



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

2<sup>nd</sup> semestre 2017



*« Analyses des métaux dans  
l'environnement et expertises »*

Rapport  
**Décembre 2017**



## CONTRAT DE CONSULTANCE

### AEL-LEA

---

AO VNC n°2016TO0382

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

### **2<sup>nd</sup> semestre 2017**

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

	<b>Ref AEL</b>	<b>Ref Client</b>	
<b>Identification</b>	138-VI-17-P	E98084/0003	
<b>Titre complet</b>	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 2017.		
<b>Auteurs</b>	Kaplan H., Laurent A., Moreton B., Drouzy M., 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 un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du <b>2<sup>ème</sup> semestre 2017</b> (août 2017) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin).</p> <p>Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>), de matières organiques (POD, NOP et POP) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations des SiO<sub>4</sub> et métaux latéritiques, se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini, particulièrement au niveau des eaux de surface; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Baie du Port Boisé, de la Kwé et de Prony) et les plus faibles étant relevées dans le Canal de la Havannah. Pour la salinité, cette tendance s'inverse. La dessalure dans les eaux de surface souligne que les éléments chimiques sont transportés vers la mer par les réseaux d'eau douce se déversant dans les baies. Moins contrastés, les profils de turbidité et de fluorescence permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. Par ailleurs, l'augmentation de la fluorescence avec la profondeur dans la Baie de Prony et dans celle du Canal est corrélée à l'enrichissement des eaux de fond en NH<sub>4</sub>, COP, POD, NOP et POP. D'autres paramètres tels que les concentrations des éléments majeurs, As, la chlorophylle <i>a</i> et NOD, sont relativement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude et ne montrent pas de gradient spatial.</p> <p>Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « <b>saison fraîche</b> ».</p>		
<b>APPROBATION</b>			
<b>FONCTION</b>	<b>NOMS</b>	<b>VISA</b>	<b>DATE</b>
<b>Rédacteur</b>	H. Kaplan	HK	14/12/2017
<b>Vérificateur 1</b>	JM. Fernandez	JMFA	21/12/2017
<b>Vérificateur 2</b>	C. Pousse	CP	27/12/2017
<b>Approbateur</b>	JM. Fernandez	JMFA	27/12/2017
<b>EVOLUTION</b>			
<b>VERSION</b>	<b>DESCRIPTION DES MISES A JOUR</b>	<b>DATE</b>	
V1.1	Intégration évolution des C° de Mn sur St09	08/01/2018	
V1.2	Intégration des données statiques 2017 en Annexe	22/01/2018	
<b>COPIE - DIFFUSION</b>			
<b>NOM</b>	<b>ORGANISME</b>		
Casalis C.	Vale-NC, Département Environnement		

**Ce rapport est cité comme suit :** Kaplan H., Laurent A., Moreton B., Drouzy M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM. 2017. 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 2017. Contrat AEL/Vale-NC n°E98084/0003.

## TABLE DES MATIERES

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
A.	CONTEXTE .....	7
B.	OBJECTIFS.....	7
<b>II.</b>	<b>METHODOLOGIE .....</b>	<b>9</b>
A.	SITE D'ETUDE.....	9
B.	ECHANTILLONNAGE .....	10
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES .....	11
<b>III.</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>13</b>
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU .....	13
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	20
C.	MATIERES EN SUSPENSION .....	21
D.	SELS NUTRITIFS .....	23
E.	MATIERES ORGANIQUES .....	27
F.	CHLOROPHYLLE A.....	31
G.	METAUX DISSOUS.....	33
<b>IV.</b>	<b>SYNTHESE .....</b>	<b>41</b>
A.	SELS NUTRITIFS.....	42
B.	METAUX DISSOUS.....	45
<b>V.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>51</b>



# I. INTRODUCTION

## A. CONTEXTE

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007<sup>1</sup> et 2008<sup>2</sup>. La définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux marines a été réalisée entre 2005 et 2007 sur 18 stations (Fernandez *et al.*, 2006 ; Fernandez *et al.*, 2007).

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

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

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

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvements du 2<sup>nd</sup> semestre 2017 (août 2017) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

## B. OBJECTIFS

Le programme de surveillance semestrielle 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.

<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.

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

## II. METHODOLOGIE

### A. SITE D'ETUDE

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

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

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

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude E	Latitude S	
Basse Chambeyron	St02	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	St03	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	St05	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	St06	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif Ioro	St07	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	St09	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	St15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	St16	166° 53,300	22° 21,455	42
Prony Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	St19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21	166° 55,501	22° 26,728	36

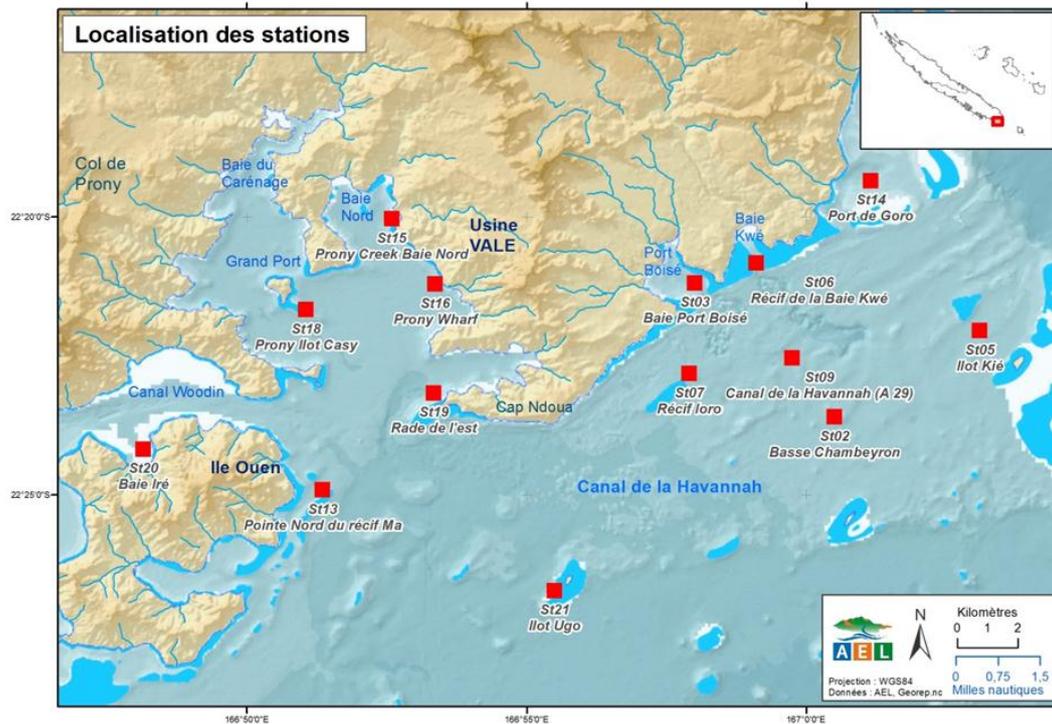


Figure 1: Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

## B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 02 au 04 août 2017.

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

L'eau a été échantillonnée aux profondeurs suivantes :

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

Lors de la seconde campagne semestrielle, les opérations suivantes ont été réalisées :

- enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures (Cl<sup>-</sup>), sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), calcium (Ca<sup>2+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>), potassium (K<sup>+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>) ;

- prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous et azote, phosphore et carbone organiques particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr<sup>VI</sup>), 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'Annexe1.

Pour cette campagne, la justesse et la fiabilité de la méthode d'analyse des métaux dissous sont garanties grâce à la participation régulière d'AEL à des **exercices inter-laboratoires internationaux, le dernier ayant été organisé par Quasimeme en 2015.**

## C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

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

Les conditions météorologiques précédant la campagne semestrielle (du 03/08/2017 au 07/08/2017) sont les suivantes :

- Vent S et ESE d'une moyenne de  $9 \pm 2$  Nœuds ;
- Au total, 0,4 mm de précipitation ont été relevés durant les 5 jours qui ont précédé la campagne.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (08 au 10 août 2017) sont les suivantes :

- 08/08/17 : NE 2-5 Nœuds, temps ensoleillé et légèrement nuageux;
- 09/08/17 : SO 5-10 Nœuds, temps légèrement nuageux. Présence de courant dans le canal de la Havannah;
- 10/08/17 : SE 5-10 Nœuds, temps nuageux.

Il n'y a pas eu de précipitation pendant la campagne (Figure2).

Les prélèvements ont été réalisés à différents moments de la marée. Le 1<sup>ier</sup> jour, à marée descendante, les prélèvements ont débuté par la station St14 dans les baies du Canal puis dans la Havannah aux stations St05, St02, St09, St07 et St21. Le 2<sup>ième</sup> jour, les prélèvements ont été effectués à l'île Ouen aux stations St13 et St20 puis dans la Baie de Prony aux stations St18, St15, St16 et St19 lors de la marée descendante. Le 3<sup>ième</sup> jour, les deux stations restantes des baies du Canal (St03 et St06) ont été échantillonnées à l'étales de la marée montante (Figure 3).

## Campagne d'août 2017

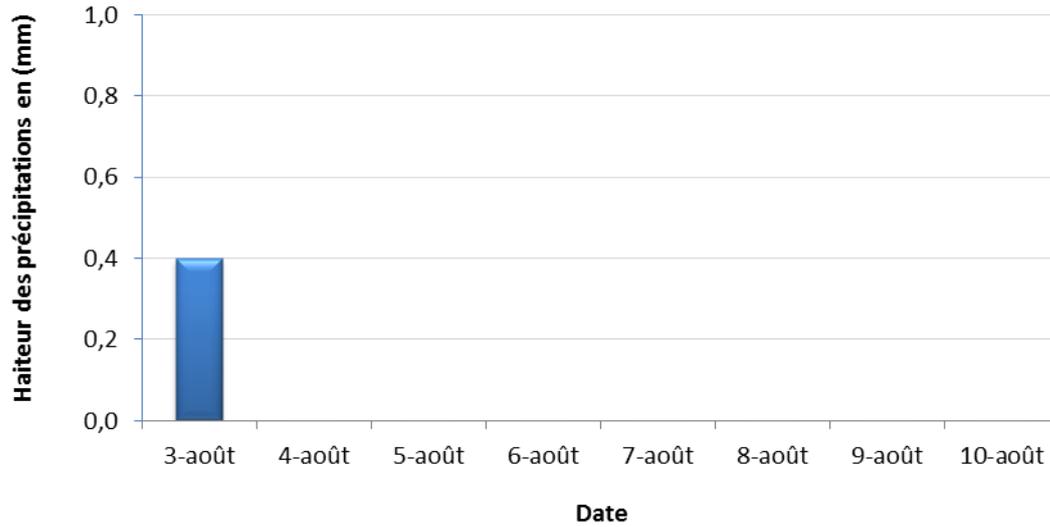


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant la campagne (03/08/2017 au 07/08/17) et pendant la campagne semestrielle (08 au 10/08/17). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "Goro usine".

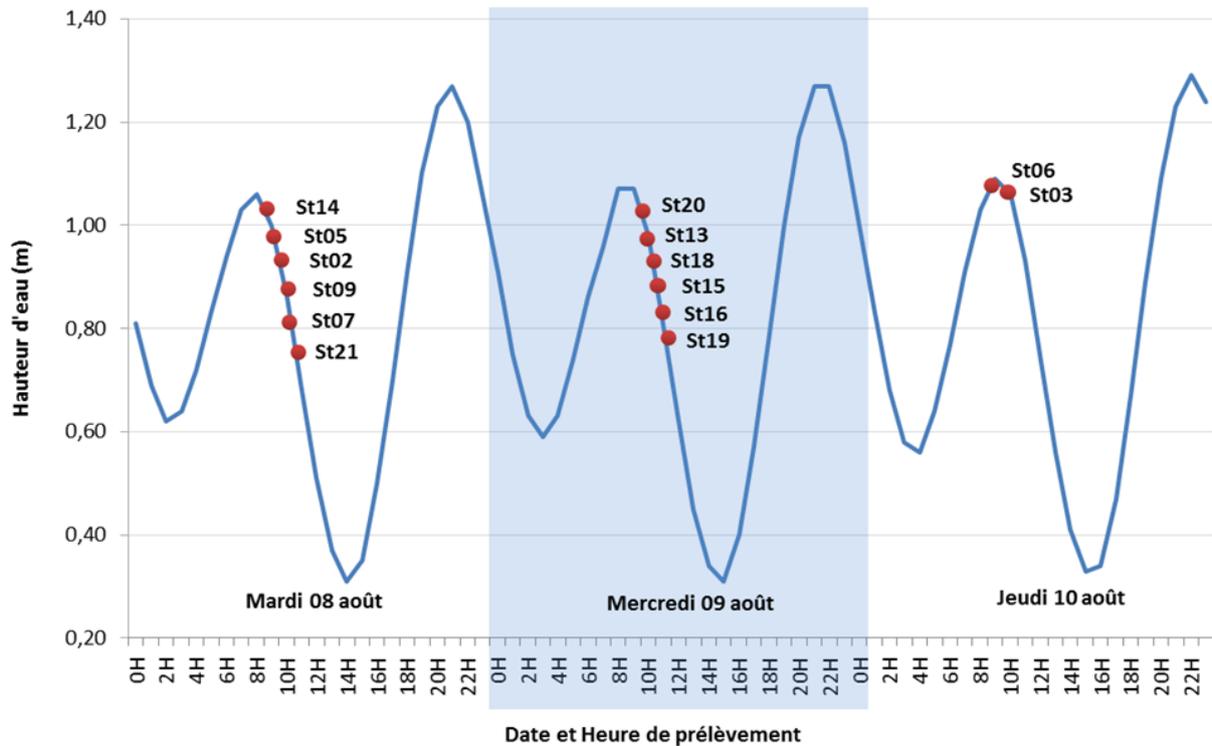


Figure 3: Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'août 2017 reportée sur le marégramme du 08 au 10 août 2017.

## III. RESULTATS

### A. STRUCTURE DES MASSES D'EAU

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

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

**Note** : Deux problèmes techniques, inhérents à la sonde CTD, sont survenus pendant cette campagne, ne nous permettant pas de fournir la totalité des données. D'une part, les valeurs de température, fluorescence, salinité et turbidité de certaines stations sont manquantes, la sonde s'étant interrompue lors de la descente et, d'autre part, certaines valeurs de turbidité étant visiblement erronées. Ainsi, les profils des stations St03, St13, St15, St16 et St18 sont écourtés et les valeurs de turbidité sont manquantes pour les stations St02, St03, St05, St06, St13, St14, St16 et St21.

**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 2017.**

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Turbidité (NTU)	Fluorescence (mg/m <sup>3</sup> )
Canal de la Havannah	Minimum	22,55	35,48	0,00	0,01
	Maximum	23,01	35,74	5,74	0,50
	Moyenne	22,81	35,54	0,30	0,31
	Ecart-type	0,06	0,04	0,63	0,07
Baies du Canal	Minimum	22,51	35,43	ND	0,00
	Maximum	22,86	35,55	ND	0,56
	Moyenne	22,74	35,50	ND	0,31
	Ecart-type	0,13	0,03	ND	0,07
Baie du Prony	Minimum	22,34	35,64	0,00	0,00
	Maximum	22,67	35,81	6,06	0,52
	Moyenne	22,42	35,76	0,89	0,29
	Ecart-type	0,08	0,04	1,08	0,11
Ile Ouen	Minimum	22,42	35,76	0,00	0,18
	Maximum	22,58	35,80	7,57	0,50
	Moyenne	22,51	35,79	0,52	0,29
	Ecart-type	0,06	0,01	0,94	0,04

## 1. Température

Globalement, la température est d'environ  $22,7 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  et varie très peu. En 2016, la température moyenne était légèrement plus chaude avec  $23,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Les deux zones d'étude dont les températures sont les plus chaudes sont une nouvelle fois le Canal de la Havannah et les baies du Canal, (Tableau 2) comme l'année passée à la même période.

**Dans le Canal de la Havannah**, les profils de température des stations St02, St07 et St09 sont homogènes et montrent une légère baisse des températures entre 0 et 10 m. En revanche, le profil de température de la station St21 montre une baisse progressive dans les 10 premiers mètres et une diminution nette de  $0,1^{\circ}\text{C}$  à l'approche du fond. Seul le profil de température de la station St05 est très stable sur l'ensemble de la colonne d'eau.

**C'est au niveau des baies du Canal** que la température varie le plus entre les stations avec un écart à la moyenne de  $0,13^{\circ}\text{C}$ . Les profils des stations St14 et St03 sont stables. A l'inverse, la station St06 montre la présence d'une thermocline à 10 m de profondeur.

**Dans la Baie du Prony**, les eaux de surface de la station St15 sont plus chaudes qu'aux stations St16, St18 et St19. Elles présentent une variation plus importante de  $-0,3^{\circ}\text{C}$  par rapport aux autres stations entre 0 et 10m de profondeur.

La station St16 montre un profil comparable à celui de St15 avec une nette baisse de température dans les 5 premiers mètres sous la surface. Cette tendance est moins marquée à la station St19. En revanche, on peut observer de légères variations le long de la colonne d'eau.

Les profils de la station **St13** se limitent à 5 m de profondeur à cause de l'arrêt inopiné de la CTD. Ainsi, **au niveau de l'île Ouen** seules les valeurs de la station **St20** sont interprétables. Les températures relevées sur cette colonne d'eau baissent régulièrement jusqu'à environ 17m de profondeur puis la diminution s'accroît sur une dizaine de mètres signalant la présence d'une couche d'eau plus fraîche au fond de la colonne d'eau (Figure 4).

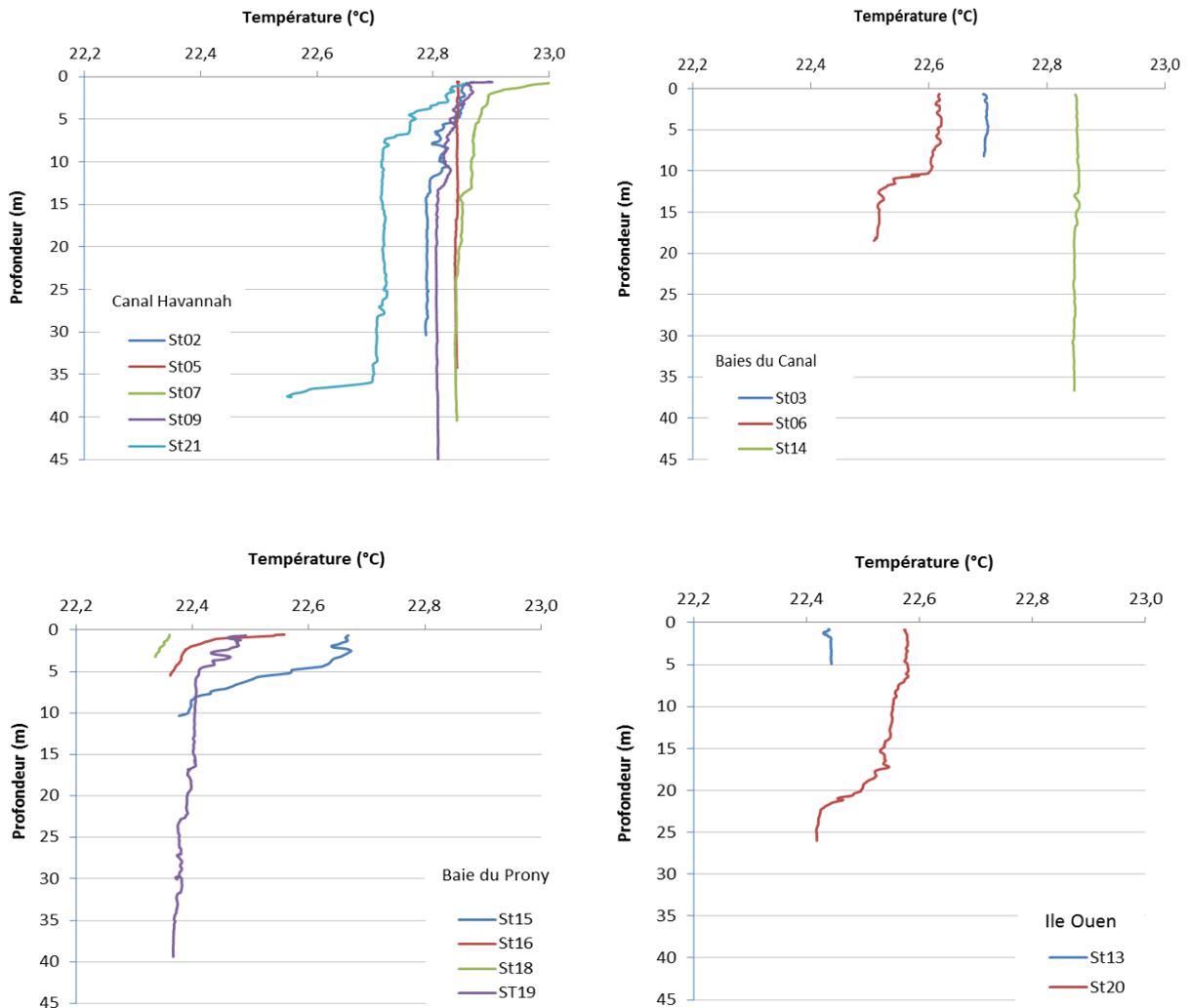


Figure 4: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

## 2. Salinité

On constate une différence de salinité entre les zones d'étude (tableau 2).

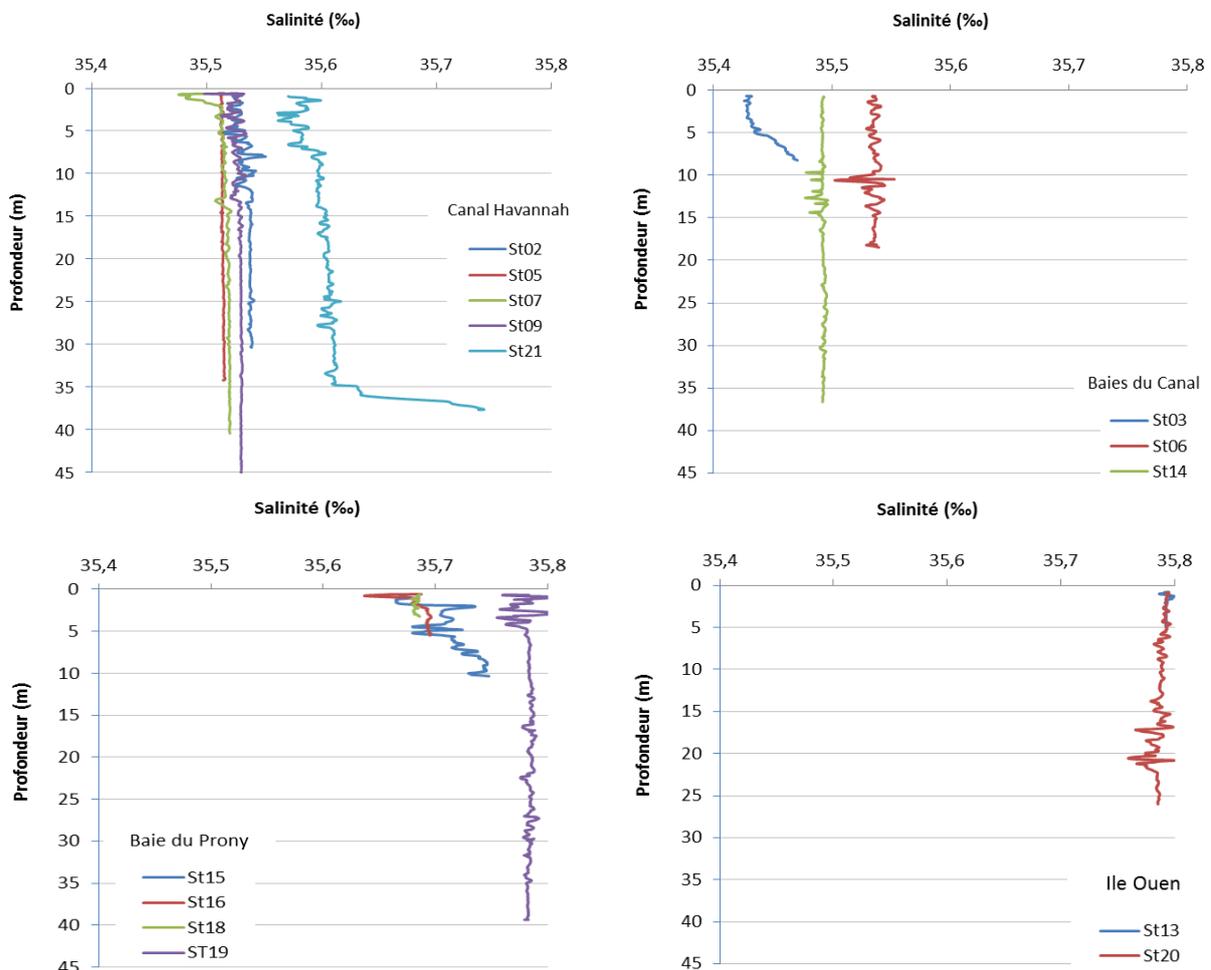
Les zones du Canal de la Havannah et des baies du Canal ont des salinités quasiment identiques avec des écarts relatifs respectifs de 0,12%. Il en est de même pour les zones des baies du Prony et de l'île Ouen avec des écarts relatifs de 0,09%.

