



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

2nd semestre 2020



« Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique »

Rapport
Décembre 2020

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

AEL/LEA 138-VI-17-P

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

2nd semestre 2020

Drouzy M, Fernandez JM.

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L26981/0001	
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2 ^{ème} semestre 2020		
Auteurs	Drouzy Marion, Fernandez J.M		
Résumé	La campagne semestrielle « saison fraîche » s'est déroulée du 6 au 11 août 2020. Elle a été marquée par de très faibles 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 permettent toutefois de confirmer que les stations situées dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont principalement influencées par les apports océaniques y compris la ST21. Lors de cette campagne, les concentrations en MES ne sont pas homogènes dans la zone d'étude, toutefois aucun gradient côte-large se devine. En revanche les valeurs de MES sont presque deux fois plus élevées que l'année précédente en saison fraîche. L'abondance des micro-organismes vivant dans la colonne d'eau peut-être une explication. Les sels nutritifs montrent une opposition Est/Ouest de la zone d'étude en raison de la présence du récif barrière et de sa productivité primaire. Les concentrations en matières organiques ne montrent pas de claires influences terrigènes ; leur répartition « côte-large » décroissante habituelle n'est pas franchement marquée pour cette campagne. Les concentrations en <i>chlorophylle-a</i> sont très hétérogènes sur la verticale, avec pour chaque station de forts écarts entre couches de différentes profondeur, en lien probable avec la circulation de différentes veines d'eau. Les concentrations moyennes maximales sont mesurées loin des aires d'influence terrigène, dans le canal de la Havannah et de l'île Ouen, traduisant l'influence positive des apports océaniques dans la production primaire chlorophyllienne. Les éléments Mn²⁺ et Ni²⁺, sont les seuls métaux latéritiques présentant une distribution « côte-large » très prononcée. Les concentrations en Zn²⁺, Cd²⁺ et Co²⁺ sont pour la plupart non quantifiables, inférieurs à la limite de quantification.		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	DROUZY M.	MD	20/11/2020
Vérificateur 1	FERNANDEZ J.M.	JMFA	25/11/2020
Vérificateur 2			
Approbateur	POUSSE C.	CP	27/11/2020
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
N.MARIN	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Drouzy M., Fernandez JM. 2020. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2^{ème} semestre 2020. Contrat AEL/Vale-NC n° L26981/0001. 88p

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	12
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	12
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH	17
C.	MATIERES EN SUSPENSION.....	17
D.	SELS NUTRITIFS	19
E.	MATIERES ORGANIQUES	23
F.	CHLOROPHYLLE A	28
G.	METAUX DISSOUS	29
IV.	SYNTHESE.....	36
A.	METEOROLOGIE	36
B.	SELS NUTRITIFS	37
C.	METAUX DISSOUS	42
V.	CONCLUSION.....	49

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 Vale-NC.

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvement du **2nd semestre 2020** (août 2020) effectuée dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC.

B. OBJECTIFS

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

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

Ce suivi consiste en une campagne complète de prélèvements d'eau afin de déterminer semestriellement les principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations de métaux dissous ainsi que les concentrations de sels nutritifs et de 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 ;
- **Ile Ouen** : ST13 et St20 influencées à la fois par les apports en eaux douces et les apports océaniques.



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



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

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

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Mia (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 06 au 11 août 2020.

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 particuliers) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a* et phéopigments) ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (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 ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de resituer chaque prélèvement dans son contexte climatique, les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Vale-NC (Ancienne pépinière) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 4).

Les conditions météorologiques sur la période précédant la campagne (du 03 et le 05 août 2020) sont caractérisées par un cumul de 3 mm de précipitations et des vents entre 1 et 4,5 m/s.

Sur la durée de la campagne semestrielle (06 au 11 août 2020), c'est un total de 0,6mm de précipitations qui a été relevé (Figure 2) tandis que les conditions de vent durant la campagne alternent selon un cycle journalier (Figure 3). Les vents sont très faibles (de 1 à 2 m/s soit 2 à 4 nœuds) variant de Nord à Nord-Ouest en fin de nuit et matinée, puis s'orientant Est et atteignant des vitesses de 7 nœuds dans l'après-midi et en fin de soirée. À partir du 09/08/2020, les vents s'intensifient progressivement en tournant Nord et atteignent des vitesses d'environ 17 nœuds le 10/08/2020 dans l'après-midi.

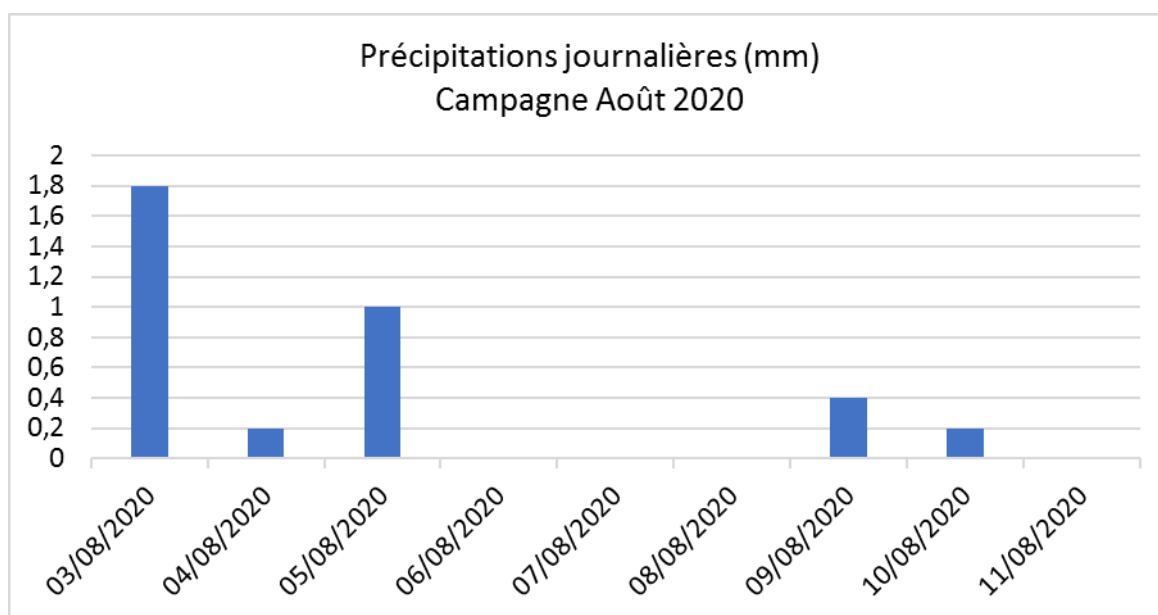


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées pendant les 3 jours précédant la campagne (03 au 05/08/2020) et pendant la campagne semestrielle (06 au 11/08/20). Données météorologiques mesurées à la station météo France d'observation "ancienne pépinière".

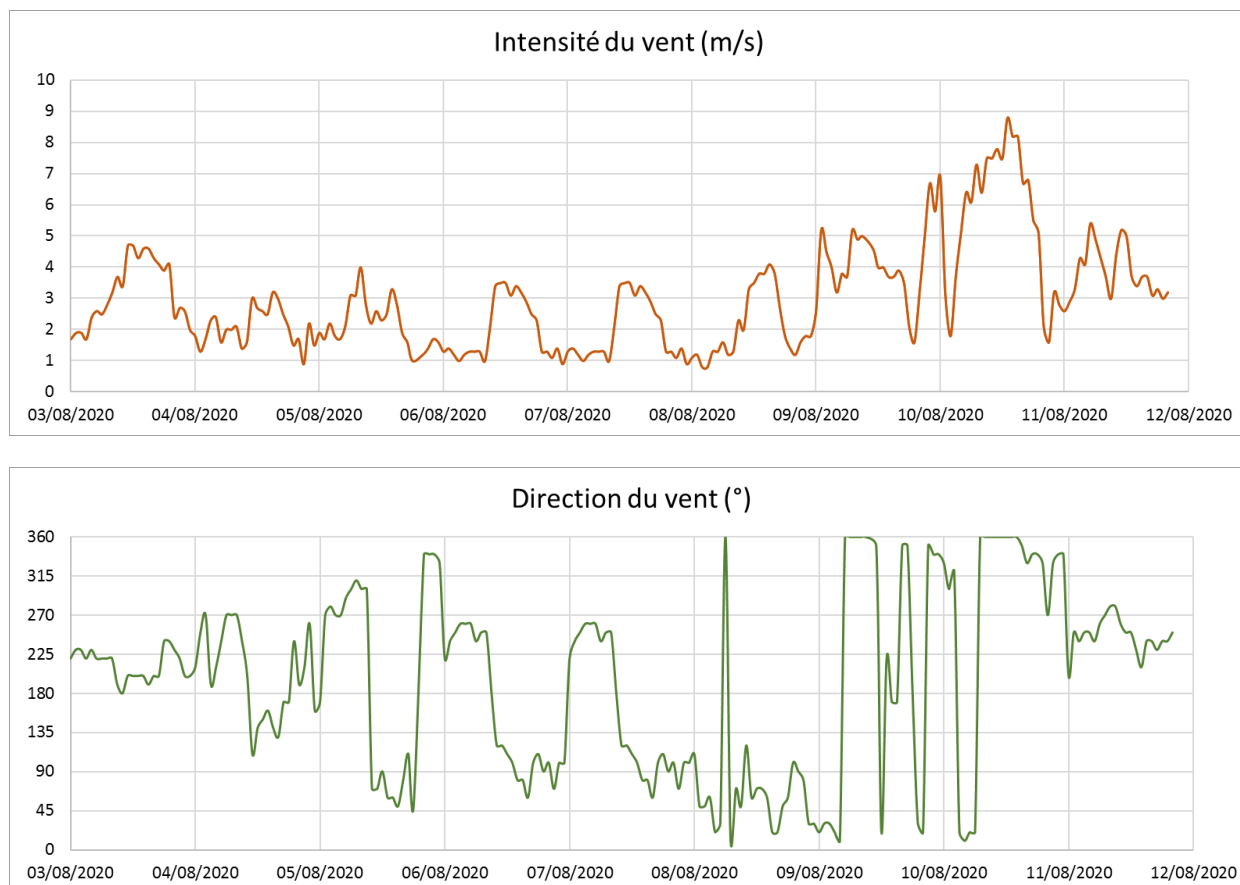


Figure 3 : intensité et direction du vent soufflant avant et durant la campagne (Données Météo France, station ancienne pépinière de Goro)

Les prélèvements 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 (ST14, ST05, ST02, ST09, ST06, ST03, et ST07) ont été prélevées lors de la marée descendante.
- Le 2^{ème} jour, les prélèvements ont été effectués à l'îlot Ugo (St21), l'île Ouen (ST13 et St20), lors de la marée montante. En fin de matinée, la Baie de Prony avec les stations ST19, ST18, ST15, et ST16 ont été visitées pendant l'étalement de marée haute et le début de la marée descendante (Figure 4).

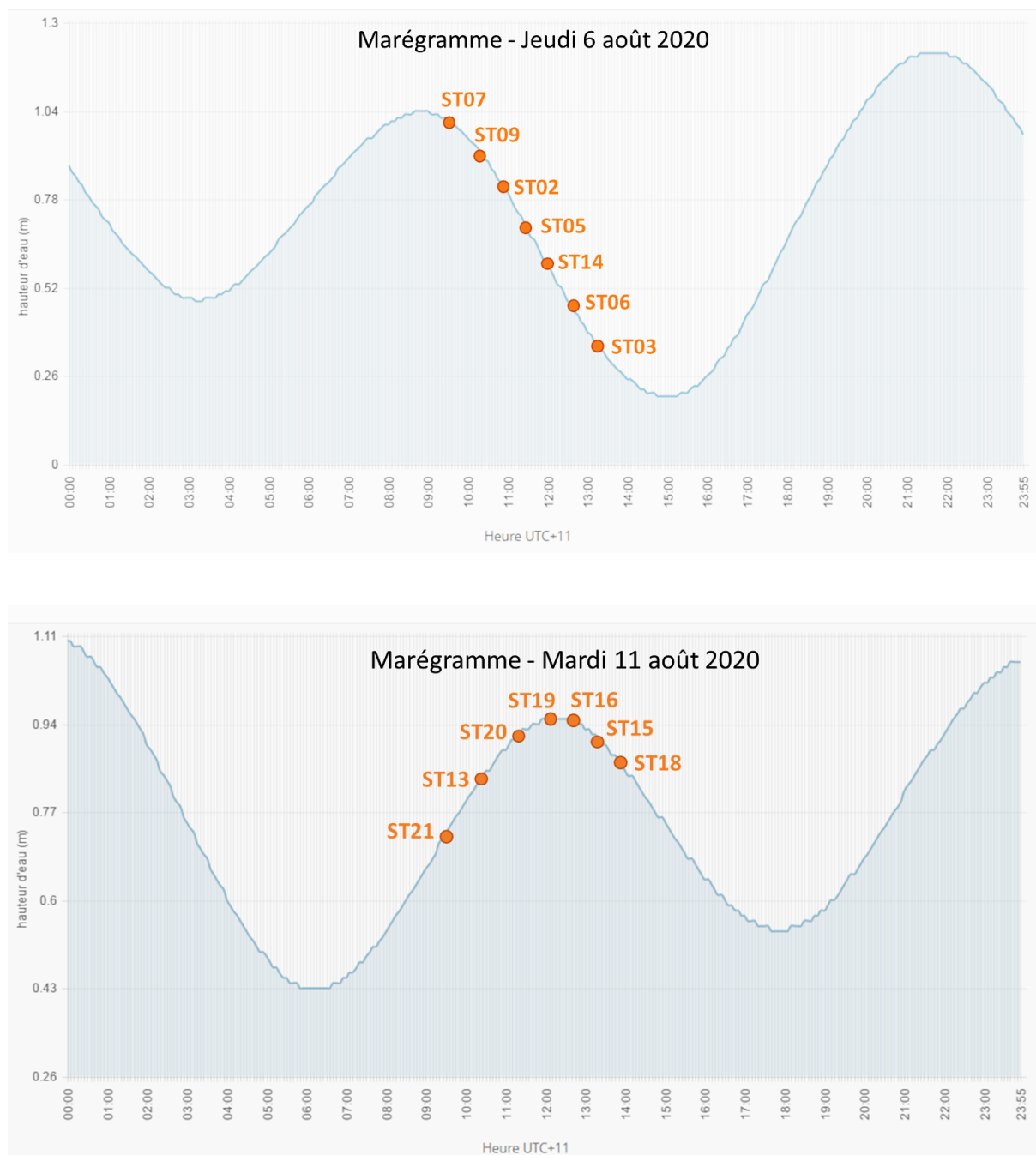


Figure 4: Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'août 2020 reportée sur les marégrammes du 6 et 11 août 2020.

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 2020.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Salinité (‰)	Turbidité (NTU)	Fluorescence (mg/m3)
Canal de la Havannah	Minimum	22,78	35,33	0,24	0,04
	Maximum	23,92	35,90	4,06	0,58
	Moyenne	23,40	35,53	0,50	0,37
	Ecart-type	0,37	0,05	0,39	0,08
Baies du Canal	Minimum	22,58	35,13	0,31	0,01
	Maximum	23,54	35,56	3,24	0,91
	Moyenne	22,99	35,39	0,72	0,43
	Ecart-type	0,34	0,06	0,48	0,18
Baie du Prony	Minimum	21,54	34,78	0,35	0,13
	Maximum	27,17	35,63	3,97	1,56
	Moyenne	22,22	35,54	0,86	0,56
	Ecart-type	0,63	0,08	0,53	0,24
Ile Ouen	Minimum	21,20	35,60	0,39	0,03
	Maximum	23,53	35,68	1,15	1,42
	Moyenne	22,03	35,64	0,61	0,42
	Ecart-type	1,07	0,04	0,09	0,09

1. Température

Spatialement, la température varie en fonction des stations considérées entre 21 et 24 °C, pour une moyenne inter-stations de $22,66 \pm 0,60^{\circ}\text{C}$ (Figure 5). En 2019, la température moyenne était du même ordre de grandeur avec une moyenne de $22,09 \pm 0,30^{\circ}\text{C}$. Les zones d'étude aux eaux les plus chaudes sont une nouvelle fois le Canal de la Havannah et les baies du Canal, (Tableau 2) comme l'année précédente à la même période. L'ensemble des profils s'avère très homogène sur la verticale de la colonne d'eau et seuls les profils de température des stations ST06, ST03 et St20 augmentent légèrement ($+0,2^{\circ}\text{C}$) avec la profondeur. La température la plus fraîche est observée en ST13, proche de l'île Ouen ($\approx 21,2^{\circ}\text{C}$). Aucune thermocline n'est observable sur les profils enregistrés, rendant compte de la grande homogénéité de la colonne d'eau sur la verticale, dans toute la zone d'étude.

