



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

1^{er} semestre 2014



2 septembre 2014

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

1^{er} semestre 2014

RAPPORT FINAL

Auteurs : Le Grand H., Kaplan H., Haddad L., Raynal A., Moreton B., Fernandez JM.

| | | | |
|-----------------------|---|--------------|-------------|
| | 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 : 1 ^{er} semestre 2014 | | |
| Auteurs | Le Grand H., Kaplan H., Haddad L., Raynal A., Moreton B., Fernandez JM | | |
| Résumé | <p>Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Vale-NC a mis en place le programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2014 (avril 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).</p> <p>Les fluctuations des paramètres physico-chimiques mettent en évidence l'impact des apports terrigènes des creeks de la Baie du Prony, de la Baie Kwé et de Port Boisé. D'autres paramètres tels que les concentrations des éléments majeurs, de l'arsenic, de l'azote organique dissous sont relativement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et ne montrent pas de gradient spatial.</p> <p>Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison chaude ». Cependant, les concentrations de métaux dissous (Co, Cr(VI) et Ni) mesurées dans les eaux de surface des stations de la Baie de Port Boisé (St03) sont les plus élevées mesurées à cette station depuis 2007.</p> | | |
| APPROBATION | | | |
| FONCTION | NOMS | VISA | DATE |
| Rédacteur | Hélène Le Grand | | 18/08/14 |
| Vérificateur | Céline Pousse | | |
| Approbateur | Jean Michel Fernandez | | 20/08/14 |
| EVOLUTION | | | |
| VERSION | DESCRIPTION DES MISES A JOUR | DATE | |
| V1.1 | Rapport final (1 ^{er} semestre 2014) | 02/09/14 | |
| COPIE - DIFFUSION | | | |
| NOM | ORGANISME | | |
| Céline Casalis | VALE NC, Département Environnement | | |

Ce rapport est cité comme suit :

Le Grand H., Kaplan H., Haddad L., Raynal A., Moreton B., Fernandez JM., 2014. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2014. Contrat AEL/Vale-NC n°1368, 66p.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 9 |
| OBJECTIFS | 10 |
| MATERIELS ET METHODES | 11 |
| A. Site d'étude | 11 |
| B. Conditions météorologiques et hydrodynamiques | 12 |
| C. Echantillonnage | 14 |
| RESULTATS | 15 |
| A. Structures des masses d'eau | 15 |
| 1. Température | 16 |
| 2. Salinité | 17 |
| 3. Fluorescence | 18 |
| 4. Turbidité | 19 |
| B. Matières en suspension | 20 |
| C. Eléments majeurs et pH | 21 |
| D. Sels nutritifs | 22 |
| 1. Nitrates et nitrites | 22 |
| 2. Ammonium | 23 |
| 3. Phosphates | 24 |
| 4. Silicates | 25 |
| E. Matière organique | 27 |
| 1. Azote et phosphore organiques dissous | 27 |
| 2. Azote, carbone et phosphore organiques particulaires | 28 |
| F. Chlorophylle α | 31 |
| G. Métaux dissous | 32 |
| SYNTHESE | 38 |
| A. Sels nutritifs | 38 |
| 1. Ammonium (NH_4) | 39 |
| 2. Nitrates + Nitrites (NO_3+NO_2) | 39 |
| B. Métaux dissous | 41 |
| 1. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations de baies (St03, St06 et St15) | 41 |
| 2. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations du Canal de la Havannah (St05, St07 et St09) | 44 |
| CONCLUSION | 47 |
| REFERENCES | 48 |
| LISTE DES FIGURES | 50 |
| LISTE DES TABLEAUX | 52 |
| ANNEXES | 53 |

INTRODUCTION

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007¹ et 2008² complétés par la Convention pour la Conservation de la Biodiversité (CCB 2009). La définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux marines a été réalisée entre 2005 et 2007 sur 18 stations (Conventions IRD-Goro-Ni n°1142 de 2005 et n°1312 de 2007).

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

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

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

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvements du **1^{er} semestre 2014** (avril 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'île Ouen.

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

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

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

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 01 au 03 avril 2014 sur les 14 stations du suivi physico-chimique (Figure 1 et Tableau 1).

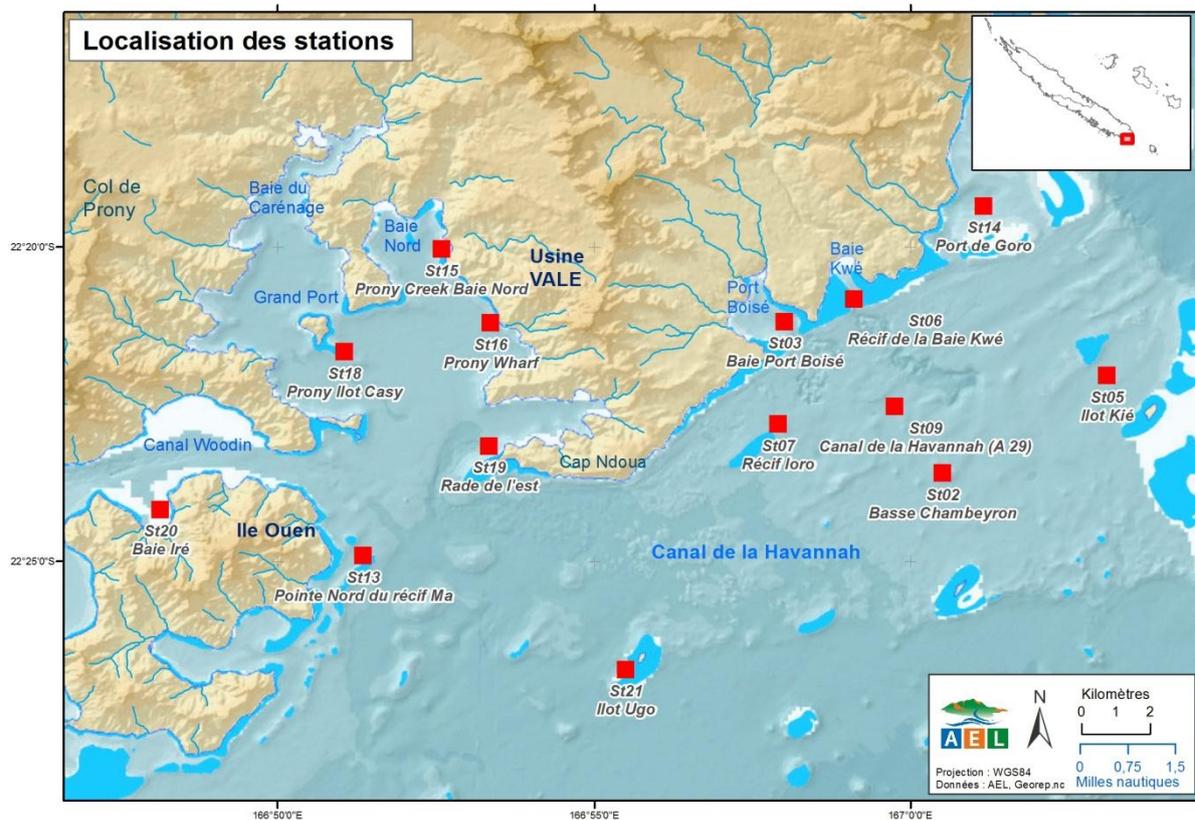


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

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

| Localisation | STATION AU REFERENTIEL WGS-84 | | | Profondeur (m) |
|-------------------------|-------------------------------|-------------|------------|----------------|
| | Station | Longitude E | Latitude S | |
| Basse Chambeyron | St02 | 167° 00,506 | 22° 23,599 | 33 |
| Baie Port Boisé | St03 | 166° 58,010 | 22° 21,190 | 29 |
| Ilot Kié | St05 | 167° 03,100 | 22° 22,050 | 34 |
| Récif de la Baie Kwé | St06 | 166° 59,112 | 22° 20,830 | 20 |
| Récif 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 (*Prony pilot station*, Usine de Vale-NC) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme.

CONDITIONS METEOROLOGIQUES PRECEDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (27-31 avril 2014) :

- Vent SE (10-15 Nds) ;
- 28,10 mm de pluie ont été relevés pendant les 5 jours précédant la campagne.

CONDITIONS METEOROLOGIQUES PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (01-03 avril 2014) :

- 01/04/14 : Vent d'est ~10 à 15 Nds, temps nuageux avec quelques averses, mer calme ;
- 02/04/14 : Vent d'est ~10 à 15 Nds, beau temps avec quelques nuages et passage de grosses averses dans la nuit du 02 au 03/04/14 ;
- 03/04/14 : Vent d'est ~10 à 15 Nds, temps nuageux avec averses, mer relativement calme.

Au total, 75 mm de pluie ont été relevés pendant la campagne.

Campagne avril 2014

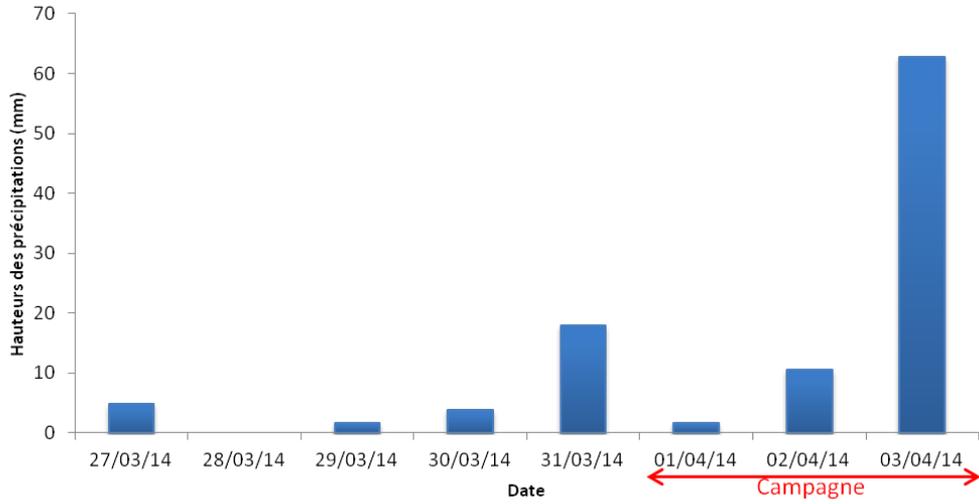


Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (27-31/03/14) la campagne et pendant la campagne semestrielle (1-3/04/14).

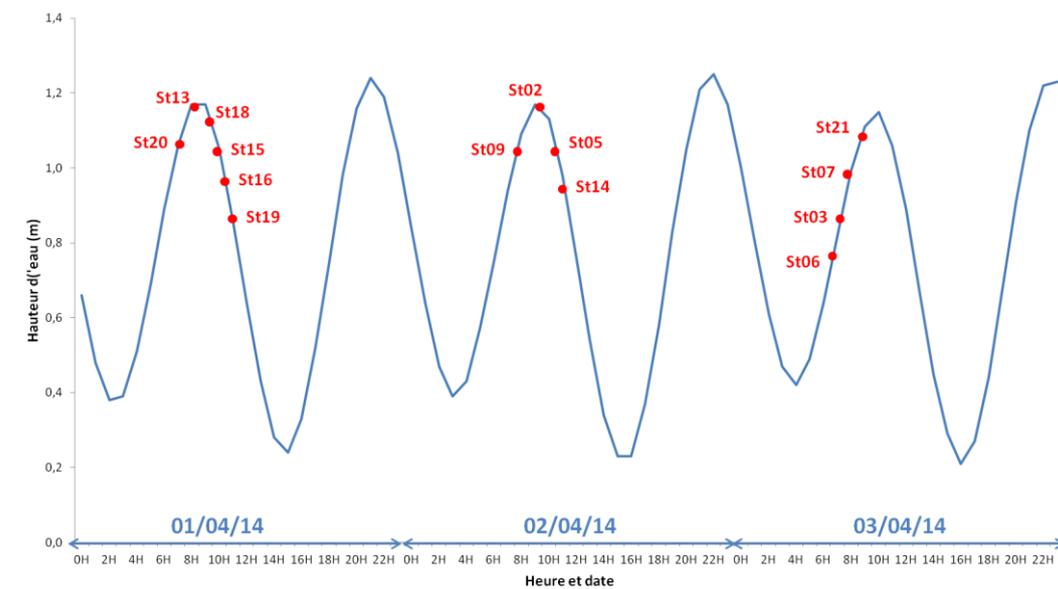


Figure 3 : Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'avril 2014 reportée sur le marégramme du 1 au 3 avril 2014.

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 le dosage des éléments métalliques cadmium (Cd), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn) ;
 - électrochimie (Voltammétrie) pour le dosage du chrome hexavalent (Cr(VI)) et du chrome total (Cr total) ;
 - électrochimie (Voltammétrie) pour le dosage de l'arsenic.

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

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 le Tableau 2 et les Figure 4, Figure 5, Figure 6 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable..**

Dans l'ensemble de la zone d'étude, les valeurs moyennes de température, salinité et turbidité sont relativement similaires à celles mesurées lors de la précédente campagne semestrielle « saison chaude » de mars 2013 (Contrat AEL-LEA/Vale-NC N°T1368). La Baie du Prony influencée par les apports terrigènes des creeks présente des valeurs de température, fluorescence et turbidité moyennes plus élevées que celles observées dans le Canal de la Havannah, zone influencée par les apports océaniques (Tableau 2). A l'inverse, la salinité est plus élevée dans le Canal de la Havannah que dans la Baie du Prony (Tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs de la température, salinité, fluorescence et turbidité enregistrées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014.

| | | Température (°C) | Salinité (‰) | Fluorescence (mg/m ³) | Turbidité (NTU) |
|----------------------|----------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Domaine entier | Minimum | 25,20 | 32,66 | 0,08 | 0,21 |
| | Maximum | 26,17 | 35,50 | 3,05 | 2,53 |
| | Moyenne | 25,52 ± 0,14 | 35,35 ± 0,17 | 0,22 ± 0,08 | 0,54 ± 0,16 |
| Canal de la Havannah | Minimum | 25,20 | 35,22 | 0,08 | 0,23 |
| | Maximum | 25,51 | 35,50 | 0,55 | 1,28 |
| | Moyenne | 25,40 ± 0,09 | 35,47 ± 0,01 | 0,38 ± 0,08 | 0,36 ± 0,07 |
| Baie du Prony | Minimum | 25,41 | 33,50 | 0,11 | 0,21 |
| | Maximum | 26,17 | 35,35 | 3,05 | 2,53 |
| | Moyenne | 25,61 ± 0,13 | 35,20 ± 0,24 | 0,56 ± 0,32 | 0,59 ± 0,07 |

1. Température

Les stations localisées dans le Canal de la Havannah et autour de l'Île Ouen présentent des profils de température très homogènes au sein de la colonne d'eau. Seul le profil de la station St02 (Basse Chambeyron) présente une légère stratification des masses d'eau à mi-profondeur ; la masse d'eau de surface (25,3 °C) étant 0,1 °C plus chaude que celle de fond (25,2 °C) (Figure 4).

Les profils de température enregistrés aux stations des baies (Baies Canal et Baie du Prony) présentent une couche de surface plus chaude que le reste de la colonne d'eau. Les températures maximales ont été mesurées aux stations St15 (Prony Creek Baie Nord) et St18 (Îlot Casy) (25,6 °C). Le profil de la Baie Kwé diffère notablement puisque celui-ci présente une fine couche d'eau plus fraîche dans les 5 premiers mètres sous la surface (25,3 °C). La station St14 (Port de Goro), moins sujette aux influences par les apports d'eaux douces, ne présente pas de nette stratification mais une légère diminution de température dans les 15 premiers mètres sous la surface avant de devenir constante dans le reste de la colonne d'eau (Figure 4).

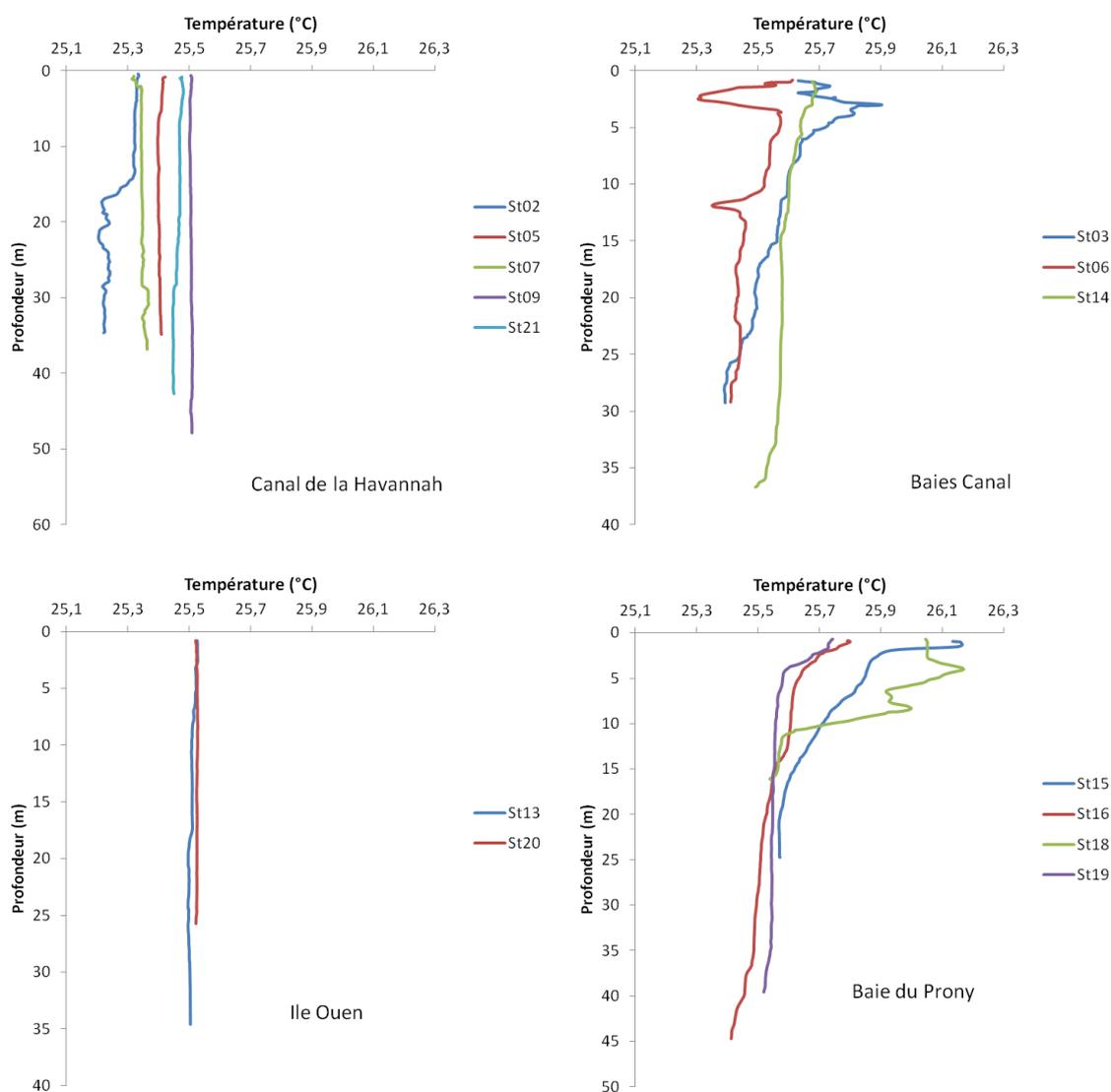


Figure 4 : Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014.

2. Salinité

Les profils de salinité des stations du Canal de la Havannah et de l'Île Ouen sont très homogènes au sein de la colonne d'eau (Figure 5).

