



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

CAMPAGNE SEMESTRIELLE



Rapport semestriel  
Période de  
**Août. 2015**



15 janvier 2016

2<sup>nd</sup> semestre : Surveillance physico-chimique-RAPPORT

*Photos de couverture AEL : Baie Nord*

## CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

---

Convention n° T1368

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

**Campagne semestrielle**

**Période d'août 2015**

Le Grand H., Laurent A., Moreton B., Kaplan H., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.

Nombre de pages : 93

|                       | <b>N/Ref</b>  | <b>V/Ref</b> |
|-----------------------|---|--------------|
| <b>Identification</b> | 121205-VI-18  | T1368        |
| <b>Titre complet</b>  | Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. Campagne semestrielle : Période d'août 2015   |              |
| <b>Auteurs</b>        | Le Grand H., Laurent A., Moreton B., Kaplan H., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.   |              |
| <b>Résumé</b>         | <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.</p> <p>Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du <b>2<sup>ième</sup> semestre 2015</b> (août 2015) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin).</p> <p>Les variations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) ainsi que la distribution des concentrations de paramètres tels que les matières en suspension et les métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence l'influence des apports en eaux douces des creeks adjacents aux baie du Prony, de Port Boisé et de la Kwé ainsi que l'influence des apports océaniques au niveau du Canal de la Havannah.</p> <p>L'évolution temporelle des sels nutritifs (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) et métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni) ne montre pas de tendance particulière depuis le début des campagnes semestrielles « saison fraîche ». Cependant, des pics momentanés de concentrations de surface de métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni) ainsi qu'un enrichissement de ces eaux en composés organiques minéralisables montrent une intensification des apports terrigènes dus à des phénomènes météorologiques (précipitations) et hydrodynamiques (ex : horaire de prélèvement, type de marée, vent...).</p> |              |
| APPROBATION           |   |              |
| <b>FONCTION</b>       | <b>NOMS</b>   | <b>VISA</b>  |
| Rédacteur             | Hélène Le Grand   |              |
| Vérificateur 1        | Shilpa Kumar-Roiné  |              |
| Approbateur(s)        | Jean-Michel Fernandez   |              |
|                       |   | <b>DATE</b>  |
|                       |   | 14/12/2015   |
|                       |   | 28/12/2015   |
|                       |   | 05/01/2016   |
| EVOLUTION             |   |              |
| <b>VERSION</b>        | <b>DESCRIPTION DES MISES A JOUR</b>   | <b>DATE</b>  |
| V1.0                  | Rapport final (2 <sup>ième</sup> semestre 2015)   | 05/01/2016   |
| V1.1                  | Rapport final (2 <sup>ième</sup> semestre 2015), mise en forme  | 14/01/2016   |
| V1.2                  | Rapport final (2 <sup>ième</sup> semestre 2015), mise en forme, unités  | 02/02/2016   |
| COPIE - DIFFUSION     |   |              |
| <b>NOM</b>            | <b>ORGANISME</b>  |              |
| Céline Casalis        | Vale NC   |              |

**Ce rapport est cité comme suit :** Le Grand H, Laurent A, Moreton B, Kaplan H, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. Campagne semestrielle : **Période d'août 2015**. Contrat AEL/Vale-NC n° T1368, 93p.

## TABLE DES MATIERES

|   |    |
|---|----|
| TABLE DES MATIERES .....  | 5  |
| I. INTRODUCTION .....   | 7  |
| II. OBJECTIFS .....   | 8  |
| III. METHODOLOGIE .....   | 9  |
| A. SITE D'ETUDE .....   | 9  |
| B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES .....  | 11 |
| C. ECHANTILLONNAGE .....  | 13 |
| IV. RESULTATS .....   | 14 |
| A. STRUCTURES DES MASSES D'EAU .....  | 14 |
| 1. Température .....  | 14 |
| 2. Salinité .....   | 17 |
| 3. Fluorescence .....   | 19 |
| 4. Turbidité .....  | 21 |
| B. ELEMENTS MAJEURS ET PH .....   | 24 |
| C. MATIERES EN SUSPENSION .....   | 25 |
| D. SELS NUTRITIFS .....   | 28 |
| 1. Nitrates et nitrites .....   | 28 |
| 2. Ammonium .....   | 30 |
| 3. Phosphates .....   | 31 |
| 4. Silicates .....  | 32 |
| E. MATIERES ORGANIQUES .....  | 34 |
| 1. Azote et phosphore organiques dissous .....  | 34 |
| 2. Azote, carbone et phosphore organiques particuliers .....  | 36 |
| F. CHLOROPHYLLE A .....   | 39 |
| G. METAUX DISSOUS .....   | 41 |
| V. SYNTHESE .....   | 49 |
| A. SELS NUTRITIFS .....   | 50 |
| 1. Ammonium .....   | 50 |
| 2. Nitrates et nitrites .....   | 51 |
| B. METAUX DISSOUS .....   | 53 |
| 1. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations de baies .....                | 53 |
| 2. Distribution verticale des concentrations de métaux dissous aux stations du Canal de la Havannah ..... | 56 |
| VI. CONCLUSION .....  | 59 |
| REFERENCES .....  | 60 |
| LISTE DES FIGURES .....   | 62 |
| LISTE DES TABLEAUX .....  | 64 |
| LISTE DES ANNEXES .....   | 65 |
| ANNEXE 1 .....  | 66 |
| ANNEXE 2 .....  | 75 |
| ANNEXE 3 .....  | 77 |
| ANNEXE 4 .....  | 79 |



|                |    |
|----------------|----|
| ANNEXE 5 ..... | 81 |
| ANNEXE 6 ..... | 83 |
| ANNEXE 7 ..... | 86 |
| ANNEXE 8 ..... | 89 |
| ANNEXE 9 ..... | 90 |

## I. INTRODUCTION

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007<sup>1</sup> et 2008<sup>2</sup> 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 2<sup>ième</sup> semestre 2015 (août 2015) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

---

<sup>1</sup> Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007

<sup>2</sup> 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.

## II. 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.

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



### III. METHODOLOGIE

#### A. SITE D'ETUDE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 04 au 06 août 2015 sur les 14 stations du suivi physico-chimique (Tableau 1 ; Figure 1). Afin de faciliter l'interprétation, les stations sont regroupées dans quatre zones subissant différentes influences :

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

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

| Localisation            | Station | Station au référentiel WGS-84 |            | Profondeur (m) |
|-------------------------|---------|-------------------------------|------------|----------------|
|                         |         | Longitude E                   | Latitude S |                |
| Basse Chambeyron        | St02    | 167° 00,506                   | 22° 23,599 | 33             |
| Baie Port Boisé         | St03    | 166° 58,010                   | 22° 21,190 | 29             |
| Ilot Kié                | St05    | 167° 03,100                   | 22° 22,050 | 34             |
| Récif de la Baie Kwé    | St06    | 166° 59,112                   | 22° 20,830 | 20             |
| Récif Ioro              | St07    | 166° 57,910                   | 22° 22,820 | 41             |
| Canal de la Havannah    | St09    | 166° 59,754                   | 22° 22,540 | 47             |
| Pointe Nord du récif Ma | St13    | 166° 51,354                   | 22° 24,914 | 35             |
| Port de Goro            | St14    | 167° 01,160                   | 22° 19,350 | 37             |
| Prony Creek Baie Nord   | St15    | 166° 52,590                   | 22° 20,037 | 25             |
| Prony Wharf             | St16    | 166° 53,302                   | 22° 21,455 | 44             |
| Prony Ilot Casy         | St18    | 166° 51,061                   | 22° 21,668 | 26             |
| Rade de l'est           | St19    | 166° 53,340                   | 22° 23,170 | 38             |
| Baie Iré                | St20    | 166° 48,150                   | 22° 24,180 | 25             |
| Ilot Ugo                | St21    | 166° 55,501                   | 22° 26,728 | 36             |

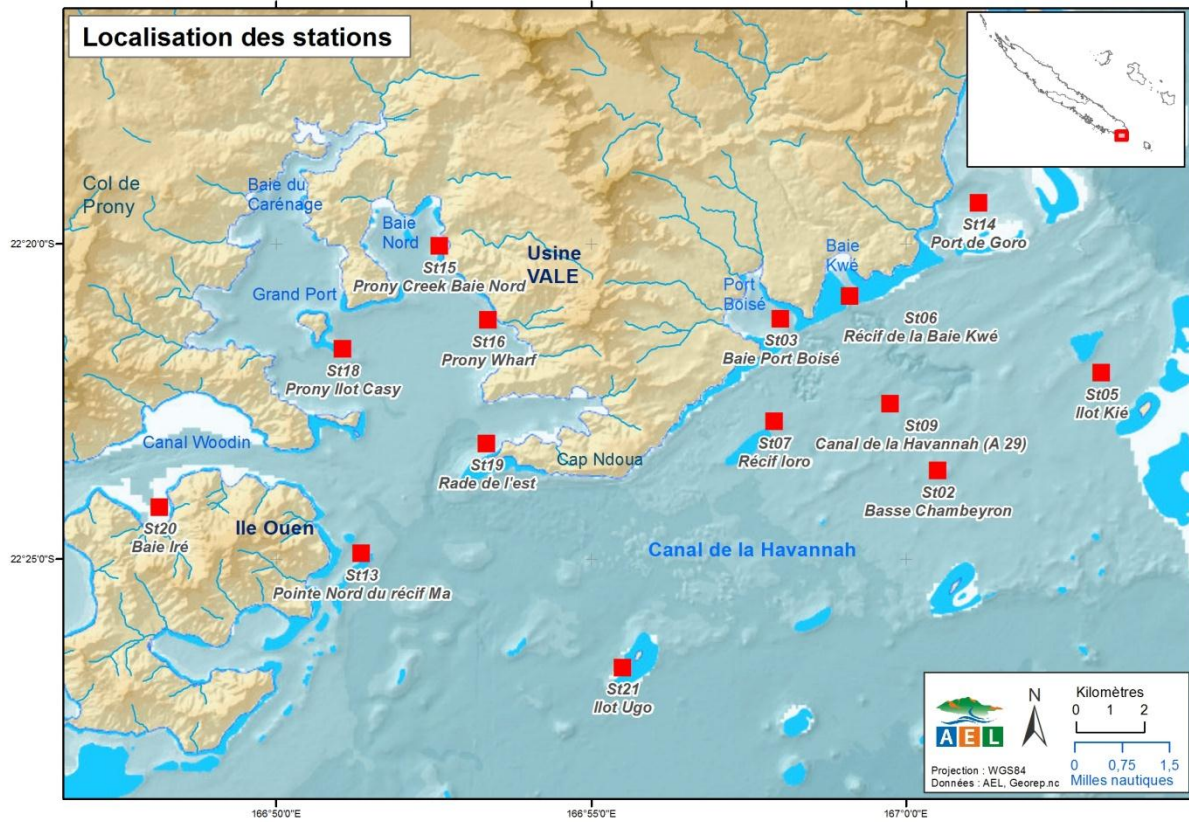


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

## B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

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

Les conditions météorologiques précédant la campagne semestrielle (du 30 juillet au 03 août 2015) sont les suivantes :

- Temps couvert ;
- Vent SE 15 nœuds ;
- Au total, 17,6 mm de précipitation ont été relevés durant les 5 jours qui ont précédé la campagne.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (du 04 au 06 août 2015) sont les suivantes :

- 04/08/15 : E 10-15 Nœuds, temps couvert le matin avec de légères précipitations lors des premiers prélèvements, le temps s'est dégagé en milieu de matinée pour laisser place au soleil ;
- 05/08/15 : < 5 Nœuds, temps légèrement couvert, mer très calme, le vent s'est levé dans l'après-midi ;
- 06/08/15 : ESE 10 Nœuds, temps nuageux sur terre mais dégagé en mer, mer légèrement agitée.

Au total, 1,6 mm de précipitation ont été relevés le premier jour de cette campagne (Figure 2).

La campagne s'est déroulée en marée de mortes-eaux. Les stations de l'île Ouen ont été échantillonnées en fin de marée montante et celles de la Baie de Prony à l'étale de marée haute ainsi qu'en début de marée descendante lors du 1<sup>er</sup> jour de la campagne. Le 2<sup>ième</sup> jour, les prélèvements ont été effectués dans le Canal de la Havannah de la mi-marée montante jusqu'à l'étale de marée montante. Le 3<sup>ième</sup> jour, les stations des Baie de Port Boisé et de Kwé ont été échantillonnées en milieu de marée montante (Figure 3).

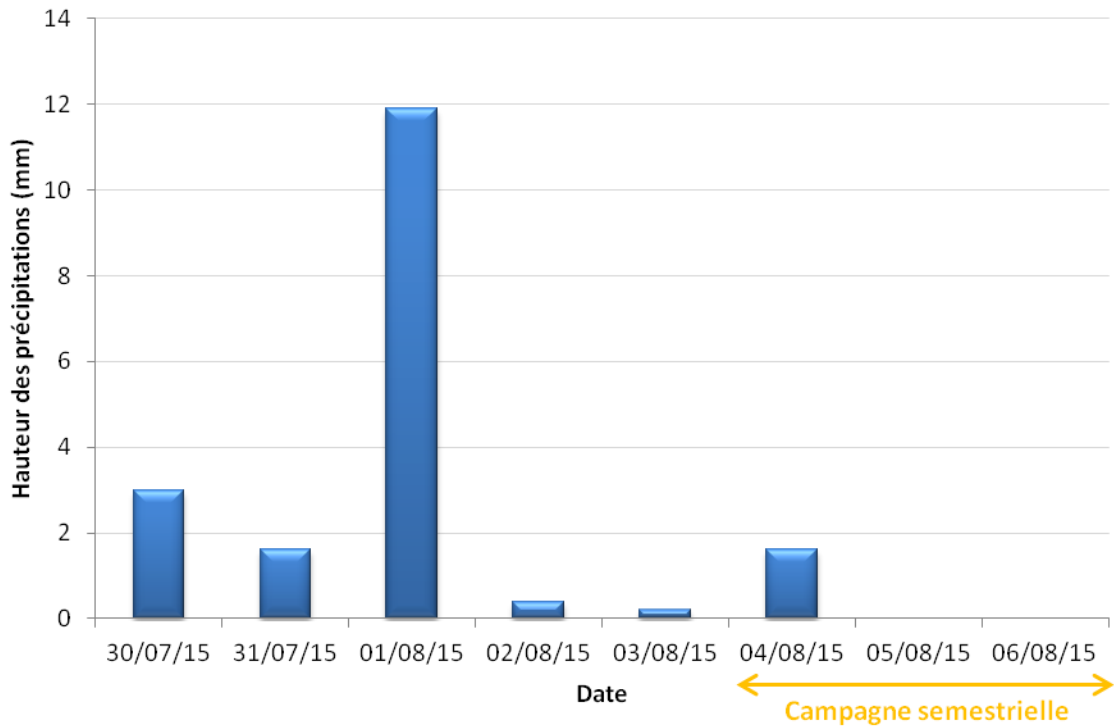


Figure 2 : Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant (30/07/15 au 03/08/15) la campagne et pendant la campagne semestrielle (04/08/15 au 06/08/15). Données météorologiques mesurées à la station d'observation « Prony Pilot station.

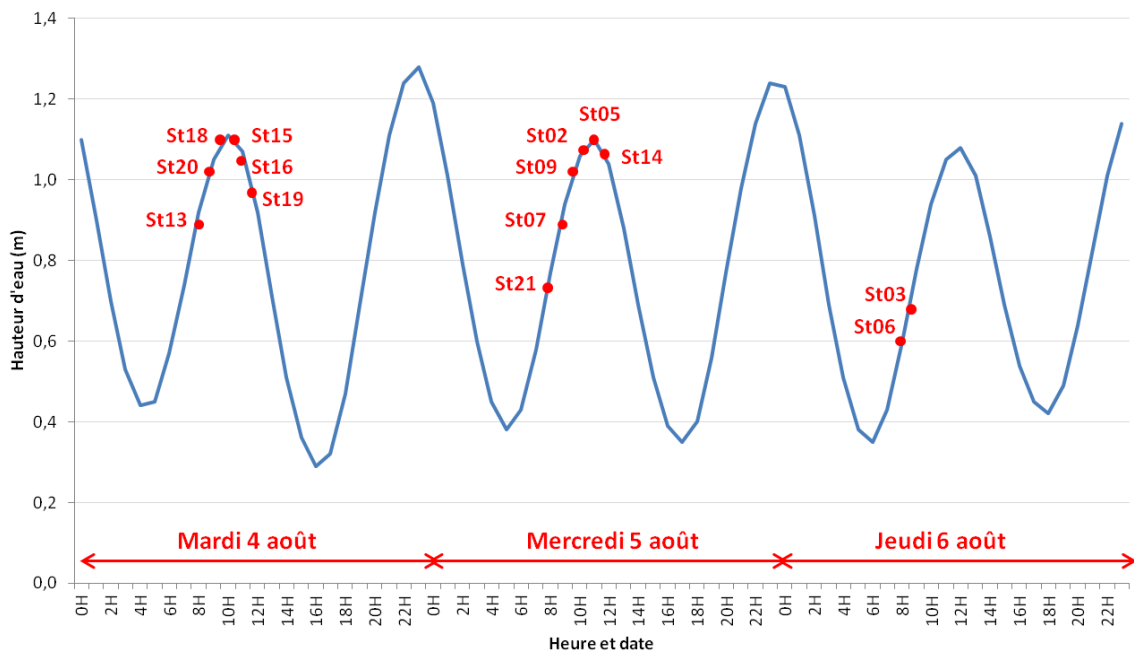


Figure 3 : Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'août 2015 reportée sur le marégramme du 04 au 06 août 2015.

## C. ECHANTILLONNAGE

Pour chaque station, les prélèvements d'eau ont été effectués par bouteilles « Niskin® » pour le dosage des ions majeurs, des sels nutritifs et de la matière organique dissoute et particulaire, et les bouteilles « GoFlo®, Metal-Free » ont été utilisées pour le dosage des métaux dissous.

L'eau a été échantillonnée aux profondeurs suivantes :

- sub-surface (-3 m) ;
- mi-profondeur ;
- proximité du fond (environ 3 m du fond ou +3 m).

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

- enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ), potassium ( $\text{K}^+$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ;
- 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  $\alpha$  et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ ), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn)

La méthodologie détaillée des différentes analyses est décrite dans l'

Annexe 1.

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

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

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

Les analyses du  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  sont effectuées par le laboratoire du PPME (Pôle Pluridisciplinaire de la Matière et de l'Environnement) de l'Université de Nouvelle-Calédonie.

## IV. RESULTATS

### A. STRUCTURES DES MASSES D'EAU

**Rappel** : Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau et ont pour objectif principal de détecter toute modification importante des principales caractéristiques en lien ou non avec l'activité minière. En milieux côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. La turbidité est définie comme étant la « réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes » (Aminot et Kérouel, 2004) ; elle est le reflet de la charge particulaire dans l'eau. En milieux côtier et estuarien, la turbidité peut indiquer l'existence d'apports en particules provenant des rivières, d'une remise en suspension de dépôts sédimentaires ainsi que de blooms planctoniques. La fluorescence permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse phytoplanctonique. Cette mesure fournit une bonne indication de statut trophique du milieu.

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

#### 1. Température

Les eaux des stations du Canal de la Havannah et de ses baies sont plus chaudes d'environ 1 °C que celles des stations de la Baie du Prony et de l'Île Ouen (Tableau 2).

Dans le Canal de la Havannah, les profils de température des stations St02 (Basse Chambeyron = St02 =  $22,75 \pm 0,03$  °C), St05 (Ilot Kié =  $22,76 \pm 0,04$  °C) et St09 (Canal de la Havannah = St09 =  $22,74 \pm 0,04$  °C) sont très homogènes au sein de la colonne d'eau avec des températures moyennes similaires. A l'inverse, les profils des stations St07 (Récif Ioro) et St21 (Ilot Ugo) présentent une stratification de la colonne d'eau. En effet, la température relevée dans la couche de surface est plus élevée que dans le reste de la colonne d'eau. Au niveau de la station St07, la colonne d'eau est divisée en trois couches ; la première présente une température stable de 0 à 10 m ( $22,77 \pm 0,01$  °C), dans la deuxième couche la température diminue, perdant environ 0,70 °C entre 10 et 25 m et, dans la troisième, celle-ci stagne jusqu'au fond ( $22,04 \pm 0,01$  °C). A la station St21, le profil présente une nette thermocline à 5 m de la surface séparant la couche de surface ( $22,52 \pm 0,10$  °C) du reste de la colonne d'eau ( $22,12 \pm 0,06$  °C).

Au niveau des baies du Canal, les profils des trois stations étudiées (St03, St06 et St14) ne mettent pas en évidence une nette stratification de la colonne d'eau. Le profil de la station St03 (Port Boisé) présente un pic en mi-profondeur ( $22,62$  °C). A la station St06 (Baie Kwé), la température varie entre 22,41 et 22,61 °C dans les 10 premiers mètres ; la température reste ensuite très stable jusqu'au fond ( $22,55 \pm 0,02$  °C). La station St14 (Port de Goro =  $22,73 \pm 0,01$  °C), quant à elle, présente un profil très homogène au sein de la colonne d'eau.

Les stations de l'île Ouen St13 (Pointe nord du Récif Ma) et St20 (Baie d'Iré) présentent des profils de température très homogènes avec des moyennes s'élevant à  $21,77 \pm 0,01$  et  $21,47 \pm 0,01$  °C, respectivement. Malgré leur proximité, un écart de 0,3 °C est observé entre les deux moyennes ; la station St13 étant plus influencée par les eaux du Canal de la Havannah que la station St20.

Dans la Baie du Prony, alors que les eaux de surface des stations St15 (Prony Creek Baie Nord), St16 (Prony Wharf) et St19 (Bonne Anse) sont plus chaudes que dans le reste de la colonne d'eau, la température mesurée à la station St18 (Ilot Casy) est plus fraîche en surface. En effet, à cette dernière station, la température augmente d'environ 0,20 °C entre la couche de surface localisée dans les 6 premiers mètres de profondeur ( $21,27 \pm 0,02$  °C) et la couche de fond ( $21,55 \pm 0,01$  °C) (Figure 4).

Les moyennes mesurées dans le Canal de la Havannah et ses baies lors de cette campagne (Tableau 2) sont légèrement plus élevées que celles obtenues l'année précédente (Août 2014 =  $22,16 \pm 0,21$  et  $21,81 \pm 0,07$  °C, respectivement) alors que celles mesurées dans la Baie du Prony et aux stations de l'île Ouen entre les deux campagnes sont quasiment similaires (Août 2014 =  $21,67 \pm 0,19$  et  $21,73 \pm 0,29$  °C, respectivement).

**Tableau 2 : Valeurs de la température, salinité, fluorescence et turbidité enregistrées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.**

| Zone d'étude         | Statistique | Température (°C) | Salinité (‰) | Fluorescence (mg/m <sup>3</sup> ) | Turbidité (NTU) |
|----------------------|-------------|------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | 21,96            | 35,35        | 0,16                              | 0,19            |
|                      | Maximum     | 22,95            | 35,65        | 0,54                              | 0,76            |
|                      | Moyenne     | 22,57            | 35,53        | 0,35                              | 0,31            |
|                      | Ecart-type  | 0,26             | 0,03         | 0,04                              | 0,09            |
|                      | CV (%)      | 1                | 0            | 12                                | 29              |
| Baies Canal          | Minimum     | 22,12            | 35,04        | 0,03                              | 0,30            |
|                      | Maximum     | 22,74            | 35,58        | 0,85                              | 1,54            |
|                      | Moyenne     | 22,54            | 35,43        | 0,38                              | 0,57            |
|                      | Ecart-type  | 0,19             | 0,01         | 0,10                              | 0,10            |
|                      | CV (%)      | 1                | 0            | 27                                | 17              |
| Baie du Prony        | Minimum     | 21,23            | 35,29        | 0,07                              | 0,37            |
|                      | Maximum     | 21,78            | 35,64        | 0,67                              | 2,15            |
|                      | Moyenne     | 21,50            | 35,58        | 0,37                              | 0,63            |
|                      | Ecart-type  | 0,07             | 0,05         | 0,07                              | 0,23            |
|                      | CV (%)      | 0                | 0            | 19                                | 36              |
| Ile Ouen             | Minimum     | 21,46            | 35,60        | 0,24                              | 0,47            |
|                      | Maximum     | 21,78            | 35,66        | 0,45                              | 0,73            |
|                      | Moyenne     | 21,62            | 35,64        | 0,38                              | 0,55            |
|                      | Ecart-type  | 0,21             | 0,02         | 0,03                              | 0,02            |
|                      | CV (%)      | 1                | 0            | 8                                 | 4               |

CV : Coefficient de variation en pourcentage.

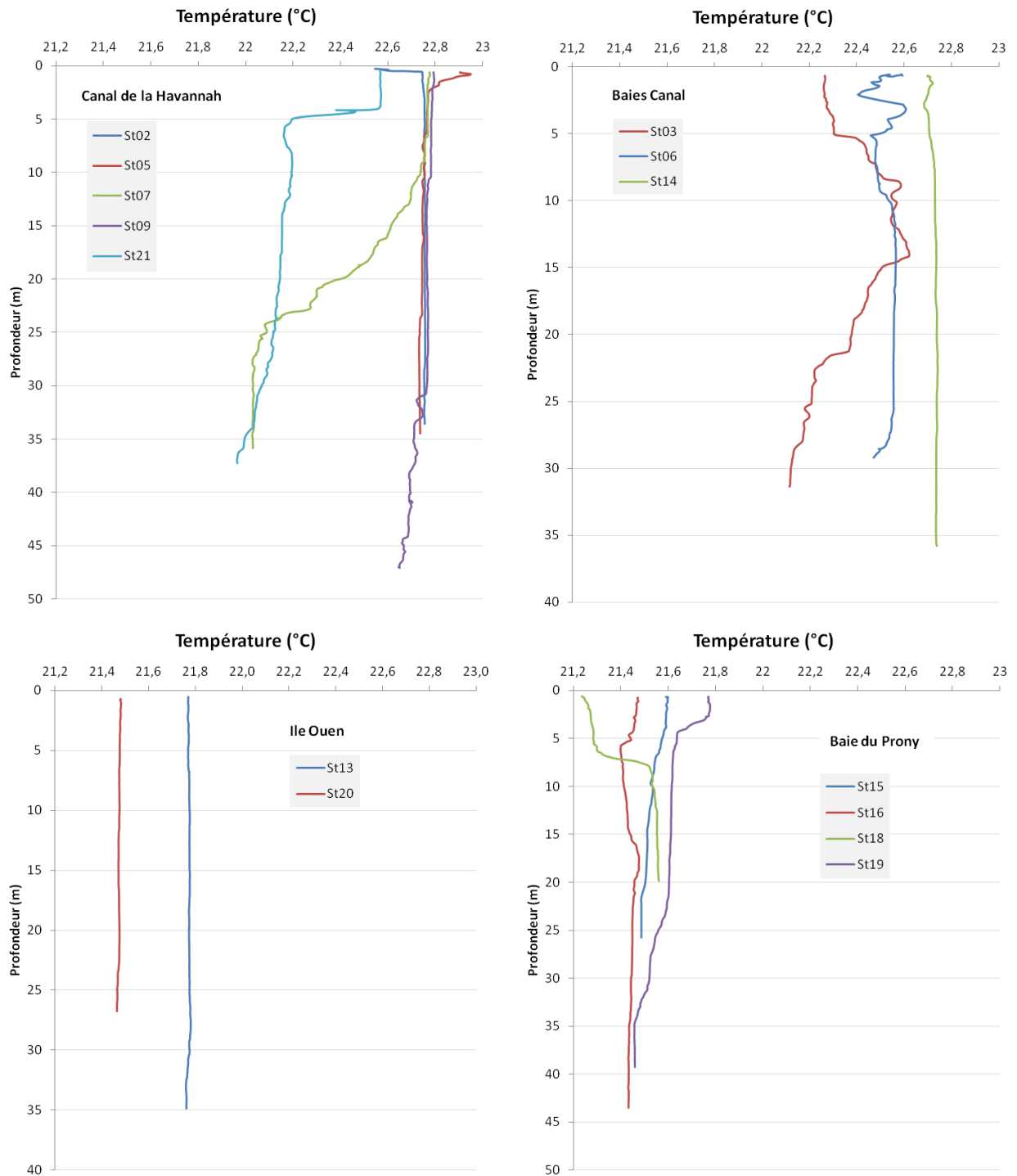


Figure 4 : Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.



## 2. Salinité

---

Malgré de légères variations dans la fine couche de surface, les profils des stations St02 ( $35,51 \pm 0,02 \text{ ‰}$ ), St05 ( $35,52 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ) et St09 ( $35,51 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ) sont relativement homogènes et similaires au sein de la colonne d'eau. Comme observé pour les profils de température, les profils des stations St07 et St21 varient avec la profondeur. La salinité est, à l'inverse de la température, plus faible en surface qu'en profondeur et met en évidence la même stratification de la colonne d'eau que la température. Trois couches sont ainsi distinguées à la station St07 : la première couche où la salinité stagne dans les 5 premiers mètres de fond ( $35,45 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ), la deuxième couche où celle-ci augmente d'environ  $0,15 \text{ ‰}$  jusqu'à 25 m pour ensuite stagner jusqu'au fond ( $35,59 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ). A la station St21, une légère halocline est visible à partir de 5 m de fond séparant la couche de surface dont la salinité ( $35,51 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ) du reste de la colonne d'eau ( $35,61 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ).

Les variations de salinité les plus importantes ont été observées au niveau des stations des baies de Port Boisé et de la Kwé. En effet, à ces stations, la salinité de surface est nettement plus faible que celle mesurée en profondeur atteignant des minimums de  $35,16$  et  $35,04 \text{ ‰}$  pour les stations St03 et St06, respectivement. A la station St03, la salinité augmente progressivement jusqu'au fond ( $35,58 \text{ ‰}$ ) alors qu'à la station St06, celle-ci augmente dans les 10 premiers mètres pour ensuite stagner jusqu'au fond ( $35,49 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ).

Les profils des stations de l'île Ouen sont, quant à eux, très homogènes au sein de la colonne d'eau ; la salinité moyenne de la station St20 ( $35,65 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ) étant très légèrement plus élevée que celle de la station St13 ( $35,62 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ).