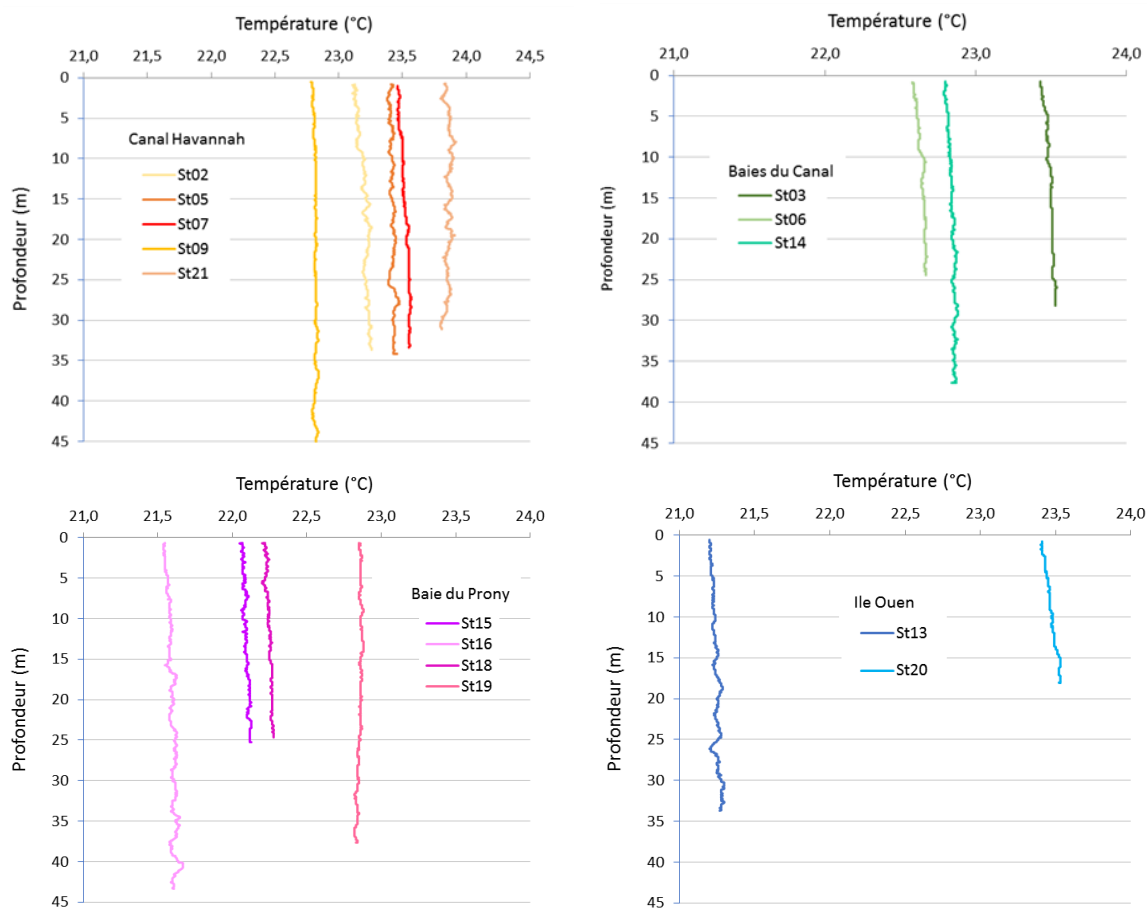


Figure 5: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

2. Salinité

La mesure de salinité inter-zones montre de très légères différences entre les zones d'étude puisque la moyenne globale est de $35,9 \pm 0,1 \text{ ‰}$.

La salinité moyenne calculée pour les stations proches de l'**île Ouen** est la plus importante ($35,64 \pm 0,04 \text{ ‰}$, Tableau 2). Les profils de ces stations sont également les plus homogènes dans la colonne d'eau, ne présentant quasiment aucun gradient vertical. Les profils de salinité des baies du Canal, particulièrement ST03 et ST06, présentent les plus importantes variations sur la verticale. Une halocline est visible en baie de Port Boisé (ST03) à 5m de profondeur environ, traduisant une dessalure de surface due sans doute aux précipitations des jours précédant la campagne. Cette dessalure de surface n'est pas aussi marquée pour la baie Kwé (ST06) bien que celle-ci soit également sous influence importante d'un cours d'eau. Toutefois, il a été démontré (Drouzy et al., 2019) que les temps de résidence de la baie de la Kwé pouvaient être jusqu'à 4 fois plus courts que ceux de la baie voisine. Ainsi, la couche dessalée de surface a pu être remaniée depuis les dernières précipitations en baie Kwé, tandis qu'elle perdure en surface en Baie de Port Boisé. De fait, une salinité plus faible est observable plus en profondeur (entre 20 et 25m) en baie de la Kwé, traduisant l'emprisonnement d'une lentille d'eau dessalée, au gré des courants de vents et de marées, conditionnant l'hydrodynamique de la baie Kwé. (Figure 6).

La dessalure de surface la plus importante, bien que moins profonde que celle observée en baie de Port Boisé, est enregistrée en face du creek de la rade Nord (ST15). L'apport d'eau douce correspond donc aux précipitations dont l'effet est également visible dans les baies de Port Boisé et de la Kwé.

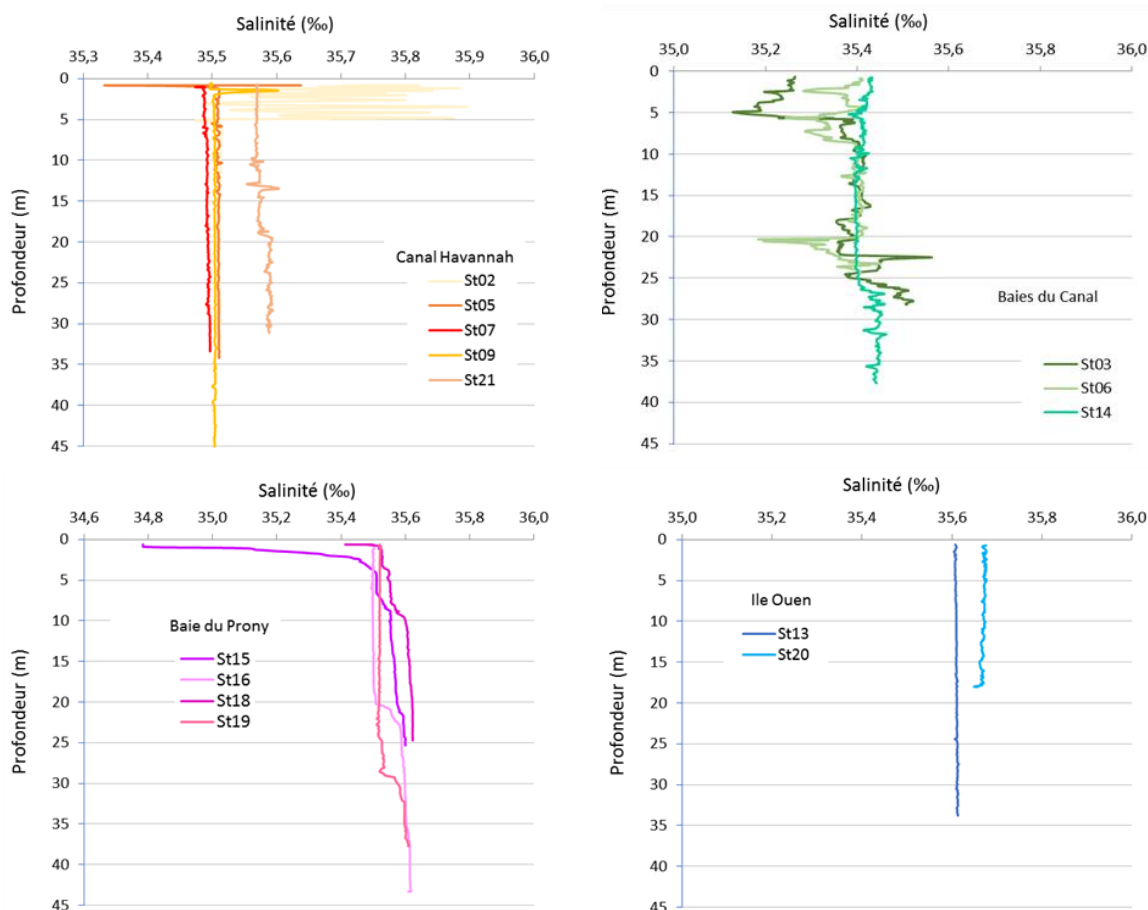


Figure 6: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

3. Fluorescence

Même si les profils de fluorescence restent globalement dans des gammes de valeurs similaires quelle que soit la station considérée, les fluctuations de la fluorescence moyenne selon la zone peuvent varier jusqu'à 25% (Moyenne générale de $0,4 \pm 0,1$ mg/m³). Ces disparités sont observables en valeur et en répartition dans la colonne d'eau.

Les profils des stations du Canal de la Havannah sont très similaires ($0,38 \pm 0,07$ mg/m³) et évoluent tous vers une augmentation de la fluorescence avec la profondeur (+ 0,1 à + 0,3 mg/m³, Figure 7) jusqu'à 25m environ avant de se stabiliser. La fluorescence dans les baies du Canal augmente plus radicalement encore avec la profondeur (+0,3 à +0,8 mg/m³ pour ST03). Cette augmentation indique une biomasse phytoplanctonique particulièrement importante entre 10 et 20m de profondeur pour la station de Port Boisé.

De telles augmentations sont également observées en ST15 (Creek de la Rade nord) et ST18 (Ilôt Casy), on les retrouve également en ST16 (Port de Prony) mais plus en profondeur (entre 20 et 35 m).

Proche 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.

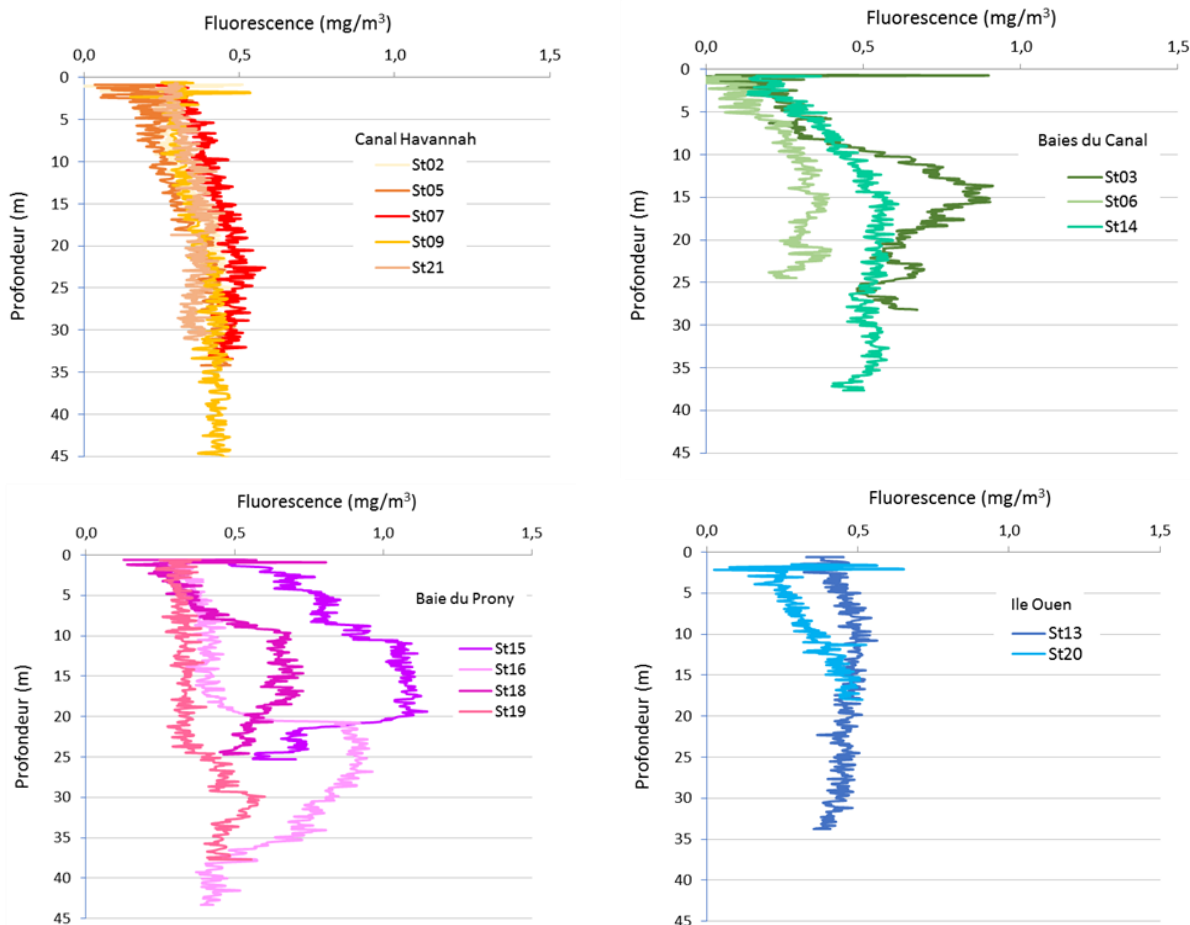


Figure 7: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

4. Turbidité

La turbidité est ici utilisée comme un véritable proxy de la matière en suspension, c'est-à-dire des particules transportées par les masses d'eau. Les profils de turbidité obtenus au cours de cette campagne semestrielle montrent une hétérogénéité spatiale et verticale, au sein même de chaque zone.

Dans le canal de la Havannah, la majorité des stations présente une turbidité d'environ 0,3 NTU, stable sur la verticale. Toutefois la station St21, située proche de l'îlot Ugo, voit une forte augmentation de sa turbidité en approchant de la surface. Cette augmentation n'étant pas liée à une augmentation de la fluorescence, elle met en évidence la présence de particules terrigènes et/ou biologiques non chlorophylliennes au niveau de l'îlot Ugo, en surface.

De plus fortes concentrations en ces mêmes matières sont également observées en surface des stations ST16, ST18 et ST19 en baie de Prony. Il est à première vue étrange de constater l'absence de particules en surface aux stations où une dessalure de surface, liée aux récentes précipitations avait été soulignée. Toutefois, rappelons que les matières en suspension, mises en évidence par la turbidité, sont dotées d'une masse propre et de ce fait, plongent rapidement dans la colonne d'eau par effet de la gravité. Les particules mises en évidence par les importantes valeurs de turbidité de surface sont donc manifestement dues à des particules flottantes. De fait, les stations ST03, ST06 et ST15, pour lesquelles une dessalure de surface, marqueuse de précipitations passées, avait été mise en évidence, montrent toutes une turbidité augmentant avec la profondeur, indiquant la chute des particules terrigènes amenées par la rivière dans la colonne d'eau.

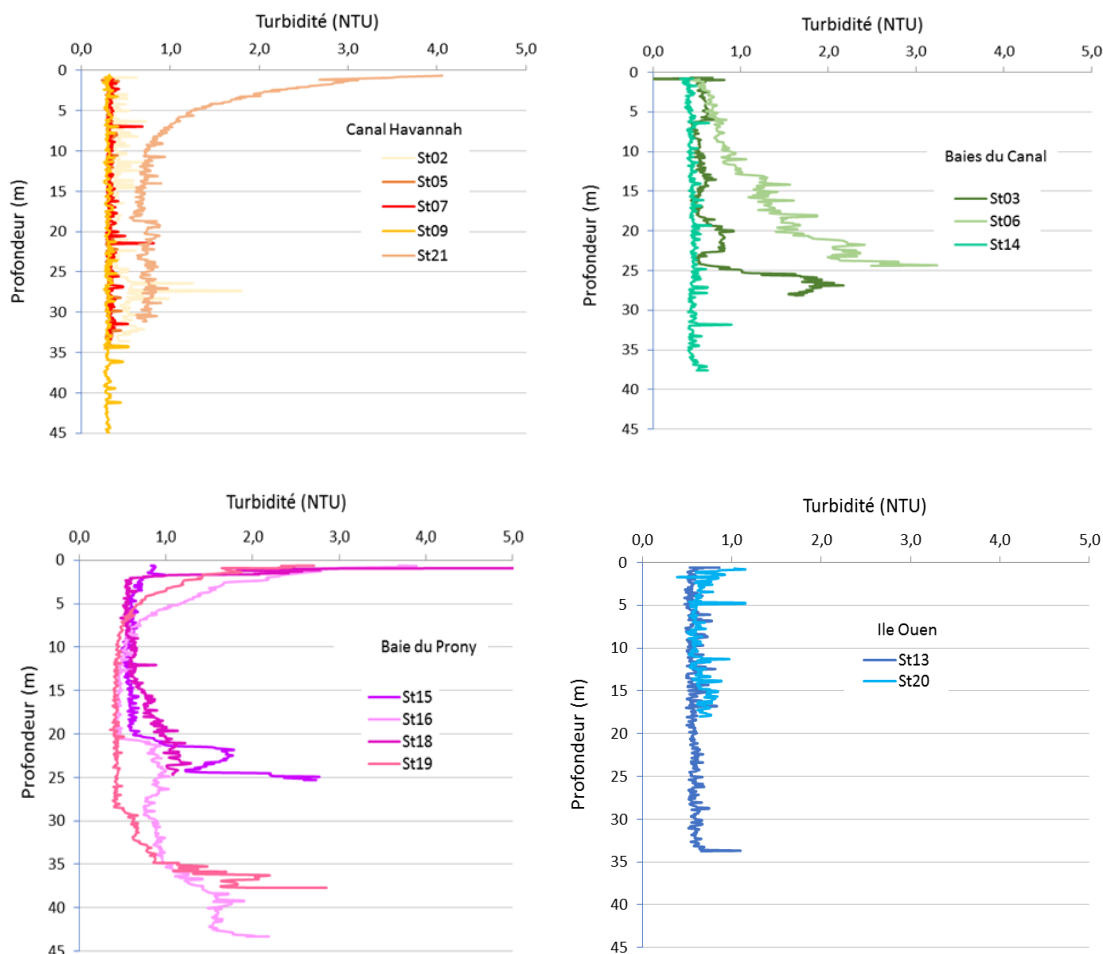


Figure 8: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques se doivent d'être interprétés au regard des conditions météorologiques. En effet, le volume de précipitations relevé cette année avant la campagne, bien que relativement faible, met en évidence l'influence des apports d'eau douce provenant des creeks. Ces influences sont surtout décelables au niveau des baies (ST03, ST06 et ST15) où les valeurs de salinité sont plus faibles et en corrélation avec des valeurs de turbidité plus importantes en profondeur, indiquant la chute des particules terrigènes apportées lors des précipitations par les creeks et rivières. De plus, des couches turbides sont présentes en surface dans la baie du Prony et à l'îlot Ugo (ST16 et ST19 et St21), dues sans doute à la présence de particules non terrigènes et sans doute dotées de moyen de flottabilité. De manière générale, la fluorescence est faible et augmente légèrement avec la profondeur. Quelques valeurs fortes sont relevées à mi-profondeur (ST03, ST15 et ST18) ou en profondeur (ST16).