Dans le canal de la Havannah, les valeurs des profils de salinité sont semblables pour les stations St02, St05, St07 et St09 avec une moyenne de  $35,52 \pm 0,01\%$ . A contrario, celles de la station St21 sont légèrement plus importantes ( $35,61 \pm 0,04\%$ ) avec une couche nettement plus saline au fond avec  $35,74\%$ , donc plus dense.

**Les stations des baies du Canal** présentent les salinités moyennes les plus faibles ( $35,50 \pm 0,03 \text{ ‰}$ ) avec des valeurs minimales relevées à la station St03 de  $35,43 \text{ ‰}$ . Les profils de salinité des stations St06 et St14 sont stables sur l'ensemble de la colonne d'eau à l'exception de quelques variations infimes aux environs des 10 à 15m de profondeur. Pour la station St06, ce phénomène correspond à la baisse de température relevée à ce niveau. Il est à noter que la station St14 a été prélevée après l'étalement de la marée haute influencée par les courants océaniques.

**En baie du Prony**, une variation de la salinité est visible pour toutes les stations dans les cinq premiers mètres de profondeur. La plus forte salinité a été relevée à la station St19 avec  $35,81 \text{ ‰}$  (Figure 5). En saison fraîche, l'influence des masses d'eau océaniques plus salées se traduit par une température qui diminue avec la profondeur.

**Dans la zone de l'île Ouen**, la salinité relevée à la station St20 est stable avec une moyenne de  $35,79 \pm 0,01 \text{ ‰}$ , quelques très légères variations sont visibles dans le bas de la colonne d'eau en relation avec les changements de température à ce niveau (Figure 5).



**Figure 5: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.**

### 3. Fluorescence

Les profils de fluorescence montrent dans l'ensemble peu de différences selon les zones étudiées. L'aspect très bruité représenté est lié à la très grande sensibilité du capteur.

Les profils dans la zone du Canal Havannah et dans les baies du Canal sont similaires avec des moyennes identiques à  $0,31 \pm 0,07 \text{ mg/m}^3$ . De même, les zones de Baie du Prony et de l'île Ouen ont les mêmes valeurs moyennes de fluorescence avec respectivement  $0,29 \pm 0,11 \text{ mg/m}^3$  et  $0,29 \pm 0,04 \text{ mg/m}^3$ .

Les profils de fluorescence des stations du Canal de la Havannah sont identiques. Les valeurs augmentent à mesure que la profondeur s'accroît.

Dans les Baies du Canal, les profils de fluorescence des stations St06 et St14 sont stables. En revanche, des petits pics de fluorescence sont visibles à environ 7m de profondeur.

Dans la Baie du Prony, les valeurs de fluorescence sont regroupées et peu élevées dans les 5 premiers mètres de la surface pour l'ensemble des stations puis augmentent nettement avec la profondeur. Ainsi, au-delà des 5 m de profondeur, l'intensité de la fluorescence augmente particulièrement aux stations St15 et St19 jusqu'à 10m et reste stable jusqu'au fond.

Les intensités de fluorescence enregistrées dans la zone de l'île Ouen sont stables et présentent peu de variation ( $0,29 \pm 0,04 \text{ mg/m}^3$ ) (Figure 6).

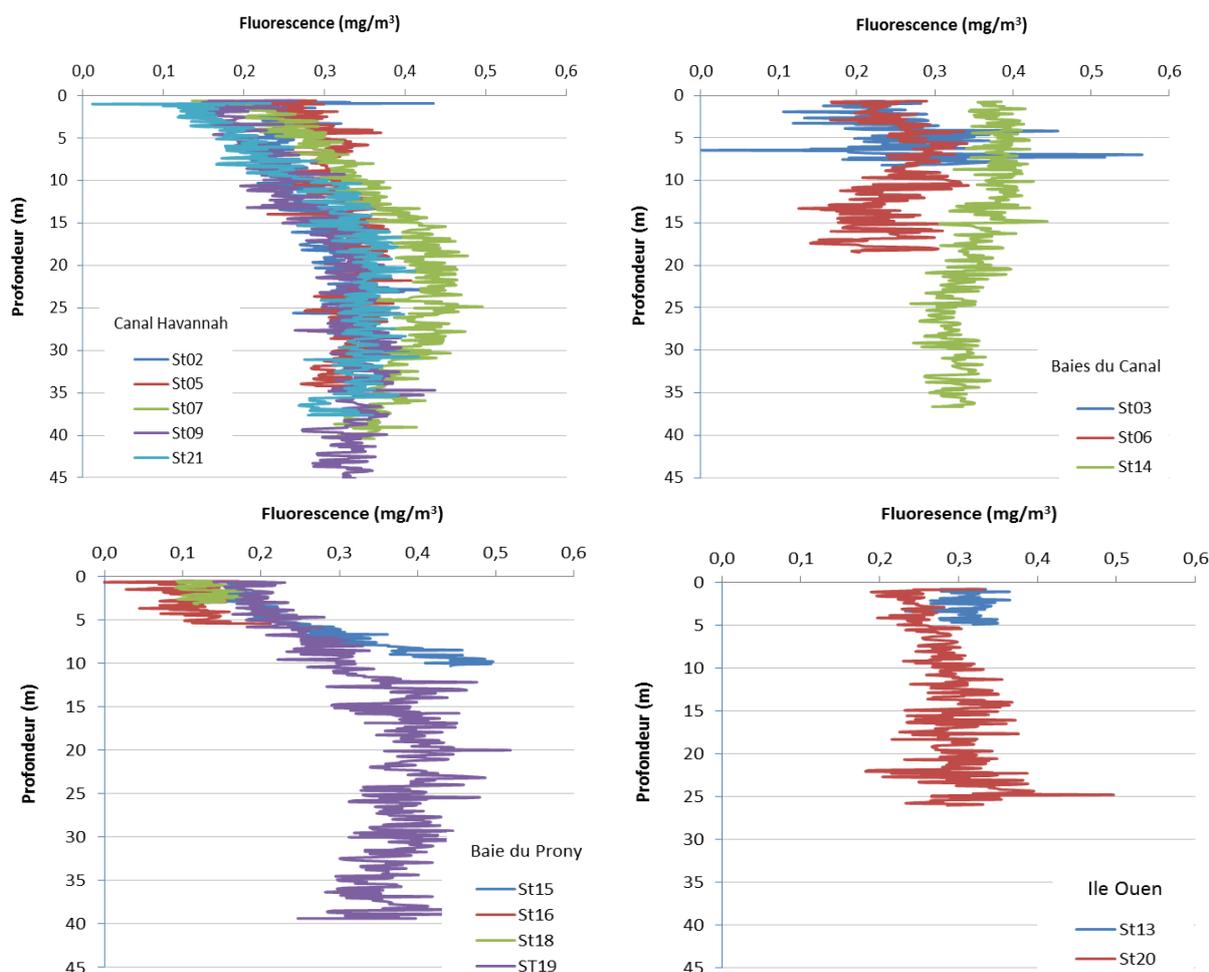
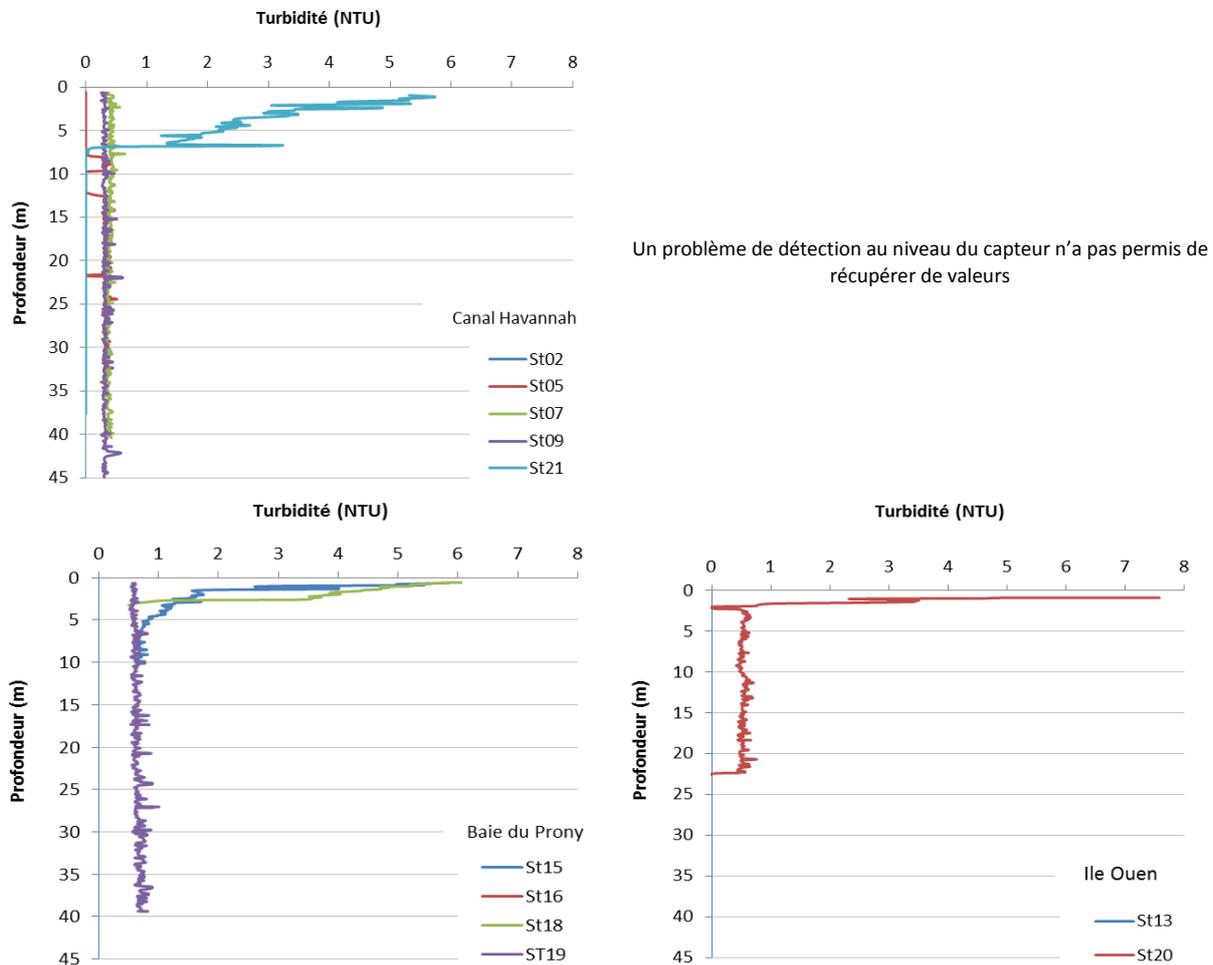


Figure 6: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

## 4. Turbidité

Les valeurs de turbidité n'ont pu être relevées que partiellement à cause d'un câble défectueux interrompant l'arrivée du signal. Ainsi, il n'y a pas de valeurs interprétables pour **la zone des Baies du Canal**.



Un problème de détection au niveau du capteur n'a pas permis de récupérer de valeurs

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 2017.

**Dans le Canal de la Havannah**, les profils de turbidité des stations St02, St05, St07 et St09 sont regroupés et relativement stables. A contrario, la turbidité relevée à la station St21 est élevée en surface et diminue à mesure que la profondeur augmente. A cette station, les valeurs de la surface à 7 m n'ont pas été détectées.

**Au niveau de la Baie du Prony**, les profils de turbidité des stations St16 et St19 sont stables. Des pics de turbidité sont visibles au niveau de la couche métrique de surface des stations St15 et St18.

**A l'île Ouen**, seule la station St20 présente un pic de turbidité dans les premiers mètres de la surface. Aucune valeur n'est disponible pour la station St13 (Figure 7).

### Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence les stations influencées par les apports d'eaux douces provenant des creeks de la Baie du Prony, de la Kwé et de Port Boisé.

Les profils des variables physico-chimiques révèlent l'impact de l'effet saisonnier et des conditions météorologiques. En effet, cette année, aucune précipitation quantifiable n'a été relevée les cinq jours précédant la campagne rendant moins visible l'influence de l'apport d'eau douce provenant des creeks de la Baie de Prony. Ces apports sont décelables dans les fines couches d'eaux de surface (-5 m) de ces baies. Les températures sont plus fraîches aux stations St03, St06, St 16, St18 et St19. A noter qu'en 2016, 88,7mm de précipitations avaient été relevées pendant les cinq jours précédant la campagne permettant de révéler nettement l'influence des eaux douces sur les valeurs des paramètres physico-chimiques.

Les valeurs de salinité les plus faibles sont corrélées à l'apport d'eau douce visible aux stations St03, St06, St15, St16, St18 et St21.

Les turbidités notables sont observées en surface aux stations St03 et St06, elles sont liées au phénomène d'halocline montrant une transition entre les eaux douces superficielles moins denses et l'eau de mer plus dense produisant ainsi un phénomène de stratification. En revanche, la forte turbidité de surface observée à la station St20 de l'île Ouen n'est en relation ni avec la salinité, ni la température.

Une particularité distingue la colonne d'eau de la station St21 avec la présence d'une lentille d'eau fraîche et plus salée près du fond.

Lors des campagnes précédentes, il a été fréquent d'observer de fortes turbidités en profondeur sous la forme de néphéloïdes benthiques. Lors de cette campagne les turbidités n'ont malheureusement pas pu être observées dans leur totalité, une panne aléatoire au niveau du turbidimètre ayant été constatée. Il convient de retenir cette information afin de porter une attention particulière aux résultats qui vont suivre pour les MES et les sels nutritifs. En effet, la présence de couches turbides profondes générées par les apports terrigènes, pouvant être aussi le résultat des phénomènes de remise en suspension, ont peut-être pour conséquence un enrichissement des eaux profondes de fond en sels nutritifs, accentuant ainsi la productivité biologique de ces eaux de fond.

De manière générale, la fluorescence augmente lorsque la profondeur augmente aux stations du Canal de la Havannah, de St15 et St19.

Les profils permettent également de distinguer que les stations situées dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont influencées par les apports océaniques. Ces stations sont soumises à d'importants mélanges verticaux résultant des courants générés par les phénomènes de marées et présentent, en saison fraîche, des profils de température, salinité, fluorescence et turbidité (St02, St05, St07, St09, St13, St20 et St21) avec peu, voire aucune évolution.

## B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

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

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

Le pH moyen ne diffère pas non plus entre les zones étudiées. Il est particulièrement homogène dans l'ensemble de la zone d'étude ( $8,20 \pm 0,02$ ) (Tableau 3). La mesure la plus basse, de 8,10, a été mesurée à la station St14 à mi-profondeur. Le pH moyen global mesuré lors de cette campagne est identique à celui obtenu lors de la précédente campagne de mars 2017 ( $8,19 \pm 0,02$ ) en saison chaude et celui obtenu à la même période en août 2016 ( $8,16 \pm 0,03$ ).

**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 2017.**

Zone d'étude	Statistique	pH	Eléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO <sub>4</sub>
Canal de la Havannah	Minimum	8,20	422	505	1305	11261	19562	2570
	Maximum	8,20	533	571	1661	13372	21658	3015
	Moyenne	8,20	471	528	1459	12056	20540	2751
	Ecart-type	0,00	32	19	102	612	636	94
Baies du Canal	Minimum	8,10	423	508	1285	11136	20261	2560
	Maximum	8,20	501	554	1563	12719	20960	2835
	Moyenne	8,19	453	519	1409	11720	20571	2754
	Ecart-type	0,03	22	15	78	454	368	90
Baie du Prony	Minimum	8,20	430	516	1319	11591	20261	2575
	Maximum	8,20	535	579	1679	13447	20960	2970
	Moyenne	8,20	498	553	1553	12706	20843	2805
	Ecart-type	0,00	32	20	111	628	272	120
Ile Ouen	Minimum	8,20	467	518	1472	11853	20261	2580
	Maximum	8,20	497	549	1547	12673	20960	2760
	Moyenne	8,20	483	539	1516	12391	20727	2693
	Ecart-type	0,00	10	11	30	299	361	65

### Ce qu'il faut retenir :

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

## 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 2017 sont représentées dans la Figure 8, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Les concentrations mesurées en MES sont très variables dans la zone d'étude (Tableau 4).

La concentration moyenne la plus élevée a été obtenue dans la zone de la **Baie du canal** ( $0,819 \pm 0,533$ mg/L) avec une importante variation entre les valeurs. C'est également dans cette zone que les concentrations les plus élevées ont été mesurées en surface des stations St03 et St06 avec respectivement 1,066 mg/L et 1,979mg/L de MES. Dans cette zone, la présence de MES en surface et au fond est plus marquée qu'à mi-profondeur. En revanche, à la station St14, on observe un gradient vertical des MES, de la surface au fond.

A l'inverse, la zone la moins chargée en MES est celle du **Canal de la Havannah** avec une moyenne de  $0,250 \pm 0,079$ mg/L. C'est en surface de la station St21 que la concentration en MES est la plus faible avec 0,160mg/L.

Les valeurs moyennes mesurées dans la **baie du Prony** et à **l'île Ouen** sont proches avec respectivement  $0,461 \pm 0,186$ mg/L et  $0,516 \pm 0,271$ mg/L. L'ensemble des stations montre des concentrations en MES plus importantes dans les eaux de fond à l'exception de la station St20.

La quantité moyenne de MES mesurée dans le **Baie du Prony** est proche de la moyenne globale de l'ensemble de la zone d'étude ( $0,470 \pm 0,347$ mg/L).

Au niveau de **l'île Ouen**, les valeurs de MES sont légèrement plus élevées au fond pour St13, contrairement aux valeurs de St20 pour laquelle les concentrations sont à peu près homogènes à tous les niveaux.

### Ce qu'il faut retenir :

A l'inverse, les concentrations de MES diffèrent entre les zones avec un gradient côte-large et des valeurs plus importantes dans les baies et plus faibles à l'extérieure. En effet, ces dernières mettent en évidence les apports terrigènes combinés à des phénomènes de remise en suspension dans les baies du Canal, tout comme dans la Baie du Prony. Une distribution verticale fond-surface des MES est observée sur la majorité des stations à l'exception de St03, St06.

Dans le Canal de la Havannah où l'influence majeure est océanique, les concentrations moyennes sont faibles.

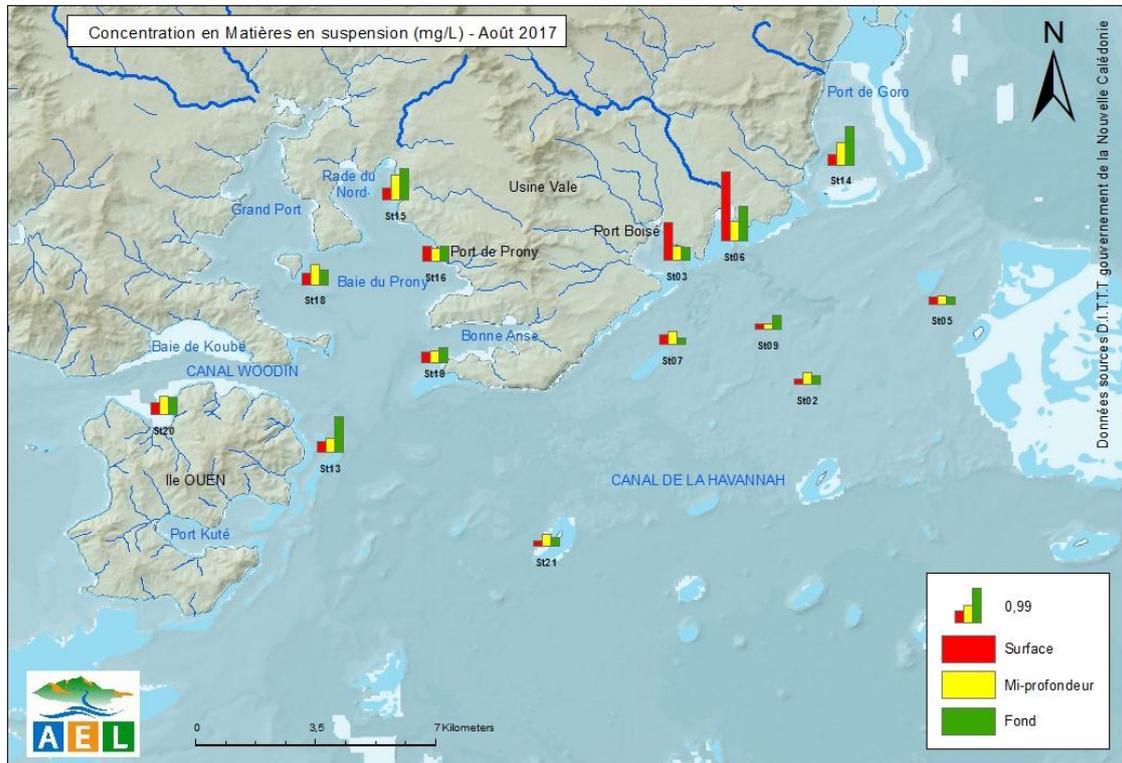


Figure 8: Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Tableau 4: Concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,160
	Maximum	0,404
	Moyenne	0,250
	Ecart-type	0,079
Baies du Canal	Minimum	0,294
	Maximum	1,979
	Moyenne	0,819
Baie du Prony	Ecart-type	0,533
	Minimum	0,299
	Maximum	0,915
	Moyenne	0,461
Ile Ouen	Ecart-type	0,186
	Minimum	0,308
	Maximum	1,039
	Moyenne	0,516
	Ecart-type	0,271

## D. SELS NUTRITIFS

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

**Note :** Le périmètre de certification s'est étendu aux analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer grâce à la validation des méthodes de dosage des nitrates, nitrites, azote totale, phosphore total et silicates. Ainsi, certains domaines d'application et limites de quantification ont évolué. Ces nouvelles mentions sont reportées en Annexe 1.

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2017 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 11, le Tableau 5 et l'Annexe 4.

### 1. Nitrates et nitrites

**Rappel :** L'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le  $\text{NO}_3^-$ ). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en  $\text{NO}_3^-$  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  $\text{NO}_3^-$  est celle fondée sur le dosage des ions nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) obtenus par réduction des ions  $\text{NO}_3^-$ . Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrates + nitrites ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

Lors de cette campagne, les concentrations en  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$  non pas été quantifiables. Seule la station St06 a montré une valeur supérieure à la LQ avec 0,098  $\mu\text{mol/L}$  en surface. Dans le Canal Havannah, la station St21 nous renseigne avec une valeur comprise entre la LQ et la LD avec 0,024  $\mu\text{mol/L}$  en surface (Tableau3).

### 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.

Les concentrations d'ammonium mesurées dans les zones du Canal de la Havannah et des Baies du Canal sont proches. La concentration moyenne d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) la plus haute a été obtenue dans le Canal de la

Havannah avec  $0,106 \pm 0,073 \mu\text{mol/L}$ . Cette valeur est majorée par la présence d'une concentration particulièrement élevée à la station St05 au fond avec  $0,296 \mu\text{mol/L}$  et à la station St02 en surface avec  $0,187 \mu\text{mol/L}$ .

A *contrario*, les concentrations moyennes les plus faibles ont été obtenues dans la zone de l'île Ouen avec  $0,060 \pm 0,029 \mu\text{mol/L}$ . Les concentrations moyennes mesurées dans la Baie du Prony sont assez proches de celles mesurées à l'île Ouen, en revanche l'écart à la moyenne est le plus important de toute la zone d'étude ( $0,073 \pm 0,077 \mu\text{mol/L}$ ). Cela est dû à la présence de quantités importantes de MES en surface des stations St15 et St16 au fond et St18 à mi-profondeur (Tableau 5).

Globalement, les eaux de fond concentrent plus de  $\text{NH}_4$ , exception faite pour les stations St02, St13, St19, St20 et St18 (Figure 9).

