



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

1^{er} semestre 2019



«Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique»

Rapport semestriel
Mars 2019

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

L15599-0002

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

1^{er} semestre 2019

Kaplan H., Laurent A, Fernandez JM.

Nombre de pages : 98

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L15599-0002	
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 2019.		
Auteurs	Kaplan H., Laurent A., Fernandez JM.		
Résumé	Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Vale-NC a mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d’eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2019 (mars 2019) effectuées dans la zone d’influence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d’influence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin). Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO₃+NO₂ et NH₄), de matières organiques (POD, NOP et POP) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, Cr^{VI}, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations des SiO₄ et métaux latéritiques, se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini, particulièrement au niveau des eaux de surface; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Baie du Port Boisé, de la Kwé et de Prony) et les plus faibles étant relevées dans le Canal de la Havannah. Pour la salinité, cette tendance s’inverse. La dessalure dans les eaux de surface traduite notamment par une diminution des éléments majeurs aux sorties des creeks met en évidence également 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. Ainsi, l’augmentation de la fluorescence à mi-profondeur et au fond dans la Baie de Prony et dans celle du Canal est corrélée à l’enrichissement des eaux de fond en chlorophylle <i>a</i>, NOD, POD et COP. D’autres paramètres tels que les concentrations en As et NOD, sont relativement homogènes dans l’ensemble de la zone d’étude et ne montrent pas de gradient spatial. Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière malgré entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2007.		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kaplan H.	HK	13/05/2019
Vérificateur	Pousse C.	CP	15/05/2019
Approbateur	Fernandez JM.	JMFA	17/05/2019
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport final		20/05/2019
V1.1	Précision apportée pour expliquer une valeur- Chapitre des nitrites et nitrates, p.24.		13/08/2019
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C.	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kaplan H., Laurent A., Fernandez JM. 2019. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1^{er} semestre 2019. PO : L15599-0002

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	30
F.	CHLOROPHYLLE A.....	35
G.	METAUX DISSOUS.....	37
IV.	SYNTHESE	44
A.	SELS NUTRITIFS.....	45
B.	METAUX DISSOUS.....	50
V.	CONCLUSION	60
	ANNEXES.....	65

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 de 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 2019 (mars 2019) 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 les 05 et 07 mars 2019.

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 :

- enregistrements 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 α 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) 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 une dépression tropicale forte OMA (catégorie 2). Celle-ci est passée au nord-est de la grande terre entre le 19 et le 21/02/2019, générant des vents entre 48 et 64 nœuds et un cumul de précipitations de 147mm à la station Goro-résidu (source : Bilan météorologique du 21/04/2019 de Météo-France) sur les 24h.

Après s'être éloignée par le sud-ouest, la masse dépressionnaire a été repoussée par un anticyclone au sud, la ramenant au sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, la dépression tropicale Ex-OMA a généré lors des 5 jours précédant la campagne, soit du 28 février au 4 mars, des vents moyens de 19 ± 3 nœuds de S à ESE. Un

total de précipitations de 112 mm a été mesuré sur cette période (source : Données de la station météo Goro-UsinePPDQ du site Vale-NC).

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (les 05 et 07 mars 2019) sont les suivantes :

- 05/03/2019: Vent d'ENE de 14 à 16 nœuds, temps nuageux avec des pluies éparses. Présence de houle et de forts courants dans le canal de la Havannah ;
- 07/03/19: E/SE 5 à 8 Nœuds, temps couvert avec quelques rares averses;

Au total, 22 mm de précipitations sont tombés pendant ces deux jours de campagne, se produisant essentiellement le 1^{er} jour.

Les prélèvements du 1^{er} jour ont débuté à marée descendante et se sont poursuivis jusqu'au début de marée montante. Les stations échantillonnées ont été celles situées en face de la Baie du Prony (St21), dans le canal Woodin (St13 et St20) et dans la Baie du Prony (St19, St 16, St15 et St18).

Le 2^{ème} jour, les prélèvements ont été réalisés en fin d'étale de marée haute et se sont poursuivis jusqu'à l'étale de marée basse. Les stations échantillonnées ont été celles des Baies du canal (St14, St06 et St03) et du canal de la Havannah (St05, St02, St09, St07) (Figure 3 et Figure 4).

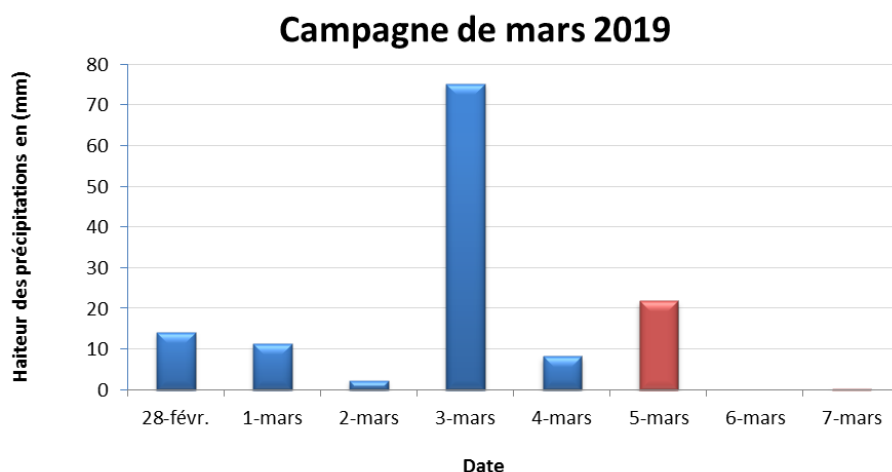


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées 5 jours précédant la campagne (28/02 au 04/03/2019; en bleu) et pendant la campagne semestrielle (05 et 07/03/2019; en rouge). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "Goro usine".

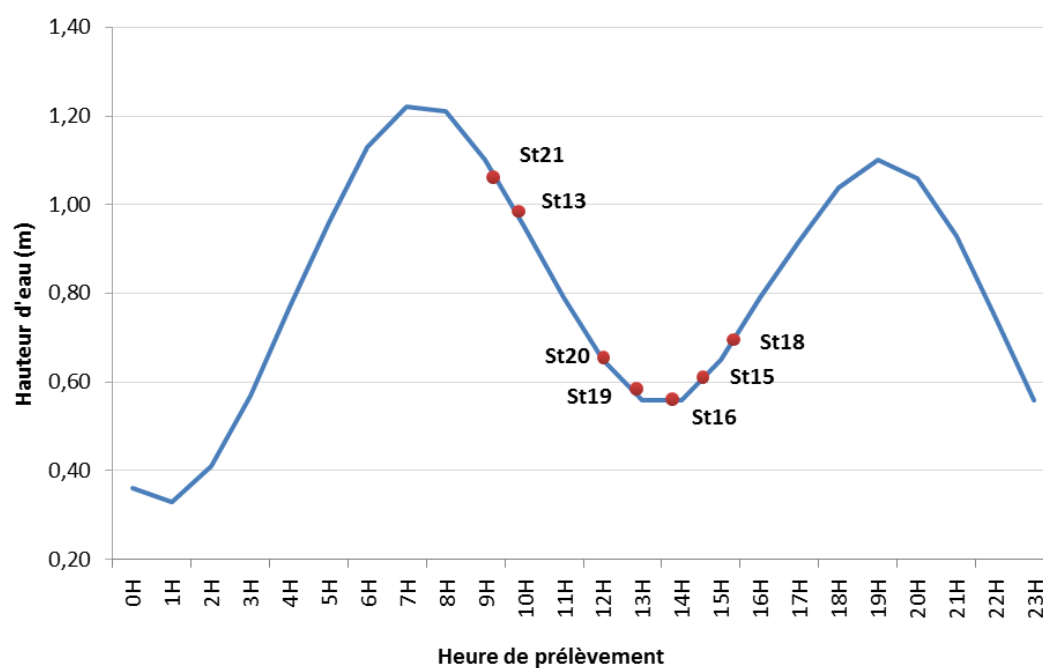


Figure 3: Chronologie des prélèvements de la campagne semestrielle reportée sur le marégramme du 05 mars 2019.

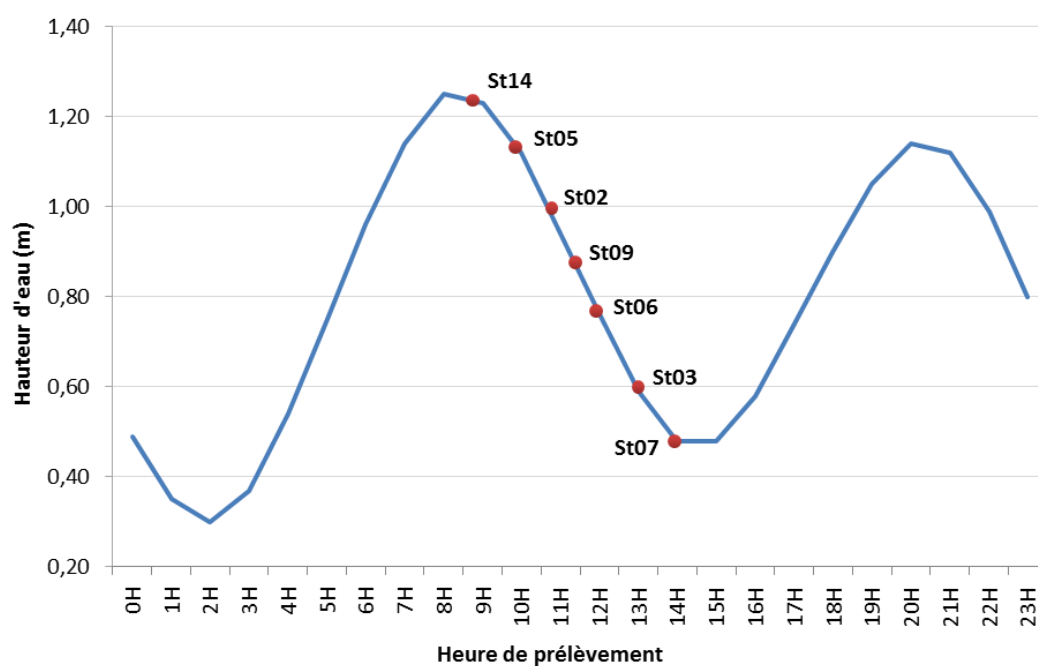


Figure 4: Chronologie des prélèvements de la campagne semestrielle reportée sur le marégramme du 07 mars 2019.

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 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8 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 2019.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
Canal de la Havannah	Minimum	24,60	35,07	0,03	0,20
	Maximum	26,30	35,47	0,96	1,63
	Moyenne	25,63	35,24	0,39	0,48
	Ecart-type	0,37	0,07	0,16	0,23
Baies du Canal	Minimum	25,51	30,46	0,00	0,31
	Maximum	27,47	35,29	1,11	2,85
	Moyenne	26,09	34,95	0,54	0,73
	Ecart-type	0,33	0,50	0,21	0,43
Baie du Prony	Minimum	25,46	34,04	0,01	0,26
	Maximum	26,38	35,48	1,29	2,31
	Moyenne	25,75	35,32	0,58	0,65
	Ecart-type	0,24	0,14	0,24	0,30
Ile Ouen	Minimum	25,38	35,20	0,08	0,33
	Maximum	26,03	35,44	0,82	1,45
	Moyenne	25,79	35,30	0,46	0,63
	Ecart-type	0,14	0,04	0,15	0,20

1. Température

La température moyenne globale est de $25,79 \pm 0,36^{\circ}\text{C}$. Elle est légèrement plus fraîche que l'année précédente à la même époque ($26,52 \pm 0,29^{\circ}\text{C}$). L'écart relatif moyen global entre les différents profils de température est faible, pourtant la différence entre les températures minimales et les maximales peut atteindre $2,87^{\circ}\text{C}$ (Tableau 2). Ainsi, la plupart des profils montre une diminution des températures dans les premiers mètres de la colonne d'eau (Figure 5). Cette diminution est matérialisée par une thermocline bien visible au niveau des stations des **Baies du canal** (St03, St06 et St14) entre 5 et 7m de profondeur où s'exerce l'influence des eaux douces des creeks. Toutefois, la diminution de température est remarquable à la station loro (St07) avec une perte de $1,7^{\circ}\text{C}$ entre 0 et 25 m et la présence d'une thermocline bien individualisée vers 16m de profondeur. De part et d'autre de ces couches de transition thermique les températures sont relativement stables.

Au niveau du **Canal Havannah** comme au niveau de **l'île Ouen**, les profils de température sont relativement stables en raison des influences océaniques prépondérantes, à l'exception de la station St07 citée ci-dessus. Ailleurs, de légères variations de température sont relevées aux stations St21 et St13 où les valeurs diminuent faiblement et progressivement à mesure que la profondeur augmente.

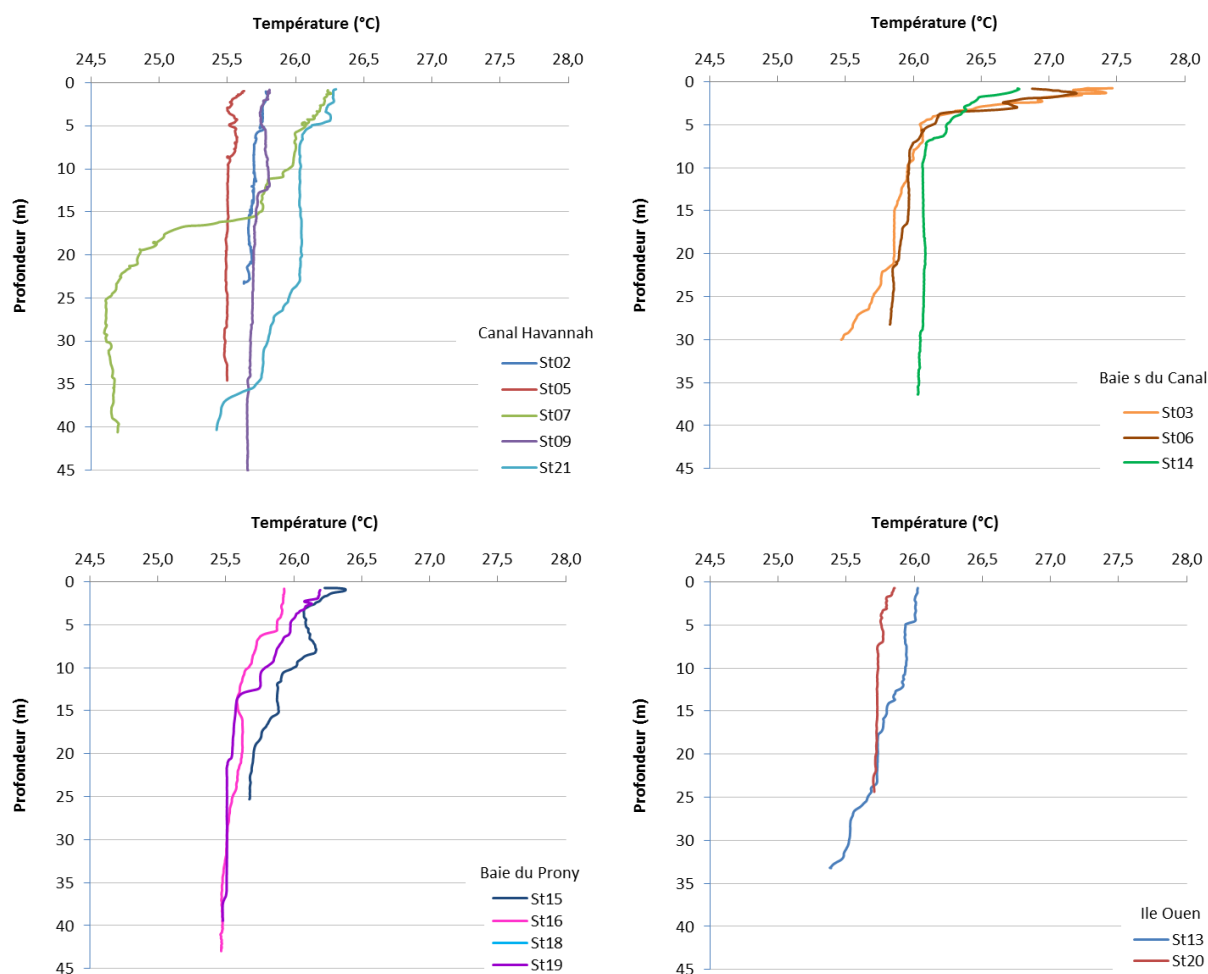


Figure 5: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Dans la **Baie du Prony**, à l'exception du profil manquant de la station St18 suite à un problème technique lié à la sonde de mesure, les profils de température des stations St15, St16 et St19 sont semblables. Dans cette zone, la température au sein de la colonne d'eau est plus stable à la station St16 ($\pm 0,47^\circ\text{C}$) qu'aux autres stations où l'écart de température entre la surface et le fond varie légèrement plus ($\pm 0,7^\circ\text{C}$).

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 $35,24 \pm 0,07 \text{ ‰}$ et $35,30 \pm 0,04 \text{ ‰}$.

Les stations des **baies du Canal** mettent en évidence une importante dessalure en surface (0 à 5 m) attribuée à l'arrivée d'une grande quantité d'eau douce des creeks, due aux fortes pluies des jours précédant la campagne ; ces profils sont à relier aux enregistrements de température. Ce phénomène est moins visible à la station St14 car le prélèvement a eu lieu à l'étape de marée haute. La salinité est assez homogène sur le bas de la colonne d'eau.

En **baie du Prony**, seule une légère dessalure est visible au niveau de la station St15 où l'eau douce du Creek de la Rade Nord se déverse. Les autres stations dans cette baie présentent des profils de salinité relativement stables. (Figure 6 et Tableau 2).

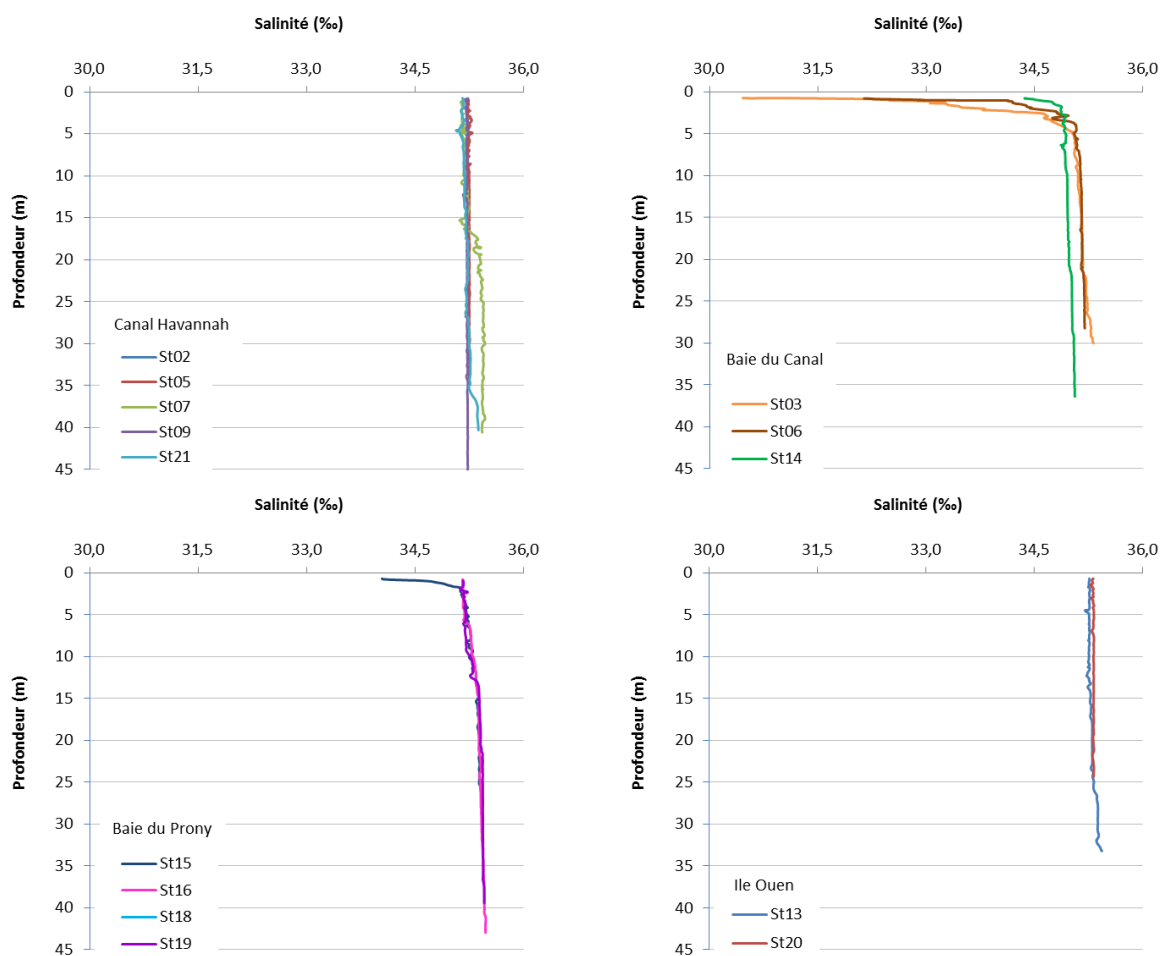


Figure 6: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

3. Fluorescence (mesure de la Chlorophylle totale)

Les profils de fluorescence montrent deux ensembles distincts. (Figure 7 et Tableau 2). Le premier ensemble comprend la zone de la **Baie du Prony** et la zone des **baies du canal** avec des intensités moyennes plus élevées, variant au sein de la colonne d'eau, respectivement de $0,58 \pm 0,24 \text{ mg/m}^3$ et $0,54 \pm 0,21 \text{ mg/m}^3$.

Dans la **Baie du Prony** la valeur de fluorescence maximale se situe à mi-profondeur avec $1,29 \text{ mg/m}^3$ à la station St15. Les profils des stations St 16 et St19 suivent la même tendance. Le profil de la station St16 montre toutefois d'avantage de bruit de fond en profondeur. Au niveau des **Baies du Canal**, les profils des stations St06 et St14 sont semblables. Seul le profil de la station St03 montre une couche entre 10 et 25m, comprenant une intensité maximale de $1,11 \text{ mg/m}^3$ témoignant de potentiels apports phyto-planctoniques.

A contrario, le second ensemble regroupe le **Canal de la Havannah** et la zone de l'**île Ouen** où les intensités de fluorescence sont plus faibles et homogènes avec respectivement $0,39 \pm 0,16 \text{ mg/m}^3$ et $0,46 \pm 0,15 \text{ mg/m}^3$.

Dans le **Canal de la Havannah**, les profils de fluorescence montrent un léger accroissement de l'intensité avec la profondeur; à la station St07, l'intensité maximale est enregistrée à mi-profondeur ($0,96 \text{ mg/m}^3$). A l'**île Ouen**, l'intensité de fluorescence est croissante sur toute la colonne d'eau à la station St13, alors qu'au niveau de la station St20 elle augmente entre 0 et 10m, puis se stabilise en profondeur.

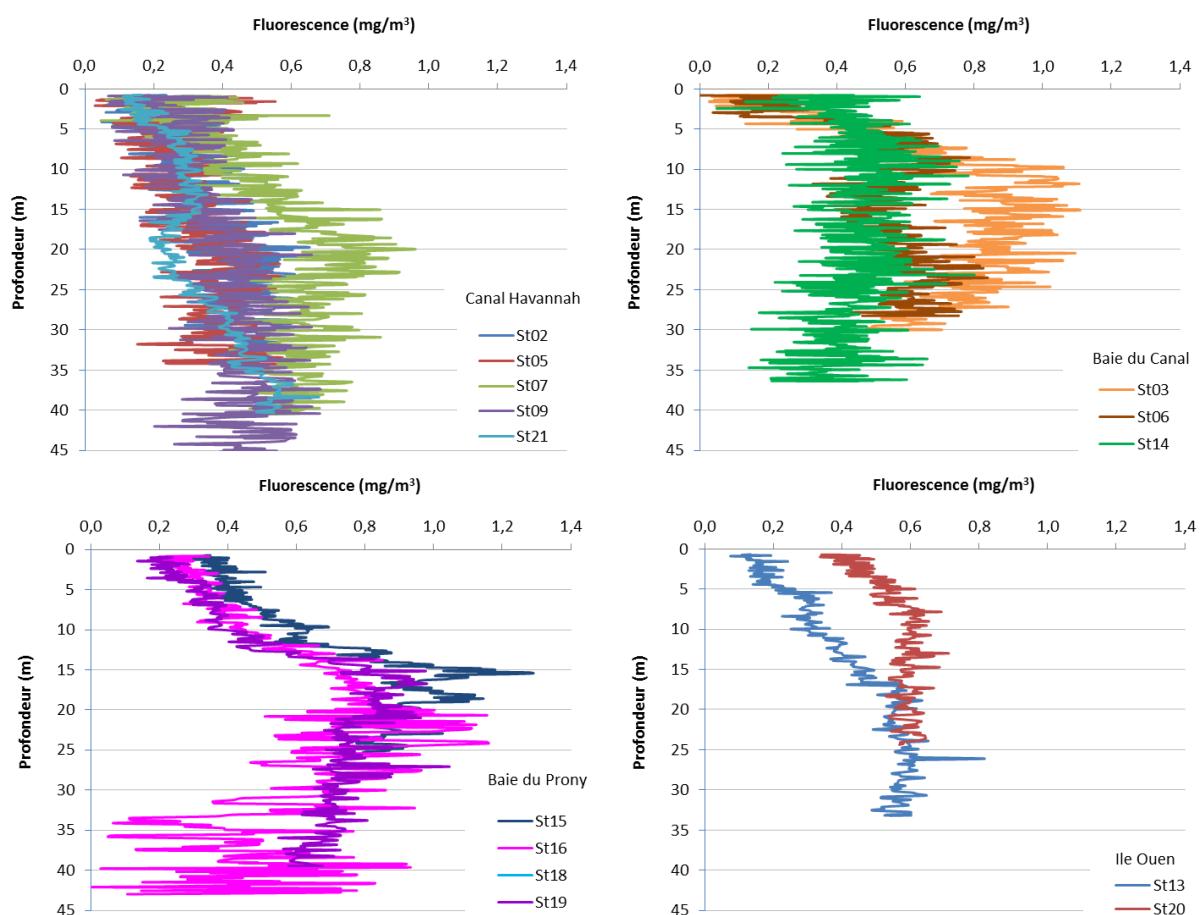


Figure 7: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

4. Turbidité

Les profils de turbidité enregistrés varient selon les zones d'étude (Tableau 2 et Figure 8) puisque cette technique prend en compte la concentration, la taille, la forme et les coefficients de réfraction des particules présentes. Elle conduit donc à visualiser autant les particules biogènes que terrigènes. Par ailleurs, on rappellera que les conditions météorologiques des semaines précédant la campagne ont été favorables au brassage des matières en suspension organiques et/ou minérales, vivantes et/ou détritiques.

