



ANNEXE 2

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

1^{er} semestre 2018



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

Rapport semestriel
Mars 2018

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

PO n° L06375/0001

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

1^{er} semestre 2018

Kaplan H., Laurent A., David M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L06375/0001	
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1 ^{er} semestre 2018.		
Auteurs	Kaplan H., Laurent A., David M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.		
Résumé	<p>Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Vale-NC a mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2018 (mars 2018) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin).</p> <p>Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (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.</p> <p>Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007.</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kaplan H.	HK	06/07/2018
Vérificateur	Kumar_Roiné S.	SKR	08/07/2018
Approbateur	Pousse C.	CP	17/07/2018
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport initial		20/07/2018
V1.1	Rapport final		10/08/2018
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C.	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kaplan H., Laurent A., David M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM. 2018. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1^{er} semestre 2018. PO : L06375/0001

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	8
A.	SITE D'ETUDE.....	8
B.	ECHANTILLONNAGE	10
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	10
III.	RESULTATS.....	13
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	13
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	19
C.	MATIERES EN SUSPENSION	20
D.	SELS NUTRITIFS	23
E.	MATIERES ORGANIQUES	28
F.	CHLOROPHYLLE A.....	33
G.	METAUX DISSOUS.....	35
IV.	SYNTHESE	42
A.	SELS NUTRITIFS.....	43
B.	METAUX DISSOUS.....	49
V.	CONCLUSION	59
	ANNEXES.....	66

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007¹ et 2008². 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 et géochimique 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 1^{er} semestre 2018 (mars 2018) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

B. OBJECTIFS

Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC:

- 4 dans la Baie du Prony ;
- 5 dans le système du Canal de la Havannah ;
- 1 dans la Baie de Port Boisé ;
- 1 dans la Baie Kwé ;
- 1 au niveau de Port Goro ;
- 1 dans le Canal Woodin ;
- 1 au nord-est de l'île Ouen.

Ce suivi consiste à prélever de l'eau de mer afin de déterminer les principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations en métaux dissous et en sels nutritifs d'origines minérale et organique. Ces prélèvements permettent de compléter les séries temporelles acquises depuis 2005 afin de statuer sur l'impact ou non des activités industrielles 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.

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.

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 13 au 15 mars 2018.

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'Annexe 1.

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 ont été influencées par les cyclones tropicaux HOLA et LINDA, respectivement, les jours précédant et pendant la campagne.

Le cyclone tropical intense HOLA présent à l'ouest de la grande terre entre le 03 et le 11/03/2018 a généré des vents moyens de 14 ± 6 nœuds. Ainsi, lors des 5 jours précédant la campagne, soit du 08 au 12 mars, des vents moyens de 17 ± 7 nœuds de SE à SSE et de SSO ont été enregistrés et un total record de précipitation de 223 mm a été mesuré.

La campagne de prélèvement a également été influencée par la dépression tropicale modérée LINDA présente dans la zone entre le 10 et le 15/03/2018.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (13 au 15 mars 2018) sont les suivantes :

- 13/03/18: Vent d'E/NE de 16 à 18 nœuds, temps nuageux avec des pluies éparses. Présence de houle et de courant dans le canal de la Havannah ;
- 14/03/18: E/NE 16 à 17 Nœuds, temps couvert avec quelques rares averses;
- 15/03/18 : NE 10 à 12 Nœuds, temps nuageux avec quelques éclaircies.

Au total, 21 mm de précipitation sont tombées pendant cette campagne, se produisant essentiellement le 1^{er} et le 2^{ème} jour.

Les prélèvements du 1^{er} et du 2^{ème} jour ont été réalisés de la fin de marée descendante au début de la marée montante. Le 1^{er} jour, l'échantillonnage a débuté par les stations du Canal de la Havannah (St09, St02, St05, St14, St07 et St21). Le 2^{ème} jour, les prélèvements ont été effectués aux stations de l'île Ouen (St13 et St20) et de la Baie du Prony (St18, St15, St16 et St19). Enfin, le 3^{ème} jour, les prélèvements ont été réalisés à mi-marée descendante à la station de la Baie Kwé (St06) puis à celle de la Baie de Port Boisé (St03) (Figure 3).



Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant la campagne (08 au 12/03/2018 ; en bleu) et pendant la campagne semestrielle (13 au 15/03/18 ; en rouge). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "Goro usine".

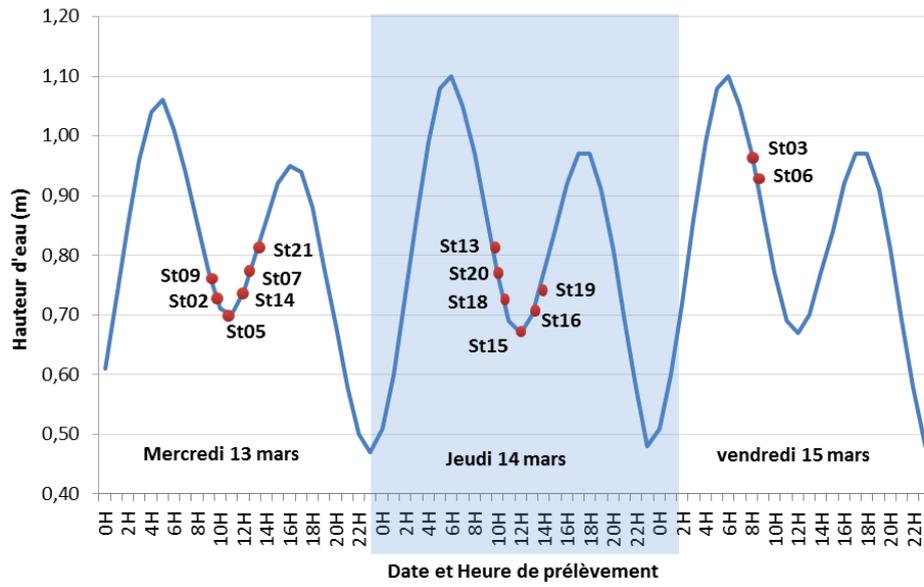


Figure 3: Chronologie des évènements de la campagne semestrielle de mars 2018 reportée sur le marégramme du 13 au 15 mars 2018.

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 de 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 de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
Canal de la Havannah	Minimum	26,15	35,03	0,00	0,20
	Maximum	26,96	35,33	1,14	7,73
	Moyenne	26,48	35,13	0,47	0,54
	Ecart-type	0,14	0,06	0,15	0,72
Baies du Canal	Minimum	25,64	31,62	0,00	0,39
	Maximum	26,79	35,33	0,89	2,89
	Moyenne	26,51	34,37	0,44	0,84
	Ecart-type	0,21	0,88	0,14	0,40
Baie du Prony	Minimum	24,58	26,26	0,20	0,38
	Maximum	27,38	35,68	0,78	5,09
	Moyenne	26,66	34,89	0,45	0,80
	Ecart-type	0,46	1,45	0,13	0,48
Ile Ouen	Minimum	26,07	35,07	0,33	0,49
	Maximum	26,58	35,30	0,63	1,89
	Moyenne	26,32	35,15	0,52	0,78
	Ecart-type	0,14	0,05	0,05	0,20

1. Température

La température moyenne globale est de $26,52 \pm 0,29^\circ\text{C}$. La zone d'étude la plus fraîche est celle de l'île Ouen, à l'opposé de la Baie du Prony où les températures sont les plus chaudes et plus variables. (Figure 4 et Tableau 2). Dans le Canal de la Havannah, la température moyenne est de $26,48 \pm 0,14^\circ\text{C}$. Les profils de température présentent peu de variation dans les premiers mètres de profondeur à l'exception de ceux des stations St21 et St07 pour lesquelles on observe une diminution régulière de la température le long de la colonne d'eau. Une strate d'eau plus fraîche est visible à partir de 20 m de profondeur aux stations St05, St07 et St21. La température aux stations St02 et St09, quant à elle, est très homogène tout le long de la colonne d'eau. Au niveau des baies du Canal, une thermocline est bien visible dans les premiers mètres des stations St03, St06 et St14 situées respectivement dans trois zones d'influence de creeks. Les stations St06 et St14 montrent moins d'écart de température entre le haut et le bas de leur colonne d'eau avec respectivement $26,40 \pm 0,10^\circ\text{C}$ et $26,56^\circ\text{C} \pm 0,10^\circ\text{C}$. A l'inverse, les températures au sein de la colonne d'eau de la station St03 diminuent progressivement avec la profondeur. Les profils de température relevés dans la baie du Prony présentent les plus grands écarts sur l'ensemble de la zone d'étude. Une thermocline est nettement visible à la station St18 avec des températures plus chaudes entre 0 à 8m de profondeur. En revanche, aux stations St16 et St19, les températures sont assez stables dans les premiers mètres de la colonne d'eau puis se refroidissent nettement à partir de 20 m de profondeur. Dans la zone de l'île Ouen, sous influence océanique, les températures moyennes sont assez homogènes et légèrement plus fraîches que la température moyenne de l'ensemble de la zone d'étude ($26,32 \pm 0,14^\circ\text{C}$). Les profils de température des stations St13 et St20 montrent une baisse légère néanmoins progressive des températures à mesure que la profondeur augmente.

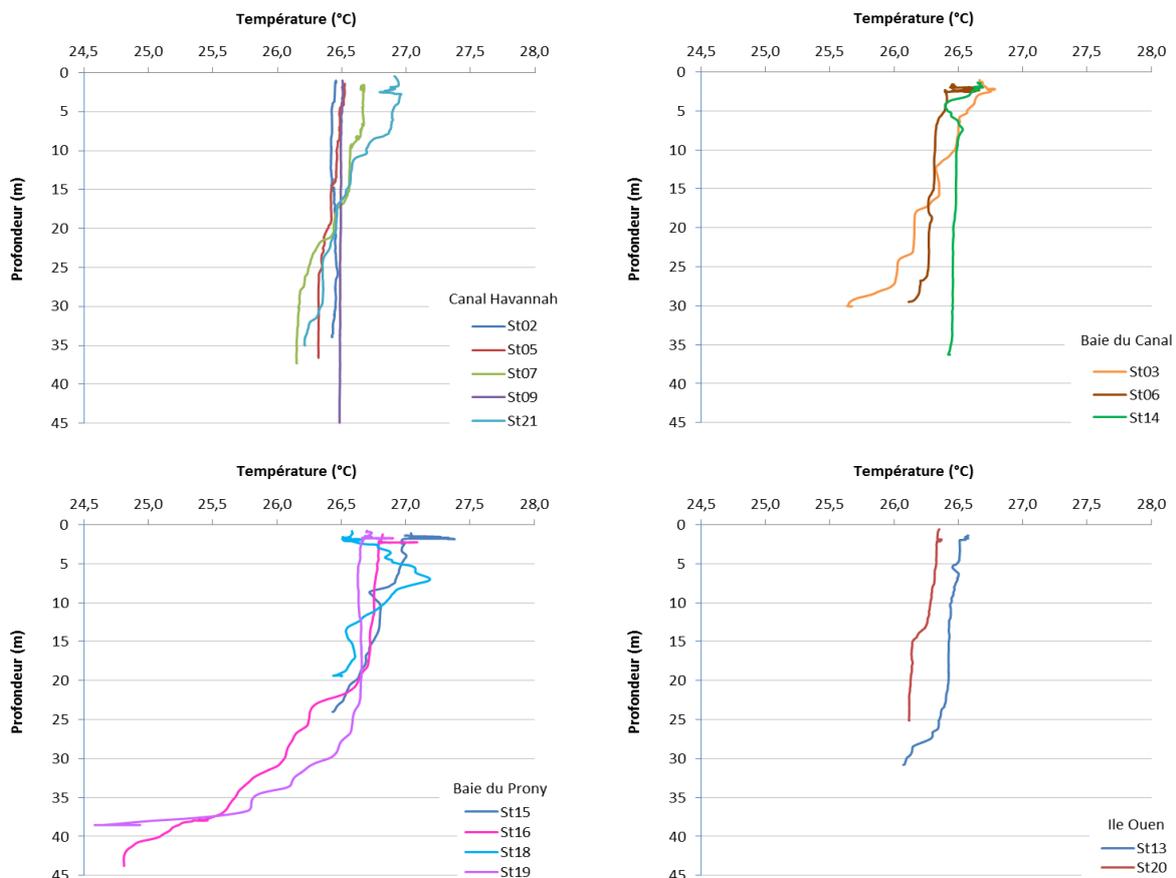


Figure 4: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

2. Salinité

Les profils de salinité du Canal de la Havannah et de l'île Ouen, où l'influence océanique est prépondérante, sont particulièrement homogènes avec respectivement $35,13 \pm 0,06 \text{ ‰}$ et $35,15 \pm 0,05 \text{ ‰}$. Les stations des baies du Canal mettent en évidence une légère dessalure en surface (0 à 4 m) générée par l'arrivée d'une importante quantité d'eau douce des creeks, dû aux fortes pluies des jours précédant la campagne. Ce phénomène est moins visible à la station St06 car le prélèvement a eu lieu à mi-marée descendante. La salinité est assez homogène sur le bas de la colonne d'eau. En baie du Prony, une importante dessalure est également visible proche de l'Ilot Casy. Ce phénomène est très fréquemment observé à la station St18 notamment lors d'épisodes pluvieux. Une résurgence d'eau douce ou une couche d'eau douce poussée par les alizés, vents dominants, peuvent être à l'origine de ce phénomène. Les autres stations dans cette baie présentent des profils de salinité relativement stables. (Figure 5 et Tableau 2).

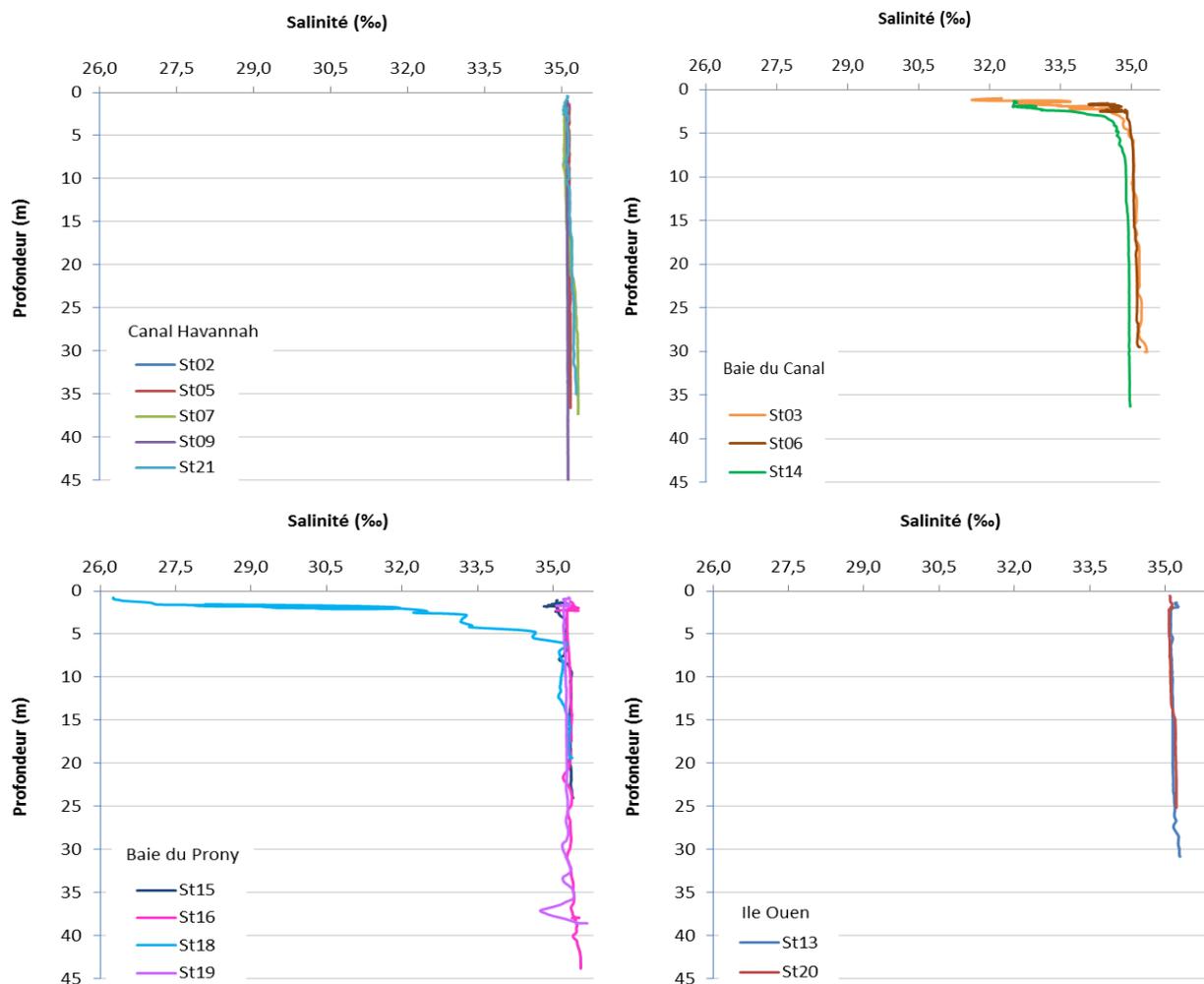


Figure 5: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

3. Fluorescence (mesure de la Chlorophylle totale)

Les profils de fluorescence montrent des moyennes relativement proches les unes des autres dans l'ensemble des zones étudiées (Figure 6 et Tableau 2).

Dans le Canal de la Havannah, les profils de fluorescence suivent la même évolution à l'exception de deux profils. Le profil de la station St07 montre une augmentation de l'intensité à mi-profondeur et celui de la station St21 augmente progressivement avec la profondeur. Cette importante fluorescence peut révéler la présence de matière organique primaire d'origine marine. A la station St07, une couche d'eau ayant une fluorescence élevée se distingue entre 10 et 20 m de profondeur, puis diminue jusqu'en bas de la colonne d'eau. Dans la Baie du Canal et dans la Baie du Prony, les valeurs de fluorescence moyennes sont similaires ($0,44 \pm 0,14 \text{ mg/m}^3$ et $0,45 \pm 0,13 \text{ mg/m}^3$). A la station St14, la fluorescence est croissante entre 6 et 20 m témoignant de potentiels apports phyto-planctoniques. En Baie du Prony, une épaisse couche est visible entre 5 et 25 m de profondeur à la station St19. A la station St18, la couche visible de fluorescence se situe entre 5 et 10 m de profondeur. A la station l'île Ouen, les profils de fluorescence sont très homogènes avec des faibles intensités ($0,52 \pm 0,05 \text{ mg/m}^3$).

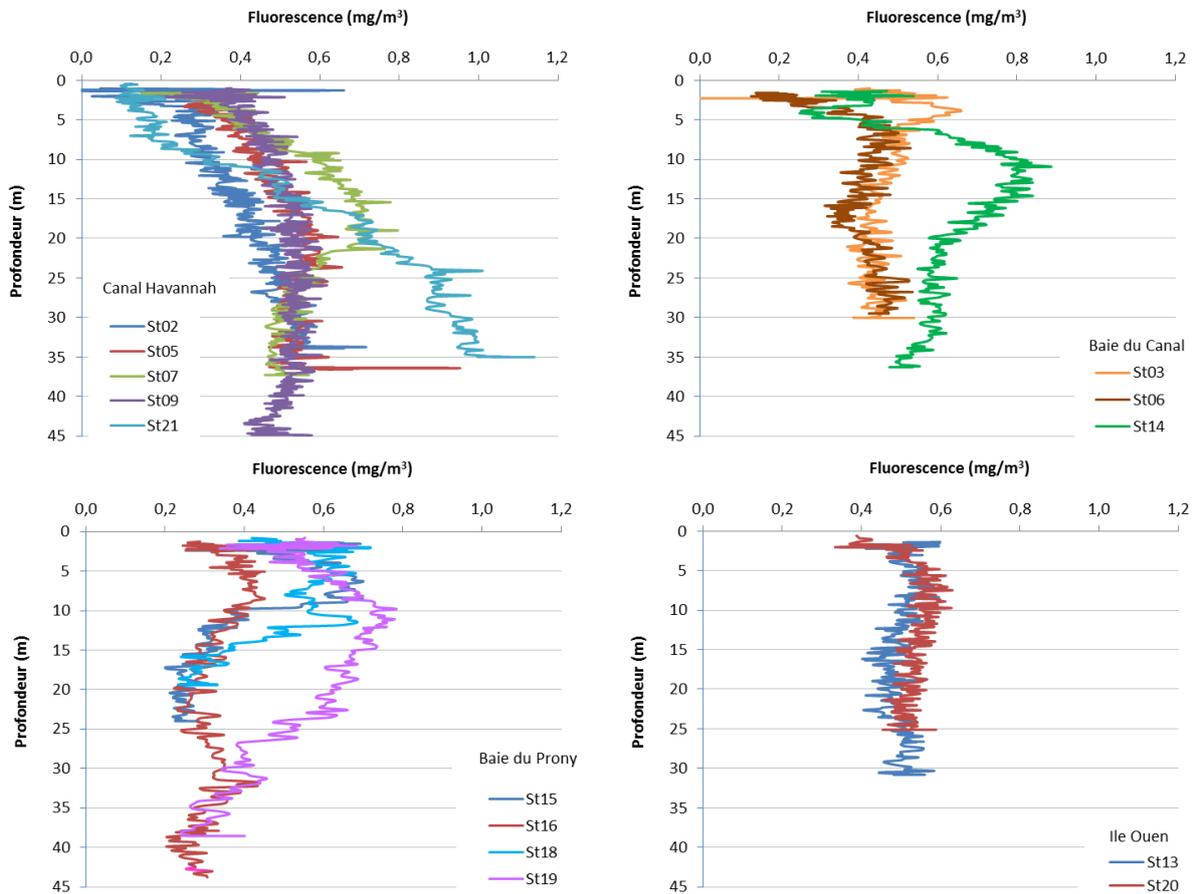


Figure 6: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

4. Turbidité

Les profils de turbidité enregistrés varient selon les zones d'étude, notamment dans la Canal de la Havannah avec une moyenne mesurée de $0,54 \pm 0,72$ NTU. En effet, les conditions météo au moment de la campagne étaient favorables au brassage des matières en suspension organiques et/ou minérales, vivantes et/ou détritiques (Figure 7 et Tableau 2)

Les grands écarts de valeurs du canal de la Havannah sont attribués à la station St02 où les turbidités oscillent de 0,25 NTU à 7,73 NTU. A cette dernière, dans les 10 premiers mètres, la turbidité décroît de 7,73 à 0,75 NTU. Quant à la station St07, la couche de turbidité s'épaissit entre 15 et 36 m de profondeur, ce qui semble être corrélé au rafraîchissement de la colonne d'eau. Les profils de turbidité des stations St05, St09 et St21 sont assez homogènes. Dans la Baie du Prony, les profils montrent une augmentation de la turbidité à mesure que la profondeur augmente. Pour les stations St16 et St19, une couche turbide est visible au-delà des 35 m de profondeur en corrélation avec les températures plus fraîches au fond. A la station St15, des couches successives de turbidité apparaissent à 8, 15 et 25 m également, en lien avec les différences de température à ces mêmes niveaux. A la station St18, une légère couche turbide et dessalée (0 à 5 m) surplombe 10 m d'eau plus claire, puis au-delà des 15 mètres de profondeur l'eau se trouble de nouveau. Les stations des baies du canal ont des profils de turbidité assez similaires. Pour les stations St03 et St06, une fine couche turbide en surface surplombe une colonne d'eau plus claire jusqu'à environ 15 à 20 m au-delà desquels des matières en suspension contenues dans l'eau plus fraîche troublent le bas de la colonne d'eau. Les valeurs moyennes de turbidité relevées à l'île Ouen sont plus homogènes ($0,78 \pm 0,20$ NTU).

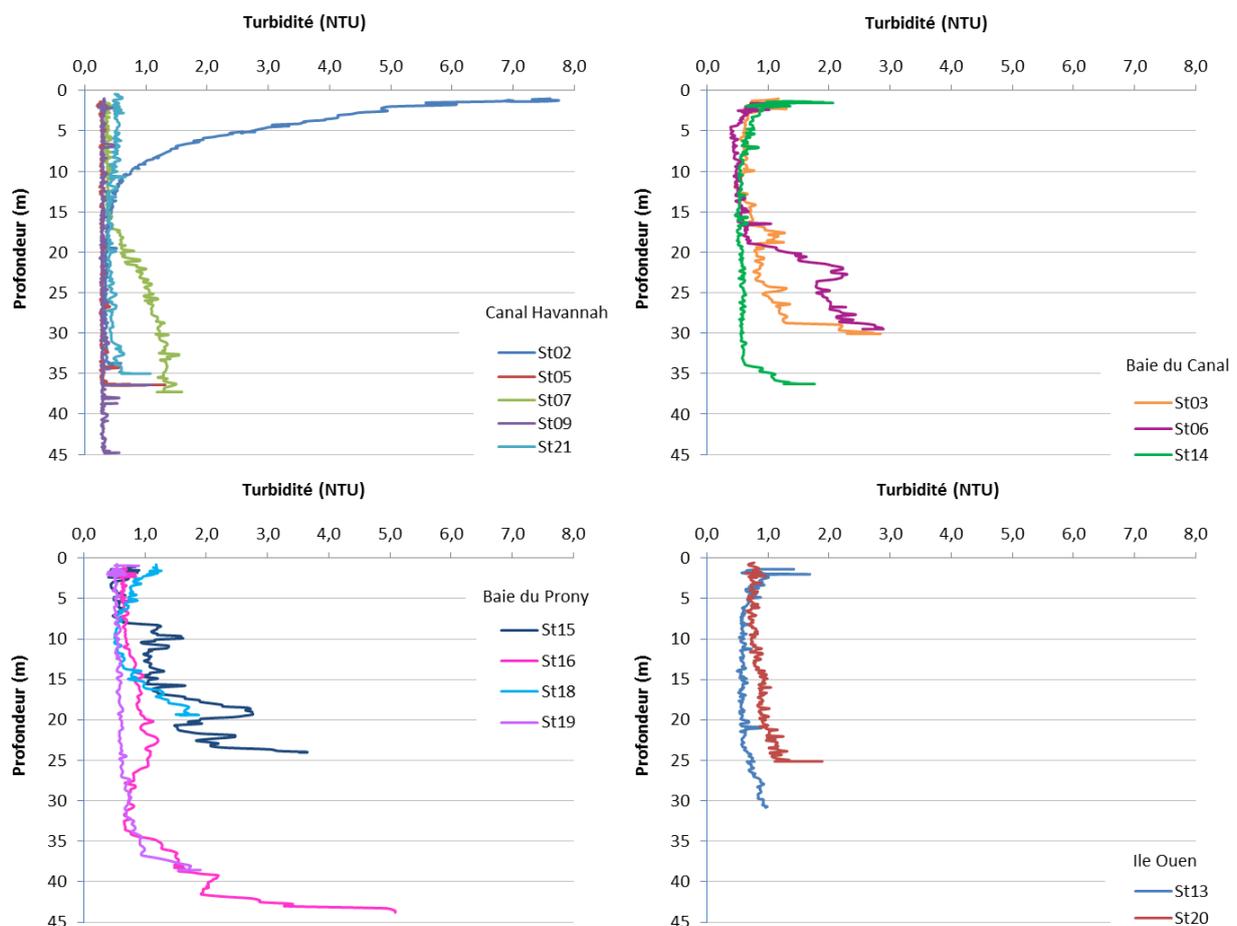


Figure 7: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

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 émissaires naturels ainsi que l'influence océanique dans les stations du Canal de la Havannah pour la période du 13 au 15 mars 2018.

