



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

2^{eme} semestre 2016



« Analyses des métaux dans
l'environnement et expertises »

Rapport
Décembre. 2016

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Contrat n°3052-Avenant n°1

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

2^{eme} semestre 2016

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

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	121205-VI-18	E87583	
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l’eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2 ^{ème} semestre 2016.		
Auteurs	Kaplan H., Laurent A., Hubert M., Moreton B., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.		
Résumé	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 2^{em} semestre 2016 (août 2016) 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). Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO₃+NO₂ et NH₄), de matières organiques (POD, NOP et POP) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, Cr^{VI}, 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 SiO₄ 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 NH₄, 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. Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison fraîche ».		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kaplan H.	HK	24/09/2016
Vérificateur 1	Kumar-Roiné S.	SKR	23/11/2016
Vérificateur 2	Fernandez JM.	JMFA	29/11/2016
Approbateur	Pousse C.	CP	01/12/2016
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport initial		30/12/2016
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C.	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kaplan H., Laurent A., Hubert M., Moreton B., Kumar-Roiné S., Fernandez JM. 2016. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2^{ème} semestre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n°3052-Avenant n°1, 88p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	9
A.	SITE D'ETUDE.....	9
B.	ECHANTILLONNAGE	10
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	11
III.	RESULTATS.....	13
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.....	32
G.	METAUX DISSOUS.....	34
IV.	SYNTHESE	41
A.	SELS NUTRITIFS.....	42
B.	METAUX DISSOUS.....	45
V.	CONCLUSION	50

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007¹ et 2008² complétés par la Convention pour la Conservation de la Biodiversité (CCB 2009). La définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux marines a été réalisée entre 2005 et 2007 sur 18 stations ([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^{ème} semestre 2016** (août 2016) 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'Ile Ouen.

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

¹ Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007

² Arrêté ICPE : usine d'extraction et usine de préparation des minerais ainsi que le parc à résidus de la Kwé ouest du 09 octobre 2008.

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

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

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

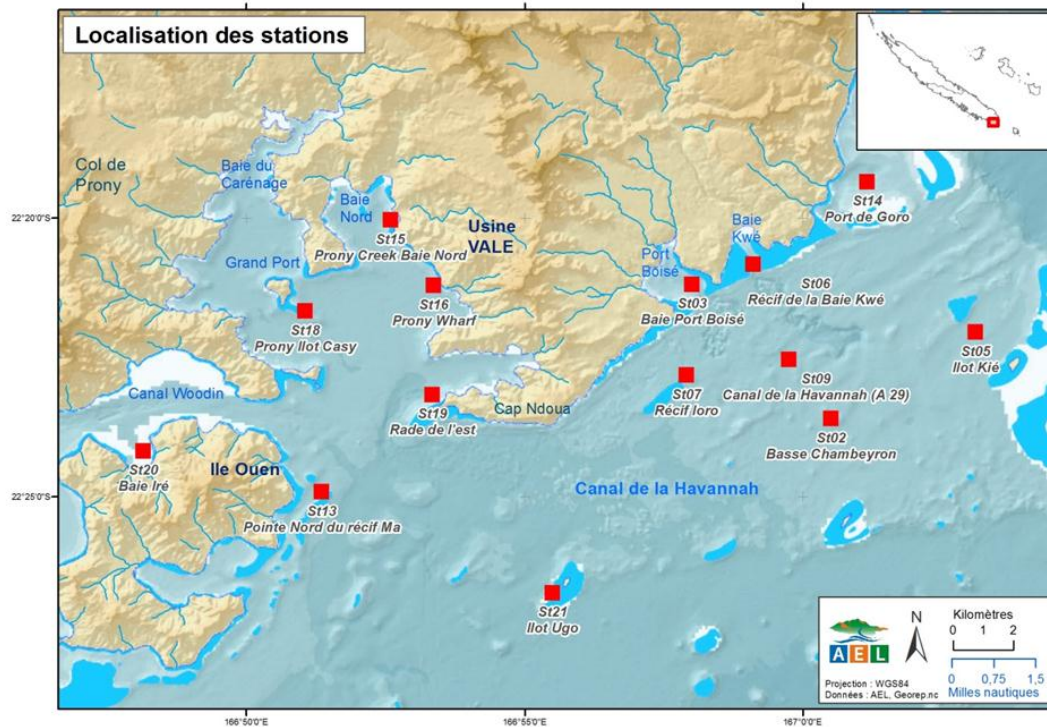


Figure 1: Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

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 2016.

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

- enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ;

- prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous 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^{VI}), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

La méthodologie détaillée des différentes analyses est décrite dans l'Annexe1.

La qualité des mesures effectuées en métaux dissous lors de cette campagne a été évaluée selon trois approches complémentaires :

- en étudiant la fidélité de la méthode de prélèvement et d'analyse à l'aide de 10 % de triplicatas, soit sur 4 stations ;
- en étudiant la reproductibilité de la méthode de prélèvement et d'analyse par les analyses inter-laboratoires sur au moins 10 % de duplicatas, soit sur 4 stations. Ces duplicatas ont été envoyés dans différents laboratoires, en fonction de la mesure à effectuer ;
- en vérifiant la justesse de la méthode d'analyse d'AEL par la participation à un exercice inter-laboratoire international, organisé par Quasimeme en 2015.

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions météorologiques et hydro-climatiques ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de restituer 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 28/07/2016 au 01/08/2016) sont les suivantes :

- Vent SE d'une moyenne de 18 ± 5 Nœuds ;
- Au total, 88,7mm de précipitation ont été relevés durant les 5 jours qui ont précédé la campagne.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (02 au 04 août 2016) sont les suivantes :

- 02/08/16 : SE 10-12 Nœuds, temps légèrement nuageux se couvrant au fur et à mesure de la journée;
- 03/08/16 : ESE 15 Nœuds, temps très couvert, averses fréquentes, houle et courant dans le canal de la Havannah;
- 04/08/16 : NE 0-5 Nœuds, temps clair et ensoleillé.

La totalité des précipitations, 21,1 mm, est survenue uniquement au deuxième jour de cette campagne (Figure2).

Les prélèvements ont été réalisés à différents moments de la marée. Le 1^{ier} jour, les stations de l'île Ouen (St13 et St20) et celles de la Baie de Prony (St19, St16, St15 et St18) ont été échantillonnées au cours de la marée

descendante. Le 2^{ème} jour, les prélèvements ont été effectués dans les baies du Canal (St14) et dans le canal de la Havannah (St05, St02, St09, St07 et St21), lors de la marée descendante. Le 3^{ème} jour, les deux stations restantes des baies du Canal (St03 et St06) ont été échantillonnées à l'étalement de la marée montante. (Figure 3).

Campagne d'août 2016

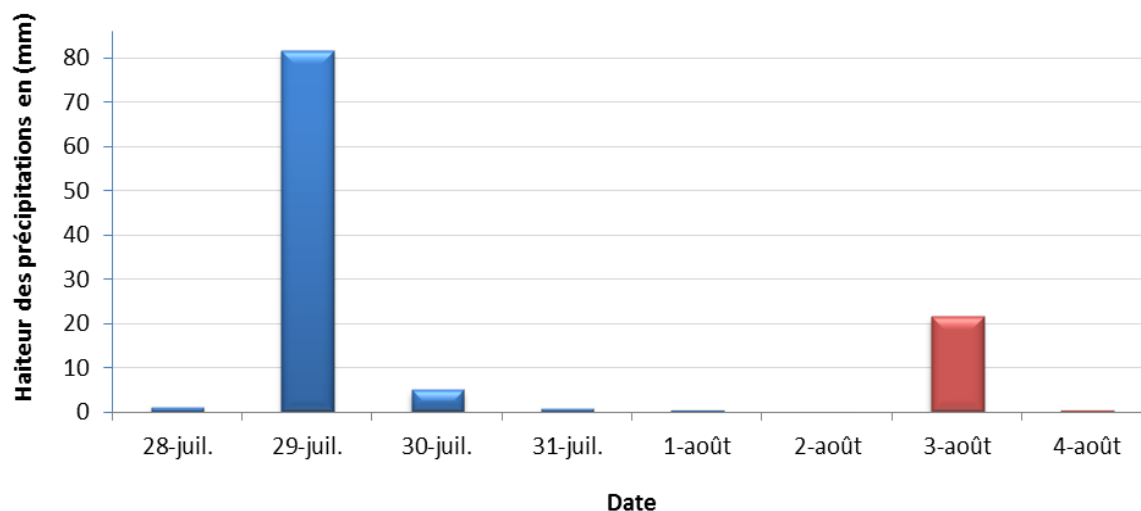


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant la campagne (28/07/2016 au 01/08/16 ; en bleu) et pendant la campagne semestrielle (02 au 04/08/16 ; en rouge). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "Goro usine".

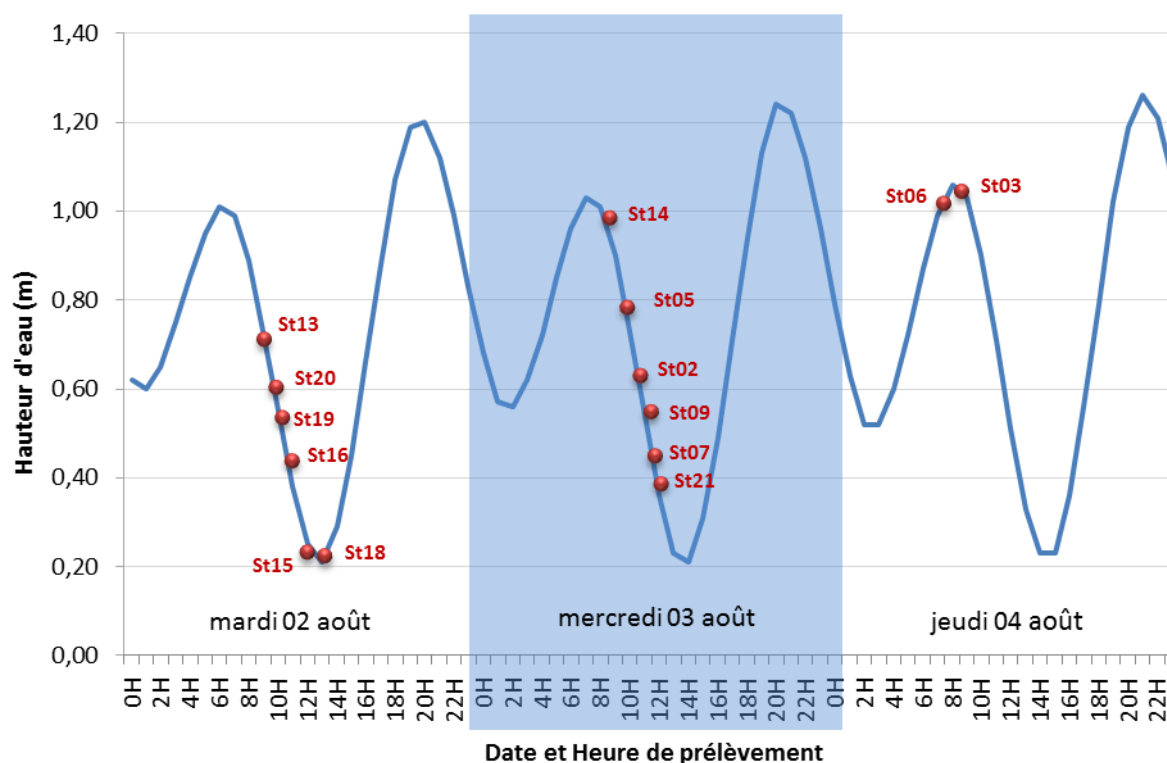


Figure 3: Chronologie des événements de la campagne semestrielle d'août 2016 reportée sur le marégramme du 02 au 04 août 2016.

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 di 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.

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 2016.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
Canal de la Havannah	Minimum	23,15	23,15	35,55	0,26
	Maximum	23,21	23,21	35,69	0,46
	Moyenne	23,18	23,18	35,68	0,37
	Ecart-type	0,01	0,01	0,02	0,05
Baies du Canal	Minimum	22,82	22,82	34,70	0,24
	Maximum	23,16	23,16	35,65	0,48
	Moyenne	23,09	23,09	35,51	0,39
	Ecart-type	0,09	0,09	0,24	0,05
Baie du Prony	Minimum	22,68	22,68	35,51	0,13
	Maximum	22,93	22,93	35,78	0,65
	Moyenne	22,80	22,80	35,70	0,42
	Ecart-type	0,08	0,08	0,10	0,17
Ile Ouen	Minimum	22,83	22,83	35,80	0,19
	Maximum	22,90	22,90	35,81	1,53
	Moyenne	22,87	22,87	35,81	0,33
	Ecart-type	0,02	0,02	0,00	0,14

1. Température

Globalement, la température est d'environ $23,0 \pm 0,2$ °C et varie très peu. Les deux zones d'étude dont les températures sont les plus chaudes sont le Canal de la Havannah et les baies du Canal. (Tableau 2)

Dans le Canal de la Havannah, les profils de température des stations St02, St05, St07 et St09 sont homogènes avec des températures moyennes similaires. A l'inverse, le profil de la station St21 montre des valeurs plus fraîches de 0,2 °C en surface suivi d'une nette transition au-delà des 2,5m de profondeur avec une perte de 0,12°C. Au niveau de la station St05, le profil semble indiquer l'existence d'une zone de mélange d'eau grâce à la relative variabilité de la température alors qu'à la station St02 un gradient de température régulier (perte de 0,1°C sur les 30 m) est bien visible.

Au niveau des baies du Canal, les stations St03 et St06 suivent la même tendance avec une couche d'eau superficielle se réchauffant dans les premiers mètres alors que la station St 14 est plus homogène tout le long de la colonne d'eau avec $23,1^{\circ}\text{C} \pm 0,03^{\circ}\text{C}$. A la station St03, la thermocline est bien visible avec une augmentation de température de 0,23°C dans les 5 premiers mètres. La température continue d'augmenter de 0,12°C jusqu' 15 m, enfin elles baissent de 0,10°C entre 15 et 30m. De manière encore plus marquée, St06 présente une forte variation de température dans les 5 premiers mètres gagnant 0,5°C, puis elles restent remarquablement stables tout le long de la colonne d'eau à environ $23,2^{\circ}\text{C} \pm 0,01^{\circ}\text{C}$.

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 (-0,5°C) que les autres stations entre le haut et le bas de la colonne d'eau. Il est à noter que cette station a été prélevée à l'étalement de la marée basse, moment pendant lequel l'arrivée d'eau douce du Creek de la Rade Nord, plus chaude et moins dense, influence la température de la couche d'eau superficielle. Les stations St16 et St18 ont des profils de températures comparables dans les 20 premiers mètres environ (22,8°C) ; la station St16 dont la profondeur s'étend jusqu'à 44 m perd environ 0,3°C. Par ailleurs, trois transitions thermiques sont observables ; l'une se produit entre 0 et 20 m de profondeur avec une diminution de 0,12 °C, la deuxième entre 20 et 34 m avec une perte de 0,13°C et la dernière entre 34 et 44 m. La station St19 est la station la plus fraîche avec une faible différence de température entre le haut et le bas de la colonne d'eau de 0,09°C. En revanche, on peut observer qu'elle est successivement traversée de veines d'eau de températures variables (variations moyenne de 0,5°C). A la station St16.

Les stations de l'Île Ouen St13 et St20 présentent des profils de températures semblables et varient très peu entre 0 et 15m de profondeur. Au-delà de cette profondeur, les températures de la station St 13 sont relativement constantes (-0,007°C) alors que celles de la station St20 diminuent progressivement avec une perte de 0,44°C (Figure 4).

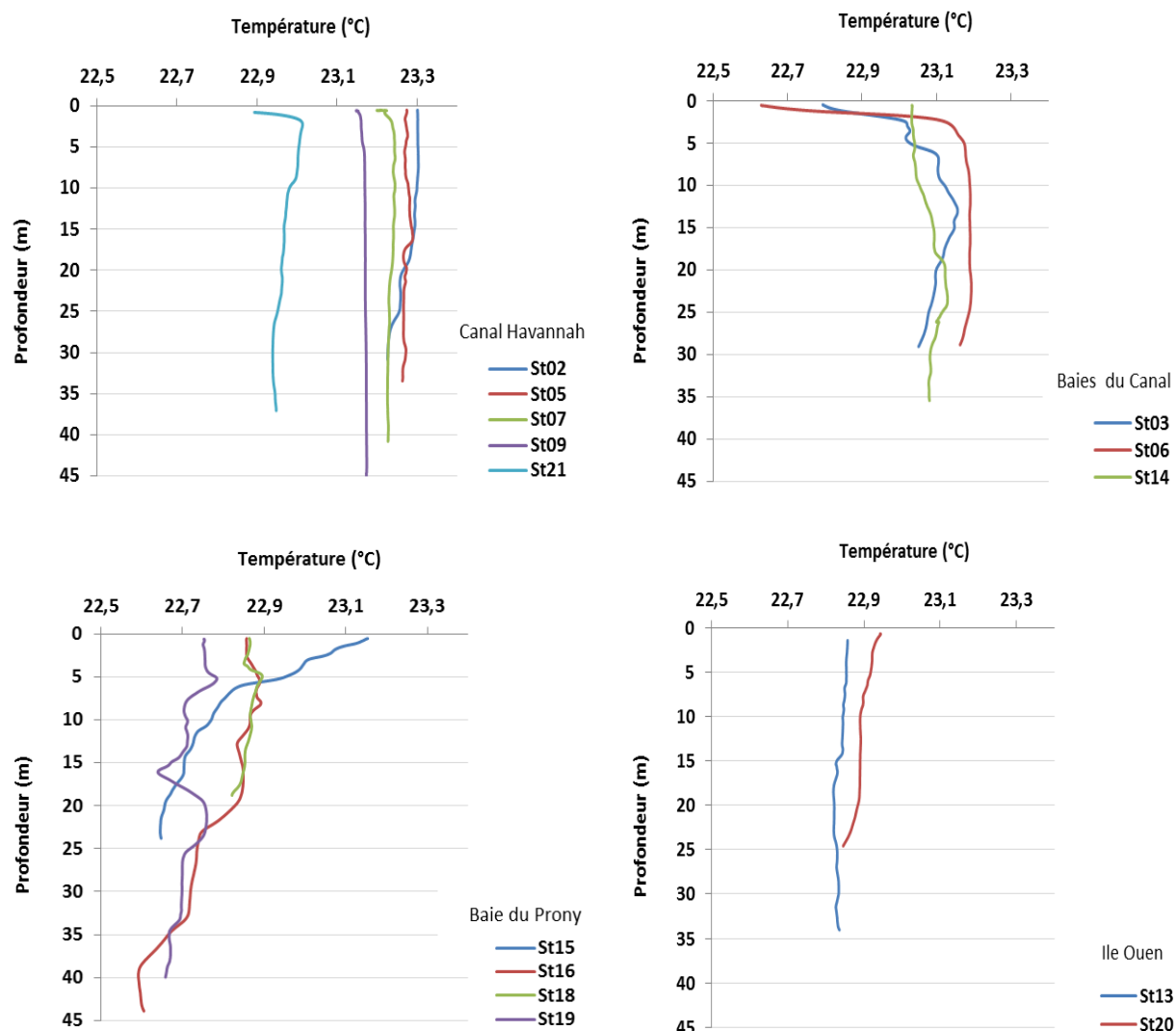


Figure 4: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

2. Salinité

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

Les stations des baies du Canal sont celles qui présentent à la fois les plus fortes variations et la salinité la plus faible avec $35,5 \pm 0,24$ ‰. Les profils relevés mettent en évidence une forte variation de la salinité à la station St06 dans les 5 m sous la surface et, à la station St03 cette variation atteint les 10m sous la surface. La salinité à la station St14 est très homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau. A contrario les baies du canal et les stations de l'île Ouen présentent une salinité plus élevée mais remarquablement constante ($35,8$ ‰ $\pm 0,002$).

Les zones du Canal de la Havannah et de la baie du Prony ont une salinité moyenne de $35,7$ ‰ avec un écart à la moyenne respectif de $0,02$ et $0,10$ ‰. (Figure 5). Dans le Canal Havannah, une seule variation importante est mesurée à la station St21 dans la couche de surface avec une différence de $0,54$ ‰ entre 0 et 5m. Le même phénomène, mais de manière atténuée, s'observe à la station St07 dans la fine couche de surface entre 0 et 2m de profondeur (différence de $0,09$ ‰) ; les profils de salinité des stations St02, St05 et St09 sont très stables sur toute la colonne d'eau (Figure 5).

En baie du Prony, une variation de la salinité est visible pour toutes les stations dans la couche métrique de surface. Le plus grand écart de salinité mesuré est celui de la station St18 avec une différence de 0,34‰ entre 0 et 5 m. Le même phénomène se produit en St15, St16 et St19 mais la variation est moins importante. Les profils se rejoignent ensuite au-delà des 10 m de profondeur et sont relativement homogènes.

La salinité des colonnes d'eau de la zone de l'Ile Ouen est très stable avec la moyenne la plus élevée de la zone ($35,8 \pm 0,00$) (Figure 5).