Au niveau des profils des baies du Canal et du Prony, seuls les profils des stations St03 (Port Boisé), St06 (Baie Kwé) et St18 (Ilot Casy) présentent une couche de surface de salinité moindre bien individualisée. Le minimum a été observé dans la Baie de Port Boisé où la dessalure atteint 32,7 ‰. Les profils des autres stations de baies (St14, St15, St16 et St19) sont remarquablement homogènes au sein de la colonne d'eau (Figure 5).

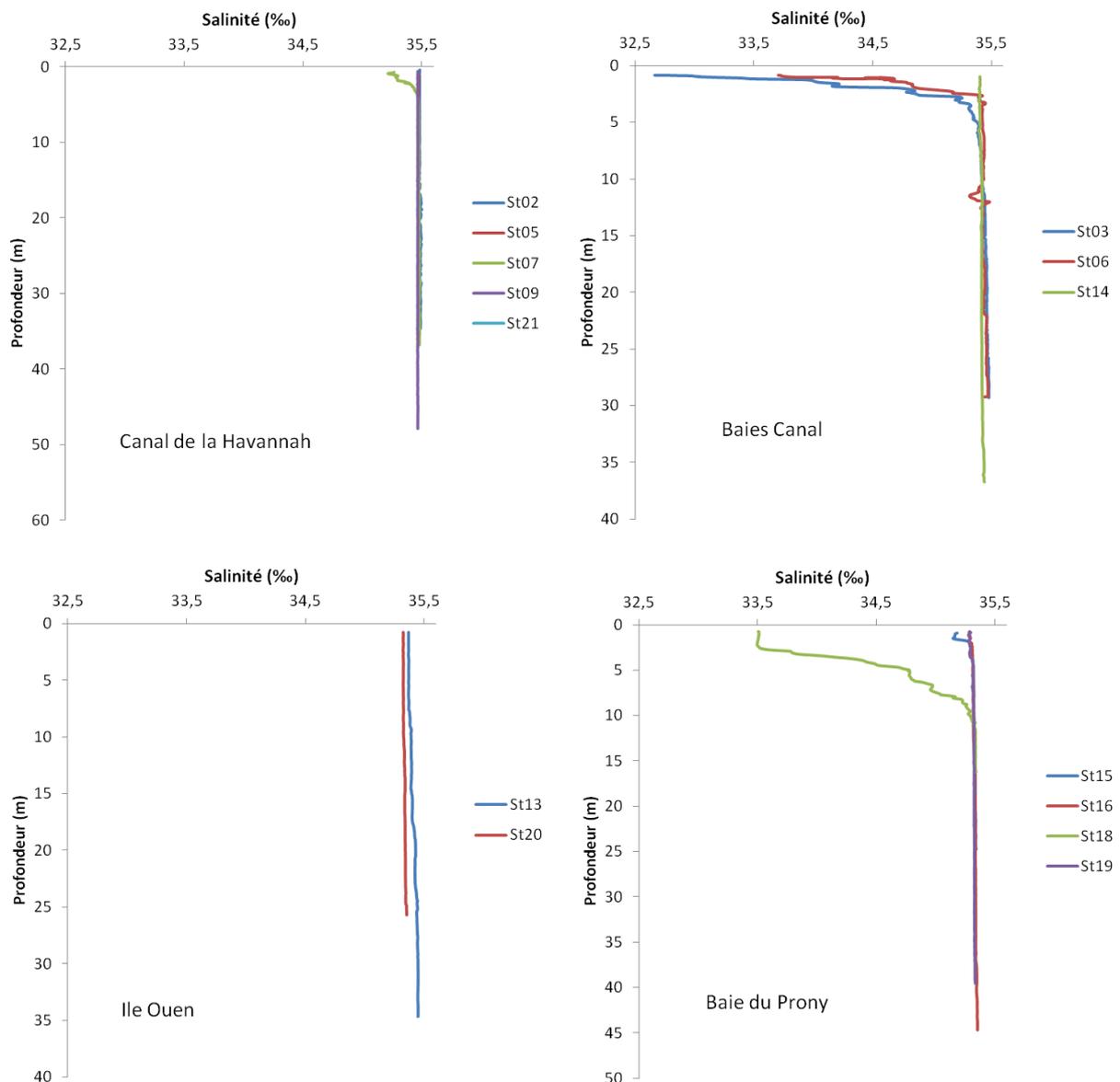


Figure 5 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014.

3. Fluorescence

Comme observé pour la température et la salinité, les profils de fluorescence sont remarquablement homogènes au sein de la colonne d'eau des stations du Canal de la Havannah et de l'Île Ouen (Figure 6). De même, les stations des baies de Port Boisé (St03) et de la Kwé (St06) ainsi que la station du Port de Goro (St14) présentent des valeurs de fluorescence très stables au sein de la colonne d'eau ; les valeurs variant entre 0,39 et 0,45 mg/m³ (Figure 6).

Au niveau de la Baie du Prony, le profil de la station St15 (Creek Rade Nord) se démarque par une forte augmentation de la fluorescence dans les 15 premiers mètres sous la surface ; la fluorescence atteignant un pic à 3,05 mg/m³. En dessous, la fluorescence diminue ensuite jusqu'au fond où elle atteint encore 1,33 mg/m³. Au niveau des stations St16, St18 et St19, la fluorescence augmente également avec la profondeur mais les valeurs maximales ne sont que de 1,04, 0,94 et 0,94 mg/m³, respectivement, à mi-profondeur (St16 et St19) et à l'approche du fond (St18) (Figure 6).

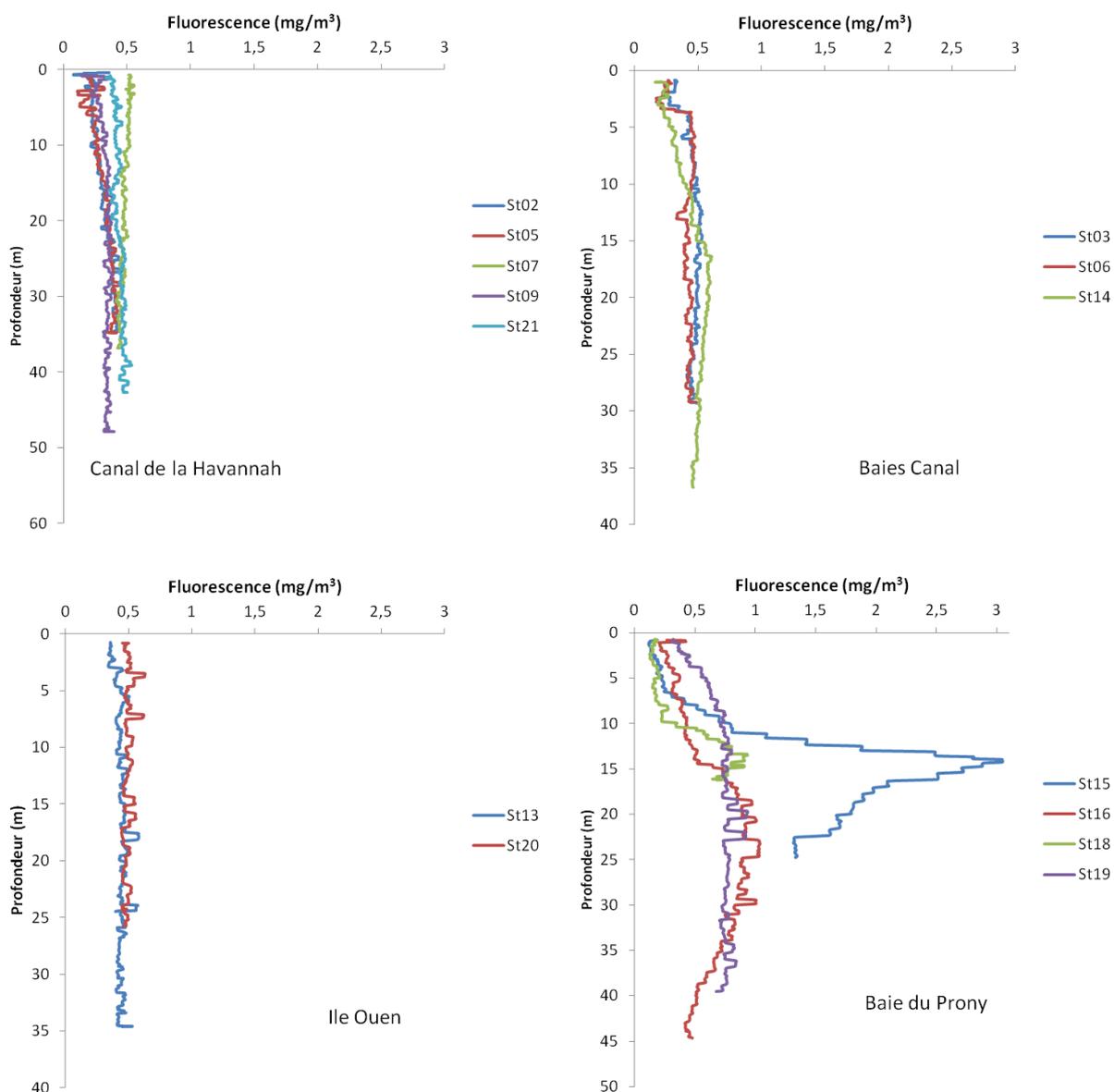


Figure 6 : Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014.

4. Turbidité

La turbidité enregistrée aux stations du Canal de la Havannah et de l'Île Ouen est stable dans la colonne d'eau à l'exception de celle enregistrée à la station St02 (Basse Chambeyron) où les valeurs passent de 0,46 à 1,28 NTU à partir de 25 m de profondeur jusqu'au fond (Figure 4).

Les profils de turbidité des stations des baies de Port Boisé (St03) et Kwé (St06) présentent de fortes variations. En effet, à la station St06, un pic de turbidité a été enregistré (2,26 NTU) à environ 13 m sous la surface ainsi qu'une couche turbide de moyenne intensité (1,0-1,5 NTU) d'une dizaine de mètre d'épaisseur. Ailleurs, tandis que la station St03 se caractérise par la présence d'un néphéloïde benthique atteignant 1,34 NTU, à la station St14, le profil de turbidité ne permet de distinguer qu'une fine couche de surface de faible intensité (<1,0 NTU) ; le reste de la colonne d'eau devenant relativement homogène jusqu'au fond (0,54 ± 0,08 NTU).

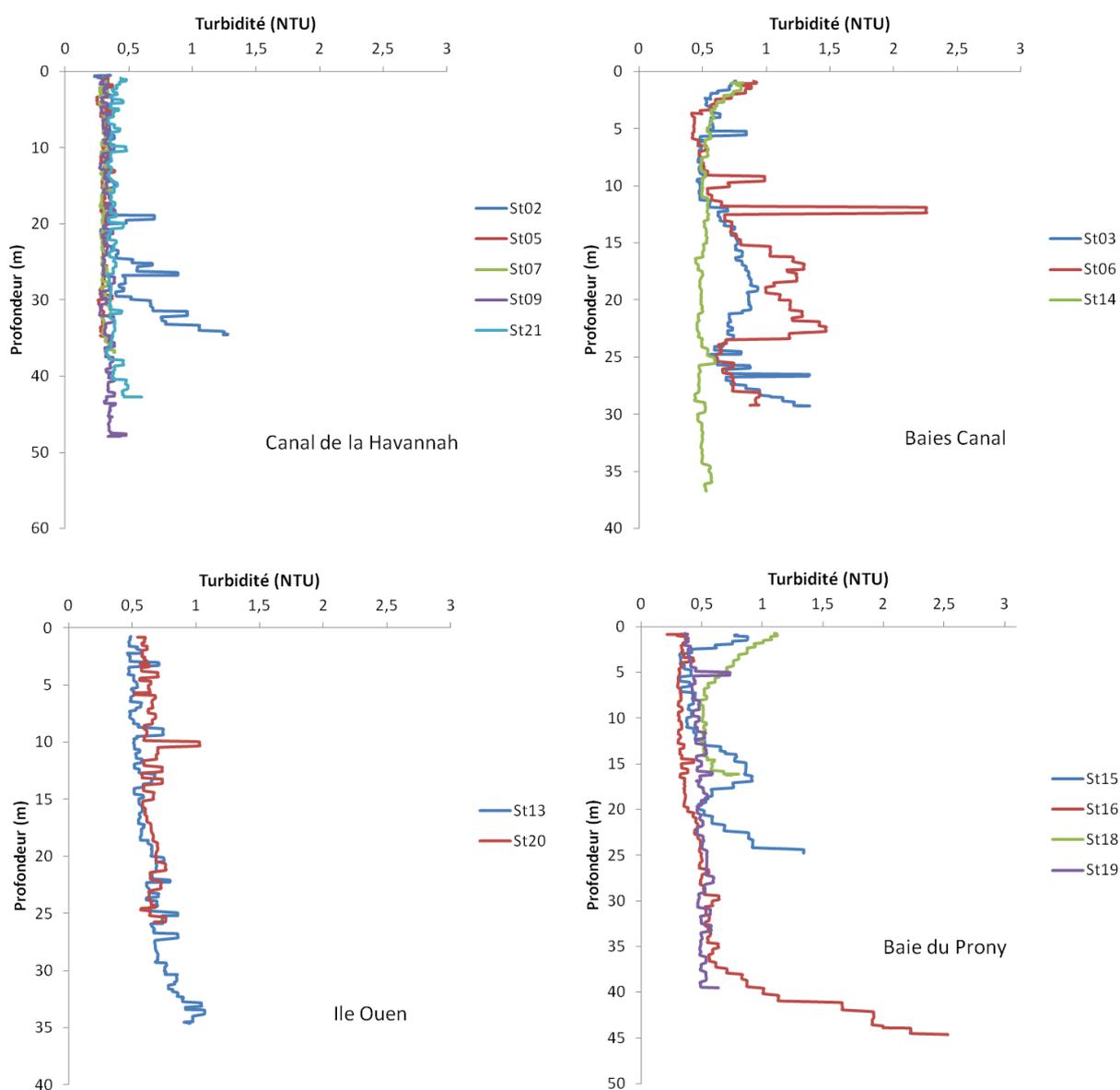


Figure 7 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014.

Dans la Baie du Prony, les profils des stations St15 (Prony Creek Rade Nord) et St18 (Ilot Casy) présentent une couche de surface dont la turbidité diminue rapidement dans les 5 à 10 premiers mètres. Les profils de ces mêmes stations ainsi que le profil de la station St16 (Prony wharf) mettent en évidence un néphéloïde benthique, la turbidité atteignant une valeur maximale à la station St16 (2,53 NTU). Un autre pic de turbidité est également observé à environ 15 mètres de profondeur, mais à la station St15 (0,92 NTU). Ce pic semble relié au pic de fluorescence observé à cette station à la même profondeur (Figure 6). A l'inverse, la turbidité mesurée à la station St19 est très stable au sein de la colonne d'eau ($0,48 \pm 0,07$ NTU) (Figure 6).

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence les stations influencées par les apports d'eaux douces provenant des creeks de la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19), de la Kwé (St06) et de Port Boisé (St03). Ces apports sont décelables dans les eaux de surface grâce aux températures plus élevées (St03, St15, St16, St18 et St19) et aux salinités plus faibles (St03, St06 et St18) ; le pic de fluorescence mesuré à mi-profondeur (St15) traduit vraisemblablement la sédimentation de débris végétaux introduits par le creek. Globalement, les couches turbides mises en évidence en surface (St15 et St18) et en profondeur (St03, St15, St16 et St18) sont attribuables aux apports terrigènes de première sédimentation, voire issus des phénomènes de resuspension/sédimentation, avec une composante marine dont on ne peut déterminer l'importance.

Les profils des variables physico-chimiques permettent également de distinguer les stations influencées par les apports océaniques. Ces stations sont soumises à d'importants mélanges verticaux résultant des courants générés dans le Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) et au niveau de l'Île Ouen (St13 et St20). Les variables physico-chimiques mesurées à ces stations sont généralement constantes au sein de la colonne d'eau.

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'avril 2014 sont représentées dans la Figure 8, le Tableau 3 et en Annexe 2.

Les concentrations de MES sont très hétérogènes au sein de la zone d'étude. Le minimum a été mesuré à la station St09 à mi-profondeur (0,02 mg/L) et le maximum aux stations St16 et St20 en profondeur (0,82 mg/L). Les concentrations mesurées dans la Baie du Prony ($0,38 \pm 0,19$ mg/L) sont logiquement plus élevées que celles mesurées dans le Canal de la Havannah ($0,22 \pm 0,14$ mg/L) car cette baie est en constante influence par apports terrigènes des creeks avoisinants.

La concentration moyenne de la zone d'étude ($0,36 \pm 0,21$ mg/L) est similaire à celle mesurée lors de la dernière campagne semestrielle d'août 2013 ($0,39 \pm 0,20$ mg/L) (Contrat AEL-LEA/Vale-NC N°T1368). Globalement, la charge particulaire se distribue selon un gradient côte-large, d'une part, avec des concentrations plus fortes près du rivage qu'au large et, d'autre part, plus fortes près du fond qu'en surface.

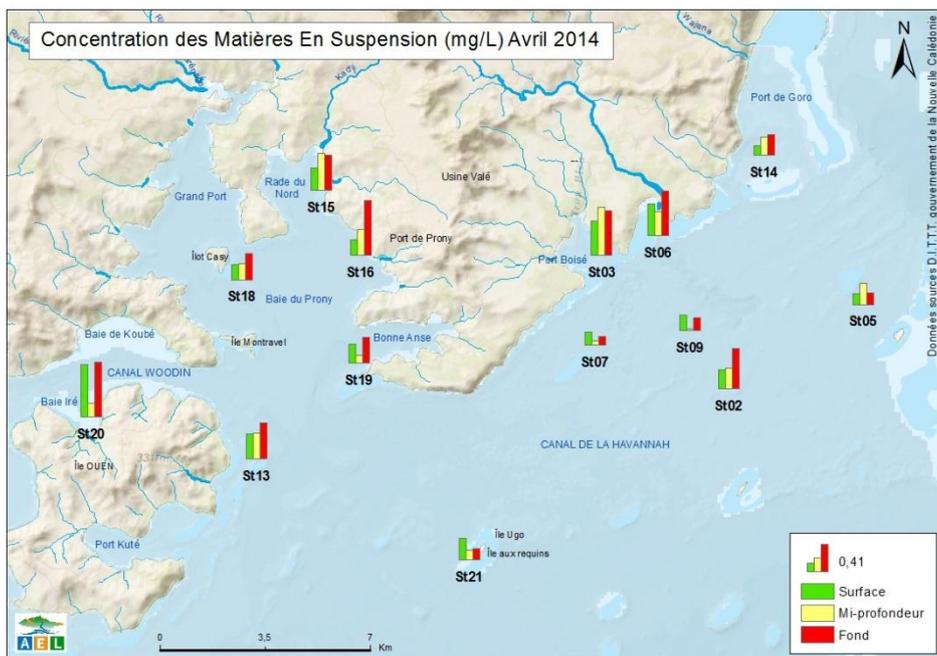


Figure 8 : Concentration des matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

Tableau 3 : Concentrations des MES dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'avril 2014.

| | | MES (mg/L) |
|----------------------|---------|-------------|
| Domaine entier | Minimum | 0,02 |
| | Maximum | 0,82 |
| | Moyenne | 0,36 ± 0,21 |
| Canal de la Havannah | Minimum | 0,02 |
| | Maximum | 0,61 |
| | Moyenne | 0,22 ± 0,14 |
| Baie du Prony | Minimum | 0,11 |
| | Maximum | 0,82 |
| | Moyenne | 0,38 ± 0,19 |

C. Eléments majeurs et pH

Les concentrations des éléments majeurs et les valeurs du pH sont regroupées dans le Tableau 4 et en Annexe 2.

