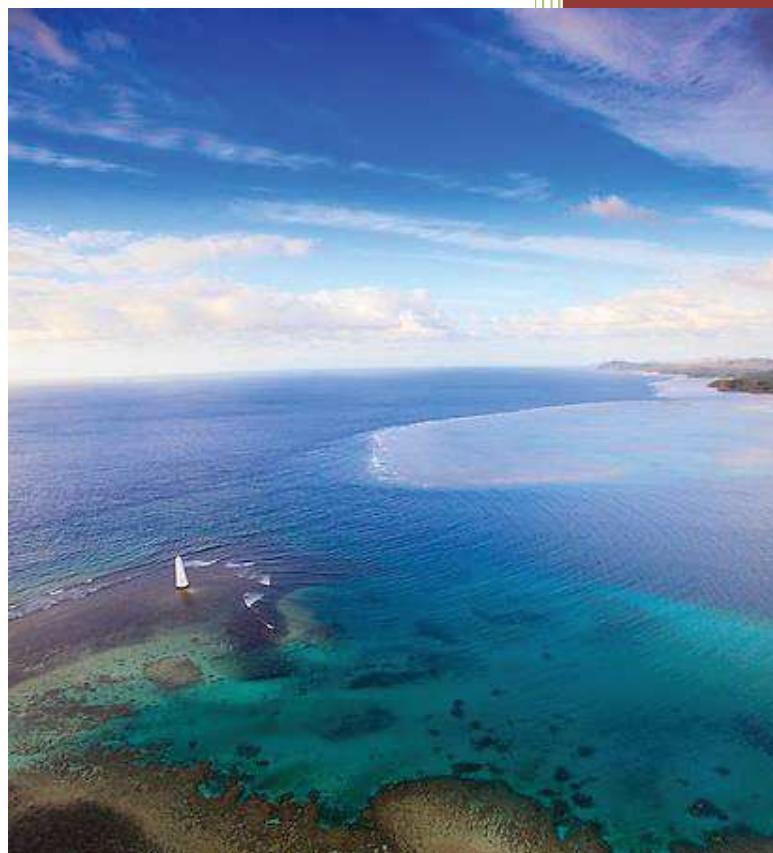




SUIVI DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE MER DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE

2nd semestre 2021



« Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique »

Rapport
Décembre 2021

Photo page précédente : Sébastien Mérion, Baie et phare de Goro

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 2021

	Ref AEL	Ref Client
Identification	138-VI-17-P	L36941/0001
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2 ^{eme} semestre 2021	
Auteurs		
Résumé	<p>La campagne semestrielle « saison fraîche » s'est déroulée du 3 au 5 août 2021. Elle a été marquée par une quasi-inexistence de précipitations avant et durant la campagne. Le faible volume d'eau douce rejeté par les rivières et creeks de la zone d'étude ne met que légèrement en évidence l'influence des apports d'eau douce provenant des creeks, au niveau des baies. Les profils physico-chimiques obtenus, peu contrastés, permettent toutefois de mettre en évidence l'influence des apports fluviaux aux stations ST06 et ST15.</p> <p>Les concentrations en éléments majeurs, stables dans l'eau de mer, ainsi que le pH restent semblables aux campagnes précédemment effectuées et sont homogènes entre les différentes zones étudiées.</p> <p>Lors de cette campagne, la distribution spatiale des concentrations en MES est très hétérogène avec une opposition entre la zone Ouest de la zone d'étude. Aucun gradient côte-large n'est mis en évidence, en revanche les valeurs de MES sont plus élevées que l'année précédente, en saison fraîche (0,93 mg/L cette année contre 0,61 mg/L en août 2020).</p> <p>La quantification des sels nutritifs montre des profils de répartition bien distincts avec les nitrates et nitrites retrouvés préférentiellement dans la couche de surface, l'ammonium dans la zone orientale, et les phosphates dans la partie occidentale, de même que les silicates. Quel que soit l'élément, aucune hétérogénéité n'est marquée sur la verticale.</p> <p>Les concentrations en matières organiques ne montrent pas, lors de la campagne de saison fraîche, de claire influence terrigène, comme cela avait déjà été le cas lors de la campagne de l'année précédente à la même saison.</p>	

APPROBATION

FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur			06/12/2021
Vérificateur 1			10/01/2022
Approbateur			24/01/2022

COPIE - DIFFUSION

NOM	ORGANISME
	Prony Resources, Département Environnement

Ce rapport est cité comme suit : Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie, 2nd semestre 2021, Drouzy, M., 138-VI-17-P

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	6
A.	CONTEXTE.....	6
B.	OBJECTIFS	6
II.	METHODOLOGIE	7
A.	SITE D'ETUDE.....	7
B.	ECHANTILLONNAGE.....	8
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES.....	9
III.	RESULTATS.....	11
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	11
B.	ELEMENTS MAJEURS ET pH	15
C.	MATIERES EN SUSPENSION	16
D.	SELS NUTRITIFS.....	18
E.	MATIERES ORGANIQUES.....	23
F.	METAUX DISSOUS	28
IV.	SYNTHESE	35
A.	METEOROLOGIE	35
B.	SELS NUTRITIFS	35
C.	METAUX DISSOUS	41
V.	CONCLUSION	48

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'est exercé, sans interruption, jusqu'à aujourd'hui sur un total optimisé de 14 stations (13 ICPE + 1 Vale-NC).

L'objectif consiste à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de mer. À 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 Prony Resources.

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvement du **2nd semestre 2021** (août 2021) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Prony Resources.

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 Prony Resources :

- 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 matières organiques, dissoutes et particulaires.

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

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

¹ Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007

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

II. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE

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

- **Canal de la Havannah** : ST02, ST05, ST07, ST09 et St21 influencées majoritairement par les apports océaniques ;
- **Baies du Canal** : ST03, ST06 et ST14 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks des baies adjacents ;
- **Baie du Prony** : ST15, ST16, ST18 et ST19 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks de la Baie du Prony ;
- **Île Ouen** : ST13 et St20 influencées à la fois par les apports en eaux douces et les apports océaniques.



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



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

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude E	Latitude S	
Basse Chambeyron	ST02	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	ST03	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	ST05	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	ST06	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif Iloro	ST07	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	ST09	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	ST13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	ST14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	ST15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	ST16	166° 53,300	22° 21,455	42
Prony Ilot Casy	ST18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	ST19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21	166° 55,501	22° 26,728	36

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Mia (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 03 au 5 août 2021.

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).

De la même manière que lors de la première campagne semestrielle, les opérations suivantes ont été réalisées :

- Enregistrements de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- Prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des concentrations en matières en suspension (MES) et en ions chlorures (Cl⁻), sulfates (SO₄²⁻), calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates et 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 (CrVI), 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 hydroclimatiques exercent une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de situer chaque prélèvement dans son contexte climatique, les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Prony Resources (Ancienne pépinière) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 4).

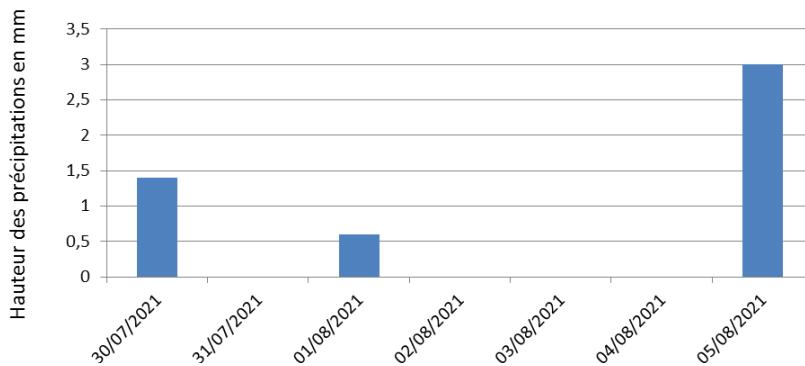


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées pendant les 3 jours précédant la campagne (30/07 au 02/08/2021) et pendant la campagne semestrielle (03 au 05/08/21). Données station météo France d'observation "Goro Usine".

Les conditions météorologiques sur la période précédant la campagne (du 31 Juillet ou 02 août 2021) sont caractérisées par un cumul de seulement 2 mm de précipitations et des vents de secteur Sud/Sud-Ouest dont la vitesse était comprise entre 1 et 7 m/s.

Sur la durée de la campagne semestrielle (03 au 5 août 2021), c'est un total de 5 mm de précipitations qui a été relevé (Figure 2) mais sur la seule journée du 05 Août, limitant sans doute leur influence sur les échantillonnages réalisés durant cette campagne. Les conditions de vent durant la campagne alternent selon un cycle journalier (Figure 3). Les vents sont plus intenses pendant la journée (de 3 m/s, soit 4,5 noeuds), et lorsqu'ils sont de secteur Sud-Ouest (3 Aout). Ils s'orientent dans un large secteur Nord à partir du 4 Août.

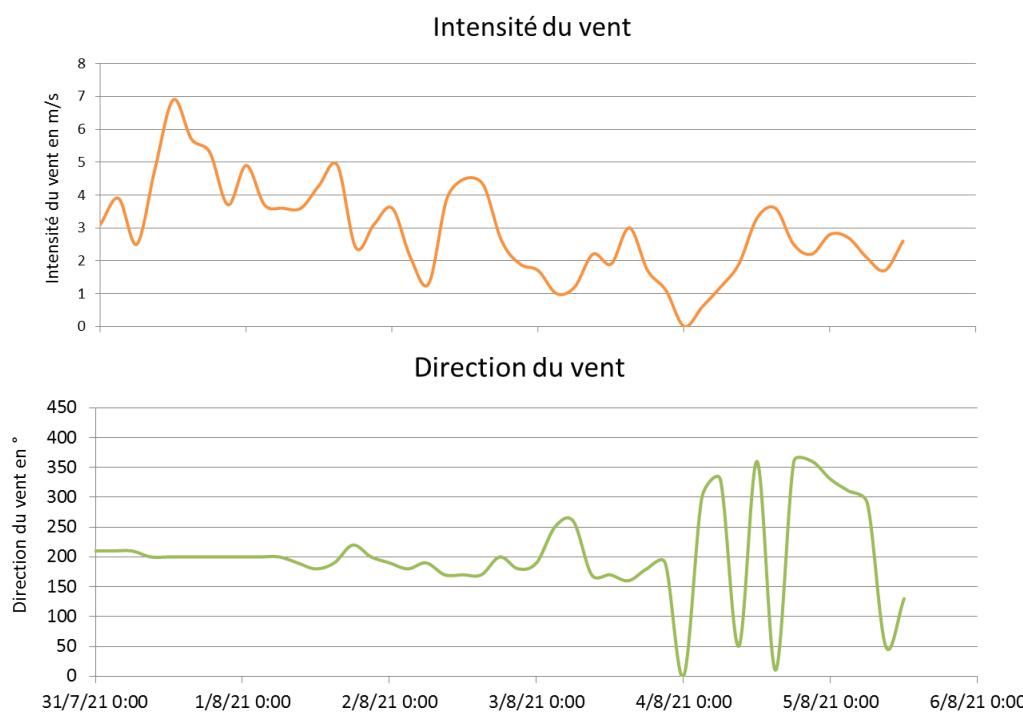


Figure 3 : Intensité et direction du vent soufflant avant et durant la campagne (Données Météo France, Goro Usine)

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

- Le 1^{er} jour, les stations des baies du Canal, celles du Canal de la Havannah et de Port boisé (ST07, ST09, ST02, ST05, ST14, ST06, et ST03) ont été prélevées lors de l'état de marée basse et au début de la marée montante.
- Le 2^{ème} jour, les prélevements ont été effectués à l'îlot Ugo (St21), l'île Ouen (ST13 et St20), en fin de marée descendante. En fin de matinée, la Baie de Prony avec les stations ST19, ST16, ST15, et ST18 ont été visitées pendant l'étale de marée basse et le début de la marée montante (Figure 4).

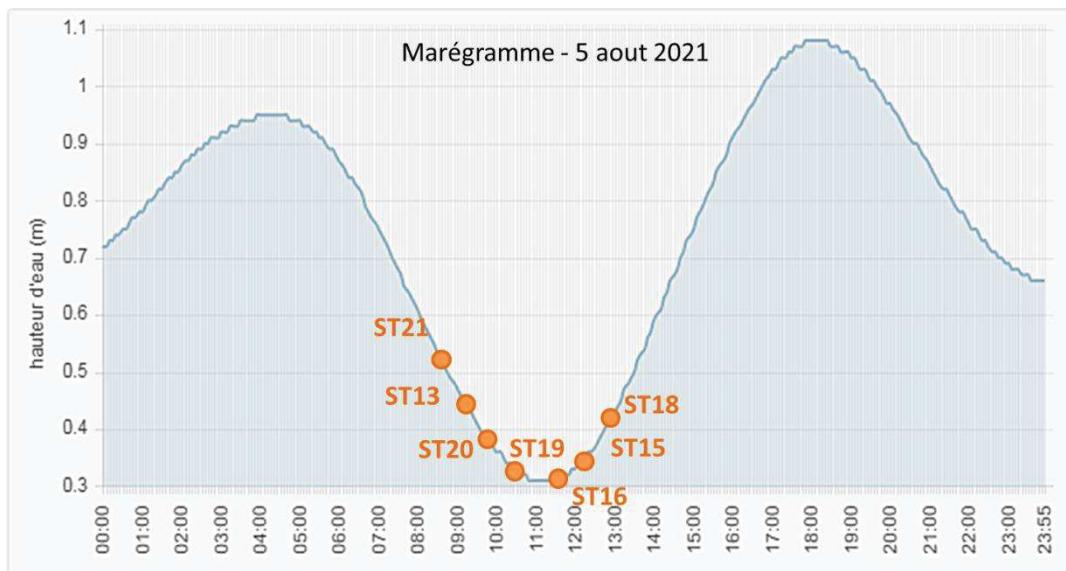
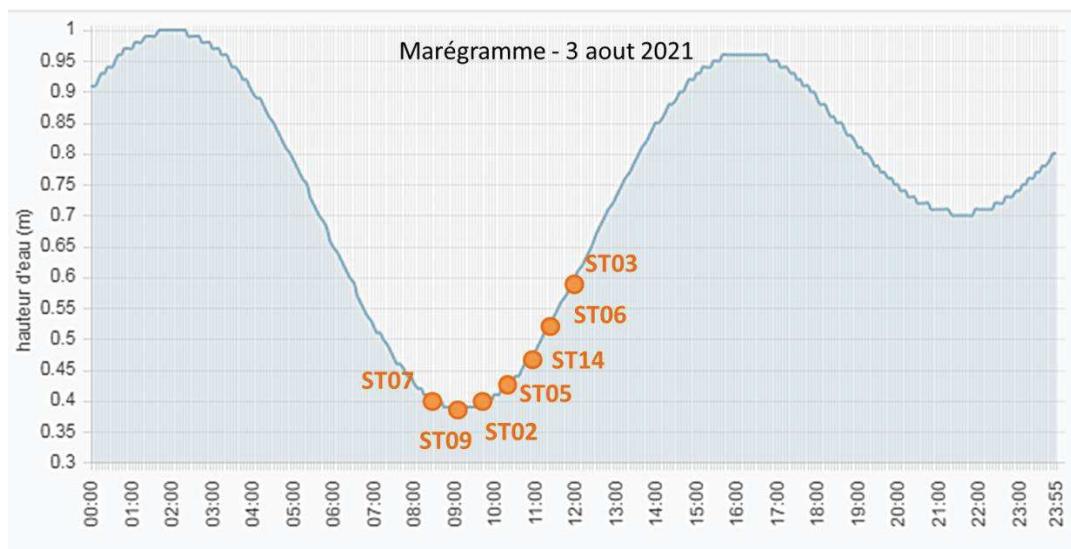


Figure 4: Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'août 2021 reportée sur les marégrammes du 3 et 5 août 2021.

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 les Tableau 2, Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8 et Annexe 2.

Tableau 2: Statistiques 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 2021.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Fluorescence	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Canal de la Havannah	Minimum	22,08	0,05	0,09	34,93
	Maximum	22,98	3,85	1,68	35,84
	Moyenne	22,66	0,32	0,33	35,33
	Ecart-type	0,23	0,14	0,13	0,05
Baies du Canal	Minimum	21,88	0,06	0,05	34,43
	Maximum	22,96	1,47	2,05	36,01
	Moyenne	22,29	0,40	0,62	35,26
	Ecart-type	0,27	0,15	0,31	0,14
Baie du Prony	Minimum	21,79	0,01	0,21	35,26
	Maximum	22,53	2,64	4,34	35,57
	Moyenne	21,92	0,44	0,85	35,37
	Ecart-type	0,09	0,23	0,48	0,05
Ile Ouen	Minimum	21,89	0,04	0,08	35,49
	Maximum	22,14	2,76	1,42	35,63
	Moyenne	22,03	0,36	0,62	35,52
	Ecart-type	0,11	0,16	0,12	0,01

1. Température

Spatialement, la température varie en fonction des stations considérées entre 21,8 et 23,0 °C, pour une moyenne inter-stations de $22,22 \pm 0,16$ °C (Figure 5). En 2020, la température moyenne était du même ordre de grandeur avec une moyenne de $22,66 \pm 0,60$ °C. Les zones d'étude aux eaux les plus chaudes sont une nouvelle fois enregistrées dans le Canal de la Havannah et les baies du Canal, (Tableau 2) comme l'année précédente à la même période. Les profils verticaux s'avèrent relativement homogènes pour une même zone, mais diffèrent d'une zone à l'autre.

Ainsi, les profils des stations du Canal de la Havannah montrent une diminution de température avec la profondeur, les stations des baies du Canal également à l'exception de la station ST06 dont le profil indique une intrusion d'eau plus froide entre 3 et 6 mètres. Les stations de la baie du Prony montrent une thermocline marquée dans les 5 premiers mètres. Les stations de l'île Ouen sont, quant à elles, caractérisées par des profils très homogènes sur la verticale.

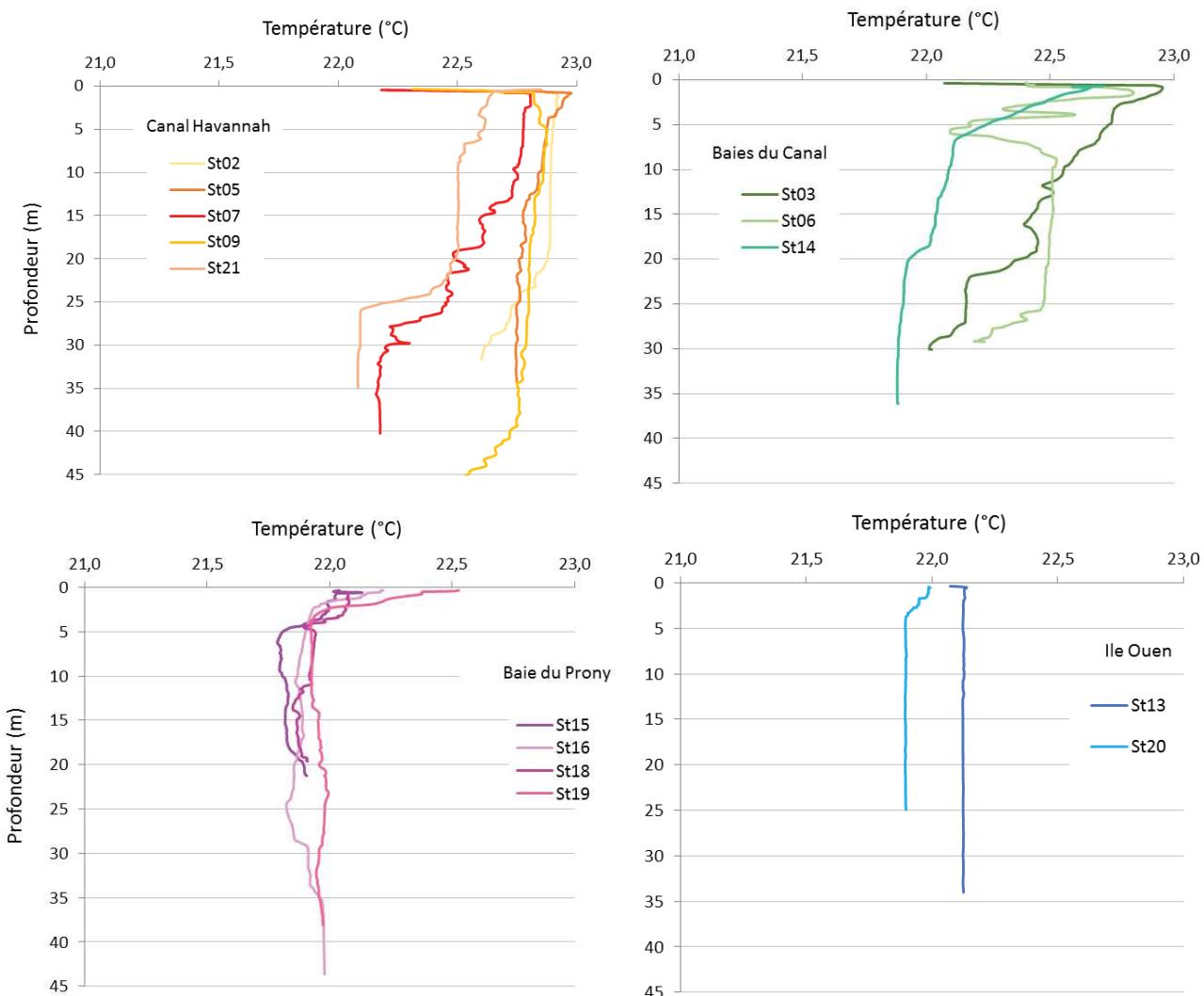


Figure 5: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

2. Salinité

La mesure de salinité interzones montre de très légères différences entre les zones d'étude puisque la moyenne globale est de $35,37 \pm 0,25 \text{ ‰}$.

La salinité moyenne calculée pour les stations proches de l'île Ouen est la plus importante ($35,63 \pm 0,01 \text{ ‰}$, Tableau 2). Les profils pour le paramètre « salinité » à ces stations sont également les plus homogènes, ne présentant quasiment aucun gradient vertical mis à part une légère augmentation dans la couche très superficielle. Le profil de salinité de la station ST06 du Canal, présente une importante halocline correspondant à l'intrusion en surface d'eau plus froide et dessalée due à l'apport de la rivière Kwé malgré les faibles précipitations des jours précédents. Les stations du Canal de la Havannah montrent, quant à elles, une légère augmentation de la salinité avec la profondeur.

Les stations ST15 et ST18 de la baie du Prony sont caractérisées par des haloclines marquées à 1 et 5 mètres de profondeur, respectivement.

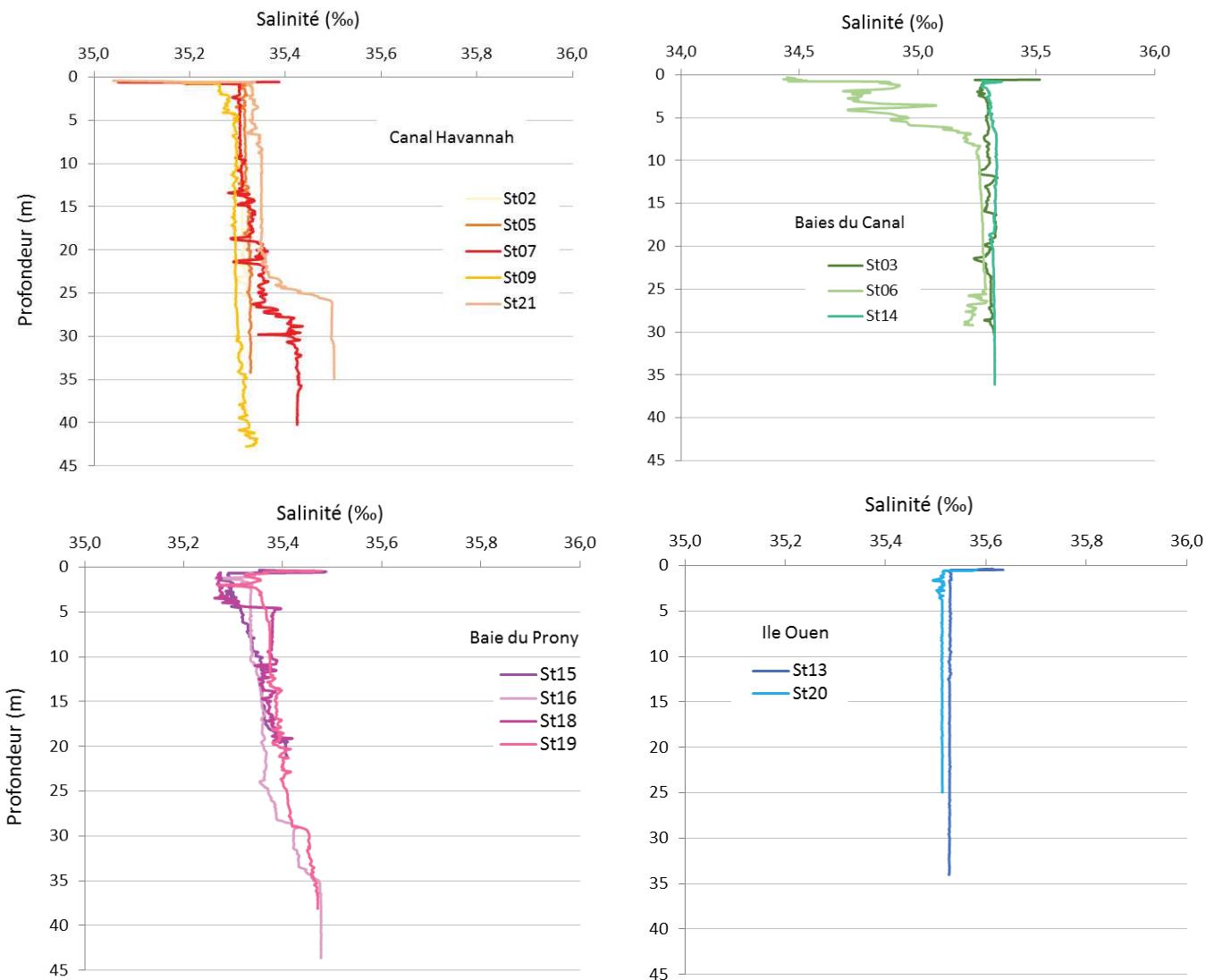


Figure 6: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

3. Fluorescence

Les valeurs de fluorescence moyennes sont très hétérogènes spatialement, variant selon les zones jusqu'à 23% (moyenne générale de $0,38 \pm 0,17 \text{ mg/m}^3$).

Les profils de fluorescence sont également très variables dans la colonne d'eau ; dans les stations du Canal de la Havannah, ils sont assez similaires ($0,32 \pm 0,14 \text{ mg/m}^3$) et évoluent tous vers une augmentation de la fluorescence avec la profondeur (Figure 7) jusqu'à 25m environ avant de se stabiliser. La fluorescence dans les baies du Canal augmente plus radicalement encore avec la profondeur (+0,2 à +0,7 mg/m^3 pour ST03). Cette augmentation indique une biomasse phytoplanctonique particulièrement importante entre 10 et 20m de profondeur pour la station de Port Boisé, comme cela avait déjà été remarqué l'année précédente à la même saison.

Des pics de fluorescence sont observés en ST15 et ST16 (Creek de la Rade Nord et Port de Prony), vers 10 et 20 mètres de profondeur respectivement. À proximité de l'île Ouen, les variations avec la verticale sont moins importantes, de l'ordre de celles observées dans le Canal de la Havannah. La tendance est encore une fois à l'augmentation jusqu'à une certaine profondeur, puis à la stabilisation dès 15 m de profondeur.