Dans le **Canal Havannah**, les profils de turbidité sont homogènes à l'exception des profils des stations St21 et St07, inversement corrélés à leur profil respectif de température. A la station St21, une couche turbide en surface (0 à 8m) (plus chaude) surmonte une couche d'eau plus claire (plus froide). A la station St07, un néphéloïde benthique occupe les 20 derniers mètres de la colonne d'eau qui est plus froide qu'en surface.

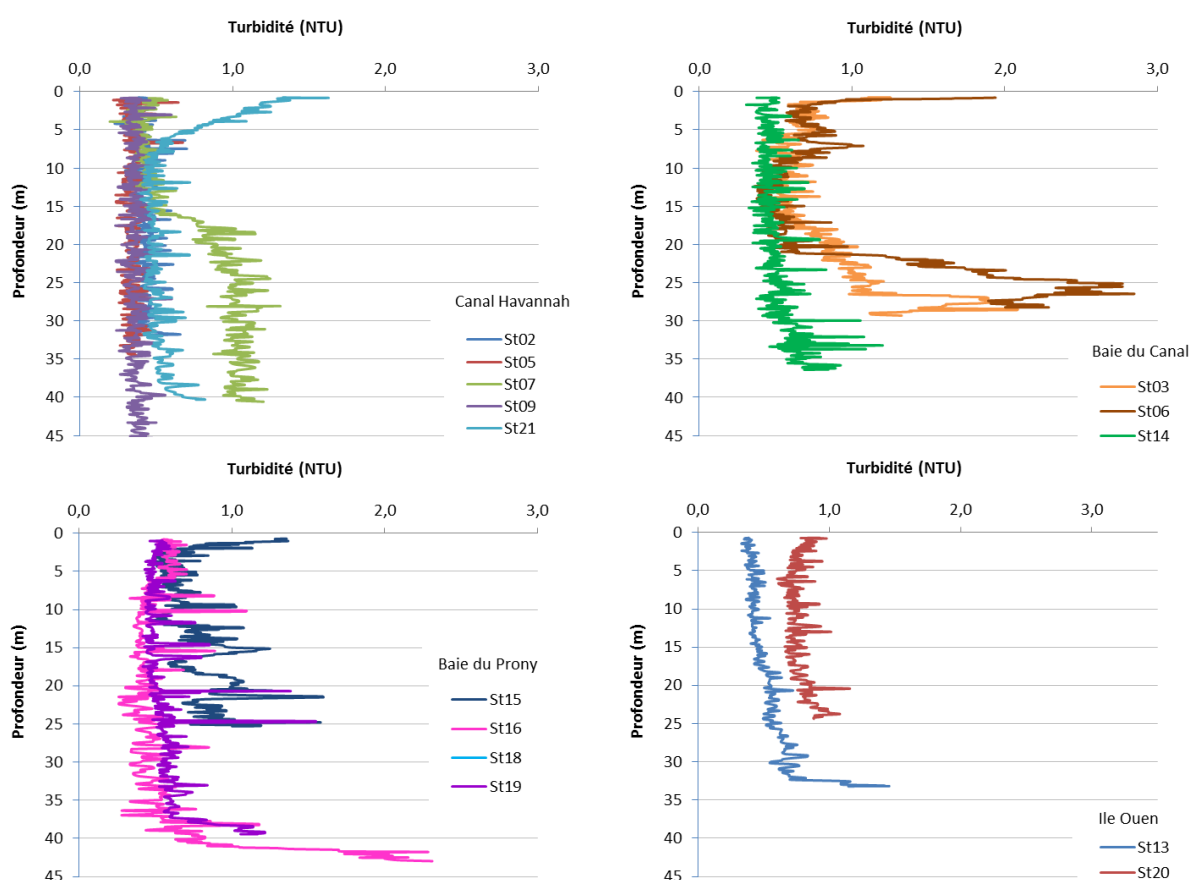


Figure 8: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Au niveau des **Baies du Canal**, des valeurs maximales de turbidité ont été enregistrées en profondeur des stations St03 et St06. Le profil de la station St06 montre la présence d'un néphéloïde benthique bien développé commençant à 20 m de profondeur. Le profil de la station St03 est relativement homogène et son intensité est moyenne entre 0 et 17m de profondeur. La turbidité augmente ensuite progressivement entre 17 et 27 m, une couche de forte turbidité bien individualisée entre 27 et 29 m termine le profil. A l'opposé, la colonne d'eau de la station St14 est relativement claire et homogène.

Dans la **Baie du Prony**, les masses d'eau sont très hétérogènes aux stations St15 et St16, et dans une moindre mesure à la station St19. A la station St16, un néphéloïde benthique de forte intensité occupe les 3 derniers mètres de la colonne d'eau.

Les profils de turbidité de l'**Ile Ouen** sont assez similaires, à l'exception d'une intensité moyenne légèrement plus importante à la baie Iré et de la présence d'une couche turbide de faible ampleur en profondeur de la colonne d'eau de la station St20.

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques témoignent, à la fois, de l'influence des conditions météorologiques dans la zone d'étude par les apports d'eaux douces provenant des émissaires naturels, et de l'influence océanique au niveau des stations du Canal de la Havannah pour la période du 05 au 07 mars 2019.

Le passage de la dépression tropicale OMA, deux semaines avant la campagne, a apporté de grandes quantités de précipitations créant des profils salinité caractérisés par une forte dessalure des eaux de surface (5 m) dans les baies du Canal et de Prony, essentiellement aux stations St03, St06, St14 et St15.

La différence de température des masses d'eaux conditionne la répartition des matières en suspension au sein de la colonne d'eau. Cette stratification des masses d'eau correspond au domaine d'influence des eaux douces moins denses qui tendent à se diluer progressivement dans l'eau de mer plus dense. Ce phénomène est nettement visible dans les Baies du canal, aux stations St03, St06 et St14 et à la station St07 du Canal de la Havannah, à partir 15 m de profondeur. En Baie de Prony et à l'île Ouen cette différence de température est moins marquée.

La turbidité des eaux est révélatrice de la quantité de matière en suspension d'origines diverses. La turbidité peut être le fait d'un brassage des eaux, comme à la station St02 suite aux vents soutenus de la semaine précédant la campagne, ou bien de la décantation de matériel terrigène, comme au niveau des stations des baies (St03, St06, St14, St16, St19, St15 et St18), consécutivement aux très fortes pluies qui ont transporté des particules en quantité depuis les bassins versants vers le lagon.

La fluorescence des eaux étudiées montre des concentrations proches, à l'exception de celle de la baie de Prony et de la station St03 où les valeurs sont plus fortes. Cette fluorescence est plus probablement à mettre en relation avec les particules d'origine terrigène plutôt que d'origine phytoplanctonique.

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 des stations St03 et St06 en Cl^- , Ca^{2+} , K^+ , Na^{2+} , Mg^{2+} où elles sont légèrement inférieures à la moyenne globale (Annexe 3). Les concentrations en éléments majeurs restent globalement dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Tableau 3), les diminutions enregistrées sont probablement à mettre en relation avec les apports en eaux douces importants générés par la tempête OMA.

Le pH moyen diffère peu entre les zones étudiées ($8,10 \pm 0,05$). Il est proche de celui obtenu lors de la campagne précédente de mars 2018 ($8,20 \pm 0,04$). (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 2019.

Zone d'étude	Statistique	pH	Eléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,10	441	460	12104	1491	19444	2770
	Maximum	8,20	558	576	14090	1823	20139	3065
	Moyenne	8,16	492	511	13053	1640	19792	2878
	Ecart-type	0,04	34	35	624	100	179	101
Baies du canal	Minimum	8,10	375	377	10466	1302	15972	2700
	Maximum	8,20	506	534	13384	1702	19792	2880
	Moyenne	8,17	474	491	12680	1594	18866	2803
	Ecart-type	0,04	44	51	984	130	1389	63
Baie du Prony	Minimum	8,00	457	468	12314	1529	18750	2695
	Maximum	8,10	539	571	13950	1798	20139	2985
	Moyenne	8,09	495	513	13017	1648	19705	2831
	Ecart-type	0,03	26	31	458	83	447	77
Ile Ouen	Minimum	8,10	480	494	12930	1602	19792	2795
	Maximum	8,15	508	524	13298	1703	20139	2945
	Moyenne	8,11	488	506	13119	1637	19965	2875
	Ecart-type	0,02	10	10	134	36	190	57

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 2019 sont représentées dans la Figure 9, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Les concentrations mesurées en MES sont variables dans la zone d'étude (Tableau 4). La concentration moyenne globale est quasiment deux fois supérieure à la moyenne globale des années précédentes. En effet, la moyenne des MES de 2008 à 2018 est de $0,454 \pm 0,397$ mg/L contre celle de mars 2019 de $0,838 \pm 0,390$ mg/L. Les valeurs de MES moyennées de mars 2013 étaient également exceptionnellement élevées ($1,103 \pm 1,075$ mg/L).

La distribution des MES se réalise selon un gradient vertical pour une majorité des stations avec des concentrations de MES supérieures en profondeur de la colonne d'eau, à l'exception des stations St18, St15, St07 et St05. Les stations les moins chargées en MES sont celles du **canal Havannah** notamment St02, St05 et St09. Dans cette zone, la quantité de MES mesurée à la station St07 à mi-profondeur et au fond est en adéquation avec le profil de turbidité montrant une épaisse couche de néphéloïde benthique.

Dans la **Baie du Prony** la concentration moyenne en MES est plus importante que dans les autres zones, cela étant due à une concentration maximale en surface de la station St18 (2,093 mg/L).

Au niveau des **baies du canal** comme de **l'île Ouen**, la répartition verticale des MES est relativement hétérogène avec des concentrations de fond plus importantes qu'aux autres niveaux, à l'exception de la station St13 où une distribution par couche est visible.

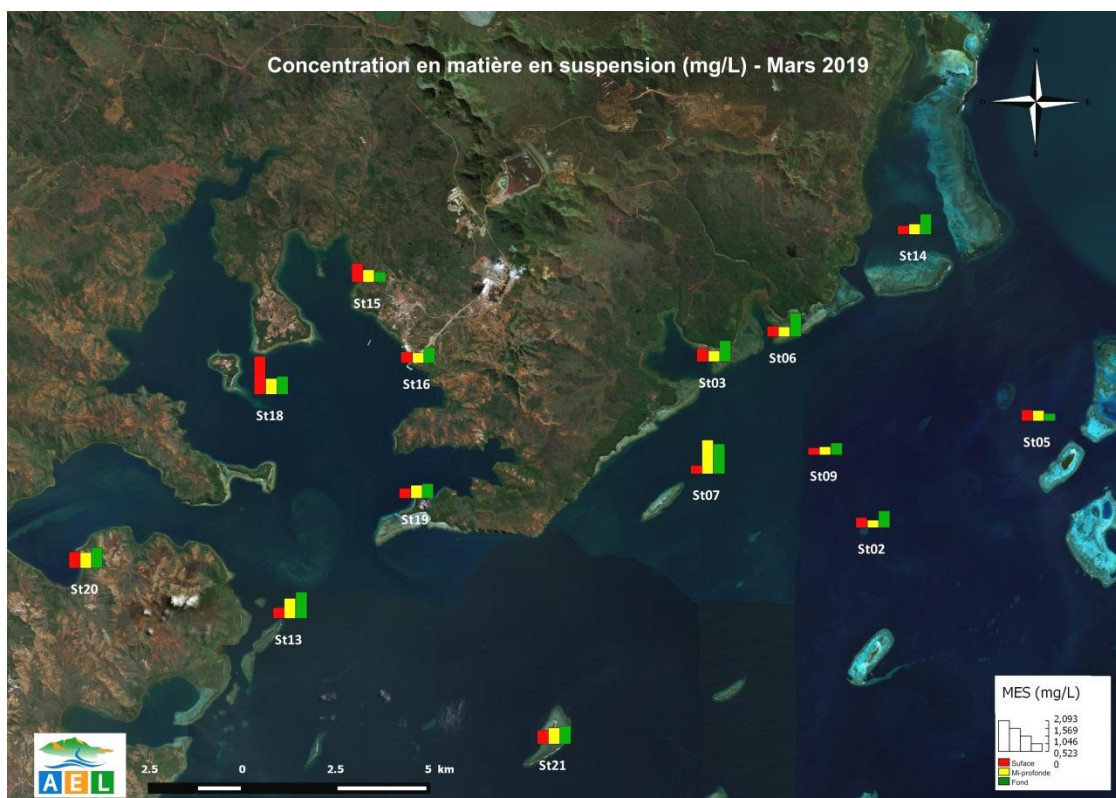


Figure 9 : Concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Tableau 4 : Concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,405
	Maximum	1,878
	Moyenne	0,758
	Ecart-type	0,441
Baies du canal	Minimum	0,480
	Maximum	1,294
	Moyenne	0,788
	Ecart-type	0,315
Baie du Prony	Minimum	0,544
	Maximum	2,093
	Moyenne	0,863
	Ecart-type	0,423
Ile Ouen	Minimum	0,585
	Maximum	1,456
	Moyenne	1,006
	Ecart-type	0,298

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en éléments majeurs et le pH restent semblables pour les différentes campagnes semestrielles effectuées et, pour 2019, sont sensiblement homogènes entre les différentes zones étudiées. Toutefois, en raison des fortes précipitations (tempête OMA) survenues lors des semaines précédant la campagne, les concentrations en éléments majeurs sont plus faibles en surface au niveau des stations de la baie Kwé et de port Boisé. La présence d'eau douce dans ces zones est clairement établie grâce aux profils de salinité enregistrés.

Les concentrations de MES diffèrent selon les zones et sont en moyenne plus élevées que la moyenne globale calculée depuis le début du suivi. En effet, ces dernières mettent en évidence les apports terrigènes dus aux mauvaises conditions météorologiques (fortes précipitations) des jours précédant la campagne, combinés à des phénomènes de remise en suspension (vents forts) dans les baies du Canal et du Prony. La distribution verticale en MES observée sur la majorité des stations est corrélée aux profils de turbidité enregistrés pour les stations St07, St03 et St06.

Dans le Canal de la Havannah, les concentrations de MES moyennes sont inférieures à celles des baies dues à l'influence majoritairement océanique apportant des matières en suspension d'origines minérales organiques et/ou inorganiques.

D. SELS NUTRITIFS

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle de mars 2019 sont regroupées dans les Figure 10, Figure 11, Figure 12, Figure 13, 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 2019.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	0,183	0,127	<0,050	1,23
	Maximum	0,940	2,050	0,107	1,54
	Moyenne	0,368	0,327	0,027	1,39
	Ecart-type	0,189	0,465	0,038	0,10
Baies du canal	Minimum	<0,050	0,174	<0,050	1,63
	Maximum	2,966	0,718	0,080	20,33
	Moyenne	0,504	0,307	0,080 (n=1)	5,12
	Ecart-type	0,937	0,183	-	6,58
Baie du Prony	Minimum	<0,050	0,065	<0,050	0,89
	Maximum	0,469	0,488	0,105	6,24
	Moyenne	0,126	0,302	0,042	1,86
	Ecart-type	0,146	0,133	0,039	1,44
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,051	<0,050	1,32
	Maximum	1,004	0,944	<0,050	1,58
	Moyenne	0,220	0,234	<0,050	1,45
	Ecart-type	0,393	0,349	-	0,09

1. Nitrates et nitrites

Rappel : L'ion nitrate (NO_3^-) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le NO_3^-). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en NO_3^- variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.

Note : Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO_3^- est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2^-) obtenus par réduction des ions nitrates NO_3^- . Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations nitrates + nitrites ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

Les concentrations en $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ mesurées sont très variables selon les zones d'étude. (Figure 10, Tableau 6 et Annexe 4). Elles se distribuent, habituellement, selon un gradient côte-large où les concentrations sont supérieures à proximité des côtes et plus faibles au large.

Lors de cette campagne, ce gradient est atténué par la présence d'une concentration moyenne dans le **Canal de la Havannah** ($0,368 \pm 0,189 \mu\text{mol/L}$) supérieure à celle de la **Baie du Prony** ($0,126 \pm 0,146 \mu\text{mol/L}$). Dans cette dernière, les $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ sont mesurés en surface uniquement au niveau des stations St15 et St16. Aux stations St19 et St18, ils sont mesurés entre le fond et le milieu de la colonne d'eau.

En revanche, la concentration moyenne la plus importante est celle mesurée dans les **baies du Canal** ($0,504 \pm 0,937 \mu\text{mol/L}$) avec une concentration de $2,966 \mu\text{mol/L}$ en surface de la station St06. Cette valeur est largement inférieure à la concentration maximale déjà mesurée lors de ce suivi en 2007 avec $4,921 \mu\text{mol/L}$ à la station St07-S. De plus, elle est largement inférieure à $20 \mu\text{mol}$, valeur de référence pour les milieux évoluant vers une probable eutrophisation, préconisée par le guide CNRT/ZoNéCo de 2011 (p.113).

A l'**île Ouen**, les nitrates et nitrites sont essentiellement présents en surface des deux stations, à l'exception d'une valeur mesurée en profondeur de la station St13.

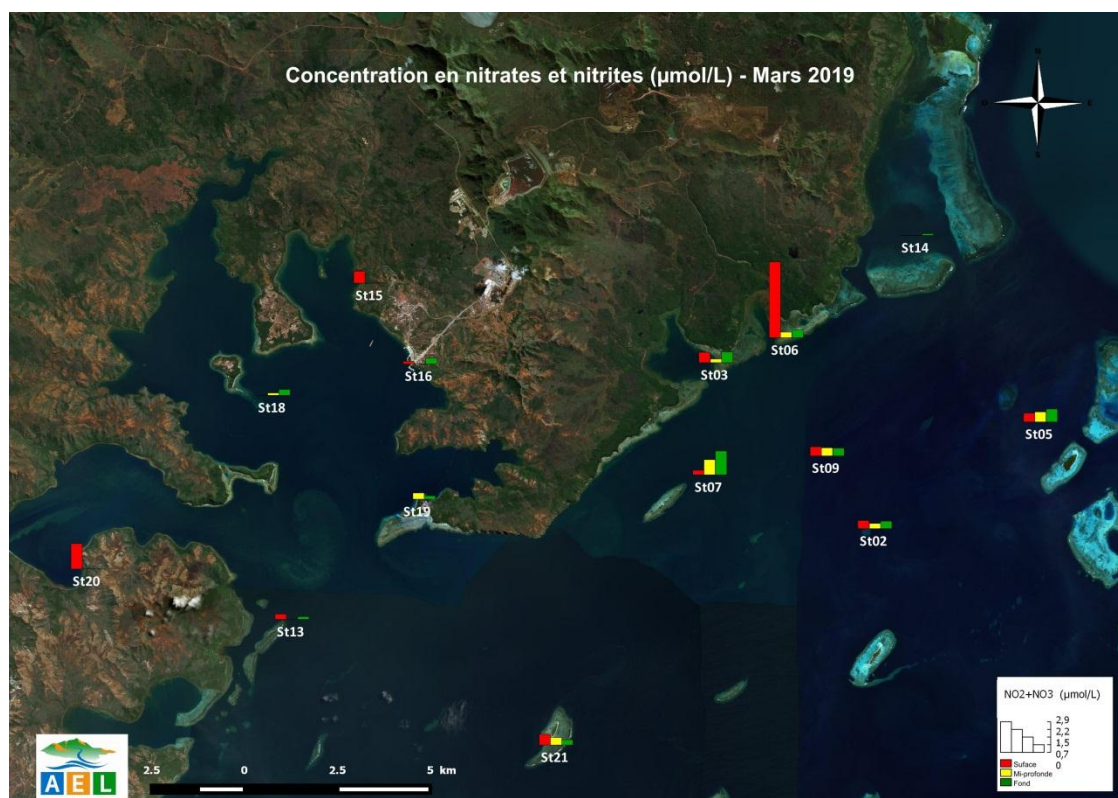


Figure 10: Concentrations en nitrates et nitrites (NO_3+NO_2) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

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 de l'ammonium (NH_4) dans la zone d'étude est variable selon les stations (Tableau 5, Figure 11 et Annexe 4).

Dans le **Canal de la Havannah**, la concentration moyenne d' NH_4 mesurée est majorée par la présence d'une concentration maximale en surface de la station St02. A l'exception de cette valeur forte, la concentration moyenne en NH_4 sur l'ensemble de la zone est deux fois supérieure ($0,264 \pm 0,174 \mu\text{mol}$) comparativement à la moyenne globale calculée depuis mars 2008 de $0,126 \pm 0,136 \mu\text{mol/L}$. A la station St05, la concentration est homogène sur toute la colonne d'eau.

Le NH_4 est plus concentré dans les eaux de surface dans les **baies du Canal** aux stations St03 et St06 et à **l'île Ouen** à la station St20. A *contrario*, les concentrations sont plus importantes en profondeur dans **la baie du Prony** aux stations St18, St16, St19, alors que les valeurs sont homogènes en St15.

On remarque aux stations St03-S, St06-S et St20-S la présence combinée du NH_4 et des NO_3+NO_2 , à des concentrations assez élevées, ce qui traduit un processus incomplet de nitrification de la matière organique.

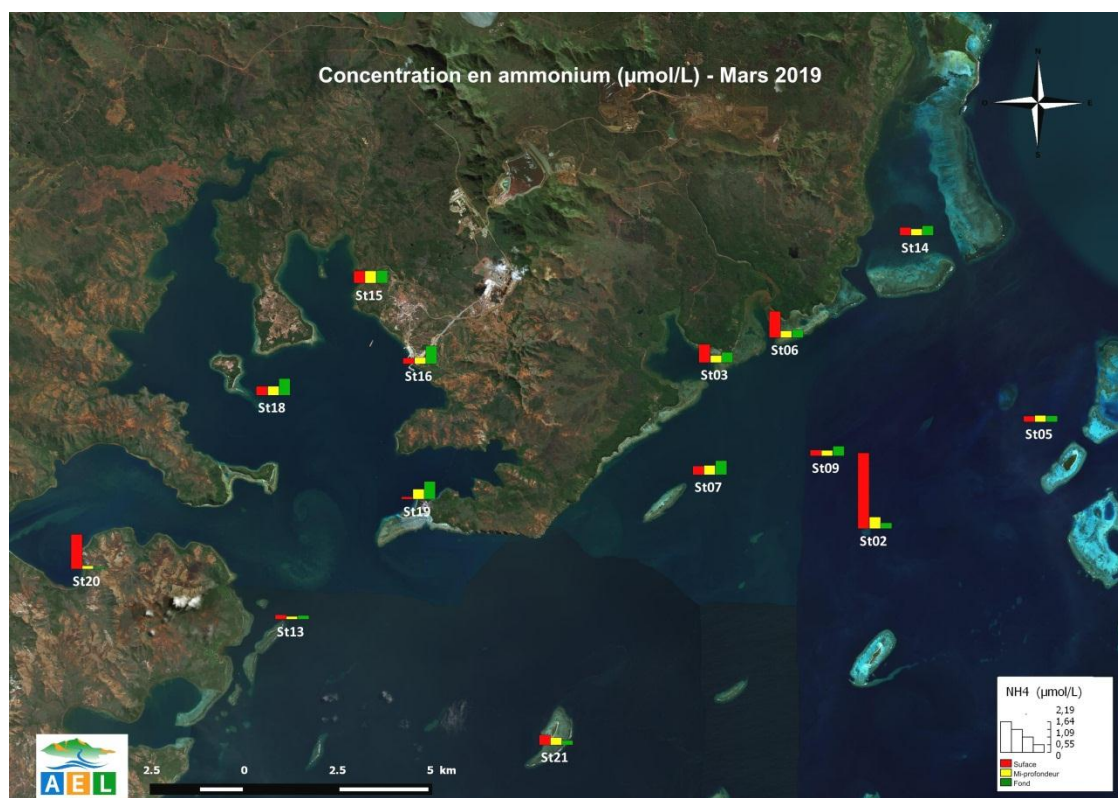


Figure 11: Concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

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, la répartition spatiale et verticale des phosphates est très hétérogène. (Figure 12, Tableau 5 et Annexe 4)

Les PO_4 sont mesurés dans la **Baie du Prony** uniquement en surface et en profondeur des stations St18 et St16, en revanche ils sont présents dans toute la colonne d'eau à la station St15.

Dans le **canal de la Havannah**, ils sont décelables seulement en surface aux stations St02 et St21, à mi profondeur à la station St09 et au fond de la colonne d'eau aux stations St03 et St05. A la station St07, les PO_4 sont présents à mi-profondeur et au fond de la colonne d'eau. Les PO_4 sont mesurés uniquement en profondeur à la station St03 dans **les baies du Canal**.

Au niveau de l'île **Ouen**, les concentrations sont en dessous des limites de quantifications.