Comme observé lors des précédentes campagnes semestrielles, les concentrations des éléments majeurs sont particulièrement homogènes au sein de la zone d'étude. Aucune différence n'est observée entre les concentrations mesurées dans le Canal de la Havannah (zone d'influence océanique) et dans la Baie du Prony (zone d'influence terrigène). Les concentrations moyennes des éléments majeurs restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Contrat AEL-LEA/Vale-NC N°C2445 et N°T1368).

En ce qui concerne le pH moyen mesuré dans la Baie du Prony, il est légèrement plus faible que celui mesuré dans le Canal de la Havannah. Cette différence est due aux apports d'eaux douces se déversant dans la Baie du Prony. En effet, le pH des creeks est légèrement plus faible que celui de l'eau de mer. Par exemple, le pH relevé à la station U13 du creek de la Rade Nord est compris entre 7,7 et 7,9 (Source : Vale-NC, valeurs mesurées entre le 12 et 15/05/14). Le pH moyen mesuré dans l'ensemble de la zone d'étude reste similaire à ceux mesurés lors des précédentes campagnes semestrielles (Contrat AEL-LEA/Vale-NC N°C2445 et N°T1368).

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 d'avril 2014.

| | | Ca ²⁺ (mg/L) | K ⁺ (mg/l) | Mg ²⁺ (mg/L) | Na ⁺ (mg/L) | Cl ⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) | pH |
|----------------------|---------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---|--------------------|
| Domaine entier | Minimum | 361 | 305 | 1134 | 10166 | 17011 | 2406 | 8,20 |
| | Maximum | 456 | 393 | 1443 | 13634 | 26156 | 3289 | 8,31 |
| | Moyenne | 441 ± 15 | 379 ± 13 | 1385 ± 48 | 12649 ± 500 | 19229 ± 1290 | 2794 ± 188 | 8,26 ± 0,04 |
| Canal de la Havannah | Minimum | 434 | 378 | 1364 | 12480 | 17011 | 2478 | 8,28 |
| | Maximum | 455 | 393 | 1429 | 13634 | 20991 | 3026 | 8,31 |
| | Moyenne | 443 ± 5 | 383 ± 4 | 1390 ± 17 | 12793 ± 295 | 18978 ± 904 | 2715 ± 179 | 8,29 ± 0,01 |
| Baie du Prony | Minimum | 430 | 365 | 1358 | 12365 | 18291 | 2701 | 8,20 |
| | Maximum | 456 | 385 | 1443 | 13376 | 26156 | 3289 | 8,24 |
| | Moyenne | 446 ± 7 | 380 ± 6 | 1406 ± 21 | 12785 ± 329 | 19576 ± 2137 | 2917 ± 147 | 8,22 ± 0,01 |

D. Sels nutritifs

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'avril 2014 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 12, le Tableau 5 et dans l'Annexe 3.

1. Nitrates et nitrites

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

Les concentrations de NO₃+NO₂ ne présentent pas de variation spatiale particulière au sein de la zone d'étude. En effet, ces dernières se répartissent de façon particulièrement hétérogène dans la Baie du Prony avec une moyenne s'élevant à 0,252 ± 0,242 µmol/L (Tableau 5) ; la concentration maximale de NO₃+NO₂ ayant été mesurée à la station St15 (Creek Rade Nord) en profondeur (0,818 ± 0,013 µmol/L). Une forte concentration de NO₃+NO₂ a également été mesurée en profondeur à la station St13 (0,727 ± 0,076 µmol/L).

Les concentrations de NO₃+NO₂ ne présentent pas non plus de distribution verticale particulière. En effet, dans la Baie Kwé (St06), la concentration de surface (0,596 µmol/L) est plus élevée que celle de fond (0,262 µmol/L) alors qu'à l'embouchure du Creek de la Rade Nord (St15), les concentrations augmentent avec la profondeur passant de 0,026 µmol/L, en surface, à 0,818 µmol/L en profondeur. Dans le Canal de la Havannah, les concentrations ne présentent pas autant de variation que dans la Baie du Prony ; la moyenne des concentrations s'élevant à 0,266 ± 0,107 µmol/L.

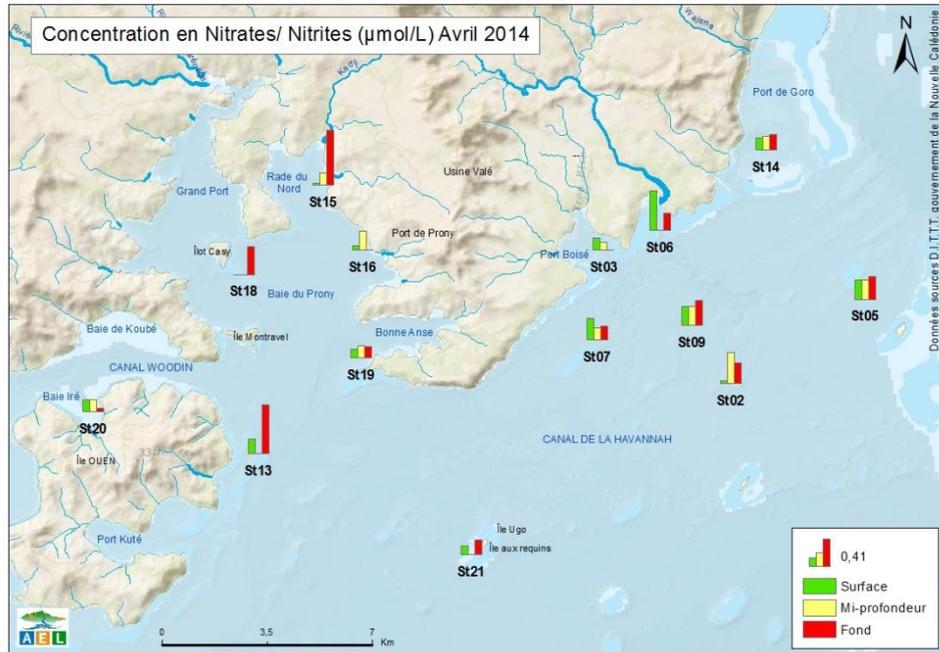


Figure 9 : Concentration en nitrates/nitrites dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

2. Ammonium

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

Les concentrations d'ammonium sont plus élevées dans la Baie du Prony, notamment le long de sa bordure Est, que dans le reste de la zone d'étude (Tableau 5 ; Figure 10). Dans cette baie, les concentrations augmentent avec la profondeur présentant des maximums aux stations St15 ($0,400 \pm 0,001 \mu\text{mol/L}$) et St16 ($0,595 \pm 0,019 \mu\text{mol/L}$) et sont également très dispersées puisqu'elles varient de $0,014$ (St19-S) à $0,595 \mu\text{mol/L}$.

La concentration moyenne d'ammonium mesurée dans la Baie du Prony ($0,139 \pm 0,181 \mu\text{mol/L}$) est deux fois plus élevée que celle mesurée dans le Canal de la Havannah ($0,070 \pm 0,019 \mu\text{mol/L}$), zone dans laquelle les concentrations sont relativement bien homogènes.

A l'exception de la station St14 dont les concentrations sont quasiment équivalentes à celles du Canal, les concentrations d'ammonium des stations des baies de Port Boisé (St03 : $0,090 \pm 0,023 \mu\text{mol/L}$) et de Kwé (St06 : $0,140 \pm 0,023 \mu\text{mol/L}$) ainsi que celles de l'île Ouen (St13 : $0,107 \pm 0,038 \mu\text{mol/L}$; St20 : $0,088 \pm 0,023 \mu\text{mol/L}$) sont légèrement plus élevées que les concentrations mesurées dans les eaux du Canal.

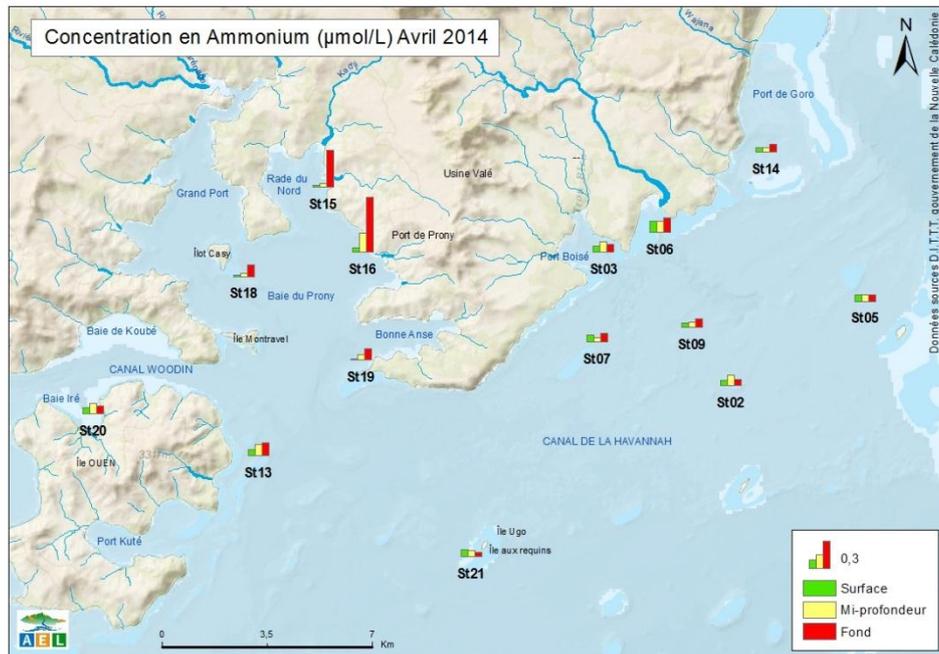


Figure 10 : Concentration en ammonium dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

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.

Les concentrations de phosphates présentent la même distribution spatiale que les concentrations d'ammonium (Figure 10 ; Figure 11). Ainsi, les concentrations sont plus élevées dans la Baie du Prony (bordure Est) que dans le reste de la zone d'étude (Tableau 5 ; Figure 11), d'une part, et d'autre part, dans cette baie, elles présentent également une distribution verticale identique puisque les concentrations augmentent fortement avec la profondeur. En effet, les concentrations maximales de la zone d'étude ont été mesurées aux stations St15 ($0,194 \pm 0,009 \mu\text{mol/L}$) et St16 ($0,273 \pm 0,002 \mu\text{mol/L}$) dans les eaux de fond.

Les concentrations de phosphates mesurées dans le Canal de la Havannah ($0,068 \pm 0,011 \mu\text{mol/L}$) sont deux fois plus faibles que celles mesurées dans la Baie du Prony ($0,126 \pm 0,066 \mu\text{mol/L}$). La moitié des mesures effectuées dans le Canal ne sont pas quantifiables.

Bien que située dans des baies de Port Boisé et de Kwé, les concentrations de la station St03 restent similaires à celles mesurées dans le Canal ($0,069 \pm 0,004 \mu\text{mol/L}$) et celles de la station St06 n'ont pas pu être quantifiées.

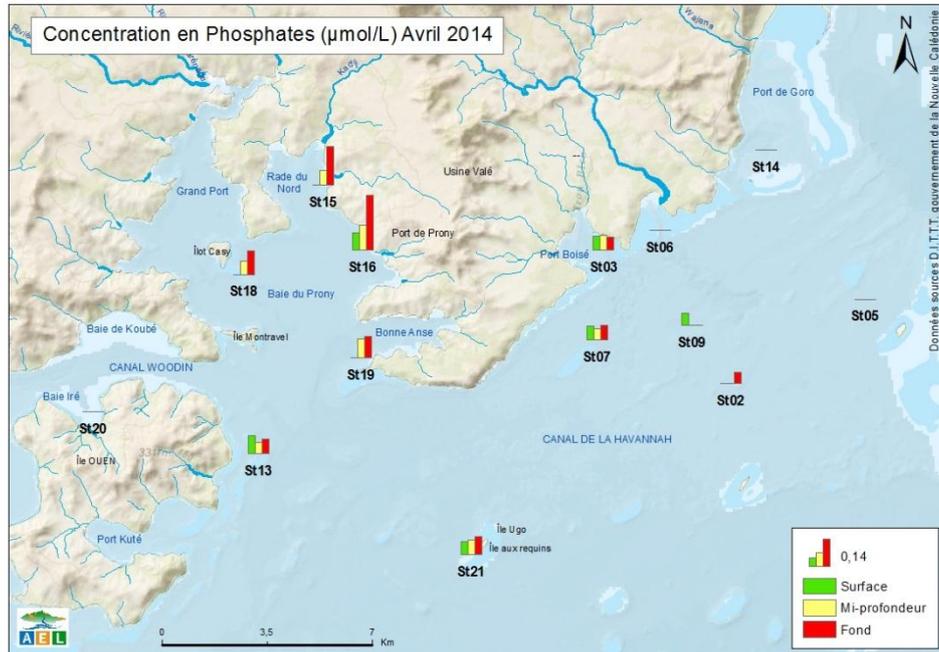


Figure 11 : Concentration en phosphates dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

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 présentent un gradient de concentration décroissant côte-large, particulièrement perceptible dans les eaux de surface. En effet, les concentrations mesurées dans les Baies du Prony, de Port Boisé et de la Kwé sont nettement plus élevées que celles mesurées au niveau des stations de l'Ile Ouen et du Canal.

Les concentrations maximales ont été mesurées en surface aux stations St03, St06 et St18 et s'élèvent à $8,14 \pm 0,05$, $6,32 \pm 0,10$ et $6,62 \pm 0,02$ $\mu\text{mol/L}$, respectivement. A l'inverse les concentrations mesurées dans le Canal de la Havannah ($0,82 \pm 0,15$ $\mu\text{mol/L}$) sont les plus faibles de la zone d'étude ; celles-ci sont 3 fois moins élevées que celles mesurées dans la Baie du Prony ($2,38 \pm 1,43$ $\mu\text{mol/L}$).

Les concentrations des stations de l'Ile Ouen (St13 : $1,25 \pm 0,19$ $\mu\text{mol/L}$; St20 : $1,70 \pm 0,05$ $\mu\text{mol/L}$) ainsi que celles du port de Goro (St14 : $1,20 \pm 0,04$ $\mu\text{mol/L}$) présentent des concentrations intermédiaires et relativement homogènes dans la colonne d'eau.

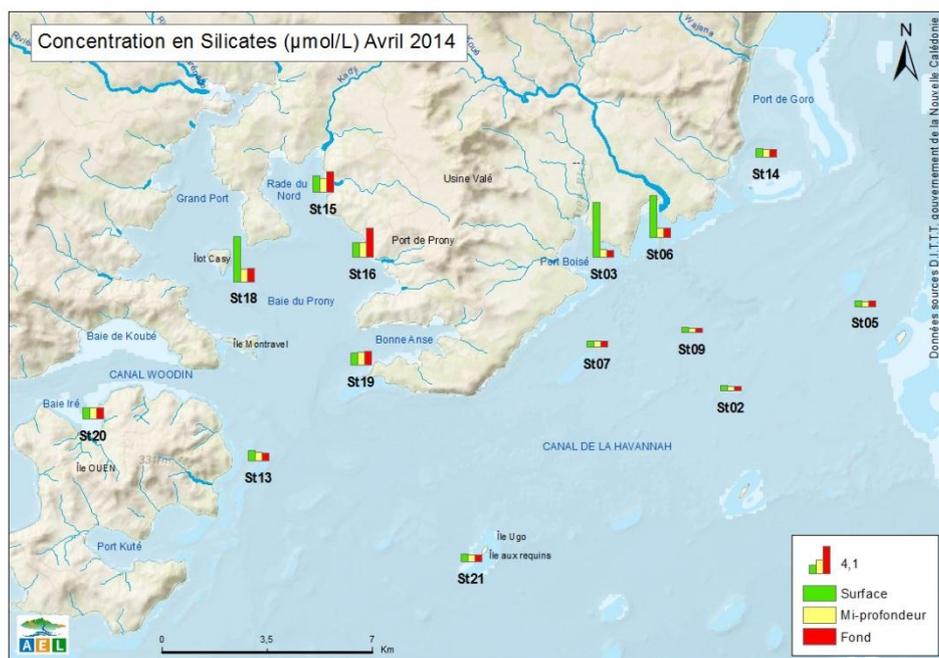


Figure 12 : Concentration en silicates dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’avril 2014.

| | | NO ₃ +NO ₂ (µmol/L) | NH ₄ (µmol/L) | PO ₄ (µmol/L) | Si (µmol/L) |
|----------------------|---------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| Domaine entier | Minimum | 0,026 | 0,014 | 0,055 | 0,60 |
| | Maximum | 0,818 | 0,595 | 0,273 | 8,14 |
| | Moyenne | 0,261 ± 0,175 | 0,099 ± 0,101 | 0,091 ± 0,050 | 1,82 ± 1,64 |
| Canal de la Havannah | Minimum | 0,036 | 0,044 | 0,055 | 0,60 |
| | Maximum | 0,469 | 0,114 | 0,091 | 1,06 |
| | Moyenne | 0,266 ± 0,107 | 0,070 ± 0,019 | 0,068 ± 0,011 | 0,82 ± 0,15 |
| Baie du Prony | Minimum | 0,026 | 0,014 | 0,068 | 1,81 |
| | Maximum | 0,818 | 0,595 | 0,273 | 6,62 |
| | Moyenne | 0,252 ± 0,242 | 0,139 ± 0,181 | 0,126 ± 0,066 | 2,68 ± 1,43 |

Ce qu’il faut retenir :

Les concentrations de nitrates+nitrites ne présentent pas de distribution spatiale particulière.

Les concentrations d’ammonium, phosphates et silicates présentent une distribution spatiale en relation avec les apports terrigènes, au sens large, aboutissant dans les différentes baies de la zone d’étude.

Les concentrations d’ammonium et de phosphates se répartissent de la même façon au sein de la zone d’étude, les concentrations plus élevées étant observées dans le secteur Est de la Baie du Prony et en particulier dans les eaux de fond des stations St15 et St16, stations présentant également une turbidité plus élevée en profondeur ; ces augmentations sont probablement à rapprocher des activités anthropiques

Les concentrations de silicates mettent évidence un fort gradient côte large provenant des apports d’eaux douces arrivant dans les baies de Port Boisé, de la Kwé et du Prony.

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 dans le Tableau 7.

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.

Les concentrations d'azote et de phosphore organiques dissous (NOD et POD) ne montrent guère d'évolution spatiale, elles sont toutefois légèrement plus faibles dans le Canal de la Havannah que dans la Baie du Prony (Figure 13 ; Figure 14). Au-delà de ce faible gradient, les concentrations de ces deux paramètres ne présentent pas non plus de distribution verticale particulière. Les concentrations maximales de NOD et POD ont été mesurées en profondeur à la station St20 (Tableau 7).

