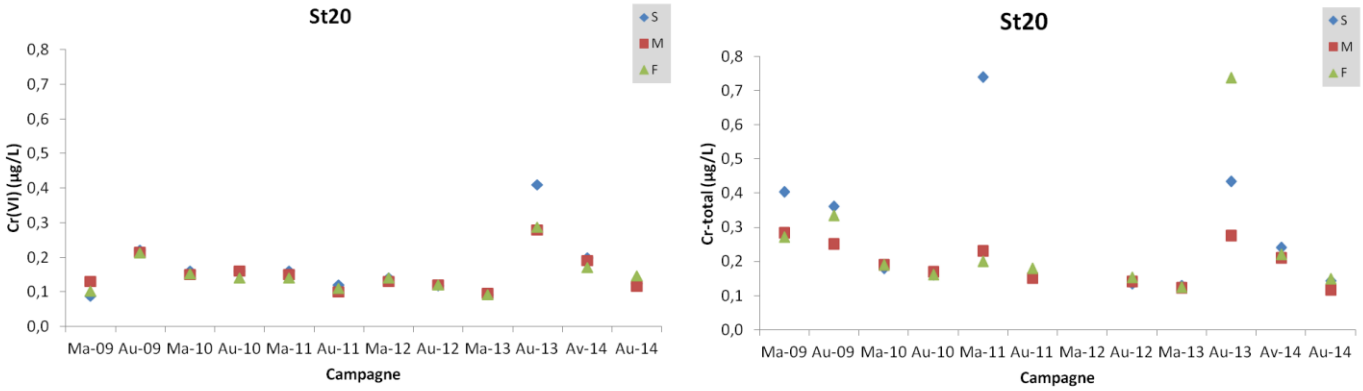

Figure 38 : Concentrations de chrome (Cr(VI) et Cr-total) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) à la station St20 depuis mars 2009.

4. Distribution verticale des concentrations de cuivre et zinc dissous à la station de Prony wharf (St16)

L'évolution des concentrations de Cu et Zn entre les différentes campagnes « saison fraiche » réalisées depuis 2008 aux a été illustrées dans la Figure 39.

Remarque : *l'évolution des concentrations de Cu réalisée depuis le début des campagnes à la station St16, et ce pour les campagnes « saison fraiche » et « saison chaude », se trouvent dans le rapport des campagnes trimestrielles 2014 effectué sur les stations St15 et St16.*

Les concentrations de Cu ne montrent pas de tendance particulière entre les campagnes « saison fraiche ». On peut cependant constater deux pics de concentrations lors des campagnes d'août 2008 (S = 0,18 µg/L) et d'août 2014 (0,11 µg/L).

Les concentrations de Zn étant tellement dispersées, aucune tendance n'a pu être dégagée de l'étude de leur évolution, cet élément par ailleurs connu pour poser des problèmes analytiques récurrents.

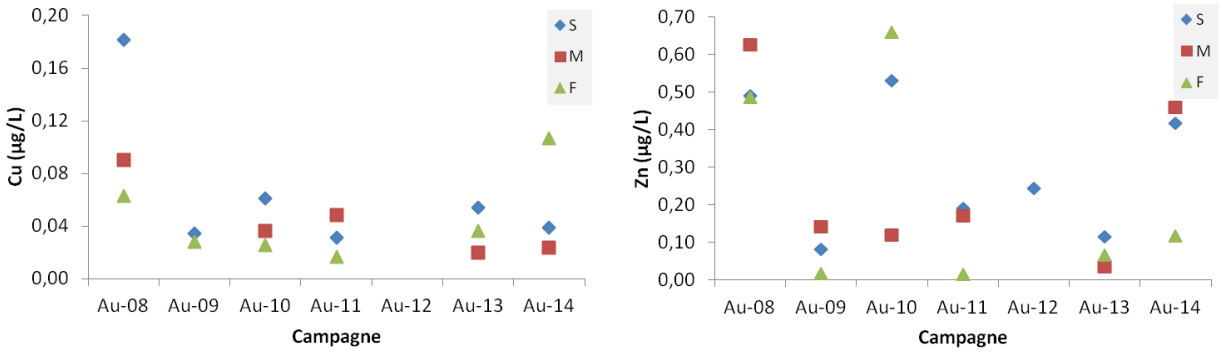

Figure 39 : Concentrations de cuivre et zinc dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) à la station St16 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014).

Ce qu'il faut retenir

Les précipitations de la mission semestrielle « saison fraiche » 2013 sont responsables d'un lessivage des sols induisant un enrichissement notable des eaux de surface en métaux dissous tels que le Cr(VI) et Ni à la station St15 et les métaux dissous Co, Cr(VI), Mn et Ni, particulièrement décelables aux stations St03 et St06 ainsi que pour le Cr(VI) à la station St20 (Baie d'Iré).

Un enrichissement des eaux de surface de ces mêmes stations en Co, Mn et Ni est également mis en évidence lors de la campagne d'août 2011. Celui-ci est nettement moins corrélé aux précipitations mais doit probablement être le résultat de la combinaison de plusieurs épisodes météorologiques et hydrodynamiques entrainant une accentuation du lessivage des sols (ex : horaire de prélèvement, type de marée, vent…).

A l'exception de ces pics momentanés de concentrations dans les eaux de surface pour Co, Cr(VI), Mn et Ni, les concentrations restent relativement stables entre les campagnes et ne montrent pas de tendance particulière.

Pour les stations, St05, St07 et St09, les concentrations sont remarquablement stables depuis le début des campagnes semestrielles « saison fraiche ».

Aucune tendance n'a été dégagée de l'étude de l'évolution temporelle des métaux dissous Cu et Zn en « saison fraiche ».

CONCLUSION

Les principales variations des variables physico-chimiques et des concentrations de certains paramètres étudiés (NH_4, NO_3+NO_3, SiO_4, NOD, NOP, COP, POP, Co, Cr(VI), Cr-total, Cu, Fe, Mn et Ni) mettent en évidence de façon plus ou moins prononcée les apports terrigènes des creeks dans les baies du Prony, Kwé et de Port Boisé. Les concentrations de ces paramètres présentent un gradient décroissant de la côte vers le large.

Dans la Baie du Prony, la station St15, la plus proche de l'embouchure des creeks présente les plus fortes variations avec une nette stratification des eaux isolant la couche de surface où la salinité y est plus faible et la turbidité plus élevée. Cette couche présente également les concentrations maximales des métaux dissous Co, Cr(VI), Ni, POP et SiO_4. A cette station, un néphéloïde benthique est également bien distingué et présente la concentration de Mn maximale de la zone d'étude. Les Baies de Kwé et de Port Boisé diffèrent de la Baie du Prony. En effet, les concentrations de NH_4, NO_3+NO_2 et Cr-total y sont plus élevées qu'en Baie du Prony.

La station St16 (Prony) montre, quant à elle, les concentrations maximales de Cu, Fe et Zn de la zone d'étude dans ses eaux de fond. Ces concentrations pourraient être liées à l'activité portuaire de l'usine.

Des niveaux relativement élevés de NO_3+NO_2 ont été relevés à la station de la Baie d'Iré. Ceux-ci sont difficilement explicables mais restent à surveiller.

L'évolution temporelle des sels nutritifs (NH_4, NO_3+NO_2) et métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn, Ni et Zn) ne montre pas de tendance particulière depuis le début des campagnes semestrielles « saison fraiche ». Cependant, des pics momentanés de concentrations de surface de métaux dissous (Co, Cr(VI), Mn et Ni) mettent en évidence une intensification des apports terrigènes dus à des phénomènes météorologiques (précipitations) et hydrodynamiques (ex : horaire de prélèvement, type de marée, vent…).

REFERENCES

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

Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T (2011). Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 p.

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.

Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems, Aquatic Living Resources, 18: 125-147.