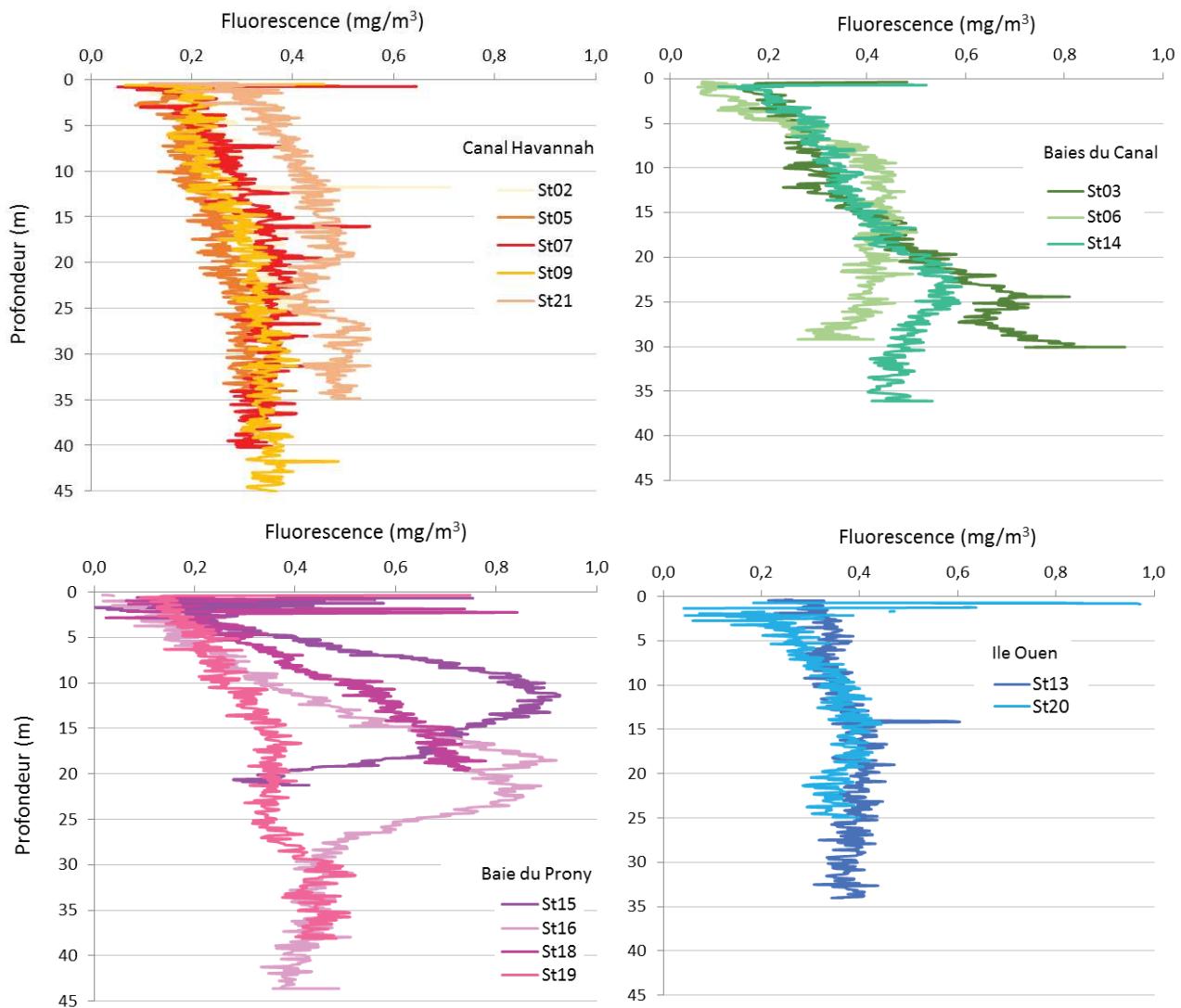


Figure 7: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

4. Turbidité

Les profils de turbidité apparaissent relativement constants sur la verticale (Figure 8) mais dans différentes gammes de valeurs en fonction de la zone considérée. La turbidité moyenne maximale est obtenue pour les baies du Prony ($0,85 \pm 0,48$ mg/L) tandis que la turbidité moyenne minimale est calculée pour les stations du Canal de la Havannah ($0,33 \pm 13$ mg/L). Les stations de l'Île Ouen et des baies du Prony sont dans des gammes de valeurs intermédiaires avec une turbidité moyenne de 0,62 mg/L. Seuls deux profils de turbidité indiquent une augmentation de la MES dans la colonne d'eau, il s'agit de la station ST06 (pic entre 3 et 8 m) et de la station ST15 (pic entre 7 et 10 m).

Ces augmentations sont reliées à des dessalures de la colonne d'eau et indiquent un apport de matières terrigènes par les cours d'eau proches des stations respectives.

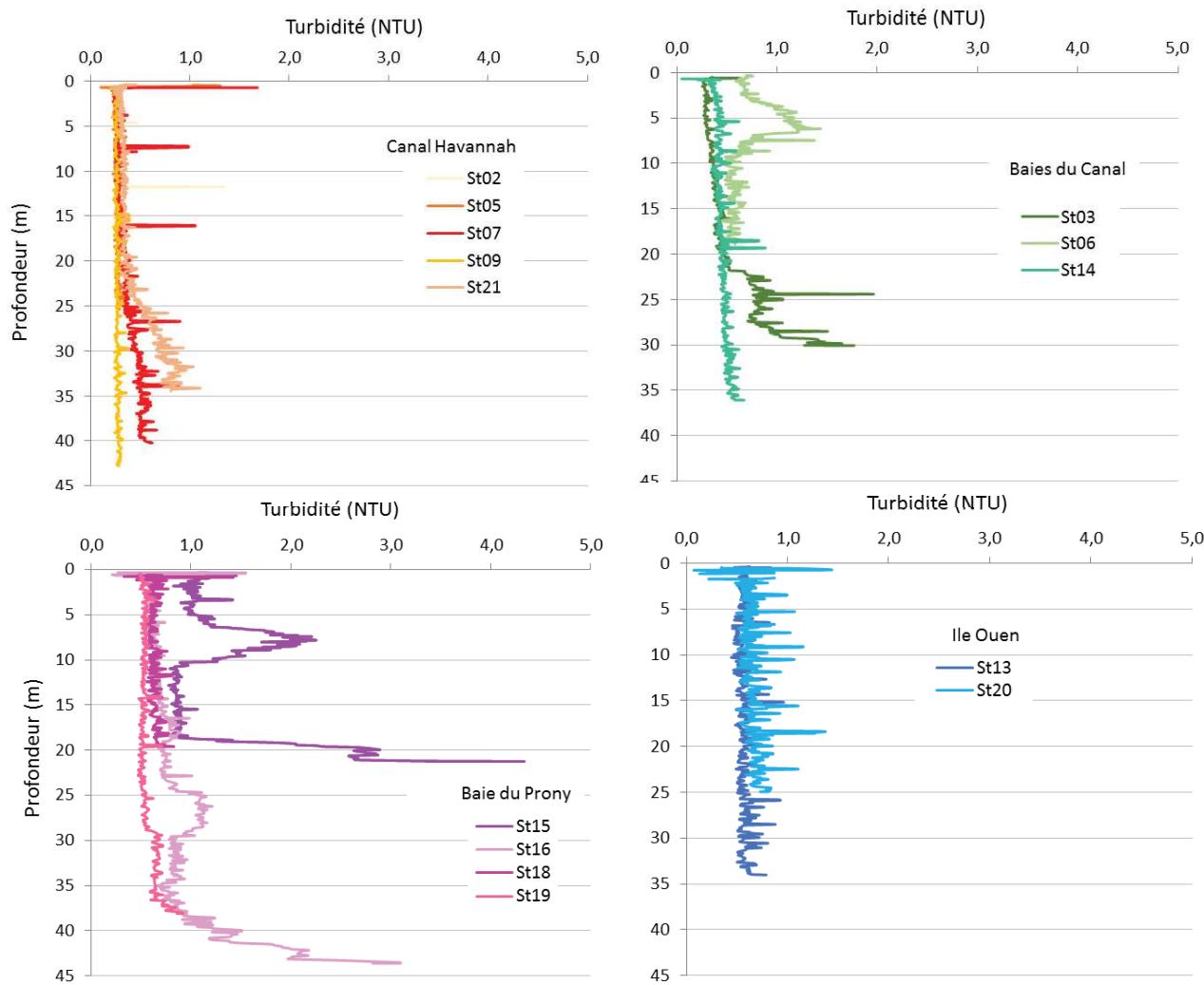


Figure 8: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques, sont peu contrastées et donc difficilement interprétables au regard des conditions météorologiques à l'occasion de cette campagne. En effet, le volume de précipitations relevé avant la campagne est faible. Toutefois, l'influence des apports d'eau douce provenant des creeks en régime d'étiage est perceptible pour les stations ST06 (Kwe) et ST15 (Rade du Nord), où les valeurs de salinité sont plus faibles et en corrélation avec des valeurs de turbidité plus importantes entre 5 et 10 m de profondeur.

B. ELEMENTS MAJEURS ET pH

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

Dans l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations en éléments majeurs sont très homogènes et restent dans le même ordre de grandeur que celles mesurées lors des précédentes campagnes (Tableau 3). Au regard des écarts-types, la zone de l'Île Ouen paraît présenter l'hétérogénéité la plus marquée.

Le pH moyen est assez homogène sur l'ensemble de la zone d'étude ($8,17 \pm 0,03$) (Tableau 3) et montre des valeurs légèrement plus faibles que celles obtenues lors de la campagne précédente d'août 2020 ($8,21 \pm 0,03$).

Tableau 3 : Statistiques des concentrations en éléments majeurs et des valeurs du pH mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

Zone d'étude	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)				
			Ca	Cl	K	Mg	Na
Canal de la Havannah	Minimum	8,06	413	18790	488	1313	11056
	Maximum	8,28	445	20157	530	1414	12027
	Moyenne	8,21	431	19530	510	1367	11522
	Ecart-type	0,07	9	469	12	29	263
Baies du Canal	Minimum	8,17	415	18961	487	1319	11080
	Maximum	8,28	443	19815	534	1408	11883
	Moyenne	8,26	427	19454	506	1359	11432
	Ecart-type	0,03	8	301	13	27	243
Baie du Prony	Minimum	8,10	420	19132	495	1339	11237
	Maximum	8,13	451	19644	536	1426	12028
	Moyenne	8,12	439	19317	522	1393	11737
	Ecart-type	0,01	9	154	12	24	226
Ile Ouen	Minimum	8,07	421	19132	502	1345	11311
	Maximum	8,12	457	19473	544	1450	12265
	Moyenne	8,11	440	19274	523	1397	11775
	Ecart-type	0,02	15	168	17	41	380

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en éléments majeurs, stables dans l'eau de mer, ainsi que le pH restent semblables aux campagnes précédemment effectuées et sont 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 2021 sont représentées dans la Figure 9, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Les concentrations en MES se révèlent spatialement variables. La valeur la plus élevée a été mesurée en baie de Prony (ST16 à mi-profondeur) avec 3,202 mg/L, tandis que la valeur la plus faible a été obtenue dans le Canal de la Havannah (0,226 mg/l, station ST02 à mi-profondeur).

Tableau 4: Statistique des concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,226
	Maximum	2,392
	Moyenne	0,746
	Ecart-type	0,602
Baies du Canal	Minimum	0,260
	Maximum	0,950
	Moyenne	0,554
	Ecart-type	0,222
Baie du Prony	Minimum	0,756
	Maximum	3,202
	Moyenne	1,449
	Ecart-type	0,728
Ile Ouen	Minimum	0,532
	Maximum	1,534
	Moyenne	1,009
	Ecart-type	0,328

La concentration moyenne la plus élevée a été obtenue pour la zone de la baie du Prony, atteignant une valeur de $1,449 \pm 0,728$ mg/L (Figure 9). Viennent ensuite les stations de l'Ile Ouen, avec une moyenne de $1,009 \pm 0,328$ mg/L. On ne constate pour ces deux zones aucun gradient dans la répartition verticale des matières en suspension.

De manière inhabituelle, la valeur de MES moyenne des stations des baies du Canal de la Havannah est inférieure à celle du Canal lui-même, avec respectivement $0,554 \pm 0,222$ mg/L et $0,746 \pm 0,602$ mg/L.

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, la distribution spatiale des concentrations en MES est très hétérogène. On constate une opposition entre la zone Ouest de la zone d'étude, comprenant les stations de l'Ile Ouen et de la baie de Prony caractérisées par des concentrations en MES supérieures à la moyenne, et la zone Est, comprenant les stations du Canal de la Havannah et des baies périphériques, dont les concentrations en MES sont globalement inférieures à la moyenne. Aucun gradient côte-large n'est mis en évidence.

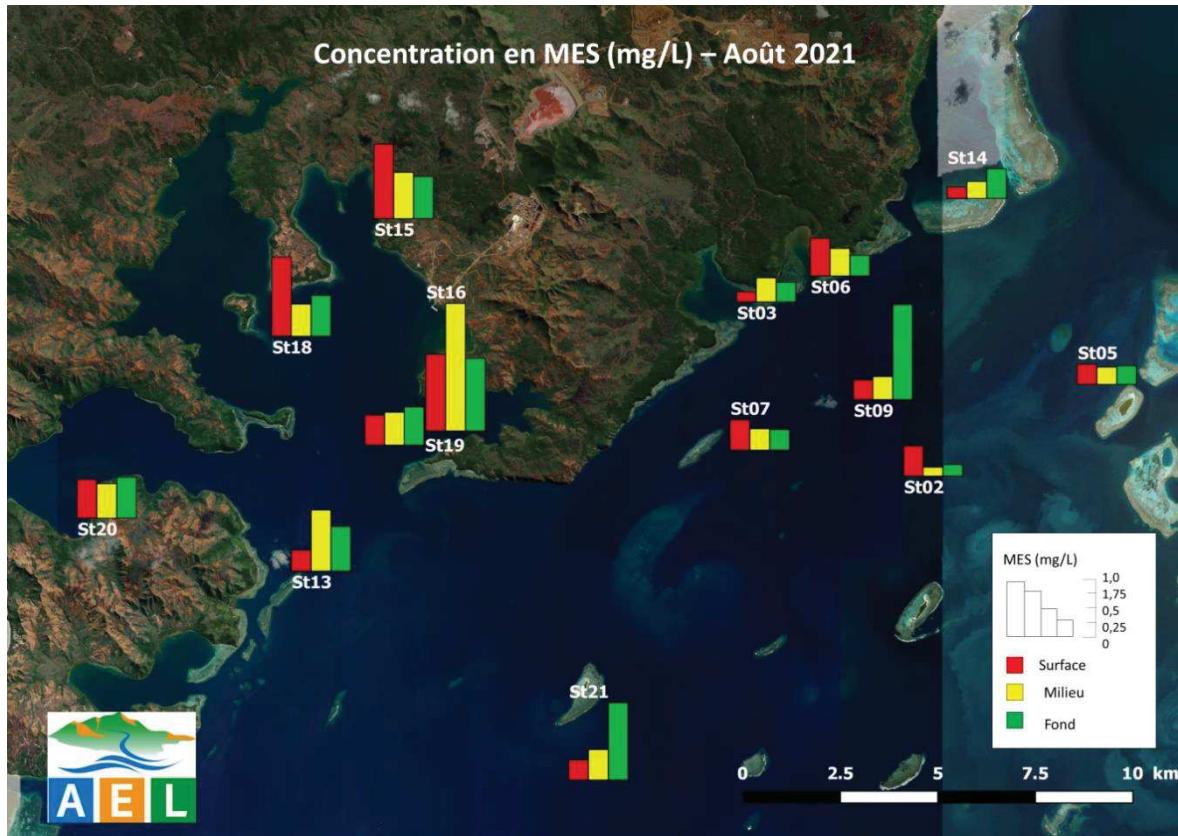


Figure 9: Distribution des concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

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 total, phosphore total et silicates. Ainsi, certains domaines d'application et limites de quantification ont évolué. Ces nouvelles mentions sont reportées en Annexe 1

Les concentrations en sels nutritifs de la campagne semestrielle d'août 2021 sont regroupées dans les Figures 10, 11, 12 ainsi que dans le Tableau 5 et l'Annexe 4.

1. Nitrates et nitrites

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

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

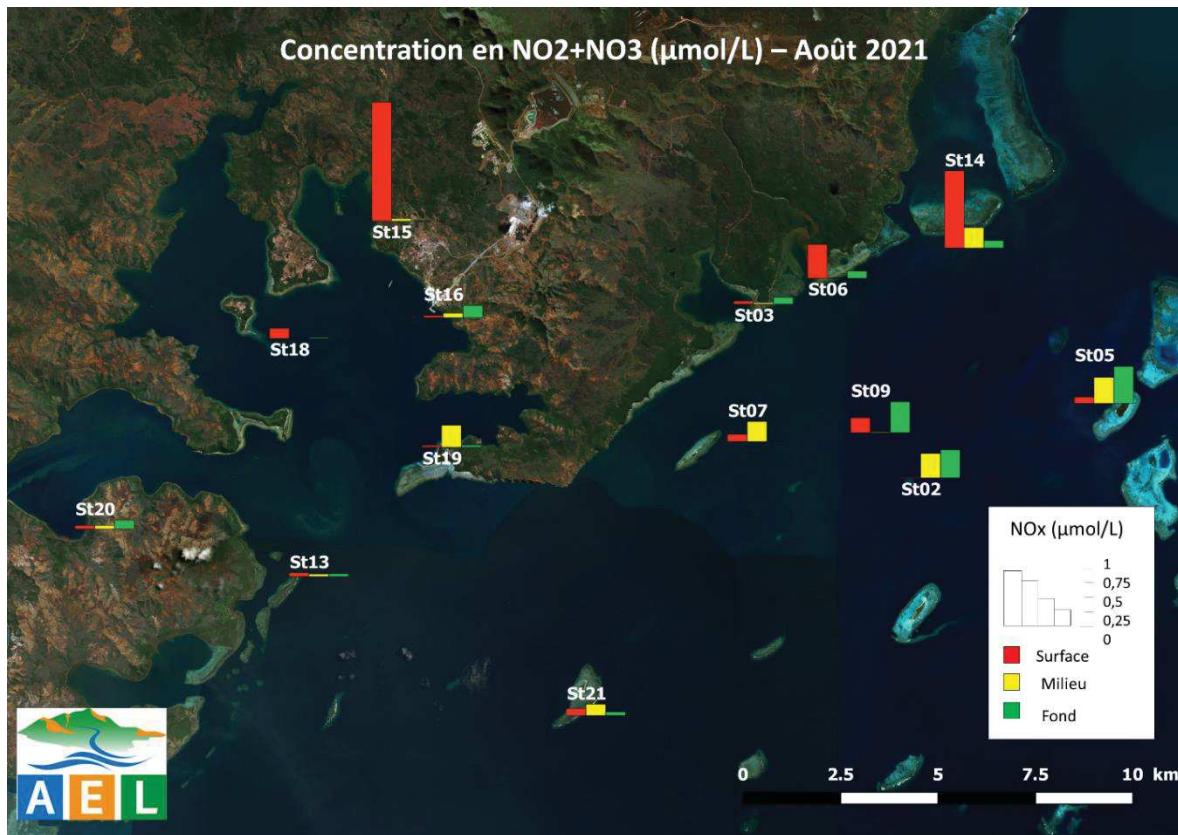


Figure 10: Distribution des concentrations en nitrates et nitrites (NO_3+NO_2) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

Lors de cette campagne, la concentration moyenne en NO_x est comparable à l'année précédente à la même saison ($0,19 \pm 0,30 \mu\text{mol/L}$ contre $0,20 \mu\text{mol/L}$). Contrairement à l'année 2020 en revanche, les concentrations en NO_3+NO_2 les plus fortes sont trouvées en surface des stations d'influence terrigène, pour une valeur maximale de $1,62 \mu\text{mol/L}$ en ST15. Plus qu'un gradient côte-large, on observe une influence terrigène sur les stations très littorales, uniquement dans les eaux de surface (Figure 10). Sur la verticale, aucun gradient lié à la profondeur n'apparaît vraiment, hormis le fait que les trois valeurs maximales enregistrées se trouvent en surface et non en profondeur comme l'année précédente à la même saison.

2. Ammonium

Rappel : Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréptions animales 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 nmol/L .

La répartition spatiale du NH_4 est hétérogène (Figure 11) sur l'aire d'étude. La valeur maximale en NH_4 est enregistrée en profondeur de la station ST09 (Canal de la Havannah), suivie par des valeurs élevées en stations ST06, ST05 et en profondeur de la station ST15. Globalement, la partie orientale de l'aire d'étude semble plus soumise aux fortes valeurs d'ammonium, malgré une forte valeur en profondeur de la Rade Nord (ST15).

La partie occidentale de l'aire d'étude s'avère plus pauvre en ammonium que la partie orientale, à l'inverse de l'année précédente à la même période. La moyenne, toutes stations confondues, des concentrations en ammonium s'élève à $0,17 \mu\text{mol/L}$, contre $0,20 \mu\text{mol/L}$ à la même époque en 2020, mais elle se caractérise cette année par une grande hétérogénéité.

On constate une prépondérance des fortes accumulations de NH₄ à mi-profondeur, car l'ammonium tend à s'accumuler dans les couches profondes, par chute gravitationnelle des particules détritiques d'origine biologique.

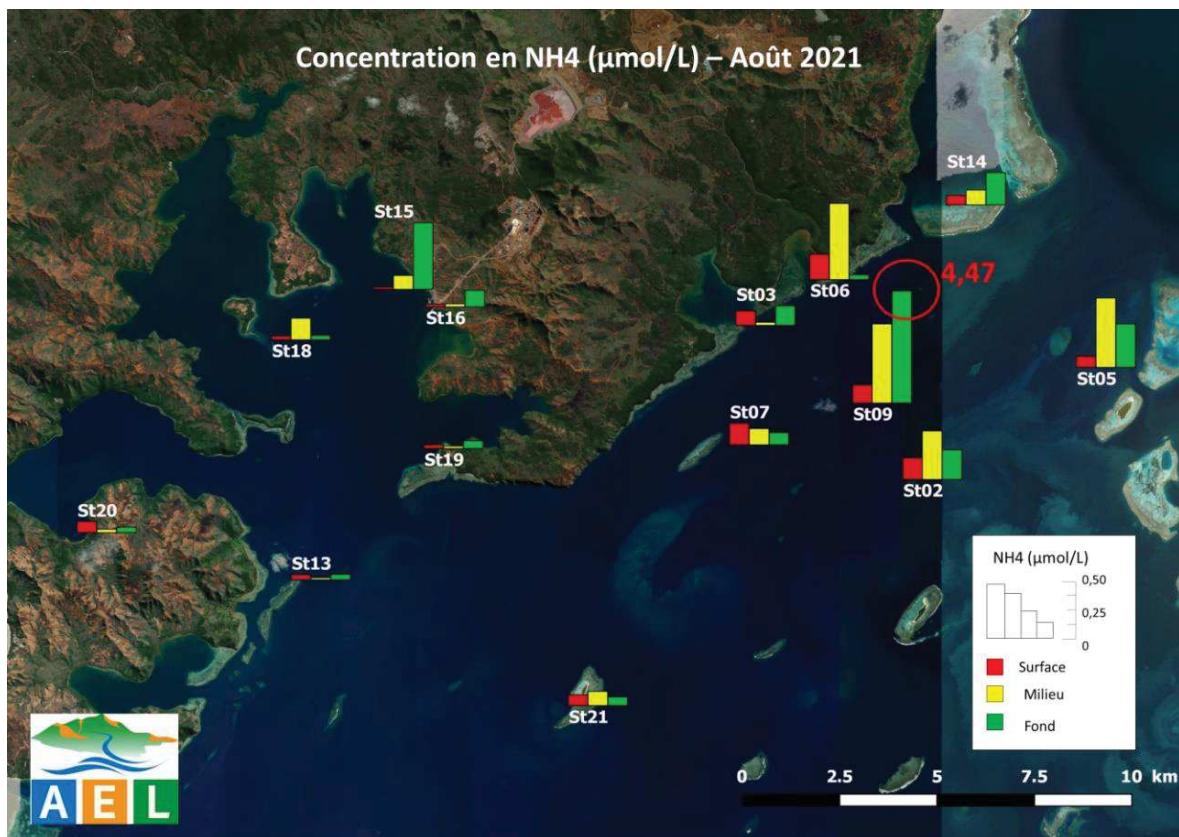


Figure 11: Distribution des concentrations en ammonium (NH₄) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021

3. Phosphates

Rappel : Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO₄²⁻). 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.

La répartition des ions phosphates s'oppose à celle de l'ammonium avec une présence majoritaire dans la partie occidentale de la zone d'étude (Figure 12). La plus faible concentration moyenne est obtenue pour les stations des baies du Canal (Tableau 5), et la concentration moyenne toutes stations confondues s'élève à 0,03 ± 0,02 μmol/L.

Hormis cette répartition spatiale pouvant s'expliquer par l'hydrodynamique moins intense des zones de la baie du Prony et de l'île Ouen, et donc une stagnation plus importante des ions orthophosphates, aucun gradient vertical ordonné ne peut être mis en évidence.

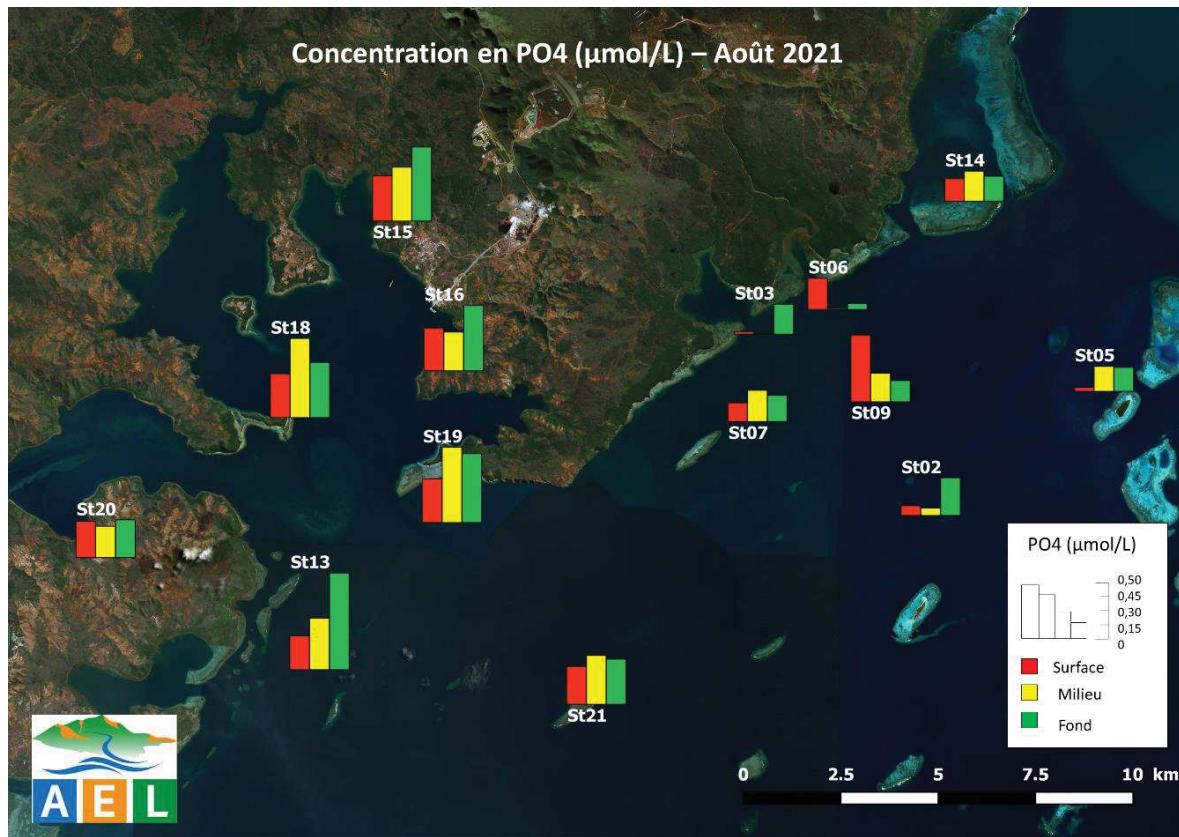


Figure 12 : Distribution des concentrations en phosphates (PO₄) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

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 (SiO₄2-), 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 Figure 13 représente la répartition des concentrations en silicates dans l'air d'étude.

La moyenne globale toutes stations et toutes profondeurs confondues s'élève à 1,71 μmol/L, soit plus de deux fois moins que lors de la saison chaude 2021 (4,18 μmol/L) ; leur présence est majoritaire en baie du Prony et dans les zones environnantes (ST19 et ST13). En effet, avec une concentration moyenne presque deux fois supérieure (2,725 μmol/L) à la moyenne globale, la baie du Prony semble être un terrain favorable à l'accumulation du SiO₄, soit par une activité biologique accrue, soit par altération des roches des bassins versants de la baie ou une combinaison des deux. Parmi les stations des baies du Canal, la seule valeur se distinguant est celle des eaux de surface de la station ST06, en baie Kwé. Cette observation conforterait l'origine tellurique des silicates amenés au lagon. Toutefois, une circulation hydrodynamique plus faible dans les baies peut aussi expliquer les valeurs plus fortes par stagnation.