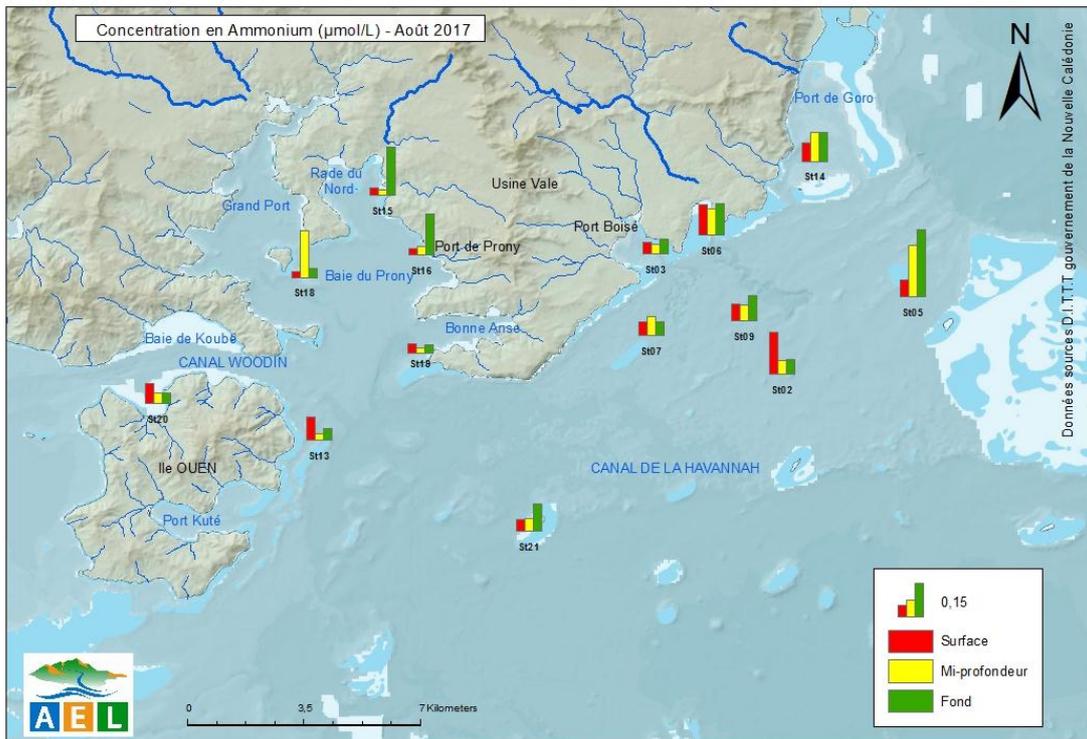


Figure 9: Concentrations en ammonium ( $\text{NH}_4$ ) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

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

Les phosphates sont détectés dans toute la zone d'étude et aux différentes profondeurs. La concentration moyenne est de  $0,077 \pm 0,015 \mu\text{mol/L}$ . Ils sont majoritairement présents dans le Canal de la Havannah et sont

essentiellement au fond des colonnes d'eau notamment dans la Baie du Prony aux stations St15 et St16 et dans la baie du Canal à la station St14. A la station St20 une seule valeur a été relevée en surface (Figure 10).

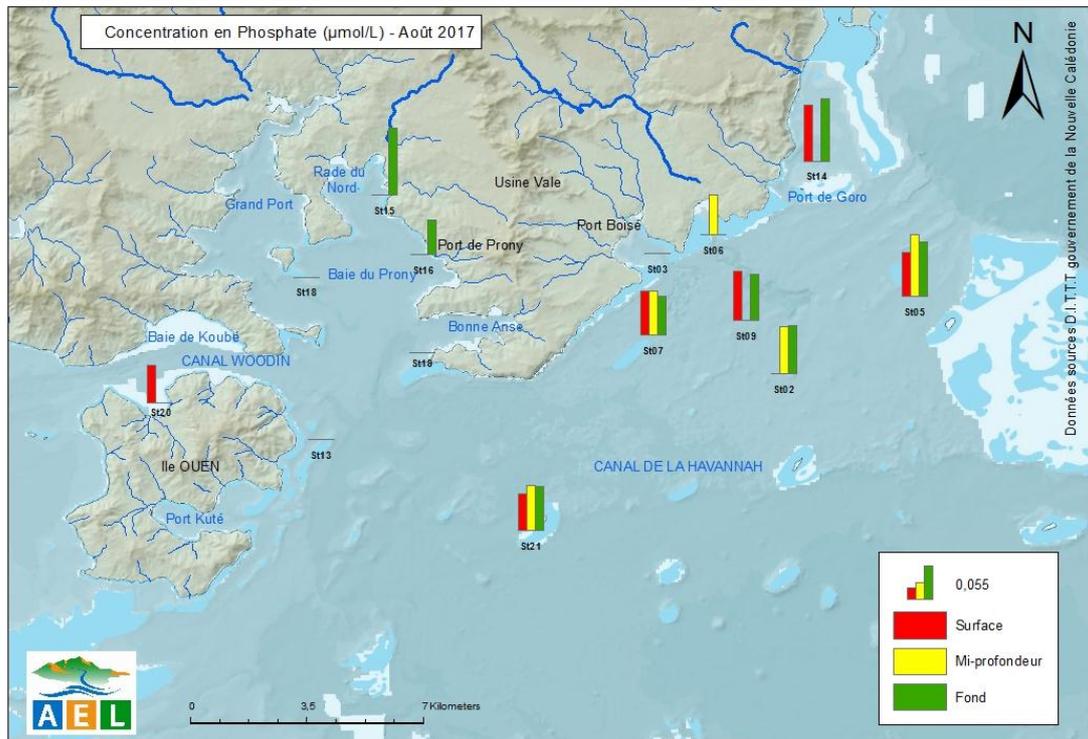


Figure 10 : Concentrations en Phosphates ( $PO_4$ ) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

#### 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 de la nature des eaux. Ainsi, dans le domaine océanique, les concentrations en surface sont généralement très faibles mais elles augmentent progressivement à mesure que l'on se rapproche des côtes ou des fonds abyssaux. Les silicates, dans certains contextes géologiques comme en Nouvelle-Calédonie, sont aussi des traceurs de l'altération des roches terrestres.

La distribution spatiale et verticale des  $SiO_4$  diffère de celle des autres formes de sels nutritifs. On observe un gradient « côte-large » et « surface-fond » décroissante. La concentration moyenne en  $SiO_4$  obtenue dans le Canal de la Havannah est la plus faible ( $1,620 \pm 0,145 \mu\text{mol/L}$ ). A contrario, les moyennes calculées pour la Baie du Prony et les baies du Canal sont plus élevées (Respectivement  $3,118 \pm 0,601 \mu\text{mol/L}$  et  $2,580 \pm 0,735 \mu\text{mol/L}$ ). Les concentrations sont plus hétérogènes dans la zone des baies du Canal avec de fortes concentrations en surface aux stations St03 et St06. (Tableau 5 et Figure 11).

Dans la Baie du Prony, une distribution verticale s'observe avec des concentrations plus importante en surface à l'exception de la station St15 pour laquelle les concentrations sont plus fortes en surface et au fond.

Ces résultats mettent en évidence la présence d'apports terrigènes provenant des bassins versants alimentant les baies Kwé et du Prony (Figure 11).

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>
Canal de la Havannah	Minimum	0,108	0,050	0,059	1,360
	Maximum	1,361	0,296	0,101	1,814
	Moyenne	0,626	0,106	0,076	1,620
	Ecart-type	0,540	0,073	0,011	0,145
Baies du Canal	Minimum	0,108	0,040	0,065	1,949
	Maximum	0,660	0,139	0,101	4,089
	Moyenne	0,384	0,097	0,086	2,580
	Ecart-type	0,390	0,039	0,019	0,735
Baie du Prony	Minimum	0,372	0,022	0,055	2,467
	Maximum	1,361	0,213	0,109	4,182
	Moyenne	0,867	0,073	0,082	3,118
	Ecart-type	0,699	0,077	0,038	0,601
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,029	0,061	1,549
	Maximum	<0,050	0,104	0,061	2,587
	Moyenne	-	0,060	0,061 (n=1)	2,014
	Ecart-type	-	0,029	-	0,358

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

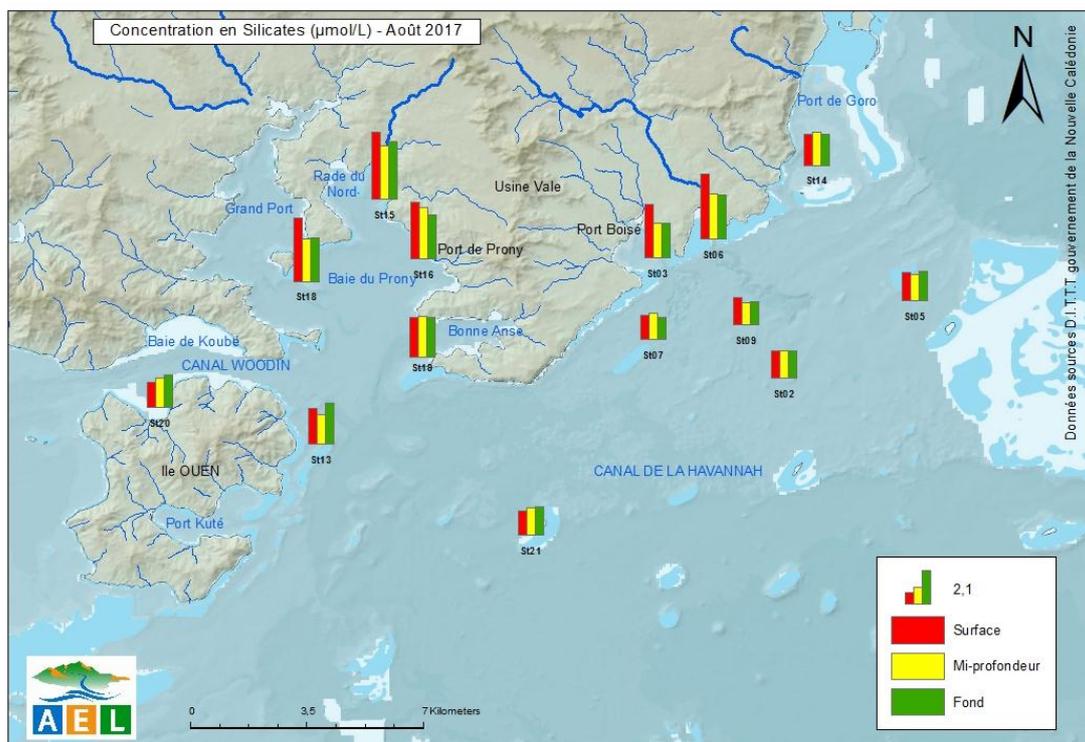


Figure 11: Concentrations en silicates (SiO<sub>4</sub>) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

**Ce qu'il faut retenir :**

La quantification des sels nutritifs réalisée sur l'ensemble de la zone avec des profils de répartition bien distincts à l'exception des  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  pour lesquels peu de valeurs sont observables.

Pour  $\text{NH}_4$ , des variations assez importantes de concentrations s'observent dans le Canal de la Havannah et dans la Baie du Prony, particulièrement en profondeur avec un maximum relevé en St05 ainsi qu'en St15. Des concentrations de  $\text{NH}_4$  supérieures à la moyenne globale ( $0,088 \pm 0,064 \mu\text{mol/L}$ ) dans les eaux superficielles du Canal de la Havannah (stations St02 et St05 à mi-profondeur et fond) reflètent l'influence des apports de matières organiques d'origines océaniques et traduisent un processus de dégradation incomplet de celle-ci.

Les concentrations de  $\text{SiO}_4$  les plus importantes ont été mesurées en surface dans la Baie du Prony et les baies du Canal. A l'inverse, dans le Canal de la Havannah, voire autour de l'île Ouen, les eaux sont très pauvres. Ce paramètre met ainsi en évidence les apports terrigènes avec sa distribution « côte-large » et « surface-fond ».

L'étude temporelle ne montre pas d'évolution significative des concentrations moyennes de  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$  et  $\text{SiO}_4$  obtenues dans les 4 zones étudiées depuis le début des campagnes « saisons fraîches ». Malgré la présence de concentrations plus importantes durant cette campagne aux stations St05, St06 et St15, les concentrations restent globalement dans le même ordre de grandeur depuis 2008 (Annexe 7).

## E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2017 sont regroupées dans les Figure 12, Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16 et le Tableau 5, ainsi que l'Annexe 5.

### 1. Azote et phosphore organiques dissous

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

Les concentrations d'azote organique dissous (NOD) montrent des variations au sein de la zone d'étude et de la colonne d'eau (Tableau 6).

Globalement, la concentration moyenne sur l'ensemble de la zone est de  $6,151 \pm 2,308 \mu\text{mol/L}$ , cette valeur a diminué par rapport à la campagne d'août 2016 où elle était à  $9,042 \pm 5,282 \mu\text{mol/L}$  (Figure 12).

La variabilité la plus importante des concentrations de NOD est observée dans la zone des baies du Canal. C'est dans le Canal de la Havannah où l'on retrouve les concentrations les plus basses.

Peu de concentrations en POD sont mesurables dans la zone d'étude (Figure 13). Elles restent faibles à l'exception de quelques valeurs calculées pour les stations St15 (S), St19, St20 (très hétérogènes avec une moyenne globale de  $0,126 \pm 0,056 \mu\text{mol/L}$ ). En dépit de cette variabilité des concentrations, aucune évolution horizontale structurée n'est constatée pour les POD.

En ce qui concerne la distribution verticale, le POD semble se concentrer légèrement plus dans les eaux de surface et de fond en baie du Prony et à mi-profondeur dans le Canal de la Havannah.

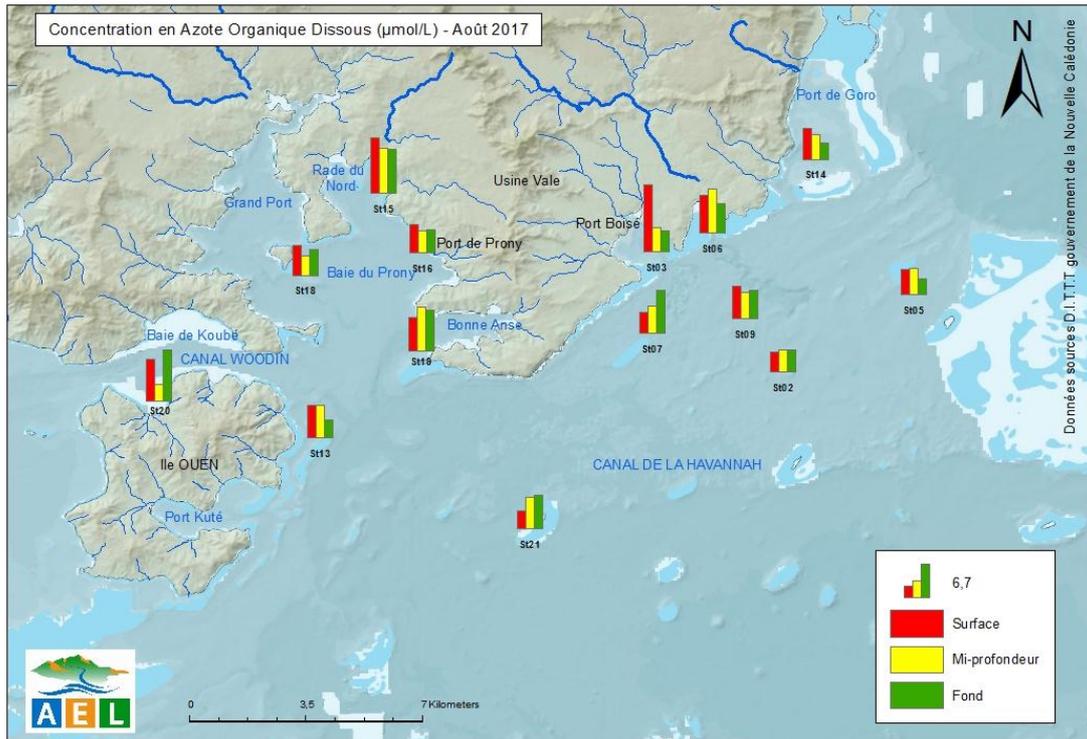


Figure 12 : Concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

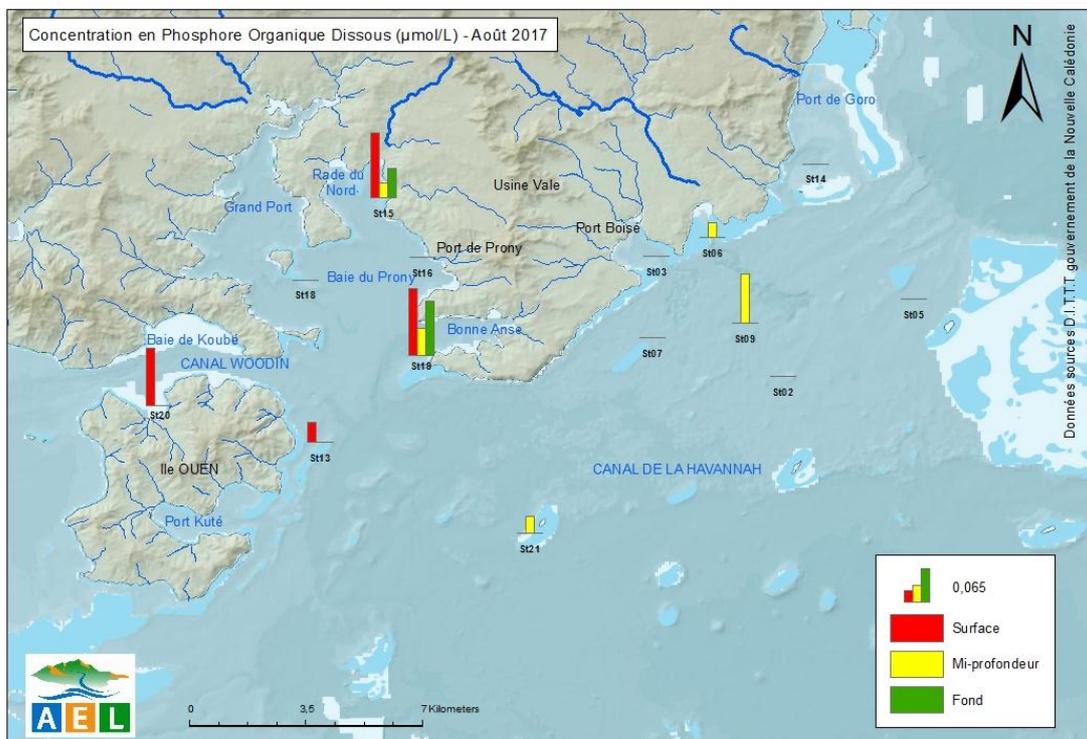


Figure 13 : Concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

## 2. Azote (NOP), carbone (COP) et phosphore (POP) organiques particuliers

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

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

Pour NOP et POP, la distribution des concentrations moyennes montre un gradient « côte-large » décroissant. Les concentrations les plus faibles sont en effet mesurées dans le Canal de la Havannah.

La répartition du COP dans la zone d'étude est assez homogène avec une concentration moyenne (8,313 ± 2,153 µmol/L). Une valeur de COP (St13-M) n'a pas pu être déterminée à cause d'un problème analytique. Dans l'ensemble, les concentrations du COP sont plus élevées à mi-profondeur à l'exception de la station St20 (13,3 µmol/L) où les concentrations de COP sont plus élevées au fond. (Figure 15 Figure 14).

Pour les trois paramètres (COP, NOP et POP), des concentrations importantes sont relevées à mi-profondeur des stations St14, St15, St16, St19 et St21 (Figure 14 ; Figure 15 ; Figure 16).

Les concentrations en POP sont plus importantes dans la baie du Prony et dans les baies du canal. A l'île Ouen et dans le canal de la Havannah, elles sont plus faibles et mesurables à certains niveaux de profondeur.

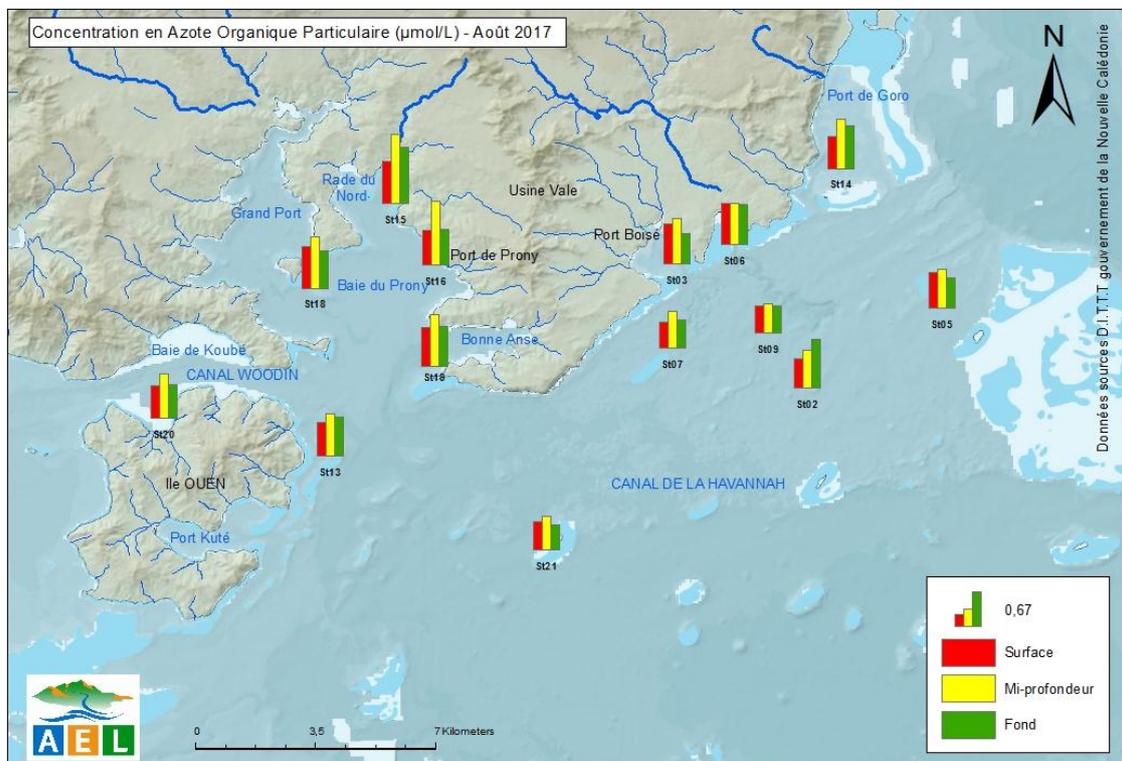


Figure 14 : Concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

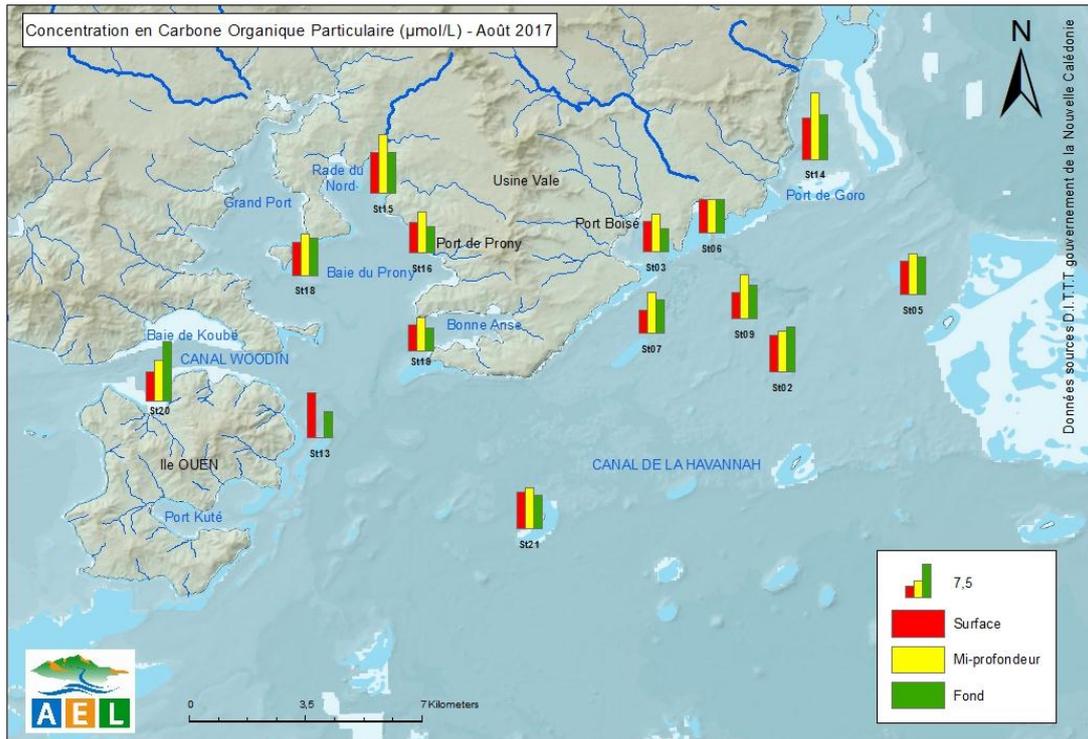


Figure 15 : Concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

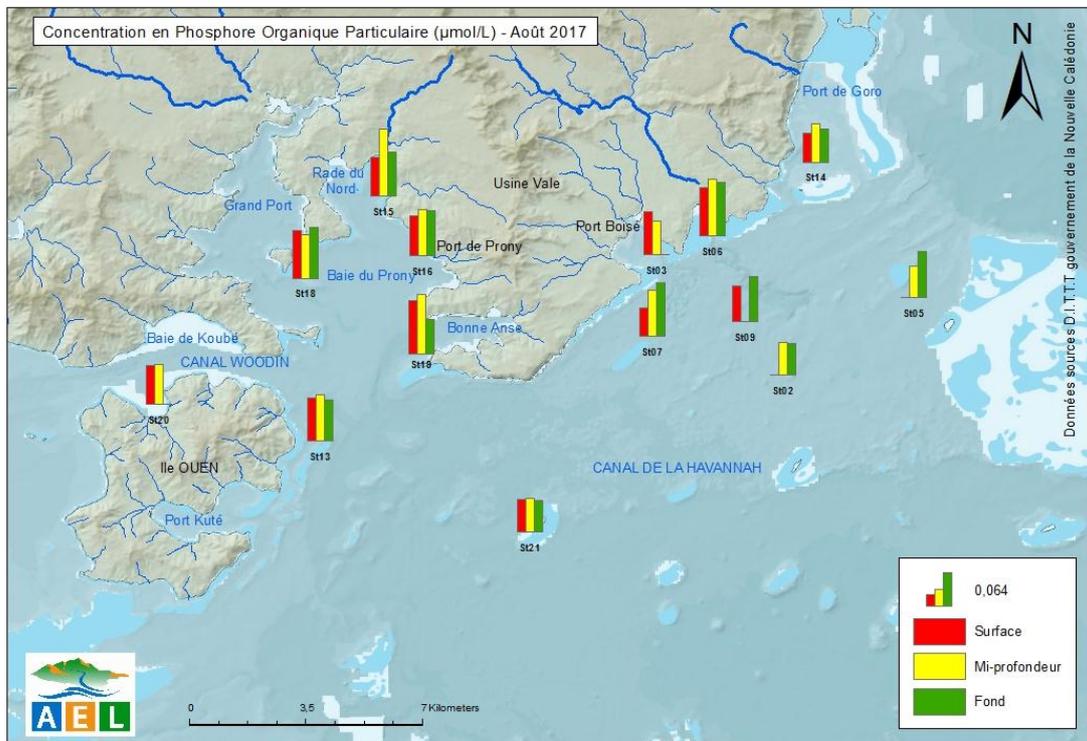


Figure 16 : Concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Tableau 6 : Concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	3,97	0,472	NE	0,000	5,00
	Maximum	7,85	0,936	0,129	0,128	10,00
	Moyenne	5,42	0,618	NE	0,071	8,17
	Ecart-type	1,03	0,124	0,077	0,031	1,42
Baie Canal	Minimum	4,26	0,572	NE	0,000	5,00
	Maximum	12,07	0,946	0,048	0,102	15,00
	Moyenne	6,72	0,774	NE	0,057	8,52
	Ecart-type	2,46	0,114	0,064	0,033	2,82
Baie du Prony	Minimum	5,13	0,662	NE	0,000	5,00
	Maximum	10,35	1,332	0,030	0,110	13,33
	Moyenne	7,16	0,901	NE	0,071	8,06
	Ecart-type	1,89	0,221	0,055	0,033	2,23
Ile Ouen	Minimum	4,20	0,618	NE	0,065	5,83
	Maximum	9,40	0,855	0,129	0,128	13,33
	Moyenne	6,47	0,718	NE	0,091	9,00
	Ecart-type	2,04	0,101	0,098	0,018	2,97

NE : Le résultat du calcul permettant d'obtenir les POD est parfois négatif. Cela résulte d'un manque de précision du fait que les analyses de PT et des phosphates ne soient pas faites simultanément et analysées sur les mêmes domaines d'application.