Dans la Baie du Prony, la variation la plus forte a été relevée à la station St18 (Ilot Casy). La salinité mesurée dans les 10 premiers mètres sous la surface y est nettement plus faible (valeur minimale =  $35,29 \text{ ‰}$ ) que dans le reste de la colonne d'eau où la salinité reste constante jusqu'au fond ( $35,61 \pm 0,01 \text{ ‰}$ ). Les profils de salinité des trois autres stations présentent également des salinités de surface plus faibles mais les valeurs minimales ne sont pas aussi faibles que celle observée à la station St18. Par exemple, à la station St15, la salinité minimale mesurée dans la fine couche de surface (0-2 m) s'élève à  $35,52 \text{ ‰}$  alors que dans le reste de la colonne d'eau, celle-ci reste relativement homogène ( $35,59 \pm 0,01$ ) (Figure 5).

Les moyennes de salinité obtenues dans chaque zone lors de cette campagne sont légèrement plus faibles que celles observées lors de la précédente campagne d'août 2014 (Le Grand *et al.*, 2014b) (Tableau 2).

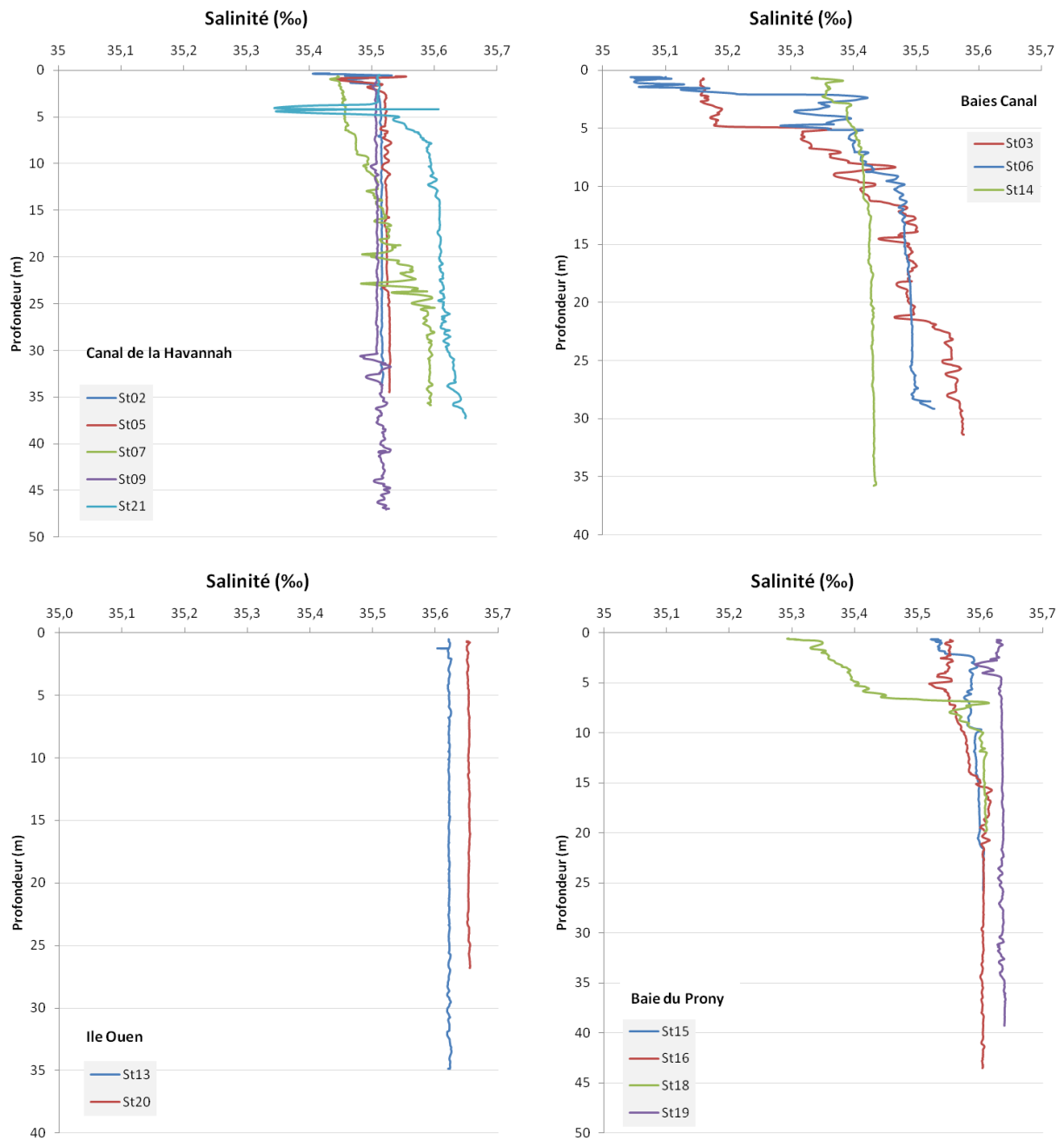


Figure 5 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

### 3. Fluorescence

---

Tous les profils de fluorescence mettent en évidence une augmentation de la fluorescence en mi-profondeur. Celle-ci est plus ou moins prononcée en fonction de la station échantillonnée. Les profils de fluorescence présentant le plus de variation ont été enregistrés au niveau des stations de baies du Canal de la Havannah ainsi que dans la Baie du Prony.

Les profils de fluorescence obtenus aux stations de l'île Ouen sont, à l'inverse, très homogènes dans la colonne d'eau avec des valeurs moyennes s'élevant à  $0,40 \pm 0,02$  (St13) et  $0,36 \pm 0,03$  (St20)  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Dans le Canal de la Havannah, les profils des stations St02 ( $0,35 \pm 0,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), St05 ( $0,30 \pm 0,07 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) et St09 ( $0,33 \pm 0,04 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) sont relativement similaires ; la fluorescence augmente légèrement jusqu'à mi-profondeur puis stagne jusqu'au fond. Le profil de la station St07 diffère quelque peu car un pic y est observé en mi-profondeur ( $0,51 \text{ mg}/\text{m}^3$ ). La station St21, quand à elle, présente un pic de fluorescence dans la couche de surface ; celui-ci est observé entre 2,5 et 5 m de profondeur et s'élève à  $0,44 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

Au niveau des stations de baie du Canal, la station St03 (Port Boisé) présente une forte variation, notamment dans la fine couche de surface où celle-ci varie entre 0,03 à  $0,85 \text{ mg}/\text{m}^3$ . A la station St06, les valeurs de fluorescence triplent dans la première moitié de la colonne d'eau passant de 0,18 à  $0,49 \text{ mg}/\text{m}^3$  puis stagnent jusqu'au fond. La fluorescence mesurée à la station St14 (Port de Goro) est plus faible que celles des deux dernières stations. Celle-ci atteint un pic à mi-profondeur s'élevant à  $0,39 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

Dans la Baie du Prony, les valeurs maximales de fluorescence ont été relevées en mi-profondeur aux stations St15 ( $0,67 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) et St19 ( $0,59 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), respectivement. Au niveau des deux autres stations de la Baie du Prony, St16 et St18, la fluorescence augmente d'un facteur 6 et 3 avec la profondeur passant de 0,08 à  $0,52 \text{ mg}/\text{m}^3$  et de 0,12 à  $0,41 \text{ mg}/\text{m}^3$ , respectivement (Figure 6).

A l'inverse de ce qui a été observé pour la salinité, les moyennes de fluorescence mesurées lors de cette campagne sont toutes plus élevées que celles obtenues lors de la précédente campagne semestrielle d'août 2014 (Le Grand *et al.*, 2014) (Tableau 2).

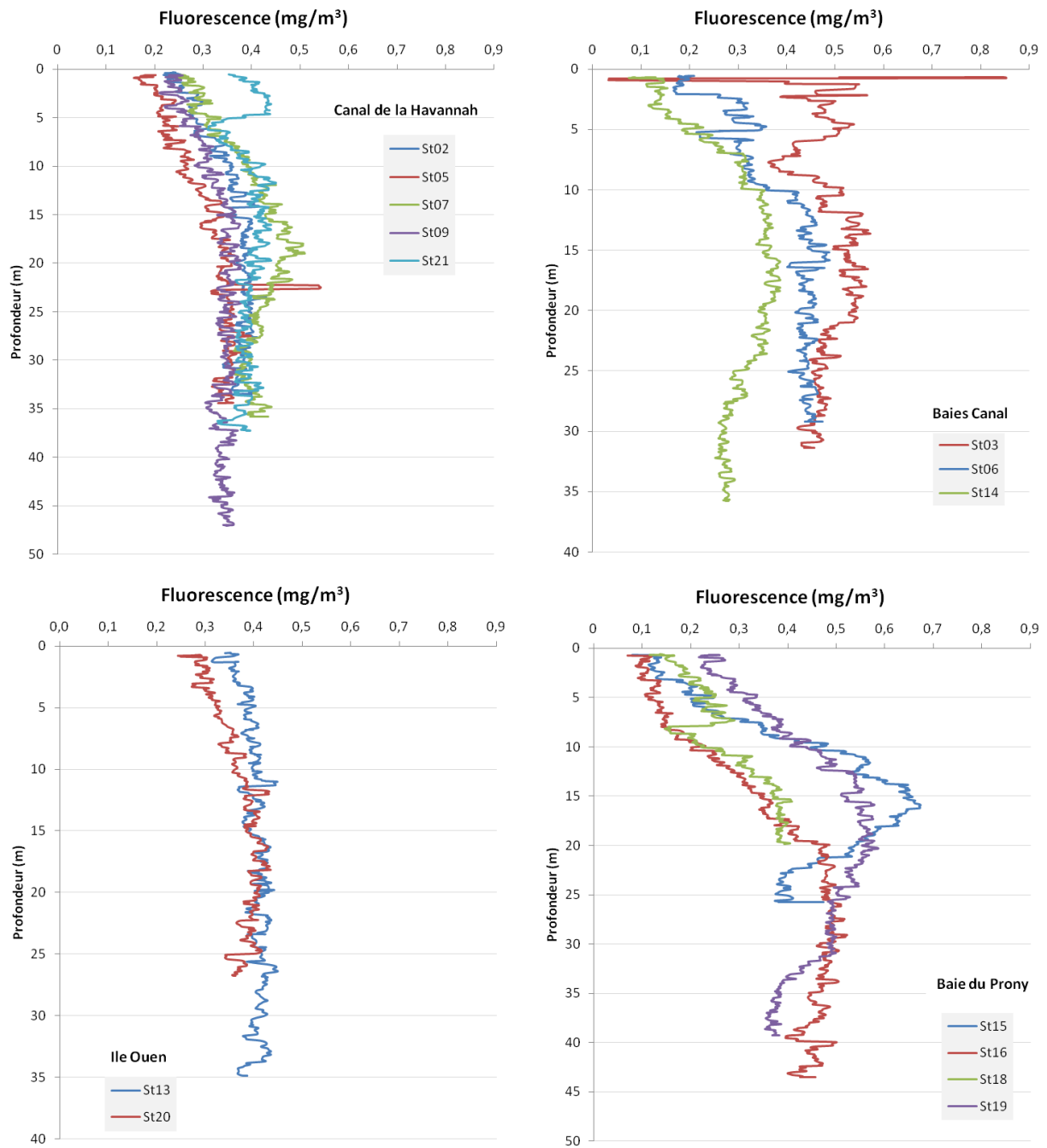


Figure 6 : Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

#### 4. Turbidité

---

La turbidité la plus stable dans la colonne d'eau a été mesurée au niveau des stations St02 ( $0,25 \pm 0,02$  NTU) et St09 ( $0,25 \pm 0,04$  NTU) du Canal de la Havannah, au niveau des deux stations de l'Île Ouen, St13 ( $0,53 \pm 0,05$  NTU) et St20 ( $0,57 \pm 0,06$  NTU) ainsi qu'à la station St18 de la Baie du Prony ( $0,49 \pm 0,05$  NTU). Les turbidités moyennes des stations de l'Île Ouen sont néanmoins deux fois plus hautes que celles des stations du Canal. Les stations St05, St07 et St21 diffèrent des deux autres stations du Canal car celles-ci présentent des turbidités plus élevées, augmentant avec la profondeur. Pour les stations St07 et St21, cette augmentation s'intensifie à l'approche du fond atteignant des maximales s'élevant à 0,56 et 0,76 NTU, respectivement.

Au niveau des baies du Canal, alors que le profil de la station St03 met en évidence un néphéloïde benthique dont la valeur maximale s'élève à 1,54 NTU, celui de la station St06 présente des valeurs de turbidité plus élevées dans les 10 premiers mètres de profondeur (maximale = 1,06 NTU). A la station St14, bien que légèrement plus élevée en surface, la turbidité est relativement homogène dans la colonne d'eau ( $0,45 \pm 0,07$  NTU).

La turbidité la plus forte a été mesurée à la station St15 de la Baie du Prony au niveau du néphéloïde benthique mis en évidence à cette station. En effet, la couche néphéloïde épaisse d'environ 10 mètres atteint une valeur maximale de 2,15 NTU. Dans cette même zone, un néphéloïde benthique est également observé à la station St16 à partir d'environ 37 m. La valeur maximale (1,25 NTU) mesurée y est néanmoins nettement plus faible que celle obtenue à la station St15 (Figure 7).

Les moyennes de turbidité obtenues lors des campagnes d'août 2014 et août 2015 dans le Canal de la Havannah (Août 2014 =  $0,27 \pm 0,07$  NTU) et la Baie du Prony (Août 2014 =  $0,43 \pm 0,08$  NTU) sont quasiment identiques. Celles des stations de la Baie du Canal de la Havannah et de l'Île Ouen sont, quant à elles, plus faibles lors de cette campagne que lors de la précédente (Août 2014 =  $0,57 \pm 0,06$  et  $0,50 \pm 0,02$  NTU, respectivement) (Tableau 2).

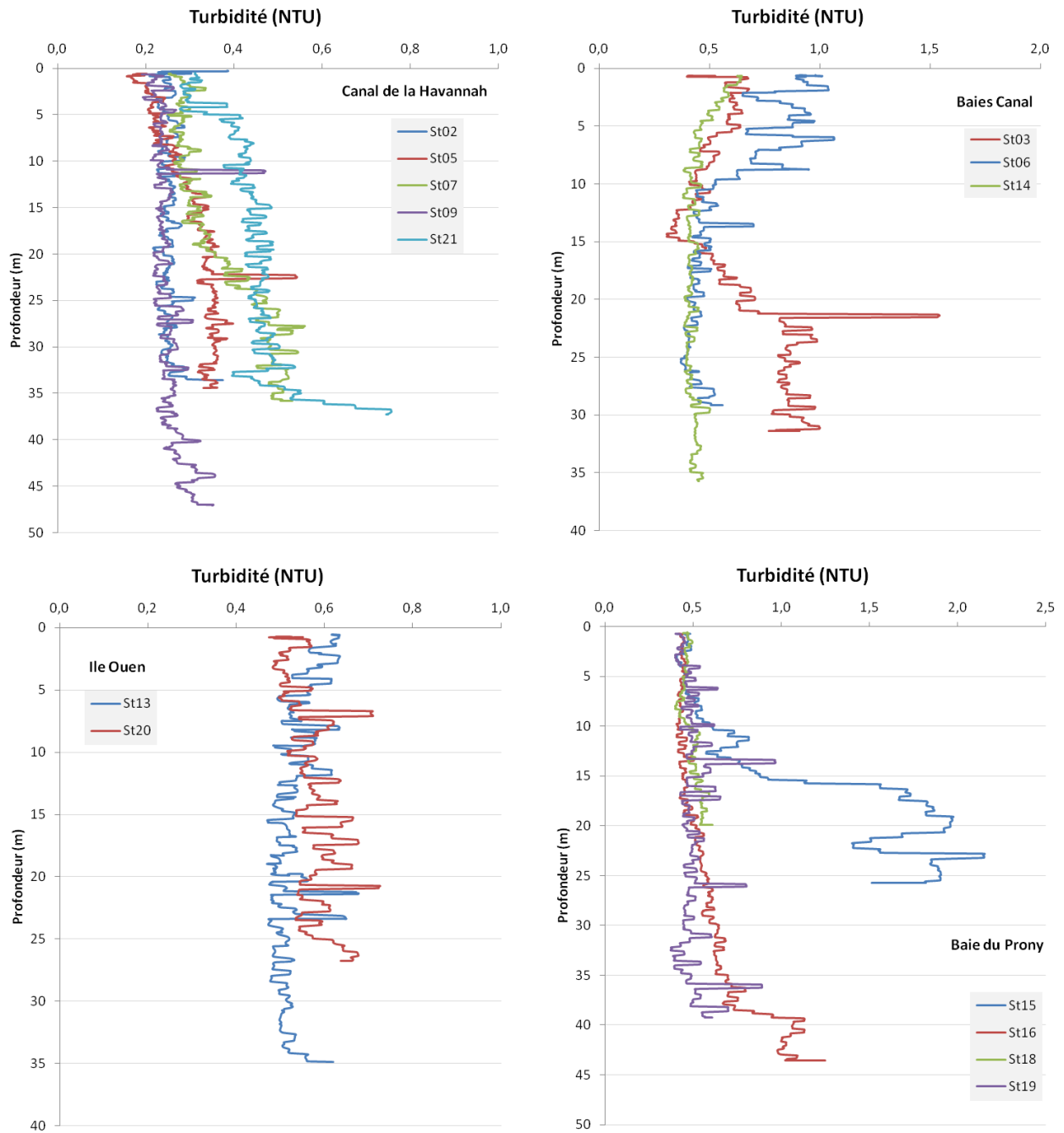


Figure 7 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

### Ce qu'il faut retenir

Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence les stations influencées par les apports d'eaux douces provenant des creeks de la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19), de la Kwé (St06), de Port Boisé (St03) et de Port Goro (St14). Ces apports sont décelables dans les eaux de surface de ces baies grâce aux écarts de températures, turbidités plus élevées (St06) et salinités plus faibles (St03, St06, St18). Dans la colonne d'eau, les apports sont également mis en évidence par une forte augmentation de la fluorescence en mi-profondeur (St15 et St19) et par la présence de néphéloïdes benthiques (St03, St15, St16) où la turbidité maximale a été observée (Prony Creek Baie Nord). Ces couches turbides, attribuables aux apports terrigènes de première sédimentation, voir issues des phénomènes de remise en suspension, contribuent à l'enrichissement des eaux de mi-profondeur et fond en sels nutritifs accentuant la productivité biologique de ces eaux. La station St14 est nettement moins influencée par ces apports terrigènes que les autres stations de baies.

Les profils permettent également de distinguer les stations influencées par les apports océaniques. Ces stations sont soumises à d'importants mélanges verticaux résultant des courants générés dans le Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) et au niveau de l'île Ouen (St13 et St20). Les variables mesurées à ces stations sont généralement constantes et présentent des valeurs de fluorescence et de turbidité plus faibles que les stations de baies. Certaines de ces stations peuvent néanmoins être influencées temporairement par les apports issus des baies en fonction de l'horaire de prélèvement. En effet, au vue des données des variables physico-chimiques observées dans la couche de surface (salinité plus faible et température plus élevée) ainsi que dans les eaux de fond (turbidité plus élevée), les stations St07 et dans une moindre mesure St21 semblent légèrement impactées par les apports en eaux douces provenant des baies du Canal.

## B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

Les concentrations des éléments majeurs et les valeurs de pH sont regroupées dans le Tableau 3 ainsi qu'en Annexe 2.

Comme observées lors des précédentes campagnes semestrielles, les concentrations des éléments majeurs ne présentent pas de différences entre les zones étudiées sauf pour les concentrations de sulfates mesurées dans les Baies du Canal de la Havannah dont la moyenne plus faible que celles obtenues dans les autres zones. Celles-ci restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Le Grand *et al.*, 2010, Le Grand *et al.*, 2011, Le Grand *et al.*, 2012, Le Grand *et al.*, 2013, Le Grand *et al.*, 2014, Le Grand *et al.*, 2015) (Tableau 3).

Les pH moyens ne diffèrent pas entre les zones étudiées ; celui-ci est particulièrement homogène dans l'ensemble de la zone d'étude ( $8,23 \pm 0,01$ ) (Tableau 3). Le pH moyen global mesuré lors de cette campagne est dans le même ordre de grandeur que celui obtenu lors de la précédente campagne de mars 2015 ( $8,18 \pm 0,05$ ) mais légèrement plus faible que celui obtenu en août 2014 ( $8,37 \pm 0,02$ ).

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

| Zone d'étude         | Statistique | Ca (mg/L) | K (mg/L) | Mg (mg/L) | Na (mg/L) | Cl (mg/L) | SO <sub>4</sub> (mg/L) | pH   |
|----------------------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | 440       | 508      | 1344      | 11235     | 17120     | 2570                   | 8,22 |
|                      | Maximum     | 455       | 526      | 1391      | 11599     | 18782     | 3520                   | 8,25 |
|                      | Moyenne     | 450       | 520      | 1375      | 11436     | 17996     | 2986                   | 8,24 |
|                      | Ecart-type  | 4         | 5        | 12        | 86        | 473       | 240                    | 0,01 |
|                      | CV (%)      | 1         | 1        | 1         | 1         | 3         | 8                      | 0    |
| Baies Canal          | Minimum     | 440       | 508      | 1347      | 11222     | 16632     | 2588                   | 8,21 |
|                      | Maximum     | 459       | 534      | 1403      | 11651     | 19669     | 2890                   | 8,24 |
|                      | Moyenne     | 450       | 521      | 1374      | 11431     | 18247     | 2676                   | 8,23 |
|                      | Ecart-type  | 7         | 10       | 22        | 172       | 1102      | 108                    | 0,01 |
|                      | CV (%)      | 2         | 2        | 2         | 2         | 6         | 4                      | 0    |
| Baie du Prony        | Minimum     | 440       | 514      | 1360      | 11231     | 17196     | 2909                   | 8,21 |
|                      | Maximum     | 456       | 529      | 1400      | 11585     | 19920     | 3267                   | 8,23 |
|                      | Moyenne     | 450       | 520      | 1382      | 11437     | 18992     | 3145                   | 8,22 |
|                      | Ecart-type  | 5         | 5        | 13        | 110       | 717       | 115                    | 0,01 |
|                      | CV (%)      | 1         | 1        | 1         | 1         | 4         | 4                      | 0    |
| Ile Ouen             | Minimum     | 446       | 518      | 1374      | 11328     | 18163     | 2965                   | 8,22 |
|                      | Maximum     | 456       | 526      | 1397      | 11546     | 20123     | 3292                   | 8,23 |
|                      | Moyenne     | 453       | 524      | 1390      | 11499     | 19000     | 3111                   | 8,23 |
|                      | Ecart-type  | 4         | 3        | 8         | 85        | 746       | 138                    | 0,01 |
|                      | CV (%)      | 1         | 1        | 1         | 1         | 4         | 4                      | 0    |

CV : Coefficient de variation en pourcentage



## C. MATIERES EN SUSPENSION

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

Les concentrations de matière en suspension (MES) déterminées lors de la campagne d'août 2015 sont représentées dans la Figure 8 et le Tableau 4 ainsi qu'en Annexe 2.

Les concentrations de MES les plus faibles ont été obtenues dans le Canal de la Havannah. En effet, la moyenne y est quasiment deux fois plus faible qu'au niveau des trois autres zones étudiées. Dans cette zone, les concentrations les plus faibles ont été mesurées aux stations St02 ( $0,16 \pm 0,01$  mg/L), St05 ( $0,13 \pm 0,01$  mg/L) et St09 ( $0,22 \pm 0,05$  mg/L). Comme observé au niveau des profils de turbidité (Figure 7), les stations St07 et St21 présentent des concentrations de MES augmentant avec la profondeur et plus élevées que celles mesurées aux trois autres stations de la zone. Ainsi, les concentrations de MES doublent entre la surface ( $0,23$  et  $0,25$  mg/L, respectivement) et le fond ( $0,42$  et  $0,43$  mg/L, respectivement).

La moyenne la plus forte mais également la moins dispersée a été relevée aux stations de l'île Ouen où les concentrations moyennes s'élèvent à  $0,50 \pm 0,10$  et  $0,46 \pm 0,08$  mg/L pour les stations St13 et St20, respectivement.

La moyenne de la Baie du Prony est la plus dispersée. En effet, la concentration de fond mesurée à la station St15 (Prony Creek Baie Nord) y est particulièrement élevée ( $1,00$  mg/L) ; celle-ci correspond à la valeur maximale de la zone d'étude et est corrélée au néphéloïde benthique mis en évidence par le profil de turbidité de cette même station (Figure 7). Cette concentration est 4 et 5 fois plus élevée que celles de mi-profondeur ( $0,26$  mg/L) et de surface ( $0,20$  mg/L).

Les stations St03 (Port Boisé) et St06 (Baie Kwé) présentent une distribution verticale opposée, également corrélée aux profils de turbidité de ces deux stations. Dans cette zone, la valeur maximale a été relevée dans les eaux de fond de la baie de Port Boisée (St03 =  $0,69$  mg/L) et, à l'inverse, dans les eaux de surface de la Baie Kwé (St06 =  $0,69$  mg/L). A la station St14, les concentrations de MES ne montrent pas de distribution verticale et restent relativement stables ( $0,29 \pm 0,05$  mg/L).

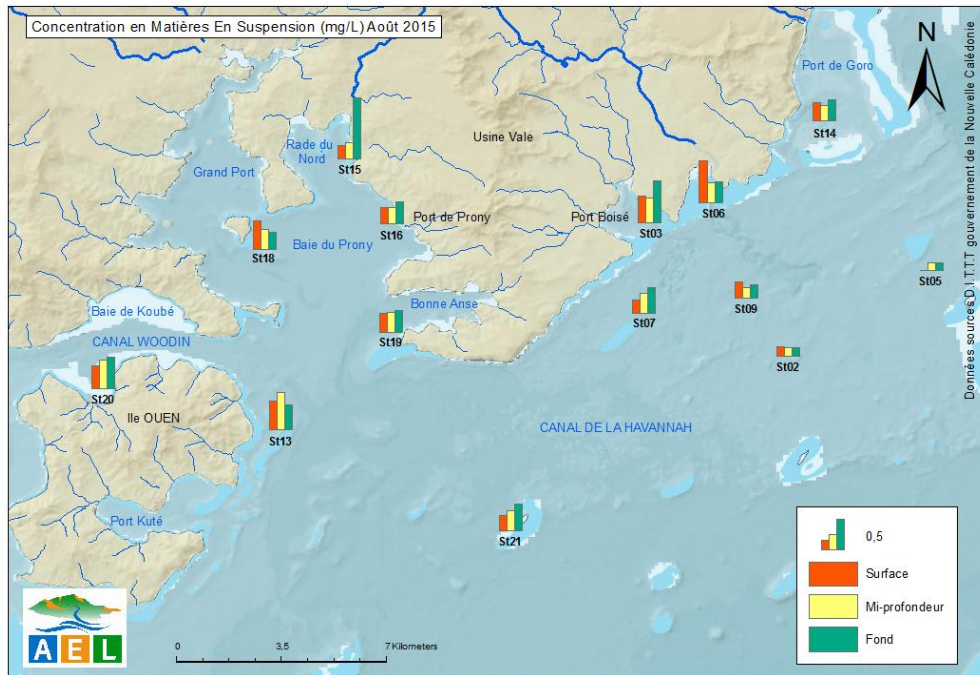


Figure 8 : Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’août 2015.

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

| Zone d'étude         | Statistique | MES (mg/L) |
|----------------------|-------------|------------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,13       |
|                      | Maximum     | 0,43       |
|                      | Moyenne     | 0,24       |
|                      | Ecart-type  | 0,10       |
|                      | CV (%)      | 43         |
| Baies Canal          | Minimum     | 0,24       |
|                      | Maximum     | 0,69       |
|                      | Moyenne     | 0,42       |
|                      | Ecart-type  | 0,16       |
|                      | CV (%)      | 39         |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,22       |
|                      | Maximum     | 1,00       |
|                      | Moyenne     | 0,37       |
|                      | Ecart-type  | 0,21       |
|                      | CV (%)      | 56         |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,37       |
|                      | Maximum     | 0,61       |
|                      | Moyenne     | 0,48       |
|                      | Ecart-type  | 0,08       |
|                      | CV (%)      | 17         |

CV : Coefficient de variation en pourcentage.

### Ce qu'il faut retenir

Les concentrations en éléments majeurs et pH restent semblables aux différentes campagnes semestrielles effectuées et sont sensiblement homogènes entre les différentes zones étudiées sauf pour les concentrations de sulfates dont la moyenne est plus faible dans les Baies du Canal de la Havannah.

A l'inverse, les concentrations de MES diffèrent entre les zones. En effet, ces dernières mettent en évidence les apports terrigènes provenant des creeks de la Baie Nord par une forte concentration observée dans les eaux de fond de la station St15. Les apports des baies de Port Boisé et de la Kwé sont également décelables avec les concentrations de MES dont les valeurs sont nettement corrélées aux profils de turbidité enregistrés à ces stations (St03 et St06). Dans le Canal de la Havannah, influencé par les apports océaniques, la concentration moyenne est la plus faible. Les concentrations de MES mesurées dans cette zone corréleront également aux profils de turbidité enregistrés.

## D. SELS NUTRITIFS

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2015 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 12, le Tableau 5 ainsi qu'en Annexe 3.

