



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

2nd semestre 2019



«Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique»

Rapport
Janvier 2020

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

AEL/LEA 138-VI-17-P

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

2nd semestre 2019

Kaplan H., Laurent A., Fernandez JM.

	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. 2 ^{ème} 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 2^{em} semestre 2019 (août 2019) effectuées dans la zone d’effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d’influence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin). Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO₃+NO₂ et NH₄), de matières organiques (POD,NOD, 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 et en moindre mesure pour les NOD/POD et NOP/POP. Habituellement présents en surface près des côtes (Baie de Port Boisé, de la Kwé et de Prony) les métaux latéritiques sont, pour cette campagne 2019, davantage concentrés dans la couche du fond. Les profils de turbidité et de fluorescence permettent de distinguer les stations sous influence terrigène ou bien océanique. L’augmentation de la fluorescence avec la profondeur est corrélée à l’enrichissement des eaux de fond en Chl-a du Canal de la Havannah. D’autres paramètres tels que les concentrations des éléments majeurs et arsenic, sont relativement homogènes dans l’ensemble de la zone d’étude et ne montrent pas de gradient spatial. Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison fraîche ».		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	H. Kaplan	HK	13/11/2019
Vérificateur 1	S Kumar-Roiné	SKR	13/11/2019
Vérificateur 2	C Pousse	CP	03/12/2019
Approbateur	JM Fernandez	JMFA	06/12/2019
EVOLUTION			
VERSION			DATE
V1.1	Rapport avec cartographie modifiée		23/01/2020
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Y. Vessiller	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kaplan H., Laurent A., Drouzy M., Fernandez JM. 2020. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2^{ème} semestre 2019. Contrat AEL/Vale-NC n° L15599-0002.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	8
A.	SITE D'ETUDE.....	8
B.	ECHANTILLONNAGE	9
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	10
III.	RESULTATS.....	12
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	12
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	17
C.	MATIERES EN SUSPENSION	18
D.	SELS NUTRITIFS	19
E.	MATIERES ORGANIQUES	24
F.	CHLOROPHYLLE A.....	28
G.	METAUX DISSOUS.....	30
IV.	SYNTHESE	36
A.	SELS NUTRITIFS.....	37
B.	METAUX DISSOUS.....	40
V.	CONCLUSION	46

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007¹ et 2008². La définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux marines a été réalisée entre 2005 et 2007 sur 18 stations (Fernandez *et al.*, 2006 ; Fernandez *et al.*, 2007).

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

L'objectif consiste à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique 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 **2nd semestre 2019** (août 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 en une campagne complète de prélèvements d'eau afin de déterminer semestriellement les principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations de métaux dissous ainsi que les concentrations de sels nutritifs et de matière organique dissoute et particulaire.

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

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

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). 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.



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



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

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 20 au 22 août 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 seconde campagne semestrielle, 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 particuliers) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle a et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr^{VI}), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

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

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions hydro-climatiques ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de resituer chaque prélèvement dans son contexte, les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Vale-NC (Goro Usine) 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 (16 au 19 août 2019) sont les suivantes : 1,4mm de précipitation pendant la campagne et des vents moyens de $9,3 \pm 1,4$ m/s.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (20 au 22/08/2018) sont les suivantes :

- Le 20/08/2019 : Vents variant d'E à S-SO de 0 à 5 nœuds le matin et se renforçant jusqu'à 11 nœuds en début d'après-midi avec une couverture nuageuse de 50% et de rares averses.
- Le 22/08/2019 : Vents d'O-SO de 0 à 5 nœuds le matin et se renforçant jusqu'à 10 nœuds en début d'après-midi avec une couverture nuageuse de 10%.
- Au total, 2,2mm de précipitations ont été relevés durant les 5 jours qui ont précédé le premier jour de la campagne.

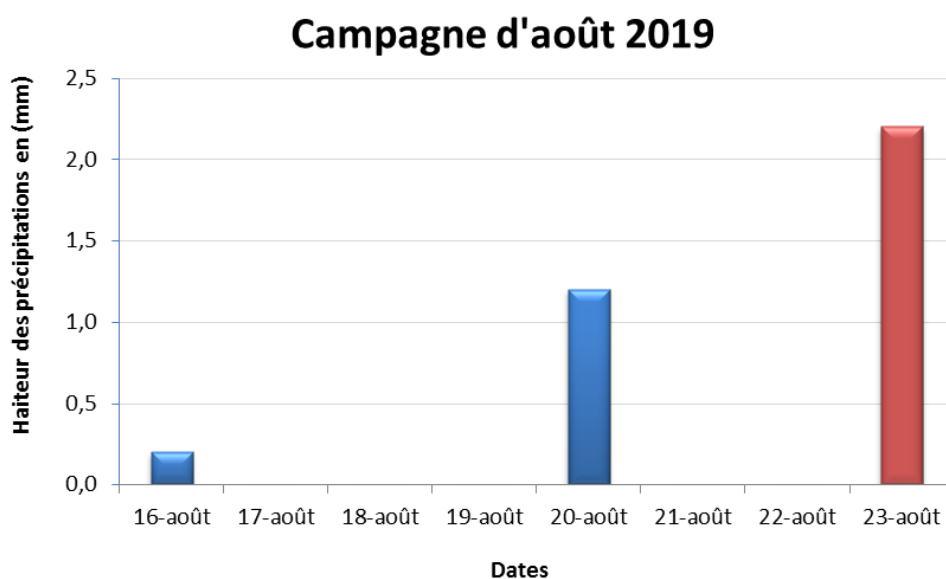


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées pendant les 5 jours précédant la campagne (16 au 20/08/2018) et pendant la campagne semestrielle (20 au 22/08/19). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "Goro usine".

Les prélèvements ont été réalisés à différents moments de la marée, ainsi :

- Le 1er jour, les stations des baies du Canal, celles du Canal de la Havannah et de Port boisé (St14, St05, St02, St09, St06, St03, et St07) ont été prélevées entre l'étalement de marée haute et le début de la marée descendante.
- Le 2ième jour, les prélèvements ont été effectués à l'îlot Ugo (St21) puis à l'île Ouen aux stations St13 et St20, lors de la marée montante. En fin de matinée, la Baie de Prony avec les stations St18, St15, St16 et St19 ont été visitées pendant l'étalement de marée haute et le début de la marée descendante (Figure 3).

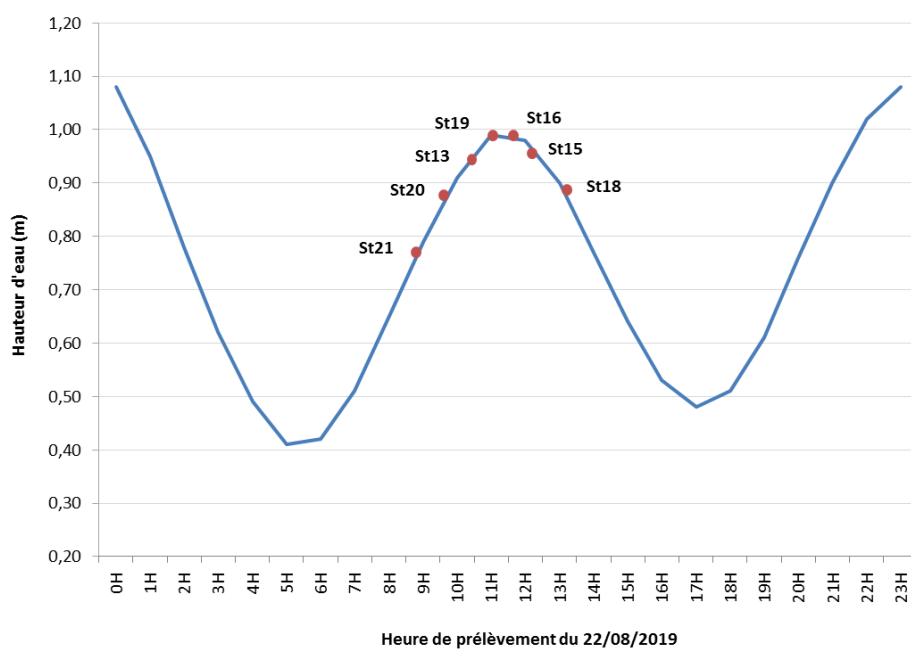
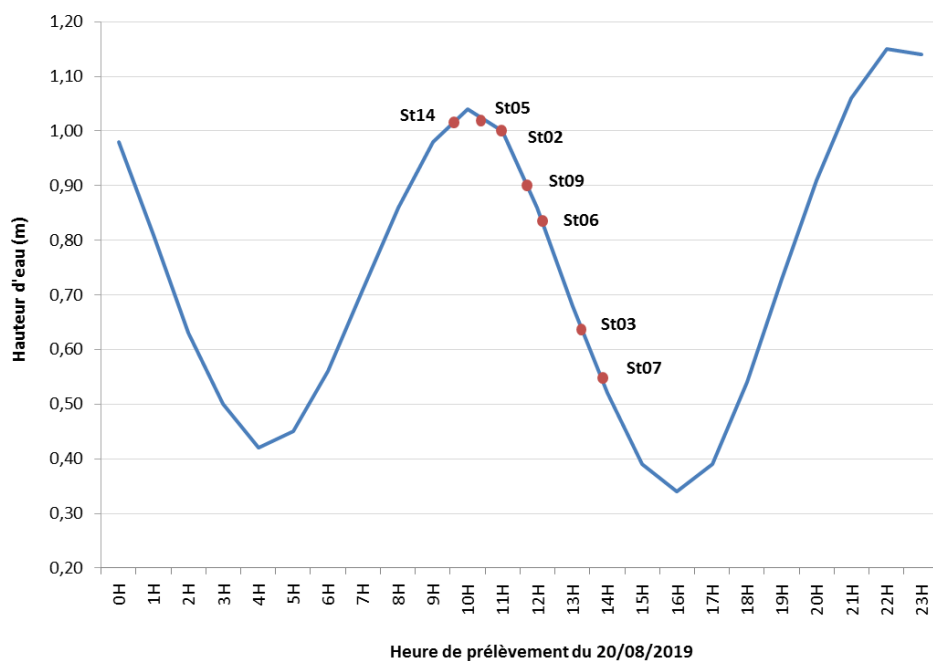


Figure 3: Chronologie des événements de la campagne semestrielle d'août 2019 reportée sur les marégrammes du 20 au 22 août 2019.

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 du statut trophique du milieu.

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

Remarque : Les profils CTD sont manquants pour la station St18 en raison d'un problème technique lors de l'acquisition des données.

Tableau 2: Statistique des valeurs de température, salinité, fluorescence et turbidité enregistrées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Turbidité (NTU)	Fluorescence (mg/m3)
Canal de la Havannah	Minimum	21,61	35,50	0,20	0,07
	Maximum	22,43	35,69	1,01	0,64
	Moyenne	22,27	35,55	0,33	0,34
	Ecart-type	0,20	0,06	0,10	0,12
Baies du Canal	Minimum	22,04	35,38	0,26	0,07
	Maximum	22,52	35,60	1,70	0,72
	Moyenne	22,23	35,50	0,50	0,39
	Ecart-type	0,08	0,04	0,21	0,13
Baie du Prony	Minimum	21,61	35,42	0,39	0,01
	Maximum	21,99	35,67	15,43	1,27
	Moyenne	21,77	35,61	1,92	0,43
	Ecart-type	0,09	0,05	3,02	0,25
Ile Ouen	Minimum	21,52	35,25	0,40	0,12
	Maximum	21,99	35,69	1,66	0,43
	Moyenne	21,86	35,67	0,62	0,24
	Ecart-type	0,11	0,05	0,22	0,08

1. Température

Globalement, la température est d'environ $22,09 \pm 0,3^\circ\text{C}$ et varie peu. En 2018, la température moyenne était du même ordre de grandeur avec $22,27 \pm 0,21^\circ\text{C}$. Les deux zones d'étude dont les températures sont les plus chaudes, sont une nouvelle fois le Canal de la Havannah et les baies du Canal, (Tableau 2) comme l'année passée à la même période.

Dans le **Canal de la Havannah**, les profils de température sont comparables et globalement homogènes pour les stations St02, St05 et St09 ($22,40 \pm 0,02^\circ\text{C}$). En revanche, les profils des stations St07 et St21 diffèrent. Au niveau de Ioro, la température décroît de $0,4^\circ\text{C}$ régulièrement le long la colonne d'eau tandis qu'à l'ilot Ugo, la température est nettement plus fraîche dans l'ensemble avec $21,9 \pm 0,07^\circ\text{C}$. À cette même station, une couche d'eau plus fraîche est visible dans les 5 derniers mètres.

Au niveau des **baies du Canal**, la température moyenne est relativement stable avec $22,23 \pm 0,08^\circ\text{C}$. Une thermocline est visible à 5 mètres de profondeur aux stations St03 et St06. A l'inverse, la température de la colonne d'eau à la station St14 est très stable.

Dans la **Baie du Prony**, une fine thermocline est visible à 4 mètres de profondeur à la station St16. Au-delà, la température est relativement stable tout comme à la station St19. A la station St15, quelques variations de température sont visibles dans les 15 premiers mètres de profondeur avant d'être stables.

Dans la zone de **l'île Ouen**, les températures relevées sont légèrement plus fraîches à la station St20 par rapport à la station St13. Elles sont très stables sur toute la colonne d'eau excepté en surface des deux stations où les températures augmentent sur les 2 premiers mètres. (Figure 4).

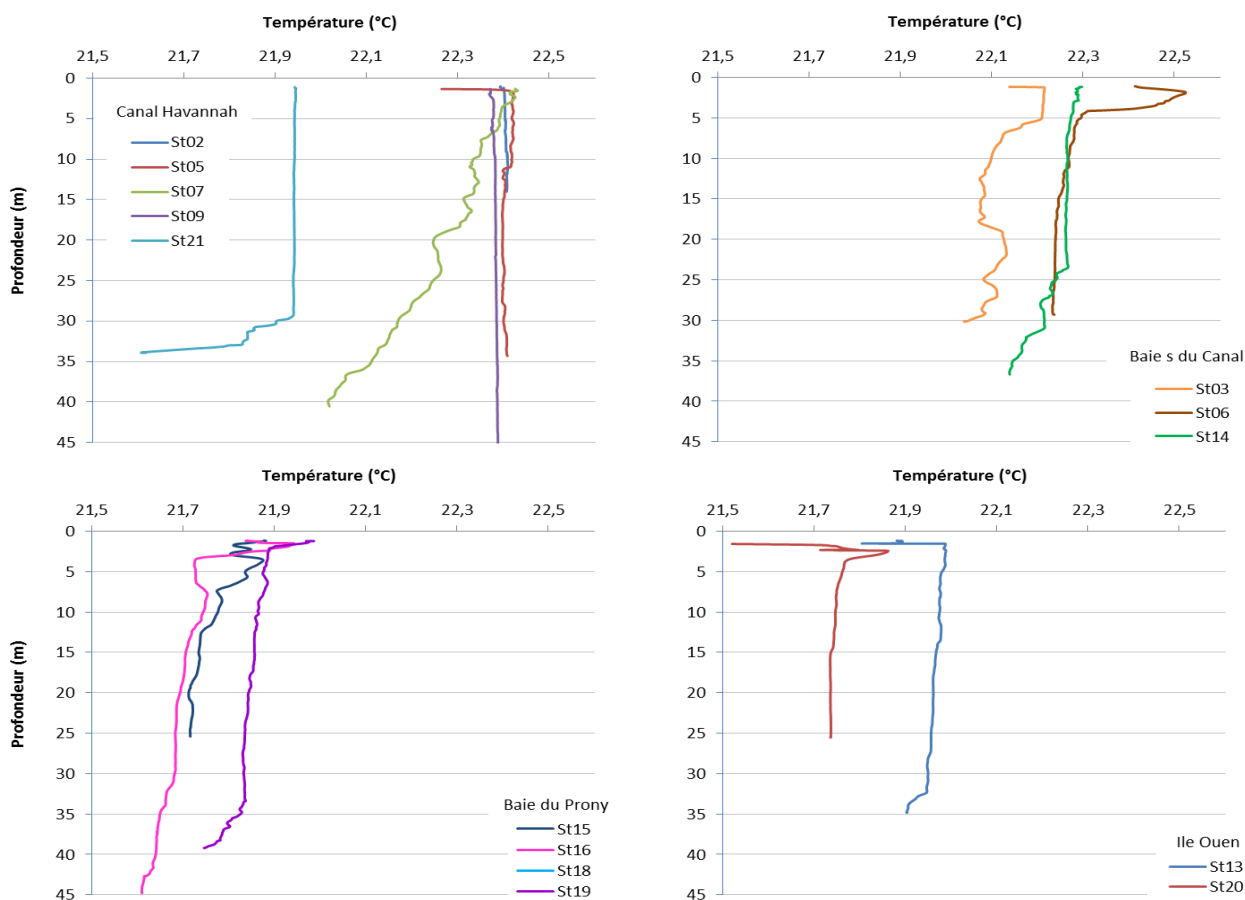


Figure 4: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

2. Salinité

La mesure de salinité montre de très légères différences entre les zones d'étude puisque la moyenne globale est de $35,57 \pm 0,07 \text{ ‰}$ (tableau 2).

En effet, les salinités moyennes dans le **Canal de la Havannah** et dans les **baies du Canal** sont comparables avec un écart de seulement 0,05 ‰.

Au niveau de la **baie du Prony** et de **l'île Ouen** les valeurs sont également proches avec un écart de 0,06 ‰.

Les salinités des stations St02, St05 et St09 dans le **Canal de la Havannah** sont constantes sur toute la colonne d'eau, à *contrario* de la station St07 où elle augmente légèrement à partir de la mi-profondeur. À l'îlot Ugo (St21), la salinité est supérieure à celles des autres stations et montre la présence d'une fine couche moins salée entre 30 et 35m de profondeur qui coïncide avec la baisse de température observée à ce niveau (Figure 4).

Au niveau des **Baies du Canal**, une couche d'eau légèrement dessalée est visible dans les 3 premiers mètres de la surface traduisant l'arrivée d'eau douce par les creeks de la baie de Port Boisé (St03) et la baie Kwé (St06). Pour cette dernière, au-delà des 3 mètres de profondeur, la salinité atteint la valeur de la station St14.

En **Baie du Prony**, les variations de salinité marquent les 3 premiers mètres de la colonne d'eau ; au-delà, les valeurs sont homogènes. L'influence de l'arrivée d'eau douce par les creeks est visible aux stations St15 et St16. En revanche, elle est moins marquée à la station St19 proche du récif frangeant.

Dans la zone de **l'île Ouen**, les salinités relevées aux deux stations respectives sont similaires : une couche d'eau dessalée de 3 m surmonte une couche plus salée qui occupe tout le reste de la colonne d'eau. (Figure 5).

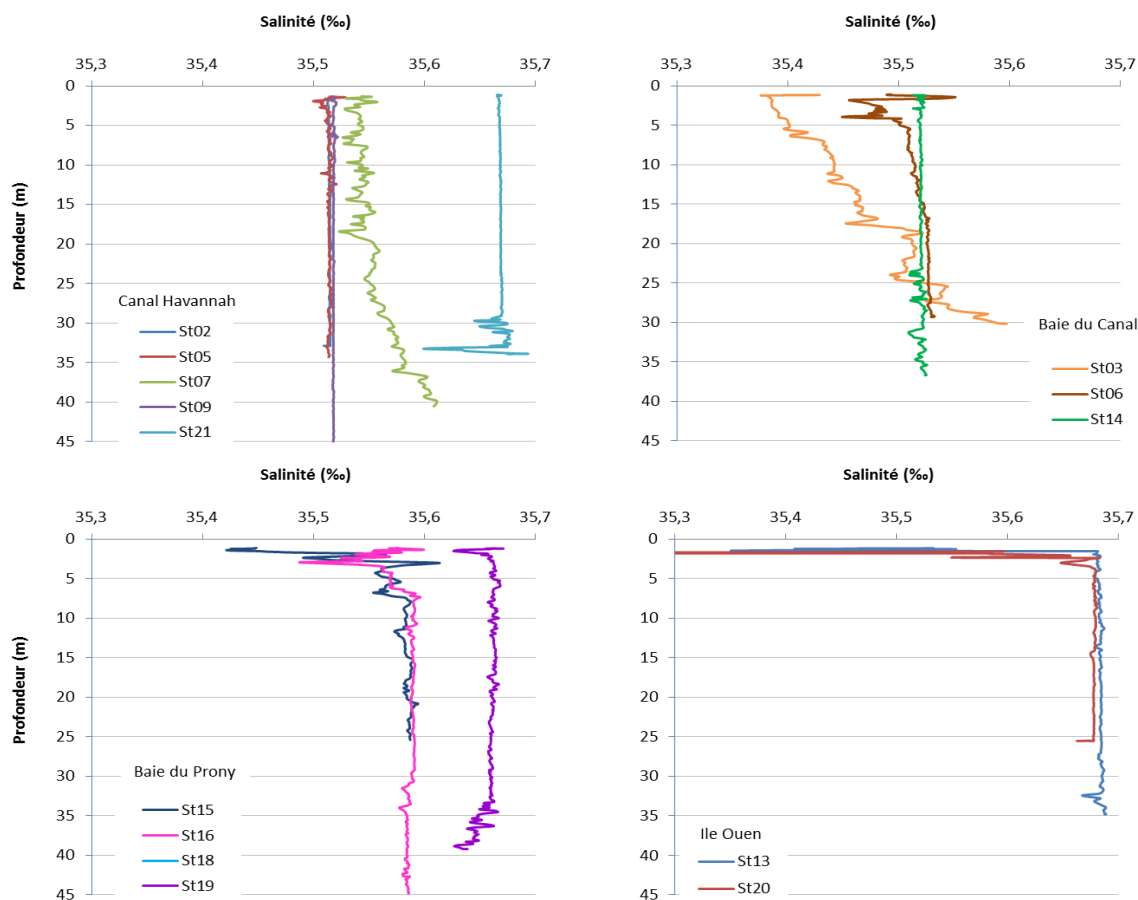


Figure 5: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

3. Fluorescence

Globalement, les profils de fluorescence montrent quelques différences selon les zones étudiées. En effet, elles montrent une moyenne globale marquée par une forte variabilité ($0,36 \pm 0,17 \text{ mg/m}^3$).

Les variations de fluorescence les plus importantes se situent en **Baie du Prony**, en surface de la station St16 et à mi-profondeur de la station St15. Dans une moindre mesure, l'intensité de la fluorescence aux stations St03 et St06 des **baies du Canal** est croissante avec la profondeur.

Au niveau du **Canal de la Havannah** et de **l'Île Ouen**, la fluorescence est assez stable le long de la colonne d'eau (Figure 6).

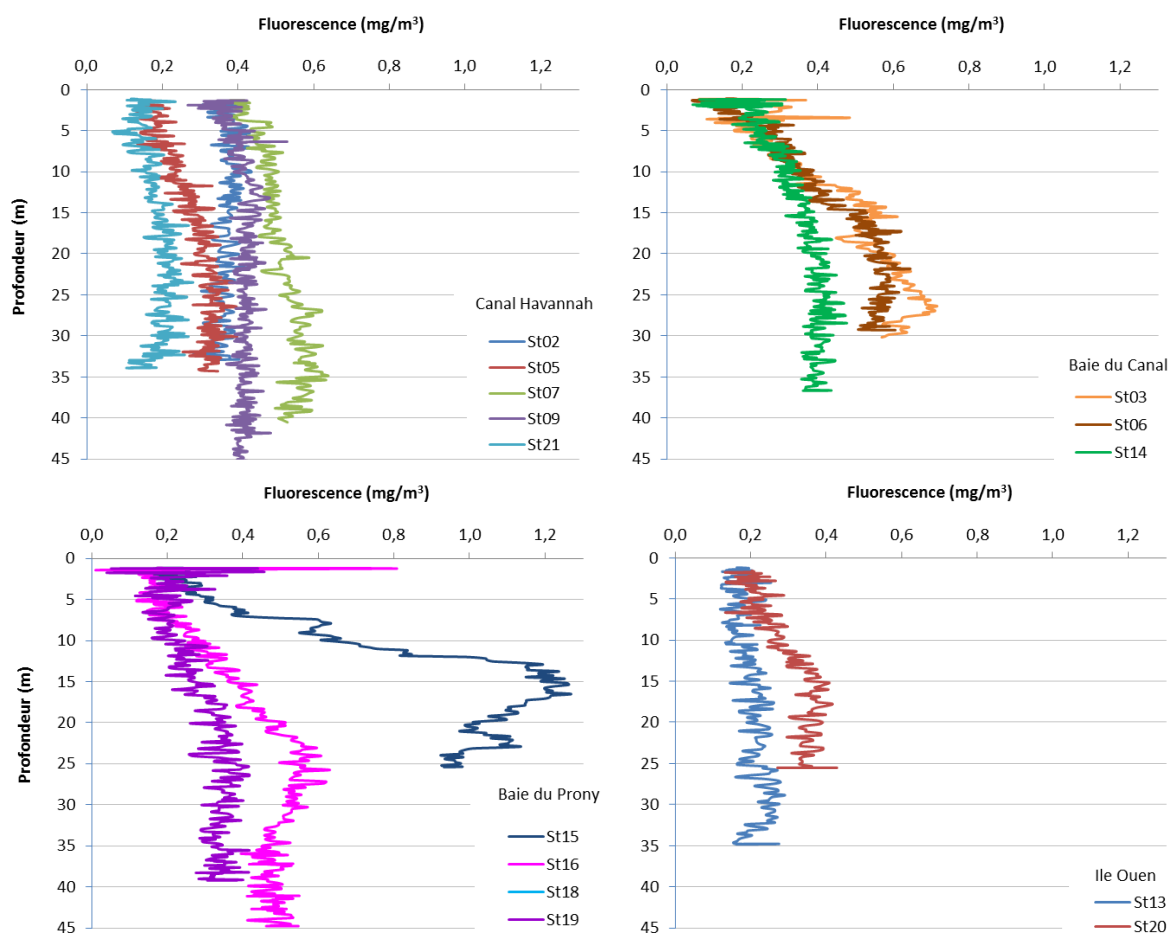


Figure 6: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

4. Turbidité

Les profils de turbidité sont globalement stables le long de la colonne d'eau à l'exception de ceux des stations St16 et St19 de la **Baie du Prony**. En effet, des pics importants de turbidité sont visibles entre la surface et environ 10m de profondeur atteignant 15,43 NTU à la station St19.