Les fortes précipitations sont décelables par la faible salinité des eaux de surface (-5 m) dans les baies du Canal et de Prony essentiellement aux stations St03, St14 et St18.

Les différences de température influencent la répartition des matières en suspension au sein de la colonne d'eau. Ce phénomène aussi appelé thermocline délimite les eaux douces superficielles (moins denses) de l'eau de mer, plus dense, produisant ainsi une stratification des masses d'eau. Il est nettement visible dans la Baie du Prony aux stations St16 et St19 ainsi qu'à la station St18 à partir d'environ 7 m. Dans le Canal de la Havannah, une thermocline apparaît dès 10 m de profondeur à la station St21 et aux environs de 20 m de profondeur aux stations St07 et St05. Dans la zone de l'île Ouen, la station St20 présente une couche d'eau plus fraîche à partir de 15 m de profondeur alors que celle de la station St13 ne survient que dans les derniers mètres du fond.

Les couches d'eaux turbides sont révélatrices de matières en suspension d'origines diverses. Elles se retrouvent en surface, comme à la station St02, pouvant provenir d'un upwelling dû aux vents soutenus de la semaine précédant la campagne. Au niveau des stations des baies : St03, St06, St14, St16, St19, St15 et St18, la turbidité proviendrait de la remise en suspension des particules du fond.

La fluorescence des eaux étudiées montre des concentrations proches, selon les zones, à l'exception des valeurs de la station St21. Une remontée des eaux froides, profondes, riches en nutriments pourrait signaler un bloom phytoplanctonique visible par la fluorescence, notamment en surface de la station St02. Ce phénomène est moins probable pour les stations St14 et St19 plus proches des côtes pour lesquelles l'origine serait plutôt terrigène. Les données de chlorophylle a seront à corrélérer avec ce paramètre.

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.

Dans l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations en éléments majeurs sont assez homogènes à l'exception des concentrations de surface de la station St18 en, Ca, K, Na, Cl⁻, SO₄ où elles sont légèrement inférieures à la moyenne globale (Annexe 3). Les concentrations en éléments majeurs restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Tableau 3) (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, Kaplan *et al.*, 2016, Kaplan *et al.*, 2017).

Le pH moyen diffère peu entre les zones étudiées ($8,20 \pm 0,04$) comparativement à celui obtenu lors de la campagne précédente de mars 2017 ($8,20 \pm 0,02$) en saison chaude. La seule station à laquelle le pH est légèrement plus faible est la station St06 avec un pH=8,1 en surface. (Tableau 3).

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 de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	pH	Eléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,3	408	485	1197	11130	20507	2465
	Maximum	8,3	436	508	1338	11585	23635	3400
	Moyenne	8,3	422	493	1291	11319	22375	2837
	Ecart-type	0,0	8	7	41	129	1014	270
Baies du canal	Minimum	8,1	380	440	1174	10142	20855	2390
	Maximum	8,3	430	500	1333	11432	28501	3150
	Moyenne	8,2	404	472	1291	10873	22940	2688
	Ecart-type	0,1	17	22	48	484	2306	229
Baie du Prony	Minimum	8,2	332	376	1024	8700	18074	2090
	Maximum	8,2	436	509	1343	11585	28501	3125
	Moyenne	8,2	418	486	1291	11147	23114	2725
	Ecart-type	0,0	28	36	86	787	2298	284
Ile Ouen	Minimum	8,2	411	486	1199	11166	22245	2610
	Maximum	8,2	434	505	1332	11572	25026	2925
	Moyenne	8,2	421	498	1284	11401	23172	2754
	Ecart-type	0,0	8	7	46	149	950	111

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 de mars 2018 sont représentées dans la Figure 8, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Les concentrations mesurées en MES sont variables dans la zone d'étude (Tableau 4). Elles sont globalement légèrement supérieures aux moyennes des années précédentes. La moyenne des MES de 2009 à 2016 est de $0,453 \pm 0,410$ mg/L contre la moyenne de mars 2018 de : $0,507 \pm 0,301$ mg/L. Les valeurs de MES moyennées de mars 2013 étaient exceptionnellement élevées ($1,103 \pm 1,075$ mg/L).

Dans les baies du canal et la Baie du Prony les concentrations moyennes en MES sont plus importantes et hétérogènes que dans les autres zones, avec respectivement $0,618 \pm 0,339$ mg/L et $0,567 \pm 0,352$ mg/L. Un gradient vertical est visible avec des concentrations plus importantes en profondeur des colonnes d'eau, en corrélation avec les profils de turbidité.

Au niveau des stations du canal de la Havannah et de l'île Ouen, les concentrations de MES sont moins importantes avec respectivement $0,438 \pm 0,274$ mg/L et $0,345 \pm 0,081$ mg/L. La répartition verticale des MES est relativement homogène aux stations St20, St13, St02 et St05, à l'exception des stations St07 et St09 où une distribution par couche est visible. L'îlot Ugo est la seule station du canal de la Havannah pour laquelle la concentration en MES est plus importante en surface.

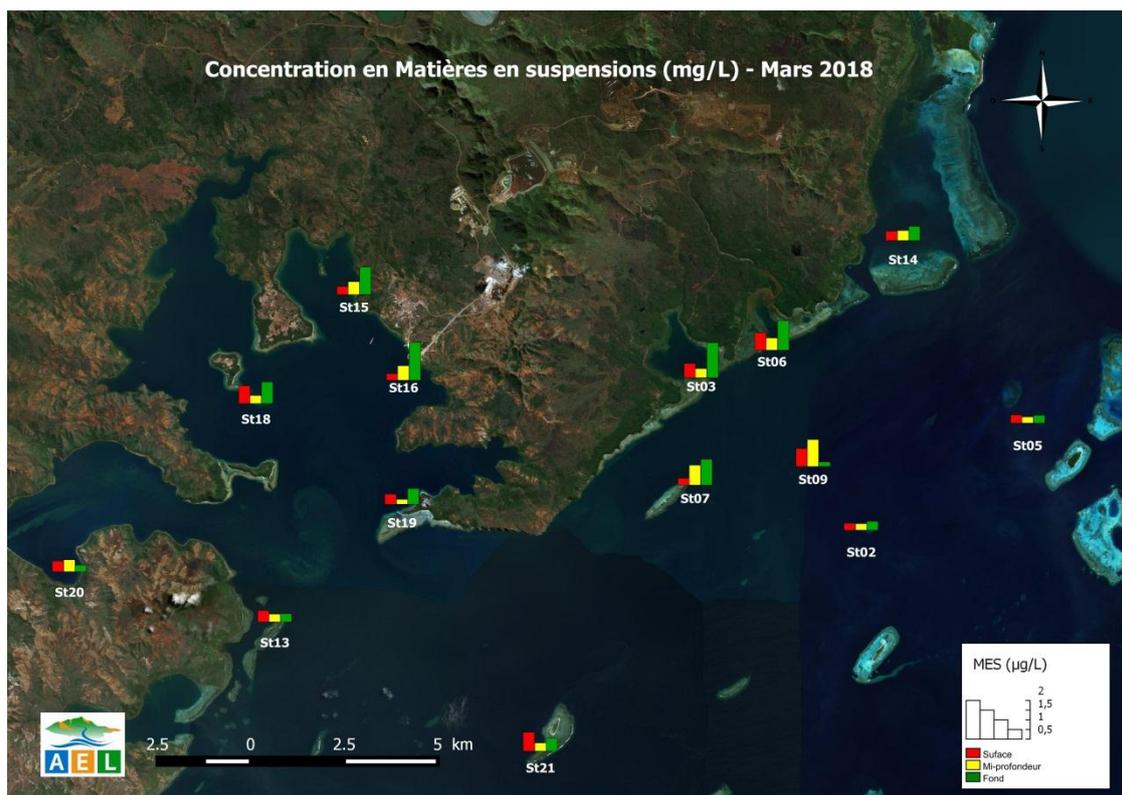


Figure 8 : Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Tableau 4 : Concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,172
	Maximum	0,992
	Moyenne	0,438
	Ecart-type	0,274
Baies du canal	Minimum	0,333
	Maximum	1,282
	Moyenne	0,618
	Ecart-type	0,339
Baie du Prony	Minimum	0,185
	Maximum	1,382
	Moyenne	0,567
	Ecart-type	0,352
Ile Ouen	Minimum	0,238
	Maximum	0,435
	Moyenne	0,345
	Ecart-type	0,081

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en éléments majeurs et le pH restent semblables aux différentes campagnes semestrielles effectuées et sont sensiblement homogènes entre les différentes zones étudiées. Deux particularités sont toutefois à retenir. Premièrement, une légère inflexion du pH est mesurée en surface de la station de la Baie Kwé en raison des fortes précipitations survenues la semaine précédant la campagne. Deuxièmement, des concentrations en éléments majeurs plus faibles sont nettement visibles en surface de la station de l'îlot Casy, comme l'a montré son profil de salinité précédemment.

Les concentrations de MES diffèrent selon les zones et sont en moyenne légèrement plus élevées que la moyenne globale calculée depuis le début du suivi. En effet, ces dernières mettent en évidence les apports terrigènes dus aux fortes précipitations, combinés à des phénomènes de remise en suspension dans les baies du Canal et du Prony. La distribution verticale en MES qui est observée sur la majorité des stations est nettement corrélée aux profils de turbidité enregistrés.

Dans le Canal de la Havannah et à l'île Ouen les concentrations de MES moyennes sont inférieures à celles des baies. L'influence majoritairement océanique apporte des matières en suspension d'origines minérales organiques et/ou inorganiques. Les concentrations de MES mesurées dans ces zones sont en lien avec les profils des stations de la Baie du Prony et de baies du Canal.

D. SELS NUTRITIFS

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle de mars 2018 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 10, Figure 11, Figure 12, le Tableau 5 et l'Annexe 4.

Tableau 5 : Concentrations des sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	0,076	0,032	<0,05	0,500
	Maximum	0,878	0,266	<0,05	1,918
	Moyenne	0,219	0,078	-	1,054
	Ecart-type	0,243	0,065	-	0,480
Baies du canal	Minimum	0,149	0,007	0,052	1,284
	Maximum	0,842	0,415	0,112	10,690
	Moyenne	0,475	0,195	0,070	4,243
	Ecart-type	0,239	0,125	0,024	4,034
Baie du Prony	Minimum	0,144	0,126	0,050	1,109
	Maximum	1,464	0,262	0,148	26,176
	Moyenne	0,880	0,165	0,099	3,819
	Ecart-type	0,482	0,040	0,038	7,062
Ile Ouen	Minimum	0,195	0,057	<0,05	1,344
	Maximum	0,688	0,134	<0,05	4,904
	Moyenne	0,431	0,094	-	2,264
	Ecart-type	0,247	0,034	-	1,325

1. Nitrates et nitrites

Rappel : L'ion nitrate (NO₃⁻) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le NO₃). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en NO₃ 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 NO₃ est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO₂) obtenus par réduction des ions nitrates NO₃. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrates + nitrites (NO₃+NO₂) par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

Les concentrations en NO₃+NO₂ mesurées lors de cette campagne forment un gradient côte-large. Les concentrations les plus importantes et variables se retrouvent essentiellement dans la Baie du Prony avec une concentration moyenne de 0,880 ± 0,482 µmol/L. Au niveau des baies du Canal, les NO₃+NO₂ sont mesurés aux

3 niveaux de profondeur de chacune des stations à l'exception de la station St14 où les NO_3+NO_2 sont en dessous de la limite de quantification à mi-profondeur. La concentration moyenne sur cette zone est de $0,475 \pm 0,239 \mu\text{mol/L}$. Celle-ci est quasiment équivalente à celle de l'Île Ouen avec $0,431 \pm 0,247 \mu\text{mol/L}$. En revanche, à l'Île Ouen les NO_3+NO_2 ne sont mesurés qu'en profondeur de la station St13 et en surface et à mi-profondeur de la station St20.

Les concentrations les plus faibles ont été mesurées dans le Canal de la Havannah avec une moyenne de $0,219 \pm 0,243 \mu\text{mol/L}$. Une seule concentration supérieure à la moyenne a été mesurée en profondeur de la station St07 (Figure 9 ; Tableau 5).

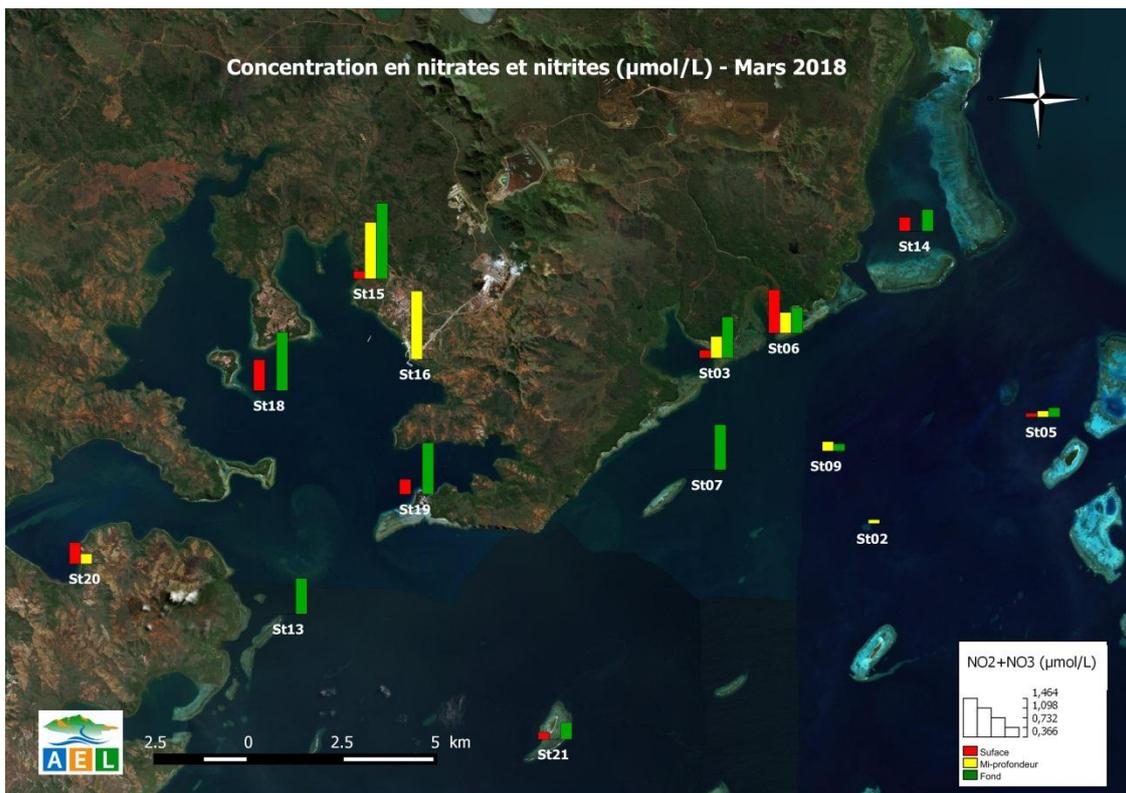


Figure 9: Concentrations en nitrates et nitrites (NO_3+NO_2) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

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 répartition moyenne de l'ammonium (NH_4) dans la zone d'étude suit deux ensembles.

Le premier comprend la zone des baies avec des concentrations moyennes plus élevées dans les Baies du canal ($0,195 \pm 0,125 \mu\text{mol}$) et dans la Baie du Prony ($0,165 \pm 0,040 \mu\text{mol/L}$). Les concentrations en NH_4 sont

majoritairement plus élevées en profondeur sur chacune des stations de l'ensemble de ces deux zones. On remarque aux stations St06-S et -F, St14-S et St21-F la présence combinée des trois paramètres NH_4 , NO_3+NO_2 , et en fer, les concentrations de cet élément sont assez élevées. A la station St03-S, ne sont présents simultanément que le Fe et NH_4 . Cela est révélateur d'une production phytoplanctonique dont la dégradation est incomplète

Dans la seconde, les concentrations moyennes sont plus faibles au niveau du Canal de la Havannah ($0,078 \pm 0,065 \mu\text{mol/L}$) et de l'île Ouen ($0,094 \pm 0,034 \mu\text{mol/L}$). La distribution verticale des concentrations en NH_4 est variable mais les stations St07 et St13 présentent des concentrations nettement plus importantes en profondeur (Figure 10, Tableau 5 et Annexe 4).

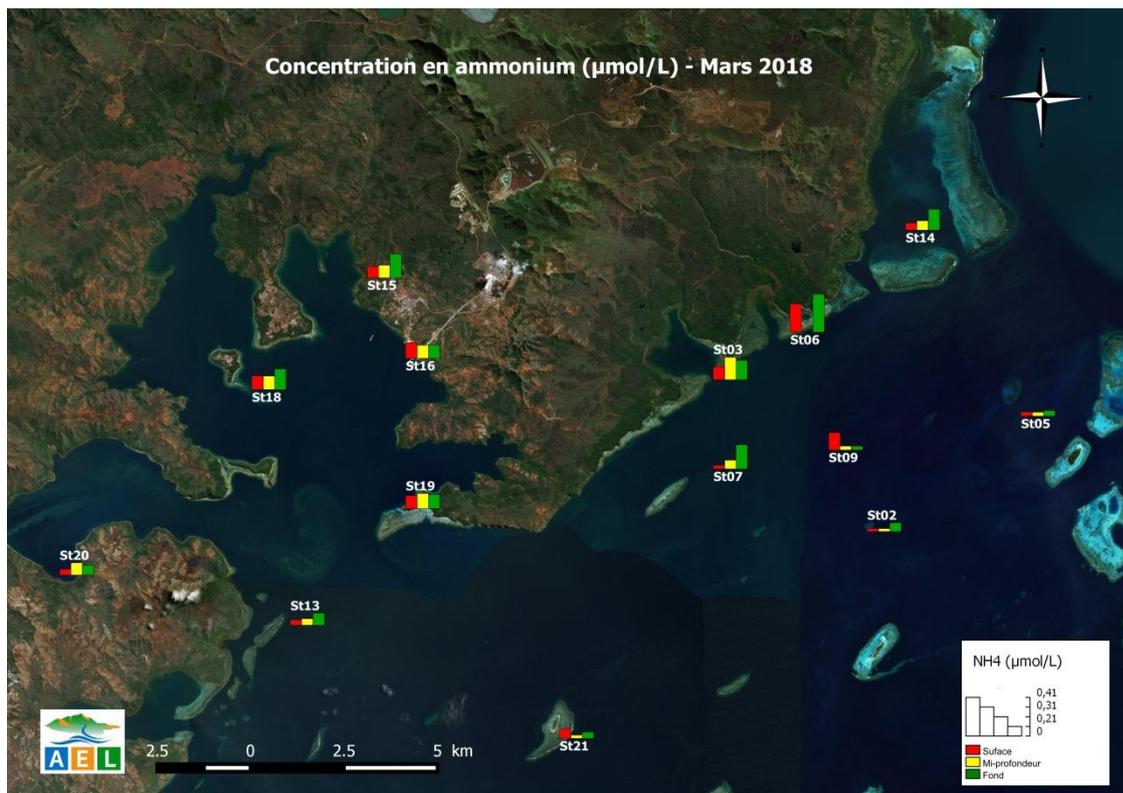


Figure 10: Concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

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.

Lors de cette campagne, les phosphates sont mesurés uniquement aux stations des baies, ils sont en dessous des limites de quantifications dans les autres zones.

Au niveau de la baie du Prony, on en retrouve au fond des stations St18 et St19, à mi-profondeur de la station St16 et au fond et à mi-profondeur de la station St15.

Dans les Baies du canal, les concentrations en phosphates sont relativement proches aux 3 niveaux de profondeur de la station St06. En revanche, ils ne sont présents qu'à mi-profondeur et au fond de la station St03 (Figure 11, Tableau 5 et Annexe 4).

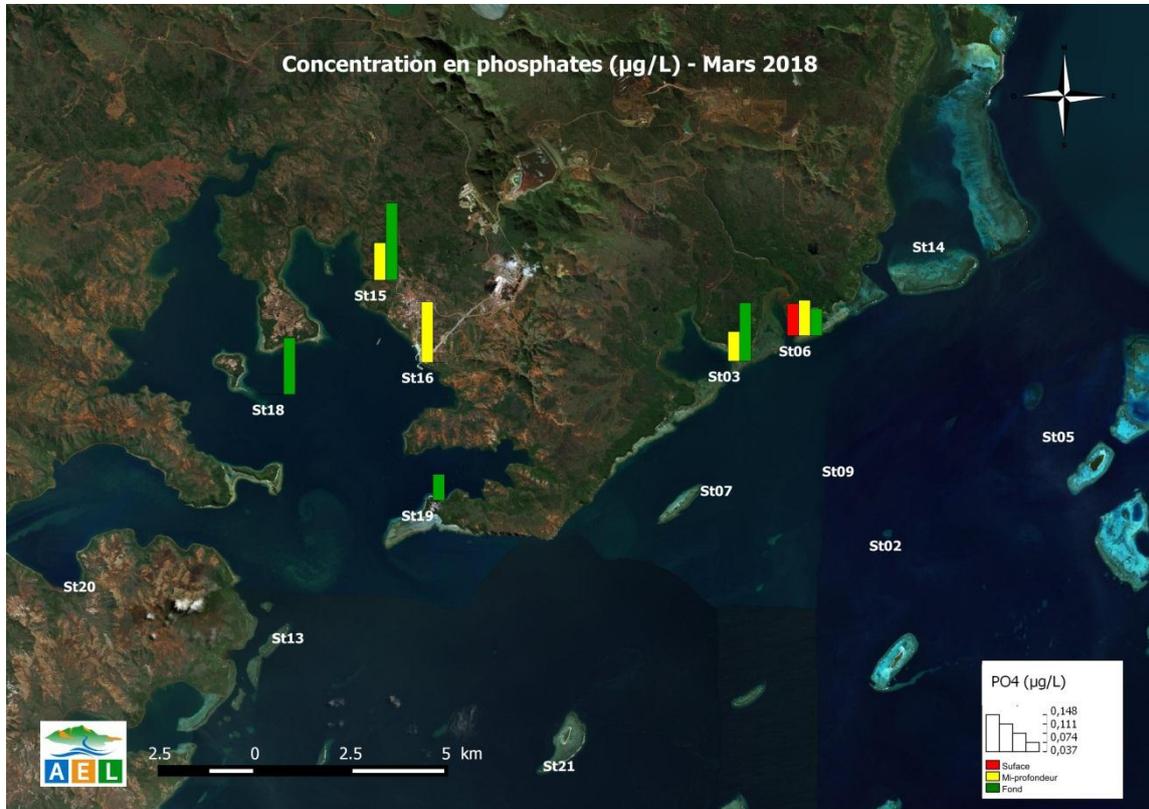


Figure 11: Concentrations en phosphates (PO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

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.

Les concentrations mesurées en SiO_4 sont très variables sur l'ensemble de la zone d'étude. La concentration moyenne est de $2,713 \pm 4,326 \mu\text{mol/L}$ variant de 0,500 à 26,176 $\mu\text{mol/L}$. (Tableau 5)

Les concentrations en SiO_4 sont particulièrement élevées aux embouchures de creeks et en surface de la colonne d'eau au niveau des baies de la Kwé et de Port Boisé avec la valeur maximale située à l'îlot Casy. Cette observation est en corrélation avec la salinité de cette station et les vents SE qui poussent la couche eau dessalée de surface vers cette station. (Annexe 4).

Ces 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 de Prony (Figure 12).

La concentration moyenne en SiO_4 obtenue dans le Canal de la Havannah est la plus faible ($1,054 \pm 0,480 \mu\text{mol/L}$).