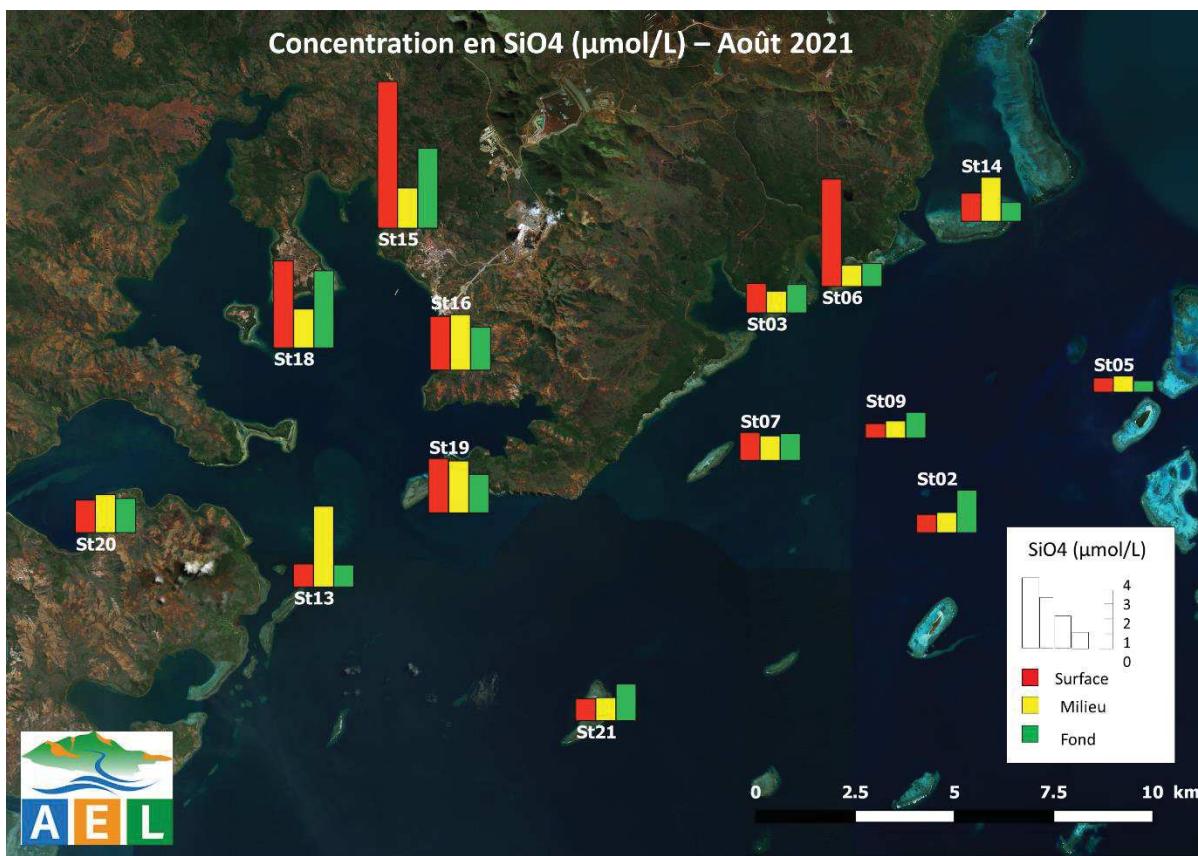


Figure 13 : Distribution des concentrations en silicates ($\text{Si}(\text{OH})_4$) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

Tableau 5 : Statistiques des concentrations en sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs ($\mu\text{mol/L}$)			
		$\text{NO}_3 + \text{NO}_2$	NH_4	PO_4	SiO_4
Canal de la Havannah	Minimum	0,009	0,116	0,003	0,490
	Maximum	0,508	1,469	0,053	1,820
	Moyenne	0,200	0,453	0,023	0,973
	Ecart-type	0,168	0,401	0,013	0,364
Baies du Canal	Minimum	0,008	0,041	0,000	0,810
	Maximum	1,052	0,996	0,025	4,580
	Moyenne	0,240	0,292	0,013	1,531
	Ecart-type	0,338	0,291	0,011	1,186
Baie du Prony	Minimum	0,000	0,031	0,031	1,640
	Maximum	1,622	0,875	0,063	6,240
	Moyenne	0,203	0,164	0,046	2,725
	Ecart-type	0,456	0,239	0,012	1,313
Ile Ouen	Minimum	0,036	0,030	0,025	0,940
	Maximum	0,122	0,147	0,077	3,440
	Moyenne	0,058	0,072	0,038	1,642
	Ecart-type	0,032	0,040	0,020	0,923

Ce qu'il faut retenir :

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

Tandis que les nitrates et nitrites montrent quelques valeurs élevées dans les baies et particulièrement dans la couche de surface, l'ammonium se distribue selon un axe Est-Ouest avec une prédominance dans la zone orientale, d'influence océanique. Les plus fortes concentrations en phosphates sont quant à elles mesurées dans la partie occidentale de la zone d'étude, aussi bien aux stations d'influence terrigène qu'océanique. Les silicates suivent grossièrement cette répartition. Quel que soit l'élément, aucune hétérogénéité n'est marquée sur la verticale

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations en matières organiques dissoutes et particulières mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2021 sont regroupées dans les Figures 12 à 16 ainsi que dans le Tableau 6 et l'annexe 5.

1. Azote et phosphore organiques dissous

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

La distribution spatiale de l'azote dissous est assez homogène sur l'ensemble de l'aire d'étude (Figure 14). Bien que les stations côtières de la baie du Prony et de l'île Ouen possèdent une moyenne plus élevée que les autres zones, on ne peut mettre en évidence aucun gradient « côte-large » car les stations côtières des baies du Canal présentent une concentration moyenne comparable à celle du Canal de la Havannah (Tableau 6). Les valeurs maximales par stations sont tantôt en surface, en profondeur ou à mi-profondeur ; le maximum est de 17 µmol/L en profondeur de la station ST18, proche de l'îlot Casy. La moyenne toutes stations confondues se situe à $6,11 \pm 3,02$ µmol/L, plus haute que l'année précédente à la même époque (4,56 µmol/L).

Le phosphore organique dissous (Figure 15) montre de forts écarts entre stations et profondeurs. La moyenne générale est de 0,12 µmol/L, mais l'écart type atteint est de 0,18 µmol/L.

Paradoxalement, la valeur maximale de phosphore dissous est observée en surface de la station ST05 (1,04 µmol/L), suivie de la station ST18 en profondeur (0,72 µmol/L) ; les plus fortes valeurs coïncident donc approximativement avec les plus fortes valeurs de NOD.

Les nombreuses très faibles valeurs indiquent que la totalité du phosphore, si mesurable, est trouvée sous forme particulaire et/ou de PO_4^{2-} , puisque le phosphore organique dissous est calculé par soustraction de ces deux formes à la concentration du phosphore total.

La répartition aléatoire du phosphore dissous dans la zone d'étude ne permet de distinguer aucun gradient « côte-large », ni aucun gradient vertical.

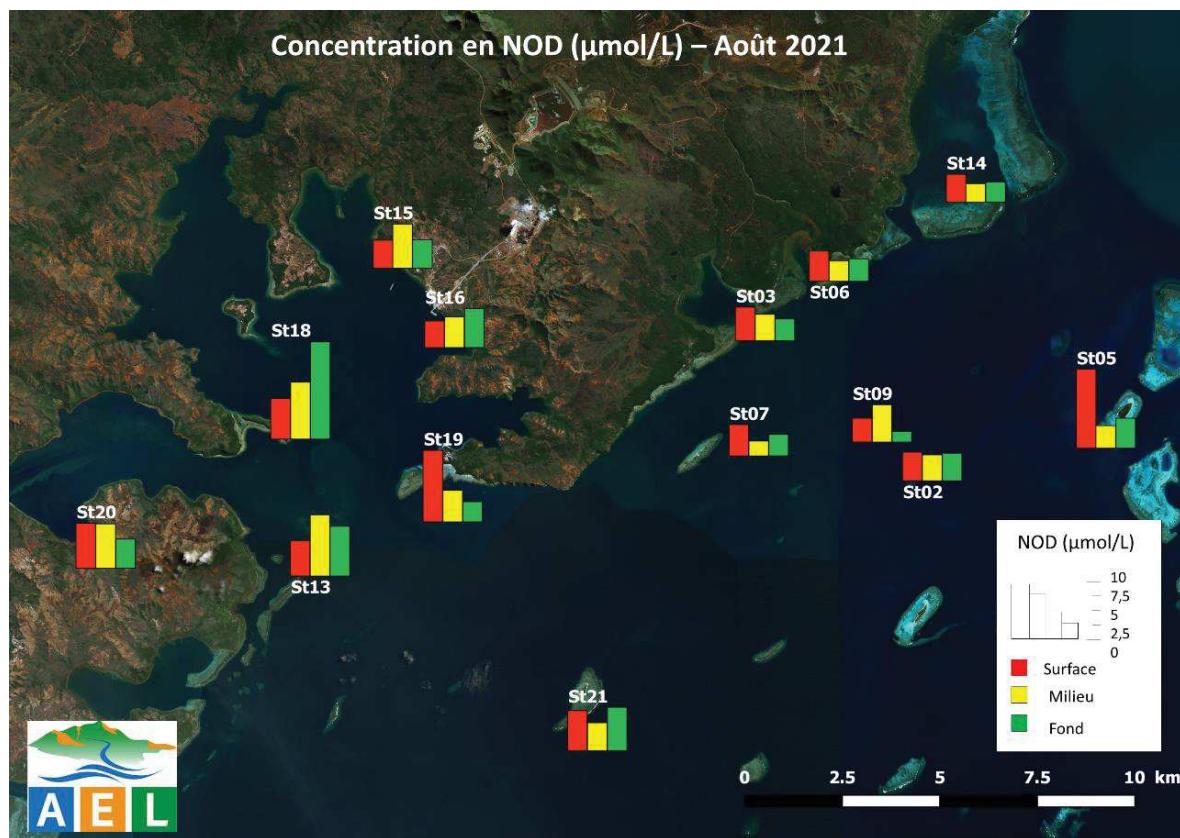


Figure 14 : Distribution des concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

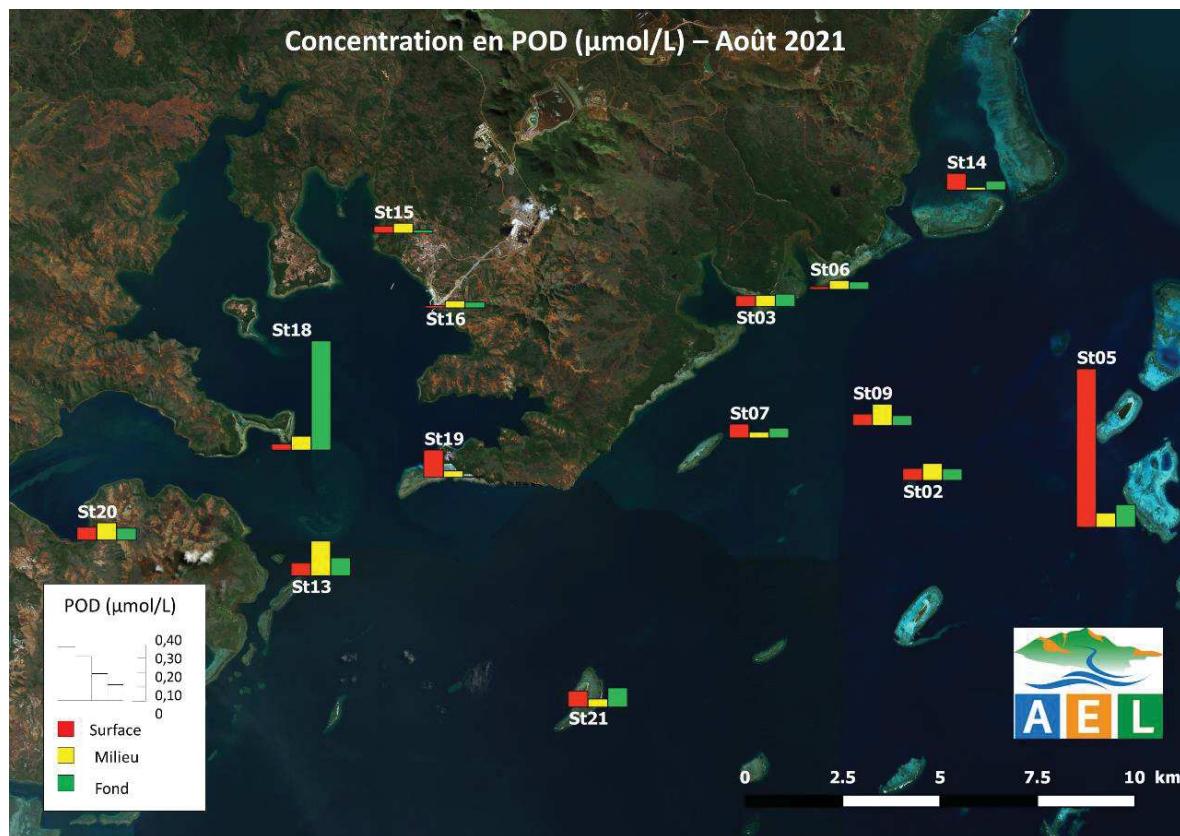


Figure 15 : Distribution des concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

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

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

L'azote organique sous forme particulaire est moins présent que sa forme dissoute puisqu'il atteint pour toute la zone d'étude une moyenne de $0,87 \pm 0,36 \mu\text{mol/L}$. De même que sa forme dissoute, l'azote particulaire est réparti de manière relativement homogène (Figure 16), avec des valeurs moyennes toutefois plus élevées pour les zones de la baie du Prony et de l'île Ouen (1,15 et 1,02 µmol/L respectivement, Tableau 6). La moyenne la plus faible est observée pour les stations des baies du Canal (0,62 µmol/L). Aucun gradient « côte-large » n'est établi clairement, ni avec la profondeur.

Les concentrations en phosphore organique particulaire (Tableau 6 et Figure 17) suivent tout à fait la distribution de l'azote organique particulaire. Les plus fortes valeurs sont trouvées aux mêmes stations et aux mêmes profondeurs, à peu d'exceptions près. La moyenne globale du phosphore organique particulaire est de $0,04 \pm 0,01 \mu\text{mol/L}$.

Le carbone organique particulaire (Figure 17) est présent sur la totalité du domaine avec une moyenne de $12,55 \pm 11,75 \mu\text{mol/L}$. Cette valeur moyenne est largement dépassée en deux points de prélèvement : stations ST18 au fond et ST13 à mi-profondeur (29,03 et 38,91 µmol/L, respectivement). De telles valeurs, bien que n'ayant été retrouvées que très épisodiquement, (136,65 µmol/L en ST06, Août 2020 ; 69,16 µmol/L en ST21, Août 2018 ; 34,71 µmol/L en ST06, Août 2016 ; 65,08 µmol/L en ST13, Août 2014 ...) sont toujours obtenues en profondeur. Une interprétation possible consisterait à attribuer cette augmentation avec la proximité des couches sédimentaires et un contact avec la bouteille de prélèvement au moment de l'échantillonnage. Toutefois, cette hypothèse ne s'applique pas à la valeur trouvée pour la station ST13 à mi-profondeur.

Les stations du Canal sont caractérisées par une moyenne en COP nettement inférieure aux autres aires de la zone d'étude.

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 2021.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)					
		NOD	NOP	POD	POP	COP	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	1,899	0,422	0,038	0,021	7,328	0,014
	Maximum	13,809	1,384	1,037	0,059	18,466	0,311
	Moyenne	5,429	0,739	0,154	0,036	11,589	0,200
	Ecart-type	2,763	0,306	0,246	0,011	3,796	0,074
Baie Canal	Minimum	3,259	0,457	0,018	0,024	7,573	0,112
	Maximum	5,896	0,834	0,108	0,049	10,111	0,323
	Moyenne	4,325	0,622	0,060	0,034	8,466	0,226
	Ecart-type	0,902	0,111	0,029	0,008	0,980	0,074
Baie du Prony	Minimum	3,537	0,770	0,006	0,034	10,751	0,078
	Maximum	17,008	2,253	0,715	0,062	29,029	0,514
	Moyenne	7,504	1,154	0,109	0,049	14,690	0,283
	Ecart-type	3,898	0,386	0,196	0,009	4,958	0,148
Île Ouen	Minimum	5,125	0,798	0,078	0,030	9,407	0,039
	Maximum	10,708	1,509	0,229	0,044	38,910	0,340
	Moyenne	7,727	1,015	0,118	0,035	15,464	0,183
	Ecart-type	1,949	0,258	0,057	0,005	11,556	0,108

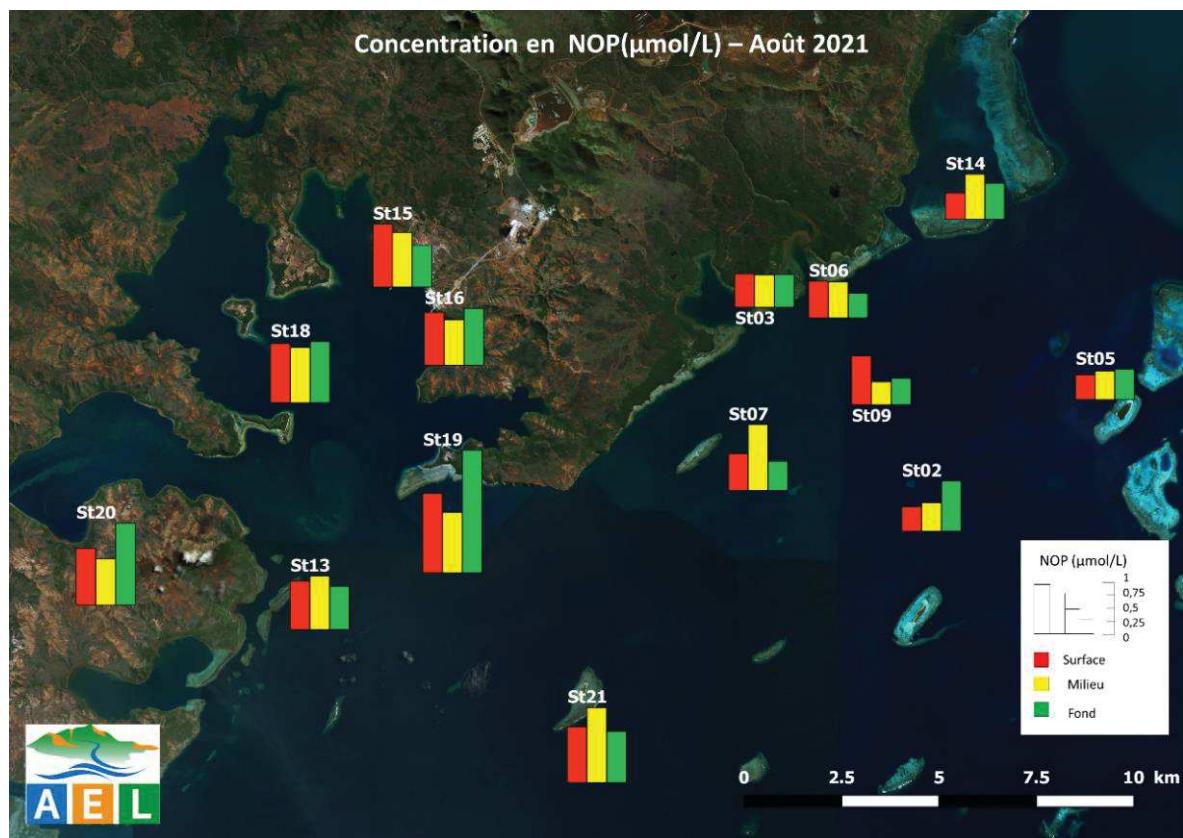


Figure 16: Distribution des concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

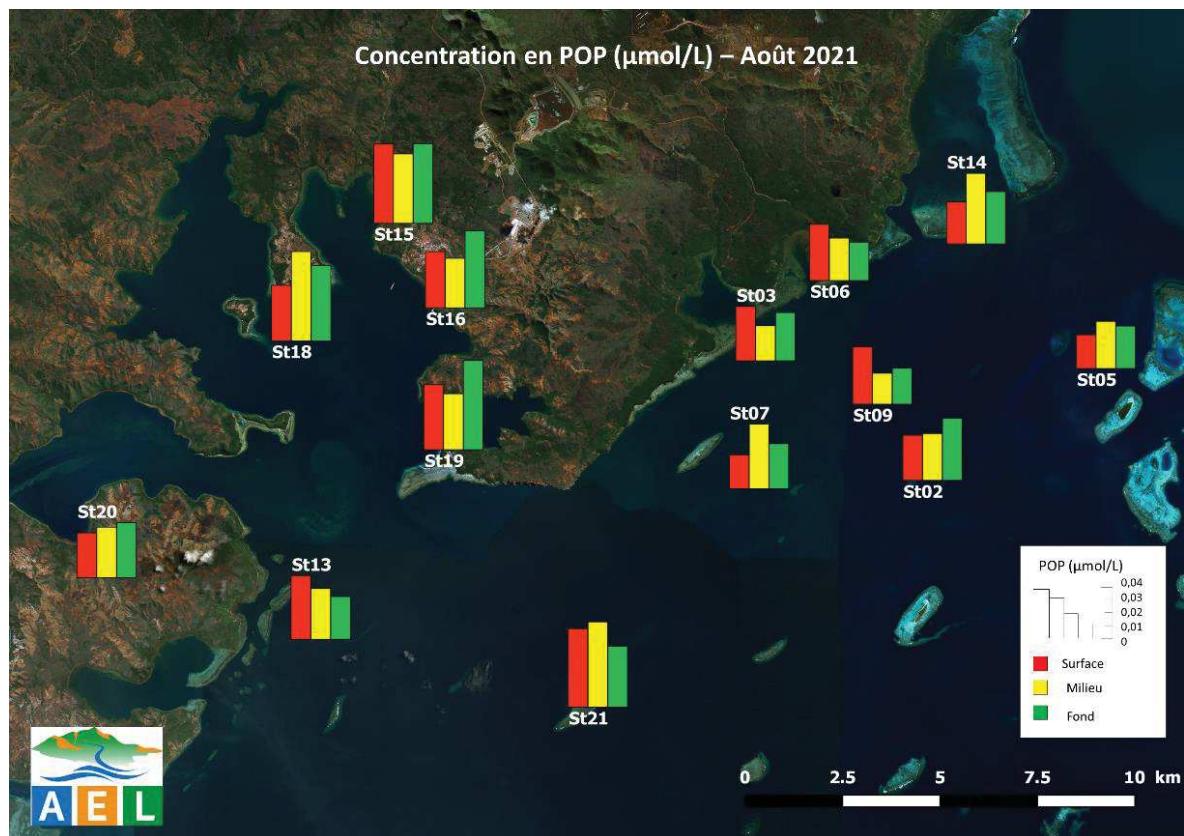


Figure 17 : Distribution des concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

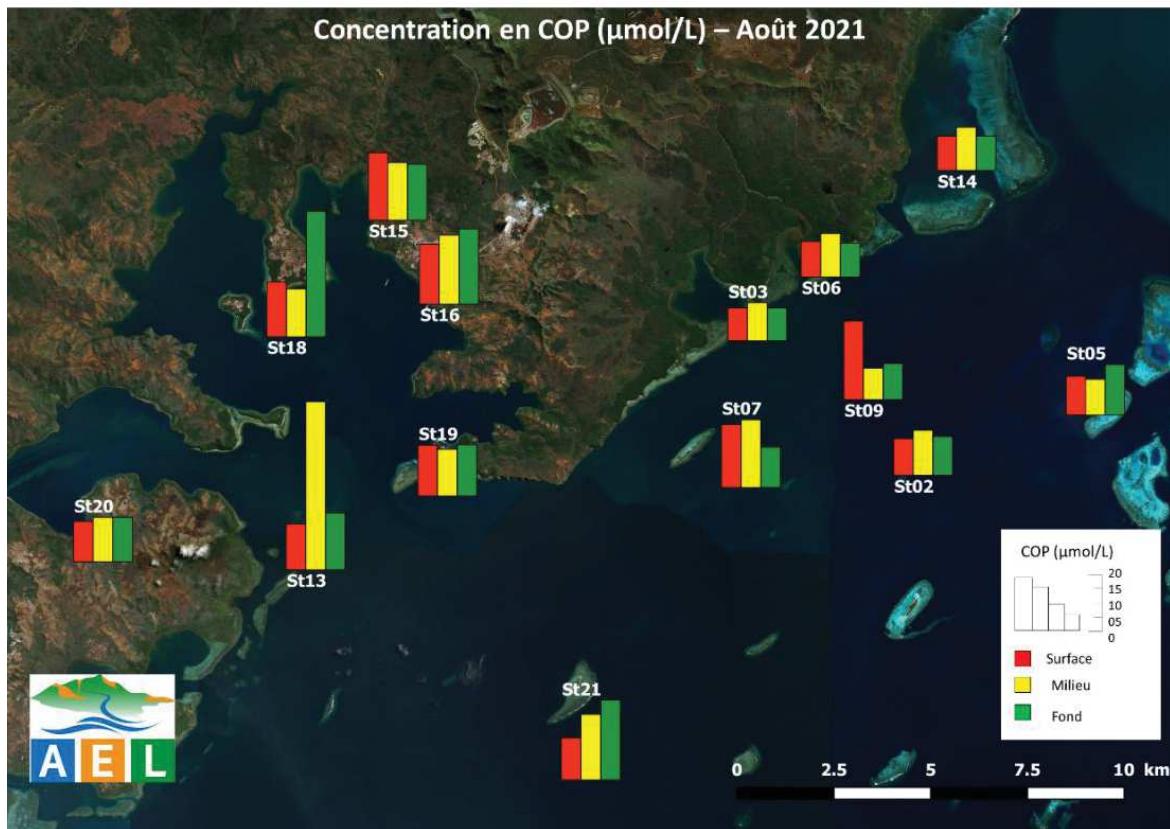


Figure 18 : Distribution des concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

3. Chlorophylle A

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

Les concentrations en chlorophylle-a déterminées lors de la campagne d'août 2021 sont représentées en Figure 19 et dans le Tableau 6, ainsi qu'en Annexe 5. Les valeurs en chlorophylle-a s'étalent entre 0,014 et 0,514 µg/L, avec une moyenne maximale de $0,283 \pm 0,148$ µg/L pour la zone du Prony. Les concentrations sont assez hétérogènes sur la verticale et montrent une tendance à l'augmentation avec la profondeur. Un faible gradient côte large est observé, avec une diminution de la chlorophylle avec la distance à la côte. L'année précédente à la même époque, le gradient observé était inverse. La moyenne globale des concentrations s'élève à 0,223 µg/L contre 0,140 µg/L en août 2020.

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en matières organiques ne montrent pas, lors de la campagne de saison fraîche, de claire influence terrigène, comme cela avait déjà été le cas lors de la campagne de l'année précédente à la même saison. Aucune répartition « côte-large » décroissante n'est franchement marquée lors de cette campagne qui n'est pas marquée par de fortes précipitations. De la même manière que pour les sels nutritifs, c'est plutôt une opposition Est-Ouest de la zone d'étude qui est observable. Les concentrations en chlorophylle-a sont peut-être les seules à marquer un gradient avec la distance à la côte, les concentrations moyennes maximales étant trouvées non loin de l'influence terrigène, dans les baies.

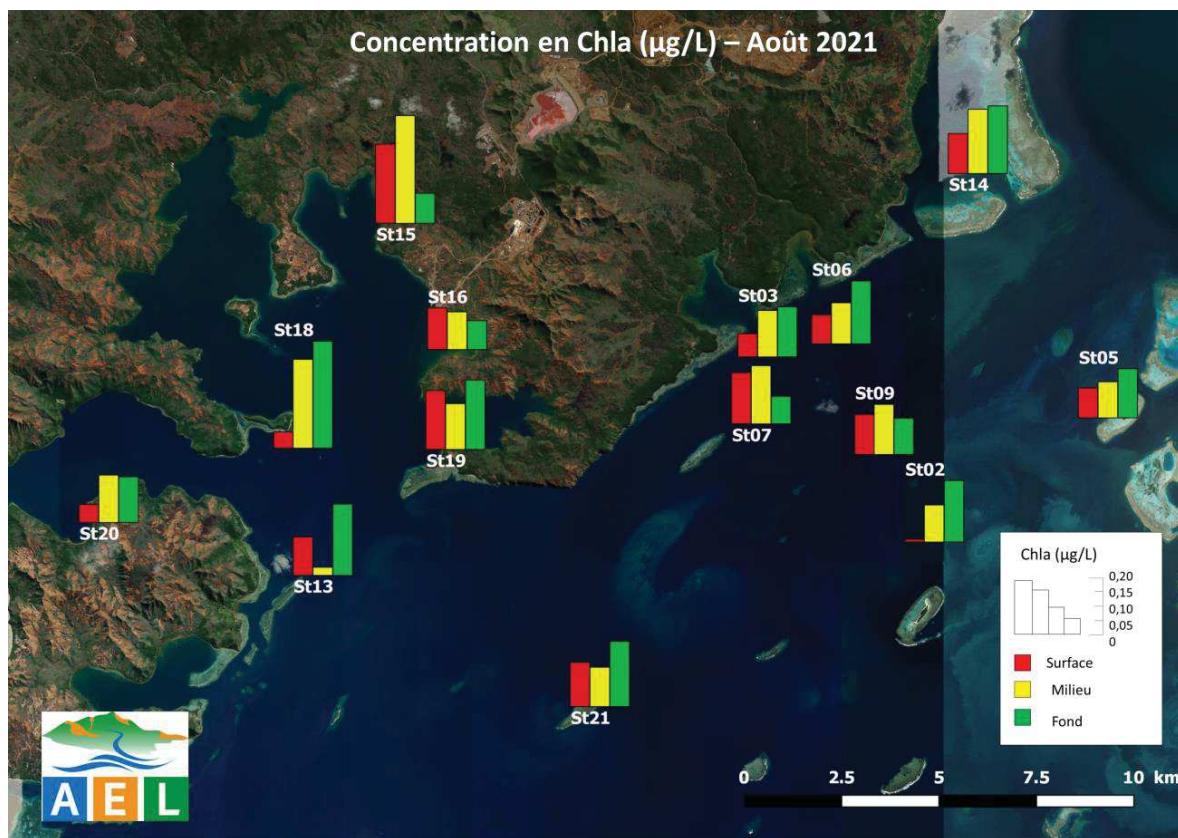


Figure 19: Distribution des concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

F. METAUX DISSOUS

Les concentrations en métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2021 sont regroupées dans les Figures 20 à 27, les tableaux 8 et 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Les concentrations en As moyennées pour chaque zone étudiée (Tableau 8) montrent une grande homogénéité spatiale, avec une légère supériorité des stations du Canal, comme le montre la Figure 20 représentant les valeurs en chaque station pour les 3 profondeurs considérées. Les concentrations s'échelonnent entre 1,30 et 2,40 µg/L, avec une moyenne globale de 1,76 µg/L contre 1,71 en août 2020, valeurs qui sont en adéquation avec celles obtenues lors des campagnes précédentes, en saison fraîche et saison chaude ; c'est un élément ubiquiste. Cette homogénéité des concentrations en Arsenic est également observable sur la verticale.