Dans les autres zones, les profils de turbidité sont regroupés avec une valeur moyenne allant de $0,33 \pm 0,10$ à $0,62 \pm 0,22 \text{ NTU}$, respectivement pour la **Canal de la Havannah** et **l'Île Ouen**.

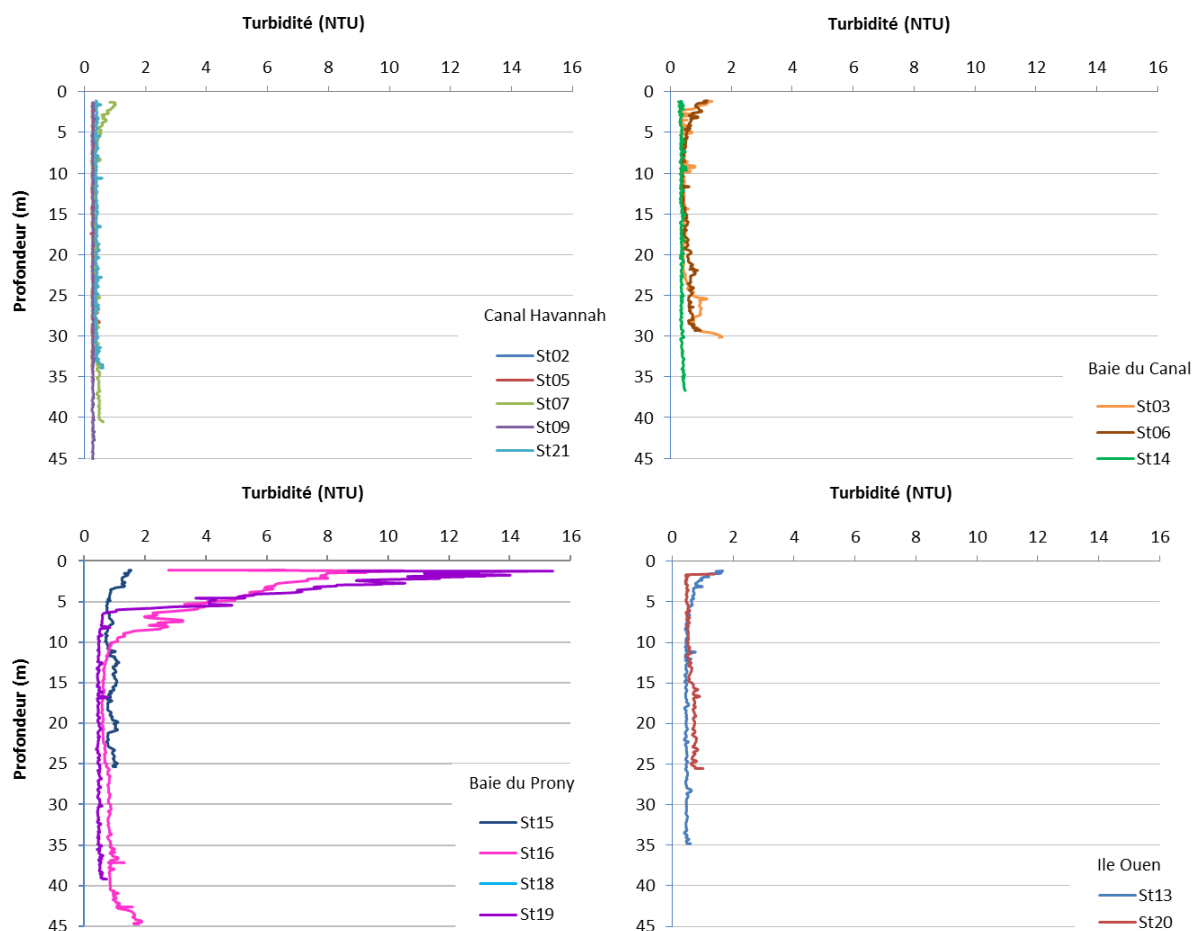


Figure 7: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques révèlent l'impact de l'effet saisonnier et des conditions météorologiques. En effet, le faible volume de précipitations relevé cette année avant et pendant la campagne rend moins visible l'influence des apports d'eau douce provenant des creeks. Ces influences sont décelables tant au niveau des baies (St03, St06 et St15) que dans celle de l'Ile Ouen (St13 et St20) où les valeurs de salinité sont plus faibles en corrélation avec des températures plus fraîches.

Par ailleurs, aucune couche turbide de profondeur (néphéloïde benthique) n'est observée comme à l'accoutumée. En revanche, des couches turbides sont présentes en surface dans la baie du Prony (St16 et St19) pouvant être liées au brassage des masses d'eau à l'étalement de marée. De manière générale, la fluorescence est faible et augmente légèrement avec la profondeur. Quelques valeurs fortes sont relevées au niveau des stations des baies en surface (St16 et St19) et à mi-profondeur (St15) de la baie du Prony et en profondeur (St03) de Port Boisé et (St06) Baie Kwé.

Dans la plupart des cas, les profils physico-chimiques obtenus permettent de confirmer que les stations situées dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont principalement influencées par les apports océaniques qui renouvellent les masses d'eaux par le biais des phénomènes de marées. Ces mécanismes distinguent ces stations de celles du reste du réseau. De plus, un phénomène d'halocline est visible dans la couche de surface aux stations St03, St06, St16 et St19, comme conséquence de la stratification des eaux.

Des turbidités notables sont observées en surface des stations St16 et St19. Enfin, cette structuration des masses d'eau aura une incidence sur la mesure des sels nutritifs qui conditionnent la productivité primaire de ces eaux.

B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

Les concentrations des éléments majeurs et les 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 très homogènes et restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Tableau 3). (Kaplan et al, 2018).

Le pH moyen est également particulièrement homogène dans l'ensemble de la zone d'étude ($8,10 \pm 0,00$) (Tableau 3). Le pH moyen mesuré lors de cette campagne est légèrement plus faible que celui obtenu lors de la campagne précédente d'août 2018 ($8,35 \pm 0,05$).

Tableau 3 : Statistiques des concentrations en éléments majeurs et des valeurs du pH mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Zone d'étude	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,10	416	520	1278	11294	18750	2150
	Maximum	8,10	537	663	1663	13067	19444	2600
	Moyenne	8,10	456	563	1409	11904	19398	2393
	Ecart-type	0,00	39	45	120	605	179	128
Baies du Canal	Minimum	8,10	436	538	1346	11465	18750	2300
	Maximum	8,10	476	581	1468	12250	20139	2450
	Moyenne	8,10	450	556	1397	11760	19290	2400
	Ecart-type	0,00	16	16	47	271	463	43
Baie du Prony	Minimum	8,10	431	520	1321	11697	18055	2200
	Maximum	8,10	539	647	1675	13329	19444	2400
	Moyenne	8,10	465	563	1440	12306	19270	2283
	Ecart-type	0,00	36	46	123	606	432	72
Ile Ouen	Minimum	8,10	426	524	1309	11557	19444	2150
	Maximum	8,10	562	679	1740	13465	19444	2400
	Moyenne	8,10	478	590	1479	12632	19444	2250
	Ecart-type	0,00	53	60	167	768	0	100

Ce qu'il faut retenir :

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

C. MATIERES EN SUSPENSION

Rappel : La mesure des matières en suspension (MES) est importante dans les milieux côtier et estuarien car elle reflète à la fois l'intensité 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 particulière élevée peut, en effet, modifier l'importance de la couche euphotique. En milieux côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,5 à 5,0 mg/L (Aminot et Kérouel, 2004).

Les concentrations de matière en suspension (MES) déterminées lors de la campagne d'août 2019 sont représentées dans la Figure 8, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Les concentrations mesurées en MES sont légèrement variables dans la zone d'étude (Tableau 4 **Erreur ! Source d u renvoi introuvable.**). L'écart-relatif mesuré entre les valeurs est de 35%.

La concentration moyenne la plus élevée a été obtenue dans la zone de la **Baie du Prony** ($0,485 \pm 0,084$ mg/L) avec peu de variation entre les différents niveaux de la colonne d'eau.

Les valeurs moyennes mesurées dans les autres zones sont proches avec respectivement $0,336 \pm 0,152$ mg/L dans le **Canal de la Havannah**, $0,328 \pm 0,123$ mg/L dans les **Baies du Canal** et $0,387 \pm 0,070$ mg/L à l'**Île Ouen**.

La quantité de MES la plus importante a été mesurée à mi-profondeur de la station loro (St07).

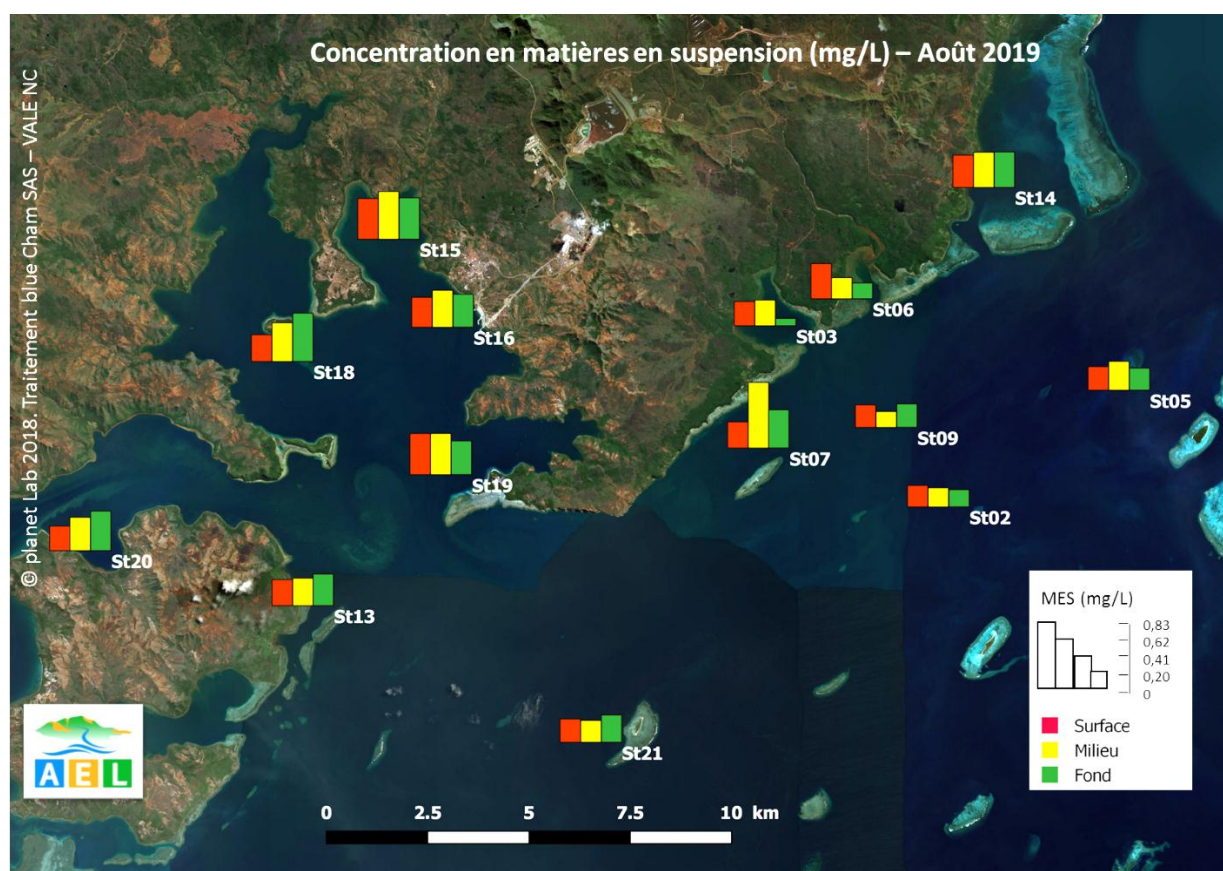


Figure 8: Distribution des concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Tableau 4: Statistique des concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,200
	Maximum	0,832
	Moyenne	0,336
	Ecart-type	0,152
Baies du Canal	Minimum	0,096
	Maximum	0,448
	Moyenne	0,328
	Ecart-type	0,123
Baie du Prony	Minimum	0,338
	Maximum	0,614
	Moyenne	0,485
	Ecart-type	0,084
Ile Ouen	Minimum	0,312
	Maximum	0,502
	Moyenne	0,387
	Ecart-type	0,070

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, les concentrations en MES sont relativement homogènes dans la zone d'étude à l'exception de celles mesurées dans la Baie du Prony qui sont légèrement plus élevées. Aucun gradient côte-large est visible à *contrario* des campagnes précédentes.

D. SELS NUTRITIFS

Note : Le périmètre de certification s'est étendu aux analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer en 2017 grâce à la validation des méthodes de dosage des nitrates, nitrites, azote totale, phosphore total et silicates. Ainsi, certains domaines d'application et limites de quantification ont évolué. Ces nouvelles mentions sont reportées en Annexe 1.

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2019 sont regroupées dans les Figure 9, Figure 10, Figure 11, le Tableau 5 et l'Annexe 4.

1. Nitrates et nitrites

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

parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en NO_3^- variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.

Note : Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage est 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).

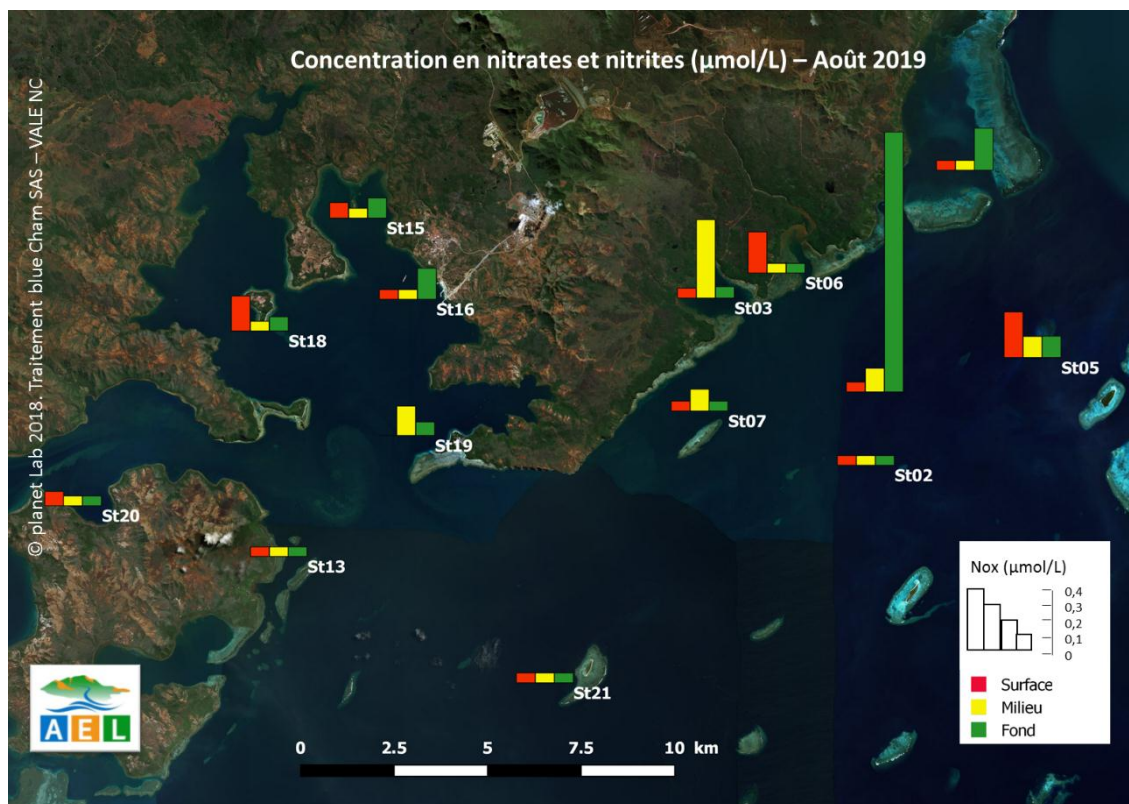


Figure 9: Distribution des concentrations en nitrates et nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Lors de cette campagne, la concentration moyenne en $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ est plus importante au niveau du **Canal de la Havannah** avec $0,163 \pm 0,324 \mu\text{mol/L}$. Celle-ci est majorée par la présence d'une concentration maximale en profondeur à la station St09.

Au niveau des **baies du Canal**, de la **Baie du Prony** et de **l'île Ouen** la présence de la $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ est variable dans la colonne d'eau. Les concentrations moyennes de ces zones sont particulièrement faibles avec respectivement $0,126 \mu\text{mol/L}$, $0,092 \mu\text{mol/L}$ et $0,054 \mu\text{mol/L}$. (Tableau 5 ; Figure 9 ; Annexe 4)

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 spatiale du NH_4 dans la zone et dans la colonne d'eau est hétérogène. La concentration moyenne la plus importante est celle rencontrée dans la **baie du Canal** avec $0,209 \pm 0,143 \mu\text{mol/L}$. A l'inverse, la concentration moyenne la plus faible est celle de **l'île Ouen** avec $0,048 \pm 0,038 \mu\text{mol/L}$.

Dans le **Canal de la Havannah** et la **baie du Prony** les concentrations moyennes sont comparables avec respectivement $0,155 \pm 0,171 \mu\text{mol/L}$ et $0,144 \pm 0,117 \mu\text{mol/L}$. (Tableau 5 et Figure 10).

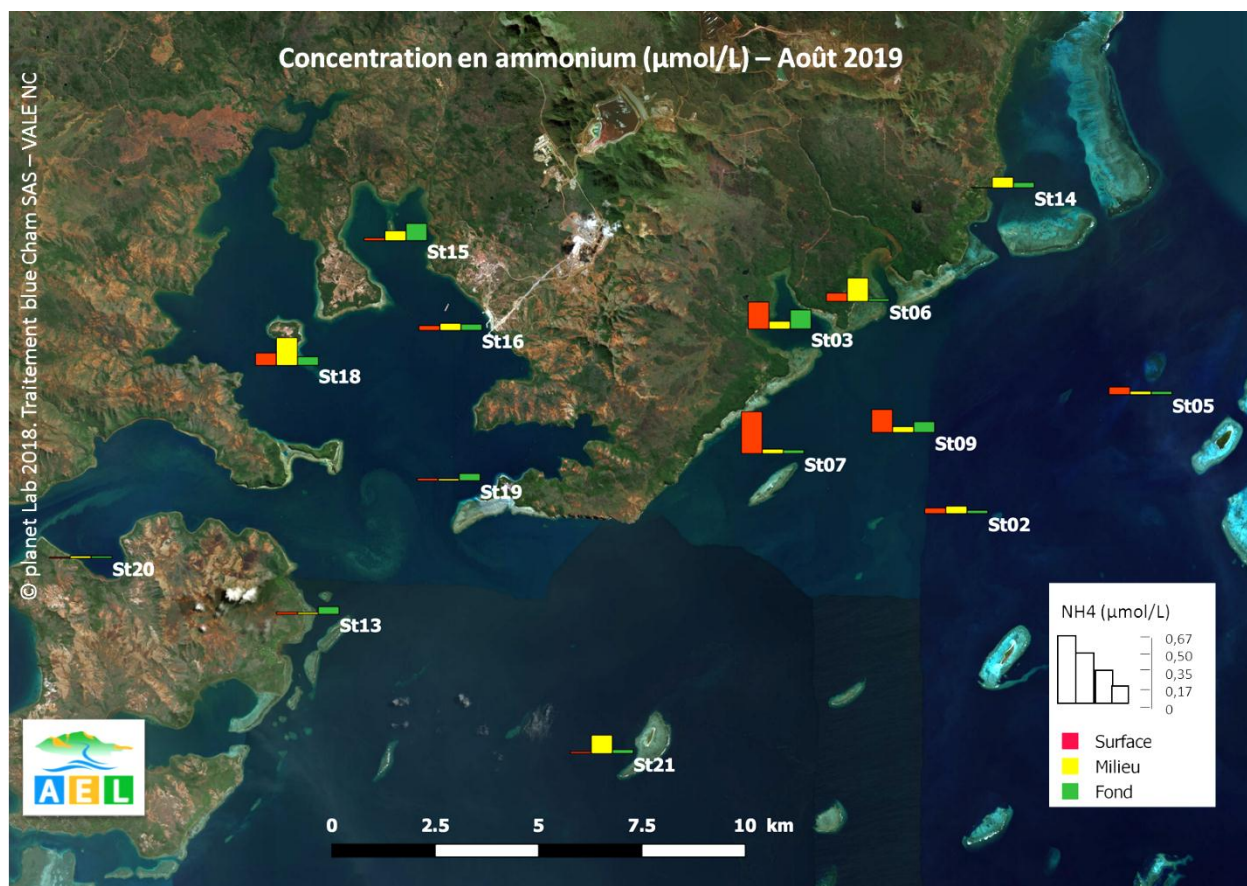


Figure 10: Distribution des concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

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.

Une seule valeur mesurable de PO_4 a été obtenue à la station St07 en profondeur ($0,288 \mu\text{mol/L}$) dans le **Canal de la Havannah**. Les concentrations mesurées aux autres stations sont inférieures à la limite de quantification ($<0,050 \mu\text{mol/L}$) (Annexe 5).

4. Silicates

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

Les concentrations en silicates moyennes (Figure 11) mesurées dans la **baie du Prony** ($2,78 \pm 1,32 \mu\text{mol/L}$) et les **baies du Canal** ($2,05 \pm 1,81 \mu\text{mol/L}$) sont supérieures à celles du **Canal de la Havannah** ($1,73 \pm 1,51 \mu\text{mol/L}$) et de l'**Île Ouen** ($1,32 \pm 0,38 \mu\text{mol/L}$).

A l'exception des stations de l'Île Ouen, les écarts-types observés indiquent une grande variabilité des teneurs en silicates entre les stations d'une même zone d'étude géographique.

Le long de la colonne d'eau, les concentrations en SiO_4 ne montrent pas de gradient spécifique ; les plus fortes valeurs mesurées se situent en surface des stations St09 et St19 ainsi qu'à mi-profondeur des stations St14 et St16. (Annexe 4) et restent dans l'ordre de grandeur des campagnes précédentes.

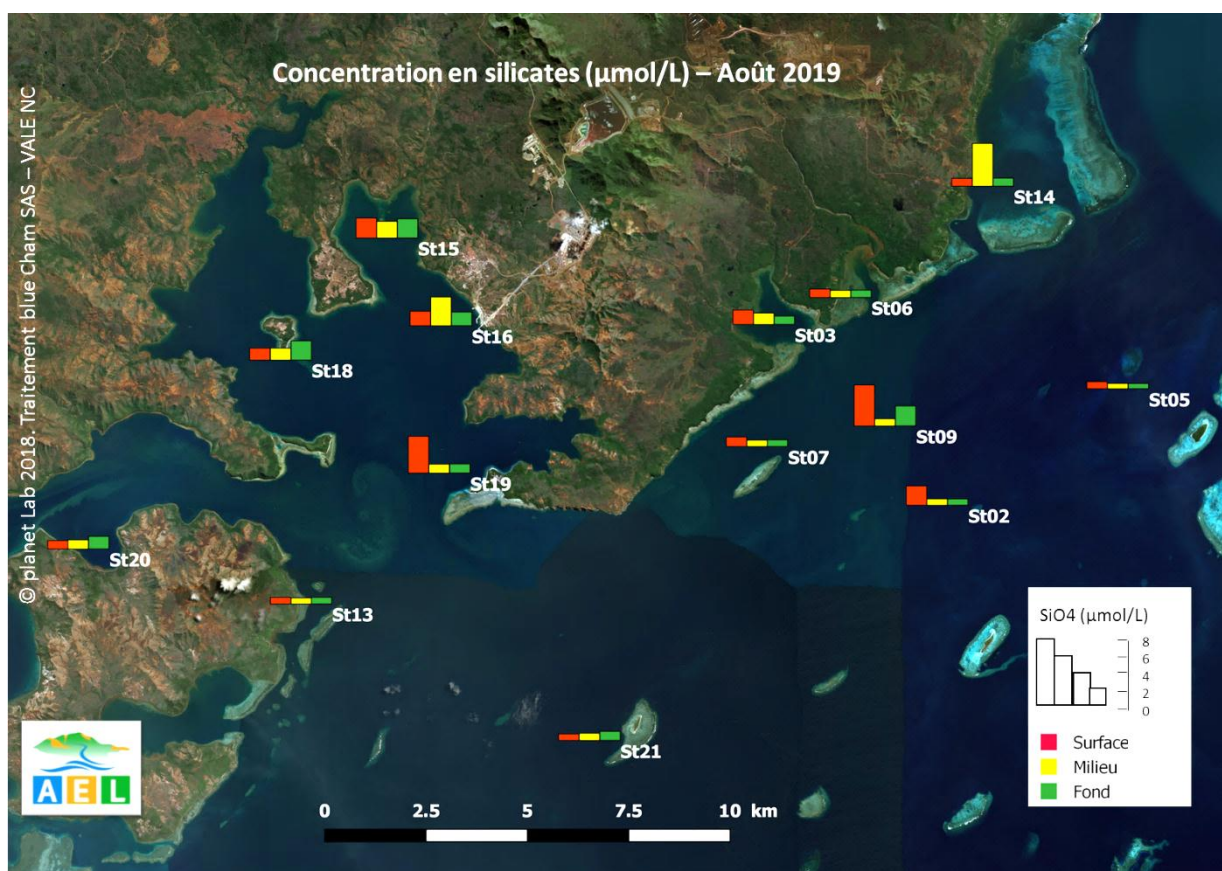


Figure 11: Distribution des concentrations en silicates (SiO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Tableau 5 : Statistiques des concentrations en sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,033	<0,050	0,84
	Maximum	1,319	0,670	0,288	6,49
	Moyenne	0,163	0,155	0,066	1,73
	Ecart-type	-	0,171	-	1,51
Baies du Canal	Minimum	<0,050	0,042	<0,050	1,13
	Maximum	0,399	0,431	<0,050	6,77
	Moyenne	0,126	0,209	<0,050	2,05
	Ecart-type	-	0,143	-	1,81
Baie du Prony	Minimum	<0,050	0,032	<0,050	1,38
	Maximum	0,179	0,440	<0,050	5,81
	Moyenne	0,092	0,144	<0,050	2,78
	Ecart-type	-	0,117	-	1,32
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,021	<0,050	0,96
	Maximum	0,073	0,124	<0,050	1,99
	Moyenne	0,054	0,048	<0,050	1,32
	Ecart-type	-	0,038	-	0,38

Ce qu'il faut retenir :

La quantification des sels nutritifs réalisée sur l'ensemble de la zone montre des profils de répartition bien distincts.