## F. CHLOROPHYLLE A

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

Les concentrations de chlorophylle *a* déterminées lors de la campagne d'août 2017 sont représentées dans la Figure 17 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5.

Les concentrations obtenues sont globalement homogènes sur la zone d'étude à l'exception de celles mesurées dans la **Baie du Prony** où elles sont légèrement plus chargées ( $0,418 \pm 0,143 \mu\text{g/L}$ ) que la moyenne globale ( $0,353 \pm 0,103 \mu\text{g/L}$ ). Dans cette zone, la distribution en Chlorophylle *a* est assez hétérogène au regard de l'écart à la moyenne. Un gradient vertical montre des concentrations plus importantes au fond qu'en surface.

Les concentrations moyennes plus faibles se retrouvent dans les **baies du Canal** ( $0,314 \pm 0,097 \mu\text{g/L}$ ) (Tableau 5).

Dans les zones du **Canal de la Havannah** et de **l'île Ouen** les concentrations moyennes sont proches avec respectivement ( $0,328 \pm 0,054 \mu\text{g/L}$  et  $0,343 \pm 0,057 \mu\text{g/L}$ ). Aucun gradient significatif n'y est observé (Figure 17).

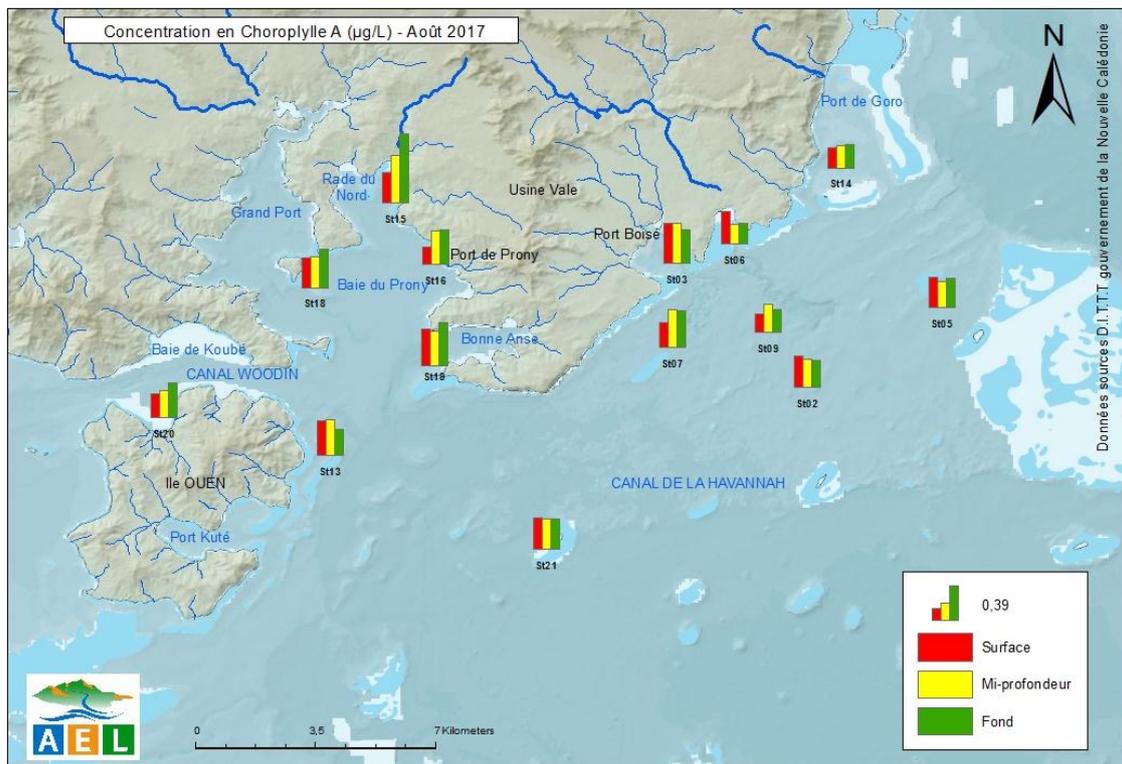


Figure 17 : Concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Tableau 7: Concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,210
	Maximum	0,431
	Moyenne	0,328
	Ecart-type	0,054
Baie Canal	Minimum	0,219
	Maximum	0,453
	Moyenne	0,314
	Ecart-type	0,097
Baie du Prony	Minimum	0,193
	Maximum	0,782
	Moyenne	0,418
Ile Ouen	Ecart-type	0,143
	Minimum	0,272
	Maximum	0,406
	Moyenne	0,343
	Ecart-type	0,057

### Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations de NOD et POD les plus faibles sont mesurées dans le Canal Havannah et dans la Baie du Prony pour COP. En revanche, les stations qui concentrent le plus ces éléments sont celles de la baie du Prony et de l'île Ouen.

La Chlorophylle *a* se mesure globalement dans toute la zone d'étude et plus notablement dans la Baie du Prony. Dans cette baie on constate que les concentrations en Chlorophylle *a* augmentent avec la profondeur, en corrélation avec les profils de la fluorescence, particulièrement aux stations St15 et St19.

## G. METAUX DISSOUS

**Note :** Dans les rapports antérieurs, les concentrations comprises entre les valeurs nulles (inférieures à la LD) et la LQ ont été prises en compte dans les calculs de moyennes et écart-types, afin d'éviter la majoration des moyennes. Il arrivait donc que les moyennes calculées soient inférieures aux LQ dans les tableaux du rapport. Cette technique de calcul ne permettant pas la prise en compte des valeurs dans la base de données, elle n'est donc plus utilisée.

Les valeurs fournies sont donc celles mesurées ou bien celles non détectables c'est-à-dire <à la LQ.

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2017 sont regroupées dans les Figure 18 à Figure 25 et dans les Tableau 8 et

Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Les concentrations de Cd sont toutes en dessous de la LQ fixée (<0,025 µg/L) ; cet élément n'étant présent qu'à l'état de traces dans les roches latéritiques du sud calédonien ([Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981](#)).

Le Zn a été détecté uniquement dans la **Baie du canal** (St14-M : 4,856µg/L) et à **l'île Ouen** (St20-S : 1,410µg/L).

Seulement quelques concentrations en Cu, Fe et Pb ont été quantifiables dans les quatre zones d'étude (Figure 19, Figure 20, Figure 25). Une exception est faite pour le Fe puisqu'il n'est pas détectable au niveau de la Baie du Prony (Tableau 9).

Les concentrations moyennes d'As sont relativement proches pour l'ensemble des zones étudiées (Tableau 8). La zone présentant une moyenne plus élevée est celle du Canal de la Havannah. Globalement, aucune tendance claire (horizontale ni verticale) n'est constatée (Figure 18). L'arsenic étant un élément ubiquiste, les variations sans un apport tiers, sont à lier avec les évolutions naturelles du milieu.

Le Cu a été détectable sur quatre stations de la zone d'étude. Les valeurs sont très hétérogènes. La valeur la plus élevée est mesurée en surface de la station St19 en Baie du Prony. Dans la baie du Canal (St14) et dans le Canal de la Havannah (St05) le Cu est quantifiable à mi-profondeur et au fond. A l'île Ouen, la concentration mesurée au fond est la plus faible.

Le Fe est mesurable uniquement dans la zone du Canal de la Havannah (St02-S et F, St05-S et F, St21), de la Baie du Canal (St06-S et M ainsi qu'en St14-S, M et F) et à l'île Ouen (St20-F).

Le Pb se retrouve dans plus de la moitié des stations de la zone. La concentration moyenne globale est de 0,235 ± 0,121µg/L.

**Tableau 8 : Concentrations de métaux dissous (As, Cr(VI), Cr-total, Co et Cu) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.**

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		As*	Cr <sup>VI</sup>	Cr-total	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,80	0,131	0,140	<0,027	0,097
	Maximum	2,70	0,165	0,401	<0,027	0,212
	Moyenne	2,27	0,140	0,197	-	0,155
	Ecart-type	0,27	0,009	0,083	-	0,081
Baies du Canal	Minimum	1,50	0,144	0,177	0,029	0,125
	Maximum	2,40	0,216	0,364	0,083	0,200
	Moyenne	1,99	0,168	0,224	0,050	0,162
	Ecart-type	0,28	0,023	0,061	0,019	0,053
Baie du Prony	Minimum	1,50	0,150	0,180	0,031	0,535
	Maximum	2,60	0,218	0,326	0,048	0,535
	Moyenne	2,02	0,176	0,240	0,036	0,535 (n=1)
	Ecart-type	0,30	0,027	0,047	0,007	-
Ile Ouen	Minimum	2,00	0,130	0,161	<0,027	0,030
	Maximum	2,40	0,145	0,212	<0,027	0,030
	Moyenne	2,13	0,139	0,179	-	0,03 (n=1)
	Ecart-type	0,21	0,006	0,018	-	-

Les LQ sont respectivement pour As : 1µg/L ; CrVI : 0,05µg/L, Cr-total : 0,05µg/L Co : 0,027 , et Cu :0,025 µg/L

Tableau 9 : Concentrations de métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	0,062	0,031	0,087	0,104	0,000
	Maximum	0,279	0,089	0,262	0,396	0,000
	Moyenne	0,124	0,054	0,130	0,204	-
	Ecart-type	0,09	0,016	0,043	0,167	-
Baies du Canal	Minimum	0,07	0,069	0,159	0,150	4,856
	Maximum	0,49	0,405	0,545	0,236	4,856
	Moyenne	0,19	0,198	0,340	0,193	4,85 (n=1)
	Ecart-type	0,17	0,099	0,146	0,06	-
Baie du Prony	Minimum	0,00	0,054	0,184	0,174	0,000
	Maximum	0,00	0,154	0,283	0,452	0,000
	Moyenne	-	0,102	0,231	0,30	-
	Ecart-type	-	0,031	0,038	0,12	-
Ile Ouen	Minimum	0,06	0,054	0,154	0,163	1,410
	Maximum	0,06	0,163	0,306	0,163	1,410
	Moyenne	0,06 (n=1)	0,095	0,203	0,163 (n=1)	1,410 (n=1)
	Ecart-type	-	0,045	0,058	-	-

Les LQ sont respectivement pour Fe : 0,059µg/L ; Mn : 0,028µg/L, Ni : 0,022µg/L ; Pb : 0.100µg/L et Zn : 1µg/L.

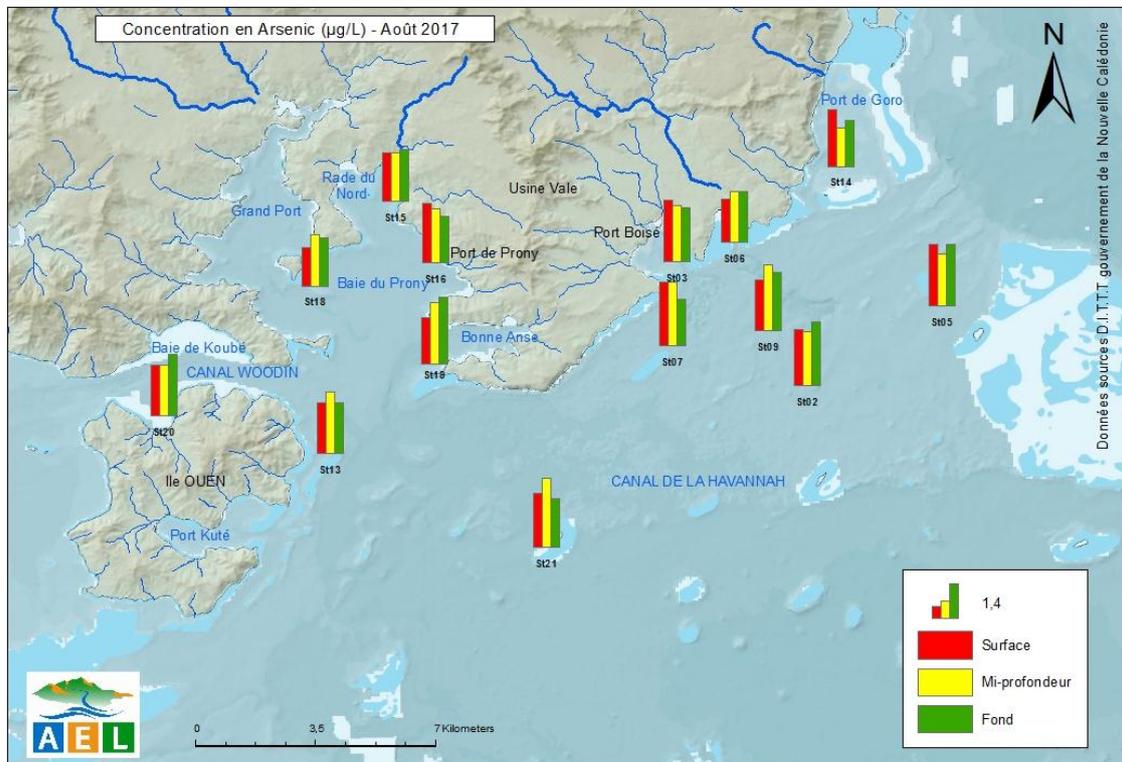


Figure 18 : Concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

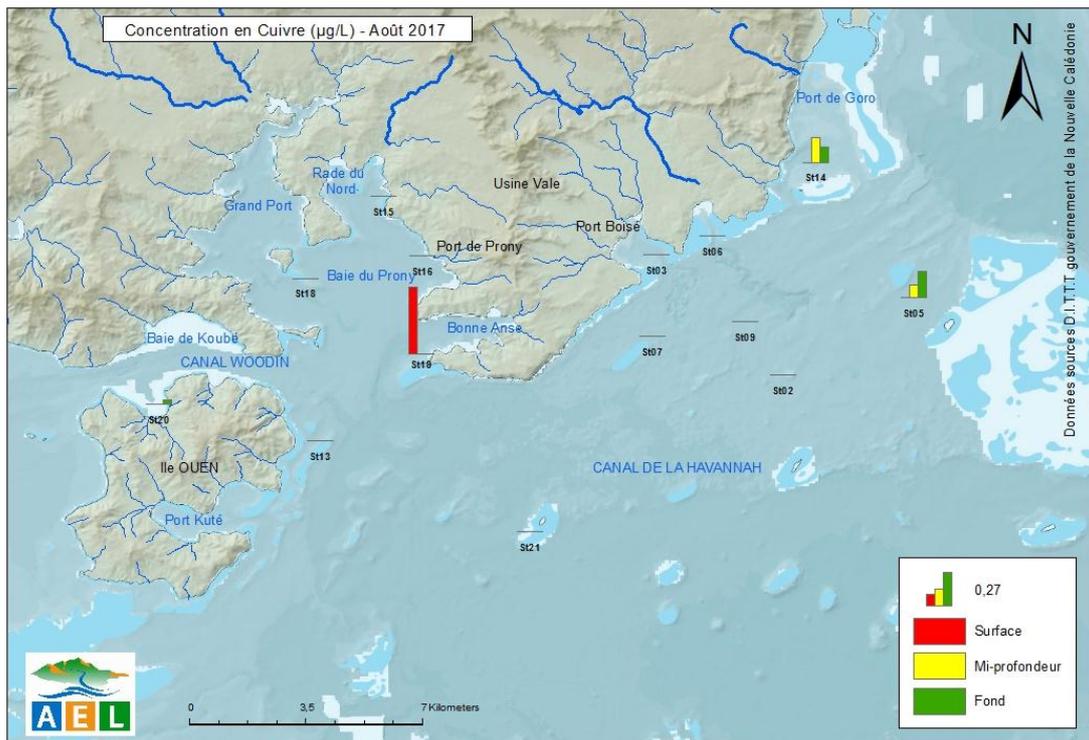


Figure 19: Concentrations en cuivre (Cu) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

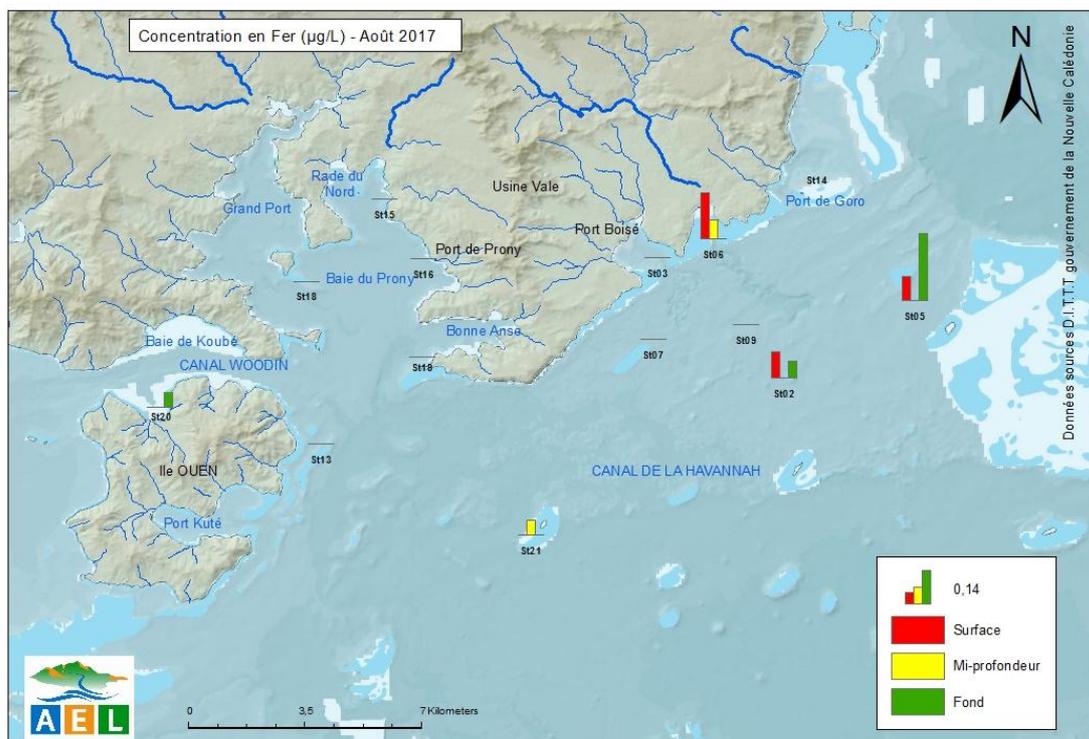


Figure 20: Concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Les métaux dissous Cr<sup>VI</sup>, Co, Mn et Ni présentent, dans l'ensemble, une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante bien définie (Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24). Les résultats sont inversement corrélés aux profils de salinité. Ils distinguent les stations du Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) influencées par les apports océaniques, des stations de baies (St03, St06, St14, St15, St16 et St19), influencées par les apports terrigènes des rivières et creeks. Autour de l'île Ouen (St13 et St20), les niveaux de concentrations sont intermédiaires (Tableau 8 et

Tableau 9).

Globalement, les valeurs maximales se concentrent aux stations St03, St06, St15, St16, St18 et St19 dans les eaux de surface. Comme pour le Cr<sup>VI</sup>, les concentrations maximales en Co, Mn et Ni ont également été mesurées dans les eaux de surface des stations St03, St06, St15, St16, St18 et St19. Les répartitions verticales et horizontales des concentrations de Co, Mn et Ni sont fortement corrélées.