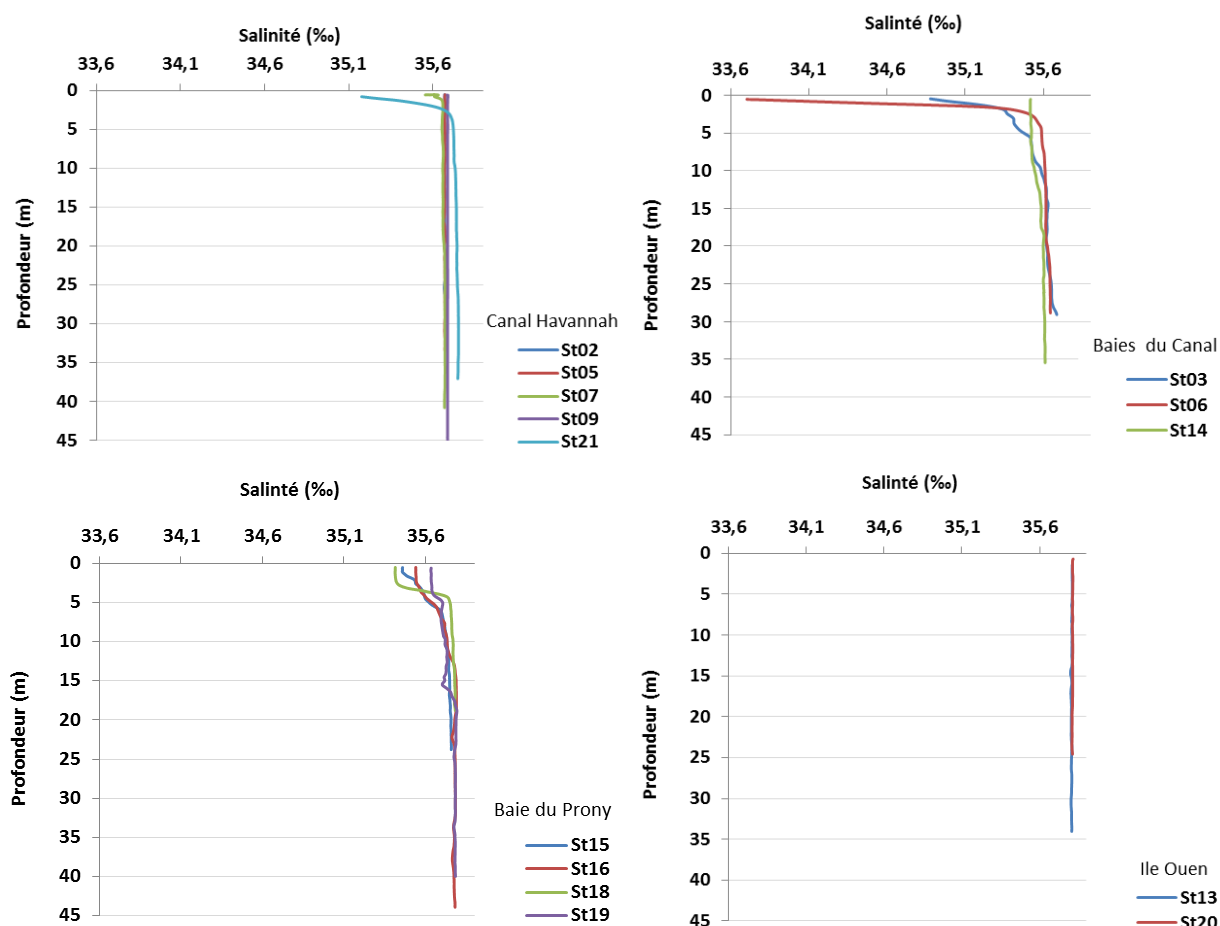


Figure 5: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

3. Fluorescence

Les profils de fluorescence montrent quelques différences selon les zones étudiées.

Les profils dans la zone du Canal Havannah et dans les baies du Canal sont très similaires avec des moyennes regroupées respectivement de $0,37 \pm 0,05 \text{ mg/m}^3$ et $0,39 \pm 0,05 \text{ mg/m}^3$. A l'opposé, les profils dans la Baie du Prony et à proximité de l'Ile Ouen sont différents.

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 avec la profondeur. Ainsi, au-delà des 5 m de profondeur, l'intensité de la fluorescence augmente particulièrement à la station St15 jusqu'à 10m pour atteindre un maximum de $0,80 \text{ mg/m}^3$ de profondeur. Les stations St15 et St18 présentent toutes deux la

valeur de fluorescence à 15 m. Il est à noter que la station St15 a été échantillonnée à l'étale de la marée basse, c'est-à-dire avec des veines d'eau statiques pouvant favoriser la diffusion verticale. Les stations St16 et St19 ont des profils semblables.

Les plus fortes intensités de fluorescence ont été enregistrées dans la zone de l'île Ouen. En effet, la station St13 révèle des pics allant jusqu'à $2,67 \text{ mg/m}^3$ dans la couche métrique de surface (Figure 6). La fluorescence mesurée au-delà des 5m de profondeur des colonnes d'eau des stations St13 et St20 a une moyenne de $0,33 \pm 0,14 \text{ mg/m}^3$ (Figure 6).

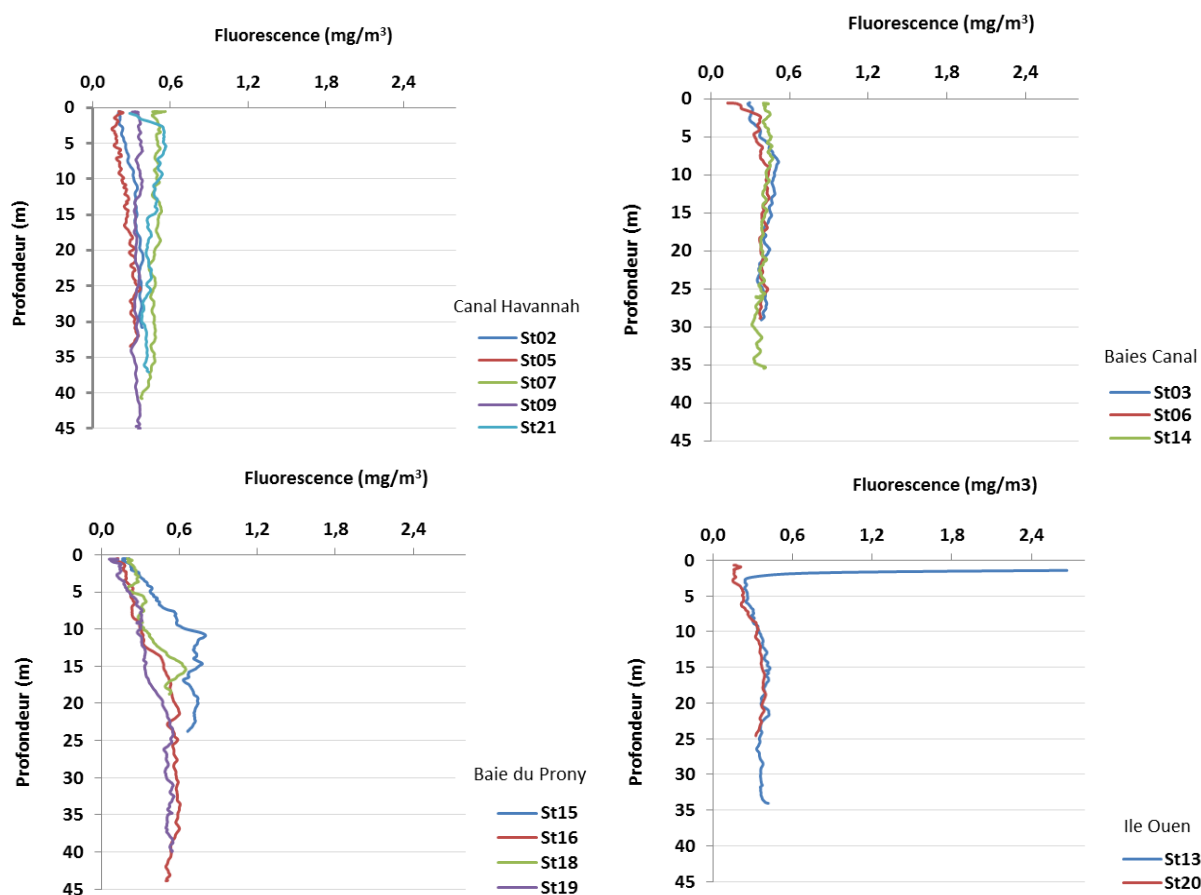


Figure 6: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

4. Turbidité

La turbidité moyenne la plus élevée a été mesurée dans la colonne d'eau de la zone de l'île Ouen avec 0,43 NTU et la plus faible dans le Canal Havannah avec 0,26 NTU (Figure 7). En revanche, c'est dans la Baie du Prony que les plus fortes variations de turbidité ont été enregistrées avec un écart à la moyenne de 0,23 NTU. A l'opposé, la zone dans laquelle la turbidité est la plus stable est celle du Canal de la Havannah avec un écart à la moyenne de 0,07 NTU (Tableau 2).

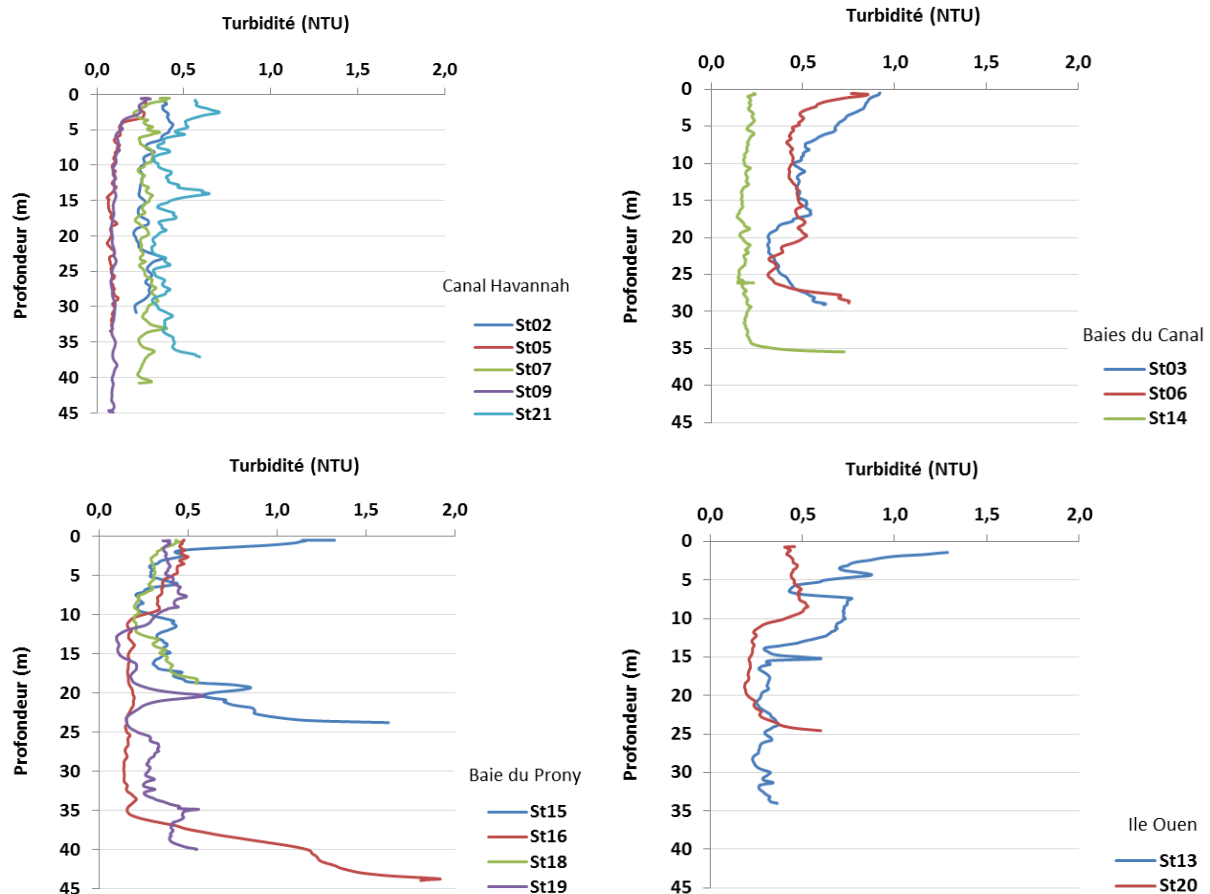


Figure 7: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Dans le Canal de la Havannah, les profils de turbidité des stations St05 et St09 sont regroupés et relativement stables avec respectivement $0,119 \pm 0,06$ et $0,130 \pm 0,07$ NTU en moyenne. Ceux des stations St02 et St07 sont proches avec une moyenne notablement plus élevée de $0,309 \pm 0,07$ et $0,297 \pm 0,05$ NTU. Seule la station St21 se démarque avec des pics de turbidité nettement plus élevés à 2,5 et 14m de profondeur coïncidant avec le changement de salinité et de température.

Dans la zone d'étude des baies du Canal, la mesure de turbidité est stable à la station St14 sur l'ensemble de la colonne d'eau à l'exception de la valeur maximale présente dans le bas du profil qui peut traduire la remise en suspension des particules au fond.

Les stations St03 et St06 ont deux profils semblables présentant chacun une valeur importante à mi-profondeur, approximativement à 16 et 20 m respectivement. En dessous, à la station St03, la turbidité diminue puis augmente à nouveau à proximité du fond. A la station St06, la turbidité est plus importante en surface puis diminue à nouveau jusqu'à 25m pour finir par un pic de turbidité près du fond.

Ces deux profils, sont en lien avec l'évolution de la salinité et de la température qui augmentent rapidement dans la couche d'eau de surface d'ordre métrique.

Pour les stations situées dans la Baie du Prony, seule la station St15 présente une très fine couche de turbidité en surface. De plus, les stations St15, St18 et St19 présentent une couche néphéloïde aux alentours des 20m de profondeur concomitant à une variation de température pour St19 et à un pic de fluorescence pour St15.

Cette couche turbide s'observe également dans le bas de la colonne d'eau de la station St16 entre 35 et 44m (néphéloïde benthique).

Pour la zone de l'île Ouen, les profils sont distincts. A la station St13, plusieurs couches successives sont identifiables à 4, 7 et 15 m de profondeur. A la station St20, la turbidité est stable de la surface à 10m de profondeur puis elle diminue jusqu'à 20m de profondeur. Une augmentation de la turbidité s'amorce sur la fin du profil marquant un néphéloïde benthique (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.

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 et St06 dans la Baie du Canal échantillonnée à l'étape de la marée haute. A l'inverse, l'eau superficielle des stations St15 et St18 est plus chaude ayant été prélevée à l'étape de la marée basse. 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, St06, St15 et St21, 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 une stratification des masses d'eau. En revanche, la forte turbidité de surface observée à la station St13 de l'île Ouen n'est ni en relation avec la salinité et la température, mais peut être mise en parallèle avec fluorescence.

Une particularité se révèle à la station St21 avec un profil de température fraîche en surface et de salinité plus faible faisant penser à la présence d'une lentille dessalée probablement due aux quelques précipitations survenues pendant la journée du 03 août.

Les turbidités les plus élevées en profondeur (néphéloïdes benthiques) sont visibles aux stations St15 et St16 de la Baie de Prony. Les couches turbides profondes proviennent des apports terrigènes de première sédimentation et peuvent aussi être le résultat des phénomènes de remise en suspension ; ils contribuent ainsi à l'enrichissement des eaux de fond en sels nutritifs et débris végétaux accentuant la productivité biologique de ces eaux de fond.

De manière générale, la fluorescence augmente lorsque la profondeur augmente aux stations St03, St06, St15, St16, St18 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 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 ($8,16 \pm 0,03$) (Tableau 3). Le pH moyen global mesuré lors de cette campagne est identique à celui obtenu lors de la précédente campagne de mars 2016 ($8,16 \pm 0,02$) en saison chaude, mais légèrement plus faible que celui obtenu à la même période en août 2015 ($8,23 \pm 0,01$).

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 2016.

Zone d'étude	Statistique	pH	Eléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,16	383	574	1304	13199	19464	2450
	Maximum	8,27	420	615	1413	14158	20160	2780
	Moyenne	8,17	401	599	1354	13769	20036	2671
	Ecart-type	0,03	10	12	30	275	261	87
Baies du Canal	Minimum	8,12	372	521	1274	12955	19464	2070
	Maximum	8,22	418	616	1384	14084	20160	2780
	Moyenne	8,18	397	585	1335	13527	20082	2578
	Ecart-type	<0,01	14	28	33	397	232	218
Baie du Prony	Minimum	8,14	397	581	1335	13439	19464	2335
	Maximum	8,17	450	665	1491	14922	20160	2830
	Moyenne	8,16	424	624	1421	14280	19909	2622
	Ecart-type	<0,01	18	25	52	495	334	137
Ile Ouen	Minimum	8,13	301	443	1072	10853	19464	2230
	Maximum	8,15	468	694	1535	15530	20160	2735
	Moyenne	8,14	423	624	1408	14221	20044	2587
	Ecart-type	<0,01	61	91	169	1694	284	184

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 2016 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 la plus forte a été obtenue dans la baie Kwé, au fond de la station St06 avec 2,66mg/L de MES. Dans cette zone, la présence de MES en surface et au fond est plus marquée qu'à mi-profondeur. Les profils de turbidité de ces stations confirment leur distribution en couches. C'est également dans cette zone que l'on observe la plus forte variation entre les valeurs de MES avec un écart à la moyenne de 0,727mg/L.

A l'inverse la zone la moins chargée en MES est celle du Canal de la Havannah avec une moyenne de $0,401 \pm 0,154$ mg/L. C'est à mi-profondeur de la station St09 que la concentration en MES est la plus faible avec 0,249mg/L, comme le montrent les profils de turbidité.

Dans la baie du Prony, l'ensemble des stations montrent des concentrations en MES plus importantes dans le fond. Dans cette zone, seule la station St19 montre une distribution verticale relativement homogène. Les autres stations montrent des concentrations de surface et de fond plus importantes qu'à mi-profondeur ce qui concorde avec leur profil de turbidité.

Au niveau de l'île Ouen, les valeurs de MES sont légèrement plus élevées en surface qu'au fond pour St20, contrairement aux valeurs de St13 pour laquelle la concentration du fond est plus importante. Une corrélation avec les profils de turbidité s'observe pour la station St20, cette correspondance est moins évidente pour St13, un décalage soit temporel, soit de géolocalisation entre les mesures CTD et la collecte des échantillons en est vraisemblablement la cause.

Ce qu'il faut retenir :

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

A l'inverse, les concentrations de MES diffèrent entre les zones. 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. La distribution verticale des MES qui est observée sur la majorité des stations est nettement corroborée par les profils de turbidité enregistrés.

Dans le Canal de la Havannah où l'influence majeure est océanique, les concentrations moyennes sont faibles. Les concentrations de MES mesurées dans cette zone sont également en lien avec les profils de turbidité enregistrés sauf pour la station St07.

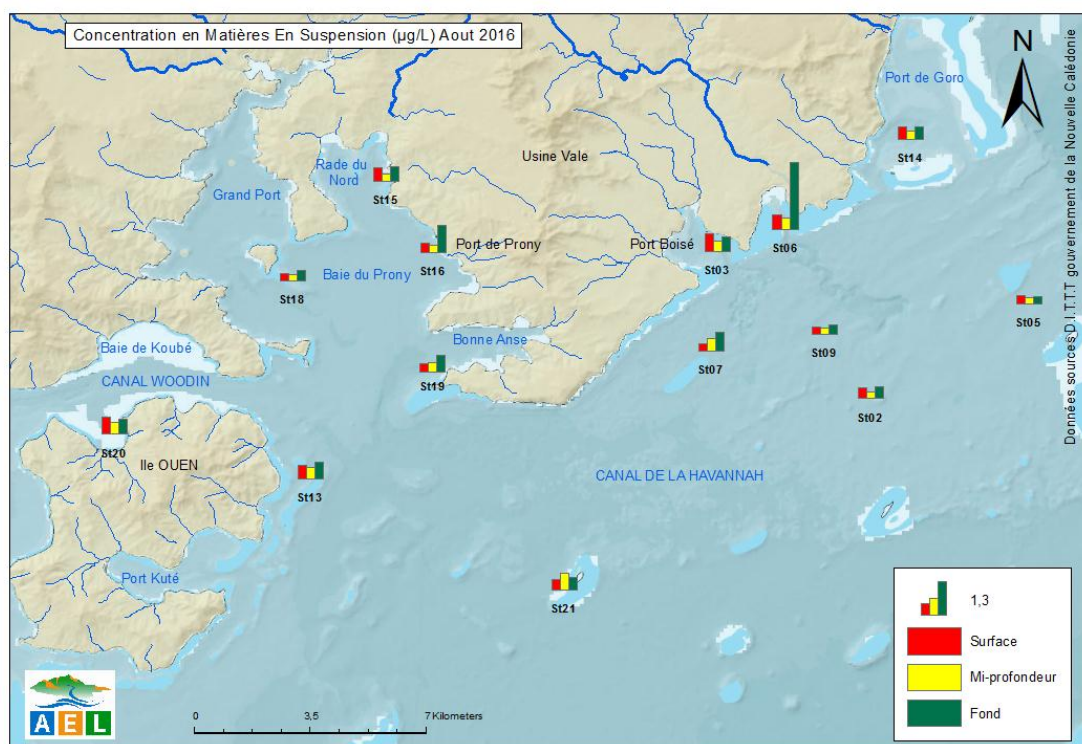


Figure 8: Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Tableau 4:Concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,243
	Maximum	0,746
	Moyenne	0,401
	Ecart-type	0,154
Baies du Canal	Minimum	0,337
	Maximum	2,657
	Moyenne	0,739
	Ecart-type	0,727
Baie du Prony	Minimum	0,256
	Maximum	1,100
	Moyenne	0,454
	Ecart-type	0,240
Ile Ouen	Minimum	0,450
	Maximum	0,674
	Moyenne	0,561
	Ecart-type	0,093

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 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 : Les concentrations comprises entre les valeurs nulles (inférieures à la LD) et la LQ sont prises en compte dans les calculs de moyennes et écart-types, ce qui explique que les moyennes calculées soient inférieures aux LQ dans les tableaux du rapport.