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

| Zone d'étude         | Statistique | NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (µmol/L) | NH <sub>4</sub> (µmol/L) | PO <sub>4</sub> (µmol/L) | SiO <sub>4</sub> (µmol/L) |
|----------------------|-------------|---|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | <0,050                                    | 0,036                    | 0,051                    | 0,99                      |
|                      | Maximum     | 0,529                                     | 0,111                    | 0,112                    | 1,67                      |
|                      | Moyenne     | 0,205                                     | 0,065                    | 0,071                    | 1,20                      |
|                      | Ecart-type  | 0,154                                     | 0,025                    | 0,020                    | 0,19                      |
|                      | CV (%)      | 75  | 39                       | 28                       | 16                        |
| Baie Canal           | Minimum     | <0,050                                    | 0,051                    | 0,038                    | 1,31                      |
|                      | Maximum     | 0,296                                     | 0,161                    | 0,096                    | 4,13                      |
|                      | Moyenne     | 0,159                                     | 0,095                    | 0,069                    | 2,08                      |
|                      | Ecart-type  | 0,097                                     | 0,031                    | 0,018                    | 1,02                      |
|                      | CV (%)      | 61  | 33                       | 26                       | 49                        |
| Baie du Prony        | Minimum     | <0,050                                    | 0,018                    | 0,074                    | 1,88                      |
|                      | Maximum     | 0,105                                     | 0,099                    | 0,156                    | 4,46                      |
|                      | Moyenne     | 0,027                                     | 0,040                    | 0,106                    | 2,89                      |
|                      | Ecart-type  | 0,035                                     | 0,024                    | 0,021                    | 0,71                      |
|                      | CV (%)      | 130                                       | 60                       | 20                       | 25                        |
| Ile Ouen             | Minimum     | <0,050                                    | 0,031                    | 0,102                    | 1,55                      |
|                      | Maximum     | 0,691                                     | 0,089                    | 0,139                    | 2,10                      |
|                      | Moyenne     | 0,183                                     | 0,055                    | 0,116                    | 1,82                      |
|                      | Ecart-type  | 0,274                                     | 0,022                    | 0,013                    | 0,24                      |
|                      | CV (%)      | 150                                       | 40                       | 11                       | 13                        |

CV : Coefficient de variation en pourcentage.

### 1. Nitrates et nitrites

**Rappel :** L'ion nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le NO<sub>3</sub>). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en nitrates variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.

**Note :** Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des nitrates est celle fondée sur le dosage des ions nitrites obtenus par réduction des ions nitrates (NO<sub>3</sub>). Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrates + nitrites (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

La concentration moyenne de nitrates et nitrites ( $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ) la plus faible a été mesurée dans la Baie du Prony où seules trois valeurs ont été quantifiables. Celles-ci ont été relevées dans les eaux de fond des stations St16 (0,051  $\mu\text{mol/L}$ ) et St18 (0,105  $\mu\text{mol/L}$ ) ainsi que dans les eaux de surface de la station St19 (0,072  $\mu\text{mol/L}$ ).

La valeur maximale de  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  a été obtenue dans les eaux de surface de la station St20 et s'élève à 0,691  $\mu\text{mol/L}$  alors que les concentrations de mi-profondeur et fond de cette même station n'ont pas été quantifiables (<0,050  $\mu\text{mol/L}$ ).

La concentration moyenne la plus haute a été mesurée dans le Canal de la Havannah. Les concentrations maximales de la zone ont été relevées à la station St05 ; celles-ci doublant presque entre la surface (0,289  $\mu\text{mol/L}$ ) et le fond (0,529  $\mu\text{mol/L}$ ). Dans cette zone, les concentrations de  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  les plus faibles ont été relevées aux stations St07 et St21 où seules les concentrations de surface et de fond de ces stations ont été quantifiables (0,117 et 0,091  $\mu\text{mol/L}$ , respectivement). Ce sont les stations les plus influencées par les apports océaniques (St02, St05 et St09) qui présentent les concentrations les plus élevées du Canal de la Havannah. Les eaux océaniques doivent être plus riches en  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  que les eaux d'origine terrigène (Figure 9).

La concentration moyenne de  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  mesurée dans le Canal de la Havannah lors de la précédente campagne « saison fraîche » est relativement similaire à celle de 2015. Dans les Baies du Canal de la Havannah et l'Île Ouen, les moyennes d'août 2014 sont 4 et 3 fois plus élevées que celles obtenues pendant cette campagne alors qu'en Baie du Prony, à l'inverse, c'est la moyenne de 2015 qui est plus élevée que celle de 2014 (Annexe 6).

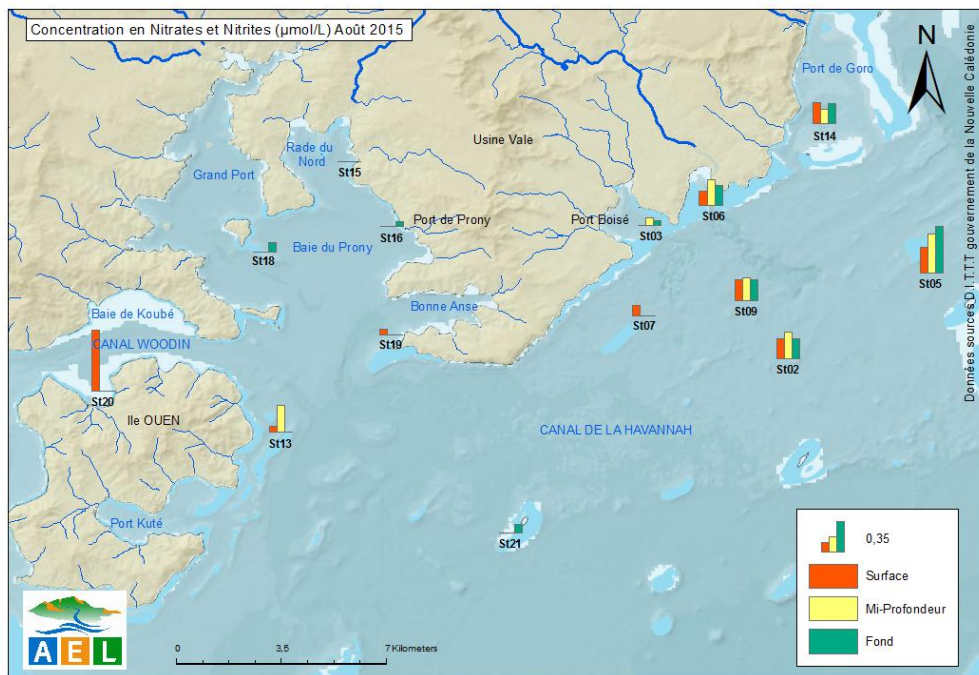


Figure 9 : Concentrations en nitrates et nitrites ( $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

## 2. Ammonium

---

**Rappel :** Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). 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.

La concentration moyenne d'ammonium ( $\text{NH}_4$ ) la plus haute a été obtenue aux stations de baies du Canal de la Havannah. En effet, dans les eaux de surface des baies de Port Boisé (St03) et de la Kwé (St06) ont été mesurées les concentrations maximales de la zone d'étude (0,123 et 0,161  $\mu\text{mol/L}$ , respectivement). Ces eaux de surface étant moins salées que le reste de la colonne d'eau, elles sont influencées par les apports en eaux douces des creeks adjacents (Figure 5). Dans le Canal de la Havannah, à l'inverse de ce qui a été observé pour les  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ , les concentrations moyennes les plus élevées ont été relevées au niveau des stations St07 ( $0,075 \pm 0,022 \mu\text{mol/L}$ ) et St21 ( $0,075 \pm 0,022 \mu\text{mol/L}$ ) (Figure 10 ; Tableau 5).

La concentration moyenne la plus faible a été relevée dans la Baie de Prony, comme pour les  $\text{NO}_2+\text{NO}_3$ . Dans cette zone, la valeur la plus haute a été mesurée dans les eaux de fond de la station St15 (0,099  $\mu\text{mol/L}$ ), station la plus influencée par les apports terrigènes des creeks de la Baie du Prony (Figure 7).

A l'exception de l'île Ouen dont les moyennes sont similaires entre les campagnes de 2014 et 2015, les moyennes d'août 2015 mesurées dans les trois autres zones étudiées sont légèrement plus élevées que celles de 2014 (Annexe 6).

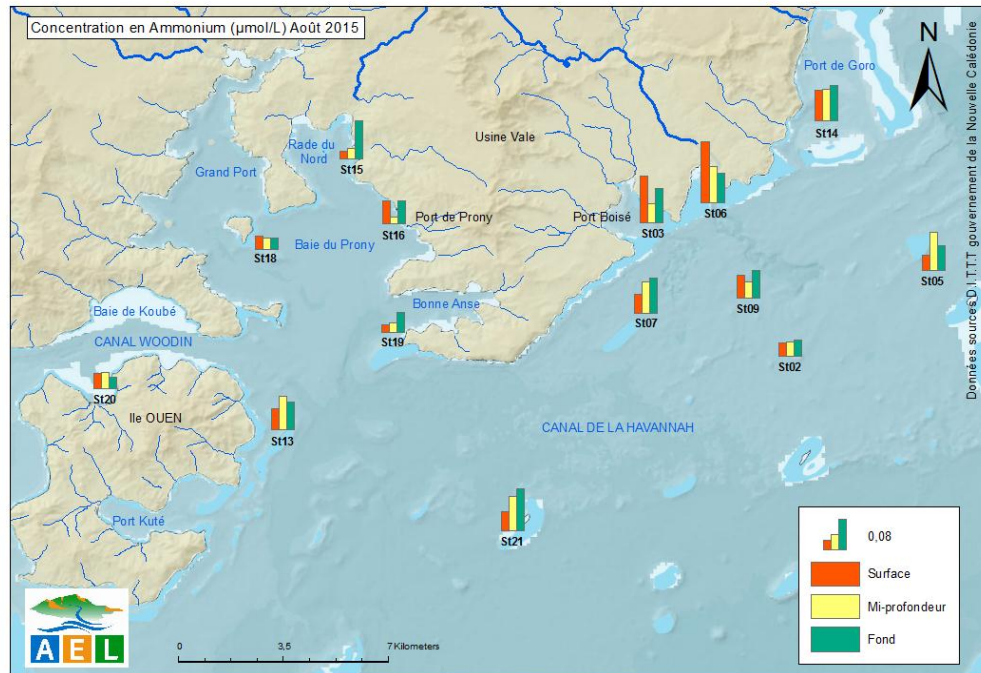


Figure 10 : Concentrations en ammonium ( $\text{NH}_4$ ) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’août 2015.

### 3. Phosphates

**Rappel :** Dans l’eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d’ions orthophosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ ). 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 ( $\text{PO}_4$ ), à l’inverse des concentrations de  $\text{NH}_4$  et de  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ , sont plus élevées dans la Baie du Prony et aux alentours de l’île Ouen que dans le Canal de la Havannah et ses baies. Ces concentrations ne présentent pas de distribution verticale et sont relativement homogènes au sein d’une même zone, notamment aux stations de l’île Ouen ( $0,116 \pm 0,013 \mu\text{mol/L}$ ) (Figure 11 ; Tableau 5).

Les concentrations moyennes obtenues lors de cette campagne dans les 4 zones étudiées sont relativement plus élevées que celles d’août 2014. En effet, lors de cette dernière campagne, seulement deux concentrations avaient été quantifiables alors que toutes l’ont été en 2015 (Annexe 6).

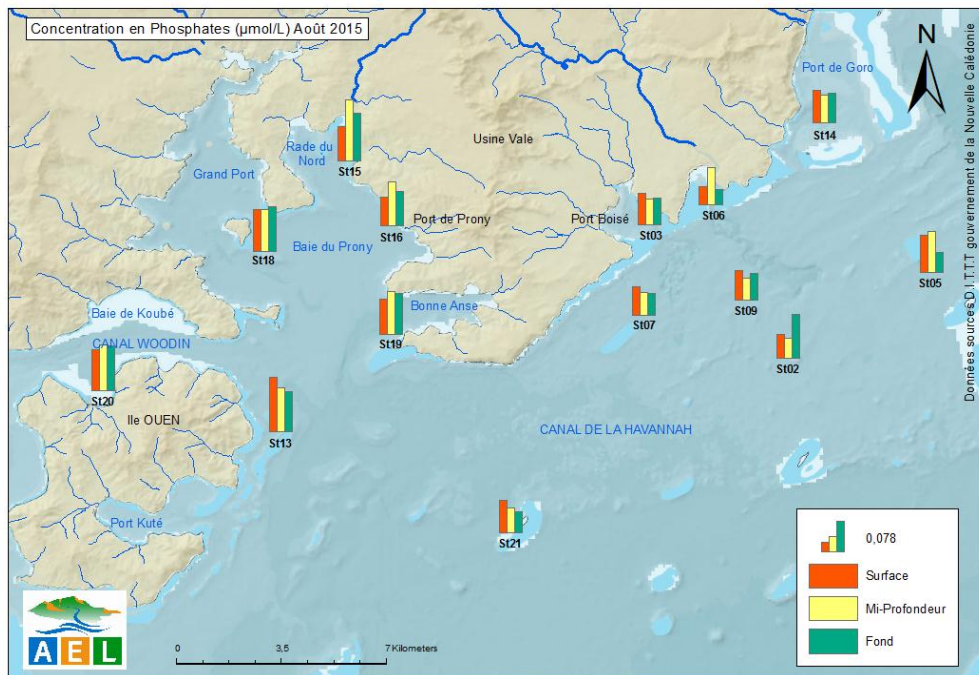


Figure 11 : Concentrations en phosphates ( $PO_4$ ) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’août 2015.

#### 4. Silicates

**Rappel :** Bien que le silicium ne soit pas un composant de la matière vivante proprement dite, il constitue l’essentiel des squelettes de divers organismes marins. Sa concentration dans l’eau de mer, sous forme de silicates ( $SiO_4^{2-}$ ), qui peut devenir insuffisante en raison de sa très faible solubilité, varie en fonction de l’origine et la nature des eaux. Ainsi, dans le domaine océanique, les concentrations en surface sont généralement très faibles mais elles augmentent progressivement à mesure que l’on se rapproche des côtes ou des fonds abyssaux. Les silicates, dans certains contextes géologiques comme en Nouvelle-Calédonie, sont aussi des traceurs de l’altération des roches terrestres.

La distribution spatiale des silicates diffère de celle des autres formes de sels nutritifs. En effet, les concentrations présentent une nette distribution « côte-large » avec des valeurs décroissant de la côte vers le large ; cette distribution met en évidence les apports en eaux douces provenant des creeks de la baie du Prony, de Port Boisé et de la Kwé. Les concentrations de silicates sont inversement corrélées aux valeurs de salinité (Figure 5). En effet, les trois stations présentant les salinités de surface les plus faibles montrent les concentrations de silicates les plus fortes de la zone d’étude (St03 = 3,47  $\mu\text{mol/L}$ , St06 = 4,13  $\mu\text{mol/L}$  et St18 = 4,46  $\mu\text{mol/L}$ ).

A l’inverse les concentrations moyennes du Canal de la Havannah et de l’Ile Ouen, majoritairement influencées par les apports océaniques, sont plus faibles et moins dispersées que celles des baies (Figure 12 ; Tableau 5).



Les concentrations de silicates restent relativement dans les mêmes ordres de grandeur entre les campagnes d'août 2014 et 2015 (Annexe 6).

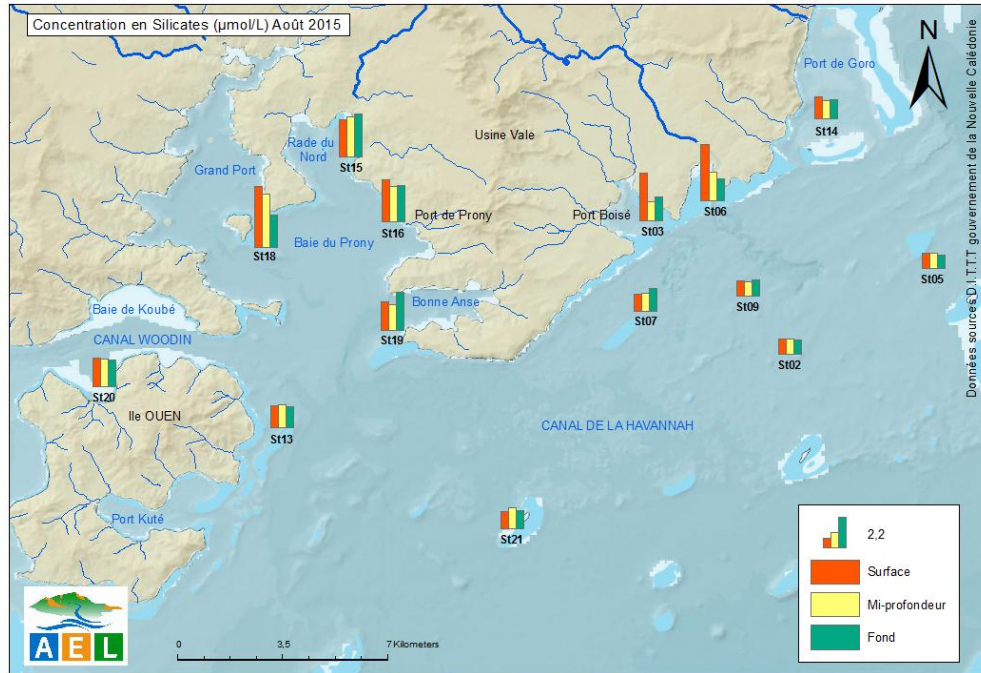


Figure 12 : Concentrations en silicates ( $\text{SiO}_4$ ) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

### Ce qu'il faut retenir

Les distributions des concentrations de chaque sel nutritif étudié diffèrent. La concentration moyenne de  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  la plus élevée a été relevée dans le Canal de la Havannah où les stations les plus influencées par les apports océaniques (St02, St05 et St09) présentent les concentrations les plus élevées.

A l'inverse, les concentrations de  $\text{NH}_4$  les plus fortes ont été mesurées dans les eaux de surface des stations de la baie de Port Boisé et de la Baie Kwé, subissant l'influence des apports en eaux douces des creeks adjacents.

Les concentrations de  $\text{PO}_4$  sont, quant à elles, plus importantes dans la Baie du Prony et autour de l'Ile Ouen.

Les concentrations de silicates mettent en évidence les apports en eaux douces des creeks grâce à leur distribution « côte-large » bien définie ; celles-ci étant inversement corrélées aux valeurs de salinité.

L'étude temporelle ne montre pas de tendance particulière entre 2014 et 2015 à l'exception des concentrations de  $\text{PO}_4$  dont les moyennes de 2015 correspondent aux maximales mesurées depuis le début des campagnes « saison fraîche ».

## E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2015 sont regroupées dans les Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16, le Tableau 6 ainsi qu'en Annexe 4.

**Tableau 6 : Concentrations d'azote organique dissous et d'azote, carbone et phosphore organique particulaires mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2015.**

| Zone d'étude         | Statistique | NOD<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | NOP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | COP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | POP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) |
|----------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | 3,13                         | 0,22                         | 4,85                         | 0,025                        |
|                      | Maximum     | 7,54                         | 0,85                         | 12,81                        | 0,078                        |
|                      | Moyenne     | 4,75                         | 0,46                         | 6,85                         | 0,049                        |
|                      | Ecart-type  | 1,24                         | 0,20                         | 2,53                         | 0,014                        |
|                      | CV (%)      | 26                           | 44                           | 37                           | 29                           |
| Baies Canal          | Minimum     | 3,13                         | 0,24                         | 5,40                         | 0,046                        |
|                      | Maximum     | 6,26                         | 0,85                         | 10,12                        | 0,089                        |
|                      | Moyenne     | 4,38                         | 0,49                         | 7,59                         | 0,067                        |
|                      | Ecart-type  | 0,96                         | 0,17                         | 1,71                         | 0,015                        |
|                      | CV (%)      | 22                           | 34                           | 23                           | 23                           |
| Baie du Prony        | Minimum     | 3,08                         | 0,49                         | 4,94                         | 0,041                        |
|                      | Maximum     | 6,13                         | 1,13                         | 13,60                        | 0,065                        |
|                      | Moyenne     | 4,28                         | 0,79                         | 8,81                         | 0,052                        |
|                      | Ecart-type  | 1,01                         | 0,19                         | 2,53                         | 0,006                        |
|                      | CV (%)      | 24                           | 24                           | 29                           | 12                           |
| Ile Ouen             | Minimum     | 3,34                         | 0,53                         | 7,98                         | 0,048                        |
|                      | Maximum     | 3,92                         | 0,82                         | 14,55                        | 0,106                        |
|                      | Moyenne     | 3,53                         | 0,68                         | 10,81                        | 0,079                        |
|                      | Ecart-type  | 0,21                         | 0,11                         | 2,62                         | 0,020                        |
|                      | CV (%)      | 6                            | 17                           | 24                           | 25                           |

CV : Coefficient de variation en pourcentage.

### 1. Azote et phosphore organiques dissous

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

**Note :** Pour la campagne d'août 2015, les données de P-total n'ont pas pu être validées. Bien que le prétraitement (d'oxydation par voie humide) et l'analyse aient été effectués deux fois (épuisement des échantillons), les résultats

de cette campagne demeurent inexploitable en raison des niveaux décelés qui sont à l'état de traces. Dans ce rapport, les données sont présentées à titre indicatif, mais ne seront pas interprétées.

**Remarque :** Suite à cette non-validation, le laboratoire AEL a ouvert une fiche de non-conformité (N° 36). Les données de P-total n'ont pu être validées, bien que les biais de justesse enregistrés pour chaque série d'analyse soient acceptables (<30 %). Ces derniers étant déterminés par l'insertion d'un matériel de référence certifié (MOOS-3 de National Research Council Canada) dans chaque série d'analyse sur l'autoanalyseur 3 (AA3). Toutefois, aujourd'hui aucun matériel de référence certifié n'existe pour valider l'étape d'oxydation, préalable à l'analyse du P-total. Afin de résoudre cette non-conformité, des essais inter-laboratoires croisés ont été menés avec le laboratoire LAMA (IRD). Ainsi, un échantillon d'eau de mer a été prélevé, le 30 octobre 2015, au large de l'îlot Maître. Cet échantillon a ensuite été sous échantillonné pour les essais croisés dans lesquels l'étape de prétraitement (oxydation par voie humide des échantillons) ainsi que l'étape d'analyse (mesure sur l'auto analyseur 3) ont été testées entre les deux laboratoires. Les comparaisons des données ont montré une différence dans les résultats entre les deux laboratoires, liée à l'étape d'oxydation. Ainsi, il semblerait que cette variation soit due à l'utilisation d'un produit chimique (acide borique), composant le réactif d'oxydation, provenant de différents fournisseurs. Des études supplémentaires sont en cours pour confirmer ces observations et constituer un matériel de référence interne. En effet, ces essais ont d'ores et déjà révélé l'importance de disposer d'un matériel de référence pour valider les données sur l'ensemble du processus analytique (ie. étape de préparation et d'analyse).

Les concentrations d'azote organique dissous (NOD) ne présentent pas de distribution très marquée au sein de la zone d'étude. La moyenne la plus élevée et également la plus dispersée a été mesurée dans le Canal de la Havannah où celles-ci sont comprises entre 3,13 (St02-M) et 7,54 (St21-M)  $\mu\text{mol/L}$ . A l'inverse, la concentration moyenne la plus faible et la moins dispersée a été obtenue aux stations de l'île Ouen. Les concentrations moyennes de NOD des stations de la Baie du Prony ainsi que des baies du Canal sont relativement similaires. Dans la Baie du Prony, les concentrations maximales ont été relevées dans les eaux de surface (6,01  $\mu\text{g/L}$ ) ainsi que dans les eaux de fond (6,13  $\mu\text{g/L}$ ) de la station St15. Au niveau des baies du Canal, ce sont dans les eaux de fond de la station St06 que la valeur maximale a été mesurée (6,26  $\mu\text{g/L}$ ) (Figure 13 ; Tableau 6).

Bien que plus faibles que celles mesurées en août 2014, les concentrations moyennes de NOD d'août 2015 restent dans le même ordre de grandeur que celles obtenues depuis le début des campagnes « saison fraîche » (Annexe 7).

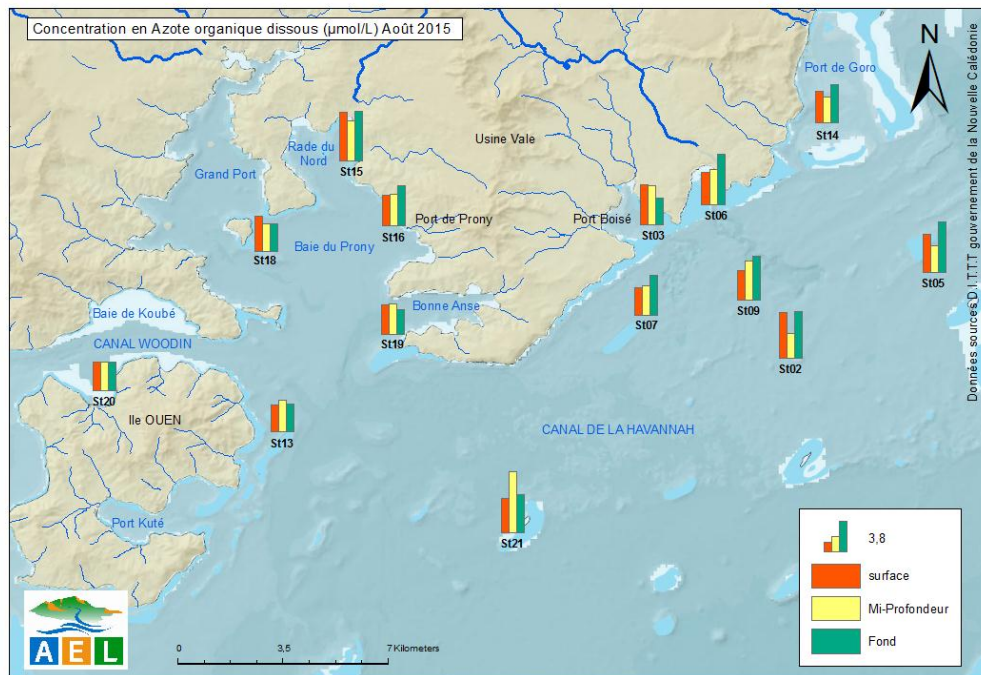


Figure 13 : Concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’août 2015.

## 2. Azote, carbone et phosphore organiques particulaires

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

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

La concentration moyenne de carbone organique particulaire (COP) la plus élevée a été obtenue autour de l’Ile Ouen. Les concentrations moyennes mesurées aux deux stations de cette zone sont relativement homogènes entre les trois niveaux de profondeur échantillonnés et s’élèvent à  $12,98 \pm 1,60$  et  $8,63 \pm 0,61$  µmol/L pour les stations St13 et St20, respectivement. A l’inverse, la concentration moyenne la plus faible a été relevée dans le Canal de la Havannah ; cette dernière étant également la plus dispersée de la zone. En effet, les moyennes obtenues aux stations St02 ( $5,68 \pm 0,89$  µmol/L) et St05 ( $5,55 \pm 0,39$  µmol/L) sont presque deux fois plus faibles que celle relevée à la station St21 ( $11,15 \pm 1,94$  µmol/L) (Figure 14 ; Tableau 6).

Les concentrations d’azote organique particulaire (NOP) les plus élevées et les moins dispersées ont été mesurées dans la Baie du Prony et autour de l’Ile Ouen. Les concentrations maximales du domaine entier ont été relevées

dans les eaux de mi-profondeur (1,062 µg/L) et fond (1,133 µg/L) de la station St18. Dans le Canal de la Havannah, les concentrations moyennes de NOP sont plus faibles et plus dispersées, notamment aux stations du Canal ; celles-ci étant comprises entre 0,222 (St05-F) et 0,853 (St21-S) µg/L (Figure 15 ; Tableau 6).

Les concentrations moyennes de phosphore organique particulaire (POP) les plus élevées ont été mesurées aux stations de l'île Ouen. En effet, la concentration maximale de POP a été relevée en mi-profondeur à la station St20 (0,106 µmol/L). Aux stations de baies du Canal de la Havannah, les concentrations présentent une distribution verticale décroissante avec la profondeur. Les maximales de cette zone ont été mesurées dans les eaux de surface des stations St03 (0,086 µmol/L) et St06 (0,089 µmol/L). Les concentrations moyennes du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony sont quasiment similaires. Dans la Baie de Prony, les concentrations sont particulièrement homogènes (0,052 ± 0,006 µmol/L) (Figure 16 ; Tableau 6). Les concentrations moyennes de la Baie du Prony et des Baies du Canal sont relativement proches et légèrement plus élevées que celles du Canal de la Havannah (Figure 16 ; Tableau 6).

Les concentrations moyennes de COP, NOP et POP relevées dans les 4 zones d'étude en août 2015 restent dans les mêmes ordres de grandeur que celles obtenues depuis le début des campagnes « saison fraîche » (Annexe 7).