Les concentrations en Cadmium sont toutes en dessous de la limite de quantification (0,025 µg/L) et celles du Plomb seulement quantifiables en surface de la station ST20 (0,138 µg/L).

Les valeurs de concentrations en Cobalt sont inférieures à la limite de quantification (0,027 µg/L) pour les stations du Canal de la Havannah et de l'Île Ouen. Tandis que les valeurs moyennes restent faibles et très similaires pour les stations de la baie du Prony et des baies du Canal ($0,039 \pm 0,009$ et $0,033 \pm 0,006$ µg/L respectivement, Figure 21). On observe donc une influence terrigène et un gradient « côte-large » pour l'élément Cobalt.

Concernant les éléments Cr⁶⁺ et Cr_{total}, leurs concentrations moyennes les plus hautes sont retrouvée en baie du Prony (Tableau 8), influencée par les apports terrigènes, tandis que les plus faibles concentrations moyennes sont observées dans le Canal de la Havannah pour le Cr⁶⁺ et à l'Ile Ouen pour le Cr_{total}. On observe donc un gradient « côte-large » bien confirmé (Figure 22 et Figure 23). Ce sont en revanche les stations dans les baies du Canal qui enregistrent les maximales avec des concentrations de 0,379 µg/L (Cr⁶⁺) et 0,437 µg/L (Cr_{total}) en surface de la station ST06.

Aucun gradient vertical n'est clairement marqué pour ces deux espèces du chrome, à l'exception de la station ST06.

Tableau 7 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As, Cd²⁺, Co²⁺, Cr⁶⁺, Cr_{total} et Cu²⁺) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,300	<0,025	<0,027	0,097	0,157	0,032
	Maximum	2,410	<0,025	<0,027	0,140	0,301	0,064
	Moyenne	1,906	<0,025	<0,027	0,123	0,200	0,050
	Ecart-type	0,298	-	-	0,010	0,042	0,016
Baies du Canal	Minimum	1,460	<0,025	0,029	0,117	0,160	0,028
	Maximum	2,000	<0,025	0,038	0,379	0,437	0,057
	Moyenne	1,701	<0,025	0,033	0,169	0,219	0,043
	Ecart-type	0,167	-	0,006	0,081	0,084	0,021
Baie du Prony	Minimum	1,380	<0,025	0,032	0,154	0,216	0,042
	Maximum	2,080	<0,025	0,052	0,255	0,299	0,133
	Moyenne	1,716	<0,025	0,039	0,200	0,250	0,088
	Ecart-type	0,240	-	0,009	0,031	0,028	0,064
Ile Ouen	Minimum	1,550	<0,025	<0,027	0,127	0,171	0,028
	Maximum	1,970	<0,025	<0,027	0,141	0,214	0,038
	Moyenne	1,730	<0,025	<0,027	0,135	0,186	0,032
	Ecart-type	0,159	-	-	0,006	0,016	0,005

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

Tableau 8 : 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 2021.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	<0,059	0,065	0,092	<0,1	<1
	Maximum	<0,059	0,279	0,228	<0,1	<1
	Moyenne	<0,059	0,114	0,139	<0,1	<1
	Ecart-type	-	0,062	0,032	-	-
Baies du Canal	Minimum	0,061	0,096	0,141	<0,1	<1
	Maximum	0,063	0,283	0,378	<0,1	<1
	Moyenne	0,062	0,159	0,215	<0,1	<1
	Ecart-type	0,002	0,066	0,079	-	-
Baie du Prony	Minimum	<0,059	0,064	0,211	<0,1	<1
	Maximum	<0,059	0,630	0,425	<0,1	<1
	Moyenne	<0,059	0,193	0,333	<0,1	<1
	Ecart-type	-	0,161	0,078	-	-
Ile Ouen	Minimum	<0,059	0,105	0,169	0,138	<1
	Maximum	<0,059	0,239	0,352	0,138	<1
	Moyenne	<0,059	0,137	0,235	0,138	<1
	Ecart-type	-	0,052	0,072	-	-

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

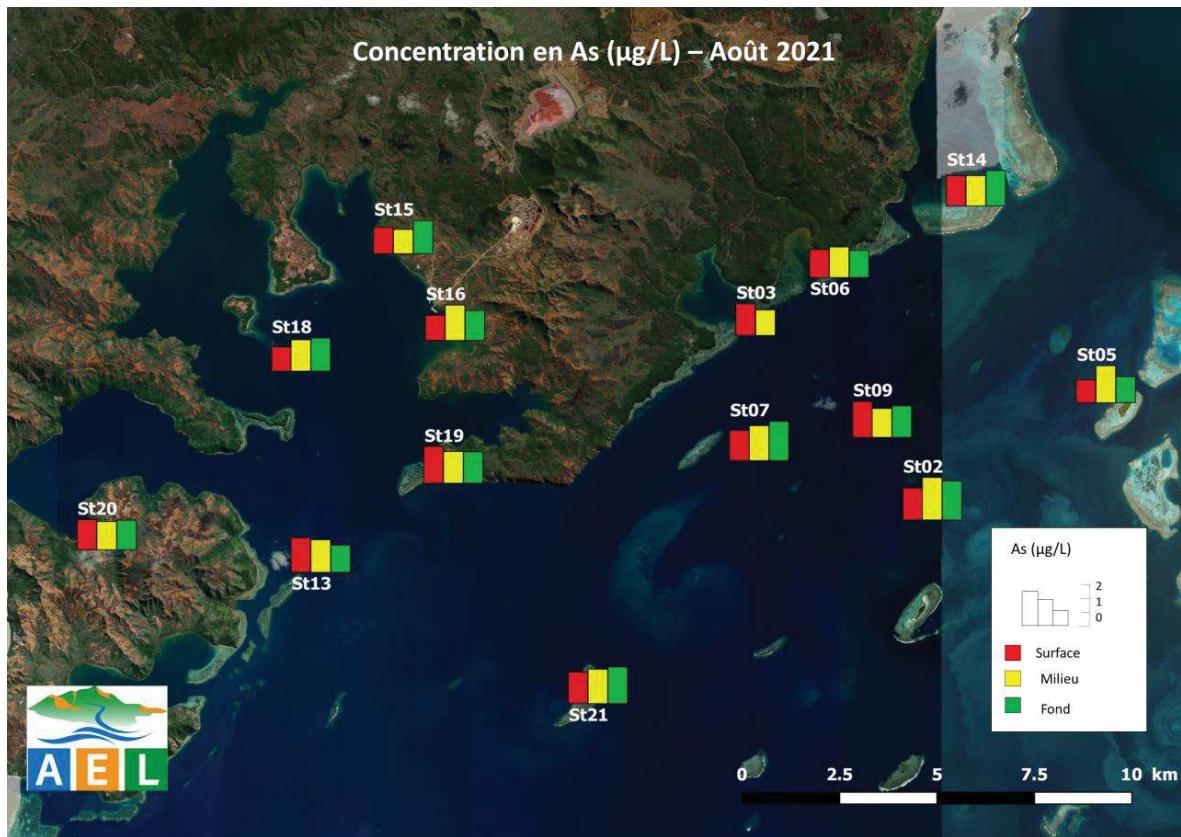


Figure 20: Distribution des concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021

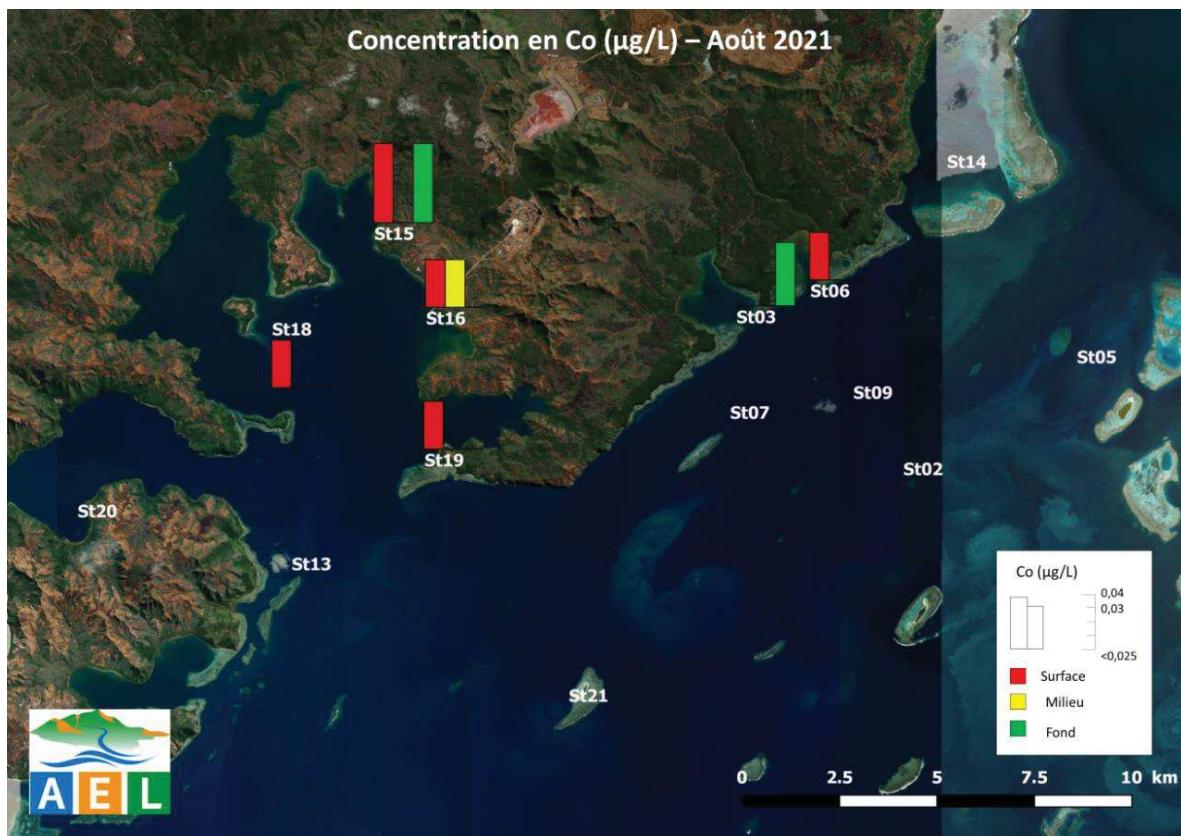


Figure 21: Distribution des concentrations en Cobalt (Co) dissous supérieures à la LQ ($0,025 \mu\text{g/L}$) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021

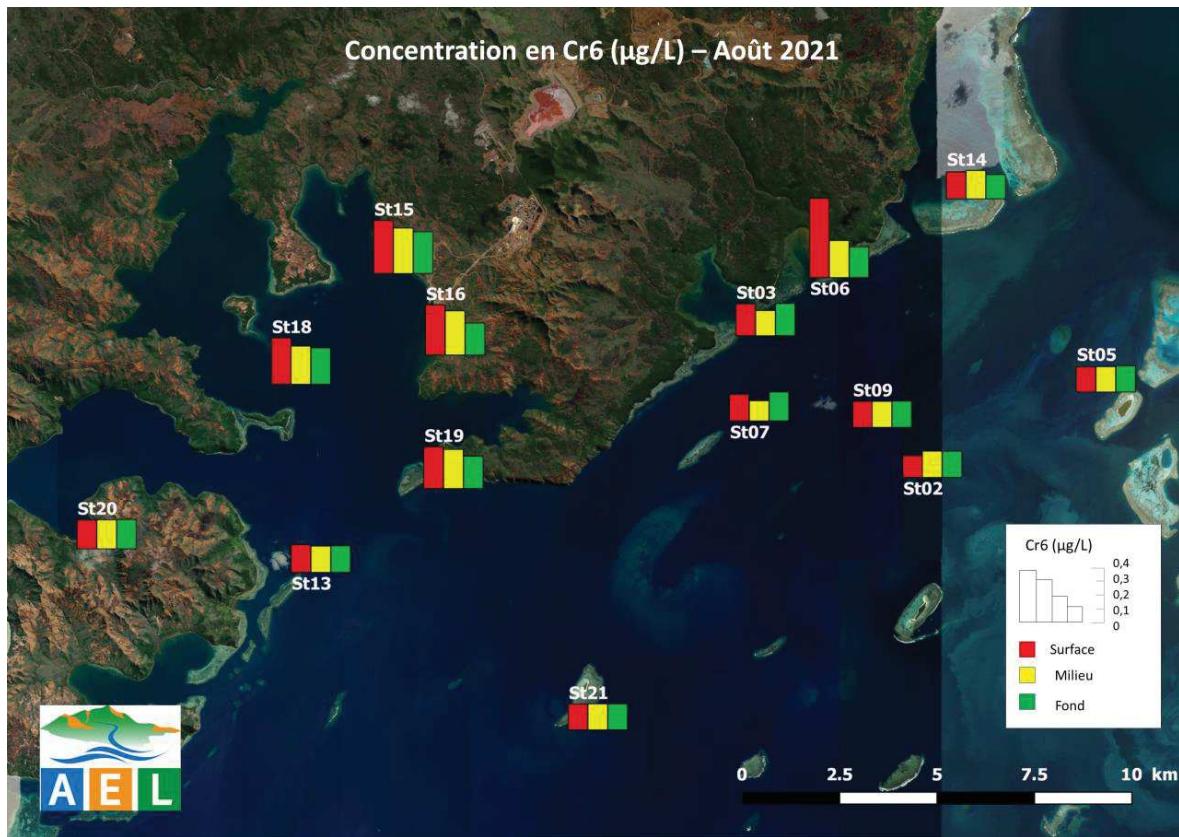


Figure 22: Distribution des concentrations en chrome VI (CrVI) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

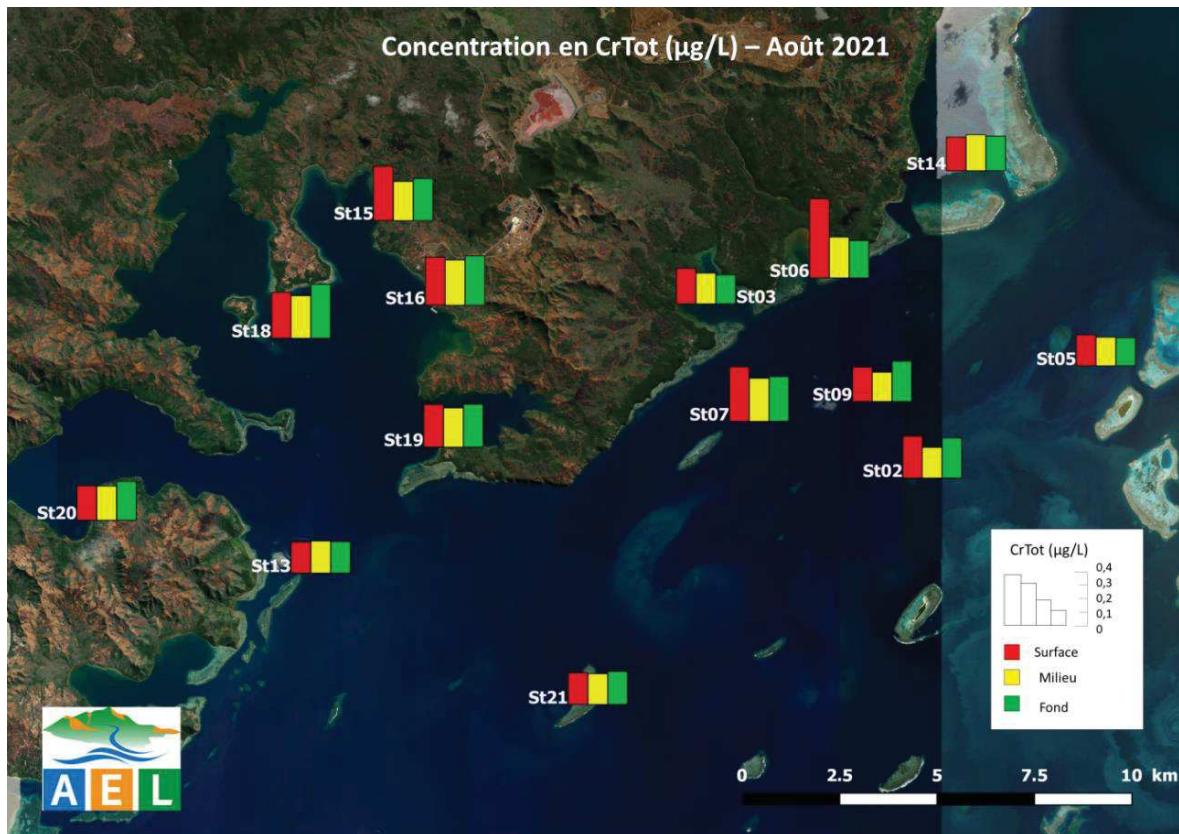


Figure 23: Distribution des concentrations en chrome total (CrTot) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

Pour le Cuivre, contrairement à l'année précédente à la même époque, des valeurs très faibles, proches de la limite de quantification, sont obtenues en chaque zone. Les stations de la baie du Prony se distinguent avec une moyenne plus de deux fois supérieure à celle calculée pour les autres stations. La majorité de ces concentrations sont obtenues dans la couche de surface (Figure 24), indiquant un gradient vertical dans la répartition du cuivre. En revanche, aucun gradient « côte-large » n'est mis en évidence, des concentrations du même ordre de grandeurs sont mesurées aux stations d'influences marine et terrigène.

De la même manière que l'année précédente, les concentrations en Fe^{2+} sont quasiment toutes sous la limite de quantification (0,059 $\mu\text{g/L}$). Les seules concentrations supérieures sont trouvées en ST14 à mi profondeur (0,063 $\mu\text{g/L}$), et en ST06 au fond (0,061 $\mu\text{g/L}$).

Pour le Manganèse, la concentration moyenne globale atteint 0,15 $\mu\text{g/L}$, mais la zone d'étude présente une forte hétérogénéité puisque l'écart type associé est de 0,1 $\mu\text{g/L}$. Le tableau 9 indique que la moyenne maximale est obtenue pour les stations de la baie du Prony (0,193 $\mu\text{g/L}$), notamment due à la très forte valeur enregistrée à mi profondeur de la station ST15 (0,630 $\mu\text{g/L}$). Pour le reste de la zone d'étude, aucun gradient vertical ne peut être constaté (Figure 25). En revanche, un gradient « côte large » est avéré indiquant l'influence des apports terrigènes pour l'élément Mn.

Les concentrations en Nickel suivent une tendance tout à fait similaire avec un gradient « côte-large » plus prononcé (Figure 26), et une relative homogénéité sur la verticale. La concentration moyenne maximale est obtenue en baie du Prony avec une valeur de $0,333 \pm 0,078 \mu\text{g/L}$. Bien que sous influence terrigène également, la concentration moyenne des baies du Canal atteint $0,215 \pm 0,079 \mu\text{g/L}$. Les stations de l'Île Ouen se démarquent ici par une valeur moyenne plus élevée que celle des stations des baies du Canal ($0,235 \pm 0,072 \mu\text{g/L}$), et on peut y voir l'influence terrigène provenant des eaux de la baie du Prony. Seules les stations du Canal de la Havannah sont en moyenne deux fois moins élevées qu'ailleurs ($0,139 \pm 0,032 \mu\text{g/L}$).

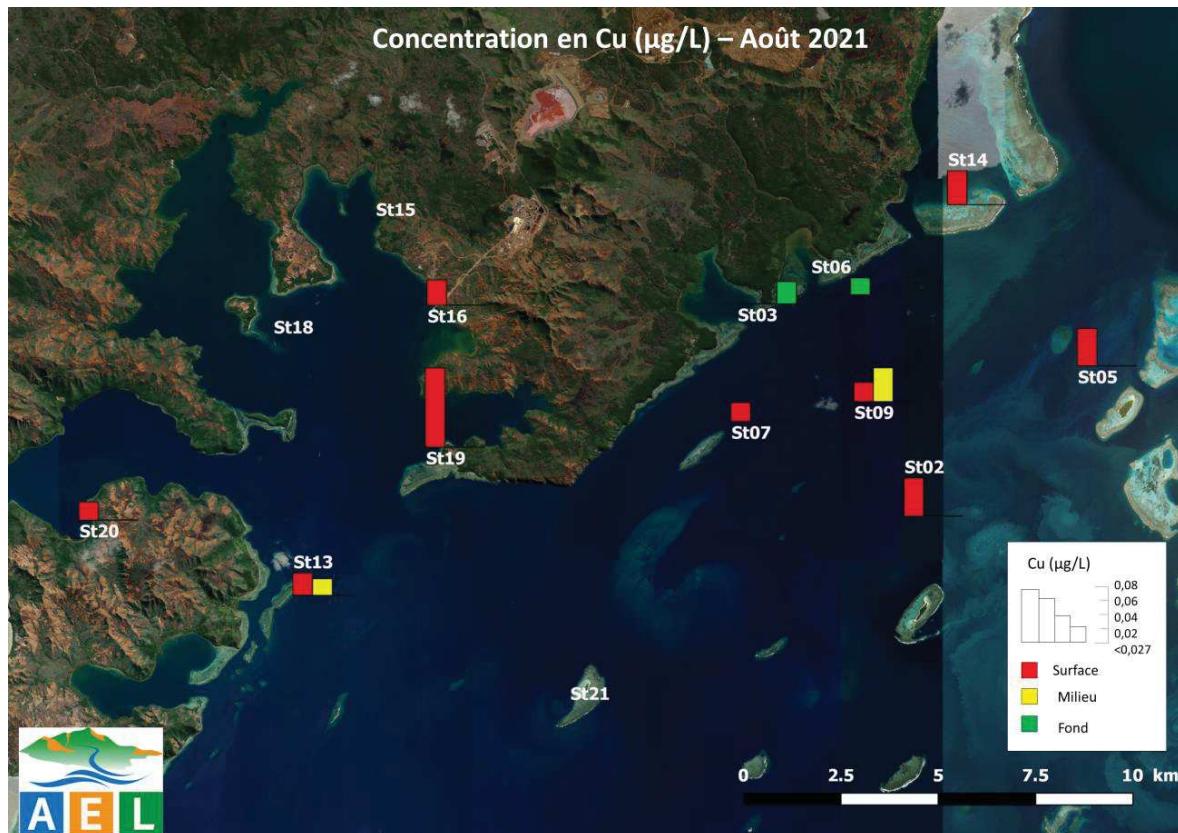


Figure 24: Distribution des concentrations en Cuivre (Cu) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

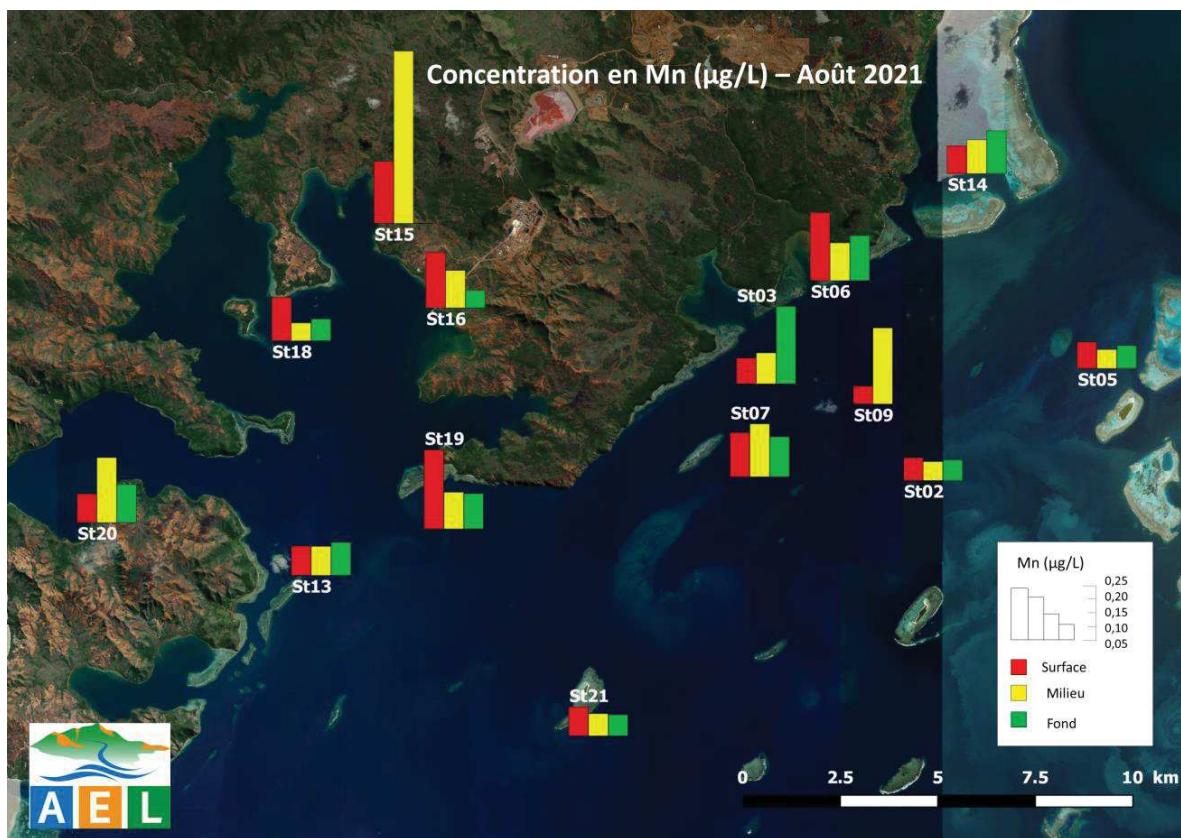


Figure 25: Distribution des concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021.

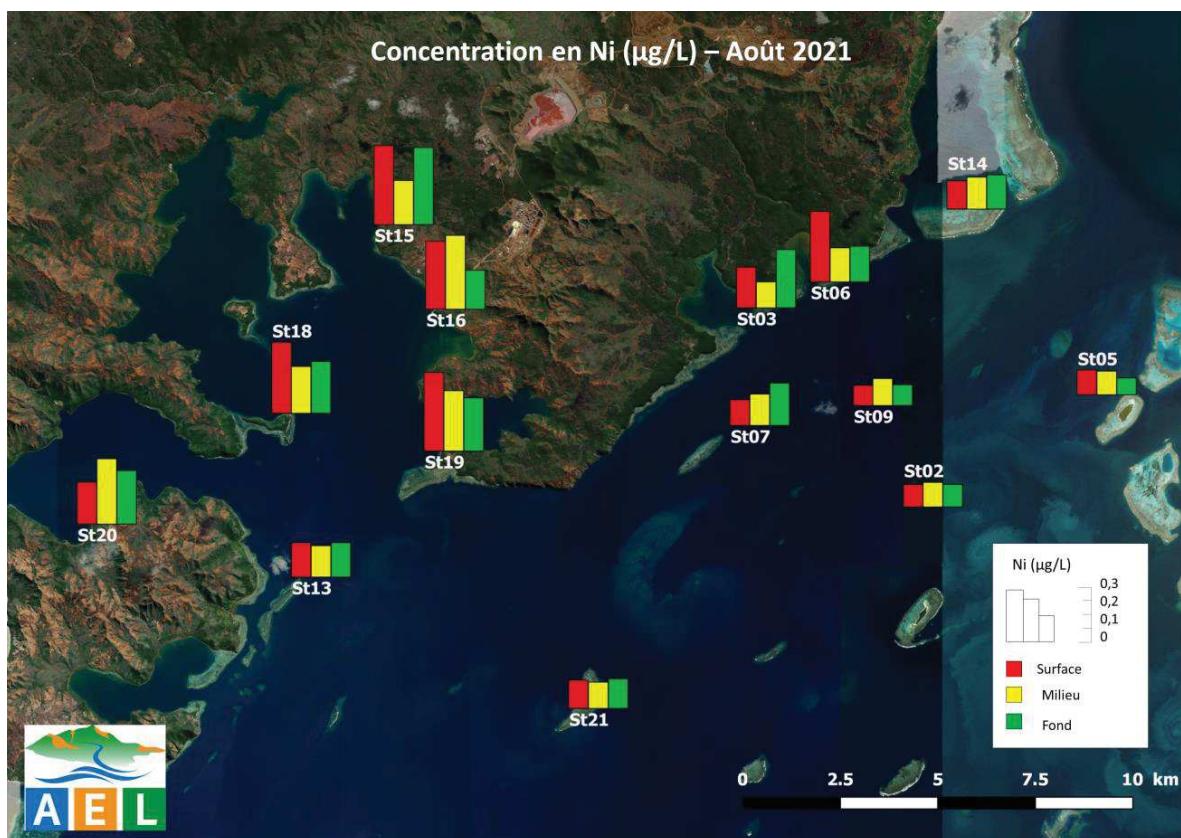


Figure 26: Distribution des concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021

Ce qu'il faut retenir :

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

Les éléments Cobalt, Chrome, Manganèse et Nickel présentent dans l'ensemble une distribution « côte-large » décroissante avec la distance à la côte, notamment en baie du Prony. En revanche, aucun des éléments ne présente un franc gradient avec la profondeur, contrairement aux années précédentes, probablement en raison du manque de précipitations atmosphériques qui lessivent les sols. Une explication pourrait être le brassage vertical intense sous l'effet des vents soutenus et constants, ou encore des forts courants de marée de Vive Eau.

Les concentrations en Cu, Co, Fe, Pb et Zn²⁺ sont pour la plupart inférieures à leurs limites de quantification respectives.