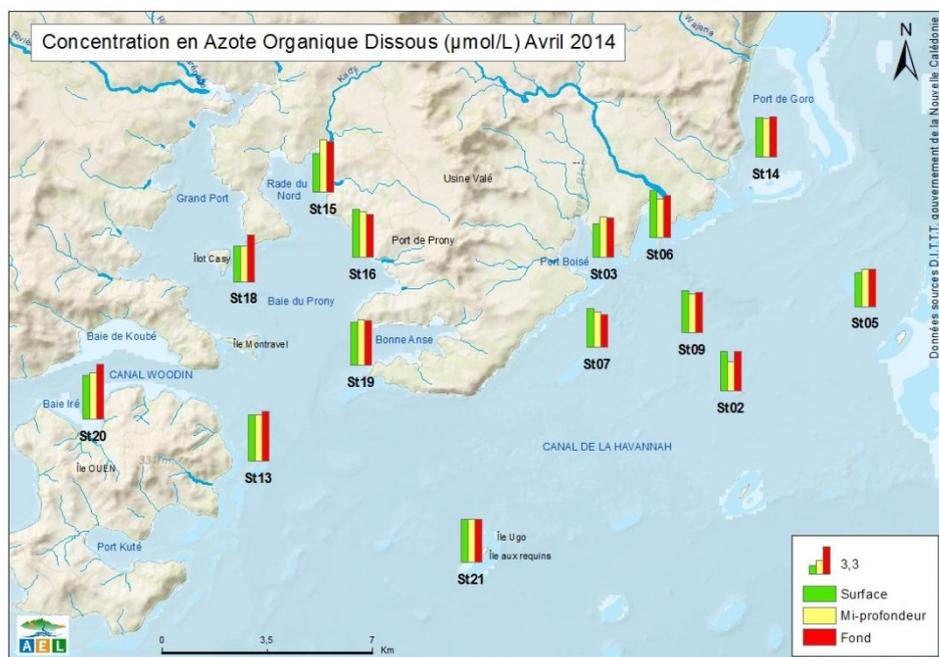


Figure 13 : Concentration en azote organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

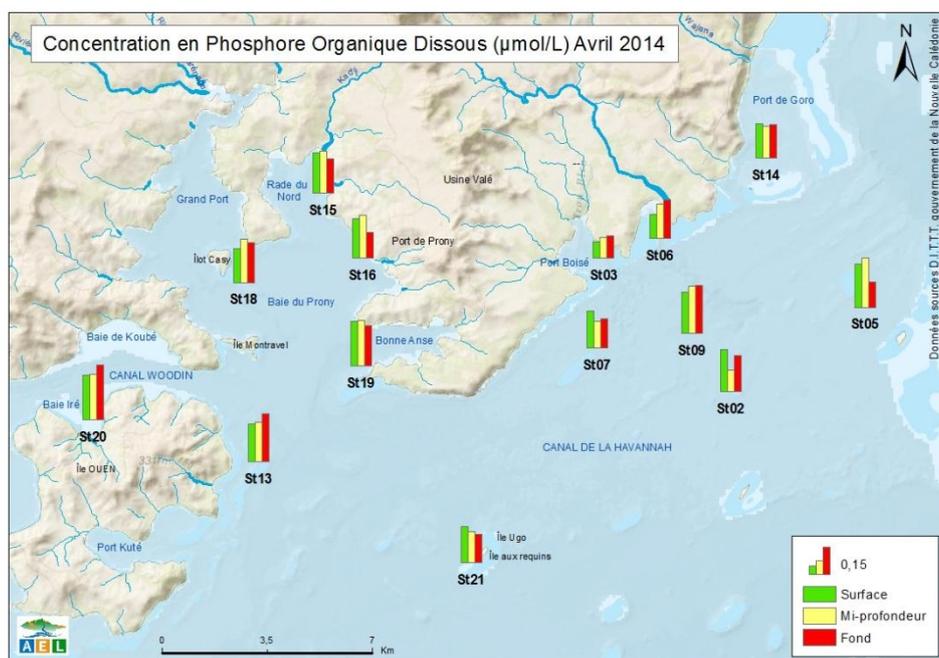


Figure 14 : Concentration en phosphore organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

2. Azote, carbone et phosphore organiques particuliers

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

Les concentrations d'azote, de carbone et de phosphore organiques particuliers (NOP, COP et POP) ne présentent pas de distribution particulière au sein de la zone d'étude ni au sein de la colonne d'eau et sont relativement stables (Tableau 7).

Les concentrations maximales ont été relevées à mi-profondeur, à la station St13 (Pointe Nord du récif Ma) pour NOP et COP, et à la station St15 pour POP (Tableau 7).

Par ailleurs, l'évolution spatiale de ces concentrations montre un niveau de corrélation relativement élevé, toutes zones confondues ; cette observation est bien avérée pour les paramètres NOP et COP (Tableau 6).

Tableau 6 : Matrice de corrélation des concentrations de NOP, COP et POP.

| Variables | NOP (µmol/L) | COP (µmol/L) | POP (µmol/L) |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| NOP (µmol/L) | 1 | | |
| COP (µmol/L) | 0,80 | 1 | 0,33 |
| POP (µmol/L) | 0,43 | 0,33 | 1 |

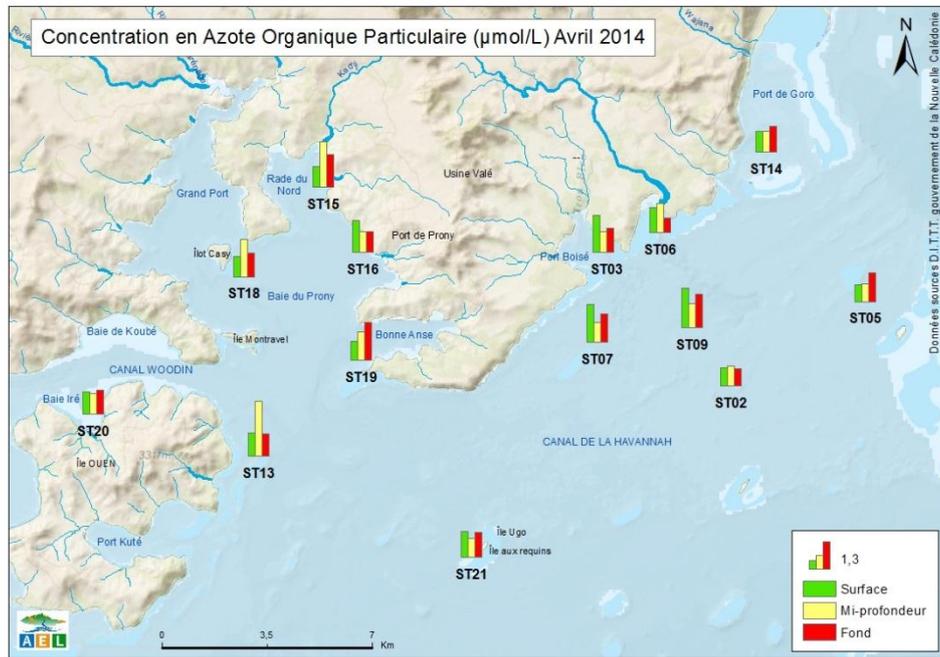


Figure 15 : Concentration en azote organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

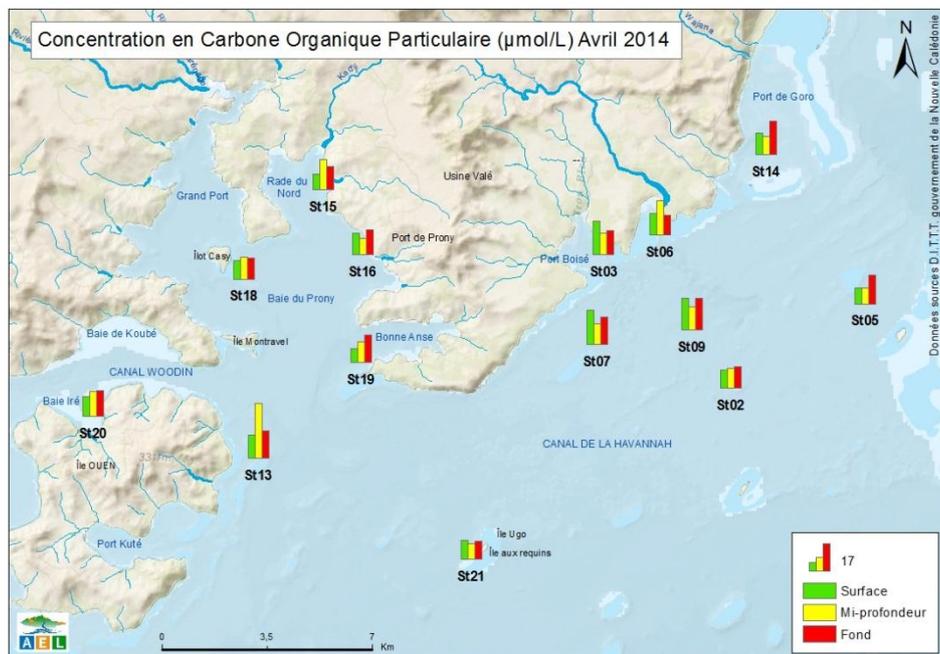


Figure 16 : Concentration en carbone organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

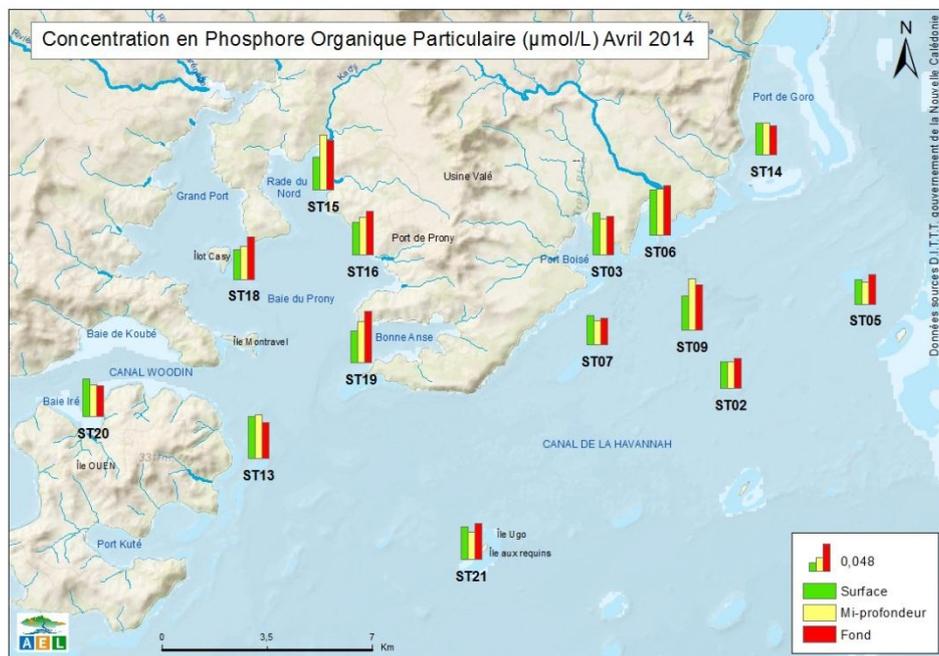


Figure 17 : Concentration en phosphore organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

Tableau 7 : 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 d'avril 2014.

| | | NOD (μmol/L) | POD (μmol/L) | NOP (μmol/L) | COP (μmol/L) | POP (μmol/L) |
|----------------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Domaine entier | Minimum | 3,62 | 0,09 | 0,74 | 8,57 | 0,04 |
| | Maximum | 6,69 | 0,30 | 2,69 | 34,74 | 0,10 |
| | Moyenne | 5,07 ± 0,66 | 0,20 ± 0,05 | 1,28 ± 0,42 | 15,08 ± 4,76 | 0,06 ± 0,01 |
| Canal de la Havannah | Minimum | 3,62 | 0,12 | 0,82 | 9,47 | 0,04 |
| | Maximum | 5,24 | 0,27 | 1,90 | 21,51 | 0,09 |
| | Moyenne | 4,66 ± 0,47 | 0,20 ± 0,05 | 1,21 ± 0,36 | 14,41 ± 4,02 | 0,05 ± 0,01 |
| Baie du Prony | Minimum | 4,31 | 0,14 | 0,91 | 8,57 | 0,05 |
| | Maximum | 6,39 | 0,25 | 2,24 | 18,88 | 0,10 |
| | Moyenne | 5,36 ± 0,65 | 0,22 ± 0,03 | 1,37 ± 0,44 | 13,34 ± 3,05 | 0,07 ± 0,02 |

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations de NOP, COP et POP ne présentent pas de distribution particulière au sein de la zone d'étude. Toutefois, les concentrations de NOD et POD sont légèrement plus élevées en Baie du Prony que dans le Canal de la Havannah.

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, le Tableau 8 et en Annexe 4.

Les concentrations de chlorophylle *a* ne montrent pas de distribution évidente et systématique avec la profondeur, en revanche, elles présentent une légère distribution côte-large. Comme observé par les profils de fluorescence exprimant les niveaux en chlorophylle totale (sonde CTD) (Tableau 2 ; Figure 6), les concentrations de chlorophylle *a* sont plus élevées dans la Baie du Prony que dans le reste de la zone d'étude. De surcroît, la concentration de chlorophylle *a* maximale a été mesurée à la station St15 à mi-profondeur (1,34 µg/L), en correspondance avec un pic de fluorescence (Figure 6).

La concentration minimale (0,07 µg/L) a été mesurée en profondeur à la station St06 (Baie Kwé).

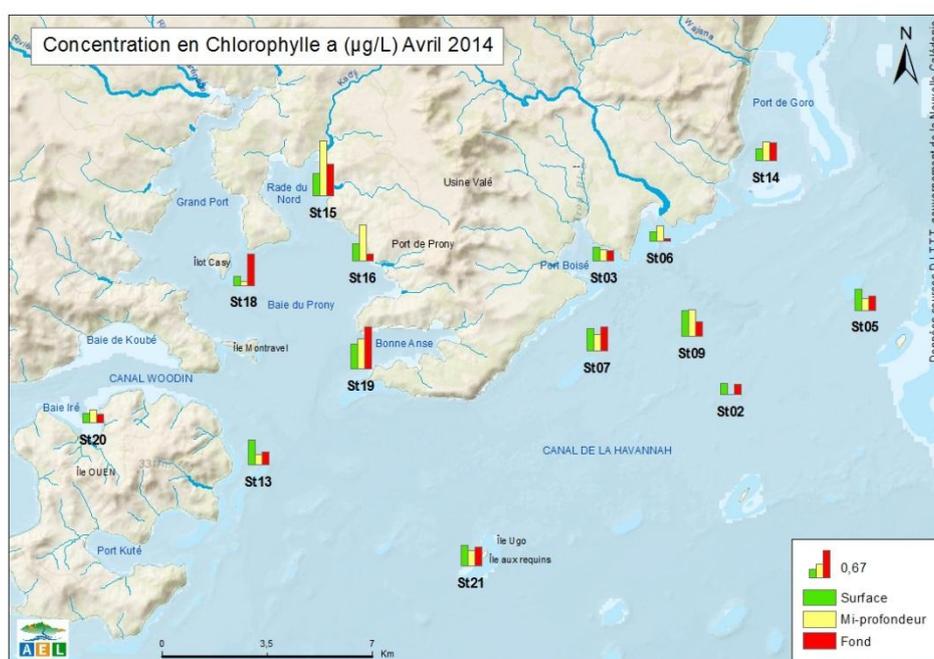


Figure 18 : Concentration en chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

| | | Chlorophylle <i>a</i> (µg/l) |
|----------------------|---------|------------------------------|
| Domaine entier | Minimum | 0,07 |
| | Maximum | 1,34 |
| | Moyenne | 0,45 ± 0,26 |
| Canal de la Havannah | Minimum | 0,25 |
| | Maximum | 0,64 |
| | Moyenne | 0,44 ± 0,13 |
| Baie du Prony | Minimum | 0,10 |
| | Maximum | 1,34 |
| | Moyenne | 0,63 ± 0,37 |

Tableau 8 : Concentrations de chlorophylle *a* mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014.

G. Métaux dissous

Les résultats d'analyse des métaux dissous de la campagne semestrielle d'avril 2014 sont regroupés dans les Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24, Figure 25 et Figure 26, les Tableau 10, Tableau 11 et en Annexe 5.

Note : La moitié des concentrations d'arsenic (As) a été mesurée. Un problème technique nous a contraints à stopper les analyses d'As. Le reste des concentrations sera fourni dans le prochain rapport.

Les concentrations d'arsenic (As) sont relativement homogènes au sein de la zone d'étude ($1,16 \pm 0,21 \mu\text{g/L}$) (Tableau 10) et ne permettent donc pas de dégager une quelconque évolution spatiale.

En ce qui concerne les concentrations de cadmium (Cd) et la plupart des concentrations de plomb (Pb), celles-ci 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). Les seules concentrations de Pb qui ont pu être quantifiées ($n=4$) correspondent aux eaux de surface des stations du Port de Goro (St14 = $0,14 \mu\text{g/L}$) et de Prony wharf (St16 = $0,17 \mu\text{g/L}$). Les deux autres concentrations ont été mesurées dans la Baie d'Iré (Ile Ouen) en surface ($0,15 \mu\text{g/L}$) et fond ($0,14 \mu\text{g/L}$).

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. On notera, par ailleurs, la corrélation significative des concentrations pour Co, Cr(VI) et Ni (Tableau 9). De manière plus détaillée, les stations du Canal de la Havannah sous influence océanique (St02, St05, St07, St09 et St21) se différencient nettement des stations de baies influencées par les apports terrigènes (St03, St06, St15, St16, St18 et St19). Autour de l'Ile Ouen et au niveau du Port de Goro, les niveaux de concentrations sont intermédiaires (St13, St20 et St14).

De plus, les concentrations aux stations influencées par les apports terrigènes mettent en évidence une distribution verticale très prononcée. Par exemple, la concentration de Ni mesurée à la station St03 (Port Boisé) en surface ($1,08 \mu\text{g/L}$) est 11 fois plus élevée que celle de fond ($0,10 \mu\text{g/L}$) (Figure 23). Les concentrations maximales de Co ($0,11 \mu\text{g/L}$) et Ni ont d'ailleurs été mesurées à cette même station. Les concentrations de ces métaux sont d'ailleurs très corrélées (Tableau 9).

Les concentrations maximales du Cr(VI), Cr-total et Mn ont, quant à elles, été mesurées dans les eaux de surface de la Baie du Prony, à la station St15 pour le Cr-total et le Mn, avec respectivement $1,67$ et $0,69 \mu\text{g/L}$ et à la station St18 pour le Cr(VI) avec $0,64 \mu\text{g/L}$. Les concentrations de Cr total et Mn sont corrélées entre elles alors que les concentrations de Cr(VI) sont plus corrélées aux concentrations de Co et Ni (Tableau 9).

Les concentrations de cuivre (Cu), fer (Fe) et zinc (Zn) distribuent différemment dans la zone d'étude.

Pour Cu, seulement 7 concentrations ont pu être quantifiées, 6 dans les eaux de surface et une dans les eaux de fond (Figure 24). Les concentrations maximales ont été relevées dans le Port de Goro (St14) et la Baie d'Iré (St20) s'élevant à $0,18$ et $0,28 \mu\text{g/L}$, respectivement ; la concentration des eaux de surface de la station de Prony Wharf (St16 ; $0,09 \mu\text{g/L}$) y est 2 à 3 fois plus faible (Figure 24).

Les concentrations de Fe dans la Baie du Prony et le Canal de la Havannah sont très faibles. En effet, seules 4 concentrations mesurées aux stations du Canal St09 et St21 ont pu être quantifiées (Figure 25). De la même manière, dans la Baie du Prony, 3 concentrations n'ont pu être quantifiées qu'aux stations St16 et St19. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées aux stations St20 (Baie d'Iré) et en particulier St06 (Baie Kwé) où les concentrations inhabituellement élevées ont été relevées, la valeur maximale pour tout le domaine d'étude ayant été mesurée dans les eaux de mi-profondeur ($0,17 \mu\text{g/L}$) (Figure 25).

Les concentrations de Zn ne présentent pas de distribution particulière au sein de la zone d'étude. Deux concentrations plus élevées se démarquent ; celles-ci ont été mesurées dans les eaux de surface des stations St19 (1,34 µg/L) et St20 (1,46 µg/L).