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

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

Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Malet A, Fernadez 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, Fernadez 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., Senia J., Pluchino S., Raynal A., Kumar-Roiné S., Fernandez JM., 2014. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2ième semestre 2013. Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 84p.

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

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

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

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

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

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 8

Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (31/07/14 au 04/08/14) la campagne et pendant la campagne semestrielle (5-7/08/14). 10

Figure 3 : Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'août 2014 reportée sur le marégramme du 5 au 7 août 2014. 10

Figure 4 : Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 13

Figure 5 : Profils de température des stations échantillonnées dans les Baies du Canal de la Havannah et la Baie du Prony lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 14

Figure 6 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 15

Figure 7 : Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 17

Figure 8 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 19

Figure 9 : Concentration des matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 21

Figure 10 : Concentration en ammonium dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 24

Figure 11 : Concentration en nitrates+nitrites dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 25

Figure 12 : Concentration en silicates dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 26

Figure 13 : Concentration en azote organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 28

Figure 14 : Concentration en phosphore organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 29

Figure 15 : Concentration en azote organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 30

Figure 16 : Concentration en carbone organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 30

Figure 17 : Concentration en phosphore organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014) 31

Figure 18 : Concentration en chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014) 32

Figure 19 : Concentration en cobalt dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014) 37

Figure 20 : Concentration en manganèse dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014) 37

Figure 21 : Concentration en nickel dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014) 38

Figure 22 : Concentration en chrome hexavalent dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 38

Figure 23 : Concentration en chrome total dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014) 39

Figure 24 : Concentration en cuivre dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014) 39

Figure 25 : Concentration en fer dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 40

Figure 26 : Concentration en zinc dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 40

Figure 27 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraiche » de 2008 à 2014 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ». 42

Figure 28 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014). 44

Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014). 44

Figure 30 : 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 fraiche » (2008 à 2014). 46

Figure 31 : 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 fraiche » (2008 à 2014). 46

Figure 32 : 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 » (2008 à 2014). 47

Figure 33 : 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 » (2008 à 2014). 47

Figure 34 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014). 49

Figure 35 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014). 49

Figure 36 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014). 50

Figure 37 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014). 50

Figure 38 : Concentrations de chrome (Cr(VI) et Cr-total) mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) à la station St20 depuis mars 2009. 51

Figure 39 : Concentrations de cuivre et zinc dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) à la station St16 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2014). 52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste et position des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie..... 9

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 d'août 2014. 20

Tableau 3 : Concentrations des MES dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle (août 2014)..... 22

Tableau 4 : Concentrations des éléments majeurs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie et valeurs du pH mesurées lors de la campagne semestrielle (août 2014). 23

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014)..... 27

Tableau 6 : Concentrations de l'azote et phosphore organiques dissous et de l'azote, carbone et phosphore organiques particulaires dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014). 31

Tableau 7 : Concentrations de chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (août 2014)..... 33

Tableau 8 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations des métaux dissous (Co, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 34

Tableau 9 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations du chrome dissous (Cr(VI) et Cr-total) lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 34

Tableau 10 : Précision des mesures obtenues sur les concentrations de l'arsenic dissous lors de la campagne semestrielle d'août 2014..... 35

Tableau 11 : Concentrations des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Crtotal et Cu) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 41

Tableau 12 : Concentrations des métaux dissous (Fe, Mn, Ni et Zn) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2014. 41

ANNEXES

ANNEXE 1 : Méthodologie

ANNEXE 2 : Concentrations des éléments majeurs, du pH et de la concentration en MES

ANNEXE 3 : Concentrations des sels nutritifs

ANNEXE 4 : Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale et de chlorophylle *a*

ANNEXE 5 : Concentrations des métaux dissous dans la colonne d'eau

ANNEXE 6 : Concentrations d'arsenic dissous dans la colonne d'eau (avril 2014)

ANNEXE 7 : Compilation des concentrations de sels nutritifs des campagnes « saison fraiche » de 2008 à 2014

ANNEXE 8 : Compilation des concentrations de matière organique dissoute et particulaire des campagnes « saison fraiche » de 2008 à 2014

ANNEXE 9 : Compilation des concentrations de chlorophylle *a* des campagnes « saison fraiche » de 2008 à 2014

ANNEXE 10 : Compilation des concentrations de métaux dissous des campagnes « saison fraiche » de 2008 à 2014

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

Eléments majeurs, MES et pH

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

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

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

Structures des masses d'eau

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

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

- La pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- La salinité, déduite de la mesure de la conductivité ;
- La température (°C) ;
- La turbidité par mesure de la néphélométrie exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- La fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m^3, permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1 : Spécifications des paramètres de la sonde.

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

Sels nutritifs

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

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH_4). Chaque niveau échantillonné a fait l'objet d'un triplicat ;
- PEHD et stockage en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates+nitrites (NO_3 + NO_2) et de phosphates (PO_4) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et le phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C. Chaque niveau de profondeur échantillonné a fait l'objet d'un triplicat ;
- PEHD ambrés et sont filtré sur des filtres Whatman® GF/F (porosité 0,7 µm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire et le phosphore organique particulaire.

Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_3) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des nitrates est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenu par réduction des ions nitrates. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrites+nitrates (NO_3 + NO_2) par photométrie (Oudot & Montel, 1988), le dosage des ions nitrites est obtenu directement. Cependant, les concentrations en nitrites dans les eaux de surfaces restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0,025 et 1 µM avec des limites de quantification d'environ 0,02 µM.

Ammonium

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

Phosphates

Le dosage des orthophosphates (PO_4) a été effectué selon la méthode de Murphy & Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide (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 0,025 et 0,75 µM avec des limites de quantification d'environ 0,01 µM.

Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de Mullin and 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 µM, la limite de quantification est de 0,05 µM et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µM de Si.

Matière 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 nitrates+nitrites et les phosphates. Pour l'azote organique dissous, le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 40 µM et la limite de détection est de 0,130 µM. Pour le phosphore organique dissous, le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 7 µM et la limite de quantification est de 0,010 µM. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, 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 (porosité 0,7 µm). Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les nitrates+nitrites et les phosphates. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée (Raimbault et al., 1990) est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et 40 µM avec des limites de quantification de 0,13 µM pour l'azote organique particulaire et entre 0,75 et 7 µM avec des limites de quantification de 0,010 µM pour le phosphore organique particulaire.

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

$$[NOP] = [NO_3 + NO_2]_t \times V_1/V_2$$
$$[POP] = [PO_4]_t \times V_1/V_2$$

Soit :

- [NOP] et [POP] = les concentrations respectives en azote et phosphate particulaires ;
- $[NO_3 + NO_2]_t$ et $[PO_4]_t$ = les concentrations respectives en nitrates+nitrites et phosphates mesurées après oxydation au persulfate ;
- V_1 = le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V_2 le volume d'eau de mer filtré (mL).

Carbone organique particulaire

L'analyse des filtres a été conduite sur un analyseur CHN 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 (porosité 0,7 µm). Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

Les dosages ont été effectués par la méthode fluorométrique de Lorenzen (1966) qui présente une très grande sensibilité. Les pigments chlorophylliens sont extraits du filtre par un solvant organique, leur détection s'effectue, après excitation dans un faisceau lumineux à 450 nm, par mesure de la fluorescence émise à 670 nm (ce principe est identique à celui utilisé par le capteur de fluorescence *in-situ* équipant la sonde multiparamètrique 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 10 ng/L.

Analyse des métaux dissous dans la colonne d'eau

Conditionnement et analyse

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

- Les échantillons du premier lot ont été filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore®, qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments Cr(total)/Cr(VI) effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire de AEL ;
- les échantillons du deuxième lot ont été filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore®, qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons ont été envoyés au laboratoire de Rouen pour l'analyse des éléments dissous As par ICP-MS (NF EN ISO 17294-2) et Hg par spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 17852) ;
- les échantillons du troisième lot ont été directement filtrés à 0,45 µm en ligne (filtres Millipore®, qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les percolations terminées, chaque colonne de résine a été bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer®) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux ont été élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2M). L'analyse des éléments dissous Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn a ensuite été effectuée par ICP-OES (Marque Varian, modèle Vista).