IV. SYNTHESE

Cette synthèse regroupe les suivis temporels des concentrations en sels nutritifs et en métaux dissous mesurées aux stations sentinelles depuis 2008, pour les campagnes de suivi « saison fraîche ». Ces sentinelles, au nombre de cinq ont été choisies afin de pouvoir mener la comparaison dans le temps, entre stations représentatives de des influences anthropique et continentale (ST03 -Port Boisé-, ST06 -Baie Kwé- et ST15 -Creek de la Rade Nord-) et celles représentatives de l'influence océanique (ST05 -ilot Kié- et ST09 -Canal de la Havannah-).

A. METEOROLOGIE

Les conditions climatiques, notamment les précipitations, exercent une influence sur la physico-chimie des eaux et sur la concentration en métaux dissous. Le cumul des précipitations, avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes, a été reporté dans la Figure 27.

La campagne 2021 se caractérise par de très faibles précipitations atmosphériques, cumulant seulement un total de 2 mm sur les cinq jours précédent la campagne, et de 3 mm durant la campagne. Ces faibles précipitations, moteur des apports terrigènes par les rivières, suggèrent une influence modérée du milieu continental sur le milieu marin en août 2021.

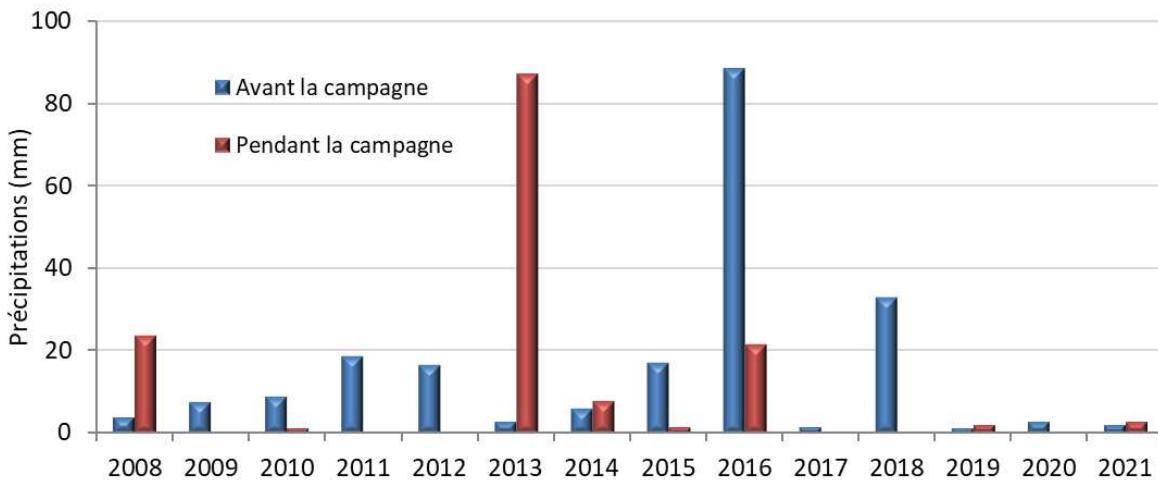


Figure 27: Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraîche » de 2008 à 2021 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Goro usine ».

B. SELS NUTRITIFS

Le suivi temporel des concentrations en ammonium (NH_4) et en nitrates et nitrites (NO_3+NO_2) entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 ; il a été reporté dans les Figures 26 à 29 et leur évolution a été étudiée aux stations sentinelles ST05, ST09, ST06 et ST15.

1. Ammonium

a) Stations du Canal - Influence océanique

L'évolution temporelle des concentrations en ammonium dans les stations d'influence océanique (ST05 et ST09) indique un shift des tendances à partir de l'année 2013 (Figure 28). Entre 2008 et 2013, l'ordre de grandeur des concentrations est très similaire, leurs concentrations respectives augmentant progressivement d'un facteur 4 en 5 ans ; en ST09, elles passent de 0,03 à 0,12 µmol/L de NH₄, les valeurs étant remarquablement homogènes dans la colonne d'eau. L'année 2014 marque une rechute des concentrations en ammonium qui remontent dans le temps puis se maintiennent dans une moyenne haute (entre 0,7 et 0,15 µmol/L environ) jusqu'à 2018. Ces deux dernières années, une tendance à la diminution est perceptible.

Après 2013, les valeurs en NH₄ deviennent beaucoup plus hétérogènes dans la colonne d'eau. Les concentrations varient d'un facteur 2 ou 3 entre la surface et le fond, atteignant ponctuellement des valeurs plus importantes (0,30 µmol/L au fond pour ST05 en 2016, 0,38 µmol/L en surface pour ST09 en 2019). Cette année 2021 marque la continuité de l'augmentation des concentrations en NH₄, notamment pour les stations d'influence océanique, avec des valeurs inhabituellement fortes pour les deux stations considérées.

b) Stations des baies - Influence anthropique et continentale

Contrairement aux deux stations d'influence océanique, aux évolutions temporelles tout à fait similaires en termes de concentrations de NH₄, les trois stations aux influences majoritairement terrigènes apparaissent plus contrastées (Figure 29). Ainsi, jusqu'en 2013, la station ST03 (Port Boisé) présente une certaine similarité dans l'évolution des concentrations avec celles des deux stations d'influence océanique, l'augmentation très marquée des concentrations lors de la campagne de 2013 est à lier avec la forte pluviométrie enregistrée (Figure 27).

La station ST15 (Rade du Creek en baie du Prony) présente également un changement de tendance important au tournant de l'année 2013. Ainsi, entre 2008 et 2012, les concentrations en NH₄ sont particulièrement faibles (moyenne de 0,027 µmol/L) et très homogènes dans toute la colonne d'eau. En 2013, marquée par de fortes précipitations, des concentrations exceptionnelles en NH₄ (0,40 µmol/L) ont été mesurées. En 2014, les valeurs sont revenues à la normale antérieure, mais on assiste à une très forte augmentation progressive qui s'est poursuivie jusqu'à cette année 2021. L'augmentation en 7 ans atteint, pour les valeurs obtenues en profondeur, un facteur de 20 (0,02 à 0,42 µmol). Cette tendance est également marquée par l'apparition d'un gradient vertical jusqu'alors inexistant : la concentration en NH₄ augmente drastiquement avec la profondeur (facteur 7 environ entre fond et surface).

La station ST06, en baie de la Kwé, apparaît comme la station de baie la plus soumise aux variations, aussi bien interannuelles que verticales. Cette variation marquée peut être attribuée aux apports pulsés de la rivière Kwé régis par les précipitations atmosphériques. Aucune homogénéité des valeurs en fonction de la profondeur n'est constatée depuis 2008, et globalement, la concentration en ammonium diminue avec la profondeur. Les valeurs oscillent depuis 2008 entre 0,02 et 0,20 µmol/L sans pouvoir établir de corrélations. Bien que plus modérée que celle observée aux stations océaniques, la campagne de la saison fraîche 2021 montrent une augmentation des concentrations.

2. Nitrates et nitrites

a) Stations du Canal - Influence océanique

Les concentrations en nitrates et nitrites depuis 2008 sont difficilement interprétables pour les stations d'influences océaniques. Aucune tendance à l'augmentation ou à la diminution ne peut être observée sur la période de suivi, mais certaines années semblent plus favorables à la présence de NOx que d'autres, sans que ceci puisse être formellement relié aux précipitations.

La station ST05 (Figure 30), présente des valeurs inférieures à la limite de quantification (LQ = 0,05 µmol/L) pour toutes les profondeurs échantillonnées entre 2008 et 2012, puis de 2016 à 2018. En dehors de ces périodes, des variations interannuelles apparaissent, avec de grandes hétérogénéités de valeurs sur la verticale (pouvant atteindre un facteur 15). La station ST09 présente globalement les mêmes variations en fonction des années que ST05, excepté pour 2018. En dehors de ces périodes, les concentrations oscillent inter-annuellement sans schéma particulier, toutefois, les écarts entre les valeurs sur la verticale sont bien plus réduits qu'en station ST05.

Les concentrations en NOx de cette année 2021 se situent dans la fourchette moyenne pour la station ST05 et dans la fourchette haute pour la station ST09.

b) Stations des baies - Influence anthropique et continentale

Pour les stations des baies, l'interprétation de l'évolution des concentrations en NOx depuis 2008 n'est pas plus aisée. En effet, la station ST03 (Figure 31) renvoie au schéma observé dans le cas des stations du Canal, en particulier ST09. Sur ce site, en 2008 et de 2012 à 2015, les valeurs ont été inférieures à la limite de quantification (ou très proches pour 2008), alors qu'entre 2009 et 2011 et de 2016 à 2020, elles ont été variables, tant d'une année sur l'autre que dans la colonne d'eau, et aucune tendance particulière ne peut être clairement exprimée. Les valeurs maximales n'excèdent jamais 0,50 µmol/L.

La station ST15 présente, elle aussi, des valeurs non quantifiables, dans de plus grandes proportions encore que la station ST03 et sans épisode d'augmentation marquée des concentrations en NOx. Des valeurs ponctuelles très élevées (jusqu'à 1,40 µmol/L) font toutefois figure d'exception dans la série temporelle, dénotant notamment par rapport aux valeurs obtenues dans les autres profondeurs échantillonnées lors de la même campagne, généralement inférieures à 0,20 µmol/L.

La station de la baie Kwé (ST06) possède une fois de plus l'évolution la plus variable de ces trois stations aux influences continentales, de surcroît, les valeurs de concentrations en NOx y sont les plus élevées (valeurs majoritairement supérieures à 0,20 µmol/L), et la proportion des valeurs non quantifiables est significativement réduite.

Les concentrations de l'année 2021 aux stations des baies sont très hétérogènes sur la verticale, avec des fortes valeurs de surface, notamment en station ST15.

3. Comparaison Influence continentale / Influence océanique

Sur l'ensemble de la période de suivi (2008 à 2020), le tableau 10 regroupe les moyennes des concentrations en NOx et NH₄, par station, par profondeur et par type d'influence.

Les concentrations en NH₄ semblent être légèrement influencées par des apports terrigènes et anthropiques, puisque la moyenne sur toute la période de suivi, toutes profondeurs et toutes stations comprises (ST03, ST06 et ST15), s'élève à 0,130 µmol/L contre 0,118 µmol/L pour la moyenne des stations représentatives uniquement de l'influence océanique. Toutefois l'écart entre ces valeurs a été fortement réduit par les valeurs de la campagne saison fraîche 2021. Les valeurs moyennes, toutes profondeurs confondues, sont du même ordre de grandeur, d'une part, entre les stations des baies (0,128 ; 0,142 ; 0,119 µmol/L) et d'autre part, avec celles du Canal (0,115 et 0,122 µmol/L), il ne se dégage aucun gradient de concentration lié à la profondeur. Les valeurs maximales atteintes dans la colonne d'eau sont variables, obtenues tant en surface qu'au fond, mais jamais à mi-profondeur.

Les concentrations en NOx en revanche, semblent être également sensibles aux influences terrestres, avec des valeurs de moyennes temporelles de 0,263 µmol/L pour les baies et 0,234 pour le Canal. De fait, au sein d'un regroupement de stations de même type d'influence, les valeurs moyennes intégrées sur la verticale diffèrent beaucoup plus que pour l'ammonium (0,161 ; 0,324 et 0,305 µmol/L pour ST03, ST06 et ST15 respectivement, 0,268 et 0,200 µmol/L pour ST05 et ST09). De plus, à la différence de l'ammonium, il semble que l'on puisse tirer une tendance à l'augmentation des concentrations en NOx avec la profondeur.

Tableau 9 : Moyennes, entre 2008 et 2021, des concentrations en NOx et NH₄ des stations pilotes, en surface, mi-profondeur et fond, ainsi que toutes profondeurs confondues, et moyennes des concentrations en fonction des influences des stations.

	Stations	Statistique	Sels Nutritifs (µmol/L)			
			NOx	NH ₄	NOx	NH ₄
Influence terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15)	ST03	Moyenne Totale	0,161	0,128	Moyennes Influences « terrigène et anthropique », toutes profondeurs confondues	
		Moyenne surface	0,112	0,139		
		Moyenne Mi-profondeur	0,199	0,068		
		Moyenne Fond	0,171	0,171		
	ST06	Moyenne Totale	0,324	0,142	0,263	
		Moyenne surface	0,499	0,157		
		Moyenne Mi-profondeur	0,199	0,174		
		Moyenne Fond	0,274	0,097		
	ST15	Moyenne Totale	0,305	0,119	0,130	
		Moyenne surface	0,366	0,060		
		Moyenne Mi-profondeur	0,214	0,101		
		Moyenne Fond	0,334	0,195		
Influence océanique (ST05 et ST09)	ST05	Moyenne totale	0,268	0,115	Moyennes Influence « océanique », toutes profondeurs confondues	
		Moyenne surface	0,197	0,098		
		Moyenne Mi-profondeur	0,256	0,113		
		Moyenne Fond	0,352	0,133		
	ST09	Moyenne Totale	0,200	0,122	0,234	
		Moyenne surface	0,134	0,125		
		Moyenne Mi-profondeur	0,178	0,114		
		Moyenne Fond	0,287	0,128		

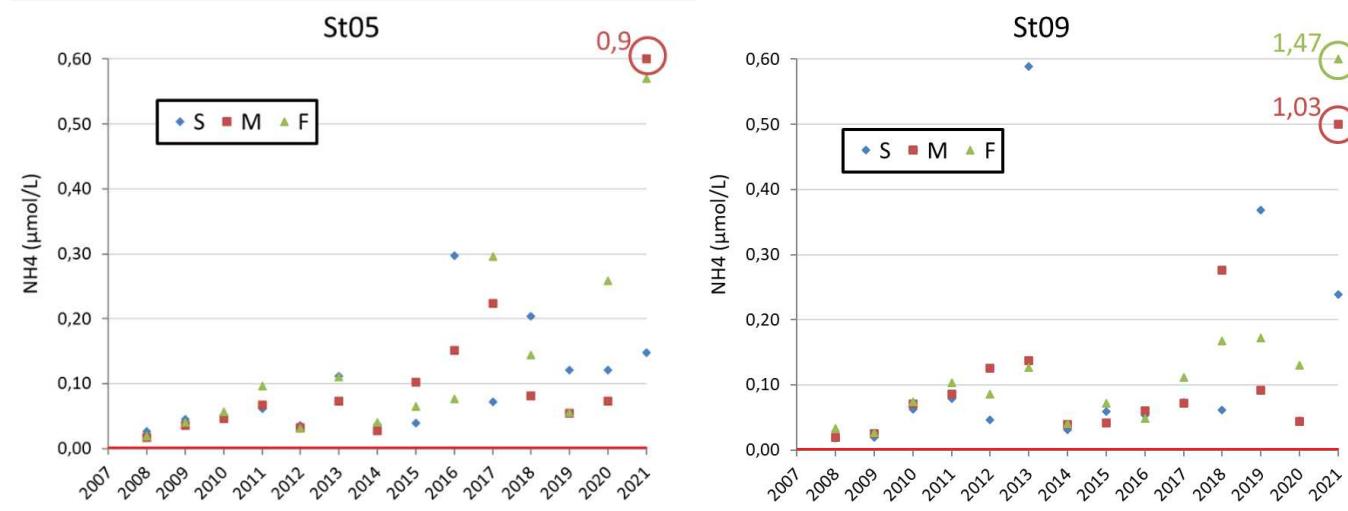


Figure 28: Concentrations en NH₄ aux stations du Canal (ST05 et ST09), en « saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 μmol/L).

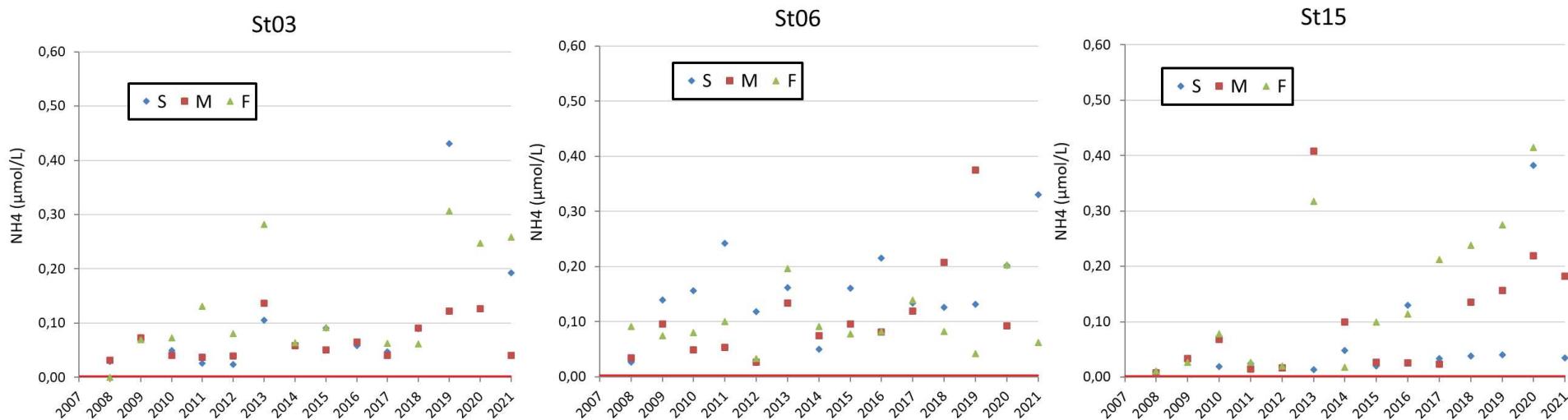


Figure 29: Concentrations en NH₄ aux stations des baies (ST03, ST06 et ST15) en « saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 μmol/L).

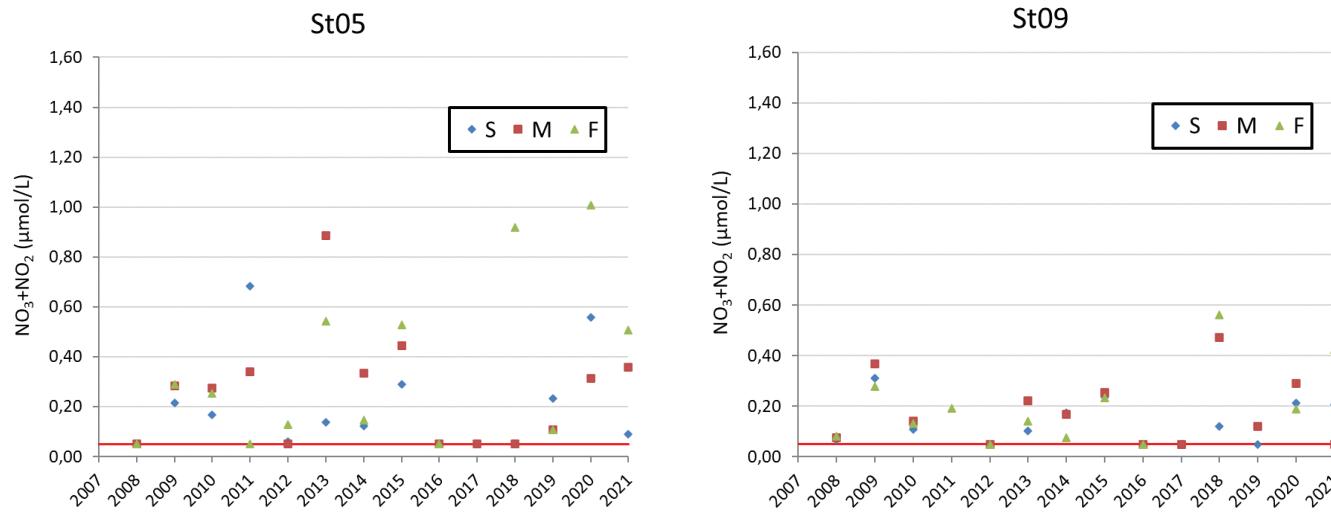


Figure 30: Concentrations en NOx aux stations du Canal (ST05 et ST09), en « saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,05 $\mu\text{mol/L}$).

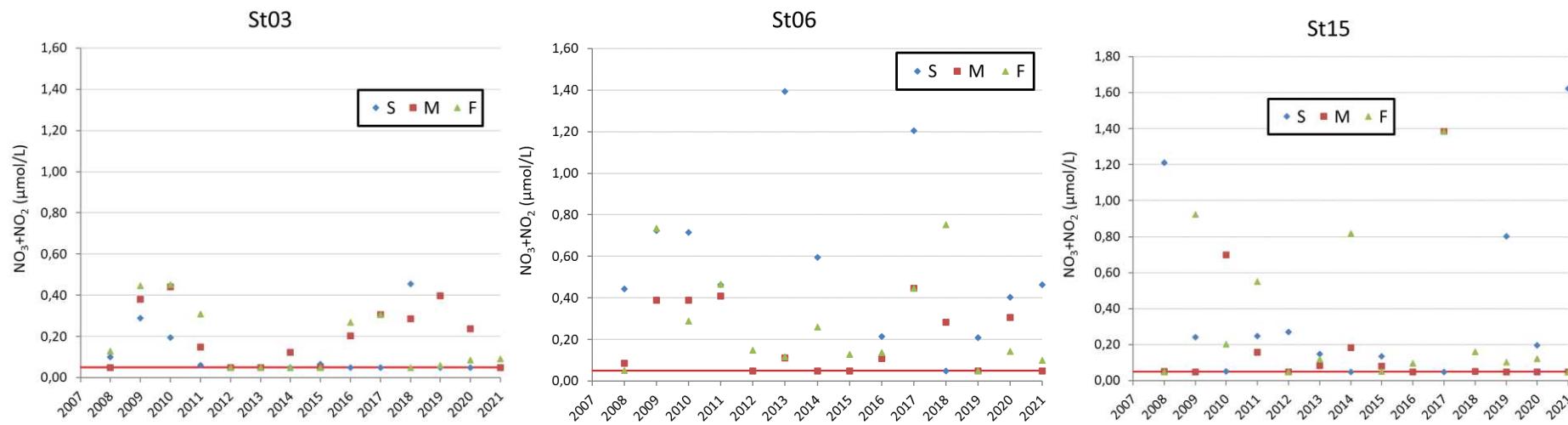


Figure 31: Concentrations en NOx aux stations des baies (ST03, ST06 et ST15) en « saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,05 $\mu\text{mol/L}$).

C. METAUX DISSOUS

L'évolution des concentrations de Co^{2+} , Cr^{6+} , Mn^{2+} et Ni^{2+} entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations **sentinelles** a été illustrée sur les figures 30 à 37.

1. Cobalt

Depuis 2008, l'intégralité (1 seule exception) des concentrations en cobalt est inférieure à la limite de quantification (0,027 $\mu\text{g/L}$) dans les deux stations pilotes représentatives de l'influence océanique (ST05 et ST09 ; Figure 32). Pour les stations représentatives de l'influence terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15 ; Figure 33), les valeurs restent globalement faibles et/ou inférieures à la limite de quantification, notamment à mi-profondeur.

Une hétérogénéité des distributions est flagrante sur la verticale, avec des valeurs maximales en cobalt dans les eaux de surface, pouvant atteindre 0,15 $\mu\text{g/L}$ (de 2 à 7 fois supérieures au reste de la colonne d'eau). C'est en station ST03 (Port Boisé) que cette stratification est la plus visible, en ST06 également, mais avec des valeurs au fond plus élevées que pour Port Boisé. C'est la station ST15, en face du creek de la rade Nord, qui montre, au cours de ces années de suivi, les valeurs les plus homogènes sur la verticale, avec des écarts beaucoup plus réduits entre les concentrations en surface et au fond, et une concentration globale supérieure aux deux premières stations.

La seule variabilité visible intercampagne est liée aux taux de précipitations atmosphériques (pics mesurés en 2013 et 2016, notamment dans les concentrations de surface). Toutefois, les phénomènes de remise en suspension sous l'effet mécanique des vents forts, peuvent favoriser la solubilisation du cobalt, expliquant ainsi certaines des augmentations observées (pic de 2011).

2. Chrome hexavalent

La moyenne en chrome hexavalent, sur toute la période de suivi et pour les trois stations d'influence terrigène, est très supérieure à celles des stations océaniques, avec une valeur moyenne de 0,114 $\mu\text{g/L}$ pour les stations ST05 et ST09, contre 0,184 $\mu\text{g/L}$ de Cr(VI) pour les stations ST03, ST06 et ST15 (Tableau 10) où l'influence des précipitations se fait le plus ressentir. En effet, les pics de surface observés (Figure 35) lors des campagnes de 2013 et de 2016 (2018 également pour ST06) sont clairement en corrélation avec les fortes pluies précédant ou durant les prélèvements. Toutefois, la campagne de saison fraîche 2021, non caractérisée par d'importantes précipitations, indique pourtant une forte valeur de Cr(VI) en surface de ST06, ne correspondant à aucune augmentation en ST03 ou ST15.

L'évolution temporelle des concentrations en chrome hexavalent des stations du Canal (Figure 34) présente une cyclicité de période d'environ 4 années. Sur ces périodes, les concentrations en Cr(VI) oscillent très légèrement entre des valeurs inférieures ou égales à 0,10 $\mu\text{g/L}$ et des maximums de 0,15 $\mu\text{g/L}$, mais cette variabilité ne semble pas reliée aux précipitations. La station ST05 est caractérisée par une grande homogénéité sur la verticale, tandis que ST09, probablement plus influencée par les apports terrigènes dû à sa localisation, se distingue par des écarts de valeurs plus importants entre les différentes profondeurs échantillonnées. Pour autant, aucun gradient vertical ne peut être dégagé et la répartition dans la colonne d'eau semble relativement homogène.

En revanche, certaines fortes valeurs (2009 pour ST03, 2020 pour ST15, 2021 pour ST06) ne semblent pas reliées à des précipitations, mais en lien probable avec la remise en suspension des sédiments, comme pour le cobalt. Aucune tendance particulière à l'augmentation ou à la diminution de ce métal dissous n'est discernable sur les 12 années de suivi.

3. Manganèse

Les concentrations en manganèse pour les stations sentinelles d'influence océanique (ST05 et ST09) sont relativement faibles depuis 2008, inférieures à 0,10 µg/L pour la plupart et souvent proches de la limite de quantification. Cette année toutefois, à mi-profondeur de la station ST09, a été relevée une valeur inhabituellement élevée de 0,28 µg/L. Une légère augmentation avait été observée en 2011 et 2012, puis plus globalement, une tendance à la baisse jusqu'à aujourd'hui. L'homogénéité générale des valeurs de concentrations depuis 2008 se retrouve aussi globalement sur la verticale, sauf pour la station ST09 en 2021 avec une forte augmentation à mi-profondeur. L'année 2012 a vu un léger gradient vertical se mettre en place avec une concentration augmentant avec la profondeur (Figure 36).

L'ordre de grandeur des concentrations en manganèse obtenues depuis 2008 est bien plus élevé pour les stations d'influences terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15 ; Figure 37). La moyenne temporelle, toutes stations et toutes profondeurs confondues, atteint 0,237 µg/L alors qu'elle ne dépasse pas 0,065 µg/L pour les stations d'influence océanique (ST05 et ST09 ; Tableau 11). L'hétérogénéité des valeurs est très marquée sans que l'on puisse conclure à un gradient. Lors de cette campagne fraîche 2021, la station ST15 a présenté une très forte valeur (0,62 µg/L en profondeur). Cette valeur ponctuelle pourrait être due à une remise en suspension du sédiment profond au moment de l'échantillonnage. Une forte variabilité intercampagnes est observée, sans qu'on puisse isoler de tendance générale dans le temps. Certains pics de valeurs sont reliés à des épisodes de fortes précipitations (2013 et 2016), d'autres probablement aussi liés à la remise en suspension des sédiments (2011, 2020 ...).

4. Nickel

Les valeurs de concentrations en Nickel dissous sont stables temporellement pour les stations du large (ST05 et ST09 ; Figure 38). Cette année, elles se situent dans la fourchette haute pour les deux stations ST05 et ST09, sans distinction de niveau. On ne peut cependant pas constater une variabilité intercampagne prononcée, ni un gradient en fonction de la profondeur. La moyenne globale sur ces 12 années de suivi s'élève à 0,097 µg/L (tableau 11). On peut remarquer une légère augmentation des concentrations en ST05 lors de la campagne de 2017, et celle-ci n'est reliée à aucun effet attribuable à des précipitations atmosphériques. De fait, le gradient vertical créé à cette période montre une augmentation des concentrations avec la profondeur.

Comme pour les autres métaux, les stations des baies (ST03, ST06 et ST15) montrent des niveaux de concentrations en nickel dissous bien supérieurs à celles du Canal. En effet, la moyenne globale des concentrations en nickel atteint 0,292 µg/L pour les stations sentinelles d'influences terrigène et anthropique, et les écarts de valeurs en fonction de la profondeur se creusent également (Figure 39). Ainsi, les concentrations de surface en Nickel sont au minimum deux fois supérieures, et c'est à mi-profondeur que sont observées les concentrations les plus faibles de la colonne d'eau (Tableau 11). Les plus fortes valeurs sont obtenues, pour chaque station considérée, durant les campagnes de 2011 et/ou de 2013, reliant ainsi clairement l'augmentation ponctuelle de concentrations de surface en nickel aux précipitations et apports d'eau douce qui en découlent. Les valeurs de l'année 2021 se situent dans la tranche moyenne des valeurs historiques.

Tableau 10 : Moyennes, entre 2008 et 2021, des concentrations en Métaux dissous des stations pilotes, en surface, mi-profondeur et fond, ainsi que toutes profondeurs confondues, et moyenne des concentrations en fonctions des influences des stations.