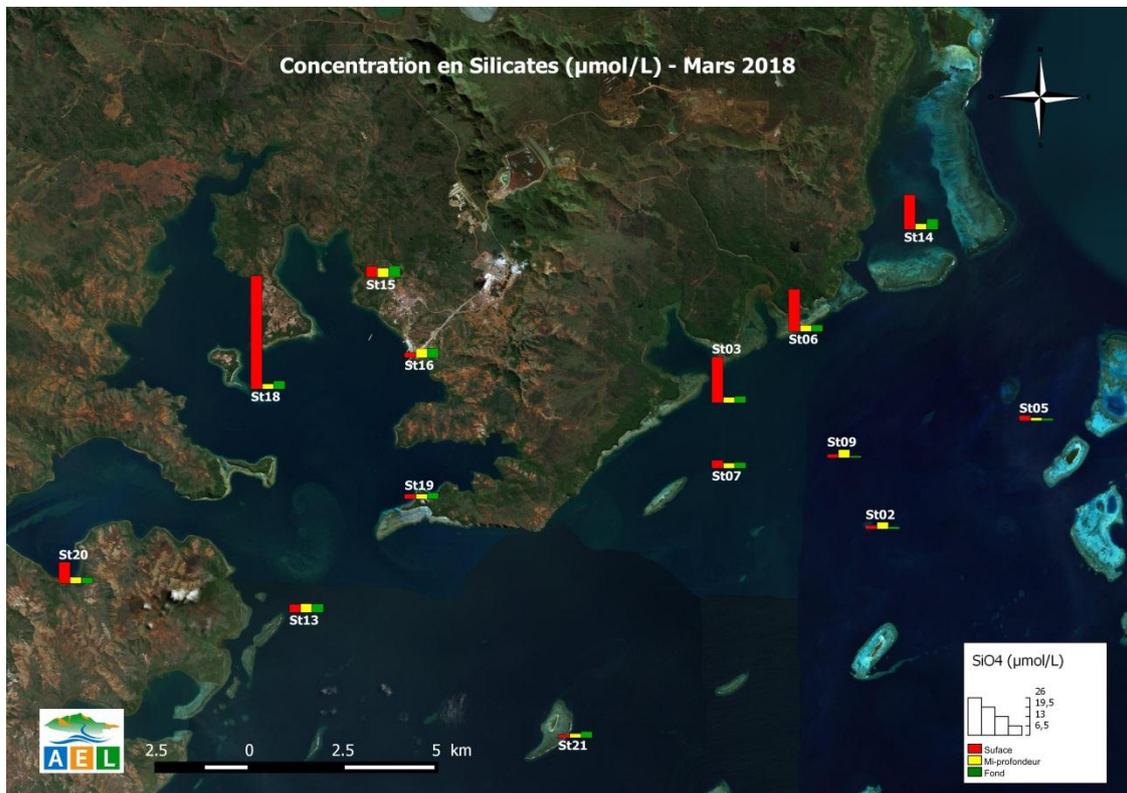


Figure 12: Concentrations en silicates (SiO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, les sels nutritifs NO_3+NO_2 , les PO_4 , les SiO_4 et le NH_4 sont particulièrement représentés dans la Baie du Prony et dans les baies du Canal. Les PO_4 sont en concentrations non quantifiables dans le canal de la Havannah et de la zone de l'Île Ouen.

Globalement, les eaux de fond concentrent plus les NH_4 , NO_3+NO_2 et les PO_4 . *A contrario*, les SiO_4 se retrouvent essentiellement en surface dans des eaux moins salines. En effet, ces valeurs reflètent les apports terrigènes provenant des roches ultrabasiqes formées de silicates de magnésium et de fer pour l'essentiel lessivés par les précipitations précédant la campagne. Les concentrations en Fe mesurées en surface des stations St03, St06 et St14. peuvent favoriser la production phytoplanctonique primaire.

La présence de ces éléments NH_4 , NO_3+NO_2 et les PO_4 témoigne de l'activité biologique animale et végétale se produisant en saison chaude dans les baies (production primaire).

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle de mars 2018 sont regroupées dans les Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17, le Tableau 5 et 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.

La concentration moyenne d'azote organique dissous (NOD) sur l'ensemble du site d'étude est de $6,882 \pm 1,355$ $\mu\text{mol/L}$. (Figure 13). Les concentrations moyennes du Canal de la Havannah ($6,729 \pm 1,698$ $\mu\text{mol/L}$), des baies du Canal ($6,779 \pm 0,715$ $\mu\text{mol/L}$) et de la baie du Prony ($6,750 \pm 1,278$ $\mu\text{mol/L}$) sont similaires, à l'exception de celle de l'île Ouen légèrement plus élevée ($7,436 \pm 1,426$ $\mu\text{mol/L}$). Aucun gradient n'est perceptible. Seules quelques concentrations sont plus élevées. Par exemple, la concentration maximale a été mesurée dans le Canal de la Havannah, à mi-profondeur de la station St09 (11,11 $\mu\text{mol/L}$). C'est également dans cette zone où les concentrations varient le plus.

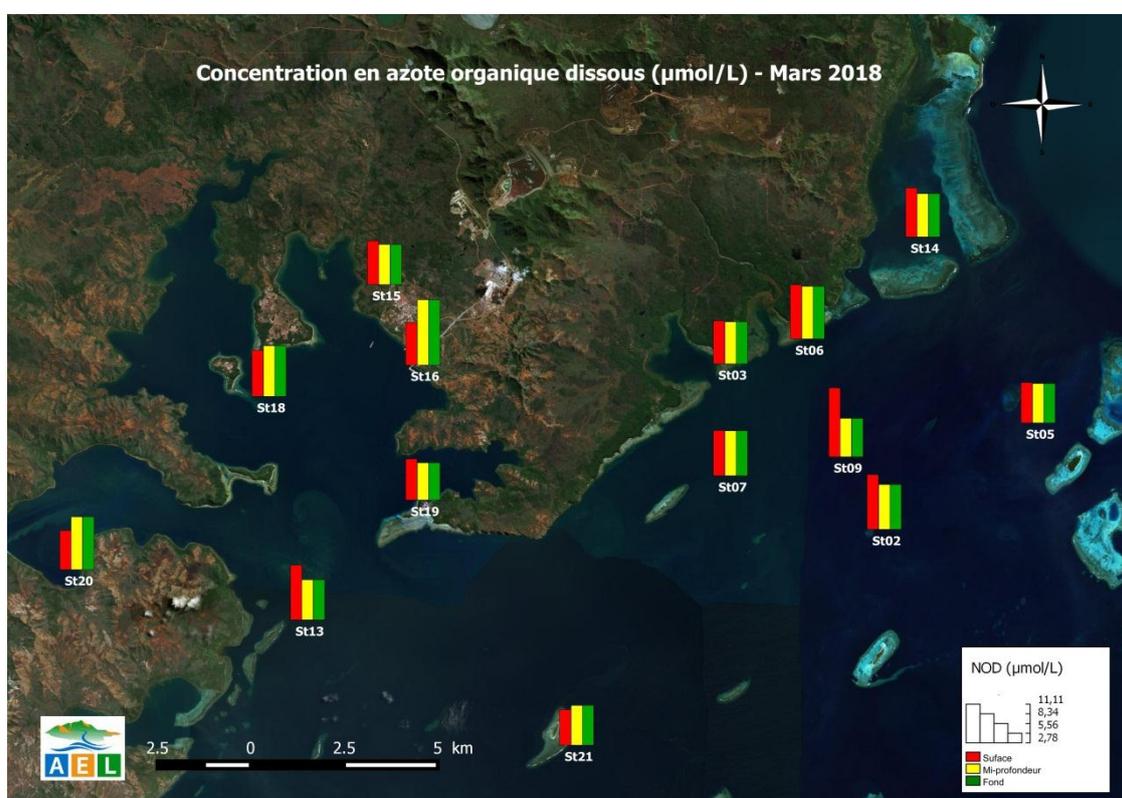


Figure 13 : Concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Le phosphore organique dissous (POD) est quantifiable dans toute la zone d'étude à l'exception de la station St13 à mi-profondeur. La concentration moyenne la plus importante se situe au niveau des Baies du Canal (0,175 ± 0,039 µmol/L). Elle est majorée par la concentration la plus élevée à la station St06 en profondeur (0,464µmol/L).

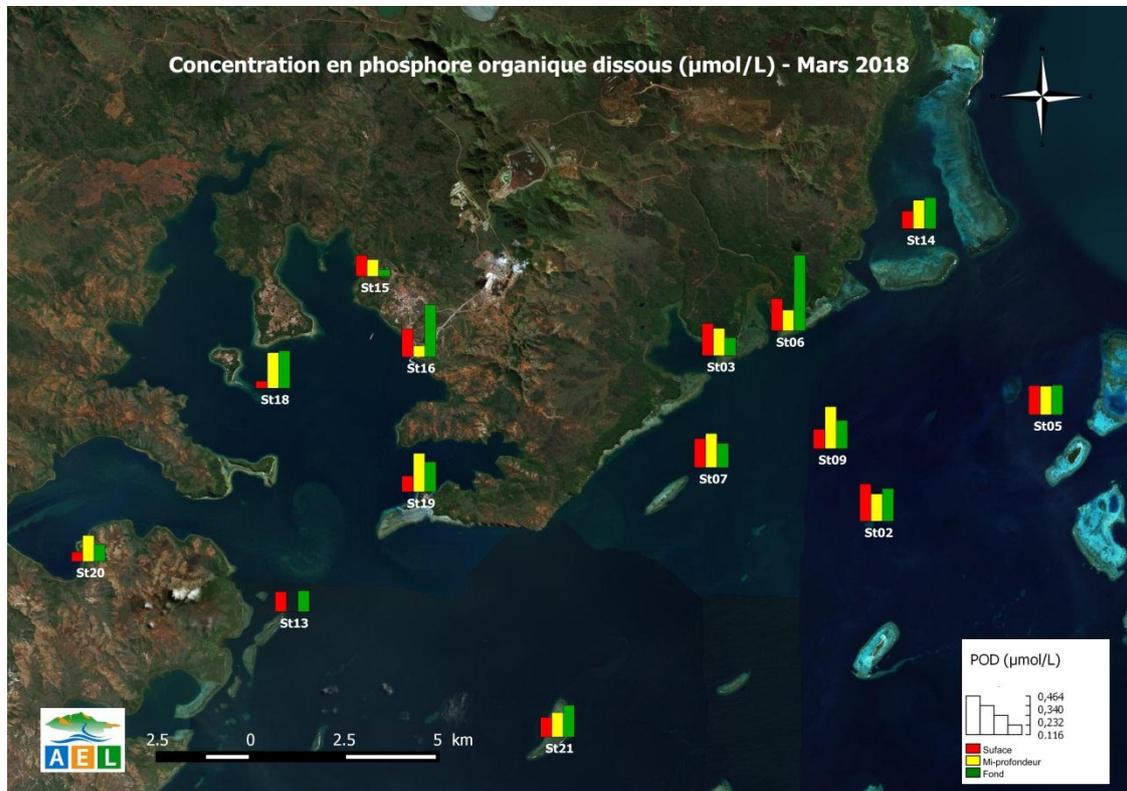


Figure 14 : Concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

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 µm (Strickland et Parsons 1972). Grâce à des filtres la charge organique particulaire est récupérée et analysée.

Les concentrations d'azote organique particulaire (NOP) sont variables sur la zone d'étude. Leur répartition est verticale avec des concentrations en surface plus élevée à l'exception des stations de l'île Ouen. Les stations St09 et St13 ont des concentrations plus importantes majorant les concentrations moyennes de ces deux zones. Les concentrations moyennes les plus faibles sont mesurées dans les baies. (Figure 15, Figure 17, Tableau 5 et Annexe 5).

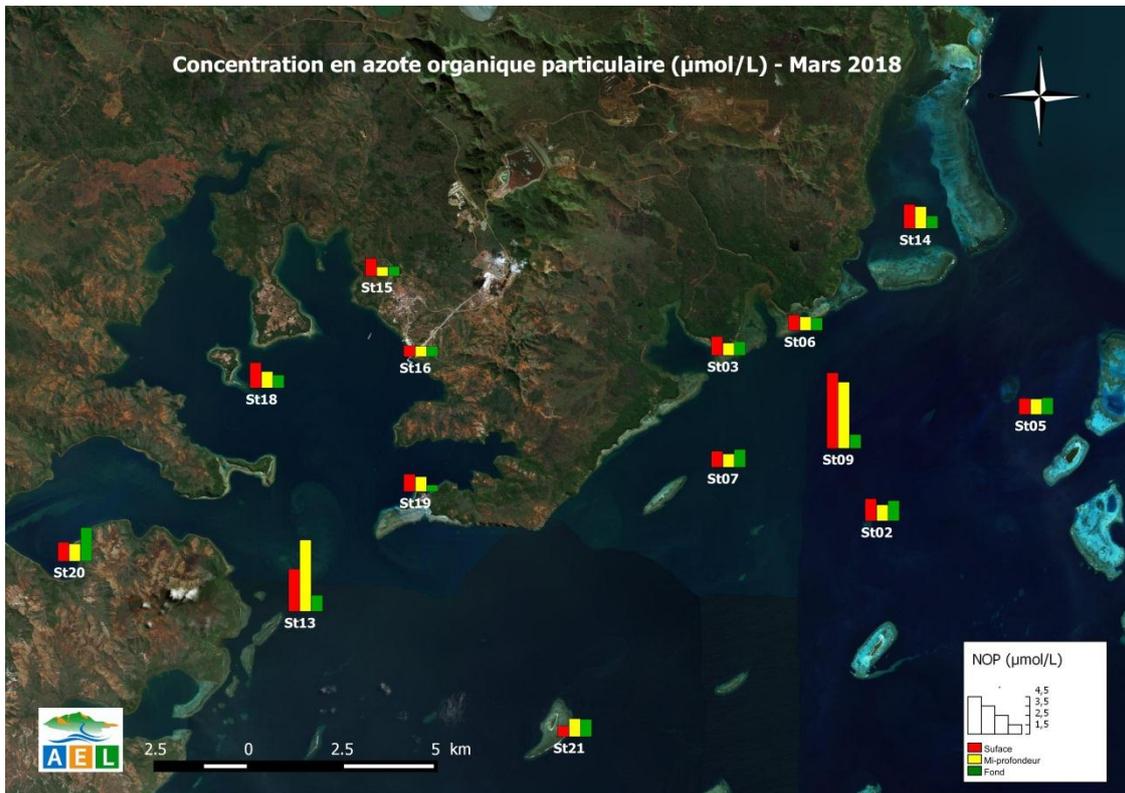


Figure 15 : Concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Le carbone organique particulaire (COP) montre une répartition hétérogène sur toute la zone d'étude avec une moyenne globale similaire à la campagne de la saison chaude dernière avec $7,0 \pm 3,7 \mu\text{mol/L}$. Toutefois, dans le Canal de la Havannah et les baies du canal les concentrations moyennes sont supérieures à celles de l'ensemble de la zone d'étude avec respectivement $8,1 \pm 5,0 \mu\text{mol/L}$ et $7,6 \pm 3,5 \mu\text{mol/L}$. La concentration maximale de COP est mesurée en surface de la station St09. Dans la baie du Prony et à l'île Ouen les concentrations moyennes de COP sont relativement proches avec $5,2 \pm 1,6 \mu\text{mol/L}$ et $6,8 \pm 1,7 \mu\text{mol/L}$. La distribution verticale est majoritairement plus élevée en surface essentiellement aux stations des baies du canal puis aux stations St09, St07, St13, St18 et St15. (Figure 16).

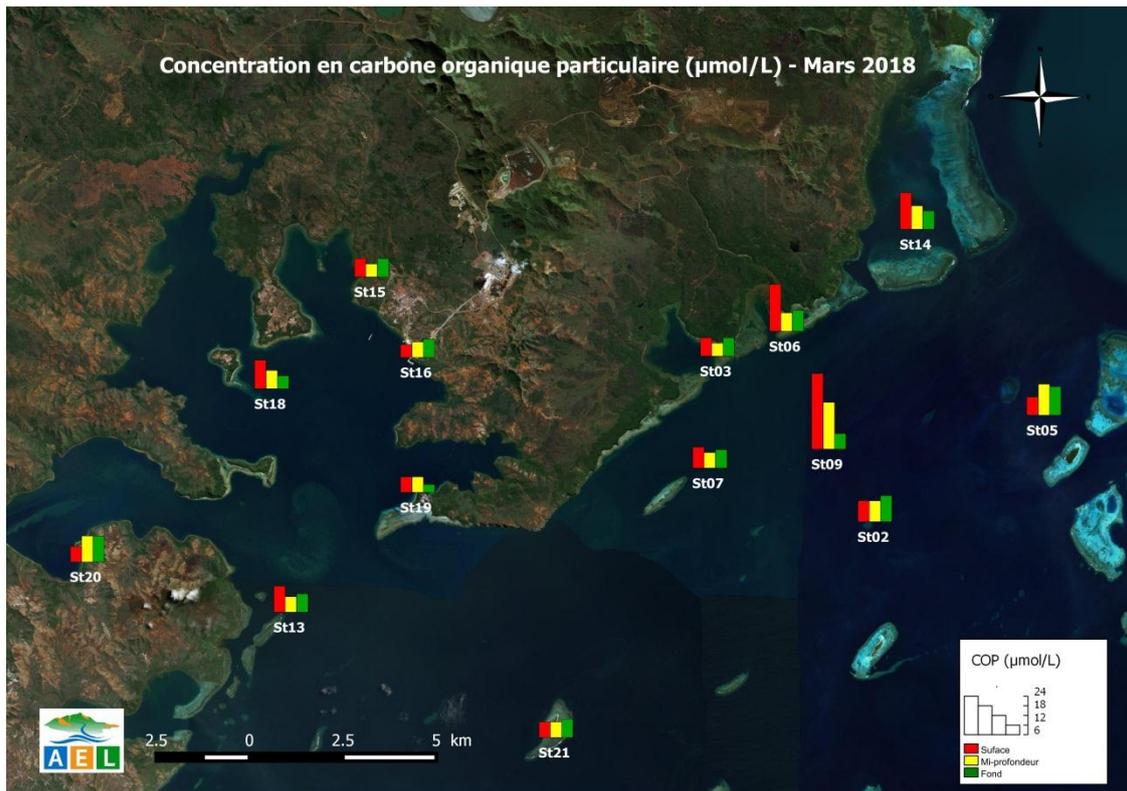


Figure 16 : Concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Le phosphore organique particulaire (POP) est présent aléatoirement dans la colonne d'eau et est réparti dans toute la zone d'étude à l'exception des stations St06, St05 et St02. Les concentrations les plus importantes sont mesurées au niveau de l'île Ouen (Figure 17).

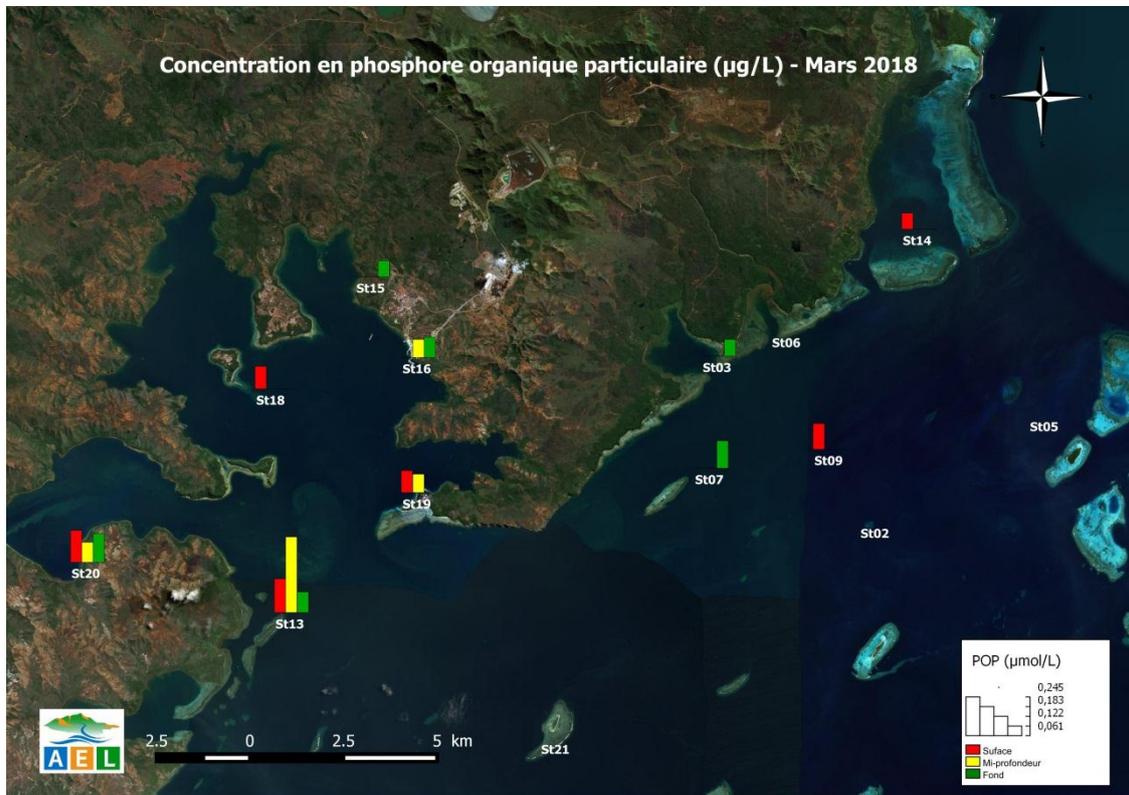


Figure 17: Concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone du lagon sud de la Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Tableau 6 : Concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	0,000	0,660	0,118	0,083	5,0
	Maximum	11,111	4,514	0,258	0,089	24,2
	Moyenne	3,610	1,373	0,175	0,085	8,1
	Ecart-type	3,540	1,137	0,039	0,004	5,0
Baies du canal	Minimum	0,000	0,732	0,109	0,052	4,2
	Maximum	7,962	1,450	0,464	0,054	15,0
	Moyenne	6,040	0,970	0,193	0,053	7,6
	Ecart-type	2,375	0,265	0,108	0,002	3,5
Baie du Prony	Minimum	0,000	0,387	0,042	0,052	2,5
	Maximum	7,450	1,528	0,321	0,073	9,2
	Moyenne	4,117	0,805	0,154	0,064	5,2
	Ecart-type	3,091	0,313	0,087	0,008	1,6
Ile Ouen	Minimum	0,000	0,965	0,000	0,065	5,0
	Maximum	7,575	4,264	0,161	0,245	8,3
	Moyenne	3,202	1,988	0,096	0,114	6,8
	Ecart-type	3,566	1,278	0,058	0,067	1,7

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 de mars 2018 sont représentées dans la Figure 18 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5. Elles sont globalement, du même ordre de grandeur que celles mesurées depuis le début du suivi.

La distribution en chlorophylle *a* est relativement homogène dans les eaux des baies de canal, du canal de la Havannah et de l'île Ouen. Les concentrations moyennes y sont en effet similaires. A l'opposé, les écarts de concentrations les plus importants ont été mesurés dans la baie du Prony avec $0,453 \pm 0,206 \mu\text{g/L}$.

La concentration maximale a été mesurée en profondeur de la station St21 du Canal de la Havannah (0,918 $\mu\text{g/L}$). (Tableau 7, Figure 18).

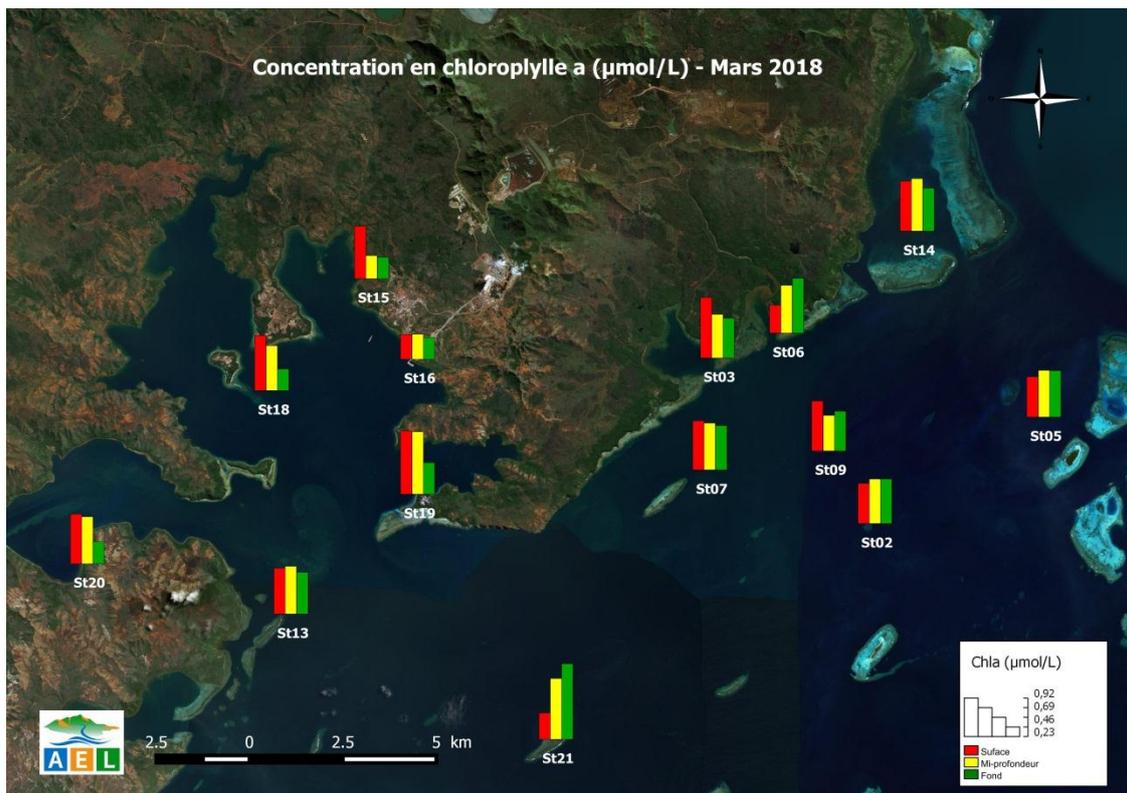


Figure 18 : Concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Tableau 7: Concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,322
	Maximum	0,918
	Moyenne	0,546
	Ecart-type	0,143
Baies du canal	Minimum	0,339
	Maximum	0,738
	Moyenne	0,568
	Ecart-type	0,116
Baie du Prony	Minimum	0,261
	Maximum	0,768
	Moyenne	0,453
	Ecart-type	0,206
Ile Ouen	Minimum	0,270
	Maximum	0,605
	Moyenne	0,516
	Ecart-type	0,124

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en azote, carbone et phosphore organiques particulaires sont contrôlées par des processus biogéochimiques. Ils dépendent des apports en matières en suspension d'origines minérales et organiques présentes dans la colonne d'eau et sont influencés par les apports atmosphériques, fluviaux et le mélange vertical des masses d'eau.