Tableau 9 : Matrice de corrélation (Pearson) entre les métaux dissous (Co, Cr(VI), Cr total, Mn et Ni).

| Variables | Co (µg/L) | CrVI (µg/L) | Cr total (µg/L) | Mn (µg/L) | Ni (µg/L) |
|-----------------|-------------|-------------|-----------------|-----------|-----------|
| Co (µg/L) | 1,00 | | | | |
| CrVI (µg/L) | 0,82 | 1,00 | | | |
| Cr total (µg/L) | 0,65 | 0,43 | 1,00 | | |
| Mn (µg/L) | 0,56 | 0,29 | 0,69 | 1,00 | |
| Ni (µg/L) | 0,92 | 0,91 | 0,41 | 0,28 | 1,00 |

Ce qu'il faut retenir :

Comme observé dans les précédentes campagnes, les concentrations des métaux dissous Co, Cr(VI), Cr-total, Mn et Ni se distribuent selon un gradient « côte-large » décroissant mettant en évidence les stations directement influencées par les apports terrigènes des rivières et celles influencées par les apports océaniques. Les concentrations présentent également une distribution verticale très marquée au niveau des stations de fond de baies avec des concentrations nettement décroissantes avec la profondeur, notamment à Port Boisé (St03), Baie Kwé (St06) et Baie du Prony (St15 et St18).

Les concentrations en As sont relativement homogènes dans tout le domaine d'étude et à toutes les profondeurs.

Les autres métaux dosés (Cu, Fe et Zn) ne montrent pas de distribution spatiale bien ordonnée.

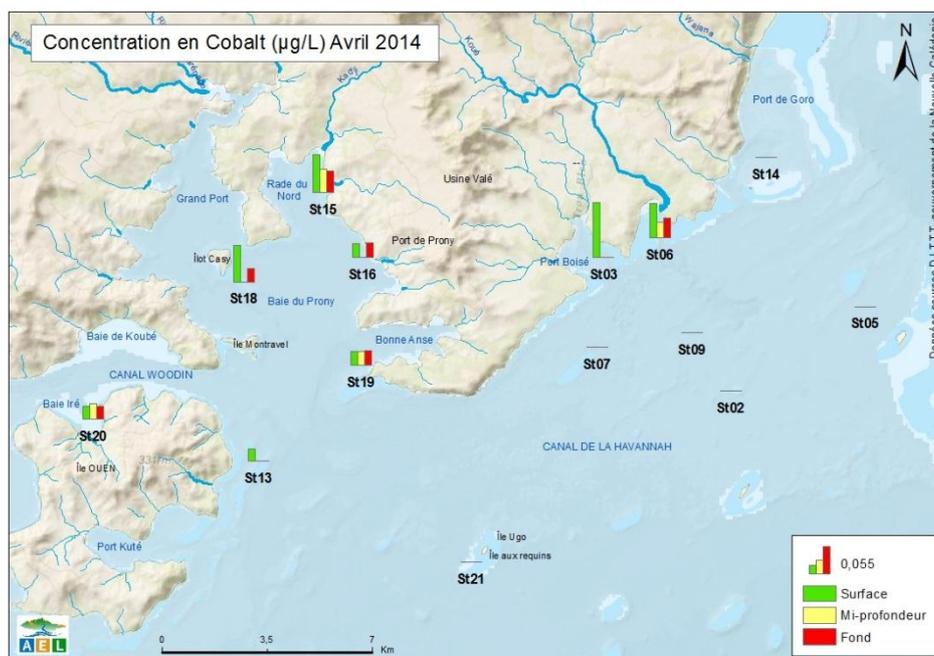


Figure 19 : Concentration en cobalt dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

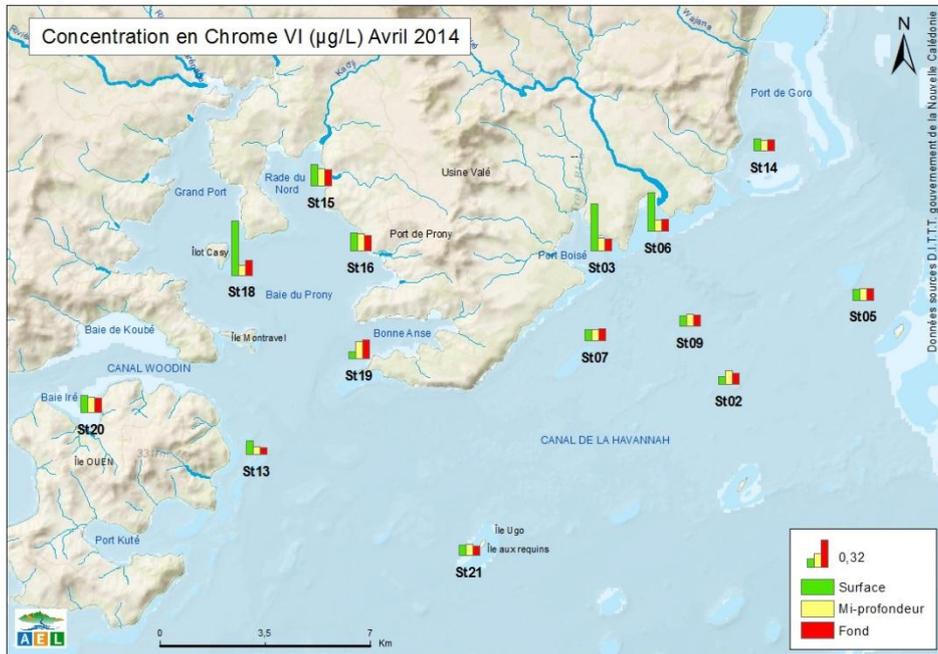


Figure 20 : Concentration en chrome hexavalent dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

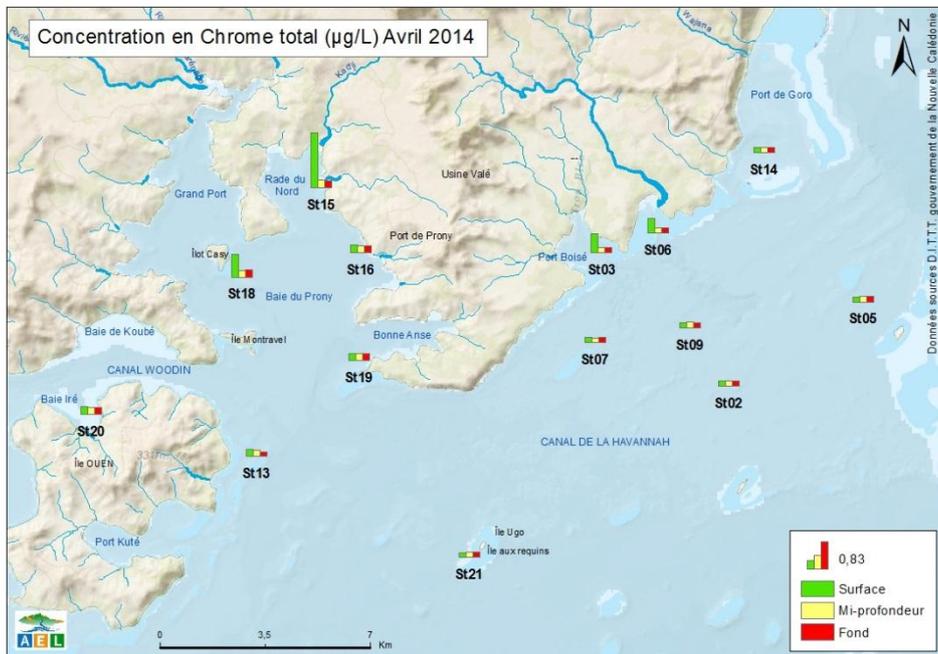


Figure 21 : Concentration en chrome total dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

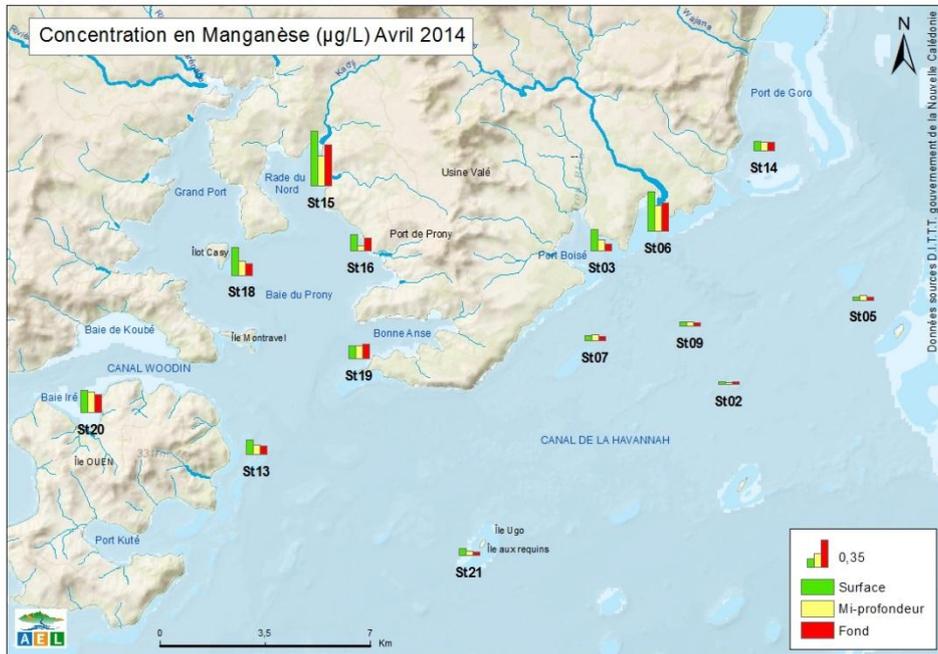


Figure 22 : Concentration en manganèse dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

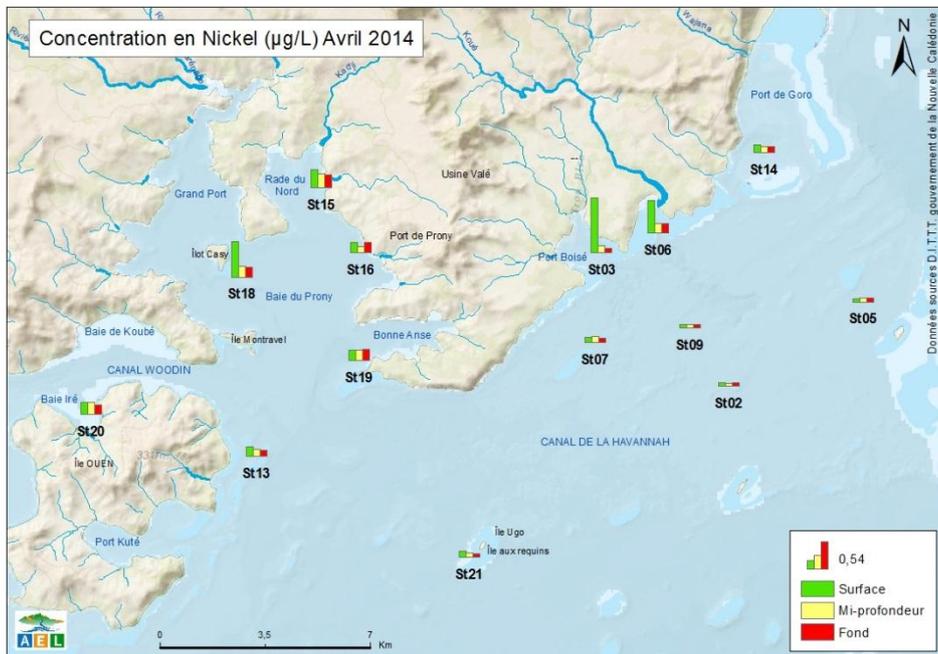


Figure 23 : Concentration en nickel dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

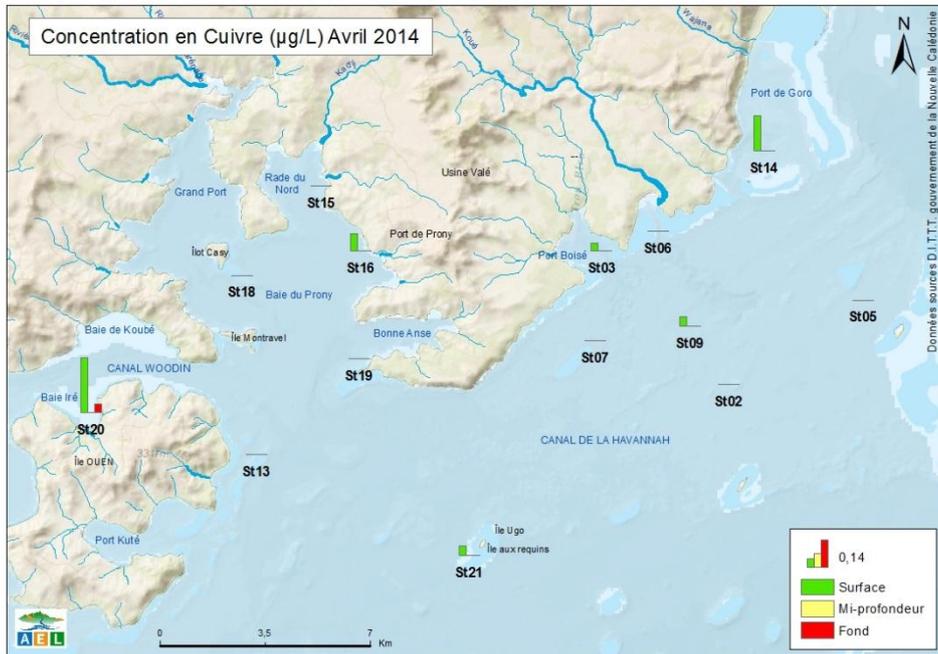


Figure 24 : Concentration en cuivre dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

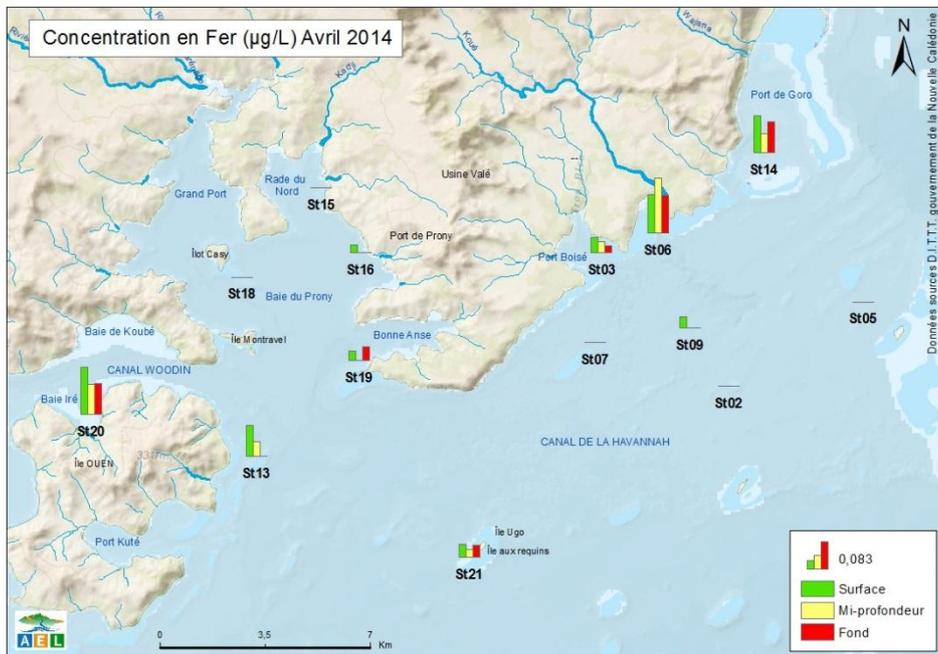


Figure 25 : Concentration en fer dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

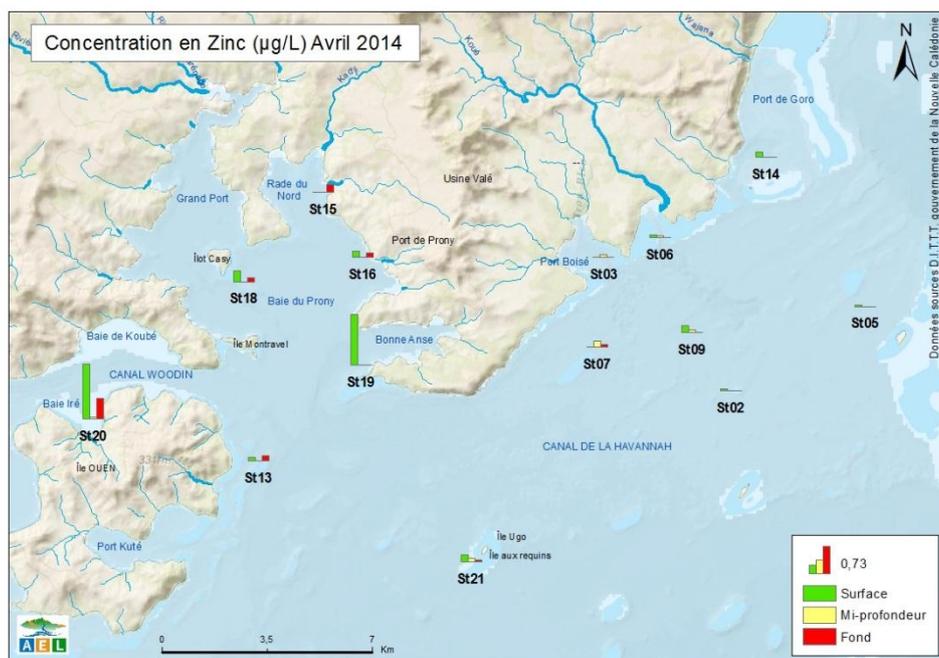


Figure 26 : Concentration en zinc dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014).

Tableau 10 : Concentrations des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Cr total et Cu) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d’avril 2014.

| Station | | As (µg/L) | Co (µg/L) | Cr(VI) (µg/L) | Cr total (µg/L) | Cu (µg/L) |
|----------------------|---------|-------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|
| Domaine entier | Minimum | 0,96 | <0,012 | 0,08 | 0,13 | <0,015 |
| | Maximum | 1,78 | 0,109 | 0,64 | 1,67 | 0,28 |
| | Moyenne | 1,16 ± 0,21 | 0,042 ± 0,024 | 0,18 ± 0,11 | 0,24 ± 0,25 | 0,10 ± 0,09 |
| Canal de la Havannah | Minimum | 1,00 | <0,012 | 0,10 | 0,13 | |
| | Maximum | 1,33 | <0,012 | 0,16 | 0,18 | |
| | Moyenne | 1,11 ± 0,14 | <0,012 | 0,13 ± 0,01 | 0,15 ± 0,01 | 0,05 (n=2) |
| Baie du Prony | Minimum | 0,96 | <0,012 | 0,08 | 0,20 | |
| | Maximum | 1,48 | 0,075 | 0,64 | 1,67 | |
| | Moyenne | 1,19 ± 0,18 | 0,040 ± 0,019 | 0,22 ± 0,14 | 0,38 ± 0,43 | 0,09 (n=1) |

Tableau 11 : 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’avril 2014.

| Station | | Fe (µg/L) | Mn (µg/L) | Ni (µg/L) | Zn (µg/L) |
|----------------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Domaine entier | Minimum | <0,011 | 0,03 | 0,05 | <0,02 |
| | Maximum | 0,17 | 0,69 | 1,08 | 1,46 |
| | Moyenne | 0,07 ± 0,04 | 0,17 ± 0,15 | 0,20 ± 0,19 | 0,24 ± 0,38 |
| Canal de la Havannah | Minimum | <0,011 | 0,03 | 0,05 | <0,02 |
| | Maximum | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,17 |
| | Moyenne | 0,03 ± 0,01 | 0,05 ± 0,02 | 0,08 ± 0,02 | 0,09 ± 0,06 |
| Baie du Prony | Minimum | <0,011 | 0,06 | 0,12 | <0,02 |
| | Maximum | 0,04 | 0,69 | 0,70 | 1,34 |
| | Moyenne | 0,03 ± 0,01 | 0,27 ± 0,18 | 0,26 ± 0,15 | 0,36 ± 0,48 |

SYNTHESE

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

Les conditions météorologiques, notamment les précipitations, ont une influence sur la physico-chimie des eaux et sur la concentration en métaux dissous. Le cumul des précipitations avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes a été reporté dans la Figure 27 et confronté avec les évolutions des sels nutritifs et métaux dissous.