Stations	Moyenne	Métaux dissous (µg/L)							
		Co	CrVI	Mn	NI	Co	CrVI	Mn	NI
Influence terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15)	Total	0,038	0,177	0,201	0,305				
	Surface	0,057	0,250	0,300	0,527	Moyennes Influences « terrigène et anthropique », toutes profondeurs confondues			
	Mi-profondeur	0,029	0,143	0,135	0,181				
	Fond	0,029	0,138	0,168	0,206				
Influence océanique (ST05 et ST09)	Total	0,043	0,210	0,292	0,298				
	Surface	0,063	0,297	0,420	0,395	Moyennes Influence « océanique » toutes profondeurs confondues			
	Mi-profondeur	0,030	0,175	0,197	0,208				
	Fond	0,037	0,159	0,260	0,291	0,039	0,184	0,237	0,292
Influence océanique (ST05 et ST09)	Total	0,035	0,166	0,219	0,273				
	Surface	0,057	0,261	0,317	0,422	Moyennes Influence « océanique » toutes profondeurs confondues			
	Mi-profondeur	0,037	0,175	0,172	0,287				
	Fond	0,039	0,180	0,350	0,351				
Influence océanique (ST05 et ST09)	Total	<0,027	0,116	0,066	0,099				
	Surface	<0,027	0,115	0,061	0,091	Moyennes Influence « océanique » toutes profondeurs confondues			
	Mi-profondeur	<0,027	0,116	0,063	0,095				
	Fond	<0,027	0,117	0,075	0,110				
Influence océanique (ST05 et ST09)	Total	<0,027	0,113	0,064	0,094				
	Surface	<0,027	0,112	0,061	0,089	0,027	0,114	0,065	0,097
	Mi-profondeur	<0,027	0,110	0,070	0,090				
	Fond	<0,027	0,116	0,061	0,103				

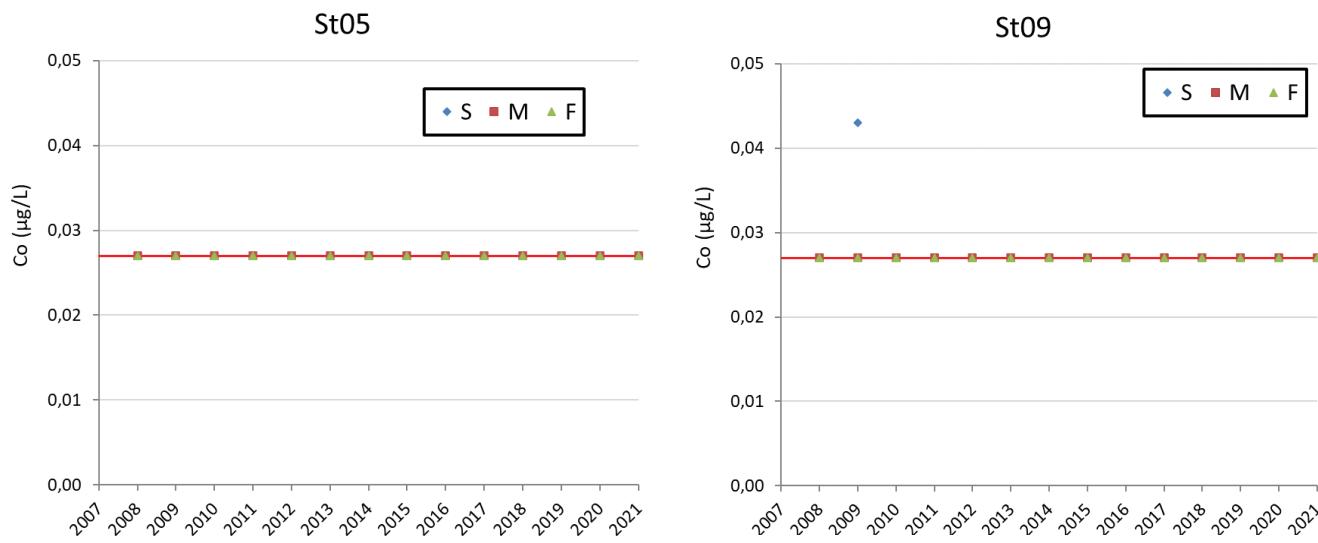


Figure 32: Concentrations en Co dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 $\mu\text{g/L}$).

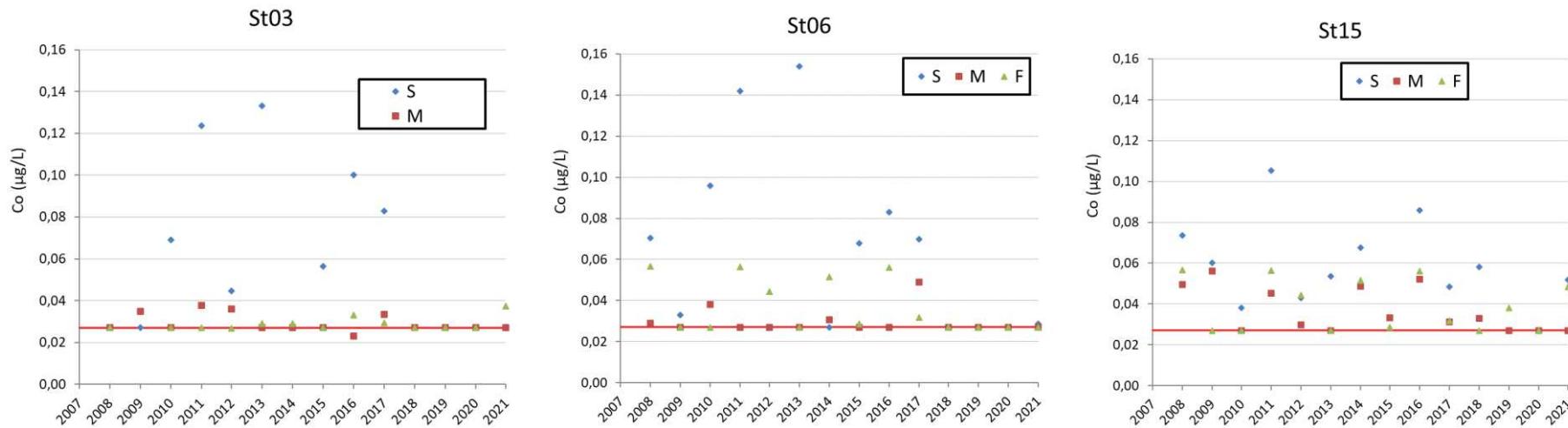


Figure 33: Concentrations en Co dans les stations des baies (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 $\mu\text{g/L}$).

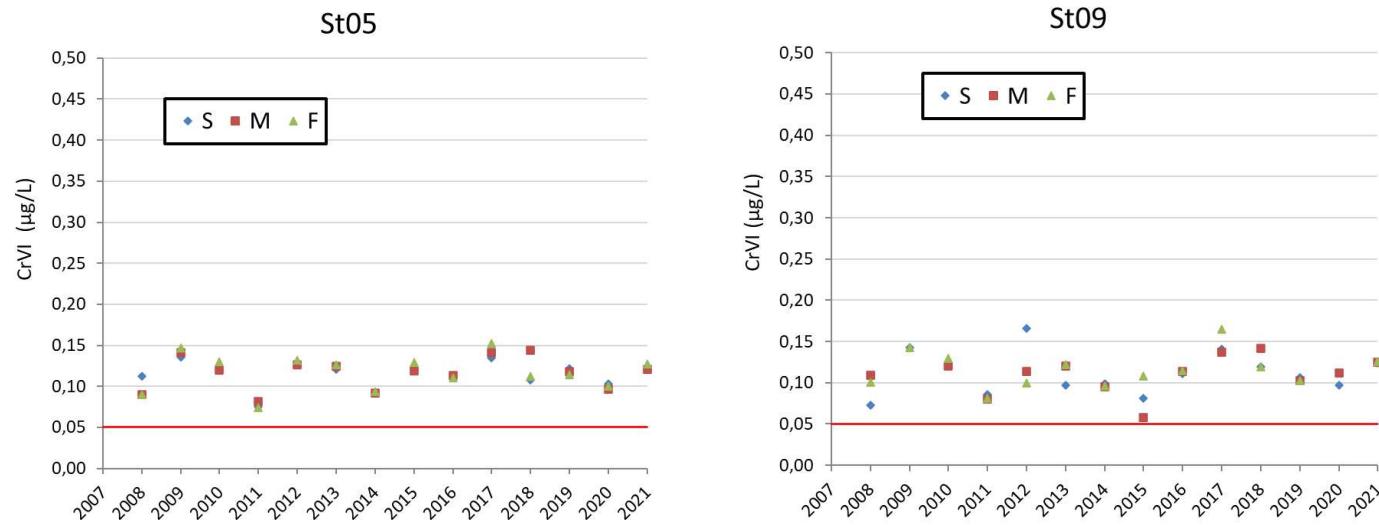


Figure 34: Concentrations en Cr(VI) dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

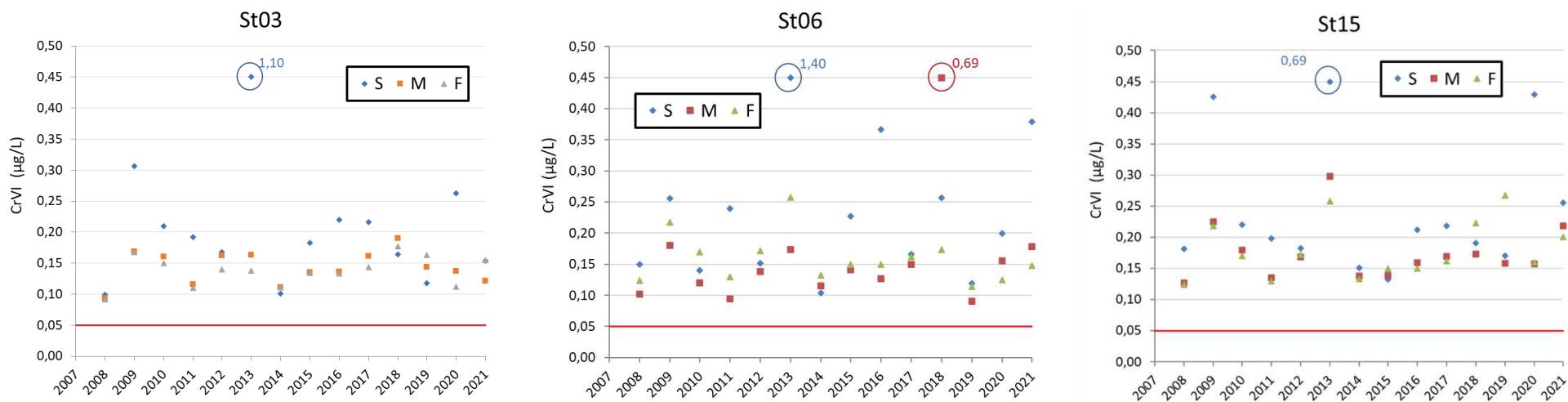


Figure 35: Concentrations en Cr(VI) dans les stations des baies (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

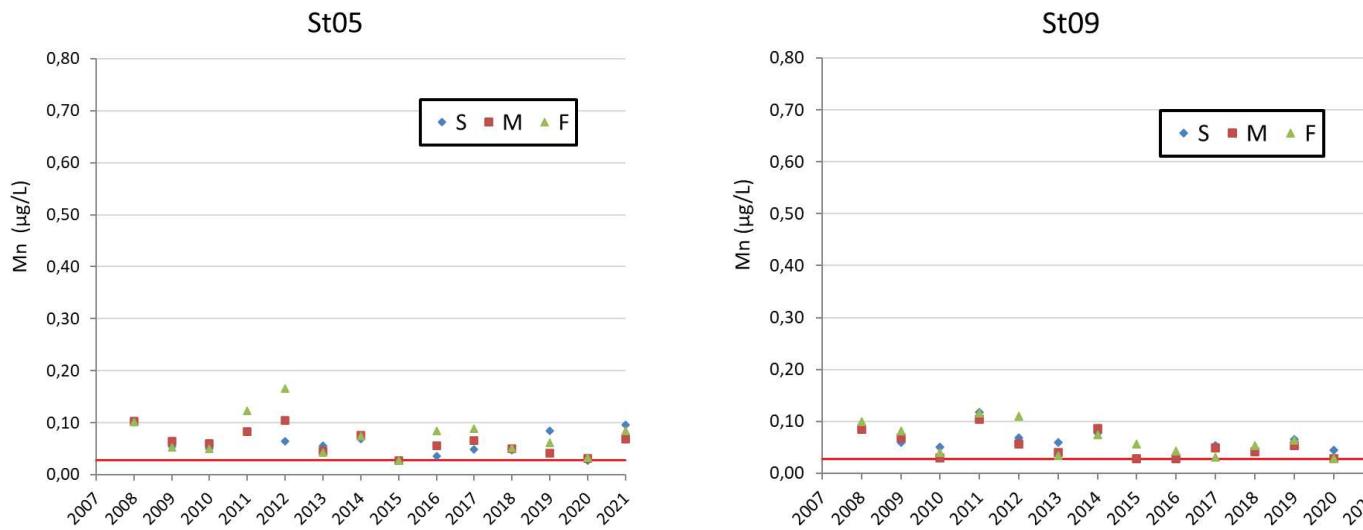


Figure 36: Concentrations en Mn dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 $\mu\text{g/L}$).

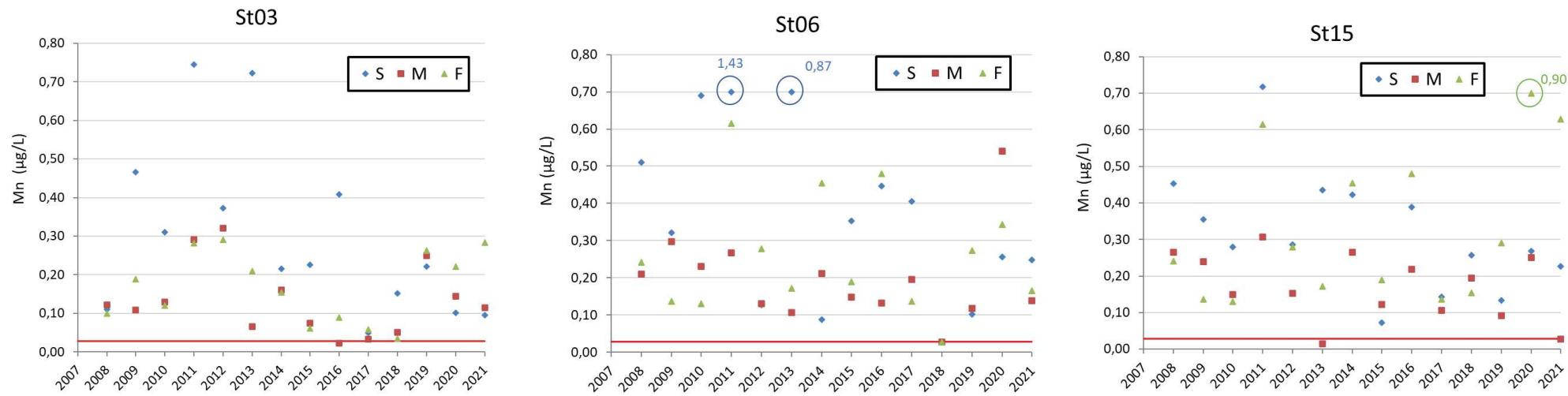


Figure 37: Concentrations en Mn dans les stations des baies (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 $\mu\text{g/L}$).

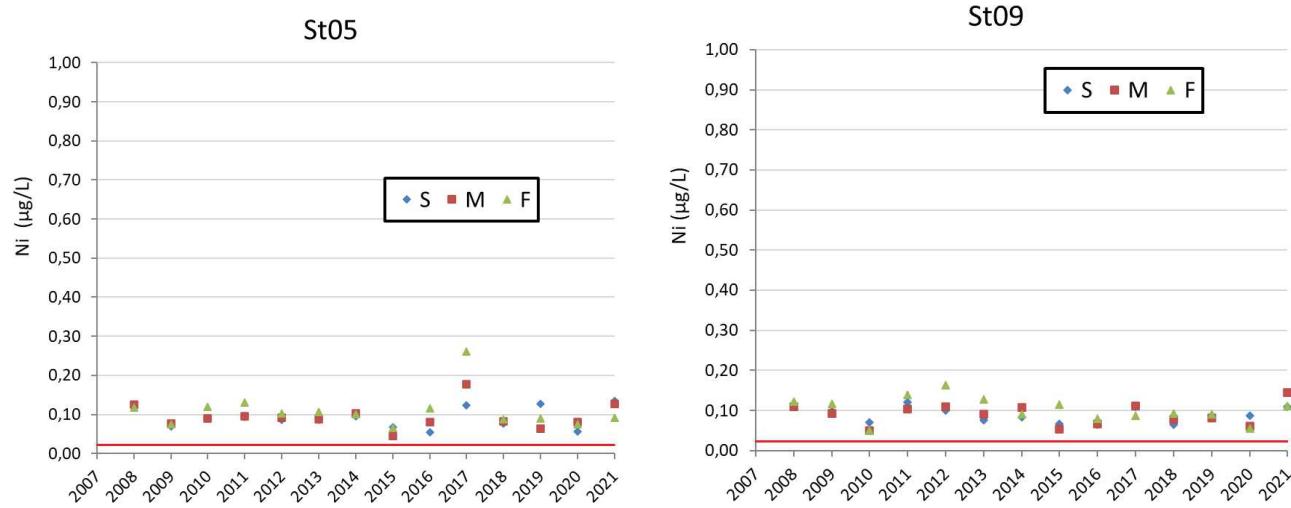


Figure 38 : Concentrations en Ni dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 $\mu\text{g/L}$).

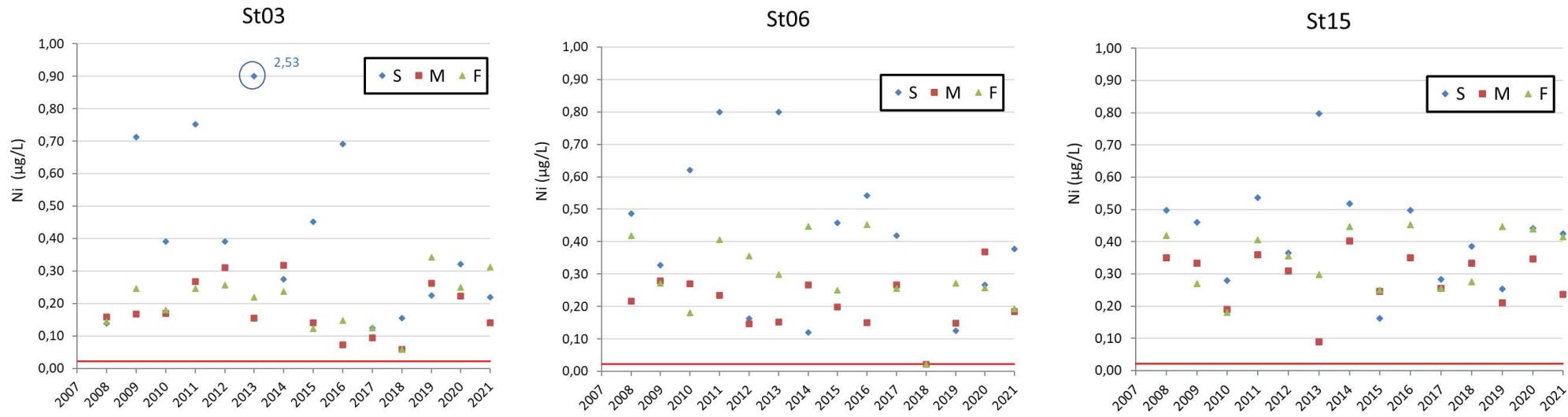


Figure 39: Concentrations en Ni dans les stations des baies (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 $\mu\text{g/L}$).

V. CONCLUSION

Ce suivi semestriel « saison fraîche » a été caractérisé une fois de plus par de faibles précipitations avant et durant la campagne. Toutefois, l'influence des apports d'eau douce provenant des creeks en régime d'étiage est visible sur les profils des variables physico-chimiques, pour les stations ST06 (Kwe) et ST15 (Rade du Nord), où les valeurs de salinité sont plus faibles et en corrélation avec des valeurs de turbidité plus importantes entre 5 et 10 m de profondeur, indiquent la chute des particules terrigènes apportées lors des précipitations par les creeks et rivières.

Les concentrations en éléments majeurs, stables dans l'eau de mer, ainsi que le pH restent semblables aux campagnes précédemment effectuées et sont homogènes entre les différentes zones étudiées.

Lors de cette campagne, la distribution spatiale des concentrations en MES est très hétérogène. On constate une opposition entre la zone Ouest de la zone d'étude, comprenant les stations de l'Île Ouen et de la baie de Prony caractérisées par des concentrations en MES supérieures à la moyenne, et la zone Est, comprenant les stations du Canal de la Havannah et des baies du Canal, dont les concentrations en MES sont inférieures à la moyenne, hormis les valeurs obtenues en profondeur aux stations ST09 et ST21. Aucun gradient côte-large n'est mis en évidence, en revanche les valeurs de MES sont plus élevées que l'année précédente, en saison fraîche (0,93 mg/L cette année contre 0,61 mg/L en août 2020).

La quantification des sels nutritifs réalisée sur l'ensemble de la zone montre des profils de répartition bien distincts. Tandis que les nitrates et nitrites montrent quelques valeurs élevées dans les baies et particulièrement dans la couche de surface, l'ammonium prédomine dans la zone orientale, d'influence océanique majoritairement. Les plus fortes concentrations en phosphates sont, quant à elles, retrouvées dans la partie occidentale de la zone d'étude, aussi bien aux stations d'influence terrigène qu'océanique. Les silicates suivent grossièrement cette répartition. Quel que soit l'élément, aucune hétérogénéité n'est marquée sur la verticale.

Les concentrations en matières organiques ne montrent pas, lors de la campagne de saison fraîche, de claire influence terrigène, comme cela avait déjà été le cas lors de la campagne de l'année précédente à la même saison. Aucune répartition « côte-large » décroissante n'est franchement marquée lors de cette campagne où les précipitations ont été quasiment absentes. De la même manière que pour les sels nutritifs, c'est plutôt une opposition Est/Ouest de la zone d'étude qui est observable. Les concentrations en chlorophylle-a sont peut-être les seules à marquer un gradient avec la distance à la côte, les concentrations moyennes maximales étant mesurées dans les baies, non loin des termes source de l'influence terrigène.

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

Les éléments Cobalt, Chrome, Manganèse et Nickel présentent dans l'ensemble une distribution « côte-large » décroissante avec la distance à la côte, notamment à partir de la baie du Prony et de la baie Kwé. En revanche, aucun des éléments ne présente un franc gradient avec la profondeur, contrairement aux années précédentes.

Cela peut être dû à un brassage vertical intense sous l'effet des vents soutenus et constants, aux forts courants de marée de Vive Eau et/ou au manque de précipitations, moteur du lessivage des sols.

Les concentrations en Cu, Co, Fe, Pb et Zn sont pour la plupart non quantifiables, inférieures à leurs limites de quantification respectives

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n° 9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n° 1312.
- Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Rousard 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 éléments.

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

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

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

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	7
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES PENDANT LES 3 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (30/07 AU 02/08/2021) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (03 AU 05/08/21). DONNEES STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "GORO USINE".....	9
FIGURE 3 : INTENSITE ET DIRECTION DU VENT SOUFFLANT AVANT ET DURANT LA CAMPAGNE (DONNEES METEO FRANCE, GORO USINE)	9
FIGURE 4: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021 REPORTEE SUR LES MAREGRAMMES DU 3 ET 5 AOUT 2021.....	10
FIGURE 5: PROFILS DE TEMPERATURE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	12
FIGURE 6: PROFILS DE SALINITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	13
FIGURE 7: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	14
FIGURE 8: PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	15
FIGURE 9: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	18
FIGURE 10: 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 2021.....	19
FIGURE 11: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	20
FIGURE 12 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	21
FIGURE 13 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN SILICATES (Si(OH) ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	22
FIGURE 14 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	24
FIGURE 15 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	24
FIGURE 16: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	26
FIGURE 17 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	26
FIGURE 18 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	27
FIGURE 19: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	28
FIGURE 20: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	30
FIGURE 21: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) DISSOUS SUPERIEURES A LA LQ (0,025 µg/L) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021	30
FIGURE 22: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME VI (CrVI) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	31
FIGURE 23: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL (CrTot) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	31
FIGURE 24: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CUIVRE (Cu) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	32
FIGURE 25: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	33

FIGURE 26: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	33
FIGURE 27: CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2021 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « GORO USINE ».	35
FIGURE 28: CONCENTRATIONS EN NH ₄ AUX STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	39
FIGURE 29: CONCENTRATIONS EN NH ₄ AUX STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15) EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	39
FIGURE 30: CONCENTRATIONS EN NO _x AUX STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE DETECTION (0,05 µMOL/L).	40
FIGURE 31: CONCENTRATIONS EN NO _x AUX STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15) EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE DETECTION (0,05 µMOL/L).	40
FIGURE 32: CONCENTRATIONS EN Co DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).....	44
FIGURE 33: CONCENTRATIONS EN Co DANS LES STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).....	44
FIGURE 34: CONCENTRATIONS EN Cr(VI) DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).....	45
FIGURE 35: CONCENTRATIONS EN Cr(VI) DANS LES STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).....	45
FIGURE 36: CONCENTRATIONS EN Mn DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).....	46
FIGURE 37: CONCENTRATIONS EN Mn DANS LES STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).....	46
FIGURE 38 : CONCENTRATIONS EN Ni DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).....	47
FIGURE 39: CONCENTRATIONS EN Ni DANS LES STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTE LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).....	47

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	8
TABLEAU 2: STATISTIQUES DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE ENREGISTREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.	11
TABLEAU 3 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN ELEMENTS MAJEURS ET DES VALEURS DU pH MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.	16
TABLEAU 4: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021	17
TABLEAU 5 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.....	22
TABLEAU 6 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.	25
TABLEAU 8 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (As, Cd ²⁺ , Co ²⁺ , Cr ⁶⁺ , Cr _{TOTAL} ET Cu ²⁺) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.	29
TABLEAU 9 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (Fe, Mn, Ni, Pb ET Zn) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE- CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2021.	29
TABLEAU 10 : MOYENNES, ENTRE 2008 ET 2021, DES CONCENTRATIONS EN NO _x ET NH ₄ DES STATIONS PILOTES, EN SURFACE, MI-PROFONDEUR ET FOND, AINSI QUE TOUTES PROFONDEURS CONFONDUES, ET MOYENNE DES CONCENTRATIONS EN FONCTION DES INFLUENCES DES STATIONS.	38
TABLEAU 11 : MOYENNES, ENTRE 2008 ET 2021, DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS DES STATIONS PILOTES, EN SURFACE, MI-PROFONDEUR ET FOND, AINSI QUE TOUTES PROFONDEURS CONFONDUES, ET MOYENNE DES CONCENTRATIONS EN FONCTIONS DES INFLUENCES DES STATIONS.....	43

ANNEXES

ANNEXE 1.....	55
ANNEXE 2.....	60
ANNEXE 3.....	62
ANNEXE 4.....	64
ANNEXE 5.....	66
ANNEXE 6.....	68
ANNEXE 7.....	70
ANNEXE 8.....	74
ANNEXE 9.....	79

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

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 néphéломétrie, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- la fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m³, qui permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

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

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

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

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

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

ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

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

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH_4^+) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) et de phosphates (PO_4^{3-}) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatman® GF/F (porosité 0,7 µm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) Nitrates + Nitrites

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

b) Ammonium

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

c) Phosphates

Le dosage des PO_4^{3-} a été effectué selon la méthode de [Murphy et Riley \(1962\)](#) basée sur la formation en milieu acide ($\text{pH} < 1$) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et 0,75 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 µmol/L avec des limites de quantification de 0,130 µmol/L pour le NOP et entre 0,75 et 7 µmol/L avec des limites de quantification de 0,050 µmol/L pour POP.

c) Carbone organique particulaire

L'analyse des filtres a été conduite sur un analyseur CHN (Carbone, Hydrogène, Azote) selon le principe de la combustion de la matière organique par l'oxygène, suivi d'un dosage du dioxyde de carbone et de l'azote

formés. L'analyse de carbone organique particulaire (COP) a été effectuée par le laboratoire des moyens analytiques de l'IRD de Dakar.

ANALYSE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

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

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

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

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

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 élusés 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).

