



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

2nd semestre 2018



«Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique»

Rapport
Décembre 2018

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 2018

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

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L06375/0001	
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l’eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2 ^{ème} semestre 2018.		
Auteurs	Kaplan H., Laurent A., Moreton B., Drouzy M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM.		
Résumé	Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Vale-NC a mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d’eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 2^{em} semestre 2018 (août 2018) effectuées dans la zone d’effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations réparties dans la zone d’influence du complexe minier et industriel de Vale-NC (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin). Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO₃+NO₂ et NH₄), de matières organiques (POD, NOP et POP) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, Cr^{VI}, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Ainsi, en fonction de la distance des émissaires et des conditions hydrodynamiques, les concentrations des SiO₄ et métaux latéritiques, se distribuent selon un gradient « côte-large » bien défini, particulièrement au niveau des eaux de surface; les concentrations étant plus élevées près des côtes (Baie du Port Boisé, de la Kwé et de Prony) et les plus faibles étant relevées dans le Canal de la Havannah. Pour la salinité, cette tendance s’inverse. La dessalure dans les eaux de surface souligne que les éléments chimiques sont transportés vers la mer par les réseaux d’eau douce se déversant dans les baies. Moins contrastés, les profils de turbidité et de fluorescence permettent de distinguer les stations sous influence océanique, des stations sous influence terrigène. Par ailleurs, l’augmentation de la fluorescence avec la profondeur dans la Baie de Prony et dans celle du Canal est corrélée à l’enrichissement des eaux de fond en NH₄, COP, POD, NOP et POP. D’autres paramètres tels que les concentrations des éléments majeurs, As, la chlorophylle <i>a</i> et NOD, sont relativement homogènes dans l’ensemble de la zone d’étude et ne montrent pas de gradient spatial. Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent pas de tendance particulière entre les différentes campagnes « saison fraîche ».		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	H. Kaplan	HK	22/11/2018
Vérificateur 1	JM Fernandez	JMFA	31/12/2018
Vérificateur 2	C. Pousse	CP	07/01/2019
Approbateur	H. Kaplan	HK	09/01/2019
EVOLUTION			
VERSION			DATE
V1.0	Version provisoire : En attente de réception des résultats d’As		10/01/2019
V2.0	Rapport final		28/02/2019
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
C. Casalis	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kaplan H., Laurent A., Moreton B., David M., Kumar-Roiné S., Fernandez JM. 2018. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2^{ème} semestre 2018. Contrat AEL/Vale-NC n° L06375/0001.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	8
A.	CONTEXTE	8
B.	OBJECTIFS.....	8
II.	METHODOLOGIE	10
A.	SITE D'ETUDE.....	10
B.	ECHANTILLONNAGE	11
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	12
III.	RESULTATS.....	14
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	14
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	20
C.	MATIERES EN SUSPENSION	21
D.	SELS NUTRITIFS	23
E.	MATIERES ORGANIQUES	28
F.	CHLOROPHYLLE A.....	32
G.	METAUX DISSOUS.....	34
IV.	SYNTHESE	41
A.	SELS NUTRITIFS.....	42
B.	METAUX DISSOUS.....	45
V.	CONCLUSION	51

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 2018 (août 2018) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

B. OBJECTIFS

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

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

Ce suivi consiste 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.

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.

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

II. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE

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

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

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

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



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

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 01 au 03 août 2018.

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

L'eau a été échantillonnée aux profondeurs suivantes :

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

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

- enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates+nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous et azote, phosphore et carbone organiques particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) ;
- prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr^{VI}), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

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

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

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

Les conditions météorologiques précédant la campagne semestrielle (du 25 au 31/07/2018) sont les suivantes :

- Vents variant ENE à SW d'une moyenne de $9,6 \pm 2,5$ nœuds ;
- Au total, 33mm de précipitation ont été relevés durant les 5 jours qui ont précédé la campagne.

Les conditions météorologiques pendant la campagne semestrielle (01 au 03 août 201) sont les suivantes :

- 01/08/18 : ENE 5-10 nœuds, temps ensoleillé et légèrement nuageux;
- 02/08/18 : ESE 5-10 nœuds, temps légèrement nuageux puis se dégage dans la matinée ;
- 03/08/18 : S à 5-10 nœuds, beau temps.

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

Les prélèvements ont été réalisés à différents moments de la marée. Le 1^{ier} jour, de la mi-marée montante au début de la marée descendante. Les prélèvements ont débuté par la station St14 au niveau de Port de Goro puis dans le Canal de la Havannah aux stations St05, St02, St09, St07 et St21. Le 2^{ème} jour, les prélèvements ont été effectués à l'île Ouen aux stations St13 et St20 puis dans la Baie de Prony aux stations St18, St15, St16 et St19 lors de la marée montante. Le 3^{ème} jour, les deux stations restantes des baies du Canal (St03 et St06) ont été échantillonnées à mi-marée montante (Figure 3).

Campagne d'août 2018

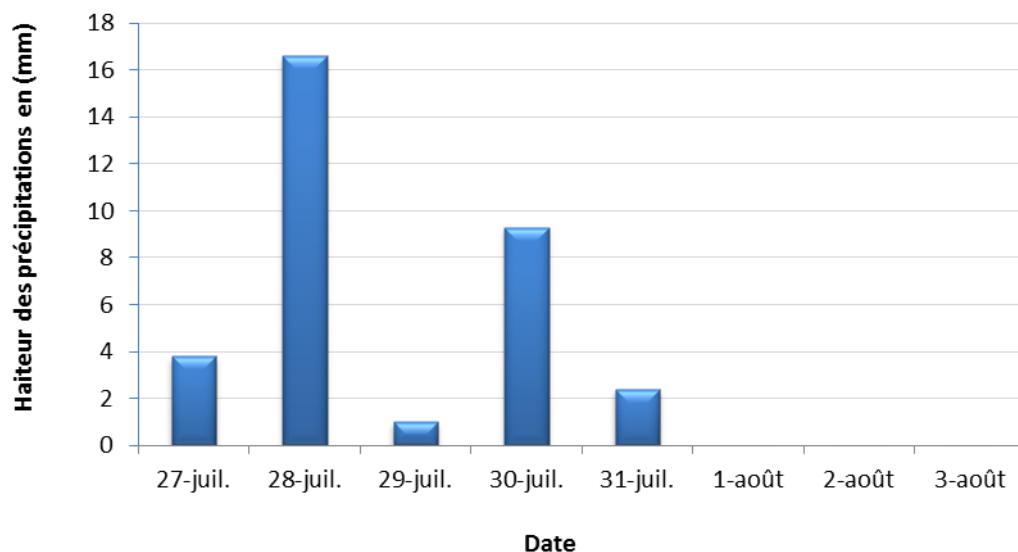


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées pendant les 5 jours précédant la campagne (27 au 31/07/2018) et pendant la campagne semestrielle (01 au 03/08/18). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "Goro usine".

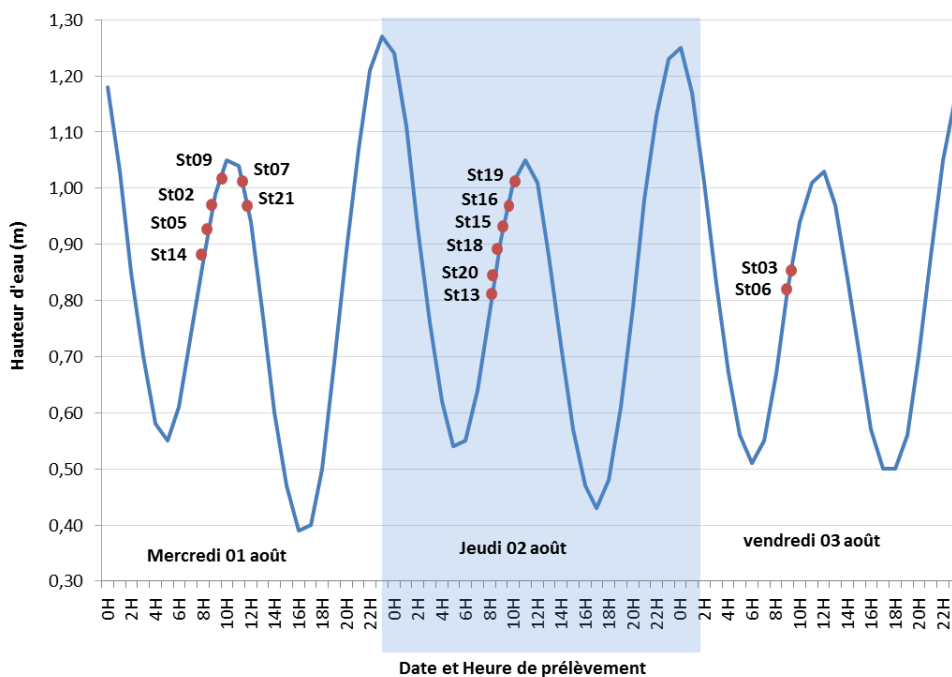


Figure 3: Chronologie des événements de la campagne semestrielle d'août 2018 reportée sur le marégramme du 01 au 03 août 2018.

III. RESULTATS

A. STRUCTURE DES MASSES D'EAU

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

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 2018.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Turbidité (NTU)	Fluorescence (mg/m3)
Canal de la Havannah	Minimum	21,89	35,44	0,00	0,000
	Maximum	22,55	36,02	0,54	0,268
	Moyenne	22,39	35,53	0,10	0,010
	Ecart-type	0,11	0,03	0,14	0,017
Baies du Canal	Minimum	20,63	34,11	0,37	0,000
	Maximum	22,49	35,52	1,69	0,137
	Moyenne	22,35	35,38	0,52	0,055
	Ecart-type	0,17	0,25	0,16	0,015
Baie du Prony	Minimum	21,00	35,13	0,19	0,000
	Maximum	22,27	36,10	2,13	0,283
	Moyenne	21,97	35,41	0,64	0,058
	Ecart-type	0,09	0,10	0,26	0,038
Ile Ouen	Minimum	21,88	35,50	0,46	0,023
	Maximum	22,10	35,54	2,87	0,068
	Moyenne	22,04	35,53	0,77	0,044
	Ecart-type	0,08	0,01	0,43	0,010

1. Température

Globalement, la température est d'environ $22,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ et varie très peu. En 2017, la température moyenne était légèrement plus chaude avec $22,7 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Les deux zones d'étude dont les températures sont les plus chaudes, sont une nouvelle fois le Canal de la Havannah et les baies du Canal, (Tableau 2) comme l'année passée à la même période.

Dans le Canal de la Havannah, les profils de température sont très homogènes. Une couche d'eau plus chaude est toutefois visible en sub-surface des stations St09 et St21 dans les 2 premiers mètres.

Au niveau des baies du Canal, les températures varient de $0,17^{\circ}\text{C}$. Ces variations sont dues à la présence d'une thermocline de 5 m 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, le premier mètre des eaux de surface de la station St15 se caractérise par une température plus fraîche aux stations St16, St18 et St19. Cette couche est séparée de la veine d'eau chaude sous-jacente d'environ 5 mètres d'épaisseur par une thermocline très bien individualisée ; en dessous de 10 m de profondeur la température pour toutes les stations est du même ordre de grandeur. Toutefois, quelques variations de température sont visibles dans les 15 premiers mètres de profondeur avant d'être stable.

Dans la zone de l'île Ouen, les températures relevées sont très stables sur toute la colonne d'eau. Elles sont légèrement plus fraîches à la station St20 par rapport à la station St13 (Figure 4).

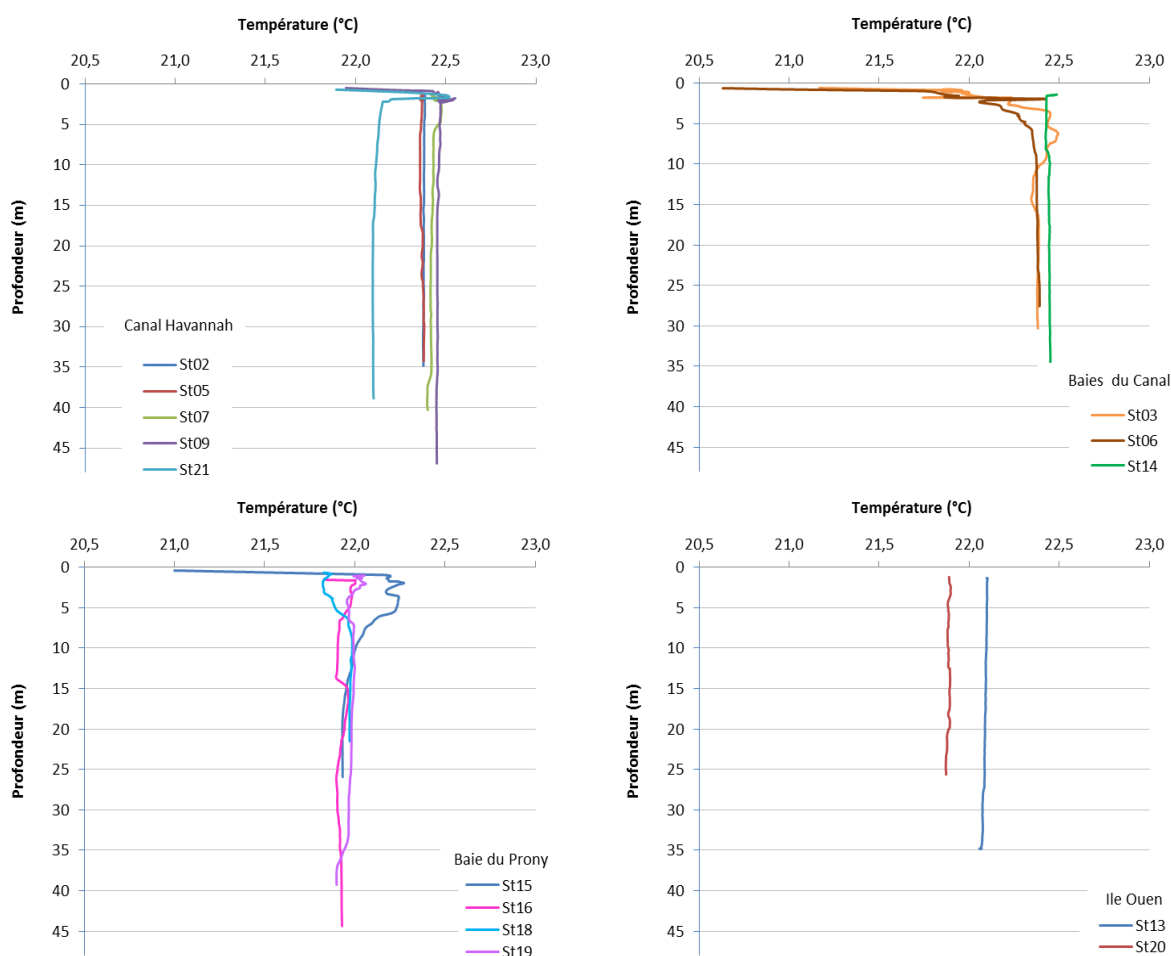


Figure 4: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

2. Salinité

La mesure de ce paramètre montre une différence de salinité entre les zones d'étude (tableau 2).

En effet, dans le **Canal de la Havannah et l'île Ouen** les salinités sont identiques avec des écarts relatifs respectifs de 0,01 et 0,03‰. A contrario, **les stations des baies du Canal** et celle de la **baie du Prony** présentent une salinité moyenne plus variable avec des écarts relatifs respectifs de 0,26‰ et 0,1‰.

Les profils de salinité **dans le Canal de la Havannah** sont homogènes pour l'ensemble des stations à l'exception d'une fine couche de surface légèrement plus concentrée en sels à la station St09 marquant l'effet du courant d'eau de mer océanique entrant encore dans le lagon jusqu'à l'étalement de marée haute.

Au niveau des Baies du Canal, une couche d'eau relativement dessalée est visible dans les 3 premiers mètres de la surface provenant de l'arrivée d'eau douce des creeks bordant la baie de port boisé, la baie Kwé, et celle de port de Goro. Au-delà des 3 mètres de profondeur, la salinité se stabilise et les valeurs sont identiques à celle de la station St14 sur toute la colonne d'eau.

En Baie du Prony, les variations de salinité marquent les 14 premiers mètres de la colonne d'eau ; au-delà, les valeurs sont homogènes. L'influence de l'arrivée d'eau douce des creeks est visible aux stations St15, St16 et St18. En revanche, elle est moins marquée à la station St19 proche du récif frangeant.

Dans la zone de l'île Ouen, la salinité relevée aux deux stations respectives est comparable et très constante sur toute la colonne d'eau. (Figure 5).

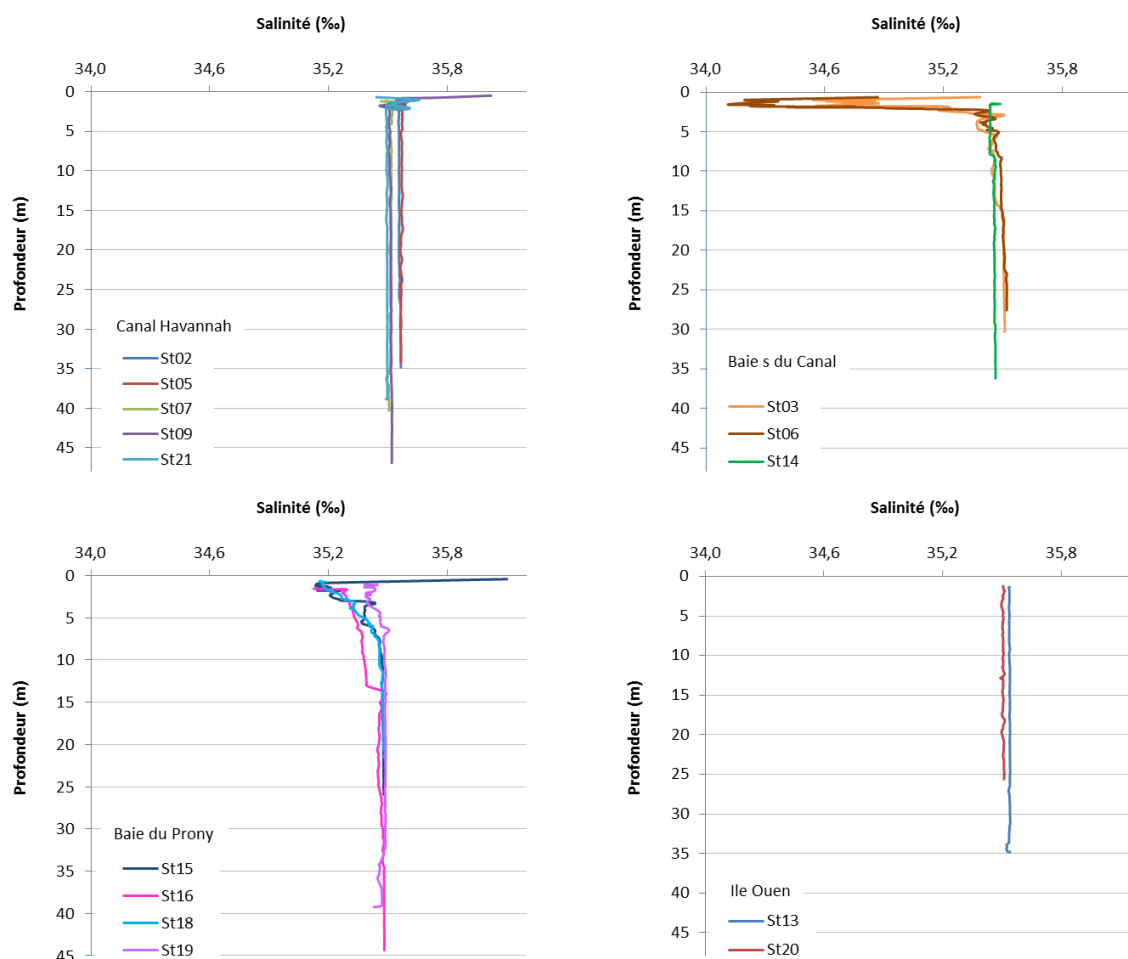


Figure 5: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

3. Fluorescence

Globalement, les profils de fluorescence montrent quelques différences essentiellement en surface selon les zones étudiées. Néanmoins, les valeurs restent faibles avec une moyenne globale de $0,033 \pm 0,032 \text{ mg/m}^3$ dont la représentation est très bruitée due à la très grande sensibilité du capteur.

Les variations de fluorescence sont les plus importantes en surface aux stations St02 et St05 du **Canal Havannah** et à la station St15 de la **Baie du Prony**. Un pic de fluorescence est visible à 12,5m de profondeur de la station St15, probablement en lien avec les apports du Creek de Rade Nord pendant la semaine qui a précédé la campagne de prélèvements.

Les autres profils sont globalement identiques. (Figure 6).