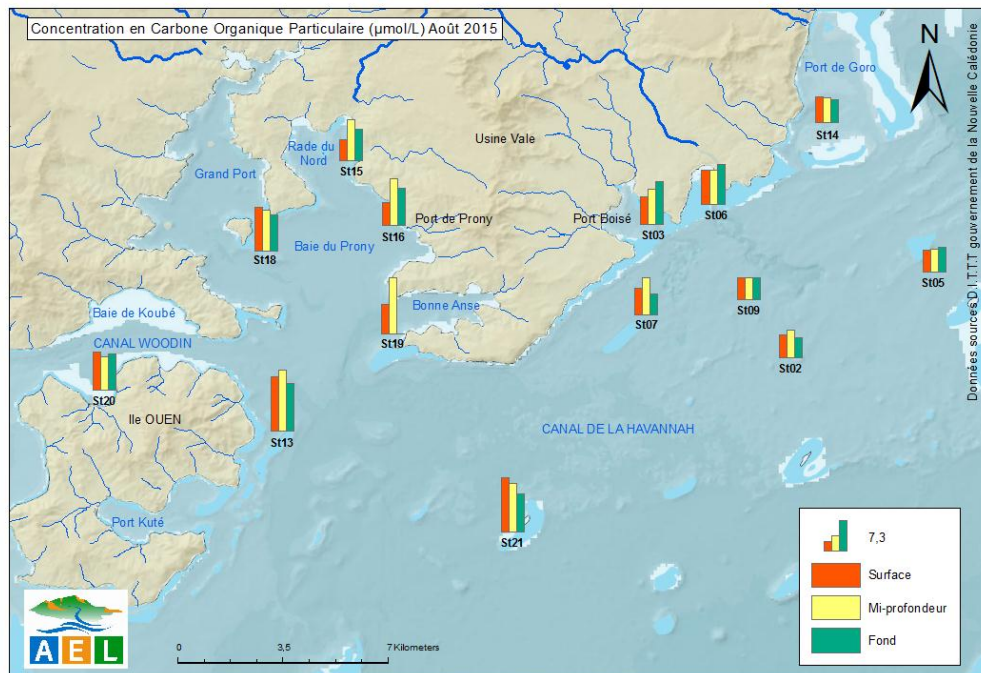


Figure 14 : Concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

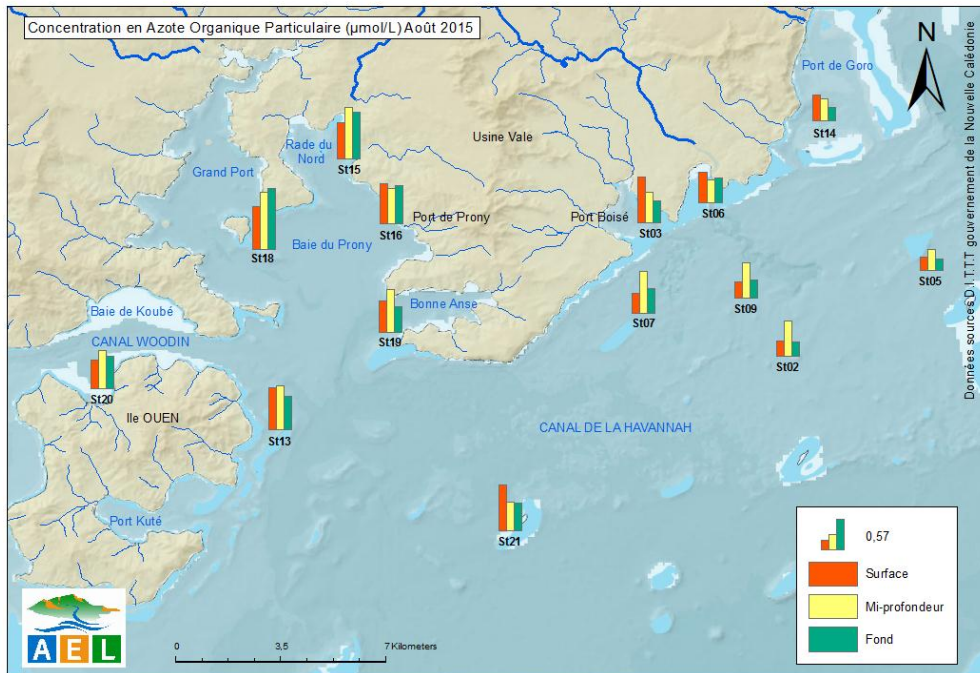


Figure 15 : Concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

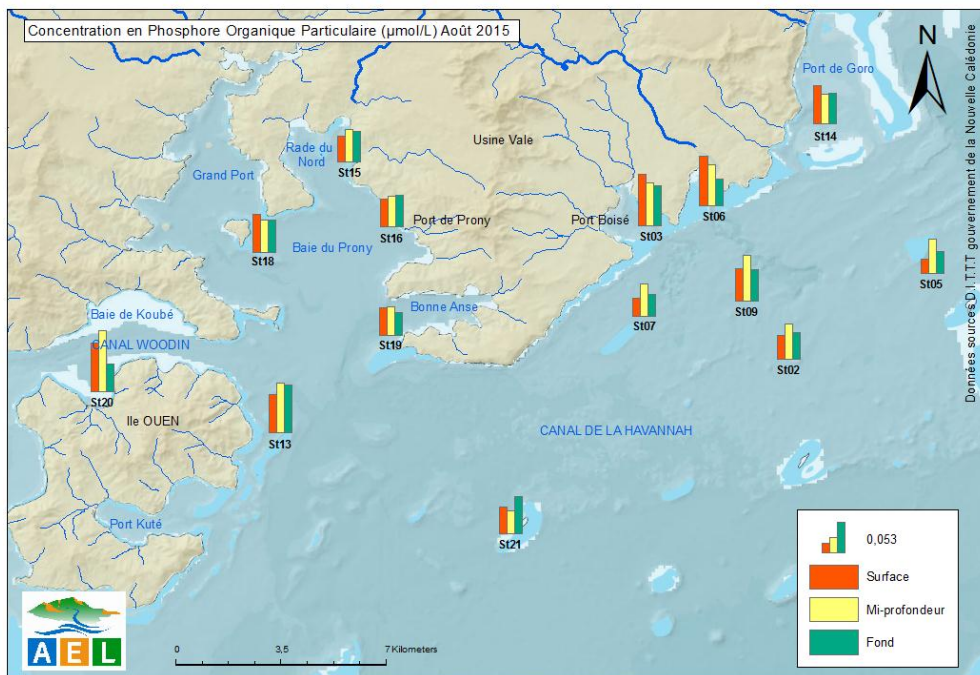


Figure 16 : Concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

## F. CHLOROPHYLLE A

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

Les concentrations de chlorophylle *a* déterminées lors de la campagne de août 2015 sont représentées dans la Figure 17 et le Tableau 7 ainsi qu'en Annexe 4.

Les concentrations moyennes de chlorophylle *a* obtenues dans chaque zone étudiée sont quasiment identiques. Cependant, celles-ci sont plus dispersées au niveau des stations des baies de Prony et du Canal de la Havannah. Dans la Baie du Prony, les concentrations maximales ont été mesurées dans les eaux de mi-profondeur et fond de la station St15 (Prony Creek Baie Nord = 0,61 µg/L) alors qu'au niveau des baies du Canal, la maximale a été relevée dans les eaux de surface de la station St03 (Port Boisé = 0,61 µg/L). Dans le Canal de la Havannah, les concentrations de chlorophylle *a*, sont, à l'inverse, très homogènes (0,38 ± 0,04 µg/L) (Figure 17 ; Tableau 7).

Les concentrations moyennes de chlorophylle *a* relevées dans les 4 zones d'étude en août 2015 sont plus élevées que celles mesurées en 2014, notamment aux stations de baies (Havannah et Prony) où les moyennes sont deux fois plus hautes. Ces dernières restent cependant dans les mêmes ordres de grandeur que les moyennes obtenues lors des précédentes campagnes « saison fraîche ». Aucune tendance n'est observée (Annexe 8).

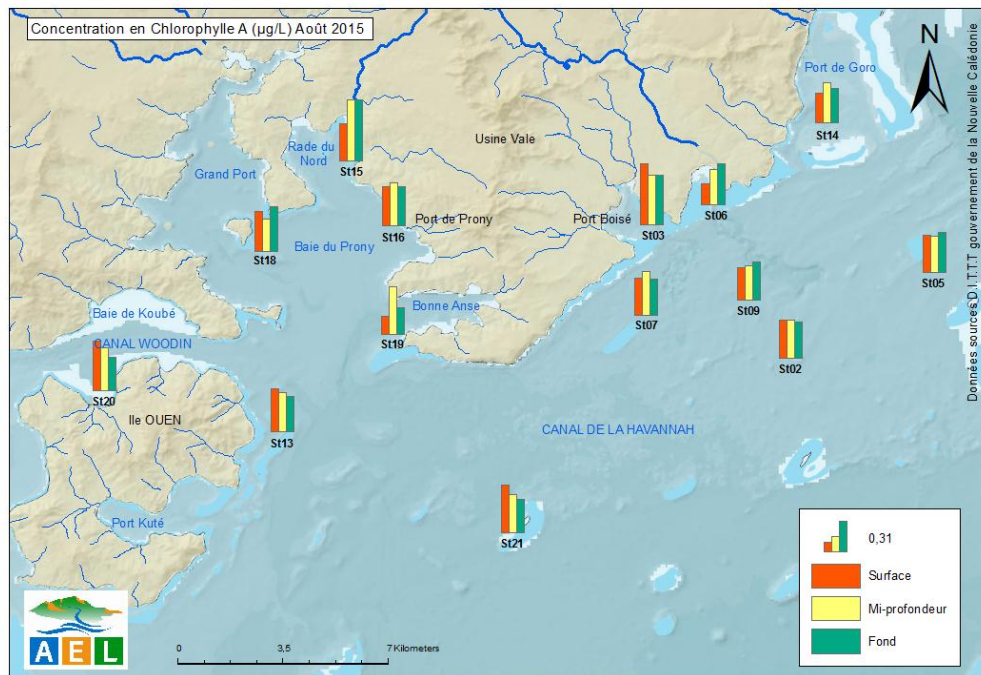


Figure 17 : Concentrations en chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

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

| Zone d'étude         | Statistique | Chlorophylle a (µg/L) |
|----------------------|-------------|-----------------------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,32                  |
|                      | Maximum     | 0,48                  |
|                      | Moyenne     | 0,38                  |
|                      | Ecart-type  | 0,04                  |
|                      | CV (%)      | 10                    |
| Baies Canal          | Minimum     | 0,21                  |
|                      | Maximum     | 0,61                  |
|                      | Moyenne     | 0,40                  |
|                      | Ecart-type  | 0,12                  |
|                      | CV (%)      | 30                    |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,18                  |
|                      | Maximum     | 0,61                  |
|                      | Moyenne     | 0,41                  |
|                      | Ecart-type  | 0,12                  |
|                      | CV (%)      | 30                    |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,33                  |
|                      | Maximum     | 0,50                  |
|                      | Moyenne     | 0,40                  |
|                      | Ecart-type  | 0,06                  |
|                      | CV (%)      | 15                    |

CV : Coefficient de variation en pourcentage.

### Ce qu'il faut retenir

Les concentrations de NOD, COP, NOP et POP ne présentent pas de distribution très marquée au sein de la zone d'étude. Pour la chlorophylle a, bien que les moyennes soient similaires dans les différentes zones étudiées, les concentrations les plus dispersées ont été relevées aux stations de baies, notamment dans la baie de Port Boisé (St03) et à l'embouchure des creeks de la Baie du Prony (St15).

L'étude temporelle ne montre pas d'évolution particulière des concentrations moyennes de NOD, COP, NOP, POP et chlorophylle a obtenues dans les 4 zones étudiées depuis le début des campagnes « saison fraîche ».

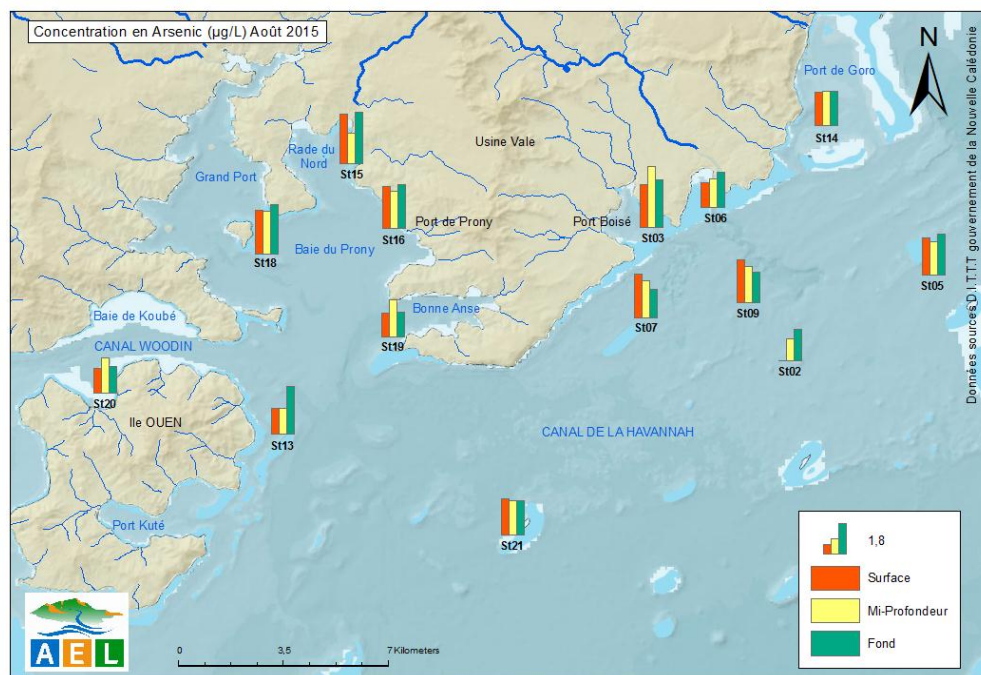


## G. METAUX DISSOUS

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2015 sont regroupées dans les Figure 18, Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24, les Tableau 8 et Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 5.

Les concentrations de Cd et de Pb sont en dessous des limites de quantification fixées (0,025 et 0,100 µg/L, respectivement) ; ces éléments étant à l'état de traces dans les roches latéritiques du sud calédonien (Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981). Les limites de quantification du Cu et du Zn ayant été revues à la hausse (0,025 et 1,00 µg/L, respectivement), une seule concentration de Cu a été quantifiable (St20-M = 0,043 µg/L) et aucune concentration de Zn n'a été quantifiable (<1,000 µg/L).

Les concentrations de As diffèrent légèrement entre les différentes zones étudiées. Les moyennes obtenues dans la Baie du Prony et le Canal de la Havannah sont plus élevées que celles du Canal de la Havannah, elle-même, plus élevée que celle de l'Île Ouen. Au niveau des baies du Canal, les concentrations les plus hautes ont été relevées à la station St03 en mi-profondeur (3,60 µg/L) et dans la Baie du Prony, dans les eaux de surface (2,90 µg/L) et fond de la station St15 (3,00 µg/L) (Figure 18).



**Figure 18 : Concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.**

Les métaux dissous Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Co, Mn et Ni présentent une distribution « côte-large » décroissante bien définie observée à chaque campagne. Les stations du Canal de la Havannah, influencées par les apports océaniques (St02,

St05, St07, St09 et St21) sont nettement différenciées des stations de baies, influencées par les apports terrigènes des rivières et creeks (St03, St06, St14, St15, St16, St18 et St19). Autour de l'île Ouen (St13 et St20), les niveaux de concentrations sont intermédiaires (Tableau 8 et Tableau 9).

La distribution des concentrations des métaux dissous Cr<sup>VI</sup> et Cr-total est similaire. Les concentrations les plus élevées de ces éléments ont été mesurées dans les eaux de surface des stations St03 (Cr<sup>VI</sup> = 0,183 µg/L; Cr-total = 0,213 µg/L) et St06 (Cr<sup>VI</sup> = 0,227 µg/L ; Cr-total = 0,263 µg/L) des baies de Port Boisé et la Kwé, respectivement, ainsi qu'à la station de l'îlot Casy, St18 (Cr<sup>VI</sup> = 0,217 µg/L ; Cr-total = 0,226 µg/L) (Figure 19 ; Figure 20).

Comme pour le Cr<sup>VI</sup> et Cr-total, les maximales des concentrations des métaux dissous Co, Mn et Ni ont été mesurées dans les eaux de surface des stations St03 et St06 particulièrement influencées par les apports en eaux douces des rivières adjacentes (Figure 5). A ces stations, les concentrations sont nettement plus élevées dans la couche d'eau de surface que dans les deux autres niveaux échantillonnés. En effet, pour le Co, seules les concentrations de surface de ces deux stations ont été quantifiables (St03 = 0,057 µg/L ; St06 = 0,068 µg/L, respectivement). Pour le Mn, la concentration de surface de la station St06 (0,352 µg/L) est jusqu'à 9 fois plus haute que celle de fond (0,038 µg/L). L'influence des apports en eaux douces de ces baies est visible jusqu'à la station St07. En effet, la concentration de Ni mesurée dans les eaux de surface (0,363 µg/L) y est de 3 (St09-F = 0,115 µg/L) à 8 fois (St05-M = 0,045 µg/L) plus haute que celles mesurées dans les autres stations du Canal. Pour le Mn, les trois concentrations de cette station ont été quantifiables dont les maximales de cette zone relevée en mi-profondeur (0,061 µg/L) et fond (0,067 µg/L). Dans la Baie du Prony, c'est au niveau de la couche de mi-profondeur de la station St18 que les concentrations de Co et Ni sont les plus élevées (0,045 et 0,321 µg/L, respectivement) alors que pour le Mn, c'est au niveau de la couche néphéloïde observée à la station St15 que la maximale a été mesurée (0,190 µg/L). L'effet de la couche néphéloïde de cette station est également observé, mais dans une moindre mesure, au niveau des concentrations de Co et Ni qui sont systématiquement plus élevées en mi-profondeur et fond qu'en surface (Figure 7 ; Figure 8) (Figure 21 ; Figure 22 ; Figure 23).

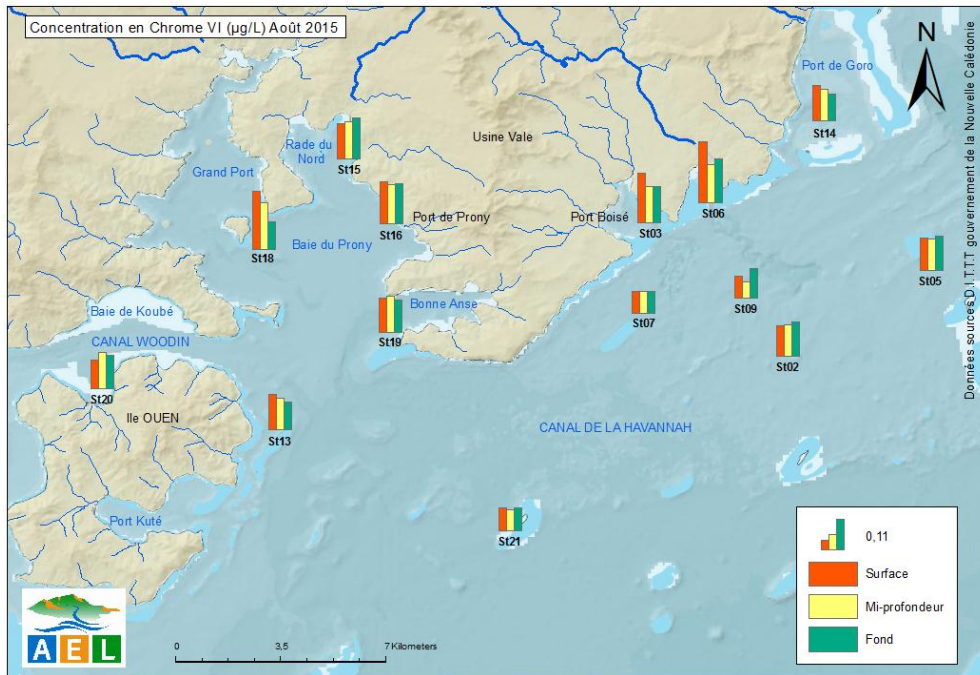


Figure 19 : Concentrations en chrome hexavalent ( $Cr^{VI}$ ) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

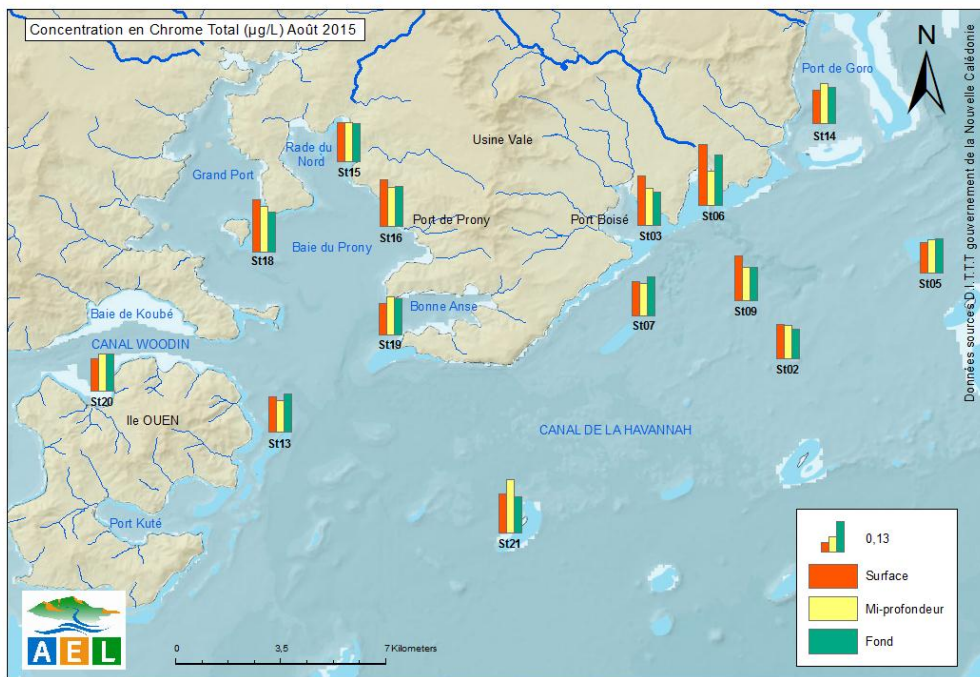


Figure 20 : Concentrations en chrome-total ( $Cr$ -total) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

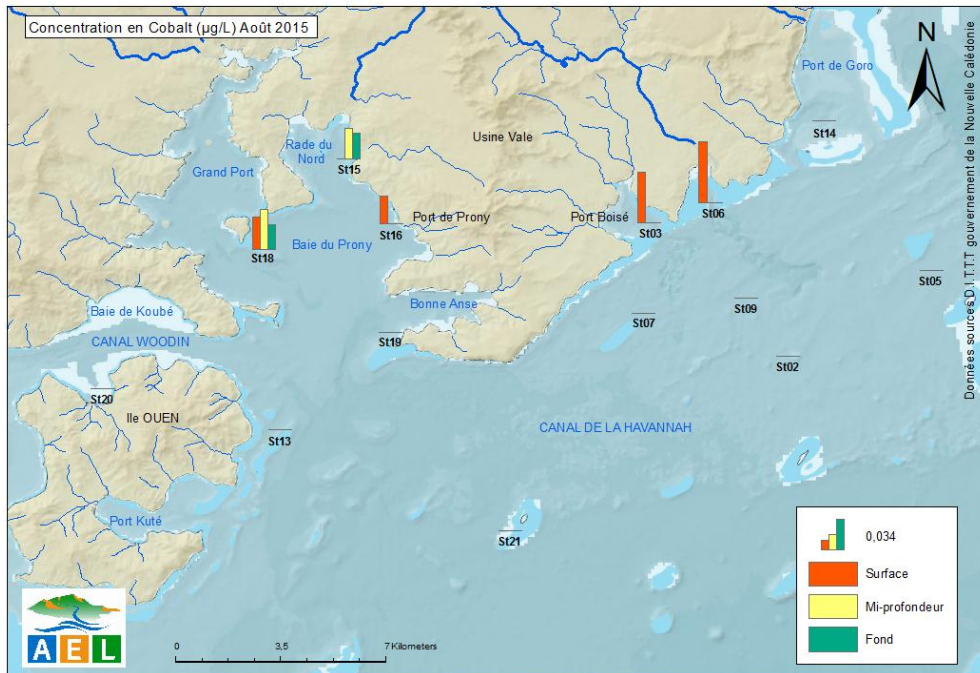


Figure 21 : Concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

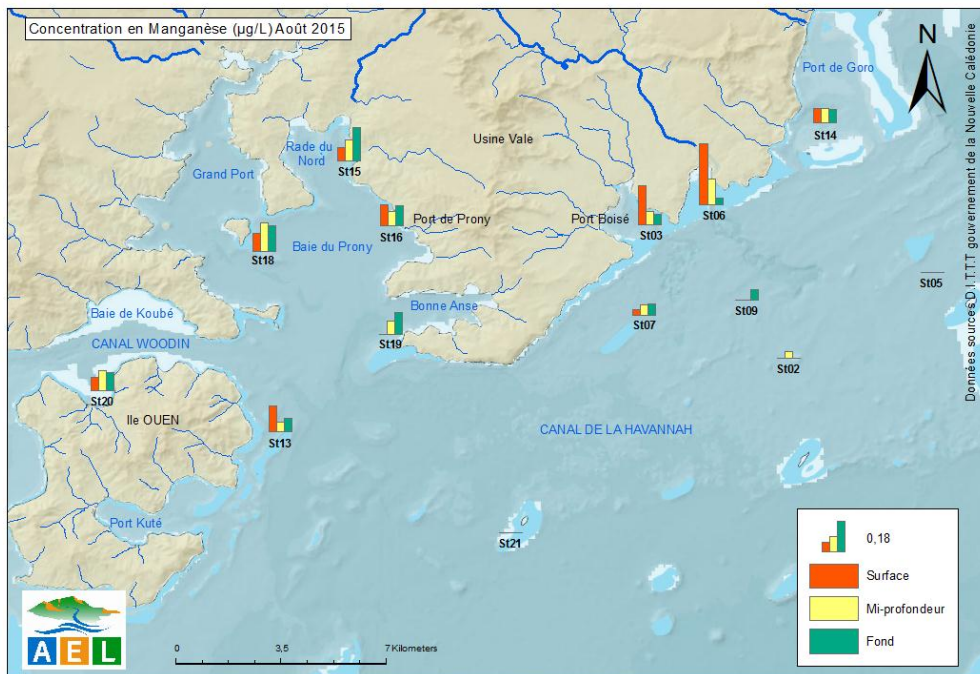
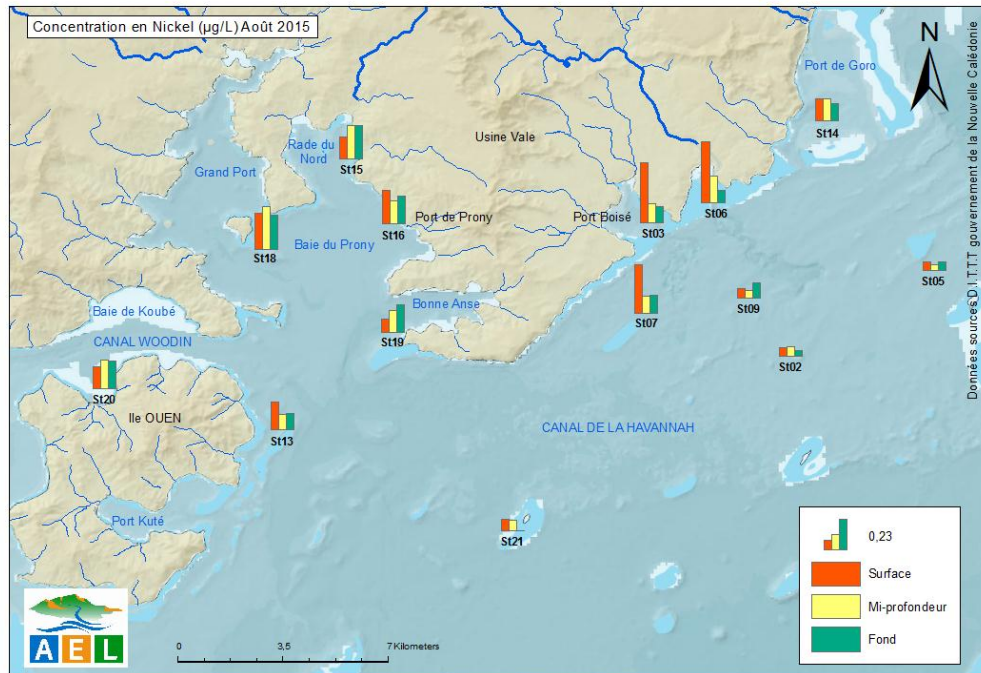


Figure 22 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.



**Figure 23 : Concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d’août 2015.**

Seulement 7 concentrations de Fe sur les 42 mesurées ont été quantifiables lors de cette campagne. Dans la Baie du Prony, les concentrations sont toutes inférieures aux limites de quantification (<0,068 µg/L). Seule une concentration a été quantifiable autour de l’île Ouen (St13-S = 0,095 µg/L) et une également dans le Canal de la Havannah (St07-S = 0,106 µg/L). C’est au niveau des baies du Canal que le plus de concentrations ont été quantifiables. Bien qu’aucune concentration n’ait été quantifiable à la station de Port boisé (St03), deux ont pu être quantifiables dans les couches de surface (0,109 µg/L) et mi-profondeur (0,078 µg/L) de la station St06 et aux trois niveaux de la station St14 (Port Goro). A cette dernière station, la concentration maximale de la zone a été mesurée dans la couche de surface (0,110 µg/L) (Figure 24).

Les concentrations moyennes des métaux dissous mesurées dans les 4 zones d’étude depuis le début des campagnes « saison fraîche » ne montrent pas de tendance à l’augmentation ou diminution au fil des campagnes à l’exception des moyennes d’As. En effet, les moyennes de 2015 sont les maximales obtenues depuis le début des campagnes « saison fraîche ». Une augmentation des moyennes est particulièrement visible entre août 2013 et 2014 ; celle-ci est due à une sensibilité moindre du prestataire.