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 2021.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
ST02	Minimum	22,60	0,12	0,09	35,07
	Maximum	22,92	0,71	1,34	35,35
	Moyenne	22,84	0,29	0,27	35,31
	Ecart-type	0,090	0,076	0,064	0,023
ST03	Minimum	22,01	0,15	0,25	35,24
	Maximum	22,96	0,92	1,96	35,52
	Moyenne	22,41	0,46	0,60	35,30
	Ecart-type	0,264	0,200	0,366	0,022
ST05	Minimum	22,20	0,09	0,11	35,19
	Maximum	22,98	0,49	1,30	35,33
	Moyenne	22,81	0,25	0,29	35,32
	Ecart-type	0,071	0,062	0,088	0,013
ST06	Minimum	22,10	0,06	0,45	34,43
	Maximum	22,84	0,50	2,05	35,29
	Moyenne	22,47	0,32	0,70	35,10
	Ecart-type	0,145	0,132	0,222	0,236
ST07	Minimum	22,16	0,05	0,22	35,05
	Maximum	22,81	0,64	1,68	35,44
	Moyenne	22,52	0,31	0,38	35,35
	Ecart-type	0,247	0,074	0,137	0,054
ST09	Minimum	22,31	0,07	0,20	35,18
	Maximum	22,88	0,49	0,44	35,37
	Moyenne	22,80	0,29	0,27	35,30
	Ecart-type	0,054	0,068	0,025	0,019
ST13	Minimum	22,07	0,21	0,45	35,52
	Maximum	22,14	0,60	0,96	35,63
	Moyenne	22,13	0,36	0,58	35,53
	Ecart-type	0,004	0,046	0,074	0,010
ST14	Minimum	21,88	0,10	0,05	35,27
	Maximum	22,71	0,59	0,88	35,35
	Moyenne	22,06	0,40	0,46	35,32
	Ecart-type	0,210	0,109	0,088	0,011

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
ST15	Minimum	21,79	0,01	0,23	35,27
	Maximum	22,13	0,93	4,34	35,49
	Moyenne	21,87	0,56	1,33	35,34
	Ecart-type	0,077	0,240	0,670	0,036
ST16	Minimum	21,82	0,02	0,21	35,26
	Maximum	22,22	0,92	3,10	35,48
	Moyenne	21,91	0,45	0,87	35,39
	Ecart-type	0,063	0,212	0,403	0,054
ST18	Minimum	21,85	0,02	0,35	35,26
	Maximum	22,08	0,84	1,42	35,42
	Moyenne	21,94	0,47	0,64	35,35
	Ecart-type	0,073	0,191	0,092	0,045
ST19	Minimum	21,92	0,09	0,47	35,27
	Maximum	22,53	0,75	0,92	35,48
	Moyenne	21,98	0,32	0,56	35,40
	Ecart-type	0,096	0,100	0,075	0,038
St20	Minimum	21,89	0,04	0,08	35,49
	Maximum	21,99	0,97	1,42	35,58
	Moyenne	21,91	0,33	0,67	35,51
	Ecart-type	0,024	0,097	0,157	0,006
St21	Minimum	22,08	0,12	0,22	35,04
	Maximum	22,85	0,55	1,10	35,50
	Moyenne	22,43	0,42	0,43	35,38
	Ecart-type	0,198	0,072	0,186	0,070

ND= Non Déterminé

ANNEXE 3

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

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
	Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST02	S 444	530	1413,72	12027,1	19815	41	0,756	8,17
	M 427	506	1356,27	11484,1	19985,8	38	0,226	8,27
	F 436	518	1382,59	11655	19985,8	46	0,292	8,25
ST03	S 414	487	1318,62	11079,8	19815	42	0,260	8,28
	M 427	505	1360,04	11445,4	19815	42	0,608	8,27
	F 442	533	1407,9	11883,2	19644,2	42	0,494	8,17
ST05	S 432	513	1373,38	11563,4	20156,6	42	0,512	8,27
	M 437	519	1389,78	11722,2	19985,8	41	0,436	8,24
	F 444	526	1405,38	11810,6	20156,6	42	0,470	8,28
ST06	S 423	500	1347,91	11348,1	19644,2	40	0,950	8,28
	M 436	516	1386,47	11677,5	19473,4	45	0,692	8,25
	F 422	497	1342,68	11254,4	19302,5	39	0,518	8,27
ST07	S 440	522	1395,72	11772,6	19131,7	43	0,768	8,18
	M 430	509	1366,03	11506,7	19131,7	40	0,536	8,24
	F 418	493	1326,49	11159,1	19131,7	41	0,520	8,26
ST09	S 421	495	1336,54	11233,5	18790,1	41	0,492	8,27
	M 430	509	1367,34	11460,5	19131,7	42	0,580	8,24
	F 412	487	1312,66	11055,9	19473,4	39	2,39	8,23
ST13	S 456	544	1450,48	12264,8	19473,4	41	0,532	8,1
	M 444	529	1408,94	11932,7	19302,5	42	1,53	8,12
	F 430	510	1368,38	11559,2	19473,4	44	1,12	8,12
ST14	S 421	497	1340,46	11239,6	18960,9	40	0,290	8,25
	M 431	512	1371,33	11520,7	19131,7	42	0,424	8,27
	F 425	503	1353,89	11440,1	19302,5	41	0,750	8,27
ST15	S 427	508	1368,32	11479	19302,5	42	1,87	8,1
	M 446	525	1404,46	11877	19302,5	41	1,16	8,12
	F 441	524	1400,87	11838	19644,2	43	1,06	8,12
ST16	S 435	515	1382,38	11638,3	19302,5	43	1,92	8,11
	M 419,8	494	1338,97	11236,5	19131,7	44	3,20	8,12
	F 449	531	1425,33	12028,3	19473,4	41	1,82	8,11

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST18	S	436	519	1388	11727	19131	42	1,99	8,12
	M	451	533	1426	12012	19131	42	0,804	8,13
	F	437	520	1386	11677	19302	41	1,03	8,13
ST19	S	440	522	1394	11761	19302	42	0,756	8,11
	M	444	528	1413	11923	19473	39	0,824	8,11
	F	437	536	1387	11648	19302	40	0,956	8,1
St20	S	431	511	1372	11480	19131	41	0,974	8,12
	M	421	502	1345	11311	19131	42	0,864	8,11
	F	457	537	1436	12102	19131	43	1,03	8,07
St21	S	433	512	1376	11600	19131	43	0,504	8,06
	M	428	507	1362	11508	19131	43	0,764	8,1
	F	425	502	1347	11273	19815	41	1,94	8,12

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021 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	0,011	0,285	<0,050	0,78
	M	0,334	0,635	<0,050	0,87
	F	0,383	0,391	<0,050	1,82
ST03	S	0,042	0,193	<0,050	1,26
	M	<0,050	0,041	<0,050	0,93
	F	0,092	0,259	<0,050	1,22
ST05	S	0,091	0,148	<0,050	0,6
	M	0,358	0,908	<0,050	0,69
	F	0,508	0,571	<0,050	0,49
ST06	S	0,463	0,331	<0,050	4,58
	M	0,008	0,996	<0,050	0,91
	F	0,1	0,063	<0,050	0,98
ST07	S	0,101	0,283	<0,050	1,19
	M	0,271	0,216	<0,050	1,05
	F	<0,050	0,160	<0,050	1,15
ST09	S	0,206	0,239	0,053	0,62
	M	<0,050	1,036	<0,050	0,74
	F	0,425	1,469	<0,050	1,1
ST13	S	0,055	0,067	<0,050	0,98
	M	<0,050	0,030	<0,050	3,44
	F	<0,050	0,072	0,077	0,94
ST14	S	1,052	0,125	<0,050	1,21
	M	0,279	0,194	<0,050	1,88
	F	0,105	0,424	<0,050	0,81
ST15	S	1,622	0,034	<0,050	6,24
	M	<0,050	0,182	<0,050	1,71
	F	<0,050	0,875	0,059	3,41
ST16	S	<0,050	0,037	<0,050	2,3
	M	<0,050	0,044	<0,050	2,38
	F	0,167	0,218	0,052	1,83

Station	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
ST18	S	<0,050	0,050	<0,050	3,7
	M	<0,050	0,282	0,063	1,66
	F	<0,050	0,061	<0,050	3,3
ST19	S	<0,050	0,051	<0,050	2,31
	M	0,303	0,031	0,06	2,22
	F	<0,050	0,102	0,055	1,64
St20	S	<0,050	0,147	<0,050	1,39
	M	<0,050	0,046	<0,050	1,63
	F	0,122	0,072	<0,050	1,47
St21	S	0,095	0,144	<0,050	0,94
	M	0,153	0,187	<0,050	0,98
	F	<0,050	0,116	<0,050	1,57

ND= Non Déterminé

ANNEXE 5

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle α

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle a du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique ($\mu\text{mol/L}$)						Chlorophylle α ($\mu\text{g/L}$)	
		NOD	POD	COP	NOP	POP	NT		
ST02	S	5,036	0,079	8,5	0,456	0,031	5,789	0,118	0,014
	M	4,545	0,111	10,4	0,528	0,032	6,043	0,149	0,178
	F	4,856	0,076	9,0	0,928	0,043	6,558	0,149	0,294
ST03	S	5,896	0,071	7,6	0,618	0,038	6,749	0,111	0,112
	M	4,646	0,075	8,8	0,595	0,024	5,302	0,099	0,223
	F	3,831	0,083	7,6	0,601	0,033	4,783	0,140	0,240
ST05	S	13,809	1,037	9,0	0,464	0,023	14,511	1,063	0,144
	M	3,937	0,094	8,3	0,530	0,033	5,733	0,147	0,172
	F	5,276	0,148	11,7	0,564	0,030	6,919	0,197	0,235
ST06	S	5,302	0,018	8,2	0,679	0,039	6,775	0,082	0,139
	M	3,593	0,058	10,1	0,664	0,029	5,261	0,088	0,197
	F	3,943	0,050	7,9	0,457	0,027	4,563	0,082	0,301
ST07	S	5,484	0,091	14,6	0,681	0,024	6,549	0,130	0,244
	M	2,631	0,038	15,7	1,22	0,045	4,334	0,108	0,278
	F	3,777	0,065	9,4	0,541	0,031	4,487	0,117	0,133
ST09	S	4,190	0,075	18,2	0,897	0,040	5,533	0,168	0,191
	M	6,523	0,140	7,3	0,422	0,021	7,991	0,184	0,240
	F	1,899	0,066	8,4	0,495	0,025	4,287	0,108	0,173
ST13	S	6,181	0,084	10,7	0,896	0,044	7,199	0,155	0,184
	M	10,708	0,229	38,9	0,987	0,035	11,761	0,305	0,039
	F	8,689	0,117	13,2	0,798	0,030	9,601	0,224	0,340
ST14	S	4,898	0,108	7,9	0,486	0,029	6,561	0,155	0,191
	M	3,259	0,018	10,0	0,834	0,049	4,565	0,091	0,306
	F	3,552	0,058	8,0	0,664	0,036	4,746	0,114	0,323
ST15	S	4,875	0,048	15,6	1,16	0,055	7,693	0,139	0,377
	M	7,703	0,065	13,4	1,00	0,048	8,924	0,156	0,514
	F	4,971	0,021	12,9	0,770	0,055	6,618	0,135	0,143
ST16	S	4,681	0,017	13,8	0,973	0,039	5,719	0,090	0,200
	M	5,377	0,047	16,0	0,836	0,034	6,317	0,112	0,180
	F	6,813	0,039	17,4	1,05	0,053	8,246	0,144	0,139

ND= Non Déterminé

Station	Niveau	Matière organique (µmoL/L)						Chlorophylle α (µg/L)	
		NOD	POD	COP	NOP	POP	NT		
ST18	S	7,125	0,040	12,7	1,09	0,039	8,408	0,114	0,078
	M	9,958	0,092	11,1	1,02	0,062	11,258	0,217	0,423
	F	17,008	0,715	29,0	1,13	0,052	18,212	0,811	0,511
ST19	S	12,473	0,180	11,8	1,46	0,045	14,007	0,260	0,281
	M	5,530	0,043	10,8	1,11	0,039	6,977	0,142	0,219
	F	3,537	0,006	11,8	2,25	0,062	5,922	0,123	0,330
St20	S	7,870	0,084	9,4	1,04	0,031	9,107	0,144	0,087
	M	7,790	0,113	10,3	0,853	0,035	8,735	0,173	0,227
	F	5,125	0,078	10,3	1,51	0,038	6,828	0,146	0,219
St21	S	7,001	0,108	9,7	1,03	0,054	8,267	0,192	0,211
	M	4,883	0,054	15,2	1,38	0,059	6,607	0,152	0,188
	F	7,582	0,126	18,5	0,950	0,042	8,696	0,204	0,311

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2021 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST02	S	1,81	<0,025	<0,027	0,105	0,232	0,064	<0,059	0,083	0,122	<0,100	<1,07
	M	2,41	<0,025	<0,027	0,127	0,17	<0,025	<0,059	0,068	0,134	<0,100	<1,07
	F	2,21	<0,025	<0,027	0,127	0,222	<0,025	<0,059	0,075	0,122	<0,100	<1,07
ST03	S	<1	<0,025	<0,027	0,154	0,195	<0,025	<0,059	0,095	0,219	<0,100	<1,07
	M	1,81	<0,025	<0,027	0,121	0,169	<0,025	<0,059	0,113	0,141	<0,100	<1,07
	F	1,46	<0,025	0,03754	0,155	0,16	<0,025	<0,059	0,283	0,313	<0,100	<1,07
ST05	S	1,30	<0,025	<0,027	0,121	0,171	0,0631	<0,059	0,096	0,134	<0,100	<1,07
	M	2,11	<0,025	<0,027	0,121	0,158	<0,025	<0,059	0,069	0,127	<0,100	<1,07
	F	1,49	<0,025	<0,027	0,127	0,157	<0,025	<0,059	0,084	0,092	<0,100	<1,07
ST06	S	1,59	<0,025	0,0288	0,379	0,437	<0,025	<0,059	0,248	0,378	<0,100	<1,07
	M	1,74	<0,025	<0,027	0,178	0,225	<0,025	<0,059	0,138	0,184	<0,100	<1,07
	F	1,56	<0,025	<0,027	0,148	0,207	0,028	0,06077	0,165	0,193	<0,100	<1,07
ST07	S	1,72	<0,025	<0,027	0,128	0,301	0,031	<0,059	0,162	0,139	<0,100	<1,07
	M	1,98	<0,025	<0,027	0,097	0,238	<0,025	<0,059	0,193	0,168	<0,100	<1,07
	F	2,24	<0,025	<0,027	0,14	0,247	<0,025	<0,059	0,146	0,228	<0,100	<1,07
ST09	S	2,05	<0,025	<0,027	0,124	0,19	0,032	<0,059	0,065	0,109	<0,100	<1,07
	M	1,64	<0,025	<0,027	0,125	0,163	0,056	<0,059	0,279	0,145	<0,100	<1,07
	F	1,80	<0,025	<0,027	0,126	0,224	<0,025	<0,059	<0,02	0,112	<0,100	<1,07
ST13	S	1,97	<0,025	<0,027	0,133	0,171	0,037	<0,059	0,108	0,185	<0,100	<1,07
	M	1,86	<0,025	<0,027	0,127	0,177	0,028	<0,059	0,106	0,169	<0,100	<1,07
	F	1,55	<0,025	<0,027	0,128	0,174	<0,025	<0,059	0,121	0,185	<0,100	<1,07
ST14	S	1,72	<0,025	<0,027	0,13	0,186	0,057	<0,059	0,101	0,152	<0,100	<1,07
	M	1,73	<0,025	<0,027	0,136	0,199	<0,025	0,06295	0,123	0,172	<0,100	<1,07
	F	2,00	<0,025	<0,027	0,117	0,192	<0,025	<0,059	0,156	0,185	<0,100	<1,07
ST15	S	1,50	<0,025	0,05184	0,255	0,299	<0,025	<0,059	0,227	0,425	<0,100	<1,07
	M	1,38	<0,025	<0,027	0,218	0,216	<0,025	<0,059	<0,02	0,237	<0,100	<1,07
	F	1,88	<0,025	0,04835	0,201	0,233	<0,025	<0,059	0,630	0,415	<0,100	<1,07
ST16	S	1,44	<0,025	0,03355	0,24	0,264	0,042	<0,059	0,203	0,366	<0,100	<1,07
	M	2,01	<0,025	0,03207	0,212	0,25	<0,025	<0,059	0,136	0,396	<0,100	<1,07
	F	1,71	<0,025	<0,027	0,154	0,271	<0,025	<0,059	0,064	0,211	<0,100	<1,07

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST18	S	1,38	<0,025	0,034	0,223	0,253	<0,025	<0,059	0,159	0,382	<0,100	<1,07
	M	1,77	<0,025	<0,027	0,183	0,235	<0,025	<0,059	0,065	0,253	<0,100	<1,07
	F	1,88	<0,025	<0,027	0,175	0,297	<0,025	<0,059	0,080	0,278	<0,100	<1,07
ST19	S	2,08	<0,025	0,034	0,201	0,234	0,132	<0,059	0,289	0,421	<0,100	<1,07
	M	1,79	<0,025	<0,027	0,187	0,216	<0,025	<0,059	0,134	0,325	<0,100	<1,07
	F	1,77	<0,025	<0,027	0,155	0,236	<0,025	<0,059	0,129	0,285	<0,100	<1,07
St20	S	1,72	<0,025	<0,027	0,14	0,19	0,030	<0,059	0,105	0,227	0,137	<1,07
	M	1,60	<0,025	<0,027	0,14	0,188	<0,025	<0,059	0,238	0,352	<0,100	<1,07
	F	1,68	<0,025	<0,027	0,141	0,214	<0,025	<0,059	0,139	0,289	<0,100	<1,07
St21	S	1,79	<0,025	<0,027	0,125	0,176	<0,025	<0,059	0,106	0,152	<0,100	<1,07
	M	1,95	<0,025	<0,027	0,125	0,169	<0,025	<0,059	0,08	0,141	<0,100	<1,07
	F	2,09	<0,025	<0,027	0,125	0,182	<0,025	<0,059	0,07	0,159	<0,100	<1,07

Rappel : Les valeurs des LQ des métaux sont : Co< 0,027 µg/L ; Cu< 0,025 µg/L ; Fe< 0,068 µg/L ; Mn< 0,028 µg/L ; Ni< 0,022 µg/L ; Pb< 0,100 µg/L et Zn< 1,07 µg/L

ANNEXE 7

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO₃+NO₂), ammonium (NH₄), phosphates (PO₄) et silicates (SiO₄) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2021 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	NO ₃ +NO ₂ (μmol/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	<0,050	0,103	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,009
	Maximum	0,106	0,367	0,274	0,685	0,076	1,143	1,489	0,529	<0,050	0,660	0,918	1,319	18,94	0,508
	Moyenne	0,073	0,223	0,170	0,216	0,006	0,517	0,245	0,204	-	0,051	0,240	0,163	1,54	0,200
	Ecart-type	0,029	0,101	0,070	0,204	0,020	0,337	0,355	0,155	-	0,171	0,265	-	4,82	0,168
Baies du Canal	Minimum	0,055	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,555	0,101	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,008
	Maximum	0,095	0,397	0,247	0,473	0,033	1,426	0,644	0,296	0,098	1,361	0,754	0,399	1,77	1,052
	Moyenne	0,078	0,149	0,108	0,206	0,004	0,866	0,360	0,159	0,011	0,193	0,252	0,126	0,36	0,240
	Ecart-type	0,016	0,154	0,091	0,153	0,011	0,269	0,188	0,097	0,033	0,455	0,259	-	0,541	0,338
Baie du Prony	Minimum	0,070	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,084	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,000
	Maximum	0,102	0,176	0,142	0,168	1,477	0,748	2,374	0,105	<0,050	<0,050	0,236	0,179	0,57	1,622
	Moyenne	0,084	0,040	0,033	0,063	0,174	0,358	0,357	0,027	-	<0,050	0,074	0,092	0,14	0,203
	Ecart-type	0,012	0,050	0,047	0,058	0,416	0,191	0,680	0,035	-	<0,050	0,081	-	0,15	0,456
Ile Ouen	Minimum	<0,050	0,090	<0,050	<0,050	<0,050	0,095	0,143	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,036
	Maximum	0,078	0,307	0,181	0,158	0,106	0,462	1,201	0,691	<0,050	<0,050	0,078	0,073	0,53	0,122
	Moyenne	0,057	0,167	0,064	0,086	0,068	0,272	0,507	0,183	-	<0,050	0,021	0,054	0,13	0,058
	Ecart-type	0,025	0,082	0,067	0,051	0,037	0,135	0,482	0,274	-	<0,050	0,034	-	0,20	0,032

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (μmol/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	0,017	0,019	0,030	0,041	0,017	0,073	0,016	0,036	0,047	0,050	0,055	0,033	0,002	0,116
	Maximum	0,044	0,127	0,240	0,247	0,126	0,589	0,048	0,111	0,297	0,296	0,866	0,670	0,447	1,469
	Moyenne	0,024	0,051	0,080	0,086	0,051	0,162	0,034	0,063	0,103	0,106	0,215	0,155	0,084	0,453
	Ecart-type	0,009	0,033	0,060	0,057	0,030	0,126	0,009	0,025	0,075	0,073	0,200	0,171	0,129	0,401
Baies du Canal	Minimum	0,018	0,028	0,041	0,026	0,020	0,095	0,038	0,051	0,058	0,040	0,058	0,042	0,002	0,041
	Maximum	0,091	0,139	0,166	0,242	0,118	0,282	0,091	0,161	0,977	0,139	0,712	0,431	0,668	0,996
	Moyenne	0,036	0,074	0,091	0,093	0,045	0,154	0,062	0,095	0,192	0,097	0,216	0,209	0,176	0,292
	Ecart-type	0,021	0,031	0,049	0,065	0,033	0,056	0,016	0,031	0,298	0,039	0,248	0,143	0,207	0,291
Baie du Prony	Minimum	0,007	0,027	0,017	0,014	0,015	0,013	0,015	0,018	0,026	0,022	0,058	0,032	0,109	0,031
	Maximum	0,098	0,148	0,121	0,172	0,149	0,408	0,100	0,099	0,297	0,213	0,712	0,440	0,415	0,875
	Moyenne	0,021	0,058	0,048	0,057	0,034	0,205	0,039	0,040	0,083	0,073	0,216	0,144	0,240	0,164
	Ecart-type	0,029	0,036	0,036	0,054	0,038	0,135	0,026	0,024	0,078	0,077	0,248	0,117	0,119	0,239
Ile Ouen	Minimum	0,018	0,075	0,037	0,053	0,026	0,059	0,045	0,031	0,055	0,029	0,058	0,021	0,143	0,030
	Maximum	0,034	0,102	0,097	0,263	0,077	0,154	0,073	0,089	0,294	0,104	0,712	0,124	0,651	0,147
	Moyenne	0,024	0,087	0,060	0,114	0,039	0,114	0,056	0,055	0,170	0,060	0,216	0,048	0,337	0,072
	Ecart-type	0,008	0,010	0,022	0,076	0,019	0,043	0,010	0,022	0,095	0,029	0,248	0,038	0,192	0,040

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (μmol/L)												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	0,065	0,084	ND	0,063	<0,050	0,103	<0,050	0,112	<0,050	0,101	<0,050	0,288	<0,050
	Moyenne	<0,050	0,056	ND	<0,050	<0,050	0,051	<0,050	0,070	-	0,072	<0,050	0,066	<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	<0,050	<0,050
	Maximum	0,084	0,117	ND	0,059	<0,050	0,109	0,064	0,096	<0,050	0,101	0,080	<0,050	<0,050
	Moyenne	<0,050	0,059	ND	<0,050	<0,050	0,072	0,064 (n=1)	0,069	-	0,048	0,018	<0,050	<0,050
	Ecart-type	0,018	0,023	ND	0,013		0,028		0,018	-	0,032	0,035	-	<0,050
Baie du Prony	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,074	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	<0,050	0,086	ND	0,203	<0,050	0,176	<0,050	0,156	<0,050	0,109	0,089	<0,050	<0,050
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,084	<0,050	0,057	<0,050	0,106	-	0,033	0,033	<0,050	<0,050
	Ecart-type	0,021	ND	0,047		0,052		0,021	-	0,030	0,036	-	-	<0,050
Île Ouen	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,102	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Maximum	<0,050	0,056	ND	0,084	<0,050	0,054	0,090	0,139	<0,050	0,061	<0,050	<0,050	0,077
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,051	<0,050	<0,050	0,090 (n=1)	0,116	-	0,026	<0,050	<0,050	<0,050
	Ecart-type	0,014	ND	0,028		0,018		0,013	-	0,023	<0,050	-	-	<0,050

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (μmol/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Canal de la Havannah	Minimum	0,80	0,92	<0,05	<0,05	1,14	1,07	1,32	0,99	<0,05	1,36	1,15	0,84	ND	0,490
	Maximum	2,40	1,76	2,48	0,70	1,50	1,77	1,76	1,67	0,59	1,81	1,70	6,49	ND	1,820
	Moyenne	1,20	1,32	1,25	0,20	1,30	1,33	1,54	1,19	0,11	1,62	1,35	1,73	ND	0,973
	Ecart-type	0,42	0,31	0,72	0,26	0,11	0,20	0,15	0,19	0,19	0,14	0,19	1,51	ND	0,364
Baies du Canal	Minimum	0,82	1,38	0,53	0,05	1,33	1,62	1,60	1,31	0,14	1,95	1,01	1,13	ND	0,810
	Maximum	1,87	3,84	1,83	4,34	2,28	10,79	2,53	4,13	4,76	4,09	10,15	6,77	ND	4,580
	Moyenne	1,16	1,98	1,05	1,44	1,71	3,49	1,99	2,08	1,29	2,58	2,45	2,05	ND	1,531
	Ecart-type	0,35	0,82	0,51	1,28	0,35	2,97	0,31	1,02	1,54	0,73	2,90	1,81	ND	1,186
Baie du Prony	Minimum	1,32	1,89	0,75	0,39	1,80	2,31	1,94	1,88	0,62	2,47	2,06	1,38	ND	1,640
	Maximum	3,02	4,31	3,15	2,65	3,07	5,89	3,31	4,46	2,92	4,18	4,23	5,81	ND	6,240
	Moyenne	2,04	2,88	1,44	1,22	2,36	3,47	2,64	2,89	1,66	3,12	2,97	2,78	ND	2,725
	Ecart-type	0,59	0,84	0,81	0,65	0,43	1,43	0,46	0,71	0,76	0,60	0,70	1,32	ND	1,313
Ile Ouen	Minimum	1,22	1,42	0,68	0,29	1,29	1,88	1,59	1,55	0,25	1,55	1,51	0,96	ND	0,940
	Maximum	1,96	2,31	0,77	1,37	1,87	3,43	3,46	2,10	1,00	2,59	3,96	1,99	ND	3,440
	Moyenne	1,54	1,83	0,72	0,71	1,63	2,40	2,27	1,82	0,66	2,01	2,35	1,32	ND	1,642
	Ecart-type	0,38	0,39	0,03	0,45	0,26	0,61	0,64	0,24	0,24	0,36	0,89	0,38	ND	0,923

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 particulaires mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2021 lors des campagnes semestrielle « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	NOD ($\mu\text{mol/L}$)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	2,55	1,56	4,54	2,26	2,73	1,21	4,44	3,13	4,00	3,97	4,65	4,060	2,45	1,89
	Maximum	4,36	4,59	7,43	4,76	4,45	3,02	7,33	7,54	18,55	7,85	10,78	6,230	6,20	13,81
	Moyenne	3,74	3,09	5,88	3,73	3,38	1,97	5,51	4,65	10,73	5,42	7,65	5,387	4,50	5,43
	Ecart-type	0,58	0,85	0,92	0,76	0,51	0,56	0,79	1,26	5,68	1,03	1,61	0,596	0,93	2,76
Baies du Canal	Minimum	2,55	2,88	5,20	3,56	2,01	0,86	4,75	3,13	3,24	4,26	4,54	4,430	2,68	3,26
	Maximum	4,83	4,37	7,44	5,31	4,02	2,78	5,86	6,26	18,37	12,07	12,76	6,090	6,47	5,89
	Moyenne	3,80	3,59	6,21	4,40	3,07	1,66	5,36	4,38	9,32	6,72	6,66	5,155	4,40	4,32
	Ecart-type	0,79	0,42	0,74	0,58	0,78	0,59	0,40	0,96	6,14	2,46	3,19	0,560	4,40	0,90
Baie du Prony	Minimum	3,66	2,45	4,51	3,11	2,45	1,55	5,40	3,08	3,77	5,13	4,72	4,640	3,96	3,54
	Maximum	4,08	4,25	7,16	4,57	4,48	4,22	8,62	6,13	20,46	10,35	8,41	11,570	7,16	17,01
	Moyenne	3,91	3,50	5,79	3,72	3,47	2,21	6,45	4,28	7,81	7,16	6,29	6,205	4,95	7,50
	Ecart-type	0,13	0,49	0,68	0,49	0,57	0,72	0,90	1,01	4,87	1,89	1,11	1,898	1,07	3,89
Île Ouen	Minimum	3,86	3,39	5,33	3,67	3,21	1,96	5,56	3,34	4,64	4,20	4,61	2,210	2,92	5,12
	Maximum	4,50	4,20	7,19	6,87	4,70	2,69	6,45	3,92	12,51	9,40	8,24	6,750	7,13	10,71
	Moyenne	4,10	3,75	6,50	4,62	3,98	2,34	5,91	3,53	6,89	6,47	6,36	5,610	4,29	7,73
	Ecart-type	0,35	0,32	0,70	1,51	0,54	0,26	0,33	0,21	2,87	2,04	1,28	1,705	1,54	1,95