Dans la plupart des cas, les profils physico-chimiques obtenus permettent de confirmer que les stations situées dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont principalement influencées par les apports océaniques qui renouvellent les masses d'eaux, apportent des nutriments nécessaires à la biomasse par le biais des phénomènes de marées.

Inversement, les stations des baies sont clairement sous influence des apports terrigènes lorsque les conditions météorologiques y sont propices, ayant souvent comme conséquence une stratification de la colonne d'eau.

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'Ile Ouen paraît présenter de fortes hétérogénéités internes, mais ces fortes disparités doivent être considérées en gardant à l'esprit que cette zone ne comprend que deux stations.

Le pH moyen est particulièrement homogène sur l'ensemble de la zone d'étude ($8,21 \pm 0,03$) (Tableau 3). Le pH moyen mesuré lors de cette campagne est légèrement plus élevé que celui obtenu lors de la campagne précédente d'août 2019 ($8,10 \pm 0,00$).

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 2020.

Zone d'étude	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,16	421,54	469,17	1343	11502	19444	2000
	Maximum	8,25	468,15	525,36	1497	12641	23263	2450
	Moyenne	8,22	443,23	492,73	1405	11978	21481	2253
	Ecart-type	0,03	14,14	15,09	46	346	963	127
Baies du Canal	Minimum	8,09	423,23	471,23	1352	11483	19791	2200
	Maximum	8,25	450,92	496,82	1408	12003	22569	2750
	Moyenne	8,19	436,83	486,92	1389	11806	21219	2455
	Ecart-type	0,05	8,266	8,253	20	198	925	179
Baie du Prony	Minimum	8,19	418,16	469,22	1336	11283	20138	2050
	Maximum	8,22	470,05	510,99	1454	12238	21874	2750
	Moyenne	8,21	440,85	492,66	1403	11842	20891	2491
	Ecart-type	0,01	14,34	13,57	35	302	625	219
Ile Ouen	Minimum	8,12	411,29	396,88	1318	10483	19020	2400
	Maximum	8,23	538,93	598,23	172	14348	23958	2850
	Moyenne	8,19	461,03	506,42	1473	12329	20932	2566
	Ecart-type	0,04	48,97	71,44	155	1409	1759	172

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 côtiers et estuariens 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 2020 sont représentées dans la Figure 9, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Tableau 4: Statistique des concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,232
	Maximum	2,084
	Moyenne	0,548
	Ecart-type	0,442
Baies du Canal	Minimum	0,292
	Maximum	0,940
	Moyenne	0,462
	Ecart-type	0,252
Baie du Prony	Minimum	0,250
	Maximum	2,244
	Moyenne	0,723
	Ecart-type	0,603
Ile Ouen	Minimum	0,340
	Maximum	1,882
	Moyenne	0,765
	Ecart-type	0,603

Les concentrations mesurées en MES se révèlent relativement variables dans la zone d'étude (Tableau 4). L'écart-type relatif mesuré entre l'ensemble des valeurs est de 0,48 mg/L. La valeur la plus élevée a été mesurée en baie de Prony (ST18 au fond) avec 2,244 mg/L, tandis que la valeur la plus faible a été obtenue dans le canal de la Havannah (0,232 mg/l, station ST02 en surface).

La concentration moyenne la plus élevée a été obtenue pour la zone de l'Ile Ouen, atteignant une valeur de $0,765 \pm 0,603$ mg/L, sous l'effet de la forte concentration en particules enregistrées à mi-profondeur de la station ST13 (Figure 8). Viennent ensuite les stations de la baie du Prony, avec une moyenne de $0,723 \pm 0,603$ mg/L, surpassant la valeur d'Août 2019 qui était de $0,485 \pm 0,084$ mg/L. On constate pour ces deux zones une importante disparité dans la répartition verticale des matières en suspension. Pour la baie de Prony notamment, les concentrations les plus élevées sont trouvées en surface et au fond, sauf pour la station ST16, en face du Port de Prony, qui montre une concentration en particules maximale à mi-profondeur.

Les valeurs moyennes mesurées dans les autres zones sont légèrement plus faibles avec respectivement $0,548 \pm 0,442$ mg/L dans le **Canal de la Havannah**, et $0,462 \pm 0,252$ mg/L dans les **Baies du Canal**.

Globalement pour toutes ces stations, la concentration en particules diminue avec la profondeur, à l'exception des stations ST14 (Goro) et ST21 (Ilôt Ugo), pour lesquelles on retrouve une forte charge en MES au fond.

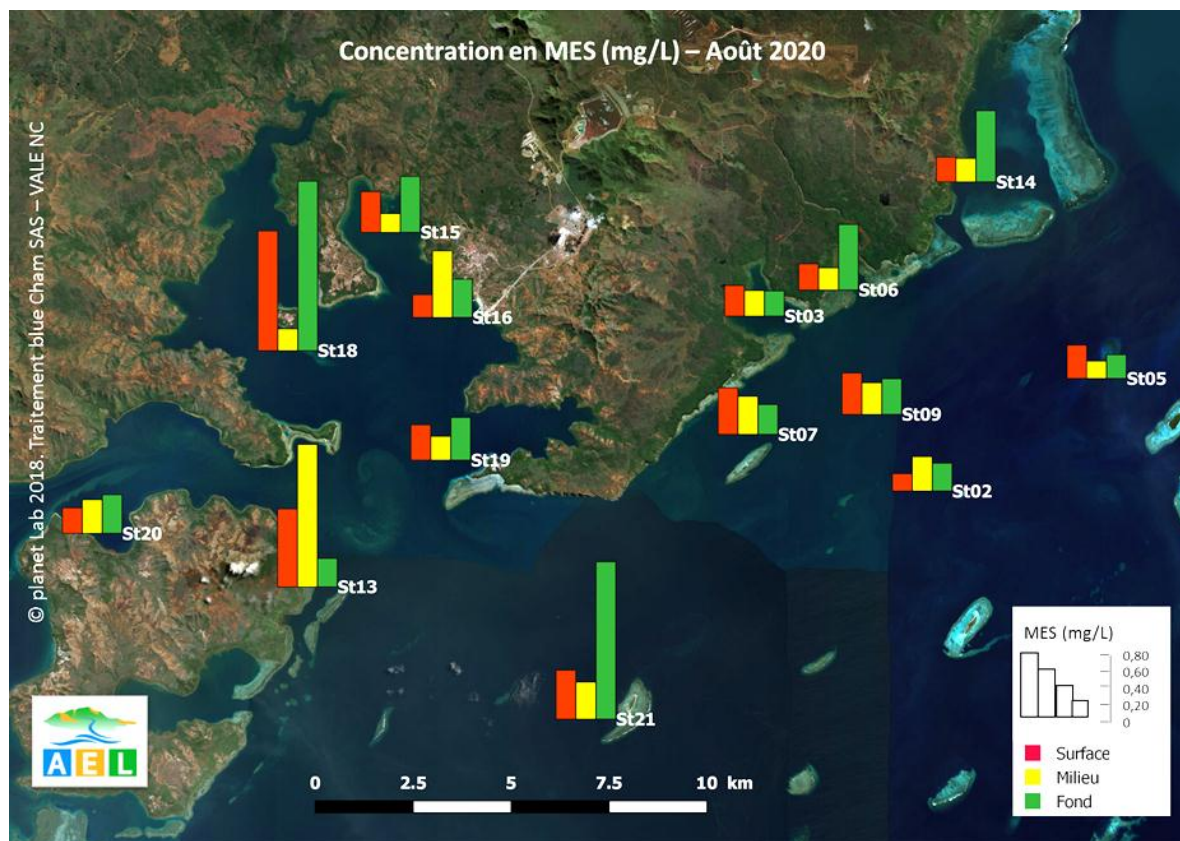


Figure 9: Distribution des concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, les concentrations en MES ne sont pas homogènes dans l'intégralité de la zone d'étude. On constate une opposition entre les zones de l'île Ouen et de la baie du Prony, aux valeurs très hétérogènes spatialement et verticalement, à celles des baies du Canal et du canal lui-même, plus homogènes et globalement plus faibles. Aucun gradient côte-large n'est mis en évidence, en revanche les valeurs de MES sont presque deux fois plus élevées que l'année précédente, en saison fraîche (0,61 mg/L cette année contre 0,39 mg/L en Août 2019.).

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 2020 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).

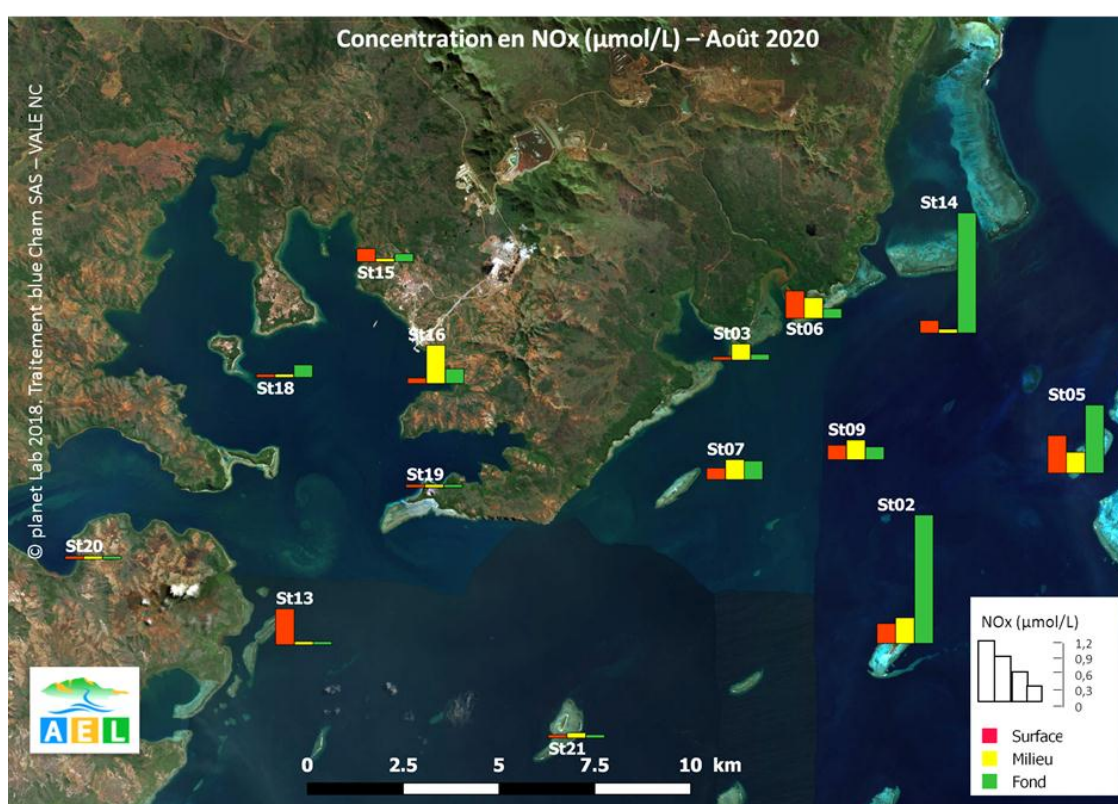


Figure 10: Distribution des concentrations en nitrates et nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

Lors de cette campagne, et similairement à l'année précédente à la même saison, la concentration moyenne en $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ est plus importante au niveau du **Canal de la Havannah** avec une moyenne de 1,54 $\mu\text{mol/L}$ (Tableau 5). Celle-ci est majoritairement due à deux très fortes valeurs de concentrations enregistrées en profondeur aux stations ST02 et ST14.

La moyenne de ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$), toutes stations confondues, atteint une valeur de 0,28 $\mu\text{mol/L}$, très semblable à la valeur moyenne obtenue l'année précédente en saison fraîche (0,20 $\mu\text{mol/L}$). Globalement, on constate de plus fortes concentrations dans la partie Est de la zone d'étude (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 profondeur.

2. Ammonium

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

La répartition spatiale du NH_4 dans l'aire d'étude est hétérogène (Figure 11). Bien que la valeur maximale en NH_4 soit enregistrée en surface de la station ST03 (Port Boisé), la partie orientale de l'aire d'étude s'avère plus pauvre en ammonium que la partie occidentale. Les concentrations en profondeur des stations ST15, ST16, ST19 et ST20 montrent une accumulation plus importante de déchets azotés dans ces zones. La raison pourrait être simplement mécanique, puisque la baie de Prony est peu exposée aux vents et courants, tandis que l'île Ouen constitue un obstacle naturel au courant du canal de la Havannah, pouvant expliquer une accumulation en surface et au fond. La moyenne, toutes stations confondues, des concentrations en ammonium s'élève à 0,20 $\mu\text{mol/L}$, contre 0,25 $\mu\text{mol/L}$ à la même époque, l'année précédente.

On remarque que l'ammonium tend à s'accumuler en profondeur, par chute gravitationnelle des déchets biologiques, mais les concentrations les plus importantes sont toutefois observées en surface.

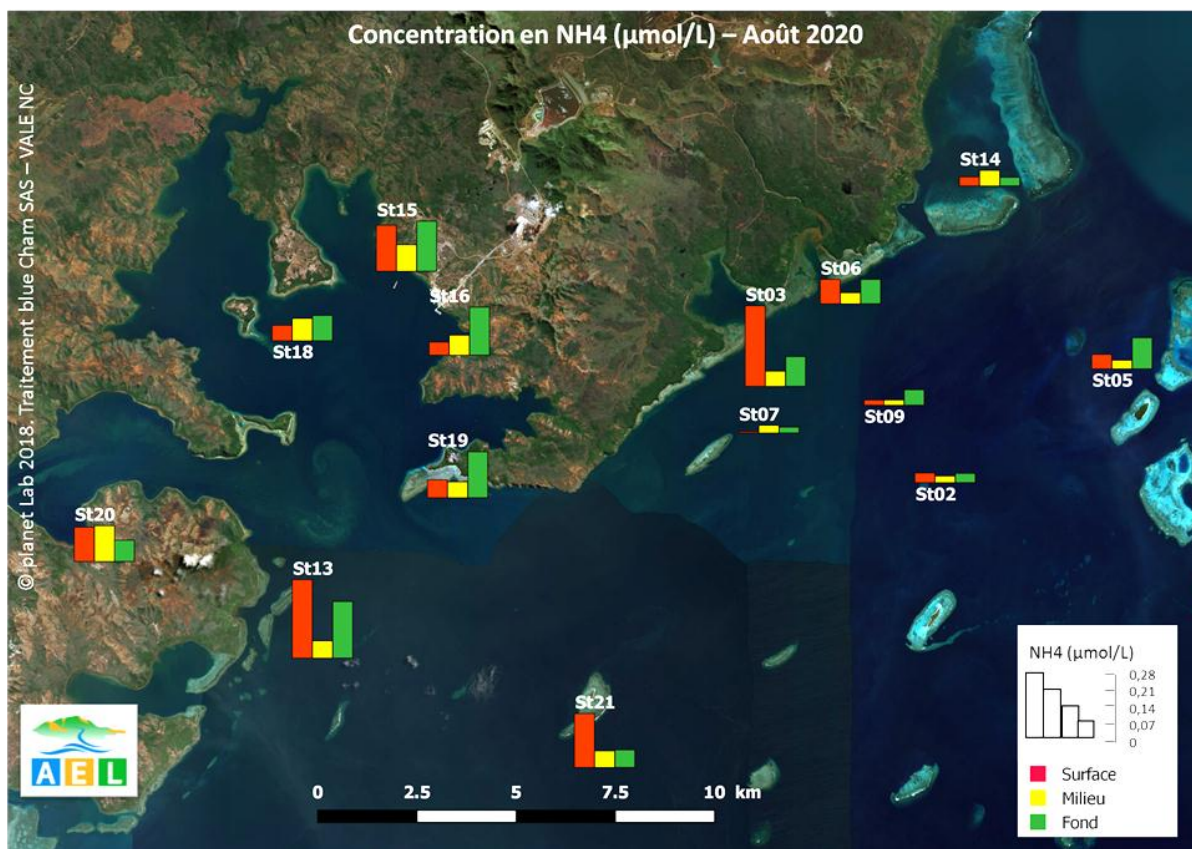


Figure 11: Distribution des concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020

3. Phosphates

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

Aucune valeur supérieure à la limite de quantification de PO_4^{2-} n'a été obtenue durant cette campagne, n'indiquant aucune influence anthropique particulière sur la zone d'étude, tout comme pour les précédentes campagnes.