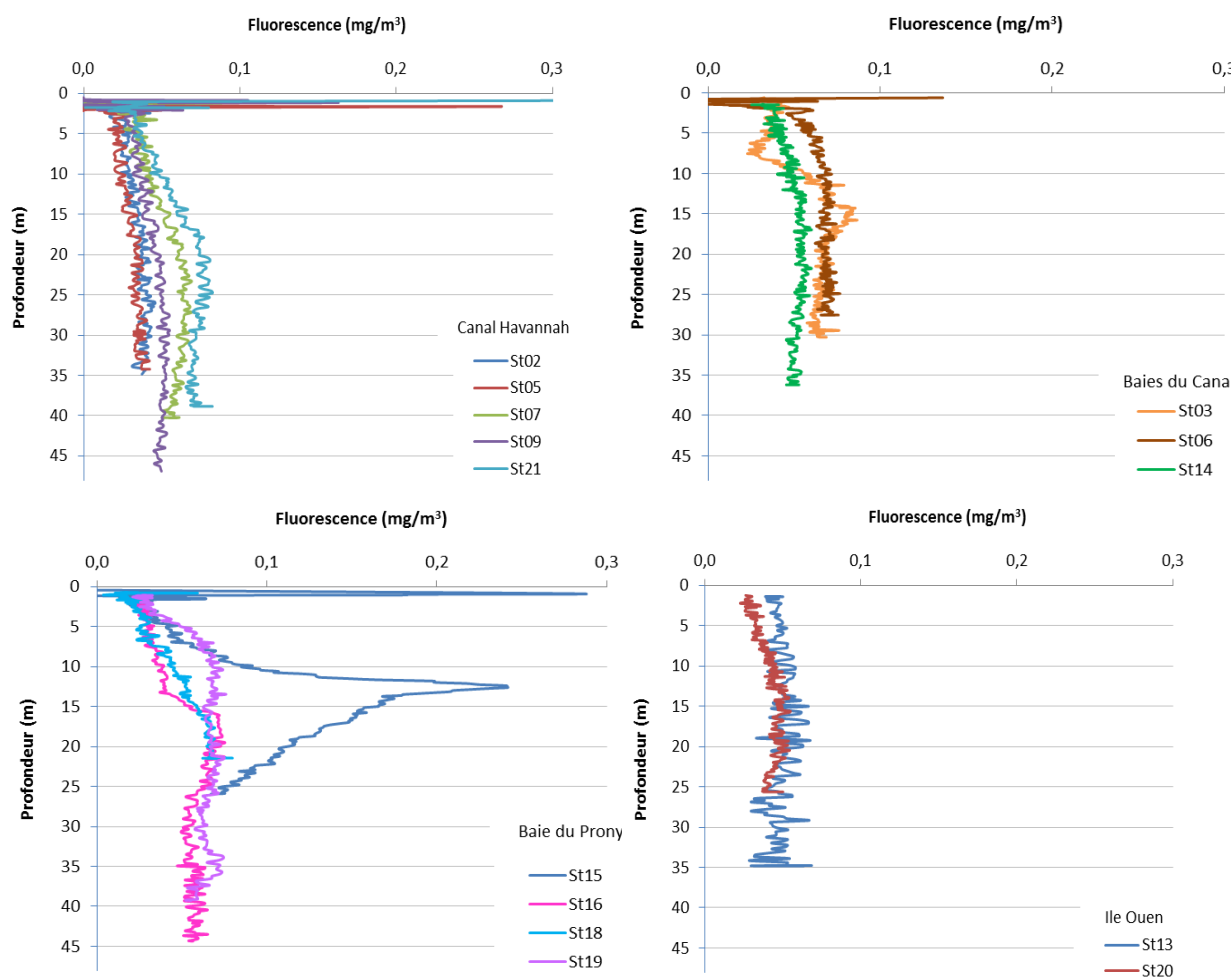


Figure 6: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

4. Turbidité

Les valeurs de turbidité sont globalement plus stables le long de la colonne d'eau dans le Canal Havannah et dans les Baies du Canal à l'exception faite de quelques valeurs hautes en surface aux stations St09, St21 et St06. En revanche, dans la Baie du Prony, les valeurs mesurées varient selon la profondeur et montrent le développement de différentes couches turbides aux stations St16, St19 et St15. Cette dernière est aussi vraisemblablement à l'origine de l'important néphéloïde de 15 m d'épaisseur localisé entre 26 et 40 m de profondeur environ à la station St16.

Dans le Canal de la Havannah, les profils de turbidité de l'ensemble des stations sont regroupés et relativement stables à l'exception de la station St21 dont l'intensité est plus élevée. A cette station comme à la station St09 un pic de turbidité est visible en surface.

Au niveau de la Baie du Prony, les profils de turbidité sont très variables d'une station à l'autre. Ainsi, plusieurs couches turbides apparaissent à la station St15 : une couche fine est visible en surface puis aux environs de 13 m et enfin au-dessus du plancher sédimentaire. A mi-profondeur, la turbidité mesurée semble être en correspondance avec le pic de fluorescence qui probablement est en lien avec la pluviométrie évoquée. A la station St16, la couche turbide, plus épaisse, se forme entre 25 et 40 m de profondeur. La formation de cette dernière est aussi vraisemblablement en rapport avec les précipitations atmosphériques enregistrées. En revanche, à la station St19 comme à la station St18, la turbidité augmente dans les derniers mètres en profondeur de la colonne d'eau.

A l'île Ouen, le profil de turbidité pour la station St13 est relativement homogène le long de la colonne d'eau. Il augmente régulièrement jusqu'à former un néphéloïde benthique qui occupe les 5 derniers mètres de la colonne d'eau. Inversement, à la station St20, un néphéloïde de surface occupe les 3 à 5 premiers mètres de la colonne d'eau, en dessous la turbidité reste faible jusqu'au fond (Figure 7).

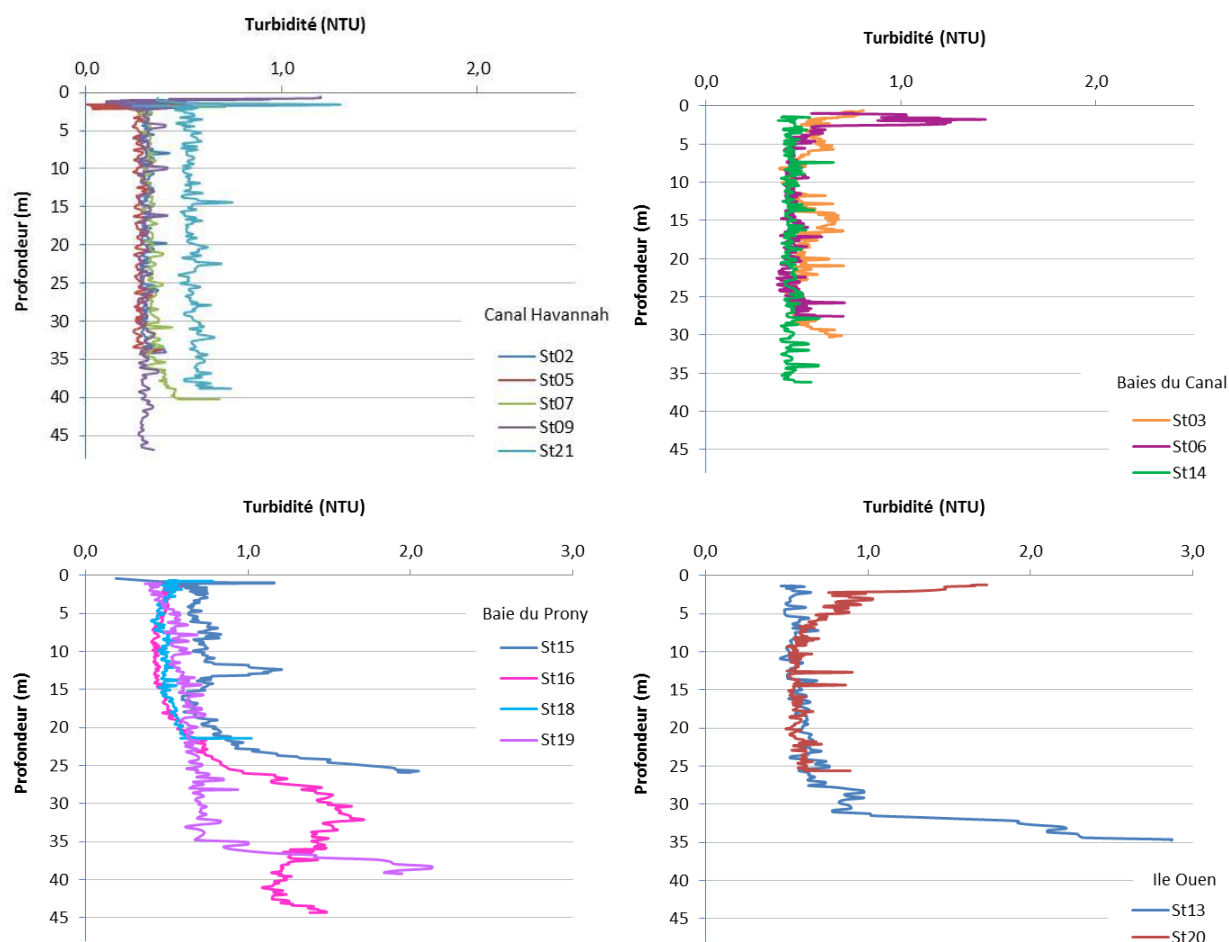


Figure 7: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2017.

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques révèlent l'impact de l'effet saisonnier et des conditions météorologiques. En effet, cette année, aucune précipitation quantifiable n'a été relevée durant les trois jours de la campagne, rendant moins visible l'influence de l'apport d'eau douce provenant des creeks de la Baie de Prony. Des apports sont malgré tout décelables dans de fines couches d'eaux de surface (-5 m), au niveau des baies où les valeurs de salinité sont plus faibles en corrélation avec des températures plus fraîches notamment aux stations St03, St06, St15, St16 et St18.

Par ailleurs, il est fréquent d'observer dans les baies de fortes turbidités en profondeur (néphéloïdes benthiques). Lors de cette campagne, ces couches turbides sont notamment présentes en profondeur dans la baie du Prony et à proximité de l'île Ouen (St13). De plus, un phénomène d'halocline est visible en surface aux stations St06 et St15, montrant une stratification entre les eaux douces superficielles moins denses et l'eau de mer plus dense. En revanche, d'autres turbidités notables sont observées en surface aux stations St02, St09 et St20 n'ayant pas de relation avec la salinité et la température mesurées.

De manière générale, la fluorescence est faible et augmente légèrement avec la profondeur. Quelques valeurs fortes sont relevées en surface dans le Canal Havannah et, notamment à la station St15 ainsi qu'à mi-profondeur à cette même station.

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

Enfin, cette structuration des masses d'eau aura une incidence sur la mesure des sels nutritifs qui conditionnent la productivité primaire de ces eaux et dont il faut tenir compte.

B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

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

Dans l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations en éléments majeurs sont très homogènes et restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Tableau 3). (Kaplan et al, 2017).

Le pH moyen est également particulièrement homogène dans l'ensemble de la zone d'étude ($8,35 \pm 0,05$) (Tableau 3). Malgré les apports ponctuels en eaux douces, le pH moyen mesuré lors de cette campagne est légèrement plus élevé que celui obtenu lors de la campagne précédente d'août 2017 ($8,20 \pm 0,02$).

Tableau 3 : Statistique 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 2018.

Zone d'étude	Statistique	pH	Eléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,35	433	502	1318	11547	18769	2715
	Maximum	8,40	459	532	1376	12100	21550	2935
	Moyenne	8,39	444	514	1345	11769	19855	2820
	Ecart-type	0,02	8	9	18	168	801	70
Baies du Canal	Minimum	8,30	435	498	1303	11475	18769	2815
	Maximum	8,40	457	534	1383	12052	20855	2985
	Moyenne	8,36	444	515	1344	11736	19619	2899
	Ecart-type	0,05	8	12	25	208	760	59
Baie du Prony	Minimum	8,30	433	500	1322	11517	18769	2805
	Maximum	8,30	461	541	1406	12264	20855	3090
	Moyenne	8,30	443	514	1352	11758	19638	2929
	Ecart-type	0,00	7	10	21	190	602	78
Ile Ouen	Minimum	8,30	431	498	1316	11516	18769	2535
	Maximum	8,30	451	525	1376	11978	20160	3090
	Moyenne	8,30	441	510	1344	11716	19349	2793
	Ecart-type	0,00	7	9	20	155	523	196

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 particulaire élevée peut, en effet, modifier l'importance de la couche euphotique. En milieux côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,5 à 5,0 mg/L (Aminot et Kérouel, 2004).

Les concentrations de matière en suspension (MES) déterminées lors de la campagne d'août 2018 sont représentées dans la Figure 8, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

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

La concentration moyenne la plus élevée a été obtenue dans la zone du **Canal de la Havannah** ($0,567 \pm 0,557$ mg/L) avec une importante variation entre les valeurs. Dans cette zone, les concentrations les plus élevées ont été mesurées en profondeur des stations St07 et St09 avec respectivement 2,386 mg/L et 1,251 mg/L de MES.

Les valeurs moyennes mesurées dans la baie de Prony et dans les baies du Canal sont proches avec respectivement $0,465 \pm 0,292$ mg/L et $0,410 \pm 0,118$ mg/L. Une concentration plus importante est mesurée en profondeur de la station St19 majorant la concentration moyenne calculée en **Baie de Prony**. Un gradient vertical est visible dans cette zone avec des concentrations plus importantes en profondeur. En revanche, dans les **baies du Canal**, les concentrations en MES sont variables selon les niveaux de profondeur. Il n'y a pas de gradient marqué.

Au niveau de **l'île Ouen**, les valeurs moyennes de MES sont légèrement plus faibles et varient peu avec $0,387$ mg/L $\pm$ $0,067$ mg/L. Néanmoins, un gradient vertical est visible avec des concentrations plus importantes en profondeur de la colonne d'eau.

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, les concentrations en MES les plus importantes ont été mesurées dans le canal de la Havannah à *contrario* des campagnes précédentes où un gradient côte-large était visible. Ces valeurs, en profondeur, sont inhabituelles pour les stations St07 et St09 situées à proximité du diffuseur.

Par ailleurs, sur l'ensemble des stations, les MES sont présentes sous forme de gradient vertical avec des concentrations plus importantes en profondeur à l'exception de des stations St 02, St14 et St06.

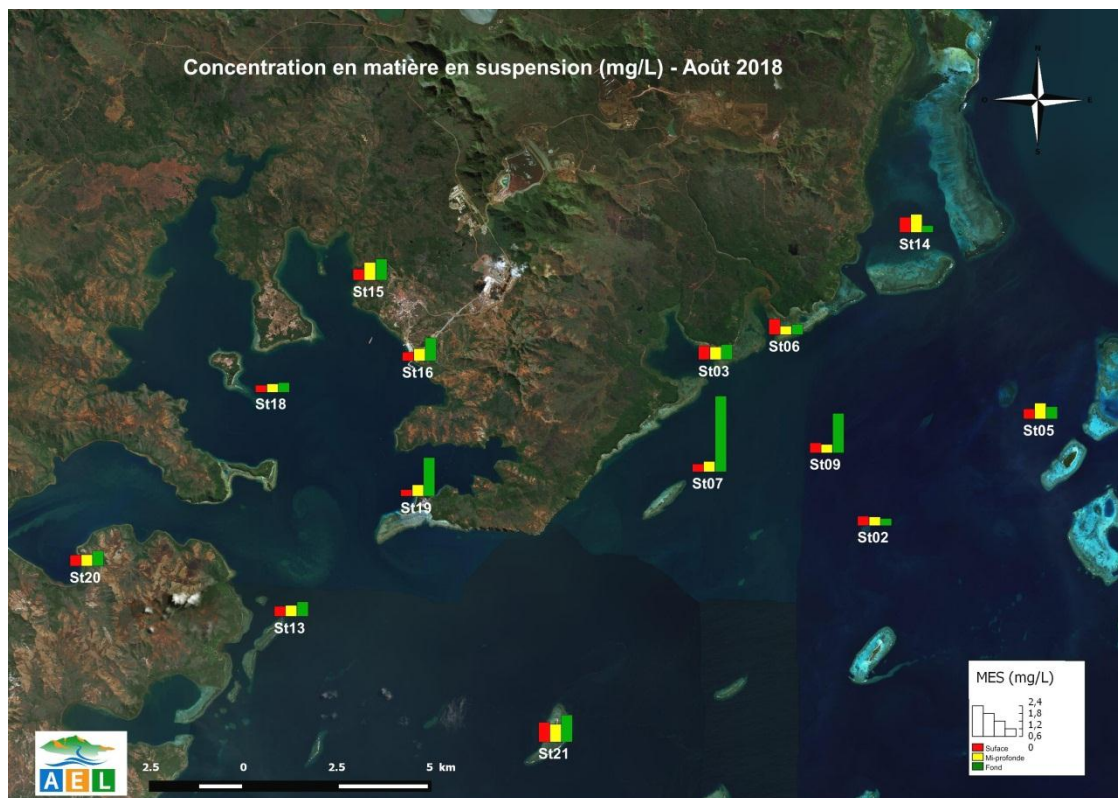


Figure 8: Distribution des concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

Tableau 4: Statistique des concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,225
	Maximum	2,386
	Moyenne	0,567
	Ecart-type	0,557
Baies du Canal	Minimum	0,215
	Maximum	0,574
	Moyenne	0,410
	Ecart-type	0,118
Baie du Prony	Minimum	0,211
	Maximum	1,222
	Moyenne	0,465
	Ecart-type	0,292
Ile Ouen	Minimum	0,318
	Maximum	0,484
	Moyenne	0,387
	Ecart-type	0,067

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 évolués. Ces nouvelles mentions sont reportées en Annexe 1.

Les concentrations des sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2018 sont regroupées dans les Figure 10, Figure 12, 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).

Lors de cette campagne, les concentrations moyennes en $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ sont plus importantes au niveau du Canal de la Havannah et des baies du Canal avec respectivement $0,240 \pm 0,265 \mu\text{mol/L}$ et $0,252 \pm 0,259 \mu\text{mol/L}$. Dans le **Canal de la Havannah** la concentration moyenne est majorée par la présence d'une concentration haute en profondeur à la station St05.

Au niveau des **baies du Canal**, aucun gradient marqué n'est observé. Les nitrates et nitrites sont mesurables aux trois niveaux de profondeur uniquement à la station St06.

Les concentrations moyennes les plus faibles ont été mesurées à l'**île Ouen** et dans la **Baie du Prony** avec respectivement $0,021 \pm 0,034 \mu\text{mol/L}$ et $0,074 \pm 0,081 \mu\text{mol/L}$ (Tableau 5). Aucun gradient n'apparaît.

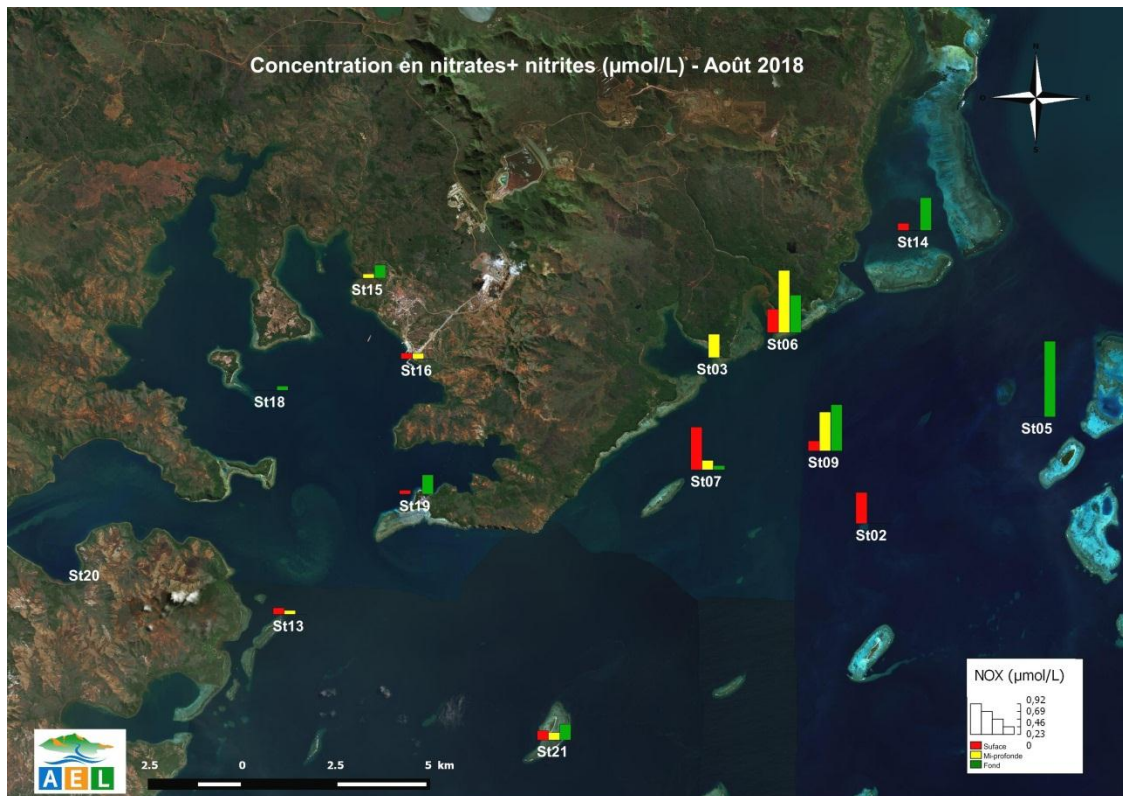


Figure 9: Distribution des concentrations en nitrates et nitrites (NO_3+NO_2) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

2. Ammonium

Rappel : Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréments animaux et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles par litre.

Dans le **Canal de la Havannah** et à l'Est de **l'île Ouen**, les concentrations moyennes d'ammonium (NH_4) sont proches, deux concentrations élevées à mi-profondeur aux stations St02 et St13 majorent les moyennes.

Cependant, dans les baies qui bordent le Canal, les valeurs sont bien plus faibles. Des concentrations comparables sont également mesurées le long de la bordure sud du Canal, comme aux stations St05 et St21.

Dans la **Baie du Prony**, un gradient vertical est visible aux stations St15, St16, et St19 avec des concentrations plus importantes en profondeur. (Tableau 5) (Figure 10), probablement en lien avec la dégradation des apports détritiques terrigènes par les pluies enregistrées la semaine précédant la campagne.

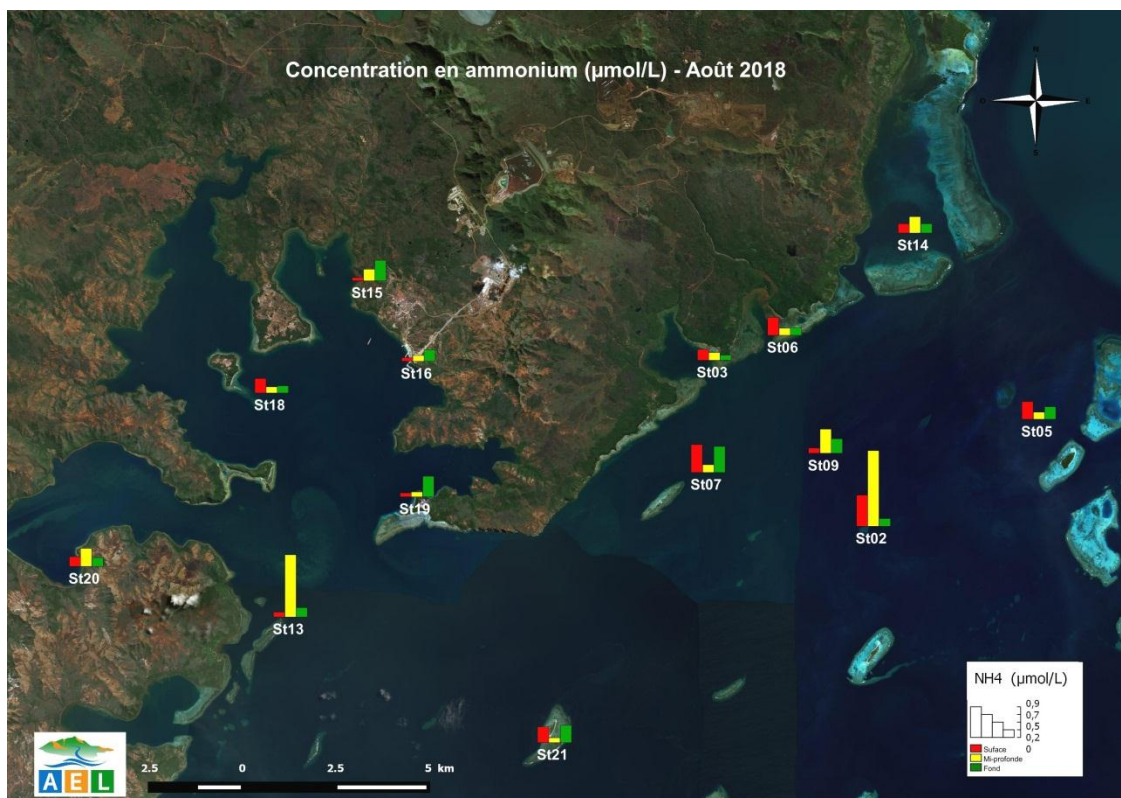


Figure 10: Distribution des concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

3. Phosphates

Rappel: Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{2-}). Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique (la zone euphotique correspond à la hauteur d'eau superficielle qui reçoit suffisamment de lumière pour que la production végétale y excède les pertes). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène et/ou anthropique.