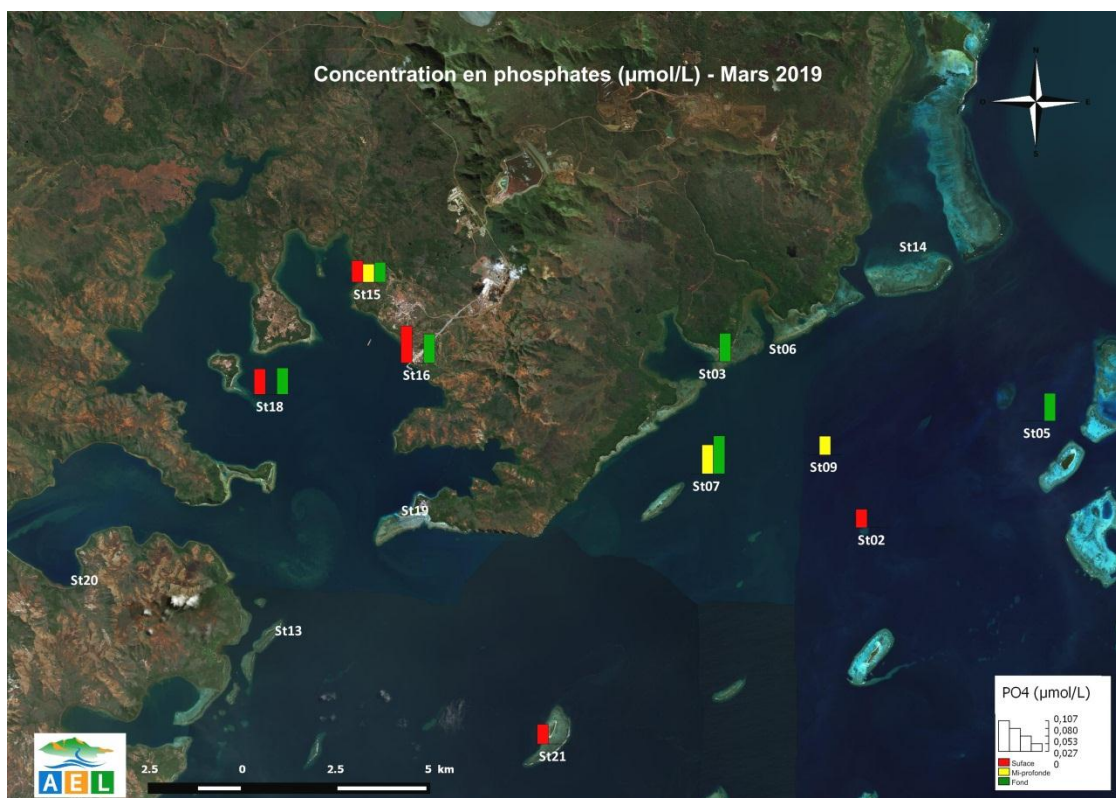


Figure 12: Concentrations en phosphates (PO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

4. Silicates

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

La concentration moyenne en SiO_4 mesurée sur l'ensemble de la zone d'étude est de $2,3 \pm 3,3 \mu\text{mol/L}$ variant fortement de 0,9 à $20,3 \mu\text{mol/L}$ (Figure 13, Tableau 5 et Annexe 4). En réalité, l'écart important entre la concentration minimale et maximale concerne peu de valeurs. Ainsi on observe des concentrations en SiO_4 particulièrement élevées aux embouchures des creeks et en surface de la colonne d'eau, phénomène identifié au niveau de la **Baie Kwé** avec une concentration maximale de $20,3 \mu\text{mol/L}$, de **Port Boisé** et du **Creek de la Rade Nord**. Le même phénomène s'est produit lors de la campagne d'avril 2017 pendant laquelle de fortes précipitations (191mm) se sont produites avec de surcroît l'influence du cyclone COOK, une dizaine de jours précédant la campagne.

Par ailleurs, les concentrations mesurées au niveau de port de Goro et de l'îlot Casy sont nettement inférieures et proches de la moyenne. Les concentrations mesurées au niveau de **l'île Ouen** et du **Canal de la Havannah** sont relativement homogènes ; ces résultats mettent en évidence une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante. Cette distribution s'explique par les apports terrigènes provenant des bassins versants alimentant les baies. La concentration moyenne en SiO_4 obtenue dans le **Canal de la Havannah** est la plus faible ($1,054 \pm 0,480 \mu\text{mol/L}$), du même ordre de grandeur que lors des campagnes précédentes.

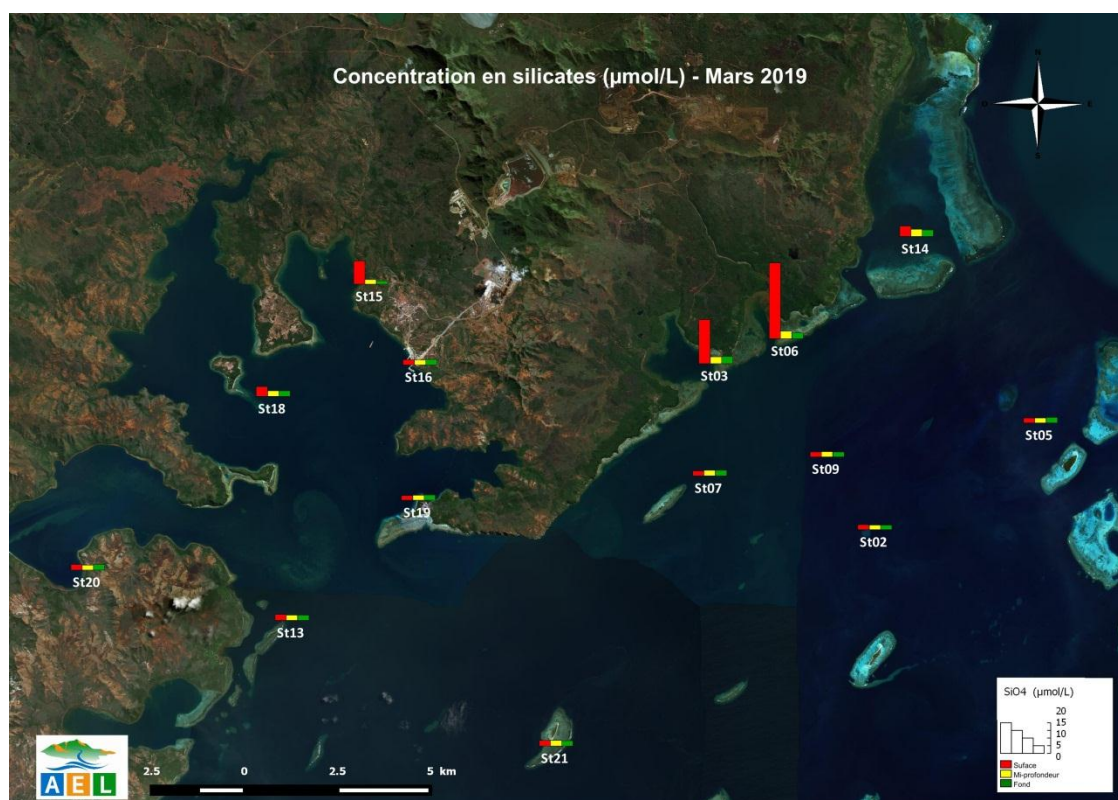


Figure 13: Concentrations en silicates (SiO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Ce qu'il faut retenir :

Globalement, les valeurs des sels nutritifs sont très hétérogènes sur l'ensemble de la zone d'étude et répartis dans la colonne d'eau de façon variable. Toutefois, ils reflètent soit, les apports terrigènes provenant des roches ultrabasiques lessivés lors des fortes précipitations précédant la campagne, soit le fort brassage des eaux par les vents particulièrement intenses et constants durant tout le premier trimestre 2019.

Plus en détails, les phosphates (PO_4^{2-}) et les silicates (SiO_4) sont particulièrement présents dans la Baie du Prony, alors que dans les baies du Canal dominant, en plus de SiO_4 en surface, NH_4^+ et NO_3+NO_2 . Dans le Canal de la Havannah, une valeur forte de NH_4 à la station St02 traduit soit une forte décomposition de débris organiques arrachés au platier, soit la remontée d'eaux profondes induite par le régime d'Alizés soutenu (Upwelling).

Pour NO_3+NO_2 , PO_4^{2-} et NH_4^+ , la répartition verticale est variable et semble essentiellement être influencée par l'intensité du brassage avec les eaux moins salines des dernières semaines. La présence de ces éléments témoigne également de l'activité biologique se produisant en saison chaude dans les baies (production primaire).

La répartition singulière du SiO_4 montre qu'il est un marqueur de l'arrivée d'eau douce (moins dense) en provenance des creeks, se concentrant en surface.

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle de mars 2019 sont regroupées dans les Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17, Figure 18, le Tableau 5 et l'Annexe 5.

1. Azote et phosphore organiques dissous

Rappel : La contribution en azote et du phosphore organique peut-être d'origines diverses. Elle peut être naturelle et provenir 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, ...). Elle peut également provenir de l'activité anthropique c'est-à-dire de l'agricole (azote sous forme de nitrates résultants du lessivage des sols engraisés, azote ammoniacal dans les régions d'élevage), des rejets industriels et des rejets urbains. D'une manière générale, étant donné l'absence d'activité agricole et de ville en amont de la zone d'étude, la concentration en composés organiques dissous est habituellement très faible, particulièrement dans l'océan ouvert.

La concentration moyenne d'azote organique dissous (NOD) sur l'ensemble du site d'étude est de $9,9 \pm 1,3$ $\mu\text{mol/L}$. (Tableau 6, Figure 14 et Annexe 5). Les valeurs sont très proches les unes des autres malgré une valeur maximale à la station St02-S (13,6 $\mu\text{mol/L}$). Bien que peu perceptible, la concentration moyenne la plus élevée se situe au niveau de l'Île Ouen (10,7 $\pm 1,1$ $\mu\text{mol/L}$). Globalement, un léger gradient vertical avec des concentrations plus fortes en surface est visible au niveau des stations du **Canal de la Havannah** et de ses **baies**, à l'exception des stations St03 et St05. La répartition verticale des concentrations semble s'inverser dans la **Baie du Prony** et à l'Île Ouen où elles se concentrent au fond hormis à la station St18.

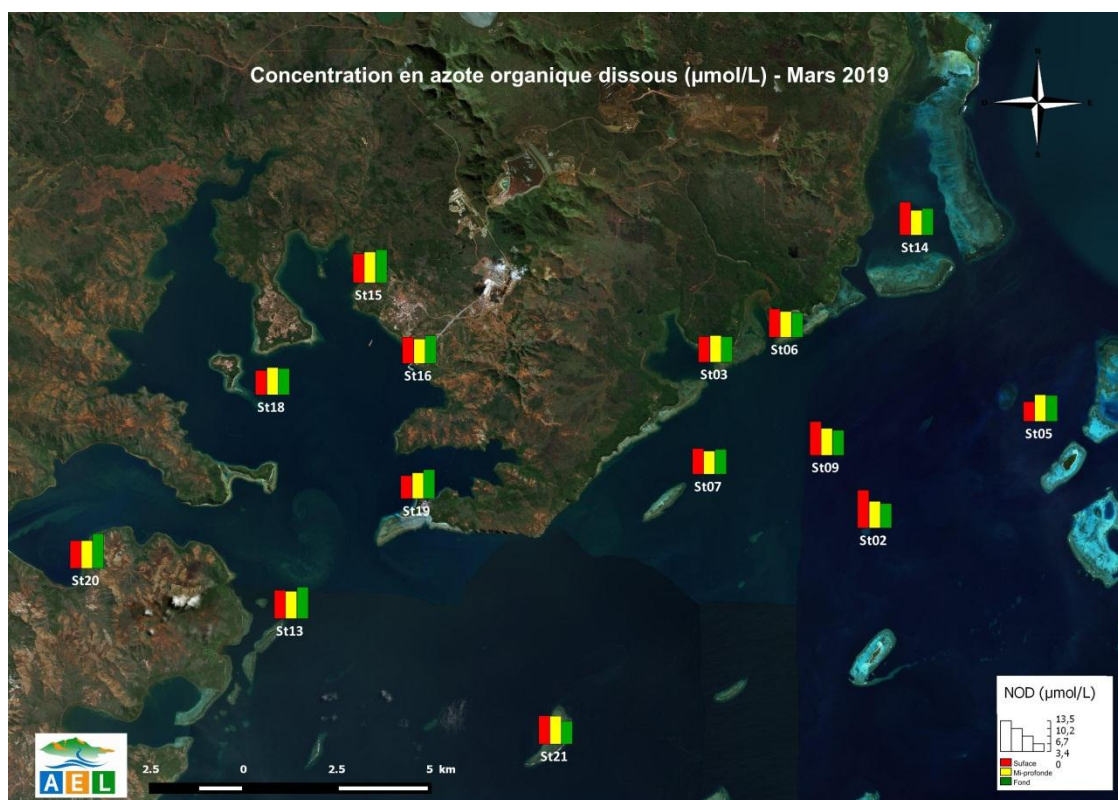


Figure 14 : Concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Le phosphore organique dissous (POD) est réparti selon un gradient côte-large croissant. (Figure 15, Tableau 6 et Annexe 6).

Les valeurs moyennes au niveau du **Canal de la Havannah** et de **l'île Ouen** sont semblables, respectivement de $0,150 \pm 0,084 \mu\text{mol/L}$ et $0,150 \pm 0,033 \mu\text{mol/L}$; elles sont comparativement supérieures à celles des baies du Canal, $0,123 \pm 0,053 \mu\text{mol/L}$ et $0,091 \pm 0,043 \mu\text{mol/L}$ pour St06 et St03. Par ailleurs, aucun gradient vertical n'est réellement visible et pour l'ensemble de la colonne d'eau, les valeurs maximales sont mesurées à la station St02.

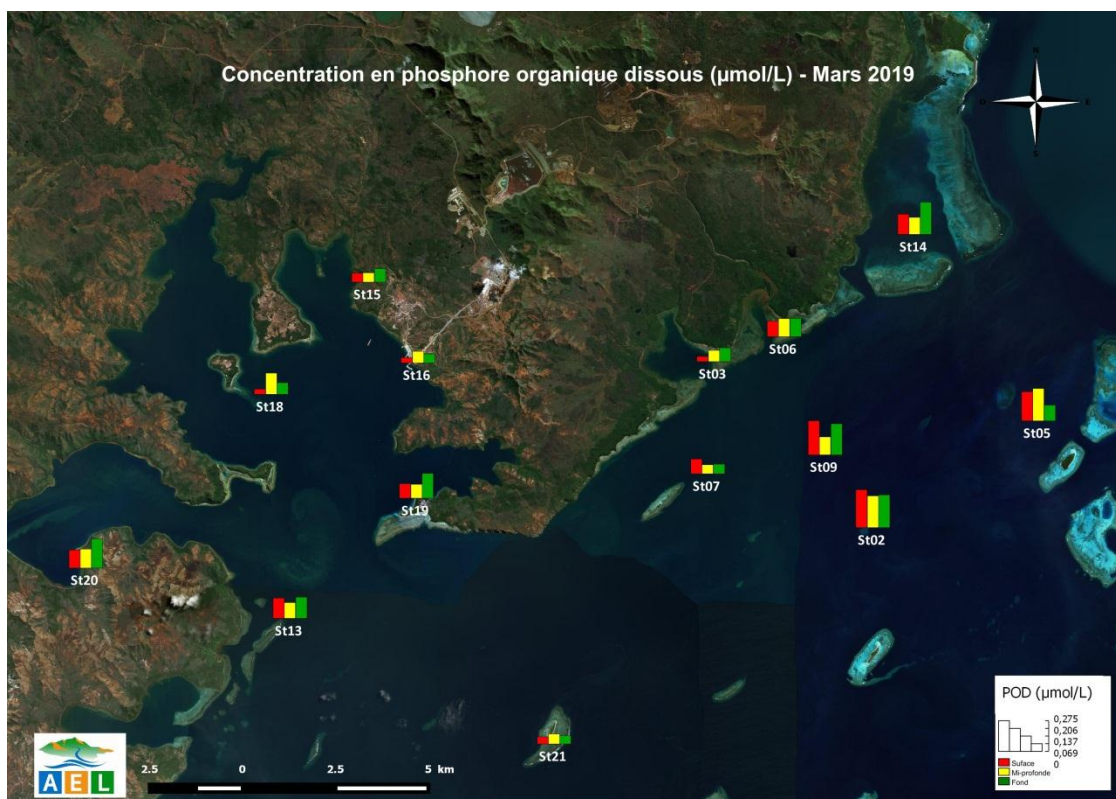


Figure 15 : Concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

2. Azote, carbone et phosphore organiques particuliers

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

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

Les concentrations d'azote organique particulaire (NOP) sont globalement homogènes sur la zone d'étude ($0,797 \pm 0,217 \mu\text{mol/L}$) et du même ordre de grandeur que les campagnes précédentes, sauf dans le **Canal de la Havannah** ($0,676 \pm 0,228 \mu\text{mol/L}$) où elles sont légèrement plus faibles. Une distribution verticale montrant des valeurs plus fortes en surface est observable, d'est en ouest, aux seules stations St14, St03 et St19. (Figure 16, Figure 18, Tableau 5 et Annexe 5).

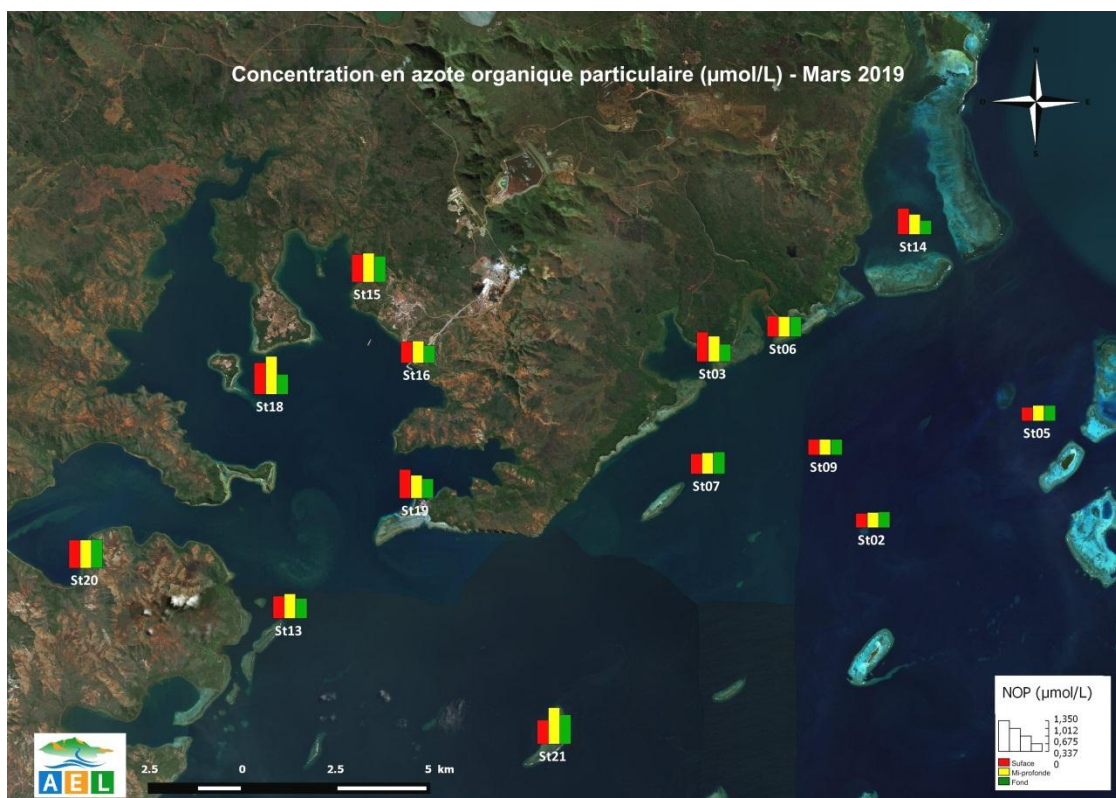


Figure 16 : Concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

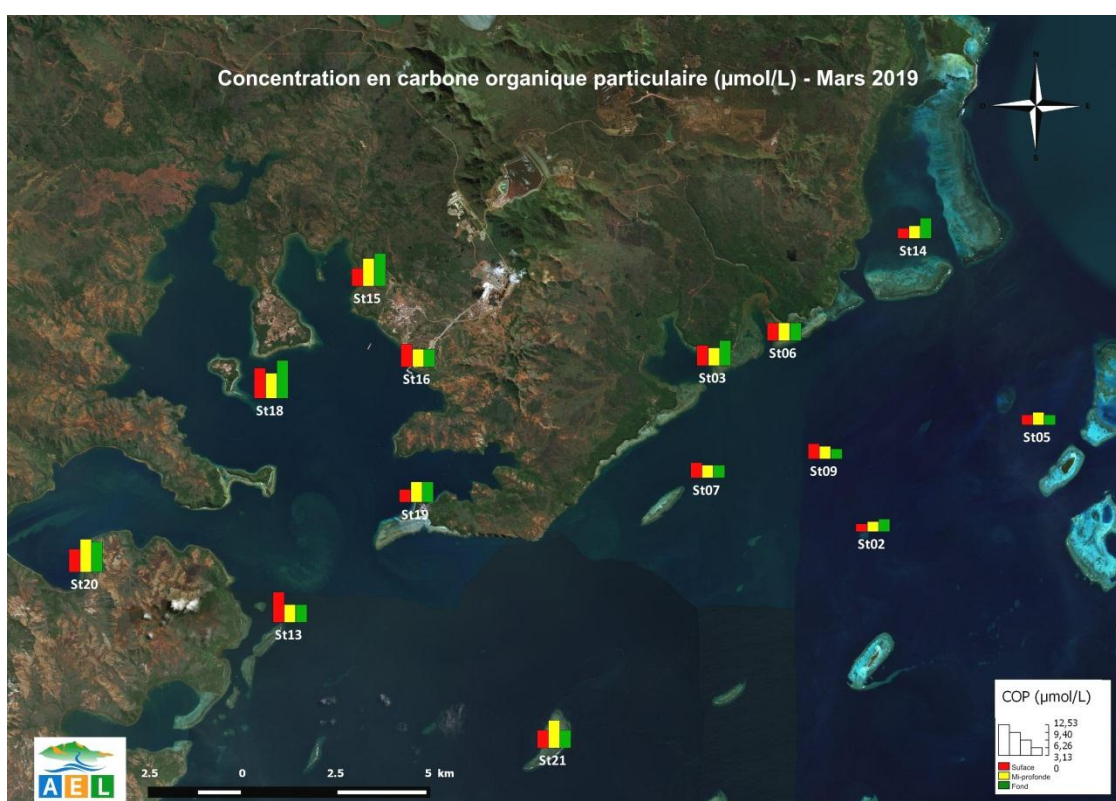


Figure 17 : Concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de 2019.

La concentration moyenne globale du carbone organique particulaire (COP) lors de cette campagne est légèrement inférieure à la moyenne des concentrations mesurées depuis 2009 avec respectivement $6,3 \pm 2,4$ $\mu\text{mol/L}$ en 2019 contre $10,2 \pm 5,5$ $\mu\text{mol/L}$ de 2009 à 2018. Sa répartition spatiale dessine deux ensembles (Tableau 6 et Figure 17) :

- **l'Ile Ouen** et la **Baie du Prony** où les concentrations moyennes sont plus élevées avec respectivement $8,4 \pm 2,2$ $\mu\text{mol/L}$ et $7,8 \pm 2,4$ $\mu\text{mol/L}$. Une valeur maximale a été mesurée en profondeur à St18.
- **Canal de la Havannah** et ses baies avec respectivement $4,4 \pm 1,6$ $\mu\text{mol/L}$ et $5,9 \pm 1,4$ $\mu\text{mol/L}$.

Il n'y a aucun gradient vertical réellement marqué excepté aux stations St15, St14 et St02 avec des concentrations plus élevées en profondeur.

En ce qui concerne le phosphore organique particulaire (POP), il est présent dans toute la zone d'étude à l'exception des stations du large et notamment au niveau du récif de la basse Chambeyron (St02). Bien que peu perceptibles, les concentrations les plus importantes sont mesurées dans la **baie du Prony** (Figure 18). Il est habituellement présent de façon aléatoire dans la colonne d'eau, toutefois lors de cette campagne il est majoritairement mesuré en surface de la colonne d'eau dans la baie du Prony et au niveau du Canal de la Havannah, aux stations St18, St03, St06 et St14.