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

Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.

Elément	LQ (µg/L)
As	0,100
Cd	0,020
Co	0,012
Cr(VI)	0,050
Cu	0,015
Fe	0,011
Hg	0,005
Mn	0,011
Ni	0,012
Pb	0,500
Zn	0,015

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

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 zinc (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. MESUREE	0,022	0,088	0,267	1,00	2,56	0,30	<0,1	1,68
Ecart-type	0,003	0,008	0,031	0,06	0,05	0,02		0,16
Conc. CERTIFIEE	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

ANNEXE 2

CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS, DU pH ET DE LA CONCENTRATION EN MES

Concentrations des éléments majeurs (Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Na^{+}, Cl^{-} et SO_4^{2-}), du pH et des MES des 14 stations de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m.

Station	Niveau	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	pH	MES (mg/L)
St02	S	429	387	1385	12847	21020	2801	8,4	0,17
St02	M	452	399	1469	12940	20278	2767	8,4	0,59
St02	F	435	394	1427	12826	19306	2684	8,41	ND
St03	S	441	393	1437	12765	20081	2814	8,38	0,56
St03	M	429	387	1397	12776	19947	2789	8,39	ND
St03	F	439	393	1440	12779	19621	2736	8,4	0,47
St05	S	439	394	1438	12866	20019	2680	8,4	ND
St05	M	441	392	1434	12714	19689	2750	8,41	0,15
St05	F	428	389	1393	12769	19978	2857	8,4	0,17
St06	S	430	388	1401	12819	20565	2832	8,36	0,64
St06	M	432	386	1404	12637	19997	2792	8,39	0,52
St06	F	427	388	1389	12718	20358	2884	8,35	1,00
St07	S	426	387	1383	12648	19452	2614	8,38	0,21
St07	M	429	383	1390	12703	19767	2628	8,35	0,26
St07	F	427	385	1389	12860	20042	2611	8,38	0,81
St09	S	433	385	1411	12809	19932	2673	8,38	0,36
St09	M	428	389	1396	12866	20596	2855	8,38	ND
St09	F	440	390	1438	12817	20770	2842	8,39	0,26
St13	S	426	390	1389	12692	20860	2936	8,36	0,26
St13	M	426	390	1382	12667	20713	2936	8,36	0,17
St13	F	425	390	1387	12782	20649	2852	8,15	ND
St14	S	444	395	1449	12723	20157	2740	8,38	0,27
St14	M	435	390	1417	12779	19551	2737	8,38	0,33
St14	F	430	390	1399	12792	20041	2749	8,38	0,25
St15	S	442	396	1449	12617	20074	2798	8,35	0,14
St15	M	424	391	1391	12901	20088	2829	8,33	0,13
St15	F	426	395	1392	12871	20278	2806	8,35	0,12
St16	S	429	394	1402	12762	20388	2863	8,36	0,24
St16	M	432	400	1412	12780	20400	2859	8,36	0,36
St16	F	450	404	1468	12836	20297	2875	8,33	0,21
St18	S	440	392	1434	12801	19749	2815	8,36	0,22
St18	M	430	392	1405	12731	19751	2751	8,35	0,11
St18	F	447	401	1471	12804	19557	2676	7,97	0,33
St19	S	432	394	1415	12813	21017	2988	7,93	0,10
St19	M	429	396	1394	12755	20191	2839	8,35	0,23
St19	F	433	396	1407	12769	20440	2904	8,35	0,53

Station	Niveau	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	pH	MES (mg/L)
St20	S	440	394	1427	12791	19598	2673	8,34	0,17
St20	M	448	398	1456	12830	20200	2771	8,33	0,29
St20	F	444	399	1452	12692	21178	2945	8,08	0,16
St21	S	431	388	1400	12771	20638	2768	8,39	0,32
St21	M	448	395	1466	12789	20524	2690	8,39	0,18
St21	F	443	392	1448	12934	21306	2917	8,4	0,93

ANNEXE 3

CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS

Concentrations moyennes (n=3) des sels nutritifs (NO_3+NO_2, NH_4, PO_4, SiO_4) des 14 stations de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m.

Station	Niveau	NH_4 (µmol/L)	NO_3+NO_2 (µmol/L)	PO_4 (µmol/L)	Si (µmol/L)
St02	S	0,043	1,489	<LQ	1,42
St02	M	0,034	0,158	<LQ	1,32
St02	F	0,030	0,078	<LQ	1,51
St03	S	0,059	0,415	<LQ	2,13
St03	M	0,058	0,101	<LQ	1,97
St03	F	0,064	0,567	<LQ	2,14
St05	S	0,037	0,123	<LQ	1,42
St05	M	0,028	0,334	<LQ	1,38
St05	F	0,040	0,145	<LQ	1,68
St06	S	0,050	0,196	<LQ	1,60
St06	M	0,075	0,224	<LQ	2,53
St06	F	0,091	0,470	0,064	2,32
St07	S	0,032	<LQ	<LQ	1,52
St07	M	0,045	0,252	<LQ	1,50
St07	F	0,048	0,165	<LQ	1,61
St09	S	0,031	0,174	<LQ	1,54
St09	M	0,039	0,169	<LQ	1,60
St09	F	0,041	0,077	<LQ	1,51
St13	S	0,045	0,143	<LQ	1,97
St13	M	0,050	0,250	<LQ	1,59
St13	F	0,073	0,183	0,09	1,96
St14	S	0,038	0,199	<LQ	1,81
St14	M	0,054	0,119	<LQ	1,62
St14	F	0,073	0,644	<LQ	1,83
St15	S	0,048	0,169	<LQ	3,31
St15	M	0,100	0,086	<LQ	2,88
St15	F	0,018	0,207	<LQ	2,80
St16	S	0,016	0,053	<LQ	2,56
St16	M	0,015	<LQ	<LQ	2,62
St16	F	0,063	<LQ	<LQ	3,31
St18	S	0,030	ND	<LQ	2,01
St18	M	0,035	0,382	<LQ	1,94
St18	F	0,028	0,181	<LQ	2,05
St19	S	0,018	0,321	<LQ	2,49
St19	M	0,037	0,156	<LQ	2,86
St19	F	0,063	ND	<LQ	2,80

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

Station	Niveau	NH_4 (µmol/L)	NO_3+NO_2 (µmol/L)	PO_4 (µmol/L)	Si (µmol/L)
St20	S	0,060	1,048	<LQ	2,28
St20	M	0,055	1,201	<LQ	2,35
St20	F	0,056	0,218	<LQ	3,46
St21	S	0,028	0,179	<LQ	1,76
St21	M	0,016	<LQ	<LQ	1,74
St21	F	0,029	0,305	<LQ	1,76

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

ANNEXE 4

CONCENTRATIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE DISSOUTE, PARTICULAIRE ET TOTALE ET DE CHLOROPHYLLE A

Concentrations de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD), de l'azote, du carbone et du phosphore organiques particulaires (COP, NOP et POP) et de l'azote et phosphore total (NT et PT) des 14 stations de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux avec profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m.