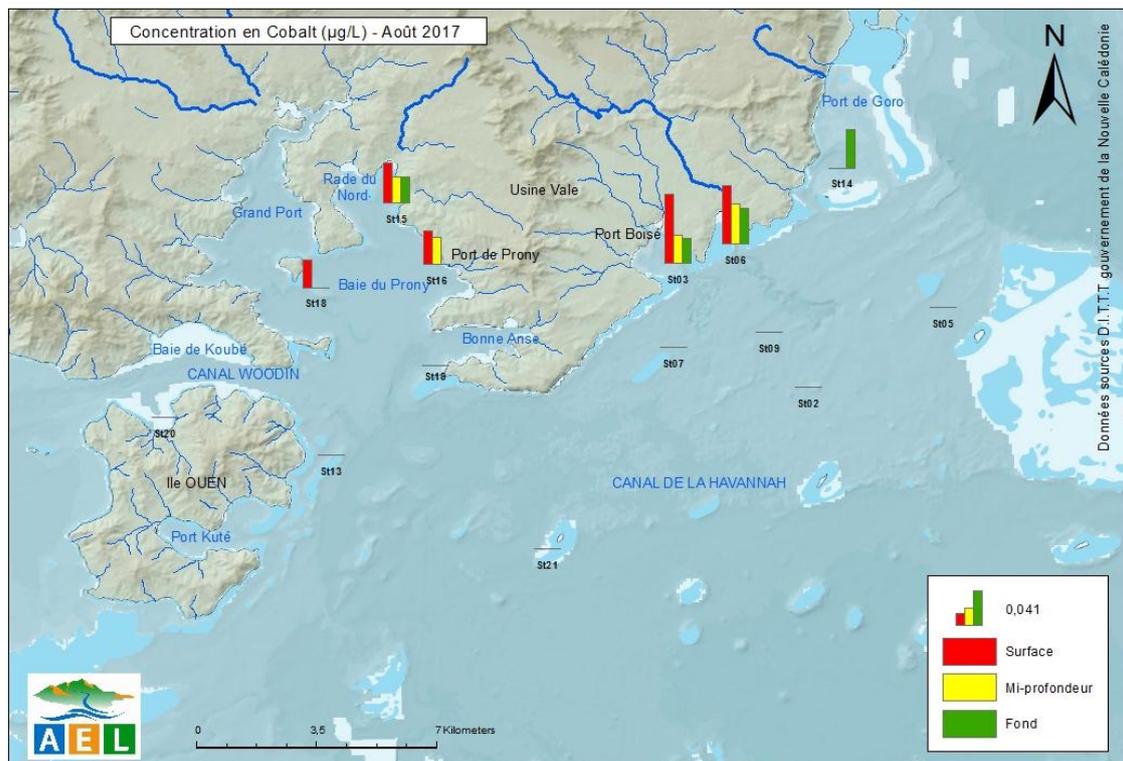


Figure 21: Concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

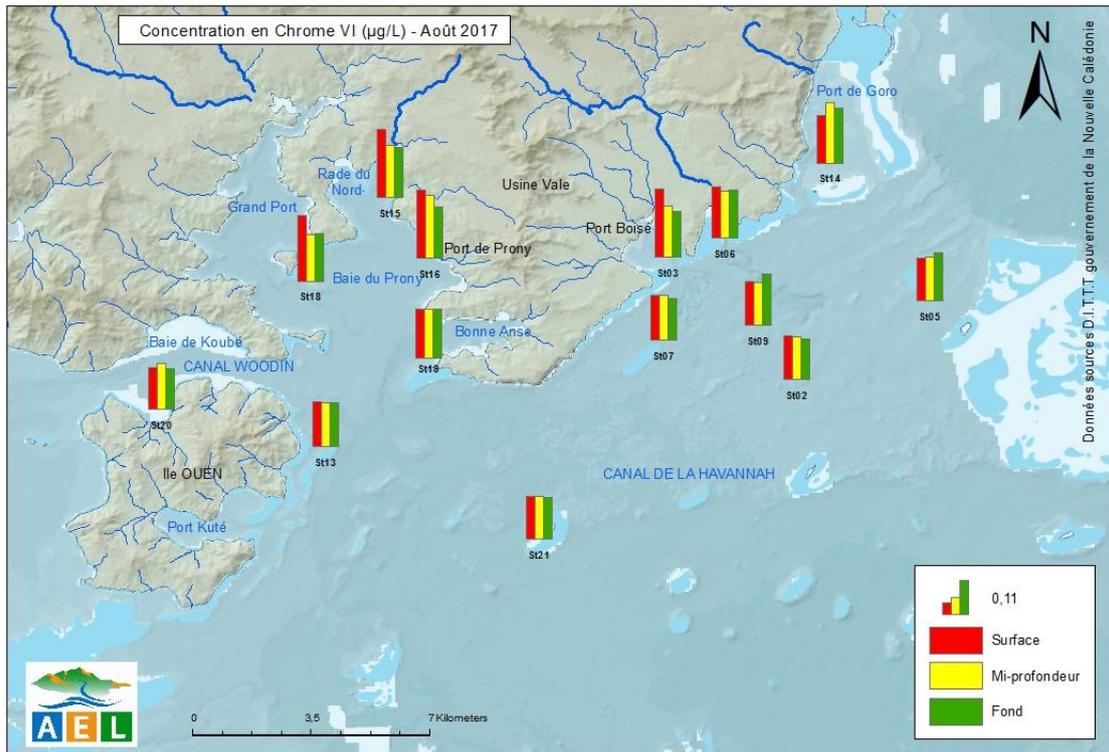


Figure 22 : Concentrations en chrome (CrVI) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

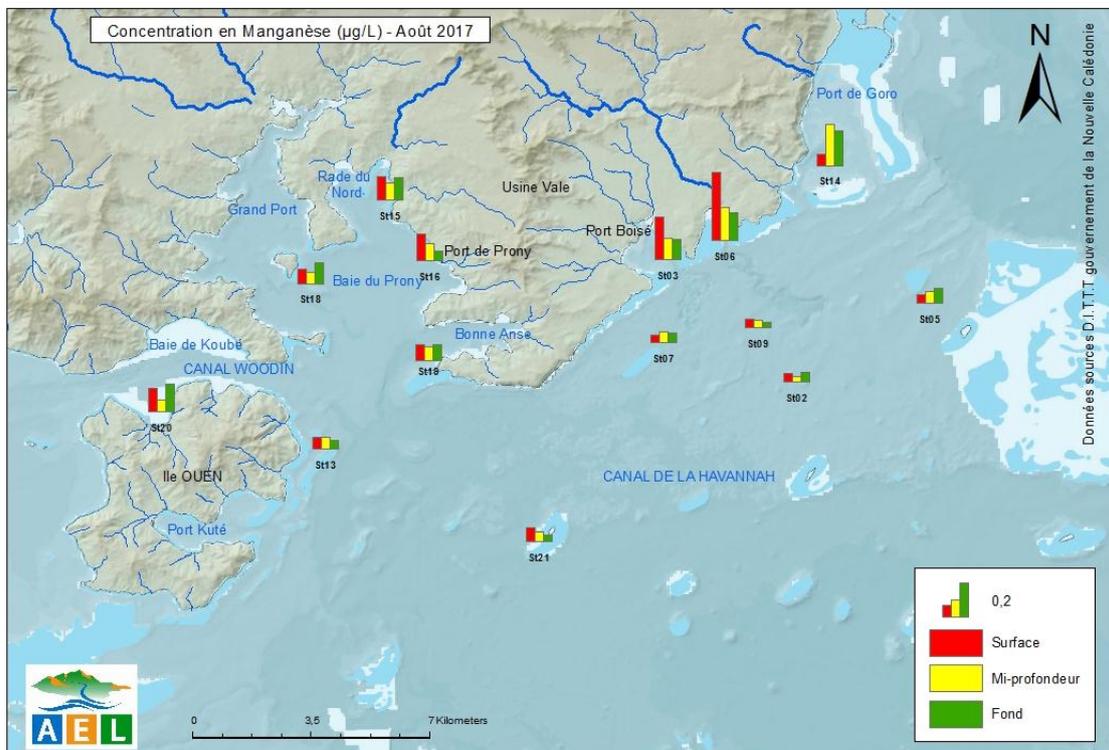


Figure 23 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

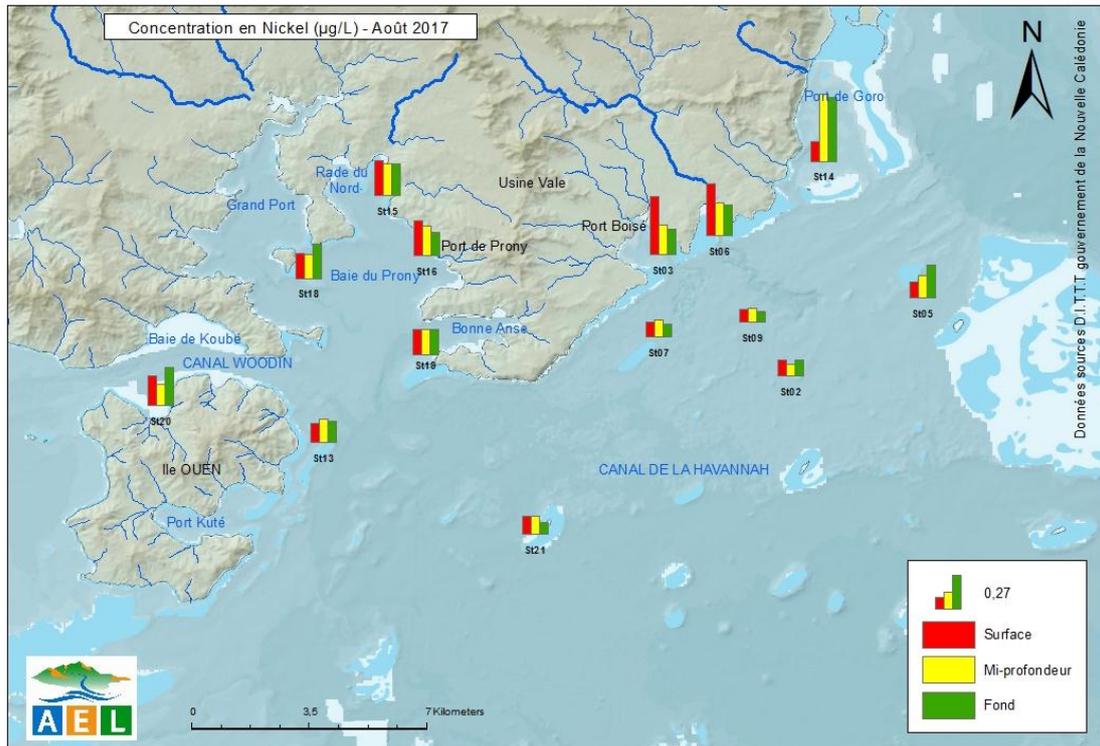


Figure 24 : Concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

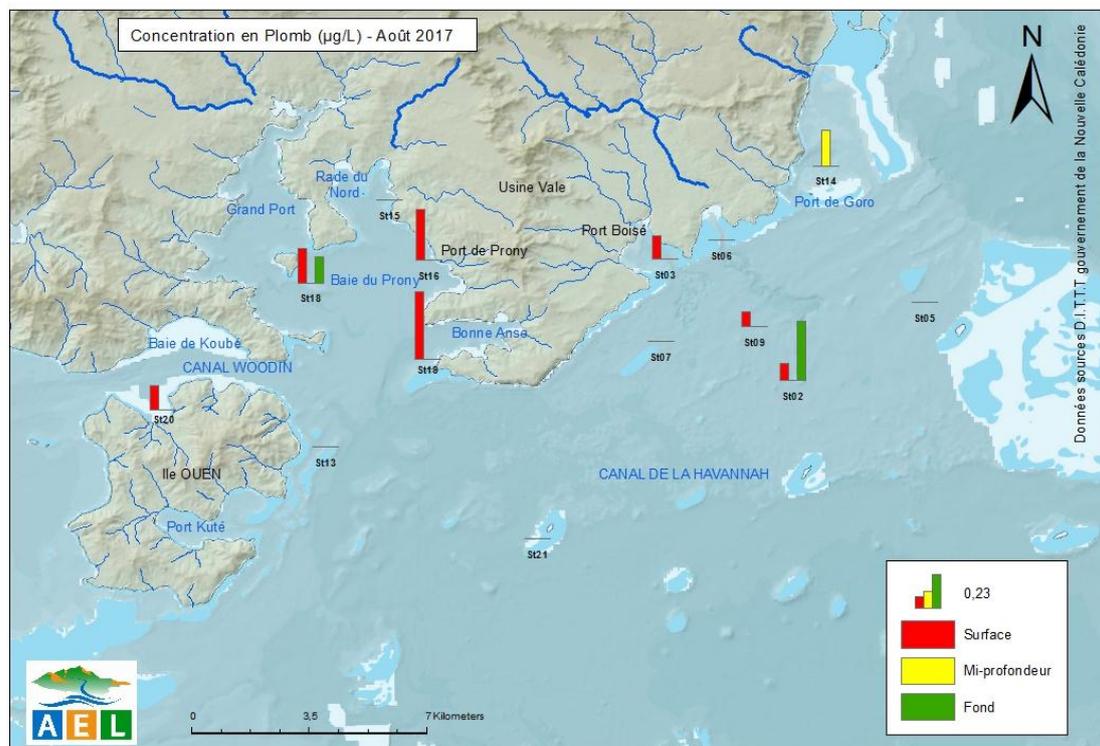


Figure 25: Concentrations en plomb (Pb) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

**Ce qu'il faut retenir :**

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

Les concentrations de Cd sont non quantifiables, quant à celles d'As, elles ne présentent pas de distribution particulière dans le domaine d'étude. Pour le Cu, Fe, Pb et Zn, seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées. Ces métaux n'ont pas été détectés à la saison chaude (avril 2017). Pb qui est d'habitude assez peu détectable.

Globalement, les concentrations d'As, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Co, Mn et Ni mesurées lors de la campagne d'août 2017 restent dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des campagnes « saison fraîche » depuis 2007.

## IV. SYNTHÈSE

**Rappel :** Cette synthèse regroupe les concentrations des sels nutritifs et des métaux dissous mesurées aux stations sentinelles depuis 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 26; la campagne 2017 se caractérise par l'absence totale de précipitations atmosphériques.

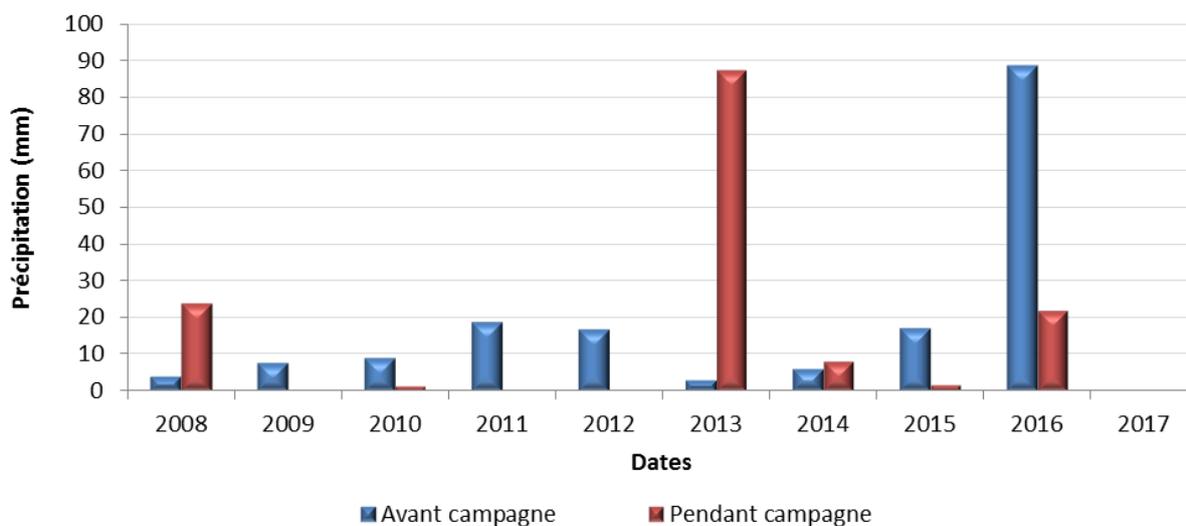


Figure 26 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraîche » de 2008 à 2017 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

## 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 27, Figure 28, Figure 29 et Figure 30. Leur évolution a été étudiée aux stations sentinelles St05, St09, St06 et St15.

### 1. Ammonium

A la station St05, à l'exception des valeurs de 2016 et de 2017, les concentrations en  $\text{NH}_4$  diffèrent peu d'une année à l'autre et d'un niveau à l'autre en raison du fort hydrodynamisme et malgré sa proximité avec le récif barrière, les concentrations restent très faibles. L'augmentation récente des concentrations en  $\text{NH}_4$  reste anecdotique mais est à suivre pour les prochaines campagnes.

A la station St09 (exception faite d'une valeur extrême en 2013 pour les eaux de surface), les concentrations de  $\text{NH}_4$  mesurées en « saison fraîche » depuis le début des campagnes sont globalement dans le même ordre de grandeur.

A l'inverse, en ce qui concerne la station St06 les concentrations en  $\text{NH}_4$  ne montrent pas de constance particulière entre les campagnes. On observe que les concentrations sont variables entre les campagnes ainsi qu'au sein même de la colonne d'eau. A la station St15, les concentrations en  $\text{NH}_4$  sont plus souvent du même ordre de grandeur aux 3 niveaux de profondeur de 2008 à 2012. Exception faite lors des campagnes de 2010 et 2013 où les concentrations sont plus faibles en surface. Depuis 2015, les concentrations au fond augmentent légèrement. Ce phénomène est à suivre afin de vérifier une éventuelle évolution persistante. Ces observations seraient en partie à lier à la présence de matières organiques issues essentiellement de la dégradation des débris végétaux terrigènes apportés, respectivement, par les deux creeks de manière événementielle (précipitations atmosphériques).

### 1. Nitrates et nitrites

A la station St05, les concentrations de  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  sont assez variables entre les campagnes ainsi qu'au sein même de la colonne d'eau et ne montrent pas de tendance particulière.

A la station St09, les concentrations étant très faibles, la variation observée ne semble pas significative. En effet, à l'exception de la concentration haute mesurée au fond en 2009, les concentrations restent dans le même ordre de grandeur entre les différentes campagnes. Toutefois, il semblerait qu'à cette station le  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  se concentre plus au fond, comme constaté pour le  $\text{NH}_4$ , en lien avec le cycle naturel de l'azote

Pour les stations St06 et St15, les concentrations en  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  montrent des augmentations importantes pour certaines années (2013, voire 2014), qui affectent l'ensemble de la colonne d'eau, comme il a été constaté pour le  $\text{NH}_4$  et pour des raisons identiques.

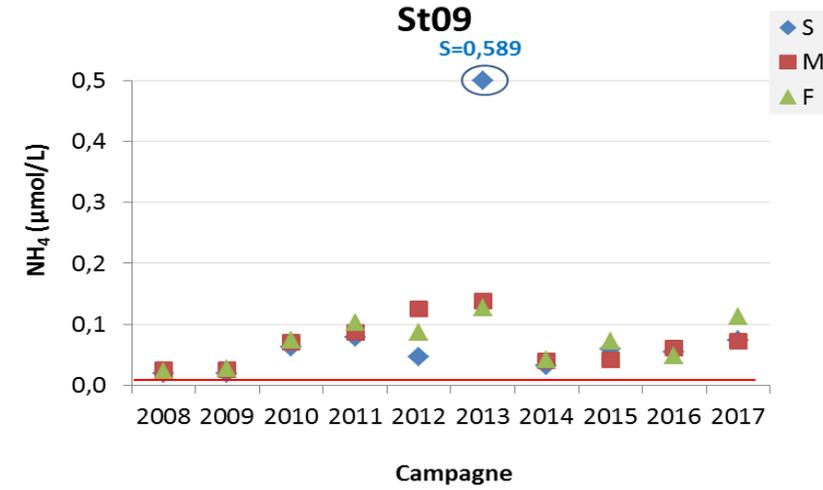
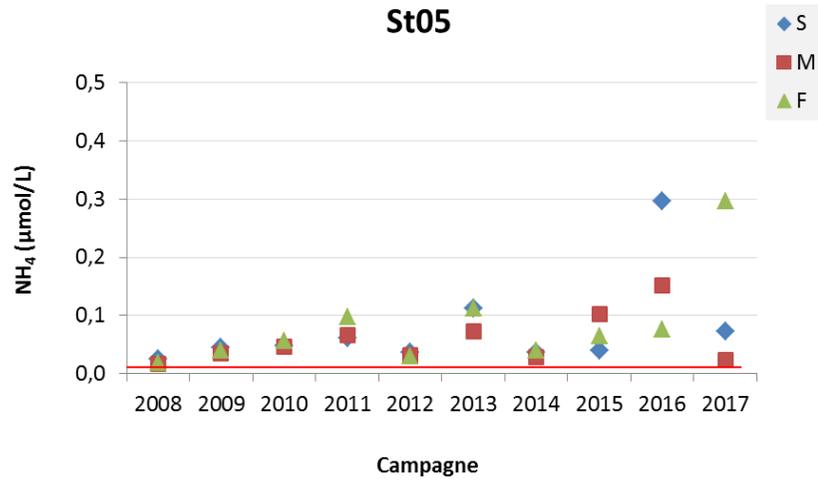


Figure 27 : Concentrations d'ammonium (NH<sub>4</sub>) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 µmol/L).

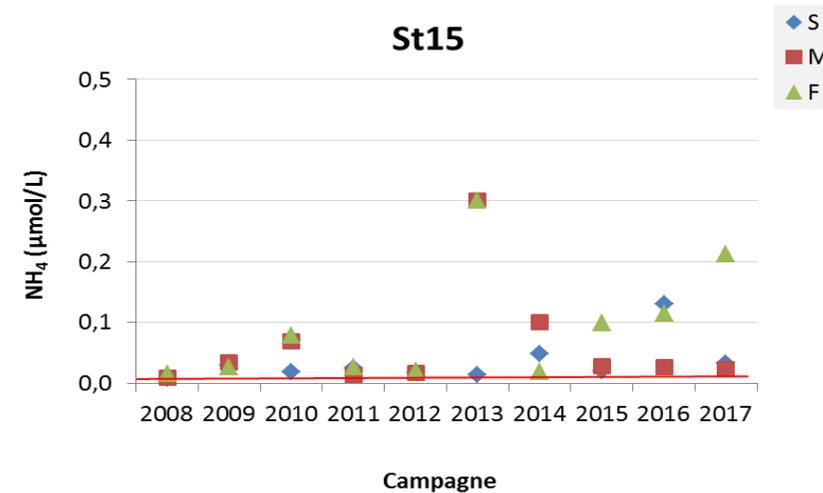
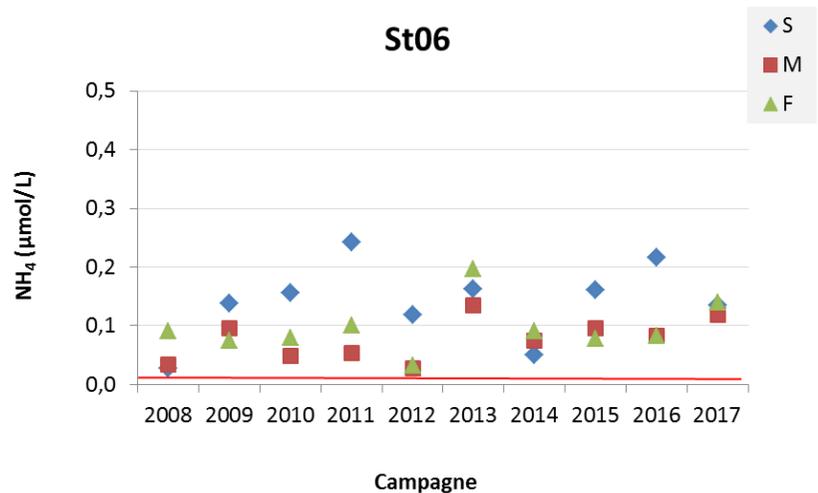


Figure 28 : Concentrations d'ammonium (NH<sub>4</sub>) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 µmol/L).

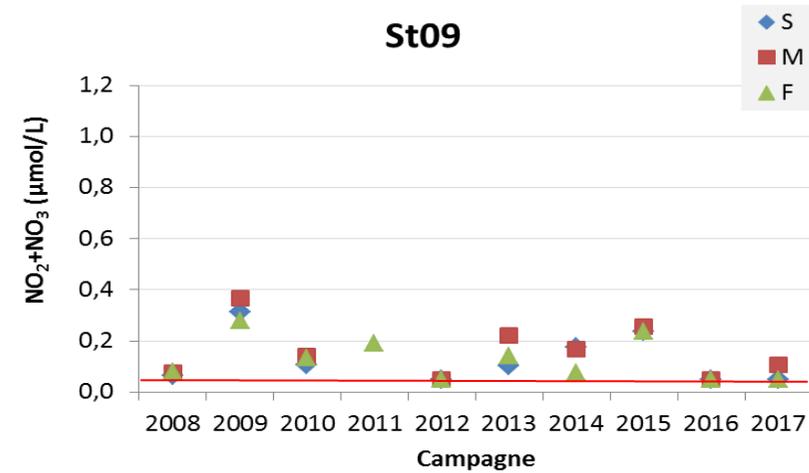
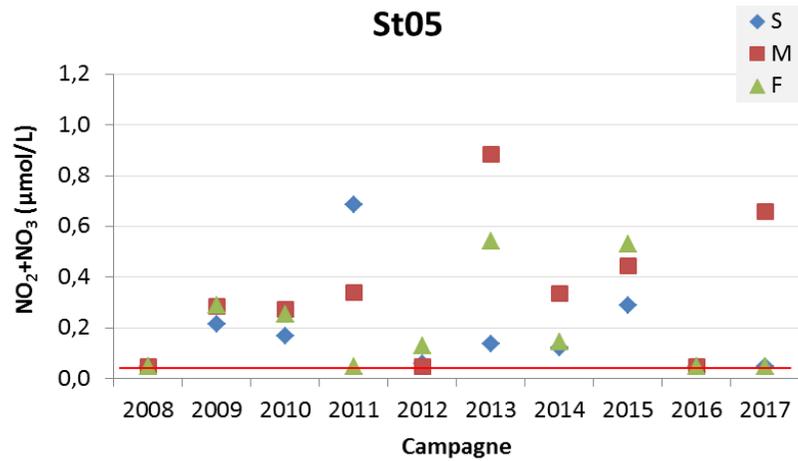


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2017); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

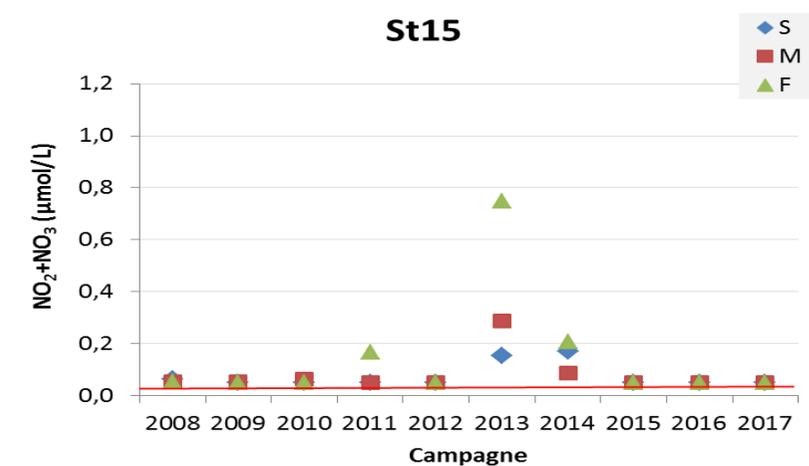
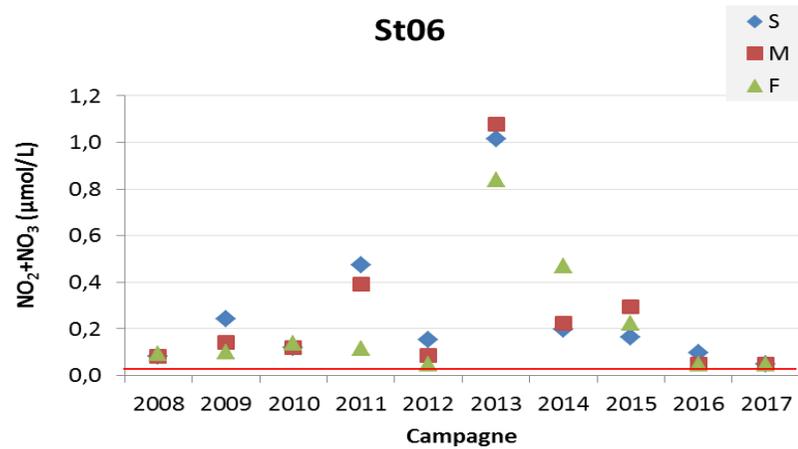


Figure 30 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

**Ce qu'il faut retenir :**

En ce qui concerne les nutriments ( $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ), aux stations du large, hormis certaines valeurs de concentrations ponctuelles, aucune tendance verticale, voire temporelle, ne semble se dessiner. Les quelques variations temporelles modérées observées à la station St05, située à proximité du récif barrière, et à la station St09, située dans le Canal de la Havannah sont en lien avec l'activité de la production primaire probablement accompagnée de remontées d'eaux profondes riches en nutriments (up-welling), comme déjà mentionnées dans les rapports précédents. La moins grande variabilité temporelle et verticale que l'on enregistre à ces stations du large sont, en grande partie, explicables par l'éloignement à la côte et les mécanismes de brassage qui tendent à homogénéiser les eaux. Toutefois, et en dépit des conditions hydrodynamiques à la station St09, l'étude chronologique met en évidence un léger gradient « surface-fond » croissant dû à la stratification des eaux.