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2016 sont regroupées les Figure 9, Figure 10, le Tableau 5 et l'Annexe 4.

1. Nitrates et nitrites

Rappel : L'ion nitrate (NO_3^-) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le NO_3). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en 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 NO_3 est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenus par réduction des ions 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 (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréments animaux et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles par litre.

La concentration moyenne d'ammonium (NH_4) la plus haute a été obtenue dans la Baie du Canal avec $0,192 \pm 0,298 \mu\text{mol/L}$. Cette valeur est majorée par la présence d'une concentration exceptionnellement élevée à la station St03 au fond avec 0,977 $\mu\text{mol/L}$ et à la station St06 en surface avec 0,215 $\mu\text{mol/L}$.

A contrario, les concentrations moyennes les plus faibles ont été obtenues dans les zones de la Baie du Prony et du Canal de la Havannah ($0,083 \pm 0,078$ et $0,103 \pm 0,075$ $\mu\text{mol/L}$, respectivement) : Concentrations des sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016. (Tableau 5).

Globalement, les eaux de fond concentrent plus de NH_4 , exception faite pour les stations St05, St06, St07, St15 et St21. Une distribution verticale est particulièrement remarquable pour les stations St03 et St16 où les concentrations maximales a été enregistrées au fond ($0,977$ et $0,279$ $\mu\text{mol/L}$, respectivement).

Dans la zone de l'île Ouen le NH_4 est majoritairement présent en surface et à mi-profondeur. (Figure 9)

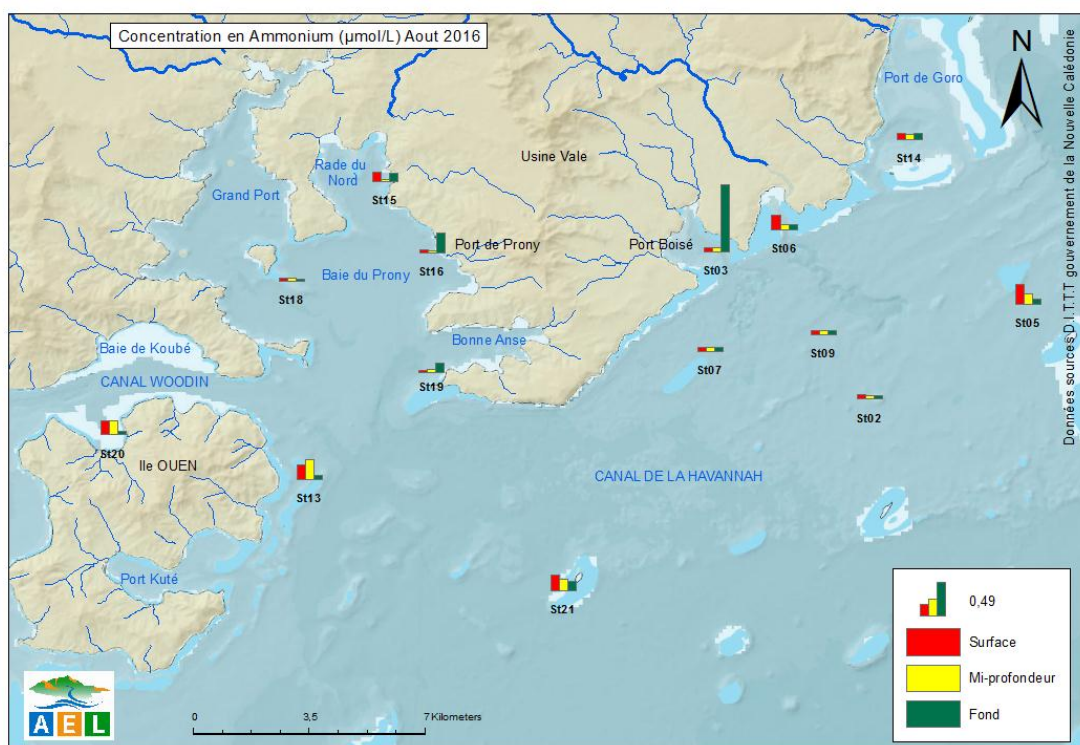


Figure 9: Concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

3. Phosphates

Rappel : Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{2-}). Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique (la zone euphotique correspond à la hauteur d'eau 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.

Aucune concentration supérieure à la limite de quantification des phosphates n'a été détectée sur la zone d'étude pour cette campagne.

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. La concentration moyenne en SiO_4 obtenue dans le Canal de la Havannah est la plus faible ($0,110 \pm 0,190 \mu\text{mol/L}$). A contrario, les moyennes calculées pour la Baie du Prony et les baies du Canal sont comparables et plus élevées. (Respectivement $1,663 \pm 0,764 \mu\text{mol/L}$ et $1,293 \pm 1,537 \mu\text{mol/L}$). Les concentrations sont très hétérogènes dans la zone des baies du Canal avec de fortes concentrations en surface aux stations St03 et St06 majorant la concentration moyenne. (Tableau 5 et Figure 10).

Dans la Baie du Prony, une distribution verticale s'observe uniquement à la station St18. Les stations St15, St16 et St19 présentent des concentrations plus fortes en surface et au fond.

Les résultats mettent en évidence une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante. Cela s'explique par la présence des apports terrigènes provenant des bassins versants alimentant les baies Kwé et du Prony (Figure 10).

Ce qu'il faut retenir :

La quantification des sels nutritifs comme le NO_3+NO_2 et les PO_4 n'a pas fourni de valeurs exploitables pour un certain nombre de stations ; seule une valeur de NO_3+NO_2 a été relevée à la station St06. En revanche, les concentrations NH_4 et SiO_4 ont été quantifiables sur l'ensemble de la zone avec des profils de répartitions bien distincts.

Pour le NH_4 , des variations assez importantes de concentrations s'observent dans les baies du Canal et dans la Baie du Prony, particulièrement en profondeur avec un maximum révélé à la station St03 ainsi qu'à la station St16. Ces stations subissent probablement les impacts des installations hôtelière (St03) et portuaire (St16), la présence de NH_4 dans l'eau traduisant un processus de dégradation incomplet de la matière organique.

Les concentrations de NH_4 dans les eaux superficielles du Canal de la Havannah aux stations St05, St21 et celles de l'Île Ouen sont supérieures à la moyenne de la zone ; elles reflètent l'influence des apports de matières organiques d'origines océaniques.

Les concentrations de SiO_4 les plus importantes ont été mesurées dans la Baie du Prony et les baies du Canal particulièrement dans les eaux de surface. A l'inverse, dans le Canal de la Havannah, voire autour de l'Île Ouen, les eaux sont très pauvres. Ce paramètre permet de mettre ainsi en évidence les apports terrigènes grâce à sa distribution « côte-large » et « surface-fond ».

L'étude temporelle ne montre pas d'évolution significative des concentrations moyennes de NO_3+NO_2 , NH_4 , PO_4 et 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 2007 (Annexe 7).

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	<0,017	0,047	<0,017	<0,017
	Maximum	0,024	0,297	<0,017	0,589
	Moyenne	0,002	0,103	-	0,110
	Ecart-type	0,006	0,075	-	0,190
Baies du Canal	Minimum	<0,017	0,058	<0,017	0,137
	Maximum	0,098	0,977	<0,017	4,763
	Moyenne	0,011	0,192	-	1,293
	Ecart-type	0,033	0,298	-	1,537
Baie du Prony	Minimum	<0,017	0,026	<0,017	0,624
	Maximum	<0,017	0,297	<0,017	2,923
	Moyenne	-	0,083	-	1,663
	Ecart-type	-	0,078	-	0,764
Ile Ouen	Minimum	<0,017	0,055	<0,017	0,247
	Maximum	<0,017	0,294	<0,017	1,001
	Moyenne	-	0,170	-	0,659
	Ecart-type	-	0,095	-	0,242

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

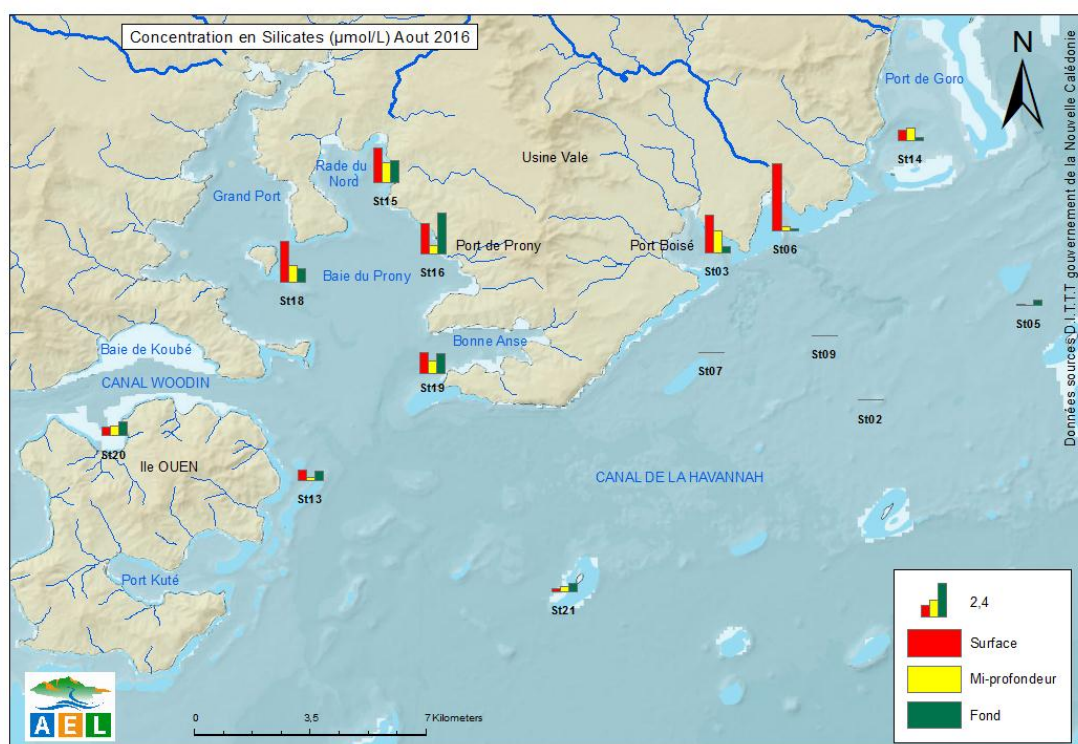
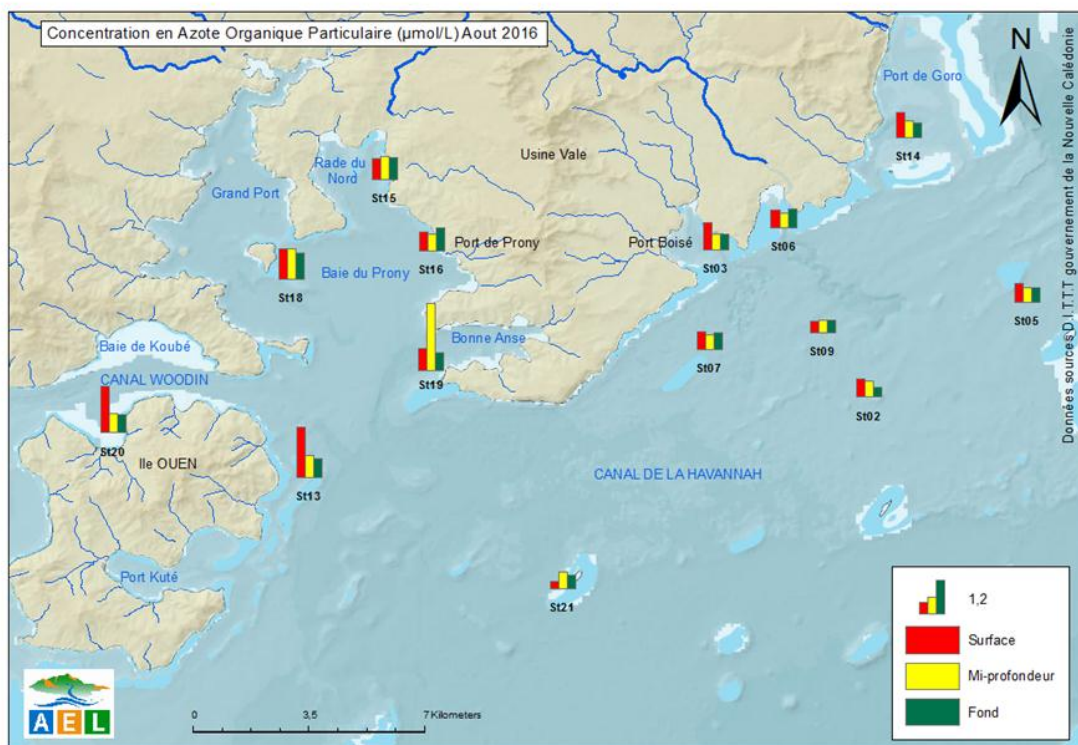


Figure 10: Concentrations en silicates (SiO₄) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2016 sont regroupées dans les Figure 11, Figure 12, Figure 13, Figure 14, Figure 15 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 de nature biogénique, qu'elle soit d'origine océanique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, macro-organismes pélagiques...) ou terrestre (bactéries, débris végétaux,...) voire éolienne (bactéries, pollens, ...). D'une manière générale, la concentration en composés organiques dissous est très faible, particulièrement dans l'océan ouvert.

Les concentrations d'azote organique dissous (NOD) montrent des variations au sein de la zone d'étude et de la colonne d'eau tandis que le phosphore organique dissous (POD) est plus stable (Tableau 6).

Les concentrations de NOD les plus dispersées sont mesurées dans la zone des baies du Canal et de la Baie du Prony, l'écart maximal étant mesuré, respectivement entre St14-M (18,372 µmol/L) et St03-S (3,243 µmol/L) et entre St16-M (20,458 µmol/L) et St19-M (3,768 µmol/L).

Globalement, la concentration moyenne sur l'ensemble de la zone d'étude est de $9,042 \pm 5,282$ µmol/L, valeur qui a considérablement augmenté par rapport à la campagne d'août 2015 pour laquelle la concentration moyenne globale était de $4,36 \pm 1,07$ µmol/L (Figure 11).

Les concentrations en POD varient assez peu dans la zone d'étude avec une moyenne globale de $0,126 \pm 0,056$ $\mu\text{mol/L}$. A l'exception de la zone des baies du Canal qui possède la valeur maximale et minimale à la station St03.

En dépit de cette variabilité des concentrations, aucune évolution horizontale structurée n'est constatée pour les POD.

En ce qui concerne la distribution verticale, les POD semblent se concentrer légèrement plus dans les eaux de fond, notamment aux stations des baies du Canal (St03, St06, St14), de la Baie du Prony (St15, St18) ainsi que dans le Canal de la Havannah (St02, St21).

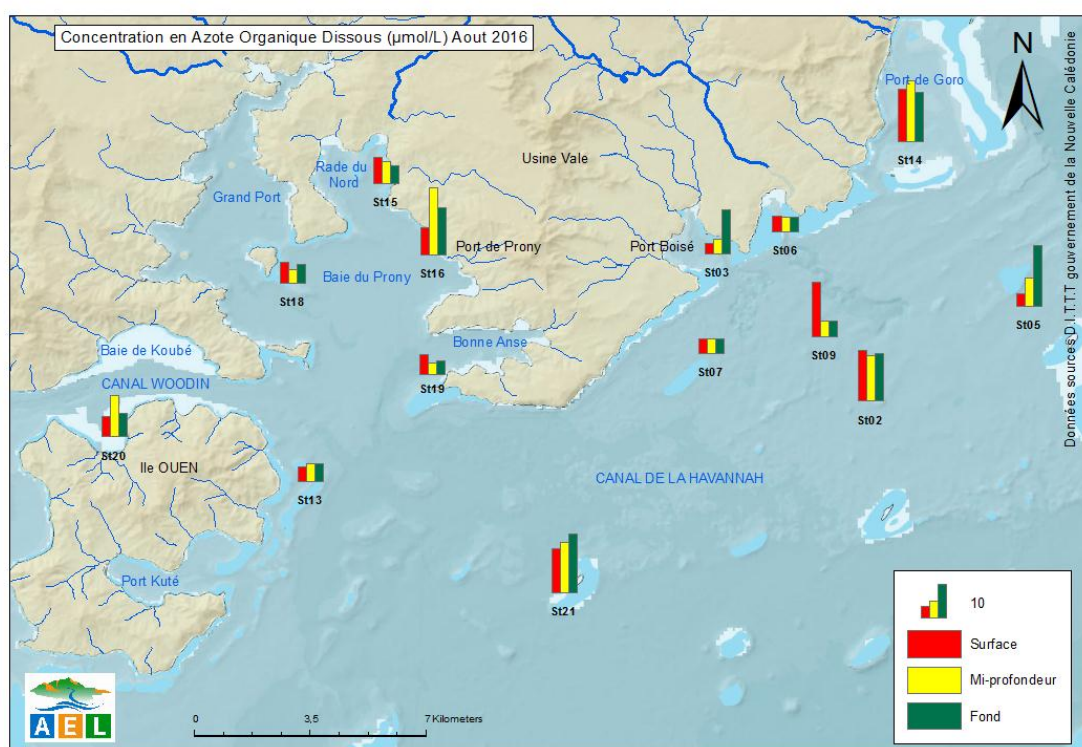


Figure 11 : Concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

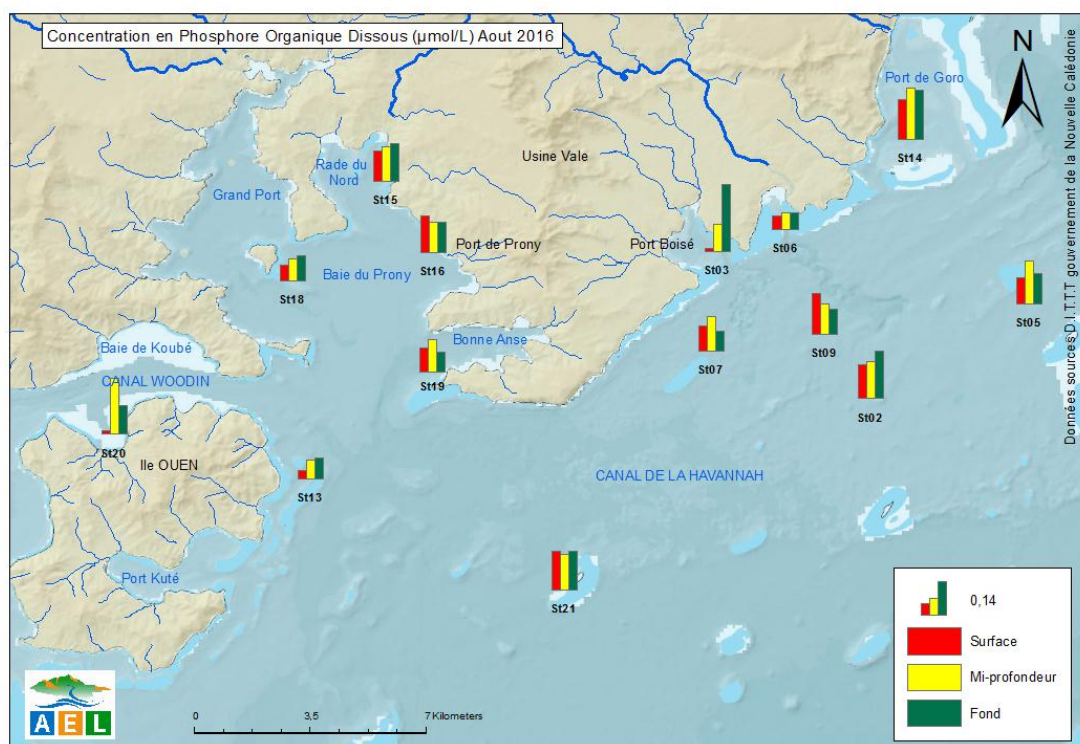


Figure 12 : Concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

2. Azote, carbone et phosphore organiques particuliers

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

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

Pour l'azote et le phosphore organique particulaire (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 dans la zone d'étude du carbone organique particulaire (COP) montre deux groupes distincts. Le premier possède les concentrations moyennes les plus élevées au niveau des baies du Canal et de l'île Ouen (respectivement $10,561 \pm 7,657 \mu\text{mol/L}$ et $10,144 \pm 6,380 \mu\text{mol/L}$). Le deuxième, montre des concentrations moitié moins élevées au niveau du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (respectivement $2,279 \pm 1,251$ et $5,526 \pm 1,896 \mu\text{mol/L}$).

Quelques stations ont des concentrations de COP particulièrement élevées en surface telles que St03 (12,392 $\mu\text{mol/L}$) et St20 (22,817 $\mu\text{mol/L}$). De même, les stations St06 (28,925 $\mu\text{mol/L}$) et St16 (10,375 $\mu\text{mol/L}$) ont des concentrations de fond très importantes (Figure 13).

Pour les trois paramètres (COP, NOP et POP), des concentrations importantes sont relevées au fond des stations St06 et St16. Il en est de même, en surface pour les stations St03, St14 et St20 (Figure 13 ; Figure 14 ; Figure 15).

Pour le COP, les valeurs dans le Canal de la Havannah des concentrations en COP augmentent légèrement avec la profondeur ;

- Pour le NOP, les concentrations augmentent en surface à l'exception de deux stations (St16 avec 0,676 $\mu\text{mol/L}$ au fond et St19 à mi-profondeur avec 2,349 $\mu\text{mol/L}$).
- Pour le POP, les concentrations augmentent avec la profondeur à l'exception des stations St13, St20, St03, St14 et St05.