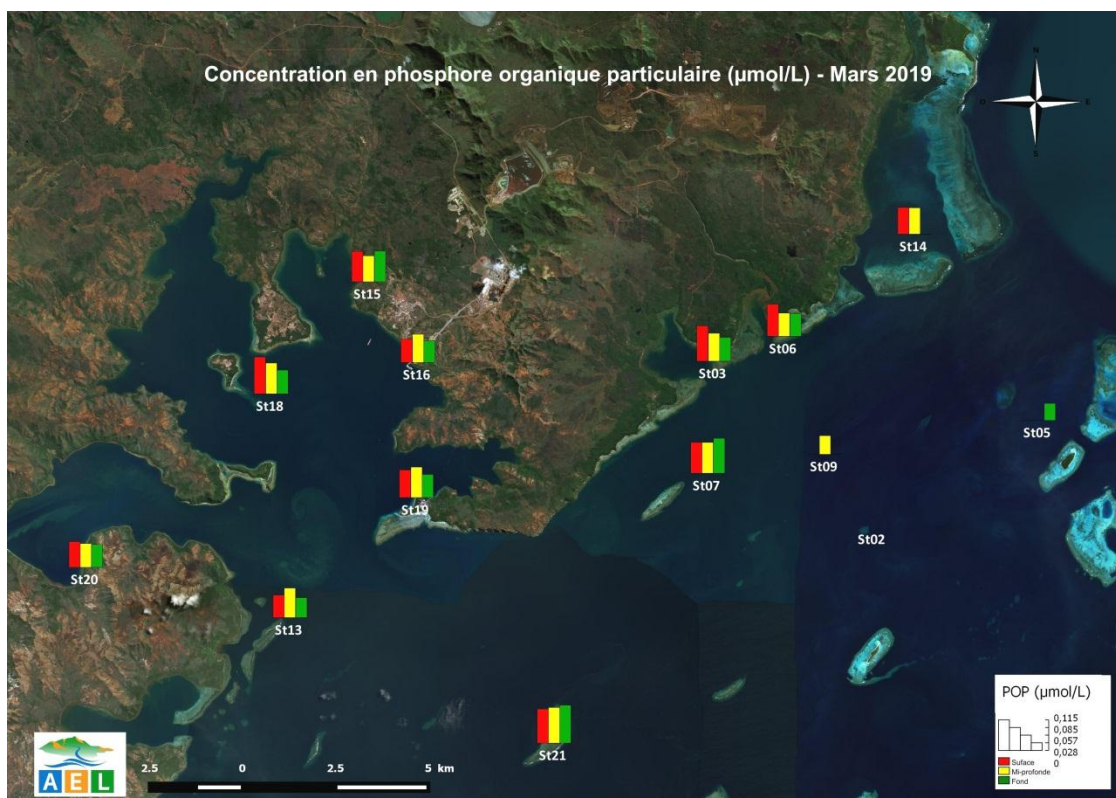


Figure 18: Concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone du lagon sud de la Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

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 2019.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	7,1	0,488	0,053	0,000	2,5
	Maximum	13,6	1,300	0,275	0,115	9,2
	Moyenne	9,5	0,676	0,150	0,046	4,4
	Ecart-type	1,6	0,228	0,084	0,050	1,6
Baies du Canal	Minimum	8,9	0,500	0,038	0,000	3,4
	Maximum	12,0	1,060	0,234	0,108	8,4
	Moyenne	9,7	0,767	0,123	0,074	5,9
	Ecart-type	0,9	0,172	0,053	0,030	1,4
Baie du Prony	Minimum	8,3	0,623	0,038	0,067	4,2
	Maximum	11,9	1,350	0,181	0,112	12,5
	Moyenne	9,9	0,903	0,091	0,085	7,8
	Ecart-type	1,0	0,211	0,043	0,013	2,4
Ile Ouen	Minimum	9,9	0,712	0,116	0,061	5,9
	Maximum	12,6	1,020	0,212	0,090	10,9
	Moyenne	10,7	0,899	0,150	0,074	8,4
	Ecart-type	1,1	0,128	0,033	0,010	2,2

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 en chlorophylle *a* déterminées lors de la campagne de mars 2019 sont représentées dans la Figure 19 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5.

La concentration moyenne mesurée cette année ($0,725 \pm 0,280\mu\text{g/L}$) dans la zone d'étude est nettement supérieure aux concentrations moyennes mesurées depuis le début du suivi (2009-2018 : $0,478 \pm 0,297\mu\text{g/L}$). Par ailleurs, alors que la répartition de ce pigment est habituellement assez homogène sur les 4 zones définies, pour cette campagne, il est davantage présent dans la Baie du Prony ($0,966 \pm 0,243\mu\text{g/L}$) et *a contrario* il est plus faible dans le **Canal de la Havannah** ($0,529 \pm 0,202\mu\text{g/L}$).

La distribution verticale en chlorophylle *a* montre qu'elle est essentiellement présente à mi-profondeur dans chacune des zones, à l'exception des stations St20, St13 St21 où elle est plus élevée au fond et la station St02 où elle est concentrée dans les eaux de surface. Ces résultats sont en lien avec les profils de fluorescence, montrant une intensité croissante à mi-profondeur des colonnes d'eau, exceptés pour St02 (Basse Chambeyron), St21 (Ilot Ugo) et St13 (pointe Nord du récif Ma) (Tableau 7, Figure 7 et Figure 19).

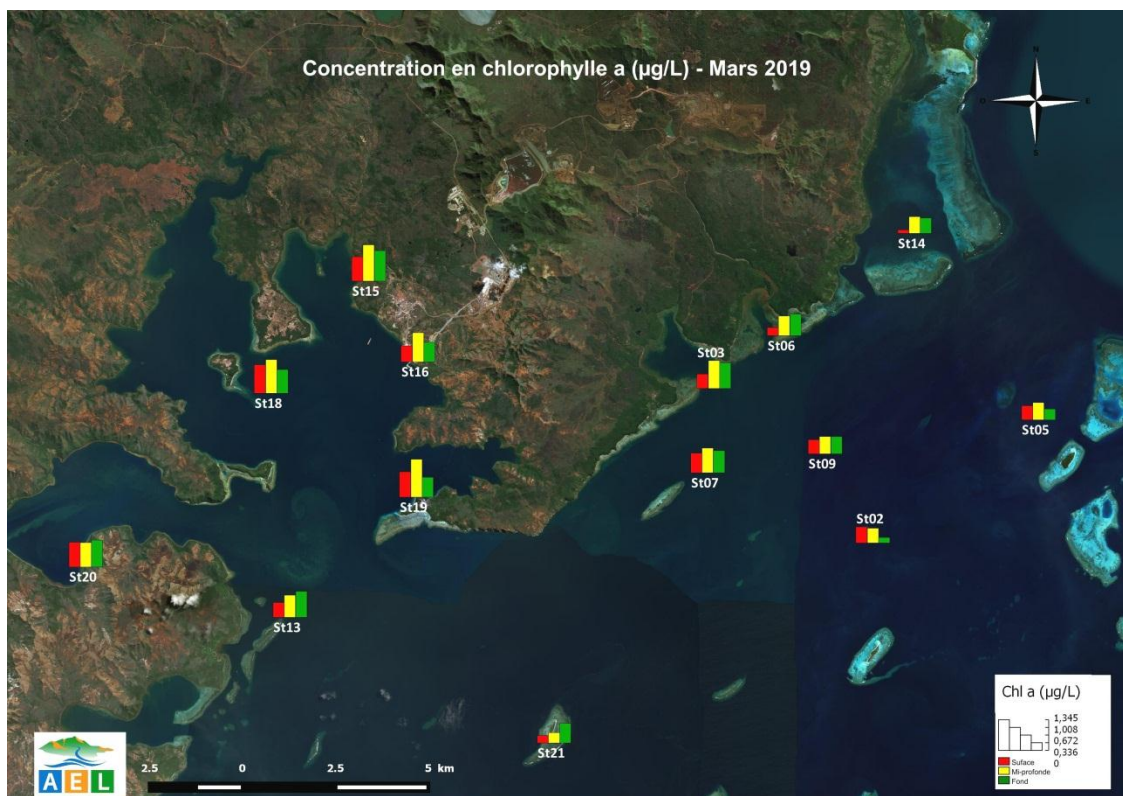


Figure 19 : Concentrations en chlorophylle *a* dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Tableau 7: Concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,195
	Maximum	0,880
	Moyenne	0,529
	Ecart-type	0,202
Baies du canal	Minimum	0,136
	Maximum	0,992
	Moyenne	0,609
	Ecart-type	0,277
Baie du Prony	Minimum	0,576
	Maximum	1,345
	Moyenne	0,966
	Ecart-type	0,243
Ile Ouen	Minimum	0,525
	Maximum	0,957
	Moyenne	0,827
	Ecart-type	0,158

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en azote, carbone et phosphore organiques particulières sont contrôlées par des processus biogéochimiques de dégradation. Ils dépendent essentiellement des apports en matières en suspension d'origines minérales et organiques dans la colonne d'eau via les cours d'eau. Ils peuvent occasionnellement être influencés par les apports atmosphériques et le mélange vertical avec des masses d'eau profonde.

Les COP, NOP, POP et Chl *a* ont une distribution spatiale « côte-large » décroissante, les concentrations les plus faibles étant mesurées dans le Canal de la Havannah. La concentration moyenne des COP et NOP est légèrement inférieure à celles mesurées depuis le début du suivi. En revanche celles des POP et de la Chl *a* font partie des moyennes parmi les plus hautes. Globalement, l'augmentation en Chl *a* pourrait être en lien avec les conditions climatiques exceptionnelles de la saison chaude 2019. Dans les baies, et en particulier en Baie du Prony, les fortes concentrations déterminées à mi-profondeur peuvent être attribuées aux fortes précipitations apportées par la perturbation OMA qui ont lessivés les bassins versants transportant de débris d'origine végétale.

Les concentrations les plus importantes en NOP et POP sont majoritairement mesurées en surface, au niveau des baies du canal.

Les COP sont mesurés dans les eaux profondes, au niveau des 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.

Remarque : Aucune valeur pour les métaux Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn n'a pu être mesurée pour la station St18-S, dû à un problème technique lors de l'analyse. Ainsi la mention « NT » a été reportée dans le tableau des valeurs en Annexe 6.

Les concentrations en métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle de mars 2019 sont regroupées dans les Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24, Figure 25, Figure 26, Figure 27 et dans les Tableau 8 et Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Aucune concentration de **Cd** n'a été mesurable lors de cette campagne, ce métal n'étant présent qu'à l'état d'ultra-traces dans les roches latéritiques du sud calédonien ([Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981](#)), le fond géochimique est infinitésimal.

Pour le **Fe**, une seule valeur a été mesurée à mi-profondeur de la station St21 ($n=0,134\mu\text{g/L}$) (Annexe 6).

Seulement quelques concentrations en **Cu** ont été quantifiables, essentiellement en surface aux stations St 05, St13, St16, St20 et St21 et en profondeur à la station St07.

Le **Pb** et le **Zn** sont habituellement peu souvent détectés dans l'eau de mer de l'aire d'influence de Vale-NC. Durant cette campagne, ils ont été quantifiés dans les quatre zones géographiques à l'exception du Zn, absent dans la baie du Prony. Ces deux métaux sont principalement présents en surface de la colonne d'eau, à l'exception de 3 valeurs pour Pb mesurées dans les couches de mi-profondeur et au fond (stations St06-M, St21-M et St07-F) et d'une valeur maximale pour Zn (station St07-F ; (Figure 24 et Figure 27).

Le **Co** est quantifiable uniquement au niveau des baies du Canal (St03 et St06), de la Baie du Prony (St18, St15, St16 et St19) et de l'Île Ouen (St20), c'est-à-dire, à proximité immédiate des sources terrigènes. Il est concentré essentiellement dans les eaux de surface avec une valeur maximale à la station St03 ($0,217\mu\text{g/L}$). A la station St15, il est mesuré aux 3 niveaux de profondeur. Aucune valeur quantifiable n'est mesurée dans le Canal de la Havannah (Figure 21).

Les concentrations moyennes d'**As** sur l'ensemble de la zone d'étude sont assez stables ($1,89 \pm 0,23\mu\text{g/L}$) et du même ordre de grandeur que durant les campagnes précédentes. Aucune tendance spatiale claire n'est constatée, les concentrations étant très homogènes (Figure 20). L'arsenic est un élément ubiquiste dont les variations sans un apport tiers exceptionnel sont à lier avec l'évolution naturelle du milieu (Figure 20)

Les métaux latéritiques: **Mn**, **Ni**, **Cr^{VI}**, et **Cr-total** sont présents dans toute la zone d'étude à des concentrations très variables. (Figure 25, Figure 26, Figure 22, Figure 23 et Tableau 8 et Tableau 9). Ils présentent dans l'ensemble, une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante bien définie qui concorde avec les profils de salinité montrant de fortes dessalures. Ce gradient « côte-large » décroissant montre que les concentrations moyennes les plus faibles sont mesurées dans le Canal Havannah, les valeurs les plus fortes étant décelées dans les baies du Canal et dans la Baie du Prony; la distribution verticale disparaissant

progressivement vers les stations les plus éloignées de la côte. Les concentrations nettement plus élevées dans les eaux de surface sont mesurées aux stations St03 (sauf pour Mn), St06 et St15, lieux de déversement des eaux douces.

En dépit des résultats manquants pour le Mn, Ni et le profil de salinité, les concentrations mesurées en surface de la station St18 pour le **Cr^{VI}** et le **Cr-total** montrent également que des valeurs sont plus élevées qu'aux autres niveaux de la colonne d'eau (Figure 22, Figure 23, Figure 25 et Figure 26).

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 2019.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Cr ^{VI}	Cr-total	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,58	<0,025	0,154	0,180	<0,027	0,026
	Maximum	2,23	<0,025	0,189	0,356	<0,027	0,078
	Moyenne	1,82	<0,025	0,167	0,248	<0,027	0,046
	Ecart-type	0,20	-	0,009	0,042	-	0,025
Baies du Canal	Minimum	1,65	<0,025	0,178	0,228	0,027	<0,025
	Maximum	2,39	<0,025	4,200	4,240	0,217	<0,025
	Moyenne	1,93	<0,025	0,856	0,995	0,110	<0,025
	Ecart-type	0,21	-	1,390	1,452	0,095	-
Baie du Prony	Minimum	1,64	<0,025	0,174	0,240	0,033	0,025
	Maximum	2,31	<0,025	0,654	0,754	0,160	0,025
	Moyenne	1,98	<0,025	0,330	0,414	0,069	(n=1) 0,025
	Ecart-type	0,23	-	0,149	0,168	0,042	-
Ile Ouen	Minimum	1,31	<0,025	0,159	0,222	0,029	0,028
	Maximum	2,08	<0,025	0,220	0,268	0,034	0,144
	Moyenne	1,75	<0,025	0,189	0,249	0,031	0,086
	Ecart-type	0,30	-	0,028	0,019	0,004	0,082

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 2019.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	0,134	0,072	0,119	0,114	1,099
	Maximum	0,134	0,200	0,222	1,357	5,833
	Moyenne	(n=1) 0,134	0,136	0,147	0,328	2,380
	Ecart-type	-	0,042	0,028	0,458	2,309
Baies du Canal	Minimum	<0,059	0,167	0,195	0,125	1,485
	Maximum	<0,059	2,585	2,734	0,567	1,485
	Moyenne	<0,059	0,505	0,703	0,257	(n=1) 1,485
	Ecart-type	-	0,782	0,965	0,210	-
Baie du Prony	Minimum	<0,059	0,096	0,139	0,126	<1,00
	Maximum	<0,059	1,118	0,862	1,360	<1,00
	Moyenne	<0,059	0,283	0,290	0,581	<1,00
	Ecart-type	-	0,290	0,205	0,678	-
Ile Ouen	Minimum	<0,059	0,152	0,117	0,115	1,550
	Maximum	<0,059	0,270	0,234	0,818	1,550
	Moyenne	<0,059	0,209	0,191	0,467	(n=1) 1,550
	Ecart-type	-	0,039	0,044	0,497	-

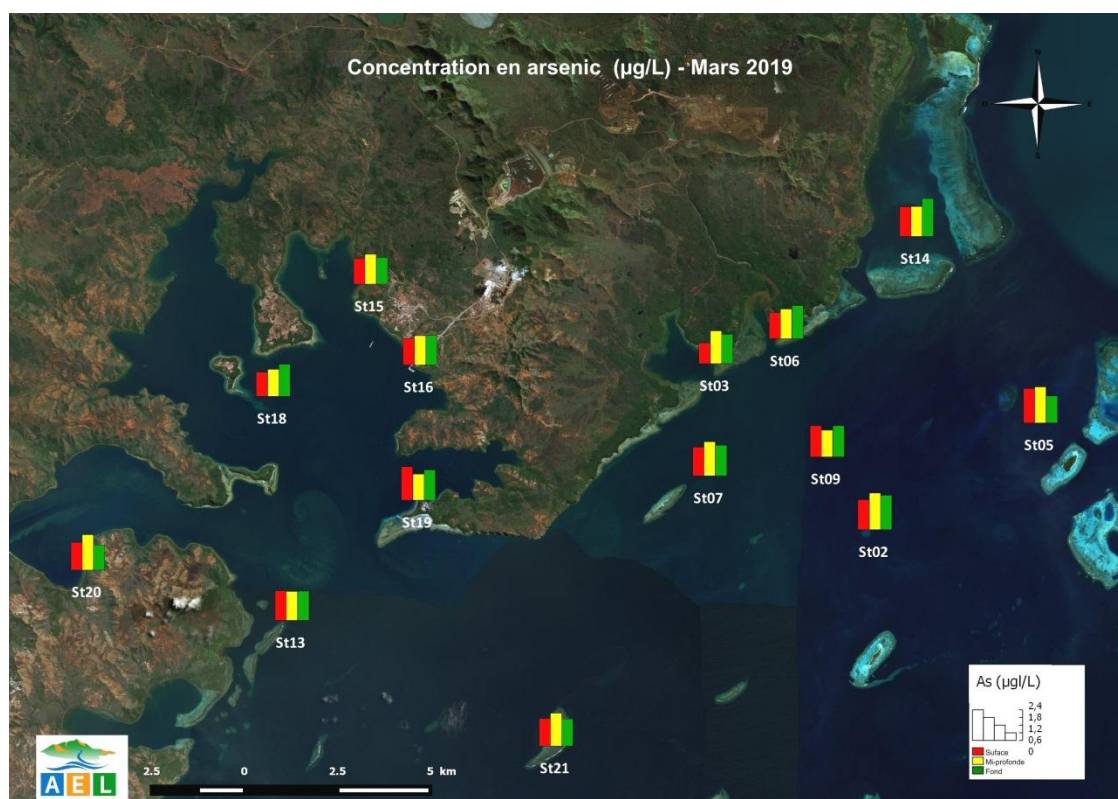


Figure 20 : Concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

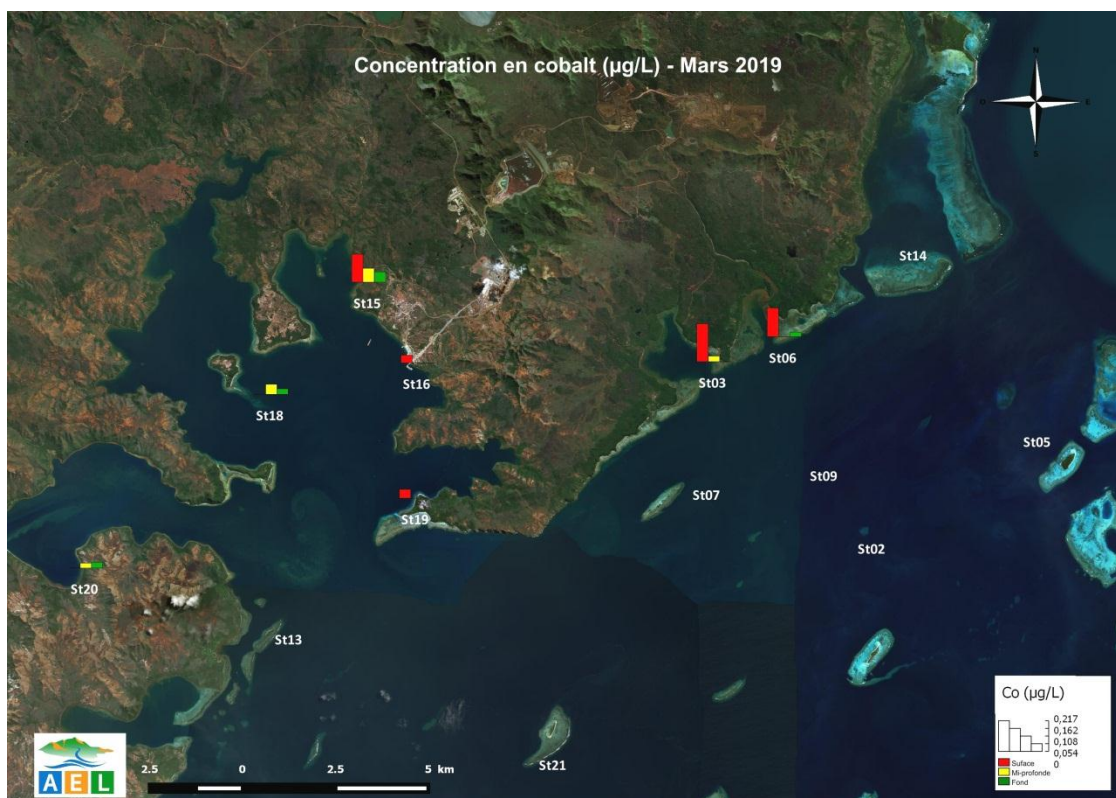


Figure 21: Concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

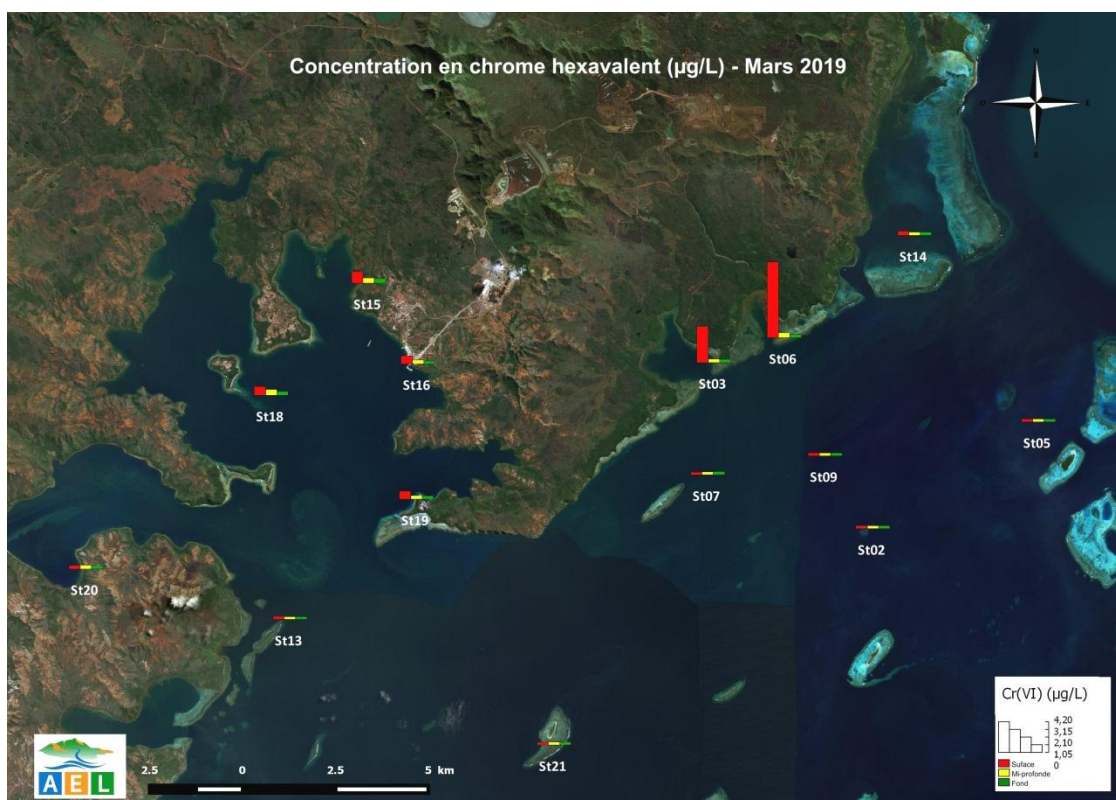


Figure 22 : Concentrations en chrome (Cr(VI)) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

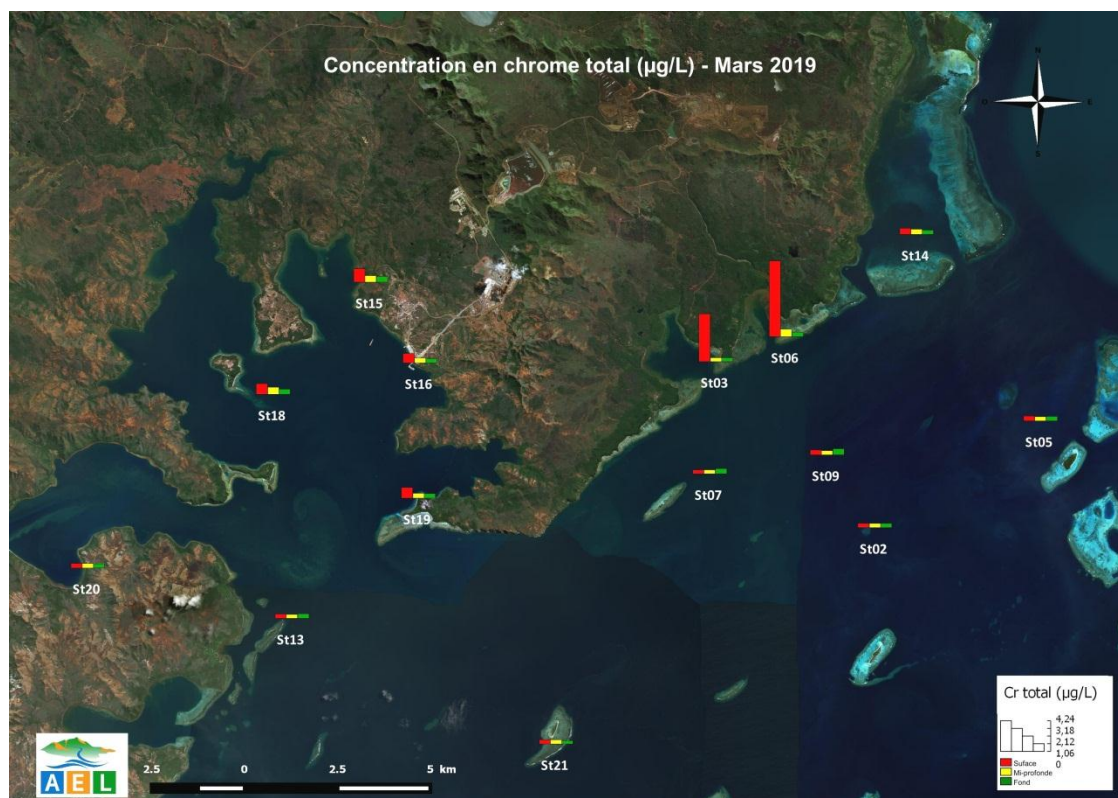


Figure 23: Concentrations en chrome total (Cr-total) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