En revanche, les concentrations en  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ , sont plus variables entre les campagnes aux stations de baies, St06 et St15, ce qui reflète les différentes contributions terrigènes qu'elles subissent.

## B. METAUX DISSOUS

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

L'évolution des concentrations de Co,  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations St03, St06 et St15 a été reportée dans les Figure 31, Figure 32, Figure 33 et Figure 34.

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

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

- Les concentrations de Mn sont très dispersées puisqu'elles varient fortement sur l'intégralité de la colonne d'eau (S :  $0,414 \pm 0,286 \mu\text{g/L}$  ; M :  $0,170 \pm 0,087$  et F :  $0,241 \pm 0,156 \mu\text{g/L}$ ). Cette variabilité est liée au comportement intrinsèque du Mn dissous qui est très fortement corrélé à la quantité de MES présente dans les eaux et aux réactions de précipitation/dissolution associées ;
- Les concentrations de  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  varient uniquement dans les eaux de surface (S :  $0,287 \pm 0,289 \mu\text{g/L}$  ; M :  $0,149 \pm 0,040$  et F :  $0,155 \pm 0,039 \mu\text{g/L}$ ), en dessous, elles sont remarquablement constantes ;
- Les concentrations de Co (S :  $0,079 \pm 0,033 \mu\text{g/L}$  ; M :  $0,039 \pm 0,010$  et F :  $0,042 \pm 0,012 \mu\text{g/L}$ ) et Ni (S :  $0,520 \pm 0,432 \mu\text{g/L}$  ; M :  $0,231 \pm 0,089$  et F :  $0,287 \pm 0,106 \mu\text{g/L}$ ) varient également essentiellement dans les eaux de surface.

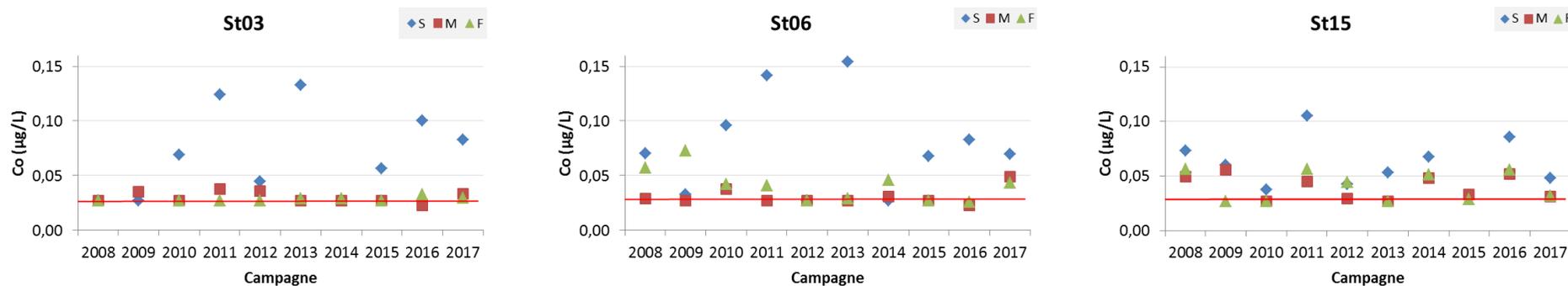


Figure 31 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

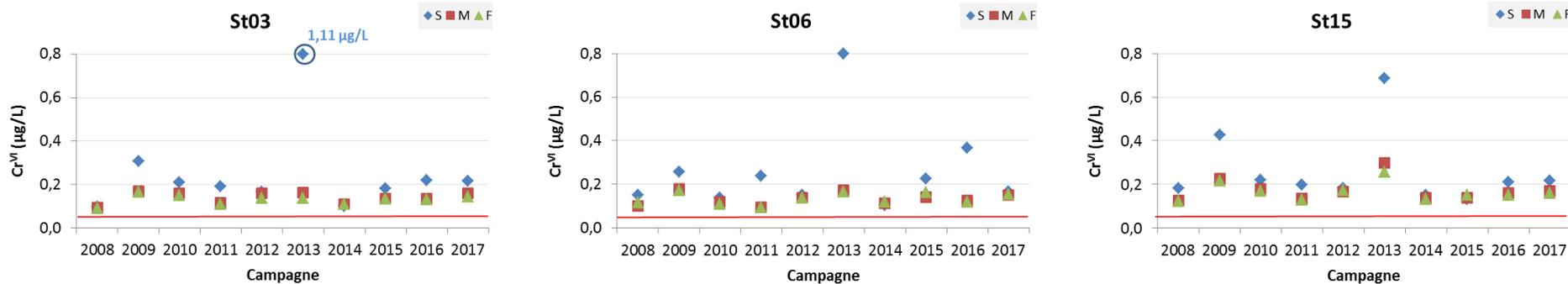


Figure 32 : Concentrations de chrome hexavalent ( $Cr^{VI}$ ) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

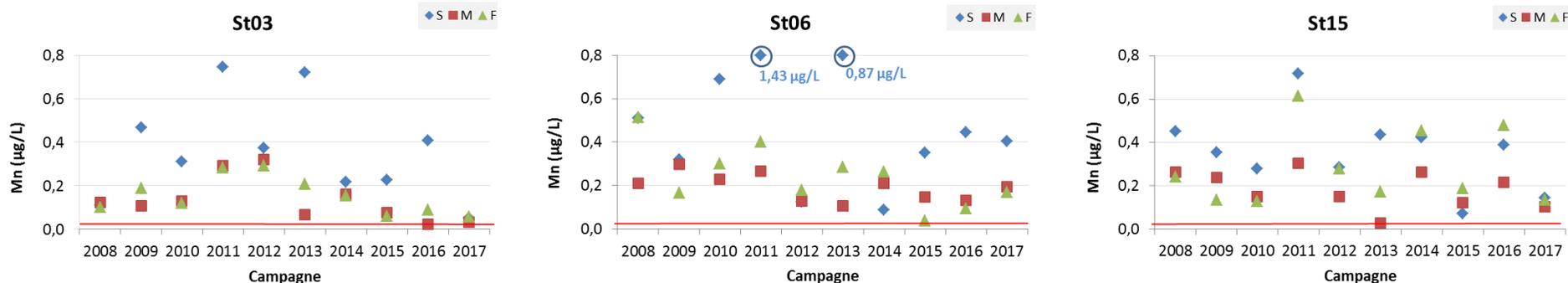


Figure 33 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

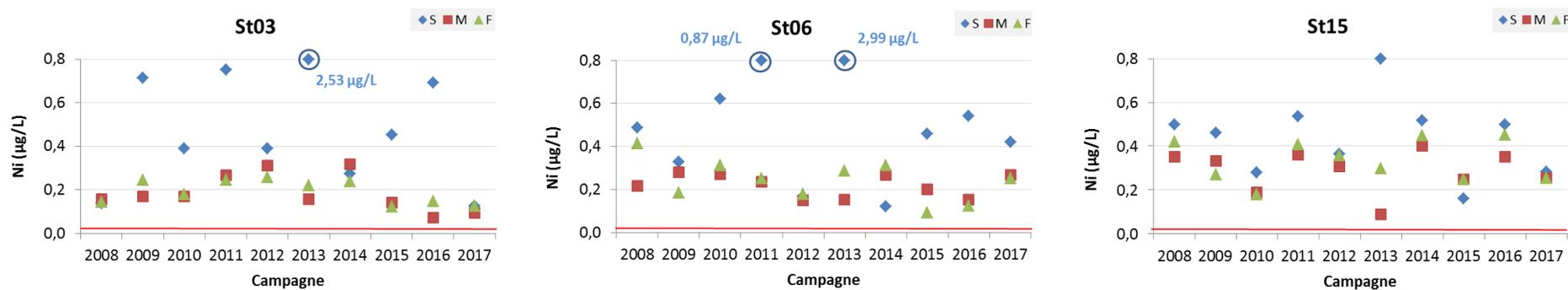


Figure 34 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

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

L'évolution des concentrations de  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations St05, St07 et St09 a été reportée dans la Figure 35, Figure 36 et Figure 37.

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

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

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations du canal, les concentrations de Co restent régulièrement en dessous des limites de quantification ( $<0,027\mu\text{g/L}$ ). Les concentrations obtenues de  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , quelle que soit la profondeur, sont moins dispersées (S :  $0,114 \pm 0,027\mu\text{g/L}$  ; M :  $0,112 \pm 0,024$  et F :  $0,116 \pm 0,024 \mu\text{g/L}$ ) tandis que celles de Mn sont un peu plus variables (S :  $0,078 \pm 0,044 \mu\text{g/L}$  ; M :  $0,076 \pm 0,028$  et F :  $0,085 \pm 0,039 \mu\text{g/L}$ ) en raison de sa chimie particulière. Les concentrations de Ni montrent également une certaine variabilité sur l'intégralité de la colonne d'eau (S :  $0,113 \pm 0,061\mu\text{g/L}$  ; M :  $0,108 \pm 0,040$  et F :  $0,124 \pm 0,043\mu\text{g/L}$ ) avec des valeurs supérieures aux années précédentes à la station St05.

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

### Ce qu'il faut retenir :

En ce qui concerne le Co,  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , Mn et Ni dissous, un enrichissement des eaux de surface des stations des baies, notamment en St15 a été mis en évidence, depuis 2009, mais hormis des conditions particulières de 2013 dues aux précipitations intenses (voire 2011 pour une raison non expliquée), elles sont stabilisées.

Aux stations du Canal, les concentrations demeurent faibles ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , Mn et Ni) voire en dessous de la LQ (Co) et particulièrement stables dans la colonne d'eau depuis la mise en place du début du suivi marin.

Enfin, les concentrations obtenues aux différentes stations lors de la campagne de 2017 sont globalement dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des précédentes campagnes de « saison fraîche » depuis 2008. La station St07 qui montre la variabilité la plus importante correspond à une aire de mélanges des eaux d'influences océanique et terrigène. En raison de l'influence nettement océanique qu'elle subit, la station St05, (en particulier) ne montre aucune variation des concentrations en métaux dissous.

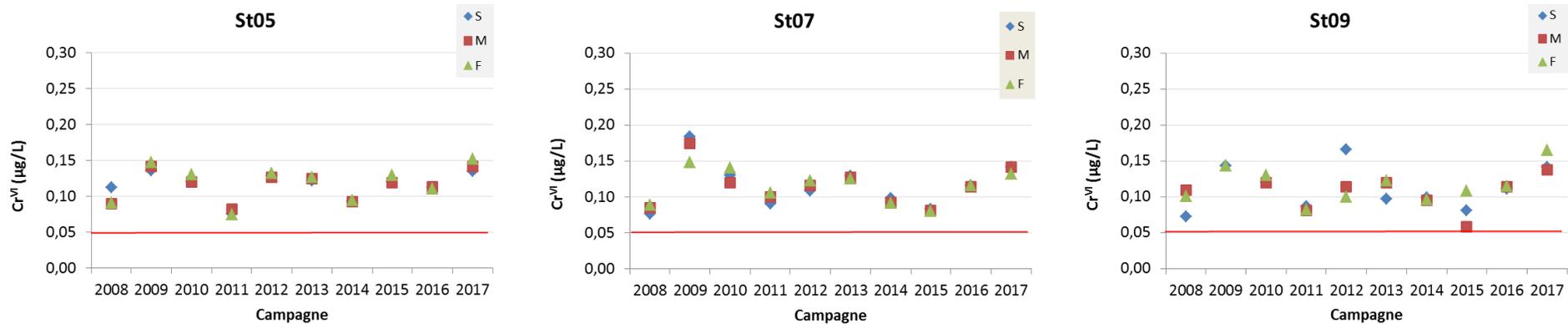


Figure 35 : Concentrations de chrome hexavalent ( $Cr^{VI}$ ) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050  $\mu g/L$ ).

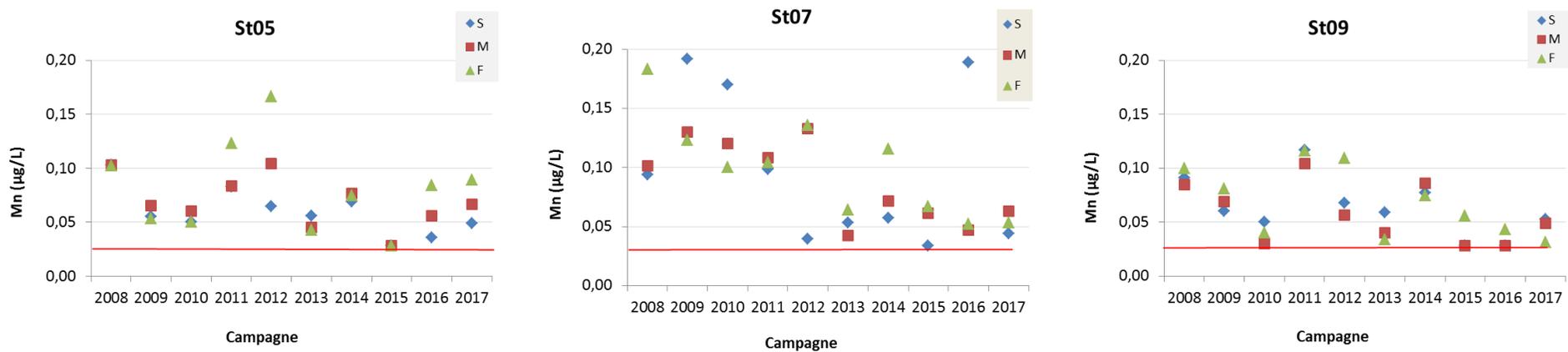


Figure 36 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028  $\mu g/L$ ).

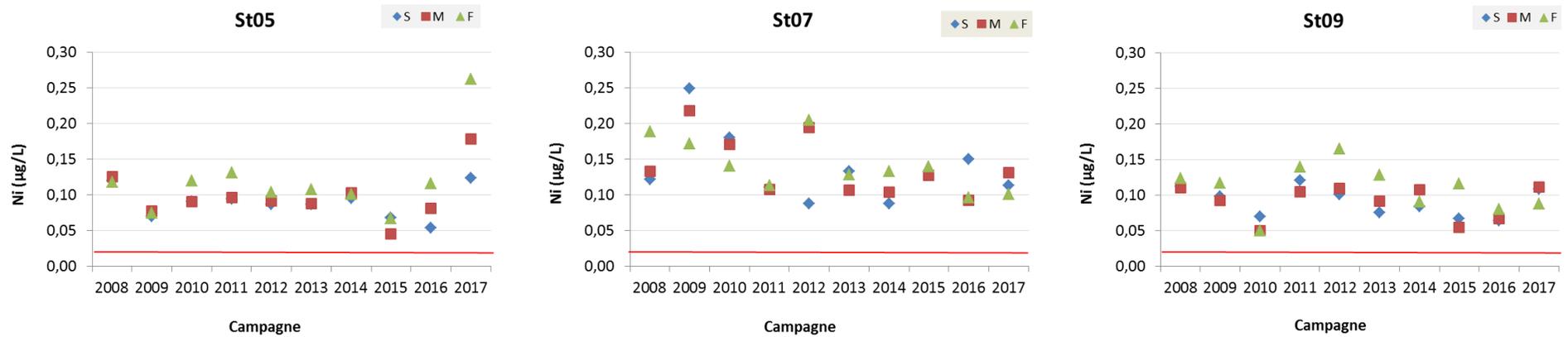


Figure 37 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2017) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

## V. CONCLUSION

Lors de cette campagne semestrielle « saison fraîche », les principales variations des paramètres physico-chimiques (ex : salinité, turbidité et fluorescence), des concentrations en sels nutritifs ou en métaux latéritiques dissous (ex. : Co, Cr<sup>VI</sup>, Cr-total, Mn et Ni), sont proches des campagnes passées. Elles mettent en évidence les différentes influences environnementales agissant dans la zone étudiée du lagon du sud.

Ainsi, en fonction de la distance des émissaires naturels et des conditions hydrodynamiques, les concentrations de ces paramètres chimiques se distribuent selon un même gradient « côte-large » de manière évidente. Les concentrations de SiO<sub>4</sub>, de Co, Mn et de Ni dissous sont plus élevées près des côtes (Baie de la Kwé et Baie du Prony) et les plus faibles dans le Canal de la Havannah. Pour ces stations de côte, les concentrations se distribuent également selon un gradient « surface-fond » ; les eaux de surface étant plus riches. Les concentrations de SiO<sub>4</sub>, de Co, Mn et Ni dissous, élevées dans les eaux de surface sont corrélées avec les profils de salinité ; une couche dessalée ayant été observée dans les eaux de surface dans ces baies.

Mêmes incomplets pour cette campagne, les profils de turbidité, fluorescence, température et salinité, permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigènes. L'influence des apports d'eau douce en surface des stations de baie sont bien visibles mais il est plus difficile d'observer le comportement de tous les paramètres le long de la colonne d'eau.

Pour les sels nutritifs et les matières organiques, plusieurs termes sources peuvent agir simultanément dans cette zone d'étude: le ruissellement naturel et forcé des sols, les activités biologiques (l'absorption d'azote et de phosphore minérales, la production d'azote et de phosphore *via* la fixation du N<sub>2</sub> et par la dégradation des formes organiques) et enfin la remontée d'eaux profondes riches en minéraux (upwelling) ; à cette énumération peuvent s'ajouter les diverses activités anthropiques (base vie ?...).

En raison de leurs multiples termes sources, en plus de la labilité chimique de certains éléments (par exemple, la réduction et l'oxydation rapide de NH<sub>4</sub> et NO<sub>2</sub>) et le court temps de résidence dans l'environnement (par exemple, absorption de NO<sub>3</sub> par les organismes), la répartition spatio-temporelle de ces éléments au débouché d'un bassin versant peut fortement diverger au sein et au fil des campagnes.

En ce qui concerne les concentrations en métaux dissous, celles-ci sont plus importantes en Co, Cr(VI), Mn, Ni dans les eaux superficielles et en particulier les baies du Canal et de Port Boisé en lien avec les profils de salinité, température et turbidité des masses d'eau.

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

L'étude des variations inter-campagnes des sels nutritifs (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>) aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15) ne met pas en évidence d'évolution temporelle depuis le début des suivis. Les concentrations en NH<sub>4</sub> restent toutefois à surveiller aux stations St05 et St15 car elles sont croissantes depuis 3 ans, sans toutefois, atteindre des seuils préoccupants.

Pour les métaux dissous (Co, Cr<sup>VI</sup>, Mn et Ni), cette étude n'a pas non plus montré d'évolution temporelle pour les stations de baies (St03, St06 et St15) ni pour les stations du Canal (St05, St07 et St09).

Enfin, les variations observées dans les concentrations de  $\text{NH}_4$ , Mn et Ni entre les campagnes aux stations sentinelles n'ont pu être corrélées formellement avec les précipitations uniquement. En effet, ces niveaux de concentrations doivent probablement être le résultat de la combinaison des plusieurs facteurs d'ordre météorologiques (vitesse et direction des vents), mais aussi hydrodynamiques (courants, marées, horaires de prélèvement), biologiques (efflorescence) et anthropiques (activité minière, portuaire, hôtelière,...).

## REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n° 9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n° 1312.
- Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Rouspard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1<sup>er</sup> semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1<sup>er</sup> semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1<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.
- Kaplan H, Laurent A, Drouzy M, Moreton, Fernandez JM (2016). 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 2017. Contrat AEL/Vale-NC n° E98084, 93p.
- 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 LA CAMPAGNE (03/08/2017 AU 07/08/17) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (08 AU 10/08/17). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE". .....	12
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 08 AU 10 AOUT 2017.....	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 2017. ....	15
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 2017. ....	16
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 2017. ....	17
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 2017.....	18
FIGURE 8: CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	22
FIGURE 9: CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH <sub>4</sub> ) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	24
FIGURE 10 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO <sub>4</sub> ) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	25
FIGURE 11: CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO <sub>4</sub> ) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	26
FIGURE 12 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017.....	28
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	28
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	29
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	30
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	30
FIGURE 17 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	32
FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017.....	35
FIGURE 19:CONCENTRATIONS EN CUIVRE (Cu) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	36
FIGURE 20:CONCENTRATIONS EN FER (Fe) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	36
FIGURE 21: CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017.....	37

FIGURE 22 : CONCENTRATIONS EN CHROME (Cr <sup>VI</sup> ) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017 . . . . .	38
FIGURE 23 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017 . . . . .	38
FIGURE 24 : CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017 . . . . .	39
FIGURE 25: CONCENTRATIONS EN PLOMB (Pb) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017 . . . . .	39
FIGURE 26 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2017 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION » . . . . .	41
FIGURE 27 : 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 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L) . . . . .	43
FIGURE 28 : 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 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L) . . . . .	43
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 ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2007 A 2017); LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L) . . . . .	44
FIGURE 30 : 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 2017); LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L) . . . . .	44
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2007 A 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L) . . . . .	46
FIGURE 32 : 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 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L) . . . . .	46
FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L) . . . . .	47
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L) . . . . .	47
FIGURE 35 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr <sup>VI</sup> ) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L) . . . . .	49
FIGURE 36 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L) . . . . .	49
FIGURE 37 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2017) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L) . . . . .	50

## 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 2017. ....	14
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 2017. ....	20
TABLEAU 4:CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017.....	22
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017.....	26
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	31
TABLEAU 7: CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	32
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (As, Cr(VI), Cr-TOTAL, Co ET Cu) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	34
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (Fe, Mn, Ni, Pb ET Zn) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017. ....	35

## ANNEXES

ANNEXE 1.....	59
ANNEXE 2.....	64
ANNEXE 3.....	66
ANNEXE 4.....	68
ANNEXE 5.....	70
ANNEXE 6.....	72
ANNEXE 7.....	74
ANNEXE 8.....	78
ANNEXE 9.....	83
ANNEXE 10.....	84

# ANNEXE 1

## METHODOLOGIE

### STRUCTURES DES MASSES D'EAU

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

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

- la pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- la salinité (‰), déduite de la mesure de la conductivité ;
- la température (°C) ;
- la turbidité par mesure de la 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	NA*	0,01
Fluorescence (mg/m <sup>3</sup> )	0 - 50	NA*	0,025

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

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

- le dosage des ions calcium (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>) a été réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- le dosage des ions sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) a été réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- la mesure du pH (pHmètre WTW) ;

- la détermination de la concentration en MES (Matière En Suspension) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore<sup>®</sup> de 0,45 µm de porosité).

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

## ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

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

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH<sub>4</sub>) ;
- PEHD et stockés 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. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatma<sup>®</sup> GF/F (porosité 0,7 µm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

### a) 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>) obtenus 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). 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 & Luegbbbe, 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.

### b) Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et d'ion ammonium (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 infimes de NH<sub>4</sub>. 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.

### c) 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 µmol/L avec des limites de quantification d'environ 0,05 µmol/L.

#### e) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de [Mullin et Riley, 1955](#), modifiée par [Fanning et Pilson \(1973\)](#). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0,5 à 15 µmol/L, la limite de quantification est de 0,6 µmol/L et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µmol/L de SiO<sub>4</sub>.

### ANALYSE DE MATIERE ORGANIQUE

#### a) Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique dissous ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)) et les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub> et les PO<sub>4</sub>. Ceci par la méthode d'oxydation par voie humide utilisée, simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & 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.

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

#### b) Azote et phosphore organiques particulaires

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)) et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub> et les PO<sub>4</sub>. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

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

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

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

Soit :

- [NOP] et [POP] = les concentrations respectives en azote et phosphate organiques particulaires ;
- [NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>]<sub>t</sub> et [PO<sub>4</sub>]<sub>t</sub> = les concentrations respectives en nitrates+nitrites et phosphates mesurées après oxydation au persulfate ;
- V<sub>1</sub> = le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V<sub>2</sub> le volume d'eau de mer filtré (mL).

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.

### c) Carbone organique particulaire

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

## ANALYSE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

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

## ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

### Conditionnement des échantillons

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

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à 0,45  $\mu\text{m}$  (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 (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à 0,45  $\mu\text{m}$  (filtres Millipore<sup>®</sup>, qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de Rouen pour l'analyse de l'**As** dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) (NF EN ISO 17294-2).
- les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à 0,45  $\mu\text{m}$  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 pour cette méthode sont regroupées dans le Tableau 2.