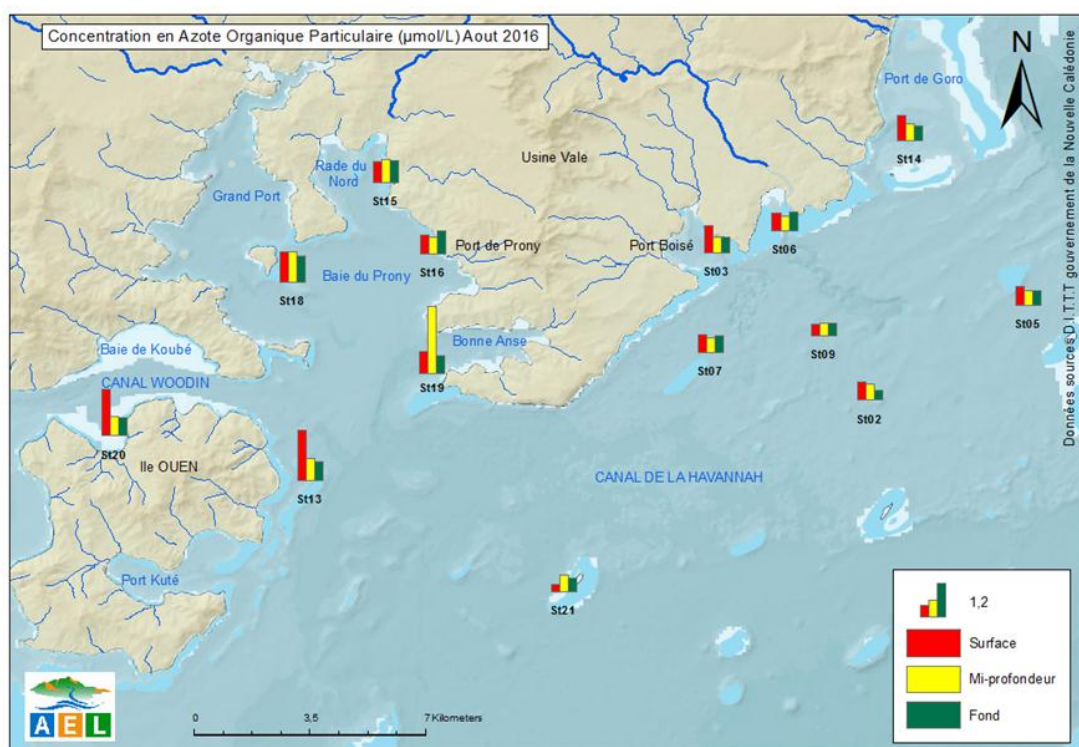


Figure 13 : Concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

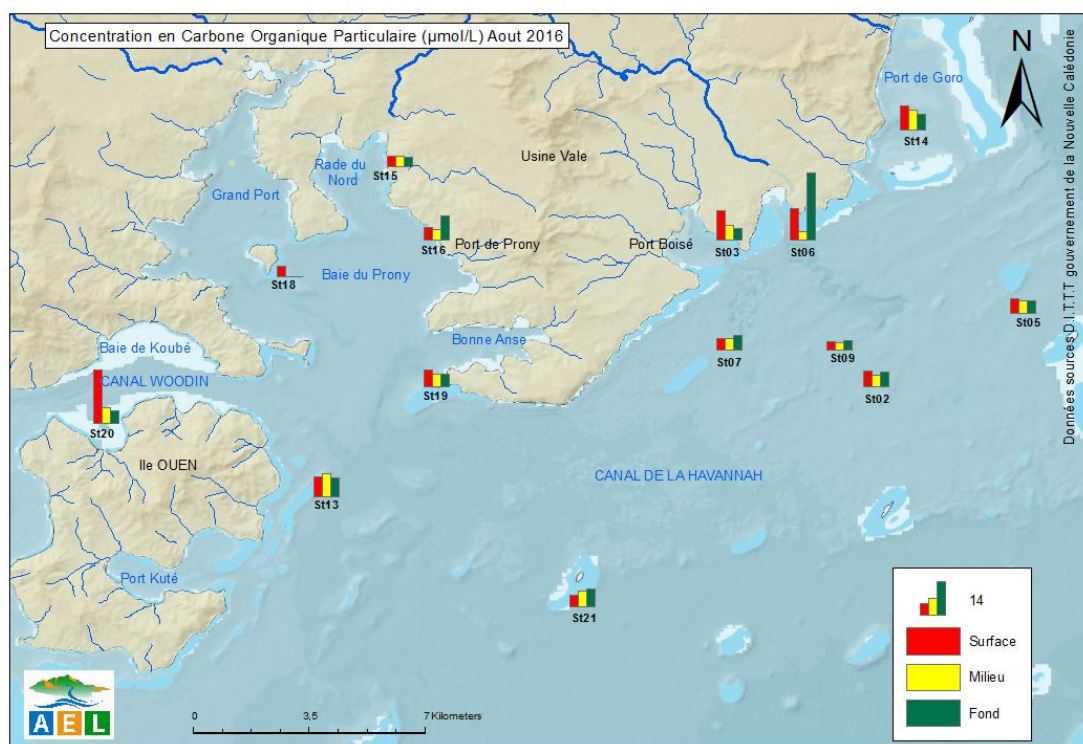


Figure 14 : Concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

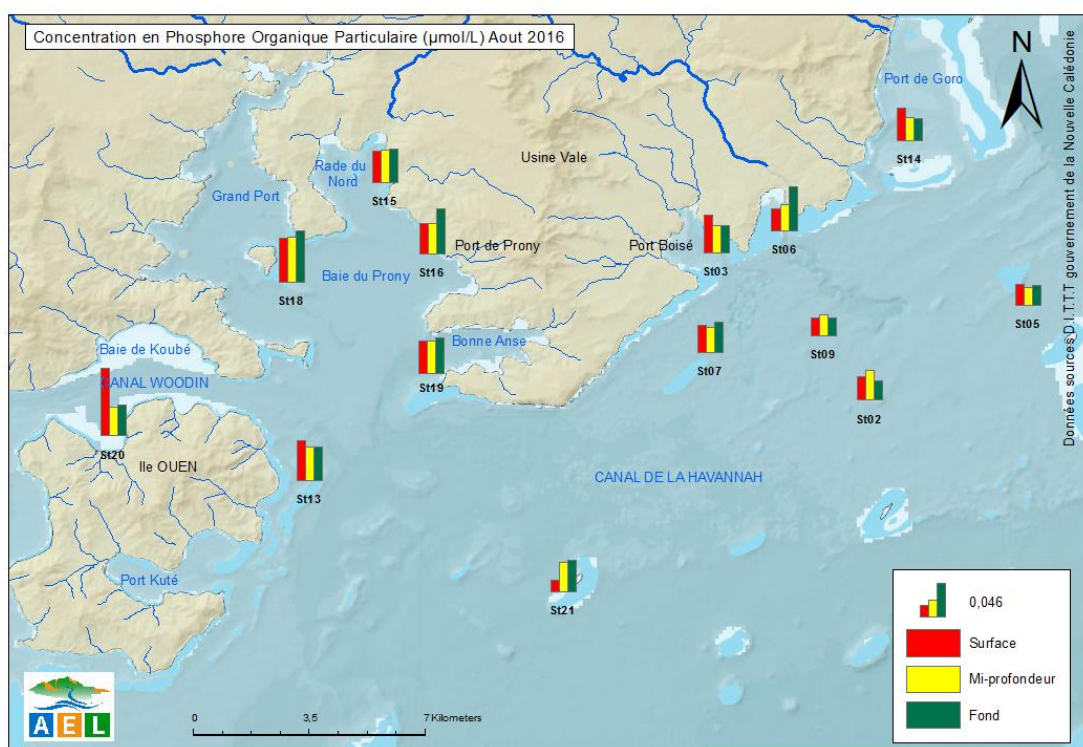


Figure 15 : Concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

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 2016.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	4,00	0,245	0,084	0,016	2,99
	Maximum	18,55	0,653	0,198	0,043	7,31
	Moyenne	10,73	0,502	0,141	0,031	5,28
	Ecart-type	5,68	0,116	0,032	0,008	1,25
Baie Canal	Minimum	3,24	0,491	0,013	0,030	3,53
	Maximum	18,37	0,936	0,280	0,060	28,93
	Moyenne	9,32	0,635	0,132	0,040	10,56
	Ecart-type	6,14	0,158	0,089	0,010	7,66
Baie du Prony	Minimum	3,77	0,596	0,064	0,042	4,08
	Maximum	20,46	2,349	0,154	0,071	10,38
	Moyenne	7,81	0,929	0,118	0,051	5,53
	Ecart-type	4,87	0,469	0,029	0,010	1,90
Ile Ouen	Minimum	4,64	0,623	0,014	0,040	5,31
	Maximum	12,51	1,776	0,233	0,092	22,82
	Moyenne	6,89	1,021	0,095	0,054	10,14
	Ecart-type	2,87	0,534	0,077	0,020	6,38

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 2016 sont représentées dans la Figure 16 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5.

Les concentrations obtenues sont globalement homogènes sur la zone d'étude. Les eaux des baies du Canal sont légèrement plus chargées ($0,277 \pm 0,082 \mu\text{g/L}$) que celles de la Baie du Prony ($2,559 \pm 0,067 \mu\text{g/L}$) et du Canal de la Havannah ($0,257 \pm 0,084 \mu\text{g/L}$) (Tableau 7). Les concentrations moyennes plus faibles se retrouvent dans la zone de l'Ile Ouen.

La distribution en Chlorophylle *a* est assez hétérogène. En effet, soit elle montre des concentrations plus fortes au fond (St15 et St20), soit en surface (St07), ou encore en surface et au fond, comme pour les stations St13, St05 et St09. (Figure 16).

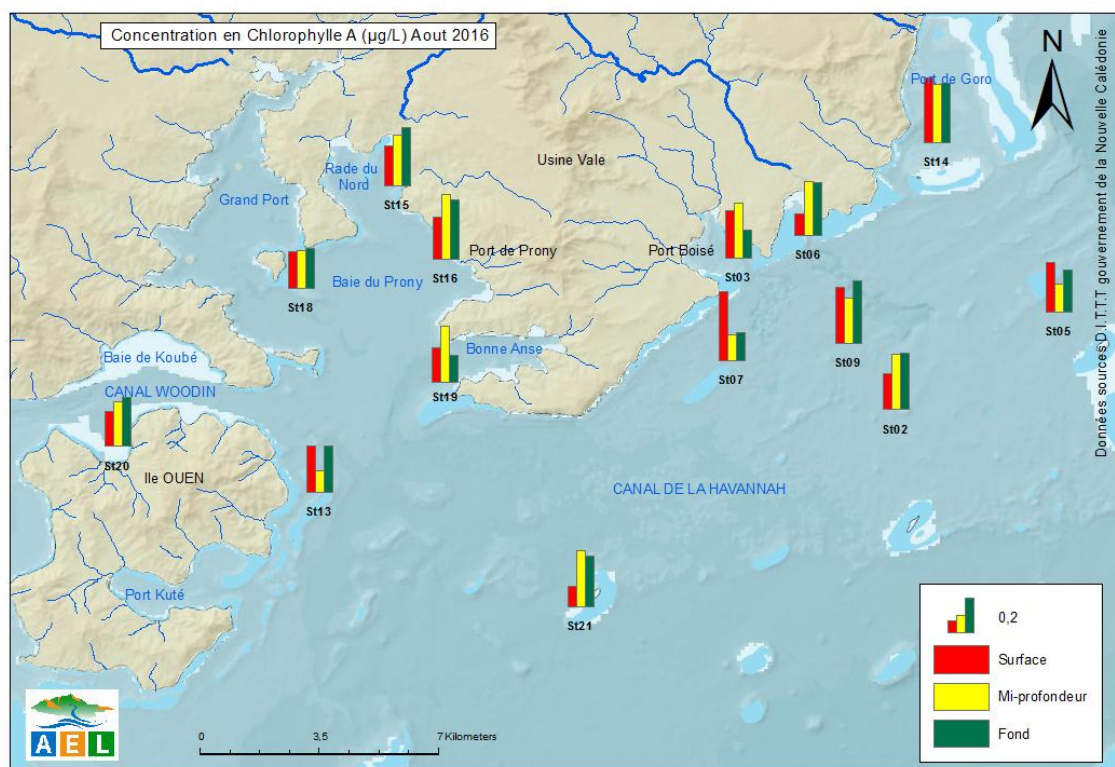


Figure 16 : Concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Tableau 7: Concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,113
	Maximum	0,393
	Moyenne	0,257
	Ecart-type	0,084
Baie Canal	Minimum	0,123
	Maximum	0,367
	Moyenne	0,277
	Ecart-type	0,082
Baie du Prony	Minimum	0,157
	Maximum	0,369
	Moyenne	0,259
	Ecart-type	0,067
Ile Ouen	Minimum	0,121
	Maximum	0,278
	Moyenne	0,229
	Ecart-type	0,060

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations de NOD, POD et COP les plus faibles sont mesurées dans le Canal Havannah. En revanche, les stations qui concentrent le plus ces éléments sont celles des baies et de l'île Ouen.

La chlorophylle *a* se retrouve dans toute la zone de façon assez homogène.

Dans la Baie du Prony, l'on constate que les concentrations en POD, NOP, POP et chlorophylle *a* augmentent avec la profondeur, en corrélation avec les profils de la fluorescence, particulièrement aux stations St15, St16, St18 et St19.

G. METAUX DISSOUS

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 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. En ce qui concerne les analyses effectuées par un laboratoire prestataire dont les données en dessous de la LQ ne sont pas fournies, celles-ci sont minorées à LQ/3 pour les traitements numériques.

Note : Les concentrations comprises entre les valeurs nulles (inférieures à la LD) et la LQ sont prises en compte dans les calculs de moyennes et écart-types, ce qui explique que les moyennes calculées soient inférieures aux LQ dans les tableaux du rapport.

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2016 sont regroupées dans les Figure 17 à Figure 23 et dans les Tableau 8 et Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Les concentrations de Cd sont presque toutes en dessous de la LQ fixée ($<0,025 \mu\text{g/L}$) ; 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 peu de valeurs se situant entre la LD et la LQ sont données à titre indicatif

Seulement quelques concentrations en Pb ont été quantifiables au niveau du Canal de la Havannah (St07-S : $0,102 \mu\text{g/L}$ / St13-S : $0,216 \mu\text{g/L}$ / St20-S : $0,167 \mu\text{g/L}$ et St20-M : $0,147 \mu\text{g/L}$). Il en est de même pour le Zn détecté uniquement à l'île Ouen (St13-S : $3,451 \mu\text{g/L}$ et St20-S : $1,299 \mu\text{g/L}$ et St20-F : $1,683 \mu\text{g/L}$) et dans la Baie du Prony (St15-S : $2,368 \mu\text{g/L}$ et St19-F : $1,064 \mu\text{g/L}$)

Pour rappel, la limite de quantification du Pb est de $0,100 \mu\text{g/L}$ et $1,00 \mu\text{g/L}$ pour Zn.

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 17). L'arsenic étant un élément ubiquiste, les variations sans un apport tiers, sont à lier avec les évolutions naturelles du milieu.

Le Fe a été déterminé en surface pour la moitié des stations de la zone d'étude dont uniquement deux d'entre elles révèlent également la présence de cet élément à mi-profondeur (St20 et St19) et pour l'ensemble de la colonne d'eau à la station St14. La station qui présente la concentration en Fe la plus élevée est St07 dans la Baie du Canal en surface (0,295µg/L). (Tableau 8).

Le Cu ne présente pas de distribution particulière au sein du domaine d'étude. Toutefois, la présence quantifiable de Cu se situe essentiellement en surface pour la plupart des stations et également à mi-profondeur pour les stations St18 et St16. La concentration maximale a été mesurée dans la Baie du Canal à la station St03 avec 0,658µg/L. (Tableau 8).

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 2016.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		As*	Cr ^{VI}	Cr-total	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	0,33	0,108	NE	<0,009	<0,008
	Maximum	3,10	0,125	NE	0,025	0,386
	Moyenne	1,67	0,114	NE	0,015	0,039
	Ecart-type	0,72	0,004	NE	0,006	0,098
Baies du Canal	Minimum	0,33	0,116	NE	0,023	<0,008
	Maximum	2,00	0,367	NE	0,100	0,658
	Moyenne	1,01	0,162	NE	0,041	0,089
	Ecart-type	0,68	0,083	NE	0,029	0,214
Baie du Prony	Minimum	0,33	0,140	NE	0,039	<0,008
	Maximum	2,10	0,229	NE	0,086	0,298
	Moyenne	1,49	0,171	NE	0,053	0,063
	Ecart-type	0,45	0,035	NE	0,015	0,089
Ile Ouen	Minimum	0,33	0,115	NE	<0,009	<0,008
	Maximum	2,30	0,147	NE	0,040	0,122
	Moyenne	1,37	0,127	NE	0,024	0,033
	Ecart-type	0,65	0,013	NE	0,014	0,045

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,027 et 0,025 µg/L, respectivement pour Co et Cu) et >LD (0,009 et 0,008 µg/L, respectivement, pour Co et Cu). * : les analyses effectuées par un laboratoire prestataire dont les valeurs en dessous de la LQ ne sont pas fournies sont minorées à LQ/3. Ainsi, cette valeur correspond alors à la LD. NE, Non Exploitable.

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 2016.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	<0,023	0,018	0,054	<0,033	<0,333
	Maximum	0,295	0,189	0,169	0,102	0,931
	Moyenne	0,030	0,063	0,097	0,024	0,112
	Ecart-type	0,080	0,044	0,037	0,031	0,298
Baies du Canal	Minimum	<0,023	0,022	0,072	<0,033	<0,333
	Maximum	0,148	0,446	0,692	0,057	1,231
	Moyenne	0,067	0,193	0,260	0,016	0,176
	Ecart-type	0,052	0,145	0,212	0,024	0,412
Baie du Prony	Minimum	<0,023	0,139	0,204	<0,033	<0,333
	Maximum	0,110	0,480	0,525	0,108	3,903
	Moyenne	0,046	0,271	0,348	0,042	0,931
	Ecart-type	0,046	0,101	0,098	0,041	1,124
Ile Ouen	Minimum	<0,023	0,018	0,061	<0,033	<0,333
	Maximum	0,167	0,264	0,309	0,216	3,451
	Moyenne	0,080	0,166	0,219	0,088	1,134
	Ecart-type	0,071	0,091	0,084	0,099	1,330

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,068, 0,028, 0,100 et 1,00 µg/L, respectivement pour Fe, Mn, Pb et Zn) et >LD (0,023, 0,009, 0,033 et 0,333 µg/L, respectivement, Fe, Mn, Pb et Zn).

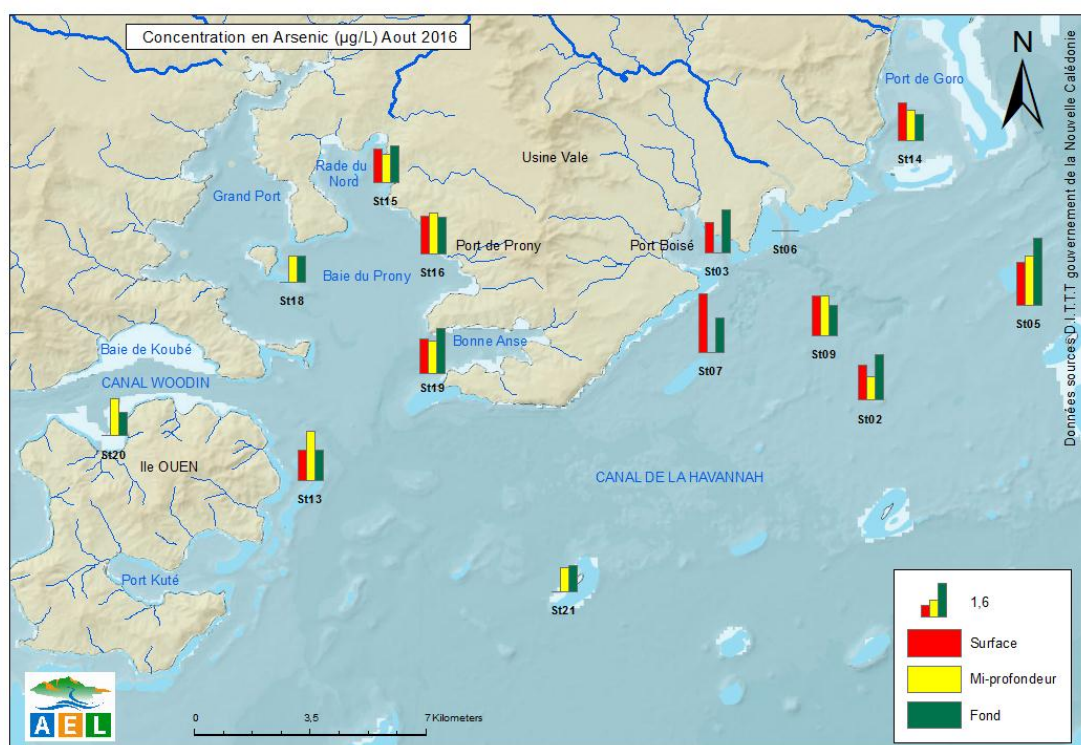


Figure 17 : Concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

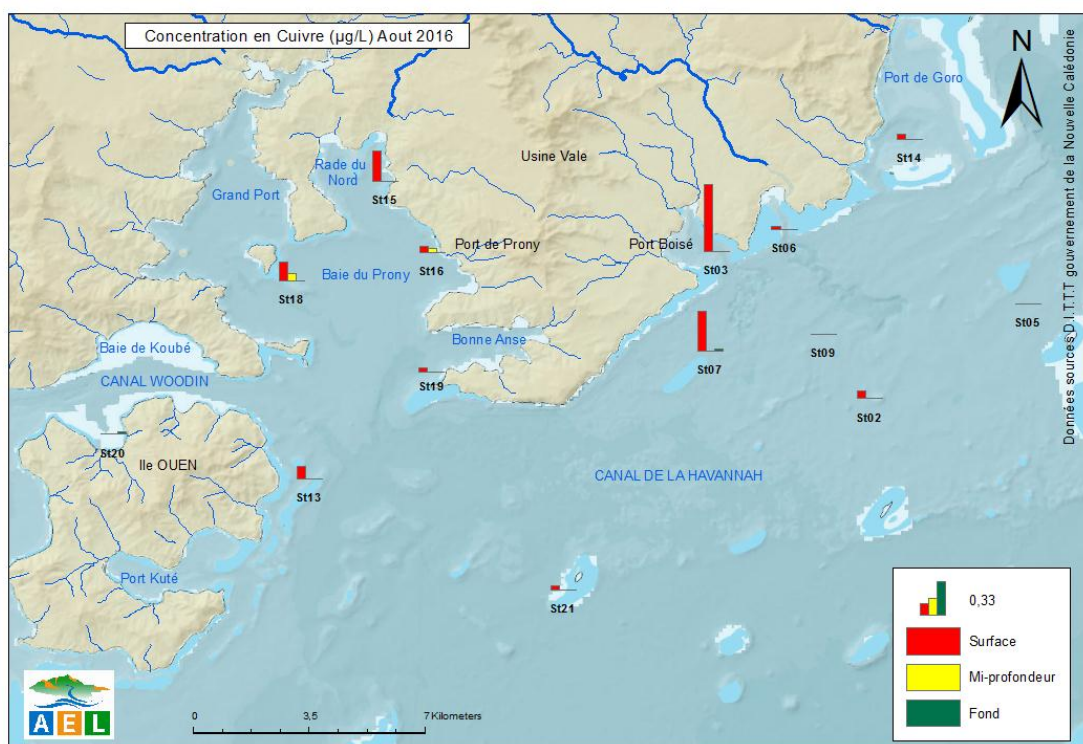


Figure 18:Concentrations en cuivre (Cu) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