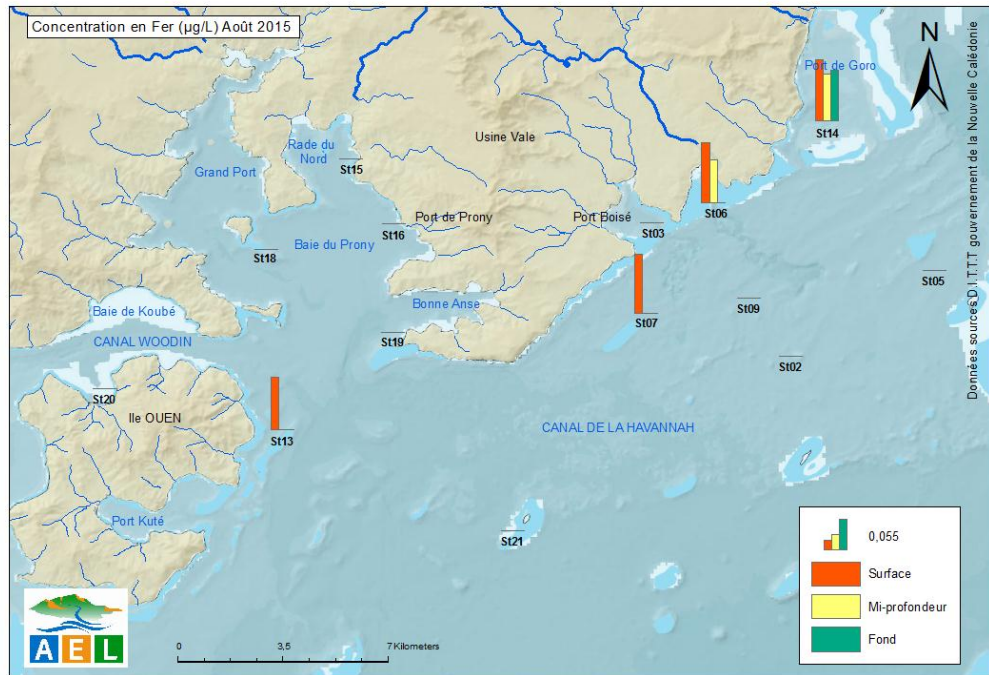


Figure 24 : Concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

**Tableau 8 : Concentrations de métaux dissous (As, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total et Co) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015.**

| Zone d'étude         | Statistique | As (µg/L) | Cr <sup>VI</sup> (µg/L) | Cr-total (µg/L) | Co (µg/L) |
|----------------------|-------------|-----------|-------------------------|-----------------|-----------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | <1,00     | 0,058                   | 0,130           | <0,027    |
|                      | Maximum     | 2,60      | 0,129                   | 0,230           | <0,027    |
|                      | Moyenne     | 2,06      | 0,098                   | 0,155           | <0,027    |
|                      | Ecart-type  | 0,33      | 0,022                   | 0,026           | NA        |
|                      | CV (%)      | 16        | 23                      | 17              | NA        |
| Baie Canal           | Minimum     | 1,45      | 0,100                   | 0,144           | <0,027    |
|                      | Maximum     | 3,60      | 0,227                   | 0,263           | 0,069     |
|                      | Moyenne     | 2,24      | 0,148                   | 0,179           | <0,027    |
|                      | Ecart-type  | 0,65      | 0,038                   | 0,042           | NA        |
|                      | CV (%)      | 29        | 26                      | 23              | NA        |
| Baie du Prony        | Minimum     | 1,40      | 0,102                   | 0,136           | <0,027    |
|                      | Maximum     | 3,00      | 0,217                   | 0,226           | 0,045     |
|                      | Moyenne     | 2,34      | 0,146                   | 0,175           | <0,027    |
|                      | Ecart-type  | 0,54      | 0,029                   | 0,023           | NA        |
|                      | CV (%)      | 23        | 20                      | 13              | NA        |
| Ile Ouen             | Minimum     | 1,50      | 0,104                   | 0,134           | <0,027    |
|                      | Maximum     | 2,80      | 0,137                   | 0,165           | <0,027    |
|                      | Moyenne     | 1,83      | 0,120                   | 0,153           | <0,027    |
|                      | Ecart-type  | 0,53      | 0,013                   | 0,013           | NA        |
|                      | CV (%)      | 29        | 11                      | 8               | NA        |

CV : Coefficient de variation en pourcentage ; NA : valeur non attribuée.

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

| Zone d'étude         | Statistique | Fe (µg/L) | Mn (µg/L) | Ni (µg/L) |
|----------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Canal de la Havannah | Minimum     | <0,068    | <0,028    | 0,045     |
|                      | Maximum     | 0,106     | 0,067     | 0,363     |
|                      | Moyenne     | <0,068    | 0,028     | 0,099     |
|                      | Ecart-type  | NA        | 0,022     | 0,081     |
|                      | CV (%)      | NA        | 80        | 82        |
| Baie Canal           | Minimum     | <0,068    | 0,038     | 0,091     |
|                      | Maximum     | 0,110     | 0,352     | 0,458     |
|                      | Moyenne     | <0,068    | 0,126     | 0,213     |
|                      | Ecart-type  | NA        | 0,102     | 0,140     |
|                      | CV (%)      | NA        | 81        | 66        |
| Baie du Prony        | Minimum     | <0,068    | <0,028    | 0,105     |
|                      | Maximum     | <0,068    | 0,190     | 0,321     |
|                      | Moyenne     | <0,068    | 0,113     | 0,219     |
|                      | Ecart-type  | NA        | 0,044     | 0,060     |
|                      | CV (%)      | NA        | 39        | 27        |
| Ile Ouen             | Minimum     | <0,068    | 0,054     | 0,114     |
|                      | Maximum     | 0,095     | 0,151     | 0,215     |
|                      | Moyenne     | <0,068    | 0,097     | 0,173     |
|                      | Ecart-type  | NA        | 0,035     | 0,045     |
|                      | CV (%)      | NA        | 36        | 26        |

CV : Coefficient de variation en pourcentage ; NA : valeur non attribuée.

### Ce qu'il faut retenir

Les concentrations des métaux dissous Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Co, Mn, Ni se distribuent selon un gradient « côte-large » décroissant mettant en évidence les stations influencées directement par les apports terrigènes des rivières et des creeks, les distinguant ainsi de celles influencées par les apports océaniques. Les stations St03 et St06, influencées par les apports terrigènes des creeks débouchant dans les baies de Port Boisé et de la Kwé présentent les concentrations maximales des métaux dissous Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Co, Mn et Ni dans leurs couches de surface identifiées par une dessalure marquée. Dans la Baie du Prony, l'influence terrigène est mise en évidence dans les eaux de surface de la station de l'îlot Casy (St18 : Co, Cr et Ni), également identifiée par une dessalure marquée ainsi que dans les eaux de fond de la station de Prony Creek Baie Nord St15 identifiée par la couche néphéloïde (St15 : Mn).

Les concentrations de Fe, quant à elles, ne présentent pas de distribution particulière dans le domaine d'étude. Il est à noter, cependant, que les concentrations de Fe les plus élevées ont été mesurées à la station St14.



## V.SYNTHESE

**Rappel :** Cette synthèse regroupe les concentrations des sels nutritifs et des métaux dissous mesurées aux stations sentinelles depuis août 2008 : 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 fraîche** ». Ces stations reflètent deux différents types d'influence dénombrés dans la zone d'étude i) influence terrigène des creeks des baies de Port Boisé (St03), de la Kwé (St06) et du Prony (St15) et (ii) influence océanique dans le Canal de la Havannah (St05 et St07). La station St09 est également suivie en raison de la proximité du diffuseur (influence industrielle).

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

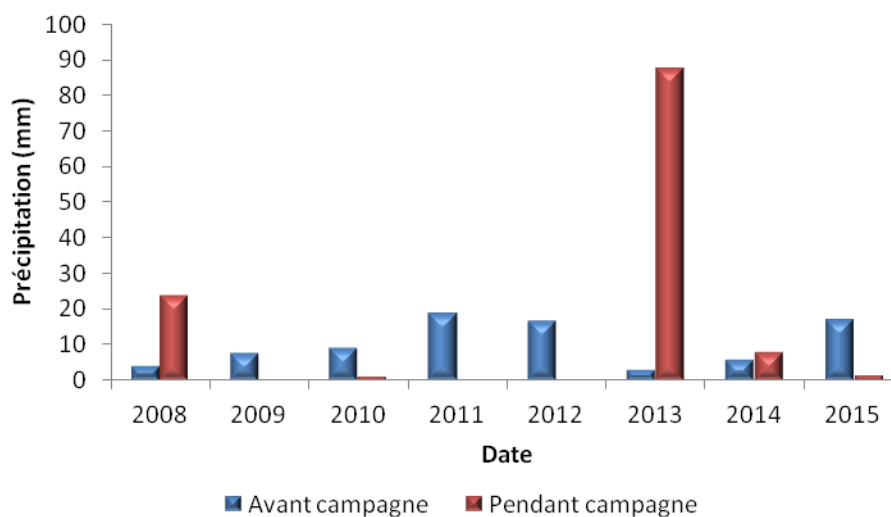


Figure 25 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraîche » de 2008 à 2015 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

## A. SELS NUTRITIFS

L'évolution des concentrations de  $\text{NH}_4$  et de  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 a été reportée dans les Figure 26, Figure 27, Figure 28 et Figure 29. Leur évolution a été étudiée aux stations St05 (Ilot Kié), St09 (Canal de la Havannah), St06 (Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord).

### 1. Ammonium

Aux stations St05 et St09, les concentrations de  $\text{NH}_4$  ont très légèrement augmenté entre 2008 et 2013. En effet, pour St05, les concentrations semblent avoir progressé régulièrement d'un facteur 5 entre 2008 ( $0,021 \pm 0,004 \mu\text{mol/L}$ ) et 2013 ( $0,099 \pm 0,022 \mu\text{mol/L}$ ), à l'exception de 2012 dont les concentrations obtenues aux trois niveaux sont relativement faibles et homogènes ( $0,033 \pm 0,003 \mu\text{mol/L}$ ). A la station St09, la concentration de surface en 2013 ( $0,589 \mu\text{mol/L}$ ) est jusqu'à 31 fois plus élevée que celles mesurées en 2008 ( $0,020 \mu\text{mol/L}$ ). Entre août 2013 et 2014, les concentrations mesurées ont diminuée d'un facteur 3 pour la station St05 et St09, à l'exception de la concentration mesurée en surface à la station St09 où celle-ci a été divisée par 18. Entre août 2014 et 2015, les concentrations ont légèrement augmenté mais celles-ci restent dans les ordres de grandeur des concentrations mesurées lors des précédentes campagnes (Figure 26).

A la station St06, les concentrations de  $\text{NH}_4$  sont globalement plus élevées que celles mesurées aux stations St05 et St09. Celles-ci sont également nettement plus dispersées et ne permettent pas de mettre en évidence une évolution particulière entre les campagnes « saison fraîche » étudiées. On remarque, cependant que les concentrations les plus élevées sont plus souvent celles de surface. La maximale a été mesurée lors de la campagne d'août 2011 ( $0,242 \mu\text{mol/L}$ ) (Figure 27).

A la station St15, les concentrations de  $\text{NH}_4$  obtenues en mi-profondeur ( $0,408 \mu\text{mol/L}$ ) et fond ( $0,318 \mu\text{mol/L}$ ) en août 2013 sont particulièrement élevées comparées à celles mesurées lors des autres campagnes « saison fraîche ». Hormis cette année exceptionnelle liée aux précipitations relevées pendant la campagne de prélèvement, les concentrations obtenues à la station St15 sont relativement faibles comparées à celles mesurées aux autres stations (Figure 27).

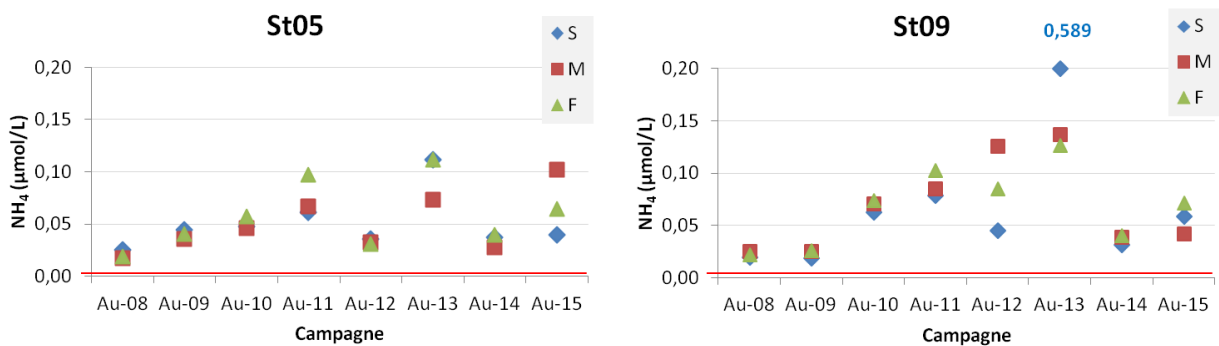


Figure 26 : Concentrations d'ammonium ( $\text{NH}_4$ ) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ( $0,002 \mu\text{mol/L}$ ).

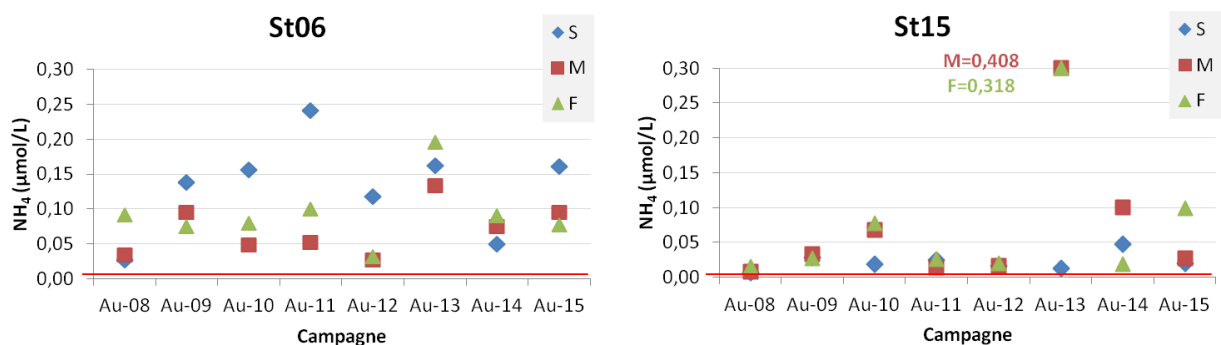


Figure 27 : Concentrations d'ammonium (NH<sub>4</sub>) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 μmol/L).

## 2. Nitrates et nitrites

Les concentrations de NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> de la station St05 sont dispersées dans le temps et dans la colonne d'eau entre les campagnes 2011 et 2015, toutefois, globalement celles-ci ont légèrement tendance à augmenter entre 2008 et 2013. La concentration maximale a été mesurée en mi-profondeur en 2013 (0,885 μmol/L). En août 2014 (0,201 ± 0,116 μmol/L) et 2015 (0,421 ± 0,122 μmol/L), les concentrations sont plus faibles et moins dispersées que celles obtenues en 2013 (0,521 ± 0,375 μmol/L) (Figure 28).

A la station St09, les concentrations de NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> sont globalement plus faibles que celles obtenues à la station St05 et ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison fraiche » depuis 2008 (Figure 29).

Pour les stations St06 et St15, ce sont les concentrations de la campagne d'août 2013, dont les précipitations sont les plus élevées, qui présentent les plus fortes concentrations, notamment dans les eaux de fond de la station St15 (0,748 μmol/L). A la station St06, les concentrations en surface (1,013 ± 0,091 μmol/L) et de fond (0,838 ± 0,033 μmol/L) ont été multipliées par 2 environ par rapport à 2011. Les concentrations de St15 sont globalement plus faibles que celles mesurées à la station St06 et particulièrement homogènes au sein de la colonne d'eau notamment pour les campagnes d'août 2008 (0,058 ± 0,005 μmol/L), 2009 (0,051 ± 0,002 μmol/L), 2010 (0,055 ± 0,009 μmol/L) dont les moyennes sont également très proches. Les concentrations mesurées en août 2012 et 2015 sont, quant à elles, toutes les trois inférieures à la limite de quantification (0,050 μmol/L) (Figure 28 ; Figure 29).

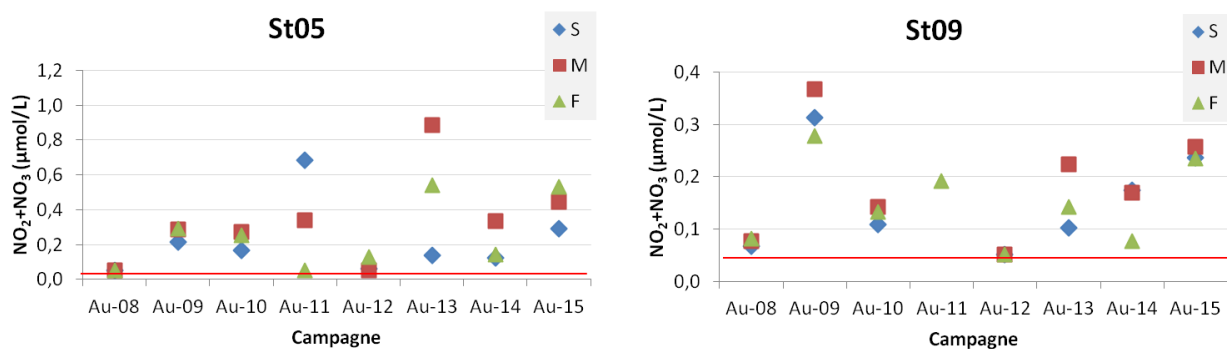


Figure 28 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

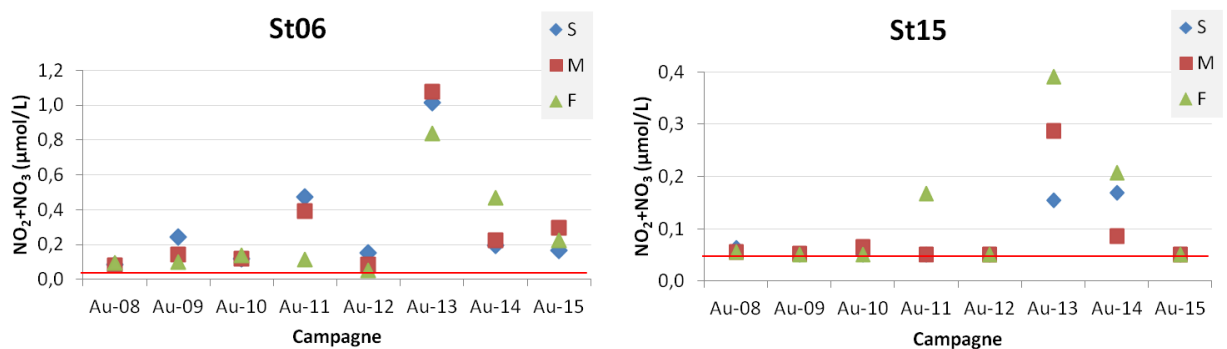


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

### Ce qu'il faut retenir

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

## B. METAUX DISSOUS

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

L'évolution des concentrations de Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations St03 (Port Boisé), St06 (Baie Kwé) et St15 (Prony Creek Baie Nord) a été reportée dans les Figure 30, Figure 31, Figure 32 et Figure 33.

#### a) Stations St03 (Port Boisé) et St06 (Baie Kwé)

Les concentrations de Co, Mn et Ni présentent les mêmes fluctuations entre les campagnes depuis 2008. En effet, les concentrations de mi-profondeur et fond ne varient que très peu entre les campagnes, alors qu'en surface, elles ont atteint des valeurs maximales en 2011 puis en 2013. Pour le Co, aux deux stations étudiées, les concentrations obtenues en 2011 (Août 2011 : St03 = 0,12 µg/L ; St06 = 0,14 µg/L) sont légèrement plus faibles que celles obtenues en 2013 (Août 2013 : St03 = 0,13 µg/L ; St06 = 0,15 µg/L). Les concentrations de Ni mesurées aux stations St03 (2,53 µg/L) et St06 en surface (2,99 µg/L), sont, quant à elles, trois fois plus élevées que celles obtenues en 2011 (St03 : 0,75 µg/L ; St06 : 0,87 µg/L).

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

#### b) Station St15 (Prony Creek Rade Nord)

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

Les concentrations de Ni des eaux de surface sont toujours plus élevées qu'à mi-profondeur et qu'au fond, mais elles sont quasiment du même ordre de grandeur à l'exception de la campagne d'août 2013. En effet, la concentration de Ni mesurée en surface (0,80 µg/L) est 9 et 3 fois plus forte que celles mesurées à mi-profondeur (0,09 µg/L) et au fond (0,30 µg/L), respectivement. Cette dernière correspond à la valeur maximale mesurée depuis 2008. Les concentrations de Ni mesurées lors de la dernière campagne sont relativement homogènes et faibles (0,22 ± 0,05 µg/L) comparées aux concentrations précédemment obtenues.

Entre 2008 (0,14 ± 0,03 µg/L) et 2012 (0,17 ± 0,01 µg/L), à l'exception de la concentration mesurée dans les eaux de surface en 2009 (0,43 µg/L), les concentrations de Cr<sup>VI</sup> ont très peu varié. En 2013, les concentrations mesurées aux trois niveaux de profondeur (S = 0,69 µg/L ; M = 0,30 µg/L ; F = 0,26 µg/L) sont les maximums mesurés à cette station depuis 2008. En 2014 et 2015, les concentrations obtenues aux trois niveaux de profondeur sont similaires à celles obtenues entre 2008 et 2012 et très homogènes au sein de la colonne d'eau (2014 et 2015 = 0,14 ± 0,01 µg/L).

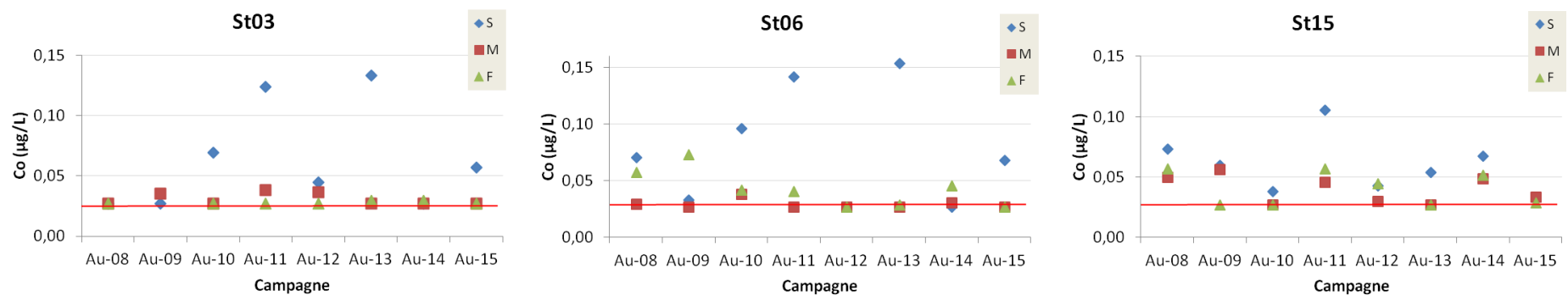


Figure 30 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

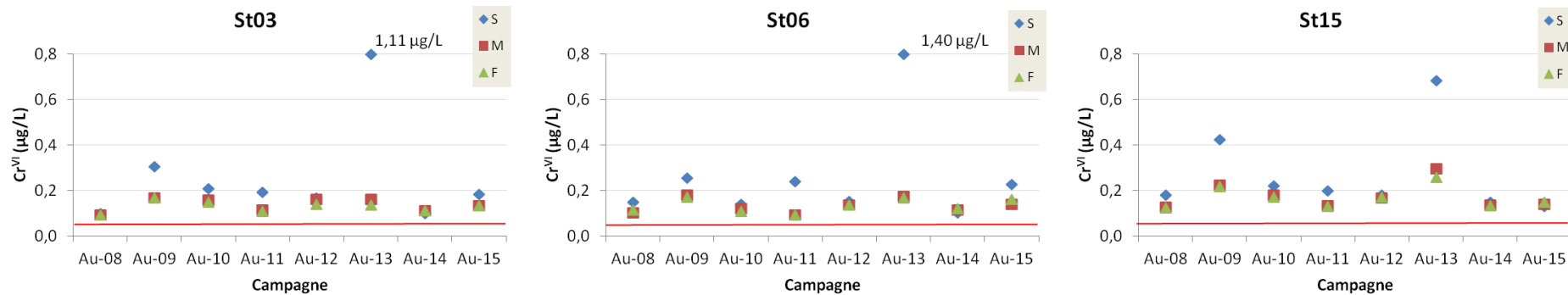


Figure 31 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr<sup>VI</sup>) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,030 µg/L).

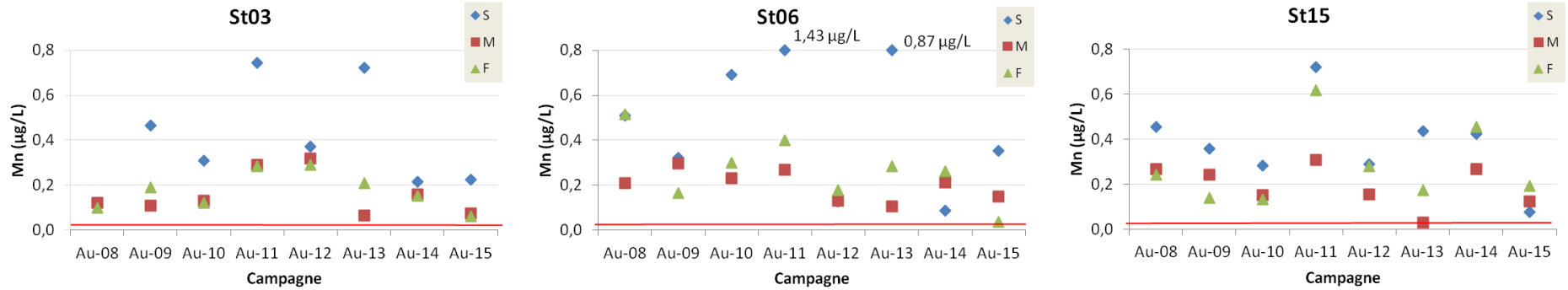


Figure 32 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

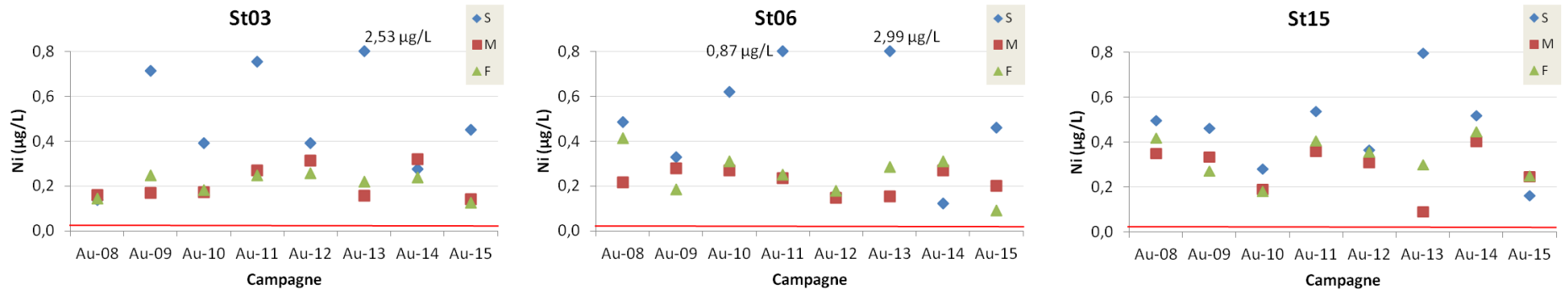


Figure 33 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

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

---

L'évolution des concentrations de Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations St05 (Ilot Kié), St07 (Récif Ioro) et St09 (Canal de la Havannah) a été reportée dans les Figure 34, Figure 35 et Figure 36.

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

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

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

Les concentrations de Co mesurées à la station St05 sont toutes inférieures à la limite de quantification. Aux stations St07 et St09, seules les valeurs de surface de la campagne de 2009 ont été quantifiables (0,059 et 0,043 µg/L, respectivement).

A ces trois stations du Canal, les concentrations de Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni ne montrent pas d'évolution particulière au cours du temps et sont même relativement homogènes entre les différentes profondeurs étudiées et stables entre les différentes campagnes depuis 2008.

### Ce qu'il faut retenir

Les précipitations de la mission semestrielle « saison fraîche » 2013 sont responsables d'un lessivage des sols induisant un enrichissement notable des eaux de surface en métaux dissous tels que le Cr<sup>VI</sup> et Ni à la station St15 et les métaux dissous tels que Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni, particulièrement décelables aux stations St03 et St06.

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

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

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



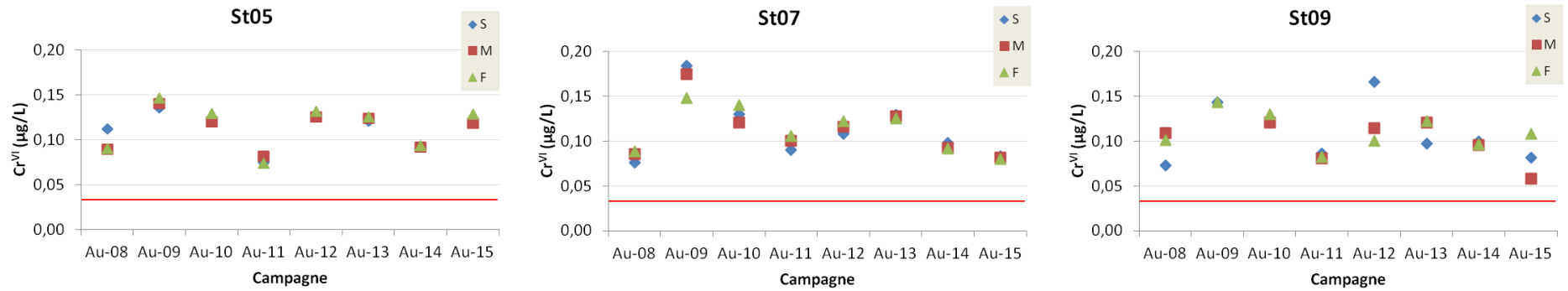


Figure 34 : Concentrations de chrome hexavalent mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,030 µg/L).