La distribution spatiale des SiO₄ suit un gradient « côte-large » décroissant traduisant ainsi les apports terrigènes dans les baies du Prony essentiellement mais également observables au niveau des baies du Canal.

Les concentrations moyennes en sels nutritifs du Canal de la Havannah et de l'Ile Ouen, majoritairement influencées par les apports océaniques, sont plus faibles que celles des baies (Figure 12 ; Tableau 5) à l'exception des NO₃+NO₂ par la présence d'une valeur forte à la station de Ioro. La répartition verticale de ces éléments dans la colonne d'eau est variable.

Les quelques concentrations en NO₃+NO₂ et NH₄ plus importantes reflètent l'influence des apports de matières organiques d'origines océaniques et ses cycles de production/dégradation concomitants.

Les concentrations en PO₄ n'étant pas quantifiables, à l'exception de la station St07-F, aucune interprétation ne peut être faite.

Depuis le début des campagnes « saisons fraîches », la mesure des concentrations de NO₃+NO₂, NH₄, PO₄ et SiO₄ ne montre pas d'évolution significative des concentrations moyennes obtenues dans les 4 zones étudiées (Annexe 7).

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2019 sont regroupées dans les Figure 13, 14 et 15 ainsi que le Tableau 6, et l'Annexe 5.

1. Azote et phosphore organiques dissous

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

Les concentrations en azote organique dissous (NOD) maximales mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2019 sont obtenues en baie de Prony, à proximité de la côte (St15 et St18). La concentration moyenne en NOD sur l'ensemble de la zone est de $7,45 \pm 1,30 \mu\text{mol/L}$. Par zone, les concentrations moyennes en NOD sont relativement homogènes mais leur répartition verticale est variable (Figure 12 et Tableau 6). En effet, les valeurs les plus élevées sont obtenues en surface en baie de Prony (St15, St16, St18, St20) mais pour le reste des stations, on observe une augmentation des concentrations en NOD avec la profondeur, avec un maximum observé au fond ou à mi-profondeur.

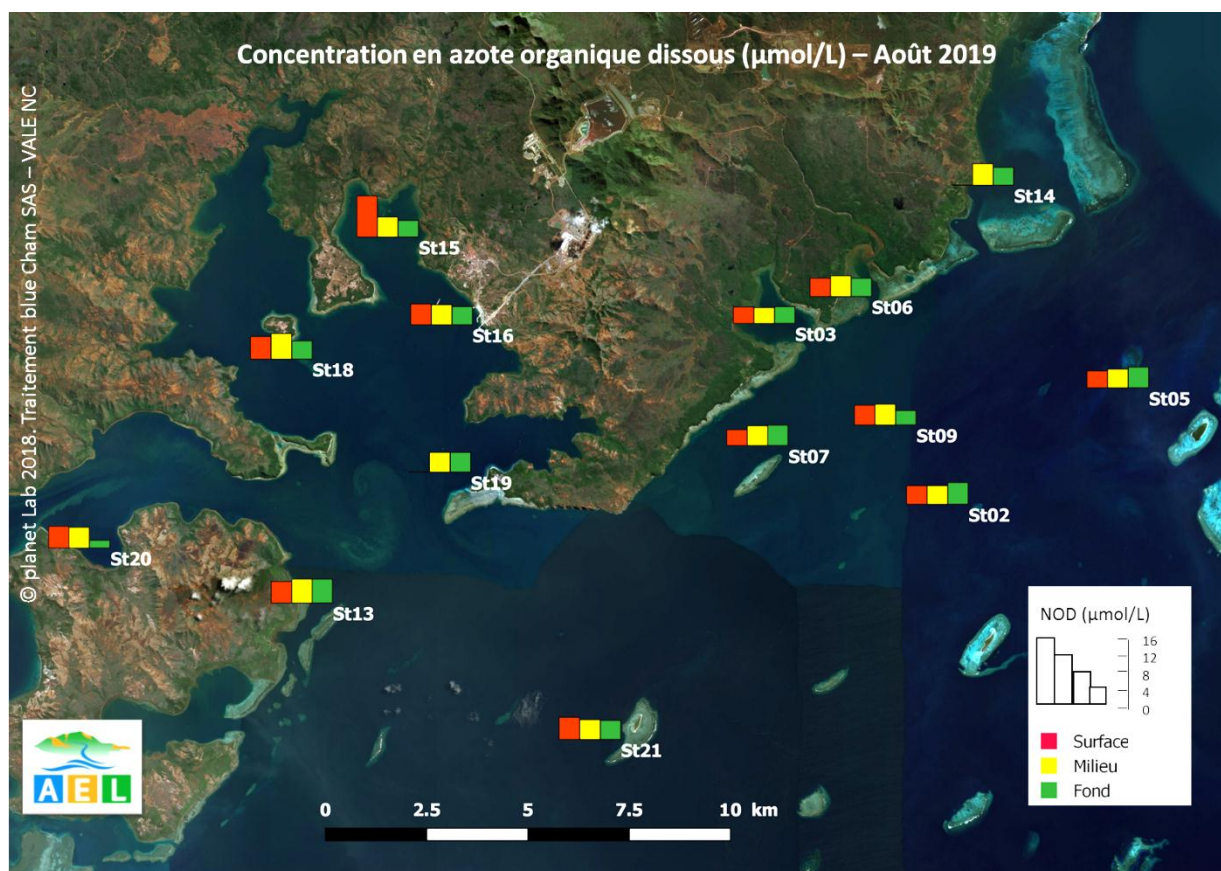


Figure 12 : Distribution des concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

En ce qui concerne le phosphore organique dissous (POD, Figure 13), globalement, il est présent sur l'ensemble de la zone d'étude dans des concentrations similaires, avec toutefois une diminution de sa concentration moyenne dans les **baies du Canal** ($0,174 \pm 0,058 \mu\text{mol/L}$) par rapport à la **baie du Prony** ($0,235 \pm 0,066 \mu\text{mol/L}$), de l'**Île Ouen** ($0,223 \pm 0,059 \mu\text{mol/L}$) et du **Canal de la Havannah** ($0,202 \pm 0,096 \mu\text{mol/L}$).

La répartition verticale des valeurs de concentrations en chaque station n'indique pas de tendance particulière.

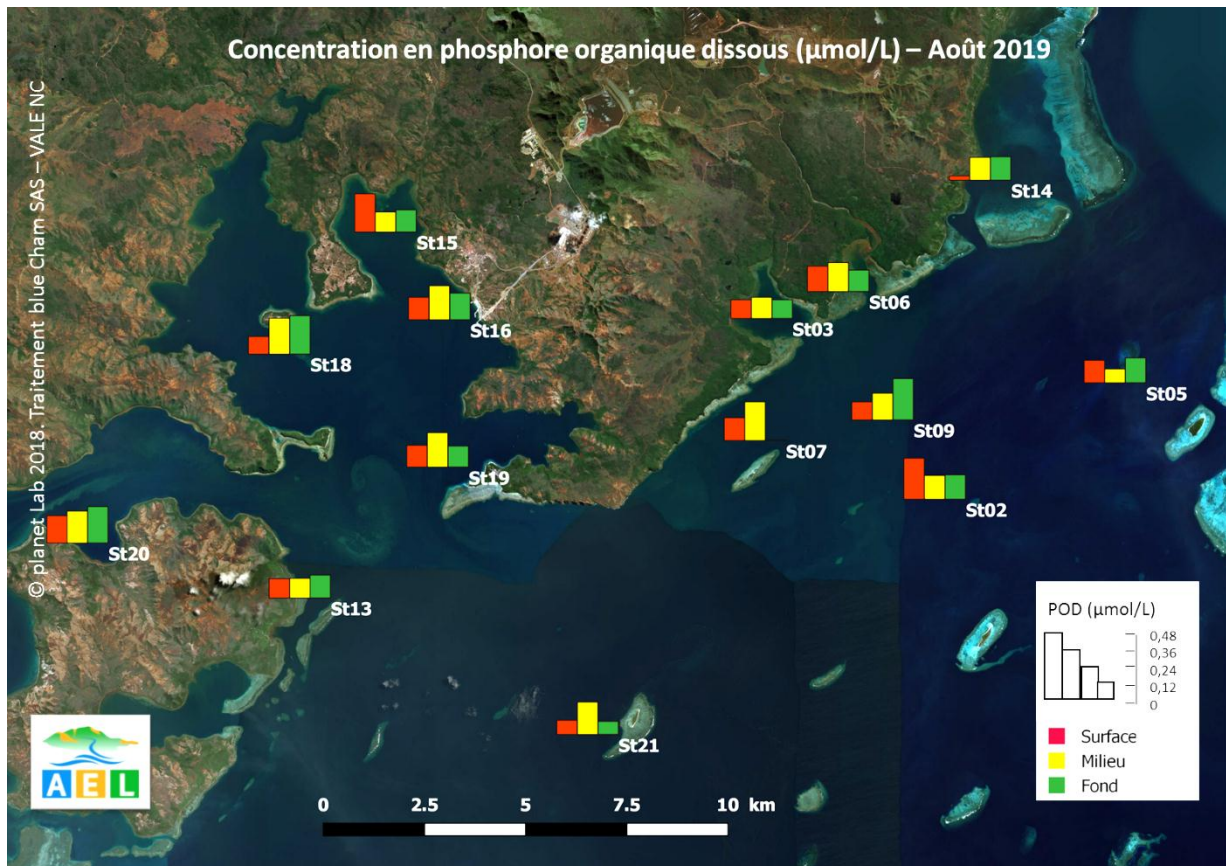


Figure 13 : Distribution des concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

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

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

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

Pour l'azote organique particulaire (NOP), la distribution des concentrations moyennes montre un gradient « côte-large » décroissant. La concentration moyenne la plus faible est celle mesurée dans le **Canal de la Havannah** avec $0,570 \pm 0,164 \mu\text{mol/L}$ où un gradient vertical décroissant des concentrations est aussi visible.

A l'inverse, les concentrations moyennes sont plus fortes au niveau des **baies**. La zone de l'**Ile Ouen** présente une concentration particulièrement élevée en profondeur de la station St20 qui majore la concentration moyenne de cette zone (Figure 14, Tableau 6).

Le phosphore organique particulaire, mesuré dans toutes la zone d'étude, est présent de façon hétérogène (Figure 15, Tableau 6). Les concentrations maximales sont trouvées au niveau des **baies du Canal** (0,087 $\mu\text{mol/L}$). Dans le **Canal Havannah**, ils sont plus concentrés en surface à l'exception de la station St21. A l'inverse, les concentrations en POP maximales sont mesurées en profondeur dans la **baie du Prony**, excepté à la station St16 où elles sont observées à mi-profondeur.

Enfin, les concentrations moyennes en COP (Figure 16, Tableau 6) mesurées dans les **baies du Canal**, celles du **Prony** et de l'**Ile Ouen** sont du même ordre de grandeur (respectivement $6,06 \pm 2,64$; $5,38 \pm 1,15$; $5,60 \pm 0,77$ $\mu\text{mol/L}$) tandis que celles du **Canal de la Havannah** sont légèrement plus faibles (4,99 $\mu\text{mol/L}$). Les concentrations les plus fortes se situent en profondeur des stations St03, St09 et St05.

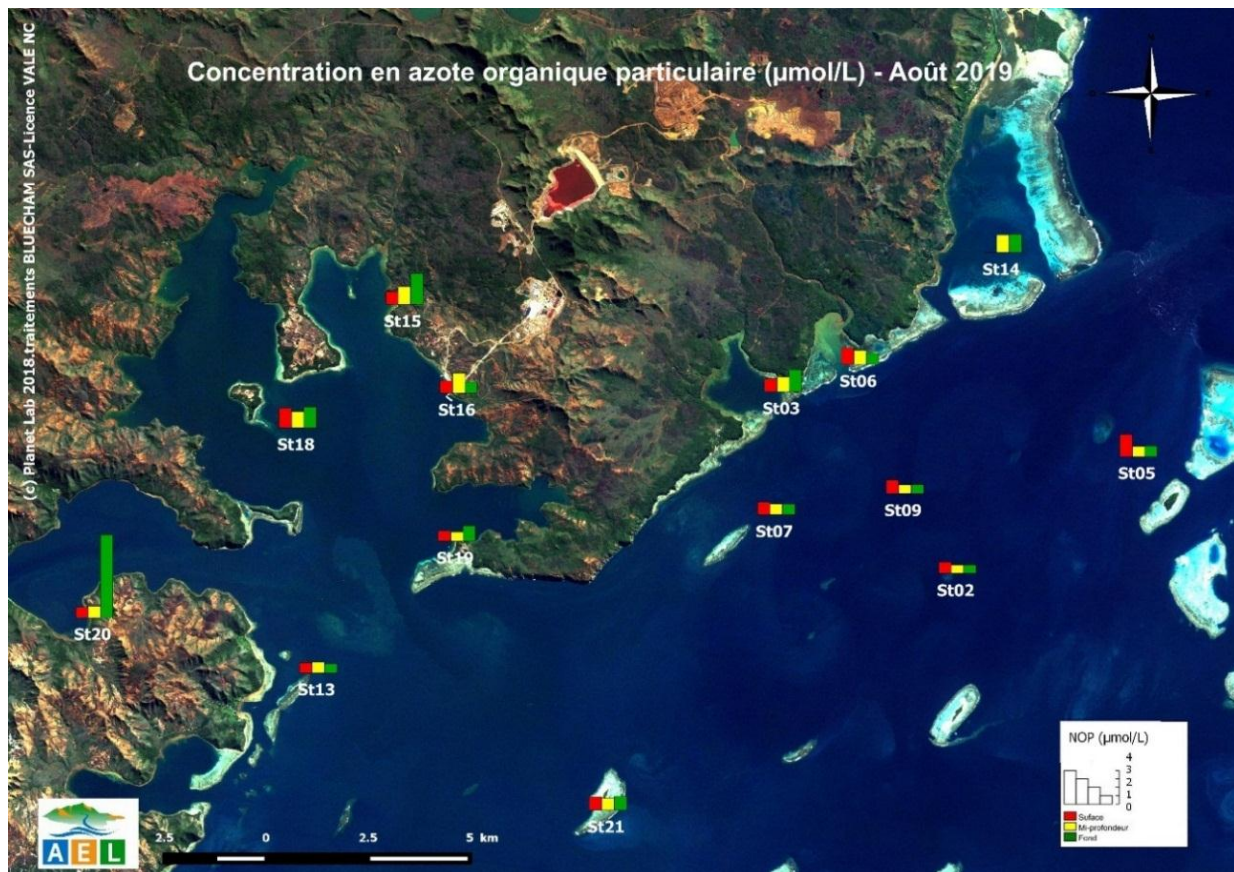


Figure 14 : Distribution des concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

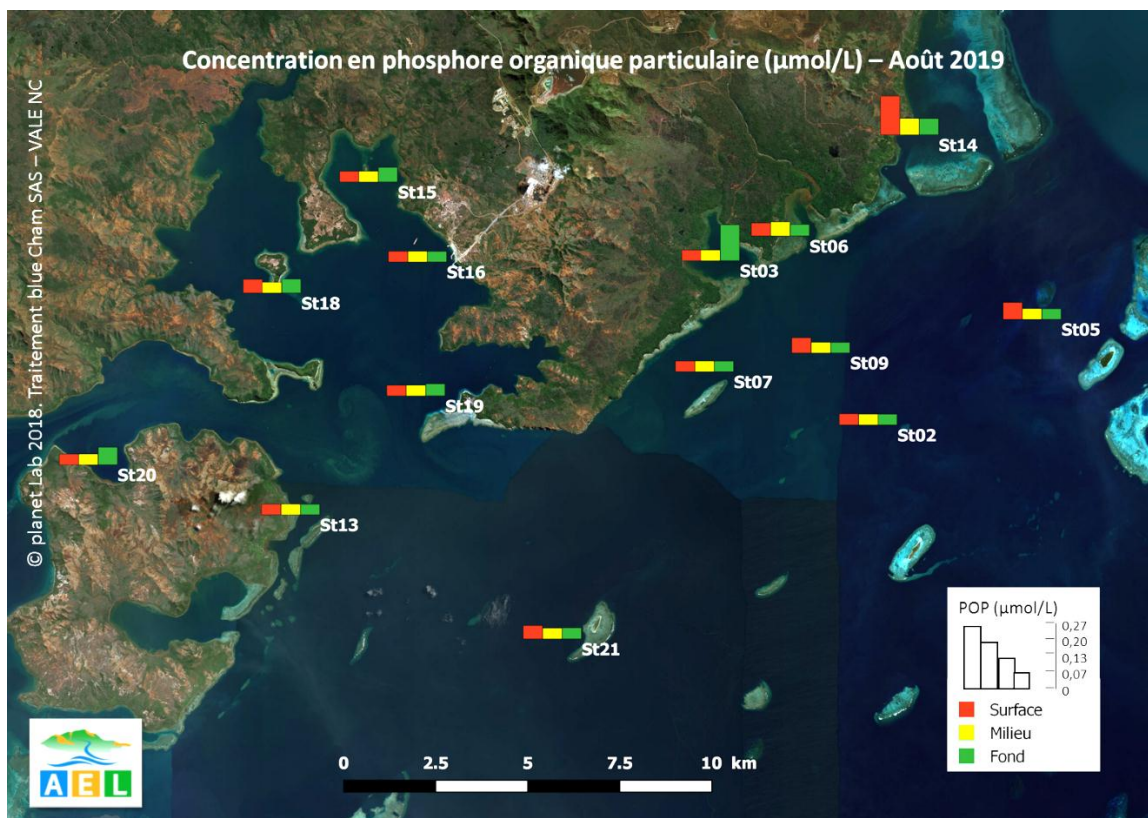


Figure 15 : Distribution des concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

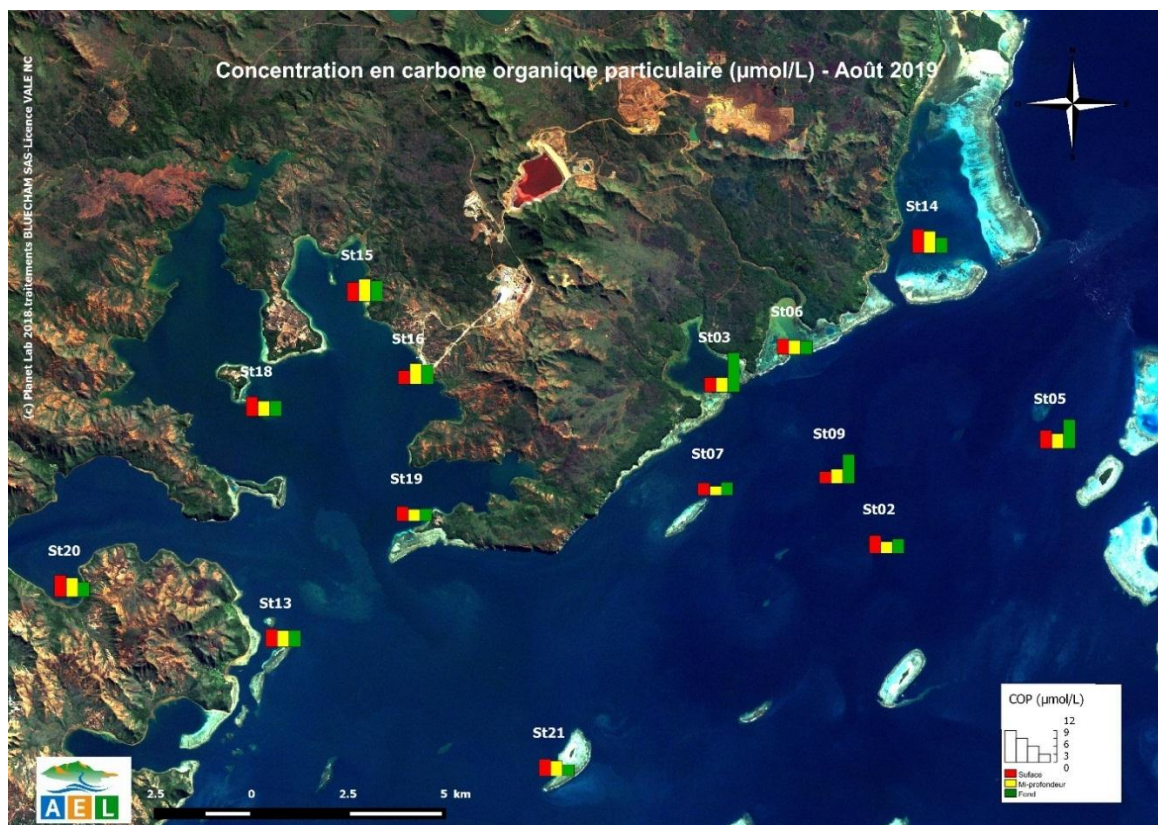


Figure 16 : Distribution des concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Tableau 6 : Statistique des concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	4,060	0,411	0,004	<0,050	2,900
	Maximum	6,230	1,070	0,350	0,079	9,200
	Moyenne	5,387	0,570	0,202	0,054	4,993
	Ecart-type	0,596	0,164	0,096	-	1,860
Baie Canal	Minimum	4,430	0,527	0,038	<0,050	4,200
	Maximum	6,090	1,900	0,243	0,181	12,400
	Moyenne	5,155	0,895	0,174	0,087	6,056
	Ecart-type	0,560	0,406	0,058	-	2,642
Baie du Prony	Minimum	4,640	0,441	0,149	<0,050	3,700
	Maximum	11,570	1,499	0,327	0,068	7,100
	Moyenne	6,205	0,792	0,235	0,055	5,383
	Ecart-type	1,898	0,294	0,066	-	1,151
Ile Ouen	Minimum	2,210	0,428	0,165	<0,050	4,700
	Maximum	6,750	4,002	0,310	0,082	6,900
	Moyenne	5,610	1,087	0,223	0,055	5,600
	Ecart-type	1,705	1,429	0,059	-	0,772

F. CHLOROPHYLLE A

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

Les concentrations de *chlorophylle-a* déterminées lors de la campagne d'août 2019 sont représentées dans la Figure 17 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5.

Comparativement aux années précédentes, la concentration moyenne en Chla obtenue de la zone d'étude est la plus basse obtenue avec $0,196 \pm 0,111$ µmol/L.

Les valeurs les plus importantes ont été mesurées dans le **Canal de la Havannah** et ses **baies**. Dans ces zones, les concentrations moyennes sont comparables avec $0,262 \pm 0,075$ µmol/L et $0,264 \pm 0,097$ µmol/L. A l'inverse, celles mesurées dans la **baie du Prony** et l'**Ile Ouen** sont particulièrement faibles avec respectivement $0,081$ µmol/L et $0,177 \pm 0,077$ µmol/L (Tableau 7, Figure 17).

Tableau 7: Statistique des concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,163
	Maximum	0,434
	Moyenne	0,262
	Ecart-type	0,075
Baie Canal	Minimum	0,173
	Maximum	0,480
	Moyenne	0,264
	Ecart-type	0,097
Baie du Prony	Minimum	0,004
	Maximum	0,181
	Moyenne	0,081
	Ecart-type	0,065
Ile Ouen	Minimum	0,082
	Maximum	0,273
	Moyenne	0,177
	Ecart-type	0,077

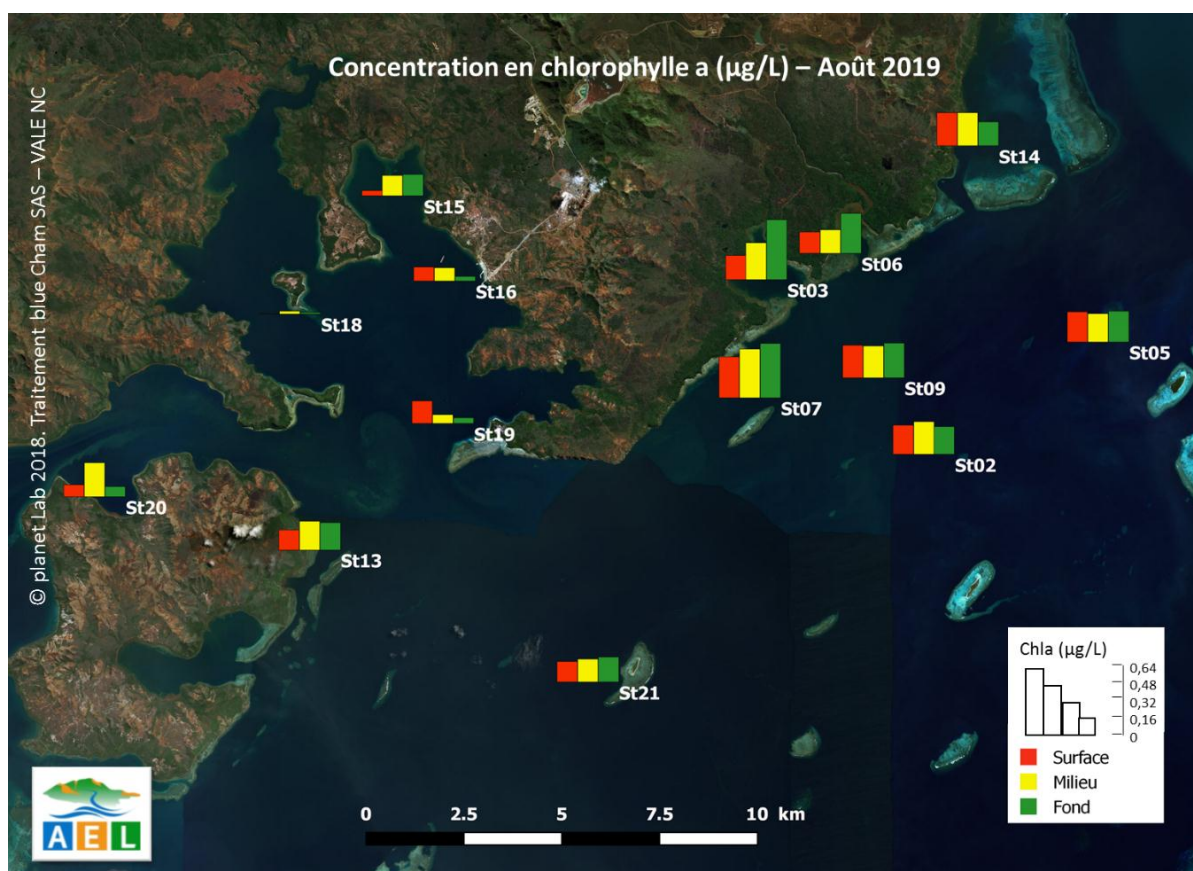


Figure 17 : Distribution des concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en NOP et POP ainsi que celles en NOD montrent une légère influence terrigène. Leur répartition « côte-large » décroissante habituelle n'est pas franchement marquée lors de cette campagne. En revanche les concentrations de POD sont réparties de manière homogène dans toute la zone d'étude et ne présentent pas de gradient. Globalement, les concentrations en NOD/POD et NOP/POP sont du même ordre de grandeur que lors des campagnes précédentes.