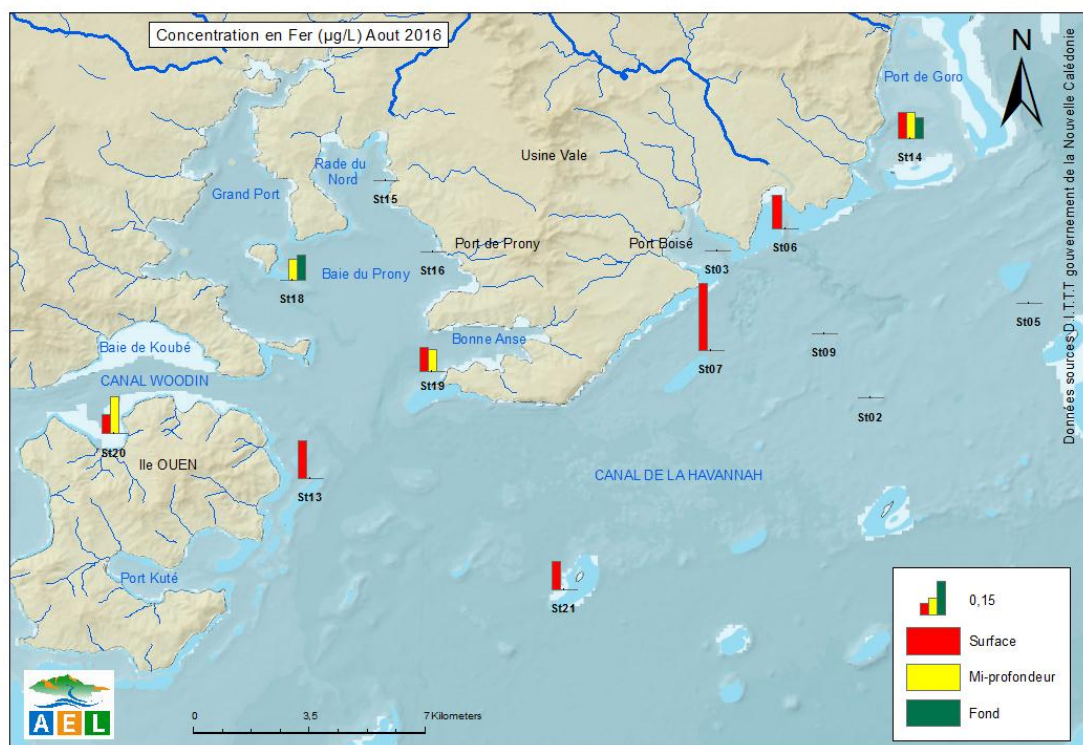


Figure 19:Concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Les métaux dissous Cr^{VI} , Co, Mn et Ni présentent dans l'ensemble une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante bien définie. Les résultats, inversement corrélés aux profils de salinité, 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 (Figure 21 et Figure 22). Comme pour le Cr^{VI} , les maximales de concentrations 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 verticale et horizontale des concentrations de Co, Mn et Ni sont fortement corrélées (Figure 19, Figure 22 et Figure 23).

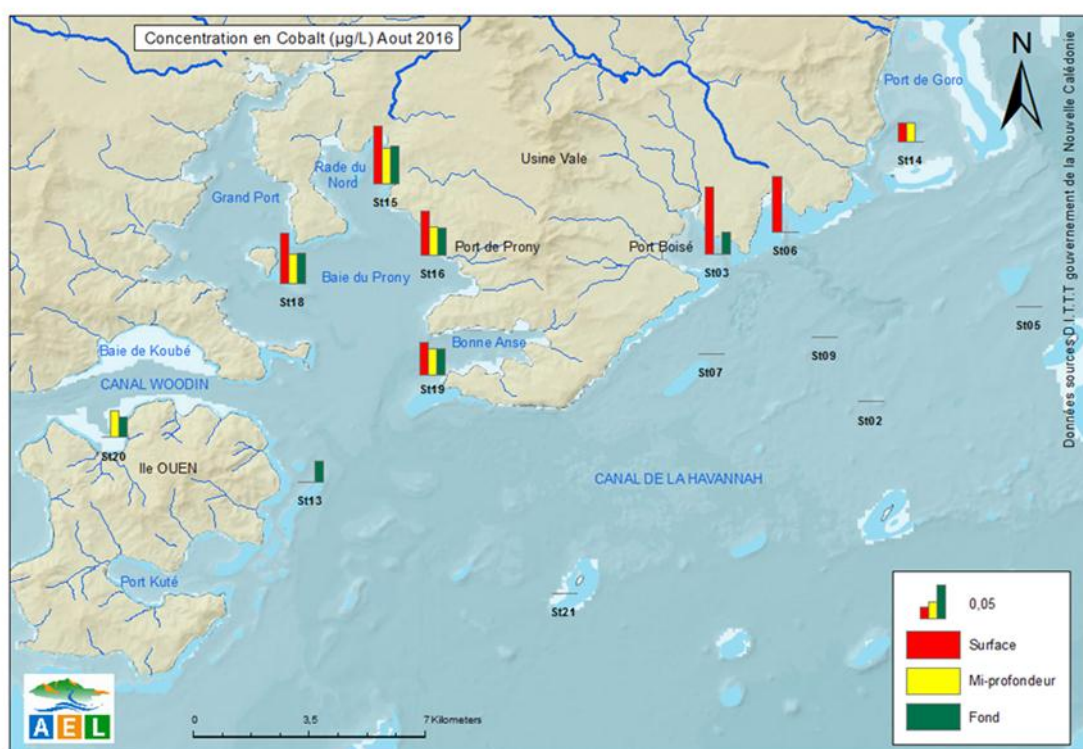


Figure 20: Concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

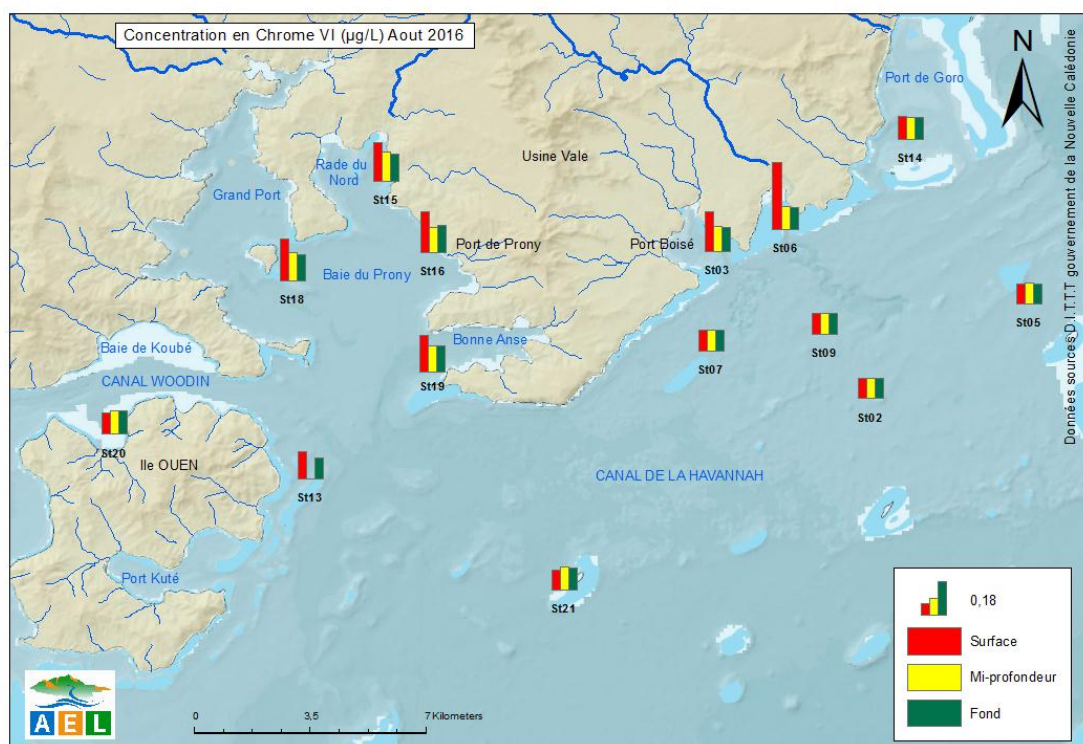


Figure 21 : Concentrations en chrome (CrVI) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

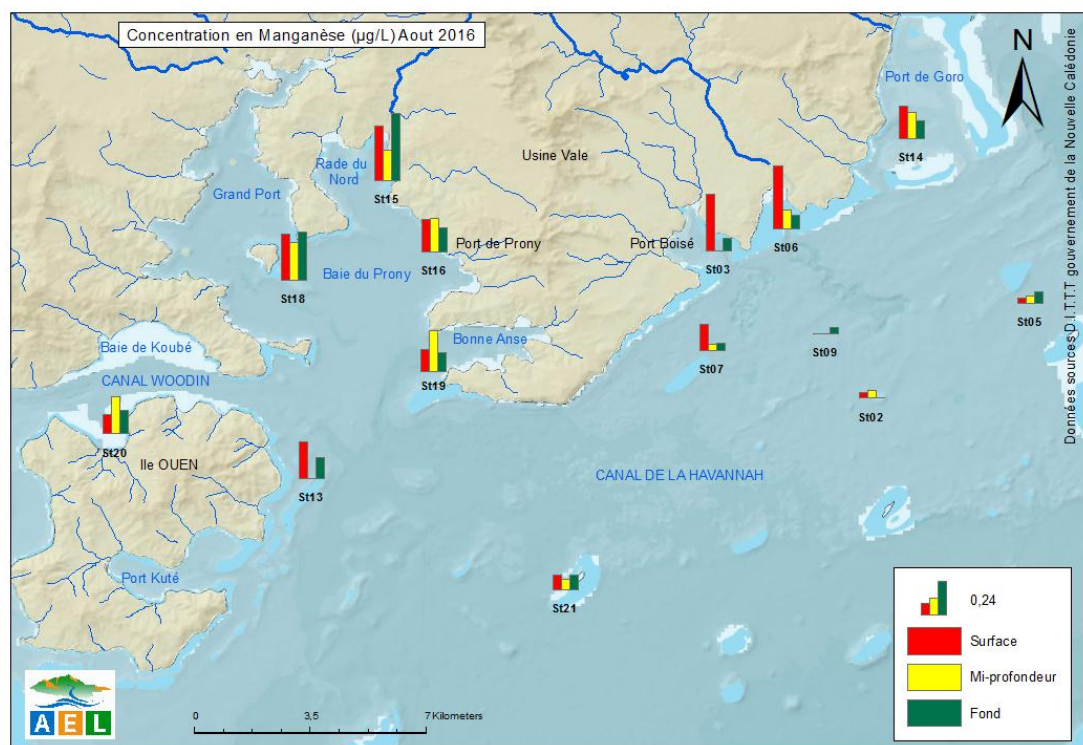


Figure 22 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

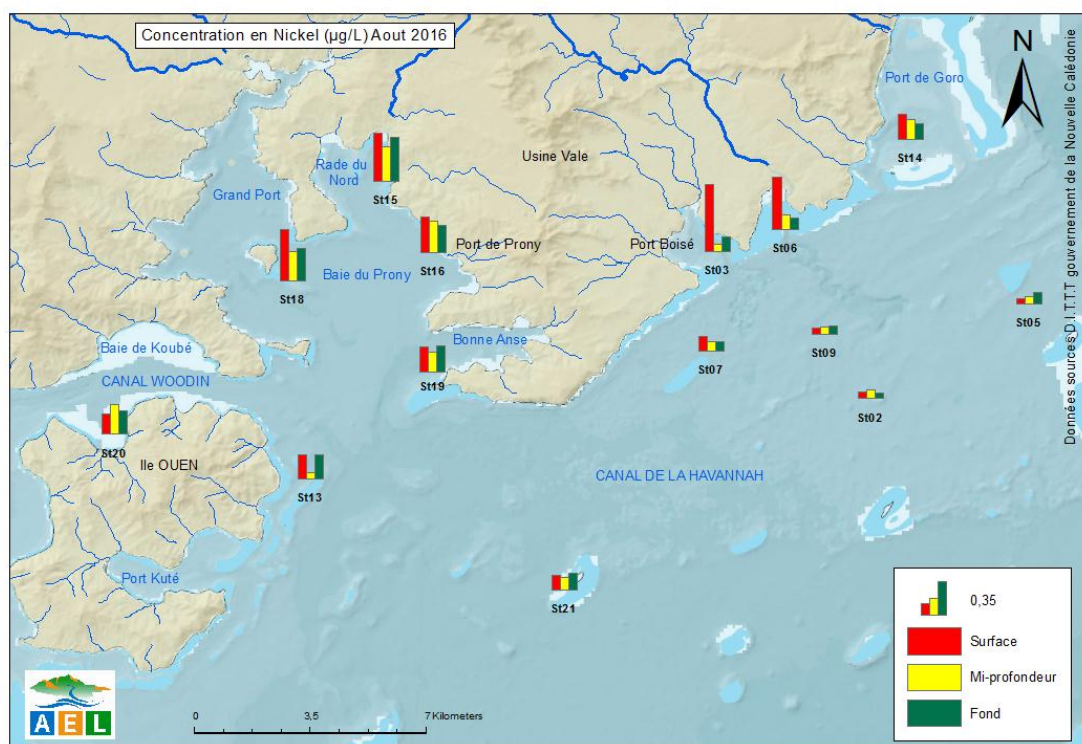


Figure 23 : Concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Ce qu'il faut retenir :

Les métaux dissous Cr^{VI} , 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 en majorité 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, notamment les plus élevées en Pb et Zn, mesurées en surface de la station St13 et dans le fond pour le Zn.

Globalement, les concentrations d'As, Cr^{VI} , Cr-total, Co, Mn et Ni mesurées lors de la campagne d'août 2016 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 25 et confronté avec les évolutions des sels nutritifs et métaux dissous.

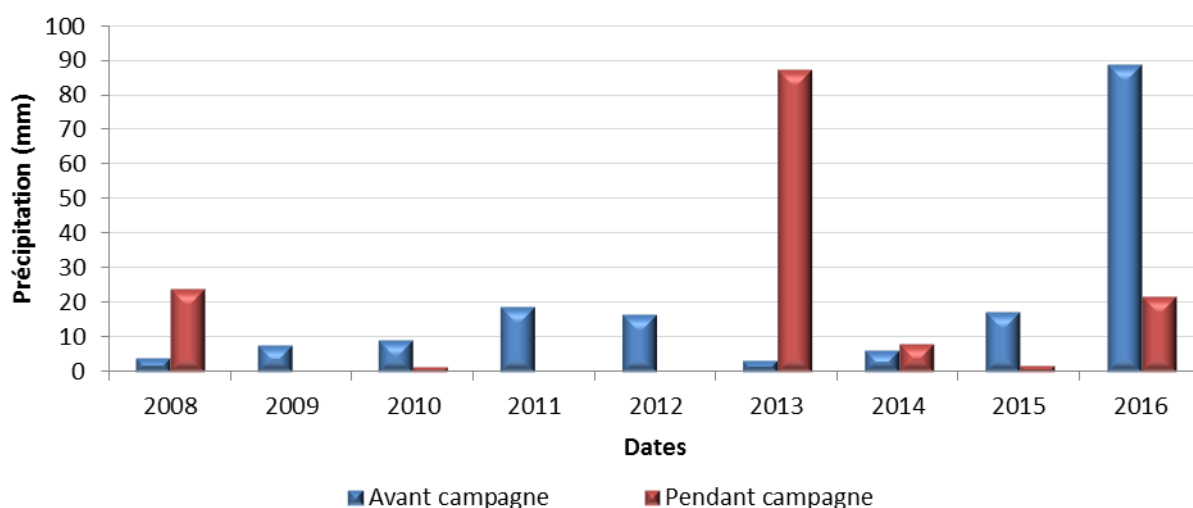


Figure 24 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraîche » de 2008 à 2016 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

A. SELS NUTRITIFS

L'évolution des concentrations de NH_4 et de NO_3+NO_2 entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 a été reportée dans les Figure 28, Figure 26, Figure 27 et Figure 28. Leur évolution a été étudiée aux stations St05, St09, St06 et St15.

1. Ammonium

A la station St05, à l'exception des valeurs de 2010 et de 2016, les concentrations en 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.

De la même manière, à la station St09 (exception faite d'une valeur extrême en 2013 pour les eaux de surface), les concentrations de 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 concernent les stations St06 et St15, les concentrations en NH_4 ne montrent pas de tendance particulière entre les campagnes. Il est, cependant possible de remarquer que les concentrations sont beaucoup plus variables entre les campagnes ainsi qu'au sein même de la colonne d'eau ; par exemple, en St06 pour 2008, 2010, 2012, 2016 et en St15 pour 2010, 2011, 2015 et 2016. Ces observations seraient en partie à lier avec la présence de matières organiques issues essentiellement de la dégradation des débris végétaux terrigènes apportés par les creeks de manière événementielle (précipitations atmosphériques).

1. Nitrates et nitrites

A la station St05, les concentrations de NO_3+NO_2 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 NO_3+NO_2 se concentre plus au fond, comme constaté pour le NH_4 .

Pour les stations St06 et St15, les concentrations en NO_3+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 NH_4 et pour des raisons identiques.

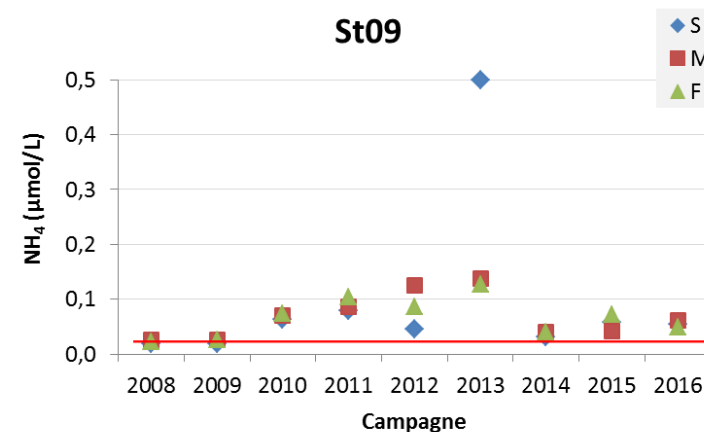
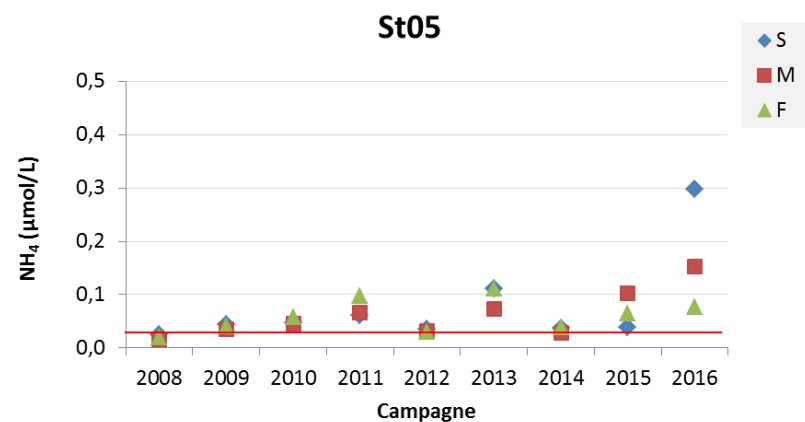


Figure 25 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 $\mu\text{mol/L}$).