4. Silicates

NB : Les analyses en Silicates pour cette campagne ne sont pas disponibles. Un problème technique a été mis en évidence lors de l'analyse au Technicon de cet élément. Une défaillance au niveau du détecteur est suspectée et tout est actuellement mise en œuvre pour sa résolution.

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 2020.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs ($\mu\text{mol/L}$)			
		NO_3+NO_2	NH_4	PO_4	SiO_4
Canal de la Havannah	Minimum	< 0,05	0,014	<0,05	ND
	Maximum	1,89	0,447	<0,05	ND
	Moyenne	1,54	0,116	<0,05	ND
	Ecart-type	-	0,109	-	ND
Baies du Canal	Minimum	< 0,05	0,071	<0,05	ND
	Maximum	1,77	0,668	<0,05	ND
	Moyenne	0,36	0,202	<0,05	ND
	Ecart-type	-	0,186	-	ND
Baie du Prony	Minimum	< 0,05	0,109	<0,05	ND
	Maximum	0,57	0,415	<0,05	ND
	Moyenne	0,14	0,240	<0,05	ND
	Ecart-type	-	0,119	-	ND
Ile Ouen	Minimum	<0,05	0,143	<0,05	ND
	Maximum	0,53	0,651	<0,05	ND
	Moyenne	0,13	0,337	<0,05	ND
	Ecart-type	-	0,192	-	ND

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 une tendance à l'accumulation dans la partie orientale de la zone d'étude, d'influence océanique majoritaire en absence de fortes précipitations, l'ammonium est plus présent dans la zone occidentale, d'influence terrigène majoritaire. Les plus fortes concentrations en nitrates et nitrites sont retrouvées en profondeur dans le canal de la Havannah, tandis que les valeurs en ammonium les plus élevées sont observées en surface des stations ST03 (port Boisé) et ST13 (Ile Ouen).

Les concentrations en PO_4 n'étant pas quantifiables, aucune interprétation ne peut être fournie.

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations en matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle d'août 2020 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 répartition spatiale de l'azote dissous est assez homogène sur l'ensemble de l'aire d'étude (Figure 12). Bien que les stations côtières de la baie du Prony possèdent une moyenne légèrement plus élevée que les autres zones, on ne peut distinguer aucun gradient côte/large. Dans la partie Ouest de l'aire d'étude, les valeurs augmentent globalement avec la profondeur, tandis que dans la partie Est, soumise à de plus forts courants, les valeurs peuvent être maximales à mi-profondeur ou bien en surface, du fait du mélange vertical plus intense prenant place. La moyenne toutes stations confondues se situe à $4,56 \pm 1,07 \mu\text{mol/L}$.

Le phosphore organique dissous (Figure 13) est réparti de manière bien plus hétérogène. La moyenne générale est de $0,034 \mu\text{mol/L}$ mais l'écart type atteint est de $0,05 \mu\text{mol/L}$. La valeur maximale de phosphore dissous est retrouvée en profondeur de la station ST16 ($0,27 \mu\text{mol/L}$). L'absence de valeur indique que la totalité du phosphore, si présent, 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.

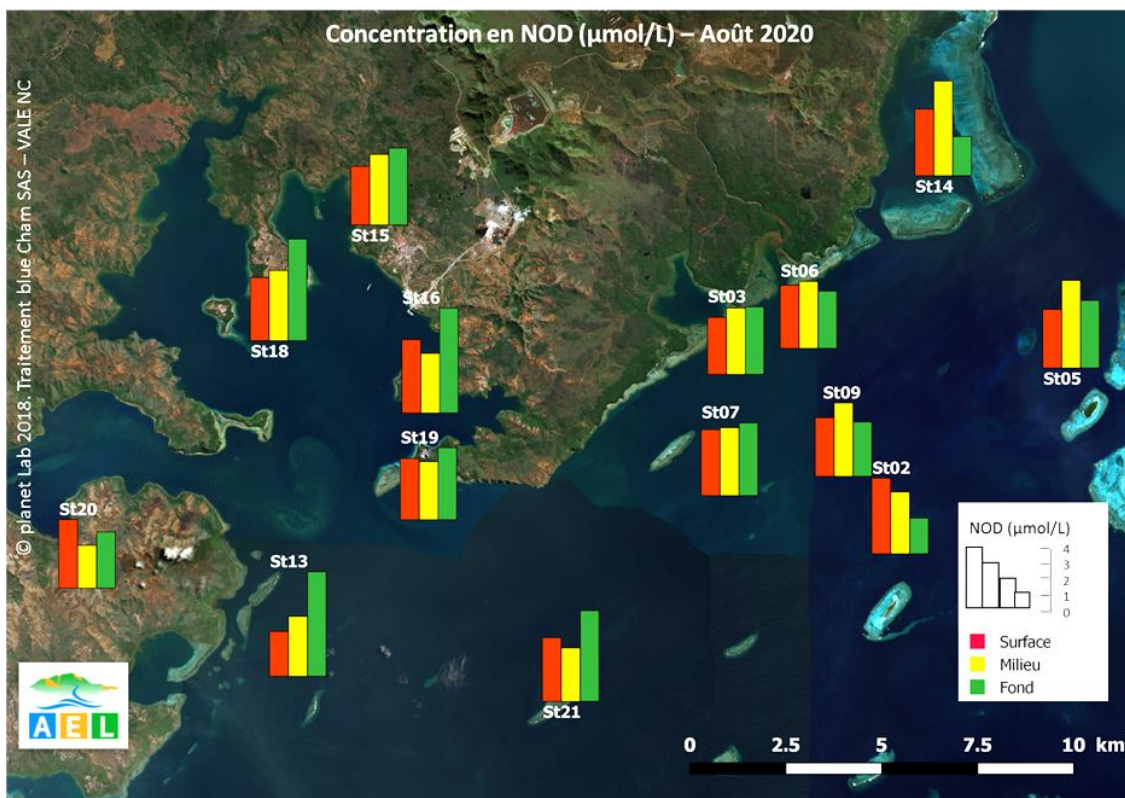


Figure 12 : Distribution des concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

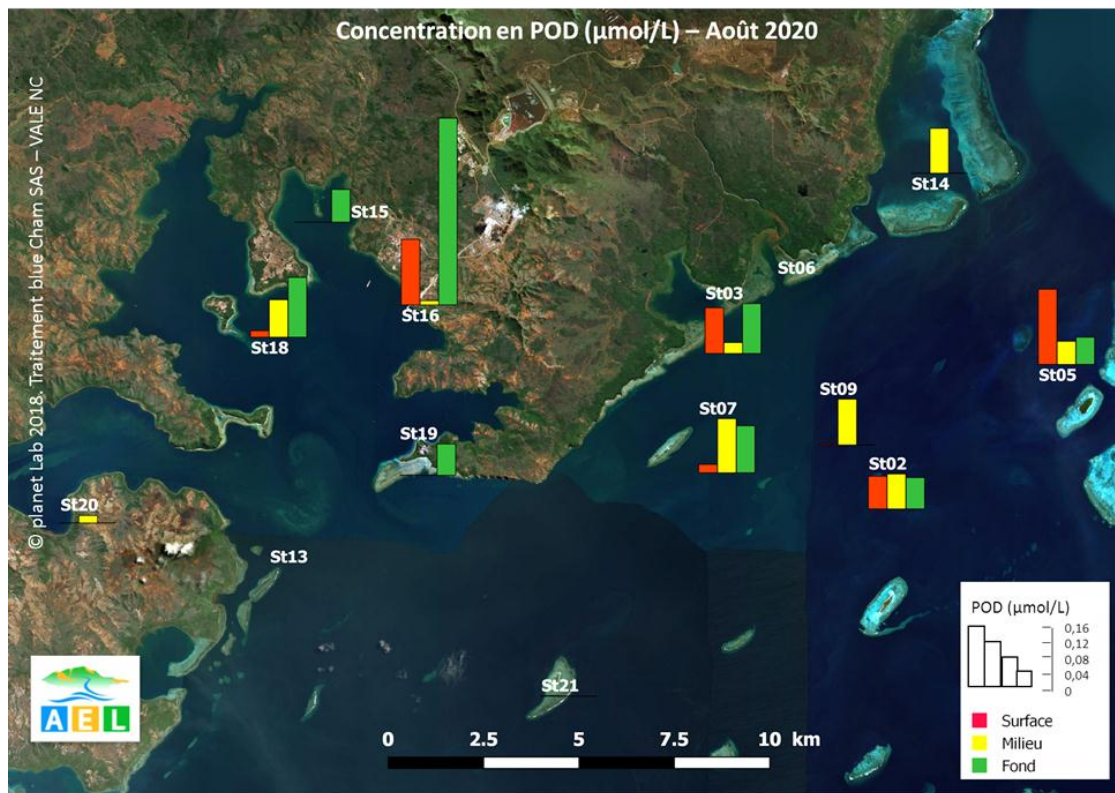


Figure 13 : Distribution des concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

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.

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

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 $0,98 \pm 0,47$ µmol/L. De même que sa forme dissoute, l'azote particulaire est réparti de manière relativement homogène dans l'aire considérée (Figure 14), avec toutefois des valeurs moyennes légèrement plus élevées pour les zones de l'île Ouen et des baies du Canal (1,16 et 1,10 µmol/L respectivement, cf Tableau 6). La moyenne la plus faible est observée dans la baie du Prony ($0,86 \pm 0,27$ µmol/L). Il semble que dans la baie du prony, sous influence anthropique maximale, les concentrations en azote particulaire diminuent avec la profondeur. Pour le reste de la zone, les concentrations restent globalement les plus fortes en surface, mais les concentrations en profondeur ré-augmentent, au gré sans doute des apports océaniques d'eau froide, riche et dense.

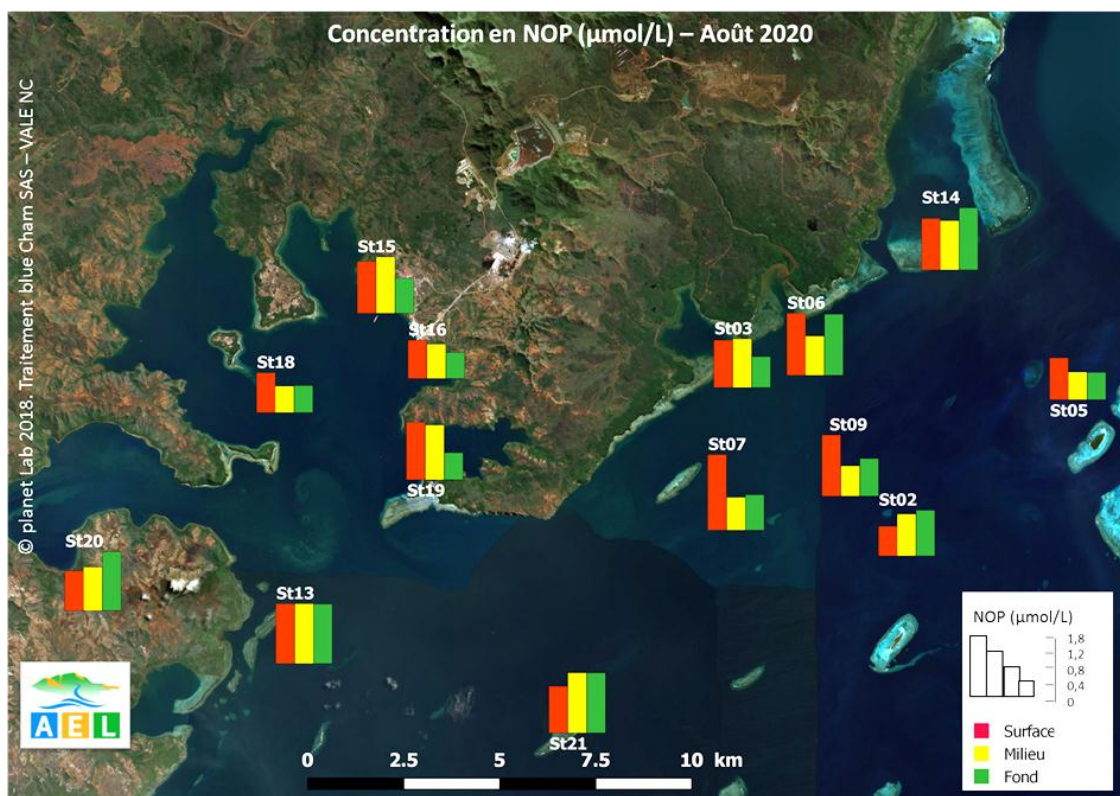


Figure 14: Distribution des concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

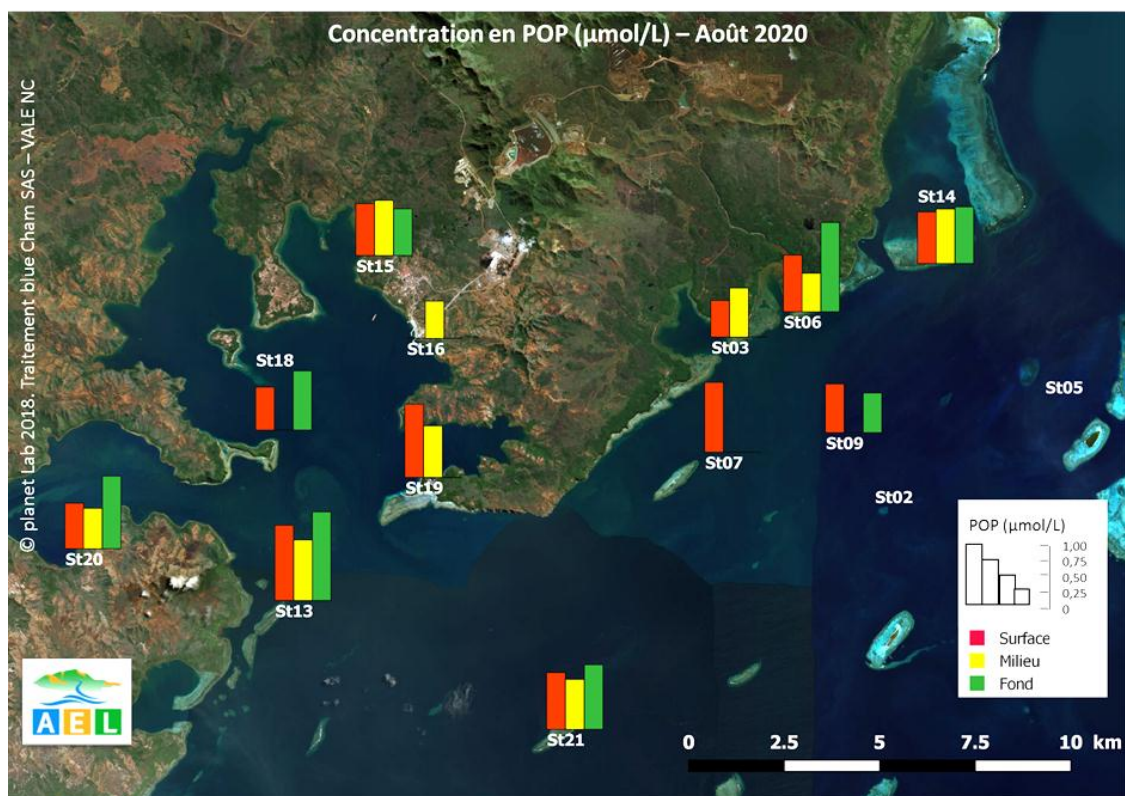


Figure 15 : Distribution des concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

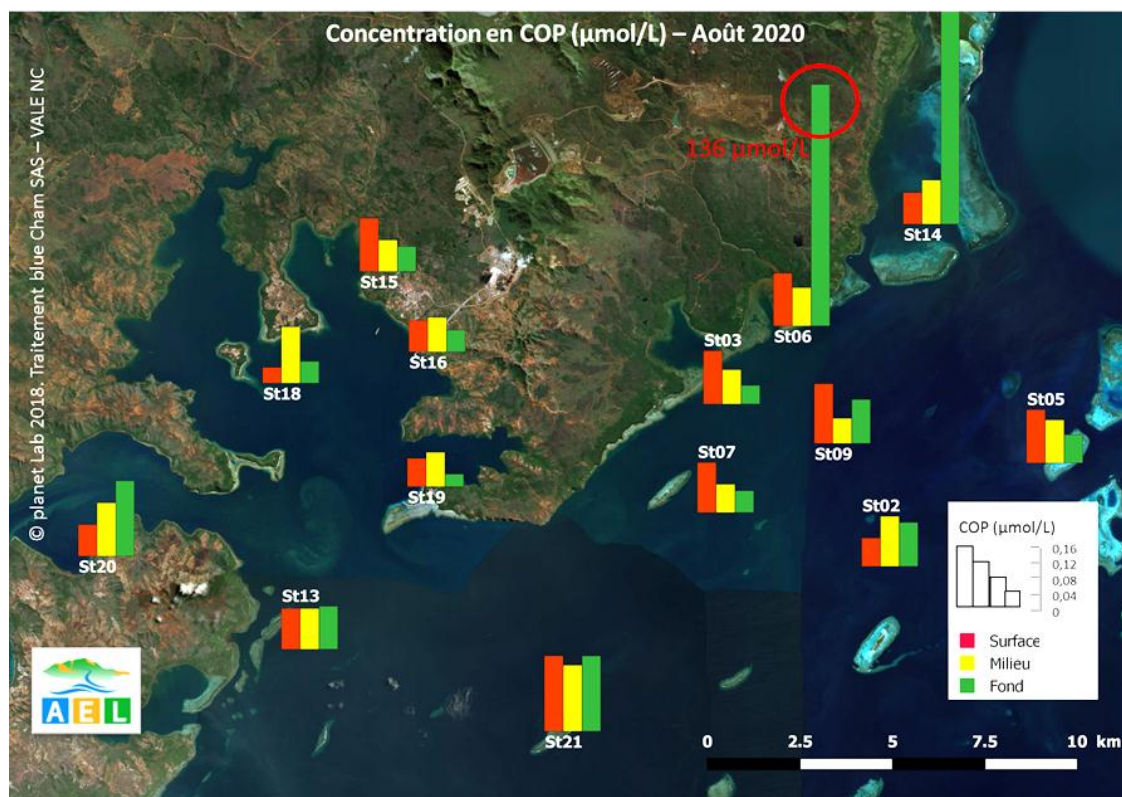


Figure 16 : Distribution des concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

Les concentrations en phosphore organique particulaire, (Tableau 6 et Figure 15) ont quant à elles, un ordre de grandeur plus élevé que la forme dissoute. Toutefois, un certain nombre d'échantillons ont révélé des valeurs se situant en dessous de la limite de quantification. Elles ne figurent donc pas sur la figure 16. Les concentrations maximales sont obtenues en profondeur des stations ST13 et ST06 (valeurs identiques : 0,12 µmol/l). Nul gradient vertical n'apparaît, en revanche, les concentrations en phosphore particulaire semblent diminuer dans les zones de plus intense hydrodynamique (Canal de la Havannah). Cela peut être dû au transport des particules dans la colonne d'eau au gré des courants, particulièrement intenses dans le canal.