Les concentrations de Chlorophylle-*a* mesurées sont plus importantes dans le Canal de la Havannah et ses baies, tout comme celles en NH₄ (baies du Canal) et en NO₂+NO₃ (Canal de la Havannah) qui entrent dans le cycle de la production primaire exprimée en première approximation par la Chl*a* (proxy). Somme toute, ces concentrations restent globalement assez faibles lors de cette campagne comparativement aux campagnes précédentes.

G. METAUX DISSOUS

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2019 sont regroupées dans les Tableau 8 et Tableau 9 et les Figure 18 à Figure 24, ainsi qu'en Annexe 6.

Tableau 8 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As_{total}, Cd²⁺, Co²⁺, Cr⁶⁺, Cr_{total} et Cu²⁺) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,86	<0,025	<0,027	0,103	0,120	<0,025
	Maximum	2,23	<0,025	<0,027	0,128	0,170	0,053
	Moyenne	2,03	<0,025	<0,027	0,113	0,135	0,028
	Ecart-type	0,12	-	-	0,007	0,013	-
Baies du Canal	Minimum	1,75	<0,025	<0,027	0,091	0,123	0,025
	Maximum	2,50	<0,025	<0,027	0,163	0,195	0,059
	Moyenne	2,09	<0,025	<0,027	0,123	0,149	0,033
	Ecart-type	0,24	-	-	0,020	0,022	0,013
Baie du Prony	Minimum	1,60	<0,025	<0,027	0,104	0,124	<0,0250
	Maximum	1,88	<0,025	0,038	0,267	0,326	0,030
	Moyenne	1,74	<0,025	0,028	0,161	0,178	<0,0250
	Ecart-type	0,09	-	-	0,042	0,052	-
Ile Ouen	Minimum	1,82	<0,025	<0,027	0,094	0,115	<0,0250
	Maximum	1,98	<0,025	<0,027	0,128	0,194	0,036
	Moyenne	1,88	<0,025	<0,027	0,116	0,146	0,027
	Ecart-type	0,06	-	-	0,012	0,030	-

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

Tableau 9 : Statistique des concentrations en métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	<0,059	0,041	0,064	<0,100	<1,000
	Maximum	0,118	0,131	0,149	<0,100	<1,000
	Moyenne	0,067	0,078	0,105	<0,100	<1,000
	Ecart-type	-	0,023	0,024	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,059	0,102	0,126	<0,100	<1,000
	Maximum	0,210	0,274	0,342	0,238	<1,000
	Moyenne	0,088	0,183	0,208	0,117	<1,000
	Ecart-type	-	0,069	0,072	-	-
Baie du Prony	Minimum	<0,059	0,092	0,200	<0,100	<1,000
	Maximum	<0,059	0,333	0,447	<0,100	<1,000
	Moyenne	<0,059	0,169	0,276	<0,100	<1,000
	Ecart-type	-	0,072	0,079	-	-
Ile Ouen	Minimum	<0,059	0,048	0,069	<0,100	<1,000
	Maximum	0,095	0,193	0,257	0,105	<1,000
	Moyenne	0,071	0,128	0,174	<0,100	<1,000
	Ecart-type	-	0,051	0,069	-	-

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

Les concentrations les plus importantes en Cu^{2+} sont systématiquement détectées dans la couche de surface (Figure 18 et Tableau 8). Les **baies du Canal** enregistrent les concentrations maximales (0,059 µg/L en surface de St14), avec des valeurs fortes également pour les stations St02 et St05 du **Canal de la Havannah**.

De manière similaire, les concentrations les plus élevées en Fe^{2+} sont observées dans les baies du Canal ainsi que dans le Canal de la Havannah (0,210 µg/L en St06) dans la couche de surface (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Tableau 9). Il est à noter que seule la station St13 de l'Ile Ouen présente une augmentation de la concentration en Fe^{2+} en profondeur. Les concentrations mesurées en As total sont relativement homogènes dans la zone d'étude avec une moyenne de $1,94 \pm 0,20$ µg/L et montrent peu de différence selon le niveau de profondeur (Tableau 8 et Figure 20). Cet élément est considéré comme ubiquiste.

Concernant les éléments $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}_{\text{total}}$, Mn^{2+} et Ni^{2+} , leurs répartitions respectives distinguent d'une part, les stations du Canal de la Havannah influencées par les apports océaniques où les concentrations moyennes sont les plus faibles. Et d'autre part, les stations de baies directement influencées par les apports terrigènes des rivières et creeks où les concentrations mesurées sont plus élevées. Ainsi, ces métaux dissous suivent une distribution « côte-large » décroissante (Figure 21 à Figure 24).

Ces métaux sont globalement répartis selon un gradient vertical de concentration décroissant avec la profondeur pour les stations situées à l'embouchure des creeks, comme St03, St06, St15 et St18.

Autour de l'Ile Ouen (St13 et St20), les niveaux de concentrations sont intermédiaires avec une répartition verticale variable (Tableau 8 et Tableau 9).

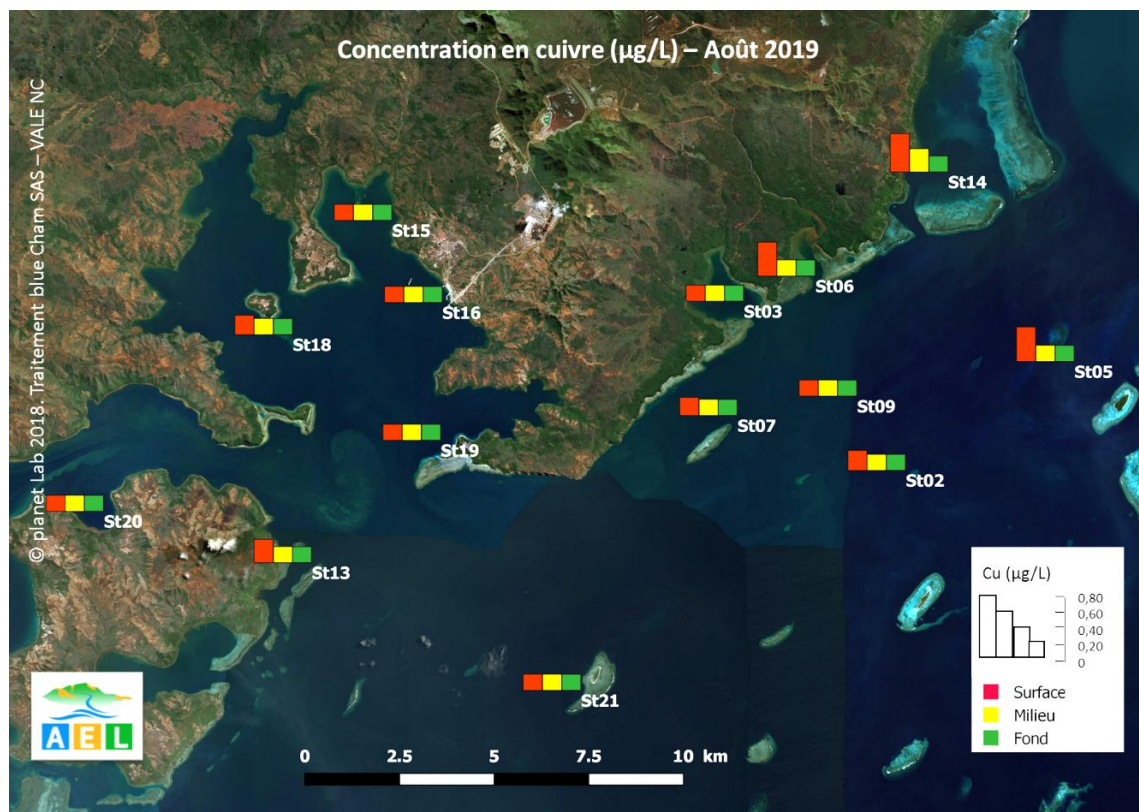


Figure 18: Distribution des concentrations en cuivre (Cu) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

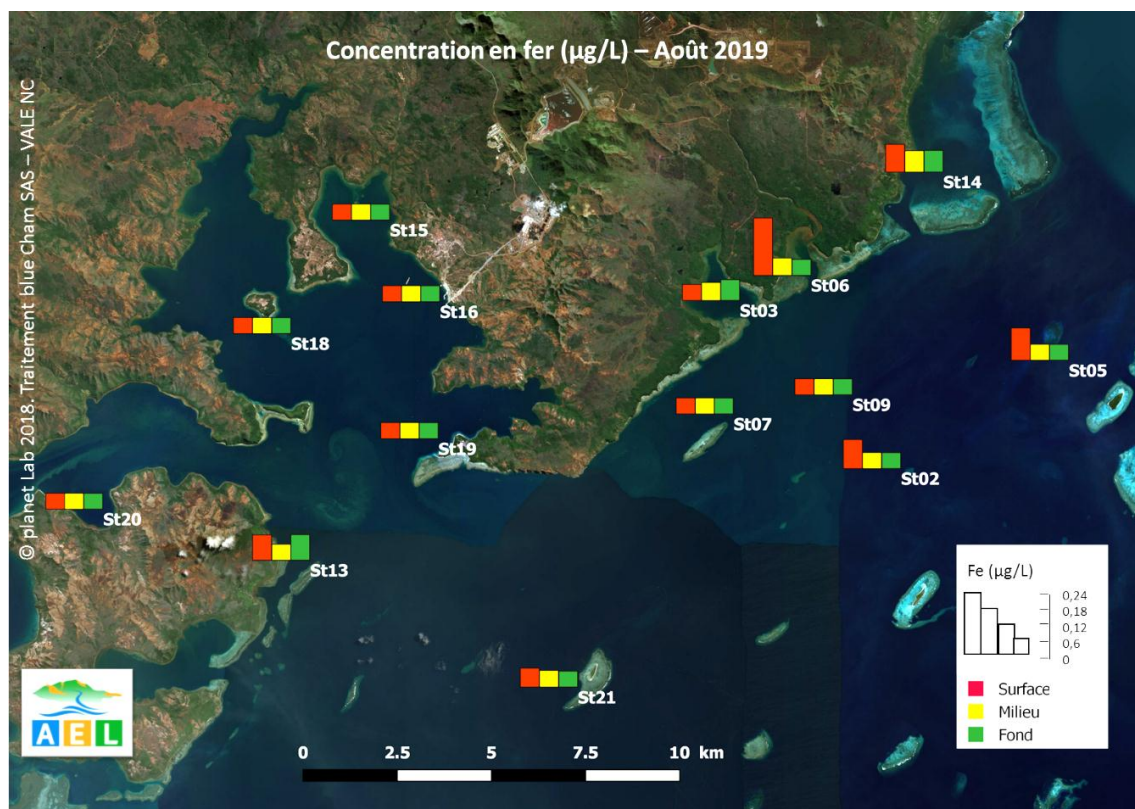


Figure 19 : Distribution des concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

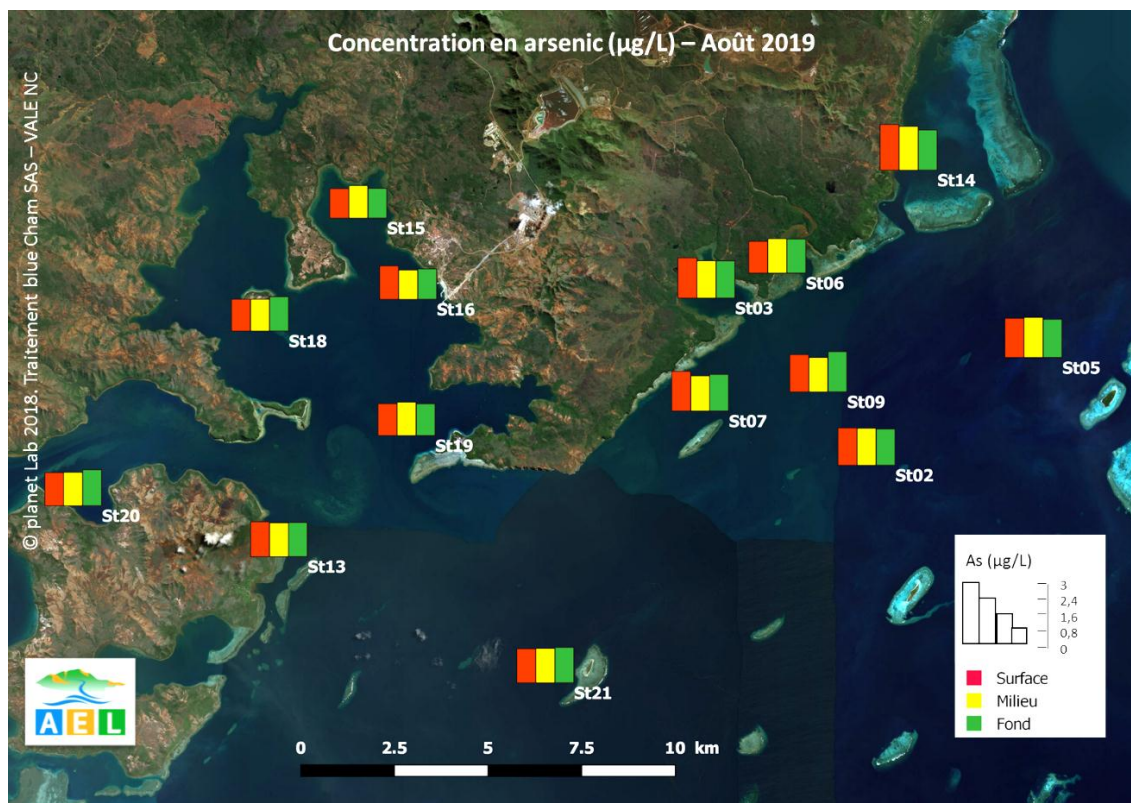


Figure 20: Distribution des concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019

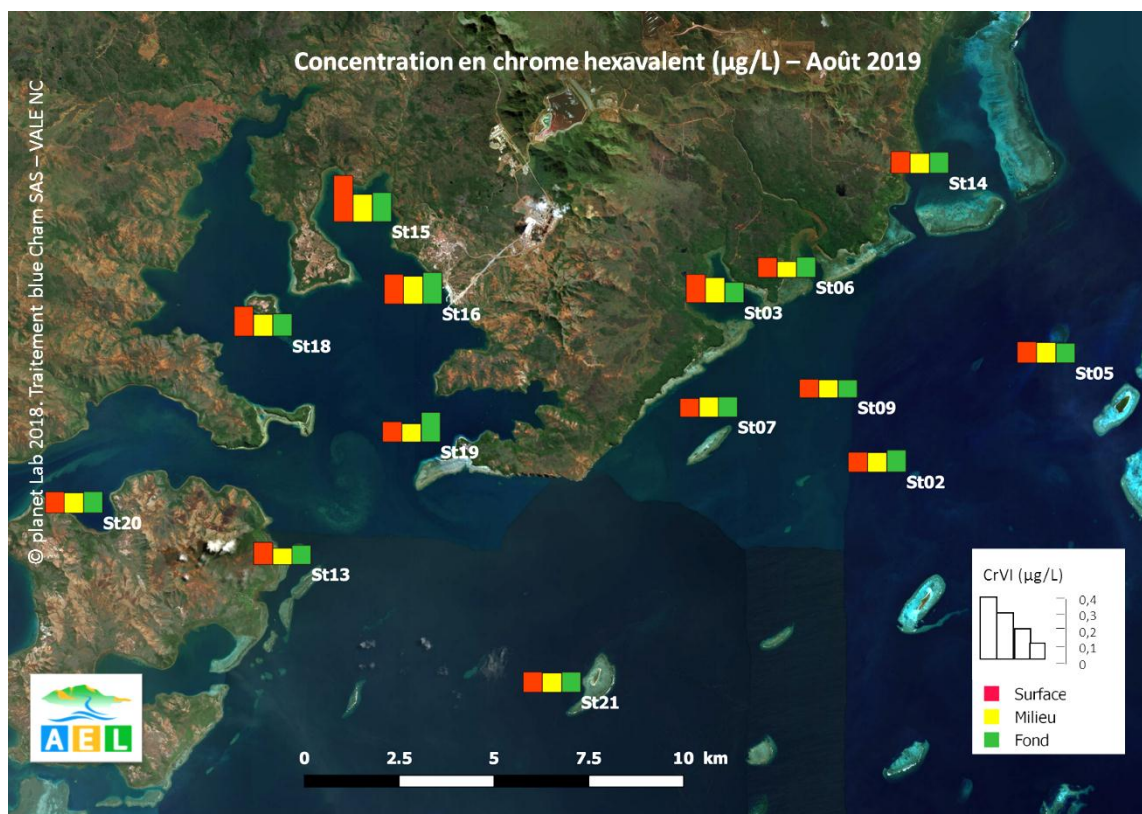


Figure 21 : Distribution des concentrations en chrome (Cr^{VI}) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

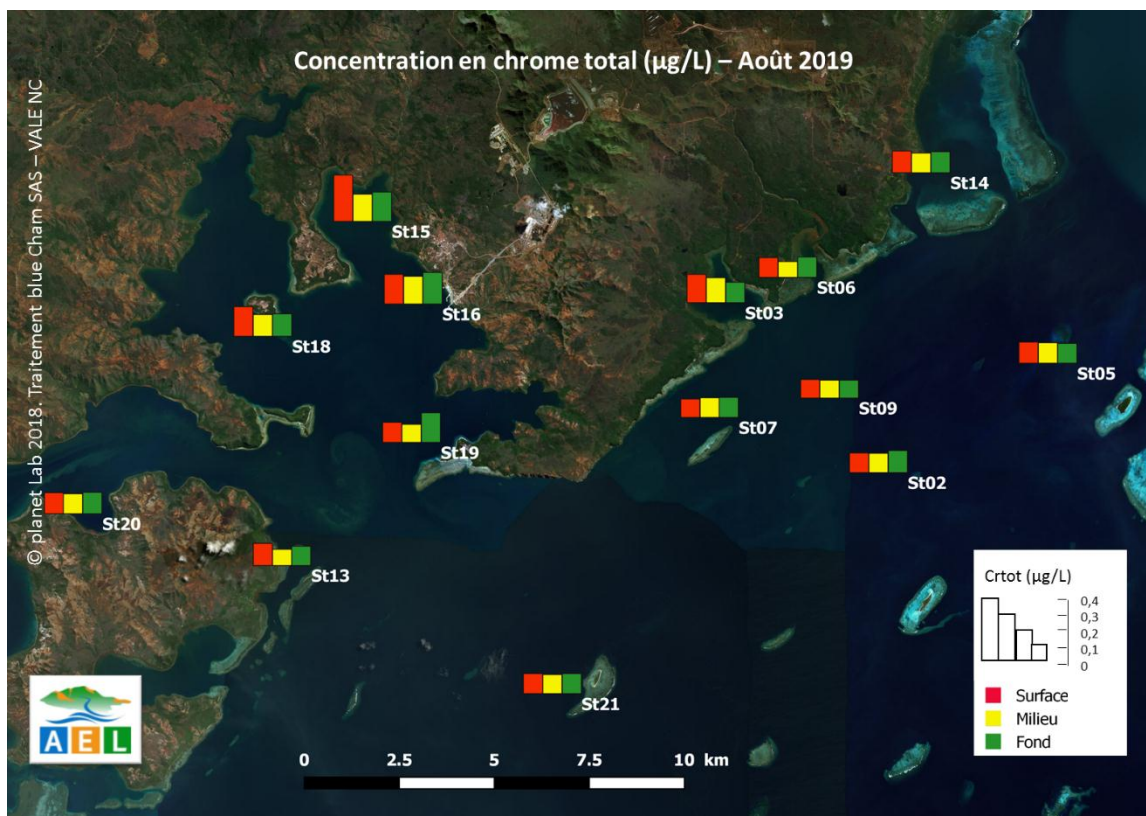


Figure 22: Distribution des concentrations en chrome total dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

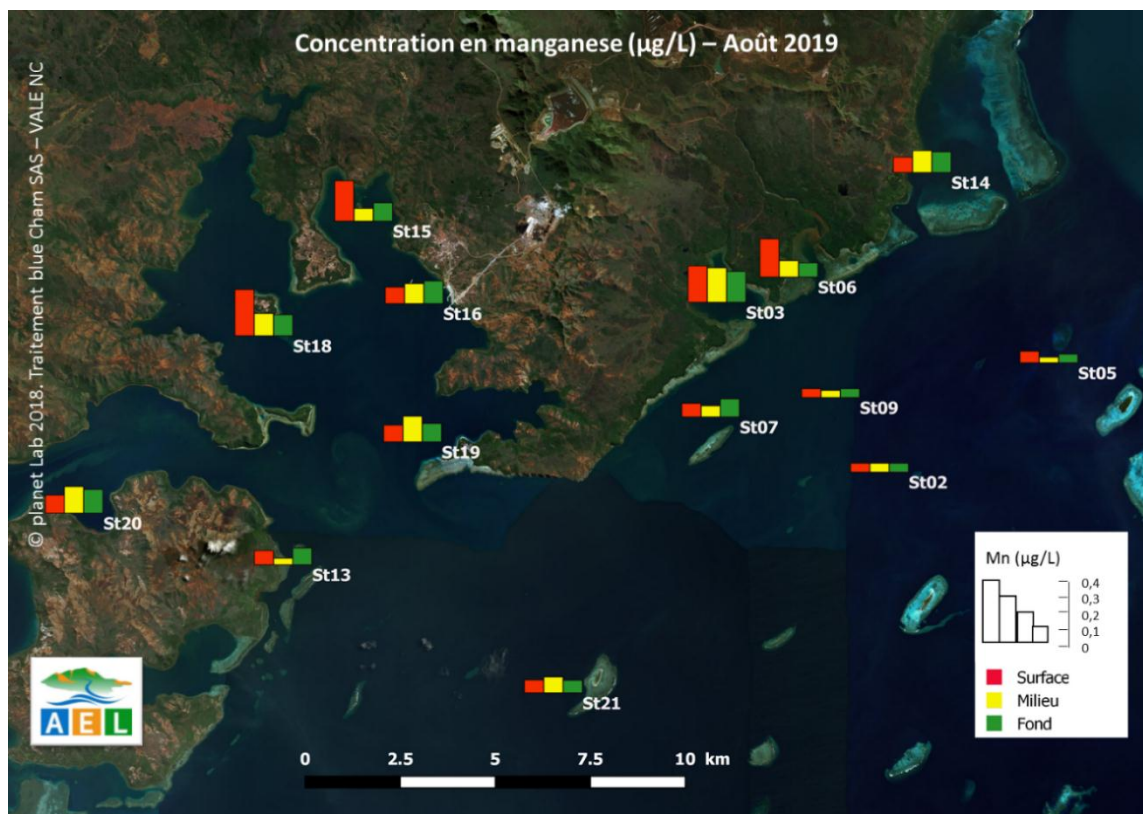


Figure 23 : Distribution des concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

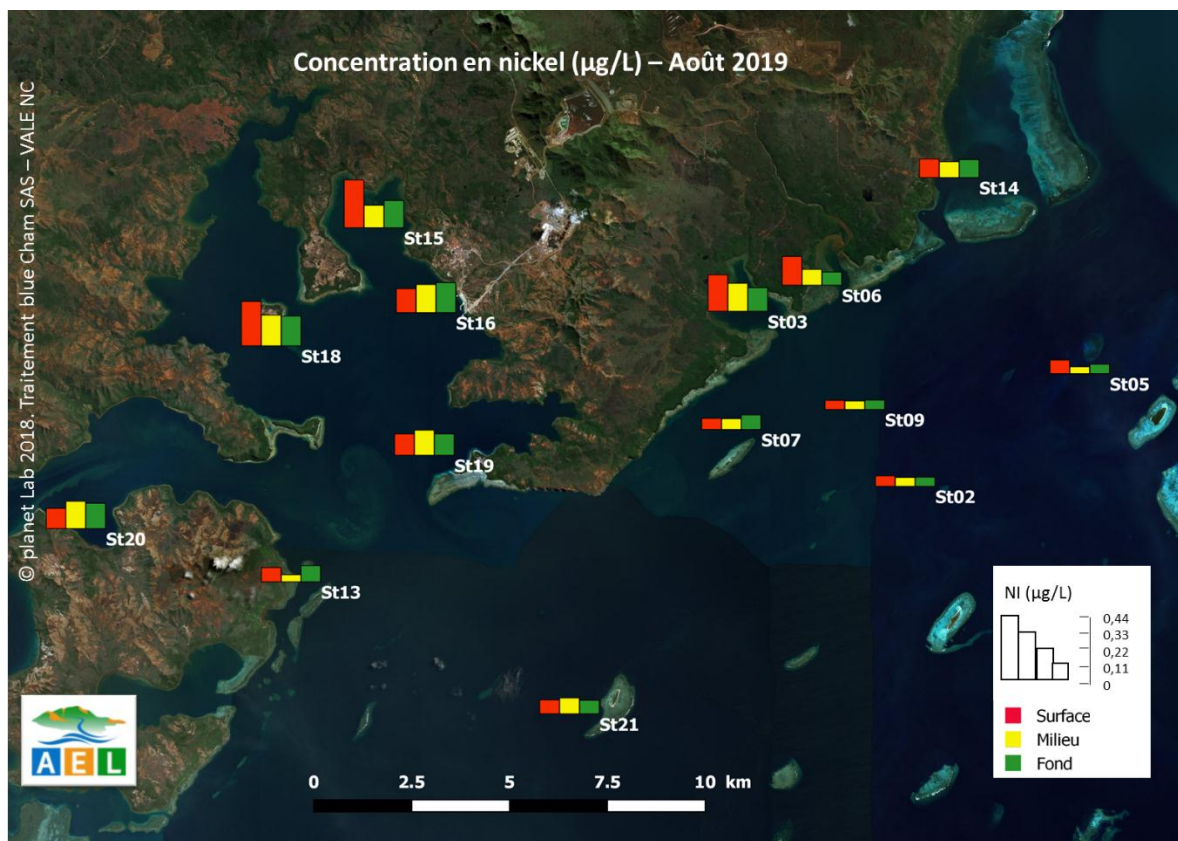


Figure 24 : Distribution des concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Ce qu'il faut retenir :

Les métaux latéritiques Cr^{6+} , Cr_{total} , Mn^{2+} et Ni^{2+} présentent dans l'ensemble une distribution « côte-large » décroissante avec la distance à la côte. Ces métaux proviennent directement des sols miniers dans lesquels ils sont prédominants dans cette zone géographique. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau dans les baies du Canal et la Baie du Prony.

Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du Canal de la Havannah et de l'île Ouen qui sont majoritairement influencées par les apports océaniques.

Les concentrations de Zn^{2+} , Cd^{2+} et Co^{2+} sont souvent non quantifiables inférieurs à la limite de quantification, à l'exception d'une valeur pour le cobalt.

L'arsenic est naturellement présent dans le milieu (élément ubiquiste) et ne présente donc pas de distribution spatiale particulière dans le domaine d'étude.

Pour Cu^{2+} , Fe^{2+} et Pb^{2+} seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées.

Globalement, les concentrations d'As, Cr^{6+} , Cr_{total} , Mn^{2+} et Ni^{2+} mesurées lors de la campagne d'août 2019 restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées depuis 2007.

IV. SYNTHÈSE

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

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

La campagne 2019 se caractérise par de très faibles précipitations atmosphériques.

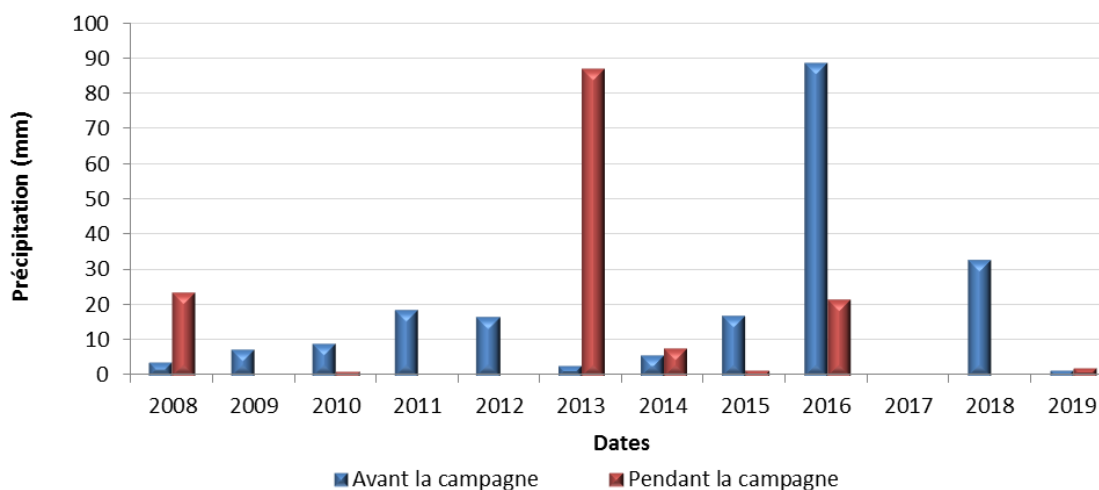


Figure 25 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraîche » de 2008 à 2019 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

A. SELS NUTRITIFS

L'évolution des concentrations de NH_4 et de NO_3+NO_2 entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 a été reportée dans les Figure 26, Figure 27, Figure 28 et Figure 29. Leur évolution a été étudiée aux stations sentinelles **St05**, **St09**, **St06** et **St15**.

1. Ammonium

A la station St05, à l'exception des valeurs de 2016 et de 2017, les concentrations en NH_4 diffèrent peu d'une année à l'autre et d'un niveau à l'autre en raison du fort hydrodynamisme et, malgré sa proximité du récif barrière, les concentrations restent très faibles. L'augmentation récente des concentrations en NH_4 , essentiellement en surface, reste anecdotique mais est à suivre pour les prochaines campagnes.

A la station St09, à l'exception d'une valeur extrême en 2013 pour les eaux de surface et d'une valeur forte en surface en 2019, les concentrations de NH_4 mesurées en « saison fraîche » depuis le début des campagnes sont globalement dans le même ordre de grandeur.

A l'inverse, en ce qui concerne la station St06, les concentrations en NH_4 ne montrent pas de constance particulière entre les campagnes. On observe des concentrations variables entre les campagnes. En revanche, les concentrations en NH_4 sont davantage présentes en surface à l'exception de la valeur forte à mi-profondeur de cette année. En station St15, les concentrations en NH_4 sont plus souvent du même ordre de grandeur pour les 3 niveaux de profondeur entre 2008 et 2012. À partir de 2013, les concentrations deviennent supérieures et variables au sein de la colonne d'eau. Lors de cette campagne 2019, la concentration d' NH_4 au fond s'est approchée de la valeur la plus forte enregistrée à cette station. Ce phénomène est donc à suivre afin de vérifier une éventuelle évolution grandissante. Ces observations peuvent être liées à la présence de matières organiques issues essentiellement de la dégradation des débris végétaux terrigènes apportés, respectivement, par les deux creeks ou de manière événementielle (précipitations atmosphériques) pour donner suite à une modification potentielle des caractéristiques des bassins versants respectifs.

2. Nitrates et nitrites

Pour des raisons différentes d'influences, respectivement marine et terrigène, aux stations St05 et St06, les concentrations de NO_3+NO_2 sont assez variables entre les campagnes ainsi qu'au sein même de la colonne d'eau et ne montrent pas de tendance particulière. En 2013 et 2017, quelques valeurs supérieures à la moyenne ont été mesurées à mi-profondeur et au fond en 2018 pour la station St05 et à mi-profondeur à la station St06.

Aux stations St09 et St15 les concentrations sont globalement aussi faibles que pour les deux autres stations sentinelles. Toutefois, quelques variations non significatives sont mesurées, respectivement en 2009, 2018 et 2019 à la station St09 et en 2013 à la station St15. En 2019, notamment pour St09, on enregistre la valeur la plus haute au fond depuis le début du suivi.

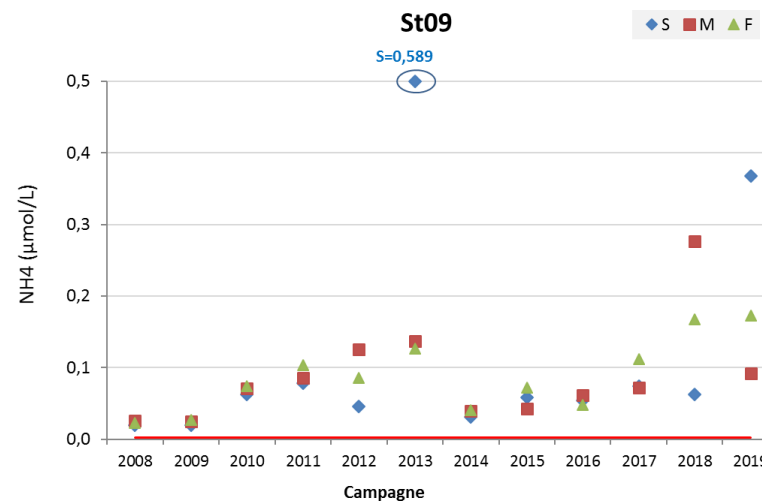
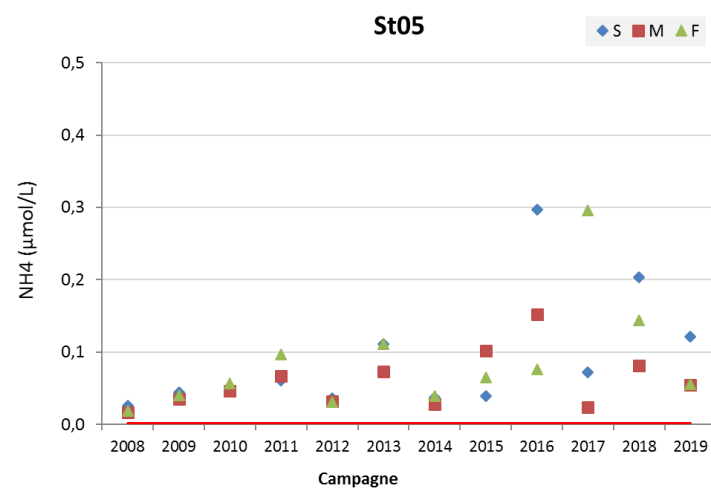


Figure 26 : Concentrations d'ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 µmol/L).

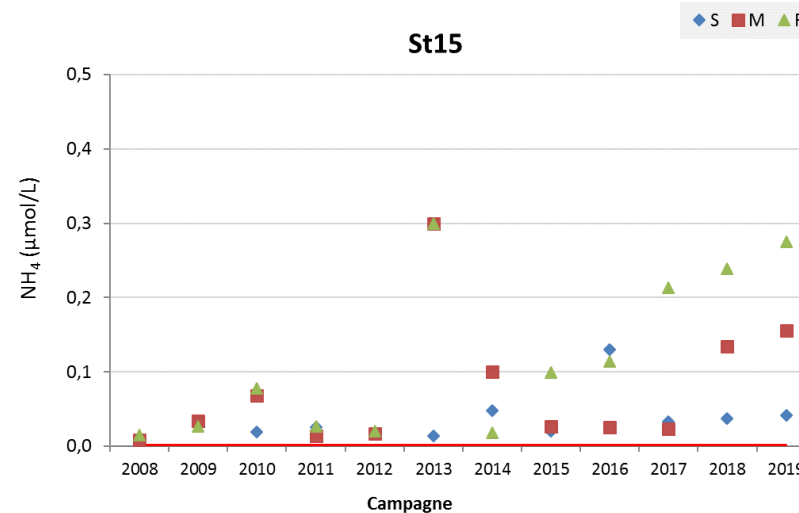
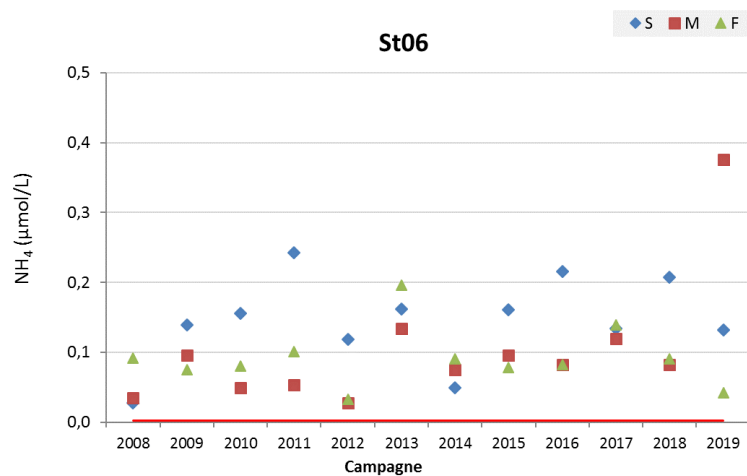


Figure 27 : Concentrations d'ammonium (NH₄) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 µmol/L).

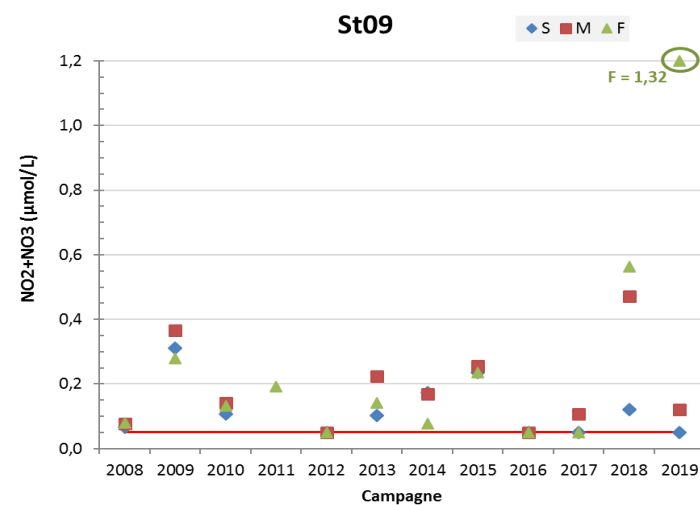
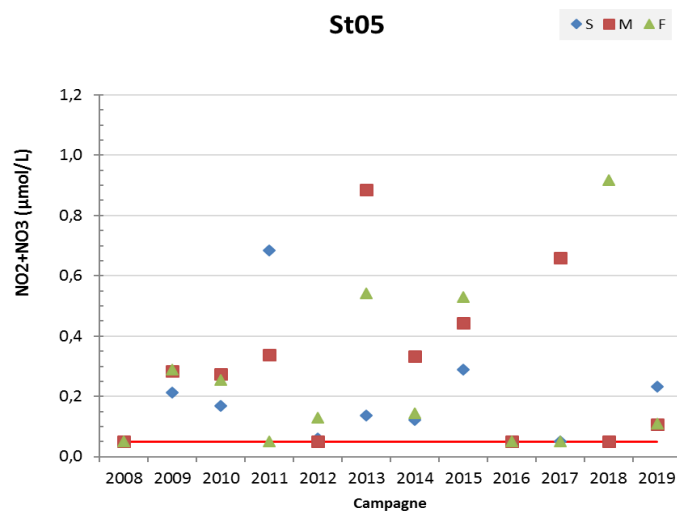


Figure 28 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO₃+NO₂) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

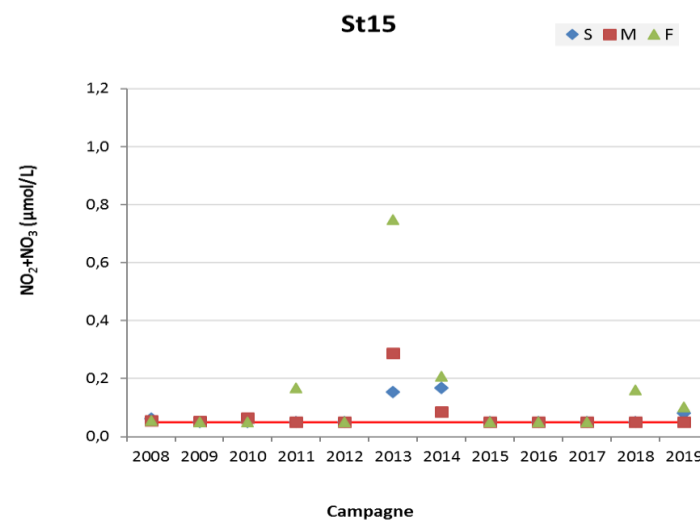
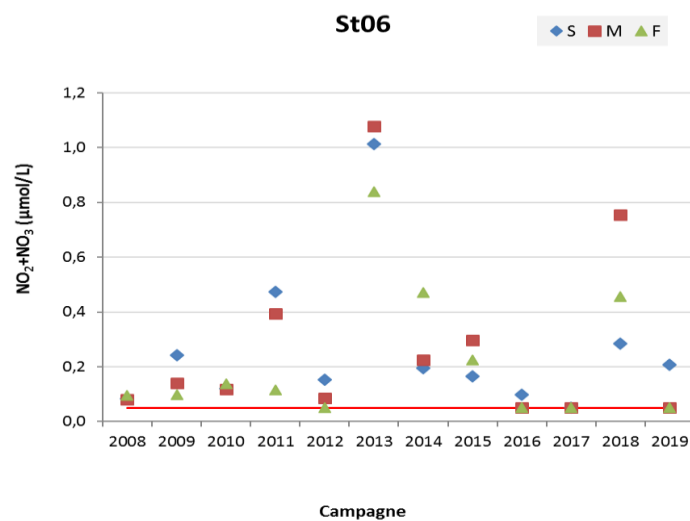


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO₃+NO₂) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µmol/L).

Ce qu'il faut retenir :

En ce qui concerne les nutriments (NH_4 et NO_3+NO_2), aux stations du large, hormis certaines valeurs de concentrations ponctuelles, aucune tendance verticale, voire temporelle, ne semble se dessiner.

Les quelques variations temporelles modérées observées à la station St05, située à proximité du récif barrière, et à la station St09, située dans le Canal de la Havannah, sont en lien avec l'activité de la production primaire probablement accompagnée de remontées d'eaux profondes riches en nutriments (« up-welling »), comme déjà mentionnées dans les rapports précédents. La faible variabilité temporelle et verticale que l'on enregistre à ces stations du large est, en grande partie, explicable par les mécanismes de brassage qui tendent à homogénéiser les eaux.

En revanche, les concentrations en NH_4 et NO_3+NO_2 , sont plus variables entre les campagnes aux stations de baies, St06 et St15, ce qui reflète les différentes contributions terrigènes qu'elles subissent. L'étude chronologique des NH_4 met en évidence un léger gradient « surface-fond » croissant, dû à la stratification des eaux dans la Baie Kwé.

Globalement, malgré la présence de concentrations plus importantes durant cette campagne aux stations St09 ($\text{NH}_4\text{-F}$ et $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-F}$), St06 ($\text{NH}_4\text{-M}$) et St15 ($\text{NH}_4\text{-S}$), les concentrations restent dans le même ordre de grandeur depuis 2008 (Annexe 7).

B. METAUX DISSOUS

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

L'évolution des concentrations de Co^{2+} , Cr^{6+} , Mn^{2+} et Ni^{2+} entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations **St03**, **St06** et **St15** a été illustrée par les Figure 30, Figure 31, Figure 32 et Figure 33.

Les concentrations des différents métaux dissous mesurées aux 3 stations des baies présentent une relative variabilité intercampagne, notamment au niveau des couches de surface. En effet le Cr^{6+} , Mn^{2+} et Ni^{2+} et dans une moindre mesure le Co^{2+} , sont davantage concentrés dans les eaux de surface et les valeurs diminuent avec la profondeur. Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes :

- Les concentrations en Co^{2+} varient essentiellement dans les eaux de surface et en particulier pour les stations St03 et St06 (respectivement $0,087 \pm 0,033 \mu\text{g/L}$ et $0,090 \pm 0,040 \mu\text{g/L}$) et dans une moindre mesure à la station St15 ($0,060 \pm 0,021 \mu\text{g/L}$) ;
- Pour ces 3 mêmes stations (St03, St 06 et St15), les concentrations de Cr^{6+} varient également dans les eaux de surface, mais dans une plus forte proportion comparativement au Co^{2+} , respectivement : $0,261 \pm 0,273 \mu\text{g/L}$; $0,298 \pm 0,335 \mu\text{g/L}$ et $0,255 \pm 0,162 \mu\text{g/L}$. Dans les couches de mi-profondeur et de fond, elles sont remarquablement constantes, exception faite du Mn pour une seule valeur relativement forte mesurée en 2018 qui a été relevée à mi-profondeur de la station St06 ;
- Pour Mn^{2+} , la distribution est toute autre, notamment à la station St06 puisque les concentrations varient fortement sur l'intégralité de la colonne d'eau (S : $0,501 \pm 0,383 \mu\text{g/L}$; M : $0,173 \pm 0,076$ et F : $0,229 \pm 0,142 \mu\text{g/L}$), et plus particulièrement en 2011 et 2013. Cette variabilité se constate également en St03 avec (S : $0,337 \pm 0,221 \mu\text{g/L}$; M : $0,136 \pm 0,101$ et F : $0,151 \pm 0,088 \mu\text{g/L}$) et en St15, à des degrés différents. Ces distributions sont liées au comportement intrinsèque du Mn qui est très fortement corrélé à la quantité de MES présente dans les eaux et aux réactions de précipitation/dissolution associées aux carbonates.

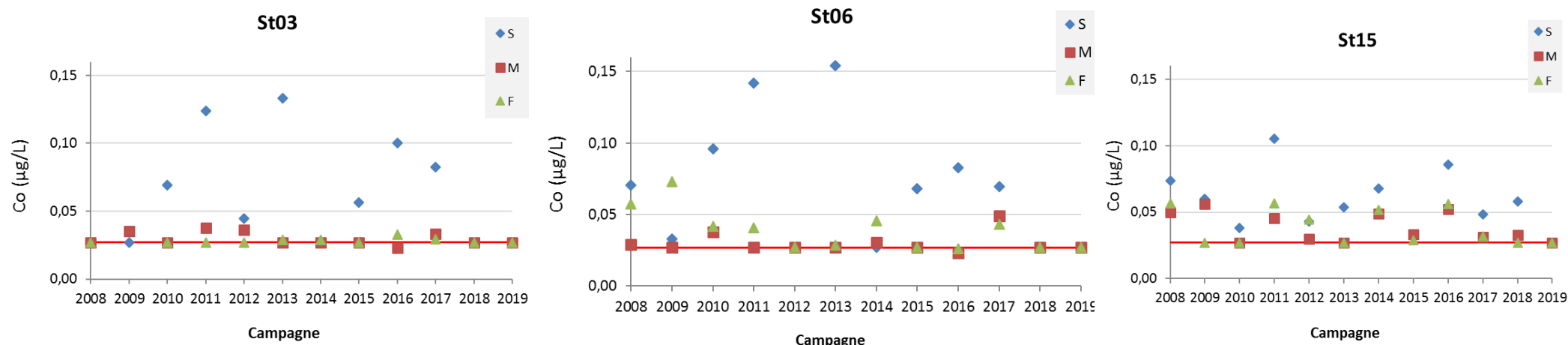


Figure 30 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ($0,027 \mu\text{g/L}$).

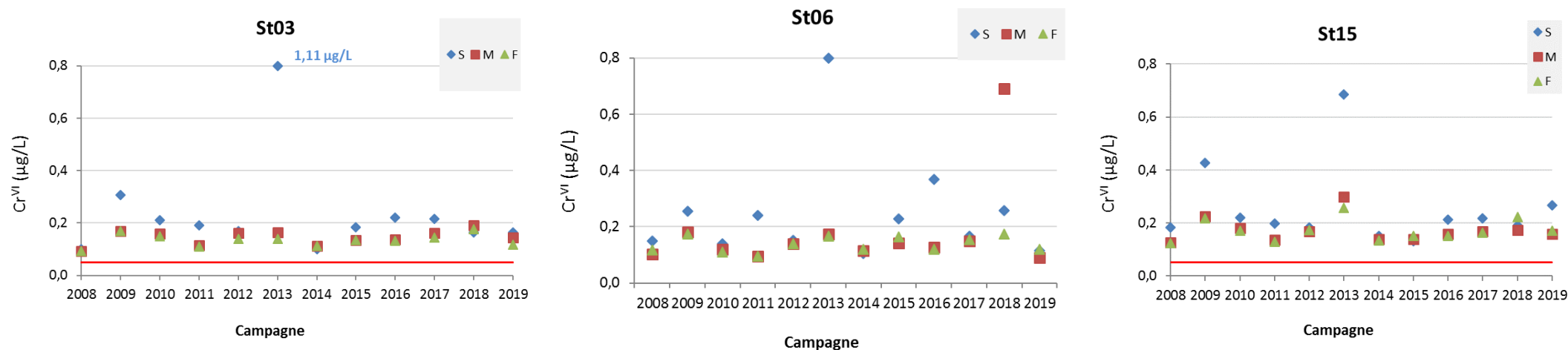


Figure 31 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ($0,050 \mu\text{g/L}$).

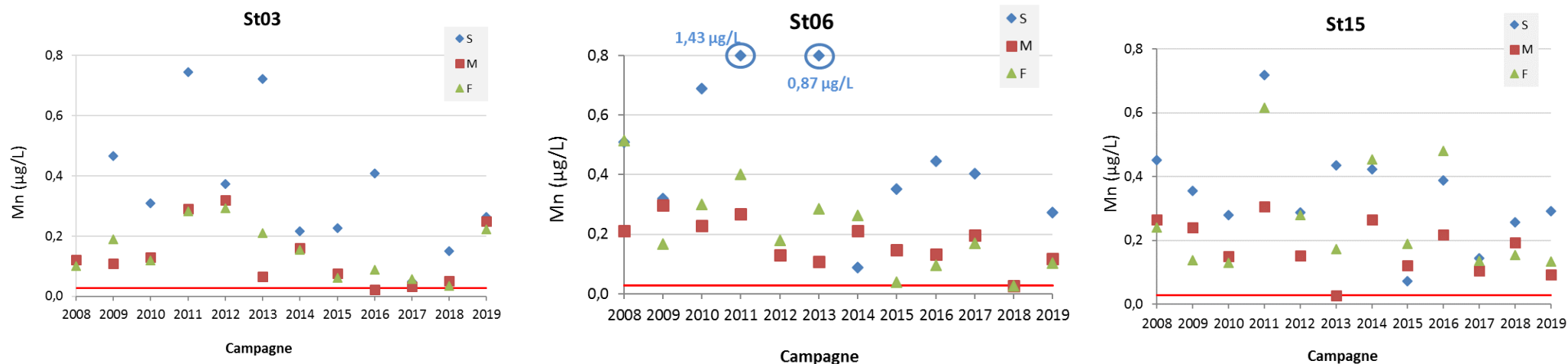


Figure 32 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ($0,028 \mu\text{g/L}$).