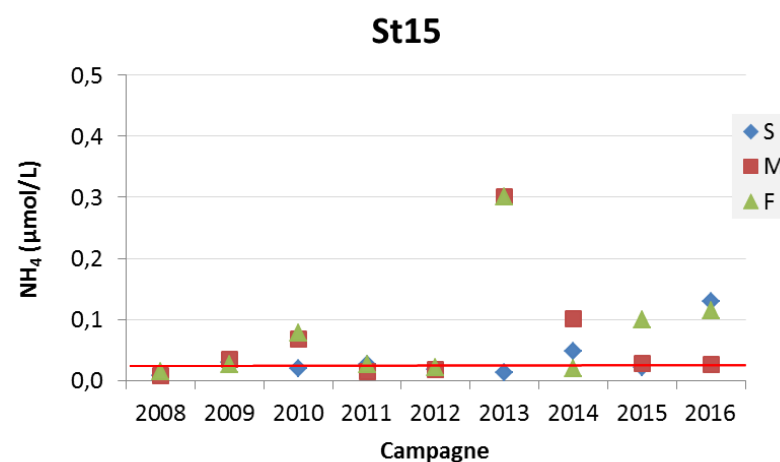
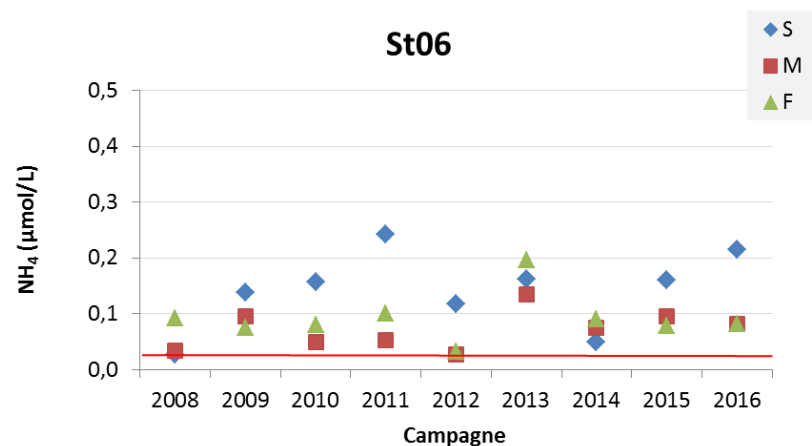


Figure 26 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 $\mu\text{mol/L}$).

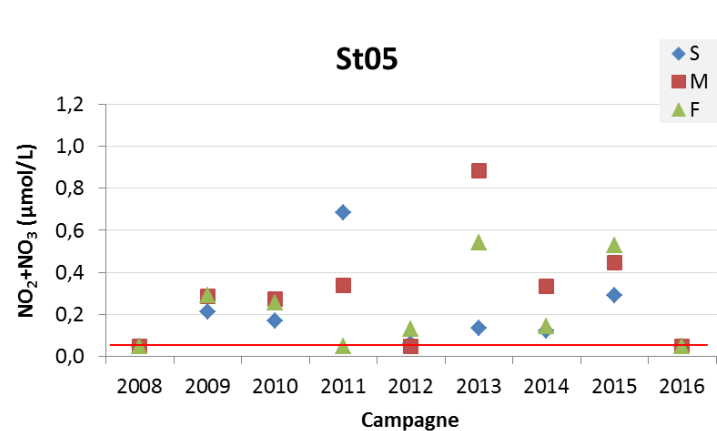


Figure 27 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2016); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

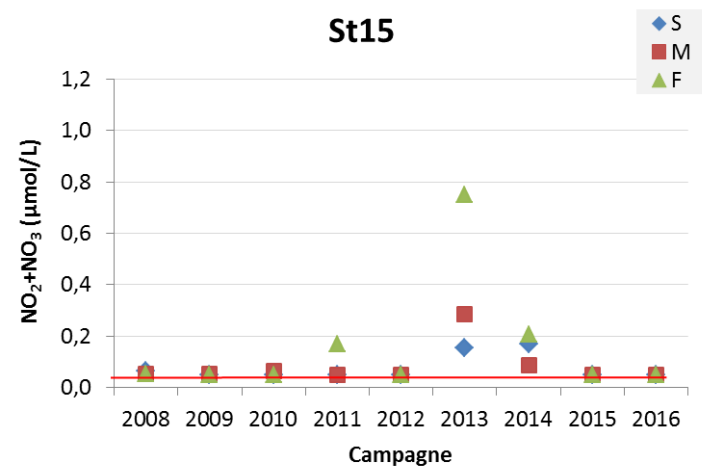
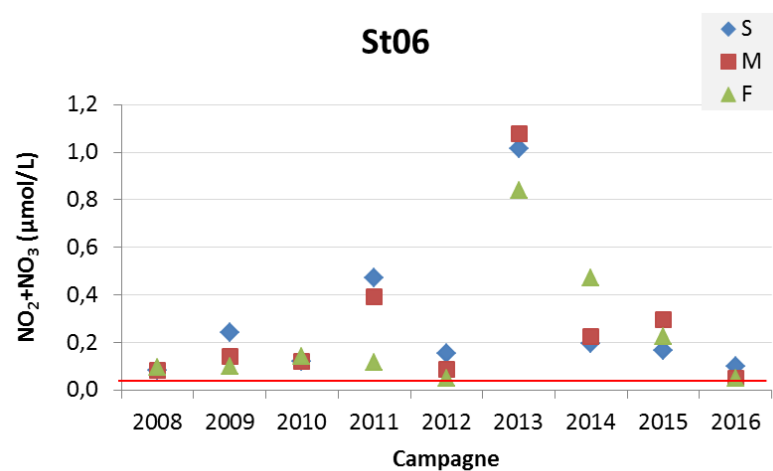


Figure 28 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

B. METAUX DISSOUS

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

L'évolution des concentrations de Co, Cr^{VI}, Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations St03, St06 et St15 a été reportée dans les Figure 32, Figure 30, Figure 31 et Figure 32.

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 Cr^{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 puisque les concentrations varient fortement sur l'intégralité de la colonne d'eau (S : $0,371 \pm 0,266$ µg/L ; M : $0,156 \pm 0,074$ et F : $0,200 \pm 0,095$ µg/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 ;
- Cr^{VI}, sa variation est observée uniquement dans les eaux de surface (S : $0,275 \pm 0,236$ µg/L ; M : $0,148 \pm 0,037$ et F : $0,144 \pm 0,032$ µg/L), en dessous, les concentrations sont remarquablement constantes ;
- Co et Ni (S : $0,077 \pm 0,035$ µg/L ; M : $0,035 \pm 0,007$ et F : $0,040 \pm 0,010$ µg/L et S : $0,566 \pm 0,437$ µg/L ; M : $0,227 \pm 0,083$ et F : $0,264 \pm 0,099$ µg/L, respectivement), les concentrations varient essentiellement dans les eaux de surface.

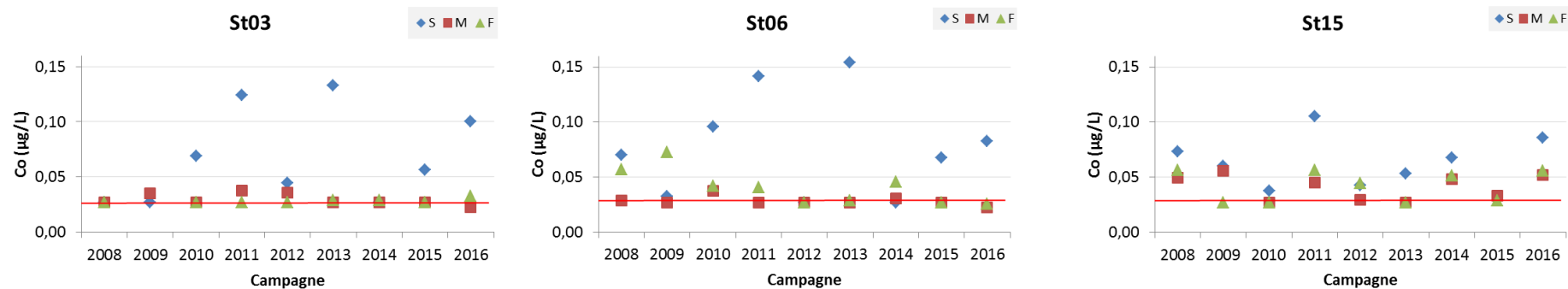


Figure 29 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

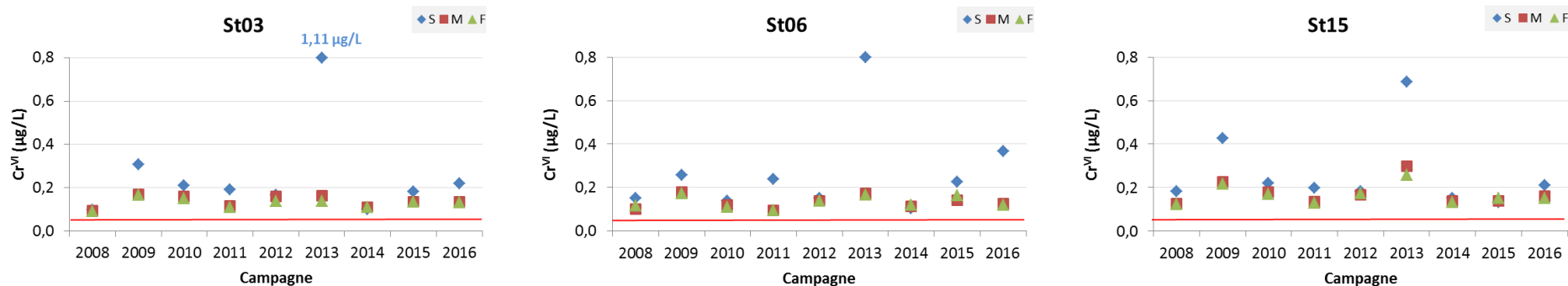


Figure 30 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

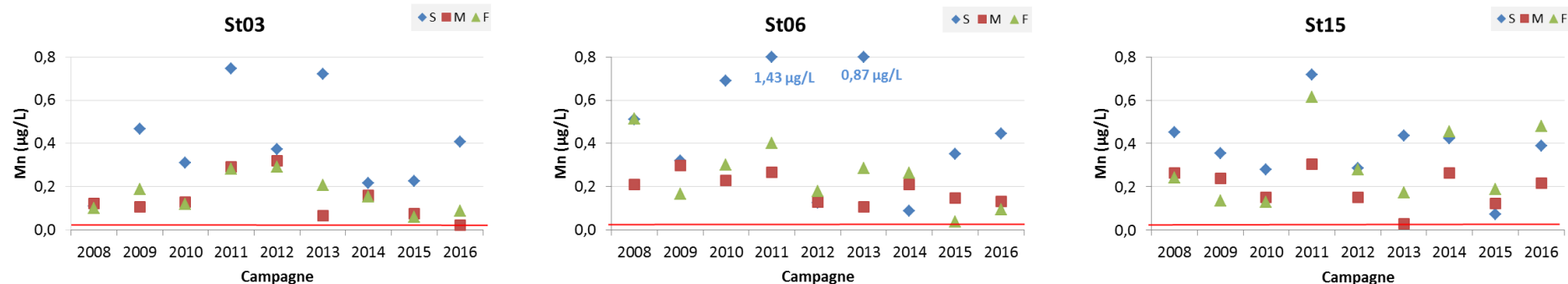


Figure 31 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

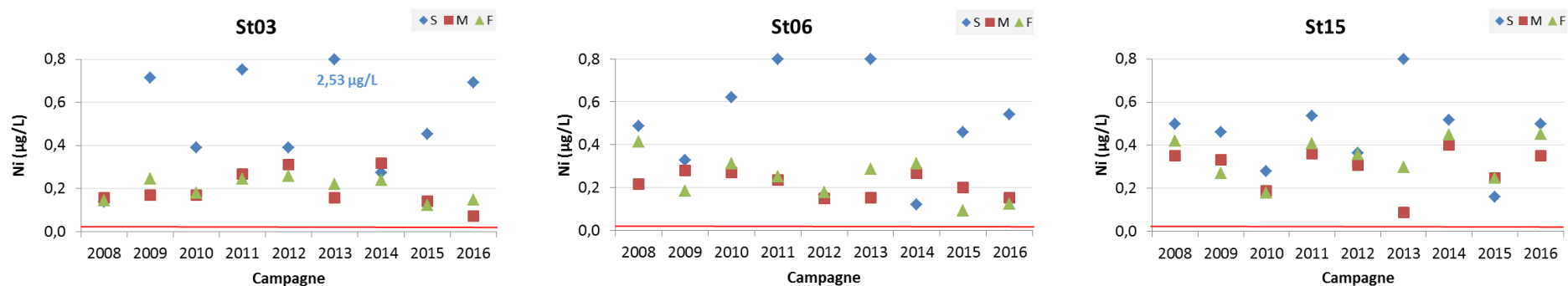


Figure 32 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

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

L'évolution des concentrations de Cr^{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 33, Figure 34 et Figure 35.

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 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 Cr^{VI} , quelle que soit la profondeur, sont moins dispersées (S : $0,111 \pm 0,027\mu\text{g/L}$; M : $0,110 \pm 0,033$ et F : $0,117 \pm 0,039\mu\text{g/L}$) tandis que celles de Mn sont un peu plus variables (S : $0,081 \pm 0,036\mu\text{g/L}$; M : $0,095 \pm 0,050$ et F : $0,117 \pm 0,083\mu\text{g/L}$). Les concentrations de Ni montrent également une certaine variabilité sur l'intégralité de la colonne d'eau, mais moins que celles de Mn (S : $0,112 \pm 0,043\mu\text{g/L}$; M : $0,118 \pm 0,051$ et F : $0,149 \pm 0,072\mu\text{g/L}$).

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 concernent les NH_4 et NO_3+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 et/ou accompagnées de remontées d'eau profondes riches en nutriments (up-welling) 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 NH_4 et NO_3+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.

En ce qui concernent le Co, Cr^{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 (Cr^{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 2016 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.

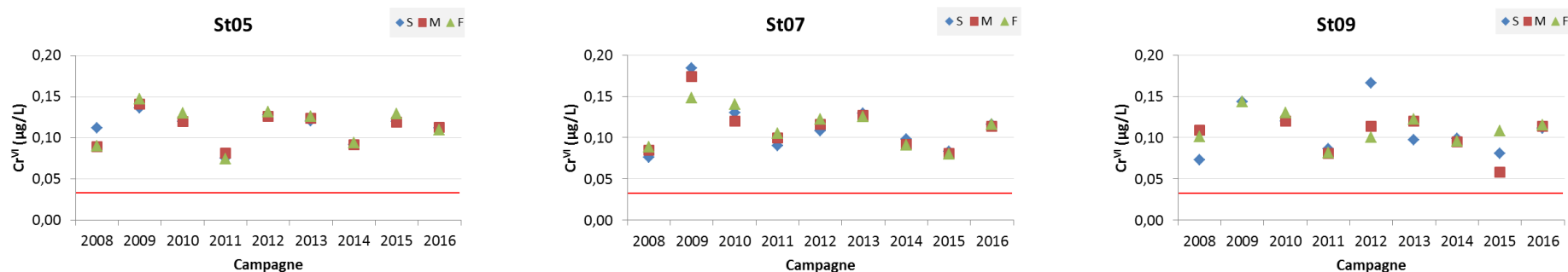


Figure 33 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{g/L}$).

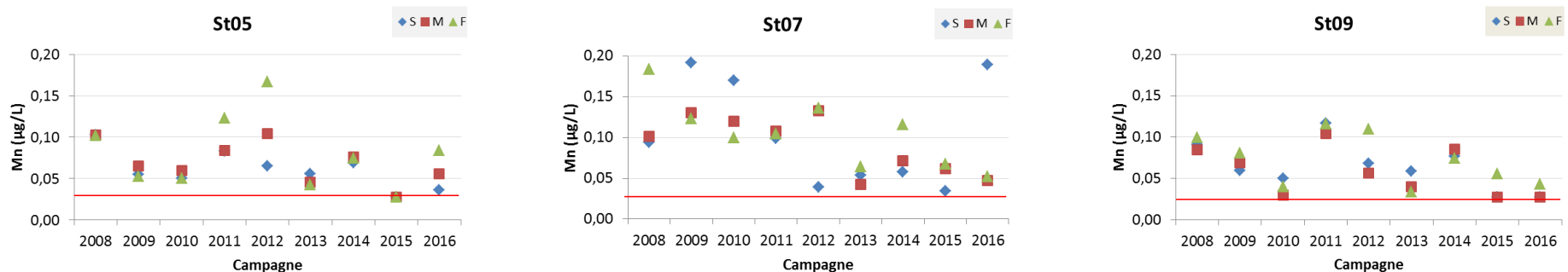


Figure 34 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 $\mu\text{g/L}$).

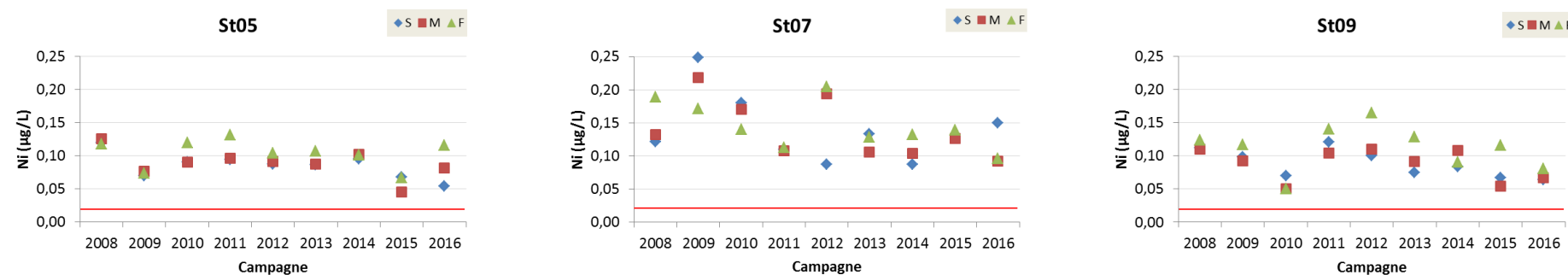


Figure 35 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2016) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 $\mu\text{g/L}$).

V. CONCLUSION

Comme relaté lors des précédentes campagnes semestrielles « saison fraîche », les principales variations des paramètres physico-chimiques (ex : salinité, turbidité et fluorescence), des concentrations en sels nutritifs tels que les SiO_4 ou en métaux latéritiques dissous (ex. : Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni) observées en 2016, 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 de ces paramètres chimiques se distribuent selon un même gradient « côte-large » de manière évidente. Les concentrations de SiO_4 et le Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni dissous sont plus élevées près des côtes (Baie du Port Boisé, de la Kwé et 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_4 et Co, Cr^{VI} , Cr-total, 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.

Pour ce qui est des profils de turbidité et de fluorescence, c'est plutôt par leur degré d'homogénéité qu'ils permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. En effet, contrairement aux stations de la côte où les profils de turbidité (Baie de la Kwé) et de fluorescence (Baie du Prony) montrent des gradients croissants avec la profondeur, ceux du Canal sont très constants.

Les profils de fluorescence croissants dans les baies du Canal et dans une moindre mesure dans la Baie de Prony se corrélaient avec les concentrations des eaux de fond plus riches en NH_4 , POD.

Pour les sels nutritifs et les matières organiques, plusieurs termes sources peuvent agir simultanément dans une zone d'étude donnée : le ruissellement naturel et forcé des sols, les activités biologiques (l'absorption d'azote et phosphore minérales, la production d'azote et de phosphore *via* la fixation du N_2 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_4 et NO_2) et le court temps de résidence dans l'environnement (par exemple, absorption de NO_3 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 concernent les concentrations en métaux dissous, celles-ci sont plus importantes en Co, $\text{Cr}(\text{VI})$, Mn, Ni (ainsi qu'en SiO_4) dans les eaux superficielles et en particulier les baies du Canal (Kwé et Port Boisé) en lien avec leur profil de salinité, température et turbidité.

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 ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ et NH_4) aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15) ne met pas en évidence d'évolution temporelle depuis le début des campagnes, sauf pour la station St09 dont la concentration de NH_4 dans les eaux de fond montre une légère augmentation depuis 2013, sans toutefois, atteindre des seuils préoccupants.

Pour les métaux dissous (Co, Cr^{VI}, 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 NH₄, 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, horaire 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, Adjeroūd 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, Rounsard 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^{er} 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^{er} 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^{er} semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n° T1368, 85p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13: 223-227.
- Moreton B, Fernandez JM, Dolbecq M (2009). Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia lagoon. *Geostandards and Geoanalytical Research* 33 (2) : 205-218.
- Mullin JB, Riley JP (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-176.
- Murphy J, Riley JP (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.

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

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

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

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

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	10
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (28/07/2016 AU 01/08/16 ; EN BLEU) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (02 AU 04/08/16 ; EN ROUGE). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE".	12
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 02 AU 04 AOUT 2016.....	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 2016.	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 2016.	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 2016.	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 2016.....	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 2016.	22
FIGURE 9: CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	24
FIGURE 10: CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	26
FIGURE 11 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.....	28
FIGURE 12 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	29
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	30
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	31
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	31
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	33
FIGURE 17 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.....	36
FIGURE 18:CONCENTRATIONS EN CUIVRE (Cu) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.....	37
FIGURE 19:CONCENTRATIONS EN FER (Fe) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.....	37
FIGURE 20: CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.....	38
FIGURE 21 : CONCENTRATIONS EN CHROME (CrVI) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.....	39

FIGURE 22 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	39
FIGURE 23 : CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	40
FIGURE 24 : CUMULS DES PRÉCIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRÉLEVEMENT « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2016 ; DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ENREGISTRÉES À LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».	41
FIGURE 25 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESURÉES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 µMOL/L).	43
FIGURE 26 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESURÉES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 µMOL/L).	43
FIGURE 27 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESURÉES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	44
FIGURE 28 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESURÉES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	44
FIGURE 29 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESURÉES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2007 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	46
FIGURE 30 : 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 FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	46
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESURÉES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	47
FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESURÉES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	47
FIGURE 33 : 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 FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	49
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (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 FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	49
FIGURE 35 : 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 FRAICHE » (2008 A 2016) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	49

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 2016.	13
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 2016.	20
TABLEAU 4:CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.....	22
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	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 2016.	32
TABLEAU 7: CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2016.	33
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 2016.	35
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 2016.	36

ANNEXES

ANNEXE 1.....	58
ANNEXE 2.....	67
ANNEXE 3.....	69
ANNEXE 4.....	71
ANNEXE 5.....	73
ANNEXE 6.....	75
ANNEXE 7.....	77
ANNEXE 8.....	80
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/m³, qui permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

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

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 (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) 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⁻) a été réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- le dosage des ions sulfates (SO₄²⁻) 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[®] 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 (NH₄) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites (NO₃ + NO₂) et de phosphates (PO₄) 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^{n°} 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 (NO₃) 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 NO₃ est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO₂) obtenus par réduction des ions NO₃. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations NO₃ + NO₂ par photométrie (Oudot et Montel, 1988). Cependant, les concentrations en NO₂ 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 (NH₃) et d'ion ammonium (NH₄⁺), 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 NH₄. 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 PO₄ 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 à 140 µmol/L, la limite de quantification est de 0,05 µmol/L et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µmol/L de SiO₄.