Le carbone organique particulaire (Figure 16) est présent sur la totalité du domaine avec une moyenne de 12,05 ± 14, 60 µmol/L. Cette valeur moyenne est largement excédée en deux points de prélèvement, aux stations ST06 et ST14 en profondeur (136,45 et 62,44 µmol/L, respectivement). De telles valeurs, bien que n'ayant été retrouvées que très épisodiquement, (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. Ceci pourrait provenir d'une contamination par le sédiment lors de l'échantillonnage dans les couches profondes (contact de la bouteille Goflo avec le sédiment).

L'occurrence de concentrations en carbone organique particulaire, jusqu'à 10 fois supérieures à la moyenne peut donc être observée ponctuellement, en profondeur pour des stations situées proches de la côte (et/ou d'un îlot).

Pour le reste des stations, aucun gradient « côte-large » n'est observé, indiquant l'absence d'influence anthropique sur ces concentrations. Une tendance globale à la diminution du COP avec la profondeur peut être constatée.

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 2020.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	2,45	0,60	ND	< 0,05	5,83
	Maximum	6,20	1,64	0,11	0,10	19,98
	Moyenne	4,50	0,95	0,04	0,03	12,25
	Ecart-type	0,93	0,32	-	-	4,69
Baie Canal	Minimum	2,68	0,68	ND	< 0,05	5,00
	Maximum	6,47	1,35	0,07	0,12	136,45
	Moyenne	4,40	1,10	0,02	0,07	17,27
	Ecart-type	4,40	1,10	-	-	46,12
Baie du Prony	Minimum	3,96	0,57	ND	< 0,05	3,33
	Maximum	7,16	1,25	0,27	0,10	14,99
	Moyenne	4,95	0,86	0,05	0,05	8,12
	Ecart-type	1,07	0,27	-	-	3,53
Ile Ouen	Minimum	2,92	0,86	ND	0,06	8,33
	Maximum	7,13	1,30	ND	0,12	19,98
	Moyenne	4,29	1,16	ND	0,09	12,58
	Ecart-type	1,54	0,20	-	0,03	4,07

F. CHLOROPHYLLE A

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

Les concentrations en *chlorophylle-a* déterminées lors de la campagne d'août 2020 sont représentées en Figure 7 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5. Les valeurs s'étalent entre 0,02 et 0,44 µg/L, avec une moyenne maximale de $0,16 \pm 0,08$ µg/L pour la zone du Canal de la Havannah. Les concentrations en *chlorophylle-a* sont assez hétérogènes, avec une tendance à de plus grandes concentrations en surface pour les stations du Canal de la Havannah et de ses baies. Dans la partie Ouest de la zone d'étude, les valeurs maximales sont obtenues en profondeur de la station ST20 (Canal Woodin), et à mi-profondeur de la station ST18 (Illet Casy).

Aucun gradient n'est mis en évidence, que ce soit de la côte vers le large ou avec la profondeur.

La moyenne globale des concentrations s'élève à 0,14 µg/L contre 0,19 µg/L en août 2019 et 0,34 µg/L en février 2020. Il y a donc une forte influence saisonnière sur la production de *chlorophylle-a*.

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en matières organiques ne montrent pas cette année, lors de la campagne de saison fraîche, de claire influence terrigène. Leur répartition « côte-large » décroissante habituelle n'est pas franchement marquée lors de cette campagne. Contrairement aux sels nutritifs, aucune opposition Est/Ouest de la zone d'étude n'est visible. Les concentrations en Chlorophylle A sont très hétérogènes sur la verticale, avec pour chaque station de forts écarts entre les concentrations des différents paliers de profondeur. Les concentrations moyennes maximales sont trouvées loin de l'influence terrigène, dans le canal de la Havannah et de l'île Ouen, démontrant l'influence positive des apports océaniques dans la production primaire chlorophyllienne.

Tableau 7: Statistique des concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,02
	Maximum	0,34
	Moyenne	0,16
	Ecart-type	0,08
Baie Canal	Minimum	0,02
	Maximum	0,27
	Moyenne	0,12
	Ecart-type	0,12
Baie du Prony	Minimum	0,04
	Maximum	0,39
	Moyenne	0,12
	Ecart-type	0,10
Île Ouen	Minimum	0,02
	Maximum	0,44
	Moyenne	0,14
	Ecart-type	0,15

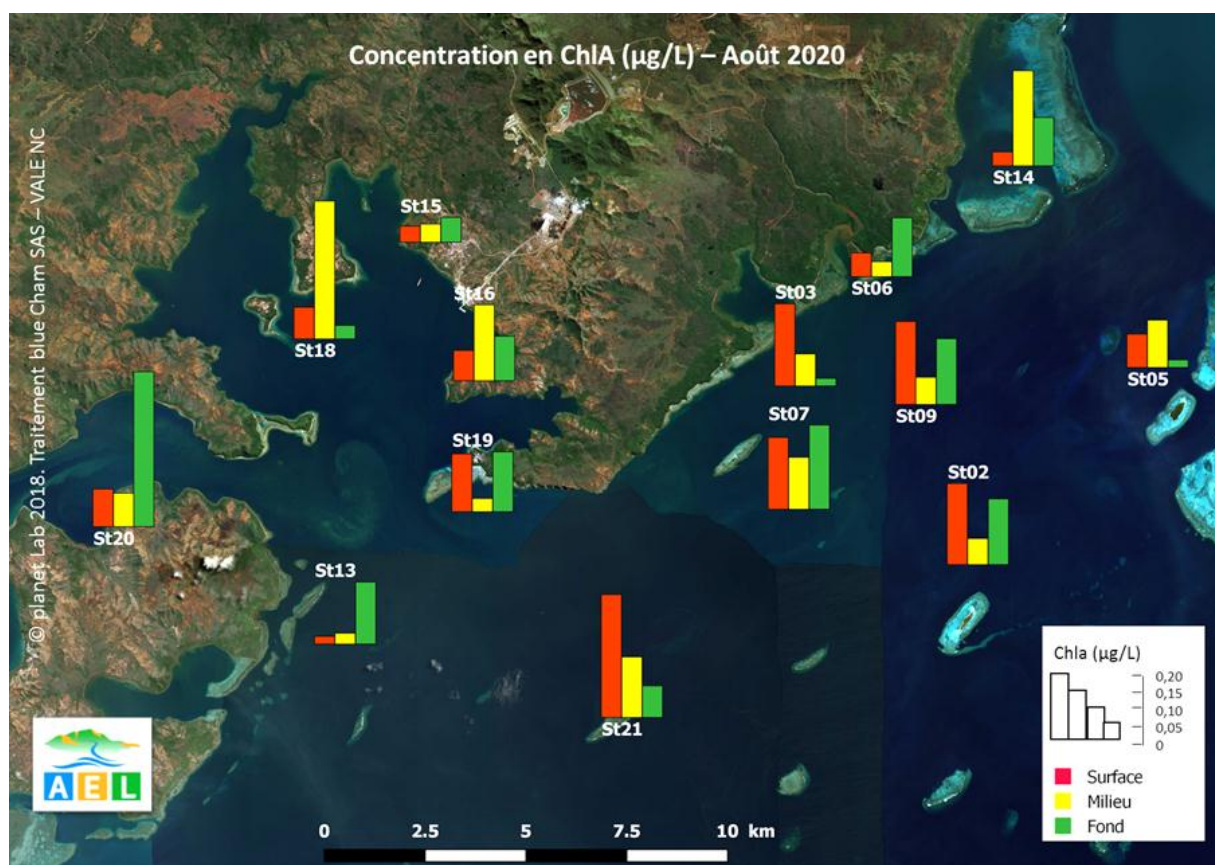


Figure 17: Distribution des concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

G. METAUX DISSOUS

Les concentrations en métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'août 2020 sont regroupées dans les Figures 18 à 25, les tableaux 8 et 9 ainsi qu'en Annexe 6.

Les concentrations en As moyennées pour chaque zone étudiée montrent une relative homogénéité spatiale, que confirme la Figure 19 représentant les valeurs en chaque station pour les 3 profondeurs considérées. Les valeurs s'échelonnent entre 0,50 et 2,11 µg/L, avec une moyenne globale de $1,71 \pm 0,38$ µg/L. Ces valeurs sont en adéquation avec celles obtenues lors des campagnes précédentes, en saison fraîche et saison chaude ; c'est un élément ubiquiste. L'homogénéité des concentrations en Arsenic est également observable sur la verticale (Figure 18).

Les concentrations en cobalt et en cadmium sont toutes en dessous de la limite de quantification (0,025 µg/L pour le Cd et 0,027 µg/L pour le Cobalt).

Concernant les éléments Cr^{6+} et Cr_{total} , leurs concentrations moyennes respectives s'avèrent les plus faibles pour la zone du Canal de la Havannah, influencée par les apports océaniques. En revanche, ils se distinguent par leurs concentrations moyennes maximales, obtenues en Baie du Prony pour le Cr^{6+} et à l'île Ouen pour le Cr_{total} . De plus, le Cr^{6+} montre une claire diminution des concentrations avec la profondeur, ainsi qu'une influence de l'activité anthropique, traduite par des valeurs plus élevées au niveau de la côte. La répartition du Cr total est moins marquée, tant verticalement que spatialement (Figures 19 et 20)

Les concentrations en cuivre (Figure 21) sont également en dessous de la limite de quantification (0,025 µg/L) pour les zones du Canal de la Havannah et des baies du canal. Seules les stations ST13, ST16, ST19, St20 et St21 enregistrent des concentrations pouvant atteindre 0,06 µg/L en surface. Il semblerait que la partie Ouest de la zone d'étude soit plus exposée, en surface, aux apports extérieurs en cuivre (apports atmosphériques ?).

De manière similaire, les concentrations en Fe²⁺ sont majoritairement sous la limite de quantification (0,059 µg/L). Les concentrations les plus élevées ont été observées en ST13 et St21, en ST05 et en ST14, sans gradient vertical particulier. La valeur anormalement élevée observée à mi-profondeur de la station ST02 (1,10 µg/L, Figure 22) pourrait être due à une contamination accidentelle lors de l'analyse, car rien ne permet d'expliquer une augmentation isolée *in situ* (Tableau 9).

La concentration moyenne globale en manganèse atteint 0,18 µg/L, mais la zone d'étude présente une forte hétérogénéité puisque l'écart type associé est de 0,17 µg/L. Le tableau 9 indique l'opposition entre les valeurs obtenues pour le Canal de la Havannah (moyenne de 0,06 µg/L) et pour le reste de la zone d'étude (de 0,19 à 0,28 µg/L). Les plus fortes valeurs (Figure 23) sont observées aux stations les plus proches de la côte. C'est le premier élément métallique pour lequel un clair gradient est observé, inversement proportionnel à la distance à la côte. La valeur maximale de 0,54 µg/L est mesurée en profondeur, face au creek de la Rade Nord (ST15). Aucun gradient vertical n'est discernable dans la colonne d'eau.

Les concentrations en Nickel suivent une tendance tout à fait similaire avec des concentrations tournant en moyenne autour de 0,10 µg/L pour le Canal de la Havannah, contre des valeurs moyennes s'étalant entre 0,23 et 0,39 µg/L pour les baies du Canal et l'île Ouen respectivement. La baie de Prony se situe également dans des valeurs hautes de Ni avec 0,35 µg/L moyens. Le gradient côte large observé pour le Mn est donc reproduit pour cet élément (Figure 24), montrant une influence des apports terrigènes sur les stations les proches de la côte et du complexe minier.

Tableau 8 : 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 2020.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	0,50	0,03	0,03	0,06	0,14	0,03
	Maximum	2,08	0,03	0,03	0,15	0,34	0,03
	Moyenne	1,78	0,03	0,03	0,11	0,21	0,03
	Ecart-type	0,37	-	-	0,02	0,05	-
Baies du Canal	Minimum	0,50	0,03	0,03	0,11	0,19	0,03
	Maximum	1,93	0,03	0,03	0,26	0,65	0,03
	Moyenne	1,52	0,03	0,03	0,15	0,30	0,03
	Ecart-type	1,52	-	-	0,05	0,14	-
Baie du Prony	Minimum	1,57	0,03	0,03	0,00	0,18	0,03
	Maximum	2,11	0,03	0,03	0,51	0,53	0,04
	Moyenne	1,79	0,03	0,03	0,20	0,29	0,03
	Ecart-type	0,18	-	-	0,14	0,11	0,01
Ile Ouen	Minimum	0,50	0,03	0,03	0,04	0,08	0,03
	Maximum	1,99	0,03	0,03	0,28	0,86	0,06
	Moyenne	1,69	0,03	0,03	0,16	0,36	0,04
	Ecart-type	0,58	-	-	0,08	0,27	0,02

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

Tableau 9 : Statistique des concentrations en métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	0,06	0,03	0,06	0,10	1,07
	Maximum	1,10	0,18	0,23	0,10	1,23
	Moyenne	0,14	0,06	0,10	0,10	1,08
	Ecart-type	0,27	0,05	0,06	-	0,04
Baies du Canal	Minimum	0,06	0,04	0,09	0,10	1,07
	Maximum	0,15	0,54	0,37	0,10	1,07
	Moyenne	0,07	0,19	0,23	0,10	1,07
	Ecart-type	0,07	0,19	0,23	-	-
Baie du Prony	Minimum	0,06	0,08	0,24	0,10	1,07
	Maximum	0,07	0,90	0,44	0,11	1,07
	Moyenne	0,06	0,28	0,35	0,10	1,07
	Ecart-type	0,00	0,21	0,07	0,00	-
Ile Ouen	Minimum	0,06	0,19	0,25	0,10	1,07
	Maximum	0,15	0,38	0,55	0,12	1,07
	Moyenne	0,08	0,25	0,39	0,10	1,07
	Ecart-type	0,04	0,07	0,12	0,01	-

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.