Les COP et NOP ont une distribution spatiale « côte-large » décroissante avec des concentrations plus importantes dans le canal de la Havannah notamment à la station St09.

Les concentrations plus importantes en COP et en Chlorophylle *a* se retrouvent majoritairement en surface de la colonne d'eau à l'exception de la station de la baie Kwé pour la Chl*a*. En effet, l'activité photosynthétique du phytoplancton s'effectue dans la zone exposée à une lumière suffisante pour que la photosynthèse se produise. La profondeur de cette zone photique peut être grandement affectée par la turbidité saisonnière.

Le phosphore particulaire (POP) est partiellement représenté au sein de la colonne d'eau.

Les concentrations en NOP et POP sont essentiellement présentes au niveau de l'Ile Ouen. Globalement, les concentrations de NOP, POP et COP mesurées lors de la campagne de mars 2018 restent dans le même ordre de grandeur que celui des campagnes « saison chaude » depuis 2007.

A l'inverse des formes particulaires, les formes dissoutes de phosphore et d'azote (NOD et POD) se retrouvent essentiellement dans les baies.

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.

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle de mars 2018 sont regroupées dans les Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24 et Figure 25 et dans les Tableau 8 et Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Aucune concentration de Cd et en Zn n'ont été détectées. Le Cd n'est présent qu'à l'état d'ultra-traces dans les roches latéritiques du sud calédonien ([Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981](#)). Le Zn est habituellement peu détecté également (Tableau 8 et Tableau 9).

Seulement deux concentrations en Pb présentent en surface ont été quantifiables. La première au niveau de la station St14 (0,289 µg/L) et la seconde à la station St19 (0,156 µg/L) (Tableau 9).

Le Cu se retrouve en faible quantité au niveau de 3 stations et uniquement en surface. Ainsi, il a été mesuré aux stations St09 (0,025 µg/L), St13 (0,055 µg/L) et à la station St14 (0,041 µg/L) (Tableau 8).

Les concentrations moyennes d'As sur l'ensemble de la zone d'étude sont assez stables ($1,6 \pm 0,2$ µg/L) (Tableau 8). Deux stations présentent un maximal de 1,9 µg/L (St07-S et St14-F) et une seule n'a pas pu être quantifiable (St18-S). Aucune tendance spatiale ni verticale claire n'est constatée, les concentrations étant très homogènes (Figure 19). L'arsenic étant un élément ubiquiste, les variations sans un apport tiers, sont à lier avec les évolutions naturelles du milieu.

Le Co est le Fe ne sont pas mesurés dans toutes les zones étudiées. (Tableau 8 et Tableau 9) Ainsi, des concentrations en Co sont quantifiables uniquement au niveau des baies du Canal (St03, St06 et St14) et du Prony (St15, St18 et St19). La concentration maximale se situe en surface de la station St03 avec 0,130 µg/L (Figure 20).

Le Fe est quantifiable au niveau des baies du canal (St03-S, St06-S et -F et St14-S et -M), du canal de la Havannah (St07-M, St09-M et St21-F) et à l'île Ouen (St13-S et -F). Les concentrations moyennes sont identiques pour la Baie du canal et l'île Ouen avec respectivement ($0,105 \pm 0,033$ µg/L et $0,107 \pm 0,030$ µg/L) où les concentrations sont plus importantes en surface des colonnes d'eau (Figure 23).

Les métaux latéritiques: Mn, Ni, Cr^{VI}, et Cr-total, sont présents dans toute la zone d'étude. Ils présentent dans l'ensemble, une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante bien définie qui concorde avec les profils de salinité. Ce gradient « côte-large » décroissant est confirmé par des concentrations moyennes plus faibles dans le canal Havannah (Tableau 8 et Tableau 9). Ces métaux sont majoritairement décelables dans les baies du canal et dans la Baie du Prony avec une distribution verticale qui disparaît au niveau des stations plus éloignées de la côte. De surcroît, les concentrations sont plus importantes en surface à l'exception du Mn dont la concentration est maximale en profondeur de la station St06. La concentration moyenne de Ni ($0,380 \pm 0,505$ µg/L) y est majorée par une forte concentration en surface de la station St18. Le Cr^{VI} et le Cr-total sont quantifiés dans l'ensemble de la zone d'étude. Leurs concentrations en surface sont plus importantes en surface des stations des baies du canal ainsi qu'aux stations St15 et St18 de la baie du Prony. Comme pour le Ni, une concentration particulièrement élevée en Cr-total est visible en surface de la station St18 en lien avec la forte dessalure (Figure 21, Figure 22, Figure 24 et Figure 25).

Tableau 8 : Concentrations de métaux dissous (As, Cd, Cr(VI), Cr-total, Co et Cu) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Cr ^{VI}	Cr-total	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,40	<0,025	0,060	0,142	<0,027	0,025
	Maximum	1,90	<0,025	0,150	0,214	<0,027	0,025
	Moyenne	1,60	-	0,126	0,172	-	(n=1) 0,025
	Ecart-type	0,20	-	0,030	0,022	-	-
Baies du Canal	Minimum	1,30	<0,025	0,134	0,160	0,045	0,041
	Maximum	1,90	<0,025	1,004	1,116	0,130	0,041
	Moyenne	1,60	-	0,292	0,414	0,077	(n=1) 0,041
	Ecart-type	0,20	-	0,284	0,348	0,039	-
Baie du Prony	Minimum	1,30	<0,025	0,133	0,140	0,029	<0,025
	Maximum	1,70	<0,025	0,422	2,970	0,081	<0,025
	Moyenne	1,50	-	0,227	0,510	0,048	-
	Ecart-type	0,10	-	0,096	0,797	0,022	-
Ile Ouen	Minimum	1,50	<0,025	0,154	0,158	<0,027	0,055
	Maximum	1,70	<0,025	0,236	0,276	<0,027	0,055
	Moyenne	1,60	-	0,205	0,229	-	(n=1) 0,055
	Ecart-type	0,10	-	0,032	0,040	-	-

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 de mars 2018.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	0,079	0,033	0,041	<0,100	<1,000
	Maximum	0,093	0,212	0,155	<0,100	<1,000
	Moyenne	0,084	0,069	0,081	-	-
	Ecart-type	0,007	0,046	0,032	-	-
Baies du canal	Minimum	0,069	0,055	0,095	0,289	<1,000
	Maximum	0,138	0,547	1,438	0,289	<1,000
	Moyenne	0,105	0,233	0,416	(n=1) 0,289	-
	Ecart-type	0,033	0,200	0,466	-	-
Baie du Prony	Minimum	<0,059	0,033	0,085	0,156	<1,000
	Maximum	<0,059	0,165	1,861	0,156	<1,000
	Moyenne	-	0,095	0,380	(n=1) 0,156	-
	Ecart-type	-	0,043	0,505	-	-
Ile Ouen	Minimum	0,086	0,039	0,101	<0,100	<1,000
	Maximum	0,129	0,191	0,306	<0,100	<1,000
	Moyenne	0,107	0,089	0,172	-	-
	Ecart-type	0,030	0,055	0,070	-	-

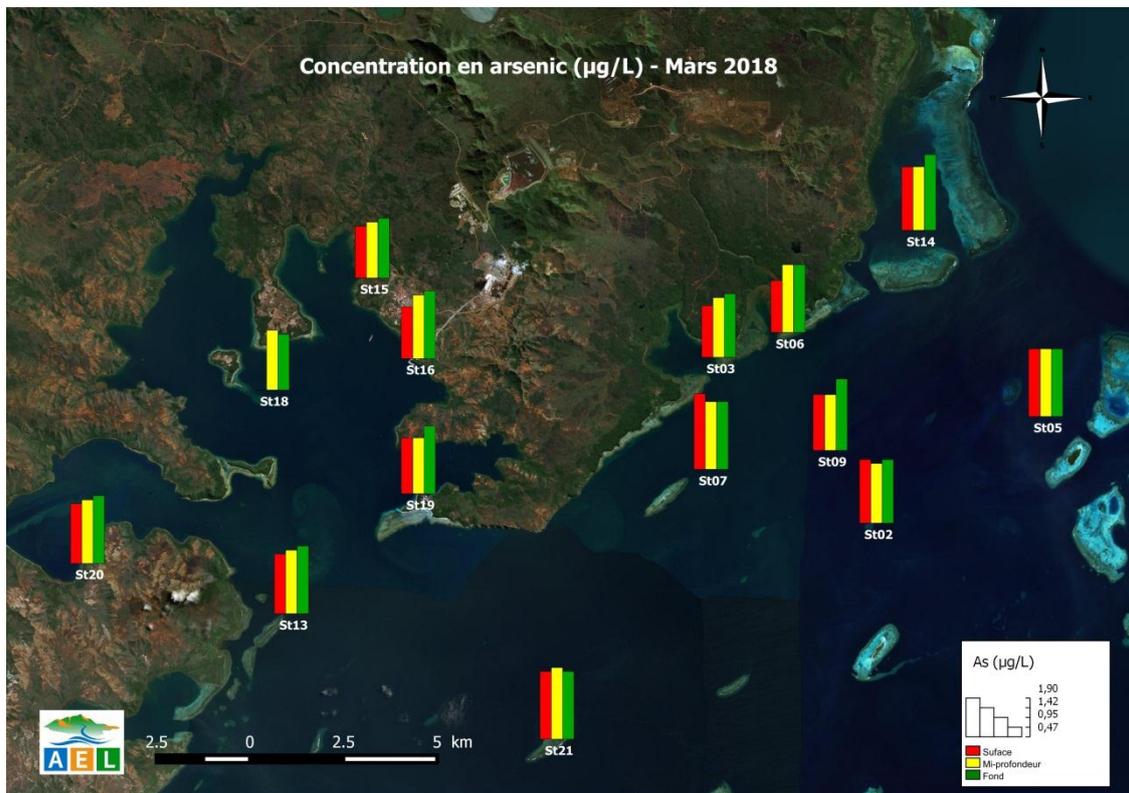


Figure 19 : Concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

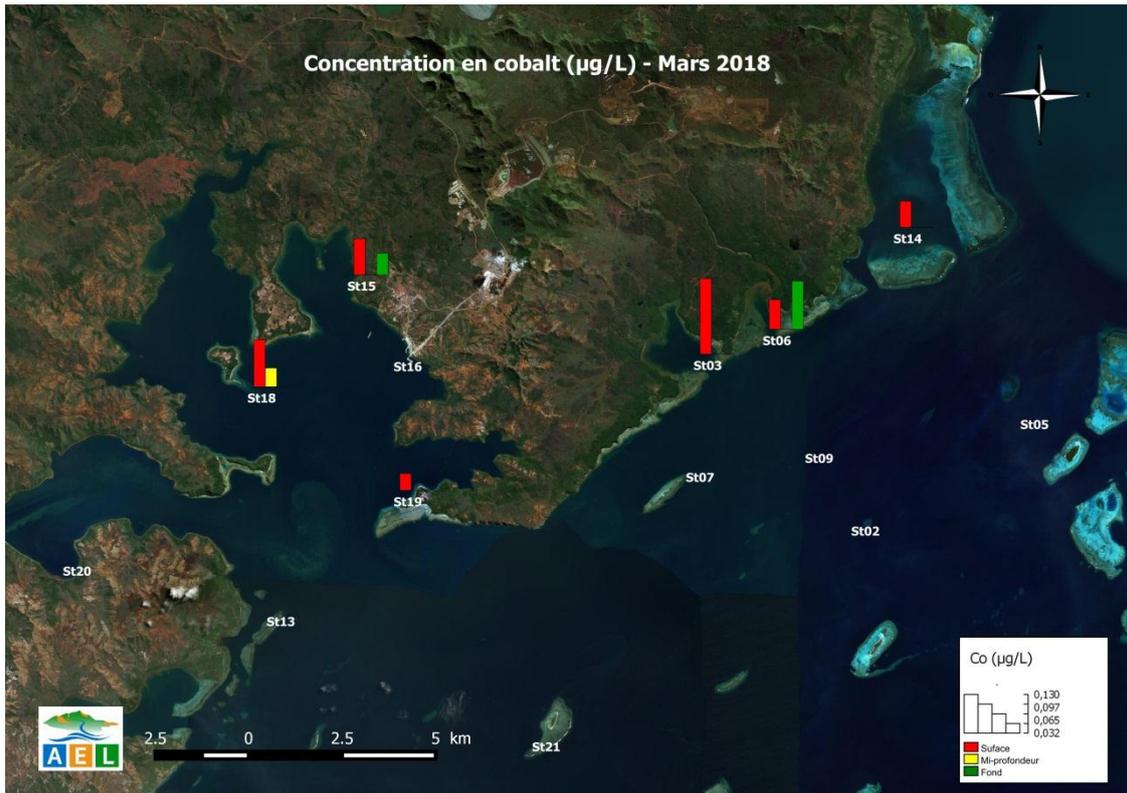


Figure 20: Concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

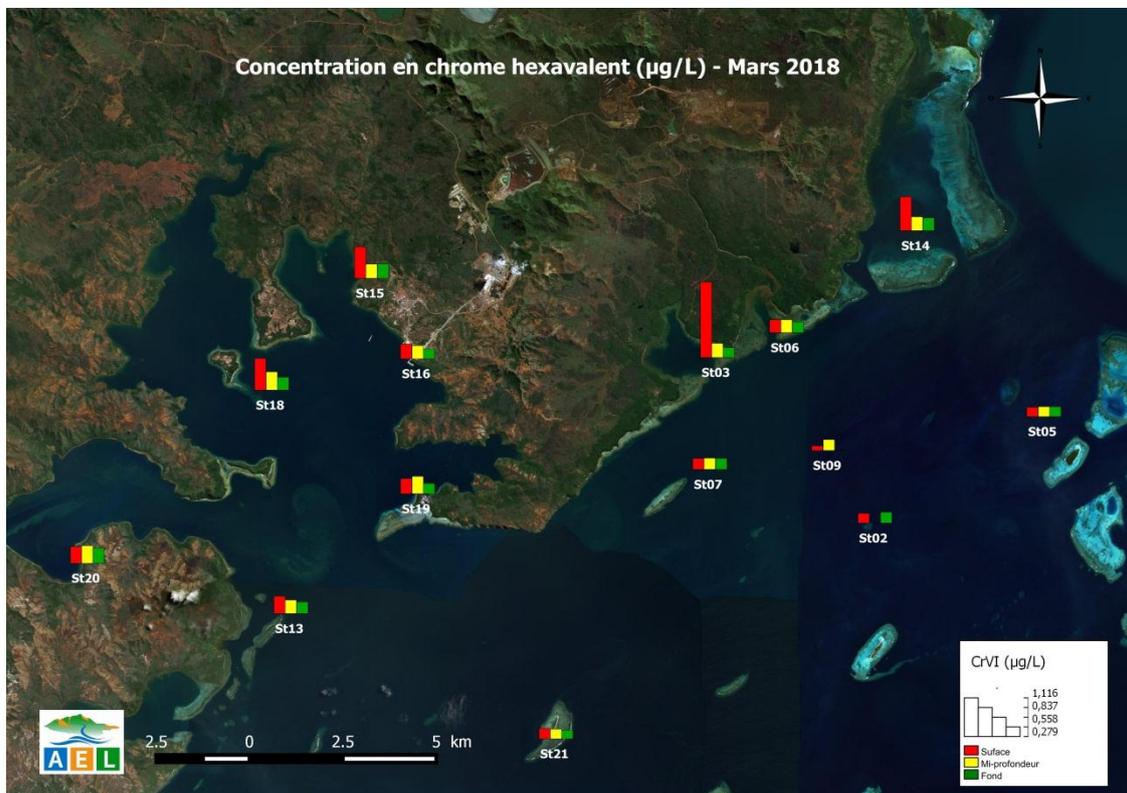


Figure 21 : Concentrations en chrome (CrVI) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.



Figure 22: Concentrations en chrome total (Cr-total) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

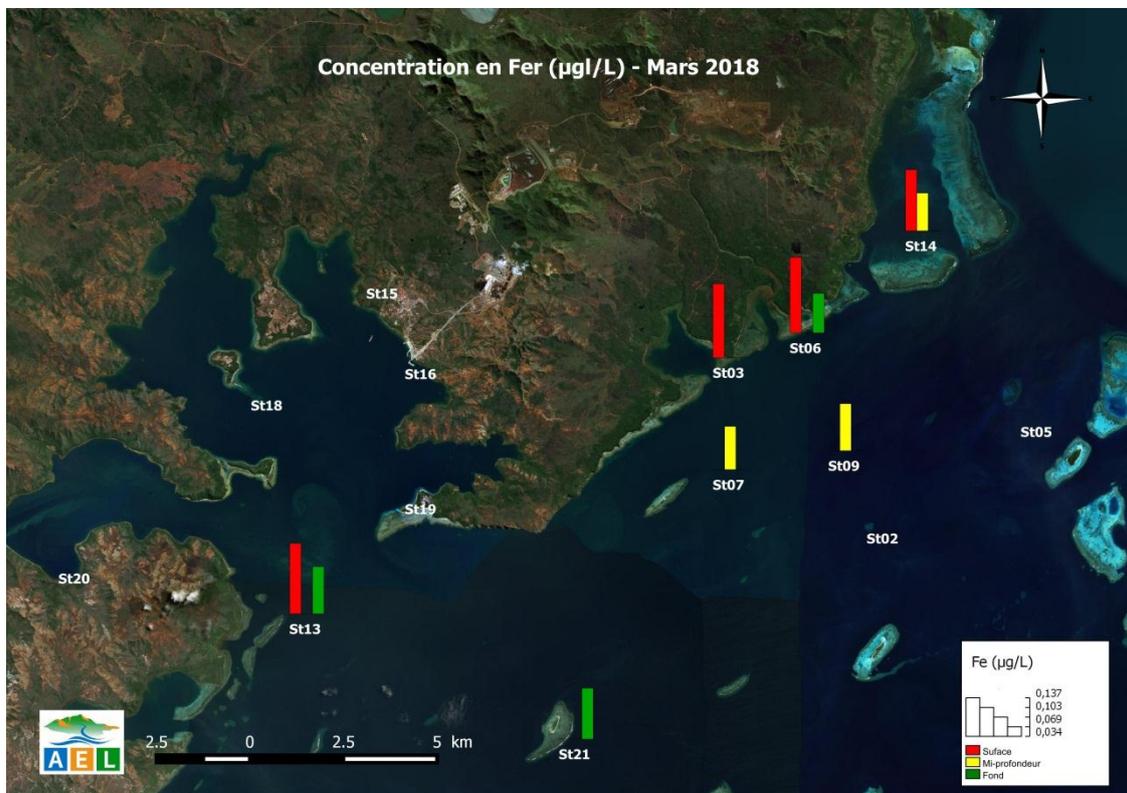


Figure 23: Concentrations en (Fe) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018

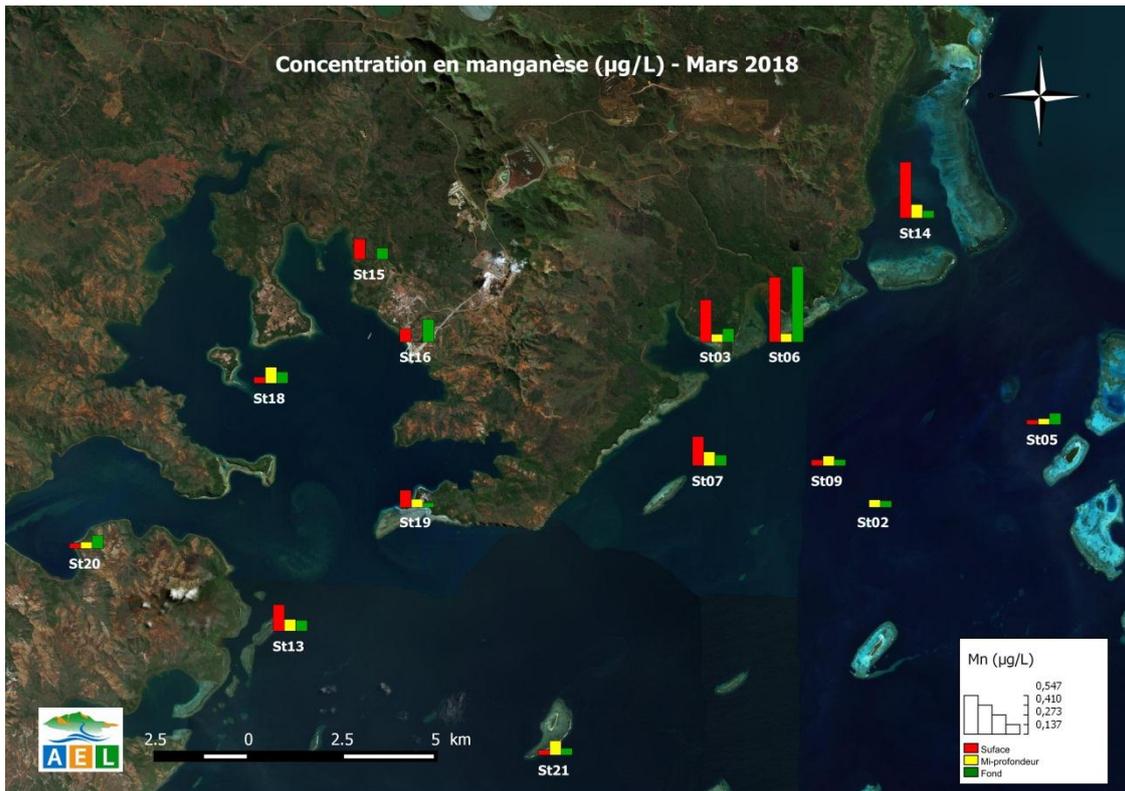


Figure 24 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

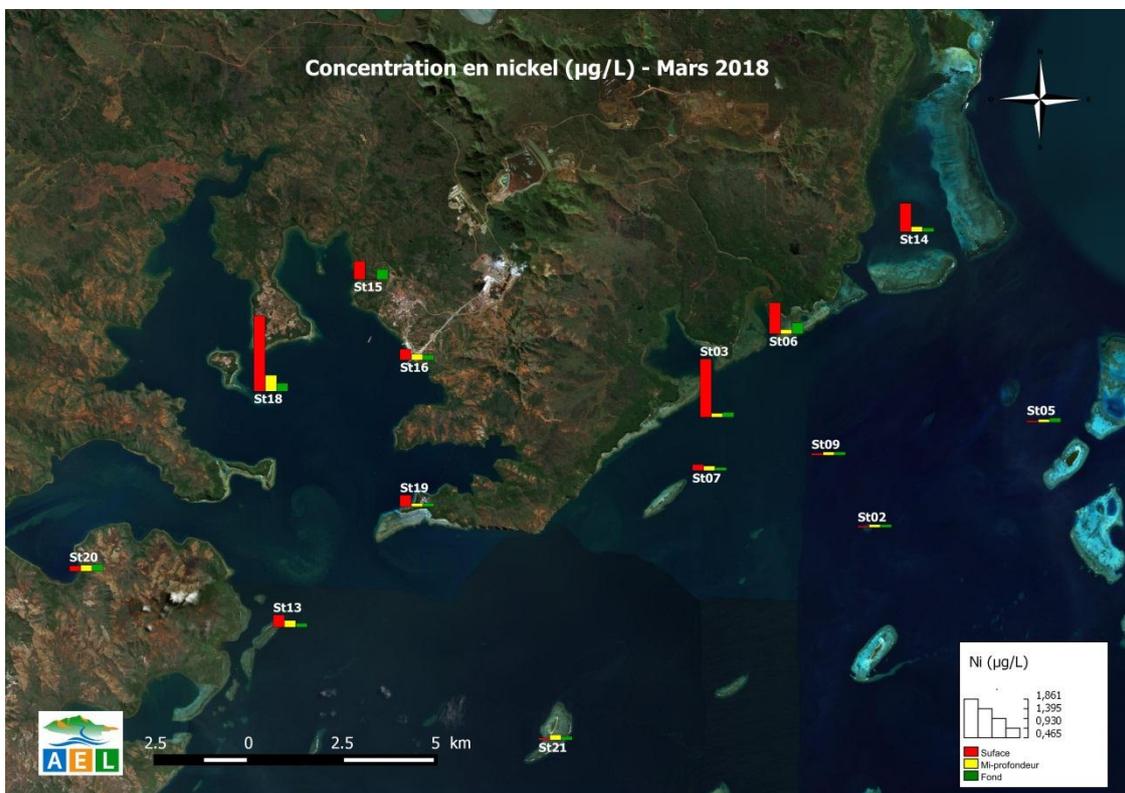


Figure 25 : Concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018.

Ce qu'il faut retenir :

Les métaux dissous Co, Cr^{VI}, Cr-total, Mn et Ni présentent une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante. Ces métaux proviennent directement du sol latéritique dans lequel ils sont prédominants dans cette zone géographique. 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 dessalures dues à l'arrivée d'eaux douces des creeks. Cette influence est particulièrement visible à la station St18 lors de cette campagne. Sous l'influence d'un pH plus faible, ils se retrouvent sous formes dissoutes.

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 et Zn sont non quantifiables. Celles de l'As ne présentent pas de distribution particulière du fait de sa présence ubiquiste dans l'environnement marin calédonien.

Seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées pour le Co, Cu, Fe et le Pb.

Globalement, les concentrations d'As, Cr^{VI}, Cr-total, Co, Mn et Ni mesurées lors de la campagne de mars 2018 restent dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des campagnes « saison chaude » depuis 2007.

IV. SYNTHÈSE

Rappel : Cette synthèse regroupe les concentrations des sels nutritifs et des métaux dissous mesurées aux 4-6 stations sentinelles depuis 2007 : St03 (Port Boisé), St05 (ilot Kié), St06 (Baie Kwé), St07 (Récif Ioro), St09 (Canal de la Havannah) et St15 (Prony Creek Rade Nord) pour les campagnes de suivi « **saison chaude** ». Ces stations reflètent deux différents types d'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 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. L'historique des cumuls de précipitations, avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes entre 2007 et 2018, a été reporté, pour rappel, dans la Figure 26.