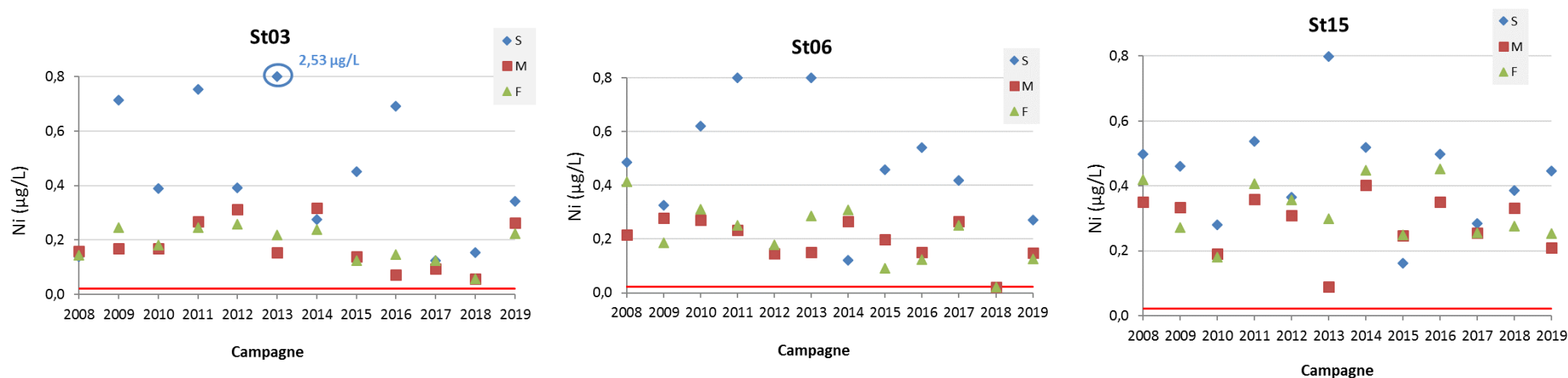


Figure 33 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ($0,022 \mu\text{g/L}$).

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

L'évolution des concentrations de Cr^{+6} , Mn^{2+} et Ni^{2+} entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations St05, St07 et St09 a été reportée dans les Figures 34 à 38.

Les concentrations des différents métaux dissous mesurées aux 3 stations du Canal demeurent d'une grande constance intercampagne. Cette homogénéité est à rapprocher des caractéristiques physico-chimiques des masses d'eau qui sont particulièrement constantes, notamment à la station St05 qui est influencée par les masses d'eau océaniques, à l'exception des concentrations en Ni mesurées en 2017, légèrement plus hautes. Ces distributions temporelles contrastent nettement avec celles des stations des baies du Canal dont les concentrations sont, par ailleurs, bien plus fortes en surface car elles sont directement influencées par la variabilité des apports terrigènes.

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations du Canal, les concentrations de Co^{2+} restent régulièrement en dessous des limites de quantification ($<0,027\mu\text{g/L}$), à l'exception de la valeur obtenue au fond cette année ($0,038\mu\text{g/L}$). Les concentrations obtenues en Cr^{6+} , quelle que soit la profondeur, sont moins dispersées (S : $0,114 \pm 0,025\mu\text{g/L}$; M : $0,113 \pm 0,023$ et F : $0,116 \pm 0,022\mu\text{g/L}$) tandis que celles de Mn^{2+} montrent un peu plus de variabilité (S : $0,077 \pm 0,041\mu\text{g/L}$; M : $0,072 \pm 0,028$ et F : $0,084 \pm 0,038\mu\text{g/L}$) en raison de sa réactivité chimique avec les matières en suspension. Les concentrations de Ni^{2+} montrent également une certaine variabilité, essentiellement en surface mais aussi au sein de la colonne d'eau (S : $0,110 \pm 0,057\mu\text{g/L}$; M : $0,104 \pm 0,038\mu\text{g/L}$ et F : $0,120 \pm 0,041\mu\text{g/L}$).

Enfin globalement, les concentrations mesurées aux stations d'influence océanique, sont plus faibles que celles mesurées aux stations St03, St06 et St15, d'influence terrigène, notamment pour le Co^{2+} , Ni^{2+} et Mn^{2+} .

Ce qu'il faut retenir :

En ce qui concerne le Co^{2+} , Cr^{6+} , Mn^{2+} et Ni^{2+} dissous, un enrichissement des eaux de surface des stations de baies du Canal, notamment en St15, est visible depuis 2009, mais hormis des conditions particulières de 2013 dues aux précipitations intenses (voire 2011 pour des motifs vraisemblablement différents), les niveaux de concentration sont stabilisés.

Aux stations du Canal de la Havannah, les concentrations demeurent faibles (Cr^{+6} , Mn^{2+} et Ni^{2+}) voire en dessous de la LQ (Co^{2+}) et particulièrement stables dans la colonne d'eau depuis la mise en place du suivi marin. Quelques variations de concentration sont tout de même visibles à la station St07, probablement dues à la localisation de celle-ci qui se situe dans la zone de mélanges des eaux d'influences océanique et terrigène. En revanche, l'influence nettement océanique de la station St05 (en particulier) ne montre aucune variation des concentrations en métaux dissous, c'est-à-dire qu'elle s'affranchit de influences terrigènes.

Enfin, les concentrations obtenues aux différentes stations lors de la campagne de 2019 sont globalement dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des précédentes campagnes de « saison fraîche » depuis 2008.

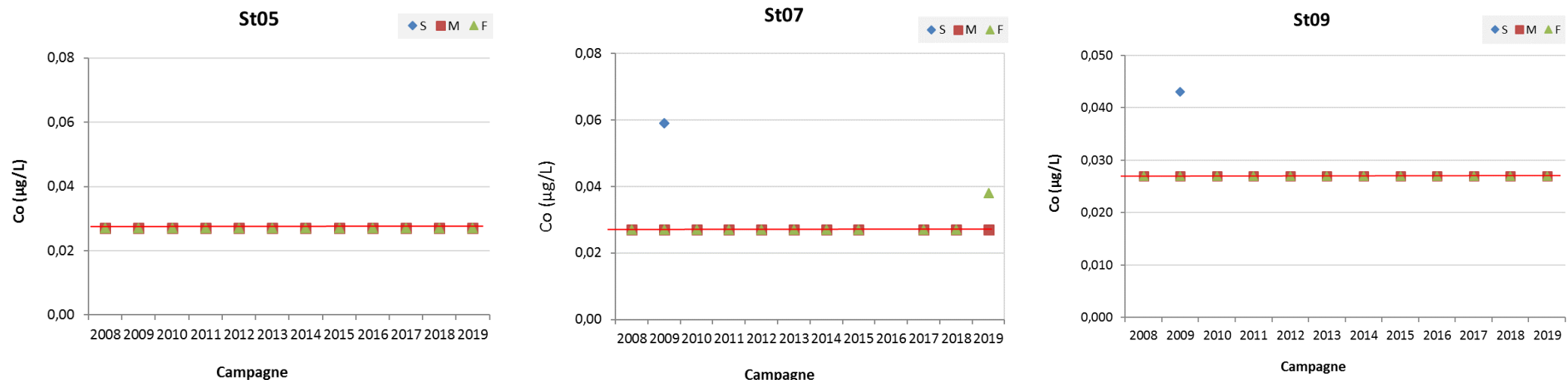


Figure 34 : Concentrations de chrome hexavalent (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

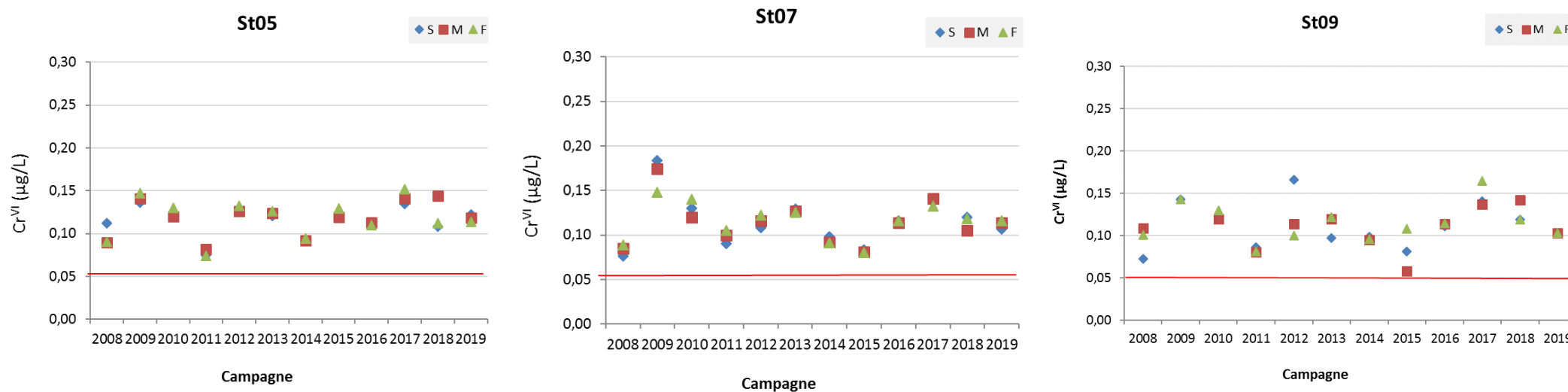


Figure 35 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

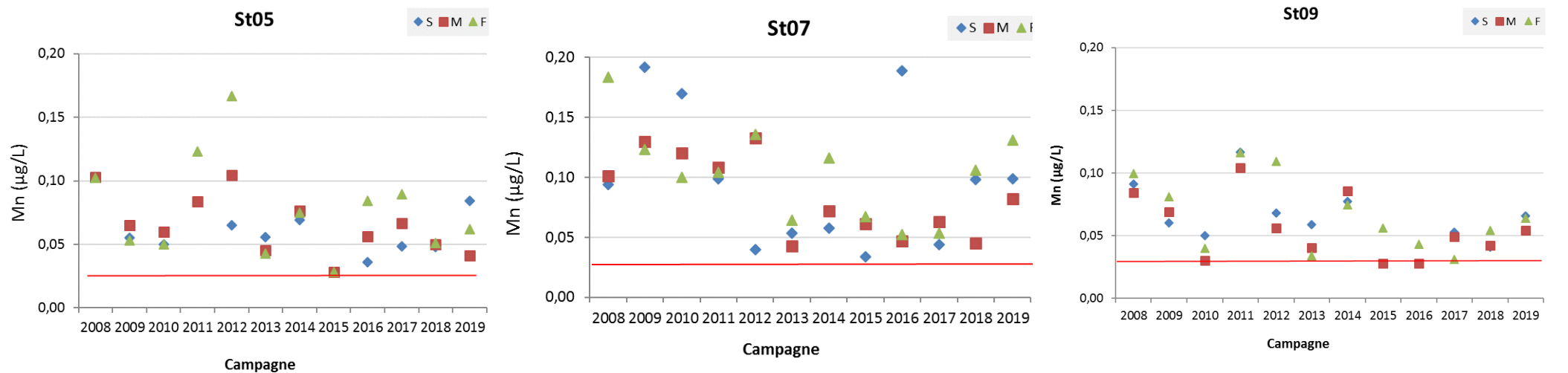


Figure 36 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

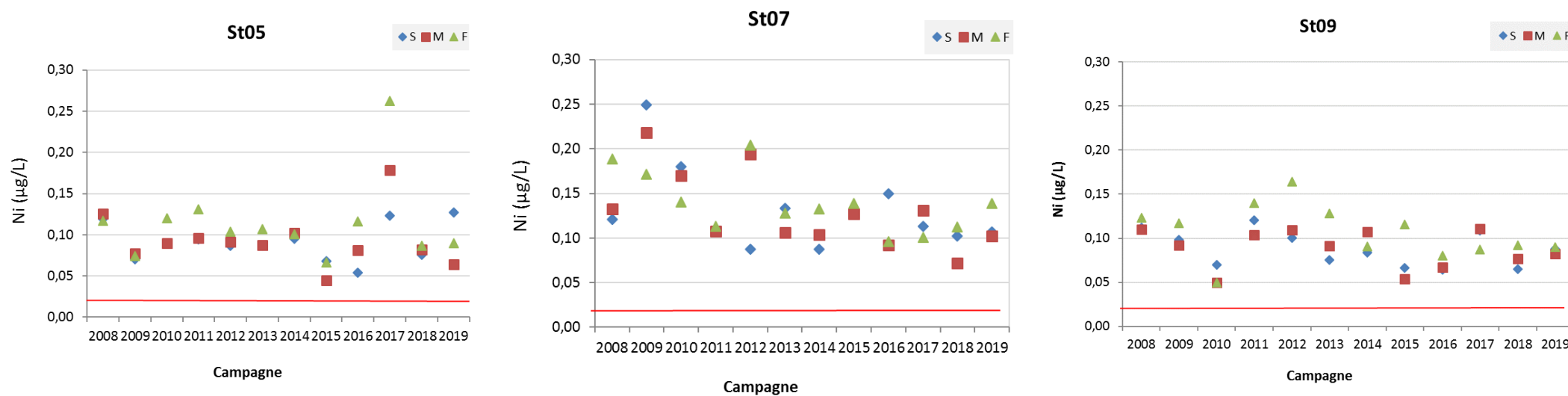


Figure 37 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2019) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

V. CONCLUSION

Lors de cette campagne semestrielle « saison fraîche 2019 », les principales variations en termes de paramètres physico-chimiques (ex : salinité, turbidité et fluorescence), concentrations en sels nutritifs ou en métaux latéritiques dissous (ex. : Cr^{+6} , Cr_{total} , Mn^{2+} et Ni^{2+}), sont moins marquées que lors des campagnes antérieures. Elles mettent en évidence les différentes influences environnementales agissant dans la zone d'étude, telles que les faibles précipitations et/ou le brassage des masses d'eaux par les vents dominants de E-SE et les courants.

Les profils de température et de salinité permettant habituellement de mettre en évidence les influences océanique ou terrigène ne permettent pas de distinguer ces apports, certainement en raison des faibles débits d'eau douce en provenance des creeks de la Rade Nord, de la baie de Port Boisé et de la baie Kwé.

Les profils de turbidité sont relativement constants, à l'exception des stations St16 et St19, en raison de l'homogénéité des masses d'eaux. La fluorescence reflète la présence de $\text{Chl}a$ au niveau du Canal de la Havannah, en revanche les forts pics mesurés dans la baie de Prony semblent liés à d'autres phénomènes nécessitant d'autres types d'analyses.

En fonction de la distance des stations aux émissaires naturels et des conditions hydrodynamiques et météorologiques, les concentrations des paramètres se distribuent selon un gradient décroissant « côte-large » de manière plus ou moins bien prononcée. Les concentrations en MES, SiO_4 , ainsi qu'en Cr^{+6} , Mn^{2+} et de Ni^{2+} dissous sont plus élevées près des côtes, les plus faibles étant mesurées dans le Canal de la Havannah ou à l'Île Ouen. Pour les stations St15, St03 et St06, les valeurs de concentrations se distribuent également selon un gradient vertical décroissant avec la profondeur.

Les sels nutritifs (NO_2+NO_3 et NH_4) se retrouvent essentiellement au niveau du Canal Havannah et ses baies. La répartition des matières organiques est homogène pour les POD, en revanche les NOD et NOP sont surtout présents dans les baies et dans une moindre mesure dans le Canal de la Havannah. Plusieurs termes sources peuvent agir simultanément influençant la présence de ces éléments : le ruissellement sur les sols, les activités biologiques (les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore) et enfin la remontée d'eaux profondes riches en minéraux (upwelling) ; à cette énumération peuvent s'ajouter divers facteurs liés à des activités anthropiques. En raison de leurs multiples termes sources, en plus de la réactivité chimique (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.

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

L'étude des variations inter-campagnes des sels nutritifs (NO_3+NO_2 et NH_4) aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15) ne met pas en évidence d'évolution temporelle depuis le début des suivis. Les concentrations en NH_4 restent toutefois à surveiller aux stations St05 et St15 car elles sont croissantes depuis 4 ans, sans toutefois, atteindre des valeurs préoccupantes. Pour les métaux dissous (Co^{2+} , Cr^{+6} , Mn^{2+} et Ni^{2+}), cette campagne 2019 n'a pas non plus montré d'évolution temporelle pour les stations de baies (St03, St06 et St15), ni pour les stations du Canal (St05, St07 et St09).

Enfin aux stations sentinelles, les variations observées dans les concentrations de NH_4 , Mn^{2+} et Ni^{2+} entre les campagnes, n'ont pu être corrélées formellement avec les précipitations uniquement. En effet, ces niveaux de concentrations doivent probablement être le résultat de la combinaison des plusieurs facteurs d'ordre météorologiques (vitesse et direction des vents), mais aussi hydrodynamiques (courants, marées, horaires de prélèvement), biologiques (efflorescence) et anthropiques (activité minière, portuaire, hôtelière, ...).

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. Analytical Chemistry, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fiches 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.
- Fiches R, Adj  roud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. Aquatic Living Resources, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n  C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n  C2445.
- Le Grand H, Rouspard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roin   S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n  C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roin   S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n  1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n  1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n   T1368, 85p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. Deep Sea Research, 13: 223-227.
- Kaplan H, Laurent A, Drouzy M, Moreton, Fernandez JM (2016). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n   E98084, 93p.
- Kaplan H, Laurent A, Moreton, Fernandez JM (2017). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2017. Contrat AEL/Vale-NC n   E98084, 83p.
- 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 éléments.

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.....	8
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES PENDANT LES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (16 AU 20/08/2018) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (20 AU 22/08/19). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE".	10
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019 REPORTEE SUR LES MAREGRAMMES DU 20 AU 22 AOUT 2019.	11
FIGURE 4: PROFILS DE TEMPERATURE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	13
FIGURE 5: PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	14
FIGURE 6: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	15
FIGURE 7: PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	16
FIGURE 8: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	18
FIGURE 9: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES (NO ₃ +NO ₂) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	20
FIGURE 10: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	21
FIGURE 11: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	22
FIGURE 12 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	24
FIGURE 13 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	25
FIGURE 14 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	26
FIGURE 15 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	27
FIGURE 16 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	27
FIGURE 17 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	29
FIGURE 18: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CUIVRE (Cu) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	32
FIGURE 19 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN FER (Fe) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	32
FIGURE 20: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	33
FIGURE 21 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME (Cr ^{VI}) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	33
FIGURE 22: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	34

FIGURE 23 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	34
FIGURE 24 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	35
FIGURE 25 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2019 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».	36
FIGURE 26 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	38
FIGURE 27 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	38
FIGURE 28 : 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 FRAICHE » (2007 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	39
FIGURE 29 : 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 FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	39
FIGURE 30 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2007 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	41
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXVALENT (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 FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	41
FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	42
FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	42
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXVALENT (Co) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	44
FIGURE 35 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXVALENT (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 FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	44
FIGURE 36 : CONCENTRATIONS DE MANGANESE (Mn) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	45
FIGURE 37 : CONCENTRATIONS DE NICKEL (Ni) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2019) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	45

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1: LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	9
TABEAU 2: STATISTIQUE DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE ENREGISTREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.....	12
TABEAU 3 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN ELEMENTS MAJEURS ET DES VALEURS DU PH MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.....	17
TABEAU 4: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019	19
TABEAU 5 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	23
TABEAU 6 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.....	28
TABEAU 7: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.	29
TABEAU 8 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (As_{TOTAL} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Cr^{6+} , Cr_{TOTAL} ET Cu^{2+}) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.....	30
TABEAU 9 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (Fe, Mn, Ni, Pb ET Zn) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2019.....	31

ANNEXES

ANNEXE 1.....	54
ANNEXE 2.....	59
ANNEXE 3.....	61
ANNEXE 4.....	63
ANNEXE 5.....	65
ANNEXE 6.....	67
ANNEXE 7.....	69
ANNEXE 8.....	73
ANNEXE 9.....	78
ANNEXE 10.....	79

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

STRUCTURES DES MASSES D'EAU

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

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

- la pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- la salinité (‰), déduite de la mesure de la conductivité ;
- la température (°C) ;
- la turbidité par mesure de la néphélométrie, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- la fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m³, qui permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

Paramètres	Gamme	Précision initiale	Résolution
Conductivité (S.m ⁻¹)	0 - 9	<0,0505	<0,0507
Température (°C)	-5 à +35	0,005	<0,0501
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (mg/m ³)	0 - 50	NA*	0,025

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

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

- le dosage des ions calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) qui ont été déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- le dosage des ions chlorures (Cl⁻) a été réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- le dosage des ions sulfates (SO₄²⁻) a été réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- la mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- la détermination de la concentration en MES (Matière En Suspension) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore® de 0,45 µm de porosité).

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

ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

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

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (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 μm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_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 surfaces 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 μM 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 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 0,5 à 15 µmol/L, la limite de quantification est de 0,6 µmol/L et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µmol/L de SiO₄.

ANALYSE DE MATIERE ORGANIQUE

a) Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique dissous ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)) et les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. Ceci par la méthode d'oxydation par voie humide utilisée, simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

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

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

b) Azote et phosphore organiques particulaires

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation ([Raimbault et al., 1990](#)) et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

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

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

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

Soit :

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

Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et 40 µmol/L avec des limites de quantification de 0,130 µmol/L pour le NOP et entre 0,75 et 7 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 à bord du « Slavco » puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

Les dosages ont été effectués par la méthode fluorométrique de Lorenzen (1966) qui présente une très grande sensibilité. Les pigments chlorophylliens sont extraits du filtre par un solvant organique, leur détection s'effectue, après excitation dans un faisceau lumineux à 450 nm, par mesure de la fluorescence émise à 670 nm (ce principe est identique à celui utilisé par le capteur de fluorescence in-situ équipant la sonde multiparamétrique SBE 19). Sur chaque extrait, la mesure de fluorescence est effectuée deux fois, avant et après acidification.

L'écart de fluorescence observé entre ces deux lectures est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle a + Phéophytine a. Etant données les interférences dues aux chlorophylles b et c, la précision des mesures dépend de la nature même des communautés de producteurs primaires. La limite de quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 0,01 µg/L.

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

Conditionnement des échantillons

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

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à 0,45 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 pour cette méthode sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.