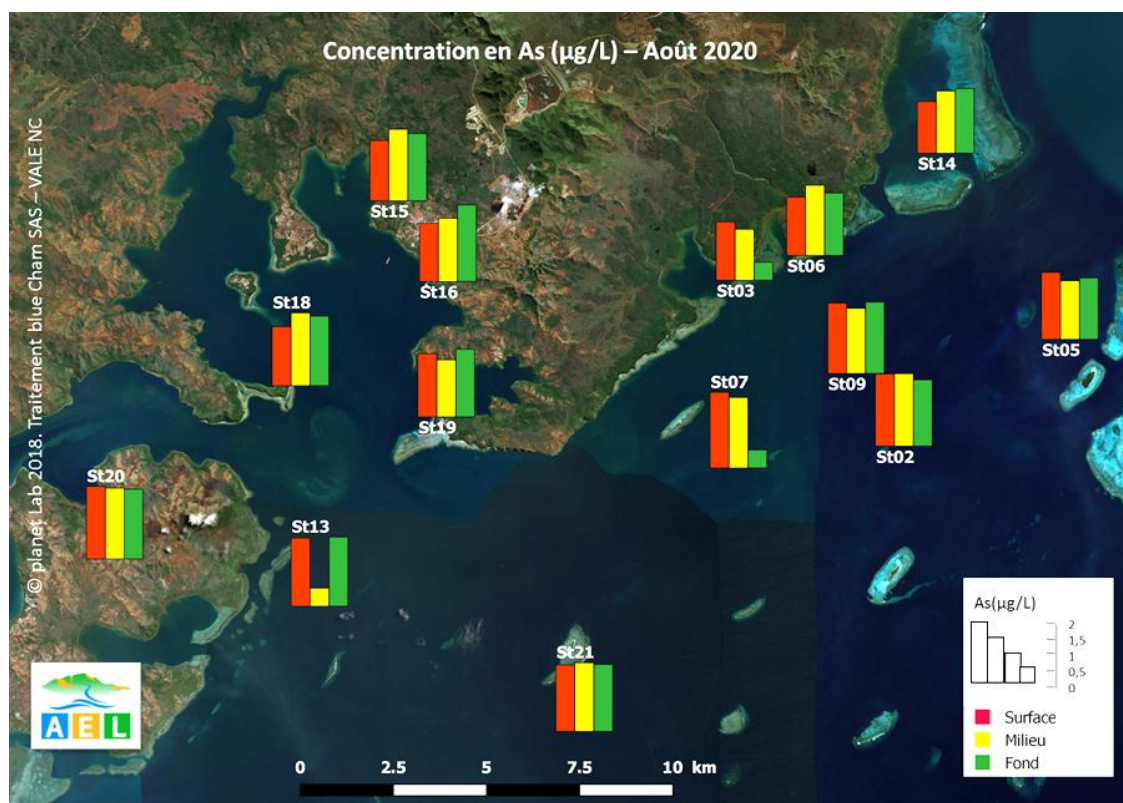


Figure 18: Distribution des concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

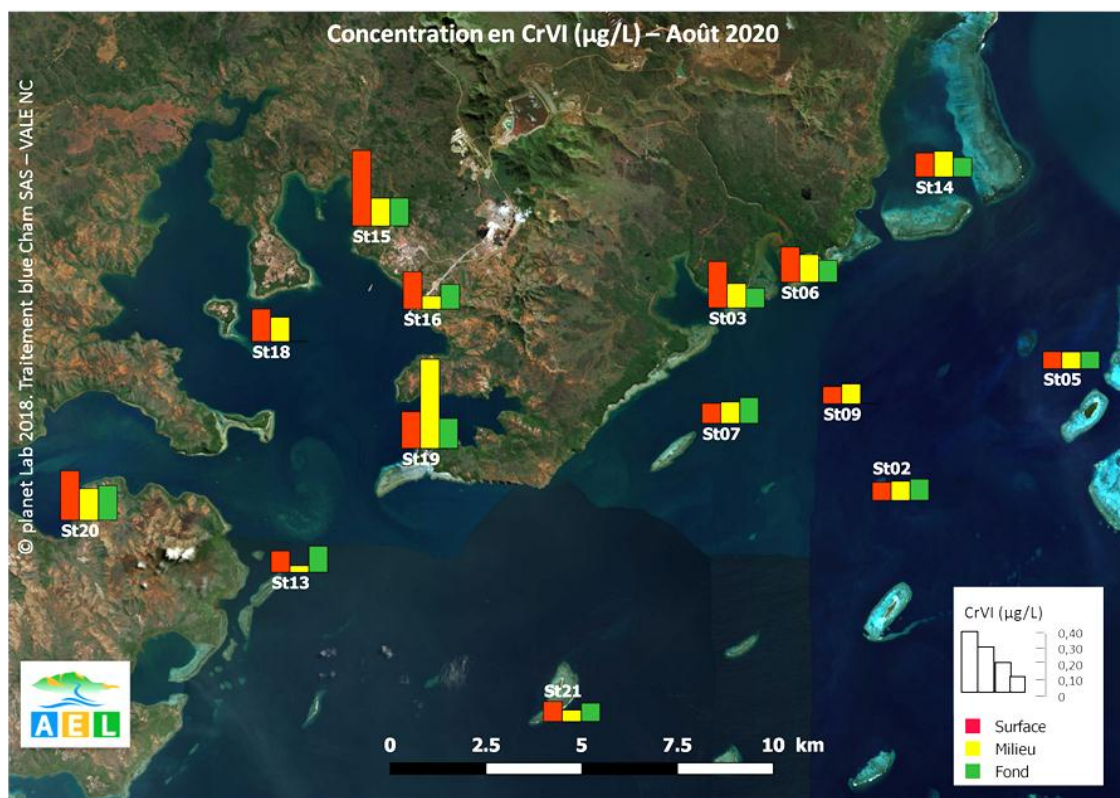


Figure 19: Distribution des concentrations en chrome VI (CrVI) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

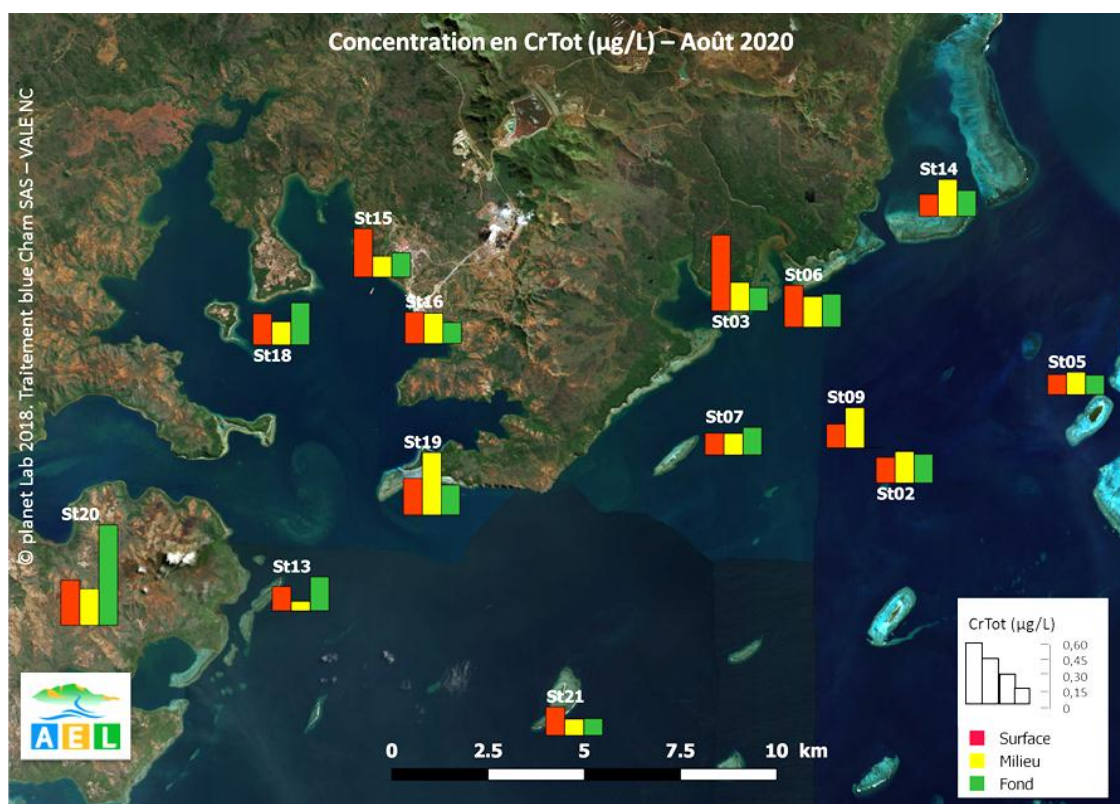


Figure 20: Distribution des concentrations en chrome total (CrTot) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

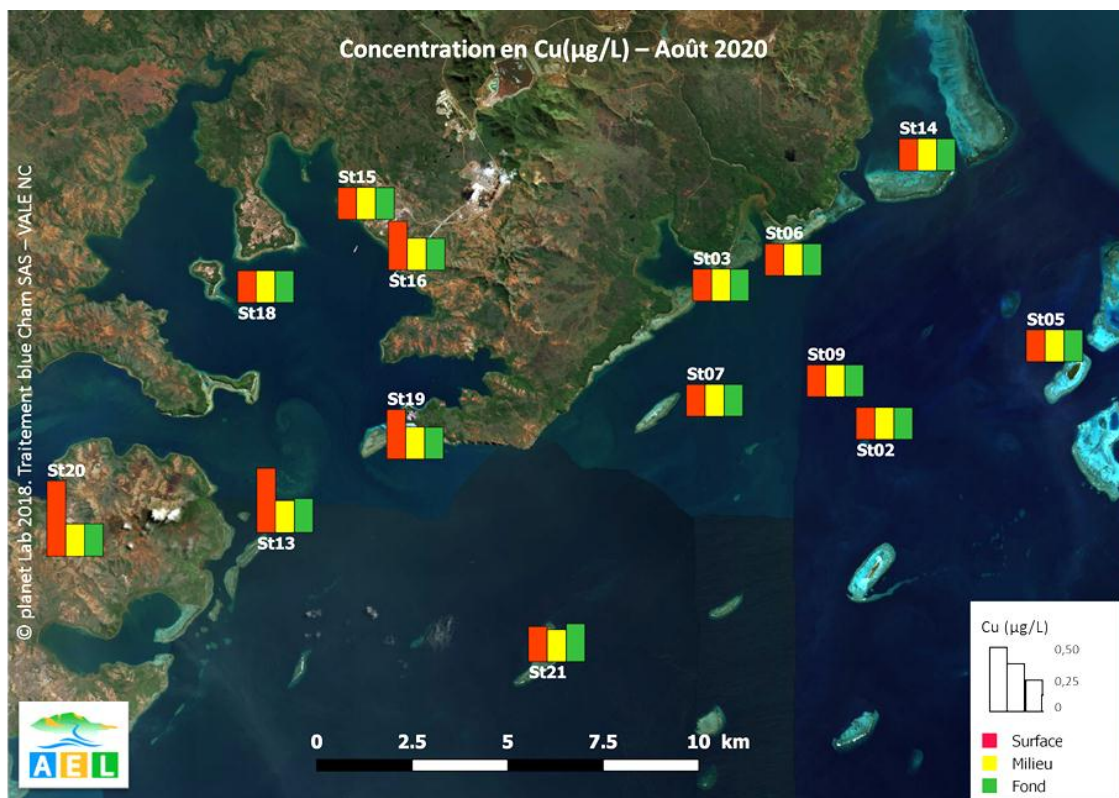


Figure 21: Distribution des concentrations en cuivre (Cu) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

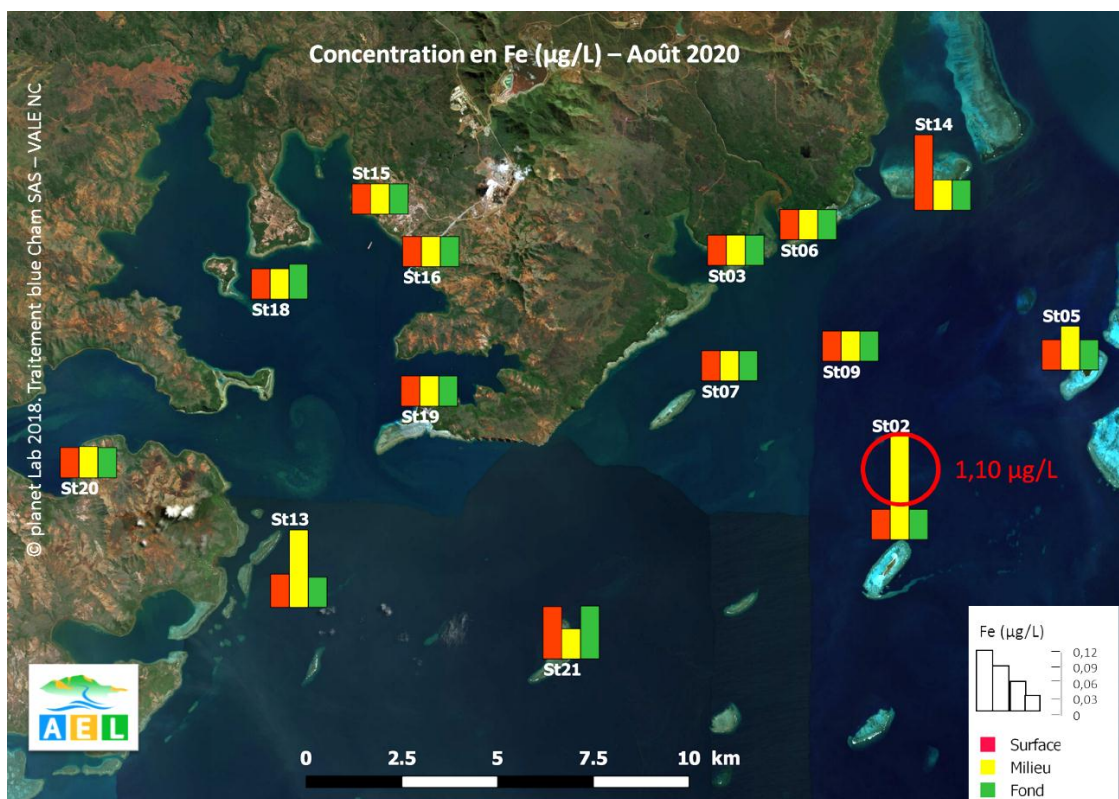


Figure 22: Distribution des concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

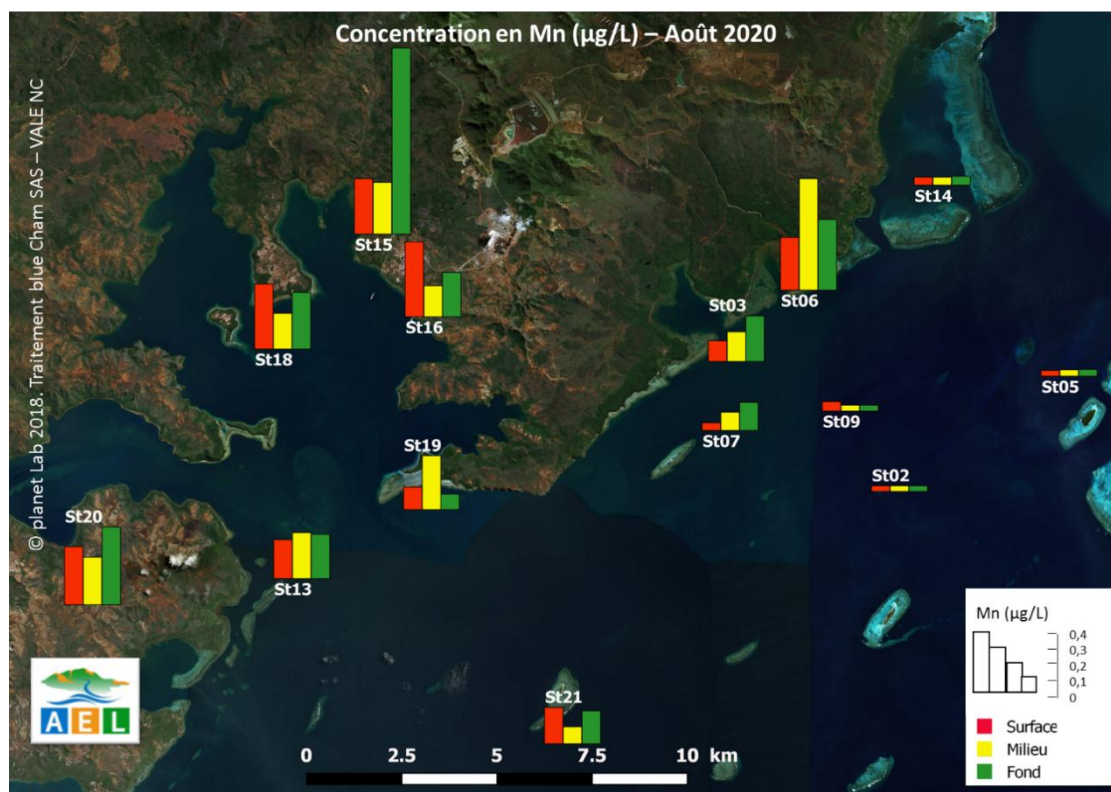


Figure 23: Distribution des concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

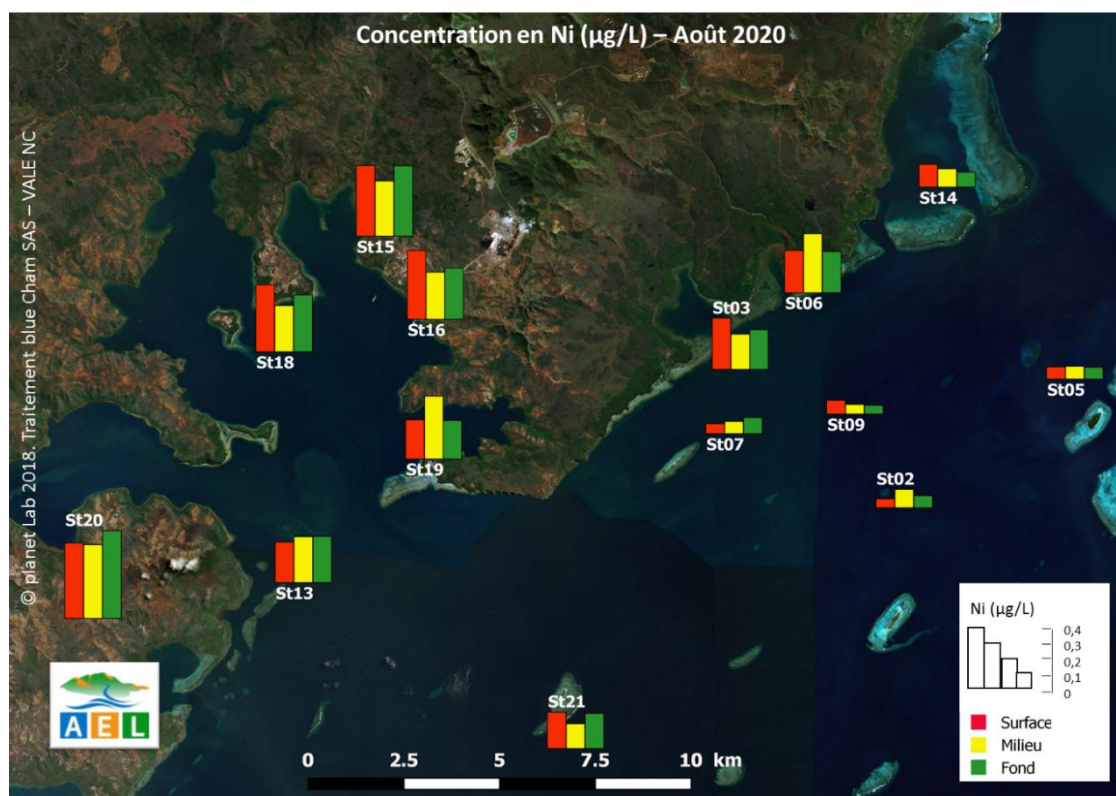


Figure 24: Distribution des concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020.