Station	Niveau	NOD (µmol/L)	NOP (µmol/L)	POD (µmol/L)	POP (µmol/L)	COP (µmol/L)	NT (µmol/L)	PT (µmol/L)	CHL (µg/L)
St02	S	5,29	0,54	0,160	0,023	4,5	7,36	15,05	0,230
St02	M	4,97	0,66	0,266	0,020	6,1	5,82	13,51	0,360
St02	F	5,95	0,65	0,268	0,035	5,8	6,72	14,41	0,218
St03	S	5,71	0,74	0,282	0,036	7,4	6,21	13,90	0,279
St03	M	5,11	0,63	0,282	0,027	7,4	5,90	13,59	ND
St03	F	4,75	0,71	0,212	0,034	10,5	6,09	13,78	ND
St05	S	5,41	0,59	0,283	0,025	15,4	6,16	13,85	0,386
St05	M	5,10	0,94	0,231	0,028	19,1	6,40	14,09	ND
St05	F	7,33	0,61	0,321	0,030	6,9	8,12	15,82	0,071
St06	S	5,32	0,53	0,285	0,024	9,6	6,09	13,78	0,403
St06	M	5,86	0,43	0,323	0,017	11,3	6,58	14,27	0,100
St06	F	5,01	0,54	0,204	0,022	4,6	6,11	13,80	0,268
St07	S	5,40	0,34	0,182	0,047	4,0	5,77	13,46	ND
St07	M	5,30	0,56	0,265	0,030	8,0	6,16	13,85	0,239
St07	F	6,00	0,41	0,272	0,019	9,6	6,62	14,31	0,112
St09	S	4,93	0,51	0,295	0,022	8,9	5,64	13,34	0,167
St09	M	5,31	0,50	0,263	0,022	4,4	6,01	13,70	0,312
St09	F	6,11	0,54	0,288	0,023	7,4	6,76	14,45	0,175
St13	S	5,98	0,92	0,176	0,038	5,5	7,09	14,78	0,178
St13	M	6,01	0,88	0,248	0,037	9,2	7,19	14,89	0,125
St13	F	6,45	0,65	0,191	0,039	ND	7,36	15,05	0,142
St14	S	5,14	1,04	0,264	0,043	8,6	6,45	14,14	0,185
St14	M	5,85	0,77	0,234	0,037	21,0	6,79	14,49	0,011
St14	F	5,52	0,73	0,212	0,054	17,3	6,97	14,66	0,365
St15	S	5,76	1,02	0,098	0,072	22,7	6,99	14,69	ND
St15	M	6,64	1,27	0,249	0,055	15,8	8,10	15,79	0,228
St15	F	5,40	1,02	0,229	0,059	19,0	6,65	14,34	0,418
St16	S	6,40	1,09	0,236	0,055	22,2	7,56	15,25	0,207
St16	M	6,42	1,02	0,201	0,067	21,0	7,46	15,15	0,457
St16	F	8,62	0,89	0,198	0,044	19,6	9,57	17,26	0,246
St18	S	ND	0,59	0,288	0,023	4,5	6,91	14,61	0,311
St18	M	5,82	0,60	0,198	0,030	5,1	6,84	14,53	0,184
St18	F	6,65	0,77	0,179	0,032	5,4	7,63	15,32	0,130
St19	S	6,88	0,82	0,252	0,031	17,0	8,04	15,73	0,341
St19	M	6,88	0,96	0,259	0,037	8,6	8,03	15,72	0,382
St19	F	5,44	1,27	0,206	0,059	20,1	9,14	16,84	0,179

ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

Station	Niveau	NOD (µmol/L)	NOP (µmol/L)	POD (µmol/L)	POP (µmol/L)	COP (µmol/L)	NT (µmol/L)	PT (µmol/L)	CHL (µg/L)
St20	S	5,56	0,72	0,262	0,028	19,8	7,39	15,08	0,327
St20	M	5,60	0,68	0,293	0,041	4,9	7,54	15,23	0,397
St20	F	5,83	0,62	0,280	0,029	6,2	6,72	14,42	0,284
St21	S	4,44	0,95	0,244	0,032	12,1	6,34	14,03	0,821
St21	M	5,18	0,99	0,272	0,035	11,4	6,18	13,87	0,047
St21	F	6,93	0,64	0,214	0,022	4,7	7,90	15,59	0,833

ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

ANNEXE 5

CONCENTRATIONS DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

Concentrations des métaux dissous des 14 stations de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m.

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)	Hg (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
St02	S	<1	<LQ	<LQ	0,102	0,108	0,020	0,037	<LQ	0,076	0,092	<LQ	0,170
St02	M	1	<LQ	<LQ	0,102	0,118	0,027	0,038	<LQ	0,073	0,083	<LQ	0,263
St02	F	2	<LQ	<LQ	0,087	0,128	<LQ	0,021	<LQ	0,082	0,111	<LQ	0,128
St03	S	2	<LQ	0,026	0,101	0,303	0,020	0,052	<LQ	0,216	0,275	<LQ	0,277
St03	M	1	<LQ	0,017	0,111	0,144	0,077	0,034	<LQ	0,160	0,318	<LQ	0,380
St03	F	1	<LQ	0,029	0,111	0,140	0,024	0,039	<LQ	0,154	0,238	<LQ	0,138
St05	S	2	<LQ	<LQ	0,092	0,114	<LQ	0,042	<LQ	0,069	0,095	<LQ	0,151
St05	M	2	<LQ	<LQ	0,092	0,116	<LQ	0,021	<LQ	0,076	0,102	<LQ	0,163
St05	F	2	<LQ	<LQ	0,094	0,114	0,018	0,126	<LQ	0,075	0,101	<LQ	0,076
St06	S	2	<LQ	<LQ	0,104	0,174	0,030	0,045	<LQ	0,091	0,129	<LQ	0,289
St06	M	2	<LQ	0,031	0,115	0,124	<LQ	0,131	<LQ	0,211	0,267	<LQ	0,166
St06	F	1	<LQ	0,046	0,120	0,270	<LQ	0,180	<LQ	0,264	0,310	<LQ	0,186
St07	S	2	<LQ	<LQ	0,098	0,118	0,027	0,037	<LQ	0,057	0,087	<LQ	0,156
St07	M	3	<LQ	<LQ	0,092	0,130	0,017	0,032	<LQ	0,072	0,104	<LQ	0,172
St07	F	2	<LQ	<LQ	0,091	0,202	<LQ	0,057	<LQ	0,116	0,133	<LQ	0,130
St09	S	2	<LQ	<LQ	0,099	0,188	0,022	0,036	<LQ	0,077	0,084	<LQ	0,153
St09	M	1	<LQ	<LQ	0,095	0,106	<LQ	0,025	<LQ	0,086	0,108	<LQ	0,160
St09	F	1	<LQ	<LQ	0,096	0,172	<LQ	0,023	<LQ	0,075	0,090	<LQ	0,140
St13	S	1	<LQ	<LQ	0,096	0,120	<LQ	0,121	<LQ	0,173	0,175	<LQ	0,169
St13	M	2	<LQ	<LQ	0,113	0,120	<LQ	0,106	<LQ	0,171	0,161	<LQ	0,095
St13	F	2	<LQ	<LQ	0,095	0,095	<LQ	0,112	<LQ	0,125	0,144	<LQ	0,094
St14	S	2	<LQ	0,016	0,094	0,141	0,035	0,109	<LQ	0,246	0,246	<LQ	0,179
St14	M	2	<LQ	<LQ	0,095	0,126	<LQ	0,215	<LQ	0,180	0,182	<LQ	0,171
St14	F	1	<LQ	<LQ	0,109	0,116	<LQ	0,152	<LQ	0,169	0,158	<LQ	0,131
St15	S	<1	<LQ	0,068	0,151	0,198	0,076	0,040	<LQ	0,423	0,519	<LQ	0,638
St15	M	<1	<LQ	0,049	0,138	0,138	0,073	0,202	<LQ	0,264	0,402	<LQ	1,225
St15	F	<1	<LQ	0,052	0,133	0,133	0,076	0,198	<LQ	0,454	0,447	<LQ	0,590
St16	S	1	<LQ	0,044	0,144	0,144	0,039	0,160	<LQ	0,310	0,391	<LQ	0,751
St16	M	2	<LQ	0,040	0,134	0,170	0,023	0,048	<LQ	0,307	0,362	<LQ	0,191
St16	F	1	<LQ	0,043	0,130	0,187	0,107	0,270	<LQ	0,345	0,426	<LQ	1,790
St18	S	2	<LQ	0,023	0,102	0,102	0,060	0,078	<LQ	0,185	0,225	<LQ	0,246
St18	M	<1	<LQ	<LQ	0,110	0,150	0,104	ND	<LQ	0,014	0,085	<LQ	0,229
St18	F	2	<LQ	0,016	0,115	0,115	0,016	0,104	<LQ	0,172	0,219	<LQ	0,357
St19	S	<1	<LQ	0,029	0,131	0,131	0,038	0,205	<LQ	0,245	0,357	<LQ	0,637
St19	M	<1	<LQ	0,037	0,106	0,106	0,030	0,048	<LQ	0,251	0,349	<LQ	0,061
St19	F	<1	<LQ	0,027	0,151	0,151	0,025	0,049	<LQ	0,224	0,340	<LQ	0,082