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 NO₃ + NO₂ et les PO₄. 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 NO₃ + NO₂ et les PO₄. 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 ;
- [NO₃ + NO₂]_t et [PO₄]_t = les concentrations respectives en nitrates+nitrites et phosphates mesurées après oxydation au persulfate ;
- V₁ = le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V₂ le volume d'eau de mer filtré (mL).

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°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

a) Conditionnement et analyse

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 μm (pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments dissous **Cr^{VI}/Cr-total** effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à 0,45 μm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de Rouen pour l'analyse de l'**As** dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) (NF EN ISO 17294-2).
- les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à 0,45 μm en ligne (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les pré-concentrations terminées, chaque colonne de résine est bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer[®]) puis stockée dans un portoir fermé

hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux sont élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2 mol/L). L'analyse des éléments dissous **Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn** est ensuite effectuée par spectrométrie d'émission optique par torche à plasma (ICP-OES ; Marque Varian, modèle Vista). Cette méthode a été développée par [Moreton et al., \(2009\)](#).

Les limites de quantification (LQ) des métaux dissous 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 ^{VI}	0,050
Cu	0,025
Fe	0,068
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,100
Zn	1,000

b) Contrôle qualité des méthodes d'analyse des métaux dissous

La qualité des mesures effectuées en métaux dissous a été évaluée selon trois approches complémentaires :

- en étudiant la fidélité de la méthode de prélèvement et d'analyse à l'aide de 10 % de triplicatas ce qui correspond à 4 stations;
- en étudiant la reproductibilité de la méthode de prélèvement et d'analyse par les analyses inter-laboratoires sur au moins 10 % de duplicatas soit pour 4 stations;
- en vérifiant la justesse de la méthode d'analyse d'AEL par la participation à un exercice inter-laboratoire international, organisé par Quasimeme en 2015.

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

Les concentrations des triplicatas pour les métaux Cd et Pb toutes inférieures aux limites de quantification (respectivement 0,025 et 0,100 µg/L) à l'exception d'une valeur mesurée proche de la LQ pour le Pb à 0,105µg/L.

Pour le Cu et le Zn les valeurs quantifiées sont assez variables, leur coefficient de variation moyen respectif est de 37% et 68%.

Le Fe n'a pu être quantifié que sur 1 triplicata les autres n'ont pas toujours fourni de valeur mesurables. La fidélité des mesures fournies est de 35%.

Seuls les métaux Co, Mn et Ni sont les plus présents. La fidélité de leurs résultats est, respectivement, de 14%, 29% et de 15%, ce qui est acceptable (Tableau 3).

Pour l'exercice d'inter-calibration, les échantillons prélevés en duplicatas ont été expédiés au laboratoire GPTR-AETE de l'Université de Montpellier (France).

Les comparaisons des résultats entre les laboratoires (Tableau 4 et Tableau 5) sont difficiles pour les raisons évoquées ci-dessous :

- d'un part, le laboratoire GPTR-AETE n'a pas établi la LQ de leur méthode et ne fournit que la LD de l'appareil. La LQ étant nettement plus élevée que la LD, la comparaison des résultats des deux laboratoires est alors rendue difficile ;
- d'autre part, le mode de traitement des échantillons entre les deux laboratoires est également différent. En effet, alors qu'AEL ne mesure que les métaux dissous cationiques (disponibles et captés par les résines), la technique du laboratoire GPTR-AETE par ICP-MS directe comptabilise la totalité des formes métalliques, y compris les métaux fortement complexés sous différentes formes colloïdales. En effet, pour les métaux tel que le Fe, se trouvant majoritairement sous la forme colloïdale dans les eaux, les concentrations obtenues par le laboratoire GPTR-AETE sont donc nettement supérieures à celles mesurées par AEL. Bien que dans une moindre mesure, c'est aussi le cas pour les métaux Cu, Mn et Ni. Il faut souligner que ces variabilités avaient aussi été observées lors des précédentes campagnes.

Tableau 3: Concentration en triplicatas pour les métaux (Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) dissous lors de la campagne semestrielle d'août 2016.

Station	Métaux dissous (µg/L)							
	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St14S	<0,025	0,030	0,052	0,114	0,309	0,284	<0,100	2,110
	<0,025	<0,027	0,057	0,102	0,211	0,238	<0,100	1,127
	<0,025	0,030	0,031	0,120	0,172	0,233	<0,100	<1,000
St15-S	<0,025	0,107	0,375	<0,068	0,503	0,595	0,105	3,098
	<0,025	0,066	0,237	<0,068	0,330	0,454	<0,100	1,611
	<0,025	0,086	0,281	<0,068	0,335	0,444	<0,100	2,396
St16-S	<0,025	0,062	0,057	<0,068	0,222	0,367	<0,100	<1,000
	<0,025	0,066	0,045	<0,068	0,218	0,369	<0,100	8,457
	<0,025	0,070	0,072	0,081	0,256	0,382	<0,100	2,542
St21-S	<0,025	<0,027	<0,025	<0,068	0,041	0,098	<0,100	<1,000
	<0,025	<0,027	0,034	0,185	0,124	0,169	<0,100	<1,000
	<0,025	<0,027	0,071	0,139	0,135	0,183	<0,100	<1,000
Coefficient de variation moyen (%)	-	14	37	35	29	15	-	68

Tableau 4: Comparaison des résultats d'analyse des métaux dissous (Cd, Co, Cu et Fe) mesurés en duplicats par les laboratoires GPTR AETE (ICP-MS) et AEL (ICP-OES).

Station	Cd (µg/L)		Co (µg/L)		Cu (µg/L)		Fe (µg/L)	
	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL
St14-S	<0,003	<0,025	0,03	0,028 ± 0,03	0,17	0,047 ± 0,013	0,47	0,112 ± 0,009
St15-S	0,003	<0,025	0,07	0,086 ± 0,021	0,18	0,297 ± 0,070	0,42	0,019 ± 0,014
St16-S	<0,003	<0,025	0,10	0,066 ± 0,004	0,10	0,058 ± 0,014	0,43	0,057 ± 0,029
St21-S	<0,003	<0,025	0,03	<0,027	0,16	0,040 ± 0,029	1,42	0,122 ± 0,074
Ecart relatif moyen (%)	-		26		85		146	

Tableau 5 : Comparaison des résultats d'analyse des métaux dissous (Mn, Ni, Pb, Zn) mesurés en duplicats par les laboratoires GPTR AETE (ICP-MS) et AEL (ICP-OES).

Station	Mn (µg/L)		Ni (µg/L)		Pb (µg/L)		Zn (µg/L)	
	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL	GPTR AETE	AEL
St14-S	0,33	0,231 ± 0,070	0,41	0,252 ± 0,028	0,08	<0,100	1,231 ± 0,831	<1,000
St15-S	0,24	0,389 ± 0,099	0,62	0,498 ± 0,085	0,06	<0,100	2,368 ± 0,744	<1,000
St16-S	0,43	0,232 ± 0,021	0,74	0,373 ± 0,08	0,05	<0,100	3,903 ± 4,050	<1,000
St21-S	0,20	0,100 ± 0,051	0,32	0,150 ± 0,045	0,05	<0,100	<1,000	<1,000
Ecart relatif (%)	63		52		-		63	

La justesse de la méthode d'analyse des métaux dissous (Cd, Co, Cu, Pb, Mn et Zn) dans l'eau de mer, par pré concentration, a été validée lors d'un exercice inter laboratoire international organisé par Quasimeme (z-score < 2).

Analyse du chrome dissous (Cr^{VI}) par voltammétrie

Pour les concentrations de Cr^{VI} en triplicata, toutes stations confondues, la fidélité des mesures obtenues est de 8% est très satisfaisant.

Le Cr-total n'a pas pu être analysé en interne en raison d'une panne d'appareillage. Il a été analysé par le laboratoire universitaire de Clermont-Ferrand. La méthode utilisée est la chromatographie ionique. Les résultats des triplicatas n'étant pas exploitables, ils ne figurent pas dans ce rapport.

Tableau 6: Résultats d'analyse de Cr^{VI} dissous mesurés en triplicata par AEL (voltammétrie).

Station	CrVI (µg/L)
	AEL
St14-S	0,123
	0,120
	0,123
St15-S	0,249
	0,151
	0,235
St16-S	0,221
	0,230
	0,226
St21-S	0,106
	0,113
	0,106
Coefficient de variation moyen (%)	8

Pour les exercices d'inter-calibration du Cr^{VI}, les échantillons prélevés en duplicatas ont été expédiés au laboratoire PPME de l'Université de la Nouvelle-Calédonie. Pour l'analyse du Cr-total, l'exercice d'inter

calibration n'a pas pu être menée en raison d'un problème technique. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire GPTR-AETE et à celui de l'institut de chimie de Clermont (France). Les résultats n'ont pas pu être comparés car ceux issus du laboratoire de chimie de Clermont Ferrand ne sont pas exploitables.

L'écart relatif moyen entre les valeurs de Cr^{VI} mesurées par le laboratoire PPME et par AEL est de 44 %. (Tableau 7).

Tableau 7: Comparaison des résultats d'analyse de Cr^{VI} et Crtot mesurés en duplicats, respectivement, par les laboratoires PPME (voltammétrie) et AEL (voltammétrie) et les laboratoires GPTR AETE (ICP-MS) et AEL (voltammétrie).

Station	Cr ^{VI} (µg/L)		Crtot (µg/L)	
	PPME	AEL	GPTR AETE	Laboratoire universitaire de Clermont-Ferrand
St14-S	0,055	0,122 ± 0,002	0,18	NE
St15-S	0,154	0,212 ± 0,053	0,18	NE
St16-S	0,220	0,226 ± 0,051	0,26	NE
St21-S	0,055	0,108 ± 0,004	0,15	NE
Ecart relatif (%)	44		ND	

NE, non exploitable

Analyse de l'arsenic dissous par ICP-MS

Toutes les analyses de l'As ont été effectuées par le laboratoire ALPA Chimies (France). Les résultats de l'analyse d'As montrent une fidélité très acceptable de 18 % (Tableau 9).

Tableau 9 : Résultats d'analyse de l'As en triplicata réalisé par le laboratoire ALPA Chimies (ICP-MS).

Station	As (µg/l)
St14-S	1,60
	2,00
	1,60
St15-S	1,60
	1,70
	1,30
St16-S	1,60
	1,90
	1,80
St21-S	1,30
	<1,0
	1,00
Coefficient de variation moyen (%)	13

Pour les exercices d'inter-calibration, les échantillons prélevés en duplicatas ont été expédiés au laboratoire GPTR AETE (France). L'écart relatif entre les mesures en As de ces deux laboratoires est de 17 % (Tableau 10).

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

Station	As (µg/L)	
	GPTR AETE	ALPA Chimie
St14-S	1,74	1,733 ± 0,231
St15-S	1,65	1,533 ± 0,208
St16-S	1,44	1,767 ± 0,153
St21-S	1,75	1,150 ± 0,212
Ecart relatif moyen (%)	17	

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 2016.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St02	Minimum	23,23	0,20	0,21	35,67
	Maximum	23,30	0,39	0,44	35,68
	Moyenne	23,28	0,31	0,31	35,67
	Ecart-type	0,03	0,06	0,07	-
St03	Minimum	23,26	0,28	0,31	35,66
	Maximum	23,29	0,52	0,92	35,67
	Moyenne	23,27	0,41	0,54	35,67
	Ecart-type	0,01	0,06	0,16	-
St05	Minimum	23,20	0,15	0,06	35,55
	Maximum	23,25	0,37	0,30	35,67
	Moyenne	23,23	0,26	0,12	35,65
	Ecart-type	0,01	0,06	0,06	0,03
St06	Minimum	23,15	0,13	0,31	35,68
	Maximum	23,17	0,45	0,86	35,69
	Moyenne	23,17	0,37	0,50	35,69
	Ecart-type	0,01	0,07	0,13	-
St07	Minimum	22,89	0,37	0,21	35,18
	Maximum	23,01	0,56	0,42	35,75
	Moyenne	22,97	0,48	0,30	35,72
	Ecart-type	0,02	0,03	0,05	0,08
St09	Minimum	22,79	0,30	0,07	34,88
	Maximum	23,16	0,39	0,31	35,69
	Moyenne	23,07	0,35	0,13	35,54
	Ecart-type	0,08	0,02	0,07	0,16
St13	Minimum	22,63	0,24	0,23	33,70
	Maximum	23,19	2,67	1,29	35,65
	Moyenne	23,12	0,38	0,48	35,42
	Ecart-type	0,17	0,19	0,23	0,54
St14	Minimum	23,03	0,31	0,14	35,52
	Maximum	23,13	0,47	0,72	35,61
	Moyenne	23,08	0,40	0,19	35,58
	Ecart-type	0,03	0,03	0,04	0,04

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St15	Minimum	22,65	0,16	0,21	35,46
	Maximum	23,15	0,80	1,62	35,76
	Moyenne	22,83	0,54	0,53	35,67
	Ecart-type	0,17	0,20	0,32	0,10
St16	Minimum	22,59	0,11	0,14	35,54
	Maximum	22,89	0,61	1,91	35,79
	Moyenne	22,78	0,41	0,42	35,72
	Ecart-type	0,10	0,17	0,39	0,09
St18	Minimum	22,82	0,20	0,20	35,41
	Maximum	22,90	0,65	0,55	35,78
	Moyenne	22,86	0,38	0,32	35,70
	Ecart-type	0,02	0,13	0,09	0,13
St19	Minimum	22,64	0,06	0,10	35,63
	Maximum	22,78	0,56	0,59	35,79
	Moyenne	22,71	0,37	0,34	35,73
	Ecart-type	0,04	0,16	0,11	0,06
St20	Minimum	22,82	0,15	0,19	35,80
	Maximum	22,86	0,40	0,60	35,81
	Moyenne	22,84	0,28	0,38	35,81
	Ecart-type	0,01	0,08	0,11	-
St21	Minimum	22,85	0,29	0,31	35,81
	Maximum	22,94	0,57	0,70	35,81
	Moyenne	22,90	0,46	0,43	35,81
	Ecart-type	0,02	0,06	0,09	-

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 2016 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St02	S	385	581	1313	13386	20160	2745	0,450	8,17
	M	400	601	1351	13743	20160	2780	0,249	8,16
	F	391	591	1325	13582	20160	2660	0,486	8,16
St03	S	405	606	1365	13964	19464	2775	0,700	8,18
	M	412	616	1384	14084	20160	2515	0,414	8,22
	F	397	596	1342	13676	20160	2705	0,584	8,21
St05	S	383	574	1304	13199	19464	2705	0,339	8,16
	M	397	589	1341	13585	20160	2750	0,253	8,17
	F	404	593	1369	13776	20160	2675	0,294	8,16
St06	S	390	583	1320	13430	20160	2070	0,579	8,12
	M	403	603	1358	13804	20160	2485	0,446	8,22
	F	418	521	1340	12978	20160	2780	2,657	8,22
St07	S	400	600	1350	13836	20160	2685	0,299	8,17
	M	408	608	1377	13998	20160	2740	0,491	8,18
	F	404	609	1363	13922	20160	2665	0,746	8,16
St09	S	399	598	1350	13724	20160	2765	0,264	8,17
	M	410	614	1380	14047	19464	2630	0,243	8,17
	F	389	589	1318	13516	20160	2580	0,340	8,18
St13	S	459	670	1493	15144	19464	2735	0,527	8,13
	M	468	694	1535	15530	20160	2680	0,450	8,13
	F	436	641	1448	14555	20160	2620	0,659	8,14
St14	S	386	593	1309	13390	20160	2580	0,470	8,14
	M	372	567	1274	12955	20160	2685	0,337	8,15
	F	391	580	1326	13459	20160	2605	0,467	8,15
St15	S	450	645	1491	14851	20160	2577	0,507	8,15
	M	397	581	1335	13439	19464	2540	0,281	8,16
	F	415	608	1398	14051	20160	2815	0,571	8,16
St16	S	409	608	1383	13891	19928	2543	0,376	8,15
	M	437	638	1464	14552	20160	2610	0,279	8,16
	F	444	645	1481	14739	19464	2830	1,100	8,14

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St18	S	415	612	1402	14049	20160	2575	0,269	8,16
	M	430	627	1443	14490	20160	2770	0,256	8,17
	F	433	646	1440	14645	19464	2600	0,407	8,17
St19	S	398	588	1347	13556	19464	2595	0,361	8,14
	M	416	621	1397	14173	20160	2670	0,373	8,15
	F	445	665	1476	14922	20160	2335	0,663	8,15
St20	S	440	644	1461	14677	20160	2685	0,674	8,15
	M	433	650	1439	14565	20160	2570	0,477	8,15
	F	301	443	1072	10853	20160	2230	0,577	8,13
St21	S	408	612	1375	14001	19696	2660	0,400	8,27
	M	420	606	1413	14158	20160	2450	0,659	8,16
	F	412	615	1382	14066	20160	2575	0,500	8,16

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St02	S	<0,017	0,067	<0,017	<0,017
	M	<0,017	0,056	<0,017	<0,017
	F	<0,017	0,047	<0,017	<0,017
St03	S	<0,017	0,058	<0,017	2,706
	M	<0,017	0,065	<0,017	1,531
	F	<0,017	0,977	<0,017	0,448
St05	S	<0,017	0,297	<0,017	0,091
	M	<0,017	0,152	<0,017	<0,017
	F	<0,017	0,077	<0,017	0,401
St06	S	0,098	0,215	<0,017	4,763
	M	<0,017	0,082	<0,017	0,266
	F	<0,017	0,082	<0,017	0,137
St07	S	<0,017	0,062	<0,017	<0,017
	M	<0,017	0,062	<0,017	<0,017
	F	<0,017	0,059	<0,017	<0,017
St09	S	<0,017	0,054	<0,017	<0,017
	M	<0,017	0,061	<0,017	<0,017
	F	<0,017	0,048	<0,017	<0,017
St13	S	<0,017	0,213	<0,017	0,717
	M	<0,017	0,294	<0,017	0,247
	F	<0,017	0,057	<0,017	0,673
St14	S	<0,017	0,089	<0,017	0,745
	M	<0,017	0,074	<0,017	0,831
	F	<0,017	0,082	<0,017	0,208
St15	S	<0,017	0,130	<0,017	2,451
	M	<0,017	0,026	<0,017	1,356
	F	<0,017	0,114	<0,017	1,525
St16	S	<0,017	0,049	<0,017	2,165
	M	<0,017	0,037	<0,017	0,624
	F	<0,017	0,297	<0,017	2,923

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St18	S	<0,017	0,048	<0,017	2,864
	M	<0,017	0,042	<0,017	1,184
	F	<0,017	0,032	<0,017	0,965
St19	S	<0,017	0,031	<0,017	1,547
	M	<0,017	0,049	<0,017	0,933
	F	<0,017	0,139	<0,017	1,424
St20	S	<0,017	0,206	<0,017	0,619
	M	<0,017	0,196	<0,017	0,697
	F	<0,017	0,055	<0,017	1,001
St21	S	0,024	0,220	<0,017	0,226
	M	<0,017	0,163	<0,017	0,350
	F	<0,017	0,127	<0,017	0,589

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 *a*

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle *a* du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St02	S	15,32	0,653	0,140	0,032	6,53	16,04	0,172	0,203
	M	13,93	0,555	0,156	0,041	4,95	14,54	0,197	0,313
	F	14,60	0,359	0,198	0,026	6,04	15,01	0,224	0,319
St03	S	3,24	0,936	0,013	0,052	12,39	4,24	0,065	0,268
	M	4,49	0,544	0,113	0,037	6,23	5,10	0,150	0,313
	F	13,30	0,536	0,280	0,038	4,78	14,82	0,318	0,161
St05	S	4,00	0,647	0,110	0,028	6,19	4,95	0,139	0,283
	M	8,77	0,513	0,178	0,024	5,28	9,43	0,202	0,159
	F	18,55	0,517	0,128	0,028	5,19	19,15	0,156	0,243
St06	S	4,64	0,634	0,056	0,030	13,48	5,59	0,086	0,123
	M	4,58	0,511	0,069	0,036	3,53	5,17	0,105	0,305
	F	4,38	0,647	0,072	0,060	28,93	5,11	0,132	0,298
St07	S	4,58	0,636	0,103	0,037	4,71	5,28	0,140	0,393
	M	4,56	0,498	0,145	0,034	4,81	5,12	0,179	0,148
	F	4,39	0,580	0,084	0,042	6,31	5,03	0,127	0,159
St09	S	16,40	0,388	0,169	0,024	3,34	16,84	0,193	0,314
	M	4,74	0,437	0,123	0,028	2,99	5,24	0,151	0,256
	F	4,83	0,427	0,104	0,024	3,88	5,30	0,128	0,351
St13	S	4,64	1,776	0,036	0,054	8,58	6,63	0,091	0,266
	M	5,46	0,766	0,077	0,047	9,58	6,52	0,124	0,121
	F	5,48	0,671	0,088	0,046	7,80	6,21	0,134	0,261
St14	S	15,91	0,857	0,167	0,044	10,32	16,85	0,211	0,367
	M	18,37	0,557	0,215	0,032	8,68	19,00	0,247	0,326
	F	14,92	0,491	0,205	0,030	6,73	15,49	0,235	0,334
St15	S	7,96	0,737	0,125	0,043	4,55	8,83	0,169	0,225
	M	6,71	0,786	0,143	0,044	4,50	7,52	0,187	0,284
	F	5,32	0,766	0,154	0,045	4,08	6,20	0,200	0,328
St16	S	8,29	0,676	0,154	0,042	5,31	9,02	0,197	0,241
	M	20,46	0,596	0,128	0,042	4,49	21,09	0,169	0,369
	F	14,32	0,799	0,127	0,062	10,38	15,42	0,188	0,338