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

Element	LQ (µg/L)
As	1,000
Cd	0,025
Co	0,027
Cr <sup>VI</sup> /Cr-total	0,050
Cu	0,025
Fe	0,059
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,100
Zn	1,000

## TRAITEMENTS STATISTIQUES

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

## ANNEXE 2

### Variables physico-chimiques

Minimums, maximums, moyennes et écart-types des données physico-chimiques mesurées dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m <sup>3</sup> )	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St02	Minimum	22,79	0,15	ND	35,51
	Maximum	22,86	0,44	ND	35,55
	Moyenne	22,81	0,28	ND	35,53
	Ecart-type	0,03	0,05	ND	0,01
St03	Minimum	22,84	0,20	0,00	35,51
	Maximum	22,84	0,41	0,51	35,52
	Moyenne	22,84	0,32	0,21	35,51
	Ecart-type	0,00	0,04	0,16	0,00
St05	Minimum	22,84	0,14	0,31	35,48
	Maximum	23,01	0,50	0,64	35,52
	Moyenne	22,86	0,36	0,39	35,52
	Ecart-type	0,03	0,07	0,04	0,01
St06	Minimum	22,81	0,14	0,25	35,50
	Maximum	22,90	0,44	0,60	35,53
	Moyenne	22,82	0,30	0,32	35,53
	Ecart-type	0,02	0,06	0,05	0,00
St07	Minimum	22,55	0,01	0,00	35,56
	Maximum	22,85	0,42	5,74	35,74
	Moyenne	22,72	0,30	0,60	35,61
	Ecart-type	0,06	0,07	1,35	0,04
St09	Minimum	22,69	0,00	ND	35,43
	Maximum	22,70	0,56	ND	35,47
	Moyenne	22,70	0,26	ND	35,44
	Ecart-type	0,00	0,08	ND	0,01
St13	Minimum	22,51	0,13	ND	35,50
	Maximum	22,62	0,34	ND	35,55
	Moyenne	22,57	0,25	ND	35,54
	Ecart-type	0,05	0,05	ND	0,01
St14	Minimum	22,84	0,27	ND	35,48
	Maximum	22,86	0,44	ND	35,50
	Moyenne	22,85	0,35	ND	35,49
	Ecart-type	0,00	0,04	ND	0,00

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m <sup>3</sup> )	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St15	Minimum	22,38	0,12	0,12	35,66
	Maximum	22,67	0,50	0,50	35,75
	Moyenne	22,54	0,27	0,27	35,71
	Ecart-type	0,11	0,10	0,10	0,02
St16	Minimum	22,36	0,00	0,00	35,64
	Maximum	22,56	0,21	0,21	35,70
	Moyenne	22,41	0,11	0,11	35,69
	Ecart-type	0,05	0,04	0,04	0,01
St18	Minimum	22,34	0,09	0,09	35,68
	Maximum	22,36	0,18	0,18	35,69
	Moyenne	22,35	0,13	0,13	35,68
	Ecart-type	0,01	0,02	0,02	0,00
St19	Minimum	22,37	0,14	0,14	35,76
	Maximum	22,49	0,52	0,52	35,81
	Moyenne	22,40	0,34	0,34	35,78
	Ecart-type	0,03	0,08	0,08	0,01
St20	Minimum	22,43	0,23	0,23	35,79
	Maximum	22,44	0,36	0,36	35,80
	Moyenne	22,44	0,31	0,31	35,79
	Ecart-type	0,00	0,03	0,03	0,00
St21	Minimum	22,42	0,18	0,18	35,76
	Maximum	22,58	0,50	0,50	35,80
	Moyenne	22,53	0,28	0,28	35,79
	Ecart-type	0,05	0,04	0,04	0,01

## ANNEXE 3

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

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO <sub>4</sub>	MES	
St02	S	450	512	1388	11597	20261	2715	0,166	8,2
	M	472	527	1463	12038	20261	2825	0,359	8,2
	F	462	519	1430	11795	19562	2770	0,249	8,2
St03	S	449	514	1396	11610	20960	2835	1,066	8,2
	M	434	509	1356	11423	20261	2560	0,398	8,2
	F	458	523	1461	11923	20261	2710	0,354	8,2
St05	S	450	514	1390	11612	19562	2770	0,211	8,2
	M	422	506	1321	11299	20960	2765	0,258	8,2
	F	433	505	1335	11261	20960	3015	0,227	8,2
St06	S	447	512	1390	11529	20960	2755	1,979	8,2
	M	501	554	1563	12719	20261	2685	0,576	8,2
	F	464	524	1444	11920	20261	2835	0,998	8,2
St07	S	457	519	1418	11725	20960	2745	0,268	8,2
	M	502	543	1563	12569	20261	2775	0,353	8,2
	F	482	533	1491	12311	20960	2735	0,188	8,2
St09	S	481	526	1499	12163	19562	2570	0,161	8,2
	M	493	540	1525	12418	20960	2730	0,179	8,2
	F	427	514	1305	11360	20261	2680	0,404	8,2
St13	S	490	540	1523	12463	20960	2760	0,308	8,2
	M	479	537	1487	12278	20261	2580	0,399	8,2
	F	467	518	1472	11853	20960	2670	1,039	8,2
St14	S	423	508	1285	11136	20960	2800	0,294	8,2
	M	441	508	1360	11430	20960	2810	0,622	8,1
	F	457	519	1428	11794	20261	2795	1,084	8,2
St15	S	473	529	1474	12135	20960	2915	0,344	8,2
	M	535	579	1671	13447	20960	2955	0,722	8,2
	F	514	553	1601	12893	20960	2680	0,915	8,2
St16	S	520	575	1617	13178	20261	2755	0,413	8,2
	M	482	550	1493	12454	20960	2575	0,364	8,2
	F	516	567	1602	13049	20960	2720	0,429	8,2

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO <sub>4</sub>	MES	
St18	S	454	516	1406	11666	20960	2970	0,320	8,2
	M	501	555	1563	12794	20960	2835	0,569	8,2
	F	528	563	1653	13193	20960	2700	0,422	8,2
St19	S	522	573	1679	13381	20960	2870	0,299	8,2
	M	500	553	1557	12688	20261	2850	0,320	8,2
	F	430	524	1319	11591	20960	2830	0,416	8,2
St20	S	477	542	1521	12457	20960	2690	0,325	8,2
	M	497	544	1547	12624	20960	2745	0,526	8,2
	F	487	549	1545	12673	20261	2715	0,500	8,2
St21	S	533	571	1661	13372	20960	2675	0,160	8,2
	M	492	542	1532	12507	21658	2765	0,330	8,2
	F	506	554	1571	12811	20960	2725	0,234	8,2

## ANNEXE 4

### Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>
St02	S	<0,050	0,187	<0,050	1,69
	M	<0,050	0,060	0,077	1,72
	F	<0,050	0,065	0,078	1,68
St03	S	<0,050	0,047	<0,050	3,28
	M	<0,050	0,040	<0,050	2,14
	F	<0,050	0,063	<0,050	2,17
St05	S	<0,050	0,072	0,072	1,75
	M	0,660	0,224	0,101	1,63
	F	<0,050	0,296	0,088	1,81
St06	S	<0,050	0,134	<0,050	4,09
	M	<0,050	0,119	0,065	2,84
	F	<0,050	0,139	<0,050	2,76
St07	S	<0,050	0,061	0,071	1,46
	M	<0,050	0,084	0,071	1,61
	F	<0,050	0,060	0,063	1,36
St09	S	<0,050	0,074	0,081	1,70
	M	0,108	0,072	<0,050	1,41
	F	<0,050	0,112	0,075	1,44
St13	S	<0,050	0,104	<0,050	2,21
	M	<0,050	0,029	<0,050	1,86
	F	<0,050	0,052	<0,050	2,59
St14	S	<0,050	0,082	0,091	1,95
	M	1,361	0,127	<0,050	2,04
	F	0,372	0,125	0,101	1,95
St15	S	<0,050	0,033	<0,050	4,18
	M	<0,050	0,024	<0,050	3,35
	F	<0,050	0,213	0,109	3,63
St16	S	<0,050	0,025	<0,050	3,50
	M	<0,050	0,036	<0,050	3,21
	F	<0,050	0,177	0,055	2,71

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>4</sub>
St18	S	<0,050	0,026	<0,050	3,95
	M	<0,050	0,207	<0,050	2,68
	F	<0,050	0,041	<0,050	2,75
St19	S	<0,050	0,038	<0,050	2,47
	M	<0,050	0,022	<0,050	2,54
	F	<0,050	0,036	<0,050	2,47
St20	S	<0,050	0,086	0,061	1,55
	M	<0,050	0,044	<0,050	1,83
	F	<0,050	0,047	<0,050	2,05
St21	S	<0,050	0,050	0,059	1,52
	M	<0,050	0,056	0,074	1,73
	F	<0,050	0,123	0,072	1,79

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

## ANNEXE 5

### Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle $\alpha$

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle  $\alpha$  du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique ( $\mu\text{mol/L}$ )						Chlorophylle $\alpha$ ( $\mu\text{g/L}$ )	
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St02	S	4,03	0,559	0,000	0,000	8,33	4,78	<0,050	0,351
	M	4,37	0,731	0,000	0,062	9,17	5,16	<0,050	0,324
	F	4,36	0,936	0,000	0,061	10,00	5,36	<0,050	0,312
St03	S	13,40	0,772	0,000	0,082	6,67	14,22	<0,050	0,453
	M	4,71	0,858	0,000	0,063	8,33	5,61	0,055	0,452
	F	4,17	0,572	0,000	0,000	5,00	4,81	<0,050	0,369
St05	S	5,01	0,687	0,000	0,000	7,50	5,77	<0,050	0,345
	M	5,14	0,744	0,000	0,061	9,17	6,77	0,068	0,291
	F	3,03	0,590	0,000	0,088	8,33	3,91	<0,050	0,329
St06	S	7,67	0,795	0,000	0,093	7,50	8,60	0,083	0,371
	M	8,82	0,801	0,030	0,110	7,50	9,74	0,204	0,219
	F	5,94	0,777	0,000	0,102	7,50	6,86	0,062	0,233
St07	S	4,19	0,495	0,000	0,055	5,00	4,74	<0,050	0,283
	M	5,46	0,711	0,000	0,087	9,17	6,26	0,082	0,431
	F	8,58	0,532	0,000	0,102	7,50	9,17	0,087	0,410
St09	S	6,50	0,520	0,000	0,069	5,83	7,10	0,107	0,210
	M	5,34	0,565	0,096	0,000	10,00	6,09	0,096	0,326
	F	5,74	0,537	0,000	0,087	7,50	6,39	0,093	0,260
St13	S	6,57	0,639	0,039	0,083	10,00	7,32	0,122	0,388
	M	6,48	0,814	0,000	0,088	ND	7,32	<0,050	0,406
	F	3,52	0,741	0,000	0,079	5,83	4,32	<0,050	0,298
St14	S	6,17	0,624	0,000	0,054	9,17	6,87	0,114	0,224
	M	4,97	0,946	0,000	0,072	15,00	7,40	0,062	0,248
	F	3,34	0,819	0,000	0,063	10,00	4,66	<0,050	0,261
St15	S	11,17	0,811	0,127	0,074	9,17	12,01	0,201	0,345
	M	9,03	1,332	0,030	0,128	13,33	10,38	0,158	0,546
	F	8,85	1,087	0,058	0,084	9,17	10,15	0,252	0,782
St16	S	5,61	0,662	0,000	0,076	6,67	6,30	<0,050	0,193
	M	4,36	1,217	0,000	0,088	9,17	5,61	<0,050	0,370
	F	4,53	0,685	0,000	0,085	5,83	5,40	0,054	0,387

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)						Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)	
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT		PT
St18	S	6,03	0,795	0,000	0,092	7,50	6,85	<0,050	0,337
	M	3,98	0,996	0,000	0,084	9,17	5,19	<0,050	0,350
	F	5,19	0,722	0,000	0,097	8,33	5,95	<0,050	0,441
St19	S	6,71	0,741	0,129	0,102	5,83	7,48	0,231	0,406
	M	8,70	1,000	0,052	0,114	7,50	9,72	0,166	0,386
	F	7,98	0,767	0,104	0,065	5,00	8,79	0,170	0,478
St20	S	8,35	0,618	0,112	0,074	6,67	9,05	0,247	0,272
	M	3,28	0,855	0,000	0,076	9,17	4,18	<0,050	0,305
	F	10,32	0,640	0,000	0,000	13,33	11,01	<0,050	0,388
St21	S	3,66	0,548	0,000	0,062	8,33	4,26	<0,050	0,353
	M	6,31	0,637	0,032	0,064	9,17	7,00	0,171	0,340
	F	6,75	0,472	0,000	0,060	7,50	7,34	0,123	0,346

## ANNEXE 6

### Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr <sup>VI</sup>	Cr <sub>total</sub>	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St02	S	2,2	<0,025	0,140	0,182	<0,027	<0,025	0,108	0,050	0,125	0,111	<1,000
	M	2,1	<0,025	0,135	0,140	<0,027	<0,025	<0,068	0,032	0,095	<0,100	<1,000
	F	2,5	<0,025	0,131	0,151	<0,027	<0,025	0,069	0,058	0,125	0,396	<1,000
St03	S	2,4	<0,025	0,216	0,242	0,083	<0,025	<0,068	0,252	0,462	0,150	<1,000
	M	2,2	<0,025	0,161	0,177	0,033	<0,025	<0,068	0,121	0,233	<0,100	<1,000
	F	2,1	<0,025	0,144	0,185	0,029	<0,025	<0,068	0,118	0,204	<0,100	<1,000
St05	S	2,4	<0,025	0,135	0,162	<0,027	<0,025	0,102	0,049	0,123	<0,100	<1,000
	M	2	<0,025	0,141	0,401	<0,027	0,097	<0,068	0,066	0,178	<0,100	<1,000
	F	2,4	<0,025	0,152	0,196	<0,027	0,212	0,279	0,089	0,262	<0,100	<1,000
St06	S	1,7	<0,025	0,166	0,185	0,070	<0,025	0,195	0,405	0,419	<0,100	<1,000
	M	2	<0,025	0,150	0,185	0,049	<0,025	0,082	0,196	0,267	<0,100	<1,000
	F	2	<0,025	0,154	0,185	0,043	<0,025	<0,068	0,170	0,252	<0,100	<1,000
St07	S	2,5	<0,025	0,141	0,161	<0,027	<0,025	<0,068	0,044	0,113	<0,100	<1,000
	M	2,5	<0,025	0,141	0,160	<0,027	<0,025	<0,068	0,063	0,131	<0,100	<1,000
	F	1,8	<0,025	0,132	0,175	<0,027	<0,025	<0,068	0,054	0,101	<0,100	<1,000
St09	S	2	<0,025	0,141	0,158	<0,027	<0,025	<0,068	0,053	0,109	0,104	<1,000
	M	2,6	<0,025	0,137	0,157	<0,027	<0,025	<0,068	0,049	0,111	<0,100	<1,000
	F	2,3	<0,025	0,165	0,155	<0,027	<0,025	<0,068	0,031	0,087	<0,100	<1,000
St13	S	2	<0,025	0,145	0,212	<0,027	<0,025	<0,068	0,072	0,154	<0,100	<1,000
	M	2,4	<0,025	0,139	0,177	<0,027	<0,025	<0,068	0,073	0,188	<0,100	<1,000
	F	2	<0,025	0,139	0,174	<0,027	<0,025	<0,068	0,054	0,167	<0,100	<1,000
St14	S	2,2	<0,025	0,152	0,261	<0,027	<0,025	0,139	0,069	0,159	<0,100	<1,000
	M	1,5	<0,025	0,192	0,229	<0,027	0,200	0,069	0,246	0,545	0,236	4,856
	F	1,8	<0,025	0,177	0,364	0,046	0,125	0,489	0,204	0,519	<0,100	<1,000
St15	S	1,9	<0,025	0,218	0,326	0,048	<0,025	<0,068	0,144	0,283	<0,100	<1,000
	M	1,9	<0,025	0,169	0,210	0,031	<0,025	<0,068	0,106	0,255	<0,100	<1,000
	F	2,03	<0,025	0,162	0,244	0,032	<0,025	<0,068	0,137	0,256	<0,100	<1,000
St16	S	2,3	<0,025	0,216	0,271	0,040	<0,025	<0,068	0,154	0,281	0,337	<1,000
	M	2,1	<0,025	0,201	0,256	0,032	<0,025	<0,068	0,100	0,234	<0,100	<1,000
	F	1,8	<0,025	0,163	0,303	<0,027	<0,025	<0,068	0,054	0,184	<0,100	<1,000

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr <sup>VI</sup>	Cr <sub>total</sub>	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St18	S	1,5	<0,025	0,210	0,278	0,033	<0,025	<0,068	0,087	0,199	0,230	<1,000
	M	2	<0,025	0,150	0,193	<0,027	<0,025	<0,068	0,065	0,193	<0,100	<1,000
	F	1,9	<0,025	0,152	0,213	<0,027	<0,025	<0,068	0,122	0,281	0,174	<1,000
St19	S	1,8	<0,025	0,156	0,217	<0,027	0,535	<0,068	0,091	0,201	0,452	<1,000
	M	2,4	<0,025	0,154	0,180	<0,027	<0,025	<0,068	0,078	0,200	<0,100	<1,000
	F	2,6	<0,025	0,156	0,189	<0,027	<0,025	<0,068	0,090	0,205	<0,100	<1,000
St20	S	2	<0,025	0,133	0,167	<0,027	<0,025	<0,068	0,142	0,235	0,163	1,410
	M	2	<0,025	0,145	0,161	<0,027	<0,025	<0,068	0,067	0,166	<0,100	<1,000
	F	2,4	<0,025	0,130	0,184	<0,027	0,030	0,061	0,163	0,306	<0,100	<1,000
St21	S	2,1	<0,025	0,136	0,167	<0,027	<0,025	<0,068	0,079	0,143	<0,100	<1,000
	M	2,7	<0,025	0,137	0,192	<0,027	<0,025	0,062	0,057	0,143	<0,100	<1,000
	F	1,9	<0,025	0,134	0,395	<0,027	<0,025	<0,068	0,036	0,098	<0,100	<1,000

Rappel : Les valeurs des LQ des métaux sont : Co< 0,027 µg/L ; Cu< 0,025 µg/L ; Fe<0,068 µg/L ; Mn<0,028µg/L ; Ni<0,022µg/L, Pb< 0,100µg/L et Zn<1,00 µg/L µg/L.

## ANNEXE 7

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

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>) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2017 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (µmol/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	<0,050	0,103	<0,050	<0,050	<0,050	0,000
	Maximum	0,106	0,367	0,274	0,685	0,076	1,143	1,489	0,529	<0,050	0,660
	Moyenne	0,073	0,223	0,170	0,216	0,006	0,517	0,245	0,204	-	0,051
	Ecart-type	0,029	0,101	0,070	0,204	0,020	0,337	0,355	0,155	-	0,171
Baies du Canal	Minimum	0,055	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,555	0,101	<0,050	<0,050	0,000
	Maximum	0,095	0,397	0,247	0,473	0,033	1,426	0,644	0,296	0,098	1,361
	Moyenne	0,078	0,149	0,108	0,206	0,004	0,866	0,360	0,159	0,011	0,193
	Ecart-type	0,016	0,154	0,091	0,153	0,011	0,269	0,188	0,097	0,033	0,455
Baie du Prony	Minimum	0,070	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,084	<0,050	<0,050	<0,050	0,000
	Maximum	0,102	0,176	0,142	0,168	1,477	0,748	2,374	0,105	<0,050	0,000
	Moyenne	0,084	0,040	0,033	0,063	0,174	0,358	0,357	0,027	-	0,000
	Ecart-type	0,012	0,050	0,047	0,058	0,416	0,191	0,680	0,035	-	0,000
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,090	<0,050	<0,050	<0,050	0,095	0,143	<0,050	<0,050	0,000
	Maximum	0,078	0,307	0,181	0,158	0,106	0,462	1,201	0,691	<0,050	0,000
	Moyenne	0,057	0,167	0,064	0,086	0,068	0,272	0,507	0,183	-	0,000
	Ecart-type	0,025	0,082	0,067	0,051	0,037	0,135	0,482	0,274	-	0,000

Zone d'étude	Statistique	NH <sub>4</sub> (μmol/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,017	0,019	0,030	0,041	0,017	0,073	0,016	0,036	0,047	0,050
	Maximum	0,044	0,127	0,240	0,247	0,126	0,589	0,048	0,111	0,297	0,296
	Moyenne	0,024	0,051	0,080	0,086	0,051	0,162	0,034	0,063	0,103	0,106
	Ecart-type	0,009	0,033	0,060	0,057	0,030	0,126	0,009	0,025	0,075	0,073
Baies du Canal	Minimum	0,018	0,028	0,041	0,026	0,020	0,095	0,038	0,051	0,058	0,040
	Maximum	0,091	0,139	0,166	0,242	0,118	0,282	0,091	0,161	0,977	0,139
	Moyenne	0,036	0,074	0,091	0,093	0,045	0,154	0,062	0,095	0,192	0,097
	Ecart-type	0,021	0,031	0,049	0,065	0,033	0,056	0,016	0,031	0,298	0,039
Baie du Prony	Minimum	0,007	0,027	0,017	0,014	0,015	0,013	0,015	0,018	0,026	0,022
	Maximum	0,098	0,148	0,121	0,172	0,149	0,408	0,100	0,099	0,297	0,213
	Moyenne	0,021	0,058	0,048	0,057	0,034	0,205	0,039	0,040	0,083	0,073
	Ecart-type	0,029	0,036	0,036	0,054	0,038	0,135	0,026	0,024	0,078	0,077
Ile Ouen	Minimum	0,018	0,075	0,037	0,053	0,026	0,059	0,045	0,031	0,055	0,029
	Maximum	0,034	0,102	0,097	0,263	0,077	0,154	0,073	0,089	0,294	0,104
	Moyenne	0,024	0,087	0,060	0,114	0,039	0,114	0,056	0,055	0,170	0,060
	Ecart-type	0,008	0,010	0,022	0,076	0,019	0,043	0,010	0,022	0,095	0,029

Zone d'étude	Statistique	PO <sub>4</sub> (µmol/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	<0,050
	Maximum	0,065	0,084	ND	0,063	<0,050	0,103	<0,050	0,112	<0,050	0,101
	Moyenne	<0,050	0,056	ND	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	0,070	-	0,072
	Ecart-type	0,016	0,015	ND	0,019		0,029		0,020	-	0,014
Baies du Canal	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<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	<0,050	0,101
	Moyenne	<0,050	0,059	ND	<0,050	<0,050	0,072	0,064 (n=1)	0,069	-	0,048
	Ecart-type	0,018	0,023	ND	0,013		0,028		0,018	-	0,032
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,074	<0,050	<0,050
	Maximum	<0,050	0,086	ND	0,203	<0,050	0,176	<0,050	0,156	<0,050	0,109
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,084	<0,050	0,057	<0,050	0,106	-	0,033
	Ecart-type		0,021	ND	0,047		0,052		0,021	-	0,030
Ile Ouen	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,102	<0,050	<0,050
	Maximum	<0,050	0,056	ND	0,084	<0,050	0,054	0,090	0,139	<0,050	0,061
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,051	<0,050	<0,050	0,090 (n=1)	0,116	-	0,026
	Ecart-type		0,014	ND	0,028		0,018		0,013	-	0,023

Zone d'étude	Statistique	SiO <sub>4</sub> (µmol/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,80	0,92	<0,05	<0,05	1,14	1,07	1,32	0,99	<0,05	1,360
	Maximum	2,40	1,76	2,48	0,70	1,50	1,77	1,76	1,67	0,59	1,814
	Moyenne	1,20	1,32	1,25	0,20	1,30	1,33	1,54	1,19	0,11	1,620
	Ecart-type	0,42	0,31	0,72	0,26	0,11	0,20	0,15	0,19	0,19	0,145
Baies du Canal	Minimum	0,82	1,38	0,53	0,05	1,33	1,62	1,60	1,31	0,14	1,949
	Maximum	1,87	3,84	1,83	4,34	2,28	10,79	2,53	4,13	4,76	4,089
	Moyenne	1,16	1,98	1,05	1,44	1,71	3,49	1,99	2,08	1,29	2,580
	Ecart-type	0,35	0,82	0,51	1,28	0,35	2,97	0,31	1,02	1,54	0,735
Baie du Prony	Minimum	1,32	1,89	0,75	0,39	1,80	2,31	1,94	1,88	0,62	2,467
	Maximum	3,02	4,31	3,15	2,65	3,07	5,89	3,31	4,46	2,92	4,182
	Moyenne	2,04	2,88	1,44	1,22	2,36	3,47	2,64	2,89	1,66	3,118
	Ecart-type	0,59	0,84	0,81	0,65	0,43	1,43	0,46	0,71	0,76	0,601
Ile Ouen	Minimum	1,22	1,42	0,68	0,29	1,29	1,88	1,59	1,55	0,25	1,549
	Maximum	1,96	2,31	0,77	1,37	1,87	3,43	3,46	2,10	1,00	2,587
	Moyenne	1,54	1,83	0,72	0,71	1,63	2,40	2,27	1,82	0,66	2,014
	Ecart-type	0,38	0,39	0,03	0,45	0,26	0,61	0,64	0,24	0,24	0,358