Les phosphates sont détectés uniquement dans la baie du Prony et dans les baies du Canal. (Figure 11)

Dans la **Baie du Prony**, les phosphates sont concentrés à mi-profondeur et en profondeur aux stations St15, St16 et St19.

Dans les **baies du Canal** ils sont présents à mi-profondeur à la station St03 et en profondeur à la station St06. (Figure 11)

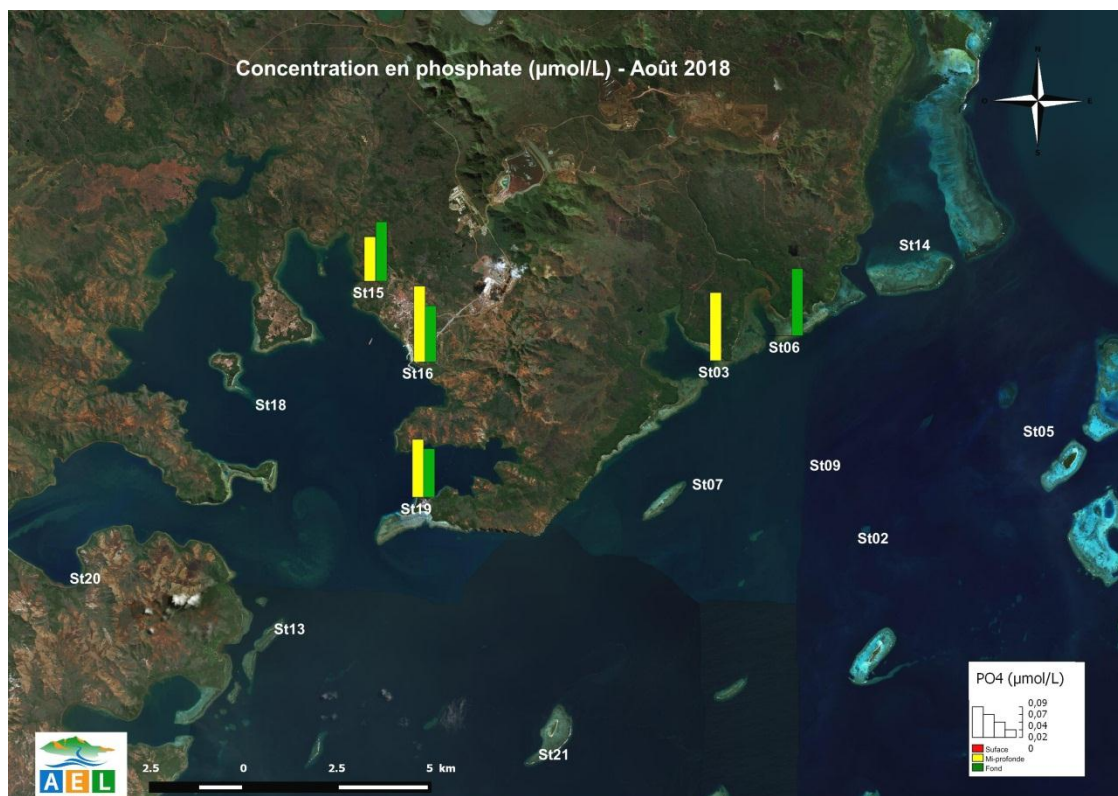


Figure 11 : Distribution des concentrations en Phosphates (PO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

4. Silicates

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

La distribution spatiale et verticale est caractéristique des SiO_4 par la présence d'un gradient « côte-large » et « surface-fond » décroissante. (Tableau 5 et Figure 12).

Les concentrations moyennes en SiO_4 sont plus élevées à proximité de la côte et sont concentrées en profondeur de la colonne d'eau comme en **Baie du Prony** ($2,971 \pm 0,701 \mu\text{mol/L}$). Dans les **baies du Canal**, la concentration moyenne en SiO_4 est majorée par une concentration exceptionnelle en surface de la station St03 de $10,154 \mu\text{mol/L}$ générant une moyenne de $2,449 \pm 2,896 \mu\text{mol/L}$. (Annexe 4)

A contrario, la concentration moyenne la plus faible en SiO_4 est celle du **Canal de la Havannah** avec $1,353 \pm 0,195 \mu\text{mol/L}$ où aucun gradient vertical n'est mis en évidence. Au niveau de **l'île Ouen**, les SiO_4 sont concentrés en profondeur.

Tableau 5 : Statistique des concentrations en sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	0,055	<0,050	1,153
	Maximum	0,918	0,866	<0,050	1,701
	Moyenne	0,240	0,215	-	1,353
	Ecart-type	0,265	0,200	-	0,195
Baies du Canal	Minimum	<0,050	0,062	<0,050	1,012
	Maximum	0,754	0,208	0,080	10,154
	Moyenne	0,252	0,118	0,018	2,449
	Ecart-type	0,259	0,049	0,035	2,896
Baie du Prony	Minimum	<0,050	0,038	<0,050	2,059
	Maximum	0,236	0,238	0,089	4,226
	Moyenne	0,074	0,109	0,033	2,971
	Ecart-type	0,081	0,072	0,036	0,701
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,058	<0,050	1,510
	Maximum	0,078	0,712	<0,050	3,995
	Moyenne	0,021	0,216	-	2,350
	Ecart-type	0,034	0,248	-	0,889

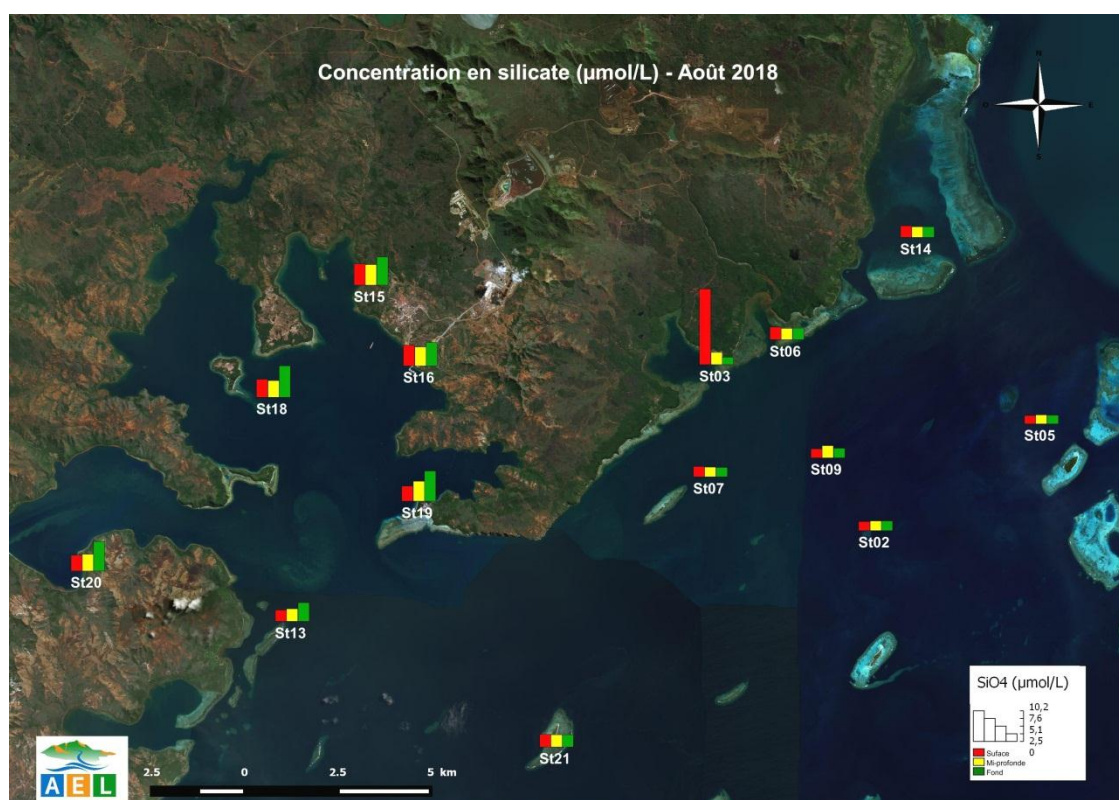


Figure 12: Distribution des concentrations en silicates (SiO₄) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

Ce qu'il faut retenir :

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

Les concentrations maximales en NO_3+NO_2 et NH_4 sont essentiellement centrées au niveau du Canal Havannah et de ses baies. Cette distribution reflète l'influence des apports de matières organiques d'origines océaniques et ses cycles de production/dégradation concomitant.

En revanche, les PO_4 et SiO_4 ont une distribution côte-large décroissante révélant ainsi les apports terrigènes dans les baies de Prony essentiellement mais également observables à Port Boisé et à la Baie Kwé.

Depuis le début des campagnes « saisons fraîches », la mesure des concentrations de NO_3+NO_2 , NH_4 , PO_4 et SiO_4 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 2018 sont regroupées dans les Figure 13, Figure 14, Figure 15, Figure 16 et le Tableau 6, Tableau 5, ainsi que l'Annexe 5.

1. Azote et phosphore organiques dissous

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

La concentration moyenne d'azote organique dissous (NOD) sur l'ensemble de la zone est de $6,938 \pm 1,931$ $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations par zone montrent peu de variations à l'exception de celles mesurées aux stations St14 (M : 12,762 $\mu\text{mol/L}$ et S : 11,593 $\mu\text{mol/L}$) et St05 (S : 10,782 $\mu\text{mol/L}$) (Figure 13 et Tableau 6).

Globalement, le phosphore organique dissous (POD) est présent sur l'ensemble de la zone d'étude. Les concentrations restent faibles mais elles sont toutefois légèrement plus hautes dans le Canal Havannah. En revanche, les concentrations sont plus variables dans les baies du Canal voir même absentes à mi-profondeur de la station St03 et en profondeur de la station St06. (Figure 14).

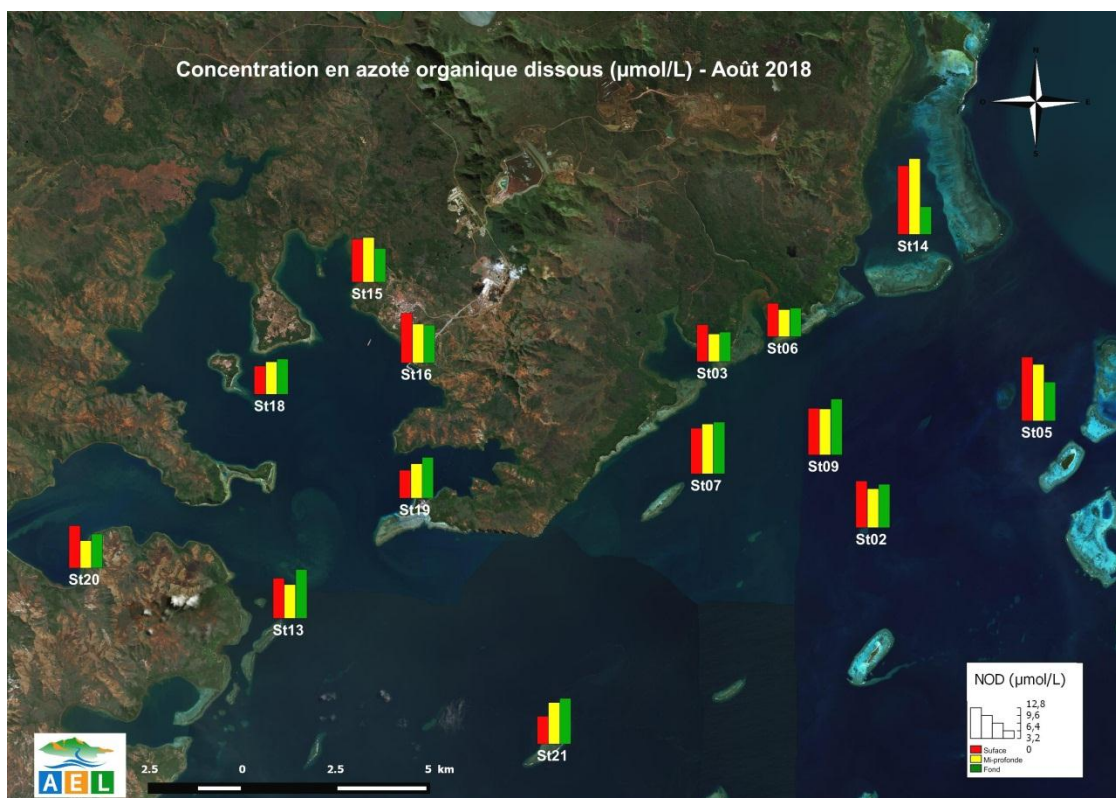


Figure 13 : Distribution des concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

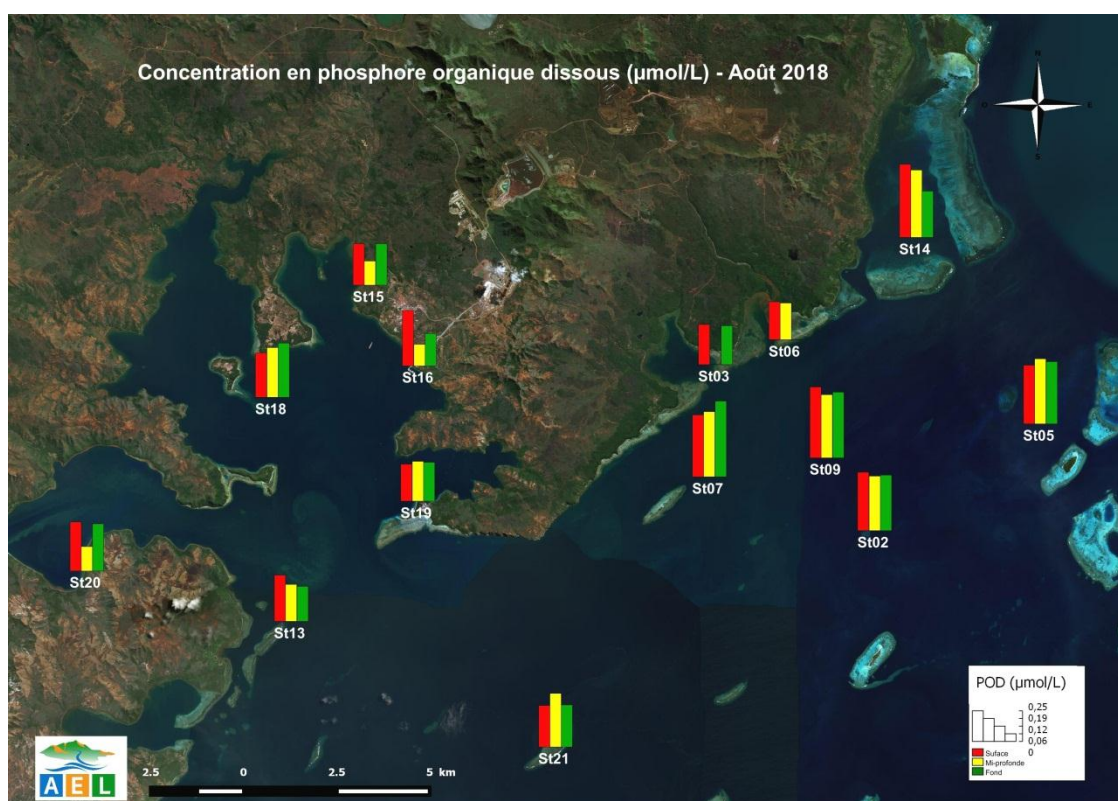


Figure 14 : Distribution des concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

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

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

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

Remarque : Un problème technique survenu lors de l'analyse du carbone organique particulaire (COP) a généré un dysfonctionnement dans la production des résultats d'analyse. De ce fait, ils ne sont pas considérés dans ce rapport.

Pour NOP et POP, la distribution des concentrations moyennes ne montre pas de gradient « côte-large » comme à l'accoutumé. Celui-ci, ne s'exprime pas car des concentrations supérieures aux moyennes globales ont été mesurées au niveau de l'île Ouen (POP, St13-F : 0,114 $\mu\text{mol/L}$) et (NOP, St13-S : 0,889 $\mu\text{mol/L}$; M : 0,878 $\mu\text{mol/L}$ et F : 0,808 $\mu\text{mol/L}$).

La concentration moyenne la plus importante en POP est celle mesurée au niveau des baies du Canal et celle des NOP se situe au niveau de l'île Ouen.

Pour NOP, la concentration moyenne la plus faible est celle mesurée dans le Canal de la Havannah avec $0,559 \pm 0,134 \mu\text{mol/L}$ et en Baie du Prony pour POP avec $0,055 \pm 0,008 \mu\text{mol/L}$ (Tableau 6).

Pour les deux paramètres (NOP et POP), des concentrations importantes sont relevées à mi-profondeur de la station St15 et en profondeur de la station St06 (Figure 15, Figure 16 et Annexe 5).

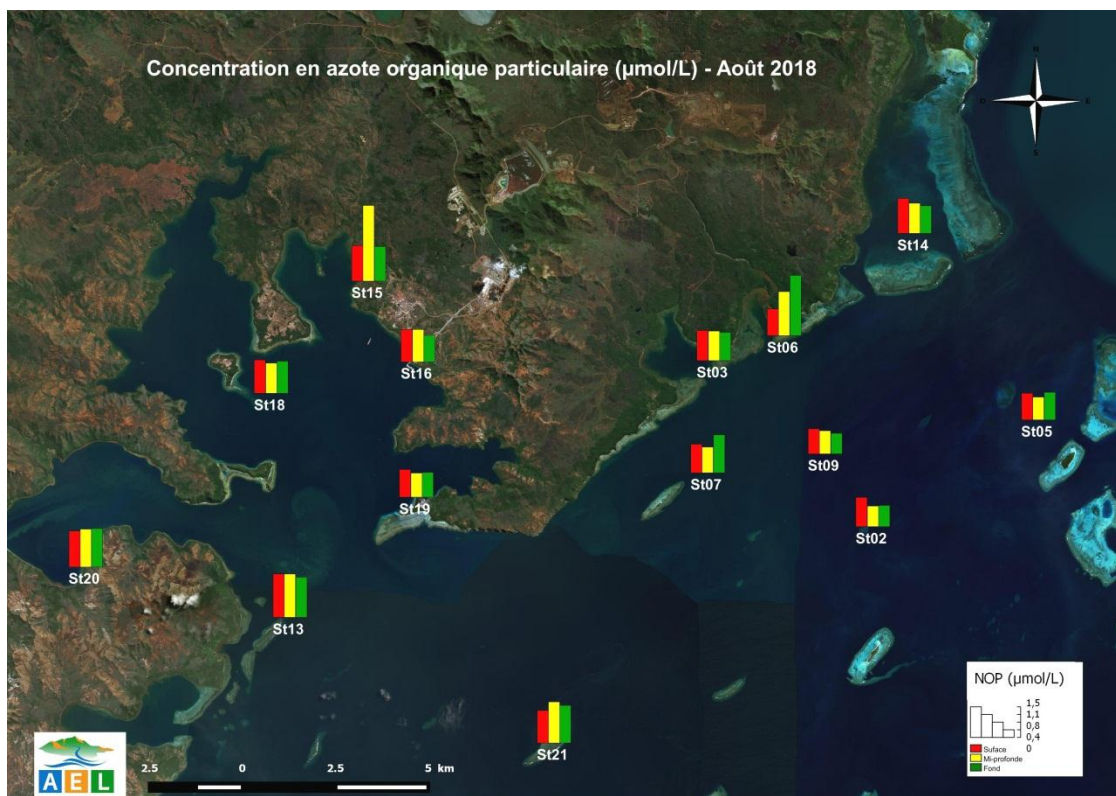


Figure 15 : Distribution des concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

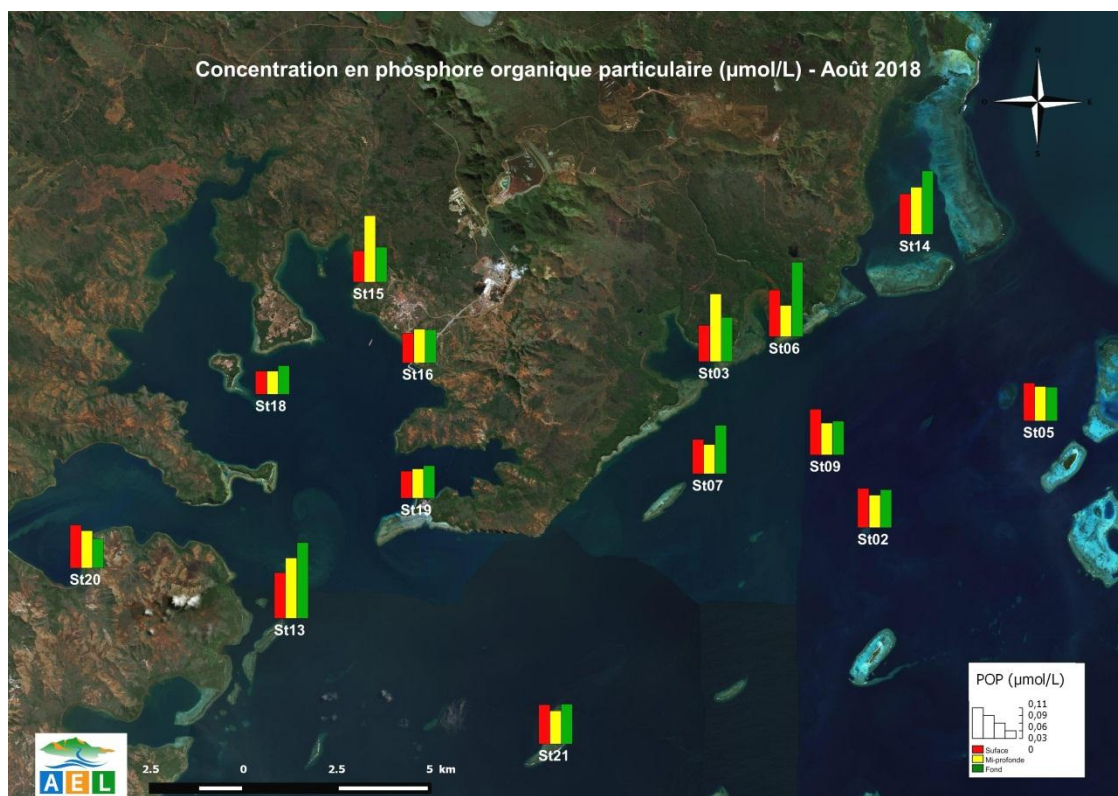


Figure 16 : Distribution des concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

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 2018.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	4,649	0,421	0,136	0,044	NE
	Maximum	10,782	0,832	0,249	0,073	NE
	Moyenne	7,654	0,559	0,192	0,055	-
	Ecart-type	1,614	0,134	0,033	0,008	-
Baie Canal	Minimum	4,536	0,538	<0,050	0,047	NE
	Maximum	12,762	1,223	0,241	0,112	NE
	Moyenne	6,655	0,701	0,121	0,076	-
	Ecart-type	3,191	0,223	0,088	0,023	-
Baie du Prony	Minimum	4,722	0,493	0,071	0,035	NE
	Maximum	8,410	1,526	0,183	0,100	NE
	Moyenne	6,290	0,692	0,132	0,049	-
	Ecart-type	1,109	0,274	0,035	0,017	-
Ile Ouen	Minimum	4,610	0,730	0,081	0,044	NE
	Maximum	8,241	0,879	0,162	0,114	NE
	Moyenne	6,364	0,808	0,131	0,073	-
	Ecart-type	1,281	0,060	0,031	0,025	-

NE : Non Exploitable, les résultats fournis suite au problème analytique sont non conformes et ne peuvent pas être exploités.