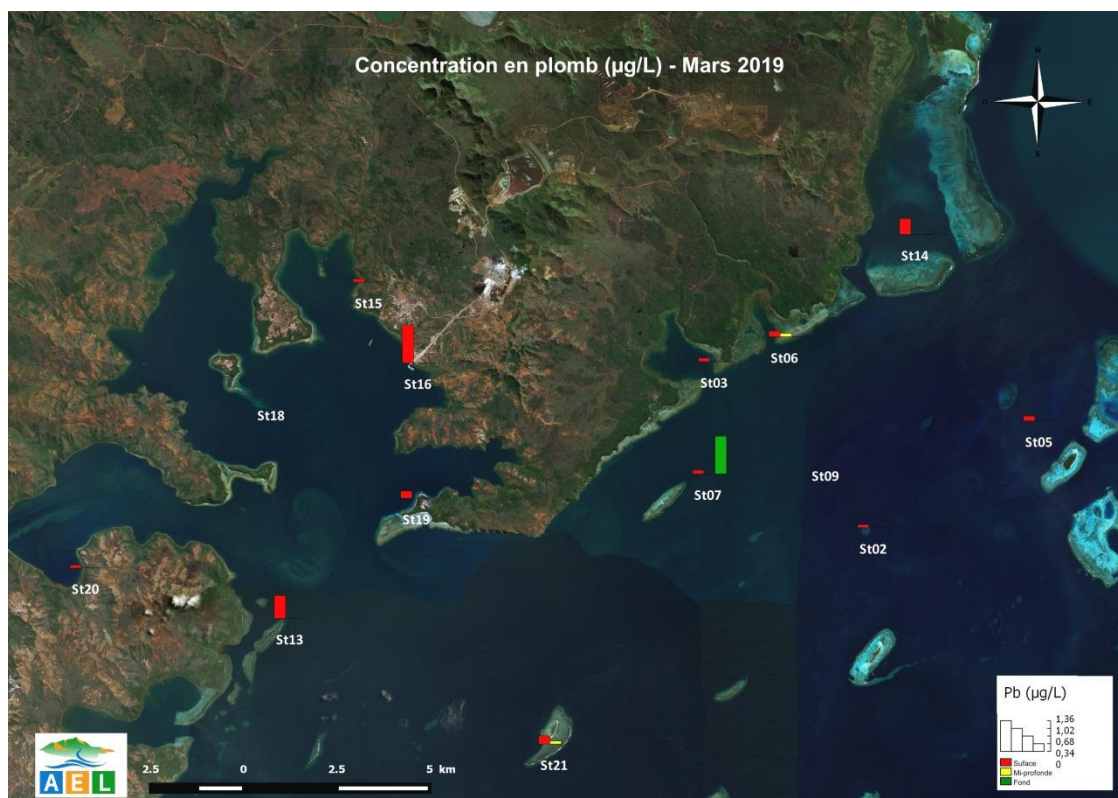


Figure 24: Concentrations en (Pb) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019

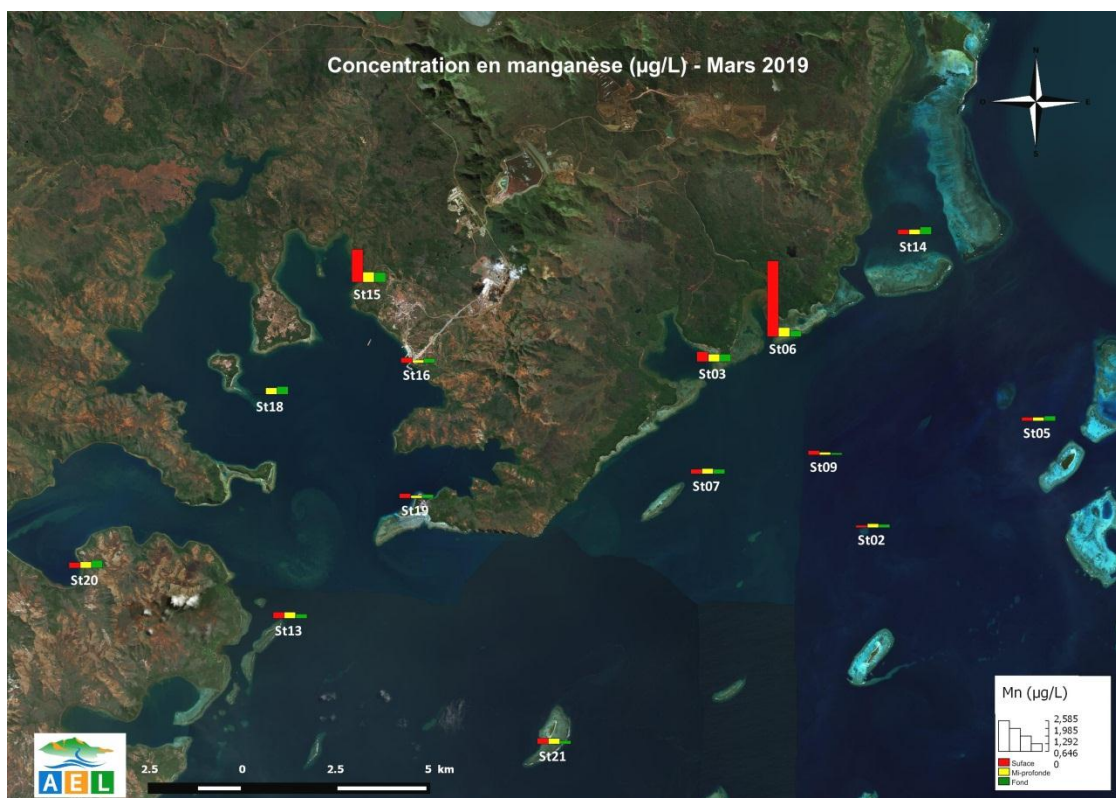


Figure 25 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

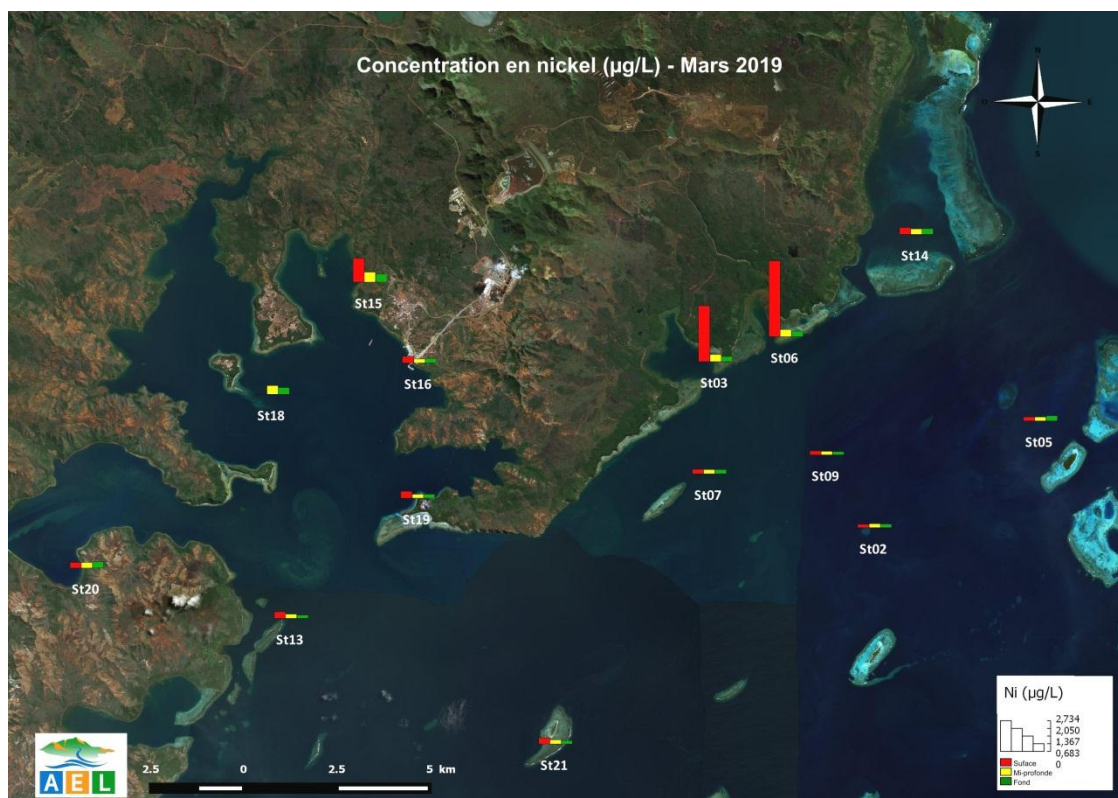


Figure 26 : Concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

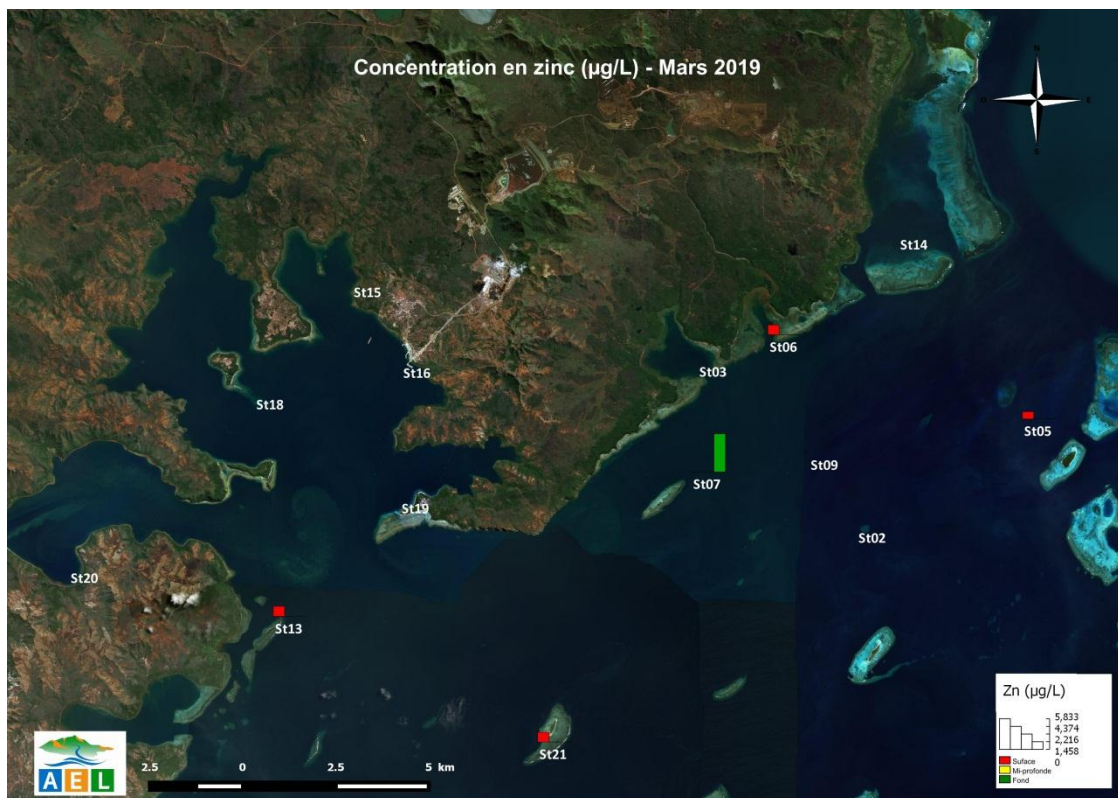


Figure 27: Concentrations en zinc (Zn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019.

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en métaux dissous (**Co**, **Cr^{VI}**, **Cr-total**, **Mn** et **Ni**) présentent une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante. Ces métaux proviennent indirectement de la composition du sol latéritique dans lequel ils sont prédominants dans le sud néocalédonien. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau et sont localisées dans les baies du Canal et la Baie du Prony. Cette distribution est particulièrement évidente aux stations St03, St06 et St15 et correspond avec la dessalure induite par les eaux douces déversées par les creeks. Cet apport constitue le principal terme source en métaux dissous (et particulaires).

Les mécanismes de dilution font que ces métaux se retrouvent en moindre quantité au niveau des stations de l'île Ouen et surtout du Canal de la Havannah, cette zone étant très majoritairement influencées par les apports océaniques provenant de la passe ouvrant sur le Pacifique.

Les concentrations en As ne présentent pas de distribution particulière du fait de son ubiquité dans l'environnement marin néocalédonien. Inversement, le Cd étant dans l'environnement latéritique à l'état de traces, il est le plus souvent non quantifiable.

Quelques concentrations de Cu, Pb et Zn ont pu être quantifiées essentiellement en surface à l'exception de quelques valeurs mesurées à mi-profondeur (St06 et St21 pour Pb) et au fond (St07 pour ces 3 métaux).

Les concentrations d'As restent du même ordre de grandeur que celles déterminées lors des campagnes « saison chaude » depuis 2007. Cr^{VI}, Cr-total, Co, Mn et Ni mesurées lors de la campagne de mars 2019 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 précédant) et pendant les campagnes entre 2007 et 2019, a été reporté, pour rappel, dans la Figure 28.

Il est à noter que la campagne de 2017 est caractérisée par une très forte pluviométrie, durant la campagne de prélèvement, tout comme les quantités d'eau mesurées avant les campagnes de 2018 et 2019 inégales depuis le début du suivi.

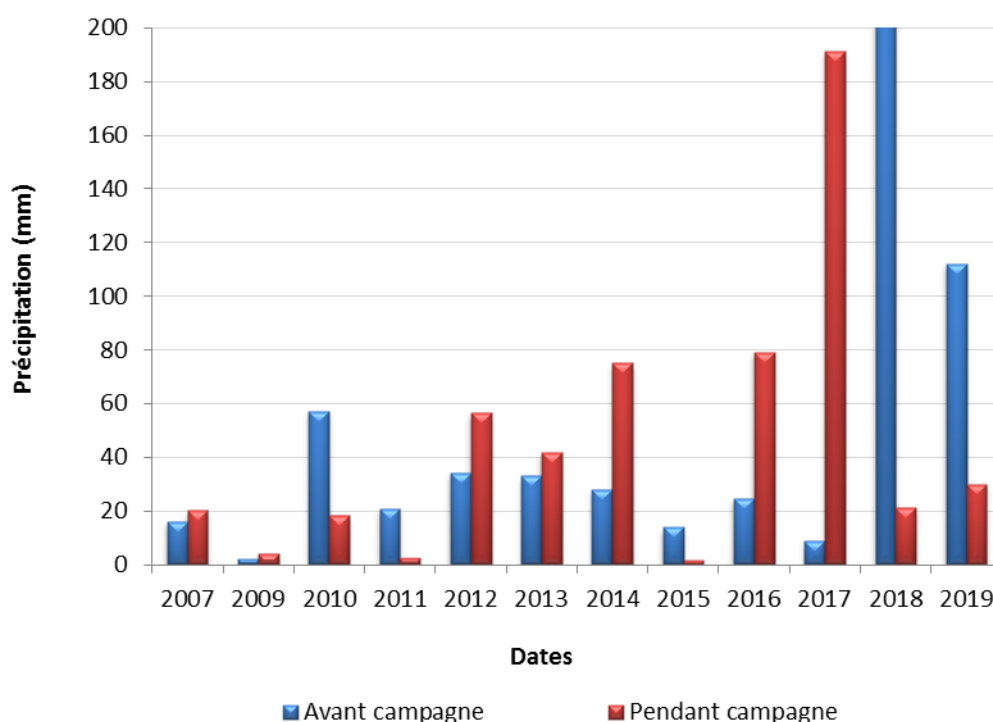


Figure 28 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2019; données météorologiques enregistrées à la station d'observation de GORO USINE.

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 29, Figure 30, Figure 31, Figure 32. Leur évolution a été étudiée aux 4 « stations sentinelles » St05, St09, St06 et St15.

1. Ammonium

Globalement, les valeurs mesurées dans le Canal montrent quelques variations. La légère tendance à l'augmentation des concentrations moyennes en NH_4 , visible au niveau de la station St09 en 2015, 2017 et 2019, n'est pas significative.

Au niveau des stations de baies, les concentrations en NH_4 sont plus variables que dans le canal. Les concentrations moyennes les plus élevées par campagne sont également celles qui ont un écart type supérieur à celui de la moyenne globale. Par conséquent, aucune tendance globale ne se vérifie.

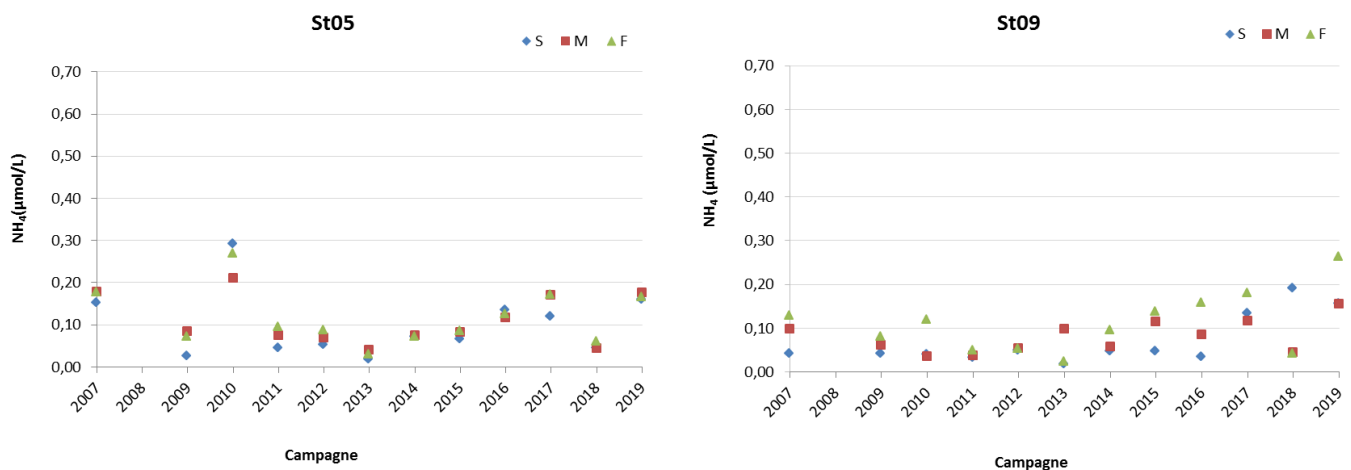


Figure 29: Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019)

A la station St05, à l'exception des valeurs de 2010, les concentrations en NH_4 ne diffèrent que très peu d'une année à l'autre et d'un niveau à l'autre en raison du fort hydrodynamisme et du fait de la proximité avec le récif barrière ; les concentrations restent parmi les plus faibles.

A la station St09, la concentration moyenne mesurée lors de cette campagne ($0,19 \pm 0,06 \mu\text{mol/L}$) et la moyenne mesurée depuis l'état initial ($0,08 \pm 0,06 \mu\text{mol/L}$) divergent d'un facteur 2. Toutefois, cet écart s'atténue si l'on prend en compte les concentrations moyennes d'avril 2017 ($0,14 \pm 0,03 \mu\text{mol/L}$) et de mars 2018 ($0,09 \pm 0,09 \mu\text{mol/L}$), périodes influencées par COOK et HOLA, respectivement deux cyclones tropicaux. A l'exception de ces 2 périodes, les valeurs moyennes oscillent entre 0,02 et 0,10 $\mu\text{mol/L}$.

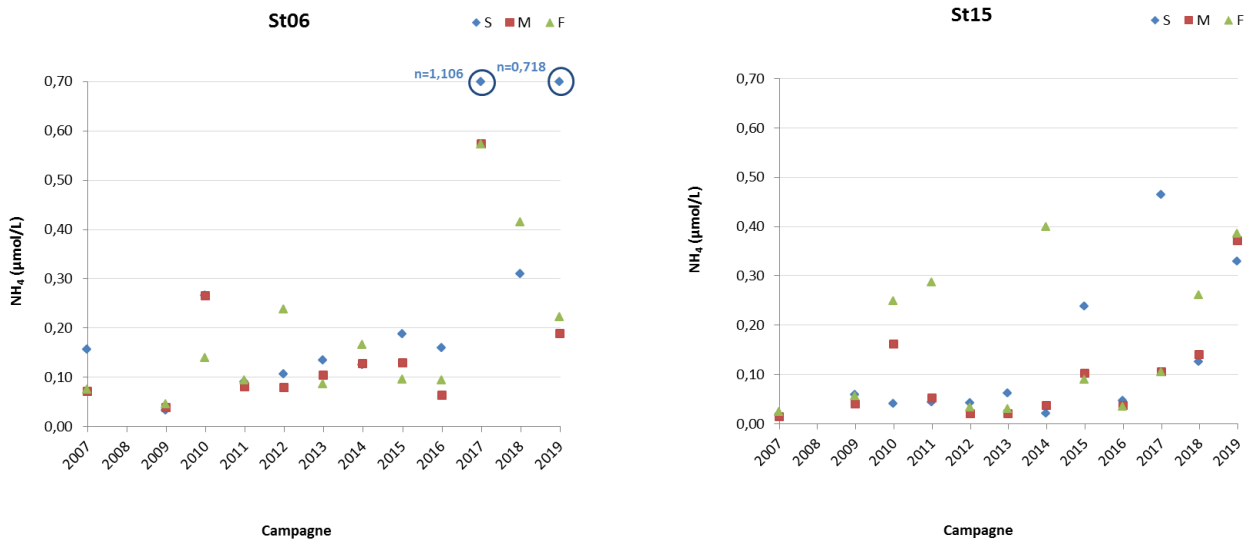


Figure 30: Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019)

Concernant les stations St06 et St15, on remarque que les concentrations sont beaucoup plus variables entre les campagnes ainsi qu'au sein même de la colonne d'eau, comme par exemple en St06 pour 2010 (S), 2012 (F), 2017 (S), 2018 (F), 2019 (S) et en St15 pour 2010 (F), 2011(F), 2014 (F), 2015 (S), 2017 (S), 2018 (F) et 2019 (S,M,F). Ces observations sont en grande 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). Il n'y a donc pas de tendance globale sur l'évolution des concentrations en NH_4 entre les campagnes.

2. Nitrates et nitrites

Les concentrations de NO_3+NO_2 mesurées au niveau des stations des Baies sont relativement stables, comparativement à celles du Canal. Néanmoins, aucune tendance particulière ne s'en dégage.

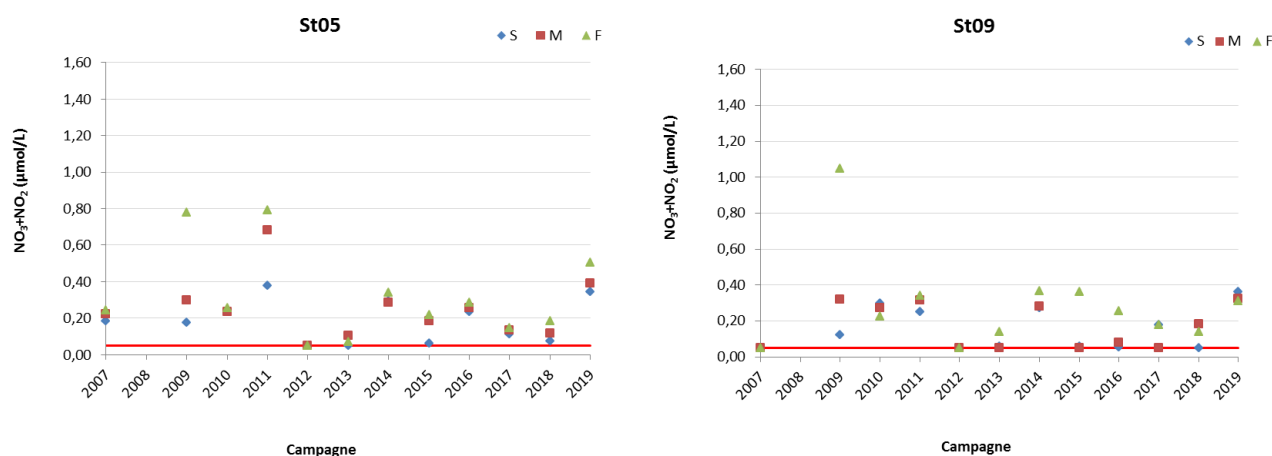


Figure 31 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019) La ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

Les concentrations mesurées aux stations St05 et St09 sont très faibles. Les quelques variations inter-campagnes observées en 2009 aux deux stations puis en 2011 et 2019 à la station St05 ne sont pas significatives. Toutefois, il semblerait qu'à cette station, le couple NO_3+NO_2 se concentre plus au fond, comme constaté également pour le NH_4 .

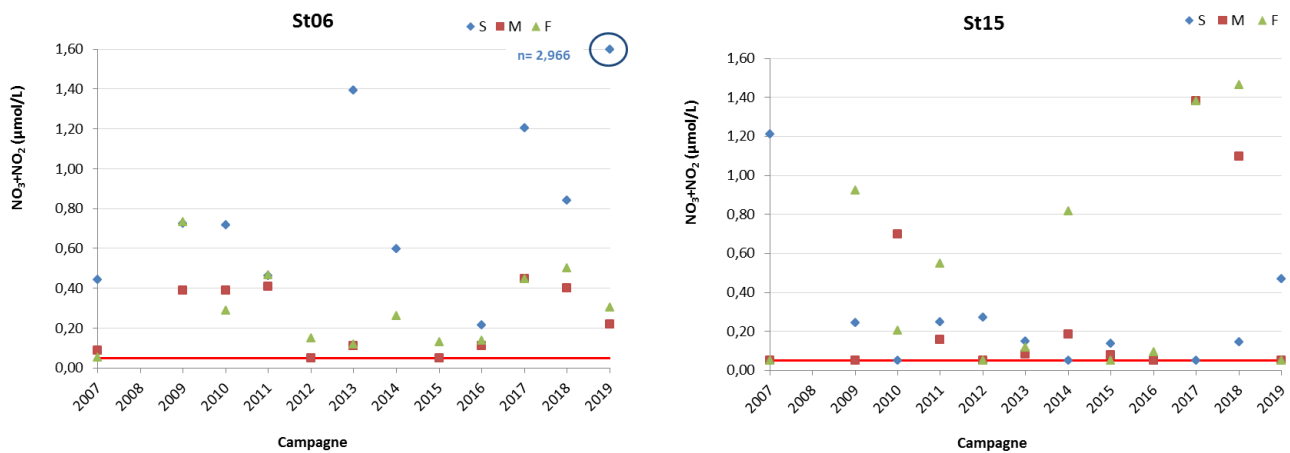


Figure 32 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

Pour les stations des baies, St06 et St15, les concentrations en NO_3+NO_2 sont assez variables dans le temps. Ces composés semblent davantage concentrés dans les eaux de surface de la station St06 et quelques augmentations importantes ont aussi été observées en 2013, 2017 et 2019 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 grande variabilité des concentrations dans la colonne d'eau permet de constater qu'aucune tendance significative ne se profile.