Il est à noter que les campagnes de 2017 et 2018 sont caractérisées par des très fortes pluviométries inégalées depuis 2007

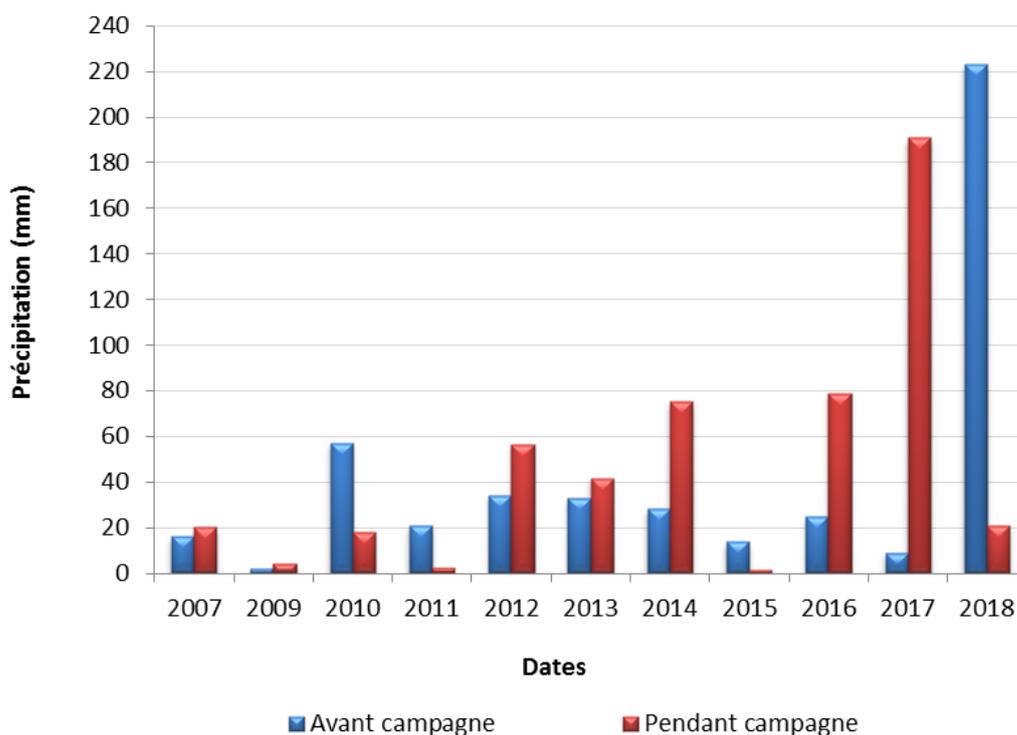


Figure 26 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2018; données météorologiques enregistrées à la station d'observation de GORO USINE.

A. SELS NUTRITIFS

L'évolution des concentrations de NH_4 et de NO_3+NO_2 entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 a été reportée dans les Figure 27, Figure 28, Figure 29, Figure 30.

Leur évolution a été étudiée aux 4 « stations sentinelles » St05, St09, St06 et St15.

1. Ammonium

A la station St05, à l'exception des valeurs de 2010, 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, les concentrations de NH_4 mesurées en « saison chaude » depuis le début des campagnes sont globalement dans le même ordre de grandeur.

En ce qui concerne 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 2010, 2012, 2017 et 2018 et en St15 pour 2010, 2011, 2014, 2015 et 2017 et 2018. 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).

Globalement, les valeurs mesurées dans le Canal montrent peu de variations, malgré cela une légère tendance à l'augmentation des concentrations en NH_4 est visible au niveau de la surface de la station St09 avec un coefficient de variation de 0,42. Cette hausse n'est visible que depuis 2017. Son évolution sera à vérifier lors des prochaines campagnes.

Au niveau des stations de baies, cette légère augmentation se remarque essentiellement au fond de la station St06 avec un coefficient de variation de 0,43. En surface des deux stations, les coefficients de variations sont légèrement plus faibles mais restent proches (St06-S, $R^2=0,31$ et St15-S, $R^2=0,33$). A l'opposé les coefficients de variations à mi-profondeur sont entre 0,07 et 0,14, donc inférieurs. Cette faible évolution est, en revanche, le résultat de concentrations très variables d'une année sur l'autre.

La présence d'ammonium traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique pouvant être révélateur de l'évolution d'un milieu.

Note : Au niveau des baies du Canal, une vérification des concentrations de NH_4 a été réalisée à la station St03 malgré le fait qu'elle ne fasse pas partie du suivi temporel. L'évolution des concentrations montre une légère augmentation en NH_4 à tous les niveaux depuis 2011, sans toutefois, atteindre des seuils préoccupants. (St03-S, $R^2=0,3$; St03-M, $R^2=0,5$ et St03-F, $R^2=0,4$).

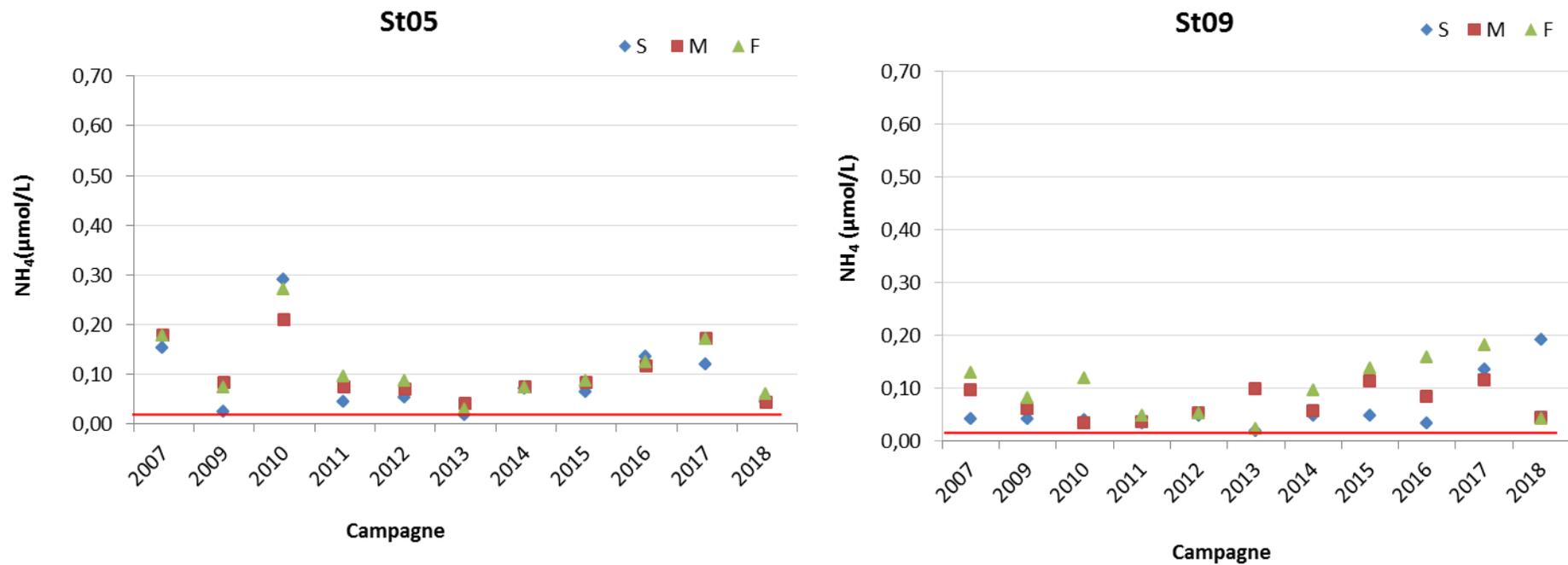


Figure 27: Concentrations d'ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 µmol/L).

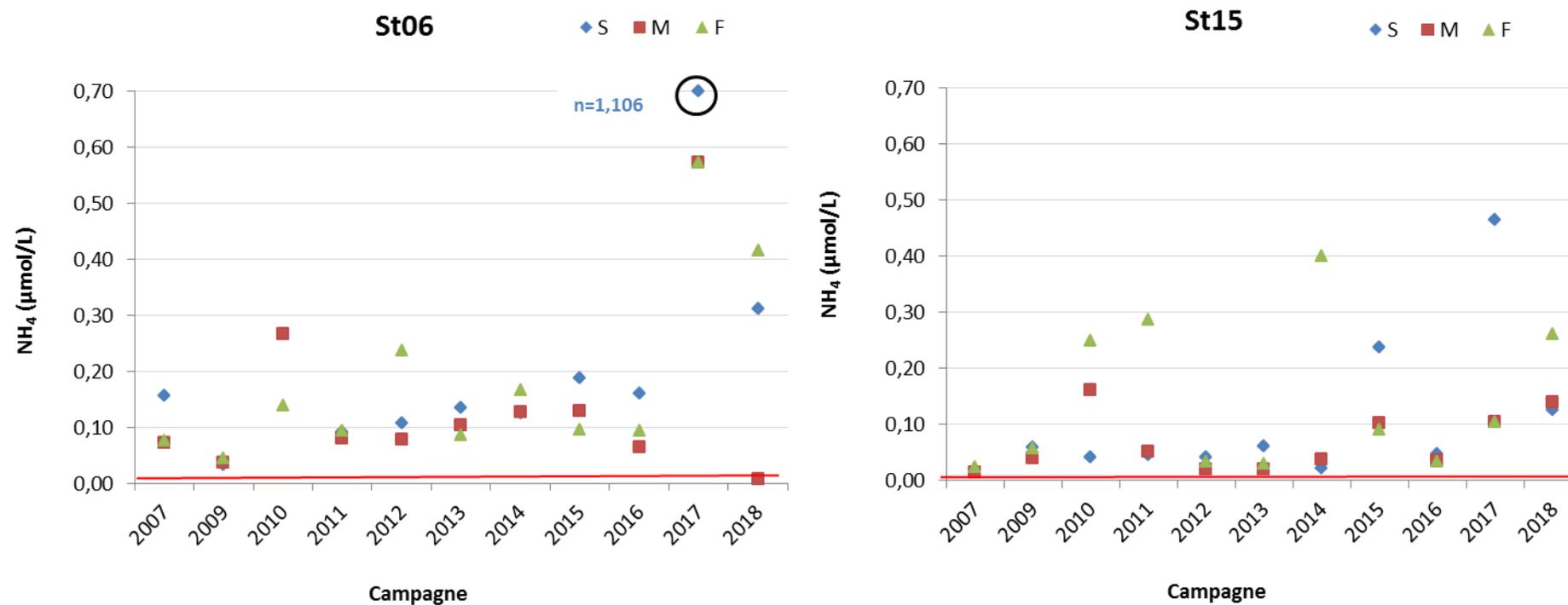


Figure 28: Concentrations d’ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,002 μmol/L).

2. 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 également 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 également pour le NH_4 .

Pour les stations St06 et St15, les concentrations en NO_3+NO_2 sont assez variables dans le temps. Quelques augmentations importantes sont visibles en 2013 et 2017 à la station St06-S. A la station St15, c'est en 2007, 2017 et 2018 que les plus fortes concentrations ont été mesurées à tous les niveaux de la colonne d'eau. La disparité des concentrations dans la colonne d'eau ne permet pas de voir de tendance significative.

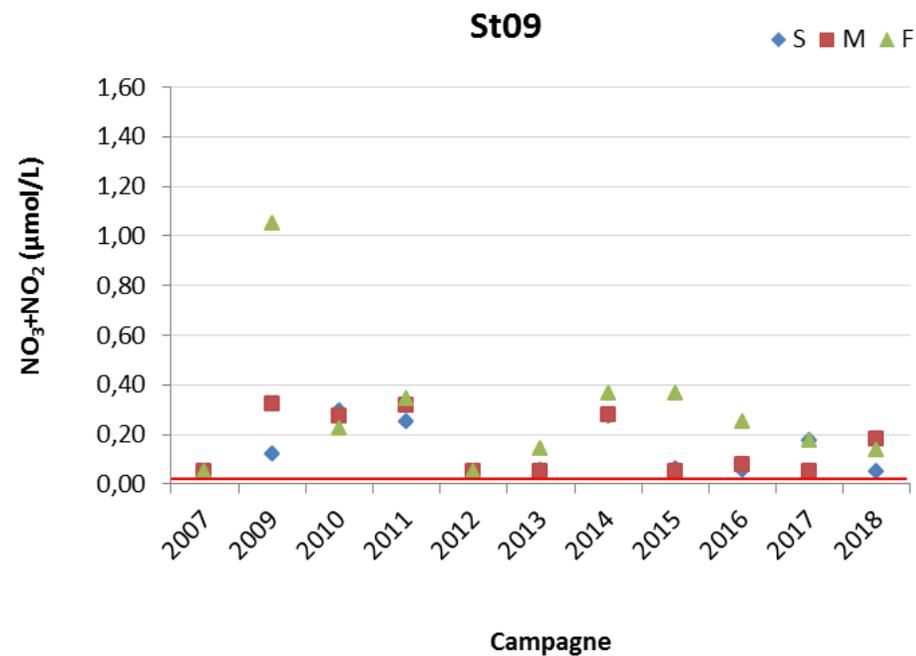
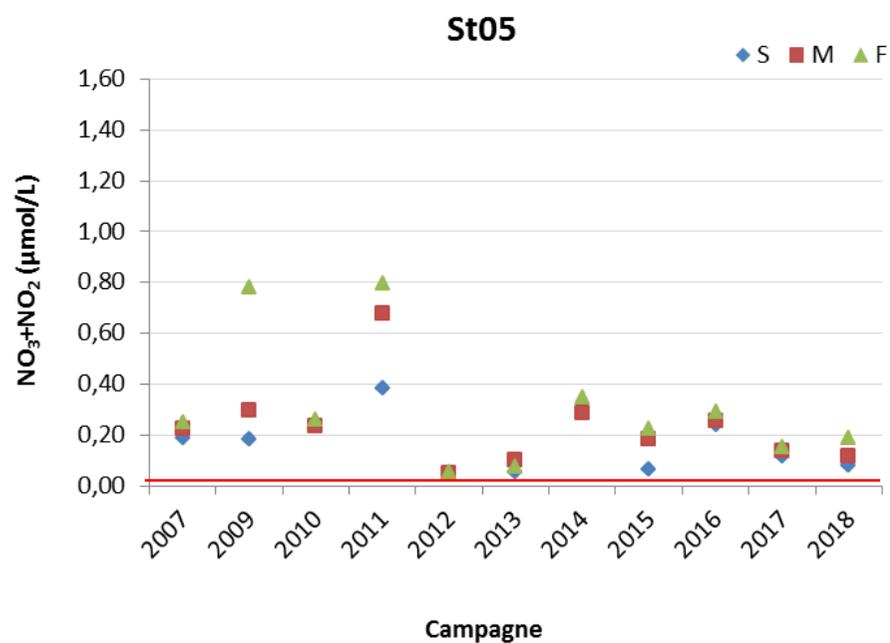


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

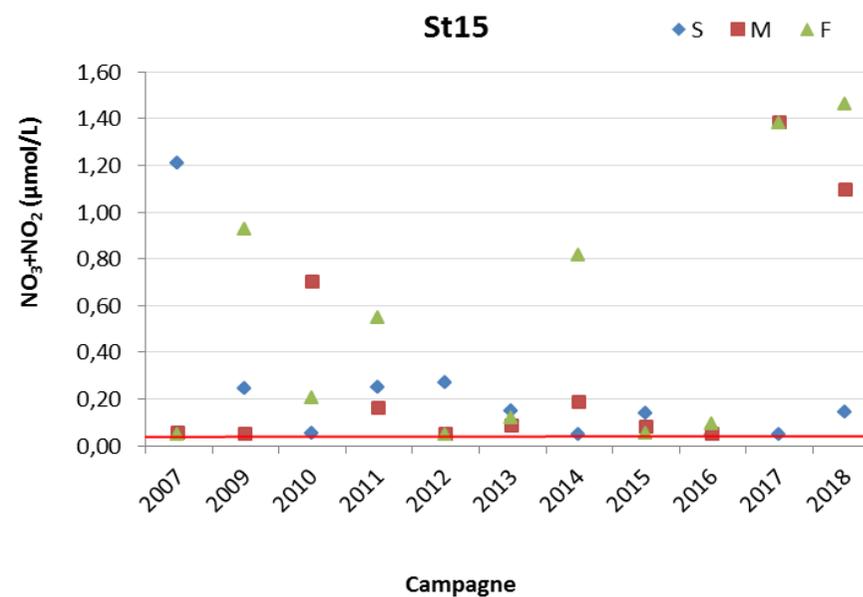
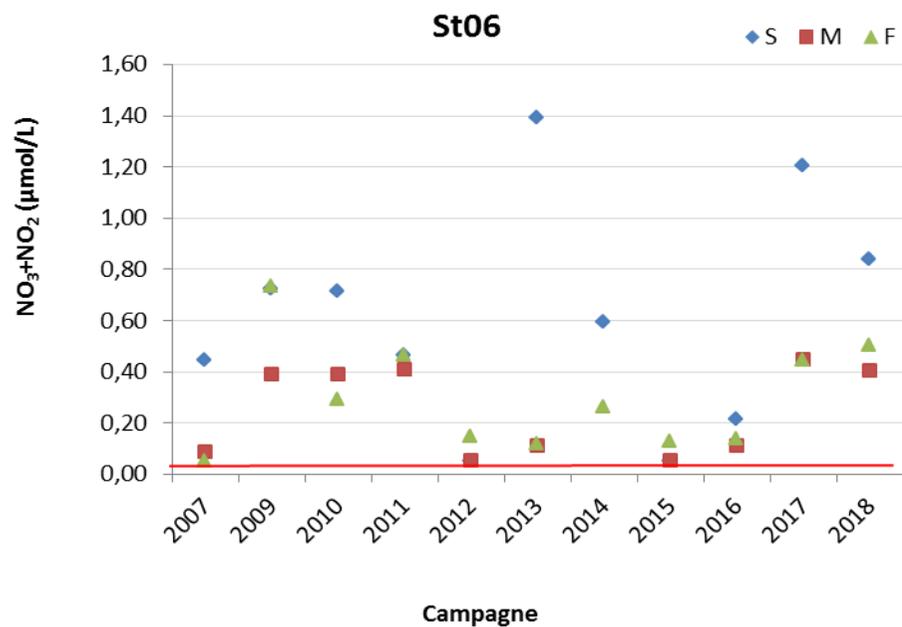


Figure 30 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ($0,050 \mu\text{mol/L}$).

B. METAUX DISSOUS

L'étude des évolutions spatio-temporelles des concentrations de Co, Cr^{VI}, Mn et Ni dissous entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007 a été compartimentée en deux ensembles comparables ; les stations soumises aux influences terrigènes (St03, St06 et St15) et les stations soumises aux influences océaniques (St05, St07 et St09). Cette étude est reportée dans les Figure 31, Figure 32, Figure 33, Figure 34, Figure 35, Figure 36 et Figure 37.

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

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. La répartition verticale des concentrations de Mn est plus hétérogène dans la colonne d'eau que les autres métaux. En effet, Co, Mn, Ni et le Cr^{VI}, sont davantage concentrés dans les eaux de surface et les valeurs diminuent avec la profondeur (Figure 31 à Figure 34).

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations de baies depuis 2007, les concentrations de :

- Cr^{VI} montrent une grande variation observée uniquement dans les eaux de surface. Dans les eaux intermédiaires et de fond, les concentrations sont remarquablement constantes. Lors de cette campagne, les concentrations en Cr^{VI} dans les eaux de surface ont été les plus élevées mesurées à la station St03;
- Co montrent des valeurs variables essentiellement dans les eaux de surface. Quelques concentrations particulièrement élevées ont été mesurées en mars 2010 en surface et en mars 2011 en profondeur.
- Ni sont variables essentiellement en surface aux stations St03 et St15. A la station St06, les concentrations en surface sont relativement proches de la courbe de tendance. Les concentrations les plus importantes relevées depuis le début du suivi ont été mesurées en surface cette année à la station St03. L'évolution des concentrations de Ni à la station ST03-S avec un coefficient de variation de 0,41 sera à vérifier par la suite. A la station St15, les concentrations les plus importantes relevées depuis le début du suivi ont été mesurées en surface en 2011;
- Mn sont dispersées peu importe la hauteur de la colonne. Cette variabilité est liée au comportement intrinsèque du Mn naturellement présent dans les MES et qui se retrouve sous forme dissoute dans les eaux moins salines de surface ;

Dans l'ensemble, comparées aux stations ST03 et ST06, les concentrations en Co, Cr^{VI}, Mn et Ni sont très variables au sein de la colonne d'eau de la station St15. Cette variabilité est due aux concentrations de surface et de fond plus fortes mesurées entre 2011 et 2015. Depuis les concentrations suivent une courbe de tendance à la baisse.

En 2018, les concentrations en Co, Cr^{VI} et Ni dans les eaux de surface à la ST03 ont été les plus importantes. Avec un coefficient de variation entre 0,31 à 0,56, leurs évolutions seront à vérifier lors des prochaines campagnes. Pour ces stations alimentées par les apports en eaux douces, ces concentrations élevées peuvent être attribuées à la forte pluviométrie de 2018.

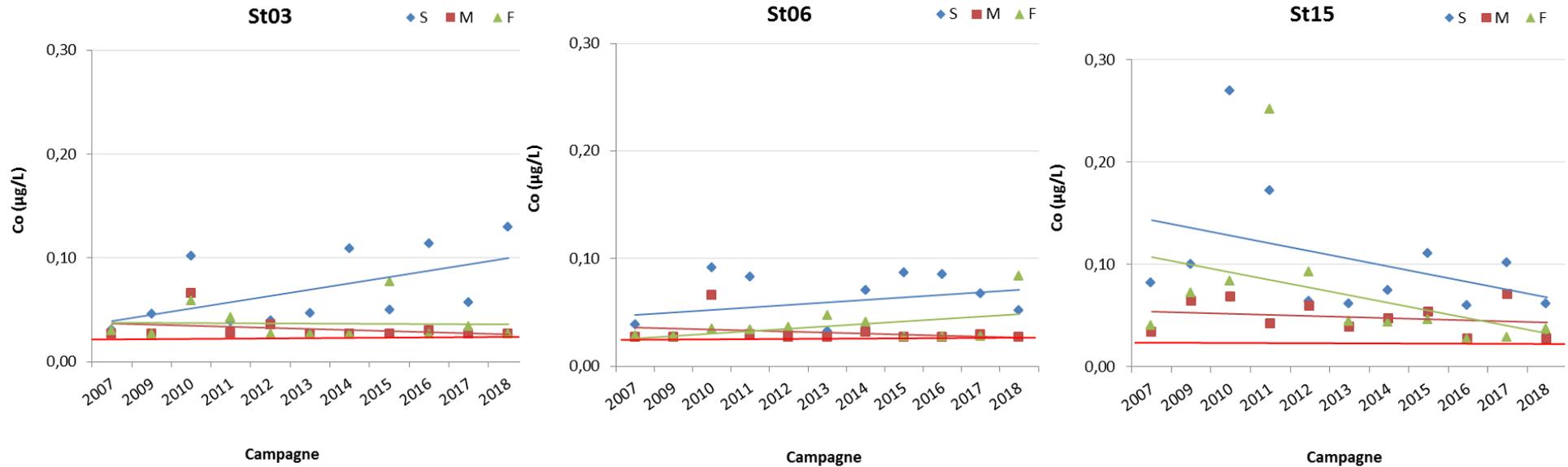


Figure 31 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = 0,0061x + 0,0331, R^2 = 0,305$

Surface : $y = 0,0023x + 0,0455, R^2 = 0,094$

Surface : $y = -0,0076x + 0,1508, R^2 = 0,1552$

Mi-profondeur : $y = -0,0011x + 0,038, R^2 = 0,0911$

Mi-profondeur : $Y = -0,001x + 0,0373, R^2 = 0,0796$

Mi-profondeur : $y = -0,0076x + 0,1508, R^2 = 0,1552$

Fond : $y = -0,0001x + 0,0376, R^2 = 0,0007$

Fond : $y = -0,001x + 0,0373, R^2 = 0,0796$

Fond : $y = -0,0074x + 0,1144, R^2 = 0,1474$

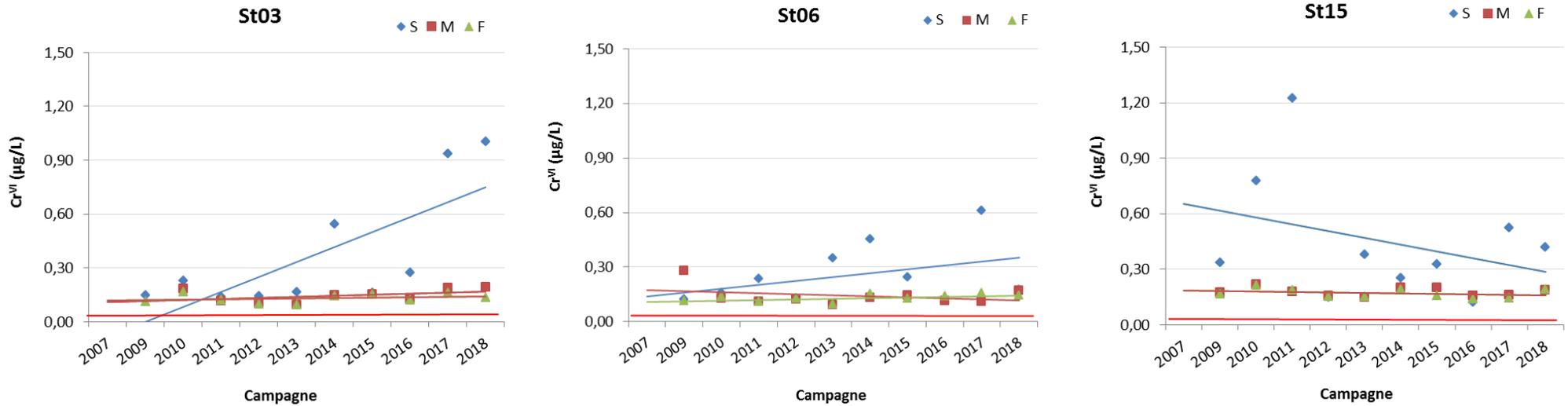


Figure 32 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{g/L}$).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = 0,0832x - 0,167, R^2 = 0,5597$