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

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)	Hg (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
St20	S	2	<LQ	0,027	0,124	0,142	<LQ	0,105	<LQ	0,357	0,328	<LQ	0,117
St20	M	2	<LQ	0,033	0,117	0,117	0,041	0,202	<LQ	0,370	0,356	<LQ	0,459
St20	F	2	<LQ	0,027	0,146	0,148	0,020	0,076	<LQ	0,143	0,236	<LQ	0,417
St21	S	2	<LQ	<LQ	0,099	0,134	<LQ	0,052	<LQ	0,107	0,155	<LQ	0,117
St21	M	2	<LQ	<LQ	0,092	0,130	<LQ	0,072	<LQ	0,173	0,174	<LQ	0,170
St21	F	1	<LQ	<LQ	0,104	0,134	<LQ	0,075	<LQ	0,144	0,172	<LQ	0,139

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

ANNEXE 6

CONCENTRATIONS D'ARSENIC DISSOUS DANS LA COLONNE (AVRIL 2014)

Concentrations d'arsenic dissous des 14 stations de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014 mesurées par les laboratoires AEL et Rouen ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m.

Station	Niveau	Résultats AEL (µg/l)	Résultats Laboratoire de Rouen (µg/L)
St02	S	ND	<1
St02	M	ND	<1
St02	F	ND	<1
St03	S	0,98	<1
St03	M	1,08	2
St03	F	1,78	2
St05	S	1,03	1
St05	M	1,05	2
St05	F	ND	1
St06	S	ND	<1
St06	M	ND	2
St06	F	ND	2
St07	S	ND	1
St07	M	1,00	2
St07	F	ND	2
St09	S	1,33	<1
St09	M	1,04	2
St09	F	1,30	1
St13	S	1,12	1
St13	M	ND	2
St13	F	ND	3
St14	S	ND	<1
St14	M	ND	2
St14	F	ND	2
St15	S	ND	<1
St15	M	ND	1
St15	F	ND	2
St16	S	1,34	<1
St16	M	1,13	2
St16	F	1,48	2
St18	S	0,96	1
St18	M	1,09	2
St18	F	ND	2
St19	S	1,16	2
St19	M	1,34	2
St19	F	0,99	2

ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

Station	Niveau	Résultats AEL (µg/l)	Résultats Laboratoire de Rouen (µg/L)
St20	S	1,01	<1
St20	M	ND	2
St20	F	ND	2
St21	S	1,02	2
St21	M	ND	1
St21	F	ND	2

ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

ANNEXE 7

COMPILATION DES CONCENTRATIONS DE SELS NUTRITIFS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2014

Compilation des concentrations moyennes de nitrates + nitrites (NO_3+NO_2), ammonium (NH_4), phosphates (PO_4) et silicates (SiO_4) mesurées dans la zone d'étude depuis 2008 lors des campagnes semestrielles de « saison fraiche ».

		NO_3+NO_2 (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,017	0,040	0,051	0,033	0,054	0,103	0,033
	Maximum	0,106	0,367	0,274	0,685	0,160	1,143	0,334
	Moyenne	0,070	0,223	0,170	0,216	0,097	0,516	0,160
	Ecart-type	0,028	0,101	0,070	0,204	0,046	0,337	0,090
Baie du Prony	Minimum	0,055	0,003	0,038	0,007	0,053	0,084	0,053
	Maximum	0,099	0,176	0,142	0,168	0,053	0,748	0,382
	Moyenne	0,072	0,043	0,079	0,065	0,053 (n=1)	0,358	0,194
	Ecart-type	0,013	0,048	0,042	0,056		0,191	0,110
Ile Ouen	Minimum	0,079	0,090	0,066	0,038	<LQ	0,095	0,143
	Maximum	0,095	0,307	0,181	0,158	<LQ	0,462	1,201
	Moyenne	0,087	0,167	0,114	0,086	<LQ	0,272	0,507
	Ecart-type	0,008	0,082	0,060	0,051		0,135	0,482
Baies du Canal	Minimum	0,029	0,005	0,068	0,034	0,025	0,555	0,101
	Maximum	0,095	0,397	0,247	0,473	0,154	1,426	0,644
	Moyenne	0,077	0,151	0,143	0,205	0,086	0,865	0,326
	Ecart-type	0,021	0,152	0,072	0,153	0,053	0,269	0,201

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		NH_4 (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,017	0,019	0,030	0,041	0,017	0,073	0,016
	Maximum	0,044	0,127	0,240	0,247	0,126	0,589	0,048
	Moyenne	0,024	0,049	0,075	0,089	0,053	0,168	0,035
	Ecart-type	0,009	0,033	0,060	0,058	0,030	0,128	0,008
Baie du Prony	Minimum	0,007	0,027	0,017	0,014	0,015	0,013	0,015
	Maximum	0,098	0,148	0,121	0,172	0,149	0,408	0,100
	Moyenne	0,021	0,058	0,048	0,057	0,034	0,205	0,039
	Ecart-type	0,029	0,036	0,036	0,054	0,038	0,135	0,026
Ile Ouen	Minimum	0,018	0,075	0,037	0,053	0,026	0,059	0,045
	Maximum	0,034	0,102	0,097	0,263	0,077	0,154	0,073
	Moyenne	0,024	0,087	0,060	0,114	0,039	0,114	0,056
	Ecart-type	0,008	0,010	0,022	0,076	0,019	0,043	0,010
Baies du Canal	Minimum	0,018	0,028	0,041	0,026	0,020	0,095	0,038
	Maximum	0,091	0,139	0,166	0,242	0,118	0,282	0,091
	Moyenne	0,036	0,074	0,091	0,093	0,045	0,154	0,062
	Ecart-type	0,021	0,031	0,049	0,065	0,033	0,056	0,016

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		PO_4 (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,019	0,023	ND	0,011	0,012	0,015	<LQ
	Maximum	0,065	0,084	ND	0,063	0,038	0,103	<LQ
	Moyenne	0,036	0,055	ND	0,043	0,024	0,056	<LQ
	Ecart-type	0,016	0,015	ND	0,018	0,009	0,026	
Baie du Prony	Minimum	0,010	0,010	ND	0,015	0,013	0,012	<LQ
	Maximum	0,039	0,086	ND	0,203	0,040	0,176	<LQ
	Moyenne	0,021	0,031	ND	0,084	0,027	0,074	<LQ
	Ecart-type	0,008	0,021	ND	0,047	0,019	0,049	
Ile Ouen	Minimum	0,014	0,022	ND	0,035	0,028	0,018	<LQ
	Maximum	0,020	0,056	ND	0,084	0,046	0,054	<LQ
	Moyenne	0,017	0,038	ND	0,051	0,035	0,040	0,090 (n=1)
	Ecart-type	0,003	0,014	ND	0,028	0,008	0,013	
Baies du Canal	Minimum	0,025	0,037	ND	0,024	0,015	0,028	<LQ
	Maximum	0,084	0,117	ND	0,059	0,049	0,109	<LQ
	Moyenne	0,039	0,059	ND	0,041	0,030	0,072	0,064 (n=1)
	Ecart-type	0,018	0,023	ND	0,013	0,012	0,028	