Les précipitations maximales ont été relevées lors de cette dernière campagne de prélèvement d'avril 2014 (75 mm) ; le dernier jour des prélèvements étant le plus pluvieux (62,8 mm) ; les stations de Port Boisé (St03) et de la Kwé (St06) ont été échantillonnées ce jour-là.

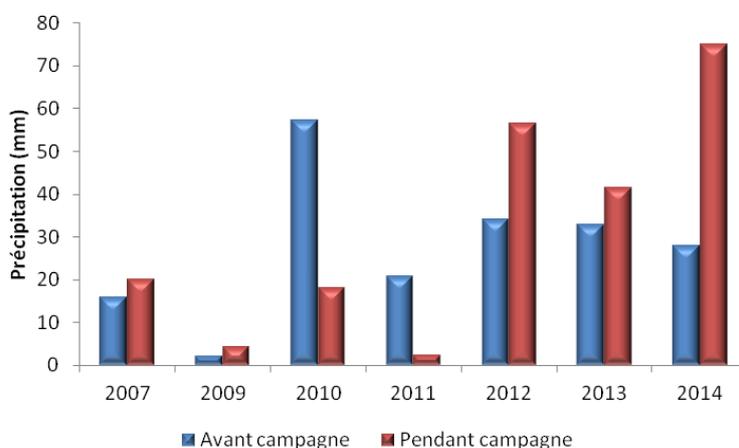


Figure 27 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2014 ; données enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

A. Sels nutritifs

L'évolution des concentrations d'ammonium (NH_4) et de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) entre les différentes campagnes « saison chaude » 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 (NH₄)

A la station St05, les concentrations maximales de NH₄ ont été observées lors de la campagne de 2010 ; la plus élevée ayant été mesurée en surface (0,29 µmol/L) ; les concentrations de NH₄ diffèrent peu d'une année à l'autre pour cette station, proche du récif barrière, fortement influencée par la production primaire.

De la même manière à la station St09, les concentrations de NH₄ mesurées en « saison chaude » depuis le début des campagnes sont relativement stables.

En ce qui concerne la station St06, si les concentrations en NH₄ ne montrent pas de tendance particulière entre les campagnes il est cependant possible de remarquer deux résultats d'analyse légèrement plus élevée que les autres : à mi-profondeur en 2010 (0,27 µmol/L) et au fond en 2012 (0,24 µmol/L).

A la station St15, deux concentrations de NH₄ se démarquent par leurs valeurs plus élevées que les autres : celles-ci ont été mesurées en profondeur lors des campagnes de 2010 (0,25 µmol/L) et 2011 (0,29 µmol/L). Les concentrations de NH₄ mesurées entre mars 2012 et 2014 sont relativement similaires.

2. Nitrates + Nitrites (NO₃+NO₂)

A la station St05, les concentrations de NO₃+NO₂ ne montrent pas de tendance particulière, hormis trois valeurs plus élevées que la moyenne. Il s'agit de la concentration de fond de mars 2009 (0,78 µmol/L) et celles de fond et mi-profondeur de mars 2011 s'élevant à 0,79 et 0,68 µmol/L, respectivement. Les concentrations minimales de NO₃+NO₂ ont été mesurées lors des campagnes de 2012 (<LQ) et 2013 (0,07 ± 0,04 µmol/L). La concentration moyenne de NO₃+NO₂ mesurée dans la colonne d'eau en 2014 est de 0,31 ± 0,03 µmol/L.

A la station St09, les concentrations de NO₃+NO₂ ont atteint un maximum à 1,05 µmol/L en 2009. Hormis cet épisode unique, celles-ci ne présentent aucune évolution entre les campagnes « saison chaude » : la concentration moyenne s'élève à 0,20 ± 0,13 µmol/L.

Pour ce qui est de la station St06, les concentrations en NO₃+NO₂ montrent une relative variabilité entre les différentes campagnes « saison chaude » ; la concentration moyenne s'élevant à 0,38 ± 0,23 µmol/L. Seule la concentration de surface mesurée en 2013 correspond à la concentration maximale de NO₃+NO₂ mesurée à cette station (1,39 µmol/L).

La variabilité temporelle la plus importante est observée à la station St15, les concentrations de NO₃+NO₂ étant différentes entre les campagnes. Cette évolution ne semble pas être liée à la pluviométrie mesurée avant et pendant les campagnes et une tendance à la diminution globale semble se dessiner entre 2007 et 2013. En 2014, la concentration de fond (0,82 µmol/L) remonte nettement, sans toutefois atteindre le niveau de concentration mesuré en 2009 (0,93 µmol/L).

Ce qu'il faut retenir

Pour les ions ammonium, (NH₄), hormis certaines valeurs de concentrations ponctuelles liées au contexte hydro-climatique, aucune tendance temporelle ne semble se dessiner.

En ce qui concerne les nitrates et nitrites (NO₃+NO₂), les stations de baies reflètent les différentes contributions terrigènes et leur variabilité temporelle. Ailleurs, des variations très modérées sont observées à proximité du récif barrière, en raison de l'activité de la production primaire. Au centre du Canal de la Havannah, on enregistre la moins grande variabilité, en grande partie explicable par les mécanismes de brassage qui tendent à homogénéiser les eaux.

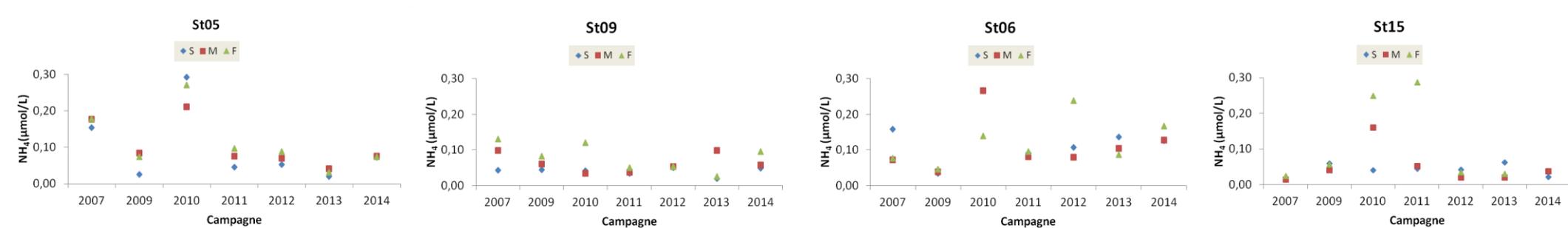


Figure 28 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

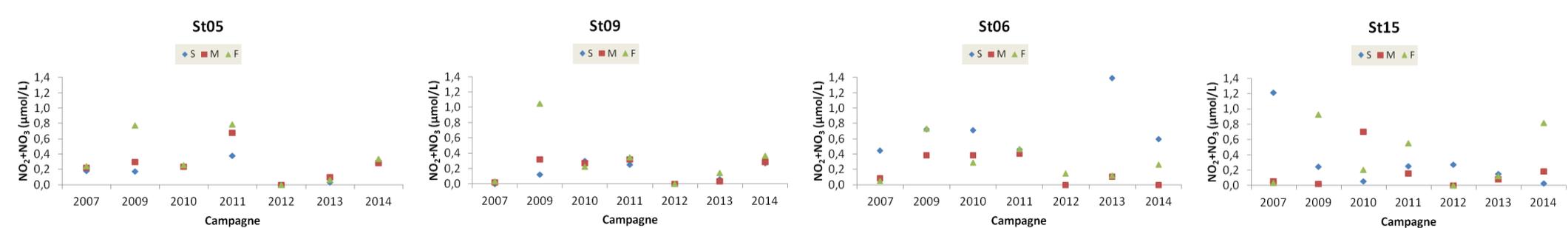


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St09, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

B. Métaux dissous

1. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations de baies (St03, St06 et St15)

L'évolution des concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 aux stations St03 (Port Boisé), St06 (Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord) a été reportée dans les Figure 30, Figure 31, Figure 32 et Figure 33.

Station St03 (Port Boisé)

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

Relativement stable depuis le début des campagnes « saison chaude », toutes profondeurs confondues (0,16 ±0,11 µg/L), la concentration en Cr(VI) dans les eaux de surface a été multipliée par 2,5 fois en mars 2014. Pour les deux autres métaux Co et Ni, des augmentations sont également décelées en mars 2014, mais elles restent plus ténues.

La variabilité temporelle des concentrations de Mn est de moindre ampleur (0,05 et 0,32 µg/L) que pour les trois autres métaux. Par ailleurs, aucune augmentation significative n'est mesurée en 2014.

Station St06 (Baie Kwé)

Alors qu'entre 2009 et 2012, les concentrations de Cr(VI) ont été relativement similaires (0,14 ±0,05 µg/L), en 2013 et 2014, les valeurs dans les eaux de surface ont doublé (0,35 µg/L), voire triplé (0,45 µg/L), respectivement. A contrario, au fond et à mi-profondeur, les concentrations sont restées du même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes.

Les concentrations les plus élevées de Co, Mn et Ni sont majoritairement mesurées dans les eaux de surface avec des écarts notables. A l'inverse de la couche de surface, peu de fluctuations sont observées dans les eaux de fond et de mi-profondeur, et dans les deux cas, les valeurs ne montrent pas d'évolution particulière du milieu. Les concentrations maximales de Co ont été mesurées lors des campagnes de 2010 (0,09 µg/L), 2011 (0,08 µg/L) et 2014 (0,07 µg/L) alors que celles de Ni ont été mesurées en 2009 (0,82 µg/L), 2013 (0,73 µg/L) et 2014 (0,65 µg/L). Pour Mn, une variabilité plus importante affecte l'intégralité de la colonne d'eau (0,29 ±0,16 µg/L), la valeur maximale ayant été mesurée en 2009 (0,66 µg/L) dans les eaux de surface. Cette variabilité est liée au comportement intrinsèque du Mn dissous qui est lié à la quantité en MES dans les eaux.

Station St15 (Prony Creek Rade Nord)

A la station St15, alors que les concentrations de Cr(VI) dans les eaux de mi-profondeur et de fond sont remarquablement stables depuis 2007 (0,18 ±0,02 µg/L), les concentrations en surface, qui sont environ trois fois plus élevées en moyenne, montrent une grande variabilité entre les campagnes (0,52 ±0,41 µg/L). La concentration maximale a été mesurée en 2011 (1,22 µg/L).

En ce qui concerne les concentrations de Co et Ni, dans les eaux de mi-profondeur elles ne diffèrent pas ou très légèrement depuis 2007 (0,29 ±0,06 µg/L et 0,05 ±0,01 µg/L, respectivement). A l'inverse, l'amplitude des variations est importante dans les eaux de fond et particulièrement élevée dans la couche de surface où l'on rencontre les concentrations les plus élevées (Co = 0,27 µg/L et Ni = 1,44 µg/L).

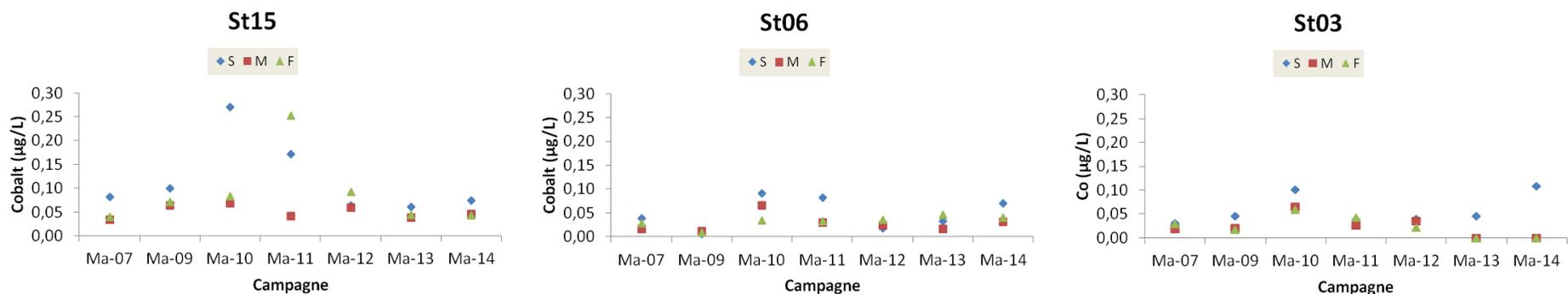


Figure 30 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

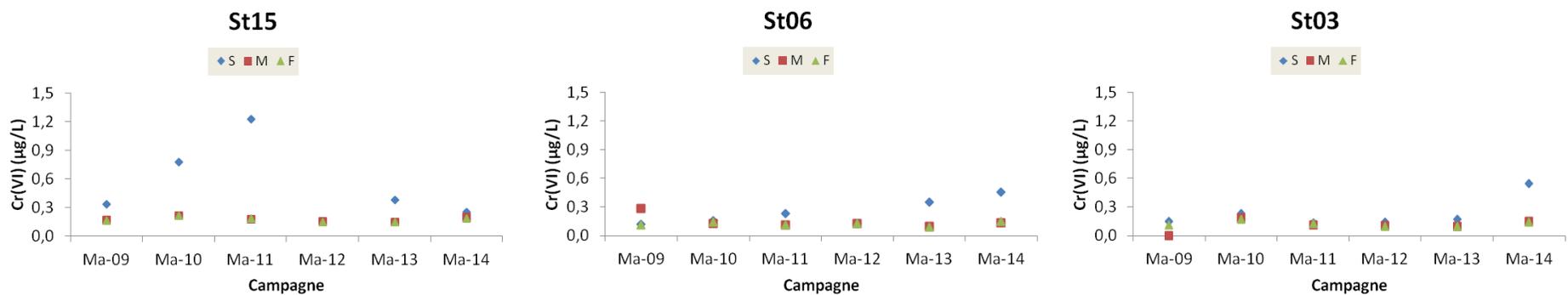


Figure 31 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

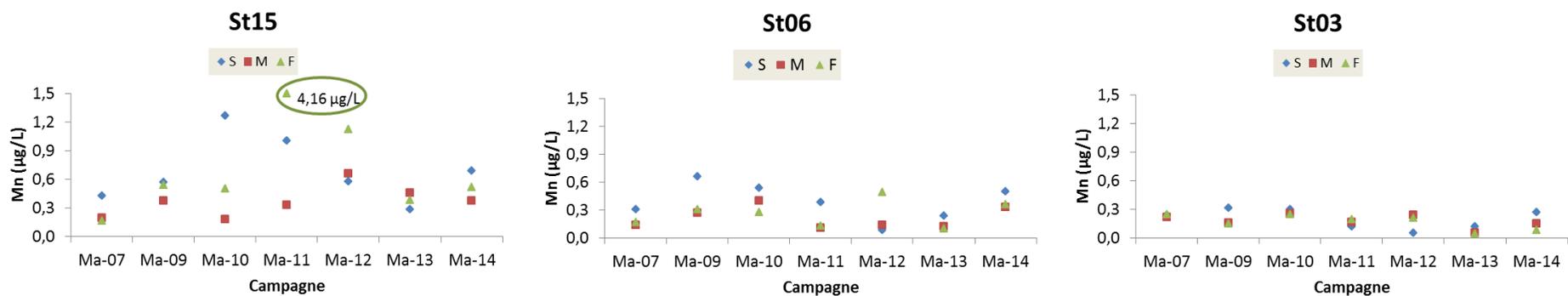


Figure 32 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

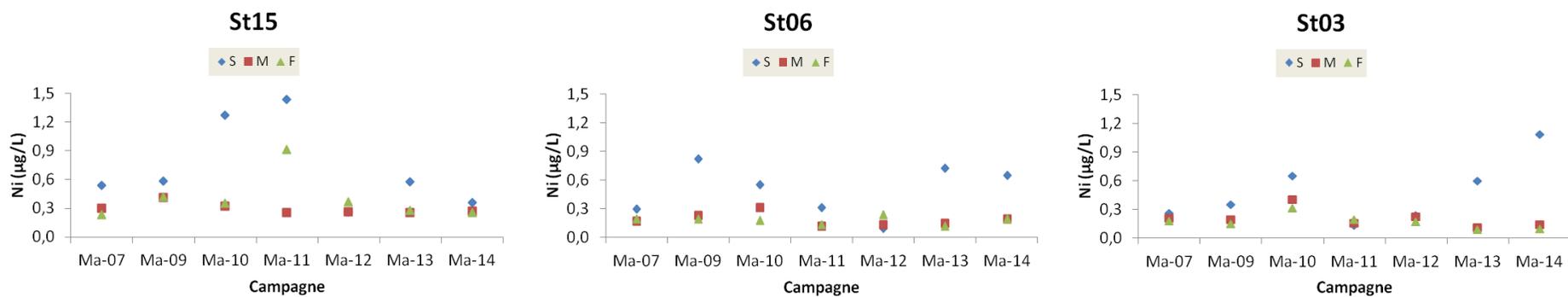


Figure 33 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

Pour Mn, la variabilité des concentrations concerne de manière indifférenciée les trois couches d'eau, la valeur la plus élevée ayant été mesurée en 2011 dans les eaux de fond (4,16 µg/L) ; cette concentration est 4 et 12 fois plus forte par rapport aux valeurs de surface (1,00 µg/L) et de mi-profondeur (0,33 µg/L) et est à relier à la présence d'un néphéloïde benthique bien développé (2-3 NTU) sur les derniers mètres de la colonne d'eau (Convention AEL-LEA/Vale-NC N°C2445). Cette structure turbide explique également l'augmentation des concentrations de Co (0,25 µg/L) et Ni (0,91 µg/L).

Pour ces 4 métaux (Co, Cr(VI), Mn et Ni), les concentrations les plus élevées ont été mesurées en 2010 et 2011 dans les eaux de surface

2. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations du Canal de la Havannah (St05, St07 et St09)

L'évolution des concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 aux stations St05 (Ilot Kié), St07 (Récif Ioro) et St09 (Canal de la Havannah) a été reportée dans les Figure 34, Figure 35, Figure 36 et Figure 37.

Les concentrations demeurent faibles et, particulièrement à la station St05, sont d'une grande constance interannuelle pour Cr(VI), Mn et Ni. Par ailleurs, les masses d'eau montrent une grande homogénéité puisque aucune différenciation n'est notable entre les profondeurs échantillonnées. Pour Co, les concentrations restent régulièrement en dessous des limites de quantification (<0,012 µg/L) dans tout le Canal de la Havannah.

Aux stations St07 et St09, la distribution temporelle des concentrations dessine, pour l'ensemble de la colonne, une baisse des concentrations de Co, Mn, Ni et dans une moindre mesure Cr(VI), entre 2007 et 2010. Depuis 2011, les concentrations des campagnes « saison chaude » montrent une stabilisation.

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

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni, comme les concentrations en sels nutritifs (nitrates+nitrites et d'ammonium), ne semblent pas corrélées à la pluviométrie.

Ce qu'il faut retenir

A l'intérieur des baies, les eaux de surface montrent des variations de concentrations pour les Co, Cr(VI), Mn et en particulier pour Ni. Les concentrations le plus fortes et les fluctuations les plus marquées sont observées à la station St15, au droit du Creek de la Rade Nord. En Baie Kwé (St06), aucune tendance claire ne peut être établie, comme à Port Boisé (St03), malgré des augmentations observées en 2013 et 2014 pour les 4 métaux. Pour toutes les stations, les concentrations les plus fortes des eaux de surface ont été enregistrées entre 2010 et 2011.

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations demeurent faibles (Cr(VI), Mn et Ni), voire en dessous de la limite de quantification (Co). Au niveau de la réserve Merlet (St05), pour chaque métal, les valeurs sont homogènes et constantes sur toute la hauteur de la colonne d'eau depuis 2007. Pour les stations St07 et St09, une diminution des concentrations de Co, Mn et Ni, est observable entre 2007 et 2010 avant de se stabiliser depuis 2011.