Surface $y = 0,0215x + 0,1173, R^2 = 0,1564$

Surface $y = -0,037x + 0,6908, R^2 = 0,1149$

Mi-profondeur : $y = 0,0059x + 0,1028, R^2 = 0,186$

Mi-profondeur $y = -0,0058x + 0,1793, R^2 = 0,1097$

Mi-profondeur $y = -0,0025x + 0,1853, R^2 = 0,0952$

Fond : $y = 0,0022x + 0,1157, R^2 = 0,0675$

Fond : $y = 0,0035x + 0,1043, R^2 = 0,3002$

Fond : $y = -0,0025x + 0,1853, R^2 = 0,0952$

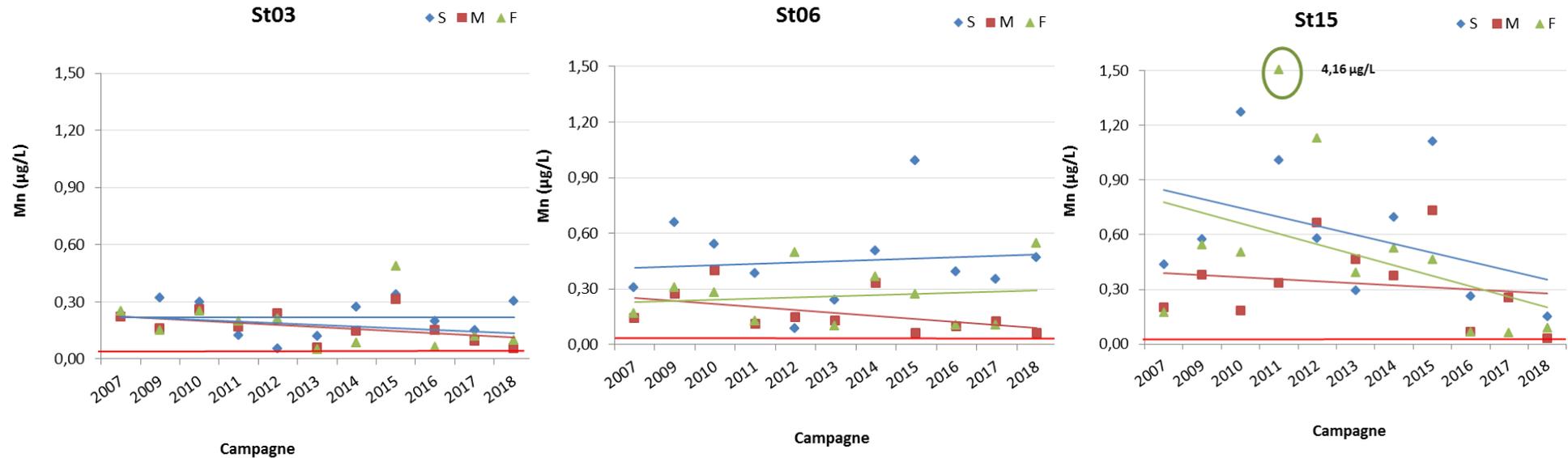


Figure 33 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -6E-05x + 0,2203, R^2 = 4E-06$

Surface $y = 0,007x + 0,4063, R^2 = 0,0097$

Surface $y = -0,0491x + 0,8943, R^2 = 0,1831$

Mi-profondeur : $y = -0,0109x + 0,2356, R^2 = 0,1932$

Mi-profondeur $y = -0,0164x + 0,2671, R^2 = 0,2307$

Mi-profondeur $y = -0,011x + 0,3997, R^2 = 0,0264$

Fond : $y = -0,009x + 0,2326, R^2 = 0,057$

Fond : $y = 0,0062x + 0,2243, R^2 = 0,0169$

Fond : $y = -0,0579x + 0,8387, R^2 = 0,1773$

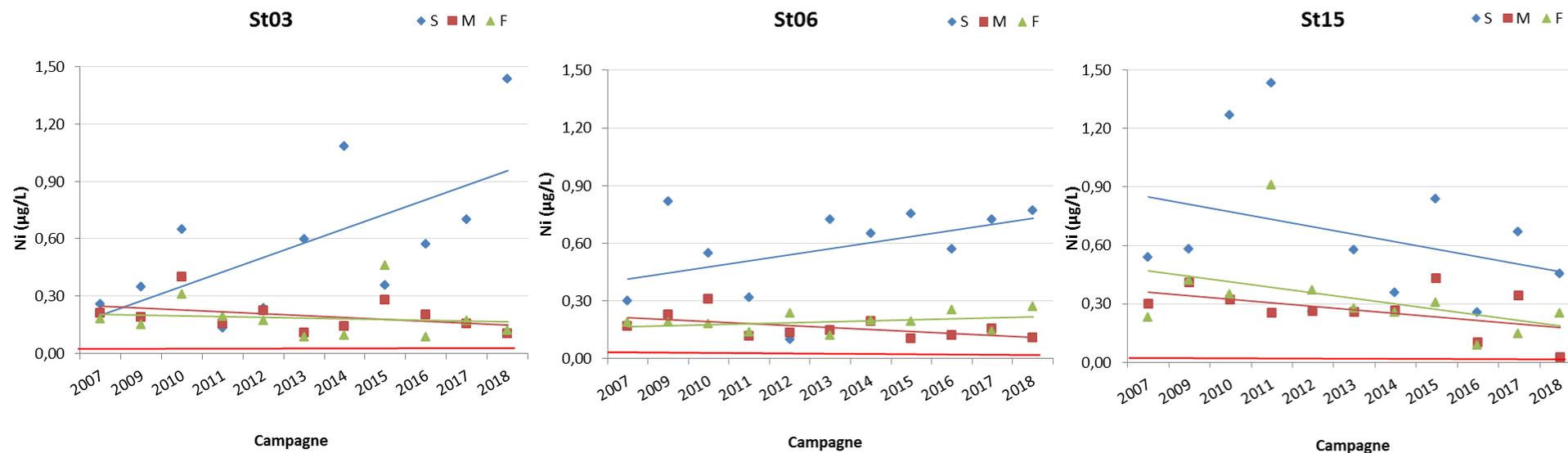


Figure 34 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = 0,0758x + 0,1242, R^2 = 0,4133$

Surface : $y = 0,0315x + 0,3823, R^2 = 0,1976$

Surface : $y = -0,0383x + 0,8879, R^2 = 0,1083$

Mi-profondeur : $y = -0,0101x + 0,2577, R^2 = 0,156$

Mi-profondeur : $y = -0,0104x + 0,2252, R^2 = 0,3075$

Mi-profondeur : $y = -0,0179x + 0,3762, R^2 = 0,245$

Fond : $y = -0,0039x + 0,2071, R^2 = 0,0133$

Fond : $y = 0,0048x + 0,1636, R^2 = 0,1099$

Fond : $y = -0,0281x + 0,496, R^2 = 0,1873$

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

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

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 µg/L). Les concentrations obtenues de Cr^{VI}, quelle que soit la profondeur, sont également peu dispersées.

Les concentrations en Cr^{VI} et en Co mesurées aux 3 stations du Canal demeurent d'une grande constance inter-campagne, ainsi qu'à l'intérieur des masses d'eau. En revanche, on remarque des concentrations variables en Mn et Ni au sein de la colonne d'eau. Elles sont particulièrement élevées au fond de la station St05 en 2017.

Dans l'ensemble, à la station St05, les concentrations en Cr, Mn et Ni présentes dans la colonne d'eau sont dans l'ensemble plus stables que celles des stations St07 et St09.

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

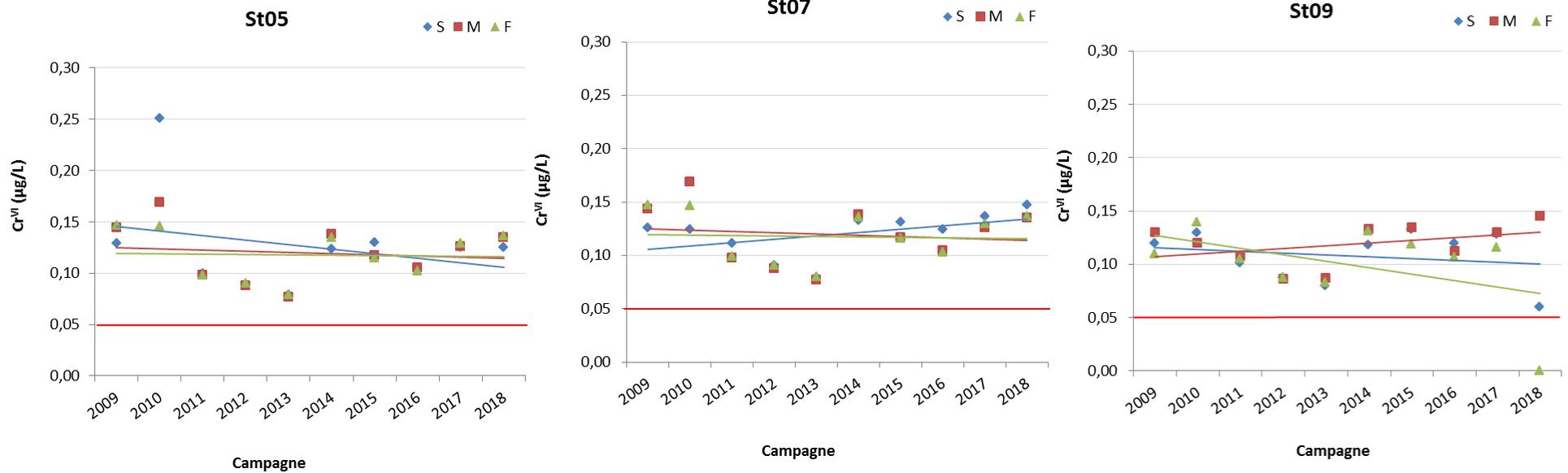


Figure 35 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -0,0044x + 0,1498, R^2 = 0,0791$

Surface $y = 0,0032x + 0,1023, R^2 = 0,2078$

Surface $y = -0,0017x + 0,1173, R^2 = 0,0459$

Mi-profondeur : $y = -0,0012x + 0,1263, R^2 = 0,0167$

Mi-profondeur $y = -0,0012x + 0,1263, R^2 = ,0167$

Mi-profondeur $y = 0,0025x + 0,1046, R^2 = 0,1445$

Fond : $y = -0,0004x + 0,1201, R^2 = 0,0028$

Fond : $y = -0,0004x + 0,1201, R^2 = 0,0028$

Fond : $y = -0,0061x + 0,1335, R^2 = 0,2231$

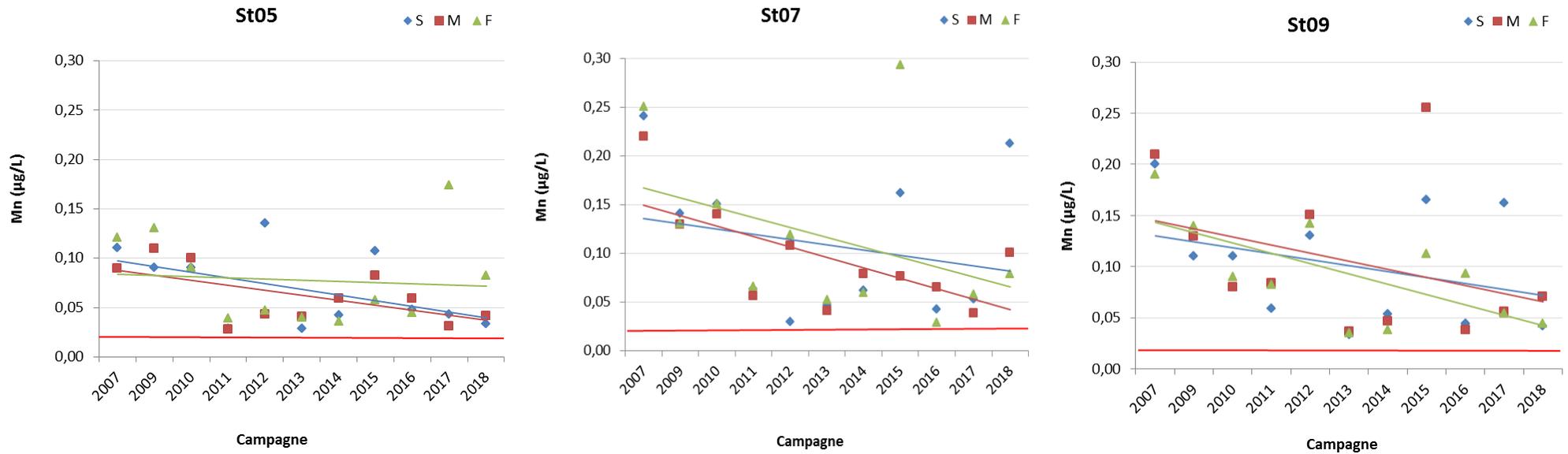


Figure 36 : Concentrations de manganèse (Mn) dissoutes mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -0,0058x + 0,1032, R^2 = 0,2485$

Surface : $y = -0,0053x + 0,1408, R^2 = 0,0563$

Surface : $y = -0,0058x + 0,136, R^2 = 0,1105$

Mi-profondeur : $y = -0,005x + 0,0925, R^2 = 0,3353$

Mi-profondeur : $y = -0,0107x + 0,16, R^2 = 0,4459$

Mi-profondeur : $y = -0,008x + 0,1531, R^2 = 0,131$

Fond : $y = -0,0012x + 0,0849, R^2 = 0,0073$

Fond : $y = -0,0102x + 0,1776, R^2 = 0,1568$

Fond : $y = -0,0101x + 0,1533, R^2 = 0,4498$

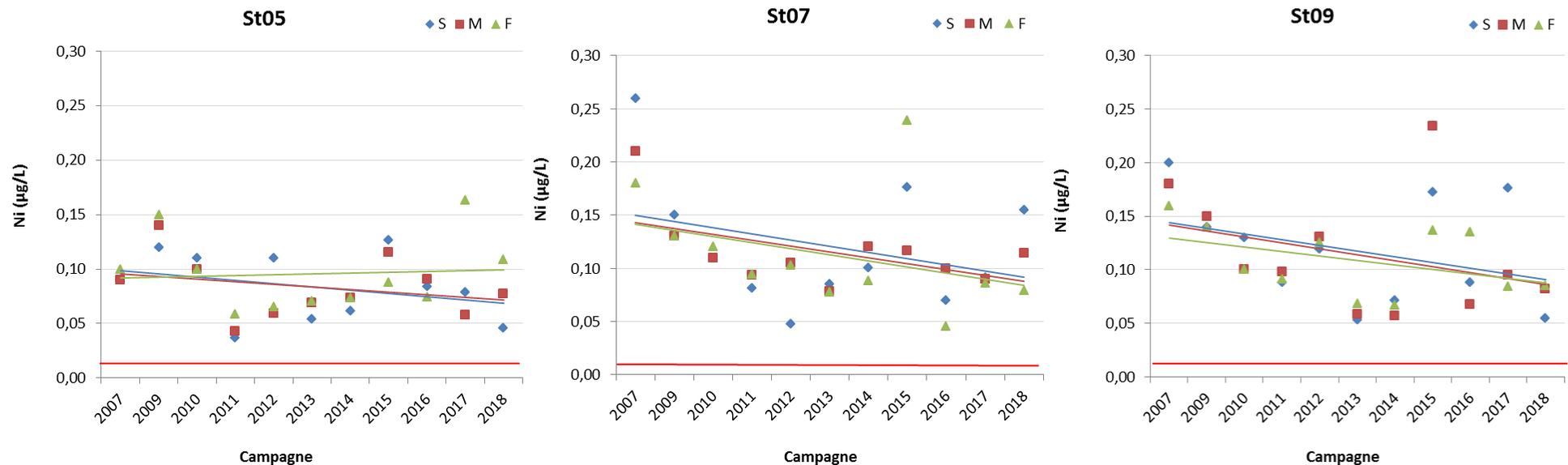


Figure 37 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

Courbes de tendance et coefficients de détermination des graphiques ci-dessus

Surface : $y = -0,003x + 0,1016$, $R^2 = 0,1034$

Surface : $y = -0,0058x + 0,1554$, $R^2 = 0,1011$

Surface : $y = -0,0053x + 0,1495$, $R^2 = 0,12$

Mi-profondeur : $y = -0,0024x + 0,0976$, $R^2 = 0,0802$

Mi-profondeur : $y = -0,0055x + 0,1485$, $R^2 = ,2797$

Mi-profondeur : $y = -0,0055x + 0,1471$, $R^2 = 0,1092$

Fond : $y = 0,0008x + 0,0909$, $R^2 = 0,0057$

Fond : $y = -0,0057x + 0,1473$, $R^2 = 0,1221$

Fond : $y = -0,0042x + 0,1336$, $R^2 = 0,1874$

Ce qu'il faut retenir :

En ce qui concerne les sels nutritifs (NH_4 et NO_3+NO_2), aux stations du large, hormis certaines valeurs de concentrations ponctuelles, aucune tendance dans la colonne d'eau, voire dans le temps, 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'eaux profondes riches en nutriments (upwelling) 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, explicable 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 en lien avec la stratification des eaux.

En revanche, les concentrations en NH_4 et NO_3+NO_2 , sont plus variables aux stations des baies. En effet, temporairement les stations St06 et St15 peuvent subir différentes contributions terrigènes ou de production primaire se révélant comme lors de cette campagne.

Concernant les métaux dissous au niveau des stations des baies du Canal, (Co, Cr^{VI} , et Ni), les courbes de tendance de la station St03 attirent l'attention sur une éventuelle évolution croissante depuis 2007 restant à vérifier. Les concentrations en Mn restent très hétérogènes au sein de la colonne d'eau ne permettant pas de voir une quelconque évolution. Hormis quelques concentrations en Co, Cr^{VI} , Ni et Mn particulièrement élevées à la station St15 en 2010 et 2011, les concentrations en métaux se sont maintenues stables.

Aux stations du Canal, les concentrations demeurent faibles en Cr^{VI} voire en dessous de la LQ pour le Co et sont particulièrement stables dans la colonne d'eau depuis la mise en place du début du suivi marin. Les valeurs mesurées en Mn et Ni varient légèrement d'une campagne à une autre et au sein de la colonne d'eau mais elles restent globalement dans le même ordre de grandeur. Les stations St07 et St09 qui montrent une variabilité la plus importante correspondent à une aire de mélange des eaux d'influences océanique et terrigène. En raison de l'influence nettement océanique qu'elle subit, la station St05, (en particulier) montre peu de variation des concentrations en métaux dissous.

Enfin, les concentrations obtenues aux différentes stations lors de la campagne de 2018 sont globalement dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des précédentes campagnes de « saison chaude » depuis 2007. Toutefois, mes concentrations en Co, Cr^{VI} et Ni ont été plus élevées cette année en surface de la station St03. Ainsi, une très légère tendance linéaire positive a pu être observée pour cette station, probablement en lien avec les fortes précipitations de cette campagne. Cette tendance sera vérifiée lors de prochaines campagnes.

V. CONCLUSION

Comme relaté lors des précédentes campagnes semestrielles « saison chaudes », 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 2018, mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Il est à retenir qu'un cyclone tropical intense nommé HOLA a influencé la zone d'étude la semaine précédant la campagne avec de fortes précipitations.

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 en Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni dissous sont plus élevées près des côtes (Baie de Port Boisé, de la Kwé et du Prony) et plus faibles dans le Canal de la Havannah. Pour ces stations de côte, les concentrations de métaux, de SiO_4 et de $\text{Chl } a$, se distribuent selon un gradient « surface-fond »; les eaux de surface étant plus riches. Les concentrations de 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 à l'issue des fortes précipitations observées le 09 mars.

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. Les concentrations en $\text{Chl } a$ en lien avec les profils de fluorescence reflètent bien cette incidence. En effet, contrairement aux stations de la côte où les profils de turbidité montrent des gradients avec la profondeur, ceux du Canal sont relativement constants en raison de la proximité de la passe de la Havannah par laquelle les apports océaniques s'effectuent.

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 effet, aucune tendance spatiale véritable n'a pu être dégagée pour les sels nutritifs et les matières organiques lors de cette campagne

En ce qui concerne les concentrations en métaux dissous, celles-ci sont plus importantes en Co, Cr^{VI} , Mn, Ni dans les eaux superficielles et en particulier dans les baies du Canal (St03 et St06) et du Prony (St18) en lien avec leur profil de salinité, température et turbidité.

Pour 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 horizontal, ni de gradient vertical (distribution ubiquiste).

L'étude des variations inter-campagnes des sels nutritifs (NO_3+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. Pour les métaux

dissous (Co, Cr^{VI}, Mn et Ni), cette étude n'a pas non plus montré d'évolution temporelle significative pour les stations de baies (St03, St06 et St15), ni pour les stations du Canal (St05, St07 et St09). A la station ST03, en Baie de Port Boisé, les concentrations en Co, Cr^{VI} et Ni en surface cette année ont cependant été mesurées à la hausse. Cette tendance reste à vérifier lors des prochaines campagnes.

Enfin, les variations des concentrations de Co, Cr^{VI} et Ni observées entre les campagnes aux stations sentinelles semblent être vérifiées avec les fortes précipitations de cette année. Toutefois, elles 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'ordres météorologique (vitesse et direction des vents), mais aussi hydrodynamique (courants, marées, horaire de prélèvement), biologique (efflorescence) et anthropique (activité minière, portuaire, hôtelière,...).

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n° 9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n° 1312.
- Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Rouspard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{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.
- Kaplan H, Laurent A, Hubert M, Moreton, Kumar-Roiné, Fernandez JM (2016). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n°3052, 90p.
- 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-CHEMIE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	9
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (08 AU 12/03/2018; EN BLEU) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (13 AU 15/03/18; EN ROUGE). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE".	11
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 13 AU 15 MARS 2018.....	12
FIGURE 4: PROFILS DE TEMPERATURE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	14
FIGURE 5: PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	15
FIGURE 6: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	16
FIGURE 7: PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	17
FIGURE 8 : CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	21
FIGURE 9: CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES (NO ₃ +NO ₂) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	24
FIGURE 10: CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	25
FIGURE 11: CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO ₄ ²⁻) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	26
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	27
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	28
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	29
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	30
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	31
FIGURE 17: CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE DU LAGON SUD DE LA NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	33
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	37
FIGURE 20: CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	38
FIGURE 21 : CONCENTRATIONS EN CHROME (CrVI) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	38

FIGURE 22: CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL (CR-TOT) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	39
FIGURE 23: CONCENTRATIONS EN (Fe) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.....	39
FIGURE 24 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	40
FIGURE 25 : CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	40
FIGURE 26 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON CHAUDE » DE 2007 A 2018; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».	42
FIGURE 27 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 µMOL/L).....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 28: CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,002 µMOL/L).....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 29 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018); LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	47
FIGURE 30 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018); LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	48
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	50
FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (CR ^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	51
FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	52
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	53
FIGURE 35 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (CR ^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	55
FIGURE 36 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	56
FIGURE 37 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).....	57

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.....	8
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 DE MARS 2018.	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 DE MARS 2018.	19
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	21
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	23
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	32
TABLEAU 7 : CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2018.	34
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 DE MARS 2018.	36
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 DE MARS 2018.	37

ANNEXES

ANNEXE 1.....	67
ANNEXE 2.....	72
ANNEXE 3.....	74
ANNEXE 4.....	76
ANNEXE 5.....	78
ANNEXE 6.....	80
ANNEXE 7.....	82
ANNEXE 8.....	86
ANNEXE 9.....	91
ANNEXE 10.....	92

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

STRUCTURES DES MASSES D'EAU

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnée 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⁻), réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- le dosage des ions sulfates (SO₄²⁻), réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- la mesure du pH (pHmètre Consort) ;
- 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 (NH_4) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) et de phosphates (PO_4) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatmaⁿ® GF/F (porosité $0,7 \mu\text{m}$) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20°C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_3) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des 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 $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ par photométrie (Oudot et Montel, 1988). Cependant, les concentrations en NO_2 dans les eaux de surface restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et $1 \mu\text{M}$ avec des limites de quantification d'environ $0,05 \mu\text{mol/L}$.

b) Ammonium

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

c) Phosphates

Le dosage des PO_4 a été effectué selon la méthode de Murphy et Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide ($\text{pH} < 1$) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et $0,75 \mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification d'environ $0,05 \mu\text{mol/L}$.

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 dissoute ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)). Cette méthode dite « méthode d'oxydation par voie humide », est simple et rapide à mettre en œuvre. Les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄ ; à savoir par l'auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

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

Pour l'azote total (NT), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 30 µmol/L et la limite de quantification est de 0,130 µmol/L. Pour le phosphore total (PT), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 3 µmol/L et la limite de quantification est de 0,050 µmol/L.

b) Azote et phosphore organiques particulaires

Comme pour les matières organiques dissoutes, 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. 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 30 µmol/L avec des limites de quantification de 0,130 µmol/L pour le NOP et entre 0,5 et 3 µmol/L avec des limites de quantification de 0,050 µmol/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 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 µg/L.

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

A) PRETRAITEMENT 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
Cr-total	0,050
Cu	0,025
Fe	0,059
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,100
Zn	1,000

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 de mars 2018.