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		SiO_4 (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,80	0,92	0,45	0,02	1,14	1,07	1,32
	Maximum	2,40	1,76	2,48	0,70	1,50	1,77	1,76
	Moyenne	1,20	1,32	1,45	0,22	1,31	1,35	1,55
	Ecart-type	0,42	0,31	0,69	0,26	0,11	0,20	0,14
Baie du Prony	Minimum	1,32	1,89	0,75	0,39	1,80	2,31	1,94
	Maximum	3,02	4,31	3,15	2,65	3,07	5,89	3,31
	Moyenne	2,04	2,88	1,44	1,22	2,36	3,47	2,64
	Ecart-type	0,59	0,84	0,81	0,65	0,43	1,43	0,46
Ile Ouen	Minimum	1,22	1,42	0,68	0,29	1,29	1,88	1,59
	Maximum	1,96	2,31	0,77	1,37	1,87	3,43	3,46
	Moyenne	1,54	1,83	0,72	0,71	1,63	2,40	2,27
	Ecart-type	0,38	0,39	0,03	0,45	0,26	0,61	0,64
Baies du Canal	Minimum	0,82	1,38	0,53	0,05	1,33	1,62	1,60
	Maximum	1,87	3,84	1,83	4,34	2,28	10,79	2,53
	Moyenne	1,16	1,98	1,05	1,44	1,71	3,49	1,99
	Ecart-type	0,35	0,82	0,51	1,28	0,35	2,97	0,31

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

ANNEXE 8

COMPILATION DES CONCENTRATIONS DE MATIERE ORGANIQUE DISSOUTE ET PARTICULAIRE DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2014

Compilation des concentrations moyennes d'azote et phosphore organiques dissous (NOD et POD) et d'azote et phosphore organiques particulaires (NOP et POP) mesurées dans la zone d'étude depuis 2008 lors des campagnes semestrielles de « saison fraiche ».

		NOD (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	3,26	1,56	4,54	2,26	2,73	1,21	4,44
	Maximum	4,36	4,59	7,43	4,76	4,45	3,02	7,33
	Moyenne	3,90	2,99	5,83	3,73	3,38	1,97	5,51
	Ecart-type	0,37	0,91	0,97	0,76	0,51	0,56	0,79
Baie du Prony	Minimum	3,66	2,45	4,51	3,11	2,45	1,55	5,40
	Maximum	4,08	4,25	7,16	4,57	4,48	4,22	8,62
	Moyenne	3,91	3,50	5,79	3,72	3,47	2,21	6,45
	Ecart-type	0,13	0,49	0,68	0,49	0,57	0,72	0,90
Ile Ouen	Minimum	3,86	3,39	5,33	3,67	3,21	1,96	5,56
	Maximum	4,50	4,20	7,19	6,87	4,70	2,69	6,45
	Moyenne	4,10	3,75	6,50	4,62	3,98	2,34	5,91
	Ecart-type	0,35	0,32	0,70	1,51	0,54	0,26	0,33
Baies du Canal	Minimum	2,55	2,88	5,20	3,56	2,01	0,86	4,75
	Maximum	4,83	4,37	7,44	5,31	4,02	2,78	5,86
	Moyenne	3,80	3,59	6,21	4,40	3,07	1,66	5,36
	Ecart-type	0,79	0,42	0,74	0,58	0,78	0,59	0,40

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		POD (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,138	0,232	ND	0,009	0,048	0,072	0,160
	Maximum	0,316	0,837	ND	0,204	0,205	0,361	0,321
	Moyenne	0,200	0,509	ND	0,083	0,162	0,194	0,255
	Ecart-type	0,045	0,159		0,073	0,040	0,092	0,043
Baie du Prony	Minimum	0,171	0,533	ND	0,052	0,107	0,269	0,098
	Maximum	0,277	0,899	ND	0,158	0,240	0,709	0,288
	Moyenne	0,207	0,684	ND	0,099	0,175	0,429	0,216
	Ecart-type	0,034	0,103		0,037	0,037	0,125	0,049
Ile Ouen	Minimum	0,191	0,538	ND	0,059	0,067	0,257	0,176
	Maximum	0,294	0,825	ND	0,083	0,182	0,523	0,293
	Moyenne	0,227	0,688	ND	0,071	0,123	0,337	0,242
	Ecart-type	0,058	0,109		0,012	0,044	0,111	0,048
Baies du Canal	Minimum	0,132	0,378	ND	0,017	0,012	0,039	0,204
	Maximum	0,288	0,708	ND	0,230	0,200	0,310	0,323
	Moyenne	0,202	0,511	ND	0,110	0,118	0,213	0,255
	Ecart-type	0,051	0,129		0,065	0,066	0,083	0,042

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		NOP (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,34	0,39	0,14	0,37	0,61	0,48	0,34
	Maximum	1,32	3,28	0,44	1,21	1,27	1,17	0,99
	Moyenne	0,74	1,26	0,27	0,63	0,95	0,70	0,63
	Ecart-type	0,31	0,91	0,10	0,21	0,21	0,21	0,19
Baie du Prony	Minimum	0,77	0,11	0,19	0,36	0,69	0,77	0,59
	Maximum	1,12	1,72	0,60	0,90	1,27	1,83	1,27
	Moyenne	0,88	0,66	0,30	0,65	0,86	1,14	0,94
	Ecart-type	0,11	0,42	0,12	0,16	0,17	0,39	0,22
Ile Ouen	Minimum	0,72	0,11	0,18	0,58	0,59	0,57	0,62
	Maximum	0,81	4,58	0,36	1,25	0,81	1,45	0,92
	Moyenne	0,76	1,12	0,26	0,91	0,66	0,76	0,75
	Ecart-type	0,05	1,72	0,06	0,30	0,08	0,34	0,12
Baies du Canal	Minimum	0,56	0,22	0,05	0,49	0,57	0,54	0,43
	Maximum	1,19	1,14	0,51	0,88	1,30	1,85	1,04
	Moyenne	0,72	0,63	0,29	0,72	0,87	0,85	0,68
	Ecart-type	0,20	0,27	0,15	0,14	0,24	0,40	0,18

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		COP (µmol/L)			
		Août 2009	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	5,3	4,7	8,5	4,0
	Maximum	21,7	16,2	55,0	19,1
	Moyenne	9,3	7,7	14,4	8,6
	Ecart-type	4,3	2,7	11,4	4,4
Baie du Prony	Minimum	5,2	4,1	9,1	4,5
	Maximum	12,3	11,2	14,7	22,7
	Moyenne	6,7	6,9	11,6	15,1
	Ecart-type	2,0	1,9	1,9	7,1
Ile Ouen	Minimum	5,3	5,8	12,1	4,9
	Maximum	7,2	7,4	22,4	19,8
	Moyenne	5,9	6,5	17,7	9,1
	Ecart-type	0,8	0,5	4,1	6,2
Baies du Canal	Minimum	5,6	5,2	8,4	4,6
	Maximum	7,1	10,7	15,7	21,0
	Moyenne	6,3	6,7	13,0	10,8
	Ecart-type	0,4	1,6	2,8	5,2

		POP (µmol/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,033	0,036	0,086	0,011	0,043	0,057	0,019
	Maximum	0,102	0,337	0,118	0,071	0,198	0,136	0,047
	Moyenne	0,069	0,073	0,096	0,036	0,065	0,084	0,028
	Ecart-type	0,020	0,075	0,010	0,017	0,041	0,024	0,008
Baie du Prony	Minimum	0,075	0,048	0,093	0,022	0,049	0,067	0,023
	Maximum	0,115	0,086	0,124	0,057	0,160	0,247	0,072
	Moyenne	0,094	0,063	0,109	0,040	0,070	0,111	0,047
	Ecart-type	0,014	0,013	0,009	0,013	0,031	0,051	0,016
Ile Ouen	Minimum	0,082	0,032	0,086	0,015	0,041	0,072	0,028
	Maximum	0,090	0,054	0,127	0,065	0,098	0,088	0,041
	Moyenne	0,086	0,045	0,104	0,040	0,060	0,082	0,035
	Ecart-type	0,004	0,008	0,016	0,019	0,020	0,005	0,005
Baies du Canal	Minimum	0,067	0,042	0,083	0,022	0,043	0,072	0,017
	Maximum	0,106	0,079	0,156	0,050	0,102	0,233	0,054
	Moyenne	0,088	0,054	0,104	0,036	0,062	0,103	0,033
	Ecart-type	0,013	0,012	0,024	0,008	0,019	0,050	0,011

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

ANNEXE 9

COMPILATION DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2014

Compilation des concentrations moyennes de chlorophylle *a* mesurées dans la zone d'étude depuis 2008 lors des campagnes semestrielles de « saison fraiche ».