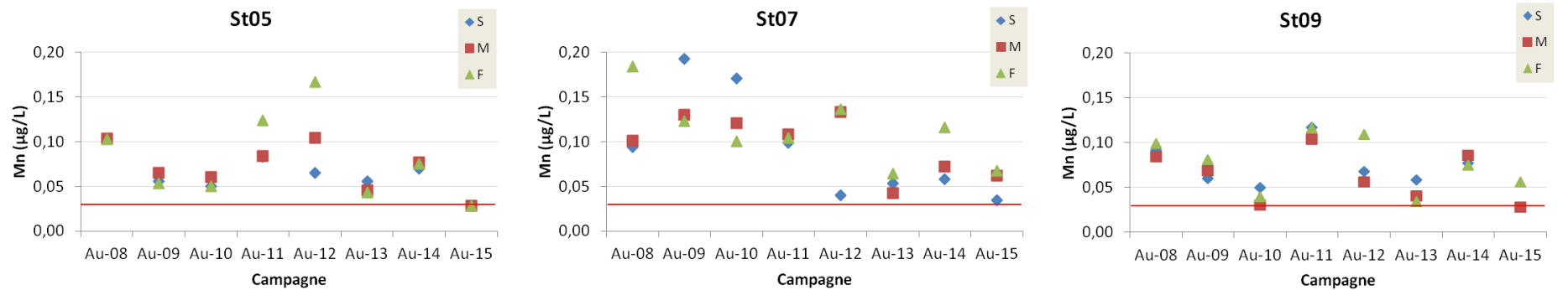


Figure 35 : Concentrations de manganèse mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

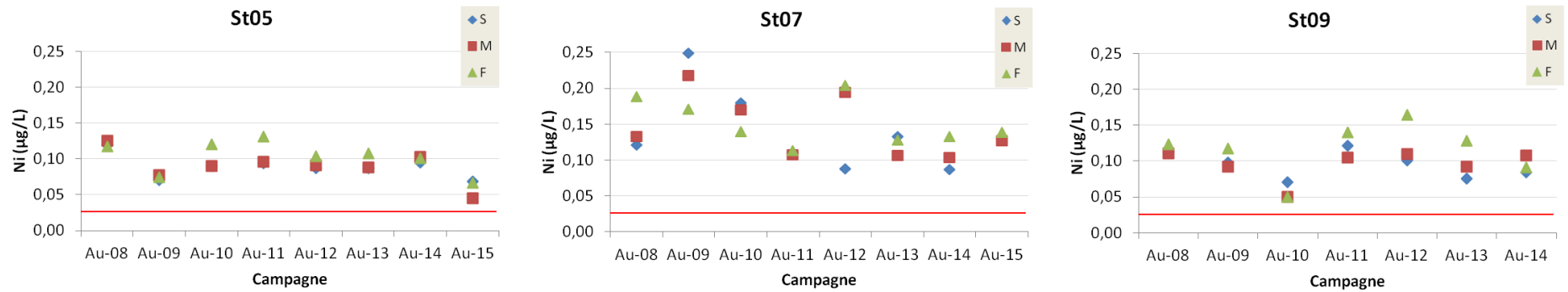


Figure 36 : Concentrations de nickel mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraiche » (2008 à 2015) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

## VI. CONCLUSION

Les variables physico-chimiques ainsi que la distribution des concentrations de certains éléments tels que les MES, les silicates et les métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les apports en eaux douces des creeks de la Baie du Prony, de la Baie de Port Boisé ainsi que de la Baie Kwé ainsi que les apports océaniques influençant le Canal de la Havannah et dans une moindre mesure les stations de l'Île Ouen.

La nature des apports en eaux douces diffère en fonction des baies. En effet, les apports en eaux douces des baies de Port Boisé et de la Kwé sont décelables dans la couche de surface dessalée et riche en silicates, ammonium, azote et phosphore organiques particuliers (NOP et POP) et métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Mn et Ni). Dans la Baie du Prony, les apports sont visibles, directement à l'embouchure des creeks de la Baie Nord, en profondeur prenant la forme d'un néphéloïde benthique riche en MES. Dans cette baie, les apports des creeks sont également observés autour de l'Îlot Casy dans la couche dessalée de surface riche en silicates, Cr<sup>VI</sup> et Cr-total.

L'évolution temporelle des sels nutritifs (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) et métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni) ne montre pas de tendance particulière depuis le début des campagnes semestrielles « saison fraîche ». Cependant, des pics momentanés de concentrations de surface de métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni) ainsi qu'un enrichissement de ces eaux en composés organiques minéralisables mettent en évidence une intensification des apports terrigènes dus à des phénomènes météorologiques (précipitations) et hydrodynamiques (ex : horaire de prélèvement, type de marée, vent...).

## REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters, *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999). A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems, *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010a). 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 (2010b). 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 (2011a). 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 (2011b). 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-Roiné S, Fernandez JM (2012a). 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-Roiné S, Fernandez JM (2012b). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison sèche (août 2012). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013a). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1<sup>er</sup> semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Senia J, Pluchino S, Raynal A, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013b). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (2<sup>ème</sup> semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 81p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014a). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1<sup>er</sup> semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Raynal A, Pluchino S, Achard R, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (2<sup>ème</sup> semestre 2014b). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 86p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1<sup>er</sup> semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n° T1368, 85p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration, *Deep Sea Research*, 13: 223-227.

Moreton B, Fernandez JM, Dolbecq M (2009). Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia lagoon. *Geostandards and Geoanalytical Research* 33 (2) : 205-218.

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

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

NF EN ISO 17294-2 : Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage de 62 élément.

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

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

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

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....   | 10 |
| FIGURE 2 : HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES 5 JOURS PRECEDANT (30/07/15 AU 03/08/15) LA CAMPAGNE ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (04/08/15 AU 06/08/15). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION..... | 12 |
| FIGURE 3 : CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 04 AU 06 AOUT 2015.....   | 12 |
| FIGURE 4 : PROFILS DE TEMPERATURE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 16 |
| FIGURE 5 : PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....  | 18 |
| FIGURE 6 : PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....  | 20 |
| FIGURE 7 : PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 22 |
| FIGURE 8 : CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 26 |
| FIGURE 9 : CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES (NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> ) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 29 |
| FIGURE 10 : CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH <sub>4</sub> ) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 31 |
| FIGURE 11 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO <sub>4</sub> ) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 32 |
| FIGURE 12 : CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO <sub>4</sub> ) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 33 |
| FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 36 |
| FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....  | 37 |
| FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....  | 38 |
| FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....  | 38 |
| FIGURE 17 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....  | 39 |
| FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....  | 41 |
| FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN CHROME HEXAVALENT (Cr <sup>VI</sup> ) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 43 |
| FIGURE 20 : CONCENTRATIONS EN CHROME-TOTAL (Cr-TOTAL) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 43 |
| FIGURE 21 : CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015.....   | 44 |

FIGURE 22 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....44

FIGURE 23 : CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....45

FIGURE 24 : CONCENTRATIONS EN FER (Fe) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....46

FIGURE 25 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2015 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».....49

FIGURE 26 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH<sub>4</sub>) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 μMOL/L).....50

FIGURE 27 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH<sub>4</sub>) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 μMOL/L).....51

FIGURE 28 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St05 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 μMOL/L). ....52

FIGURE 29 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 μMOL/L). ....52

FIGURE 30 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 μG/L). ....54

FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr<sup>VI</sup>) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,030 μG/L). ....54

FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 μMOL/L).....55

FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES St03, St06 ET St15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 μMOL/L). ....55

FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH St05, St07 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,030 μG/L).....57

FIGURE 35 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH St05, St07 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 μG/L). ....57

FIGURE 36 : CONCENTRATIONS DE NICKEL MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH St05, St07 ET St09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2015) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 μG/L). ....58

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| TABLEAU 1 : LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE. ....  | 9  |
| TABLEAU 2 : VALEURS DE LA TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE ENREGISTREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....   | 15 |
| TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS ET VALEURS DU pH MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....   | 24 |
| TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....  | 27 |
| TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....  | 28 |
| TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS D'AZOTE ORGANIQUE DISSOUS ET D'AZOTE, CARBONE ET PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE MESUREES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. .... | 34 |
| TABLEAU 7 : CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE MESUREES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....  | 40 |
| TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (As, Cr <sup>VI</sup> , Cr-TOTAL ET Co) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....                                   | 47 |
| TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (Fe, Mn ET Ni) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE MESUREES LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2015. ....   | 48 |





## LISTE DES ANNEXES

|                |    |
|----------------|----|
| ANNEXE 1 ..... | 66 |
| ANNEXE 2 ..... | 75 |
| ANNEXE 3 ..... | 77 |
| ANNEXE 4 ..... | 79 |
| ANNEXE 5 ..... | 81 |
| ANNEXE 6 ..... | 83 |
| ANNEXE 7 ..... | 86 |
| ANNEXE 8 ..... | 89 |
| ANNEXE 9 ..... | 90 |

## ANNEXE 1

### Méthodologie

#### STRUCTURE DES MASSES D'EAU

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

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

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

Tableau 1 : Spécifications des paramètres de la sonde.

| Paramètres                        | Gamme    | Précision initiale | Résolution |
|-----------------------------------|----------|--------------------|------------|
| Conductivité (S.m <sup>-1</sup> ) | 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   | NDp                | 0,01       |
| Fluorescence (mg/m <sup>3</sup> ) | 0 - 50   | NDp                | 0,025      |

NDp : Donnée non disponible, les capteurs sont calibrés en usine.

#### Éléments majeurs, pH et Matières en suspension (MES)

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

- le dosage des ions calcium (Ca<sup>2+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>), potassium (K<sup>+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>) qui ont été déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- le dosage des ions chlorures (Cl<sup>-</sup>) et sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) qui ont été réalisés par chromatographie ionique capillaire (Waters, CIA) ;

- la mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- la détermination de la concentration en MES (matière en suspension) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore<sup>®</sup> de 0,45 µm de porosité).

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

## Sels nutritifs

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

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH<sub>4</sub>) ;
- PEHD et stockage en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates+nitrites (NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>) et de phosphates (PO<sub>4</sub>) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse.

### Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO<sub>3</sub>) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des (NO<sub>3</sub>) est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO<sub>2</sub>) obtenu par réduction des ions (NO<sub>3</sub>). Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub> par photométrie (Oudot et Montel, 1988), le dosage des ions (NO<sub>2</sub>) est obtenu directement. Cependant, les concentrations en (NO<sub>2</sub>) 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 et 1 µM avec des limites de quantification d'environ 0,05 µmol/L.

### Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac NH<sub>3</sub> et d'ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 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 (Fluoromètre Turner). Les proportions de réactifs ont été déterminées pour des concentrations maximales d'ammonium de 3 µmol/L, la limite de quantification de la méthode est de 1,5 nmol/L.

### Phosphates

Le dosage des PO<sub>4</sub> a été effectué selon la méthode de Murphy et Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide (pH<1) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par

photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu (Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III). Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et 0,75  $\mu\text{mol/L}$  avec des limites de quantification d'environ 0,05  $\mu\text{mol/L}$ .

### Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de Mullin et Riley, 1955, modifiée par Fanning et Pilson (1973). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu (Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III). Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0 à 140  $\mu\text{mol/L}$ , la limite de quantification est de 0,05  $\mu\text{mol/L}$  et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10  $\mu\text{mol/L}$  de  $\text{Si(OH)}_4$ .

## **Matière organique**

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

- PEHD et stockage en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à  $-20^\circ\text{C}$  ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatma<sup>®</sup> GF/F (porosité 0,7  $\mu\text{m}$ ) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à  $-20^\circ\text{C}$  jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

### 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  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  et les  $\text{PO}_4$ . La méthode d'oxydation par voie humide utilisée (Rimbault *et al.*, 1990) est simple et rapide à mettre en œuvre. Pour le NOD, le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 40  $\mu\text{mol/L}$  et la limite de quantification est de 0,500  $\mu\text{mol/L}$ . Pour le POD, le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 5  $\mu\text{mol/L}$  et la limite de quantification est de 0,050  $\mu\text{mol/L}$ . Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu (Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III).

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

### Azote et phosphore organiques particuliers

La charge organique particulaire est déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord du « Slavco » puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à  $-20^\circ\text{C}$  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  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  et les  $\text{PO}_4$ . 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  $\mu\text{mol/L}$  avec des limites de quantification de 0,130  $\mu\text{mol/L}$  pour le NOP et entre 0,75 et 7  $\mu\text{mol/L}$  avec des limites de quantification de 0,050  $\mu\text{mol/L}$  pour POP.

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

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

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

Soit :

- $[\text{NOP}]$  et  $[\text{POP}]$  = les concentrations respectives en azote et phosphate organiques 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 (Carbone, Hydrogène, Azote) selon le principe de la combustion de la matière organique par l'oxygène, suivi d'un dosage du dioxyde de carbone et de l'azote formés. Cette analyse a été effectuée par le laboratoire des moyens analytiques de l'IRD de Dakar (Afrique de l'Ouest).

## **Pigments chlorophylliens**

La concentration de pigments chlorophylliens est déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord du « Slavco » puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à  $-20^\circ\text{C}$  jusqu'à l'analyse.

Les dosages ont été effectués par la méthode fluorométrique de Lorenzen (1966) qui présente une très grande sensibilité. Les pigments chlorophylliens sont extraits du filtre par un solvant organique, leur détection s'effectue, après excitation dans un faisceau lumineux à 450 nm, par mesure de la fluorescence émise à 670 nm (ce principe est identique à celui utilisé par le capteur de fluorescence *in-situ* équipant la sonde multiparamétrique SBE 19). Sur chaque extrait, la mesure de fluorescence est effectuée deux fois, avant et après acidification. L'écart de fluorescence observé entre ces deux lectures est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle *a* par rapport à la somme chlorophylle *a* + Phéophytine *a*. Etant données les interférences dues aux chlorophylles *b* et *c*, la précision des mesures dépend de la nature même des communautés de producteurs primaires. La limite de quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 0,01  $\mu\text{g/L}$ .

## Métaux dissous

### Conditionnement et analyse

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

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

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

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

**Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.**

| Elément                    | LQ (µg/L) |
|----------------------------|-----------|
| As                         | 1,000     |
| Cd                         | 0,025     |
| Co                         | 0,027     |
| Cr <sup>VI</sup> /Cr-total | 0,050     |
| Cu                         | 0,025     |
| Fe                         | 0,068     |
| Mn                         | 0,028     |
| Ni                         | 0,022     |
| Pb                         | 0,100     |
| Zn                         | 1,000     |

## Contrôle qualité des méthodes d'analyse des métaux dissous

### a) Validation de méthode

La validation des résultats d'analyse a été vérifiée par le dosage d'un échantillon certifié d'eau de mer : CASS-5 (Tableau 3). Les résultats obtenus sont satisfaisants à l'exception du Zn dont la concentration mesurée est plus élevée que la concentration certifiée. Les concentrations de Zn mesurées dans les échantillons d'eau de mer doivent donc être interprétées avec précaution car celles-ci sont probablement surestimées.

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

| CASS-5 (n=3)    | Cd (µg/L) | Co (µg/L) | Cu (µg/L) | Fe (µg/L) | Mn (µg/L) | Ni (µg/L) | Pb (µg/L) | Zn (µg/L) |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Conc. Mesurée   | 0,022     | 0,085     | 0,267     | 1,00      | 2,56      | 0,30      | <0,100    | 1,68      |
| Ecart-type      | 0,003     | 0,009     | 0,031     | 0,06      | 0,05      | 0,02      |           | 0,16      |
| Conc. Certifiée | 0,022     | 0,095     | 0,380     | 1,44      | 2,62      | 0,33      | 0,011     | 0,72      |
| Ecart-type      | 0,002     | *         | 0,028     | 0,11      | 0,20      | 0,02      | 0,002     | 0,07      |
| Biais (%)       | 0         | 11        | 30        | 31        | 2         | 9         | NA        | 133       |

\*valeur non certifiée ; NA : non attribué.

Afin de vérifier la fidélité des méthodes d'analyse des métaux dissous, des triplicatas ont été échantillonnés sur environ 10 % des stations (n=4).

Ces échantillons (n=4) ont également été réalisés en duplicata pour être envoyés au laboratoire d'HydroScience de l'Université de Montpellier (GPTR AETE ; France) afin d'effectuer un exercice d'inter-comparaison des résultats de As, Cd, Cr-total, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn. Pour le Cr<sup>VI</sup>, les analyses sont en cours et les résultats seront rendus dès réception des résultats.

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

Les concentrations des triplicatas pour les métaux Cd, Cu, Pb et Zn sont toutes inférieures aux limites de quantification (0,025, 0,025, 0,100 et 1,000 µg/L, respectivement).

Les fidélités des mesures des concentrations de Co, Fe, Mn et Ni peuvent être considérées comme satisfaisantes au regard du coefficient de variation (<30 %), à l'exception de la fidélité de la mesure du Mn de la station St21 dont le coefficient de variation est relativement élevé (47 %) (Tableau 4).

Les concentrations des métaux dissous Co, Cu, Fe, Mn et Ni déterminées par le laboratoire GPTR AETE sont toutes systématiquement plus élevées que celles de AEL mais restent dans les mêmes ordres de grandeur à l'exception de Fe (; Tableau 5 ; Tableau 6).

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

**Tableau 4 : Fidélités des mesures obtenues sur les concentrations des métaux dissous (Co, Fe, Mn et Ni) réalisées en triplicata lors de la campagne semestrielle d'août 2015.**

| Station       | Co (µg/L) | Fe (µg/L) | Mn (µg/L) | Ni (µg/L) |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| St03-S        | 0,061     | <0,068    | 0,199     | 0,401     |
|               | 0,077     | <0,068    | 0,253     | 0,502     |
|               | ND        | ND        | ND        | ND        |
| <b>CV (%)</b> | 17        | NA        | 17        | 16        |
| St06-S        | 0,067     | 0,119     | 0,304     | 0,392     |
|               | 0,053     | 0,069     | 0,142     | 0,294     |
|               | 0,084     | 0,137     | 0,401     | 0,525     |
| <b>CV (%)</b> | 23        | 33        | 19        | 21        |
| St14-S        | <0,027    | 0,067     | 0,065     | 0,126     |
|               | <0,027    | 0,117     | 0,090     | 0,159     |
|               | <0,027    | 0,102     | 0,082     | 0,210     |
| <b>CV (%)</b> | NA        | 10        | 17        | 26        |
| St21-S        | ND        | ND        | ND        | ND        |
|               | <0,027    | <0,068    | 0,023     | 0,077     |
|               | <0,027    | <0,068    | 0,046     | 0,085     |
| <b>CV (%)</b> | NA        | NA        | 47        | 7         |

ND : Concentration non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse ; NA : non attribué.

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

| Station           | Cd (µg/L) |        | Co (µg/L) |               | Cu (µg/L) |        | Fe (µg/L) |               |
|-------------------|-----------|--------|-----------|---------------|-----------|--------|-----------|---------------|
|                   | GPTR AETE | AEL    | GPTR AETE | AEL           | GPTR AETE | AEL    | GPTR AETE | AEL           |
| St03-S            | 0,007     | <0,025 | 0,125     | 0,069 ± 0,011 | 0,031     | <0,025 | 0,520     | <0,068        |
| St06-S            | 0,007     | <0,025 | 0,120     | 0,068 ± 0,016 | 0,095     | <0,025 | 0,904     | 0,109 ± 0,036 |
| St14-S            | 0,004     | <0,025 | 0,025     | <0,027        | 0,049     | <0,025 | 0,612     | 0,110 ± 0,011 |
| St21-S            | 0,007     | <0,025 | 0,018     | <0,027        | 0,088     | <0,025 | 0,908     | <0,068        |
| Ecart relatif (%) | NA        |        | 56        |               | NA        |        | 160       |               |

NA : non attribué.

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

| Station           | Mn (µg/L) |               | Ni (µg/L) |               | Pb (µg/L) |        | Zn (µg/L) |        |
|-------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|
|                   | GPTR AETE | AEL           | GPTR AETE | AEL           | GPTR AETE | AEL    | GPTR AETE | AEL    |
| St03-S            | 0,470     | 0,226 ± 0,039 | 0,848     | 0,451 ± 0,071 | 0,067     | <0,100 | 0,784     | <1,000 |
| St06-S            | 0,824     | 0,352 ± 0,068 | 0,768     | 0,458 ± 0,094 | 0,193     | <0,100 | 0,433     | <1,000 |
| St14-S            | 0,206     | 0,079 ± 0,013 | 0,293     | 0,165 ± 0,043 | 0,043     | <0,100 | 0,091     | <1,000 |
| St21-S            | 0,123     | 0,034 ± 0,016 | 0,233     | 0,081 ± 0,006 | 0,058     | <0,100 | 0,271     | <1,000 |
| Ecart relatif (%) | 88        |               | 66        |               | NA        |        | NA        |        |

NA : non attribué.



### c) Analyse du chrome dissous (Cr<sup>VI</sup> et Cr-total) par voltammétrie

Les fidélités des mesures de Cr<sup>VI</sup> et Cr-total peuvent être considérées comme satisfaisantes au regard des coefficients de variation (<30 %) (Tableau 7).

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

| Station       | Cr <sup>VI</sup> (µg/L) | Cr-total (µg/L) |
|---------------|-------------------------|-----------------|
| St03-S        | 0,202                   | 0,228           |
|               | 0,211                   | 0,258           |
|               | 0,136                   | 0,154           |
| <b>CV (%)</b> | 22                      | 25              |
| St06-S        | 0,239                   | 0,26            |
|               | 0,216                   | 0,27            |
|               | 0,227                   | 0,26            |
| <b>CV (%)</b> | 5                       | 2               |
| St14-S        | 0,129                   | 0,136           |
|               | 0,126                   | 0,138           |
|               | 0,133                   | 0,158           |
| <b>CV (%)</b> | 3                       | 8               |
| St21-S        | 0,089                   | 0,171           |
|               | 0,086                   | 0,166           |
|               | 0,083                   | 0,164           |
| <b>CV (%)</b> | 3                       | 2               |

**Tableau 7 : Fidélités des mesures obtenues sur les concentrations de chrome dissous (Cr<sup>VI</sup> et Cr-total) réalisées en triplicata lors de la campagne semestrielle d'août 2015.**

| Station                  | Cr-total (µg/L) |               |
|--------------------------|-----------------|---------------|
|                          | GPTR AETE       | AEL           |
| St03-S                   | 0,140           | 0,213 ± 0,054 |
| St06-S                   | 0,139           | 0,263 ± 0,006 |
| St14-S                   | 0,114           | 0,144 ± 0,012 |
| St21-S                   | 0,159           | 0,167 ± 0,004 |
| <b>Ecart relatif (%)</b> | 33              |               |

**Tableau 8 : Comparaison des résultats d'analyse de Cr-total mesurés en duplicatas par les laboratoires AEL (Voltammétrie) et GPTR AETE (ICP-MS).**

### d) Analyse de l'arsenic dissous par ICP-MS

Les analyses d'As ont été effectuées par le laboratoire Alpa Chimie (France) ; la fidélité des mesures du As est satisfaisante au regard des coefficients de variation (Tableau 9).

Les concentrations de As mesurées par le laboratoire GPTR AETE dans le cadre de l'exercice inter-laboratoire, bien que légèrement inférieures à celles obtenues par le laboratoire Alpa Chimie, restent dans le même ordre de grandeur (Tableau 10).

| Station | As (µg/L) |
|---------|-----------|
| St03-S  | 2,00      |
|         | 2,90      |
|         | 2,70      |
| CV (%)  | 19        |
| St06-S  | 1,70      |
|         | 1,20      |
|         | <1,00     |
| CV (%)  | 24        |
| St14-S  | 2,60      |
|         | 1,40      |
|         | 1,90      |
| CV (%)  | 31        |
| St21-S  | 2,20      |
|         | 2,00      |
|         | 2,10      |
| CV (%)  | 5         |

Tableau 9 : Fidélités des mesures obtenues sur les concentrations d'arsenic dissous (As) réalisées en triplicata lors de la campagne semestrielle d'août 2015.

| Station           | As (µg/L) |             |
|-------------------|-----------|-------------|
|                   | GPTR AETE | ALPA        |
| St03-S            | 1,33      | 2,53 ± 0,47 |
| St06-S            | 1,40      | 1,45 ± 0,35 |
| St14-S            | 1,40      | 1,97 ± 0,60 |
| St21-S            | 1,44      | 2,10 ± 0,10 |
| Ecart relatif (%) | 34        |             |

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

## Traitement statistique

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Afin de se rapprocher de la réalité, les limites instrumentales de détection (LD), plus basses que les LQ, sont incluses dans le traitement statistique. Dans cette étude, la relation qui peut être admise entre ces deux grandeurs correspondant à un facteur 3, les valeurs prises en compte ont été diminuées d'autant. Les valeurs inférieures à cette LD sont considérées comme nulles.

## ANNEXE 2

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

Concentrations des éléments majeurs, et des MES ainsi que les valeurs du pH du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

| Station | Niveau | Ca (mg/L) | K (mg/L) | Mg (mg/L) | Na (mg/L) | Cl (mg/L) | SO <sub>4</sub> (mg/L) | pH   | MES (mg/L) |
|---------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------|------------|
| St02    | S      | 452       | 521      | 1381      | 11478     | 17628     | 2645                   | 8,24 | 0,17       |
| St02    | M      | 450       | 521      | 1376      | 11381     | 18539     | 3029                   | 8,24 | 0,15       |
| St02    | F      | 455       | 523      | 1375      | 11418     | 17120     | 2570                   | 8,24 | 0,15       |
| St03    | S      | 449       | 519      | 1372      | 11412     | 19669     | 2614                   | 8,22 | 0,44       |
| St03    | M      | 457       | 534      | 1397      | 11620     | 18545     | 2622                   | 8,23 | 0,41       |
| St03    | F      | 459       | 534      | 1403      | 11650     | 19669     | 2630                   | 8,22 | 0,69       |
| St05    | S      | 454       | 521      | 1384      | 11483     | 17735     | 2970                   | 8,24 | <0,10      |
| St05    | M      | 450       | 522      | 1375      | 11458     | 18439     | 3077                   | 8,24 | 0,13       |
| St05    | F      | 451       | 525      | 1380      | 11448     | 18782     | 3128                   | 8,24 | 0,13       |
| St06    | S      | 453       | 519      | 1372      | 11425     | 17526     | 2676                   | 8,21 | 0,69       |
| St06    | M      | 443       | 511      | 1353      | 11268     | 19247     | 2588                   | 8,22 | 0,33       |
| St06    | F      | 446       | 513      | 1355      | 11257     | 18123     | 2633                   | 8,22 | 0,35       |
| St07    | S      | 450       | 521      | 1373      | 11437     | 17994     | 3520                   | 8,25 | 0,23       |
| St07    | M      | 445       | 517      | 1365      | 11362     | 18199     | 3069                   | 8,24 | 0,32       |
| St07    | F      | 443       | 511      | 1359      | 11333     | 18122     | 2891                   | 8,23 | 0,42       |
| St09    | S      | 440       | 508      | 1344      | 11235     | 17745     | 2931                   | 8,24 | 0,27       |
| St09    | M      | 452       | 526      | 1386      | 11498     | 17966     | 3212                   | 8,24 | 0,16       |
| St09    | F      | 449       | 517      | 1371      | 11426     | 18244     | 2955                   | 8,24 | 0,22       |
| St13    | S      | 455       | 524      | 1393      | 11526     | 19413     | 3254                   | 8,22 | 0,47       |
| St13    | M      | 455       | 526      | 1393      | 11546     | 19312     | 3029                   | 8,23 | 0,61       |
| St13    | F      | 455       | 524      | 1390      | 11508     | 18163     | 2995                   | 8,23 | 0,41       |
| St14    | S      | 458       | 530      | 1402      | 11651     | 17309     | 2890                   | 8,24 | 0,29       |
| St14    | M      | 440       | 508      | 1347      | 11222     | 17502     | 2830                   | 8,24 | 0,24       |
| St14    | F      | 446       | 518      | 1364      | 11373     | 16632     | 2599                   | 8,24 | 0,34       |
| St15    | S      | 443       | 514      | 1360      | 11231     | 19052     | 3137                   | 8,22 | 0,22       |
| St15    | M      | 448       | 518      | 1376      | 11382     | 19247     | 3085                   | 8,22 | 0,26       |
| St15    | F      | 455       | 524      | 1400      | 11585     | 18391     | 3003                   | 8,22 | 1,00       |
| St16    | S      | 451       | 519      | 1387      | 11441     | 19918     | 3193                   | 8,22 | 0,27       |
| St16    | M      | 440       | 515      | 1365      | 11322     | 19043     | 3217                   | 8,22 | 0,26       |
| St16    | F      | 456       | 529      | 1397      | 11555     | 18900     | 3267                   | 8,22 | 0,36       |

Concentrations des éléments majeurs, et des MES ainsi que les valeurs du pH du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

| Station | Niveau | Ca (mg/L) | K (mg/L) | Mg (mg/L) | Na (mg/L) | Cl (mg/L) | SO <sub>4</sub> (mg/L) | pH   | MES (mg/L) |
|---------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------|------------|
| St18    | S      | 444       | 514      | 1366      | 11307     | 19308     | 3189                   | 8,21 | 0,46       |
| St18    | M      | 450       | 516      | 1386      | 11395     | 19920     | 3254                   | 8,21 | 0,33       |
| St18    | F      | 455       | 526      | 1395      | 11525     | 19265     | 2909                   | 8,22 | 0,28       |
| St19    | S      | 453       | 523      | 1386      | 11510     | 18985     | 3248                   | 8,23 | 0,31       |
| St19    | M      | 450       | 519      | 1378      | 11479     | 18684     | 3216                   | 8,23 | 0,34       |
| St19    | F      | 451       | 524      | 1383      | 11508     | 17196     | 3026                   | 8,23 | 0,37       |
| St20    | S      | 454       | 524      | 1393      | 11541     | 18633     | 3128                   | 8,22 | 0,37       |
| St20    | M      | 456       | 526      | 1397      | 11544     | 20123     | 3292                   | 8,22 | 0,47       |
| St20    | F      | 446       | 518      | 1374      | 11328     | 18356     | 2965                   | 8,23 | 0,53       |
| St21    | S      | 450       | 518      | 1374      | 11451     | 18427     | 3109                   | 8,22 | 0,25       |
| St21    | M      | 454       | 524      | 1387      | 11528     | 17195     | 2654                   | 8,23 | 0,33       |
| St21    | F      | 454       | 525      | 1391      | 11599     | 17801     | 3033                   | 8,23 | 0,43       |