## ANNEXE 8

### 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 particulaires mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2017 lors des campagnes semestrielle « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	NOD ( $\mu\text{mol/L}$ )									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	2,55	1,56	4,54	2,26	2,73	1,21	4,44	3,13	4,00	3,97
	Maximum	4,36	4,59	7,43	4,76	4,45	3,02	7,33	7,54	18,55	7,85
	Moyenne	3,74	3,09	5,88	3,73	3,38	1,97	5,51	4,65	10,73	5,42
	Ecart-type	0,58	0,85	0,92	0,76	0,51	0,56	0,79	1,26	5,68	1,03
Baies du Canal	Minimum	2,55	2,88	5,20	3,56	2,01	0,86	4,75	3,13	3,24	4,26
	Maximum	4,83	4,37	7,44	5,31	4,02	2,78	5,86	6,26	18,37	12,07
	Moyenne	3,80	3,59	6,21	4,40	3,07	1,66	5,36	4,38	9,32	6,72
	Ecart-type	0,79	0,42	0,74	0,58	0,78	0,59	0,40	0,96	6,14	2,46
Baie du Prony	Minimum	3,66	2,45	4,51	3,11	2,45	1,55	5,40	3,08	3,77	5,13
	Maximum	4,08	4,25	7,16	4,57	4,48	4,22	8,62	6,13	20,46	10,35
	Moyenne	3,91	3,50	5,79	3,72	3,47	2,21	6,45	4,28	7,81	7,16
	Ecart-type	0,13	0,49	0,68	0,49	0,57	0,72	0,90	1,01	4,87	1,89
Ile Ouen	Minimum	3,86	3,39	5,33	3,67	3,21	1,96	5,56	3,34	4,64	4,20
	Maximum	4,50	4,20	7,19	6,87	4,70	2,69	6,45	3,92	12,51	9,40
	Moyenne	4,10	3,75	6,50	4,62	3,98	2,34	5,91	3,53	6,89	6,47
	Ecart-type	0,35	0,32	0,70	1,51	0,54	0,26	0,33	0,21	2,87	2,04

Zone d'étude	Statistique	POD (µmol/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,132	0,232	ND	0,009	0,048	0,072	0,160	NA	0,084	0,000
	Maximum	0,316	0,837	ND	0,204	0,205	0,361	0,321	NA	0,198	0,102
	Moyenne	0,187	0,512	ND	0,076	0,154	0,186	0,249	NA	0,141	0,057
	Ecart-type	0,046	0,159	ND	0,073	0,049	0,094	0,048	NA	0,032	0,033
Baies du Canal	Minimum	0,132	0,378	ND	0,017	0,012	0,039	0,204	NA	0,013	0,000
	Maximum	0,288	0,708	ND	0,230A	0,200	0,310	0,323	NA	0,280	0,110
	Moyenne	0,202	0,511	ND	0,110	0,118	0,213	0,255	NA	0,132	0,071
	Ecart-type	0,051	0,129	ND	0,065	0,066	0,083	0,042	NA	0,089	0,033
Baie du Prony	Minimum	0,171	0,533	ND	0,052	0,107	0,269	0,098	NA	0,064	0,065
	Maximum	0,277	0,899	ND	0,158	0,240	0,709	0,288	NA	0,154	0,128
	Moyenne	0,207	0,684	ND	0,099	0,175	0,429	0,216	NA	0,118	0,091
	Ecart-type	0,034	0,103	ND	0,037	0,037	0,125	0,049	NA	0,029	0,018
Ile Ouen	Minimum	0,191	0,538	ND	0,059	0,067	0,257	0,176	NA	0,014	0,000
	Maximum	0,294	0,825	ND	0,083	0,182	0,523	0,293	NA	0,233	0,088
	Moyenne	0,227	0,688	ND	0,071	0,123	0,337	0,242	NA	0,095	0,067
	Ecart-type	0,058	0,109	ND	0,012	0,044	0,111	0,048	NA	0,077	0,033

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

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	5,27	4,66	8,49	NA	5,00	3,98	4,85	5,27	2,99	5,00
	Maximum	21,69	16,19	54,98	NA	46,08	19,06	12,81	21,69	7,31	10,00
	Moyenne	9,80	7,33	14,06	NA	11,30	8,27	6,72	9,80	5,28	8,17
	Ecart-type	4,28	2,52	11,14	NA	10,27	4,37	2,50	4,28	1,25	1,42
Baies Canal	Minimum	5,24	4,11	9,15	NA	9,03	4,58	5,40	5,24	3,53	5,00
	Maximum	12,29	11,21	14,72	NA	28,96	20,96	10,12	12,29	28,93	15,00
	Moyenne	6,71	6,92	11,55	NA	17,06	10,84	7,59	6,71	10,56	8,52
	Ecart-type	1,98	1,94	1,88	NA	7,61	5,16	1,71	1,98	7,66	2,82
Baie du Prony	Minimum	5,59	5,15	8,43	NA	7,18	4,54	4,94	5,59	4,08	5,00
	Maximum	7,08	10,66	15,72	NA	14,65	22,66	13,60	7,08	10,38	13,33
	Moyenne	6,28	6,69	12,98	NA	9,47	15,08	8,81	6,28	5,53	8,06
	Ecart-type	0,44	1,62	2,79	NA	2,26	7,09	2,53	0,44	1,90	2,23
Ile Ouen	Minimum	5,27	5,84	12,06	NA	9,20	4,86	7,98	5,27	5,31	5,83
	Maximum	7,19	7,36	22,42	NA	20,19	19,78	14,55	7,19	22,82	13,33
	Moyenne	5,90	6,46	17,70	NA	13,69	9,10	10,81	5,90	10,14	9,00
	Ecart-type	0,78	0,55	4,09	NA	5,10	6,20	2,62	0,78	6,38	2,97

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

Zone d'étude	Statistique	NOP ( $\mu\text{mol/L}$ )									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,341	0,390	0,140	0,367	0,615	1,210	0,337	0,222	0,245	0,472
	Maximum	1,321	3,280	0,510	1,208	1,274	3,020	0,989	0,853	0,653	0,936
	Moyenne	0,752	1,332	0,275	0,612	0,933	1,973	0,609	0,442	0,502	0,618
	Ecart-type	0,305	0,905	0,112	0,215	0,217	0,557	0,200	0,202	0,116	0,124
Baies du Canal	Minimum	0,561	0,220	0,054	0,486	0,568	0,863	0,425	0,237	0,491	0,572
	Maximum	1,187	1,140	0,514	0,875	1,301	2,779	1,038	0,849	0,936	0,946
	Moyenne	0,724	0,631	0,290	0,721	0,866	1,662	0,678	0,488	0,635	0,774
	Ecart-type	0,201	0,272	0,148	0,137	0,240	0,590	0,178	0,166	0,158	0,114
Baie du Prony	Minimum	0,771	0,110	0,188	0,358	0,694	1,553	0,593	0,492	0,596	0,662
	Maximum	1,115	1,720	0,600	0,897	1,270	4,220	1,268	1,133	2,349	1,332
	Moyenne	0,876	0,658	0,298	0,654	0,862	2,214	0,943	0,790	0,929	0,901
	Ecart-type	0,105	0,423	0,118	0,158	0,172	0,719	0,221	0,188	0,469	0,221
Ile Ouen	Minimum	0,717	0,110	0,183	0,583	0,593	1,961	0,622	0,531	0,623	0,618
	Maximum	0,813	4,580	0,358	1,251	0,813	2,695	0,918	0,817	1,776	0,855
	Moyenne	0,760	1,117	0,259	0,912	0,661	2,341	0,746	0,676	1,021	0,718
	Ecart-type	0,048	1,723	0,061	0,295	0,081	0,263	0,124	0,113	0,534	0,101

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,033	0,036	0,085	0,011	0,043	0,057	0,019	0,025	0,016	0,000
	Maximum	0,102	0,337	0,156	0,071	0,198	0,136	0,047	0,078	0,043	0,102
	Moyenne	0,071	0,087	0,098	0,034	0,063	0,082	0,027	0,048	0,031	0,057
	Ecart-type	0,019	0,075	0,017	0,017	0,040	0,024	0,008	0,015	0,008	0,033
Baies du Canal	Minimum	0,067	0,042	0,083	0,022	0,043	0,072	0,017	0,046	0,030	0,000
	Maximum	0,106	0,079	0,156	0,050	0,102	0,233	0,054	0,089	0,060	0,110
	Moyenne	0,088	0,054	0,104	0,036	0,062	0,103	0,033	0,067	0,040	0,071
	Ecart-type	0,013	0,012	0,024	0,008	0,019	0,050	0,011	0,015	0,010	0,033
Baie du Prony	Minimum	0,075	0,048	0,093	0,022	0,049	0,067	0,023	0,041	0,042	0,065
	Maximum	0,115	0,086	0,124	0,057	0,160	0,247	0,072	0,065	0,071	0,128
	Moyenne	0,094	0,063	0,109	0,040	0,070	0,111	0,047	0,052	0,051	0,091
	Ecart-type	0,014	0,013	0,009	0,013	0,031	0,051	0,016	0,006	0,010	0,018
Ile Ouen	Minimum	0,082	0,032	0,086	0,015	0,041	0,072	0,028	0,048	0,040	0,000
	Maximum	0,090	0,054	0,127	0,065	0,098	0,088	0,041	0,106	0,092	0,088
	Moyenne	0,086	0,045	0,104	0,040	0,060	0,082	0,035	0,079	0,054	0,067
	Ecart-type	0,004	0,008	0,016	0,019	0,020	0,005	0,005	0,020	0,020	0,033

## ANNEXE 9

### Compilation des concentrations de chlorophylle a des campagnes « saison fraîche »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de la chlorophylle a mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2017 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,088	0,154	0,586	0,103	0,172	0,208	0,047	0,321	0,113	NE
	Maximum	0,975	0,431	2,554	0,734	0,603	0,762	0,833	0,477	0,393	0,048
	Moyenne	0,442	0,321	1,028	0,396	0,420	0,379	0,287	0,374	0,257	NE
	Ecart-type	0,196	0,088	0,480	0,177	0,129	0,151	0,252	0,040	0,084	0,064
Baie du Canal	Minimum	0,333	0,157	0,404	0,304	0,364	0,119	0,011	0,212	0,123	NE
	Maximum	0,629	0,499	1,208	0,745	0,687	1,284	0,403	0,611	0,367	0,030
	Moyenne	0,455	0,350	0,930	0,482	0,511	0,416	0,230	0,402	0,277	NE
	Ecart-type	0,087	0,113	0,269	0,149	0,113	0,368	0,141	0,120	0,082	0,055
Baie du Prony	Minimum	0,161	0,162	0,593	0,005	0,203	0,073	0,130	0,184	0,157	NE
	Maximum	0,570	0,900	1,090	0,629	1,276	2,504	0,457	0,609	0,369	0,129
	Moyenne	0,396	0,351	0,755	0,348	0,446	0,644	0,280	0,408	0,259	NE
	Ecart-type	0,124	0,194	0,141	0,192	0,290	0,673	0,108	0,124	0,067	0,098
Ile Ouen	Minimum	0,428	0,237	0,602	0,046	0,278	0,100	0,125	0,332	0,121	NE
	Maximum	0,464	0,395	1,030	0,493	0,374	1,004	0,397	0,498	0,278	0,112
	Moyenne	0,441	0,282	0,806	0,326	0,319	0,489	0,242	0,405	0,229	NE
	Ecart-type	0,020	0,060	0,147	0,213	0,039	0,390	0,110	0,061	0,060	0,084

## ANNEXE 10

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Cr-total, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2017 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)*									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	ND	1,18	ND	ND	1,13	1,29	1,00	1,30	0,33	1,80
	Maximum	ND	1,72	ND	ND	1,27	1,43	3,00	2,60	3,10	2,70
	Moyenne	ND	1,36	ND	ND	1,22	1,36	1,73	2,01	1,67	2,27
	Ecart-type	ND	0,15	ND	ND	0,04	0,05	0,59	0,38	0,72	0,27
Baies du Canal	Minimum	ND	0,93	ND	ND	1,16	0,74	1,00	1,45	0,33	1,50
	Maximum	ND	1,81	ND	ND	1,27	1,42	2,00	3,60	2,00	2,40
	Moyenne	ND	1,34	ND	ND	1,21	1,20	1,56	2,24	1,01	1,99
	Ecart-type	ND	0,25	ND	ND	0,03	0,23	0,53	0,65	0,68	0,28
Baie du Prony	Minimum	ND	1,16	ND	ND	1,07	1,01	1,00	1,40	0,33	1,50
	Maximum	ND	1,55	ND	ND	1,19	1,30	2,00	3,00	2,10	2,60
	Moyenne	ND	1,40	ND	ND	1,13	1,21	1,60	2,34	1,49	2,02
	Ecart-type	ND	0,13	ND	ND	0,04	0,11	0,55	0,54	0,45	0,300
Ile Ouen	Minimum	ND	1,13	ND	ND	1,13	1,14	1,00	1,50	0,33	2,00
	Maximum	ND	1,33	ND	ND	1,25	1,32	2,00	2,80	2,30	2,40
	Moyenne	ND	1,22	ND	ND	1,18	1,26	1,83	1,83	1,37	2,13
	Ecart-type	ND	0,10	ND	ND	0,04	0,07	0,41	0,53	0,65	0,21

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

Zone d'étude	Statistique	Co (µg/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	<0,027	<0,027	<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	0,025	<0,027
	Moyenne	<0,027	0,031	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,015	<0,027
	Ecart-type		0,015							0,006	
Baies du Canal	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,029	<0,027	0,057	<0,027	0,029
	Maximum	0,071	0,073	0,096	0,142	0,045	0,154	0,046	0,068	0,100	0,083
	Moyenne	0,029	0,030	0,039	0,052	0,029	0,078	<0,027	0,062	0,041	0,050
	Ecart-type	0,021	0,024	0,030	0,051	0,012	0,060	0,013	0,008	0,029	0,019
Baie du Prony	Minimum	0,035	<0,027	<0,027	0,030	<0,027	<0,027	<0,027	0,027	0,039	0,031
	Maximum	0,073	0,060	0,038	0,105	0,044	0,054	0,068	0,045	0,086	0,048
	Moyenne	0,050	0,031	<0,027	0,049	0,032	<0,027	0,039	0,033	0,053	0,036
	Ecart-type	0,011	0,017	0,006	0,021	0,008	0,015	0,015	0,006	0,015	0,007
Ile Ouen	Minimum	<0,027	<0,027	0,006	0,021	0,008	0,015	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	0,033	0,132	0,048	0,112	0,042	0,034	0,033	<0,027	0,040	<0,027
	Moyenne	0,029	0,043	0,034	0,045	0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,024	<0,027
	Ecart-type	0,004	0,050	0,012	0,035	0,010	0,009	0,012		0,014	

Zone d'étude	Statistique	Cr <sup>VI</sup> (µg/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,073	0,118	0,120	0,074	0,052	0,097	0,087	0,058	0,108	0,131
	Maximum	0,112	0,184	0,140	0,105	0,166	0,171	0,104	0,129	0,125	0,165
	Moyenne	0,092	0,152	0,124	0,088	0,110	0,123	0,095	0,095	0,114	0,140
	Ecart-type	0,011	0,018	0,006	0,009	0,028	0,017	0,005	0,024	0,004	0,009
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,139	0,110	0,088	0,102	0,138	0,094	0,100	0,116	0,144
	Maximum	0,150	0,306	0,210	0,240	0,168	1,401	0,120	0,227	0,367	0,216
	Moyenne	0,105	0,189	0,139	0,128	0,137	0,403	0,107	0,148	0,162	0,168
	Ecart-type	0,018	0,055	0,031	0,052	0,022	0,489	0,009	0,038	0,083	0,023
Baie du Prony	Minimum	0,094	0,190	0,150	0,106	0,124	0,246	0,102	0,102	0,140	0,150
	Maximum	0,182	0,426	0,220	0,205	0,272	0,907	0,151	0,217	0,229	0,218
	Moyenne	0,122	0,273	0,175	0,141	0,159	0,434	0,129	0,146	0,171	0,176
	Ecart-type	0,024	0,079	0,017	0,033	0,040	0,234	0,017	0,029	0,035	0,027
Ile Ouen	Minimum	0,083	0,165	0,130	0,096	0,110	0,243	0,095	0,104	0,115	0,130
	Maximum	0,095	0,221	0,160	0,115	0,180	0,411	0,146	0,137	0,147	0,145
	Moyenne	0,089	0,193	0,142	0,108	0,137	0,287	0,115	0,120	0,127	0,139
	Ecart-type	0,006	0,026	0,015	0,007	0,031	0,063	0,019	0,013	0,013	0,006

Zone d'étude	Statistique	Cr-tot (µg/L)*									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,111	0,202	0,130	0,115	0,112	0,114	0,106	0,130	ND	0,140
	Maximum	0,157	0,462	0,180	0,206	0,339	0,496	0,202	0,230	ND	0,401
	Moyenne	0,129	0,287	0,145	0,150	0,179	0,219	0,132	0,154	ND	0,197
	Ecart-type	0,013	0,077	0,015	0,031	0,071	0,129	0,029	0,026	ND	0,083
Baies du Canal	Minimum	0,116	0,176	0,130	0,125	0,133	0,134	0,116	0,144	ND	0,177
	Maximum	0,189	0,361	0,230	0,304	0,272	1,604	0,303	0,263	ND	0,364
	Moyenne	0,139	0,280	0,160	0,199	0,172	0,451	0,171	0,179	ND	0,224
	Ecart-type	0,021	0,064	0,034	0,072	0,037	0,560	0,068	0,042	ND	0,061
Baie du Prony	Minimum	0,119	0,242	0,170	0,157	0,126	0,263	0,102	0,136	ND	0,180
	Maximum	0,191	0,712	0,250	0,260	0,270	1,333	0,198	0,226	ND	0,326
	Moyenne	0,155	0,404	0,198	0,204	0,175	0,641	0,144	0,175	ND	0,240
	Ecart-type	0,022	0,124	0,023	0,034	0,045	0,370	0,030	0,023	ND	0,047
Ile Ouen	Minimum	0,164	0,244	0,140	0,138	0,134	0,258	0,095	0,134	ND	0,161
	Maximum	0,207	0,361	0,170	0,178	0,203	0,737	0,148	0,165	ND	0,212
	Moyenne	0,180	0,304	0,153	0,155	0,169	0,379	0,124	0,153	ND	0,179
	Ecart-type	0,024	0,051	0,012	0,014	0,031	0,187	0,019	0,013	ND	0,018

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

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Aout 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,032	<0,025	<0,025	0,028	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,097
	Maximum	0,095	0,077	0,277	0,227	<0,025	0,178	0,027	<0,025	0,386	0,212
	Moyenne	0,050	0,039	0,041	0,093	<0,025	0,057	<0,025	<0,025	0,039	0,155
	Ecart-type	0,017	0,023	0,066	0,074		0,042	0,007		0,098	0,081
Baies du Canal	Minimum	0,036	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,125
	Maximum	0,069	<0,025	0,037	0,125	<0,025	0,320	0,077	<0,025	0,658	0,200
	Moyenne	0,049	<0,025	0,028	0,055	<0,025	0,068	0,026	<0,025	0,089	0,162
	Ecart-type	0,012		0,007	0,040		0,105	0,021		0,214	0,053
Baie du Prony	Minimum	0,042	<0,025	<0,025	<0,025	0,530	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,181	0,046	0,065	0,363	0,690	0,119	0,107	<0,025	0,298	0,535
	Moyenne	0,105	0,028	0,034	0,095	0,590	0,052	0,055	<0,025	0,063	0,535 (n=1)
	Ecart-type	0,053	0,012	0,016	0,117	0,087	0,031	0,031		0,089	
Ile Ouen	Minimum	0,044	<0,025	<0,025	0,039	0,250	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,060	0,038	0,025	1,206	0,290	0,127	0,041	0,043	0,122	0,030
	Moyenne	0,050	<0,025	<0,025	0,379	0,270	0,063	<0,025	0,043 (n=1)	0,033	0,030 (n=1)
	Ecart-type	0,009	0,011	0,003	0,465	0,028	0,045	0,013		0,045	

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,069
	Maximum	0,147	0,127	0,120	0,286	0,140	0,225	0,126	0,106	0,295	0,279
	Moyenne	0,078	0,097	<0,068	0,073	<0,068	<0,068	<0,068	0,106 (n=1)	0,030	0,140
	Ecart-type	0,041	0,016	0,024	0,068	0,041	0,052	0,028		0,080	0,095
Baies du Canal	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,078	<0,068	0,069
	Maximum	0,388	0,238	0,130	0,371	0,091	0,118	0,215	0,110	0,148	0,489
	Moyenne	0,175	0,143	0,079	0,117	<0,068	<0,068	0,106	0,094	0,067	0,195
	Ecart-type	0,135	0,054	0,040	0,099	0,030	0,032	0,068	0,015	0,052	0,172
Baie du Prony	Minimum	0,101	<0,068	<0,068	<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	0,110	<0,068
	Moyenne	0,130	0,071	<0,068	<0,068	<0,068	0,110	0,128	<0,068	0,046	<0,068
	Ecart-type	0,020	0,026				0,180	0,082		0,046	
Ile Ouen	Minimum	0,156	0,094	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	0,076	<0,068	<0,068	<0,068
	Maximum	0,217	0,261	0,130	0,101	<0,068	<0,068	0,202	0,095	0,167	<0,068
	Moyenne	0,178	0,137	0,092	0,071	<0,068	<0,068	0,120	0,095 (n=1)	0,080	<0,068
	Ecart-type	0,034	0,062	0,021	0,029			0,043		0,071	

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,084	0,053	0,030	0,083	0,039	0,034	0,057	<0,028	<0,028	0,031
	Maximum	0,183	0,192	0,230	0,211	0,166	0,064	0,173	0,067	0,189	0,089
	Moyenne	0,105	0,100	0,107	0,113	0,101	0,047	0,088	0,046	0,063	0,054
	Ecart-type	0,023	0,043	0,066	0,031	0,040	0,010	0,032	0,015	0,044	0,016
Baies du Canal	Minimum	0,100	0,094	0,120	0,190	0,094	0,066	0,091	0,038	<0,028	0,069
	Maximum	0,514	0,466	0,690	1,432	0,373	1,606	0,264	0,352	0,446	0,405
	Moyenne	0,211	0,209	0,259	0,450	0,199	0,372	0,188	0,126	0,193	0,198
	Ecart-type	0,174	0,126	0,176	0,406	0,102	0,505	0,053	0,102	0,145	0,099
Baie du Prony	Minimum	0,227	0,137	0,110	0,221	0,142	0,015	0,014	<0,028	0,139	0,054
	Maximum	0,453	0,355	0,280	0,718	0,287	0,435	0,454	0,190	0,480	0,154
	Moyenne	0,276	0,229	0,149	0,370	0,217	0,157	0,266	0,121	0,271	0,102
	Ecart-type	0,068	0,081	0,048	0,149	0,045	0,130	0,117	0,036	0,101	0,031
Ile Ouen	Minimum	0,201	0,142	0,190	0,215	0,099	0,072	0,125	0,054	<0,028	0,054
	Maximum	0,222	0,247	0,460	0,366	0,340	0,237	0,370	0,151	0,264	0,163
	Moyenne	0,214	0,200	0,325	0,276	0,210	0,130	0,223	0,097	0,166	0,095
	Ecart-type	0,011	0,039	0,103	0,059	0,098	0,061	0,110	0,035	0,091	0,045

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)									
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016	Août 2017
Canal de la Havannah	Minimum	0,106	0,070	0,050	0,094	0,087	0,060	0,083	0,045	0,054	0,087
	Maximum	0,189	0,249	0,250	0,164	0,204	0,133	0,174	0,363	0,169	0,262
	Moyenne	0,126	0,143	0,133	0,117	0,127	0,097	0,111	0,096	0,097	0,130
	Ecart-type	0,020	0,063	0,061	0,021	0,043	0,023	0,031	0,079	0,037	0,043
Baies du Canal	Minimum	0,126	0,121	0,160	0,169	0,128	0,152	0,129	0,091	0,072	0,159
	Maximum	0,486	0,713	0,620	0,869	0,391	2,991	0,318	0,458	0,692	0,545
	Moyenne	0,218	0,259	0,273	0,353	0,209	0,774	0,236	0,213	0,260	0,340
	Ecart-type	0,135	0,184	0,152	0,263	0,091	1,133	0,066	0,140	0,212	0,146
Baie du Prony	Minimum	0,277	0,216	0,170	0,295	0,266	0,089	0,085	0,105	0,204	0,184
	Maximum	0,498	0,481	0,290	0,536	0,380	1,635	0,519	0,321	0,525	0,283
	Moyenne	0,357	0,321	0,208	0,374	0,324	0,461	0,344	0,219	0,348	0,231
	Ecart-type	0,067	0,093	0,040	0,074	0,037	0,423	0,117	0,060	0,098	0,038
Ile Ouen	Minimum	0,206	0,196	0,200	0,227	0,175	0,195	0,144	0,114	0,061	0,154
	Maximum	0,242	0,309	0,460	0,363	0,352	0,498	0,356	0,215	0,309	0,306
	Moyenne	0,219	0,252	0,342	0,288	0,250	0,294	0,233	0,173	0,219	0,203
	Ecart-type	0,020	0,053	0,098	0,060	0,081	0,114	0,090	0,045	0,084	0,058