Station	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
St02	Minimum	26,42	35,09	0,00	0,30
	Maximum	26,47	35,17	0,72	7,73
	Moyenne	26,44	35,14	0,44	0,99
	Ecart-type	0,01	0,03	0,12	1,44
St05	Minimum	26,32	35,13	0,19	0,20
	Maximum	26,52	35,18	0,95	3,54
	Moyenne	26,38	35,16	0,53	0,44
	Ecart-type	0,07	0,01	0,11	0,38
St07	Minimum	26,15	35,03	0,15	0,28
	Maximum	26,68	35,33	0,80	1,59
	Moyenne	26,54	35,11	0,44	0,55
	Ecart-type	0,19	0,10	0,13	0,36
St09	Minimum	26,48	35,10	0,22	0,22
	Maximum	26,51	35,14	0,62	2,30
	Moyenne	26,50	35,11	0,47	0,32
	Ecart-type	0,01	0,01	0,08	0,19
St21	Minimum	26,21	35,03	0,09	0,35
	Maximum	26,96	35,29	1,14	1,07
	Moyenne	26,59	35,17	0,53	0,49
	Ecart-type	0,26	0,07	0,35	0,09
St03	Minimum	25,64	31,62	0,00	0,46
	Maximum	26,79	35,33	0,66	2,84
	Moyenne	26,56	34,45	0,50	0,84
	Ecart-type	0,31	0,63	0,05	0,40
St06	Minimum	26,11	34,10	0,13	0,39
	Maximum	26,66	35,18	0,54	2,89
	Moyenne	26,40	34,87	0,30	0,80
	Ecart-type	0,10	0,20	0,10	0,47
St14	Minimum	26,40	32,50	0,25	0,46
	Maximum	26,69	34,98	0,89	2,06
	Moyenne	26,56	33,77	0,51	0,87
	Ecart-type	0,10	1,11	0,14	0,31

Station	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
St15	Minimum	26,43	34,82	0,20	0,40
	Maximum	27,38	35,40	0,70	3,65
	Moyenne	26,98	35,14	0,47	0,85
	Ecart-type	0,22	0,15	0,12	0,58
St16	Minimum	24,81	35,06	0,20	0,55
	Maximum	27,09	35,55	0,46	5,09
	Moyenne	26,57	35,34	0,33	0,82
	Ecart-type	0,53	0,08	0,05	0,51
St18	Minimum	26,44	26,26	0,23	0,50
	Maximum	27,19	35,38	0,72	1,88
	Moyenne	26,62	32,53	0,48	1,11
	Ecart-type	0,17	2,99	0,14	0,35
St19	Minimum	24,58	34,75	0,24	0,38
	Maximum	26,88	35,68	0,78	1,90
	Moyenne	26,54	35,26	0,53	0,62
	Ecart-type	0,49	0,08	0,10	0,30
St13	Minimum	26,07	35,11	0,40	0,49
	Maximum	26,58	35,30	0,60	1,69
	Moyenne	26,41	35,16	0,50	0,68
	Ecart-type	0,11	0,05	0,04	0,16
St20	Minimum	26,12	35,07	0,33	0,63
	Maximum	26,37	35,22	0,63	1,89
	Moyenne	26,23	35,15	0,53	0,88
	Ecart-type	0,09	0,06	0,05	0,19

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 de mars 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST02	S	422	492	1296	11308	22940	2880	0,257	8,3
	M	421	497	1295	11379	22245	2745	0,239	8,3
	F	424	493	1294	11338	22940	2875	0,317	8,3
ST03	S	386	444	1302	10272	21550	2390	0,522	8,2
	M	405	486	1301	11183	21550	2765	0,333	8,2
	F	406	483	1303	11171	28501	3150	1,282	8,2
ST05	S	432	501	1329	11510	21550	3250	0,297	8,3
	M	431	500	1329	11450	23635	2615	0,233	8,3
	F	420	489	1294	11217	22940	2465	0,285	8,3
ST06	S	388	448	1174	10326	23635	2450	0,640	8,1
	M	418	483	1264	11161	22940	2820	0,453	8,2
	F	417	485	1317	11160	22245	2710	1,088	8,2
ST07	S	418	485	1282	11166	22245	2715	0,249	8,3
	M	427	496	1316	11386	22940	2770	0,728	8,3
	F	436	508	1338	11585	23635	3290	0,943	8,3
ST09	S	422	488	1281	11267	21550	2845	0,663	8,3
	M	421	489	1320	11294	20507	2890	0,992	8,3
	F	408	489	1306	11269	22940	2755	0,172	8,3
ST13	S	411	498	1315	11365	25026	2715	0,417	8,2
	M	418	486	1289	11166	22940	2610	0,284	8,2
	F	418	504	1332	11551	22940	2675	0,300	8,2
ST14	S	380	440	1315	10142	20855	2500	0,349	8,3
	M	411	477	1333	11013	21550	2720	0,372	8,3
	F	430	500	1312	11432	23635	2685	0,525	8,3
ST15	S	425	494	1024	11345	22940	3060	0,293	8,2
	M	418	486	1289	11163	22940	2675	0,472	8,2
	F	436	509	1341	11585	24330	3010	1,010	8,2
ST16	S	433	504	1315	11530	23635	2755	0,240	8,2
	M	429	499	1291	11420	22940	2455	0,537	8,2
	F	434	501	1343	11535	22940	2655	1,382	8,2

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST18	S	332	376	1336	8700	18074	2090	0,653	8,2
	M	418	485	1322	11152	22245	2725	0,302	8,2
	F	435	507	1326	11578	23635	2875	0,789	8,2
ST19	S	407	486	1295	11212	22245	3125	0,370	8,2
	M	423	491	1304	11280	28501	2560	0,185	8,2
	F	424	490	1302	11259	22940	2710	0,575	8,2
ST20	S	427	500	1199	11405	22940	2800	0,396	8,2
	M	434	505	1284	11572	22245	2800	0,435	8,2
	F	421	495	1284	11344	22940	2925	0,238	8,2
ST21	S	417	485	1197	11130	22245	3400	0,690	8,3
	M	427	497	1298	11398	21550	2740	0,300	8,3
	F	424	491	1293	11283	23635	2690	0,467	8,3

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018 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	<0,05	0,032	<0,05	0,84
	M	0,078	0,033	<0,05	1,62
	F	<0,05	0,097	<0,05	0,57
ST03	S	0,149	0,144	<0,05	10,69
	M	0,417	0,249	0,057	1,28
	F	0,798	0,214	0,112	1,48
ST05	S	0,076	0,046	<0,05	1,21
	M	0,118	0,043	<0,05	0,70
	F	0,183	0,061	<0,05	0,55
ST06	S	0,842	0,310	0,062	9,80
	M	0,401	0,007	0,068	1,47
	F	0,502	0,415	0,052	1,53
ST07	S	<0,05	0,041	<0,05	1,87
	M	<0,05	0,096	<0,05	1,22
	F	0,878	0,266	<0,05	1,34
ST09	S	<0,05	0,192	<0,05	0,81
	M	0,183	0,045	<0,05	1,92
	F	0,139	0,043	<0,05	0,50
ST13	S	<0,05	0,057	<0,05	1,92
	M	<0,05	0,072	<0,05	2,06
	F	0,688	0,132	<0,05	1,93
ST14	S	0,269	0,079	<0,05	8,09
	M	<0,05	0,104	<0,05	1,36
	F	0,42	0,230	<0,05	2,48
ST15	S	0,144	0,126	<0,05	2,57
	M	1,096	0,140	0,072	2,13
	F	1,464	0,262	0,148	2,60
ST16	S	<0,05	0,175	<0,05	1,25
	M	1,322	0,144	0,116	2,13
	F	<0,05	0,146	<0,05	2,22

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
ST18	S	0,598	0,153	<0,05	26,18
	M	<0,05	0,149	<0,05	1,22
	F	1,128	0,227	0,109	1,86
ST19	S	0,29	0,144	<0,05	1,11
	M	<0,05	0,167	<0,05	1,15
	F	0,995	0,152	0,05	1,42
ST20	S	0,411	0,065	<0,05	4,90
	M	0,195	0,134	<0,05	1,44
	F	<0,05	0,106	<0,05	1,34
ST21	S	0,138	0,108	<0,05	0,76
	M	<0,05	0,036	<0,05	0,99
	F	0,325	0,068	<0,05	1,45

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 de mars 2018 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	0,00	1,34	0,228	<0,05	6,7	6,68	0,228	0,488
	M	5,94	0,96	0,167	<0,05	6,7	5,02	0,167	0,543
	F	0,00	1,21	0,201	<0,05	8,3	5,29	0,201	0,541
ST03	S	6,33	1,13	0,197	<0,05	5,8	5,21	0,197	0,738
	M	5,90	0,73	0,168	<0,05	4,2	5,33	0,225	0,532
	F	6,19	0,84	0,111	0,054	5,8	5,93	0,277	0,484
ST05	S	5,96	0,96	0,179	<0,05	5,8	5,03	0,179	0,493
	M	5,59	0,93	0,175	<0,05	10,0	4,74	0,175	0,570
	F	5,81	0,99	0,182	<0,05	9,2	4,93	0,182	0,566
ST06	S	7,96	0,93	0,198	<0,05	15,0	7,56	0,260	0,339
	M	6,66	0,82	0,126	<0,05	5,8	6,24	0,194	0,580
	F	7,76	0,76	0,464	<0,05	6,7	7,09	0,516	0,666
ST07	S	0,00	0,96	0,177	<0,05	6,7	5,66	0,177	0,597
	M	0,00	0,80	0,210	<0,05	5,0	6,45	0,210	0,571
	F	6,59	1,06	0,149	0,089	5,8	6,15	0,238	0,538
ST09	S	0,00	4,51	0,118	0,083	24,2	5,42	0,201	0,607
	M	11,11	3,96	0,258	<0,05	15,0	7,29	0,258	0,434
	F	5,69	0,84	0,173	<0,05	5,0	4,95	0,173	0,484
ST13	S	0,00	2,53	0,123	0,109	8,3	5,48	0,232	0,558
	M	0,00	4,26	0,000	0,245	5,0	5,20	0,190	0,580
	F	5,88	0,97	0,129	0,067	5,8	5,47	0,197	0,508
ST14	S	7,21	1,45	0,109	0,052	11,7	5,95	0,161	0,610
	M	0,00	1,31	0,175	<0,05	7,5	5,23	0,175	0,638
	F	6,35	0,76	0,192	<0,05	5,8	5,78	0,192	0,522
ST15	S	6,41	1,07	0,128	<0,05	5,8	5,36	0,128	0,640
	M	5,30	0,54	0,104	<0,05	4,2	5,72	0,176	0,283
	F	5,90	0,59	0,042	0,052	5,8	6,52	0,242	0,261
ST16	S	0,00	0,66	0,172	<0,05	4,2	5,41	0,172	0,302
	M	6,03	0,62	0,068	0,059	5,0	6,59	0,243	0,306
	F	0,00	0,62	0,321	0,066	5,8	8,87	0,387	0,266

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)						Chlorophylle a (µg/L)	
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
ST18	S	6,79	1,53	0,045	0,073	9,2	5,70	0,118	0,669
	M	0,00	0,98	0,219	<0,05	5,8	6,09	0,219	0,545
	F	7,45	0,77	0,231	<0,05	4,2	7,59	0,340	0,262
ST19	S	6,05	1,04	0,098	0,071	5,0	5,15	0,169	0,768
	M	0,00	0,88	0,237	0,060	5,0	7,46	0,297	0,758
	F	5,47	0,39	0,183	<0,05	2,5	5,92	0,233	0,382
ST20	S	5,76	1,13	0,057	0,103	5,0	4,98	0,160	0,605
	M	7,58	1,04	0,161	0,065	8,3	6,60	0,226	0,573
	F	0,00	2,01	0,105	0,093	8,3	5,69	0,198	0,270
ST21	S	5,23	0,66	0,121	<0,05	5,0	4,60	0,121	0,322
	M	0,00	1,08	0,150	<0,05	5,0	4,78	0,150	0,742
	F	5,85	1,04	0,195	<0,05	5,8	5,06	0,195	0,918

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2018 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	1,60	<0,025	0,131	0,170	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	0,041	<0,100	<1,000
	M	1,50	<0,025	ND	0,202	<0,027	<0,025	<0,059	0,055	0,075	<0,100	<1,000
	F	1,60	<0,025	0,146	0,168	<0,027	<0,025	<0,059	0,047	0,072	<0,100	<1,000
ST03	S	1,30	<0,025	1,004	1,116	0,130	<0,025	0,135	0,306	1,438	<0,100	<1,000
	M	1,50	<0,025	0,191	0,242	<0,027	<0,025	<0,059	0,056	0,102	<0,100	<1,000
	F	1,60	<0,025	0,134	0,160	<0,027	<0,025	<0,059	0,098	0,121	<0,100	<1,000
ST05	S	1,70	<0,025	0,125	0,158	<0,027	<0,025	<0,059	0,033	0,046	<0,100	<1,000
	M	1,70	<0,025	0,135	0,158	<0,027	<0,025	<0,059	0,042	0,077	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,136	0,142	<0,027	<0,025	<0,059	0,082	0,109	<0,100	<1,000
ST06	S	1,30	<0,025	0,173	0,832	0,051	<0,025	0,138	0,471	0,769	<0,100	<1,000
	M	1,70	<0,025	0,173	0,258	<0,027	<0,025	<0,059	0,062	0,108	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,141	0,170	0,083	<0,025	0,072	0,547	0,270	<0,100	<1,000
ST07	S	1,90	<0,025	0,147	0,174	<0,027	<0,025	<0,059	0,212	0,155	<0,100	<1,000
	M	1,70	<0,025	0,150	0,192	<0,027	<0,025	0,079	0,101	0,114	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,147	0,214	<0,027	<0,025	<0,059	0,078	0,079	<0,100	<1,000
ST09	S	1,40	<0,025	0,060	0,194	<0,027	0,025	<0,059	0,042	0,055	<0,100	<1,000
	M	1,40	<0,025	0,145	0,154	<0,027	<0,025	0,086	0,071	0,082	<0,100	<1,000
	F	1,80	<0,025	ND	0,156	<0,027	<0,025	<0,059	0,044	0,085	<0,100	<1,000
ST13	S	1,50	<0,025	0,230	0,276	<0,027	0,055	0,129	0,191	0,306	<0,100	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,180	0,224	<0,027	<0,025	<0,059	0,084	0,168	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,154	0,158	<0,027	<0,025	0,086	0,077	0,101	<0,100	<1,000
ST14	S	1,60	<0,025	0,454	0,570	0,045	0,041	0,112	0,406	0,707	0,289	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,185	0,202	<0,027	<0,025	0,069	0,098	0,130	<0,100	<1,000
	F	1,90	<0,025	0,171	0,176	<0,027	<0,025	<0,059	0,055	0,095	<0,100	<1,000
ST15	S	1,30	<0,025	0,420	0,856	0,062	<0,025	<0,059	0,147	0,454	<0,100	<1,000
	M	1,40	<0,025	0,188	0,200	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<0,100	<1,000
	F	1,50	<0,025	0,193	0,248	0,037	<0,025	<0,059	0,082	0,253	<0,100	<1,000
ST16	S	1,30	<0,025	0,196	0,246	<0,027	<0,025	<0,059	0,097	0,275	<0,100	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,177	0,194	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	0,145	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,133	0,140	<0,027	<0,025	<0,059	0,165	0,133	<0,100	<1,000

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr ^{VI}	Cr _{total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST18	S	<1,00	<0,025	0,422	2,970	0,081	<0,025	<0,059	0,044	1,861	<0,100	<1,000
	M	1,50	<0,025	0,245	0,256	0,032	<0,025	<0,059	0,117	0,394	<0,100	<1,000
	F	1,40	<0,025	0,173	0,198	<0,027	<0,025	<0,059	0,083	0,200	<0,100	<1,000
ST19	S	1,40	<0,025	0,200	0,242	0,029	<0,025	<0,059	0,123	0,285	0,156	<1,000
	M	1,40	<0,025	0,232	0,338	<0,027	<0,025	<0,059	0,060	0,085	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,140	0,232	<0,027	<0,025	<0,059	0,033	0,090	<0,100	<1,000
ST20	S	1,50	<0,025	0,222	0,224	<0,027	<0,025	<0,059	0,039	0,136	<0,100	<1,000
	M	1,60	<0,025	0,236	0,250	<0,027	<0,025	<0,059	0,047	0,151	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,207	0,244	<0,027	<0,025	<0,059	0,096	0,171	<0,100	<1,000
ST21	S	1,70	<0,025	0,138	0,192	<0,027	<0,025	<0,059	0,037	0,052	<0,100	<1,000
	M	1,80	<0,025	0,128	0,180	<0,027	<0,025	<0,059	0,104	0,130	<0,100	<1,000
	F	1,70	<0,025	0,119	0,154	<0,027	<0,025	0,093	0,050	0,087	<0,100	<1,000

ANNEXE 7

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO₃+NO₂), ammonium (NH₄), phosphates (PO₄) et silicates (SiO₄) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NO ₂ +NO ₃ (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,103	0,086	0,170	0,117	<0,050	<0,050	0,060	0,055	<0,017	0,076
	Maximum	4,921	1,050	0,309	1,040	0,318	0,263	0,469	0,406	0,312	0,291	0,878
	Moyenne	0,422	0,395	0,212	0,473	0,184	0,084	0,251	0,189	0,239	0,120	0,219
	Ecart-type	0,853	0,318	0,073	0,242	0,116	0,073	0,119	0,118	0,075	0,074	0,243
Baies du Canal	Minimum	<0,050	0,233	0,194	0,060	0,146	<0,050	0,123	0,065	0,053	<0,017	0,149
	Maximum	0,445	0,735	0,717	0,720	0,146	1,393	0,596	0,522	0,268	1,205	0,842
	Moyenne	0,205	0,491	0,355	0,374	0,146 (n=1)	0,233	0,253	0,313	0,158	0,391	0,475
	Ecart-type	0,165	0,187	0,167	0,196		0,439	0,158	0,203	0,075	0,338	0,239
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	0,060	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,022	<0,017	0,144
	Maximum	1,212	1,740	0,700	1,860	0,270	0,148	0,818	0,258	0,224	1,806	1,464
	Moyenne	0,259	0,378	0,108	0,402	0,129	0,070	0,252	0,077	0,090	0,883	0,880
	Ecart-type	0,439	0,532	0,194	0,526	0,098	0,042	0,242	0,067	0,072	0,699	0,482
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,349	0,056	0,100	<0,050	<0,050	0,055	<0,050	0,023	<0,017	0,195
	Maximum	0,252	1,470	0,286	0,770	0,080	0,465	0,727	0,257	0,257	0,226	0,688
	Moyenne	0,124	0,719	0,131	0,322	0,060	0,160	0,273	0,077	0,102	0,094	0,431
	Ecart-type	0,113	0,389	0,085	0,251	0,028	0,176	0,261	0,100	0,085	0,074	0,247

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (μmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,009	0,026	0,034	0,010	0,018	0,019	0,044	0,039	0,034	0,115	0,032
	Maximum	0,413	0,125	0,292	0,262	0,088	0,135	0,114	0,610	0,211	0,260	0,266
	Moyenne	0,396	0,059	0,135	0,071	0,050	0,047	0,069	0,132	0,122	0,167	0,078
	Ecart-type	0,100	0,029	0,092	0,062	0,020	0,032	0,020	0,136	0,046	0,045	0,065
Baies du Canal	Minimum	0,054	0,009	0,064	0,014	0,025	0,022	0,043	0,065	0,050	0,207	0,007
	Maximum	0,157	0,136	0,266	0,230	0,237	0,135	0,166	0,323	0,267	1,106	0,415
	Moyenne	0,094	0,045	0,169	0,102	0,112	0,079	0,096	0,160	0,126	0,500	0,195
	Ecart-type	0,036	0,038	0,074	0,065	0,058	0,032	0,040	0,080	0,070	0,327	0,125
Baie du Prony	Minimum	0,012	0,004	0,018	0,012	0,016	0,014	0,014	0,066	0,029	0,105	0,126
	Maximum	0,168	0,114	0,249	0,287	0,199	0,073	0,595	0,276	0,279	1,721	0,262
	Moyenne	0,044	0,042	0,111	0,079	0,058	0,036	0,139	0,136	0,085	0,338	0,165
	Ecart-type	0,046	0,028	0,078	0,094	0,057	0,021	0,181	0,073	0,073	0,449	0,040
Ile Ouen	Minimum	0,029	0,005	0,043	0,018	0,061	0,022	0,064	0,059	0,042	0,195	0,057
	Maximum	0,113	0,163	0,389	0,216	0,162	0,246	0,137	0,339	0,141	0,606	0,134
	Moyenne	0,066	0,063	0,155	0,066	0,104	0,118	0,098	0,155	0,082	0,307	0,094
	Ecart-type	0,043	0,070	0,128	0,075	0,039	0,103	0,030	0,100	0,041	0,152	0,034

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,010	0,020	0,031	<0,010	<0,010	0,012	0,055	0,127	0,070	<0,017	<0,05
	Maximum	0,125	0,061	0,074	0,102	0,093	0,051	0,091	0,127	0,139	0,291	<0,05
	Moyenne	0,038	0,041	0,050	0,038	0,042	0,032	0,066	0,127 (n=1)	0,100	0,120	-
	Ecart-type	0,028	0,015	0,011	0,027	0,028	0,014	0,011		0,017	0,074	-
Baies du Canal	Minimum	0,018	0,013	0,052	0,019	<0,010	0,012	0,064	0,014	0,047	<0,017	0,052
	Maximum	0,048	0,060	0,072	0,120	0,096	0,038	0,072	0,014	0,113	1,205	0,112
	Moyenne	0,035	0,040	0,062	0,047	0,038	0,024	0,069	0,014 (n=1)	0,075	0,391	0,070
	Ecart-type	0,011	0,016	0,008	0,036	0,028	0,009	0,004		0,021	0,338	0,024
Baie du Prony	Minimum	<0,010	0,023	0,039	0,015	0,034	0,026	0,068	<0,010	0,024	<0,017	0,050
	Maximum	0,058	0,171	0,202	0,185	0,094	0,063	0,273	<0,010	0,112	1,806	0,148
	Moyenne	0,037	0,055	0,071	0,058	0,068	0,041	0,126	<0,010	0,060	0,883	0,099
	Ecart-type	0,017	0,045	0,043	0,054	0,019	0,012	0,066		0,026	0,699	0,038
Ile Ouen	Minimum	0,026	0,044	0,026	0,019	0,048	0,022	0,056	<0,010	0,030	<0,017	<0,05
	Maximum	0,062	0,082	0,073	0,070	0,115	0,038	0,088	<0,010	0,072	0,226	<0,05
	Moyenne	0,043	0,062	0,045	0,041	0,080	0,030	0,072	<0,010	0,052	0,094	-
	Ecart-type	0,018	0,015	0,015	0,018	0,027	0,006	0,016		0,016	0,074	-

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,43	0,97	0,02	<0,050	1,12	0,74	0,60	0,99	0,80	1,73	0,500
	Maximum	1,80	1,58	0,94	1,62	2,53	1,16	1,06	1,38	2,91	3,15	1,918
	Moyenne	0,96	1,21	0,34	0,41	1,86	0,94	0,81	1,13	1,45	2,21	1,054
	Ecart-type	0,36	0,17	0,26	0,40	0,55	0,15	0,15	0,13	0,64	0,44	0,480
Baies du Canal	Minimum	0,79	1,34	0,52	0,14	1,50	1,14	1,03	1,24	1,27	2,30	1,284
	Maximum	1,89	4,79	4,69	2,84	4,15	12,34	8,14	4,22	3,98	18,43	10,690
	Moyenne	1,20	2,13	1,81	1,07	2,57	3,12	2,58	1,88	1,82	6,17	4,243
	Ecart-type	0,33	1,13	1,28	1,12	0,82	3,67	2,68	0,93	0,89	5,68	4,034
Baie du Prony	Minimum	1,25	1,55	1,32	<0,050	1,47	1,19	1,81	1,36	0,49	3,01	1,109
	Maximum	4,07	4,21	6,64	9,95	3,25	12,96	6,62	4,48	3,99	8,18	26,176
	Moyenne	2,38	2,63	2,43	4,78	2,16	2,68	2,68	2,16	1,57	4,28	3,819
	Ecart-type	0,89	1,01	1,45	4,21	0,55	3,32	1,43	1,07	0,91	1,49	7,062
Ile Ouen	Minimum	1,56	1,31	0,54	0,21	1,64	1,21	1,05	1,25	0,63	1,92	1,344
	Maximum	1,97	1,67	1,34	0,40	2,24	1,47	1,75	2,01	2,72	4,45	4,904
	Moyenne	1,79	1,50	0,98	0,32	1,93	1,36	1,47	1,59	1,44	3,14	2,264
	Ecart-type	0,21	0,14	0,28	0,08	0,23	0,09	0,28	0,26	0,76	0,89	1,325

ANNEXE 8

Compilation des concentrations de la matière organique des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD) et du carbone, de l'azote et du phosphore organiques particulaires (COP, NOP et POP) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NOD (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	4,50	0,68	0,38	2,92	2,81	0,96	3,62	3,03	2,24	5,25	0,000
	Maximum	9,89	3,51	6,83	5,48	4,72	4,72	5,24	6,02	8,30	7,89	11,111
	Moyenne	5,19	2,52	2,30	4,40	3,52	3,42	4,59	4,06	3,33	6,31	3,610
	Ecart-type	0,91	0,90	1,94	0,72	0,56	1,03	0,52	0,83	1,48	0,63	3,540
Baies du Canal	Minimum	3,97	0,95	0,87	4,23	1,09	3,26	4,11	3,55	3,84	5,06	0,000
	Maximum	5,61	3,79	3,32	5,55	3,80	4,27	5,83	5,58	7,49	7,00	7,962
	Moyenne	4,84	2,56	2,13	4,99	3,24	3,72	4,89	4,21	4,86	5,96	6,040
	Ecart-type	0,47	0,86	0,76	0,41	0,99	0,31	0,46	0,61	1,19	0,63	2,375
Baie du Prony	Minimum	4,48	1,51	1,07	3,79	1,78	2,98	4,31	3,36	2,92	4,84	0,000
	Maximum	6,32	4,46	2,90	5,78	4,45	4,05	6,39	5,61	5,74	8,00	7,450
	Moyenne	5,11	2,68	2,07	4,82	3,54	3,66	5,36	4,57	4,02	6,03	4,117
	Ecart-type	0,54	0,80	0,67	0,65	0,69	0,32	0,65	0,80	0,79	0,82	3,091
Ile Ouen	Minimum	5,05	2,03	0,83	2,85	3,31	2,39	5,33	3,15	3,64	5,35	0,000
	Maximum	5,19	3,73	3,08	5,39	4,94	3,87	6,69	5,07	6,08	6,80	7,575
	Moyenne	5,12	3,09	1,73	4,24	4,01	3,32	5,81	4,33	4,39	6,00	3,202
	Ecart-type	0,07	0,63	0,97	0,85	0,57	0,50	0,48	0,75	3,64	0,50	3,566