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 Mn^{2+} et Ni^{2+} , métaux latéritiques provenant directement des sols miniers, présentent dans l'ensemble une distribution « côte-large » décroissante avec la distance à la côte. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau dans les baies du Canal et la Baie du Prony. Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du Canal de la Havannah qui est majoritairement influencé par les apports océaniques. Les concentrations en Cr_{VI} et Cr_{Tot} , également latéritiques, ne présentent pas cette année de gradient côte-large clairement marqué.

Les concentrations en Zn^{2+} , Cd^{2+} et Co^{2+} sont pour la plupart non quantifiables, inférieurs à la limite de quantification.

IV. SYNTHÈSE

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

La campagne 2020 se caractérise par de très faibles précipitations atmosphériques, cumulant un total de 3 mm sur les cinq jours précédant la campagne, et de 0,6 mm durant la campagne. Ces faibles précipitations, vecteurs potentiels d'apports terrigènes par les rivières, suggèrent une influence modérée du milieu continental sur le milieu marin, ce qui a été vérifié dans la partie précédente.

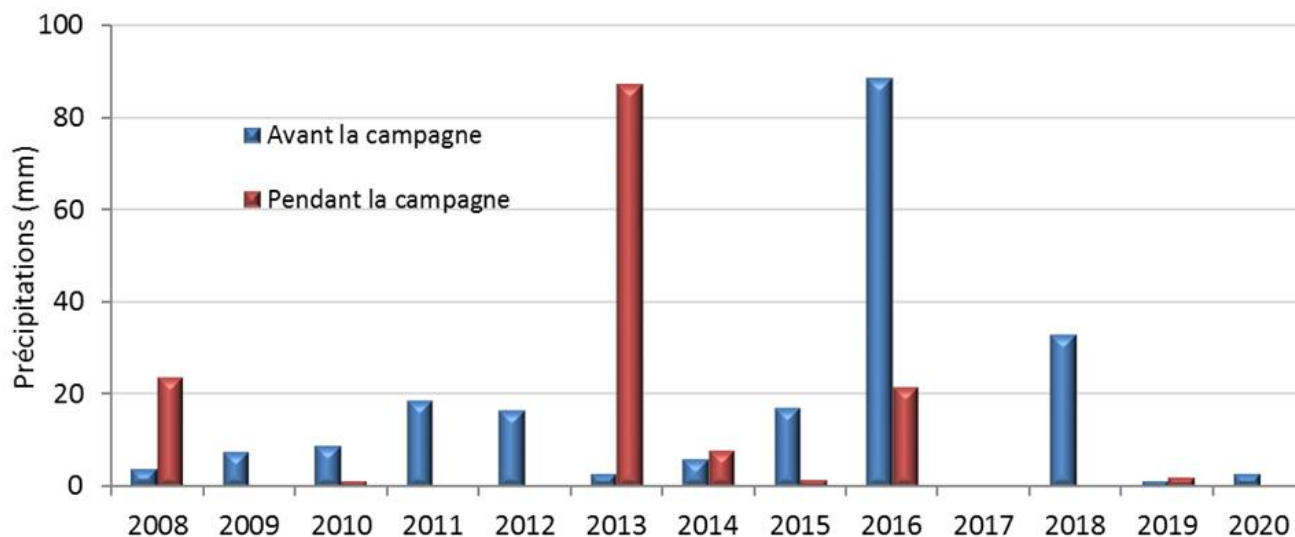


Figure 25: Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison fraîche » de 2008 à 2020 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Goro usine ».

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 a été reporté dans les Figures 26 à 29. 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 26). 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 $\mu\text{mol/L}$ de NH_4 , 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 $\mu\text{mol/L}$ environ) jusqu'à 2018. Ces deux dernières années, une tendance à la diminution est perceptible.

Après 2013, les valeurs en NH_4 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 $\mu\text{mol/L}$ au fond pour ST05 en 2016, 0,38 $\mu\text{mol/L}$ en surface pour ST09 en 2019).

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 en NH_4 , les trois stations aux influences majoritairement terrigènes apparaissent plus contrastées (Figure 27). Ainsi, jusqu'en 2013, la station ST03 (Port Boisé) présente une certaine similarité dans l'évolution des concentrations en NH_4 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 25).

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 NH_4 sont particulièrement faibles (moyenne de 0,027 $\mu\text{mol/L}$) et très homogènes dans toute la colonne d'eau. En 2013, marquée par de fortes précipitations, des concentrations exceptionnelles en NH_4 (0,40 $\mu\text{mol/L}$) 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 2020. 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 NH_4 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 $\mu\text{mol/L}$ sans pouvoir établir de corrélations. C'est également la seule station à ne présenter qu'une augmentation modérée de la concentration en NH_4 lors de la campagne en saison fraîche de 2013.

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 NO_x que d'autres, sans que ceci puisse être formellement relié aux précipitations.

La station ST05 (Figure 28), 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 valeurs sur la verticale sont bien plus réduits qu'en station ST05.

b) Stations des baies - Influence anthropique et continentale

Pour les stations des baies, l'interprétation de l'évolution des concentrations en NO_x depuis 2008 n'est pas plus aisée. En effet, la station ST03 (Figure 29) 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 tirée. 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 NO_x. 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 NO_x y sont les plus élevées (valeurs majoritairement supérieures à 0,20 µmol/L), et la proportion des valeurs non quantifiables est significativement réduite.

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 NO_x et NH₄, par station, par profondeur et par type d'influence.

Les concentrations en NH₄ semblent être bien 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 0,115 µmol/L contre 0,093 µmol/L pour la moyenne des stations représentatives uniquement de l'influence océanique. Les valeurs moyennes, toutes profondeurs confondues, sont du même ordre de grandeur, d'une part, entre les stations des baies (0,128 ; 0,118 ; 0,100 µmol/L) et d'autre part, avec celles du Canal (0,090 et 0,097

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 NO_x en revanche, semblent être moins sensibles aux influences terrestres, avec des valeurs de moyennes temporelles très similaires (0,262 μmol/L pour les baies et 0,231 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 (0,168 ; 0,333 et 0,284 μmol/L pour ST03, ST06 et ST15 respectivement, 0,264 et 0,197 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 NO_x avec la profondeur.

Tableau 10 : Moyennes, entre 2008 et 2020, des concentrations en NO_x et NH₄ des stations pilotes, en surface, mi-profondeur et fond, ainsi que toutes profondeurs confondues, et moyenne 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	0,168	0,128	Moyennes Influences terrigène et anthropique, toutes profondeurs confondues			
		Moyenne surface	0,116	0,135				
		Moyenne Mi-profondeur	0,210	0,070				
		Moyenne Fond	0,178	0,178				
	ST06	Moyenne Totale	0,333	0,118	0,262	0,115		
		Moyenne surface	0,502	0,143				
		Moyenne Mi-profondeur	0,210	0,111				
		Moyenne Fond	0,287	0,099				
	ST15	Moyenne Totale	0,284	0,100				
		Moyenne surface	0,270	0,062				
		Moyenne Mi-profondeur	0,226	0,095				
		Moyenne Fond	0,356	0,143				
Influence océanique (ST05 et ST09)	ST05	Moyenne totale	0,264	0,090	Moyennes Influence océanique, toutes profondeurs confondues			
		Moyenne surface	0,205	0,094				
		Moyenne Mi-profondeur	0,248	0,076				
		Moyenne Fond	0,339	0,099				
	ST09	Moyenne Totale	0,197	0,097	0,231	0,093		
		Moyenne surface	0,128	0,116				
		Moyenne Mi-profondeur	0,189	0,084				
		Moyenne Fond	0,276	0,092				

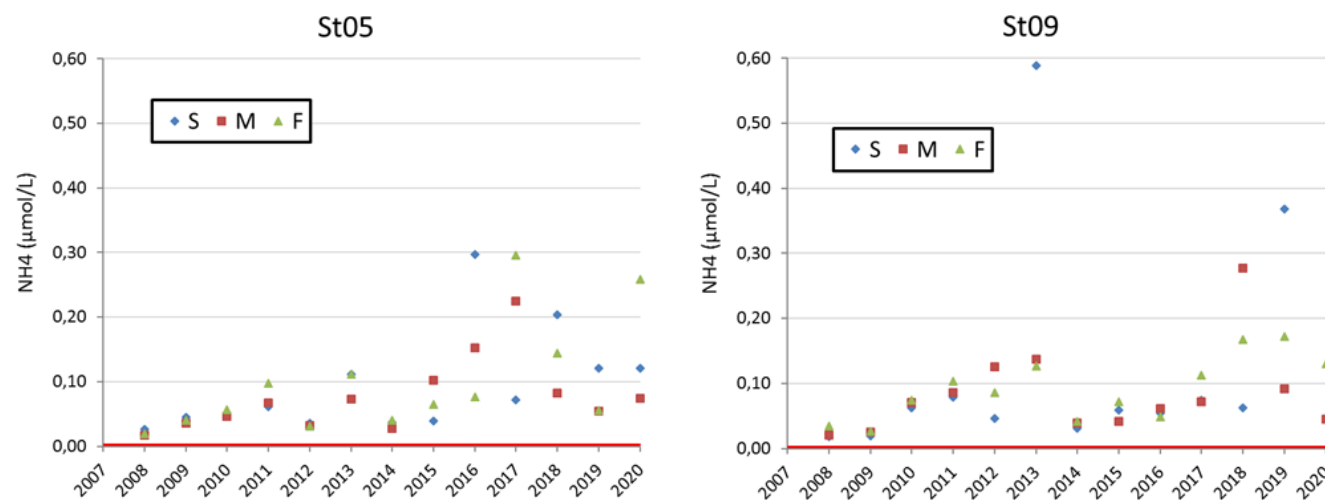


Figure 26: Concentrations en NH₄ aux stations du Canal (St05 et St09), en « saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 μmol/L).

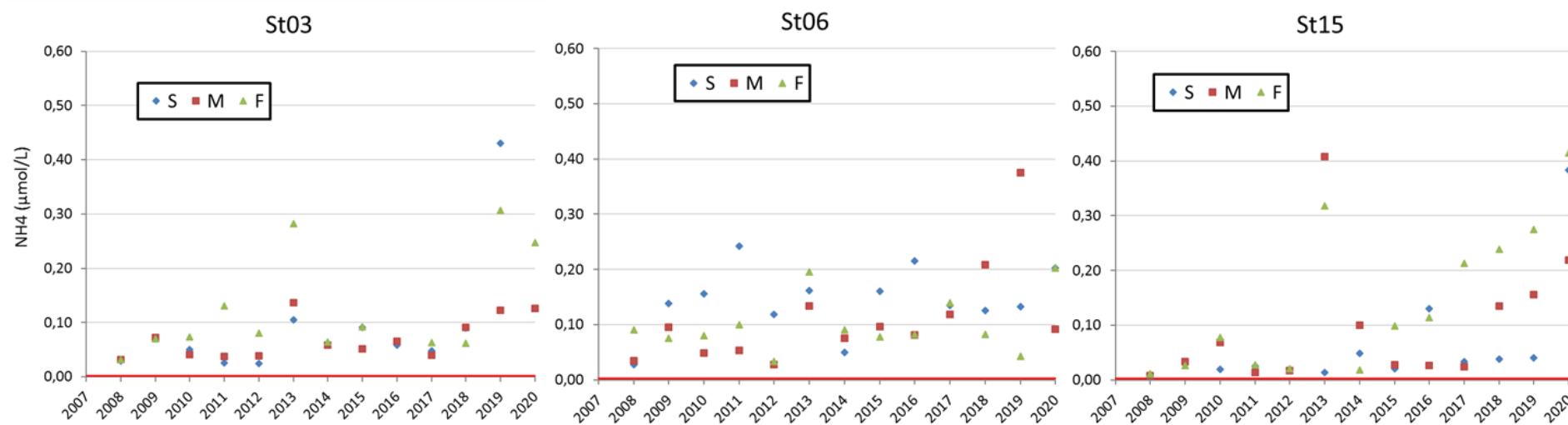


Figure 27: Concentrations en NH₄ aux stations des baies (St03, St06 et St15) en « saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,002 μmol/L).

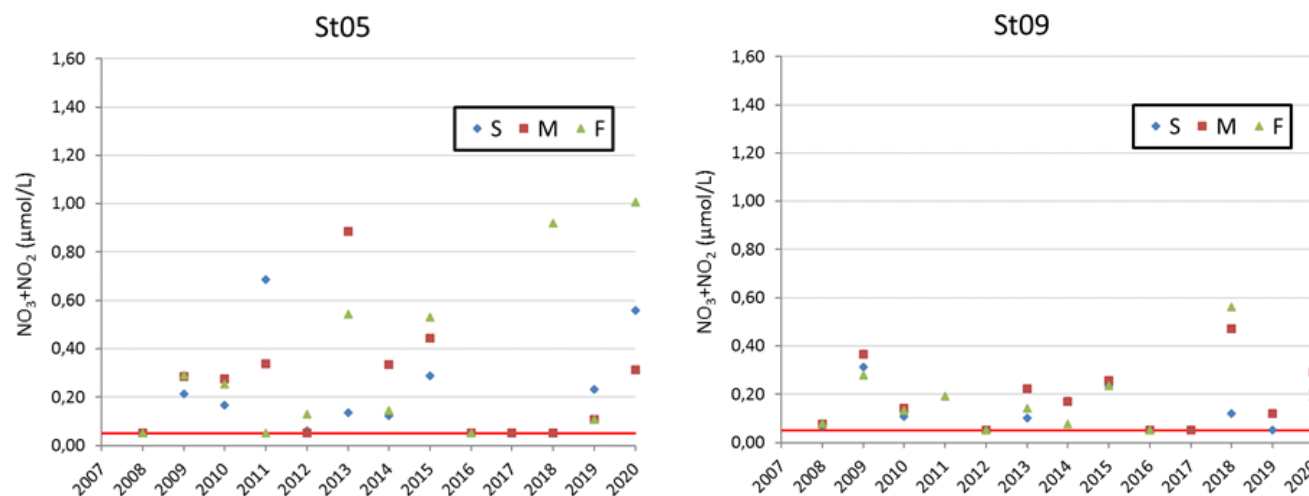


Figure 28: Concentrations en NOx aux stations du Canal (St05 et St09), en « saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,05 $\mu\text{mol/L}$).

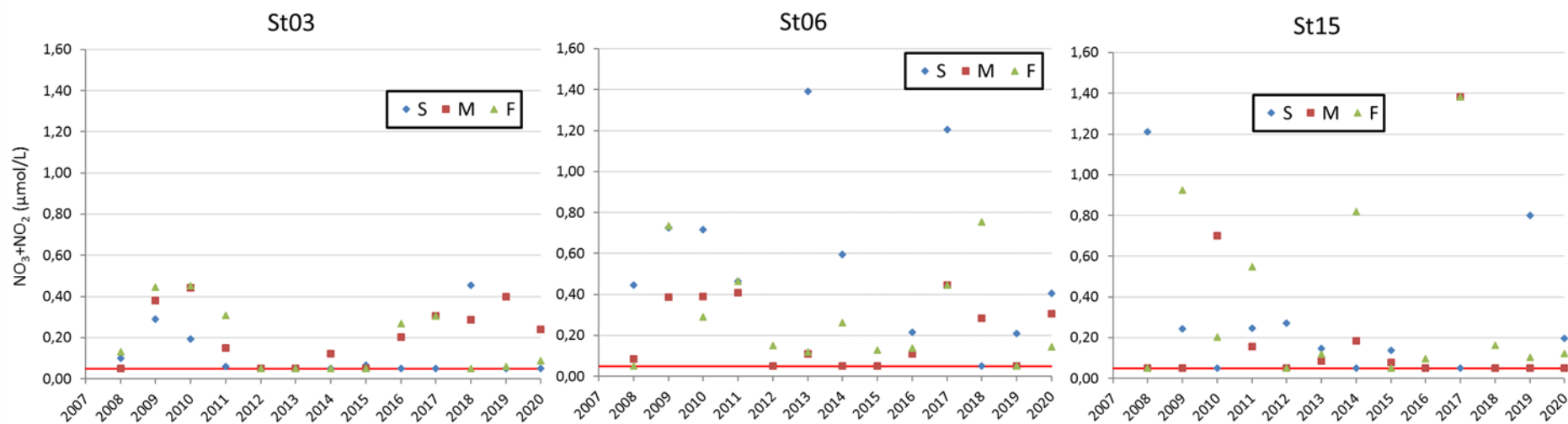


Figure 29: Concentrations en NOx aux stations des baies (St03, St06 et St15) en « saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de détection (0,05 $\mu\text{mol/L}$).