Ce qu'il faut retenir :

En ce qui concerne les concentrations en NH_4 et NO_3+NO_2 , les plus fortes variations interannuelles sont observables aux stations de baies (St06 et St15), alors qu'aux stations du Canal (St05 et St09), les concentrations sont relativement constantes depuis le début du suivi physico-chimique. Cette distinction est le reflet des différentes contributions terrigènes ou marines qu'elles subissent et pour ces dernières l'effet également de la stratification des eaux.

La répartition des NH_4 et NO_3+NO_2 à la station St06 se fait selon un gradient « surface-fond » qui semble en légère augmentation.

En résumé, les concentrations mesurées au niveau des quatre stations sentinelles montrent nettement l'influence des facteurs climatiques (flux d'énergie solaire, précipitations, vents, hydrodynamisme...) et saisonnier dans le cycle naturel de transformation de l'azote. A ces processus physiques et géochimiques viennent s'ajouter les processus biologiques internes à l'océan, d'addition, de suppression et de transport de la matière : ces sont l'incorporation de sels nutritifs comme l'azote par les algues unicellulaires du phytoplancton, les excréments par les herbivores et la régénération sous la forme minérale stable par l'action des bactéries.

Globalement, malgré la présence de concentrations plus importantes durant cette campagne aux stations St06 (NO_3+NO_2 -F et NH_4 -S) et St15 (NH_4 -S, M et F), aucune tendance verticale ni temporelle ne semble se dessiner

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. Tout d'abord, les stations directement soumises aux influences terrigènes (St03, St06 et St15) puis les stations soumises aux influences océaniques (St05, St07 et St09). Cette étude est reportée dans les Figure 33 à Figure 39.

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

Les concentrations en métaux dissous pour les 3 stations des baies (St03, St06 et St15) présentent une relative variabilité inter-campagne, notamment au niveau des couches de surface. Cette variabilité peu s'apprécier par les variances respectives et par le coefficient de détermination (R^2) décrivant la distribution des concentrations par niveau (Figure 33 à Figure 39). Toutefois dans l'ensemble, comparées aux stations St03 et St06, les concentrations en Co, Cr^{VI}, Mn et Ni sont plus variables dans la colonne d'eau à la station St15. Par ailleurs, on observe pour Mn une répartition verticale des concentrations plus hétérogène que pour les autres métaux. En effet, les concentrations de Co, Ni et Cr^{VI}, sont nettement plus élevées dans les eaux de surface et les valeurs diminuent avec la profondeur.

En résumé, les concentrations en Co, Cr^{VI} et Ni les plus importantes ont été mesurées en 2019 dans les eaux de surface à la station St03, probablement en lien avec les apports en eaux douces concomitant de la forte pluviométrie de fin février et mars 2019.

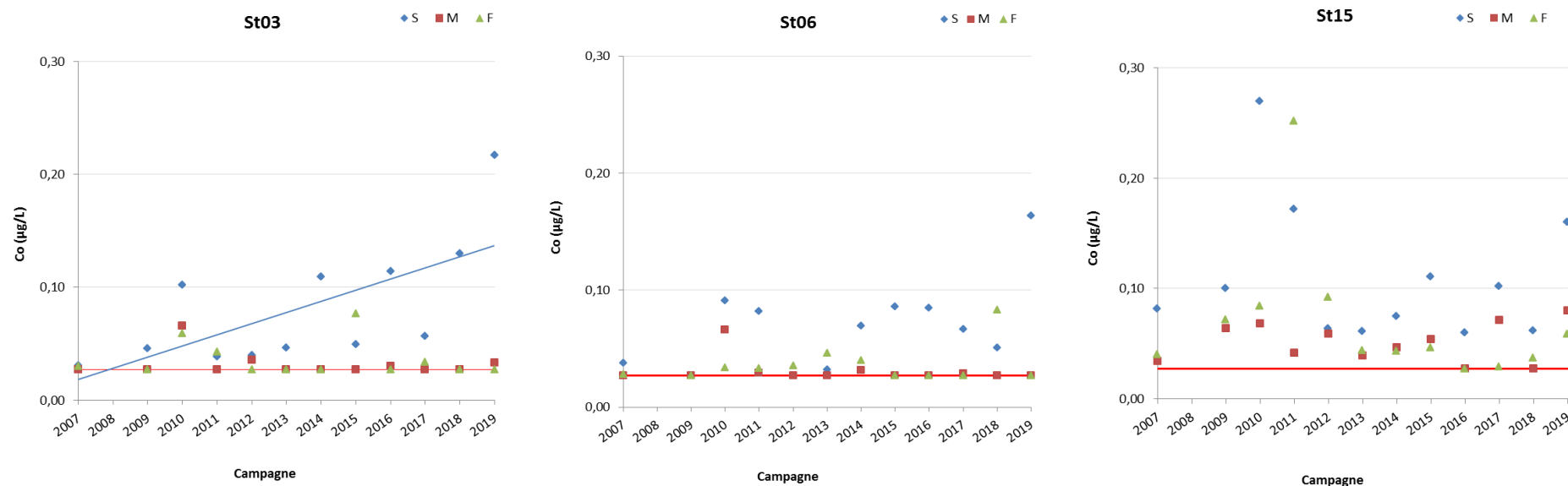


Figure 33 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

Les concentrations en **Co** sont souvent supérieures aux valeurs de l'état de référence de 2007, notamment pour les eaux de surface des stations St03 et St06 en 2010, 2011, 2015, 2016, 2018 et 2019 (Figure 33). Une légère tendance positive s'observe en surface de la station St03 avec un coefficient de détermination de R^2 de 0,454. En revanche, cette tendance est accentuée par la concentration la plus élevée de 0,217 µg/L en 2019. Il n'y a aucune tendance visible à la station St15, les valeurs étant trop dispersées.

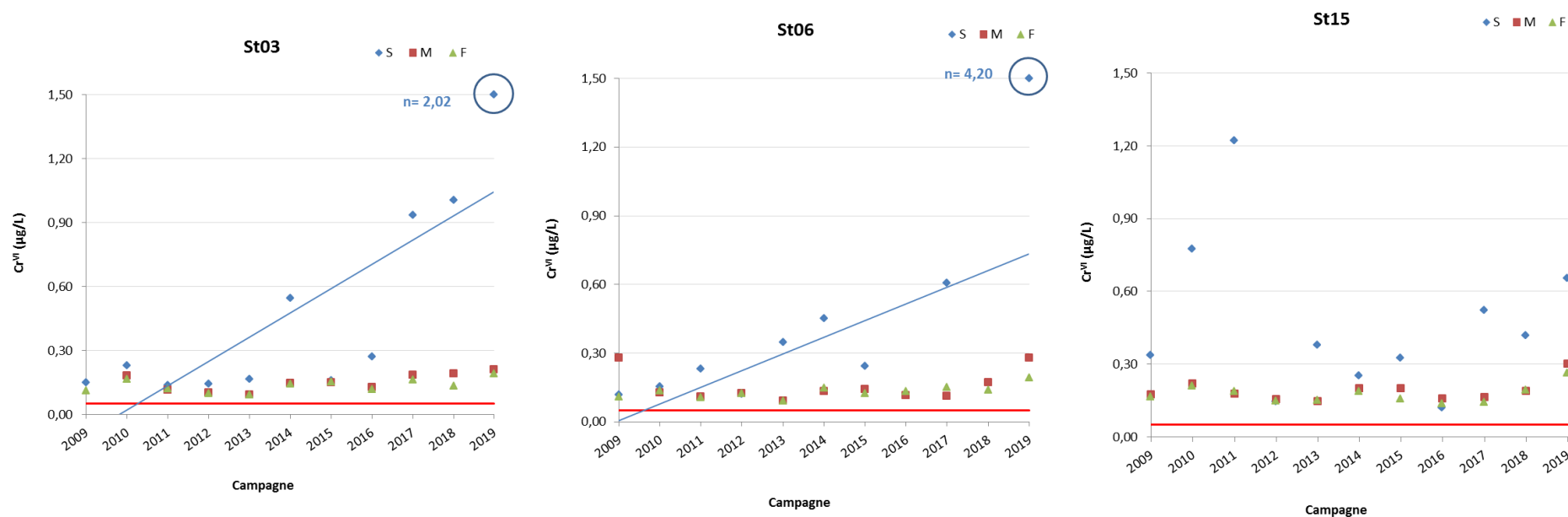


Figure 34 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu g/L$).

On distingue, Figure 34, une légère augmentation des concentrations en Cr^{VI} dans les eaux de surface avec des concentrations se distribuant de manière croissante aux stations St03 ($R^2 = 0,595$) et, dans une moindre mesure, St06 ($R^2 = 0,292$). Au niveau de ces deux stations, les concentrations de surface sont peu variables, à l'exception de deux concentrations maximales mesurées en 2019 de 2,02 $\mu g/L$ et 4,20 $\mu g/L$, respectivement. En comparaison, aucune évolution n'est constatée à la station St15.

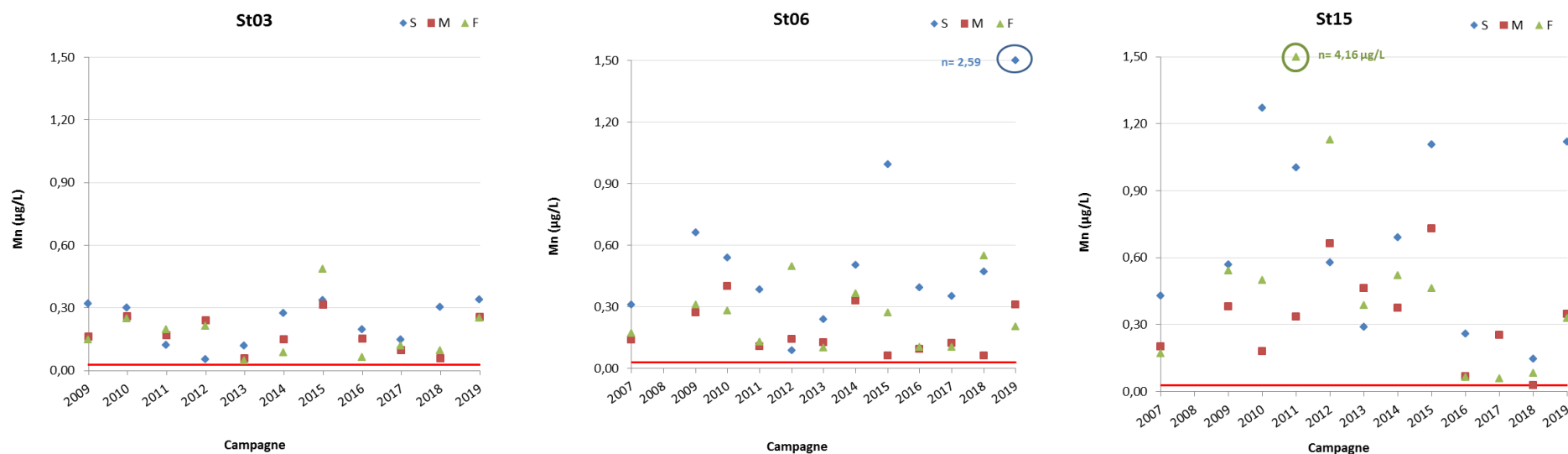


Figure 35 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

Les valeurs de **Mn** sont peu dispersées à la station St03 mais ne présentent aucune évolution temporelle (Figure 35). En revanche, aux stations St06 et St15, les concentrations sont dispersées, comme le traduisent leurs écart-types respectifs (St06-S = $0,627 \pm 0,431 \mu\text{g/L}$; St06-M = $0,181 \pm 0,115 \mu\text{g/L}$ et St15-S = $0,643 \pm 0,392 \mu\text{g/L}$; St15-M = $\mu\text{g/L}$ et St15-F = $\mu\text{g/L}$). A la station St06, les eaux de surface montrent une valeur exceptionnellement élevée en 2019 (2,59 µg/L). Une part de cette variabilité est toutefois liée au comportement intrinsèque du Mn qui dénote par sa propension à une rapide précipitation.

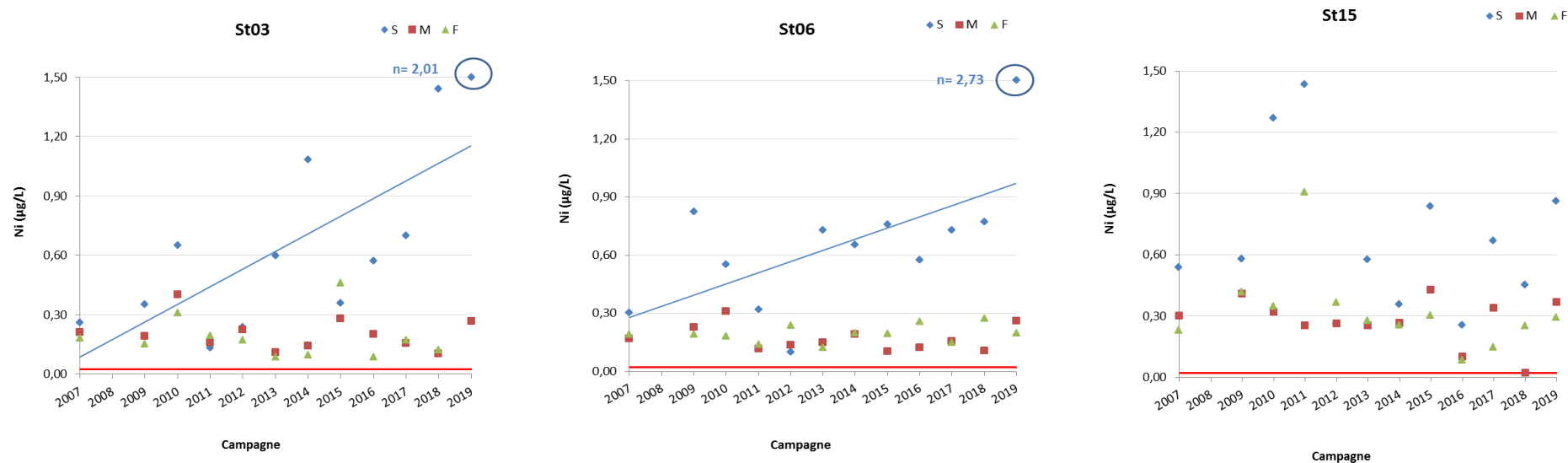


Figure 36 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

Les concentrations en **Ni** sont variables aux trois niveaux de profondeur essentiellement à la station St15. Deux valeurs fortes aux stations St03-S (2,01 µg/L) et St06-S (2,73 µg/L) en 2019 accentuent la variabilité des données. Les profils temporels pour le Ni (Figure 36) sont semblables à ceux du Co, ces deux métaux d'origine terrigène ayant des comportements chimiques proches.

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

Sur l'ensemble des campagnes effectuées aux stations sentinelles du Canal, les concentrations de Co restent régulièrement en dessous des limites de quantification ($<0,027 \mu\text{g/L}$) et ne sont plus représentées graphiquement.

Les concentrations mesurées à ces stations d'influence océanique, sont globalement bien plus faibles que celles mesurées aux stations St03, St06 et St15, d'influence terrigène, notamment pour le Co, Ni et Mn. Elles sont représentées graphiquement dans les figures ci-dessous (Figure 37, Figure 38, Figure 39).

Aucune évolution temporelle n'est constatée dans le canal de la Havannah.

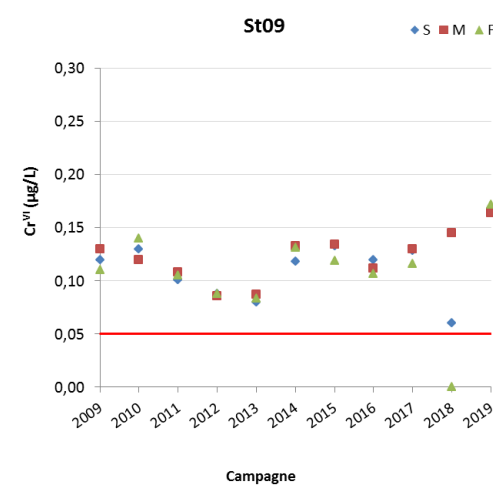
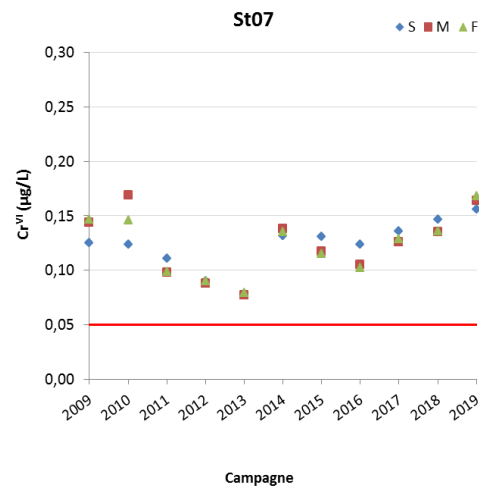
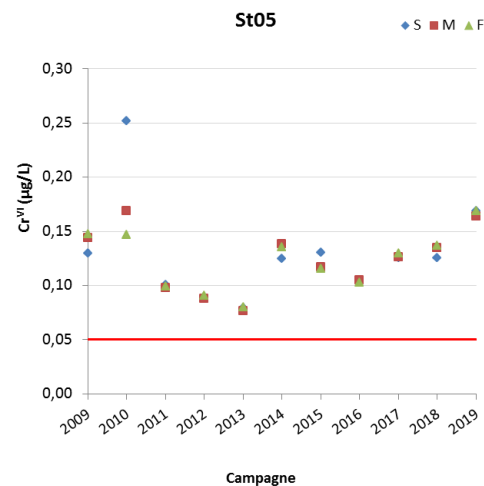


Figure 37 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{g/L}$).

Concernant le Cr^{VI} les concentrations obtenues sont globalement peu dispersées, quelles que soient la station et la couche d'eau échantillonnée, exception faite d'une valeur en surface de la station St05 en 2010.

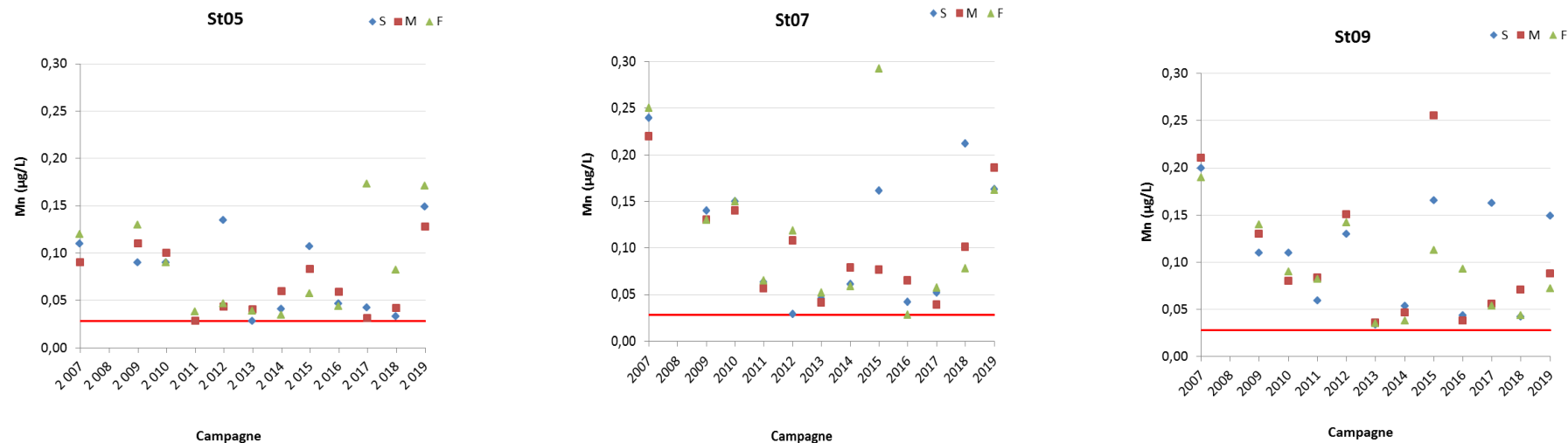


Figure 38 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

Les concentrations en Mn et Ni (Figure 38 et Figure 39) ne montrent pas de tendance, même si les valeurs varient davantage en profondeur, comme observé aux stations St05 et St07 où les écarts sont relativement plus marqués qu'à la station St09.

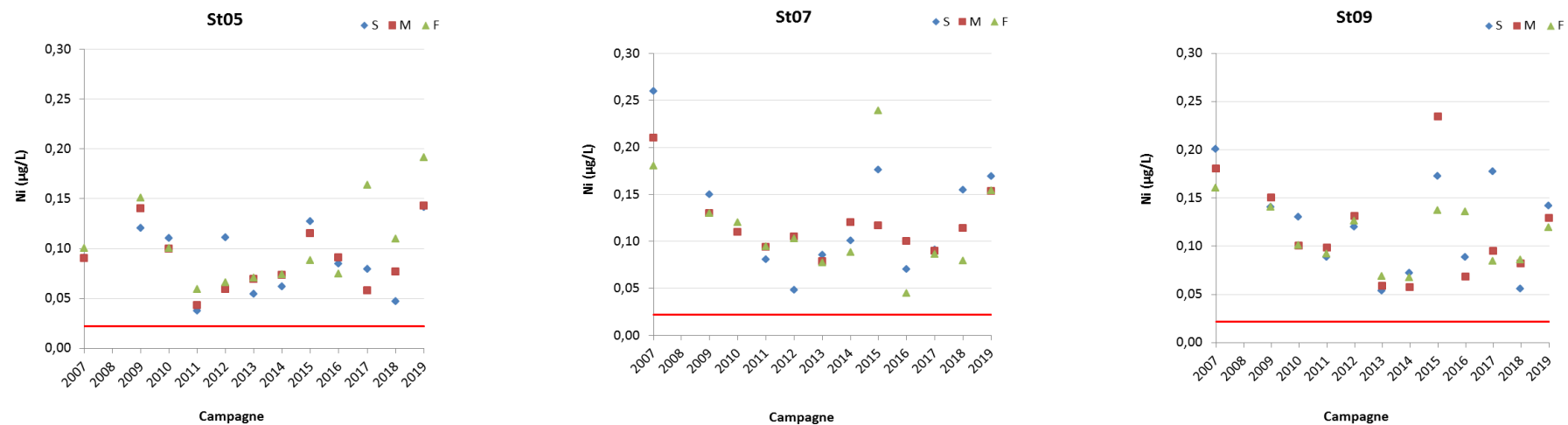


Figure 39 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2019). La ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

Ce qu'il faut retenir :

Concernant 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 (phénomènes d'upwelling déjà mentionnés dans les rapports précédents) et dont l'intensité peut avoir été augmentée par le régime d'alizés exceptionnel de 2019. La faible variabilité temporelle et verticale que l'on enregistre à ces stations du large est, en grande partie, explicable par l'éloignement à la côte et par 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 en lien avec la 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 stations St06 et St15 qui subissent les apports terrigènes directs concomitants des épisodes pluvieux, montrent donc une grande variabilité, mais la moyenne globale est maintenue stable. Toutefois à la station St03, une courbe de tendance semble se dessiner avec une éventuelle évolution croissante depuis 2007. Quelle que soit la station, pour le Mn, les concentrations restent très hétérogènes au sein de la colonne d'eau, ne permettant pas de voir une quelconque évolution.

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.

V. CONCLUSION

Comme relaté lors des précédentes campagnes semestrielles « saison chaude », 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 2019, mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Il est à noter qu'un cyclone tropical d'intensité moyenne nommé OMA a influencé la zone d'étude les semaines précédant la campagne avec de forts vents et d'importantes précipitations.

Les profils de turbidité et de fluorescence ont permis de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. En effet, contrairement aux stations de la côte où les profils de turbidité, notamment, 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, 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; aucune tendance spatiale véritable n'est dégagée pour les sels nutritifs et les matières organiques.

Pour les autres paramètres, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations mesurées se distribuent selon un même gradient « côte-large » de manière évidente. En effet, 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 en métaux dissous, en SiO_4 (traceur terrigène) et en Chl α , se distribuent également selon un gradient « surface-fond »; les concentrations en Co, Cr^{VI} , Cr-total, Mn et Ni dissous étant corrélées avec les profils de salinité. En effets, les concentrations en métaux dissous (Co, Cr^{VI} , Mn, Ni) sont plus importantes dans les eaux superficielles et en particulier dans les baies du Canal (St03 et St06) et du Prony (St15), en lien également avec leur profil de température et de turbidité.

Les éléments majeurs et l'As sont remarquablement homogènes dans l'ensemble de la zone d'étude, aucun gradient horizontal, ni vertical ne se dessinant (éléments ubiquistes).