Zone d'étude	Statistique	POD (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,159	0,132	0,671	0,470	0,107	0,165	0,121	0,049	0,000	0,01	0,000
	Maximum	0,279	0,322	0,953	0,710	0,294	0,327	0,273	0,178	0,531	0,25	0,000
	Moyenne	0,346	0,195	0,837	0,604	0,196	0,230	0,195	0,116	0,092	0,16	0,000
	Ecart-type	0,027	0,077	0,100	0,071	0,056	0,051	0,051	0,043	0,132	0,06	0,000
Baies du Canal	Minimum	0,155	0,064	0,708	0,440	0,164	0,130	0,093	0,009	0,040	0,00	0,000
	Maximum	0,238	0,220	0,920	0,700	0,253	0,251	0,216	0,269	0,224	0,18	0,111
	Moyenne	0,204	0,127	0,847	0,607	0,228	0,162	0,158	0,109	0,131	0,04	0,012
	Ecart-type	0,025	0,048	0,064	0,081	0,030	0,041	0,042	0,077	0,056	0,06	0,037
Baie du Prony	Minimum	0,172	0,124	0,596	0,550	0,079	0,128	0,139	0,023	0,000	0,00	0,000
	Maximum	0,230	0,374	0,942	0,720	0,240	0,238	0,253	0,176	0,241	0,25	0,068
	Moyenne	0,201	0,228	0,776	0,624	0,163	0,167	0,218	0,080	0,087	0,05	0,009
	Ecart-type	0,017	0,085	0,105	0,048	0,053	0,037	0,032	0,053	0,070	0,10	0,022
Ile Ouen	Minimum	0,211	0,105	0,792	0,550	0,067	0,174	0,207	0,033	0,000	0,08	0,000
	Maximum	0,228	0,329	1,050	0,710	0,161	0,203	0,303	0,159	0,180	0,32	0,000
	Moyenne	0,218	0,211	0,875	0,620	0,120	0,191	0,249	0,128	0,064	0,19	0,000
	Ecart-type	0,009	0,104	0,092	0,068	0,036	0,011	0,035	0,047	0,000	0,08	0,000

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	4,1	10,8	6,4	8,5	ND	6,2	9,5	6,9	1,3	3,3	5,0
	Maximum	12,5	28,1	12,1	18,3	ND	15,1	21,5	11,4	13,7	18,3	24,2
	Moyenne	6,8	17,6	8,0	11,9	ND	11,3	14,1	8,2	6,4	8,2	8,1
	Ecart-type	2,0	5,1	1,5	3,1	ND	2,9	4,1	1,1	3,4	3,4	5,0
Baies Canal	Minimum	4,7	8,9	5,2	10,8	ND	9,5	11,4	7,8	7,7	5,8	4,2
	Maximum	13,4	26,0	11,5	16,0	ND	61,8	22,2	13,8	16,0	19,1	15,0
	Moyenne	8,4	17,2	6,9	12,7	ND	17,2	16,2	9,3	10,5	10,1	7,6
	Ecart-type	2,8	5,6	2,2	1,9	ND	16,9	4,3	1,8	2,9	4,6	3,5
Baie du Prony	Minimum	4,5	8,4	5,7	7,9	ND	9,8	8,6	5,6	5,5	3,3	2,5
	Maximum	10,6	18,6	10,9	27,1	ND	21,4	18,9	10,5	8,9	10,0	9,2
	Moyenne	7,1	12,4	8,4	12,4	ND	12,4	13,3	7,8	7,5	6,6	5,2
	Ecart-type	2,2	2,9	1,5	4,9	ND	3,1	3,0	1,6	1,1	1,9	1,6
Ile Ouen	Minimum	8,0	11,8	6,7	9,4	ND	11,9	12,8	10,0	8,1	5,0	5,0
	Maximum	8,9	17,8	27,9	20,1	ND	16,8	34,7	22,6	14,4	7,5	8,3
	Moyenne	8,4	14,3	13,6	13,6	ND	13,7	18,6	15,4	10,7	5,8	6,8
	Ecart-type	0,5	2,5	7,9	4,3	ND	1,7	8,1	5,5	2,3	1,1	1,7

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

Zone d'étude	Statistique	NOP (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,13	1,12	0,92	0,78	0,75	0,54	0,82	0,70	0,56	0,70	0,66
	Maximum	1,70	3,54	3,11	1,35	1,23	0,93	1,90	1,14	1,15	2,73	4,51
	Moyenne	0,66	1,75	1,85	1,03	0,91	0,72	1,19	0,86	0,80	1,41	1,37
	Ecart-type	0,41	0,79	0,77	0,17	0,13	0,12	0,36	0,14	0,16	0,53	1,14
Baies du Canal	Minimum	<0,13	0,96	0,78	0,95	0,85	0,59	0,74	0,71	0,88	0,61	0,73
	Maximum	1,75	5,01	3,01	1,69	1,32	1,33	1,82	1,18	1,61	1,93	1,45
	Moyenne	0,69	2,12	1,35	1,22	1,08	0,90	1,20	0,86	1,17	1,08	0,97
	Ecart-type	0,64	1,24	0,68	0,24	0,17	0,25	0,31	0,14	0,26	0,40	0,27
Baie du Prony	Minimum	<0,13	1,02	0,83	0,83	0,87	0,82	0,91	0,86	0,49	0,67	0,39
	Maximum	<0,13	3,82	2,53	1,52	1,35	1,25	2,24	1,38	1,82	1,65	1,53
	Moyenne		1,65	1,49	1,08	1,05	0,99	1,37	1,08	1,26	1,05	0,81
	Ecart-type		0,78	0,49	0,21	0,16	0,12	0,44	0,16	0,33	0,29	0,31
Ile Ouen	Minimum	<0,13	1,17	1,37	0,80	1,00	0,73	1,02	0,93	1,00	0,95	0,97
	Maximum	<0,13	1,57	6,25	3,53	1,33	1,05	2,69	1,58	1,32	1,43	4,26
	Moyenne		1,42	3,40	1,51	1,19	0,93	1,37	1,28	1,18	1,11	1,99
	Ecart-type		0,15	2,30	1,02	0,12	0,13	0,65	0,22	0,12	0,17	1,28

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,013	0,051	<0,010	<0,010	0,038	0,053	0,038	0,029	0,049	0,061	0,083
	Maximum	0,099	0,080	0,107	0,083	0,091	0,094	0,089	0,100	0,119	0,120	0,089
	Moyenne	0,053	0,061	0,056	0,025	0,059	0,065	0,053	0,052	0,070	0,088	0,085
	Ecart-type	0,015	0,010	0,029	0,024	0,019	0,010	0,014	0,019	0,017	0,018	0,004
Baies du Canal	Minimum	0,041	0,069	0,034	0,012	0,052	0,060	0,051	0,030	0,077	0,047	0,052
	Maximum	0,107	0,119	0,141	0,045	0,087	0,123	0,087	0,115	0,140	0,117	0,054
	Moyenne	0,065	0,089	0,080	0,025	0,066	0,091	0,068	0,047	0,107	0,080	0,053
	Ecart-type	0,022	0,019	0,033	0,012	0,014	0,022	0,013	0,026	0,023	0,023	0,002
Baie du Prony	Minimum	<0,010	0,056	0,021	<0,010	0,047	0,064	0,051	0,094	0,046	0,039	0,052
	Maximum	0,058	0,111	0,090	0,039	0,068	0,107	0,096	0,143	0,145	0,100	0,073
	Moyenne	0,037	0,080	0,054	0,026	0,060	0,087	0,070	0,111	0,103	0,066	0,064
	Ecart-type	0,017	0,017	0,022	0,011	0,007	0,014	0,015	0,015	0,028	0,018	0,008
Ile Ouen	Minimum	0,026	0,062	0,020	0,015	0,059	0,063	0,054	0,051	0,108	0,073	0,065
	Maximum	0,062	0,105	0,072	0,106	0,084	0,101	0,076	0,112	0,151	0,109	0,245
	Moyenne	0,043	0,081	0,054	0,053	0,073	0,079	0,065	0,075	0,128	0,086	0,114
	Ecart-type	0,018	0,020	0,018	0,043	0,011	0,014	0,009	0,024	0,015	0,013	0,067

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 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,20	0,38	0,50	0,26	0,01	0,39	0,25	0,33	0,02	0,09	0,32
	Maximum	0,59	0,77	1,12	1,17	0,43	0,60	0,64	0,65	0,49	0,23	0,92
	Moyenne	0,40	0,53	0,89	0,64	0,26	0,49	0,43	0,45	0,27	0,17	0,55
	Ecart-type	0,10	0,12	0,18	0,25	0,13	0,07	0,14	0,09	0,13	0,04	0,14
Baies du canal	Minimum	0,30	0,36	0,32	0,24	0,02	0,31	0,07	0,28	0,26	0,14	0,34
	Maximum	0,56	0,80	0,95	1,21	0,41	0,69	0,45	0,54	0,87	0,33	0,74
	Moyenne	0,44	0,56	0,61	0,64	0,28	0,54	0,31	0,43	0,57	0,24	0,57
	Ecart-type	0,08	0,15	0,25	0,28	0,14	0,11	0,12	0,09	0,16	0,07	0,12
Baie du Prony	Minimum	0,27	0,27	0,52	0,24	0,17	0,28	0,10	0,28	0,03	0,17	0,26
	Maximum	0,59	1,20	1,05	3,34	0,66	0,88	1,34	0,64	1,13	0,55	0,77
	Moyenne	0,43	0,61	0,76	0,82	0,35	0,55	0,63	0,41	0,30	0,33	0,45
	Ecart-type	0,11	0,34	0,14	0,97	0,17	0,19	0,37	0,11	0,29	0,14	0,21
Ile Ouen	Minimum	0,50	0,33	0,63	0,26	0,14	0,48	0,22	0,25	0,14	0,19	0,27
	Maximum	0,97	1,01	0,92	0,95	0,36	0,77	0,61	0,54	0,64	0,32	0,60
	Moyenne	0,76	0,76	0,77	0,56	0,26	0,67	0,32	0,34	0,45	0,25	0,52
	Ecart-type	0,24	0,26	0,10	0,26	0,07	0,10	0,15	0,11	0,21	0,05	0,12

ANNEXE 10

Compilation des concentrations des métaux dissous des campagnes « saison chaude »

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 2007 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	1,20	0,15	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,40	1,20	1,20	1,40
	Maximum	1,47	0,47	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,50	2,60	2,40	1,90
	Moyenne	1,29	0,32	ND	ND	ND	1,79	1,50	1,84	1,90	1,82	1,64
	Ecart-type	0,06	0,09	ND	ND	ND	0,07	0,52	0,33	0,45	0,41	0,15
Baies du Canal	Minimum	1,20	0,16	ND	ND	ND	1,60	2,00	1,50	1,20	1,60	1,30
	Maximum	1,41	0,48	ND	ND	ND	2,00	2,00	2,40	3,10	2,80	1,90
	Moyenne	1,31	0,35	ND	ND	ND	1,79	2,00	1,95	1,81	1,93	1,58
	Ecart-type	0,06	0,10	ND	ND	ND	0,15	0,00	0,31	0,60	0,40	0,19
Baie du Prony	Minimum	1,07	0,17	ND	ND	ND	1,50	1,00	1,50	1,10	1,20	1,30
	Maximum	1,32	0,62	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,40	2,50	2,10	1,70
	Moyenne	1,20	0,39	ND	ND	ND	1,70	1,80	1,80	1,65	1,72	1,47
	Ecart-type	0,07	0,13	ND	ND	ND	0,13	0,42	0,30	0,44	0,29	0,14
Ile Ouen	Minimum	1,29	0,33	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,30	1,20	1,10	1,50
	Maximum	1,31	0,50	ND	ND	ND	1,80	3,00	1,70	2,30	1,50	1,70
	Moyenne	1,30	0,40	ND	ND	ND	1,77	2,00	1,47	1,85	1,40	1,60
	Ecart-type	0,01	0,06	ND	ND	ND	0,05	0,71	0,14	0,47	0,20	0,09

Zone d'étude	Statistique	Co (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	0,046	<0,027	0,044	0,042	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Moyenne	0,019	-	0,025	0,023	-	-	-	-	-	-	-
	Ecart-type	0,010	-	0,011	0,011	-	-	-	-	-	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,027	<0,027	0,029	<0,027	<0,027	<0,027	0,032	0,050	<0,027	<0,027	0,045
	Maximum	0,046	0,102	0,102	0,082	0,058	0,046	0,109	0,086	0,069	0,067	0,130
	Moyenne	0,028	0,034	0,057	0,036	0,030	0,032	0,063	0,071	0,039	0,035	0,077
	Ecart-type	0,011	0,027	0,027	0,020	0,015	0,014	0,035	0,019	0,037	0,017	0,039
Baie du Prony	Minimum	<0,027	0,031	0,055	<0,027	0,032	<0,027	<0,027	0,027	<0,027	<0,027	0,029
	Maximum	0,082	0,100	0,270	0,252	0,092	0,061	0,075	0,111	0,069	0,102	0,081
	Moyenne	0,044	0,053	0,085	0,075	0,048	0,028	0,040	0,052	0,028	0,037	0,048
	Ecart-type	0,019	0,023	0,059	0,075	0,017	0,017	0,019	0,026	0,019	0,025	0,022
Ile Ouen	Minimum	0,027	<0,027	0,039	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,039	<0,027	<0,009	<0,027
	Maximum	0,036	0,048	0,058	0,054	0,052	<0,027	0,031	0,061	0,032	0,040	<0,027
	Moyenne	0,031	0,036	0,050	0,027	0,033	0,013	0,026	0,053	0,032 (n=1)	0,021	-
	Ecart-type	0,005	0,009	0,008	0,015	0,010	0,000	0,003	0,012	-	0,012	-

Zone d'étude	Statistique	Cr ^{VI} (µg/L)									
		mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,113	0,106	0,098	0,086	0,067	0,096	0,115	0,102	0,116	0,060
	Maximum	0,147	0,251	0,231	0,116	0,123	0,160	0,144	0,132	0,145	0,150
	Moyenne	0,131	0,141	0,113	0,093	0,081	0,126	0,127	0,116	0,131	0,126
	Ecart-type	0,012	0,035	0,032	0,011	0,013	0,017	0,009	0,010	0,007	0,030
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,110	0,107	0,098	0,079	0,119	0,124	0,115	0,112	0,134
	Maximum	0,277	0,230	0,232	0,264	0,348	0,546	0,243	0,272	0,934	1,004
	Moyenne	0,144	0,153	0,133	0,133	0,130	0,218	0,154	0,157	0,299	0,292
	Ecart-type	0,057	0,036	0,039	0,051	0,086	0,161	0,035	0,057	0,281	0,284
Baie du Prony	Minimum	0,163	0,182	0,115	0,114	0,095	0,080	0,129	0,122	0,107	0,133
	Maximum	0,409	0,776	1,222	0,218	0,380	0,638	0,325	0,295	0,524	0,422
	Moyenne	0,216	0,280	0,431	0,148	0,167	0,220	0,201	0,173	0,218	0,227
	Ecart-type	0,077	0,168	0,422	0,027	0,087	0,139	0,058	0,046	0,140	0,096
Ile Ouen	Minimum	0,089	0,136	0,136	0,088	0,083	0,079	0,134	0,115	0,136	0,154
	Maximum	0,219	0,160	0,238	0,138	0,096	0,203	0,190	0,147	0,214	0,236
	Moyenne	0,142	0,149	0,162	0,118	0,090	0,147	0,166	0,130	0,191	0,205
	Ecart-type	0,047	0,008	0,039	0,021	0,006	0,053	0,021	0,011	0,030	0,032

Zone d'étude	Statistique	Cr-total (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,023	0,177	0,150	0,127	ND	0,097	0,135	0,127	0,137	0,142	0,142
	Maximum	0,175	0,676	0,270	0,702	ND	0,255	0,176	0,203	0,255	0,249	0,214
	Moyenne	0,107	0,372	0,179	0,278	ND	0,142	0,153	0,164	0,154	0,163	0,172
	Ecart-type	0,037	0,181	0,037	0,181	ND	0,048	0,013	0,024	0,028	0,026	0,022
Baies du Canal	Minimum	0,071	0,187	0,150	0,184	ND	0,103	0,147	0,172	0,153	0,162	0,160
	Maximum	0,173	0,730	0,170	0,488	ND	0,425	0,584	0,334	0,329	1,058	1,116
	Moyenne	0,128	0,383	0,160	0,320	ND	0,177	0,240	0,207	0,235	0,382	0,414
	Ecart-type	0,035	0,177	0,008	0,112	ND	0,102	0,165	0,052	0,072	0,304	0,348
Baie du Prony	Minimum	0,049	0,174	0,200	0,200	ND	0,142	0,197	0,196	0,165	0,142	0,140
	Maximum	0,136	0,579	0,450	1,857	ND	0,414	1,670	0,344	0,319	0,622	2,970
	Moyenne	0,101	0,321	0,258	0,640	ND	0,199	0,375	0,244	0,224	0,327	0,510
	Ecart-type	0,027	0,123	0,078	0,534	ND	0,087	0,432	0,048	0,051	0,178	0,797
Ile Ouen	Minimum	0,154	0,236	0,170	0,194	ND	0,119	0,133	0,164	0,145	0,188	0,158
	Maximum	0,182	0,404	0,250	1,000	ND	0,168	0,239	0,217	0,185	0,257	0,276
	Moyenne	0,170	0,302	0,195	0,579	ND	0,138	0,196	0,195	0,163	0,225	0,229
	Ecart-type	0,014	0,057	0,028	0,312	ND	0,023	0,037	0,022	0,015	0,024	0,040

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	<0,025	0,030	<0,025	<0,025	<0,025	0,047	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,150	<0,100	0,330	0,182	0,254	0,043	0,049	0,048	0,026	0,079	0,025
	Moyenne	0,090	0,100 (n=1)	0,093	0,055	0,114	0,024	0,047	0,048 (n=1)	0,026 (n=1)	0,023	(n=1) 0,025
	Ecart-type	0,025	-	0,092	0,054	0,107	0,008	0,001	-	-	0,026	-
Baies du Canal	Minimum	0,050	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,038	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,120	<0,100	0,230	0,093	0,159	0,065	0,176	<0,025	<0,025	1,318	0,041
	Moyenne	0,080	0,100 (n=1)	0,060	0,038	0,125	0,032	0,107	<0,025		0,232	(n=1) 0,041
	Ecart-type	0,019		0,069	0,028	0,054	0,016	0,098	-		0,462	-
Baie du Prony	Minimum	0,070	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,029	0,027	<0,025	<0,025
	Maximum	0,090	<0,025	0,130	0,052	0,483	0,075	<0,087	0,266	0,043	0,027	<0,025
	Moyenne	0,079		0,054	0,033	0,179	0,034	0,087 (n=1)	0,118	0,036	0,014	-
	Ecart-type	0,007	-	0,043	0,015	0,128	0,021	-	0,105	0,006	0,007	-
Ile Ouen	Minimum	0,080	0,070	0,060	<0,025	0,098	<0,025	0,045	0,060	<0,025	<0,025	<0,025
	Maximum	0,140	0,160	0,860	0,123	0,630	0,047	0,275	0,067	0,203	0,111	0,055
	Moyenne	0,103	0,120	0,245	0,074	0,241	0,033	0,160	0,064	0,203 (n=1)	0,039	(n=1) 0,055
	Ecart-type	0,032	0,046	0,308	0,056	0,194	0,011	0,163	0,004	-	0,042	-

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	<0,059	0,070	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,076	<0,059	<0,059	0,079
	Maximum	0,410	1,020	0,160	<0,059	0,204	<0,059	<0,059	0,201	<0,059	1,203	0,093
	Moyenne	0,132	0,190	0,098	<0,059	0,057	<0,059	<0,059	0,128	<0,059	0,162	0,084
	Ecart-type	0,062	0,276	0,032	-	0,048	-	-	0,043		0,294	0,007
Baies du Canal	Minimum	0,090	0,100	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,104	<0,059	<0,059	0,069
	Maximum	0,140	0,450	0,290	0,178	0,135	<0,059	0,166	0,243	<0,059	0,185	0,138
	Moyenne	0,118	0,199	0,166	0,044	0,070	0,037	0,084	0,137		0,092	0,105
	Ecart-type	0,018	0,108	0,071	0,054	0,030	0,011	0,048	0,048	-	0,058	0,033
Baie du Prony	Minimum	<0,059	0,100	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,071	<0,059	<0,068	<0,059
	Maximum	0,100	0,140	0,120	<0,059	0,140	<0,059	<0,059	0,112	0,088	0,163	<0,059
	Moyenne	0,060	0,110	0,090	<0,059	0,062	<0,059	<0,059	0,096	0,088 (n=1)	0,043	-
	Ecart-type	0,017	0,015	0,017	-	0,035	-	-	0,014	-	0,039	-
Ile Ouen	Minimum	0,120	0,100	0,070	<0,059	<0,059	<0,059	<0,059	0,090	<0,059	<0,059	0,086
	Maximum	0,220	0,150	0,190	<0,059	0,230	<0,059	0,143	0,443	<0,059	0,197	0,129
	Moyenne	0,157	0,125	0,122	<0,059	0,097	<0,059	0,093	0,243		0,097	0,107
	Ecart-type	0,055	0,024	0,047	-	0,068	-	0,036	0,165	-	0,060	0,030

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,030	0,090	0,080	<0,028	0,029	<0,028	0,029	0,057	0,030	<0,028	0,033
	Maximum	0,250	0,140	0,150	0,134	0,150	0,052	0,082	0,292	0,093	0,239	0,212
	Moyenne	0,204	0,126	0,108	0,046	0,086	0,038	0,049	0,162	0,047	0,075	0,069
	Ecart-type	0,064	0,015	0,025	0,035	0,045	0,010	0,016	0,073	0,017	0,064	0,046
Baies du Canal	Minimum	0,030	0,130	0,180	0,098	0,053	0,039	0,087	0,061	0,034	0,095	0,055
	Maximum	0,310	0,660	0,540	0,383	0,496	0,251	0,504	0,992	0,279	0,353	0,547
	Moyenne	0,178	0,253	0,291	0,186	0,180	0,116	0,226	0,357	0,140	0,205	0,233
	Ecart-type	0,077	0,171	0,114	0,109	0,132	0,080	0,148	0,264	0,060	0,106	0,200
Baie du Prony	Minimum	0,170	0,190	0,180	<0,028	0,206	0,072	0,060	0,281	<0,028	0,057	0,033
	Maximum	0,430	0,570	1,270	4,157	1,127	0,462	0,692	1,107	0,396	0,253	0,165
	Moyenne	0,240	0,341	0,357	0,615	0,439	0,197	0,267	0,481	0,168	0,147	0,095
	Ecart-type	0,071	0,135	0,299	1,163	0,252	0,123	0,184	0,255	0,124	0,068	0,043
Ile Ouen	Minimum	0,200	0,180	0,210	<0,028	0,234	0,052	0,110	0,173	0,054	<0,028	0,039
	Maximum	0,250	0,330	0,330	0,258	0,422	0,136	0,285	0,525	0,143	0,268	0,191
	Moyenne	0,227	0,255	0,243	0,129	0,290	0,099	0,197	0,297	0,097	0,110	0,089
	Ecart-type	0,025	0,056	0,044	0,078	0,068	0,029	0,075	0,130	0,030	0,099	0,055

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)										
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18
Canal de la Havannah	Minimum	0,040	0,120	0,090	0,025	0,048	0,041	0,051	0,088	0,045	0,058	0,041
	Maximum	0,260	0,160	0,130	0,215	0,131	0,085	0,120	0,239	0,453	0,262	0,155
	Moyenne	0,177	0,141	0,106	0,071	0,088	0,066	0,076	0,166	0,101	0,107	0,081
	Ecart-type	0,056	0,011	0,010	0,046	0,029	0,014	0,020	0,048	0,096	0,054	0,032
Baies du Canal	Minimum	0,140	0,150	0,150	0,116	0,099	0,074	0,096	0,104	0,053	0,145	0,095
	Maximum	0,300	0,820	0,650	0,316	0,235	0,726	1,082	0,755	0,571	0,726	1,438
	Moyenne	0,206	0,277	0,322	0,175	0,168	0,261	0,306	0,309	0,214	0,325	0,416
	Ecart-type	0,055	0,212	0,180	0,076	0,052	0,247	0,337	0,197	0,179	0,233	0,466
Baie du Prony	Minimum	0,210	0,230	0,240	0,056	0,215	0,109	0,124	0,260	0,075	0,108	0,085
	Maximum	0,540	0,630	1,060	1,435	0,369	0,578	0,702	0,838	0,453	0,670	1,861
	Moyenne	0,346	0,350	0,383	0,495	0,261	0,241	0,264	0,410	0,199	0,236	0,380
	Ecart-type	0,124	0,134	0,226	0,509	0,042	0,143	0,148	0,171	0,116	0,161	0,505
Ile Ouen	Minimum	0,170	0,170	0,170	0,048	0,194	0,073	0,118	0,240	0,102	<0,022	0,101
	Maximum	0,270	0,340	0,280	0,287	0,300	0,403	0,247	1,128	0,184	0,264	0,306
	Moyenne	0,233	0,268	0,220	0,160	0,230	0,175	0,186	0,510	0,141	0,154	0,172
	Ecart-type	0,055	0,061	0,037	0,082	0,037	0,115	0,054	0,360	0,027	0,105	0,070