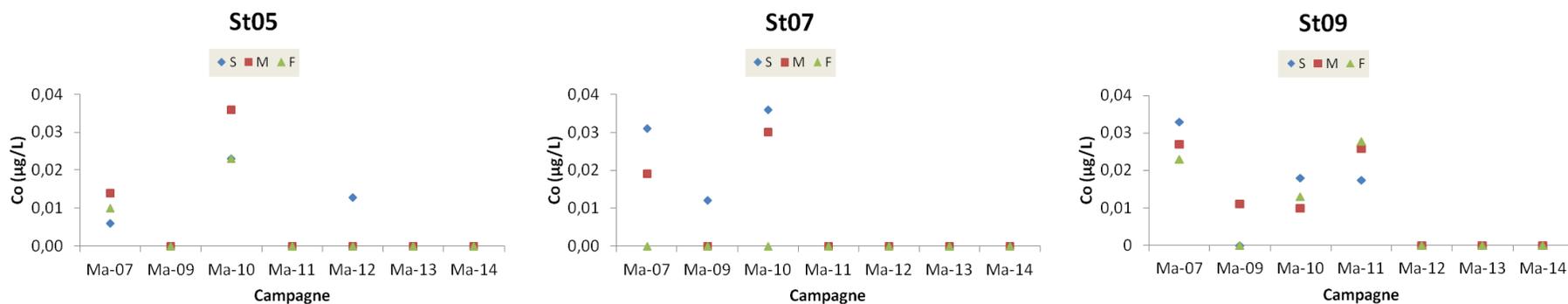


Figure 34 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

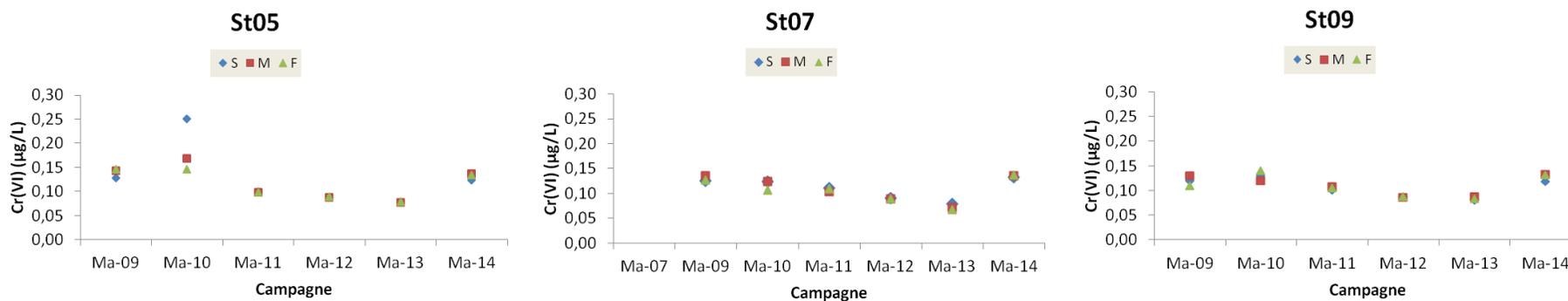


Figure 35 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

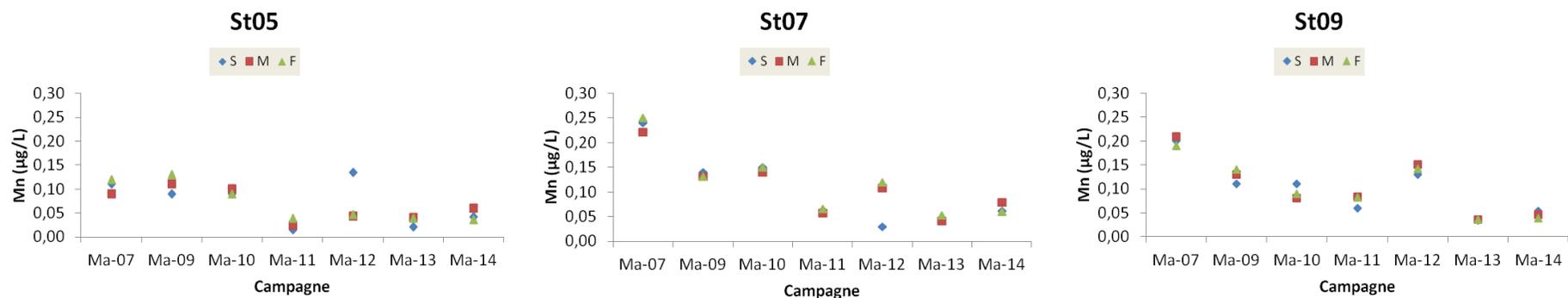


Figure 36 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

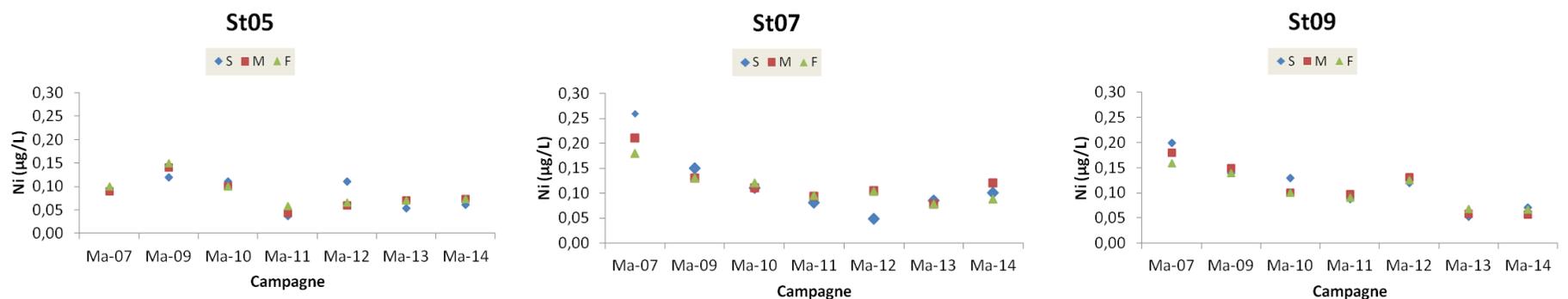


Figure 37 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014).

CONCLUSION

Comme observé lors des précédentes campagnes semestrielles « saison chaude », les principales variations des paramètres physico-chimiques (Ex. : salinité, température, turbidité), des concentrations en sels nutritifs (Ex. : les silicates) ou en métaux dissous (Ex. : Co, Cr(VI), Cr-total, Mn et Ni) observées lors de la campagne 2014, mettent en évidence le degré d'influence des apports terrigènes. Ainsi, en fonction de la distance aux émissaires naturels et des conditions hydrodynamiques, les concentrations, notamment des eaux de surface, se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini ; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Port Boisé, Kwé et Baie du Prony), les plus faibles apparaissant dans le Canal de la Havannah.

Toutefois, certaines particularités singularisent chacune des baies. En effet, les concentrations de sels nutritifs tels que l'ammonium et les phosphates sont plus élevées dans la Baie du Prony que dans les baies de Port Boisé et de la Kwé en raison d'une activité phyto-planctonique plus intense. Bien que non élucidée spécifiquement, cette production primaire est probablement à relier avec la présence d'eaux de ruissellement des creeks qui alimentent la rade. Par ailleurs, dans la Rade Nord, les eaux sont plus riches en Cr-total et Mn que celles des deux autres baies. La Baie de Port Boisé, quant à elle, présente une couche de surface de faible salinité riche en Cr(VI), Co, Ni et silicates. Les eaux de surface de la Baie Kwé présentent une composition similaire, mais les métaux y sont moins concentrés. Les eaux de la Baie Kwé, contrairement aux eaux de Port Boisé, montrent des concentrations de Mn et Fe assez élevées.

L'étude des variations interannuelles des sels nutritifs (ammonium et nitrates+nitrites) aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15) ne mettent pas en évidence d'évolution particulière depuis le début des campagnes, les variations observées ne dépendant que des conditions hydrodynamiques et de la saisonnalité. L'évolution des phosphates dans la Baie du Prony est cependant à suivre. Pour les métaux dissous (Co, Cr(VI), Mn et Ni), l'étude de la série chronologique n'a pas montré d'évolution particulière pour la Rade Nord (St15), ni en Baie Kwé (St06), à l'exception, pour cette dernière, des concentrations en Cr(VI) qui présentent une augmentation entre 2012 et 2014. Dans la baie de Port Boisé, de fortes concentrations ont également été mesurées en 2014 pour Co, Cr(VI) et Ni dans les eaux de surface, observations déjà réalisées en août 2013. Toutefois, pour cette baie (hors périmètre d'influence directe de Vale-NC), à ce stade, il n'est pas envisageable de se prononcer quant à un éventuel impact indirect des activités minières de Vale-NC sur les concentrations en métaux dissous dans milieu. Dans le Canal de la Havannah, les concentrations demeurent faibles (Cr(VI), Mn et Ni), voire en dessous de la limite de quantification (Co) quel que soit la profondeur, observation particulièrement avérée à proximité de la réserve Merlet (St05) où les concentrations sont constantes depuis 2007.

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, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (août 2010). Convention n C2445.

Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n C2445.

Le Grand H, Moreton B, Dolbecq M, Haddad L, Rounsard 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, Rounsard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roin  S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n C2445.

Le Grand H, Moreton M, Hulliger M, Rounsard F, Kumar-Roin  S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison 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. 2^{ième} 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. | 11 |
| Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (27-31/03/14) la campagne et pendant la campagne semestrielle (1-3/04/14). | 13 |
| Figure 3 : Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d’avril 2014 reportée sur le marégramme du 1 au 3 avril 2014. | 13 |
| Figure 4 : Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’avril 2014. | 16 |
| Figure 5 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’avril 2014. | 17 |
| Figure 6 : Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’avril 2014. | 18 |
| Figure 7 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’avril 2014. | 19 |
| Figure 8 : Concentration des matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 21 |
| Figure 9 : Concentration en nitrates/nitrites dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 23 |
| Figure 10 : Concentration en ammonium dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 24 |
| Figure 11 : Concentration en phosphates dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 25 |
| Figure 12 : Concentration en silicates dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 26 |
| Figure 13 : Concentration en azote organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 27 |
| Figure 14 : Concentration en phosphore organique dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 28 |
| Figure 15 : Concentration en azote organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 29 |
| Figure 16 : Concentration en carbone organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 29 |
| Figure 17 : Concentration en phosphore organique particulaire dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 30 |
| Figure 18 : Concentration en chlorophylle <i>a</i> dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 31 |
| Figure 19 : Concentration en cobalt dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014). | 33 |

| | |
|--|----|
| Figure 20 : Concentration en chrome hexavalent dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014)..... | 34 |
| Figure 21 : Concentration en chrome total dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014)..... | 34 |
| Figure 22 : Concentration en manganèse dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014)..... | 35 |
| Figure 23 : Concentration en nickel dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014)..... | 35 |
| Figure 24 : Concentration en cuivre dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014)..... | 36 |
| Figure 25 : Concentration en fer dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014)..... | 36 |
| Figure 26 : Concentration en zinc dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle (avril 2014)..... | 37 |
| Figure 27 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2014 ; données enregistrées à la station d’observation « Prony Pilot station »..... | 38 |
| 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 chaude » (2007 à 2014)..... | 40 |
| 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 chaude » (2007 à 2014)..... | 40 |
| Figure 30 : Concentrations de cobalt mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014)..... | 42 |
| Figure 31 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014)..... | 42 |
| Figure 32 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014)..... | 43 |
| Figure 33 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St15, St06 et St03 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2014)..... | 43 |
| 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 chaude » (2007 à 2014)..... | 45 |
| 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 chaude » (2007 à 2014)..... | 45 |
| 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 chaude » (2007 à 2014)..... | 46 |
| 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 chaude » (2007 à 2014)..... | 46 |

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. | 12 |
| 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'avril 2014. | 15 |
| Tableau 3 : Concentrations des MES dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'avril 2014. | 21 |
| 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 d'avril 2014. | 22 |
| Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014. | 26 |
| Tableau 6 : Matrice de corrélation des concentrations de NOP, COP et POP. | 28 |
| Tableau 7 : Concentrations de l'azote et phosphore organiques dissous et de l'azote, carbone et phosphore organiques particuliers dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014. | 30 |
| Tableau 8 : Concentrations de chlorophylle <i>a</i> mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014. | 31 |
| Tableau 9 : Matrice de corrélation (Pearson) entre les métaux dissous (Co, Cr(VI), Cr total, Mn et Ni). | 33 |
| Tableau 10 : Concentrations des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Cr total et Cu) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'avril 2014. | 37 |
| Tableau 11 : 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'avril 2014. | 37 |

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 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 ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$) | 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 ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) et de phosphates (PO_4) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et le phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C . Chaque niveau de profondeur échantillonné a fait l'objet d'un triplicat ;
- PEHD ambrés et sont filtrés sur des filtres Whatman[®] GF/F (porosité $0,7 \mu\text{m}$) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20°C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire et le phosphore organique particulaire.

Nitrates + Nitrites

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

Ammonium

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

Phosphates

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

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 $140 \mu\text{M}$, la limite de quantification est de $0,05 \mu\text{M}$ et l'intervalle de confiance de $98,5 \%$ sur une gamme de 0 à $10 \mu\text{M}$ 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 & Luegbe, modèle Autoanalyseur III.

Les valeurs brutes obtenues correspondent à la concentration de matière organique totale. Les valeurs de la matière organique dissoute sont alors calculées par la différence entre les valeurs de matière organique totale et celles de forme minérale et particulaire.

Azote et phosphore organiques particulaires

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

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

$$\begin{aligned}[\text{NOP}] &= [\text{NO}_3 + \text{NO}_2]_t \times V_1/V_2 \\ [\text{POP}] &= [\text{PO}_4]_t \times V_1/V_2\end{aligned}$$

Soit :

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

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 multiparamétrique SBE 19). Sur chaque extrait, la mesure de fluorescence est effectuée deux fois, avant et après acidification. L'écart de fluorescence observé entre ces deux lectures est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle *a* par rapport à la somme chlorophylle *a* + Phéophytine *a*. Etant données les interférences dues aux chlorophylles *b* et *c*, la précision des mesures dépend de la nature même des communautés de producteurs primaires. La limite de quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 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 42 échantillons du premier lot ont été filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments Cr(total)/Cr(VI) effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire de AEL ;
- Les 42 échantillons du deuxième lot ont été filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons ont été envoyés au laboratoire ALS (Australie) pour l'analyse des éléments dissous As, Cd et Pb par ICP-MS ;
- Les 42 échantillons du troisième lot ont été directement filtrés à 0,45 µm en ligne (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les percolations terminées, chaque colonne de résine a été bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer[®]) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux ont été élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2M). L'analyse des éléments dissous Co, Fe, Mn, Ni et Zn a ensuite été 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) | 0,030 |
| Cu | 0,015 |
| Fe | 0,011 |
| Mn | 0,011 |
| Ni | 0,012 |
| Pb | 0,100 |
| 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'avril 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m ; Nd = Valeur non déterminée.

| Station | Niveau | Ca (mg/L) | K (mg/l) | Na (mg/L) | Mg (mg/L) | Cl (mg/L) | SO ₄ (mg/L) | pH | MES (mg/L) |
|---------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------|------------|
| St02 | S | 434 | 381 | 12673 | 1364 | 18874 | 2506 | 8,28 | 0,28 |
| St02 | M | 443 | 390 | 12528 | 1392 | 18734 | 2503 | 8,28 | 0,32 |
| St02 | F | 441 | 388 | 12836 | 1381 | 18520 | 2478 | 8,29 | 0,61 |
| St03 | S | 421 | 370 | 12076 | 1322 | 17996 | 2406 | 8,29 | 0,52 |
| St03 | M | 442 | 382 | 12405 | 1362 | 19636 | 2594 | 8,29 | 0,72 |
| St03 | F | 438 | 382 | 12783 | 1373 | 19289 | 2543 | 8,29 | 0,68 |
| St05 | S | 436 | 379 | 13064 | 1371 | 19557 | 2614 | 8,30 | 0,16 |
| St05 | M | 437 | 382 | 12796 | 1373 | 19117 | 2651 | 8,31 | 0,32 |
| St05 | F | 440 | 379 | 12918 | 1384 | 19307 | 2524 | 8,30 | 0,18 |
| St06 | S | 414 | 359 | 12256 | 1299 | 18947 | 2541 | 8,21 | 0,48 |
| St06 | M | 438 | 383 | 12457 | 1376 | 20220 | 2635 | 8,24 | 0,37 |
| St06 | F | 441 | 386 | 12310 | 1385 | 20041 | 2685 | 8,21 | 0,68 |
| St07 | S | 442 | 383 | 12480 | 1390 | 20197 | 2666 | 8,30 | 0,19 |
| St07 | M | 438 | 379 | 12495 | 1376 | 20991 | 2818 | 8,30 | 0,07 |
| St07 | F | 443 | 384 | 12493 | 1395 | 18714 | 2932 | 8,30 | 0,14 |
| St09 | S | 447 | 385 | 12912 | 1404 | 18288 | 2806 | 8,29 | 0,23 |
| St09 | M | 444 | 385 | 12802 | 1391 | 18481 | 2866 | 8,30 | 0,02 |
| St09 | F | 455 | 393 | 13634 | 1429 | 18484 | 2807 | 8,29 | 0,19 |
| St13 | S | 445 | 383 | 13196 | 1397 | 18435 | 2868 | 8,24 | 0,37 |
| St13 | M | 446 | 384 | 12832 | 1404 | 19078 | 2893 | 8,25 | 0,39 |
| St13 | F | 450 | 386 | 12622 | 1418 | 19126 | 2929 | 8,23 | 0,54 |
| St14 | S | 447 | 380 | 12670 | 1404 | 19064 | 2957 | 8,27 | 0,14 |
| St14 | M | 447 | 384 | 12620 | 1410 | 19257 | 2967 | 8,30 | 0,27 |
| St14 | F | 446 | 382 | 12362 | 1406 | 19034 | 2884 | 8,29 | 0,31 |
| St15 | S | 443 | 380 | 12779 | 1398 | 18976 | 2935 | 8,21 | 0,34 |
| St15 | M | 443 | 380 | 12593 | 1393 | 20334 | 2701 | 8,24 | 0,55 |
| St15 | F | 448 | 384 | 13376 | 1412 | 18922 | 2947 | 8,24 | 0,53 |
| St16 | S | 446 | 382 | 12593 | 1405 | 19258 | 3033 | 8,20 | 0,23 |
| St16 | M | 450 | 383 | 12900 | 1416 | 26156 | 3289 | 8,24 | 0,39 |
| St16 | F | 445 | 378 | 12568 | 1401 | 19177 | 2892 | 8,23 | 0,82 |
| St18 | S | 430 | 365 | 12512 | 1358 | 18634 | 2790 | 8,21 | 0,23 |
| St18 | M | 449 | 381 | 13203 | 1414 | 19252 | 2935 | 8,22 | 0,24 |
| St18 | F | 449 | 381 | 12365 | 1414 | 18769 | 2860 | 8,22 | 0,40 |
| St19 | S | 453 | 385 | 12598 | 1431 | 18291 | 2810 | 8,22 | 0,29 |
| St19 | M | 456 | 384 | 13265 | 1443 | 18631 | 2858 | 8,24 | 0,11 |
| St19 | F | 440 | 374 | 12664 | 1390 | 18514 | 2958 | 8,22 | 0,39 |

| Station | Niveau | Ca (mg/L) | K (mg/l) | Na (mg/L) | Mg (mg/L) | Cl (mg/L) | SO ₄ (mg/L) | pH | MES (mg/L) |
|---------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------|------------|
| St20 | S | 361 | 305 | 10166 | 1134 | 19315 | 2880 | 8,22 | 0,79 |
| St20 | M | 436 | 372 | 12590 | 1374 | 19140 | 2958 | 8,24 | 0,21 |
| St20 | F | 441 | 379 | 12582 | 1389 | 19446 | 2892 | 8,24 | 0,82 |
| St21 | S | 445 | 378 | 12788 | 1401 | 19485 | 3026 | 8,29 | 0,33 |
| St21 | M | 444 | 380 | 12599 | 1393 | 17011 | 2601 | 8,30 | 0,14 |
| St21 | F | 448 | 382 | 12880 | 1410 | 18913 | 2920 | 8,29 | 0,17 |