## ANNEXE 3

### Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

| Station | Niveau | NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (µmol/L) | NH <sub>4</sub> (µmol/L) | PO <sub>4</sub> (µmol/L) | Si (µmol/L) |
|---------|--------|---|--------------------------|--------------------------|-------------|
| St02    | S      | 0,229                                     | 0,036                    | 0,063                    | 1,13        |
| St02    | M      | 0,306                                     | 0,037                    | 0,052                    | 1,14        |
| St02    | F      | 0,226                                     | 0,043                    | 0,112                    | 1,06        |
| St03    | S      | <0,050                                    | 0,123                    | 0,081                    | 3,47        |
| St03    | M      | 0,082                                     | 0,051                    | 0,065                    | 1,40        |
| St03    | F      | 0,051                                     | 0,092                    | 0,068                    | 1,74        |
| St05    | S      | 0,289                                     | 0,039                    | 0,095                    | 1,09        |
| St05    | M      | 0,444                                     | 0,102                    | 0,106                    | 1,11        |
| St05    | F      | 0,529                                     | 0,065                    | 0,051                    | 0,99        |
| St06    | S      | 0,165                                     | 0,161                    | 0,047                    | 4,13        |
| St06    | M      | 0,296                                     | 0,096                    | 0,096                    | 2,06        |
| St06    | F      | 0,225                                     | 0,078                    | 0,038                    | 1,59        |
| St07    | S      | 0,117                                     | 0,051                    | 0,073                    | 1,28        |
| St07    | M      | <0,050                                    | 0,083                    | 0,058                    | 1,35        |
| St07    | F      | <0,050                                    | 0,092                    | 0,057                    | 1,67        |
| St09    | S      | 0,236                                     | 0,059                    | 0,075                    | 1,06        |
| St09    | M      | 0,256                                     | 0,042                    | 0,055                    | 0,99        |
| St09    | F      | 0,235                                     | 0,072                    | 0,067                    | 1,17        |
| St13    | S      | 0,068                                     | 0,056                    | 0,139                    | 1,60        |
| St13    | M      | 0,305                                     | 0,089                    | 0,113                    | 1,69        |
| St13    | F      | <0,050                                    | 0,073                    | 0,102                    | 1,55        |
| St14    | S      | 0,229                                     | 0,079                    | 0,082                    | 1,61        |
| St14    | M      | 0,157                                     | 0,082                    | 0,071                    | 1,31        |
| St14    | F      | 0,223                                     | 0,091                    | 0,074                    | 1,38        |
| St15    | S      | <0,050                                    | 0,020                    | 0,088                    | 2,73        |
| St15    | M      | <0,050                                    | 0,027                    | 0,156                    | 2,94        |
| St15    | F      | <0,050                                    | 0,099                    | 0,122                    | 3,09        |
| St16    | S      | <0,050                                    | 0,060                    | 0,074                    | 3,08        |
| St16    | M      | <0,050                                    | 0,018                    | 0,112                    | 2,59        |
| St16    | F      | 0,051                                     | 0,060                    | 0,088                    | 2,66        |

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

| Station | Niveau | NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (µmol/L) | NH <sub>4</sub> (µmol/L) | PO <sub>4</sub> (µmol/L) | Si (µmol/L) |
|---------|--------|---|--------------------------|--------------------------|-------------|
| St18    | S      | <0,050                                    | 0,035                    | 0,107                    | 4,46        |
| St18    | M      | <0,050                                    | 0,029                    | 0,106                    | 3,87        |
| St18    | F      | 0,105                                     | 0,029                    | 0,115                    | 2,36        |
| St19    | S      | 0,072                                     | 0,021                    | 0,090                    | 2,13        |
| St19    | M      | <0,050                                    | 0,026                    | 0,110                    | 1,88        |
| St19    | F      | <0,050                                    | 0,054                    | 0,105                    | 2,84        |
| St20    | S      | 0,691                                     | 0,040                    | 0,105                    | 2,10        |
| St20    | M      | <0,050                                    | 0,043                    | 0,118                    | 2,04        |
| St20    | F      | <0,050                                    | 0,031                    | 0,116                    | 1,96        |
| St21    | S      | <0,050                                    | 0,051                    | 0,083                    | 1,21        |
| St21    | M      | <0,050                                    | 0,090                    | 0,064                    | 1,49        |
| St21    | F      | 0,091                                     | 0,111                    | 0,054                    | 1,32        |

## ANNEXE 4

### Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle *a*

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

| Station | Niveau | NOD<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | NOP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | POD<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | POP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | COP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | NT<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | PT<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | Chlorophylle <i>a</i><br>( $\mu\text{g/L}$ ) |
|---------|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| St02    | S      | 5,69                         | 0,296                        | NA                           | 0,042                        | 5,57                         | 6,25                        | 0,109*                      | 0,38   |
| St02    | M      | 3,13                         | 0,667                        | NA                           | 0,062                        | 6,63                         | 4,14                        | 0,094*                      | 0,38   |
| St02    | F      | 5,84                         | 0,275                        | NA                           | 0,048                        | 4,85                         | 6,39                        | 0,130*                      | 0,36   |
| St03    | S      | 4,99                         | 0,849                        | NA                           | 0,089                        | 6,59                         | 5,97                        | 0,090*                      | 0,61   |
| St03    | M      | 4,84                         | 0,562                        | NA                           | 0,073                        | 8,37                         | 5,54                        | 0,062*                      | 0,50   |
| St03    | F      | 3,32                         | 0,407                        | NA                           | 0,070                        | 10,12                        | 3,87                        | 0,115*                      | 0,49   |
| St05    | S      | 4,78                         | 0,243                        | NA                           | 0,025                        | 5,21                         | 5,35                        | 0,138*                      | 0,37   |
| St05    | M      | 3,35                         | 0,386                        | NA                           | 0,060                        | 5,47                         | 4,28                        | 0,095*                      | 0,36   |
| St05    | F      | 6,22                         | 0,222                        | NA                           | 0,038                        | 5,98                         | 7,03                        | 0,121*                      | 0,40   |
| St06    | S      | 3,96                         | 0,561                        | NA                           | 0,086                        | 8,26                         | 4,85                        | 0,061*                      | 0,21   |
| St06    | M      | 4,38                         | 0,430                        | NA                           | 0,072                        | 8,17                         | 5,20                        | 0,129*                      | 0,35   |
| St06    | F      | 6,26                         | 0,464                        | NA                           | 0,046                        | 9,62                         | 7,02                        | 0,117*                      | 0,41   |
| St07    | S      | 3,45                         | 0,375                        | NA                           | 0,031                        | 6,24                         | 4,00                        | 0,090*                      | 0,37   |
| St07    | M      | 3,67                         | 0,778                        | NA                           | 0,056                        | 8,78                         | 4,57                        | 0,088*                      | 0,44   |
| St07    | F      | 4,92                         | 0,459                        | NA                           | 0,039                        | 5,02                         | 5,51                        | 0,114*                      | 0,37   |
| St09    | S      | 3,61                         | 0,296                        | NA                           | 0,055                        | 5,12                         | 4,21                        | 0,100*                      | 0,32   |
| St09    | M      | 4,74                         | 0,642                        | NA                           | 0,078                        | 5,23                         | 5,68                        | 0,175*                      | 0,34   |
| St09    | F      | 5,38                         | 0,328                        | NA                           | 0,054                        | 5,20                         | 6,01                        | 0,150*                      | 0,38   |
| St13    | S      | 3,34                         | 0,785                        | NA                           | 0,067                        | 13,07                        | 4,25                        | 0,070*                      | 0,43   |
| St13    | M      | 3,92                         | 0,817                        | NA                           | 0,086                        | 14,55                        | 5,13                        | 0,106*                      | 0,39   |
| St13    | F      | 3,36                         | 0,615                        | NA                           | 0,082                        | 11,34                        | 4,08                        | 0,155*                      | 0,35   |
| St14    | S      | 3,85                         | 0,477                        | NA                           | 0,065                        | 6,00                         | 4,64                        | 0,098*                      | 0,30   |
| St14    | M      | 3,13                         | 0,408                        | NA                           | 0,051                        | 5,82                         | 3,78                        | 0,044*                      | 0,40   |
| St14    | F      | 4,67                         | 0,237                        | NA                           | 0,052                        | 5,40                         | 5,22                        | 0,108*                      | 0,34   |
| St15    | S      | 6,01                         | 0,665                        | NA                           | 0,044                        | 4,94                         | 6,69                        | 0,111*                      | 0,37   |
| St15    | M      | 4,902                        | 0,946                        | NA                           | 0,056                        | 9,60                         | 5,88                        | 0,119*                      | 0,61   |
| St15    | F      | 6,13                         | 0,864                        | NA                           | 0,052                        | 7,38                         | 7,13                        | 0,123*                      | 0,61   |
| St16    | S      | 3,75                         | 0,741                        | NA                           | 0,048                        | 5,44                         | 4,55                        | 0,103*                      | 0,39   |
| St16    | M      | 3,92                         | 0,665                        | NA                           | 0,053                        | 11,27                        | 4,60                        | 0,090*                      | 0,43   |
| St16    | F      | 4,96                         | 0,706                        | NA                           | 0,055                        | 8,94                         | 5,78                        | 0,104*                      | 0,39   |

NA : Non attribué ; \* : Suite au problème analytique, les données de P-total n'ont pas pu être validées (non-conformité n°36). Les concentrations de P-total fournies dans le tableau sont à titre indicatif.

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

| Station | Niveau | NOD<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | NOP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | POD<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | POP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | COP<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | NT<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | PT<br>( $\mu\text{mol/L}$ ) | Chlorophylle <i>a</i><br>( $\mu\text{g/L}$ ) |
|---------|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| St18    | S      | 4,35                         | 0,799                        | NA                           | 0,065                        | 10,34                        | 5,18                        | 0,118*                      | 0,40   |
| St18    | M      | 3,40                         | 1,062                        | NA                           | 0,056                        | 9,72                         | 4,52                        | 0,080*                      | 0,32   |
| St18    | F      | 3,39                         | 1,133                        | NA                           | 0,056                        | 8,52                         | 4,66                        | 0,134*                      | 0,44   |
| St19    | S      | 3,67                         | 0,597                        | NA                           | 0,048                        | 7,14                         | 4,36                        | 0,140*                      | 0,18   |
| St19    | M      | 3,80                         | 0,810                        | NA                           | 0,050                        | 13,60                        | 4,66                        | 0,089*                      | 0,49   |
| St19    | F      | 3,08                         | 0,492                        | NA                           | 0,041                        | ND                           | 3,63                        | 0,036*                      | 0,27   |
| St20    | S      | 3,52                         | 0,531                        | NA                           | 0,085                        | 9,19                         | 4,78                        | 0,141*                      | 0,50   |
| St20    | M      | 3,55                         | 0,711                        | NA                           | 0,106                        | 7,98                         | 4,30                        | 0,098*                      | 0,43   |
| St20    | F      | 3,50                         | 0,599                        | NA                           | 0,048                        | 8,73                         | 4,13                        | 0,174*                      | 0,33   |
| St21    | S      | 4,27                         | 0,853                        | NA                           | 0,047                        | 12,81                        | 5,20                        | 0,169*                      | 0,48   |
| St21    | M      | 7,54                         | 0,520                        | NA                           | 0,040                        | 11,63                        | 8,16                        | 0,173*                      | 0,38   |
| St21    | F      | 4,66                         | 0,512                        | NA                           | 0,064                        | 9,02                         | 5,38                        | 0,052*                      | 0,34   |

NA : Non attribué ; \* : Suite au problème analytique, les données de P-total n'ont pas pu être validées (non-conformité n°36). Les concentrations de P-total fournies dans le tableau sont à titre indicatif.



## ANNEXE 5

### Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

| Station | Niveau | As<br>(µg/L) | Cd<br>(µg/L) | Co<br>(µg/L) | Cr <sup>VI</sup><br>(µg/L) | Cr-total<br>(µg/L) | Cu<br>(µg/L) | Fe<br>(µg/L) | Mn<br>(µg/L) | Ni<br>(µg/L) | Pb<br>(µg/L) | Zn<br>(µg/L) |
|---------|--------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| St02    | S      | <1,0         | <0,025       | <0,027       | 0,115                      | 0,148              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,067        | <0,100       | <1,0         |
| St02    | M      | 1,3          | <0,025       | <0,027       | 0,118                      | 0,144              | <0,025       | <0,068       | 0,038        | 0,072        | <0,100       | <1,0         |
| St02    | F      | 1,9          | <0,025       | <0,027       | 0,128                      | 0,130              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,047        | <0,100       | <1,0         |
| St03    | S      | 2,5          | <0,025       | 0,057        | 0,183                      | 0,213              | <0,025       | <0,068       | 0,226        | 0,451        | <0,100       | <1,0         |
| St03    | M      | 3,6          | <0,025       | <0,027       | 0,135                      | 0,160              | <0,025       | <0,068       | 0,075        | 0,140        | <0,100       | <1,0         |
| St03    | F      | 2,8          | <0,025       | <0,027       | 0,134                      | 0,144              | <0,025       | <0,068       | 0,061        | 0,123        | <0,100       | <1,0         |
| St05    | S      | 2,2          | <0,025       | <0,027       | 0,120                      | 0,132              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,068        | <0,100       | <1,0         |
| St05    | M      | 2,0          | <0,025       | <0,027       | 0,119                      | 0,144              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,045        | <0,100       | <1,0         |
| St05    | F      | 2,4          | <0,025       | <0,027       | 0,129                      | 0,150              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,066        | <0,100       | <1,0         |
| St06    | S      | 1,5          | <0,025       | 0,068        | 0,227                      | 0,263              | <0,025       | 0,109        | 0,352        | 0,458        | <0,100       | <1,0         |
| St06    | M      | 1,7          | <0,025       | <0,027       | 0,141                      | 0,148              | <0,025       | 0,078        | 0,149        | 0,199        | <0,100       | <1,0         |
| St06    | F      | 2,1          | <0,025       | <0,027       | 0,163                      | 0,216              | <0,025       | <0,068       | 0,038        | 0,091        | <0,100       | <1,0         |
| St07    | S      | 2,6          | <0,025       | <0,027       | 0,083                      | 0,146              | <0,025       | 0,106        | 0,034        | 0,363        | <0,100       | ND           |
| St07    | M      | 2,2          | <0,025       | <0,027       | 0,081                      | 0,138              | <0,025       | <0,068       | 0,061        | 0,127        | <0,100       | <1,0         |
| St07    | F      | 1,7          | <0,025       | <0,027       | 0,080                      | 0,170              | <0,025       | <0,068       | 0,067        | 0,139        | <0,100       | <1,0         |
| St09    | S      | 2,5          | <0,025       | <0,027       | 0,081                      | 0,192              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,066        | <0,100       | <1,0         |
| St09    | M      | 2,1          | <0,025       | <0,027       | 0,058                      | 0,142              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,054        | <0,100       | <1,0         |
| St09    | F      | 1,8          | <0,025       | <0,027       | 0,108                      | 0,142              | <0,025       | <0,068       | 0,056        | 0,115        | <0,100       | <1,0         |
| St13    | S      | 1,5          | <0,025       | <0,027       | 0,131                      | 0,153              | <0,025       | 0,095        | 0,151        | 0,209        | <0,100       | <1,0         |
| St13    | M      | 1,5          | <0,025       | <0,027       | 0,117                      | 0,134              | <0,025       | <0,068       | 0,054        | 0,114        | <0,100       | <1,0         |
| St13    | F      | 2,8          | <0,025       | <0,027       | 0,104                      | 0,165              | <0,025       | <0,068       | 0,075        | 0,123        | <0,100       | <1,0         |
| St14    | S      | 2,0          | <0,025       | <0,027       | 0,129                      | 0,144              | <0,025       | 0,110        | 0,079        | 0,165        | <0,100       | <1,0         |
| St14    | M      | 2,0          | <0,025       | <0,027       | 0,116                      | 0,172              | <0,025       | 0,083        | 0,082        | 0,162        | <0,100       | <1,0         |
| St14    | F      | 2,0          | <0,025       | <0,027       | 0,100                      | 0,154              | <0,025       | 0,090        | 0,073        | 0,127        | <0,100       | <1,0         |
| St15    | S      | 2,9          | <0,025       | <0,027       | 0,132                      | 0,167              | <0,025       | <0,068       | 0,073        | 0,162        | <0,100       | <1,0         |
| St15    | M      | 1,8          | <0,025       | 0,033        | 0,139                      | 0,168              | <0,025       | <0,068       | 0,122        | 0,247        | <0,100       | <1,0         |
| St15    | F      | 3,0          | <0,025       | 0,029        | 0,150                      | 0,164              | <0,025       | <0,068       | 0,190        | 0,250        | <0,100       | <1,0         |
| St16    | S      | 2,5          | <0,025       | 0,031        | 0,156                      | 0,202              | <0,025       | <0,068       | 0,121        | 0,251        | <0,100       | <1,0         |
| St16    | M      | 2,2          | <0,025       | <0,027       | 0,147                      | 0,169              | <0,025       | <0,068       | 0,082        | 0,172        | <0,100       | <1,0         |
| St16    | F      | 2,6          | <0,025       | <0,027       | 0,151                      | 0,172              | <0,025       | <0,068       | 0,114        | 0,208        | <0,100       | <1,0         |

**Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2015 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).**

| Station | Niveau | As<br>(µg/L) | Cd<br>(µg/L) | Co<br>(µg/L) | Cr <sup>VI</sup><br>(µg/L) | Cr-total<br>(µg/L) | Cu<br>(µg/L) | Fe<br>(µg/L) | Mn<br>(µg/L) | Ni<br>(µg/L) | Pb<br>(µg/L) | Zn<br>(µg/L) |
|---------|--------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| St18    | S      | 2,6          | <0,025       | 0,035        | 0,217                      | 0,226              | <0,025       | <0,068       | 0,104        | 0,274        | <0,100       | <1,0         |
| St18    | M      | 2,5          | <0,025       | 0,045        | 0,173                      | 0,198              | <0,025       | <0,068       | 0,166        | 0,321        | <0,100       | <1,0         |
| St18    | F      | 2,9          | <0,025       | 0,027        | 0,102                      | 0,172              | <0,025       | <0,068       | 0,146        | 0,258        | <0,100       | <1,0         |
| St19    | S      | 1,4          | <0,025       | <0,027       | 0,129                      | 0,136              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,105        | <0,100       | <1,0         |
| St19    | M      | 2,2          | <0,025       | <0,027       | 0,135                      | 0,164              | <0,025       | <0,068       | 0,081        | 0,166        | <0,100       | <1,0         |
| St19    | F      | 1,5          | <0,025       | <0,027       | 0,122                      | 0,159              | <0,025       | <0,068       | 0,128        | 0,211        | <0,100       | <1,0         |
| St20    | S      | 1,5          | <0,025       | <0,027       | 0,109                      | 0,140              | <0,025       | <0,068       | 0,079        | 0,165        | <0,100       | <1,0         |
| St20    | M      | 2,1          | <0,025       | <0,027       | 0,137                      | 0,161              | 0,043        | <0,068       | 0,117        | 0,215        | <0,100       | <1,0         |
| St20    | F      | 1,6          | <0,025       | <0,027       | 0,124                      | 0,162              | <0,025       | <0,068       | 0,105        | 0,210        | <0,100       | <1,0         |
| St21    | S      | 2,1          | <0,025       | <0,027       | 0,086                      | 0,167              | <0,025       | <0,068       | 0,034        | 0,081        | <0,100       | <1,0         |
| St21    | M      | 2            | <0,025       | <0,027       | 0,078                      | 0,230              | <0,025       | <0,068       | <0,028       | 0,080        | <0,100       | <1,0         |
| St21    | F      | 2            | ND           | ND           | 0,083                      | 0,154              | ND           | ND           | ND           | ND           | ND           | ND           |

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

## ANNEXE 6

### Compilation des concentrations des sels nutritifs des campagnes « saison fraiche »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>), ammonium (NH<sub>4</sub>), phosphates (PO<sub>4</sub>) et silicates (SiO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2015 lors des campagnes semestrielles « saison fraiche ».

| Zone d'étude         | Statistique | NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (µmol/L) |         |         |         |             |         |         |         |
|----------------------|-------------|---|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|
|                      |             | août-08                                   | août-09 | août-10 | août-11 | août-12     | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | <0,050                                    | <0,050  | 0,051   | <0,050  | 0,054       | 0,103   | 0,077   | 0,051   |
|                      | Maximum     | 0,1059                                    | 0,367   | 0,274   | 0,6845  | 0,16        | 1,143   | 1,489   | 0,691   |
|                      | Moyenne     | 0,070                                     | 0,220   | 0,171   | 0,203   | 0,090       | 0,490   | 0,266   | 0,227   |
|                      | Ecart-type  | 0,028                                     | 0,101   | 0,074   | 0,202   | 0,045       | 0,342   | 0,361   | 0,153   |
| Baie du Canal        | Minimum     | <0,050                                    | <0,050  | 0,068   | <0,050  | <0,050      | 0,555   | 0,101   | 0,051   |
|                      | Maximum     | 0,095                                     | 0,397   | 0,247   | 0,473   | 0,154       | 1,426   | 0,644   | 0,105   |
|                      | Moyenne     | 0,077                                     | 0,151   | 0,143   | 0,205   | 0,086       | 0,865   | 0,326   | 0,076   |
|                      | Ecart-type  | 0,021                                     | 0,152   | 0,072   | 0,153   | 0,053       | 0,269   | 0,201   | 0,027   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,055                                     | <0,050  | <0,050  | <0,050  | <0,050      | 0,084   | 0,053   | 0,091   |
|                      | Maximum     | 0,099                                     | 0,176   | 0,142   | 0,168   | 0,053       | 0,748   | 0,382   | 0,529   |
|                      | Moyenne     | 0,072                                     | <0,050  | 0,079   | 0,065   | 0,053 (n=1) | 0,358   | 0,194   | 0,254   |
|                      | Ecart-type  | 0,013                                     |         | 0,042   | 0,056   |             | 0,191   | 0,110   | 0,131   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,079                                     | 0,090   | 0,066   | <0,050  | <0,050      | 0,095   | 0,143   | 0,051   |
|                      | Maximum     | 0,095                                     | 0,307   | 0,181   | 0,158   | <0,050      | 0,462   | 1,201   | 0,296   |
|                      | Moyenne     | 0,087                                     | 0,167   | 0,114   | 0,086   | <0,050      | 0,272   | 0,507   | 0,179   |
|                      | Ecart-type  | 0,008                                     | 0,082   | 0,060   | 0,051   |             | 0,135   | 0,482   | 0,082   |

|                      |             | NH <sub>4</sub> (µmol/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08                  | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,017                    | 0,019   | 0,030   | 0,041   | 0,017   | 0,073   | 0,016   | 0,036   |
|                      | Maximum     | 0,044                    | 0,127   | 0,240   | 0,247   | 0,126   | 0,589   | 0,048   | 0,111   |
|                      | Moyenne     | 0,024                    | 0,051   | 0,080   | 0,086   | 0,051   | 0,162   | 0,034   | 0,063   |
|                      | Ecart-type  | 0,009                    | 0,033   | 0,060   | 0,057   | 0,030   | 0,126   | 0,009   | 0,025   |
| Baies du Canal       | Minimum     | 0,018                    | 0,028   | 0,041   | 0,026   | 0,020   | 0,095   | 0,038   | 0,051   |
|                      | Maximum     | 0,091                    | 0,139   | 0,166   | 0,242   | 0,118   | 0,282   | 0,091   | 0,161   |
|                      | Moyenne     | 0,036                    | 0,074   | 0,091   | 0,093   | 0,045   | 0,154   | 0,062   | 0,095   |
|                      | Ecart-type  | 0,021                    | 0,031   | 0,049   | 0,065   | 0,033   | 0,056   | 0,016   | 0,031   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,007                    | 0,027   | 0,017   | 0,014   | 0,015   | 0,013   | 0,015   | 0,018   |
|                      | Maximum     | 0,098                    | 0,148   | 0,121   | 0,172   | 0,149   | 0,408   | 0,100   | 0,099   |
|                      | Moyenne     | 0,021                    | 0,058   | 0,048   | 0,057   | 0,034   | 0,205   | 0,039   | 0,040   |
|                      | Ecart-type  | 0,029                    | 0,036   | 0,036   | 0,054   | 0,038   | 0,135   | 0,026   | 0,024   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,018                    | 0,075   | 0,037   | 0,053   | 0,026   | 0,059   | 0,045   | 0,031   |
|                      | Maximum     | 0,034                    | 0,102   | 0,097   | 0,263   | 0,077   | 0,154   | 0,073   | 0,089   |
|                      | Moyenne     | 0,024                    | 0,087   | 0,060   | 0,114   | 0,039   | 0,114   | 0,056   | 0,055   |
|                      | Ecart-type  | 0,008                    | 0,010   | 0,022   | 0,076   | 0,019   | 0,043   | 0,010   | 0,022   |

|                      |             | PO <sub>4</sub> (µmol/L) |         |         |         |         |         |             |         |
|----------------------|-------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08                  | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14     | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | <0,050                   | <0,050  | ND      | <0,050  | <0,050  | <0,050  | <0,050      | 0,051   |
|                      | Maximum     | 0,065                    | 0,084   | ND      | 0,063   | <0,050  | 0,103   | <0,050      | 0,112   |
|                      | Moyenne     | <0,050                   | 0,056   | ND      | <0,050  | <0,050  | 0,051   | <0,050      | 0,070   |
|                      | Ecart-type  | 0,016                    | 0,015   | ND      | 0,019   |         | 0,029   |             | 0,020   |
| Baies du Canal       | Minimum     | <0,050                   | <0,050  | ND      | <0,050  | <0,050  | <0,050  | <0,050      | <0,050  |
|                      | Maximum     | 0,084                    | 0,117   | ND      | 0,059   | <0,050  | 0,109   | 0,064       | 0,096   |
|                      | Moyenne     | <0,050                   | 0,059   | ND      | <0,050  | <0,050  | 0,072   | 0,064 (n=1) | 0,069   |
|                      | Ecart-type  | 0,018                    | 0,023   | ND      | 0,013   |         | 0,028   |             | 0,018   |
| Baie du Prony        | Minimum     | <0,050                   | <0,050  | ND      | <0,050  | <0,050  | <0,050  | <0,050      | 0,074   |
|                      | Maximum     | <0,050                   | 0,086   | ND      | 0,203   | <0,050  | 0,176   | <0,050      | 0,156   |
|                      | Moyenne     | <0,050                   | <0,050  | ND      | 0,084   | <0,050  | 0,057   | <0,050      | 0,106   |
|                      | Ecart-type  |                          | 0,021   | ND      | 0,047   |         | 0,052   |             | 0,021   |
| Ile Ouen             | Minimum     | <0,050                   | <0,050  | ND      | <0,050  | <0,050  | <0,050  | <0,050      | 0,102   |
|                      | Maximum     | <0,050                   | 0,056   | ND      | 0,084   | <0,050  | 0,054   | 0,090       | 0,139   |
|                      | Moyenne     | <0,050                   | <0,050  | ND      | 0,051   | <0,050  | <0,050  | 0,090 (n=1) | 0,116   |
|                      | Ecart-type  |                          | 0,014   | ND      | 0,028   |         | 0,018   |             | 0,013   |

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

|                      |             | Si (µmol/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08     | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,80        | 0,92    | 0,45    | 0,02    | 1,14    | 1,07    | 1,32    | 0,99    |
|                      | Maximum     | 2,40        | 1,76    | 2,48    | 0,70    | 1,50    | 1,77    | 1,76    | 1,67    |
|                      | Moyenne     | 1,20        | 1,32    | 1,25    | 0,20    | 1,30    | 1,33    | 1,54    | 1,19    |
|                      | Ecart-type  | 0,42        | 0,31    | 0,72    | 0,26    | 0,11    | 0,20    | 0,15    | 0,19    |
| Baies du Canal       | Minimum     | 0,82        | 1,38    | 0,53    | 0,05    | 1,33    | 1,62    | 1,60    | 1,31    |
|                      | Maximum     | 1,87        | 3,84    | 1,83    | 4,34    | 2,28    | 10,79   | 2,53    | 4,13    |
|                      | Moyenne     | 1,16        | 1,98    | 1,05    | 1,44    | 1,71    | 3,49    | 1,99    | 2,08    |
|                      | Ecart-type  | 0,35        | 0,82    | 0,51    | 1,28    | 0,35    | 2,97    | 0,31    | 1,02    |
| Baie du Prony        | Minimum     | 1,32        | 1,89    | 0,75    | 0,39    | 1,80    | 2,31    | 1,94    | 1,88    |
|                      | Maximum     | 3,02        | 4,31    | 3,15    | 2,65    | 3,07    | 5,89    | 3,31    | 4,46    |
|                      | Moyenne     | 2,04        | 2,88    | 1,44    | 1,22    | 2,36    | 3,47    | 2,64    | 2,89    |
|                      | Ecart-type  | 0,59        | 0,84    | 0,81    | 0,65    | 0,43    | 1,43    | 0,46    | 0,71    |
| Ile Ouen             | Minimum     | 1,22        | 1,42    | 0,68    | 0,29    | 1,29    | 1,88    | 1,59    | 1,55    |
|                      | Maximum     | 1,96        | 2,31    | 0,77    | 1,37    | 1,87    | 3,43    | 3,46    | 2,10    |
|                      | Moyenne     | 1,54        | 1,83    | 0,72    | 0,71    | 1,63    | 2,40    | 2,27    | 1,82    |
|                      | Ecart-type  | 0,38        | 0,39    | 0,03    | 0,45    | 0,26    | 0,61    | 0,64    | 0,24    |