		Chlorophylle a (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,088	0,154	0,586	0,103	0,172	0,208	0,047
	Maximum	0,975	0,431	2,554	0,734	0,603	0,762	0,833
	Moyenne	0,419	0,325	1,098	0,415	0,437	0,391	0,305
	Ecart-type	0,205	0,088	0,516	0,165	0,115	0,148	0,253
Baie du Prony	Minimum	0,161	0,162	0,593	0,005	0,203	0,073	0,130
	Maximum	0,570	0,900	1,090	0,629	1,276	2,504	0,457
	Moyenne	0,396	0,351	0,755	0,348	0,446	0,644	0,280
	Ecart-type	0,124	0,194	0,141	0,192	0,290	0,673	0,108
Ile Ouen	Minimum	0,428	0,237	0,602	0,046	0,278	0,100	0,125
	Maximum	0,464	0,395	1,030	0,493	0,374	1,004	0,397
	Moyenne	0,441	0,282	0,806	0,326	0,319	0,489	0,242
	Ecart-type	0,020	0,060	0,147	0,213	0,039	0,390	0,110
Baies du Canal	Minimum	0,333	0,157	0,404	0,304	0,364	0,119	0,011
	Maximum	0,629	0,499	1,208	0,745	0,687	1,284	0,403
	Moyenne	0,455	0,350	0,930	0,482	0,511	0,416	0,230
	Ecart-type	0,087	0,113	0,269	0,149	0,113	0,368	0,141

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

ANNEXE 10

COMPILATION DES CONCENTRATIONS DES METAUX DISSOUS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2014

Compilation des concentrations moyennes d'arsenic (As), cobalt (Co), chrome hexavalent (Cr(VI), chrome total (Crtot), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni) et zinc (Zn) mesurées dans la zone d'étude depuis 2008 lors des campagnes semestrielles de « saison fraiche ».

		As (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,32	1,18	ND	ND	1,13	1,70	1,00
	Maximum	1,89	1,72	ND	ND	1,27	1,90	3,00
	Moyenne	0,85	1,35	ND	ND	1,23	1,80	1,79
	Ecart-type	0,49	0,15			0,04	0,07	0,58
Baie du Prony	Minimum	0,22	1,16	ND	ND	1,07	1,50	1,00
	Maximum	0,84	1,55	ND	ND	1,19	1,90	2,00
	Moyenne	0,44	1,40	ND	ND	1,13	1,70	1,60
	Ecart-type	0,20	0,13			0,04	0,13	0,55
Ile Ouen	Minimum	0,70	1,13	ND	ND	1,13	1,70	1,00
	Maximum	0,90	1,33	ND	ND	1,25	1,80	2,00
	Moyenne	0,81	1,22	ND	ND	1,18	1,77	1,83
	Ecart-type	0,10	0,10			0,04	0,05	0,41
Baies du Canal	Minimum	0,56	0,93	ND	ND	1,16	1,60	1,00
	Maximum	1,28	1,81	ND	ND	1,27	2,00	2,00
	Moyenne	0,87	1,34	ND	ND	1,21	1,79	1,56
	Ecart-type	0,19	0,25			0,03	0,15	0,53

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Co (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,012	0,013	0,012	<LQ	0,019	<LQ	<LQ
	Maximum	0,022	0,059	0,024	<LQ	0,020	<LQ	<LQ
	Moyenne	0,015	0,029	0,018	<LQ	0,020	<LQ	<LQ
	Ecart-type	0,003	0,015	0,004		0,001		
Baie du Prony	Minimum	0,035	0,004	0,015	0,030	0,023	0,010	0,016
	Maximum	0,073	0,060	0,038	0,105	0,044	0,054	0,068
	Moyenne	0,050	0,031	0,024	0,049	0,032	0,026	0,039
	Ecart-type	0,011	0,017	0,006	0,021	0,008	0,015	0,015
Ile Ouen	Minimum	0,025	0,016	0,017	0,016	0,018	0,012	0,027
	Maximum	0,033	0,132	0,048	0,112	0,042	0,034	0,033
	Moyenne	0,029	0,043	0,034	0,045	0,027	0,023	0,029
	Ecart-type	0,004	0,050	0,012	0,035	0,010	0,009	0,003
Baies du Canal	Minimum	0,015	0,000	0,014	0,012	0,017	0,029	0,016
	Maximum	0,071	0,073	0,096	0,142	0,045	0,154	0,046
	Moyenne	0,029	0,030	0,039	0,052	0,029	0,078	0,027
	Ecart-type	0,021	0,024	0,030	0,051	0,012	0,060	0,011

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Cr(VI) (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,073	0,118	0,120	0,074	0,052	0,114	0,087
	Maximum	0,112	0,184	0,140	0,105	0,166	0,496	0,104
	Moyenne	0,089	0,150	0,124	0,088	0,110	0,219	0,095
	Ecart-type	0,012	0,020	0,006	0,009	0,028	0,129	0,005
Baie du Prony	Minimum	0,094	0,190	0,150	0,106	0,124	0,263	0,102
	Maximum	0,182	0,426	0,220	0,205	0,272	1,333	0,151
	Moyenne	0,122	0,273	0,175	0,141	0,159	0,641	0,129
	Ecart-type	0,024	0,079	0,017	0,033	0,040	0,370	0,017
Ile Ouen	Minimum	0,083	0,165	0,130	0,096	0,110	0,258	0,095
	Maximum	0,095	0,221	0,160	0,115	0,180	0,737	0,146
	Moyenne	0,089	0,193	0,142	0,108	0,137	0,379	0,115
	Ecart-type	0,006	0,026	0,015	0,007	0,031	0,187	0,019
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,139	0,110	0,088	0,102	0,134	0,094
	Maximum	0,150	0,306	0,210	0,240	0,168	1,604	0,120
	Moyenne	0,105	0,189	0,139	0,128	0,137	0,451	0,107
	Ecart-type	0,018	0,055	0,031	0,052	0,022	0,560	0,009

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Cr-total (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,111	0,202	0,130	0,115	0,112	0,114	0,106
	Maximum	0,157	0,462	0,180	0,206	0,339	0,496	0,202
	Moyenne	0,129	0,281	0,145	0,152	0,183	0,226	0,134
	Ecart-type	0,014	0,077	0,013	0,030	0,071	0,130	0,029
Baie du Prony	Minimum	0,119	0,242	0,170	0,157	0,133	0,263	0,102
	Maximum	0,191	0,712	0,250	0,260	0,272	1,333	0,198
	Moyenne	0,155	0,404	0,198	0,204	0,172	0,641	0,144
	Ecart-type	0,022	0,124	0,023	0,034	0,037	0,370	0,030
Ile Ouen	Minimum	0,164	0,244	0,140	0,138	0,134	0,258	0,095
	Maximum	0,207	0,361	0,170	0,178	0,203	0,737	0,148
	Moyenne	0,180	0,304	0,153	0,155	0,169	0,379	0,124
	Ecart-type	0,024	0,051	0,012	0,014	0,031	0,187	0,019
Baies du Canal	Minimum	0,116	0,176	0,130	0,125	0,126	0,134	0,116
	Maximum	0,189	0,361	0,230	0,304	0,270	1,604	0,303
	Moyenne	0,139	0,280	0,160	0,199	0,175	0,451	0,171
	Ecart-type	0,021	0,064	0,034	0,072	0,045	0,560	0,068