En ce qui concerne les variations inter-campagnes aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15), aucune variation temporelle n'a été mise en évidence pour les sels nutritifs (NO_3+NO_2 et NH_4) depuis le début 2007. Pour les métaux dissous (Co, Cr^{VI} , Mn et Ni), cette étude n'a pas non plus montré d'évolution temporelle pour les stations du Canal (St05, St07 et St09) et ni pour celles des baies (St06 et St15), bien que pour St03 une tendance à la hausse semble se dessiner pour Co, Cr^{VI} et Ni dans les eaux de surface.

Les variations temporelles des concentrations de Co, Cr^{VI} et Ni observées aux stations sentinelles sont sans doute liées aux précipitations, sans toutefois être formellement et numériquement corrélables. En effet, ces niveaux de concentrations doivent probablement être aussi le résultat de la combinaison de plusieurs autres facteurs météorologiques (vitesse et direction des vents), hydrodynamiques (courants, marées, horaire de prélèvement), biologique (efflorescence) et anthropique (intensité des activités minière, portuaire, hôtelière,...).

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n° 9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n° 1312.
- Fichez R, Adjeroūd M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13: 223-227.
- Moreton B, Fernandez JM, Dolbecq M (2009). Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia lagoon. *Geostandards and Geoanalytical Research* 33 (2) : 205-218.
- Mullin JB, Riley JP (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-176.
- Murphy J, Riley JP (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- NF EN ISO 17294-2 : Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage de 62 élément.
- Oudot C, Montel Y (1988). A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in seawater with a Technicon Autoanalyzer II. *Marine Chemistry*, 24: 239-252.
- Raimbault P, Coste B, Fry J (1990) Feasibility of measuring an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100nM range: examples from field and culture. *Mar. Biol* 104: 347-351.
- Strickland JDH, Parsons TR (1972). A practical handbook of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 167: 207-211.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	9
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (28/02 AU 04/03/2019; EN BLEU) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (05 ET 07/03/2019; EN ROUGE). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE".	11
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES PRELEVEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 05 MARS 2019.	12
FIGURE 4: CHRONOLOGIE DES PRELEVEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 07 MARS 2019.	12
FIGURE 5: PROFILS DE TEMPERATURE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	14
FIGURE 6: PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.....	15
FIGURE 7: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	16
FIGURE 8: PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	17
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.....	21
FIGURE 10: CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	25
FIGURE 11: CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH_4) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	26
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO_4) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	27
FIGURE 13: CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO_4) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	28
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	30
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	31
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	32
FIGURE 17 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE 2019.	32
FIGURE 18: CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE DU LAGON SUD DE LA NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	33
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	35
FIGURE 20 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	39
FIGURE 21: CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	40

FIGURE 22 : CONCENTRATIONS EN CHROME (Cr ^{VI}) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	40
FIGURE 23: CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL (Cr-TOTAL) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	41
FIGURE 24: CONCENTRATIONS EN (Pb) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.....	41
FIGURE 25 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	42
FIGURE 26 : CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	42
FIGURE 27: CONCENTRATIONS EN ZINC (Zn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	43
FIGURE 28 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON CHAUDE » DE 2007 A 2019; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION DE GORO USINE. 44	
FIGURE 29: 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 2019)	45
FIGURE 30: 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 2019)	46
FIGURE 31 : 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 2019) LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	47
FIGURE 32 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	48
FIGURE 33 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	51
FIGURE 34 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	52
FIGURE 35 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	53
FIGURE 36 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	54
FIGURE 37 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).....	56
FIGURE 38 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).....	57
FIGURE 39 : 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 2019). LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).....	58

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	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 2019.	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 2019.	19
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	21
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	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 2019.	34
TABLEAU 7 : CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	36
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (As, Cd, Cr(VI), Cr-TOTAL, Co ET Cu) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE MARS 2019.	38
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 2019.	39

ANNEXES

ANNEXE 1.....	66
ANNEXE 2.....	71
ANNEXE 3.....	73
ANNEXE 4.....	75
ANNEXE 5.....	77
ANNEXE 6.....	79
ANNEXE 7.....	81
ANNEXE 8.....	85
ANNEXE 9.....	90
ANNEXE 10.....	91

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/m^3 , 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 ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$)	0 - 9	0,0005	0,0007
Température (°C)	-5 à +35	0,005	0,0001
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (mg/m^3)	0 - 50	NA*	0,025

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

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

- le dosage des ions calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) 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 (SO_4^{2-}), 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 $0,45 \mu\text{m}$ 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 & Luegbe, 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 2019.

Station	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
St02	Minimum	25,62	35,19	0,05	0,23
	Maximum	25,80	35,25	0,72	0,70
	Moyenne	25,70	35,23	0,36	0,42
	Ecart-type	0,04	0,01	0,13	0,06
St05	Minimum	25,48	35,21	0,03	0,22
	Maximum	25,62	35,29	0,57	0,67
	Moyenne	25,51	35,25	0,31	0,34
	Ecart-type	0,03	0,01	0,11	0,06
St07	Minimum	24,60	35,12	0,05	0,20
	Maximum	26,26	35,47	0,96	1,30
	Moyenne	25,30	35,31	0,54	0,75
	Ecart-type	0,65	0,12	0,18	0,30
St09	Minimum	25,64	35,16	0,07	0,23
	Maximum	25,81	35,24	0,75	0,60
	Moyenne	25,70	35,22	0,39	0,36
	Ecart-type	0,06	0,01	0,12	0,06
St21	Minimum	25,42	35,07	0,11	0,40
	Maximum	26,30	35,38	0,68	1,63
	Moyenne	25,98	35,21	0,31	0,61
	Ecart-type	0,21	0,06	0,12	0,24
St03	Minimum	25,47	30,46	0,03	0,38
	Maximum	27,47	35,32	1,11	3,27
	Moyenne	26,03	34,89	0,68	0,85
	Ecart-type	0,44	0,79	0,26	0,45
St06	Minimum	25,83	32,14	0,00	0,36
	Maximum	27,20	35,20	0,84	2,85
	Moyenne	26,09	35,02	0,51	0,94
	Ecart-type	0,35	0,41	0,17	0,62
St14	Minimum	26,03	34,36	0,05	0,31
	Maximum	26,78	35,06	0,80	1,20
	Moyenne	26,13	34,97	0,45	0,52
	Ecart-type	0,16	0,10	0,12	0,12

Station	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)
St15	Minimum	25,67	34,04	0,29	0,46
	Maximum	26,38	35,40	1,29	2,48
	Moyenne	25,97	35,25	0,65	0,78
	Ecart-type	0,19	0,19	0,26	0,26
St16	Minimum	25,46	35,16	0,01	0,26
	Maximum	25,93	35,48	1,16	2,31
	Moyenne	25,63	35,35	0,52	0,64
	Ecart-type	0,16	0,11	0,23	0,42
St18	Minimum	NE	NE	NE	NE
	Maximum	NE	NE	NE	NE
	Moyenne	NE	NE	NE	NE
	Ecart-type	NE	NE	NE	NE
St19	Minimum	25,48	35,12	0,14	0,42
	Maximum	26,19	35,46	1,04	1,55
	Moyenne	25,69	35,34	0,58	0,57
	Ecart-type	0,24	0,11	0,23	0,16
St13	Minimum	25,38	35,20	0,08	0,33
	Maximum	26,03	35,44	0,82	1,67
	Moyenne	25,81	35,29	0,39	0,52
	Ecart-type	0,18	0,05	0,16	0,20
St20	Minimum	25,70	35,28	0,34	0,60
	Maximum	25,86	35,33	0,71	1,65
	Moyenne	25,75	35,32	0,55	0,80
	Ecart-type	0,04	0,01	0,07	0,14

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 2019 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST02	S	465	482	12473	1553	19792	2780	0,558	8,2
	M	494	509	13134	1639	19792	2805	0,415	8,2
	F	471	478	12470	1574	19792	2895	0,927	8,2
ST03	S	432	443	11699	1473	17014	2735	0,734	8,1
	M	472	483	12680	1573	19792	2850	0,592	8,2
	F	506	521	13241	1676	19792	2805	1,169	8,2
ST05	S	510	532	13751	1694	19792	2830	0,620	8,2
	M	450	469	12328	1506	19792	2775	0,583	8,2
	F	495	513	13027	1642	19792	2840	0,420	8,2
ST06	S	375	377	10466	1302	15972	2700	0,581	8,2
	M	504	534	13384	1702	19444	2770	0,547	8,1
	F	501	529	13347	1676	19444	2770	1,294	8,2
ST07	S	506	530	13293	1692	19792	3065	0,476	8,2
	M	472	499	12762	1612	19792	2925	1,878	8,2
	F	545	561	13779	1791	20139	2875	1,659	8,1
ST09	S	497	512	13142	1650	19444	2805	0,405	8,2
	M	558	576	14090	1823	20139	3050	0,457	8,2
	F	511	529	13246	1687	19792	2770	0,667	8,2
ST13	S	490	508	13153	1630	19792	2945	0,585	8,2
	M	480	506	13214	1632	19792	2795	1,105	8,1
	F	485	494	12930	1611	19792	2875	1,456	8,1
ST14	S	501	526	13329	1687	19097	2870	0,480	8,2
	M	492	507	13064	1636	19444	2850	0,574	8,2
	F	486	503	12915	1616	19792	2880	1,121	8,2
ST15	S	487	503	12773	1625	18750	2785	1,043	8,1
	M	503	517	13075	1666	19444	2835	0,688	8,1
	F	462	478	12415	1546	19792	2855	0,571	8,1
ST16	S	502	517	13182	1664	20139	2880	0,607	8,1
	M	464	484	12734	1551	20139	2875	0,558	8,1
	F	492	508	12857	1640	20139	2780	0,857	8,1

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST18	S	457	468	12314	1529	19097	2760	2,093	8,1
	M	487	502	12946	1622	19792	2695	0,885	8,1
	F	539	571	13950	1798	19444	2900	1,002	8,0
ST19	S	504	523	13214	1685	20139	2775	0,544	8,1
	M	530	559	13583	1768	19792	2985	0,710	8,1
	F	508	527	13164	1688	19792	2845	0,798	8,1
ST20	S	481	499	13007	1602	20139	2850	0,895	8,1
	M	483	507	13114	1645	20139	2850	0,855	8,1
	F	508	524	13298	1703	20139	2935	1,138	8,1
ST21	S	441	460	12104	1491	19792	2910	0,776	8,1
	M	504	518	13499	1664	19792	3040	0,887	8,1
	F	520	544	13650	1732	19792	2920	0,993	8,2

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019 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	0,325	2,050	0,052	1,33
	M	0,207	0,315	<0,050	1,23
	F	0,295	0,160	<0,050	1,29
ST03	S	0,412	0,497	<0,050	11,84
	M	0,15	0,196	<0,050	1,86
	F	0,42	0,286	0,08	1,94
ST05	S	0,346	0,161	<0,050	1,33
	M	0,392	0,176	<0,050	1,32
	F	0,504	0,167	0,078	1,54
ST06	S	2,966	0,718	<0,050	20,33
	M	0,219	0,188	<0,050	1,99
	F	0,305	0,223	<0,050	1,63
ST07	S	0,183	0,241	<0,050	1,38
	M	0,592	0,258	0,082	1,48
	F	0,94	0,390	0,107	1,53
ST09	S	0,364	0,157	<0,050	1,37
	M	0,323	0,155	0,053	1,42
	F	0,311	0,264	<0,050	1,34
ST13	S	0,208	0,130	<0,050	1,58
	M	<0,050	0,080	<0,050	1,40
	F	0,105	0,106	<0,050	1,41
ST14	S	<0,050	0,217	<0,050	2,84
	M	<0,050	0,174	<0,050	1,90
	F	0,067	0,263	<0,050	1,78
ST15	S	0,469	0,330	0,061	6,24
	M	<0,050	0,338	0,051	1,26
	F	<0,050	0,352	0,057	0,89
ST16	S	0,111	0,160	0,105	1,39
	M	<0,050	0,177	<0,050	1,30
	F	0,233	0,488	0,082	1,49

Station	Niveau	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
ST18	S	<0,050	0,246	0,072	2,65
	M	0,094	0,246	<0,050	1,53
	F	0,234	0,460	0,075	1,51
ST19	S	<0,050	0,065	<0,050	1,27
	M	0,24	0,274	<0,050	1,32
	F	0,129	0,483	<0,050	1,43
ST20	S	1,004	0,944	<0,050	1,52
	M	<0,050	0,090	<0,050	1,32
	F	<0,050	0,051	<0,050	1,46
ST21	S	0,421	0,277	0,056	1,54
	M	0,292	0,201	<0,050	1,47
	F	0,213	0,127	<0,050	1,42

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 2019 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	13,65	0,51	0,275	<0,05	2,5	11,41	0,327	0,575
	M	9,62	0,54	0,232	<0,05	3,4	8,98	0,232	0,535
	F	8,79	0,57	0,239	<0,05	4,2	8,36	0,239	0,195
ST03	S	9,29	1,06	0,038	0,108	6,7	8,15	0,146	0,516
	M	9,65	0,91	0,083	0,085	5,9	8,69	0,168	0,992
	F	9,24	0,62	0,101	0,073	8,4	8,76	0,254	0,920
ST05	S	7,09	0,49	0,212	<0,05	3,4	6,79	0,212	0,509
	M	9,66	0,55	0,237	<0,05	4,2	9,32	0,237	0,624
	F	9,44	0,56	0,115	0,052	3,4	9,21	0,245	0,390
ST06	S	10,20	0,74	0,114	0,098	5,9	11,71	0,212	0,292
	M	9,26	0,72	0,132	0,071	5,9	8,57	0,203	0,700
	F	8,85	0,71	0,133	0,070	5,9	8,23	0,203	0,772
ST07	S	9,33	0,72	0,109	0,094	5,0	8,55	0,203	0,704
	M	8,40	0,75	0,067	0,094	4,2	7,98	0,243	0,880
	F	8,90	0,78	0,072	0,107	4,2	8,67	0,286	0,786
ST09	S	12,14	0,55	0,248	<0,05	5,0	11,80	0,248	0,506
	M	9,74	0,55	0,132	0,057	4,2	9,36	0,242	0,617
	F	9,11	0,56	0,228	<0,05	3,4	8,60	0,228	0,623
ST13	S	10,19	0,79	0,147	0,069	10,0	9,48	0,216	0,525
	M	9,86	0,87	0,116	0,090	5,9	8,91	0,206	0,796
	F	11,43	0,71	0,154	0,061	5,9	10,72	0,215	0,928
ST14	S	11,96	0,93	0,149	0,081	3,4	10,81	0,230	0,136
	M	8,95	0,72	0,125	0,080	4,2	8,06	0,205	0,603
	F	9,64	0,50	0,234	<0,05	6,7	8,95	0,234	0,551
ST15	S	10,47	0,99	0,067	0,093	5,9	9,62	0,221	0,874
	M	11,19	1,03	0,069	0,079	9,2	9,83	0,199	1,294
	F	11,91	0,93	0,098	0,094	10,9	10,63	0,249	1,088
ST16	S	9,53	0,76	0,038	0,072	7,5	8,72	0,215	0,576
	M	8,89	0,78	0,086	0,086	5,9	7,94	0,172	1,042
	F	10,08	0,62	0,066	0,067	5,9	9,20	0,215	0,697

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
ST18	S	8,88	1,13	0,038	0,112	10,0	7,50	0,222	1,017
	M	9,93	1,35	0,155	0,094	8,4	8,42	0,249	1,200
	F	9,59	0,72	0,085	0,073	12,5	8,64	0,233	0,845
ST19	S	8,30	1,02	0,106	0,084	4,2	7,21	0,190	0,905
	M	9,30	0,82	0,101	0,093	6,7	8,44	0,194	1,345
	F	10,47	0,69	0,181	0,071	6,7	9,43	0,252	0,707
ST20	S	10,03	1,00	0,132	0,078	7,5	9,09	0,210	0,882
	M	9,96	1,00	0,139	0,073	10,9	8,87	0,212	0,876
	F	12,58	1,02	0,212	0,070	10,0	11,51	0,282	0,957
ST21	S	10,24	0,85	0,053	0,104	5,9	9,54	0,213	0,263
	M	10,08	1,30	0,074	0,109	9,2	8,87	0,183	0,369
	F	8,23	1,05	0,061	0,115	5,9	7,27	0,176	0,696

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de mars 2019 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	1,890	<0,025	0,168	0,248	<0,027	<0,025	<0,059	0,087	0,122	0,115	<1,00
	M	2,310	<0,025	0,166	0,234	<0,027	<0,025	<0,059	0,141	0,139	<0,100	<1,00
	F	2,170	<0,025	0,168	0,244	<0,027	<0,025	<0,059	0,116	0,132	<0,100	<1,00
ST03	S	1,310	<0,025	2,020	2,680	0,217	<0,025	<0,059	0,340	2,014	0,133	<1,00
	M	2,080	<0,025	0,211	0,228	0,033	<0,025	<0,059	0,255	0,265	<0,100	<1,00
	F	1,860	<0,025	0,191	0,230	<0,027	<0,025	<0,059	0,252	0,195	<0,100	<1,00
ST05	S	2,180	<0,025	0,176	0,270	<0,027	0,026	<0,059	0,130	0,145	0,173	1,099
	M	2,270	<0,025	0,164	0,238	<0,027	<0,025	<0,059	0,128	0,143	<0,100	<1,00
	F	1,720	<0,025	0,168	0,256	<0,027	<0,025	<0,059	0,171	0,191	<0,100	<1,00
ST06	S	1,640	<0,025	4,200	4,240	0,164	<0,025	<0,059	2,585	2,734	0,202	1,485
	M	1,880	<0,025	0,279	0,430	<0,027	<0,025	<0,059	0,310	0,260	0,125	<1,00
	F	2,090	<0,025	0,193	0,264	0,027	<0,025	<0,059	0,205	0,197	<0,100	<1,00
ST07	S	1,820	<0,025	0,156	0,222	<0,027	<0,025	<0,059	0,163	0,169	0,137	<1,00
	M	2,160	<0,025	0,165	0,228	<0,027	<0,025	<0,059	0,186	0,153	<0,100	<1,00
	F	1,940	<0,025	0,189	0,296	<0,027	0,054	<0,059	0,162	0,154	1,357	5,833
ST09	S	1,970	<0,025	0,168	0,282	<0,027	<0,025	<0,059	0,149	0,141	<0,100	<1,00
	M	1,690	<0,025	0,164	0,250	<0,027	<0,025	<0,059	0,088	0,129	<0,100	<1,00
	F	1,980	<0,025	0,172	0,356	<0,027	<0,025	<0,059	0,072	0,119	<0,100	<1,00
ST13	S	1,880	<0,025	0,172	0,234	<0,027	0,144	<0,059	0,216	0,234	0,818	1,550
	M	1,830	<0,025	0,160	0,222	<0,027	<0,025	<0,059	0,216	0,161	<0,100	<1,00
	F	1,860	<0,025	0,159	0,262	<0,027	<0,025	<0,059	0,152	0,117	<0,100	<1,00
ST14	S	1,880	<0,025	0,239	0,352	<0,027	<0,025	<0,059	0,167	0,247	0,567	<1,00
	M	1,900	<0,025	0,194	0,292	<0,027	<0,025	<0,059	0,175	0,202	<0,100	<1,00
	F	2,390	<0,025	0,178	0,242	<0,027	<0,025	<0,059	0,255	0,215	<0,100	<1,00
ST15	S	1,620	<0,025	0,654	0,754	0,160	<0,025	<0,059	1,118	0,862	0,126	<1,00
	M	1,900	<0,025	0,302	0,374	0,080	<0,025	<0,059	0,348	0,368	<0,100	<1,00
	F	1,680	<0,025	0,264	0,330	0,059	<0,025	<0,059	0,329	0,293	<0,100	<1,00
ST16	S	1,660	<0,025	0,450	0,530	0,045	0,025	<0,059	0,185	0,238	1,360	<1,00
	M	1,850	<0,025	0,227	0,286	<0,027	<0,025	<0,059	0,103	0,144	<0,100	<1,00
	F	1,870	<0,025	0,174	0,240	<0,027	<0,025	<0,059	0,159	0,172	<0,100	<1,00

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As*	Cd	Cr ^{VI}	Cr _{total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST18	S	1,530	NT	0,482	0,610	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	M	1,710	<0,025	0,326	0,412	0,057	<0,025	<0,059	0,224	0,324	<0,100	<1,00
	F	2,030	<0,025	0,230	0,298	0,033	<0,025	<0,059	0,263	0,244	<0,100	<1,00
ST19	S	2,110	<0,025	0,456	0,598	0,050	<0,025	<0,059	0,162	0,253	0,256	<1,00
	M	1,650	<0,025	0,198	0,270	<0,027	<0,025	<0,059	0,096	0,139	<0,100	<1,00
	F	1,910	<0,025	0,192	0,268	<0,027	<0,025	<0,059	0,129	0,148	<0,100	<1,00
ST20	S	1,760	<0,025	0,210	0,264	<0,027	0,028	<0,059	0,187	0,204	0,115	<1,00
	M	2,230	<0,025	0,220	0,268	0,029	<0,025	<0,059	0,214	0,204	<0,100	<1,00
	F	1,580	<0,025	0,212	0,246	0,034	<0,025	<0,059	0,270	0,225	<0,100	<1,00
ST21	S	1,740	<0,025	0,154	0,238	<0,027	0,078	<0,059	0,200	0,222	0,288	1,488
	M	2,080	<0,025	0,175	0,246	<0,027	<0,025	0,134	0,188	0,159	0,114	<1,00
	F	1,720	<0,025	0,170	0,180	<0,027	<0,025	<0,059	0,114	0,119	<0,100	<1,00

ANNEXE 7

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO_3+NO_2), ammonium (NH_4), phosphates (PO_4) et silicates (SiO_4) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2019 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NO_2+NO_3 ($\mu\text{mol/L}$)											
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18	mars-19
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,103	0,086	0,170	0,117	<0,050	<0,050	0,060	0,055	<0,050	0,076	0,183
	Maximum	4,921	1,050	0,309	1,040	0,318	0,263	0,469	0,406	0,312	0,291	0,878	0,940
	Moyenne	0,422	0,395	0,212	0,473	0,184	0,084	0,251	0,189	0,239	0,120	0,219	0,368
	Ecart-type	0,853	0,318	0,073	0,242	0,116	0,073	0,119	0,118	0,075	0,074	0,243	0,189
Baies du Canal	Minimum	<0,050	0,233	0,194	0,060	0,146	<0,050	0,123	0,065	0,053	<0,050	0,149	<0,050
	Maximum	0,445	0,735	0,717	0,720	0,146	1,393	0,596	0,522	0,268	1,205	0,842	2,966
	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	0,504
	Ecart-type	0,165	0,187	0,167	0,196		0,439	0,158	0,203	0,075	0,338	0,239	0,937
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	<0,050	0,060	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,022	<0,050	0,144	<0,050
	Maximum	1,212	1,740	0,700	1,860	0,270	0,148	0,818	0,258	0,224	1,806	1,464	0,469
	Moyenne	0,259	0,378	0,108	0,402	0,129	0,070	0,252	0,077	0,090	0,883	0,880	0,126
	Ecart-type	0,439	0,532	0,194	0,526	0,098	0,042	0,242	0,067	0,072	0,699	0,482	0,146
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,349	0,056	0,100	<0,050	<0,050	0,055	<0,050	0,023	<0,050	0,195	<0,050
	Maximum	0,252	1,470	0,286	0,770	0,080	0,465	0,727	0,257	0,257	0,226	0,688	1,004
	Moyenne	0,124	0,719	0,131	0,322	0,060	0,160	0,273	0,077	0,102	0,094	0,431	0,220
	Ecart-type	0,113	0,389	0,085	0,251	0,028	0,176	0,261	0,100	0,085	0,074	0,247	0,393

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	mars-19
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	0,127
	Maximum	0,413	0,125	0,292	0,262	0,088	0,135	0,114	0,610	0,211	0,260	0,266	2,050
	Moyenne	0,396	0,059	0,135	0,071	0,050	0,047	0,069	0,132	0,122	0,167	0,078	0,327
	Ecart-type	0,100	0,029	0,092	0,062	0,020	0,032	0,020	0,136	0,046	0,045	0,065	0,465
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	0,174
	Maximum	0,157	0,136	0,266	0,230	0,237	0,135	0,166	0,323	0,267	1,106	0,415	0,718
	Moyenne	0,094	0,045	0,169	0,102	0,112	0,079	0,096	0,160	0,126	0,500	0,195	0,307
	Ecart-type	0,036	0,038	0,074	0,065	0,058	0,032	0,040	0,080	0,070	0,327	0,125	0,183
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	0,065
	Maximum	0,168	0,114	0,249	0,287	0,199	0,073	0,595	0,276	0,279	1,721	0,262	0,488
	Moyenne	0,044	0,042	0,111	0,079	0,058	0,036	0,139	0,136	0,085	0,338	0,165	0,302
	Ecart-type	0,046	0,028	0,078	0,094	0,057	0,021	0,181	0,073	0,073	0,449	0,040	0,133
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	0,051
	Maximum	0,113	0,163	0,389	0,216	0,162	0,246	0,137	0,339	0,141	0,606	0,134	0,944
	Moyenne	0,066	0,063	0,155	0,066	0,104	0,118	0,098	0,155	0,082	0,307	0,094	0,234
	Ecart-type	0,043	0,070	0,128	0,075	0,039	0,103	0,030	0,100	0,041	0,152	0,034	0,349