Zone d'étude	Statistique	POD (µmol/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	0,132	0,232	ND	0,009	0,048	0,072	0,160	NA	0,084	<0,050	0,136	<0,050	<0,050	0,04
	Maximum	0,316	0,837	ND	0,204	0,205	0,361	0,321	NA	0,198	0,102	0,249	0,350	0,11	1,04
	Moyenne	0,187	0,512	ND	0,076	0,154	0,186	0,249	NA	0,141	0,057	0,192	0,202	0,04	0,15
	Ecart-type	0,046	0,159	ND	0,073	0,049	0,094	0,048	NA	0,032	0,033	0,033	0,096	0	0,25
Baies du Canal	Minimum	0,132	0,378	ND	0,017	0,012	0,039	0,204	NA	0,013	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,02
	Maximum	0,288	0,708	ND	0,230A	0,200	0,310	0,323	NA	0,280	0,110	0,241	0,243	0,07	0,11
	Moyenne	0,202	0,511	ND	0,110	0,118	0,213	0,255	NA	0,132	0,071	0,125	0,174	0,02	0,06
	Ecart-type	0,051	0,129	ND	0,065	0,066	0,083	0,042	NA	0,089	0,033	0,083	-	-	0,03
Baie du Prony	Minimum	0,171	0,533	ND	0,052	0,107	0,269	0,098	NA	0,064	0,065	0,071	0,149	<0,050	0,01
	Maximum	0,277	0,899	ND	0,158	0,240	0,709	0,288	NA	0,154	0,128	0,183	0,327	0,27	0,71
	Moyenne	0,207	0,684	ND	0,099	0,175	0,429	0,216	NA	0,118	0,091	0,132	0,235	0,05	0,11
	Ecart-type	0,034	0,103	ND	0,037	0,037	0,125	0,049	NA	0,029	0,018	0,035	0,066	-	0,20
Ile Ouen	Minimum	0,191	0,538	ND	0,059	0,067	0,257	0,176	NA	0,014	<0,050	0,081	0,165	<0,050	0,08
	Maximum	0,294	0,825	ND	0,083	0,182	0,523	0,293	NA	0,233	0,088	0,162	0,310	0,01	0,23
	Moyenne	0,227	0,688	ND	0,071	0,123	0,337	0,242	NA	0,095	0,067	0,131	0,223	0,00	0,12
	Ecart-type	0,058	0,109	ND	0,012	0,044	0,111	0,048	NA	0,077	0,033	0,031	0,059	-	0,06

Zone d'étude	Statistique	COP (μmol/L)												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	5,27	4,66	8,49	NA	5,00	3,98	4,85	5,27	2,99	5,00	ND	2,900	5,83
	Maximum	21,69	16,19	54,98	NA	46,08	19,06	12,81	21,69	7,31	10,00	ND	9,200	19,98
	Moyenne	9,80	7,33	14,06	NA	11,30	8,27	6,72	9,80	5,28	8,17	ND	4,993	12,25
	Ecart-type	4,28	2,52	11,14	NA	10,27	4,37	2,50	4,28	1,25	1,42	ND	1,860	4,69
Baies du Canal	Minimum	5,24	4,11	9,15	NA	9,03	4,58	5,40	5,24	3,53	5,00	ND	4,200	5,00
	Maximum	12,29	11,21	14,72	NA	28,96	20,96	10,12	12,29	28,93	15,00	ND	12,400	136,45
	Moyenne	6,71	6,92	11,55	NA	17,06	10,84	7,59	6,71	10,56	8,52	ND	6,056	17,27
	Ecart-type	1,98	1,94	1,88	NA	7,61	5,16	1,71	1,98	7,66	2,82	ND	2,642	46,12
Baie du Prony	Minimum	5,59	5,15	8,43	NA	7,18	4,54	4,94	5,59	4,08	5,00	ND	3,700	3,33
	Maximum	7,08	10,66	15,72	NA	14,65	22,66	13,60	7,08	10,38	13,33	ND	7,100	14,99
	Moyenne	6,28	6,69	12,98	NA	9,47	15,08	8,81	6,28	5,53	8,06	ND	5,383	8,12
	Ecart-type	0,44	1,62	2,79	NA	2,26	7,09	2,53	0,44	1,90	2,23	ND	1,151	3,53
Ile Ouen	Minimum	5,27	5,84	12,06	NA	9,20	4,86	7,98	5,27	5,31	5,83	ND	4,700	8,33
	Maximum	7,19	7,36	22,42	NA	20,19	19,78	14,55	7,19	22,82	13,33	ND	6,900	19,98
	Moyenne	5,90	6,46	17,70	NA	13,69	9,10	10,81	5,90	10,14	9,00	ND	5,600	12,58
	Ecart-type	0,78	0,55	4,09	NA	5,10	6,20	2,62	0,78	6,38	2,97	ND	0,772	4,07

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

Zone d'étude	Statistique	NOP (µmol/L)												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,341	0,390	0,140	0,367	0,615	1,210	0,337	0,222	0,245	0,472	0,421	0,411	0,60
	Maximum	1,321	3,280	0,510	1,208	1,274	3,020	0,989	0,853	0,653	0,936	0,832	1,070	1,64
	Moyenne	0,752	1,332	0,275	0,612	0,933	1,973	0,609	0,442	0,502	0,618	0,559	0,570	0,95
	Ecart-type	0,305	0,905	0,112	0,215	0,217	0,557	0,200	0,202	0,116	0,124	0,134	0,164	0,32
Baies du Canal	Minimum	0,561	0,220	0,054	0,486	0,568	0,863	0,425	0,237	0,491	0,572	0,538	0,527	0,68
	Maximum	1,187	1,140	0,514	0,875	1,301	2,779	1,038	0,849	0,936	0,946	1,223	1,900	1,35
	Moyenne	0,724	0,631	0,290	0,721	0,866	1,662	0,678	0,488	0,635	0,774	0,701	0,895	1,10
	Ecart-type	0,201	0,272	0,148	0,137	0,240	0,590	0,178	0,166	0,158	0,114	0,223	0,406	0,231
Baie du Prony	Minimum	0,771	0,110	0,188	0,358	0,694	1,553	0,593	0,492	0,596	0,662	0,493	0,441	0,57
	Maximum	1,115	1,720	0,600	0,897	1,270	4,220	1,268	1,133	2,349	1,332	1,526	1,499	1,25
	Moyenne	0,876	0,658	0,298	0,654	0,862	2,214	0,943	0,790	0,929	0,901	0,692	0,792	0,86
	Ecart-type	0,105	0,423	0,118	0,158	0,172	0,719	0,221	0,188	0,469	0,221	0,274	0,294	0,27
Île Ouen	Minimum	0,717	0,110	0,183	0,583	0,593	1,961	0,622	0,531	0,623	0,618	0,730	0,428	0,86
	Maximum	0,813	4,580	0,358	1,251	0,813	2,695	0,918	0,817	1,776	0,855	0,879	4,002	1,30
	Moyenne	0,760	1,117	0,259	0,912	0,661	2,341	0,746	0,676	1,021	0,718	0,808	1,087	1,16
	Ecart-type	0,048	1,723	0,061	0,295	0,081	0,263	0,124	0,113	0,534	0,101	0,060	1,429	0,20
														0,26

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	0,033	0,036	0,085	0,011	0,043	0,057	0,019	0,025	0,016	<0,050	0,044	<0,050	<0,050	0,033
	Maximum	0,102	0,337	0,156	0,071	0,198	0,136	0,047	0,078	0,043	0,102	0,073	0,079	0,10	0,102
	Moyenne	0,071	0,087	0,098	0,034	0,063	0,082	0,027	0,048	0,031	0,057	0,055	0,054	0,03	0,071
	Ecart-type	0,019	0,075	0,017	0,017	0,040	0,024	0,008	0,015	0,008	0,033	0,008	-	-	0,019
Baies du Canal	Minimum	0,067	0,042	0,083	0,022	0,043	0,072	0,017	0,046	0,030	<0,050	0,047	<0,050	<0,050	0,067
	Maximum	0,106	0,079	0,156	0,050	0,102	0,233	0,054	0,089	0,060	0,110	0,112	0,181	0,12	0,106
	Moyenne	0,088	0,054	0,104	0,036	0,062	0,103	0,033	0,067	0,040	0,071	0,076	0,087	0,07	0,088
	Ecart-type	0,013	0,012	0,024	0,008	0,019	0,050	0,011	0,015	0,010	0,033	0,023	-	-	0,013
Baie du Prony	Minimum	0,075	0,048	0,093	0,022	0,049	0,067	0,023	0,041	0,042	0,065	0,035	<0,050	<0,050	0,075
	Maximum	0,115	0,086	0,124	0,057	0,160	0,247	0,072	0,065	0,071	0,128	0,100	0,068	0,10	0,115
	Moyenne	0,094	0,063	0,109	0,040	0,070	0,111	0,047	0,052	0,051	0,091	0,049	0,055	0,05	0,094
	Ecart-type	0,014	0,013	0,009	0,013	0,031	0,051	0,016	0,006	0,010	0,018	0,017	-	-	0,014
Île Ouen	Minimum	0,082	0,032	0,086	0,015	0,041	0,072	0,028	0,048	0,040	<0,050	0,044	<0,050	0,06	0,082
	Maximum	0,090	0,054	0,127	0,065	0,098	0,088	0,041	0,106	0,092	0,088	0,114	0,082	0,12	0,090
	Moyenne	0,086	0,045	0,104	0,040	0,060	0,082	0,035	0,079	0,054	0,067	0,073	0,055	0,09	0,086
	Ecart-type	0,004	0,008	0,016	0,019	0,020	0,005	0,005	0,020	0,020	0,033	0,025	-	0,03	0,004

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 2021 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Canal de la Havannah	Minimum	0,088	0,154	0,586	0,103	0,172	0,208	0,047	0,321	0,113	NE	0,320	0,163	0,021	0,014
	Maximum	0,975	0,431	2,554	0,734	0,603	0,762	0,833	0,477	0,393	0,048	0,783	0,434	0,345	0,311
	Moyenne	0,442	0,321	1,028	0,396	0,420	0,379	0,287	0,374	0,257	NE	0,519	0,262	0,161	0,200
	Ecart-type	0,196	0,088	0,480	0,177	0,129	0,151	0,252	0,040	0,084	0,064	0,148	0,075	0,083	0,074
Baies du Canal	Minimum	0,333	0,157	0,404	0,304	0,364	0,119	0,011	0,212	0,123	NE	0,238	0,173	0,022	0,112
	Maximum	0,629	0,499	1,208	0,745	0,687	1,284	0,403	0,611	0,367	0,030	0,607	0,480	0,267	0,323
	Moyenne	0,455	0,350	0,930	0,482	0,511	0,416	0,230	0,402	0,277	NE	0,447	0,264	0,118	0,226
	Ecart-type	0,087	0,113	0,269	0,149	0,113	0,368	0,141	0,120	0,082	0,055	0,115	0,097	0,088	0,074
Baie du Prony	Minimum	0,161	0,162	0,593	0,005	0,203	0,073	0,130	0,184	0,157	NE	0,072	0,004	0,038	0,078
	Maximum	0,570	0,900	1,090	0,629	1,276	2,504	0,457	0,609	0,369	0,129	2,026	0,181	0,387	0,514
	Moyenne	0,396	0,351	0,755	0,348	0,446	0,644	0,280	0,408	0,259	NE	0,627	0,081	0,123	0,283
	Ecart-type	0,124	0,194	0,141	0,192	0,290	0,673	0,108	0,124	0,067	0,098	0,514	0,065	0,101	0,148
Ile Ouen	Minimum	0,428	0,237	0,602	0,046	0,278	0,100	0,125	0,332	0,121	NE	0,469	0,082	0,022	0,039
	Maximum	0,464	0,395	1,030	0,493	0,374	1,004	0,397	0,498	0,278	0,112	0,582	0,273	0,435	0,340
	Moyenne	0,441	0,282	0,806	0,326	0,319	0,489	0,242	0,405	0,229	NE	0,498	0,177	0,144	0,183
	Ecart-type	0,020	0,060	0,147	0,213	0,039	0,390	0,110	0,061	0,060	0,084	0,043	0,077	0,153	0,108

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 2021 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)*												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	ND	1,18	ND	ND	1,13	1,29	1,00	1,30	0,33	1,80	1,10	1,86	0,50
	Maximum	ND	1,72	ND	ND	1,27	1,43	3,00	2,60	3,10	2,70	2,70	2,23	2,08
	Moyenne	ND	1,36	ND	ND	1,22	1,36	1,73	2,01	1,67	2,27	1,71	2,03	1,78
	Ecart-type	ND	0,15	ND	ND	0,04	0,05	0,59	0,38	0,72	0,27	0,45	0,12	0,37
Baies du Canal	Minimum	ND	0,93	ND	ND	1,16	0,74	1,00	1,45	0,33	1,50	1,30	1,75	0,50
	Maximum	ND	1,81	ND	ND	1,27	1,42	2,00	3,60	2,00	2,40	2,10	2,50	1,93
	Moyenne	ND	1,34	ND	ND	1,21	1,20	1,56	2,24	1,01	1,99	1,69	2,09	1,52
	Ecart-type	ND	0,25	ND	ND	0,03	0,23	0,53	0,65	0,68	0,28	0,31	0,24	0,417
Baie du Prony	Minimum	ND	1,16	ND	ND	1,07	1,01	1,00	1,40	0,33	1,50	1,10	1,60	1,57
	Maximum	ND	1,55	ND	ND	1,19	1,30	2,00	3,00	2,10	2,60	2,30	1,88	2,11
	Moyenne	ND	1,40	ND	ND	1,13	1,21	1,60	2,34	1,49	2,02	1,72	1,74	1,72
	Ecart-type	ND	0,13	ND	ND	0,04	0,11	0,55	0,54	0,45	0,300	0,42	0,09	0,18
Île Ouen	Minimum	ND	1,13	ND	ND	1,13	1,14	1,00	1,50	0,33	2,00	1,10	1,82	0,50
	Maximum	ND	1,33	ND	ND	1,25	1,32	2,00	2,80	2,30	2,40	2,00	1,98	1,99
	Moyenne	ND	1,22	ND	ND	1,18	1,26	1,83	1,83	1,37	2,13	1,50	1,88	1,69
	Ecart-type	ND	0,10	ND	ND	0,04	0,07	0,41	0,53	0,65	0,21	0,32	0,06	0,58

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammetrie) 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)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	<0,027	0,059	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Moyenne	<0,027	0,031	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Ecart-type	-	0,015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Baies du Canal	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,029	<0,027	0,057	<0,027	0,029	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	0,071	0,073	0,096	0,142	0,045	0,154	0,046	0,068	0,100	0,083	<0,027	<0,027	<0,027	0,038
	Moyenne	0,029	0,030	0,039	0,052	0,029	0,078	<0,027	0,062	0,041	0,050	<0,027	<0,027	<0,027	0,028
	Ecart-type	0,021	0,024	0,030	0,051	0,012	0,060	0,013	0,008	0,029	0,019	-	-	-	0,003
Baie du Prony	Minimum	0,035	<0,027	<0,027	0,030	<0,027	<0,027	<0,027	0,027	0,039	0,031	0,030	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	0,073	0,060	0,038	0,105	0,044	0,054	0,068	0,045	0,086	0,048	0,058	(n=1) 0,038	<0,027	0,052
	Moyenne	0,050	0,031	<0,027	0,049	0,032	<0,027	0,039	0,033	0,053	0,036	0,039	(n=1) 0,038	<0,027	0,033
	Ecart-type	0,011	0,017	0,006	0,021	0,008	0,015	0,015	0,006	0,015	0,007	0,011	-	-	0,009
Île Ouen	Minimum	<0,027	<0,027	0,006	0,021	0,008	0,015	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Maximum	0,033	0,132	0,048	0,112	0,042	0,034	0,033	<0,027	0,040	<0,027	<0,027	<0,027	<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	<0,027	<0,027	<0,027
	Ecart-type	0,004	0,050	0,012	0,035	0,010	0,009	0,012	-	0,014	-	-	-	-	-

Zone d'étude	Statistique	Cr ^{VI} (µg/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	0,073	0,118	0,120	0,074	0,052	0,097	0,087	0,058	0,108	0,131	0,105	0,103	0,06	0,10
	Maximum	0,112	0,184	0,140	0,105	0,166	0,171	0,104	0,129	0,125	0,165	0,144	0,128	0,15	0,14
	Moyenne	0,092	0,152	0,124	0,088	0,110	0,123	0,095	0,095	0,114	0,140	0,121	0,113	0,11	0,12
	Ecart-type	0,011	0,018	0,006	0,009	0,028	0,017	0,005	0,024	0,004	0,009	0,012	0,007	0,02	0,01
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,139	0,110	0,088	0,102	0,138	0,094	0,100	0,116	0,144	0,111	0,091	0,11	0,12
	Maximum	0,150	0,306	0,210	0,240	0,168	1,401	0,120	0,227	0,367	0,216	0,690	0,163	0,26	0,38
	Moyenne	0,105	0,189	0,139	0,128	0,137	0,403	0,107	0,148	0,162	0,168	0,238	0,123	0,15	0,17
	Ecart-type	0,018	0,055	0,031	0,052	0,022	0,489	0,009	0,038	0,083	0,023	0,187	0,020	0,05	0,08
Baie du Prony	Minimum	0,094	0,190	0,150	0,106	0,124	0,246	0,102	0,102	0,140	0,150	0,123	0,104	0	0,15
	Maximum	0,182	0,426	0,220	0,205	0,272	0,907	0,151	0,217	0,229	0,218	0,252	0,267	0,51	0,26
	Moyenne	0,122	0,273	0,175	0,141	0,159	0,434	0,129	0,146	0,171	0,176	0,196	0,161	0,2	0,20
	Ecart-type	0,024	0,079	0,017	0,033	0,040	0,234	0,017	0,029	0,035	0,027	0,038	0,042	0,14	0,03
Ile Ouen	Minimum	0,083	0,165	0,130	0,096	0,110	0,243	0,095	0,104	0,115	0,130	0,123	0,094	0,04	0,13
	Maximum	0,095	0,221	0,160	0,115	0,180	0,411	0,146	0,137	0,147	0,145	0,161	0,128	0,28	0,14
	Moyenne	0,089	0,193	0,142	0,108	0,137	0,287	0,115	0,120	0,127	0,139	0,137	0,116	0,16	0,13
	Ecart-type	0,006	0,026	0,015	0,007	0,031	0,063	0,019	0,013	0,013	0,006	0,016	0,012	0,08	0,01

Zone d'étude	Statistique	Cr-tot (µg/L)*													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	0,111	0,202	0,130	0,115	0,112	0,114	0,106	0,130	ND	0,140	0,190	0,120	0,14	0,16
	Maximum	0,157	0,462	0,180	0,206	0,339	0,496	0,202	0,230	ND	0,401	0,344	0,170	0,34	0,30
	Moyenne	0,129	0,287	0,145	0,150	0,179	0,219	0,132	0,154	ND	0,197	0,223	0,135	0,21	0,20
	Ecart-type	0,013	0,077	0,015	0,031	0,071	0,129	0,029	0,026	ND	0,083	0,039	0,013	0,05	0,04
Baies du Canal	Minimum	0,116	0,176	0,130	0,125	0,133	0,134	0,116	0,144	ND	0,177	0,188	0,123	0,19	0,16
	Maximum	0,189	0,361	0,230	0,304	0,272	1,604	0,303	0,263	ND	0,364	0,814	0,195	0,65	0,44
	Moyenne	0,139	0,280	0,160	0,199	0,172	0,451	0,171	0,179	ND	0,224	0,302	0,149	0,3	0,22
	Ecart-type	0,021	0,064	0,034	0,072	0,037	0,560	0,068	0,042	ND	0,061	0,203	0,022	0,14	0,08
Baie du Prony	Minimum	0,119	0,242	0,170	0,157	0,126	0,263	0,102	0,136	ND	0,180	0,238	0,124	0,18	0,22
	Maximum	0,191	0,712	0,250	0,260	0,270	1,333	0,198	0,226	ND	0,326	0,562	0,326	0,53	0,30
	Moyenne	0,155	0,404	0,198	0,204	0,175	0,641	0,144	0,175	ND	0,240	0,326	0,178	0,29	0,25
	Ecart-type	0,022	0,124	0,023	0,034	0,045	0,370	0,030	0,023	ND	0,047	0,096	0,052	0,11	0,03
Ile Ouen	Minimum	0,164	0,244	0,140	0,138	0,134	0,258	0,095	0,134	ND	0,161	0,226	0,115	0,08	0,17
	Maximum	0,207	0,361	0,170	0,178	0,203	0,737	0,148	0,165	ND	0,212	0,256	0,194	0,86	0,21
	Moyenne	0,180	0,304	0,153	0,155	0,169	0,379	0,124	0,153	ND	0,179	0,240	0,146	0,36	0,19
	Ecart-type	0,024	0,051	0,012	0,014	0,031	0,187	0,019	0,013	ND	0,018	0,010	0,030	0,27	0,02

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammetrie) 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)														
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Canal de la Havannah	Minimum	0,032	<0,025	<0,025	0,028	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,097	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
	Maximum	0,095	0,077	0,277	0,227	<0,025	0,178	0,027	<0,025	0,386	0,212	<0,025	0,053	0,030	0,064	
	Moyenne	0,050	0,039	0,041	0,093	<0,025	0,057	<0,025	<0,025	0,039	0,155	<0,025	0,028	0,025	0,033	
	Ecart-type	0,017	-	0,066	0,074	-	-	0,007	-	-	0,081	-	-	0,001	-	
Baies du Canal	Minimum	0,036	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,125	0,032	0,025	<0,025	<0,025	
	Maximum	0,069	<0,025	0,037	0,125	<0,025	0,320	0,077	<0,025	0,658	0,200	0,032	0,059	<0,025	0,057	
	Moyenne	0,049	<0,025	0,028	0,055	<0,025	0,068	0,026	<0,025	0,089	0,162	0,032 (n=1)	0,033	<0,025	0,029	
	Ecart-type	-	-	-	0,040	-	-	-	-	-	0,053	-	0,013	-	-	
Baie du Prony	Minimum	0,042	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,530	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,027	<0,0250	<0,025	<0,025
	Maximum	0,181	0,046	0,065	0,363	0,690	0,119	0,107	<0,025	0,298	0,535	0,027	0,030	0,039	0,133	
	Moyenne	0,105	0,028	0,034	0,095	0,590	0,052	0,055	<0,025	0,063	0,535 (n=1)	0,027	<0,0250	0,027	0,035	
	Ecart-type	0,053	-	0,016	0,117	0,087	-	0,031	-	-	0,000	-	-	-	-	
Ile Ouen	Minimum	0,044	<0,025	<0,025	0,039	0,250	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,0250	<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	0,036	0,059	0,038	
	Moyenne	0,050	<0,025	<0,025	0,379	0,270	0,063	<0,025	0,043 (n=1)	0,033	0,030 (n=1)	<0,025	0,027	0,035	0,029	
	Ecart-type	0,009	-	0,003	0,465	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,069	0,081	<0,059	<0,059	<0,059
	Maximum	0,147	0,127	0,120	0,286	0,140	0,225	0,126	0,106	0,295	0,279	0,081	0,118	1,098	<0,059
	Moyenne	0,078	0,097	<0,068	0,073	<0,068	<0,068	<0,068	0,106 (n=1)	0,030	0,140	0,081 (n=1)	0,067	0,136	<0,059
	Ecart-type	-	0,016	0,024	0,068	0,041	0,052	0,028	-	-	0,095	-	-	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,078	<0,068	0,069	0,062	<0,059	<0,059	<0,059
	Maximum	0,388	0,238	0,130	0,371	0,091	0,118	0,215	0,110	0,148	0,489	0,177	0,210	0,146	0,063
	Moyenne	0,175	0,143	0,079	0,117	<0,068	<0,068	0,106	0,094	0,067	0,195	0,094	0,088	0,069	0,060
	Ecart-type	0,135	0,054	0,040	0,099	0,030	0,032	0,068	0,015	0,052	0,172	0,047	-	-	-
Baie du Prony	Minimum	0,101	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	<0,068	0,086	<0,059	<0,059	<0,059
	Maximum	0,172	0,104	<0,068	<0,068	<0,068	0,682	0,270	<0,068	0,110	<0,068	0,086	<0,059	0,068	<0,059
	Moyenne	0,130	0,071	<0,068	<0,068	<0,068	0,110	0,128	<0,068	0,046	<0,068	0,086 (n=1)	<0,059	0,060	<0,059
	Ecart-type	0,020	0,026	-	-	-	0,180	0,082	-	0,046	-	-	-	-	-
Ile Ouen	Minimum	0,156	0,094	0,070	<0,068	<0,068	<0,068	0,076	<0,068	<0,068	<0,068	0,065	<0,059	<0,059	<0,059
	Maximum	0,217	0,261	0,130	0,101	<0,068	<0,068	0,202	0,095	0,167	<0,068	0,069	0,095	0,150	<0,059
	Moyenne	0,178	0,137	0,092	0,071	<0,068	<0,068	0,120	0,095 (n=1)	0,080	<0,068	0,067	0,071	0,075	<0,059
	Ecart-type	0,034	0,062	0,021	0,029	-	-	0,043	-	0,071	-	0,003	-	-	-

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum	0,084	0,053	0,030	0,083	0,039	0,034	0,057	<0,028	<0,028	0,031	0,034	0,041	<0,028	<0,028
	Maximum	0,183	0,192	0,230	0,211	0,166	0,064	0,173	0,067	0,189	0,089	0,106	0,131	0,176	0,279
	Moyenne	0,105	0,100	0,107	0,113	0,101	0,047	0,088	0,046	0,063	0,054	0,061	0,078	0,064	0,108
	Ecart-type	0,023	0,043	0,066	0,031	0,040	0,010	0,032	0,015	0,044	0,016	0,027	0,023	-	-
Baies du Canal	Minimum	0,100	0,094	0,120	0,190	0,094	0,066	0,091	0,038	<0,028	0,069	0,034	0,102	0,039	0,096
	Maximum	0,514	0,466	0,690	1,432	0,373	1,606	0,264	0,352	0,446	0,405	0,151	0,274	0,540	0,283
	Moyenne	0,211	0,209	0,259	0,450	0,199	0,372	0,188	0,126	0,193	0,198	0,082	0,183	0,192	0,159
	Ecart-type	0,174	0,126	0,176	0,406	0,102	0,505	0,053	0,102	0,145	0,099	0,052	0,069	0,169	0,066
Baie du Prony	Minimum	0,227	0,137	0,110	0,221	0,142	0,015	0,014	<0,028	0,139	0,054	0,039	0,092	0,076	<0,028
	Maximum	0,453	0,355	0,280	0,718	0,287	0,435	0,454	0,190	0,480	0,154	0,331	0,333	0,898	0,630
	Moyenne	0,276	0,229	0,149	0,370	0,217	0,157	0,266	0,121	0,271	0,102	0,183	0,169	0,279	0,179
	Ecart-type	0,068	0,081	0,048	0,149	0,045	0,130	0,117	0,036	0,101	0,031	0,082	0,072	0,212	-
Ile Ouen	Minimum	0,201	0,142	0,190	0,215	0,099	0,072	0,125	0,054	<0,028	0,054	0,061	0,048	0,189	0,105
	Maximum	0,222	0,247	0,460	0,366	0,340	0,237	0,370	0,151	0,264	0,163	0,159	0,193	0,376	0,239
	Moyenne	0,214	0,200	0,325	0,276	0,210	0,130	0,223	0,097	0,166	0,095	0,117	0,128	0,252	0,137
	Ecart-type	0,011	0,039	0,103	0,059	0,098	0,061	0,110	0,035	0,091	0,045	0,045	0,051	0,068	0,052

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,106	0,070	0,050	0,094	0,087	0,060	0,083	0,045	0,054	0,087	0,065	0,064	0,056
	Maximum	0,189	0,249	0,250	0,164	0,204	0,133	0,174	0,363	0,169	0,262	0,162	0,149	0,228
	Moyenne	0,126	0,143	0,133	0,117	0,127	0,097	0,111	0,096	0,097	0,130	0,093	0,105	0,102
	Ecart-type	0,020	0,063	0,061	0,021	0,043	0,023	0,031	0,079	0,037	0,043	0,032	0,024	0,055
Baies du Canal	Minimum	0,126	0,121	0,160	0,169	0,128	0,152	0,129	0,091	0,072	0,159	0,058	0,126	0,095
	Maximum	0,486	0,713	0,620	0,869	0,391	2,991	0,318	0,458	0,692	0,545	0,155	0,342	0,369
	Moyenne	0,218	0,259	0,273	0,353	0,209	0,774	0,236	0,213	0,260	0,340	0,101	0,208	0,227
	Ecart-type	0,135	0,184	0,152	0,263	0,091	1,133	0,066	0,140	0,212	0,146	0,044	0,072	0,093
Baie du Prony	Minimum	0,277	0,216	0,170	0,295	0,266	0,089	0,085	0,105	0,204	0,184	0,139	0,200	0,242
	Maximum	0,498	0,481	0,290	0,536	0,380	1,635	0,519	0,321	0,525	0,283	0,469	0,447	0,442
	Moyenne	0,357	0,321	0,208	0,374	0,324	0,461	0,344	0,219	0,348	0,231	0,311	0,276	0,352
	Ecart-type	0,067	0,093	0,040	0,074	0,037	0,423	0,117	0,060	0,098	0,038	0,087	0,079	0,074
Ile Ouen	Minimum	0,206	0,196	0,200	0,227	0,175	0,195	0,144	0,114	0,061	0,154	0,106	0,069	0,254
	Maximum	0,242	0,309	0,460	0,363	0,352	0,498	0,356	0,215	0,309	0,306	0,299	0,257	0,549
	Moyenne	0,219	0,252	0,342	0,288	0,250	0,294	0,233	0,173	0,219	0,203	0,199	0,174	0,386
	Ecart-type	0,020	0,053	0,098	0,060	0,081	0,114	0,090	0,045	0,084	0,058	0,076	0,069	0,124
														0,072