## ANNEXE 7

### Compilation des concentrations de la matière organique des campagnes « saison fraîche »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD) et du carbone, de l'azote et du phosphore organiques particuliers (COP, NOP et POP) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2015 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

|                      |             | NOD (µmol/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08      | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 2,55         | 1,56    | 4,54    | 2,26    | 2,73    | 1,21    | 4,44    | 3,13    |
|                      | Maximum     | 4,36         | 4,59    | 7,43    | 4,76    | 4,45    | 3,02    | 7,33    | 7,54    |
|                      | Moyenne     | 3,74         | 3,09    | 5,88    | 3,73    | 3,38    | 1,97    | 5,51    | 4,65    |
|                      | Ecart-type  | 0,58         | 0,85    | 0,92    | 0,76    | 0,51    | 0,56    | 0,79    | 1,26    |
| Baie du Canal        | Minimum     | 2,55         | 2,88    | 5,20    | 3,56    | 2,01    | 0,86    | 4,75    | 3,13    |
|                      | Maximum     | 4,83         | 4,37    | 7,44    | 5,31    | 4,02    | 2,78    | 5,86    | 6,26    |
|                      | Moyenne     | 3,80         | 3,59    | 6,21    | 4,40    | 3,07    | 1,66    | 5,36    | 4,38    |
|                      | Ecart-type  | 0,79         | 0,42    | 0,74    | 0,58    | 0,78    | 0,59    | 0,40    | 0,96    |
| Baie du Prony        | Minimum     | 3,66         | 2,45    | 4,51    | 3,11    | 2,45    | 1,55    | 5,40    | 3,08    |
|                      | Maximum     | 4,08         | 4,25    | 7,16    | 4,57    | 4,48    | 4,22    | 8,62    | 6,13    |
|                      | Moyenne     | 3,91         | 3,50    | 5,79    | 3,72    | 3,47    | 2,21    | 6,45    | 4,28    |
|                      | Ecart-type  | 0,13         | 0,49    | 0,68    | 0,49    | 0,57    | 0,72    | 0,90    | 1,01    |
| Ile Ouen             | Minimum     | 3,86         | 3,39    | 5,33    | 3,67    | 3,21    | 1,96    | 5,56    | 3,34    |
|                      | Maximum     | 4,50         | 4,20    | 7,19    | 6,87    | 4,70    | 2,69    | 6,45    | 3,92    |
|                      | Moyenne     | 4,10         | 3,75    | 6,50    | 4,62    | 3,98    | 2,34    | 5,91    | 3,53    |
|                      | Ecart-type  | 0,35         | 0,32    | 0,70    | 1,51    | 0,54    | 0,26    | 0,33    | 0,21    |

|                      |             | POD (µmol/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08      | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,132        | 0,232   | ND      | 0,009   | 0,048   | 0,072   | 0,160   | NA      |
|                      | Maximum     | 0,316        | 0,837   | ND      | 0,204   | 0,205   | 0,361   | 0,321   | NA      |
|                      | Moyenne     | 0,187        | 0,512   | ND      | 0,076   | 0,154   | 0,186   | 0,249   | NA      |
|                      | Ecart-type  | 0,046        | 0,159   | ND      | 0,073   | 0,049   | 0,094   | 0,048   | NA      |
| Baie du Canal        | Minimum     | 0,132        | 0,378   | ND      | 0,017   | 0,012   | 0,039   | 0,204   | NA      |
|                      | Maximum     | 0,288        | 0,708   | ND      | 0,230   | 0,200   | 0,310   | 0,323   | NA      |
|                      | Moyenne     | 0,202        | 0,511   | ND      | 0,110   | 0,118   | 0,213   | 0,255   | NA      |
|                      | Ecart-type  | 0,051        | 0,129   | ND      | 0,065   | 0,066   | 0,083   | 0,042   | NA      |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,171        | 0,533   | ND      | 0,052   | 0,107   | 0,269   | 0,098   | NA      |
|                      | Maximum     | 0,277        | 0,899   | ND      | 0,158   | 0,240   | 0,709   | 0,288   | NA      |
|                      | Moyenne     | 0,207        | 0,684   | ND      | 0,099   | 0,175   | 0,429   | 0,216   | NA      |
|                      | Ecart-type  | 0,034        | 0,103   | ND      | 0,037   | 0,037   | 0,125   | 0,049   | NA      |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,191        | 0,538   | ND      | 0,059   | 0,067   | 0,257   | 0,176   | NA      |
|                      | Maximum     | 0,294        | 0,825   | ND      | 0,083   | 0,182   | 0,523   | 0,293   | NA      |
|                      | Moyenne     | 0,227        | 0,688   | ND      | 0,071   | 0,123   | 0,337   | 0,242   | NA      |
|                      | Ecart-type  | 0,058        | 0,109   | ND      | 0,012   | 0,044   | 0,111   | 0,048   | NA      |

ND = Concentration non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse ; NA : Non attribué

| COP (µmol/L)         |             |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 5,27    | 4,66    | 8,49    | NA      | 5,00    | 3,98    | 4,85    |
|                      | Maximum     | 21,69   | 16,19   | 54,98   | NA      | 46,08   | 19,06   | 12,81   |
|                      | Moyenne     | 9,80    | 7,33    | 14,06   | NA      | 11,30   | 8,27    | 6,72    |
|                      | Ecart-type  | 4,28    | 2,52    | 11,14   | NA      | 10,27   | 4,37    | 2,50    |
| Baie du Canal        | Minimum     | 5,24    | 4,11    | 9,15    | NA      | 9,03    | 4,58    | 5,40    |
|                      | Maximum     | 12,29   | 11,21   | 14,72   | NA      | 28,96   | 20,96   | 10,12   |
|                      | Moyenne     | 6,71    | 6,92    | 11,55   | NA      | 17,06   | 10,84   | 7,59    |
|                      | Ecart-type  | 1,98    | 1,94    | 1,88    | NA      | 7,61    | 5,16    | 1,71    |
| Baie du Prony        | Minimum     | 5,59    | 5,15    | 8,43    | NA      | 7,18    | 4,54    | 4,94    |
|                      | Maximum     | 7,08    | 10,66   | 15,72   | NA      | 14,65   | 22,66   | 13,60   |
|                      | Moyenne     | 6,28    | 6,69    | 12,98   | NA      | 9,47    | 15,08   | 8,81    |
|                      | Ecart-type  | 0,44    | 1,62    | 2,79    | NA      | 2,26    | 7,09    | 2,53    |
| Ile Ouen             | Minimum     | 5,27    | 5,84    | 12,06   | NA      | 9,20    | 4,86    | 7,98    |
|                      | Maximum     | 7,19    | 7,36    | 22,42   | NA      | 20,19   | 19,78   | 14,55   |
|                      | Moyenne     | 5,90    | 6,46    | 17,70   | NA      | 13,69   | 9,10    | 10,81   |
|                      | Ecart-type  | 0,78    | 0,55    | 4,09    | NA      | 5,10    | 6,20    | 2,62    |

NA : Non attribué

| NOP (µmol/L)         |             |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08 | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,341   | 0,390   | 0,140   | 0,367   | 0,615   | 1,210   | 0,337   | 0,222   |
|                      | Maximum     | 1,321   | 3,280   | 0,510   | 1,208   | 1,274   | 3,020   | 0,989   | 0,853   |
|                      | Moyenne     | 0,752   | 1,332   | 0,275   | 0,612   | 0,933   | 1,973   | 0,609   | 0,442   |
|                      | Ecart-type  | 0,305   | 0,905   | 0,112   | 0,215   | 0,217   | 0,557   | 0,200   | 0,202   |
| Baie du Canal        | Minimum     | 0,561   | 0,220   | 0,054   | 0,486   | 0,568   | 0,863   | 0,425   | 0,237   |
|                      | Maximum     | 1,187   | 1,140   | 0,514   | 0,875   | 1,301   | 2,779   | 1,038   | 0,849   |
|                      | Moyenne     | 0,724   | 0,631   | 0,290   | 0,721   | 0,866   | 1,662   | 0,678   | 0,488   |
|                      | Ecart-type  | 0,201   | 0,272   | 0,148   | 0,137   | 0,240   | 0,590   | 0,178   | 0,166   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,771   | 0,110   | 0,188   | 0,358   | 0,694   | 1,553   | 0,593   | 0,492   |
|                      | Maximum     | 1,115   | 1,720   | 0,600   | 0,897   | 1,270   | 4,220   | 1,268   | 1,133   |
|                      | Moyenne     | 0,876   | 0,658   | 0,298   | 0,654   | 0,862   | 2,214   | 0,943   | 0,790   |
|                      | Ecart-type  | 0,105   | 0,423   | 0,118   | 0,158   | 0,172   | 0,719   | 0,221   | 0,188   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,717   | 0,110   | 0,183   | 0,583   | 0,593   | 1,961   | 0,622   | 0,531   |
|                      | Maximum     | 0,813   | 4,580   | 0,358   | 1,251   | 0,813   | 2,695   | 0,918   | 0,817   |
|                      | Moyenne     | 0,760   | 1,117   | 0,259   | 0,912   | 0,661   | 2,341   | 0,746   | 0,676   |
|                      | Ecart-type  | 0,048   | 1,723   | 0,061   | 0,295   | 0,081   | 0,263   | 0,124   | 0,113   |

|                      |             | POP (µmol/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08      | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,033        | 0,036   | 0,085   | 0,011   | 0,043   | 0,057   | 0,019   | 0,025   |
|                      | Maximum     | 0,102        | 0,337   | 0,156   | 0,071   | 0,198   | 0,136   | 0,047   | 0,078   |
|                      | Moyenne     | 0,071        | 0,087   | 0,098   | 0,034   | 0,063   | 0,082   | 0,027   | 0,048   |
|                      | Ecart-type  | 0,019        | 0,075   | 0,017   | 0,017   | 0,040   | 0,024   | 0,008   | 0,015   |
| Baie du Canal        | Minimum     | 0,067        | 0,042   | 0,083   | 0,022   | 0,043   | 0,072   | 0,017   | 0,046   |
|                      | Maximum     | 0,106        | 0,079   | 0,156   | 0,050   | 0,102   | 0,233   | 0,054   | 0,089   |
|                      | Moyenne     | 0,088        | 0,054   | 0,104   | 0,036   | 0,062   | 0,103   | 0,033   | 0,067   |
|                      | Ecart-type  | 0,013        | 0,012   | 0,024   | 0,008   | 0,019   | 0,050   | 0,011   | 0,015   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,075        | 0,048   | 0,093   | 0,022   | 0,049   | 0,067   | 0,023   | 0,041   |
|                      | Maximum     | 0,115        | 0,086   | 0,124   | 0,057   | 0,160   | 0,247   | 0,072   | 0,065   |
|                      | Moyenne     | 0,094        | 0,063   | 0,109   | 0,040   | 0,070   | 0,111   | 0,047   | 0,052   |
|                      | Ecart-type  | 0,014        | 0,013   | 0,009   | 0,013   | 0,031   | 0,051   | 0,016   | 0,006   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,082        | 0,032   | 0,086   | 0,015   | 0,041   | 0,072   | 0,028   | 0,048   |
|                      | Maximum     | 0,090        | 0,054   | 0,127   | 0,065   | 0,098   | 0,088   | 0,041   | 0,106   |
|                      | Moyenne     | 0,086        | 0,045   | 0,104   | 0,040   | 0,060   | 0,082   | 0,035   | 0,079   |
|                      | Ecart-type  | 0,004        | 0,008   | 0,016   | 0,019   | 0,020   | 0,005   | 0,005   | 0,020   |



## ANNEXE 8

### Compilation des concentrations de chlorophylle *a* des campagnes « saison fraiche »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de la chlorophylle *a* mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2015 lors des campagnes semestrielles « saison fraiche ».

|                      |             | Chlorophylle <i>a</i> (µg/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08                      | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,088                        | 0,154   | 0,586   | 0,103   | 0,172   | 0,208   | 0,047   | 0,321   |
|                      | Maximum     | 0,975                        | 0,431   | 2,554   | 0,734   | 0,603   | 0,762   | 0,833   | 0,477   |
|                      | Moyenne     | 0,442                        | 0,321   | 1,028   | 0,396   | 0,420   | 0,379   | 0,287   | 0,374   |
|                      | Ecart-type  | 0,196                        | 0,088   | 0,480   | 0,177   | 0,129   | 0,151   | 0,252   | 0,040   |
| Baie du Canal        | Minimum     | 0,333                        | 0,157   | 0,404   | 0,304   | 0,364   | 0,119   | 0,011   | 0,212   |
|                      | Maximum     | 0,629                        | 0,499   | 1,208   | 0,745   | 0,687   | 1,284   | 0,403   | 0,611   |
|                      | Moyenne     | 0,455                        | 0,350   | 0,930   | 0,482   | 0,511   | 0,416   | 0,230   | 0,402   |
|                      | Ecart-type  | 0,087                        | 0,113   | 0,269   | 0,149   | 0,113   | 0,368   | 0,141   | 0,120   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,161                        | 0,162   | 0,593   | 0,005   | 0,203   | 0,073   | 0,130   | 0,184   |
|                      | Maximum     | 0,570                        | 0,900   | 1,090   | 0,629   | 1,276   | 2,504   | 0,457   | 0,609   |
|                      | Moyenne     | 0,396                        | 0,351   | 0,755   | 0,348   | 0,446   | 0,644   | 0,280   | 0,408   |
|                      | Ecart-type  | 0,124                        | 0,194   | 0,141   | 0,192   | 0,290   | 0,673   | 0,108   | 0,124   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,428                        | 0,237   | 0,602   | 0,046   | 0,278   | 0,100   | 0,125   | 0,332   |
|                      | Maximum     | 0,464                        | 0,395   | 1,030   | 0,493   | 0,374   | 1,004   | 0,397   | 0,498   |
|                      | Moyenne     | 0,441                        | 0,282   | 0,806   | 0,326   | 0,319   | 0,489   | 0,242   | 0,405   |
|                      | Ecart-type  | 0,020                        | 0,060   | 0,147   | 0,213   | 0,039   | 0,390   | 0,110   | 0,061   |

## ANNEXE 9

### Compilation des concentrations des métaux dissous des campagnes « saison fraîche »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Cu, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2015 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

|                      |             | As (µg/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08   | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | ND        | 1,18    | ND      | ND      | 1,13    | 1,29    | 1,00    | 1,30    |
|                      | Maximum     | ND        | 1,72    | ND      | ND      | 1,27    | 1,43    | 3,00    | 2,60    |
|                      | Moyenne     | ND        | 1,36    | ND      | ND      | 1,22    | 1,36    | 1,73    | 2,01    |
|                      | Ecart-type  | ND        | 0,15    | ND      | ND      | 0,04    | 0,05    | 0,59    | 0,38    |
| Baies du Canal       | Minimum     | ND        | 0,93    | ND      | ND      | 1,16    | 0,74    | 1,00    | 1,45    |
|                      | Maximum     | ND        | 1,81    | ND      | ND      | 1,27    | 1,42    | 2,00    | 3,60    |
|                      | Moyenne     | ND        | 1,34    | ND      | ND      | 1,21    | 1,20    | 1,56    | 2,24    |
|                      | Ecart-type  | ND        | 0,25    | ND      | ND      | 0,03    | 0,23    | 0,53    | 0,65    |
| Baie du Prony        | Minimum     | ND        | 1,16    | ND      | ND      | 1,07    | 1,01    | 1,00    | 1,40    |
|                      | Maximum     | ND        | 1,55    | ND      | ND      | 1,19    | 1,30    | 2,00    | 3,00    |
|                      | Moyenne     | ND        | 1,40    | ND      | ND      | 1,13    | 1,21    | 1,60    | 2,34    |
|                      | Ecart-type  | ND        | 0,13    | ND      | ND      | 0,04    | 0,11    | 0,55    | 0,54    |
| Ile Ouen             | Minimum     | ND        | 1,13    | ND      | ND      | 1,13    | 1,14    | 1,00    | 1,50    |
|                      | Maximum     | ND        | 1,33    | ND      | ND      | 1,25    | 1,32    | 2,00    | 2,80    |
|                      | Moyenne     | ND        | 1,22    | ND      | ND      | 1,18    | 1,26    | 1,83    | 1,83    |
|                      | Ecart-type  | ND        | 0,10    | ND      | ND      | 0,04    | 0,07    | 0,41    | 0,53    |

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

|                      |             | Co (µg/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08   | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | <0,027    | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  |
|                      | Maximum     | <0,027    | 0,059   | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  |
|                      | Moyenne     | <0,027    | 0,031   | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  |
|                      | Ecart-type  |           | 0,015   |         |         |         |         |         |         |
| Baies du Canal       | Minimum     | <0,027    | <0,027  | <0,027  | <0,027  | <0,027  | 0,029   | <0,027  | 0,057   |
|                      | Maximum     | 0,071     | 0,073   | 0,096   | 0,142   | 0,045   | 0,154   | 0,046   | 0,068   |
|                      | Moyenne     | 0,029     | 0,030   | 0,039   | 0,052   | 0,029   | 0,078   | <0,027  | 0,062   |
|                      | Ecart-type  | 0,021     | 0,024   | 0,030   | 0,051   | 0,012   | 0,060   | 0,013   | 0,008   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,035     | <0,027  | <0,027  | 0,030   | <0,027  | <0,027  | <0,027  | 0,027   |
|                      | Maximum     | 0,073     | 0,060   | 0,038   | 0,105   | 0,044   | 0,054   | 0,068   | 0,045   |
|                      | Moyenne     | 0,050     | 0,031   | <0,027  | 0,049   | 0,032   | <0,027  | 0,039   | 0,033   |
|                      | Ecart-type  | 0,011     | 0,017   | 0,006   | 0,021   | 0,008   | 0,015   | 0,015   | 0,006   |
| Ile Ouen             | Minimum     | <0,027    | <0,027  | 0,006   | 0,021   | 0,008   | 0,015   | <0,027  | <0,027  |
|                      | Maximum     | 0,033     | 0,132   | 0,048   | 0,112   | 0,042   | 0,034   | 0,033   | <0,027  |
|                      | Moyenne     | 0,029     | 0,043   | 0,034   | 0,045   | 0,027   | <0,027  | <0,027  | <0,027  |
|                      | Ecart-type  | 0,004     | 0,050   | 0,012   | 0,035   | 0,010   | 0,009   | 0,012   |         |

|                      |             | Cr <sup>VI</sup> (µg/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08                 | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,073                   | 0,118   | 0,120   | 0,074   | 0,052   | 0,097   | 0,087   | 0,058   |
|                      | Maximum     | 0,112                   | 0,184   | 0,140   | 0,105   | 0,166   | 0,171   | 0,104   | 0,129   |
|                      | Moyenne     | 0,092                   | 0,152   | 0,124   | 0,088   | 0,110   | 0,123   | 0,095   | 0,095   |
|                      | Ecart-type  | 0,011                   | 0,018   | 0,006   | 0,009   | 0,028   | 0,017   | 0,005   | 0,024   |
| Baies du Canal       | Minimum     | 0,092                   | 0,139   | 0,110   | 0,088   | 0,102   | 0,138   | 0,094   | 0,100   |
|                      | Maximum     | 0,150                   | 0,306   | 0,210   | 0,240   | 0,168   | 1,401   | 0,120   | 0,227   |
|                      | Moyenne     | 0,105                   | 0,189   | 0,139   | 0,128   | 0,137   | 0,403   | 0,107   | 0,148   |
|                      | Ecart-type  | 0,018                   | 0,055   | 0,031   | 0,052   | 0,022   | 0,489   | 0,009   | 0,038   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,094                   | 0,190   | 0,150   | 0,106   | 0,124   | 0,246   | 0,102   | 0,102   |
|                      | Maximum     | 0,182                   | 0,426   | 0,220   | 0,205   | 0,272   | 0,907   | 0,151   | 0,217   |
|                      | Moyenne     | 0,122                   | 0,273   | 0,175   | 0,141   | 0,159   | 0,434   | 0,129   | 0,146   |
|                      | Ecart-type  | 0,024                   | 0,079   | 0,017   | 0,033   | 0,040   | 0,234   | 0,017   | 0,029   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,083                   | 0,165   | 0,130   | 0,096   | 0,110   | 0,243   | 0,095   | 0,104   |
|                      | Maximum     | 0,095                   | 0,221   | 0,160   | 0,115   | 0,180   | 0,411   | 0,146   | 0,137   |
|                      | Moyenne     | 0,089                   | 0,193   | 0,142   | 0,108   | 0,137   | 0,287   | 0,115   | 0,120   |
|                      | Ecart-type  | 0,006                   | 0,026   | 0,015   | 0,007   | 0,031   | 0,063   | 0,019   | 0,013   |

|                      |             | Cr-total (µg/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08         | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,111           | 0,202   | 0,130   | 0,115   | 0,112   | 0,114   | 0,106   | 0,130   |
|                      | Maximum     | 0,157           | 0,462   | 0,180   | 0,206   | 0,339   | 0,496   | 0,202   | 0,230   |
|                      | Moyenne     | 0,129           | 0,287   | 0,145   | 0,150   | 0,179   | 0,219   | 0,132   | 0,154   |
|                      | Ecart-type  | 0,013           | 0,077   | 0,015   | 0,031   | 0,071   | 0,129   | 0,029   | 0,026   |
| Baies du Canal       | Minimum     | 0,116           | 0,176   | 0,130   | 0,125   | 0,133   | 0,134   | 0,116   | 0,144   |
|                      | Maximum     | 0,189           | 0,361   | 0,230   | 0,304   | 0,272   | 1,604   | 0,303   | 0,263   |
|                      | Moyenne     | 0,139           | 0,280   | 0,160   | 0,199   | 0,172   | 0,451   | 0,171   | 0,179   |
|                      | Ecart-type  | 0,021           | 0,064   | 0,034   | 0,072   | 0,037   | 0,560   | 0,068   | 0,042   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,119           | 0,242   | 0,170   | 0,157   | 0,126   | 0,263   | 0,102   | 0,136   |
|                      | Maximum     | 0,191           | 0,712   | 0,250   | 0,260   | 0,270   | 1,333   | 0,198   | 0,226   |
|                      | Moyenne     | 0,155           | 0,404   | 0,198   | 0,204   | 0,175   | 0,641   | 0,144   | 0,175   |
|                      | Ecart-type  | 0,022           | 0,124   | 0,023   | 0,034   | 0,045   | 0,370   | 0,030   | 0,023   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,164           | 0,244   | 0,140   | 0,138   | 0,134   | 0,258   | 0,095   | 0,134   |
|                      | Maximum     | 0,207           | 0,361   | 0,170   | 0,178   | 0,203   | 0,737   | 0,148   | 0,165   |
|                      | Moyenne     | 0,180           | 0,304   | 0,153   | 0,155   | 0,169   | 0,379   | 0,124   | 0,153   |
|                      | Ecart-type  | 0,024           | 0,051   | 0,012   | 0,014   | 0,031   | 0,187   | 0,019   | 0,013   |

|                      |             | Cu (µg/L) |         |         |         |         |         |         |             |
|----------------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08   | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15     |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,032     | <0,025  | <0,025  | 0,028   | <0,025  | <0,025  | <0,025  | <0,025      |
|                      | Maximum     | 0,095     | 0,077   | 0,277   | 0,227   | <0,025  | 0,178   | 0,027   | <0,025      |
|                      | Moyenne     | 0,050     | 0,039   | 0,041   | 0,093   | <0,025  | 0,057   | <0,025  | <0,025      |
|                      | Ecart-type  | 0,017     | 0,023   | 0,066   | 0,074   |         | 0,042   | 0,007   |             |
| Baie du Canal        | Minimum     | 0,036     | <0,025  | <0,025  | <0,025  | <0,025  | <0,025  | <0,025  | <0,025      |
|                      | Maximum     | 0,069     | <0,025  | 0,037   | 0,125   | <0,025  | 0,320   | 0,077   | <0,025      |
|                      | Moyenne     | 0,049     | <0,025  | 0,028   | 0,055   | <0,025  | 0,068   | 0,026   | <0,025      |
|                      | Ecart-type  | 0,012     |         | 0,007   | 0,040   |         | 0,105   | 0,021   |             |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,042     | <0,025  | <0,025  | <0,025  | 0,530   | <0,025  | <0,025  | <0,025      |
|                      | Maximum     | 0,181     | 0,046   | 0,065   | 0,363   | 0,690   | 0,119   | 0,107   | <0,025      |
|                      | Moyenne     | 0,105     | 0,028   | 0,034   | 0,095   | 0,590   | 0,052   | 0,055   | <0,025      |
|                      | Ecart-type  | 0,053     | 0,012   | 0,016   | 0,117   | 0,087   | 0,031   | 0,031   |             |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,044     | <0,025  | <0,025  | 0,039   | 0,250   | <0,025  | <0,025  | <0,025      |
|                      | Maximum     | 0,060     | 0,038   | 0,025   | 1,206   | 0,290   | 0,127   | 0,041   | 0,043       |
|                      | Moyenne     | 0,050     | <0,025  | <0,025  | 0,379   | 0,270   | 0,063   | <0,025  | 0,043 (n=1) |
|                      | Ecart-type  | 0,009     | 0,011   | 0,003   | 0,465   | 0,028   | 0,045   | 0,013   |             |

\* : Valeur inférieure à la limite de quantification.

|                      |             | Fe (µg/L) |         |         |         |         |         |         |             |
|----------------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08   | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15     |
| Canal de la Havannah | Minimum     | <0,068    | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068      |
|                      | Maximum     | 0,147     | 0,127   | 0,120   | 0,286   | 0,140   | 0,225   | 0,126   | 0,106       |
|                      | Moyenne     | 0,078     | 0,097   | <0,068  | 0,073   | <0,068  | <0,068  | <0,068  | 0,106 (n=1) |
|                      | Ecart-type  | 0,041     | 0,016   | 0,024   | 0,068   | 0,041   | 0,052   | 0,028   |             |
| Baie du Canal        | Minimum     | <0,068    | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | 0,078       |
|                      | Maximum     | 0,388     | 0,238   | 0,130   | 0,371   | 0,091   | 0,118   | 0,215   | 0,110       |
|                      | Moyenne     | 0,175     | 0,143   | 0,079   | 0,117   | <0,068  | <0,068  | 0,106   | 0,094       |
|                      | Ecart-type  | 0,135     | 0,054   | 0,040   | 0,099   | 0,030   | 0,032   | 0,068   | 0,015       |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,101     | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068  | <0,068      |
|                      | Maximum     | 0,172     | 0,104   | <0,068  | <0,068  | <0,068  | 0,682   | 0,270   | <0,068      |
|                      | Moyenne     | 0,130     | 0,071   | <0,068  | <0,068  | <0,068  | 0,110   | 0,128   | <0,068      |
|                      | Ecart-type  | 0,020     | 0,026   |         |         |         | 0,180   | 0,082   |             |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,156     | 0,094   | 0,070   | <0,068  | <0,068  | <0,068  | 0,076   | <0,068      |
|                      | Maximum     | 0,217     | 0,261   | 0,130   | 0,101   | <0,068  | <0,068  | 0,202   | <0,068      |
|                      | Moyenne     | 0,178     | 0,137   | 0,092   | 0,071   | <0,068  | <0,068  | 0,120   | 0,095 (n=1) |
|                      | Ecart-type  | 0,034     | 0,062   | 0,021   | 0,029   |         |         | 0,043   |             |

|                      |             | Mn (µg/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08   | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,084     | 0,053   | 0,030   | 0,083   | 0,039   | 0,034   | 0,057   | <0,028  |
|                      | Maximum     | 0,183     | 0,192   | 0,230   | 0,211   | 0,166   | 0,064   | 0,173   | 0,067   |
|                      | Moyenne     | 0,105     | 0,100   | 0,107   | 0,113   | 0,101   | 0,047   | 0,088   | 0,046   |
|                      | Ecart-type  | 0,023     | 0,043   | 0,066   | 0,031   | 0,040   | 0,010   | 0,032   | 0,015   |
| Baie du Canal        | Minimum     | 0,100     | 0,094   | 0,120   | 0,190   | 0,094   | 0,066   | 0,091   | 0,038   |
|                      | Maximum     | 0,514     | 0,466   | 0,690   | 1,432   | 0,373   | 1,606   | 0,264   | 0,352   |
|                      | Moyenne     | 0,211     | 0,209   | 0,259   | 0,450   | 0,199   | 0,372   | 0,188   | 0,126   |
|                      | Ecart-type  | 0,174     | 0,126   | 0,176   | 0,406   | 0,102   | 0,505   | 0,053   | 0,102   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,227     | 0,137   | 0,110   | 0,221   | 0,142   | 0,015   | 0,014   | <0,028  |
|                      | Maximum     | 0,453     | 0,355   | 0,280   | 0,718   | 0,287   | 0,435   | 0,454   | 0,190   |
|                      | Moyenne     | 0,276     | 0,229   | 0,149   | 0,370   | 0,217   | 0,157   | 0,266   | 0,121   |
|                      | Ecart-type  | 0,068     | 0,081   | 0,048   | 0,149   | 0,045   | 0,130   | 0,117   | 0,036   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,201     | 0,142   | 0,190   | 0,215   | 0,099   | 0,072   | 0,125   | 0,054   |
|                      | Maximum     | 0,222     | 0,247   | 0,460   | 0,366   | 0,340   | 0,237   | 0,370   | 0,151   |
|                      | Moyenne     | 0,214     | 0,200   | 0,325   | 0,276   | 0,210   | 0,130   | 0,223   | 0,097   |
|                      | Ecart-type  | 0,011     | 0,039   | 0,103   | 0,059   | 0,098   | 0,061   | 0,110   | 0,035   |

|                      |             | Ni (µg/L) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zone d'étude         | Statistique | août-08   | août-09 | août-10 | août-11 | août-12 | août-13 | août-14 | août-15 |
| Canal de la Havannah | Minimum     | 0,106     | 0,070   | 0,050   | 0,094   | 0,087   | 0,060   | 0,083   | 0,045   |
|                      | Maximum     | 0,189     | 0,249   | 0,250   | 0,164   | 0,204   | 0,133   | 0,174   | 0,363   |
|                      | Moyenne     | 0,126     | 0,143   | 0,133   | 0,117   | 0,127   | 0,097   | 0,111   | 0,096   |
|                      | Ecart-type  | 0,020     | 0,063   | 0,061   | 0,021   | 0,043   | 0,023   | 0,031   | 0,079   |
| Baies du Canal       | Minimum     | 0,126     | 0,121   | 0,160   | 0,169   | 0,128   | 0,152   | 0,129   | 0,091   |
|                      | Maximum     | 0,486     | 0,713   | 0,620   | 0,869   | 0,391   | 2,991   | 0,318   | 0,458   |
|                      | Moyenne     | 0,218     | 0,259   | 0,273   | 0,353   | 0,209   | 0,774   | 0,236   | 0,213   |
|                      | Ecart-type  | 0,135     | 0,184   | 0,152   | 0,263   | 0,091   | 1,133   | 0,066   | 0,140   |
| Baie du Prony        | Minimum     | 0,277     | 0,216   | 0,170   | 0,295   | 0,266   | 0,089   | 0,085   | 0,105   |
|                      | Maximum     | 0,498     | 0,481   | 0,290   | 0,536   | 0,380   | 1,635   | 0,519   | 0,321   |
|                      | Moyenne     | 0,357     | 0,321   | 0,208   | 0,374   | 0,324   | 0,461   | 0,344   | 0,219   |
|                      | Ecart-type  | 0,067     | 0,093   | 0,040   | 0,074   | 0,037   | 0,423   | 0,117   | 0,060   |
| Ile Ouen             | Minimum     | 0,206     | 0,196   | 0,200   | 0,227   | 0,175   | 0,195   | 0,144   | 0,114   |
|                      | Maximum     | 0,242     | 0,309   | 0,460   | 0,363   | 0,352   | 0,498   | 0,356   | 0,215   |
|                      | Moyenne     | 0,219     | 0,252   | 0,342   | 0,288   | 0,250   | 0,294   | 0,233   | 0,173   |
|                      | Ecart-type  | 0,020     | 0,053   | 0,098   | 0,060   | 0,081   | 0,114   | 0,090   | 0,045   |