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	mars-19
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	<0,050
	Maximum	0,125	0,061	0,074	0,102	0,093	0,051	0,091	0,127	0,139	0,291	<0,05	0,107
	Moyenne	0,038	0,041	0,050	0,038	0,042	0,032	0,066	0,127 (n=1)	0,100	0,120	-	0,027
	Ecart-type	0,028	0,015	0,011	0,027	0,028	0,014	0,011		0,017	0,074	-	0,038
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	<0,050
	Maximum	0,048	0,060	0,072	0,120	0,096	0,038	0,072	0,014	0,113	1,205	0,112	0,080
	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	0,080 (n=1)
	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	<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	0,105
	Moyenne	0,037	0,055	0,071	0,058	0,068	0,041	0,126	<0,010	0,060	0,883	0,099	0,042
	Ecart-type	0,017	0,045	0,043	0,054	0,019	0,012	0,066		0,026	0,699	0,038	0,039
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	<0,050
	Maximum	0,062	0,082	0,073	0,070	0,115	0,038	0,088	<0,010	0,072	0,226	<0,05	<0,050
	Moyenne	0,043	0,062	0,045	0,041	0,080	0,030	0,072	<0,010	0,052	0,094	-	<0,050
	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	mars-19
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	0,50	1,23
	Maximum	1,80	1,58	0,94	1,62	2,53	1,16	1,06	1,38	2,91	3,15	1,92	1,54
	Moyenne	0,96	1,21	0,34	0,41	1,86	0,94	0,81	1,13	1,45	2,21	1,05	1,39
	Ecart-type	0,36	0,17	0,26	0,40	0,55	0,15	0,15	0,13	0,64	0,44	0,48	0,10
Baies du Canal	Minimum	0,79	1,34	0,52	0,14	1,50	1,14	1,03	1,24	1,27	2,30	1,28	1,63
	Maximum	1,89	4,79	4,69	2,84	4,15	12,34	8,14	4,22	3,98	18,43	10,69	20,33
	Moyenne	1,20	2,13	1,81	1,07	2,57	3,12	2,58	1,88	1,82	6,17	4,24	5,12
	Ecart-type	0,33	1,13	1,28	1,12	0,82	3,67	2,68	0,93	0,89	5,68	4,03	6,58
Baie du Prony	Minimum	1,25	1,55	1,32	<0,050	1,47	1,19	1,81	1,36	0,49	3,01	1,11	0,89
	Maximum	4,07	4,21	6,64	9,95	3,25	12,96	6,62	4,48	3,99	8,18	26,18	6,24
	Moyenne	2,38	2,63	2,43	4,78	2,16	2,68	2,68	2,16	1,57	4,28	3,82	1,86
	Ecart-type	0,89	1,01	1,45	4,21	0,55	3,32	1,43	1,07	0,91	1,49	7,06	1,44
Ile Ouen	Minimum	1,56	1,31	0,54	0,21	1,64	1,21	1,05	1,25	0,63	1,92	1,34	1,32
	Maximum	1,97	1,67	1,34	0,40	2,24	1,47	1,75	2,01	2,72	4,45	4,90	1,58
	Moyenne	1,79	1,50	0,98	0,32	1,93	1,36	1,47	1,59	1,44	3,14	2,26	1,45
	Ecart-type	0,21	0,14	0,28	0,08	0,23	0,09	0,28	0,26	0,76	0,89	1,32	0,09

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 particuliers (COP, NOP et POP) mesurées dans la zone d'étude entre 2007 et 2019 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	mars-19
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	0,00	7,09
	Maximum	9,89	3,51	6,83	5,48	4,72	4,72	5,24	6,02	8,30	7,89	11,11	13,65
	Moyenne	5,19	2,52	2,30	4,40	3,52	3,42	4,59	4,06	3,33	6,31	3,61	9,47
	Ecart-type	0,91	0,90	1,94	0,72	0,56	1,03	0,52	0,83	1,48	0,63	3,54	1,65
Baies du Canal	Minimum	3,97	0,95	0,87	4,23	1,09	3,26	4,11	3,55	3,84	5,06	0,00	8,85
	Maximum	5,61	3,79	3,32	5,55	3,80	4,27	5,83	5,58	7,49	7,00	7,96	11,96
	Moyenne	4,84	2,56	2,13	4,99	3,24	3,72	4,89	4,21	4,86	5,96	6,04	9,67
	Ecart-type	0,47	0,86	0,76	0,41	0,99	0,31	0,46	0,61	1,19	0,63	2,37	0,95
Baie du Prony	Minimum	4,48	1,51	1,07	3,79	1,78	2,98	4,31	3,36	2,92	4,84	0,00	8,30
	Maximum	6,32	4,46	2,90	5,78	4,45	4,05	6,39	5,61	5,74	8,00	7,45	11,91
	Moyenne	5,11	2,68	2,07	4,82	3,54	3,66	5,36	4,57	4,02	6,03	4,12	9,88
	Ecart-type	0,54	0,80	0,67	0,65	0,69	0,32	0,65	0,80	0,79	0,82	3,09	1,03
Ile Ouen	Minimum	5,05	2,03	0,83	2,85	3,31	2,39	5,33	3,15	3,64	5,35	0,00	9,86
	Maximum	5,19	3,73	3,08	5,39	4,94	3,87	6,69	5,07	6,08	6,80	7,57	12,58
	Moyenne	5,12	3,09	1,73	4,24	4,01	3,32	5,81	4,33	4,39	6,00	3,20	10,68
	Ecart-type	0,07	0,63	0,97	0,85	0,57	0,50	0,48	0,75	3,64	0,50	3,57	1,10

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	mars-19
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	0,053
	Maximum	0,279	0,322	0,953	0,710	0,294	0,327	0,273	0,178	0,531	0,25	0,000	0,275
	Moyenne	0,346	0,195	0,837	0,604	0,196	0,230	0,195	0,116	0,092	0,16	0,000	0,150
	Ecart-type	0,027	0,077	0,100	0,071	0,056	0,051	0,051	0,043	0,132	0,06	0,000	0,084
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	0,038
	Maximum	0,238	0,220	0,920	0,700	0,253	0,251	0,216	0,269	0,224	0,18	0,111	0,234
	Moyenne	0,204	0,127	0,847	0,607	0,228	0,162	0,158	0,109	0,131	0,04	0,012	0,123
	Ecart-type	0,025	0,048	0,064	0,081	0,030	0,041	0,042	0,077	0,056	0,06	0,037	0,053
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	0,038
	Maximum	0,230	0,374	0,942	0,720	0,240	0,238	0,253	0,176	0,241	0,25	0,068	0,181
	Moyenne	0,201	0,228	0,776	0,624	0,163	0,167	0,218	0,080	0,087	0,05	0,009	0,091
	Ecart-type	0,017	0,085	0,105	0,048	0,053	0,037	0,032	0,053	0,070	0,10	0,022	0,043
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	0,116
	Maximum	0,228	0,329	1,050	0,710	0,161	0,203	0,303	0,159	0,180	0,32	0,000	0,212
	Moyenne	0,218	0,211	0,875	0,620	0,120	0,191	0,249	0,128	0,064	0,19	0,000	0,150
	Ecart-type	0,009	0,104	0,092	0,068	0,036	0,011	0,035	0,047	0,000	0,08	0,000	0,033

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	mars-19
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	2,5
	Maximum	12,5	28,1	12,1	18,3	ND	15,1	21,5	11,4	13,7	18,3	24,2	9,2
	Moyenne	6,8	17,6	8,0	11,9	ND	11,3	14,1	8,2	6,4	8,2	8,1	4,4
	Ecart-type	2,0	5,1	1,5	3,1	ND	2,9	4,1	1,1	3,4	3,4	5,0	1,6
Baies Canal	Minimum	4,7	8,9	5,2	10,8	ND	9,5	11,4	7,8	7,7	5,8	4,2	3,4
	Maximum	13,4	26,0	11,5	16,0	ND	61,8	22,2	13,8	16,0	19,1	15,0	8,4
	Moyenne	8,4	17,2	6,9	12,7	ND	17,2	16,2	9,3	10,5	10,1	7,6	5,9
	Ecart-type	2,8	5,6	2,2	1,9	ND	16,9	4,3	1,8	2,9	4,6	3,5	1,4
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	4,2
	Maximum	10,6	18,6	10,9	27,1	ND	21,4	18,9	10,5	8,9	10,0	9,2	12,5
	Moyenne	7,1	12,4	8,4	12,4	ND	12,4	13,3	7,8	7,5	6,6	5,2	7,8
	Ecart-type	2,2	2,9	1,5	4,9	ND	3,1	3,0	1,6	1,1	1,9	1,6	2,4
Ile Ouen	Minimum	8,0	11,8	6,7	9,4	ND	11,9	12,8	10,0	8,1	5,0	5,0	5,9
	Maximum	8,9	17,8	27,9	20,1	ND	16,8	34,7	22,6	14,4	7,5	8,3	10,9
	Moyenne	8,4	14,3	13,6	13,6	ND	13,7	18,6	15,4	10,7	5,8	6,8	8,4
	Ecart-type	0,5	2,5	7,9	4,3	ND	1,7	8,1	5,5	2,3	1,1	1,7	2,2

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	mars-19
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	0,49
	Maximum	1,70	3,54	3,11	1,35	1,23	0,93	1,90	1,14	1,15	2,73	4,51	1,30
	Moyenne	0,66	1,75	1,85	1,03	0,91	0,72	1,19	0,86	0,80	1,41	1,37	0,68
	Ecart-type	0,41	0,79	0,77	0,17	0,13	0,12	0,36	0,14	0,16	0,53	1,14	0,23
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	0,50
	Maximum	1,75	5,01	3,01	1,69	1,32	1,33	1,82	1,18	1,61	1,93	1,45	1,06
	Moyenne	0,69	2,12	1,35	1,22	1,08	0,90	1,20	0,86	1,17	1,08	0,97	0,77
	Ecart-type	0,64	1,24	0,68	0,24	0,17	0,25	0,31	0,14	0,26	0,40	0,27	0,17
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	0,62
	Maximum	<0,13	3,82	2,53	1,52	1,35	1,25	2,24	1,38	1,82	1,65	1,53	1,35
	Moyenne		1,65	1,49	1,08	1,05	0,99	1,37	1,08	1,26	1,05	0,81	0,90
	Ecart-type		0,78	0,49	0,21	0,16	0,12	0,44	0,16	0,33	0,29	0,31	0,21
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	0,71
	Maximum	<0,13	1,57	6,25	3,53	1,33	1,05	2,69	1,58	1,32	1,43	4,26	1,02
	Moyenne		1,42	3,40	1,51	1,19	0,93	1,37	1,28	1,18	1,11	1,99	0,90
	Ecart-type		0,15	2,30	1,02	0,12	0,13	0,65	0,22	0,12	0,17	1,28	0,13

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	mars-19
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	0,000
	Maximum	0,099	0,080	0,107	0,083	0,091	0,094	0,089	0,100	0,119	0,120	0,089	0,115
	Moyenne	0,053	0,061	0,056	0,025	0,059	0,065	0,053	0,052	0,070	0,088	0,085	0,046
	Ecart-type	0,015	0,010	0,029	0,024	0,019	0,010	0,014	0,019	0,017	0,018	0,004	0,050
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	0,000
	Maximum	0,107	0,119	0,141	0,045	0,087	0,123	0,087	0,115	0,140	0,117	0,054	0,108
	Moyenne	0,065	0,089	0,080	0,025	0,066	0,091	0,068	0,047	0,107	0,080	0,053	0,074
	Ecart-type	0,022	0,019	0,033	0,012	0,014	0,022	0,013	0,026	0,023	0,023	0,002	0,030
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	0,067
	Maximum	0,058	0,111	0,090	0,039	0,068	0,107	0,096	0,143	0,145	0,100	0,073	0,112
	Moyenne	0,037	0,080	0,054	0,026	0,060	0,087	0,070	0,111	0,103	0,066	0,064	0,085
	Ecart-type	0,017	0,017	0,022	0,011	0,007	0,014	0,015	0,015	0,028	0,018	0,008	0,013
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	0,061
	Maximum	0,062	0,105	0,072	0,106	0,084	0,101	0,076	0,112	0,151	0,109	0,245	0,090
	Moyenne	0,043	0,081	0,054	0,053	0,073	0,079	0,065	0,075	0,128	0,086	0,114	0,074
	Ecart-type	0,018	0,020	0,018	0,043	0,011	0,014	0,009	0,024	0,015	0,013	0,067	0,010

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 2019 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)											
		mars-07	mars-09	mars-10	mars-11	mars-12	mars-13	mars-14	mars-15	mars-16	avr-17	mars-18	mars-19
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	0,20
	Maximum	0,59	0,77	1,12	1,17	0,43	0,60	0,64	0,65	0,49	0,23	0,92	0,88
	Moyenne	0,40	0,53	0,89	0,64	0,26	0,49	0,43	0,45	0,27	0,17	0,55	0,53
	Ecart-type	0,10	0,12	0,18	0,25	0,13	0,07	0,14	0,09	0,13	0,04	0,14	0,20
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	0,14
	Maximum	0,56	0,80	0,95	1,21	0,41	0,69	0,45	0,54	0,87	0,33	0,74	0,99
	Moyenne	0,44	0,56	0,61	0,64	0,28	0,54	0,31	0,43	0,57	0,24	0,57	0,61
	Ecart-type	0,08	0,15	0,25	0,28	0,14	0,11	0,12	0,09	0,16	0,07	0,12	0,28
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	0,58
	Maximum	0,59	1,20	1,05	3,34	0,66	0,88	1,34	0,64	1,13	0,55	0,77	1,35
	Moyenne	0,43	0,61	0,76	0,82	0,35	0,55	0,63	0,41	0,30	0,33	0,45	0,97
	Ecart-type	0,11	0,34	0,14	0,97	0,17	0,19	0,37	0,11	0,29	0,14	0,21	0,24
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	0,53
	Maximum	0,97	1,01	0,92	0,95	0,36	0,77	0,61	0,54	0,64	0,32	0,60	0,96
	Moyenne	0,76	0,76	0,77	0,56	0,26	0,67	0,32	0,34	0,45	0,25	0,52	0,83
	Ecart-type	0,24	0,26	0,10	0,26	0,07	0,10	0,15	0,11	0,21	0,05	0,12	0,16

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 2019 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	mars-19
Canal de la Havannah	Minimum	1,20	0,15	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,40	1,20	1,20	1,40	1,58
	Maximum	1,47	0,47	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,50	2,60	2,40	1,90	2,23
	Moyenne	1,29	0,32	ND	ND	ND	1,79	1,50	1,84	1,90	1,82	1,64	1,82
	Ecart-type	0,06	0,09	ND	ND	ND	0,07	0,52	0,33	0,45	0,41	0,15	0,20
Baies du Canal	Minimum	1,20	0,16	ND	ND	ND	1,60	2,00	1,50	1,20	1,60	1,30	1,65
	Maximum	1,41	0,48	ND	ND	ND	2,00	2,00	2,40	3,10	2,80	1,90	2,39
	Moyenne	1,31	0,35	ND	ND	ND	1,79	2,00	1,95	1,81	1,93	1,58	1,93
	Ecart-type	0,06	0,10	ND	ND	ND	0,15	0,00	0,31	0,60	0,40	0,19	0,21
Baie du Prony	Minimum	1,07	0,17	ND	ND	ND	1,50	1,00	1,50	1,10	1,20	1,30	1,64
	Maximum	1,32	0,62	ND	ND	ND	1,90	2,00	2,40	2,50	2,10	1,70	2,31
	Moyenne	1,20	0,39	ND	ND	ND	1,70	1,80	1,80	1,65	1,72	1,47	1,98
	Ecart-type	0,07	0,13	ND	ND	ND	0,13	0,42	0,30	0,44	0,29	0,14	0,23
Ile Ouen	Minimum	1,29	0,33	ND	ND	ND	1,70	1,00	1,30	1,20	1,10	1,50	1,31
	Maximum	1,31	0,50	ND	ND	ND	1,80	3,00	1,70	2,30	1,50	1,70	2,08
	Moyenne	1,30	0,40	ND	ND	ND	1,77	2,00	1,47	1,85	1,40	1,60	1,75
	Ecart-type	0,01	0,06	ND	ND	ND	0,05	0,71	0,14	0,47	0,20	0,09	0,30

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	mars-19
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	<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	<0,027
	Moyenne	0,019	-	0,025	0,023	-	-	-	-	-	-	-	<0,027
	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	0,027
	Maximum	0,046	0,102	0,102	0,082	0,058	0,046	0,109	0,086	0,069	0,067	0,130	0,217
	Moyenne	0,028	0,034	0,057	0,036	0,030	0,032	0,063	0,071	0,039	0,035	0,077	0,110
	Ecart-type	0,011	0,027	0,027	0,020	0,015	0,014	0,035	0,019	0,037	0,017	0,039	0,095
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	0,033
	Maximum	0,082	0,100	0,270	0,252	0,092	0,061	0,075	0,111	0,069	0,102	0,081	0,160
	Moyenne	0,044	0,053	0,085	0,075	0,048	0,028	0,040	0,052	0,028	0,037	0,048	0,069
	Ecart-type	0,019	0,023	0,059	0,075	0,017	0,017	0,019	0,026	0,019	0,025	0,022	0,042
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	0,029
	Maximum	0,036	0,048	0,058	0,054	0,052	<0,027	0,031	0,061	0,032	0,040	<0,027	0,034
	Moyenne	0,031	0,036	0,050	0,027	0,033	0,013	0,026	0,053	0,032 (n=1)	0,021	-	0,031
	Ecart-type	0,005	0,009	0,008	0,015	0,010	0,000	0,003	0,012	-	0,012	-	0,004

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	mars-19
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	0,154
	Maximum	0,147	0,251	0,231	0,116	0,123	0,160	0,144	0,132	0,145	0,150	0,189
	Moyenne	0,131	0,141	0,113	0,093	0,081	0,126	0,127	0,116	0,131	0,126	0,167
	Ecart-type	0,012	0,035	0,032	0,011	0,013	0,017	0,009	0,010	0,007	0,030	0,009
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,110	0,107	0,098	0,079	0,119	0,124	0,115	0,112	0,134	0,178
	Maximum	0,277	0,230	0,232	0,264	0,348	0,546	0,243	0,272	0,934	1,004	4,200
	Moyenne	0,144	0,153	0,133	0,133	0,130	0,218	0,154	0,157	0,299	0,292	0,856
	Ecart-type	0,057	0,036	0,039	0,051	0,086	0,161	0,035	0,057	0,281	0,284	1,390
Baie du Prony	Minimum	0,163	0,182	0,115	0,114	0,095	0,080	0,129	0,122	0,107	0,133	0,174
	Maximum	0,409	0,776	1,222	0,218	0,380	0,638	0,325	0,295	0,524	0,422	0,654
	Moyenne	0,216	0,280	0,431	0,148	0,167	0,220	0,201	0,173	0,218	0,227	0,330
	Ecart-type	0,077	0,168	0,422	0,027	0,087	0,139	0,058	0,046	0,140	0,096	0,149
Ile Ouen	Minimum	0,089	0,136	0,136	0,088	0,083	0,079	0,134	0,115	0,136	0,154	0,159
	Maximum	0,219	0,160	0,238	0,138	0,096	0,203	0,190	0,147	0,214	0,236	0,220
	Moyenne	0,142	0,149	0,162	0,118	0,090	0,147	0,166	0,130	0,191	0,205	0,189
	Ecart-type	0,047	0,008	0,039	0,021	0,006	0,053	0,021	0,011	0,030	0,032	0,028

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	mars-19
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	0,180
	Maximum	0,175	0,676	0,270	0,702	ND	0,255	0,176	0,203	0,255	0,249	0,214	0,356
	Moyenne	0,107	0,372	0,179	0,278	ND	0,142	0,153	0,164	0,154	0,163	0,172	0,248
	Ecart-type	0,037	0,181	0,037	0,181	ND	0,048	0,013	0,024	0,028	0,026	0,022	0,042
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	0,228
	Maximum	0,173	0,730	0,170	0,488	ND	0,425	0,584	0,334	0,329	1,058	1,116	4,240
	Moyenne	0,128	0,383	0,160	0,320	ND	0,177	0,240	0,207	0,235	0,382	0,414	0,995
	Ecart-type	0,035	0,177	0,008	0,112	ND	0,102	0,165	0,052	0,072	0,304	0,348	1,452
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	0,240
	Maximum	0,136	0,579	0,450	1,857	ND	0,414	1,670	0,344	0,319	0,622	2,970	0,754
	Moyenne	0,101	0,321	0,258	0,640	ND	0,199	0,375	0,244	0,224	0,327	0,510	0,414
	Ecart-type	0,027	0,123	0,078	0,534	ND	0,087	0,432	0,048	0,051	0,178	0,797	0,168
Ile Ouen	Minimum	0,154	0,236	0,170	0,194	ND	0,119	0,133	0,164	0,145	0,188	0,158	0,222
	Maximum	0,182	0,404	0,250	1,000	ND	0,168	0,239	0,217	0,185	0,257	0,276	0,268
	Moyenne	0,170	0,302	0,195	0,579	ND	0,138	0,196	0,195	0,163	0,225	0,229	0,249
	Ecart-type	0,014	0,057	0,028	0,312	ND	0,023	0,037	0,022	0,015	0,024	0,040	0,019

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	mars-19
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	0,026
	Maximum	0,150	<0,100	0,330	0,182	0,254	0,043	0,049	0,048	0,026	0,079	0,025	0,078
	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	0,046
	Ecart-type	0,025	-	0,092	0,054	0,107	0,008	0,001	-	-	0,026	-	0,025
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	<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	<0,025
	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	<0,025
	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	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	0,025
	Moyenne	0,079		0,054	0,033	0,179	0,034	0,087 (n=1)	0,118	0,036	0,014	-	(n=1) 0,025
	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	0,028
	Maximum	0,140	0,160	0,860	0,123	0,630	0,047	0,275	0,067	0,203	0,111	0,055	0,144
	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	0,086
	Ecart-type	0,032	0,046	0,308	0,056	0,194	0,011	0,163	0,004	-	0,042	-	0,082

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	mars-19
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	0,134
	Maximum	0,410	1,020	0,160	<0,059	0,204	<0,059	<0,059	0,201	<0,059	1,203	0,093	0,134
	Moyenne	0,132	0,190	0,098	<0,059	0,057	<0,059	<0,059	0,128	<0,059	0,162	0,084	(n=1) 0,134
	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	<0,059
	Maximum	0,140	0,450	0,290	0,178	0,135	<0,059	0,166	0,243	<0,059	0,185	0,138	<0,059
	Moyenne	0,118	0,199	0,166	0,044	0,070	0,037	0,084	0,137		0,092	0,105	<0,059
	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	<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	<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	-	<0,059
	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	<0,059
	Maximum	0,220	0,150	0,190	<0,059	0,230	<0,059	0,143	0,443	<0,059	0,197	0,129	<0,059
	Moyenne	0,157	0,125	0,122	<0,059	0,097	<0,059	0,093	0,243		0,097	0,107	<0,059
	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	mars-19
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	0,072
	Maximum	0,250	0,140	0,150	0,134	0,150	0,052	0,082	0,292	0,093	0,239	0,212	0,200
	Moyenne	0,204	0,126	0,108	0,046	0,086	0,038	0,049	0,162	0,047	0,075	0,069	0,136
	Ecart-type	0,064	0,015	0,025	0,035	0,045	0,010	0,016	0,073	0,017	0,064	0,046	0,042
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	0,167
	Maximum	0,310	0,660	0,540	0,383	0,496	0,251	0,504	0,992	0,279	0,353	0,547	2,585
	Moyenne	0,178	0,253	0,291	0,186	0,180	0,116	0,226	0,357	0,140	0,205	0,233	0,505
	Ecart-type	0,077	0,171	0,114	0,109	0,132	0,080	0,148	0,264	0,060	0,106	0,200	0,782
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	0,096
	Maximum	0,430	0,570	1,270	4,157	1,127	0,462	0,692	1,107	0,396	0,253	0,165	1,118
	Moyenne	0,240	0,341	0,357	0,615	0,439	0,197	0,267	0,481	0,168	0,147	0,095	0,283
	Ecart-type	0,071	0,135	0,299	1,163	0,252	0,123	0,184	0,255	0,124	0,068	0,043	0,290
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	0,152
	Maximum	0,250	0,330	0,330	0,258	0,422	0,136	0,285	0,525	0,143	0,268	0,191	0,270
	Moyenne	0,227	0,255	0,243	0,129	0,290	0,099	0,197	0,297	0,097	0,110	0,089	0,209
	Ecart-type	0,025	0,056	0,044	0,078	0,068	0,029	0,075	0,130	0,030	0,099	0,055	0,039

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	mars-19
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	0,119
	Maximum	0,260	0,160	0,130	0,215	0,131	0,085	0,120	0,239	0,453	0,262	0,155	0,222
	Moyenne	0,177	0,141	0,106	0,071	0,088	0,066	0,076	0,166	0,101	0,107	0,081	0,147
	Ecart-type	0,056	0,011	0,010	0,046	0,029	0,014	0,020	0,048	0,096	0,054	0,032	0,028
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	0,195
	Maximum	0,300	0,820	0,650	0,316	0,235	0,726	1,082	0,755	0,571	0,726	1,438	2,734
	Moyenne	0,206	0,277	0,322	0,175	0,168	0,261	0,306	0,309	0,214	0,325	0,416	0,703
	Ecart-type	0,055	0,212	0,180	0,076	0,052	0,247	0,337	0,197	0,179	0,233	0,466	0,965
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	0,139
	Maximum	0,540	0,630	1,060	1,435	0,369	0,578	0,702	0,838	0,453	0,670	1,861	0,862
	Moyenne	0,346	0,350	0,383	0,495	0,261	0,241	0,264	0,410	0,199	0,236	0,380	0,290
	Ecart-type	0,124	0,134	0,226	0,509	0,042	0,143	0,148	0,171	0,116	0,161	0,505	0,205
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	0,117
	Maximum	0,270	0,340	0,280	0,287	0,300	0,403	0,247	1,128	0,184	0,264	0,306	0,234
	Moyenne	0,233	0,268	0,220	0,160	0,230	0,175	0,186	0,510	0,141	0,154	0,172	0,191
	Ecart-type	0,055	0,061	0,037	0,082	0,037	0,115	0,054	0,360	0,027	0,105	0,070	0,044