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Cu (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,032	<LQ	0,017	0,028	ND	0,017	<LQ
	Maximum	0,095	0,077	0,277	0,227	ND	0,178	0,027
	Moyenne	0,047	0,036	0,044	0,093	ND	0,057	0,015
	Ecart-type	0,018	0,023	0,074	0,074		0,042	0,007
Baie du Prony	Minimum	0,042	<LQ	0,018	0,016	0,530	0,020	0,016
	Maximum	0,181	0,046	0,065	0,363	0,690	0,119	0,107
	Moyenne	0,105	0,028	0,034	0,095	0,590	0,052	0,055
	Ecart-type	0,053	0,012	0,016	0,117	0,087	0,031	0,031
Ile Ouen	Minimum	0,044	<LQ	0,016	0,039	0,250	0,022	0,007
	Maximum	0,060	0,038	0,025	1,206	0,290	0,127	0,041
	Moyenne	0,050	0,024	0,021	0,379	0,270	0,063	0,017
	Ecart-type	0,009	0,011	0,003	0,465	0,028	0,045	0,013
Baies du Canal	Minimum	0,036	<LQ	0,018	0,020	ND	0,017	<LQ
	Maximum	0,069	0,024	0,037	0,125	ND	0,320	0,077
	Moyenne	0,049	0,016	0,028	0,055	ND	0,068	0,026
	Ecart-type	0,012	0,008	0,007	0,040		0,105	0,021

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Fe (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,021	0,065	0,030	0,021	0,012	0,018	0,021
	Maximum	0,147	0,127	0,080	0,286	0,140	0,225	0,126
	Moyenne	0,088	0,097	0,046	0,077	0,042	0,047	0,046
	Ecart-type	0,039	0,016	0,016	0,069	0,043	0,053	0,028
Baie du Prony	Minimum	0,101	0,028	0,010	0,017	ND	0,050	0,040
	Maximum	0,172	0,104	0,050	0,058	ND	0,682	0,270
	Moyenne	0,130	0,071	0,032	0,032	ND	0,110	0,128
	Ecart-type	0,020	0,026	0,014	0,013		0,180	0,082
Ile Ouen	Minimum	0,156	0,094	0,070	0,018	0,016	0,014	0,076
	Maximum	0,217	0,261	0,130	0,101	0,064	0,044	0,202
	Moyenne	0,178	0,137	0,092	0,071	0,035	0,029	0,120
	Ecart-type	0,034	0,062	0,021	0,029	0,025	0,013	0,043
Baies du Canal	Minimum	0,033	0,067	0,030	0,057	0,016	0,015	0,034
	Maximum	0,388	0,238	0,130	0,371	0,091	0,118	0,215
	Moyenne	0,175	0,143	0,079	0,117	0,049	0,050	0,106
	Ecart-type	0,135	0,054	0,040	0,099	0,030	0,032	0,068

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Mn (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,084	0,053	0,030	0,083	0,039	0,034	0,057
	Maximum	0,183	0,192	0,210	0,211	0,166	0,064	0,173
	Moyenne	0,104	0,097	0,097	0,115	0,106	0,048	0,091
	Ecart-type	0,026	0,043	0,059	0,031	0,038	0,009	0,031
Baie du Prony	Minimum	0,227	0,137	0,110	0,221	0,142	0,015	0,014
	Maximum	0,453	0,355	0,280	0,718	0,287	0,435	0,454
	Moyenne	0,276	0,229	0,149	0,370	0,217	0,157	0,266
	Ecart-type	0,068	0,081	0,048	0,149	0,045	0,130	0,117
Ile Ouen	Minimum	0,201	0,142	0,190	0,215	0,099	0,072	0,125
	Maximum	0,222	0,247	0,460	0,366	0,340	0,237	0,370
	Moyenne	0,214	0,200	0,325	0,276	0,210	0,130	0,223
	Ecart-type	0,011	0,039	0,103	0,059	0,098	0,061	0,110
Baies du Canal	Minimum	0,100	0,094	0,120	0,190	0,094	0,066	0,091
	Maximum	0,514	0,466	0,690	1,432	0,373	1,606	0,264
	Moyenne	0,211	0,209	0,259	0,450	0,199	0,372	0,188
	Ecart-type	0,174	0,126	0,176	0,406	0,102	0,505	0,053

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Ni (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	0,106	0,070	0,050	0,094	0,087	0,060	0,083
	Maximum	0,189	0,249	0,250	0,164	0,204	0,133	0,174
	Moyenne	0,124	0,141	0,130	0,118	0,130	0,100	0,113
	Ecart-type	0,022	0,063	0,062	0,021	0,043	0,021	0,031
Baie du Prony	Minimum	0,277	0,216	0,170	0,295	0,266	0,089	0,085
	Maximum	0,498	0,481	0,290	0,536	0,380	1,635	0,519
	Moyenne	0,357	0,321	0,208	0,374	0,324	0,461	0,344
	Ecart-type	0,067	0,093	0,040	0,074	0,037	0,423	0,117
Ile Ouen	Minimum	0,206	0,196	0,200	0,227	0,175	0,195	0,144
	Maximum	0,242	0,309	0,460	0,363	0,352	0,498	0,356
	Moyenne	0,219	0,252	0,342	0,288	0,250	0,294	0,233
	Ecart-type	0,020	0,053	0,098	0,060	0,081	0,114	0,090
Baies du Canal	Minimum	0,126	0,121	0,160	0,169	0,128	0,152	0,129
	Maximum	0,486	0,713	0,620	0,869	0,391	2,991	0,318
	Moyenne	0,218	0,259	0,273	0,353	0,209	0,774	0,236
	Ecart-type	0,135	0,184	0,152	0,263	0,091	1,133	0,066

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

		Zn (µg/L)						
		Août 2008	**Août 2009**	**Août 2010**	**Août 2011**	**Août 2012**	**Août 2013**	**Août 2014**
Canal de la Havannah	Minimum	<LQ	0,030	0,010	0,075	0,058	0,133	0,076
	Maximum	0,311	0,796	1,150	1,221	0,469	0,967	0,263
	Moyenne	0,161	0,251	0,212	0,381	0,207	0,546	0,153
	Ecart-type	0,103	0,235	0,283	0,316	0,125	0,248	0,039
Baie du Prony	Minimum	0,341	0,018	0,110	0,077	0,069	0,035	0,061
	Maximum	1,059	0,223	1,090	0,709	0,244	0,884	1,790
	Moyenne	0,668	0,097	0,381	0,278	0,149	0,215	0,566
	Ecart-type	0,268	0,052	0,273	0,202	0,088	0,249	0,510
Ile Ouen	Minimum	0,274	0,044	0,020	0,074	0,167	0,096	0,094
	Maximum	0,690	0,282	0,190	1,028	0,405	0,257	0,459
	Moyenne	0,455	0,139	0,103	0,630	0,277	0,164	0,225
	Ecart-type	0,214	0,091	0,061	0,369	0,111	0,059	0,168
Baies du Canal	Minimum	0,066	0,018	0,060	0,203	0,062	0,121	0,131
	Maximum	0,275	0,138	0,290	0,545	0,419	1,017	0,380
	Moyenne	0,153	0,061	0,139	0,328	0,235	0,377	0,213
	Ecart-type	0,083	0,036	0,075	0,111	0,175	0,279	0,084

LQ = Limite de quantification ; ND = Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.