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 2018 sont représentées dans la Figure 17 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5.

Les concentrations obtenues sont globalement homogènes sur la zone d'étude à l'exception de celles mesurées dans la **Baie du Prony** où elles sont plus élevées ($0,627 \pm 0,514$ µg/L) que la moyenne globale ($0,536 \pm 0,291$ µg/L). Cette augmentation est en particulier due à la présence de fortes concentrations mesurées à mi-profondeur ($2,026$ µg/L) et en profondeur ($1,067$ µg/L) de la station St15. Dans cette zone, la distribution en Chlorophylle *a* est assez hétérogène au regard de l'écart à la moyenne. La contribution en débris végétaux apportés par le Creek de Rade Nord par temps de pluie est probablement une des causes.

Les concentrations moyennes les plus faibles se retrouvent dans les **baies du Canal** ($0,447 \pm 0,115$ µg/L) (Tableau 5).

Dans les zones du **Canal de la Havannah** et de **l'île Ouen** les concentrations moyennes sont proches avec respectivement $0,519 \pm 0,148$ µg/L et $0,498 \pm 0,043$ µg/L. Aucun gradient significatif n'est observé (Figure 17).

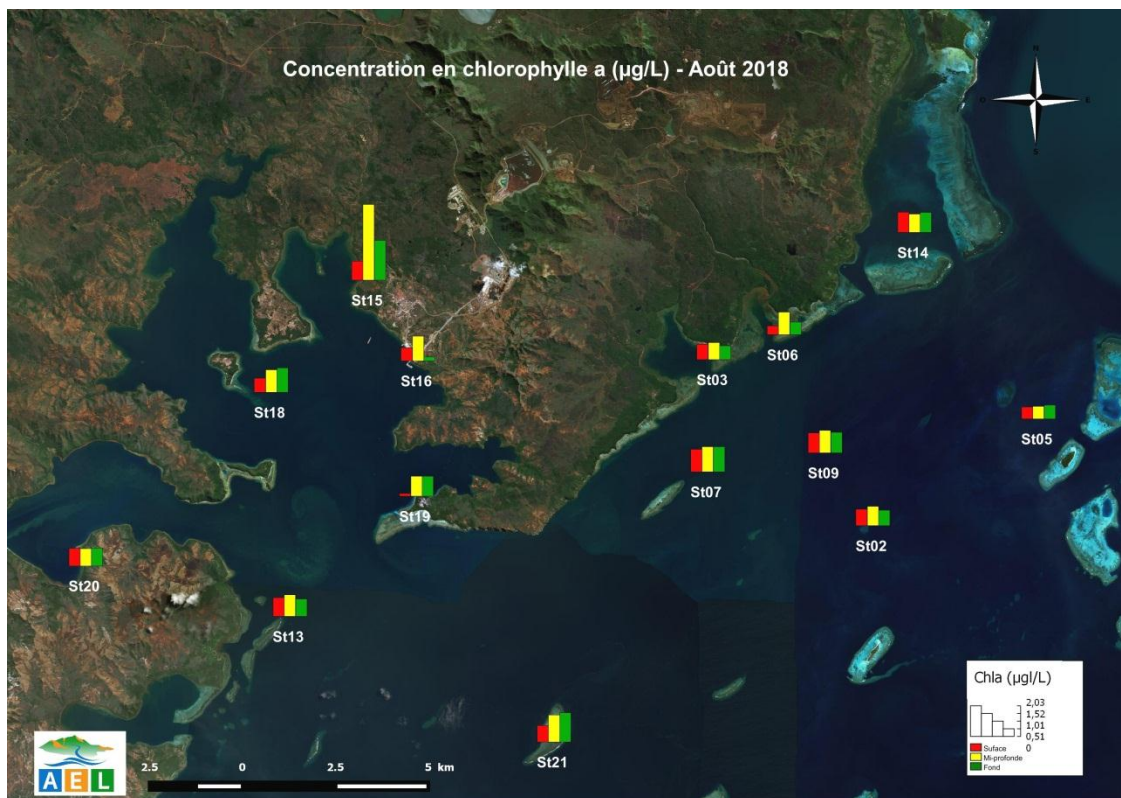


Figure 17 : Distribution des concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

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 2018.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,32
	Maximum	0,78
	Moyenne	0,52
	Ecart-type	0,15
Baie Canal	Minimum	0,24
	Maximum	0,61
	Moyenne	0,45
	Ecart-type	0,12
Baie du Prony	Minimum	0,07
	Maximum	2,03
	Moyenne	0,63
	Ecart-type	0,51
Ile Ouen	Minimum	0,47
	Maximum	0,58
	Moyenne	0,50
	Ecart-type	0,04

Ce qu'il faut retenir :

Aucune valeur fiable n'a pu être transmise pour les COP en raison d'un problème technique survenu lors de l'analyse.

Les POD et NOD sont globalement présents dans toute la zone d'étude à de faibles concentrations. Leur répartition « côte-large » habituelle n'est pas franchement marquée lors de cette campagne. En effet, les concentrations mesurées au niveau de l'île Ouen sont légèrement plus élevées que la moyenne globale mesurée sur la zone d'étude.

Les concentrations de NOD restent du même ordre de grandeur que lors de la campagne 2017 ($6,151 \pm 2,308 \mu\text{mol/L}$). Aucun gradient marqué ne se dégage pour les POD.

La Chlorophylle *a* se mesure globalement dans toute la zone d'étude et plus notablement dans la Baie du Prony. Dans cette baie, à la station St15, on constate que la concentration en Chlorophylle *a* est particulièrement élevée à mi-profondeur en corrélation avec le profil de fluorescence.

G. METAUX DISSOUS

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2018 sont regroupées dans le Tableau 8, Tableau 9, l'Annexe 6, la Figure 18, Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23 et Figure 24.

Les concentrations de **Cd** et **Zn** sont toutes en dessous de la LQ fixée (respectivement : $<0,025 \mu\text{g/L}$ et $<1,000 \mu\text{g/L}$). Le Cd est un élément présent qu'à l'état de traces dans les roches latéritiques du sud calédonien ([Atlas de la Nouvelle-Calédonie, 1981](#)), il n'est pas toujours détectable.

Les concentrations mesurées en **As** sont relativement homogènes dans la zone d'étude avec une moyenne de $1,7 \pm 0,4 \mu\text{g/L}$ et montrent peu de différence selon le niveau de profondeur. (Tableau 8 et Figure 18).

Seulement quelques concentrations en Co, Cu et Pb ont été quantifiables dans toute la zone d'étude. Ainsi, le **Co** n'est mesurable uniquement qu'aux stations de la Baie du Prony et à la station St20 de l'île Ouen où il est principalement présent en surface. Le **Cu** présente de faibles concentrations en surface des stations St14, St16 et St18. Le **Pb**, est également présent en surface des stations St02, St14, St18, St19 et St20 de façon assez hétérogène. Enfin, le **Fe** est mesuré dans les baies du Canal (St03, St06 et St14), dans la baie du Prony (St16), à l'île Ouen (St13) et dans le Canal de la Havannah (Tableau 8, Tableau 9, Figure 19, Figure 20 et Annexe 6).

Les métaux dissous **Cr^{VI}**, **Co**, **Mn** et **Ni** présentent, dans l'ensemble, une double distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante bien définie (Figure 20, Figure 21, Figure 23, Figure 24) à l'exception de quelques résultats.

En effet, pour le **Cr^{VI}** la concentration la plus élevée est rencontrée à mi-profondeur à la station St06 et de façon moindre en profondeur à la station St15. Cette valeur forte en St06 ($0,690 \mu\text{g/L}$) majore la concentration moyenne en **Cr^{VI}** des baies du Canal ($0,238 \pm 0,187 \mu\text{g/L}$) comparativement aux autres zones. (Annexe 6).

En ce qui concerne **Mn** et **Ni**, on constate qu'ils sont présents dans toute la zone d'étude à l'exception de la station St06. La répartition des concentrations distingue d'une part, les stations du Canal de la Havannah (St02, St05, St07, St09 et St21) influencées par les apports océaniques où les concentrations moyennes sont les plus faibles (respectivement: $0,061 \pm 0,027 \mu\text{g/L}$ et $0,093 \pm 0,032 \mu\text{g/L}$). Et d'autre part, les stations de baies (St03, St14, St15, St16, St18 et St19), directement influencées par les apports terrigènes des rivières et creeks où les concentrations mesurées sont plus élevées en surface. Autour de l'Ile Ouen (St13 et St20), les niveaux de concentrations sont intermédiaires avec une répartition verticale variable (Tableau 8 et Tableau 9).

Pour le **Cr-total**, les valeurs sont relativement homogènes avec tout de même quelques variations de concentrations visibles à mi-profondeur à la station St06 (en corrélation avec la concentration de C^{VI}) à cette même station.

Tableau 8 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As, Cr^{VI} , Cr-total, Co et Cu) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous ($\mu\text{g/L}$)				
		As	Cr^{VI}	Cr-total	Co	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,10	0,105	0,162	<0,027	<0,025
	Maximum	2,70	0,144	0,344	<0,027	<0,025
	Moyenne	1,71	0,121	0,218	<0,027	<0,025
	Ecart-type	0,45	0,012	0,043	-	-
Baies du Canal	Minimum	1,30	0,111	0,188	<0,027	0,032
	Maximum	2,10	0,690	0,814	<0,027	0,032
	Moyenne	1,69	0,238	0,302	<0,027	0,032 (n=1)
	Ecart-type	0,31	0,187	0,203	-	-
Baie du Prony	Minimum	1,10	0,123	0,238	0,030	0,027
	Maximum	2,30	0,252	0,562	0,058	0,027
	Moyenne	1,72	0,196	0,326	0,039	0,027
	Ecart-type	0,42	0,038	0,096	0,011	<0,050
Ile Ouen	Minimum	1,10	0,123	0,226	0,027	<0,025
	Maximum	2,00	0,161	0,256	0,027	<0,025
	Moyenne	1,50	0,137	0,240	0,027 (n=1)	<0,025
	Ecart-type	0,32	0,016	0,010	-	-

Les LQ sont respectivement pour As : $1\mu\text{g/L}$; CrVI : $0,05\mu\text{g/L}$, Cr-total : $0,05\mu\text{g/L}$ Co : 0,027 , et Cu : $0,025 \mu\text{g/L}$

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 2018.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	0,081	0,034	0,065	0,872	<1,00
	Maximum	0,081	0,106	0,162	0,872	<1,00
	Moyenne	0,081 (n=1)	0,061	0,093	0,872 (n=1)	<1,00
	Ecart-type	-	0,027	0,032	-	-
Baies du Canal	Minimum	0,062	0,034	0,058	0,130	<1,00
	Maximum	0,177	0,151	0,155	0,130	<1,00
	Moyenne	0,094	0,082	0,101	0,130 (n=1)	<1,00
	Ecart-type	0,047	0,052	0,044	-	-
Baie du Prony	Minimum	0,086	0,039	0,139	0,148	<1,00
	Maximum	0,086	0,331	0,469	0,313	<1,00
	Moyenne	0,086 (n=1)	0,183	0,311	0,231	<1,00
	Ecart-type	-	0,082	0,087	0,117	-
Ile Ouen	Minimum	0,065	0,061	0,106	0,467	<1,00
	Maximum	0,069	0,159	0,299	0,467	<1,00
	Moyenne	0,067	0,117	0,199	0,467 (n=1)	<1,00
	Ecart-type	0,003	0,045	0,076	-	-

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

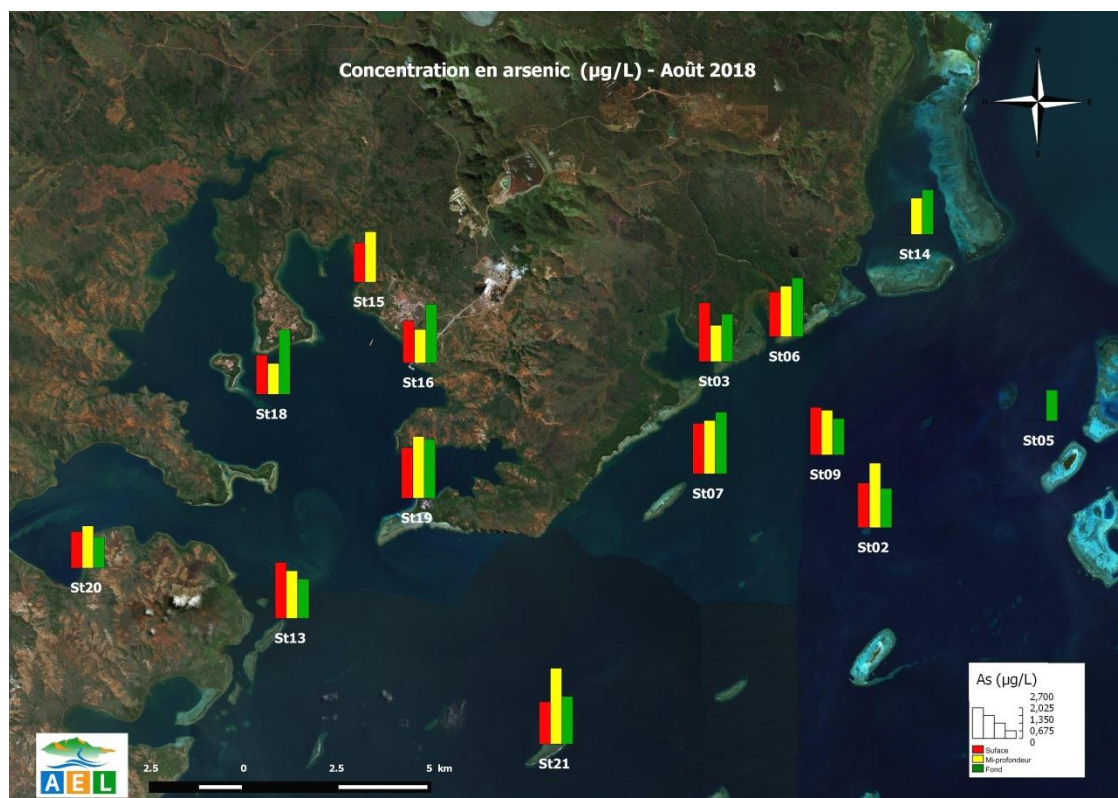


Figure 18 : Distribution des concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

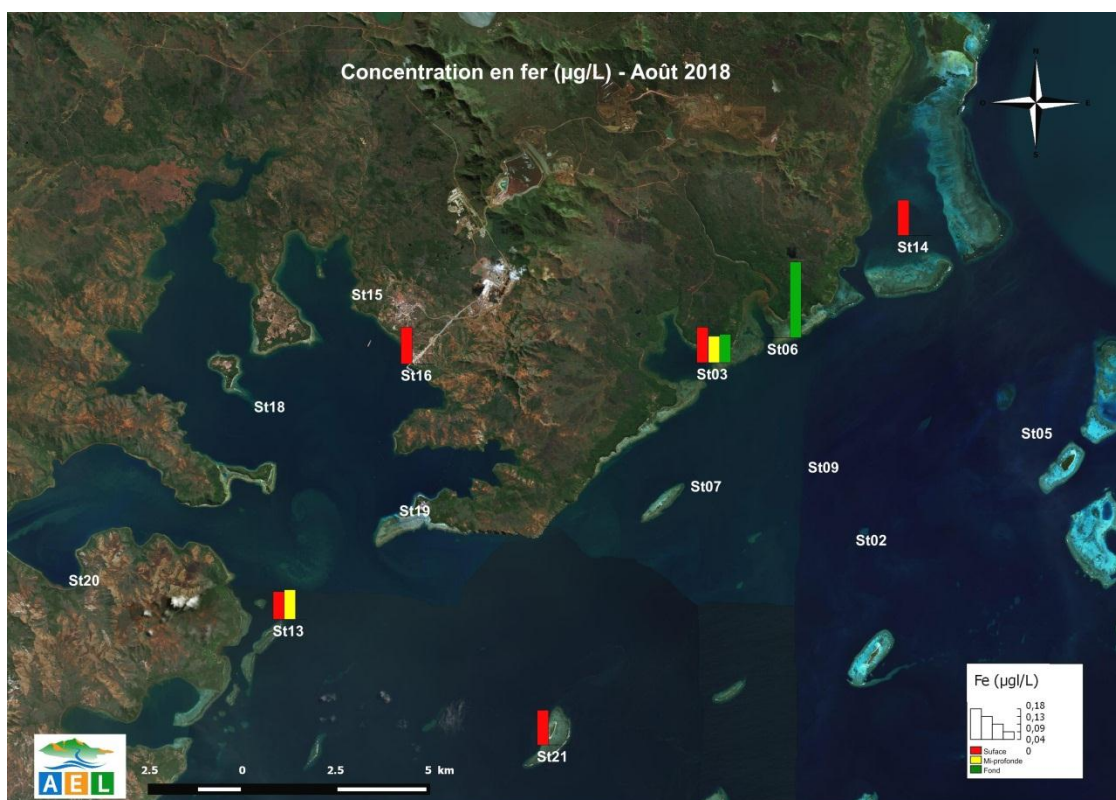


Figure 19: Distribution des concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

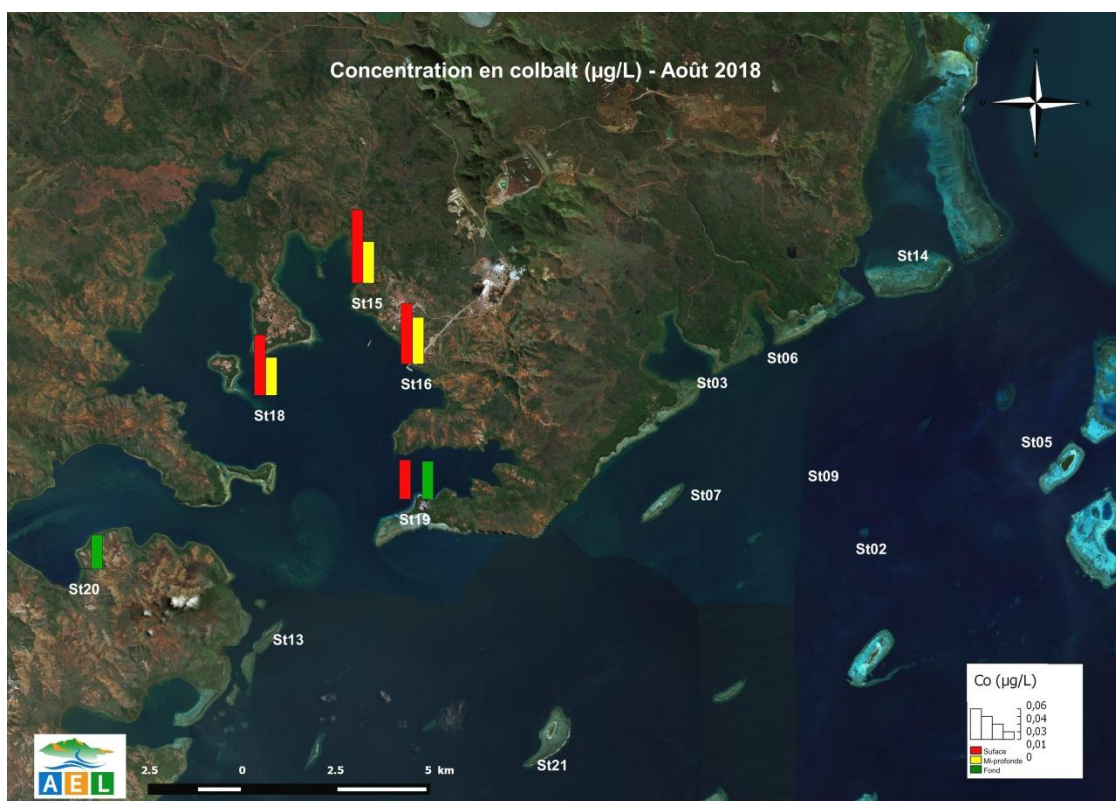


Figure 20: Distribution des concentrations en cobalt (Co) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