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

TRAITEMENTS STATISTIQUES

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

ANNEXE 2

Variables physico-chimiques

Minimums, maximums, moyennes et écart-types des données physico-chimiques mesurées dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St02	Minimum	22,39	35,51	0,28	0,23
	Maximum	22,41	35,52	0,43	0,47
	Moyenne	22,40	35,51	0,37	0,28
	Ecart-type	0,003	0,001	0,028	0,038
St03	Minimum	22,04	35,38	0,08	0,30
	Maximum	22,22	35,60	0,72	1,70
	Moyenne	22,13	35,46	0,44	0,62
	Ecart-type	0,052	0,056	0,168	0,314
St05	Minimum	22,26	35,50	0,13	0,20
	Maximum	22,42	35,53	0,40	0,47
	Moyenne	22,41	35,51	0,27	0,27
	Ecart-type	0,013	0,002	0,064	0,033
St06	Minimum	22,23	35,45	0,07	0,33
	Maximum	22,52	35,55	0,64	1,20
	Moyenne	22,28	35,52	0,42	0,57
	Ecart-type	0,067	0,015	0,140	0,164
St07	Minimum	22,02	35,52	0,38	0,29
	Maximum	22,43	35,61	0,64	1,01
	Moyenne	22,26	35,56	0,51	0,44
	Ecart-type	0,117	0,020	0,059	0,152
St09	Minimum	22,37	35,52	0,27	0,23
	Maximum	22,39	35,52	0,53	0,36
	Moyenne	22,38	35,52	0,41	0,27
	Ecart-type	0,005	0,001	0,033	0,020
St13	Minimum	21,81	35,35	0,12	0,40
	Maximum	21,99	35,69	0,29	1,66
	Moyenne	21,95	35,67	0,20	0,58
	Ecart-type	0,031	0,051	0,040	0,265
St14	Minimum	22,14	35,51	0,07	0,26
	Maximum	22,30	35,53	0,48	0,53
	Moyenne	22,25	35,52	0,34	0,37
	Ecart-type	0,038	0,003	0,081	0,039

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St15	Minimum	21,71	35,42	0,14	0,69
	Maximum	21,88	35,61	1,27	1,53
	Moyenne	21,77	35,56	0,74	0,97
	Ecart-type	0,054	0,043	0,386	0,222
St16	Minimum	21,61	35,49	0,01	0,58
	Maximum	21,94	35,60	0,80	10,43
	Moyenne	21,69	35,58	0,41	1,79
	Ecart-type	0,069	0,013	0,136	2,060
St18	Minimum	ND	ND	ND	ND
	Maximum	ND	ND	ND	ND
	Moyenne	ND	ND	ND	ND
	Ecart-type	ND	ND	ND	ND
St19	Minimum	21,75	35,63	0,05	0,39
	Maximum	21,99	35,67	0,45	15,43
	Moyenne	21,85	35,66	0,29	2,52
	Ecart-type	0,048	0,008	0,073	4,228
St20	Minimum	21,52	35,25	0,13	0,43
	Maximum	21,86	35,68	0,43	1,37
	Moyenne	21,75	35,66	0,30	0,65
	Ecart-type	0,029	0,058	0,072	0,160
St21	Minimum	21,61	35,60	0,07	0,32
	Maximum	21,95	35,69	0,28	0,61
	Moyenne	21,91	35,67	0,18	0,40
	Ecart-type	0,070	0,007	0,040	0,050

ND= Non Déterminé

ANNEXE 3

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

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 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	428	520	1321	11314	19444	2350	0,274	8,1
	M	474	576	1466	12095	19444	2500	0,242	8,1
	F	425	539	1348	11827	19444	2600	0,22	8,1
St03	S	436	540	1347	11509	19444	2400	0,31	8,1
	M	476	578	1468	12048	19444	2400	0,324	8,1
	F	440	549	1379	11611	18750	2400	0,096	8,1
St05	S	444	542	1370	11483	19444	2450	0,3	8,1
	M	436	533	1346	11294	19444	2400	0,364	8,1
	F	432	530	1333	11319	18750	2400	0,282	8,1
St06	S	461	567	1423	11976	19444	2300	0,446	8,1
	M	472	581	1463	12250	19444	2450	0,27	8,1
	F	437	542	1349	11465	18750	2450	0,202	8,1
St07	S	432	531	1335	11383	19444	2300	0,332	8,1
	M	457	561	1411	11812	19444	2150	0,832	8,1
	F	435	535	1345	11478	19444	2350	0,486	8,1
St09	S	494	600	1526	12481	19444	2500	0,286	8,1
	M	537	663	1663	13059	19444	2550	0,2	8,1
	F	528	653	1634	13067	19444	2350	0,298	8,1
St13	S	469	601	1482	12951	19444	2150	0,332	8,1
	M	469	584	1438	12894	19444	2300	0,35	8,1
	F	426	524	1309	11802	19444	2400	0,4	8,1
St14	S	438	538	1346	11604	20139	2400	0,41	8,1
	M	438	549	1393	11767	19444	2400	0,444	8,1
	F	453	558	1405	11611	18750	2400	0,448	8,1
St15	S	464	557	1435	12180	19444	2200	0,518	8,1
	M	450	540	1390	11754	19444	2300	0,606	8,1
	F	432	525	1339	12103	18750	2350	0,524	8,1
St16	S	435	523	1337	11899	19444	2250	0,38	8,1
	M	465	562	1431	12187	19444	2200	0,47	8,1
	F	437	531	1348	11697	18055	2300	0,418	8,1

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St18	S	441	533	1356	11716	19444	2400	0,338	8,1
	M	539	645	1675	13279	19444	2300	0,488	8,1
	F	517	647	1655	13329	19444	2400	0,614	8,1
St19	S	467	566	1436	12604	19444	2250	0,522	8,1
	M	505	609	1552	13031	19444	2250	0,52	8,1
	F	431	520	1321	11887	19444	2200	0,426	8,1
St20	S	427	525	1311	11557	19444	2150	0,312	8,1
	M	562	679	1740	13465	19444	2300	0,424	8,1
	F	516	625	1592	13123	19444	2200	0,502	8,1
St21	S	477	590	1472	12374	19444	2450	0,296	8,1
	M	416	535	1278	12035	19444	2400	0,276	8,1
	F	419	535	1283	11545	19444	2150	0,35	8,1

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 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	<0,050	0,088	<0,050	3,08
	M	<0,050	0,116	<0,050	1,00
	F	<0,050	0,055	<0,050	1,02
St03	S	<0,050	0,431	<0,050	2,27
	M	0,399	0,123	<0,050	1,79
	F	0,059	0,307	<0,050	1,37
St05	S	0,232	0,121	<0,050	1,15
	M	0,107	0,054	<0,050	0,860
	F	0,109	0,056	<0,050	0,840
St06	S	0,209	0,132	<0,050	1,33
	M	<0,050	0,375	<0,050	1,13
	F	<0,050	0,042	<0,050	1,21
St07	S	<0,050	0,670	<0,050	1,53
	M	0,111	0,073	<0,050	1,01
	F	<0,050	0,060	0,288	1,08
St09	S	<0,050	0,368	<0,050	6,49
	M	0,120	0,092	<0,050	1,11
	F	1,319	0,173	<0,050	3,18
St13	S	<0,050	0,035	<0,050	1,06
	M	<0,050	0,033	<0,050	0,957
	F	<0,050	0,124	<0,050	1,07
St14	S	<0,050	4,48	<0,050	1,24
	M	<0,050	0,169	<0,050	6,77
	F	0,214	0,090	<0,050	1,29
St15	S	0,080	0,041	<0,050	3,15
	M	<0,050	0,156	<0,050	2,62
	F	0,102	0,275	<0,050	3,04
St16	S	<0,050	0,079	<0,050	2,29
	M	<0,050	0,112	<0,050	4,55
	F	0,159	0,099	<0,050	2,17

Station	Niveau	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St18	S	0,179	0,199	<0,050	1,90
	M	<0,050	0,440	<0,050	1,88
	F	0,073	0,138	<0,050	3,06
St19	S	ND	0,037	<0,050	5,81
	M	0,151	0,032	<0,050	1,38
	F	0,070	0,116	<0,050	1,47
St20	S	0,073	0,021	<0,050	1,34
	M	<0,050	0,039	<0,050	1,48
	F	<0,050	0,035	<0,050	1,99
St21	S	<0,050	0,033	<0,050	1,02
	M	<0,050	0,291	<0,050	1,12
	F	<0,050	0,068	<0,050	1,45

ND= Non Déterminé

ANNEXE 5

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle α

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle α du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2019 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique ($\mu\text{mol/L}$)							Chlorophylle α ($\mu\text{g/L}$)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St02	S	5,23	0,543	0,348	0,052	5,6	5,91	0,450	0,2335
	M	5,26	0,423	0,203	<0,050	3,6	5,85	0,303	0,2623
	F	6,11	0,417	0,207	<0,050	4,5	6,63	0,307	0,2219
St03	S	4,68	0,643	0,158	<0,050	4,7	5,80	0,258	0,1951
	M	4,43	0,719	0,180	<0,050	4,6	5,67	0,280	0,2962
	F	4,81	1,05	0,158	0,169	12,4	6,23	0,377	0,4797
St05	S	4,76	1,07	0,192	0,079	5,7	6,18	0,321	0,2406
	M	5,30	0,495	0,116	<0,050	4,7	5,96	0,216	0,2290
	F	5,86	0,521	0,212	<0,050	9,2	6,55	0,312	0,2471
St06	S	5,16	0,804	0,215	0,061	4,9	6,30	0,326	0,1733
	M	5,82	0,679	0,243	0,065	4,4	6,92	0,359	0,1888
	F	5,19	0,527	0,183	0,055	4,2	5,81	0,288	0,3201
St07	S	4,44	0,615	0,194	<0,050	3,8	5,77	0,294	0,3292
	M	5,51	0,542	0,326	<0,050	2,9	6,24	0,426	0,3892
	F	5,75	0,515	0,004	<0,050	4,0	6,37	0,342	0,4336
St09	S	5,58	0,654	0,151	0,072	3,7	6,65	0,273	0,2614
	M	5,83	0,411	0,227	<0,050	4,5	6,45	0,327	0,2563
	F	4,06	0,439	0,350	<0,050	9,1	5,99	0,450	0,2793
St13	S	6,00	0,494	0,165	<0,050	5,6	6,58	0,265	0,1603
	M	6,75	0,540	0,167	<0,050	5,2	7,37	0,267	0,2306
	F	6,69	0,428	0,194	<0,050	5,2	7,29	0,294	0,2198
St14	S	ND	1,90	0,038	0,181	7,5	6,34	0,269	0,2646
	M	6,09	0,848	0,194	0,076	6,9	7,16	0,320	0,2630
	F	5,06	0,884	0,199	0,076	4,9	6,25	0,325	0,1911
St15	S	11,57	0,623	0,325	<0,050	6,0	12,31	0,425	0,0427
	M	5,64	0,851	0,171	<0,050	7,1	6,69	0,271	0,1642
	F	4,64	1,499	0,188	0,068	6,5	6,51	0,306	0,1728
St16	S	5,80	0,601	0,192	<0,050	4,4	6,53	0,292	0,1134
	M	5,62	0,978	0,288	<0,050	6,6	6,76	0,388	0,1064
	F	5,18	0,544	0,225	<0,050	6,1	5,99	0,325	0,0387

ND= Non Déterminé

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St18	S	6,30	0,949	0,149	0,064	6,1	7,63	0,263	0,0038
	M	7,21	0,794	0,302	<0,050	4,8	8,49	0,402	0,0235
	F	5,20	1,008	0,327	0,066	4,9	6,42	0,443	0,0119
St19	S	ND	0,492	0,184	<0,050	4,6	5,87	0,284	0,1812
	M	5,58	0,441	0,290	<0,050	3,7	6,21	0,390	0,0713
	F	5,51	0,729	0,178	0,056	3,8	6,43	0,284	0,0449
St20	S	6,15	0,507	0,233	<0,050	6,9	6,75	0,333	0,0968
	M	5,86	0,551	0,270	<0,050	6,0	6,50	0,370	0,2732
	F	2,21	4,002	0,310	0,082	4,7	6,30	0,442	0,0821
St21	S	6,23	0,644	0,121	0,063	5,2	6,96	0,234	0,1629
	M	5,55	0,590	0,273	<0,050	4,8	6,48	0,373	0,1826
	F	5,34	0,674	0,111	0,051	3,6	6,13	0,212	0,1990

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 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	2,05	<0,025	0,114	0,149	<0,027	0,031	0,106	0,064	0,100	<0,100	<1,000
	M	2,02	<0,025	0,113	0,131	<0,027	<0,025	<0,059	0,064	0,084	<0,100	<1,000
	F	1,99	<0,025	0,128	0,120	<0,027	<0,025	<0,059	0,065	0,086	<0,100	<1,000
St03	S	2,21	<0,025	0,163	0,195	<0,027	<0,025	<0,059	0,263	0,342	<0,100	<1,000
	M	2,04	<0,025	0,144	0,168	<0,027	<0,025	0,066	0,249	0,263	<0,100	<1,000
	F	2,05	<0,025	0,118	0,153	<0,027	<0,025	0,077	0,222	0,224	<0,100	<1,000
St05	S	2,15	<0,025	0,122	0,124	<0,027	0,053	0,118	0,084	0,127	<0,100	<1,000
	M	2,2	<0,025	0,118	0,121	<0,027	<0,025	<0,059	0,041	0,064	<0,100	<1,000
	F	2,1	<0,025	0,114	0,170	<0,027	<0,025	<0,059	0,062	0,090	<0,100	<1,000
St06	S	1,75	<0,025	0,114	0,155	<0,027	0,052	0,210	0,274	0,272	<0,100	<1,000
	M	1,89	<0,025	0,091	0,133	<0,027	<0,025	0,064	0,118	0,149	<0,100	<1,000
	F	1,86	<0,025	0,119	0,143	<0,027	<0,025	<0,059	0,102	0,126	<0,100	<1,000
St07	S	2,16	<0,025	0,107	0,140	<0,027	0,028	<0,059	0,099	0,107	<0,100	<1,000
	M	1,92	<0,025	0,114	0,132	<0,027	<0,025	<0,059	0,082	0,102	<0,100	<1,000
	F	2	<0,025	0,116	0,139	0,038	<0,025	<0,059	0,131	0,139	<0,100	<1,000
St09	S	2,04	<0,025	0,106	0,122	<0,027	<0,025	<0,059	0,066	0,088	<0,100	<1,000
	M	1,89	<0,025	0,103	0,142	<0,027	<0,025	<0,059	0,054	0,082	<0,100	<1,000
	F	2,2	<0,025	0,103	0,132	<0,027	<0,025	<0,059	0,064	0,090	<0,100	<1,000
St13	S	1,91	<0,025	0,128	0,128	<0,027	0,036	0,093	0,102	0,135	0,105	<1,000
	M	1,85	<0,025	0,094	0,194	<0,027	<0,025	<0,059	0,048	0,069	<0,100	<1,000
	F	1,87	<0,025	0,110	0,115	<0,027	<0,025	0,095	0,122	0,155	<0,100	<1,000
St14	S	2,5	<0,025	0,126	0,129	<0,027	0,059	0,102	0,111	0,176	0,238	<1,000
	M	2,4	<0,025	0,114	0,123	<0,027	0,036	0,078	0,158	0,151	0,115	<1,000
	F	2,2	<0,025	0,122	0,143	<0,027	<0,025	0,079	0,149	0,169	<0,100	<1,000
St15	S	1,62	<0,025	0,267	0,326	<0,027	<0,025	<0,059	0,291	0,447	<0,100	<1,000
	M	1,77	<0,025	0,158	0,167	<0,027	<0,025	<0,059	0,092	0,210	<0,100	<1,000
	F	1,64	<0,025	0,170	0,169	<0,027	<0,025	<0,059	0,133	0,254	<0,100	<1,000
St16	S	1,84	<0,025	0,172	0,192	<0,027	<0,025	<0,059	0,120	0,227	<0,100	<1,000
	M	1,6	<0,025	0,159	0,139	<0,027	<0,025	<0,059	0,146	0,263	<0,100	<1,000
	F	1,68	<0,025	0,183	0,169	<0,027	<0,025	<0,059	0,165	0,284	<0,100	<1,000

ND= Non déterminé

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Cr ^{VI}	Cr ^{-total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St18	S	1,74	<0,025	0,172	0,189	<0,027	<0,025	<0,059	0,333	0,415	<0,100	<1,000
	M	1,74	<0,025	0,126	0,150	<0,027	<0,025	<0,059	0,162	0,291	<0,100	<1,000
	F	1,88	<0,025	0,130	0,155	<0,027	0,030	<0,059	0,152	0,279	<0,100	<1,000
St19	S	1,74	<0,025	0,117	0,124	<0,027	<0,025	<0,059	0,121	0,200	<0,100	<1,000
	M	1,84	<0,025	0,104	0,149	<0,027	<0,025	<0,059	0,186	0,237	<0,100	<1,000
	F	1,74	<0,025	0,171	0,203	<0,027	<0,025	<0,059	0,134	0,202	<0,100	<1,000
St20	S	1,82	<0,025	0,122	0,138	<0,027	<0,025	<0,059	0,131	0,191	<0,100	<1,000
	M	1,83	<0,025	0,116	0,169	<0,027	<0,025	<0,059	0,193	0,257	<0,100	<1,000
	F	1,98	<0,025	0,123	0,131	<0,027	<0,025	<0,059	0,171	0,238	<0,100	<1,000
St21	S	1,86	<0,025	0,116	0,140	<0,027	<0,025	0,069	0,092	0,132	<0,100	<1,000
	M	1,89	<0,025	0,110	0,133	<0,027	<0,025	0,061	0,115	0,149	<0,100	<1,000
	F	1,94	<0,025	0,117	0,132	<0,027	<0,025	<0,059	0,091	0,130	<0,100	<1,000

Rappel : Les valeurs des LQ des métaux sont : Co< 0,027 µg/L ; Cu< 0,025 µg/L ; Fe<10,068 µg/L ; Mn<0,028µg/L ; Ni<0,022µg/L, Pb< 0,100µg/L et Zn<1,00 µg/L µg/L.

ANNEXE 7

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO_3+NO_2), ammonium (NH_4), phosphates (PO_4) et silicates (SiO_4) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2019 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	NO_3+NO_2 ($\mu\text{mol/L}$)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	<0,050	0,103	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,106	0,367	0,274	0,685	0,076	1,143	1,489	0,529	<0,050	0,660	0,918	1,319
	Moyenne	0,073	0,223	0,170	0,216	0,006	0,517	0,245	0,204	-	0,051	0,240	0,163
	Ecart-type	0,029	0,101	0,070	0,204	0,020	0,337	0,355	0,155	-	0,171	0,265	-
Baies du Canal	Minimum	0,055	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,555	0,101	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,095	0,397	0,247	0,473	0,033	1,426	0,644	0,296	0,098	1,361	0,754	0,399
	Moyenne	0,078	0,149	0,108	0,206	0,004	0,866	0,360	0,159	0,011	0,193	0,252	0,126
	Ecart-type	0,016	0,154	0,091	0,153	0,011	0,269	0,188	0,097	0,033	0,455	0,259	-
Baie du Prony	Minimum	0,070	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,084	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,102	0,176	0,142	0,168	1,477	0,748	2,374	0,105	<0,050	<0,050	0,236	0,179
	Moyenne	0,084	0,040	0,033	0,063	0,174	0,358	0,357	0,027	-	<0,050	0,074	0,092
	Ecart-type	0,012	0,050	0,047	0,058	0,416	0,191	0,680	0,035	-	<0,050	0,081	-
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,090	<0,050	<0,050	<0,050	0,095	0,143	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,078	0,307	0,181	0,158	0,106	0,462	1,201	0,691	<0,050	<0,050	0,078	0,073
	Moyenne	0,057	0,167	0,064	0,086	0,068	0,272	0,507	0,183	-	<0,050	0,021	0,054
	Ecart-type	0,025	0,082	0,067	0,051	0,037	0,135	0,482	0,274	-	<0,050	0,034	-

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (μmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,017	0,019	0,030	0,041	0,017	0,073	0,016	0,036	0,047	0,050	0,055	0,033
	Maximum	0,044	0,127	0,240	0,247	0,126	0,589	0,048	0,111	0,297	0,296	0,866	0,670
	Moyenne	0,024	0,051	0,080	0,086	0,051	0,162	0,034	0,063	0,103	0,106	0,215	0,155
	Ecart-type	0,009	0,033	0,060	0,057	0,030	0,126	0,009	0,025	0,075	0,073	0,200	0,171
Baies du Canal	Minimum	0,018	0,028	0,041	0,026	0,020	0,095	0,038	0,051	0,058	0,040	0,058	0,042
	Maximum	0,091	0,139	0,166	0,242	0,118	0,282	0,091	0,161	0,977	0,139	0,712	0,431
	Moyenne	0,036	0,074	0,091	0,093	0,045	0,154	0,062	0,095	0,192	0,097	0,216	0,209
	Ecart-type	0,021	0,031	0,049	0,065	0,033	0,056	0,016	0,031	0,298	0,039	0,248	0,143
Baie du Prony	Minimum	0,007	0,027	0,017	0,014	0,015	0,013	0,015	0,018	0,026	0,022	0,058	0,032
	Maximum	0,098	0,148	0,121	0,172	0,149	0,408	0,100	0,099	0,297	0,213	0,712	0,440
	Moyenne	0,021	0,058	0,048	0,057	0,034	0,205	0,039	0,040	0,083	0,073	0,216	0,144
	Ecart-type	0,029	0,036	0,036	0,054	0,038	0,135	0,026	0,024	0,078	0,077	0,248	0,117
Ile Ouen	Minimum	0,018	0,075	0,037	0,053	0,026	0,059	0,045	0,031	0,055	0,029	0,058	0,021
	Maximum	0,034	0,102	0,097	0,263	0,077	0,154	0,073	0,089	0,294	0,104	0,712	0,124
	Moyenne	0,024	0,087	0,060	0,114	0,039	0,114	0,056	0,055	0,170	0,060	0,216	0,048
	Ecart-type	0,008	0,010	0,022	0,076	0,019	0,043	0,010	0,022	0,095	0,029	0,248	0,038

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (µmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,065	0,084	ND	0,063	<0,050	0,103	<0,050	0,112	<0,050	0,101	<0,050	0,288
	Moyenne	<0,050	0,056	ND	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	0,070	-	0,072	<0,050	0,066
	Ecart-type	0,016	0,015	ND	0,019		0,029		0,020	-	0,014	<0,050	-
Baies du Canal	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,084	0,117	ND	0,059	<0,050	0,109	0,064	0,096	<0,050	0,101	0,080	<0,050
	Moyenne	<0,050	0,059	ND	<0,050	<0,050	0,072	0,064 (n=1)	0,069	-	0,048	0,018	<0,050
	Ecart-type	0,018	0,023	ND	0,013		0,028		0,018	-	0,032	0,035	-
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,074	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	<0,050	0,086	ND	0,203	<0,050	0,176	<0,050	0,156	<0,050	0,109	0,089	<0,050
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,084	<0,050	0,057	<0,050	0,106	-	0,033	0,033	<0,050
	Ecart-type		0,021	ND	0,047		0,052		0,021	-	0,030	0,036	-
Ile Ouen	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,102	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	<0,050	0,056	ND	0,084	<0,050	0,054	0,090	0,139	<0,050	0,061	<0,050	<0,050
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,051	<0,050	<0,050	0,090 (n=1)	0,116	-	0,026	<0,050	<0,050
	Ecart-type		0,014	ND	0,028		0,018		0,013	-	0,023	<0,050	-

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (μmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,80	0,92	<0,05	<0,05	1,14	1,07	1,32	0,99	<0,05	1,36	1,15	0,84
	Maximum	2,40	1,76	2,48	0,70	1,50	1,77	1,76	1,67	0,59	1,81	1,70	6,49
	Moyenne	1,20	1,32	1,25	0,20	1,30	1,33	1,54	1,19	0,11	1,62	1,35	1,73
	Ecart-type	0,42	0,31	0,72	0,26	0,11	0,20	0,15	0,19	0,19	0,14	0,19	1,51
Baies du Canal	Minimum	0,82	1,38	0,53	0,05	1,33	1,62	1,60	1,31	0,14	1,95	1,01	1,13
	Maximum	1,87	3,84	1,83	4,34	2,28	10,79	2,53	4,13	4,76	4,09	10,15	6,77
	Moyenne	1,16	1,98	1,05	1,44	1,71	3,49	1,99	2,08	1,29	2,58	2,45	2,05
	Ecart-type	0,35	0,82	0,51	1,28	0,35	2,97	0,31	1,02	1,54	0,73	2,90	1,81
Baie du Prony	Minimum	1,32	1,89	0,75	0,39	1,80	2,31	1,94	1,88	0,62	2,47	2,06	1,38
	Maximum	3,02	4,31	3,15	2,65	3,07	5,89	3,31	4,46	2,92	4,18	4,23	5,81
	Moyenne	2,04	2,88	1,44	1,22	2,36	3,47	2,64	2,89	1,66	3,12	2,97	2,78
	Ecart-type	0,59	0,84	0,81	0,65	0,43	1,43	0,46	0,71	0,76	0,60	0,70	1,32
Ile Ouen	Minimum	1,22	1,42	0,68	0,29	1,29	1,88	1,59	1,55	0,25	1,55	1,51	0,96
	Maximum	1,96	2,31	0,77	1,37	1,87	3,43	3,46	2,10	1,00	2,59	3,96	1,99
	Moyenne	1,54	1,83	0,72	0,71	1,63	2,40	2,27	1,82	0,66	2,01	2,35	1,32
	Ecart-type	0,38	0,39	0,03	0,45	0,26	0,61	0,64	0,24	0,24	0,36	0,89	0,38

ANNEXE 8

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD) et du carbone, de l'azote et du phosphore organiques particuliers mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2018 lors des campagnes semestrielle « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	NOD (µmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	2,55	1,56	4,54	2,26	2,73	1,21	4,44	3,13	4,00	3,97	4,65	4,060
	Maximum	4,36	4,59	7,43	4,76	4,45	3,02	7,33	7,54	18,55	7,85	10,78	6,230
	Moyenne	3,74	3,09	5,88	3,73	3,38	1,97	5,51	4,65	10,73	5,42	7,65	5,387
	Ecart-type	0,58	0,85	0,92	0,76	0,51	0,56	0,79	1,26	5,68	1,03	1,61	0,596
Baies du Canal	Minimum	2,55	2,88	5,20	3,56	2,01	0,86	4,75	3,13	3,24	4,26	4,54	4,430
	Maximum	4,83	4,37	7,44	5,31	4,02	2,78	5,86	6,26	18,37	12,07	12,76	6,090
	Moyenne	3,80	3,59	6,21	4,40	3,07	1,66	5,36	4,38	9,32	6,72	6,66	5,155
	Ecart-type	0,79	0,42	0,74	0,58	0,78	0,59	0,40	0,96	6,14	2,46	3,19	0,560
Baie du Prony	Minimum	3,66	2,45	4,51	3,11	2,45	1,55	5,40	3,08	3,77	5,13	4,72	4,640
	Maximum	4,08	4,25	7,16	4,57	4,48	4,22	8,62	6,13	20,46	10,35	8,41	11,570
	Moyenne	3,91	3,50	5,79	3,72	3,47	2,21	6,45	4,28	7,81	7,16	6,29	6,205
	Ecart-type	0,13	0,49	0,68	0,49	0,57	0,72	0,90	1,01	4,87	1,89	1,11	1,898
Ile Ouen	Minimum	3,86	3,39	5,33	3,67	3,21	1,96	5,56	3,34	4,64	4,20	4,61	2,210
	Maximum	4,50	4,20	7,19	6,87	4,70	2,69	6,45	3,92	12,51	9,40	8,24	6,750
	Moyenne	4,10	3,75	6,50	4,62	3,98	2,34	5,91	3,53	6,89	6,47	6,36	5,610
	Ecart-type	0,35	0,32	0,70	1,51	0,54	0,26	0,33	0,21	2,87	2,04	1,28	1,705

Zone d'étude	Statistique	POD (μmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,132	0,232	ND	0,009	0,048	0,072	0,160	NA	0,084	<0,050	0,136	0,004
	Maximum	0,316	0,837	ND	0,204	0,205	0,361	0,321	NA	0,198	0,102	0,249	0,350
	Moyenne	0,187	0,512	ND	0,076	0,154	0,186	0,249	NA	0,141	0,057	0,192	0,202
	Ecart-type	0,046	0,159	ND	0,073	0,049	0,094	0,048	NA	0,032	0,033	0,033	0,096
Baies du Canal	Minimum	0,132	0,378	ND	0,017	0,012	0,039	0,204	NA	0,013	<0,050	<0,050	0,038
	Maximum	0,288	0,708	ND	0,230A	0,200	0,310	0,323	NA	0,280	0,110	0,241	0,243
	Moyenne	0,202	0,511	ND	0,110	0,118	0,213	0,255	NA	0,132	0,071	0,125	0,174
	Ecart-type	0,051	0,129	ND	0,065	0,066	0,083	0,042	NA	0,089	0,033	0,083	0,058
Baie du Prony	Minimum	0,171	0,533	ND	0,052	0,107	0,269	0,098	NA	0,064	0,065	0,071	0,149
	Maximum	0,277	0,899	ND	0,158	0,240	0,709	0,288	NA	0,154	0,128	0,183	0,327
	Moyenne	0,207	0,684	ND	0,099	0,175	0,429	0,216	NA	0,118	0,091	0,132	0,235
	Ecart-type	0,034	0,103	ND	0,037	0,037	0,125	0,049	NA	0,029	0,018	0,035	0,066
Ile Ouen	Minimum	0,191	0,538	ND	0,059	0,067	0,257	0,176	NA	0,014	<0,050	0,081	0,165
	Maximum	0,294	0,825	ND	0,083	0,182	0,523	0,293	NA	0,233	0,088	0,162	0,310
	Moyenne	0,227	0,688	ND	0,071	0,123	0,337	0,242	NA	0,095	0,067	0,131	0,223
	Ecart-type	0,058	0,109	ND	0,012	0,044	0,111	0,048	NA	0,077	0,033	0,031	0,059