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St18	S	8,29	0,676	0,154	0,042	4,24	7,53	0,124	0,241
	M	20,46	0,596	0,128	0,042	ND	5,34	0,151	0,369
	F	14,32	0,799	0,127	0,062	ND	6,56	0,176	0,338
St19	S	6,44	1,041	0,064	0,060	6,92	7,04	0,149	0,207
	M	4,24	1,057	0,090	0,062	5,33	6,17	0,181	0,215
	F	5,60	0,922	0,105	0,071	5,48	5,11	0,134	0,224
St20	S	6,24	0,769	0,104	0,045	22,82	8,09	0,106	0,200
	M	3,77	2,349	0,135	0,045	6,79	13,36	0,273	0,322
	F	4,32	0,650	0,084	0,050	5,31	7,69	0,163	0,157
St21	S	6,25	1,636	0,014	0,092	4,94	13,75	0,177	0,196
	M	12,51	0,655	0,233	0,040	6,71	16,02	0,187	0,252
	F	7,01	0,623	0,120	0,043	7,31	18,34	0,205	0,278

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2016 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr ^{VI}	Cr _{total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St02	S	1,600	0,009	0,111	NE	<0,009	0,073	<0,023	0,042	0,067	<0,033	0,754
	M	1,100	<0,008	0,111	NE	0,017	0,014	<0,023	0,057	0,086	<0,033	<0,333
	F	2,100	<0,008	0,110	NE	0,013	<0,008	<0,023	0,024	0,054	<0,033	<0,333
St03	S	1,400	0,009	0,220	NE	0,100	0,658	0,063	0,408	0,692	0,041	0,349
	M	0,333	<0,008	0,136	NE	0,023	0,022	<0,023	0,022	0,072	<0,033	<0,333
	F	2,000	0,009	0,133	NE	0,033	<0,008	<0,023	0,089	0,147	<0,033	<0,333
St05	S	2,000	<0,008	0,112	NE	0,013	0,015	<0,023	0,036	0,054	<0,033	<0,333
	M	2,300	<0,008	0,113	NE	0,012	<0,008	<0,023	0,053	0,081	0,063	<0,333
	F	3,100	<0,008	0,111	NE	0,011	0,010	0,030	0,084	0,116	0,034	<0,333
St06	S	0,333	<0,008	0,367	NE	0,083	0,030	0,148	0,446	0,542	<0,033	<0,333
	M	0,333	<0,008	0,127	NE	0,023	0,016	0,033	0,132	0,151	0,044	<0,333
	F	0,333	<0,008	0,120	NE	0,026	<0,008	0,047	0,096	0,123	<0,033	<0,333
St07	S	2,700	0,009	0,116	NE	0,020	0,386	0,295	0,189	0,150	0,102	0,931
	M	0,333	<0,008	0,114	NE	0,022	<0,008	<0,023	0,047	0,092	<0,033	<0,333
	F	1,600	<0,008	0,116	NE	0,017	0,025	<0,023	0,052	0,096	0,038	<0,333
St09	S	1,800	<0,008	0,111	NE	0,014	<0,008	<0,023	0,018	0,064	0,039	<0,333
	M	1,800	<0,008	0,114	NE	0,013	<0,008	<0,023	0,020	0,067	<0,033	<0,333
	F	1,400	<0,008	0,115	NE	0,011	<0,008	<0,023	0,043	0,080	0,043	<0,333
St13	S	1,400	<0,008	0,147	NE	0,021	0,122	0,167	0,260	0,246	0,216	3,451
	M	2,300	<0,008	ND	NE	<0,009	<0,008	<0,023	0,018	0,061	<0,033	<0,333
	F	1,400	<0,008	0,115	NE	0,031	<0,008	0,036	0,151	0,249	<0,033	<0,333
St14	S	1,733	<0,008	0,122	NE	0,028	0,047	0,112	0,231	0,252	0,057	1,231
	M	1,400	<0,008	0,117	NE	0,028	0,016	0,113	0,181	0,204	<0,033	<0,333
	F	1,200	<0,008	0,116	NE	0,025	0,010	0,090	0,128	0,154	<0,033	<0,333
St15	S	1,533	<0,008	0,212	NE	0,086	0,298	<0,023	0,389	0,498	0,083	2,368
	M	1,300	<0,008	0,159	NE	0,052	0,015	<0,023	0,218	0,351	0,040	0,810
	F	1,700	<0,008	0,150	NE	0,056	0,016	<0,023	0,480	0,452	<0,033	0,675
St16	S	1,767	<0,008	0,226	NE	0,066	0,058	0,057	0,232	0,373	0,055	3,903
	M	1,900	<0,008	0,140	NE	0,042	0,041	0,026	0,239	0,321	<0,033	0,390
	F	1,700	<0,008	0,150	NE	0,041	<0,008	<0,023	0,170	0,285	<0,033	<0,333

NE : Non Exploitable

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr ^{VI}	Cr _{total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St18	S	0,33	0,009	0,229	NE	0,075	0,180	0,056	0,325	0,525	0,088	0,760
	M	1,20	<0,008	0,151	NE	0,043	0,075	0,090	0,270	0,297	<0,100	0,373
	F	1,20	<0,008	0,144	NE	0,045	0,019	0,110	0,339	0,328	<0,100	<1,000
St19	S	1,60	<0,008	0,200	NE	0,049	0,042	0,108	0,157	0,268	0,108	0,444
	M	1,50	0,009	0,147	NE	0,040	<0,008	0,098	0,294	0,204	0,078	0,385
	F	2,10	<0,008	0,143	NE	0,039	0,011	<0,023	0,139	0,273	0,052	1,064
St20	S	0,33	<0,008	0,118	NE	0,022	0,024	0,086	0,135	0,205	0,167	1,299
	M	1,70	<0,008	0,126	NE	0,040	0,024	0,164	0,264	0,309	0,147	1,683
	F	1,10	<0,008	0,128	NE	0,030	0,026	0,030	0,167	0,245	<0,100	0,373
St21	S	0,88	<0,008	0,108	NE	0,018	0,040	0,122	0,100	0,150	0,045	<1,000
	M	1,10	<0,008	0,125	NE	0,025	<0,008	<0,023	0,074	0,128	<0,100	<1,000
	F	1,20	<0,008	0,121	NE	0,025	0,021	<0,023	0,101	0,169	<0,100	<1,000

Surlignée en jaune : donnée entre <LQ (0,027, 0,025 0,068, 0,028, 0,100 et 1,00 µg/L µg/L, respectivement pour Co, Cu, Fe, Mn, Pb et Zn) et >LD (0,009, 0,008, 0,023, 0,009, 0,033 et 0,333 µg/L, respectivement, pour Co, Cu, Fe, Mn, Pb et Zn). * : les analyses effectuées par un laboratoire prestataire dont les données en dessous de la LQ n'étant pas fournies sont minorées à LQ/3.

ANNEXE 7

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO_3+NO_2), ammonium (NH_4), phosphates (PO_4) et silicates (SiO_4) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2016 lors des campagnes semestrielle « saison fraîche ».

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

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

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (μmol/L)								
		Août 2008	Août 2009	Août 2010	Août 2011	Août 2012	Août 2013	Août 2014	Août 2015	Août 2016
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,051	<0,050
	Maximum	0,065	0,084	ND	0,063	<0,050	0,103	<0,050	0,112	<0,050
	Moyenne	<0,050	0,056	ND	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	0,070	-
	Ecart-type	0,016	0,015	ND	0,019		0,029		0,020	-
Baies du Canal	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,084	0,117	ND	0,059	<0,050	0,109	0,064	0,096	<0,050
	Moyenne	<0,050	0,059	ND	<0,050	<0,050	0,072	0,064 (n=1)	0,069	-
	Ecart-type	0,018	0,023	ND	0,013		0,028		0,018	-
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,074	<0,050
	Maximum	<0,050	0,086	ND	0,203	<0,050	0,176	<0,050	0,156	<0,050
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,084	<0,050	0,057	<0,050	0,106	-
	Ecart-type		0,021	ND	0,047		0,052		0,021	-
Ile Ouen	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,102	<0,050
	Maximum	<0,050	0,056	ND	0,084	<0,050	0,054	0,090	0,139	<0,050
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,051	<0,050	<0,050	0,090 (n=1)	0,116	-
	Ecart-type		0,014	ND	0,028		0,018		0,013	-

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

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 particuliers mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2016 lors des campagnes semestrielle « saison fraîche ».

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

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
Canal de la Havannah	Minimum	0,132	0,232	ND	0,009	0,048	0,072	0,160	NA	0,084
	Maximum	0,316	0,837	ND	0,204	0,205	0,361	0,321	NA	0,198
	Moyenne	0,187	0,512	ND	0,076	0,154	0,186	0,249	NA	0,141
	Ecart-type	0,046	0,159	ND	0,073	0,049	0,094	0,048	NA	0,032
Baies du Canal	Minimum	0,132	0,378	ND	0,017	0,012	0,039	0,204	NA	0,013
	Maximum	0,288	0,708	ND	0,230	0,200	0,310	0,323	NA	0,280
	Moyenne	0,202	0,511	ND	0,110	0,118	0,213	0,255	NA	0,132
	Ecart-type	0,051	0,129	ND	0,065	0,066	0,083	0,042	NA	0,089
Baie du Prony	Minimum	0,171	0,533	ND	0,052	0,107	0,269	0,098	NA	0,064
	Maximum	0,277	0,899	ND	0,158	0,240	0,709	0,288	NA	0,154
	Moyenne	0,207	0,684	ND	0,099	0,175	0,429	0,216	NA	0,118
	Ecart-type	0,034	0,103	ND	0,037	0,037	0,125	0,049	NA	0,029
Ile Ouen	Minimum	0,191	0,538	ND	0,059	0,067	0,257	0,176	NA	0,014
	Maximum	0,294	0,825	ND	0,083	0,182	0,523	0,293	NA	0,233
	Moyenne	0,227	0,688	ND	0,071	0,123	0,337	0,242	NA	0,095
	Ecart-type	0,058	0,109	ND	0,012	0,044	0,111	0,048	NA	0,077

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
Canal de la Havannah	Minimum	5,27	4,66	8,49	NA	5,00	3,98	4,85	5,27	2,99
	Maximum	21,69	16,19	54,98	NA	46,08	19,06	12,81	21,69	7,31
	Moyenne	9,80	7,33	14,06	NA	11,30	8,27	6,72	9,80	5,28
	Ecart-type	4,28	2,52	11,14	NA	10,27	4,37	2,50	4,28	1,25
Baies Canal	Minimum	5,24	4,11	9,15	NA	9,03	4,58	5,40	5,24	3,53
	Maximum	12,29	11,21	14,72	NA	28,96	20,96	10,12	12,29	28,93
	Moyenne	6,71	6,92	11,55	NA	17,06	10,84	7,59	6,71	10,56
	Ecart-type	1,98	1,94	1,88	NA	7,61	5,16	1,71	1,98	7,66
Baie du Prony	Minimum	5,59	5,15	8,43	NA	7,18	4,54	4,94	5,59	4,08
	Maximum	7,08	10,66	15,72	NA	14,65	22,66	13,60	7,08	10,38
	Moyenne	6,28	6,69	12,98	NA	9,47	15,08	8,81	6,28	5,53
	Ecart-type	0,44	1,62	2,79	NA	2,26	7,09	2,53	0,44	1,90
Ile Ouen	Minimum	5,27	5,84	12,06	NA	9,20	4,86	7,98	5,27	5,31
	Maximum	7,19	7,36	22,42	NA	20,19	19,78	14,55	7,19	22,82
	Moyenne	5,90	6,46	17,70	NA	13,69	9,10	10,81	5,90	10,14
	Ecart-type	0,78	0,55	4,09	NA	5,10	6,20	2,62	0,78	6,38

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

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

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
Canal de la Havannah	Minimum	0,033	0,036	0,085	0,011	0,043	0,057	0,019	0,025	0,016
	Maximum	0,102	0,337	0,156	0,071	0,198	0,136	0,047	0,078	0,043
	Moyenne	0,071	0,087	0,098	0,034	0,063	0,082	0,027	0,048	0,031
	Ecart-type	0,019	0,075	0,017	0,017	0,040	0,024	0,008	0,015	0,008
Baies du Canal	Minimum	0,067	0,042	0,083	0,022	0,043	0,072	0,017	0,046	0,030
	Maximum	0,106	0,079	0,156	0,050	0,102	0,233	0,054	0,089	0,060
	Moyenne	0,088	0,054	0,104	0,036	0,062	0,103	0,033	0,067	0,040
	Ecart-type	0,013	0,012	0,024	0,008	0,019	0,050	0,011	0,015	0,010
Baie du Prony	Minimum	0,075	0,048	0,093	0,022	0,049	0,067	0,023	0,041	0,042
	Maximum	0,115	0,086	0,124	0,057	0,160	0,247	0,072	0,065	0,071
	Moyenne	0,094	0,063	0,109	0,040	0,070	0,111	0,047	0,052	0,051
	Ecart-type	0,014	0,013	0,009	0,013	0,031	0,051	0,016	0,006	0,010
Ile Ouen	Minimum	0,082	0,032	0,086	0,015	0,041	0,072	0,028	0,048	0,040
	Maximum	0,090	0,054	0,127	0,065	0,098	0,088	0,041	0,106	0,092
	Moyenne	0,086	0,045	0,104	0,040	0,060	0,082	0,035	0,079	0,054
	Ecart-type	0,004	0,008	0,016	0,019	0,020	0,005	0,005	0,020	0,020

ANNEXE 9

Compilation des concentrations de chlorophylle a des campagnes « saison chaude »

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

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 2016 lors des campagnes semestrielle « 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
Canal de la Havannah	Minimum	ND	1,18	ND	ND	1,13	1,29	1,00	1,30	0,33
	Maximum	ND	1,72	ND	ND	1,27	1,43	3,00	2,60	3,10
	Moyenne	ND	1,36	ND	ND	1,22	1,36	1,73	2,01	1,67
	Ecart-type	ND	0,15	ND	ND	0,04	0,05	0,59	0,38	0,72
Baies du Canal	Minimum	ND	0,93	ND	ND	1,16	0,74	1,00	1,45	0,33
	Maximum	ND	1,81	ND	ND	1,27	1,42	2,00	3,60	2,00
	Moyenne	ND	1,34	ND	ND	1,21	1,20	1,56	2,24	1,01
	Ecart-type	ND	0,25	ND	ND	0,03	0,23	0,53	0,65	0,68
Baie du Prony	Minimum	ND	1,16	ND	ND	1,07	1,01	1,00	1,40	0,33
	Maximum	ND	1,55	ND	ND	1,19	1,30	2,00	3,00	2,10
	Moyenne	ND	1,40	ND	ND	1,13	1,21	1,60	2,34	1,49
	Ecart-type	ND	0,13	ND	ND	0,04	0,11	0,55	0,54	0,45
Ile Ouen	Minimum	ND	1,13	ND	ND	1,13	1,14	1,00	1,50	0,33
	Maximum	ND	1,33	ND	ND	1,25	1,32	2,00	2,80	2,30
	Moyenne	ND	1,22	ND	ND	1,18	1,26	1,83	1,83	1,37
	Ecart-type	ND	0,10	ND	ND	0,04	0,07	0,41	0,53	0,65

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammétrie) et par différents laboratoires expliquant les différents seuils 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
Canal de la Havannah	Minimum	<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
	Moyenne	<0,027	0,031	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,015
	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
	Maximum	0,071	0,073	0,096	0,142	0,045	0,154	0,046	0,068	0,100
	Moyenne	0,029	0,030	0,039	0,052	0,029	0,078	<0,027	0,062	0,041
	Ecart-type	0,021	0,024	0,030	0,051	0,012	0,060	0,013	0,008	0,029
Baie du Prony	Minimum	0,035	<0,027	<0,027	0,030	<0,027	<0,027	<0,027	0,027	0,039
	Maximum	0,073	0,060	0,038	0,105	0,044	0,054	0,068	0,045	0,086
	Moyenne	0,050	0,031	<0,027	0,049	0,032	<0,027	0,039	0,033	0,053
	Ecart-type	0,011	0,017	0,006	0,021	0,008	0,015	0,015	0,006	0,015
Ile Ouen	Minimum	<0,027	<0,027	0,006	0,021	0,008	0,015	<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
	Moyenne	0,029	0,043	0,034	0,045	0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,024
	Ecart-type	0,004	0,050	0,012	0,035	0,010	0,009	0,012		0,014

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

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

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammétrie) et différents laboratoires expliquant les différent seuil 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
Canal de la Havannah	Minimum	0,032	<0,025	<0,025	0,028	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,095	0,077	0,277	0,227	<0,025	0,178	0,027	<0,025	0,386
	Moyenne	0,050	0,039	0,041	0,093	<0,025	0,057	<0,025	<0,025	0,039
	Ecart-type	0,017	0,023	0,066	0,074		0,042	0,007		0,098
Baies du Canal	Minimum	0,036	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,069	<0,025	0,037	0,125	<0,025	0,320	0,077	<0,025	0,658
	Moyenne	0,049	<0,025	0,028	0,055	<0,025	0,068	0,026	<0,025	0,089
	Ecart-type	0,012		0,007	0,040		0,105	0,021		0,214
Baie du Prony	Minimum	0,042	<0,025	<0,025	<0,025	0,530	<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
	Moyenne	0,105	0,028	0,034	0,095	0,590	0,052	0,055	<0,025	0,063
	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
	Maximum	0,060	0,038	0,025	1,206	0,290	0,127	0,041	0,043	0,122
	Moyenne	0,050	<0,025	<0,025	0,379	0,270	0,063	<0,025	0,043 (n=1)	0,033
	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
Canal de la Havannah	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068
	Maximum	0,147	0,127	0,120	0,286	0,140	0,225	0,126	0,106	0,295
	Moyenne	0,078	0,097	<0,068	0,073	<0,068	<0,068	<0,068	0,106 (n=1)	0,030
	Ecart-type	0,041	0,016	0,024	0,068	0,041	0,052	0,028		0,080
Baies du Canal	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,078	<0,068
	Maximum	0,388	0,238	0,130	0,371	0,091	0,118	0,215	0,110	0,148
	Moyenne	0,175	0,143	0,079	0,117	<0,068	<0,068	0,106	0,094	0,067
	Ecart-type	0,135	0,054	0,040	0,099	0,030	0,032	0,068	0,015	0,052
Baie du Prony	Minimum	0,101	<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
	Moyenne	0,130	0,071	<0,068	<0,068	<0,068	0,110	0,128	<0,068	0,046
	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
	Maximum	0,217	0,261	0,130	0,101	<0,068	<0,068	0,202	<0,068	0,167
	Moyenne	0,178	0,137	0,092	0,071	<0,068	<0,068	0,120	0,095 (n=1)	0,080
	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
Canal de la Havannah	Minimum	0,084	0,053	0,030	0,083	0,039	0,034	0,057	<0,028	<0,028
	Maximum	0,183	0,192	0,230	0,211	0,166	0,064	0,173	0,067	0,189
	Moyenne	0,105	0,100	0,107	0,113	0,101	0,047	0,088	0,046	0,063
	Ecart-type	0,023	0,043	0,066	0,031	0,040	0,010	0,032	0,015	0,044
Baies du Canal	Minimum	0,100	0,094	0,120	0,190	0,094	0,066	0,091	0,038	<0,028
	Maximum	0,514	0,466	0,690	1,432	0,373	1,606	0,264	0,352	0,446
	Moyenne	0,211	0,209	0,259	0,450	0,199	0,372	0,188	0,126	0,193
	Ecart-type	0,174	0,126	0,176	0,406	0,102	0,505	0,053	0,102	0,145
Baie du Prony	Minimum	0,227	0,137	0,110	0,221	0,142	0,015	0,014	<0,028	0,139
	Maximum	0,453	0,355	0,280	0,718	0,287	0,435	0,454	0,190	0,480
	Moyenne	0,276	0,229	0,149	0,370	0,217	0,157	0,266	0,121	0,271
	Ecart-type	0,068	0,081	0,048	0,149	0,045	0,130	0,117	0,036	0,101
Ile Ouen	Minimum	0,201	0,142	0,190	0,215	0,099	0,072	0,125	0,054	<0,028
	Maximum	0,222	0,247	0,460	0,366	0,340	0,237	0,370	0,151	0,264
	Moyenne	0,214	0,200	0,325	0,276	0,210	0,130	0,223	0,097	0,166
	Ecart-type	0,011	0,039	0,103	0,059	0,098	0,061	0,110	0,035	0,091

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