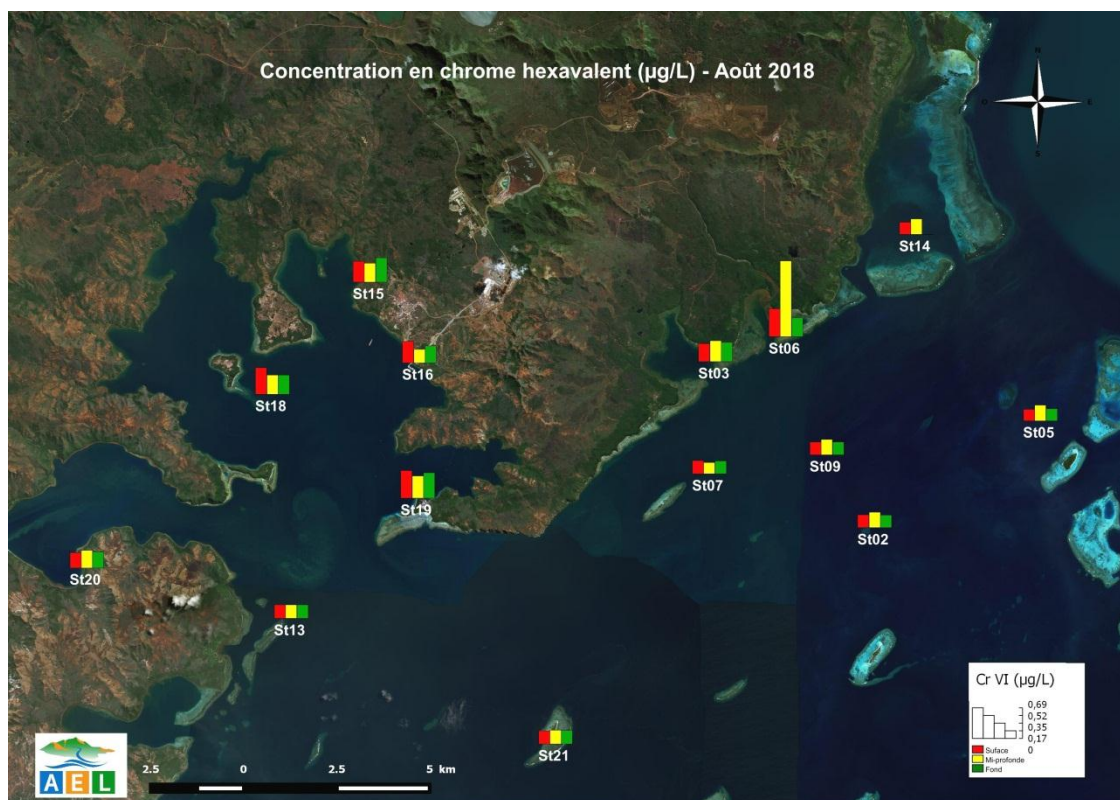


Figure 21 : Distribution des concentrations en chrome (Cr^{VI}) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

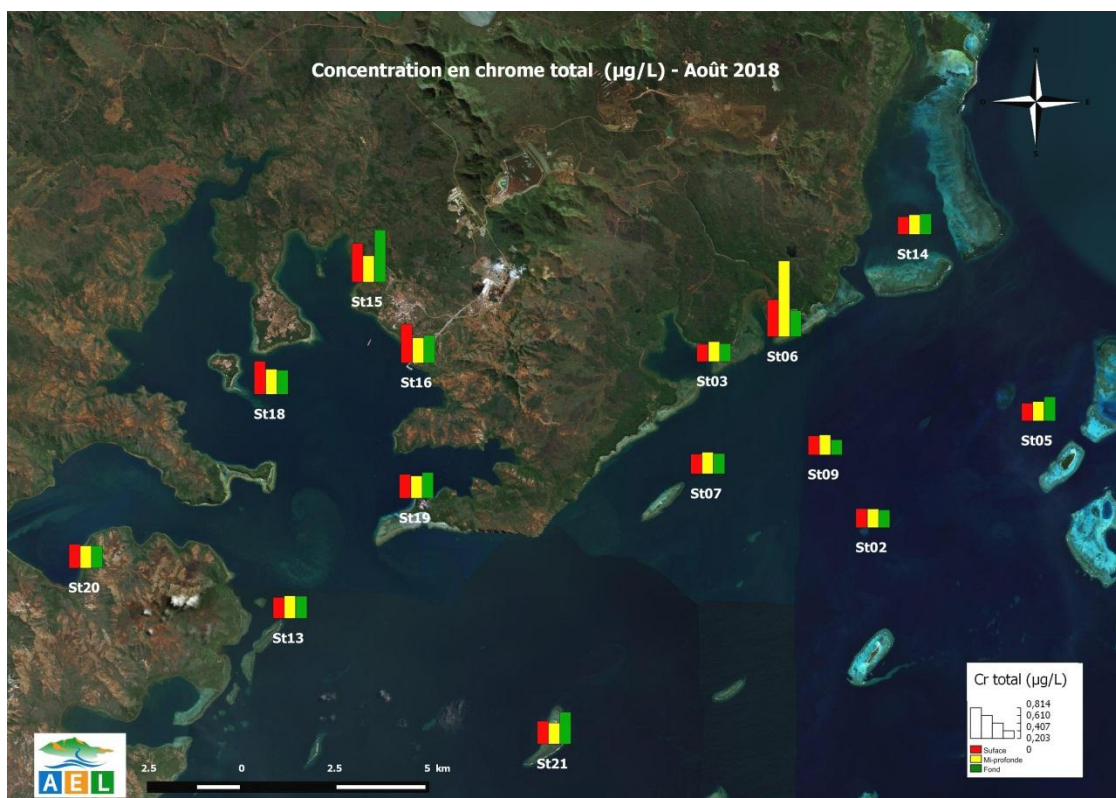


Figure 22: Distribution des concentrations en chrome total dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018. Sans la valeur forte de St09-F.

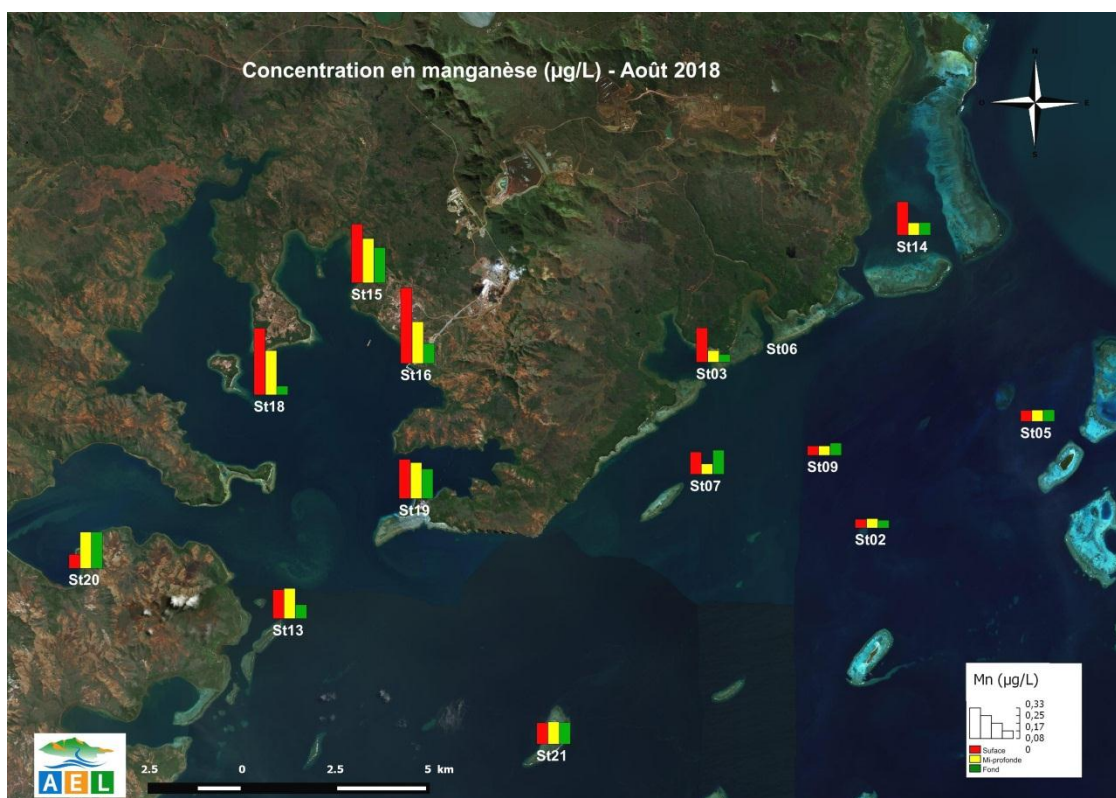


Figure 23 : Distribution des concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

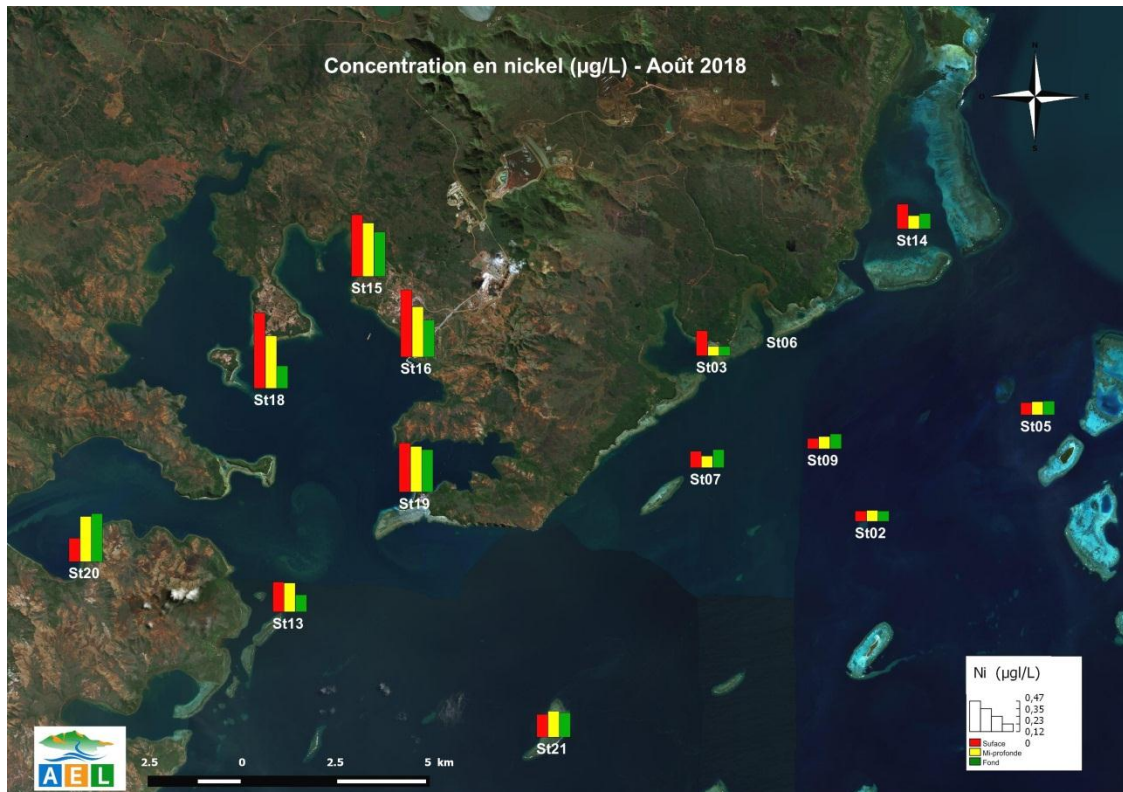


Figure 24 : Distribution des concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018.

Ce qu'il faut retenir :

Les métaux latéritiques Co, Cr⁺⁶, Cr-total, Mn et Ni présentent dans l'ensemble une distribution « côte-large » et « surface-fond » décroissante, des valeurs inférieures aux limites de quantification respectives ayant été mesurées pour le Mn et le Ni à la station St06.

Les concentrations les plus importantes se situent en surface des colonnes d'eau des baies du Canal et de la Baie du Prony, correspondant aux premiers mètres de dessalure. Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du Canal de la Havannah et à des concentrations intermédiaires à proximité de l'île Ouen majoritairement influencées par les apports océaniques.

Les concentrations de Cd et Zn sont non quantifiables. Pour le Cu et le Pb, seulement quelques concentrations ont pu être quantifiées en surface, le Pb étant d'habitude assez peu détectable. De même, le Fe est majoritairement détecté en surface à l'exception de la station St06.

Les concentrations en As sont relativement homogènes dans tout le domaine d'étude et à toutes les profondeurs.

IV. SYNTHESE

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

Les conditions météorologiques, notamment les précipitations, ont une influence sur la physico-chimie des eaux et sur la concentration en métaux dissous. Le cumul des précipitations, avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes, a été reporté, pour rappel, dans la Figure 25. La campagne 2018 se caractérise par l'absence totale de précipitations atmosphériques pendant la campagne.

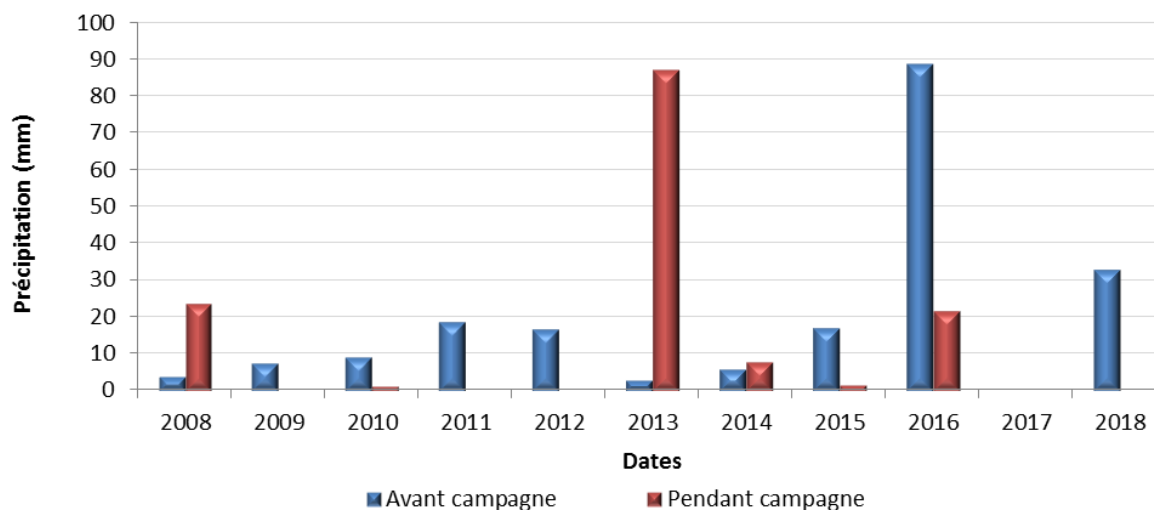


Figure 25 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraîche » de 2008 à 2018 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

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 avec le 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 à mi-profondeur en 2018, 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 de la colonne d'eau. A la 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. A partir de 2013, les concentrations deviennent supérieures et variables au sein de la colonne d'eau. 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) suite à une modification potentielle des caractéristiques des bassins versants respectifs.

2. Nitrates et nitrites

Pour des raisons différentes d'influence, 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 2018, quelques valeurs supérieures à la moyenne ont été mesurées à mi-profondeur et au fond pour 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 et 2018, à la station St09 et en 2013 à la station St15 ; en 2018, notamment pour St09, on enregistre les valeurs les plus hautes au fond et à mi-profondeur

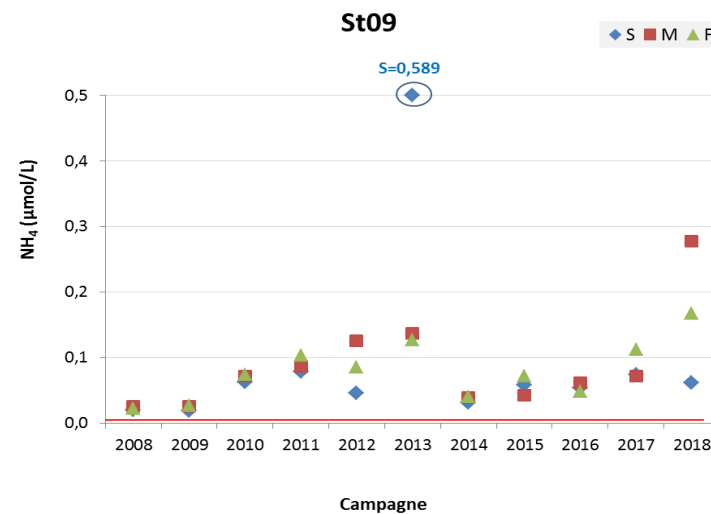
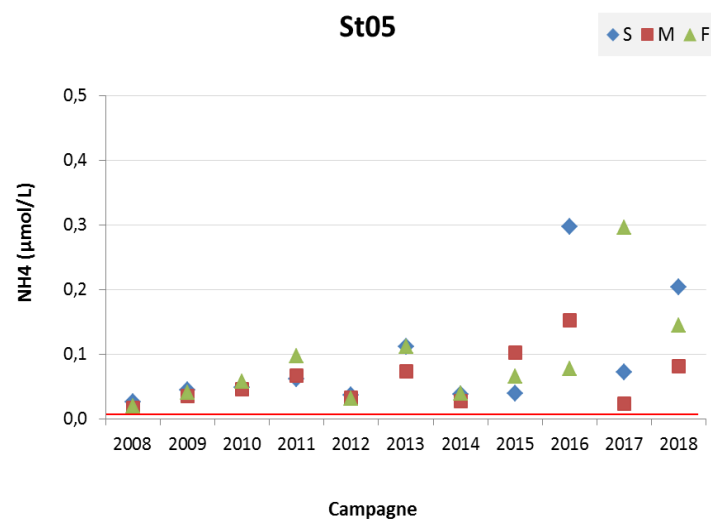


Figure 26 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 $\mu\text{mol/L}$).

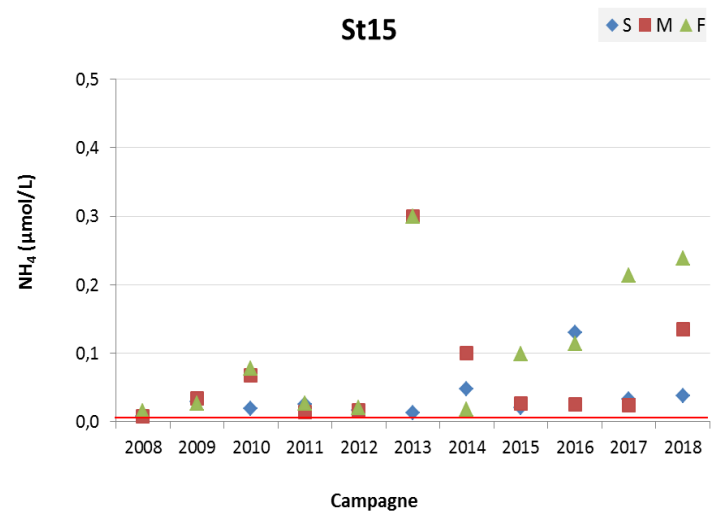
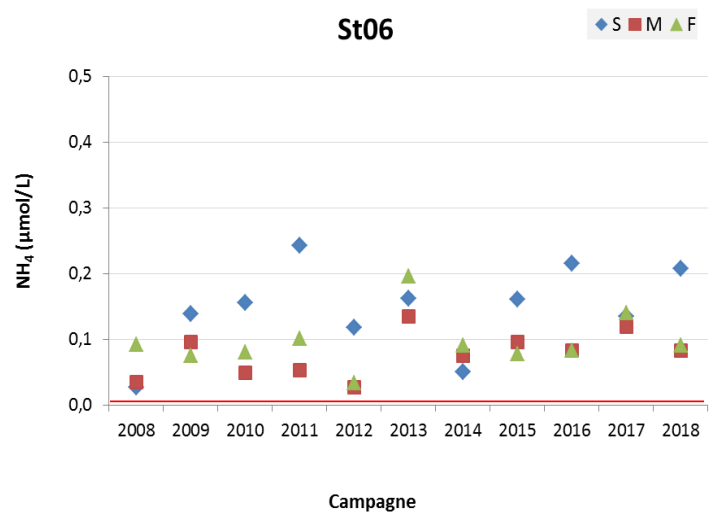


Figure 27 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 $\mu\text{mol/L}$).

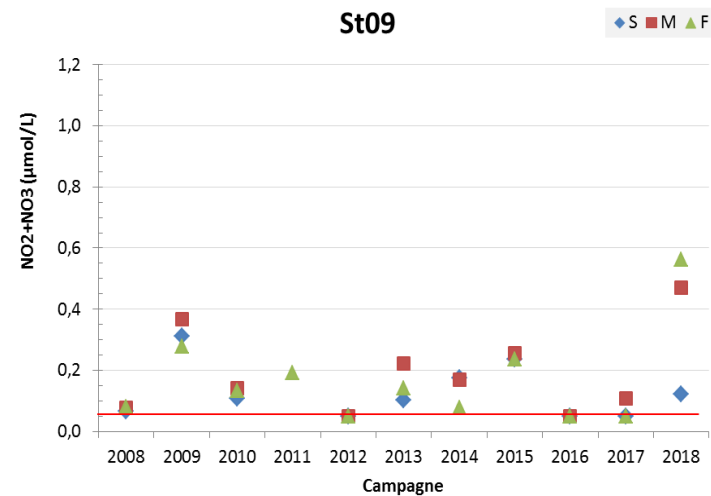
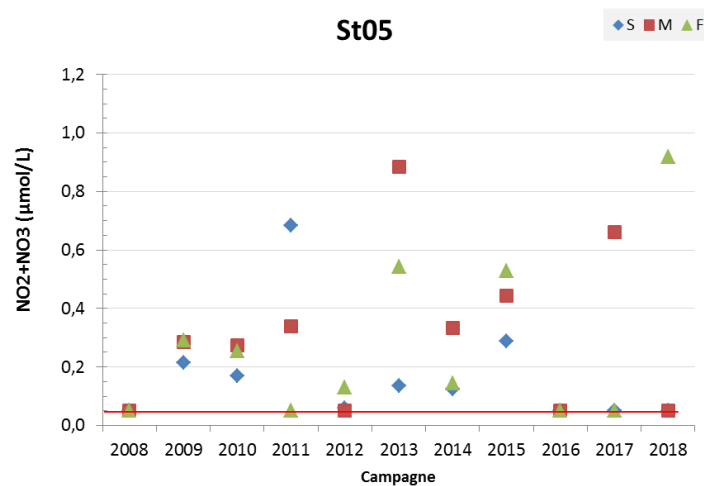


Figure 28 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2018); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

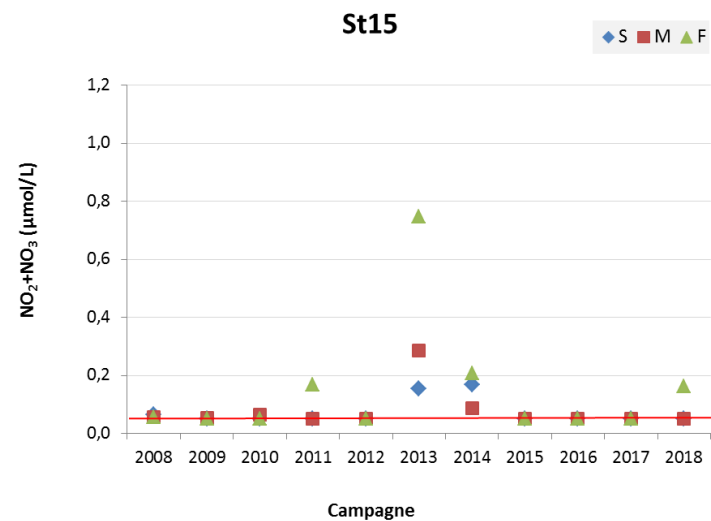
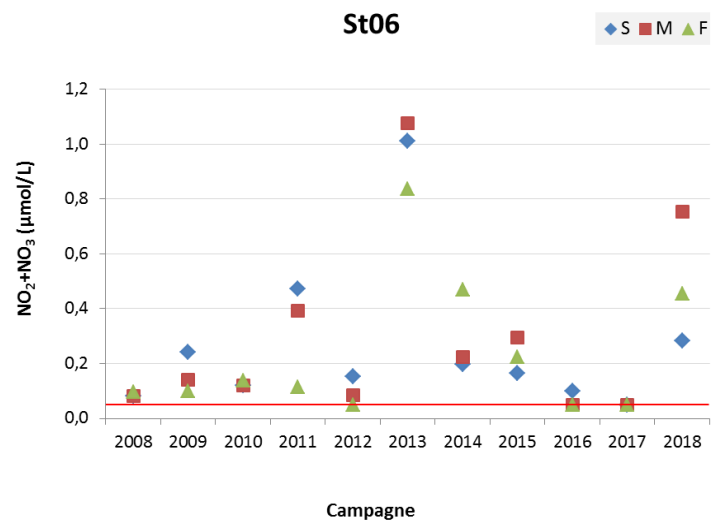


Figure 29 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$).