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

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	5,27	4,66	8,49	NA	5,00	3,98	4,85	5,27	2,99	5,00	ND	2,900
	Maximum	21,69	16,19	54,98	NA	46,08	19,06	12,81	21,69	7,31	10,00	ND	9,200
	Moyenne	9,80	7,33	14,06	NA	11,30	8,27	6,72	9,80	5,28	8,17	ND	4,993
	Ecart-type	4,28	2,52	11,14	NA	10,27	4,37	2,50	4,28	1,25	1,42	ND	1,860
Baies Canal	Minimum	5,24	4,11	9,15	NA	9,03	4,58	5,40	5,24	3,53	5,00	ND	4,200
	Maximum	12,29	11,21	14,72	NA	28,96	20,96	10,12	12,29	28,93	15,00	ND	12,400
	Moyenne	6,71	6,92	11,55	NA	17,06	10,84	7,59	6,71	10,56	8,52	ND	6,056
	Ecart-type	1,98	1,94	1,88	NA	7,61	5,16	1,71	1,98	7,66	2,82	ND	2,642
Baie du Prony	Minimum	5,59	5,15	8,43	NA	7,18	4,54	4,94	5,59	4,08	5,00	ND	3,700
	Maximum	7,08	10,66	15,72	NA	14,65	22,66	13,60	7,08	10,38	13,33	ND	7,100
	Moyenne	6,28	6,69	12,98	NA	9,47	15,08	8,81	6,28	5,53	8,06	ND	5,383
	Ecart-type	0,44	1,62	2,79	NA	2,26	7,09	2,53	0,44	1,90	2,23	ND	1,151
Ile Ouen	Minimum	5,27	5,84	12,06	NA	9,20	4,86	7,98	5,27	5,31	5,83	ND	4,700
	Maximum	7,19	7,36	22,42	NA	20,19	19,78	14,55	7,19	22,82	13,33	ND	6,900
	Moyenne	5,90	6,46	17,70	NA	13,69	9,10	10,81	5,90	10,14	9,00	ND	5,600
	Ecart-type	0,78	0,55	4,09	NA	5,10	6,20	2,62	0,78	6,38	2,97	ND	0,772

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

Zone d'étude	Statistique	NOP (µmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,341	0,390	0,140	0,367	0,615	1,210	0,337	0,222	0,245	0,472	0,421	0,411
	Maximum	1,321	3,280	0,510	1,208	1,274	3,020	0,989	0,853	0,653	0,936	0,832	1,070
	Moyenne	0,752	1,332	0,275	0,612	0,933	1,973	0,609	0,442	0,502	0,618	0,559	0,570
	Ecart-type	0,305	0,905	0,112	0,215	0,217	0,557	0,200	0,202	0,116	0,124	0,134	0,164
Baies du Canal	Minimum	0,561	0,220	0,054	0,486	0,568	0,863	0,425	0,237	0,491	0,572	0,538	0,527
	Maximum	1,187	1,140	0,514	0,875	1,301	2,779	1,038	0,849	0,936	0,946	1,223	1,900
	Moyenne	0,724	0,631	0,290	0,721	0,866	1,662	0,678	0,488	0,635	0,774	0,701	0,895
	Ecart-type	0,201	0,272	0,148	0,137	0,240	0,590	0,178	0,166	0,158	0,114	0,223	0,406
Baie du Prony	Minimum	0,771	0,110	0,188	0,358	0,694	1,553	0,593	0,492	0,596	0,662	0,493	0,441
	Maximum	1,115	1,720	0,600	0,897	1,270	4,220	1,268	1,133	2,349	1,332	1,526	1,499
	Moyenne	0,876	0,658	0,298	0,654	0,862	2,214	0,943	0,790	0,929	0,901	0,692	0,792
	Ecart-type	0,105	0,423	0,118	0,158	0,172	0,719	0,221	0,188	0,469	0,221	0,274	0,294
Ile Ouen	Minimum	0,717	0,110	0,183	0,583	0,593	1,961	0,622	0,531	0,623	0,618	0,730	0,428
	Maximum	0,813	4,580	0,358	1,251	0,813	2,695	0,918	0,817	1,776	0,855	0,879	4,002
	Moyenne	0,760	1,117	0,259	0,912	0,661	2,341	0,746	0,676	1,021	0,718	0,808	1,087
	Ecart-type	0,048	1,723	0,061	0,295	0,081	0,263	0,124	0,113	0,534	0,101	0,060	1,429

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,033	0,036	0,085	0,011	0,043	0,057	0,019	0,025	0,016	<0,050	0,044	<0,050
	Maximum	0,102	0,337	0,156	0,071	0,198	0,136	0,047	0,078	0,043	0,102	0,073	0,079
	Moyenne	0,071	0,087	0,098	0,034	0,063	0,082	0,027	0,048	0,031	0,057	0,055	0,054
	Ecart-type	0,019	0,075	0,017	0,017	0,040	0,024	0,008	0,015	0,008	0,033	0,008	-
Baies du Canal	Minimum	0,067	0,042	0,083	0,022	0,043	0,072	0,017	0,046	0,030	<0,050	0,047	<0,050
	Maximum	0,106	0,079	0,156	0,050	0,102	0,233	0,054	0,089	0,060	0,110	0,112	0,181
	Moyenne	0,088	0,054	0,104	0,036	0,062	0,103	0,033	0,067	0,040	0,071	0,076	0,087
	Ecart-type	0,013	0,012	0,024	0,008	0,019	0,050	0,011	0,015	0,010	0,033	0,023	-
Baie du Prony	Minimum	0,075	0,048	0,093	0,022	0,049	0,067	0,023	0,041	0,042	0,065	0,035	<0,050
	Maximum	0,115	0,086	0,124	0,057	0,160	0,247	0,072	0,065	0,071	0,128	0,100	0,068
	Moyenne	0,094	0,063	0,109	0,040	0,070	0,111	0,047	0,052	0,051	0,091	0,049	0,055
	Ecart-type	0,014	0,013	0,009	0,013	0,031	0,051	0,016	0,006	0,010	0,018	0,017	-
Ile Ouen	Minimum	0,082	0,032	0,086	0,015	0,041	0,072	0,028	0,048	0,040	<0,050	0,044	<0,050
	Maximum	0,090	0,054	0,127	0,065	0,098	0,088	0,041	0,106	0,092	0,088	0,114	0,082
	Moyenne	0,086	0,045	0,104	0,040	0,060	0,082	0,035	0,079	0,054	0,067	0,073	0,055
	Ecart-type	0,004	0,008	0,016	0,019	0,020	0,005	0,005	0,020	0,020	0,033	0,025	-

ANNEXE 9

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de la chlorophylle a mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2018 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,088	0,154	0,586	0,103	0,172	0,208	0,047	0,321	0,113	NE	0,320	0,163
	Maximum	0,975	0,431	2,554	0,734	0,603	0,762	0,833	0,477	0,393	0,048	0,783	0,434
	Moyenne	0,442	0,321	1,028	0,396	0,420	0,379	0,287	0,374	0,257	NE	0,519	0,262
	Ecart-type	0,196	0,088	0,480	0,177	0,129	0,151	0,252	0,040	0,084	0,064	0,148	0,075
Baie du Canal	Minimum	0,333	0,157	0,404	0,304	0,364	0,119	0,011	0,212	0,123	NE	0,238	0,173
	Maximum	0,629	0,499	1,208	0,745	0,687	1,284	0,403	0,611	0,367	0,030	0,607	0,480
	Moyenne	0,455	0,350	0,930	0,482	0,511	0,416	0,230	0,402	0,277	NE	0,447	0,264
	Ecart-type	0,087	0,113	0,269	0,149	0,113	0,368	0,141	0,120	0,082	0,055	0,115	0,097
Baie du Prony	Minimum	0,161	0,162	0,593	0,005	0,203	0,073	0,130	0,184	0,157	NE	0,072	0,004
	Maximum	0,570	0,900	1,090	0,629	1,276	2,504	0,457	0,609	0,369	0,129	2,026	0,181
	Moyenne	0,396	0,351	0,755	0,348	0,446	0,644	0,280	0,408	0,259	NE	0,627	0,081
	Ecart-type	0,124	0,194	0,141	0,192	0,290	0,673	0,108	0,124	0,067	0,098	0,514	0,065
Ile Ouen	Minimum	0,428	0,237	0,602	0,046	0,278	0,100	0,125	0,332	0,121	NE	0,469	0,082
	Maximum	0,464	0,395	1,030	0,493	0,374	1,004	0,397	0,498	0,278	0,112	0,582	0,273
	Moyenne	0,441	0,282	0,806	0,326	0,319	0,489	0,242	0,405	0,229	NE	0,498	0,177
	Ecart-type	0,020	0,060	0,147	0,213	0,039	0,390	0,110	0,061	0,060	0,084	0,043	0,077

ANNEXE 10

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Cr-total, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2018 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)*											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	ND	1,18	ND	ND	1,13	1,29	1,00	1,30	0,33	1,80	1,10	1,86
	Maximum	ND	1,72	ND	ND	1,27	1,43	3,00	2,60	3,10	2,70	2,70	2,23
	Moyenne	ND	1,36	ND	ND	1,22	1,36	1,73	2,01	1,67	2,27	1,71	2,03
	Ecart-type	ND	0,15	ND	ND	0,04	0,05	0,59	0,38	0,72	0,27	0,45	0,12
Baies du Canal	Minimum	ND	0,93	ND	ND	1,16	0,74	1,00	1,45	0,33	1,50	1,30	1,75
	Maximum	ND	1,81	ND	ND	1,27	1,42	2,00	3,60	2,00	2,40	2,10	2,50
	Moyenne	ND	1,34	ND	ND	1,21	1,20	1,56	2,24	1,01	1,99	1,69	2,09
	Ecart-type	ND	0,25	ND	ND	0,03	0,23	0,53	0,65	0,68	0,28	0,31	0,24
Baie du Prony	Minimum	ND	1,16	ND	ND	1,07	1,01	1,00	1,40	0,33	1,50	1,10	1,60
	Maximum	ND	1,55	ND	ND	1,19	1,30	2,00	3,00	2,10	2,60	2,30	1,88
	Moyenne	ND	1,40	ND	ND	1,13	1,21	1,60	2,34	1,49	2,02	1,72	1,74
	Ecart-type	ND	0,13	ND	ND	0,04	0,11	0,55	0,54	0,45	0,300	0,42	0,09
Ile Ouen	Minimum	ND	1,13	ND	ND	1,13	1,14	1,00	1,50	0,33	2,00	1,10	1,82
	Maximum	ND	1,33	ND	ND	1,25	1,32	2,00	2,80	2,30	2,40	2,00	1,98
	Moyenne	ND	1,22	ND	ND	1,18	1,26	1,83	1,83	1,37	2,13	1,50	1,88
	Ecart-type	ND	0,10	ND	ND	0,04	0,07	0,41	0,53	0,65	0,21	0,32	0,06

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

Zone d'étude	Statistique	Co (µg/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
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	<0,027	0,059	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,025	<0,027	<0,027	<0,027
	Moyenne	<0,027	0,031	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,015	<0,027	<0,027	<0,027
	Ecart-type	-	0,015	-	-	-	-	-	-	0,006	-	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,029	<0,027	0,057	<0,027	0,029	<0,027	<0,027
	Maximum	0,071	0,073	0,096	0,142	0,045	0,154	0,046	0,068	0,100	0,083	<0,027	<0,027
	Moyenne	0,029	0,030	0,039	0,052	0,029	0,078	<0,027	0,062	0,041	0,050	<0,027	<0,027
	Ecart-type	0,021	0,024	0,030	0,051	0,012	0,060	0,013	0,008	0,029	0,019	-	<0,027
Baie du Prony	Minimum	0,035	<0,027	<0,027	0,030	<0,027	<0,027	<0,027	0,027	0,039	0,031	0,030	<0,027
	Maximum	0,073	0,060	0,038	0,105	0,044	0,054	0,068	0,045	0,086	0,048	0,058	(n=1) 0,038
	Moyenne	0,050	0,031	<0,027	0,049	0,032	<0,027	0,039	0,033	0,053	0,036	0,039	(n=1) 0,038
	Ecart-type	0,011	0,017	0,006	0,021	0,008	0,015	0,015	0,006	0,015	0,007	0,011	-
Ile Ouen	Minimum	<0,027	<0,027	0,006	0,021	0,008	0,015	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,027	<0,027
	Maximum	0,033	0,132	0,048	0,112	0,042	0,034	0,033	<0,027	0,040	<0,027	0,027	<0,027
	Moyenne	0,029	0,043	0,034	0,045	0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,024	<0,027	0,027 (n=1)	<0,027
	Ecart-type	0,004	0,050	0,012	0,035	0,010	0,009	0,012	-	0,014	-	-	-

Zone d'étude	Statistique	Cr ^{VI} (µg/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,073	0,118	0,120	0,074	0,052	0,097	0,087	0,058	0,108	0,131	0,105	0,103
	Maximum	0,112	0,184	0,140	0,105	0,166	0,171	0,104	0,129	0,125	0,165	0,144	0,128
	Moyenne	0,092	0,152	0,124	0,088	0,110	0,123	0,095	0,095	0,114	0,140	0,121	0,113
	Ecart-type	0,011	0,018	0,006	0,009	0,028	0,017	0,005	0,024	0,004	0,009	0,012	0,007
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,139	0,110	0,088	0,102	0,138	0,094	0,100	0,116	0,144	0,111	0,091
	Maximum	0,150	0,306	0,210	0,240	0,168	1,401	0,120	0,227	0,367	0,216	0,690	0,163
	Moyenne	0,105	0,189	0,139	0,128	0,137	0,403	0,107	0,148	0,162	0,168	0,238	0,123
	Ecart-type	0,018	0,055	0,031	0,052	0,022	0,489	0,009	0,038	0,083	0,023	0,187	0,020
Baie du Prony	Minimum	0,094	0,190	0,150	0,106	0,124	0,246	0,102	0,102	0,140	0,150	0,123	0,104
	Maximum	0,182	0,426	0,220	0,205	0,272	0,907	0,151	0,217	0,229	0,218	0,252	0,267
	Moyenne	0,122	0,273	0,175	0,141	0,159	0,434	0,129	0,146	0,171	0,176	0,196	0,161
	Ecart-type	0,024	0,079	0,017	0,033	0,040	0,234	0,017	0,029	0,035	0,027	0,038	0,042
Ile Ouen	Minimum	0,083	0,165	0,130	0,096	0,110	0,243	0,095	0,104	0,115	0,130	0,123	0,094
	Maximum	0,095	0,221	0,160	0,115	0,180	0,411	0,146	0,137	0,147	0,145	0,161	0,128
	Moyenne	0,089	0,193	0,142	0,108	0,137	0,287	0,115	0,120	0,127	0,139	0,137	0,116
	Ecart-type	0,006	0,026	0,015	0,007	0,031	0,063	0,019	0,013	0,013	0,006	0,016	0,012

Zone d'étude	Statistique	Cr-tot (µg/L)*											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,111	0,202	0,130	0,115	0,112	0,114	0,106	0,130	ND	0,140	0,190	0,120
	Maximum	0,157	0,462	0,180	0,206	0,339	0,496	0,202	0,230	ND	0,401	0,344	0,170
	Moyenne	0,129	0,287	0,145	0,150	0,179	0,219	0,132	0,154	ND	0,197	0,223	0,135
	Ecart-type	0,013	0,077	0,015	0,031	0,071	0,129	0,029	0,026	ND	0,083	0,039	0,013
Baies du Canal	Minimum	0,116	0,176	0,130	0,125	0,133	0,134	0,116	0,144	ND	0,177	0,188	0,123
	Maximum	0,189	0,361	0,230	0,304	0,272	1,604	0,303	0,263	ND	0,364	0,814	0,195
	Moyenne	0,139	0,280	0,160	0,199	0,172	0,451	0,171	0,179	ND	0,224	0,302	0,149
	Ecart-type	0,021	0,064	0,034	0,072	0,037	0,560	0,068	0,042	ND	0,061	0,203	0,022
Baie du Prony	Minimum	0,119	0,242	0,170	0,157	0,126	0,263	0,102	0,136	ND	0,180	0,238	0,124
	Maximum	0,191	0,712	0,250	0,260	0,270	1,333	0,198	0,226	ND	0,326	0,562	0,326
	Moyenne	0,155	0,404	0,198	0,204	0,175	0,641	0,144	0,175	ND	0,240	0,326	0,178
	Ecart-type	0,022	0,124	0,023	0,034	0,045	0,370	0,030	0,023	ND	0,047	0,096	0,052
Ile Ouen	Minimum	0,164	0,244	0,140	0,138	0,134	0,258	0,095	0,134	ND	0,161	0,226	0,115
	Maximum	0,207	0,361	0,170	0,178	0,203	0,737	0,148	0,165	ND	0,212	0,256	0,194
	Moyenne	0,180	0,304	0,153	0,155	0,169	0,379	0,124	0,153	ND	0,179	0,240	0,146
	Ecart-type	0,024	0,051	0,012	0,014	0,031	0,187	0,019	0,013	ND	0,018	0,010	0,030

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

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,032	<0,025	<0,025	0,028	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,097	<0,025	<0,025
	Maximum	0,095	0,077	0,277	0,227	<0,025	0,178	0,027	<0,025	0,386	0,212	<0,025	0,053
	Moyenne	0,050	0,039	0,041	0,093	<0,025	0,057	<0,025	<0,025	0,039	0,155	<0,025	0,028
	Ecart-type	0,017	0,023	0,066	0,074	-	0,042	0,007	-	0,098	0,081	-	-
Baies du Canal	Minimum	0,036	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,125	0,032	0,025
	Maximum	0,069	<0,025	0,037	0,125	<0,025	0,320	0,077	<0,025	0,658	0,200	0,032	0,059
	Moyenne	0,049	<0,025	0,028	0,055	<0,025	0,068	0,026	<0,025	0,089	0,162	0,032 (n=1)	0,033
	Ecart-type	0,012	-	0,007	0,040	-	0,105	0,021	-	0,214	0,053	-	0,013
Baie du Prony	Minimum	0,042	<0,025	<0,025	<0,025	0,530	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,027	<0,0250
	Maximum	0,181	0,046	0,065	0,363	0,690	0,119	0,107	<0,025	0,298	0,535	0,027	0,030
	Moyenne	0,105	0,028	0,034	0,095	0,590	0,052	0,055	<0,025	0,063	0,535 (n=1)	0,027	<0,0250
	Ecart-type	0,053	0,012	0,016	0,117	0,087	0,031	0,031		0,089		0,000	-
Ile Ouen	Minimum	0,044	<0,025	<0,025	0,039	0,250	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,0250
	Maximum	0,060	0,038	0,025	1,206	0,290	0,127	0,041	0,043	0,122	0,030	<0,025	0,036
	Moyenne	0,050	<0,025	<0,025	0,379	0,270	0,063	<0,025	0,043 (n=1)	0,033	0,030 (n=1)	<0,025	0,027
	Ecart-type	0,009	0,011	0,003	0,465	0,028	0,045	0,013	-	0,045		-	-

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,069	0,081	<0,059
	Maximum	0,147	0,127	0,120	0,286	0,140	0,225	0,126	0,106	0,295	0,279	0,081	0,118
	Moyenne	0,078	0,097	<0,068	0,073	<0,068	<0,068	<0,068	0,106 (n=1)	0,030	0,140	0,081 (n=1)	0,067
	Ecart-type	0,041	0,016	0,024	0,068	0,041	0,052	0,028	-	0,080	0,095	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,078	<0,068	0,069	0,062	<0,059
	Maximum	0,388	0,238	0,130	0,371	0,091	0,118	0,215	0,110	0,148	0,489	0,177	0,210
	Moyenne	0,175	0,143	0,079	0,117	<0,068	<0,068	0,106	0,094	0,067	0,195	0,094	0,088
	Ecart-type	0,135	0,054	0,040	0,099	0,030	0,032	0,068	0,015	0,052	0,172	0,047	-
Baie du Prony	Minimum	0,101	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,086	<0,059
	Maximum	0,172	0,104	<0,068	<0,068	<0,068	0,682	0,270	<0,068	0,110	<0,068	0,086	<0,059
	Moyenne	0,130	0,071	<0,068	<0,068	<0,068	0,110	0,128	<0,068	0,046	<0,068	0,086 (n=1)	<0,059
	Ecart-type	0,020	0,026	-	-	-	0,180	0,082	-	0,046	-	-	-
Ile Ouen	Minimum	0,156	0,094	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	0,076	<0,068	<0,068	<0,068	0,065	<0,059
	Maximum	0,217	0,261	0,130	0,101	<0,068	<0,068	0,202	0,095	0,167	<0,068	0,069	0,095
	Moyenne	0,178	0,137	0,092	0,071	<0,068	<0,068	0,120	0,095 (n=1)	0,080	<0,068	0,067	0,071
	Ecart-type	0,034	0,062	0,021	0,029	-	-	0,043	-	0,071	-	0,003	-

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,084	0,053	0,030	0,083	0,039	0,034	0,057	<0,028	<0,028	0,031	0,034	0,041
	Maximum	0,183	0,192	0,230	0,211	0,166	0,064	0,173	0,067	0,189	0,089	0,106	0,131
	Moyenne	0,105	0,100	0,107	0,113	0,101	0,047	0,088	0,046	0,063	0,054	0,061	0,078
	Ecart-type	0,023	0,043	0,066	0,031	0,040	0,010	0,032	0,015	0,044	0,016	0,027	0,023
Baies du Canal	Minimum	0,100	0,094	0,120	0,190	0,094	0,066	0,091	0,038	<0,028	0,069	0,034	0,102
	Maximum	0,514	0,466	0,690	1,432	0,373	1,606	0,264	0,352	0,446	0,405	0,151	0,274
	Moyenne	0,211	0,209	0,259	0,450	0,199	0,372	0,188	0,126	0,193	0,198	0,082	0,183
	Ecart-type	0,174	0,126	0,176	0,406	0,102	0,505	0,053	0,102	0,145	0,099	0,052	0,069
Baie du Prony	Minimum	0,227	0,137	0,110	0,221	0,142	0,015	0,014	<0,028	0,139	0,054	0,039	0,092
	Maximum	0,453	0,355	0,280	0,718	0,287	0,435	0,454	0,190	0,480	0,154	0,331	0,333
	Moyenne	0,276	0,229	0,149	0,370	0,217	0,157	0,266	0,121	0,271	0,102	0,183	0,169
	Ecart-type	0,068	0,081	0,048	0,149	0,045	0,130	0,117	0,036	0,101	0,031	0,082	0,072
Ile Ouen	Minimum	0,201	0,142	0,190	0,215	0,099	0,072	0,125	0,054	<0,028	0,054	0,061	0,048
	Maximum	0,222	0,247	0,460	0,366	0,340	0,237	0,370	0,151	0,264	0,163	0,159	0,193
	Moyenne	0,214	0,200	0,325	0,276	0,210	0,130	0,223	0,097	0,166	0,095	0,117	0,128
	Ecart-type	0,011	0,039	0,103	0,059	0,098	0,061	0,110	0,035	0,091	0,045	0,045	0,051

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)											
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019
Canal de la Havannah	Minimum	0,106	0,070	0,050	0,094	0,087	0,060	0,083	0,045	0,054	0,087	0,065	0,064
	Maximum	0,189	0,249	0,250	0,164	0,204	0,133	0,174	0,363	0,169	0,262	0,162	0,149
	Moyenne	0,126	0,143	0,133	0,117	0,127	0,097	0,111	0,096	0,097	0,130	0,093	0,105
	Ecart-type	0,020	0,063	0,061	0,021	0,043	0,023	0,031	0,079	0,037	0,043	0,032	0,024
Baies du Canal	Minimum	0,126	0,121	0,160	0,169	0,128	0,152	0,129	0,091	0,072	0,159	0,058	0,126
	Maximum	0,486	0,713	0,620	0,869	0,391	2,991	0,318	0,458	0,692	0,545	0,155	0,342
	Moyenne	0,218	0,259	0,273	0,353	0,209	0,774	0,236	0,213	0,260	0,340	0,101	0,208
	Ecart-type	0,135	0,184	0,152	0,263	0,091	1,133	0,066	0,140	0,212	0,146	0,044	0,072
Baie du Prony	Minimum	0,277	0,216	0,170	0,295	0,266	0,089	0,085	0,105	0,204	0,184	0,139	0,200
	Maximum	0,498	0,481	0,290	0,536	0,380	1,635	0,519	0,321	0,525	0,283	0,469	0,447
	Moyenne	0,357	0,321	0,208	0,374	0,324	0,461	0,344	0,219	0,348	0,231	0,311	0,276
	Ecart-type	0,067	0,093	0,040	0,074	0,037	0,423	0,117	0,060	0,098	0,038	0,087	0,079
Ile Ouen	Minimum	0,206	0,196	0,200	0,227	0,175	0,195	0,144	0,114	0,061	0,154	0,106	0,069
	Maximum	0,242	0,309	0,460	0,363	0,352	0,498	0,356	0,215	0,309	0,306	0,299	0,257
	Moyenne	0,219	0,252	0,342	0,288	0,250	0,294	0,233	0,173	0,219	0,203	0,199	0,174
	Ecart-type	0,020	0,053	0,098	0,060	0,081	0,114	0,090	0,045	0,084	0,058	0,076	0,069