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'avril 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m ; <LQ = Valeurs inférieures à la limite de quantification ; ND = Concentration non déterminée.

| Station | Niveau | NO_3+NO_2 ($\mu\text{mol/L}$) | NH_4 ($\mu\text{mol/L}$) | PO_4 ($\mu\text{mol/L}$) | Si ($\mu\text{mol/L}$) |
|---------|--------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| St02 | S | 0,036 ± 0,013 | 0,061 ± 0,016 | <LQ | 0,82 ± 0,11 |
| St02 | M | 0,469 ± 0,004 | 0,114 ± 0,027 | <LQ | 0,67 ± 0,04 |
| St02 | F | 0,312 ± 0,047 | 0,067 ± 0,020 | 0,055 ± 0,002 | 0,68 ± 0,01 |
| St03 | S | 0,180 ± 0,006 | 0,071 ± 0,039 | 0,070 ± 0,008 | 8,14 ± 0,05 |
| St03 | M | 0,123 ± 0,057 | 0,115 ± 0,001 | 0,072 ± 0,010 | 1,23 ± 0,01 |
| St03 | F | ND | 0,084 ± 0,007 | 0,064 ± 0,007 | 1,03 ± 0,02 |
| St05 | S | 0,295 ± 0,026 | 0,073 ± 0,025 | <LQ | 0,85 ± 0,03 |
| St05 | M | 0,286 ± 0,006 | 0,075 ± 0,006 | <LQ | 0,77 ± 0,02 |
| St05 | F | 0,342 ± 0,014 | 0,073 ± 0,022 | <LQ | 0,81 ± 0,02 |
| St06 | S | 0,596 ± 0,025 | 0,125 ± 0,009 | <LQ | 6,32 ± 0,10 |
| St06 | M | ND | 0,127 ± 0,046 | <LQ | 1,40 ± 0,03 |
| St06 | F | 0,262 ± 0,043 | 0,166 ± 0,007 | <LQ | 1,49 ± 0,06 |
| St07 | S | 0,327 ± 0,050 | 0,072 ± 0,016 | 0,070 ± 0,007 | 0,93 ± 0,06 |
| St07 | M | 0,180 ± 0,019 | 0,045 ± 0,002 | 0,058 ± 0,007 | 0,89 ± 0,02 |
| St07 | F | 0,209 ± 0,063 | 0,094 ± 0,024 | 0,071 ± 0,011 | 0,93 ± 0,01 |
| St09 | S | 0,274 ± 0,023 | 0,048 ± 0,004 | 0,060 ± 0,003 | 0,70 ± 0,06 |
| St09 | M | 0,282 ± 0,046 | 0,057 ± 0,009 | <LQ | 0,61 ± 0,06 |
| St09 | F | 0,369 ± 0,024 | 0,095 ± 0,010 | <LQ | 0,60 ± 0,09 |
| St13 | S | 0,215 ± 0,034 | 0,064 ± 0,002 | 0,088 ± 0,008 | 1,44 ± 0,04 |
| St13 | M | ND | 0,121 ± 0,011 | 0,056 ± 0,008 | 1,25 ± 0,03 |
| St13 | F | 0,727 ± 0,076 | 0,137 ± 0,006 | 0,072 ± 0,002 | 1,05 ± 0,03 |
| St14 | S | 0,177 ± 0,066 | 0,043 ± 0,008 | <LQ | 1,24 ± 0,01 |
| St14 | M | 0,200 ± 0,034 | 0,048 ± 0,006 | <LQ | 1,16 ± 0,03 |
| St14 | F | 0,231 ± 0,030 | 0,084 ± 0,008 | <LQ | 1,19 ± 0,04 |
| St15 | S | 0,026 ± 0,013 | 0,022 ± 0,009 | <LQ | 2,39 ± 0,02 |
| St15 | M | 0,185 ± 0,042 | 0,037 ± 0,009 | 0,074 ± 0,004 | 2,04 ± 0,07 |
| St15 | F | 0,818 ± 0,013 | 0,400 ± 0,001 | 0,194 ± 0,009 | 3,06 ± 0,02 |
| St16 | S | 0,057 ± 0,015 | 0,042 ± 0,007 | 0,086 ± 0,007 | 2,13 ± 0,16 |
| St16 | M | 0,274 ± 0,082 | 0,201 ± 0,010 | 0,121 ± 0,003 | 2,13 ± 0,04 |
| St16 | F | ND | 0,595 ± 0,019 | 0,273 ± 0,002 | 4,32 ± 0,01 |
| St18 | S | ND | 0,017 ± 0,005 | <LQ | 6,62 ± 0,02 |
| St18 | M | ND | 0,033 ± 0,002 | 0,068 ± 0,011 | 1,81 ± 0,09 |
| St18 | F | 0,418 ± 0,051 | 0,128 ± 0,001 | 0,118 ± 0,008 | 1,95 ± 0,01 |
| St19 | S | 0,134 ± 0,074 | 0,014 ± 0,003 | <LQ | 1,83 ± 0,02 |
| St19 | M | 0,185 ± 0,021 | 0,061 ± 0,019 | 0,095 ± 0,001 | 1,88 ± 0,04 |
| St19 | F | 0,169 ± 0,021 | 0,124 ± 0,018 | 0,107 ± 0,002 | 2,02 ± 0,18 |

| Station | Niveau | NO ₃ +NO ₂ (μmol/L) | NH ₄ (μmol/L) | PO ₄ (μmol/L) | Si (μmol/L) |
|---------|--------|---|--------------------------|--------------------------|-------------|
| St20 | S | 0,188 ± 0,027 | 0,068 ± 0,009 | <LQ | 1,75 ± 0,07 |
| St20 | M | 0,179 ± 0,002 | 0,113 ± 0,007 | <LQ | 1,70 ± 0,09 |
| St20 | F | 0,055 ± 0,002 | 0,083 ± 0,016 | <LQ | 1,64 ± 0,10 |
| St21 | S | 0,131 ± 0,019 | 0,070 ± 0,027 | 0,064 ± 0,004 | 1,06 ± 0,03 |
| St21 | M | ND | 0,065 ± 0,011 | 0,073 ± 0,007 | 1,04 ± 0,01 |
| St21 | F | 0,221 ± 0,020 | 0,044 ± 0,005 | 0,091 ± 0,007 | 0,97 ± 0,05 |

ANNEXE 4

CONCENTRATIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE DISSOUE, 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'avril 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m ; ND = Valeur non déterminée.

| Station | Niveau | NOD ($\mu\text{mol/L}$) | POD ($\mu\text{mol/L}$) | NOP ($\mu\text{mol/L}$) | COP ($\mu\text{mol/L}$) | POP ($\mu\text{mol/L}$) | Chlorophylle <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$) |
|---------|--------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|--|
| St02 | S | 4,83 | 0,23 | 0,88 | 11,4 | 0,05 | 0,28 |
| St02 | M | 3,62 | 0,12 | 0,99 | 12,9 | 0,05 | ND |
| St02 | F | 4,81 | 0,20 | 0,86 | 13,9 | 0,05 | 0,25 |
| St03 | S | 4,11 | 0,09 | 1,82 | 21,5 | 0,07 | 0,34 |
| St03 | M | 4,98 | 0,11 | 1,01 | 13,5 | 0,06 | 0,27 |
| St03 | F | 4,82 | 0,12 | 1,20 | 15,2 | 0,07 | 0,26 |
| St05 | S | 4,19 | 0,24 | 0,82 | 10,2 | 0,04 | 0,52 |
| St05 | M | 4,51 | 0,27 | 0,86 | 10,2 | 0,04 | 0,28 |
| St05 | F | 4,58 | 0,14 | 1,40 | 18,3 | 0,05 | 0,35 |
| St06 | S | 5,83 | 0,14 | 1,26 | 13,7 | 0,08 | 0,25 |
| St06 | M | 4,71 | 0,19 | 1,46 | 22,2 | 0,08 | 0,39 |
| St06 | F | 5,21 | 0,22 | 0,74 | 12,8 | 0,09 | 0,07 |
| St07 | S | 4,73 | 0,20 | 1,86 | 21,5 | 0,05 | 0,54 |
| St07 | M | 4,29 | 0,15 | 0,98 | 12,9 | 0,04 | 0,41 |
| St07 | F | 4,01 | 0,16 | 1,37 | 17,4 | 0,05 | 0,59 |
| St09 | S | 5,13 | 0,23 | 1,90 | 19,9 | 0,06 | 0,63 |
| St09 | M | 4,70 | 0,26 | 1,18 | 14,7 | 0,09 | 0,64 |
| St09 | F | 4,88 | 0,27 | 1,62 | 20,1 | 0,08 | 0,36 |
| St13 | S | 5,57 | 0,21 | 1,12 | 14,6 | 0,07 | 0,61 |
| St13 | M | 5,59 | 0,22 | 2,69 | 34,7 | 0,08 | 0,25 |
| St13 | F | 5,99 | 0,26 | 1,07 | 17,0 | 0,06 | 0,30 |
| St14 | S | 4,80 | 0,19 | 1,00 | 13,7 | 0,05 | 0,30 |
| St14 | M | 4,71 | 0,18 | 1,02 | 11,4 | 0,06 | 0,45 |
| St14 | F | 4,87 | 0,18 | 1,26 | 21,4 | 0,05 | 0,44 |
| St15 | S | 4,67 | 0,22 | 1,00 | 9,6 | 0,06 | 0,54 |
| St15 | M | 6,39 | 0,23 | 2,24 | 18,9 | 0,10 | 1,34 |
| St15 | F | 6,15 | 0,19 | 1,58 | 14,5 | 0,09 | 0,78 |
| St16 | S | 5,82 | 0,22 | 1,53 | 13,6 | 0,06 | 0,43 |
| St16 | M | 5,50 | 0,24 | 0,99 | 10,5 | 0,07 | 0,87 |
| St16 | F | 5,20 | 0,14 | 1,00 | 15,7 | 0,08 | 0,16 |
| St18 | S | 4,31 | 0,19 | 0,99 | 11,5 | 0,05 | 0,23 |
| St18 | M | 4,39 | 0,24 | 1,84 | 13,7 | 0,06 | 0,10 |
| St18 | F | 5,71 | 0,22 | 1,18 | 13,1 | 0,07 | 0,76 |
| St19 | S | 5,20 | 0,25 | 0,91 | 8,6 | 0,06 | 0,61 |
| St19 | M | 5,57 | 0,25 | 1,37 | 13,1 | 0,07 | 0,74 |
| St19 | F | 5,41 | 0,22 | 1,85 | 17,3 | 0,09 | 1,04 |

| Station | Niveau | NOD ($\mu\text{mol/L}$) | POD ($\mu\text{mol/L}$) | NOP ($\mu\text{mol/L}$) | COP ($\mu\text{mol/L}$) | POP ($\mu\text{mol/L}$) | Chlorophylle <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$) |
|---------|--------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|--|
| St20 | S | 5,33 | 0,25 | 1,12 | 12,8 | 0,07 | 0,23 |
| St20 | M | 5,68 | 0,25 | 1,02 | 15,8 | 0,06 | 0,31 |
| St20 | F | 6,69 | 0,30 | 1,20 | 16,6 | 0,05 | 0,22 |
| St21 | S | 5,24 | 0,20 | 1,27 | 12,0 | 0,06 | 0,50 |
| St21 | M | 5,16 | 0,17 | 0,92 | 9,5 | 0,05 | 0,38 |
| St21 | F | 5,18 | 0,16 | 1,23 | 11,4 | 0,06 | 0,46 |

ANNEXE 5

CONCENTRATIONS DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

Concentrations des métaux dissous ($\mu\text{g/L}$) des 14 stations de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2014 ; les stations ont été échantillonnées à 3 niveaux de profondeur : S = surface -3 m, M = mi-profondeur, F = fond +3 m ; <LQ = Valeurs inférieures à la limite de quantification.

| Station | Niveau | As ($\mu\text{g/L}$) | Cd ($\mu\text{g/L}$) | Co ($\mu\text{g/L}$) | CrVI ($\mu\text{g/L}$) | Cr total ($\mu\text{g/L}$) | Cu ($\mu\text{g/L}$) | Fe ($\mu\text{g/L}$) | Mn ($\mu\text{g/L}$) | Ni ($\mu\text{g/L}$) | Pb ($\mu\text{g/L}$) | Zn ($\mu\text{g/L}$) |
|---------|--------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| St02 | S | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,10 | 0,17 | <0,02 | <0,02 | 0,040 | 0,071 | <0,1 | 0,048 |
| St02 | M | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,16 | 0,18 | <0,02 | <0,02 | 0,029 | 0,051 | <0,1 | <0,02 |
| St02 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,16 | <0,02 | <0,02 | 0,035 | 0,070 | <0,1 | <0,02 |
| St03 | S | 0,98 | <0,02 | 0,109 | 0,55 | 0,58 | 0,038 | 0,047 | 0,275 | 1,082 | <0,1 | <0,02 |
| St03 | M | 1,08 | <0,02 | <0,02 | 0,15 | 0,17 | <0,02 | 0,033 | 0,148 | 0,142 | <0,1 | 0,071 |
| St03 | F | 1,78 | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,16 | <0,02 | 0,022 | 0,087 | 0,096 | <0,1 | <0,02 |
| St05 | S | 1,03 | <0,02 | <0,02 | 0,12 | 0,15 | <0,02 | <0,02 | 0,041 | 0,061 | <0,1 | 0,025 |
| St05 | M | 1,05 | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,16 | <0,02 | <0,02 | 0,059 | 0,073 | <0,1 | <0,02 |
| St05 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,16 | <0,02 | <0,02 | 0,035 | 0,073 | <0,1 | <0,02 |
| St06 | S | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,070 | 0,45 | 0,47 | <0,02 | 0,117 | 0,504 | 0,651 | <0,1 | 0,084 |
| St06 | M | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,032 | 0,13 | 0,16 | <0,02 | 0,166 | 0,330 | 0,193 | <0,1 | 0,063 |
| St06 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,040 | 0,15 | 0,16 | <0,02 | 0,116 | 0,365 | 0,197 | <0,1 | <0,02 |
| St07 | S | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,13 | 0,15 | <0,02 | <0,02 | 0,061 | 0,101 | <0,1 | <0,02 |
| St07 | M | 1,00 | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,14 | <0,02 | <0,02 | 0,079 | 0,120 | <0,1 | 0,164 |
| St07 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,15 | <0,02 | <0,02 | 0,059 | 0,088 | <0,1 | 0,065 |
| St09 | S | 1,33 | <0,02 | <0,02 | 0,12 | 0,15 | 0,047 | 0,033 | 0,054 | 0,071 | <0,1 | 0,172 |
| St09 | M | 1,04 | <0,02 | <0,02 | 0,13 | 0,17 | <0,02 | <0,02 | 0,046 | 0,057 | <0,1 | 0,060 |
| St09 | F | 1,30 | <0,02 | <0,02 | 0,13 | 0,15 | <0,02 | <0,02 | 0,038 | 0,067 | <0,1 | <0,02 |
| St13 | S | 1,12 | <0,02 | 0,023 | 0,16 | 0,20 | <0,02 | 0,092 | 0,185 | 0,182 | <0,1 | 0,089 |
| St13 | M | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,08 | 0,18 | <0,02 | 0,043 | 0,113 | 0,128 | <0,1 | <0,02 |
| St13 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,08 | 0,13 | <0,02 | <0,02 | 0,110 | 0,118 | <0,1 | 0,137 |
| St14 | S | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,14 | 0,16 | 0,176 | 0,110 | 0,117 | 0,150 | 0,142 | 0,125 |
| St14 | M | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,12 | 0,16 | <0,02 | 0,056 | 0,106 | 0,118 | <0,1 | <0,02 |
| St14 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,13 | 0,15 | <0,02 | 0,092 | 0,106 | 0,126 | <0,1 | <0,02 |
| St15 | S | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,075 | 0,25 | 1,67 | <0,02 | <0,02 | 0,692 | 0,358 | <0,1 | <0,02 |
| St15 | M | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,047 | 0,20 | 0,24 | <0,02 | <0,02 | 0,375 | 0,265 | <0,1 | <0,02 |
| St15 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,043 | 0,19 | 0,20 | <0,02 | <0,02 | 0,520 | 0,256 | <0,1 | 0,203 |
| St16 | S | 1,34 | <0,02 | 0,028 | 0,21 | 0,23 | 0,087 | 0,022 | 0,209 | 0,206 | 0,156 | 0,148 |
| St16 | M | 1,13 | <0,02 | <0,02 | 0,19 | 0,20 | <0,02 | <0,02 | 0,060 | 0,124 | <0,1 | <0,02 |
| St16 | F | 1,48 | <0,02 | 0,029 | 0,17 | 0,20 | <0,02 | <0,02 | 0,164 | 0,208 | <0,1 | 0,104 |
| St18 | S | 0,96 | <0,02 | 0,073 | 0,64 | 0,70 | <0,02 | <0,02 | 0,355 | 0,702 | <0,1 | 0,293 |
| St18 | M | 1,09 | <0,02 | <0,02 | 0,11 | 0,20 | <0,02 | <0,02 | 0,174 | 0,213 | <0,1 | <0,02 |
| St18 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,027 | 0,18 | 0,21 | <0,02 | <0,02 | 0,146 | 0,190 | <0,1 | 0,094 |
| St19 | S | 1,16 | <0,02 | 0,028 | 0,08 | 0,21 | <0,02 | 0,029 | 0,161 | 0,206 | <0,1 | 1,342 |
| St19 | M | 1,34 | <0,02 | 0,027 | 0,20 | 0,22 | <0,02 | <0,02 | 0,162 | 0,212 | <0,1 | <0,02 |
| St19 | F | 0,99 | <0,02 | 0,030 | 0,21 | 0,22 | <0,02 | 0,042 | 0,180 | 0,228 | <0,1 | <0,02 |

| Station | Niveau | As (µg/L) | Cd (µg/L) | Co (µg/L) | CrVI (µg/L) | Cr total (µg/L) | Cu (µg/L) | Fe (µg/L) | Mn (µg/L) | Ni (µg/L) | Pb (µg/L) | Zn (µg/L) |
|---------|--------|-----------------|-----------|-----------|-------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| St20 | S | 1,01 | <0,02 | 0,026 | 0,20 | 0,24 | 0,275 | 0,143 | 0,285 | 0,247 | 0,146 | 1,460 |
| St20 | M | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,031 | 0,19 | 0,21 | <0,02 | 0,091 | 0,265 | 0,240 | <0,1 | 0,061 |
| St20 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | 0,026 | 0,17 | 0,22 | 0,045 | 0,094 | 0,228 | 0,199 | 0,143 | 0,555 |
| St21 | S | 1,02 | <0,02 | <0,02 | 0,12 | 0,13 | 0,049 | 0,039 | 0,082 | 0,112 | <0,1 | 0,173 |
| St21 | M | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,12 | 0,14 | <0,02 | 0,023 | 0,051 | 0,075 | <0,1 | 0,089 |
| St21 | F | <i>en cours</i> | <0,02 | <0,02 | 0,11 | 0,15 | <0,02 | 0,035 | 0,041 | 0,068 | <0,1 | 0,039 |