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 sont, en grande partie, explicables 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 ($\text{NH}_4\text{-M}$ et $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-F}$) et St05 ($\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-F}$), 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, Cr^{+6} , Mn et Ni 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 inter-campagne, notamment au niveau des couches de surface. En effet le Co, Mn et Ni et dans une moindre mesure le Cr^{+6} , 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 de Mn sont très dispersées puisqu'elles varient fortement sur l'intégralité de la colonne d'eau (S : $0,401 \pm 0,282 \mu\text{g/L}$; M : $0,167 \pm 0,087$ et F : $0,232 \pm 0,156 \mu\text{g/L}$). Cette variabilité est liée au comportement intrinsèque du Mn dissous qui est très fortement corrélé à la quantité de MES présente dans les eaux et aux réactions de précipitation/dissolution associées aux carbonates ;
- Les concentrations de Cr^{+6} varient essentiellement dans les eaux de surface (S : $0,280 \pm 0,276 \mu\text{g/L}$; M : $0,168 \pm 0,102$ et F : $0,158 \pm 0,039 \mu\text{g/L}$), en dessous, elles sont remarquablement constantes. Une concentration plus forte est visible cette année à mi-profondeur de la station St06.

Les concentrations de Co (S : $0,079 \pm 0,033 \mu\text{g/L}$; M : $0,038 \pm 0,009$ et F : $0,042 \pm 0,012 \mu\text{g/L}$) et Ni (S : $0,504 \pm 0,423 \mu\text{g/L}$; M : $0,229 \pm 0,093$ et F : $0,279 \pm 0,110 \mu\text{g/L}$) varient également particulièrement dans les eaux de surface.

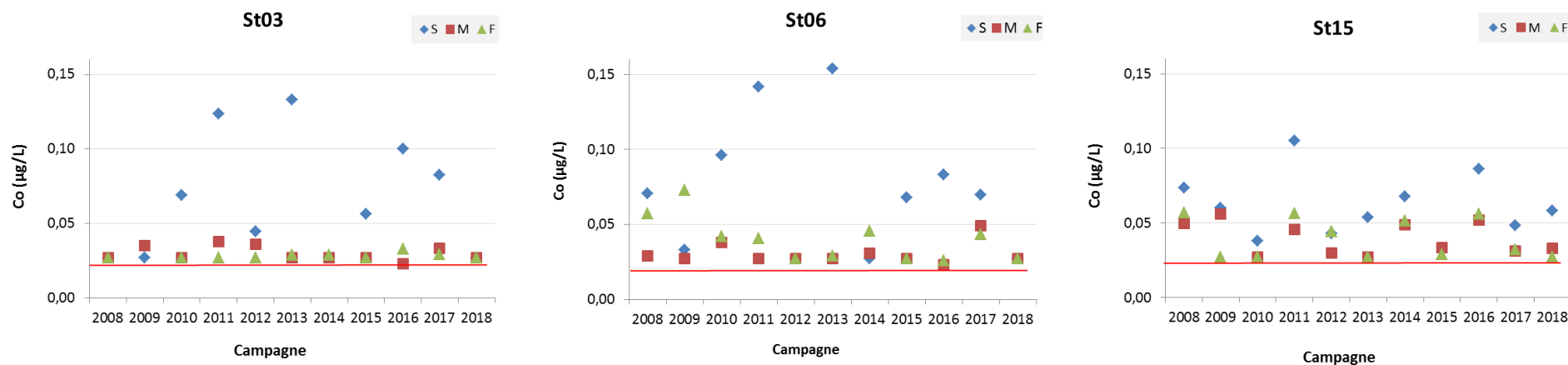


Figure 30 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2007 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

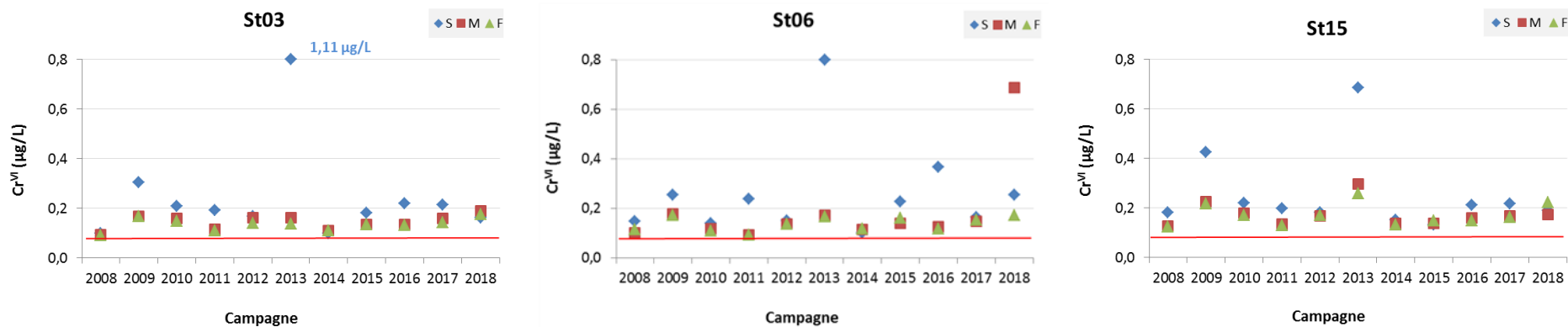


Figure 31 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

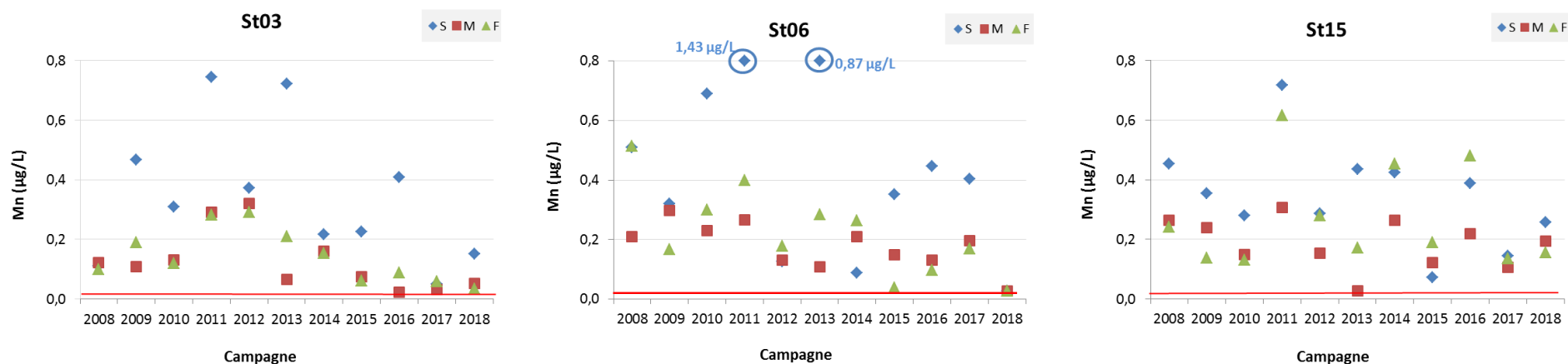


Figure 32 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

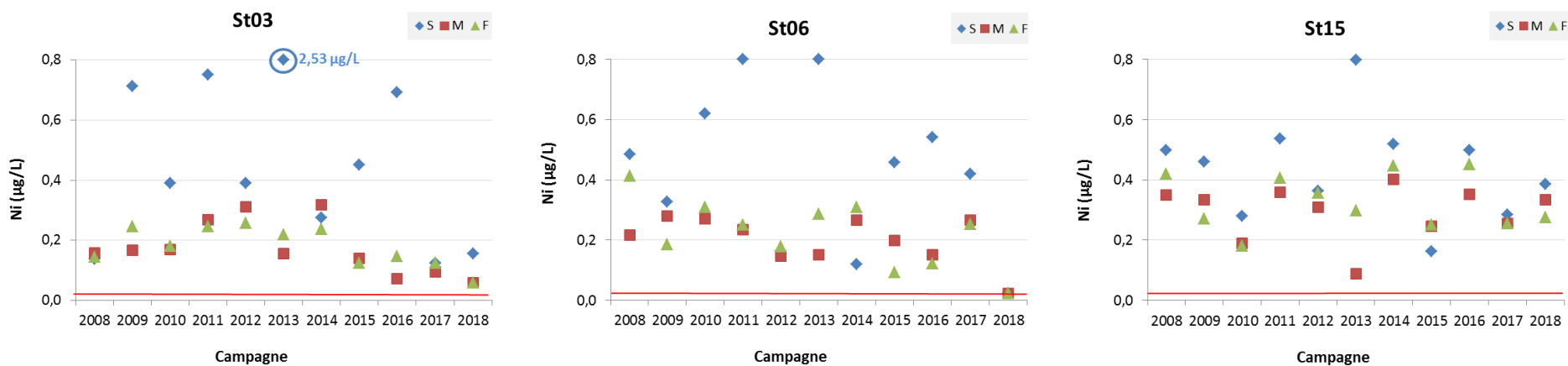


Figure 33 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

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

L'évolution des concentrations de Cr^{+6} , Mn et Ni entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations St05, St07 et St09 a été reportée dans la Figure 34, Figure 35 et Figure 36.

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

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

Parmi les 4 métaux étudiés, sur l'ensemble des campagnes et des stations du Canal, les concentrations de Co restent régulièrement en dessous des limites de quantification ($<0,027\mu\text{g/L}$). Les concentrations obtenues en Cr^{+6} , quelle que soit la profondeur, sont moins dispersées (S : $0,114 \pm 0,026\mu\text{g/L}$; M : $0,113 \pm 0,024$ et F : $0,116 \pm 0,023 \mu\text{g/L}$) tandis que celles de Mn sont un peu plus variables (S : $0,078 \pm 0,043 \mu\text{g/L}$; M : $0,074 \pm 0,028$ et F : $0,085 \pm 0,038 \mu\text{g/L}$) en raison de sa réactivité chimique particulière. Les concentrations de Ni montrent également une certaine variabilité essentiellement en surface et au sein de la colonne d'eau (S : $0,111 \pm 0,059 \mu\text{g/L}$; M : $0,106 \pm 0,039 \mu\text{g/L}$ et F : $0,122 \pm 0,042 \mu\text{g/L}$).

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, Ni et Mn.

Ce qu'il faut retenir :

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

Aux stations du Canal, les concentrations demeurent faibles (Cr^{+6} , Mn et Ni) voire en dessous de la LQ (Co) et particulièrement stables dans la colonne d'eau depuis la mise en place du suivi marin. Quelques variations de concentrations sont tout de même visibles à la station St07, probablement dues à sa localisation qui la 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 2018 sont globalement dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des précédentes campagnes de « saison fraîche » depuis 2008.

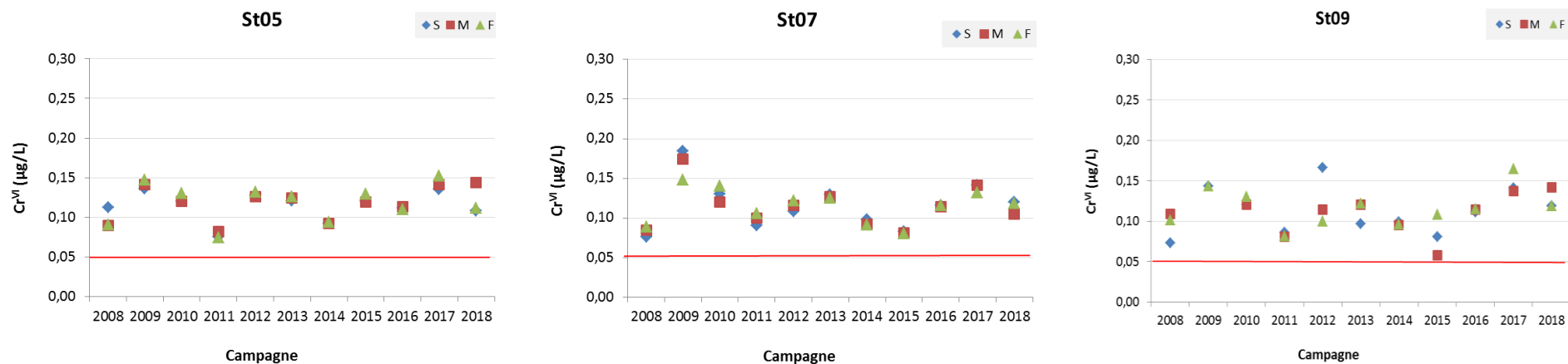


Figure 34 : Concentrations de chrome hexavalent (Cr^{VI}) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

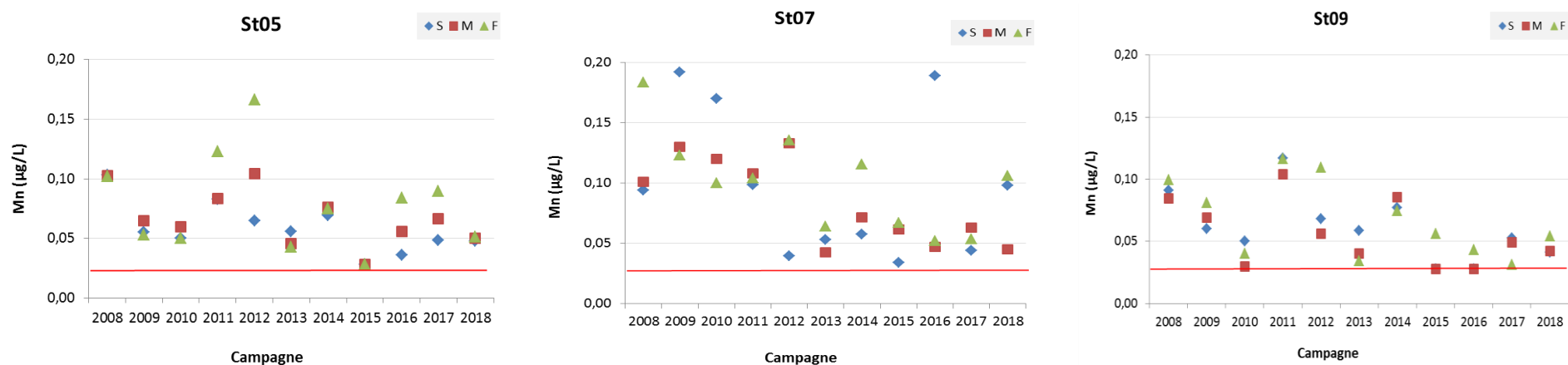


Figure 35 : Concentrations de manganèse (Mn) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

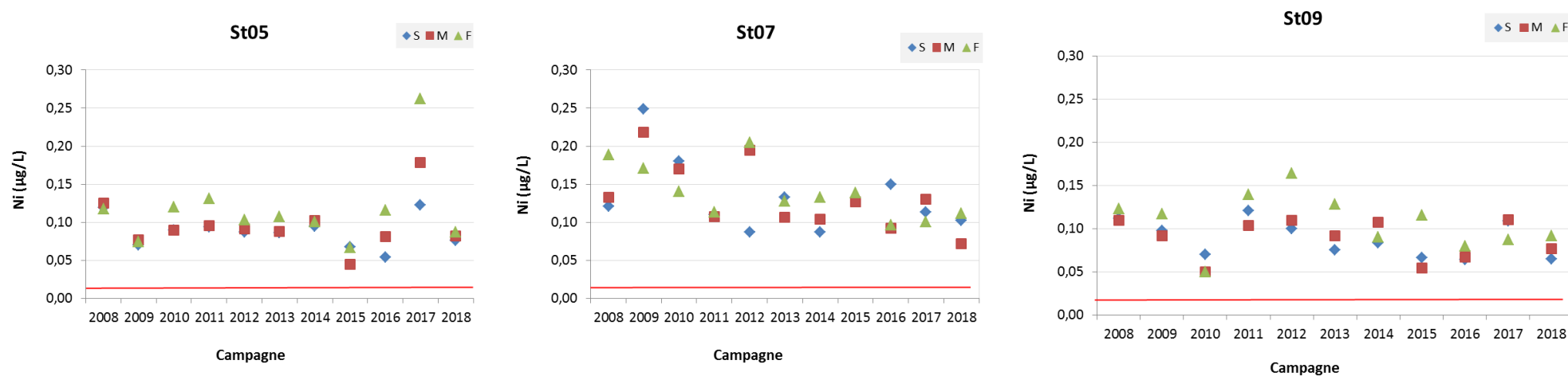


Figure 36 : Concentrations de nickel (Ni) dissous mesurées en sub-surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal de la Havannah St05, St07 et St09 lors des campagnes « saison fraîche » (2008 à 2018) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

V. CONCLUSION

Lors de cette campagne semestrielle « saison fraîche », les principales variations des paramètres physico-chimiques (ex : salinité, turbidité et fluorescence), des concentrations en sels nutritifs ou en métaux latéritiques dissous (ex. : Co, Cr⁺⁶, Cr-total, Mn et Ni), sont proches des campagnes passées. Elles mettent en évidence les différentes influences environnementales agissant dans la zone étudiée du lagon du sud.

Ainsi, en fonction de la distance des émissaires naturels et des conditions hydrodynamiques, les concentrations de ces paramètres chimiques se distribuent selon un même gradient « côte-large » de manière plus ou moins évidente. Les concentrations de SiO₄, de Co, Cr⁺⁶, Mn et de Ni dissous sont plus élevées près des côtes (Baie du Prony et Baie de la Kwé), les plus faibles étant mesurées dans le Canal de la Havannah. Pour ces stations de côte, les concentrations se distribuent également selon un gradient « surface-fond » ; les eaux de surface étant plus riches. Les concentrations de SiO₄, de Co, Mn et Ni dissous élevées dans les eaux de surface sont corrélées avec les profils de salinité; une couche dessalée ayant été observée dans les eaux de surface dans ces baies. Les profils de turbidité, fluorescence, température et salinité permettent de distinguer les aires d'influence océanique et terrigène. L'influence des apports d'eau douce en surface dans les stations de baie est confirmée essentiellement par la présence des métaux dissous, mais il est plus difficile d'observer d'autres signatures le long de la colonne d'eau.

Pour les matières en suspension, les sels nutritifs (NO₂+NO₃ et NH₄) et les matières organiques dissoutes, de fortes concentrations sont observées cette année dans le Canal de Havannah. Dans cette zone d'étude, plusieurs termes sources peuvent agir simultanément: le ruissellement naturel et forcé des 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 les diverses activités anthropiques.

En raison de leurs multiples termes sources, en plus de la labilité chimique de certains éléments (par exemple, la réduction et l'oxydation rapide de NH₄ et NO₂) et le court temps de résidence dans l'environnement (par exemple, absorption de NO₃ 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 et ne montrent pas, ni de gradient spatial, ni de gradient vertical (distribution ubiquiste).

L'étude des variations inter-campagnes des sels nutritifs (NO₃+NO₂ et NH₄) aux stations sentinelles (St05, St09, St06 et St15) ne met pas en évidence d'évolution temporelle depuis le début des suivis. Les concentrations en NH₄ restent toutefois à surveiller aux stations St05 et St15 car elles sont croissantes depuis 3 ans, sans toutefois, atteindre des seuils préoccupants. Pour les métaux dissous (Co, Cr⁺⁶, Mn et Ni), cette étude n'a pas non plus montré d'évolution temporelle pour les stations de baies (St03, St06 et St15), ni pour les stations du Canal (St05, St07 et St09).

Enfin, les variations observées dans les concentrations de NH₄, Mn et Ni entre les campagnes aux stations sentinelles n'ont pu être corrélées formellement avec les précipitations uniquement. En effet, ces niveaux de concentrations doivent probablement être le résultat de la combinaison des plusieurs facteurs d'ordre météorologiques (vitesse et direction des vents), mais aussi hydrodynamiques (courants, marées, horaires de prélèvement), biologiques (efflorescence) et anthropiques (activité minière, portuaire, hôtelière,...).

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n° 9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n° 1312.
- Fichez R, Adjerdoud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Rounsard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n° T1368, 85p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13: 223-227.
- 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 élément.

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

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

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

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	11
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES PENDANT LES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (27 AU 31/07/2018) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (01 AU 03/08/18). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE".	13
FIGURE 3: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018 REPORTEE SUR LE MAREGRAMME DU 01 AU 03 AOUT 2018.....	13
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 2018.	15
FIGURE 5: PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	16
FIGURE 6: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	17
FIGURE 7: PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2017.....	18
FIGURE 8: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	22
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 2018.	24
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 2017.	25
FIGURE 11 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	26
FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.....	27
FIGURE 13 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.....	29
FIGURE 14 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.....	29
FIGURE 15 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.....	31
FIGURE 16 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.....	31
FIGURE 17 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.....	33
FIGURE 18 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	36
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 2018.....	37
FIGURE 20: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	37
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 2018.	38

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 2018. SANS LA VALEUR FORTE DE ST09-F.	39
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 2018.	39
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 2018.	40
FIGURE 25 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2018 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».	41
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 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	43
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 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	43
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 2018); LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	44
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 2018); LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	44
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 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	46
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr ^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	46
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 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	47
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 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	47
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS DE CHROME HEXAVALENT (Cr ^{VI}) DISSOUS MESUREES EN SUB-SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL DE LA HAVANNAH ST05, ST07 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON FRAICHE » (2008 A 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	49
FIGURE 35 : 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 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	49
FIGURE 36 : 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 2018) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	50

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	10
TABLEAU 2: VALEURS DE LA TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE ENREGISTREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	14
TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS ET VALEURS DU PH MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	20
TABLEAU 4:CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.....	22
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	27
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	32
TABLEAU 7: CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	33
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (As, Cr(VI), Cr-TOTAL, Co ET Cu) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	35
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS DE METAUX DISSOUS (Fe, Mn, Ni, Pb ET Zn) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2018.	36

ANNEXES

ANNEXE 1.....	58
ANNEXE 2.....	63
ANNEXE 3.....	65
ANNEXE 4.....	67
ANNEXE 5.....	69
ANNEXE 6.....	71
ANNEXE 7.....	73
ANNEXE 8.....	77
ANNEXE 9.....	82
ANNEXE 10.....	83

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 (NH₄) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites (NO₃ + NO₂) et de phosphates (PO₄) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatma^{n°} GF/F (porosité 0,7 µm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO₃) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO₃ est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO₂) obtenus par réduction des ions NO₃. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations NO₃ + NO₂ par photométrie ([Oudot et Montel, 1988](#)). Cependant, les concentrations en NO₂ dans les eaux de surfaces restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et 1 µM avec des limites de quantification d'environ 0,05 µmol/L.

b) Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac (NH₃) et d'ion ammonium (NH₄⁺), ce dernier étant prépondérant dans le milieu marin. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles et la méthode décrite par [Holmes et al., \(1999\)](#) est la plus adaptée. Il s'agit d'une méthode manuelle basée sur le principe d'une mesure fluorométrique qui permet de doser des quantités infimes de NH₄. Les proportions de réactifs ont été déterminées pour des concentrations maximales d'ammonium de 3 µmol/L, la limite de quantification de la méthode est de 1,5 nmol/L.

c) Phosphates

Le dosage des PO₄ a été effectué selon la méthode de [Murphy et Riley \(1962\)](#) basée sur la formation en milieu acide (pH<1) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran &

Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et 0,75 µmol/L avec des limites de quantification d'environ 0,05 µmol/L.

e) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de [Mullin et Riley, 1955](#), modifiée par [Fanning et Pilson \(1973\)](#). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0,5 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 $\mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification de 0,130 $\mu\text{mol/L}$ pour le NOP et entre 0,75 et 7 $\mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification de 0,050 $\mu\text{mol/L}$ pour POP.

c) Carbone organique particulaire

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

ANALYSE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

La concentration de pigments chlorophylliens est déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord du « Slavco » puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

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

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

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

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 2018.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St02	Minimum	22,37	0,00	0,05	35,55
	Maximum	22,39	0,07	0,43	35,57
	Moyenne	22,38	0,03	0,29	35,56
	Ecart-type	0,00	0,01	0,05	0,00
St03	Minimum	21,17	34,54	0,02	34,54
	Maximum	22,49	35,51	0,09	35,51
	Moyenne	22,29	35,33	0,06	35,33
	Ecart-type	0,20	0,29	0,02	0,29
St05	Minimum	22,36	35,56	0,00	35,56
	Maximum	22,38	35,59	0,27	35,59
	Moyenne	22,37	35,57	0,03	35,57
	Ecart-type	0,01	0,00	0,02	0,00
St06	Minimum	20,63	34,11	0,00	34,11
	Maximum	22,42	35,52	0,14	35,52
	Moyenne	22,31	35,37	0,06	35,37
	Ecart-type	0,17	0,33	0,02	0,33
St07	Minimum	22,40	0,00	0,21	35,47
	Maximum	22,48	0,09	0,71	35,54
	Moyenne	22,44	0,04	0,33	35,52
	Ecart-type	0,02	0,01	0,06	0,01
St09	Minimum	21,95	0,00	0,10	35,46
	Maximum	22,55	0,16	1,20	36,02
	Moyenne	22,47	0,03	0,31	35,52
	Ecart-type	0,03	0,01	0,08	0,03
St13	Minimum	22,06	0,03	0,46	35,52
	Maximum	22,10	0,07	2,87	35,54
	Moyenne	22,09	0,05	0,73	35,54
	Ecart-type	0,01	0,01	0,46	0,00
St14	Minimum	22,42	0,03	0,37	35,43
	Maximum	22,49	0,06	0,65	35,49
	Moyenne	22,44	0,05	0,44	35,45
	Ecart-type	0,01	0,01	0,04	0,01

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St15	Minimum	21,00	0,00	0,19	35,13
	Maximum	22,27	0,28	2,05	36,10
	Moyenne	22,05	0,09	0,80	35,41
	Ecart-type	0,14	0,06	0,28	0,12
St16	Minimum	21,83	0,02	0,41	35,13
	Maximum	22,00	0,08	1,71	35,49
	Moyenne	21,93	0,05	0,85	35,42
	Ecart-type	0,03	0,02	0,43	0,08
St18	Minimum	21,82	0,00	0,40	35,15
	Maximum	21,99	0,08	1,02	35,49
	Moyenne	21,92	0,04	0,54	35,38
	Ecart-type	0,06	0,02	0,08	0,12
St19	Minimum	21,90	0,02	0,37	35,38
	Maximum	22,06	0,08	2,13	35,51
	Moyenne	21,98	0,06	0,65	35,46
	Ecart-type	0,03	0,02	0,30	0,03
St20	Minimum	21,87	0,02	0,49	35,49
	Maximum	21,90	0,06	1,73	35,51
	Moyenne	21,88	0,04	0,66	35,51
	Ecart-type	0,01	0,01	0,21	0,00
St21	Minimum	21,89	0,00	0,24	35,44
	Maximum	22,52	0,84	1,29	35,66
	Moyenne	22,12	0,06	0,56	35,50
	Ecart-type	0,08	0,06	0,09	0,02

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

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St02	S	445	520	1356	11870	19464	2770	0,302	8,40
	M	442	514	1348	11775	20160	2715	0,280	8,40
	F	441	511	1340	11699	20855	2780	0,225	8,35
St03	S	447	523	1358	11830	20160	2985	0,444	8,30
	M	437	505	1331	11545	19464	2935	0,402	8,40
	F	449	523	1365	11917	20160	2960	0,484	8,40
St05	S	455	532	1376	12100	19464	2790	0,323	8,35
	M	452	525	1369	11978	19464	2935	0,499	8,40
	F	459	528	1375	12076	18769	2840	0,389	8,40
St06	S	436	510	1331	11606	18769	2850	0,495	8,40
	M	444	517	1348	11637	19464	2885	0,264	8,40
	F	457	534	1383	12052	18769	2935	0,330	8,40
St07	S	441	509	1336	11679	20160	2895	0,245	8,40
	M	438	510	1340	11733	19464	2925	0,328	8,40
	F	441	512	1344	11724	21550	2865	2,386	8,40
St09	S	433	502	1318	11547	20160	2910	0,315	8,40
	M	454	506	1328	11642	20855	2810	0,263	8,40
	F	441	511	1342	11715	19464	2750	1,251	8,40
St13	S	444	507	1353	11711	19464	2790	0,318	8,30
	M	443	515	1349	11782	18769	2805	0,351	8,30
	F	431	498	1316	11516	19464	2905	0,457	8,30
St14	S	437	505	1322	11594	18769	2815	0,484	8,30
	M	435	498	1303	11475	20855	2895	0,574	8,30
	F	454	524	1359	11969	20160	2835	0,215	8,30
St15	S	433	500	1322	11517	20160	2915	0,351	8,30
	M	446	512	1367	11764	18769	2805	0,560	8,30
	F	441	510	1344	11690	19464	2900	0,671	8,30
St16	S	436	505	1330	11570	20160	3090	0,278	8,30
	M	439	508	1341	11639	19464	2805	0,390	8,30
	F	440	513	1343	11694	20160	2930	0,730	8,30

Station	Niveau	Éléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St18	S	444	516	1357	11807	19464	3000	0,231	8,30
	M	440	510	1341	11679	18769	2945	0,269	8,30
	F	446	519	1360	11838	19464	2895	0,313	8,30
St19	S	445	517	1355	11789	19464	2925	0,211	8,30
	M	461	541	1406	12264	20855	2960	0,356	8,30
	F	447	519	1358	11845	19464	2975	1,222	8,30
St20	S	439	508	1334	11650	20160	2535	0,352	8,30
	M	439	506	1336	11658	18769	2635	0,360	8,30
	F	451	525	1376	11978	19464	3090	0,484	8,30
St21	S	440	512	1343	11698	20160	2800	0,620	8,40
	M	446	519	1359	11877	20160	2800	0,565	8,40
	F	438	508	1334	11645	18769	2820	0,853	8,40

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St02	S	0,309	0,356	<0,050	1,219
	M	<0,050	0,866	<0,050	1,320
	F	0,287	0,088	<0,050	1,306
St03	S	<0,050	0,125	<0,050	10,154
	M	<0,050	0,091	0,080	1,654
	F	<0,050	0,062	<0,050	1,012
St05	S	0,918	0,204	<0,050	1,153
	M	0,284	0,082	<0,050	1,204
	F	0,754	0,144	<0,050	1,176
St06	S	0,456	0,208	<0,050	1,700
	M	0,519	0,082	<0,050	1,514
	F	0,116	0,090	0,079	1,581
St07	S	0,052	0,321	<0,050	1,404
	M	0,121	0,090	<0,050	1,312
	F	0,471	0,297	<0,050	1,248
St09	S	0,562	0,062	<0,050	1,206
	M	0,078	0,277	<0,050	1,650
	F	0,05	0,168	<0,050	1,312
St13	S	<0,050	0,058	<0,050	1,510
	M	0,086	0,712	<0,050	1,683
	F	<0,050	0,109	<0,050	2,535
St14	S	0,400	0,107	<0,050	1,572
	M	<0,050	0,187	<0,050	1,423
	F	0,051	0,108	<0,050	1,435
St15	S	0,162	0,038	<0,050	2,852
	M	0,070	0,135	0,052	2,786
	F	0,069	0,238	0,070	3,799
St16	S	0,195	0,042	<0,050	2,755
	M	0,309	0,068	0,089	2,552
	F	<0,050	0,135	0,066	3,158

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St18	S	<0,050	0,166	<0,050	2,448
	M	<0,050	0,071	<0,050	2,269
	F	0,053	0,082	<0,050	4,226
St19	S	0,050	0,047	<0,050	2,059
	M	<0,050	0,055	0,068	2,694
	F	0,236	0,235	0,057	4,051
St20	S	<0,050	0,112	<0,050	2,124
	M	<0,050	0,207	<0,050	2,254
	F	<0,050	0,099	<0,050	3,995
St21	S	0,113	0,181	<0,050	1,701
	M	0,091	0,055	<0,050	1,643
	F	0,193	0,198	<0,050	1,641

ANNEXE 5

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle *a*

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle *a* du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St02	S	7,86	0,59	0,192	0,059	ND	7,29	0,251	0,443
	M	6,58	0,42	0,180	0,049	ND	5,29	0,230	0,516
	F	7,31	0,43	0,183	0,057	ND	7,10	0,240	0,412
St03	S	6,24	0,61	0,132	0,055	ND	5,50	0,187	0,418
	M	4,65	0,60	0,000	0,102	ND	4,25	0,170	0,461
	F	4,99	0,57	0,128	0,067	ND	4,37	0,195	0,375
St05	S	10,782	0,54	0,193	0,057	ND	10,04	0,250	0,320
	M	9,51	0,46	0,214	0,052	ND	8,97	0,266	0,340
	F	6,59	0,56	0,205	0,051	ND	6,81	0,255	0,376
St06	S	5,63	0,54	0,125	0,070	ND	5,17	0,195	0,238
	M	4,54	0,89	0,121	0,047	ND	4,32	0,168	0,607
	F	4,82	1,22	0,000	0,112	ND	3,96	0,176	0,342
St07	S	7,69	0,58	0,204	0,052	ND	7,31	0,255	0,603
	M	8,42	0,52	0,215	0,044	ND	7,93	0,259	0,671
	F	8,72	0,77	0,249	0,073	ND	7,70	0,322	0,671
St09	S	7,86	0,51	0,233	0,069	ND	7,41	0,302	0,534
	M	7,76	0,47	0,208	0,048	ND	7,49	0,255	0,602
	F	9,41	0,42	0,217	0,051	ND	9,38	0,268	0,550
St13	S	6,76	0,879	0,152	0,069	ND	5,90	0,222	0,502
	M	5,71	0,878	0,122	0,091	ND	4,17	0,213	0,582
	F	8,24	0,808	0,115	0,114	ND	7,32	0,228	0,469
St14	S	11,593	0,71	0,241	0,061	ND	10,87	0,303	0,544
	M	12,762	0,61	0,222	0,071	ND	11,97	0,293	0,497
	F	4,67	0,56	0,152	0,096	ND	4,40	0,249	0,537
St15	S	7,24	0,72	0,137	0,047	ND	6,48	0,183	0,510
	M	7,55	1,53	0,080	0,100	ND	5,94	0,232	2,026
	F	5,72	0,70	0,136	0,053	ND	4,94	0,259	1,067
St16	S	8,41	0,66	0,183	0,045	ND	7,78	0,228	0,354
	M	6,54	0,66	0,071	0,051	ND	5,88	0,210	0,668
	F	6,39	0,54	0,107	0,050	ND	5,92	0,223	0,104

ND= Non Déterminé

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St18	S	4,78	0,68	0,146	0,035	ND	3,93	0,181	0,378
	M	5,47	0,61	0,164	0,035	ND	4,78	0,199	0,606
	F	5,97	0,65	0,179	0,043	ND	5,29	0,223	0,660
St19	S	4,72	0,56	0,122	0,041	ND	4,17	0,163	0,072
	M	5,80	0,49	0,131	0,044	ND	5,25	0,243	0,540
	F	6,90	0,50	0,128	0,049	ND	6,40	0,234	0,538
St20	S	7,14	0,73	0,162	0,065	ND	6,30	0,227	0,476
	M	4,61	0,77	0,081	0,056	ND	3,63	0,137	0,471
	F	5,73	0,78	0,155	0,044	ND	4,85	0,199	0,488
St21	S	4,65	0,66	0,136	0,059	ND	3,92	0,196	0,439
	M	6,97	0,83	0,177	0,050	ND	6,18	0,227	0,724
	F	7,70	0,76	0,139	0,060	ND	6,94	0,199	0,783

ND= Non déterminé

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2018 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Cr ^{VI}	Cr _{total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St02	S	1,6	<0,025	0,119	0,206	<0,027	<0,025	<0,059	0,038	0,065	0,872	<1,00
	M	2,3	<0,025	0,141	0,202	<0,027	<0,025	<0,059	0,042	0,069	<0,100	<1,00
	F	1,4	<0,025	0,116	0,192	<0,027	<0,025	<0,059	0,034	0,065	<0,100	<1,00
St03	S	2,1	<0,025	0,164	0,188	<0,027	<0,025	0,083	0,151	0,155	<0,100	<1,00
	M	1,3	<0,025	0,190	0,216	<0,027	<0,025	0,062	0,051	0,058	<0,100	<1,00
	F	1,7	<0,025	0,177	0,196	<0,027	<0,025	0,066	0,034	0,058	<0,100	<1,00
St05	S	<1,0	<0,025	0,108	0,190	<0,027	<0,025	<0,059	0,048	0,076	<0,100	<1,00
	M	<1,0	<0,025	0,144	0,208	<0,027	<0,025	<0,059	0,050	0,082	<0,100	<1,00
	F	1,1	<0,025	0,112	0,260	<0,027	<0,025	<0,059	0,051	0,087	<0,100	<1,00
St06	S	1,6	<0,025	0,257	0,398	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<0,100	<1,00
	M	1,8	<0,025	0,690	0,814	<0,027	<0,025	<0,059	<0,028	<0,022	<0,100	<1,00
	F	2,1	<0,025	0,174	0,282	<0,027	<0,025	0,177	<0,028	<0,022	<0,100	<1,00
St07	S	1,8	<0,025	0,120	0,212	<0,027	<0,025	<0,059	0,098	0,102	<0,100	<1,00
	M	1,9	<0,025	0,105	0,232	<0,027	<0,025	<0,059	0,045	0,072	<0,100	<1,00
	F	2,2	<0,025	0,118	0,220	<0,027	<0,025	<0,059	0,106	0,112	<0,100	<1,00
St09	S	1,7	<0,025	0,119	0,206	<0,027	<0,025	<0,059	0,041	0,065	<0,100	<1,00
	M	1,6	<0,025	0,142	0,216	<0,027	<0,025	<0,059	0,042	0,077	<0,100	<1,00
	F	1,3	<0,025	0,119	0,162	<0,027	<0,025	<0,059	0,054	0,092	<0,100	<1,00
St13	S	2	<0,025	0,124	0,226	<0,027	<0,025	0,065	0,127	0,185	<0,100	<1,00
	M	1,7	<0,025	0,124	0,242	<0,027	<0,025	0,069	0,133	0,180	<0,100	<1,00
	F	1,4	<0,025	0,123	0,240	<0,027	<0,025	<0,059	0,061	0,106	<0,100	<1,00
St14	S	<1,0	<0,025	0,111	0,190	<0,027	0,032	0,083	0,146	0,153	0,130	<1,00
	M	1,3	<0,025	0,142	0,212	<0,027	<0,025	<0,059	0,054	0,082	<0,100	<1,00
	F	1,6	<0,025	ND	0,222	<0,027	<0,025	<0,059	0,055	0,097	<0,100	<1,00
St15	S	1,4	<0,025	0,191	0,418	0,058	<0,025	<0,059	0,257	0,385	<0,100	<1,00
	M	1,8	<0,025	0,173	0,284	0,033	<0,025	<0,059	0,194	0,333	<0,100	<1,00
	F	<1,0	<0,025	0,223	0,562	<0,027	<0,025	<0,059	0,155	0,276	<0,100	<1,00
St16	S	1,5	<0,025	0,198	0,420	0,048	0,027	0,086	0,331	0,417	<0,100	<1,00
	M	1,2	<0,025	0,123	0,272	0,037	<0,025	<0,059	0,183	0,312	<0,100	<1,00
	F	2,1	<0,025	0,157	0,298	<0,027	<0,025	<0,059	0,087	0,231	<0,100	<1,00

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Cr ^{VI}	Cr ^{-total}	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St18	S	1,6	<0,025	0,243	0,356	0,048	0,027	0,086	0,331	0,417	<0,100	<1,00
	M	2,3	<0,025	0,176	0,270	0,037	<0,025	<0,059	0,183	0,312	<0,100	<1,00
	F	1,4	<0,025	0,177	0,260	<0,027	<0,025	<0,059	0,087	0,231	<0,100	<1,00
St19	S	2,1	<0,025	0,252	0,256	0,048	0,027	<0,059	0,292	0,469	0,313	<1,00
	M	1,3	<0,025	0,204	0,238	0,030	<0,025	<0,059	0,194	0,326	<0,100	<1,00
	F	1,7	<0,025	0,232	0,278	<0,027	<0,025	<0,059	0,039	0,139	<0,100	<1,00
St20	S	<1,0	<0,025	0,143	0,256	0,031	<0,025	<0,059	0,172	0,304	0,148	<1,00
	M	<1,0	<0,025	0,161	0,240	<0,027	<0,025	<0,059	0,158	0,282	<0,100	<1,00
	F	1,1	<0,025	0,148	0,238	0,030	<0,025	<0,059	0,130	0,263	<0,100	<1,00
St21	S	1,6	<0,025	0,121	0,248	<0,027	<0,025	<0,059	0,061	0,145	0,467	<1,00
	M	1,8	<0,025	0,127	0,226	<0,027	<0,025	<0,059	0,159	0,281	<0,100	<1,00
	F	2,1	<0,025	0,123	0,344	0,027	<0,025	<0,059	0,159	0,299	<0,100	<1,00

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 2018 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
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
	Maximum	0,106	0,367	0,274	0,685	0,076	1,143	1,489	0,529	<0,050	0,660	0,918
	Moyenne	0,073	0,223	0,170	0,216	0,006	0,517	0,245	0,204	-	0,051	0,240
	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
	Maximum	0,095	0,397	0,247	0,473	0,033	1,426	0,644	0,296	0,098	1,361	0,754
	Moyenne	0,078	0,149	0,108	0,206	0,004	0,866	0,360	0,159	0,011	0,193	0,252
	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
	Maximum	0,102	0,176	0,142	0,168	1,477	0,748	2,374	0,105	<0,050	<0,050	0,236
	Moyenne	0,084	0,040	0,033	0,063	0,174	0,358	0,357	0,027	-	<0,050	0,074
	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
	Maximum	0,078	0,307	0,181	0,158	0,106	0,462	1,201	0,691	<0,050	<0,050	0,078
	Moyenne	0,057	0,167	0,064	0,086	0,068	0,272	0,507	0,183	-	<0,050	0,021
	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
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
	Maximum	0,044	0,127	0,240	0,247	0,126	0,589	0,048	0,111	0,297	0,296	0,866
	Moyenne	0,024	0,051	0,080	0,086	0,051	0,162	0,034	0,063	0,103	0,106	0,215
	Ecart-type	0,009	0,033	0,060	0,057	0,030	0,126	0,009	0,025	0,075	0,073	0,200
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
	Maximum	0,091	0,139	0,166	0,242	0,118	0,282	0,091	0,161	0,977	0,139	0,712
	Moyenne	0,036	0,074	0,091	0,093	0,045	0,154	0,062	0,095	0,192	0,097	0,216
	Ecart-type	0,021	0,031	0,049	0,065	0,033	0,056	0,016	0,031	0,298	0,039	0,248
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
	Maximum	0,098	0,148	0,121	0,172	0,149	0,408	0,100	0,099	0,297	0,213	0,712
	Moyenne	0,021	0,058	0,048	0,057	0,034	0,205	0,039	0,040	0,083	0,073	0,216
	Ecart-type	0,029	0,036	0,036	0,054	0,038	0,135	0,026	0,024	0,078	0,077	0,248
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
	Maximum	0,034	0,102	0,097	0,263	0,077	0,154	0,073	0,089	0,294	0,104	0,712
	Moyenne	0,024	0,087	0,060	0,114	0,039	0,114	0,056	0,055	0,170	0,060	0,216
	Ecart-type	0,008	0,010	0,022	0,076	0,019	0,043	0,010	0,022	0,095	0,029	0,248

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
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
	Maximum	0,065	0,084	ND	0,063	<0,050	0,103	<0,050	0,112	<0,050	0,101	<0,050
	Moyenne	<0,050	0,056	ND	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	0,070	-	0,072	<0,050
	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
	Maximum	0,084	0,117	ND	0,059	<0,050	0,109	0,064	0,096	<0,050	0,101	0,080
	Moyenne	<0,050	0,059	ND	<0,050	<0,050	0,072	0,064 (n=1)	0,069	-	0,048	0,018
	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
	Maximum	<0,050	0,086	ND	0,203	<0,050	0,176	<0,050	0,156	<0,050	0,109	0,089
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,084	<0,050	0,057	<0,050	0,106	-	0,033	0,033
	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
	Maximum	<0,050	0,056	ND	0,084	<0,050	0,054	0,090	0,139	<0,050	0,061	<0,050
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,051	<0,050	<0,050	0,090 (n=1)	0,116	-	0,026	<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
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
	Maximum	2,40	1,76	2,48	0,70	1,50	1,77	1,76	1,67	0,59	1,81	1,70
	Moyenne	1,20	1,32	1,25	0,20	1,30	1,33	1,54	1,19	0,11	1,62	1,35
	Ecart-type	0,42	0,31	0,72	0,26	0,11	0,20	0,15	0,19	0,19	0,14	0,19
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
	Maximum	1,87	3,84	1,83	4,34	2,28	10,79	2,53	4,13	4,76	4,09	10,15
	Moyenne	1,16	1,98	1,05	1,44	1,71	3,49	1,99	2,08	1,29	2,58	2,45
	Ecart-type	0,35	0,82	0,51	1,28	0,35	2,97	0,31	1,02	1,54	0,73	2,90
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
	Maximum	3,02	4,31	3,15	2,65	3,07	5,89	3,31	4,46	2,92	4,18	4,23
	Moyenne	2,04	2,88	1,44	1,22	2,36	3,47	2,64	2,89	1,66	3,12	2,97
	Ecart-type	0,59	0,84	0,81	0,65	0,43	1,43	0,46	0,71	0,76	0,60	0,70
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
	Maximum	1,96	2,31	0,77	1,37	1,87	3,43	3,46	2,10	1,00	2,59	3,96
	Moyenne	1,54	1,83	0,72	0,71	1,63	2,40	2,27	1,82	0,66	2,01	2,35
	Ecart-type	0,38	0,39	0,03	0,45	0,26	0,61	0,64	0,24	0,24	0,36	0,89

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
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
	Maximum	4,36	4,59	7,43	4,76	4,45	3,02	7,33	7,54	18,55	7,85	10,78
	Moyenne	3,74	3,09	5,88	3,73	3,38	1,97	5,51	4,65	10,73	5,42	7,65
	Ecart-type	0,58	0,85	0,92	0,76	0,51	0,56	0,79	1,26	5,68	1,03	1,61
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
	Maximum	4,83	4,37	7,44	5,31	4,02	2,78	5,86	6,26	18,37	12,07	12,76
	Moyenne	3,80	3,59	6,21	4,40	3,07	1,66	5,36	4,38	9,32	6,72	6,66
	Ecart-type	0,79	0,42	0,74	0,58	0,78	0,59	0,40	0,96	6,14	2,46	3,19
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
	Maximum	4,08	4,25	7,16	4,57	4,48	4,22	8,62	6,13	20,46	10,35	8,41
	Moyenne	3,91	3,50	5,79	3,72	3,47	2,21	6,45	4,28	7,81	7,16	6,29
	Ecart-type	0,13	0,49	0,68	0,49	0,57	0,72	0,90	1,01	4,87	1,89	1,11
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
	Maximum	4,50	4,20	7,19	6,87	4,70	2,69	6,45	3,92	12,51	9,40	8,24
	Moyenne	4,10	3,75	6,50	4,62	3,98	2,34	5,91	3,53	6,89	6,47	6,36
	Ecart-type	0,35	0,32	0,70	1,51	0,54	0,26	0,33	0,21	2,87	2,04	1,28

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
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
	Maximum	0,316	0,837	ND	0,204	0,205	0,361	0,321	NA	0,198	0,102	0,249
	Moyenne	0,187	0,512	ND	0,076	0,154	0,186	0,249	NA	0,141	0,057	0,192
	Ecart-type	0,046	0,159	ND	0,073	0,049	0,094	0,048	NA	0,032	0,033	0,033
Baies du Canal	Minimum	0,132	0,378	ND	0,017	0,012	0,039	0,204	NA	0,013	<0,050	<0,050
	Maximum	0,288	0,708	ND	0,230A	0,200	0,310	0,323	NA	0,280	0,110	0,241
	Moyenne	0,202	0,511	ND	0,110	0,118	0,213	0,255	NA	0,132	0,071	0,125
	Ecart-type	0,051	0,129	ND	0,065	0,066	0,083	0,042	NA	0,089	0,033	0,083
Baie du Prony	Minimum	0,171	0,533	ND	0,052	0,107	0,269	0,098	NA	0,064	0,065	0,071
	Maximum	0,277	0,899	ND	0,158	0,240	0,709	0,288	NA	0,154	0,128	0,183
	Moyenne	0,207	0,684	ND	0,099	0,175	0,429	0,216	NA	0,118	0,091	0,132
	Ecart-type	0,034	0,103	ND	0,037	0,037	0,125	0,049	NA	0,029	0,018	0,035
Ile Ouen	Minimum	0,191	0,538	ND	0,059	0,067	0,257	0,176	NA	0,014	<0,050	0,081
	Maximum	0,294	0,825	ND	0,083	0,182	0,523	0,293	NA	0,233	0,088	0,162
	Moyenne	0,227	0,688	ND	0,071	0,123	0,337	0,242	NA	0,095	0,067	0,131
	Ecart-type	0,058	0,109	ND	0,012	0,044	0,111	0,048	NA	0,077	0,033	0,031

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
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
	Maximum	21,69	16,19	54,98	NA	46,08	19,06	12,81	21,69	7,31	10,00	ND
	Moyenne	9,80	7,33	14,06	NA	11,30	8,27	6,72	9,80	5,28	8,17	ND
	Ecart-type	4,28	2,52	11,14	NA	10,27	4,37	2,50	4,28	1,25	1,42	ND
Baies Canal	Minimum	5,24	4,11	9,15	NA	9,03	4,58	5,40	5,24	3,53	5,00	ND
	Maximum	12,29	11,21	14,72	NA	28,96	20,96	10,12	12,29	28,93	15,00	ND
	Moyenne	6,71	6,92	11,55	NA	17,06	10,84	7,59	6,71	10,56	8,52	ND
	Ecart-type	1,98	1,94	1,88	NA	7,61	5,16	1,71	1,98	7,66	2,82	ND
Baie du Prony	Minimum	5,59	5,15	8,43	NA	7,18	4,54	4,94	5,59	4,08	5,00	ND
	Maximum	7,08	10,66	15,72	NA	14,65	22,66	13,60	7,08	10,38	13,33	ND
	Moyenne	6,28	6,69	12,98	NA	9,47	15,08	8,81	6,28	5,53	8,06	ND
	Ecart-type	0,44	1,62	2,79	NA	2,26	7,09	2,53	0,44	1,90	2,23	ND
Ile Ouen	Minimum	5,27	5,84	12,06	NA	9,20	4,86	7,98	5,27	5,31	5,83	ND
	Maximum	7,19	7,36	22,42	NA	20,19	19,78	14,55	7,19	22,82	13,33	ND
	Moyenne	5,90	6,46	17,70	NA	13,69	9,10	10,81	5,90	10,14	9,00	ND
	Ecart-type	0,78	0,55	4,09	NA	5,10	6,20	2,62	0,78	6,38	2,97	ND

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
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
	Maximum	1,321	3,280	0,510	1,208	1,274	3,020	0,989	0,853	0,653	0,936	0,832
	Moyenne	0,752	1,332	0,275	0,612	0,933	1,973	0,609	0,442	0,502	0,618	0,559
	Ecart-type	0,305	0,905	0,112	0,215	0,217	0,557	0,200	0,202	0,116	0,124	0,134
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
	Maximum	1,187	1,140	0,514	0,875	1,301	2,779	1,038	0,849	0,936	0,946	1,223
	Moyenne	0,724	0,631	0,290	0,721	0,866	1,662	0,678	0,488	0,635	0,774	0,701
	Ecart-type	0,201	0,272	0,148	0,137	0,240	0,590	0,178	0,166	0,158	0,114	0,223
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
	Maximum	1,115	1,720	0,600	0,897	1,270	4,220	1,268	1,133	2,349	1,332	1,526
	Moyenne	0,876	0,658	0,298	0,654	0,862	2,214	0,943	0,790	0,929	0,901	0,692
	Ecart-type	0,105	0,423	0,118	0,158	0,172	0,719	0,221	0,188	0,469	0,221	0,274
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
	Maximum	0,813	4,580	0,358	1,251	0,813	2,695	0,918	0,817	1,776	0,855	0,879
	Moyenne	0,760	1,117	0,259	0,912	0,661	2,341	0,746	0,676	1,021	0,718	0,808
	Ecart-type	0,048	1,723	0,061	0,295	0,081	0,263	0,124	0,113	0,534	0,101	0,060

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
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
	Maximum	0,102	0,337	0,156	0,071	0,198	0,136	0,047	0,078	0,043	0,102	0,073
	Moyenne	0,071	0,087	0,098	0,034	0,063	0,082	0,027	0,048	0,031	0,057	0,055
	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
	Maximum	0,106	0,079	0,156	0,050	0,102	0,233	0,054	0,089	0,060	0,110	0,112
	Moyenne	0,088	0,054	0,104	0,036	0,062	0,103	0,033	0,067	0,040	0,071	0,076
	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
	Maximum	0,115	0,086	0,124	0,057	0,160	0,247	0,072	0,065	0,071	0,128	0,100
	Moyenne	0,094	0,063	0,109	0,040	0,070	0,111	0,047	0,052	0,051	0,091	0,049
	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
	Maximum	0,090	0,054	0,127	0,065	0,098	0,088	0,041	0,106	0,092	0,088	0,114
	Moyenne	0,086	0,045	0,104	0,040	0,060	0,082	0,035	0,079	0,054	0,067	0,073
	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
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
	Maximum	0,975	0,431	2,554	0,734	0,603	0,762	0,833	0,477	0,393	0,048	0,783
	Moyenne	0,442	0,321	1,028	0,396	0,420	0,379	0,287	0,374	0,257	NE	0,519
	Ecart-type	0,196	0,088	0,480	0,177	0,129	0,151	0,252	0,040	0,084	0,064	0,148
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
	Maximum	0,629	0,499	1,208	0,745	0,687	1,284	0,403	0,611	0,367	0,030	0,607
	Moyenne	0,455	0,350	0,930	0,482	0,511	0,416	0,230	0,402	0,277	NE	0,447
	Ecart-type	0,087	0,113	0,269	0,149	0,113	0,368	0,141	0,120	0,082	0,055	0,115
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
	Maximum	0,570	0,900	1,090	0,629	1,276	2,504	0,457	0,609	0,369	0,129	2,026
	Moyenne	0,396	0,351	0,755	0,348	0,446	0,644	0,280	0,408	0,259	NE	0,627
	Ecart-type	0,124	0,194	0,141	0,192	0,290	0,673	0,108	0,124	0,067	0,098	0,514
Ile Ouen	Minimum	0,428	0,237	0,602	0,046	0,278	0,100	0,125	0,332	0,121	NE	0,469
	Maximum	0,464	0,395	1,030	0,493	0,374	1,004	0,397	0,498	0,278	0,112	0,582
	Moyenne	0,441	0,282	0,806	0,326	0,319	0,489	0,242	0,405	0,229	NE	0,498
	Ecart-type	0,020	0,060	0,147	0,213	0,039	0,390	0,110	0,061	0,060	0,084	0,043

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
Canal de la Havannah	Minimum	ND	1,18	ND	ND	1,13	1,29	1,00	1,30	0,33	1,80	1,10
	Maximum	ND	1,72	ND	ND	1,27	1,43	3,00	2,60	3,10	2,70	2,70
	Moyenne	ND	1,36	ND	ND	1,22	1,36	1,73	2,01	1,67	2,27	1,71
	Ecart-type	ND	0,15	ND	ND	0,04	0,05	0,59	0,38	0,72	0,27	0,45
Baies du Canal	Minimum	ND	0,93	ND	ND	1,16	0,74	1,00	1,45	0,33	1,50	1,30
	Maximum	ND	1,81	ND	ND	1,27	1,42	2,00	3,60	2,00	2,40	2,10
	Moyenne	ND	1,34	ND	ND	1,21	1,20	1,56	2,24	1,01	1,99	1,69
	Ecart-type	ND	0,25	ND	ND	0,03	0,23	0,53	0,65	0,68	0,28	0,31
Baie du Prony	Minimum	ND	1,16	ND	ND	1,07	1,01	1,00	1,40	0,33	1,50	1,10
	Maximum	ND	1,55	ND	ND	1,19	1,30	2,00	3,00	2,10	2,60	2,30
	Moyenne	ND	1,40	ND	ND	1,13	1,21	1,60	2,34	1,49	2,02	1,72
	Ecart-type	ND	0,13	ND	ND	0,04	0,11	0,55	0,54	0,45	0,300	0,42
Ile Ouen	Minimum	ND	1,13	ND	ND	1,13	1,14	1,00	1,50	0,33	2,00	1,10
	Maximum	ND	1,33	ND	ND	1,25	1,32	2,00	2,80	2,30	2,40	2,00
	Moyenne	ND	1,22	ND	ND	1,18	1,26	1,83	1,83	1,37	2,13	1,50
	Ecart-type	ND	0,10	ND	ND	0,04	0,07	0,41	0,53	0,65	0,21	0,32

* : 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
Canal de la Havannah	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	<0,027	0,059	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,025	<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
	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
	Maximum	0,071	0,073	0,096	0,142	0,045	0,154	0,046	0,068	0,100	0,083	<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
	Ecart-type	0,021	0,024	0,030	0,051	0,012	0,060	0,013	0,008	0,029	0,019	-
Baie du Prony	Minimum	0,035	<0,027	<0,027	0,030	<0,027	<0,027	<0,027	0,027	0,039	0,031	0,030
	Maximum	0,073	0,060	0,038	0,105	0,044	0,054	0,068	0,045	0,086	0,048	0,058
	Moyenne	0,050	0,031	<0,027	0,049	0,032	<0,027	0,039	0,033	0,053	0,036	0,039
	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
	Maximum	0,033	0,132	0,048	0,112	0,042	0,034	0,033	<0,027	0,040	<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)
	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
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
	Maximum	0,112	0,184	0,140	0,105	0,166	0,171	0,104	0,129	0,125	0,165	0,144
	Moyenne	0,092	0,152	0,124	0,088	0,110	0,123	0,095	0,095	0,114	0,140	0,121
	Ecart-type	0,011	0,018	0,006	0,009	0,028	0,017	0,005	0,024	0,004	0,009	0,012
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
	Maximum	0,150	0,306	0,210	0,240	0,168	1,401	0,120	0,227	0,367	0,216	0,690
	Moyenne	0,105	0,189	0,139	0,128	0,137	0,403	0,107	0,148	0,162	0,168	0,238
	Ecart-type	0,018	0,055	0,031	0,052	0,022	0,489	0,009	0,038	0,083	0,023	0,187
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
	Maximum	0,182	0,426	0,220	0,205	0,272	0,907	0,151	0,217	0,229	0,218	0,252
	Moyenne	0,122	0,273	0,175	0,141	0,159	0,434	0,129	0,146	0,171	0,176	0,196
	Ecart-type	0,024	0,079	0,017	0,033	0,040	0,234	0,017	0,029	0,035	0,027	0,038
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
	Maximum	0,095	0,221	0,160	0,115	0,180	0,411	0,146	0,137	0,147	0,145	0,161
	Moyenne	0,089	0,193	0,142	0,108	0,137	0,287	0,115	0,120	0,127	0,139	0,137
	Ecart-type	0,006	0,026	0,015	0,007	0,031	0,063	0,019	0,013	0,013	0,006	0,016

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
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
	Maximum	0,157	0,462	0,180	0,206	0,339	0,496	0,202	0,230	ND	0,401	0,344
	Moyenne	0,129	0,287	0,145	0,150	0,179	0,219	0,132	0,154	ND	0,197	0,223
	Ecart-type	0,013	0,077	0,015	0,031	0,071	0,129	0,029	0,026	ND	0,083	0,039
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
	Maximum	0,189	0,361	0,230	0,304	0,272	1,604	0,303	0,263	ND	0,364	0,814
	Moyenne	0,139	0,280	0,160	0,199	0,172	0,451	0,171	0,179	ND	0,224	0,302
	Ecart-type	0,021	0,064	0,034	0,072	0,037	0,560	0,068	0,042	ND	0,061	0,203
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
	Maximum	0,191	0,712	0,250	0,260	0,270	1,333	0,198	0,226	ND	0,326	0,562
	Moyenne	0,155	0,404	0,198	0,204	0,175	0,641	0,144	0,175	ND	0,240	0,326
	Ecart-type	0,022	0,124	0,023	0,034	0,045	0,370	0,030	0,023	ND	0,047	0,096
Ile Ouen	Minimum	0,164	0,244	0,140	0,138	0,134	0,258	0,095	0,134	ND	0,161	0,226
	Maximum	0,207	0,361	0,170	0,178	0,203	0,737	0,148	0,165	ND	0,212	0,256
	Moyenne	0,180	0,304	0,153	0,155	0,169	0,379	0,124	0,153	ND	0,179	0,240
	Ecart-type	0,024	0,051	0,012	0,014	0,031	0,187	0,019	0,013	ND	0,018	0,010

* : 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
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
	Maximum	0,095	0,077	0,277	0,227	<0,025	0,178	0,027	<0,025	0,386	0,212	<0,025
	Moyenne	0,050	0,039	0,041	0,093	<0,025	0,057	<0,025	<0,025	0,039	0,155	<0,025
	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
	Maximum	0,069	<0,025	0,037	0,125	<0,025	0,320	0,077	<0,025	0,658	0,200	0,032
	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)
	Ecart-type	0,012	-	0,007	0,040	-	0,105	0,021	-	0,214	0,053	-
Baie du Prony	Minimum	0,042	<0,025	<0,025	<0,025	0,530	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,027
	Maximum	0,181	0,046	0,065	0,363	0,690	0,119	0,107	<0,025	0,298	0,535	0,027
	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
	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
	Maximum	0,060	0,038	0,025	1,206	0,290	0,127	0,041	0,043	0,122	0,030	<0,025
	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
	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
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
	Maximum	0,147	0,127	0,120	0,286	0,140	0,225	0,126	0,106	0,295	0,279	0,081
	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)
	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
	Maximum	0,388	0,238	0,130	0,371	0,091	0,118	0,215	0,110	0,148	0,489	0,177
	Moyenne	0,175	0,143	0,079	0,117	<0,068	<0,068	0,106	0,094	0,067	0,195	0,094
	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
	Maximum	0,172	0,104	<0,068	<0,068	<0,068	0,682	0,270	<0,068	0,110	<0,068	0,086
	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)
	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
	Maximum	0,217	0,261	0,130	0,101	<0,068	<0,068	0,202	0,095	0,167	<0,068	0,069
	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
	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
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
	Maximum	0,183	0,192	0,230	0,211	0,166	0,064	0,173	0,067	0,189	0,089	0,106
	Moyenne	0,105	0,100	0,107	0,113	0,101	0,047	0,088	0,046	0,063	0,054	0,061
	Ecart-type	0,023	0,043	0,066	0,031	0,040	0,010	0,032	0,015	0,044	0,016	0,027
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
	Maximum	0,514	0,466	0,690	1,432	0,373	1,606	0,264	0,352	0,446	0,405	0,151
	Moyenne	0,211	0,209	0,259	0,450	0,199	0,372	0,188	0,126	0,193	0,198	0,082
	Ecart-type	0,174	0,126	0,176	0,406	0,102	0,505	0,053	0,102	0,145	0,099	0,052
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
	Maximum	0,453	0,355	0,280	0,718	0,287	0,435	0,454	0,190	0,480	0,154	0,331
	Moyenne	0,276	0,229	0,149	0,370	0,217	0,157	0,266	0,121	0,271	0,102	0,183
	Ecart-type	0,068	0,081	0,048	0,149	0,045	0,130	0,117	0,036	0,101	0,031	0,082
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
	Maximum	0,222	0,247	0,460	0,366	0,340	0,237	0,370	0,151	0,264	0,163	0,159
	Moyenne	0,214	0,200	0,325	0,276	0,210	0,130	0,223	0,097	0,166	0,095	0,117
	Ecart-type	0,011	0,039	0,103	0,059	0,098	0,061	0,110	0,035	0,091	0,045	0,045

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
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
	Maximum	0,189	0,249	0,250	0,164	0,204	0,133	0,174	0,363	0,169	0,262	0,162
	Moyenne	0,126	0,143	0,133	0,117	0,127	0,097	0,111	0,096	0,097	0,130	0,093
	Ecart-type	0,020	0,063	0,061	0,021	0,043	0,023	0,031	0,079	0,037	0,043	0,032
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
	Maximum	0,486	0,713	0,620	0,869	0,391	2,991	0,318	0,458	0,692	0,545	0,155
	Moyenne	0,218	0,259	0,273	0,353	0,209	0,774	0,236	0,213	0,260	0,340	0,101
	Ecart-type	0,135	0,184	0,152	0,263	0,091	1,133	0,066	0,140	0,212	0,146	0,044
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
	Maximum	0,498	0,481	0,290	0,536	0,380	1,635	0,519	0,321	0,525	0,283	0,469
	Moyenne	0,357	0,321	0,208	0,374	0,324	0,461	0,344	0,219	0,348	0,231	0,311
	Ecart-type	0,067	0,093	0,040	0,074	0,037	0,423	0,117	0,060	0,098	0,038	0,087
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
	Maximum	0,242	0,309	0,460	0,363	0,352	0,498	0,356	0,215	0,309	0,306	0,299
	Moyenne	0,219	0,252	0,342	0,288	0,250	0,294	0,233	0,173	0,219	0,203	0,199
	Ecart-type	0,020	0,053	0,098	0,060	0,081	0,114	0,090	0,045	0,084	0,058	0,076