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 sont inférieures 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 30). Pour les stations représentatives de l'influence terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15 ; Figure 31), 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 $0,15 \mu\text{mg/L}$ (de 2 à 7 fois supérieures au reste de la colonne d'eau).

Retrouvé aussi en baie de la Kwé (ST06), c'est en station ST03 (Port Boisé) que le phénomène est le plus visible, avec toutefois des valeurs au fond un peu 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. Aucune tendance temporelle n'est dessinée, on observe une variabilité intercampagne très fortement 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

L'évolution temporelle des concentrations en chrome hexavalent des stations du Canal (Figure 32) présente une cyclicité de période d'environ 4 années. Sur ces périodes, les concentrations en CrVI 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 liée 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.

La moyenne temporelle sur toute la période de suivi, pour les trois stations d'influence terrigène, est nettement supérieure à celle des stations océaniques ; valeur moyenne de $0,113 \mu\text{g/L}$ pour les stations ST05 et ST09, contre $0,184 \mu\text{g/L}$ de CrVI pour les stations ST03, ST06 et ST15 (Tableau 11) où l'influence des précipitations se fait le plus ressentir. En effet, les pics de surface observés (Figure 33) 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.

En revanche, certaines fortes valeurs (2009 pour ST03, 2020 pour ST15) ne semblent pas liées 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. Une légère augmentation est 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 sur la verticale. Seule l'année 2012 voit un léger gradient vertical se mettre en place avec une concentration augmentant avec la profondeur (Figure 34).

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 35). La moyenne temporelle, toutes stations et toutes profondeurs confondues, atteint 0,239 µg/L alors qu'elle ne dépasse pas 0,062 µg/L pour les stations d'influence océanique (ST05 et ST09 ; Tableau 11). L'hétérogénéité des valeurs est très marquée dans la colonne d'eau, avec des valeurs de surface au moins deux fois plus élevées qu'à mi-profondeur et au fond. 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 36). Elles ne sont pas soumises à une variabilité intercampagnes prononcée, ni à un gradient en fonction de la profondeur. La moyenne globale sur ces 12 années de suivi s'élève à 0,095 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 0,295 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 37). 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.

Tableau 11 : Moyennes, entre 2008 et 2020, 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)	ST03	Totale	0,039	0,179	0,204	0,311	Moyennes Influences terrigène et anthropique, toutes profondeurs confondues				
		Surface	0,059	0,258	0,315	0,551					
		Mi-profondeur	0,029	0,144	0,136	0,184					
		Fond	0,028	0,136	0,159	0,198					
	ST06	Totale	0,044	0,209	0,301	0,302	0,0390,1840,2390,295				
		Surface	0,065	0,291	0,433	0,396					
		Mi-profondeur	0,030	0,175	0,201	0,209					
		Fond	0,038	0,160	0,268	0,299					
	ST15	Totale	0,035	0,165	0,213	0,274					
		Surface	0,057	0,261	0,324	0,422					
		Mi-profondeur	0,037	0,171	0,183	0,290					
		Fond	0,038	0,178	0,321	0,346					
Influence océanique (ST05 et ST09)	ST05	Totale	0,027	0,115	0,065	0,097	Moyennes Influence océanique toutes profondeurs confondues				
		Surface	0,027	0,114	0,058	0,088					
		Mi-profondeur	0,027	0,116	0,062	0,092					
		Fond	0,027	0,116	0,074	0,112					
	ST09	Totale	0,027	0,112	0,059	0,092	0,0270,1130,0620,095				
		Surface	0,028	0,111	0,060	0,088					
		Mi-profondeur	0,027	0,109	0,054	0,086					
		Fond	0,027	0,115	0,064	0,103					

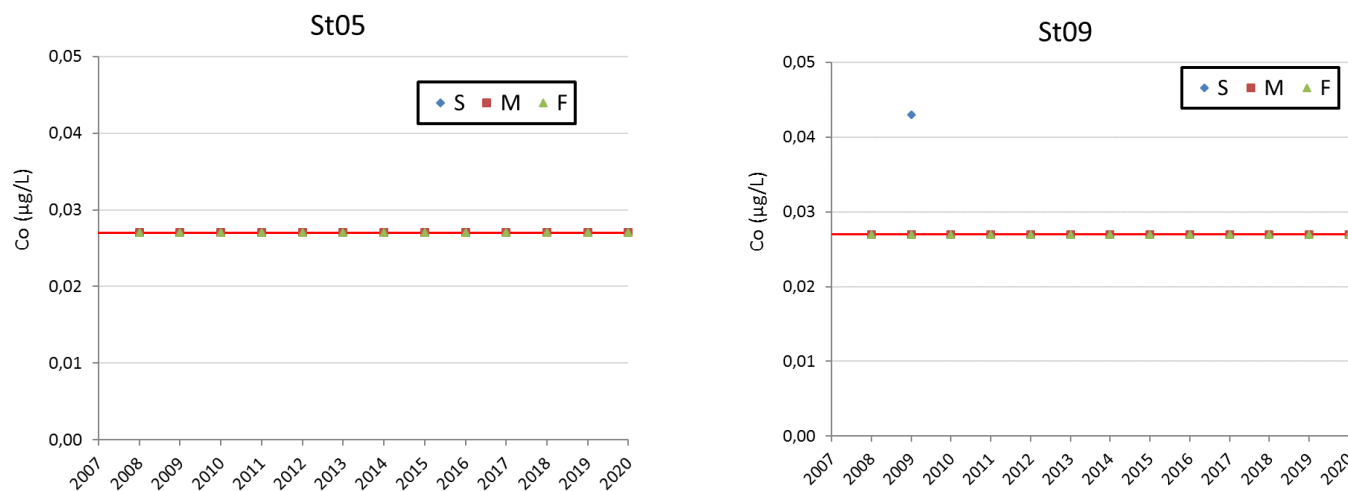


Figure 30: Concentrations en Co dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

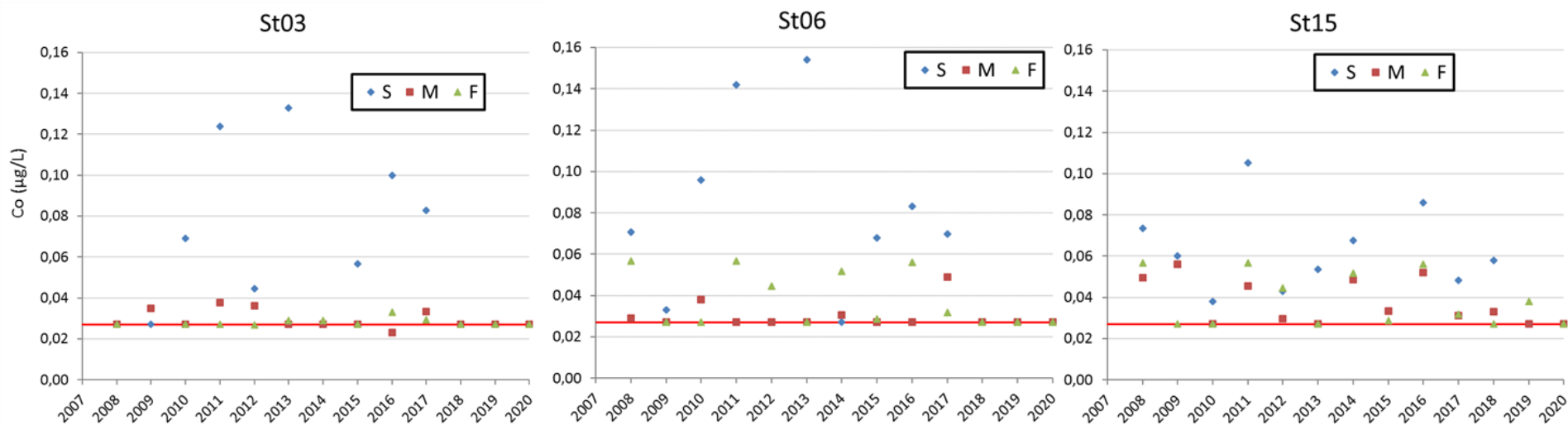


Figure 31: Concentrations en Co dans les stations des baies (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

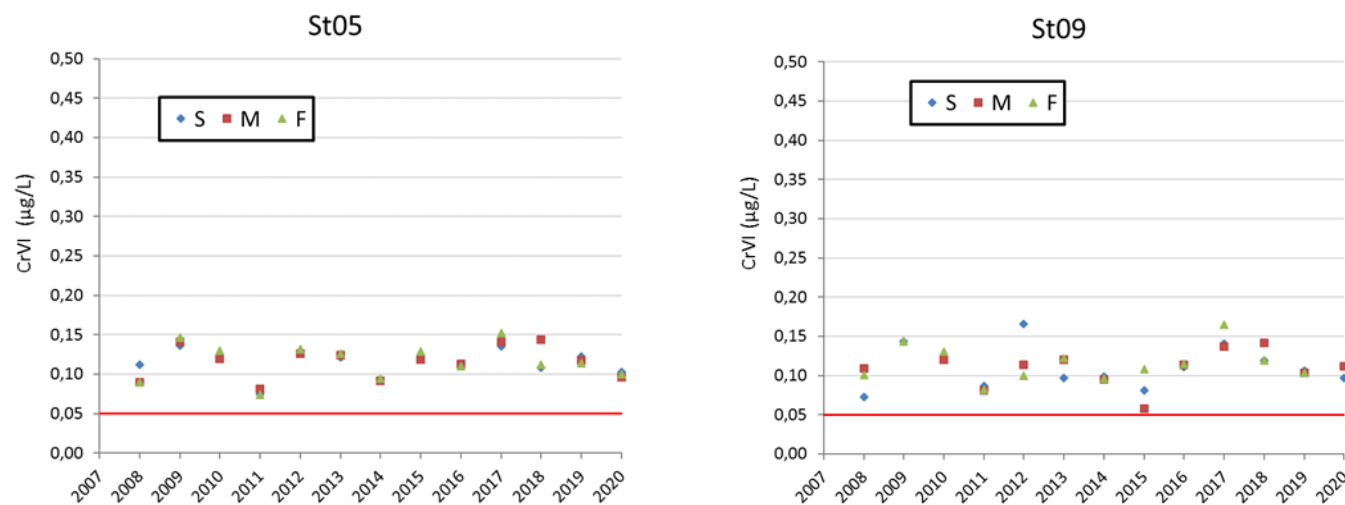


Figure 32: Concentrations en CrVI dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

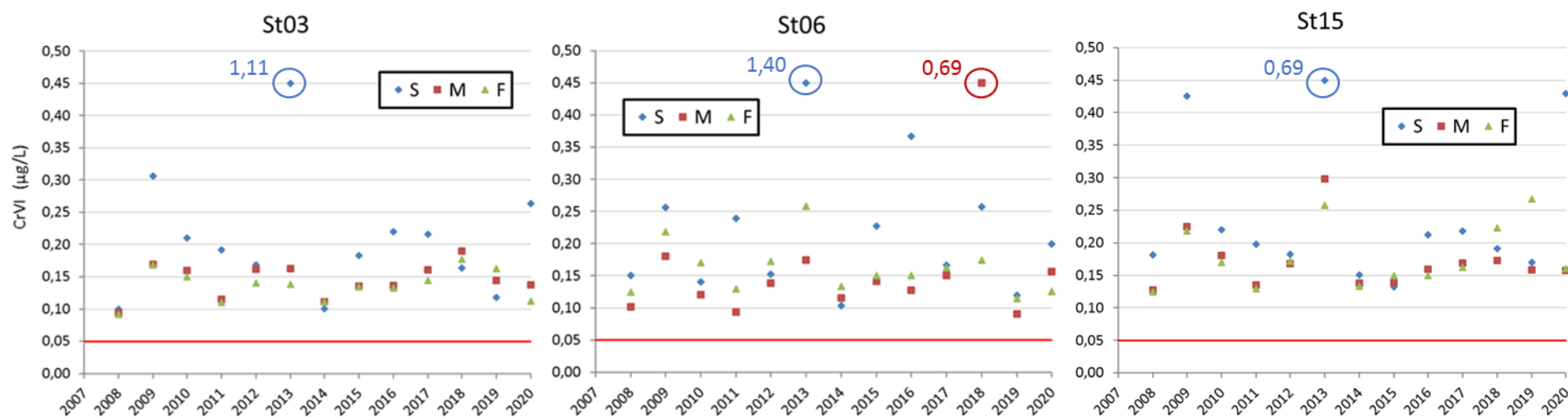


Figure 33: Concentrations en CrVI dans les stations du Canal (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

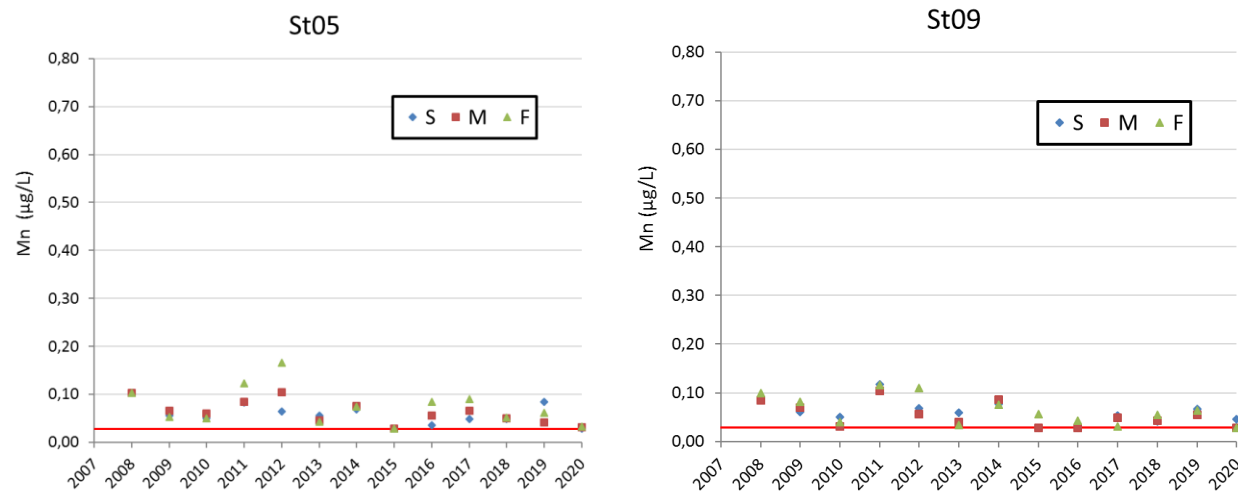


Figure 34: Concentrations en Mn dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

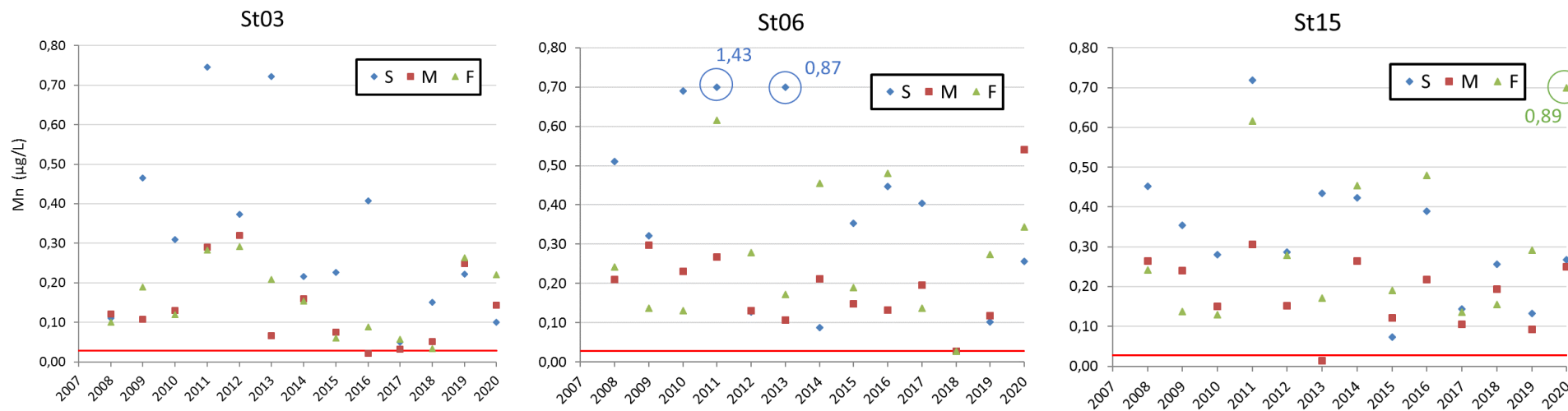


Figure 35: Concentrations en Mn dans les stations du Canal (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

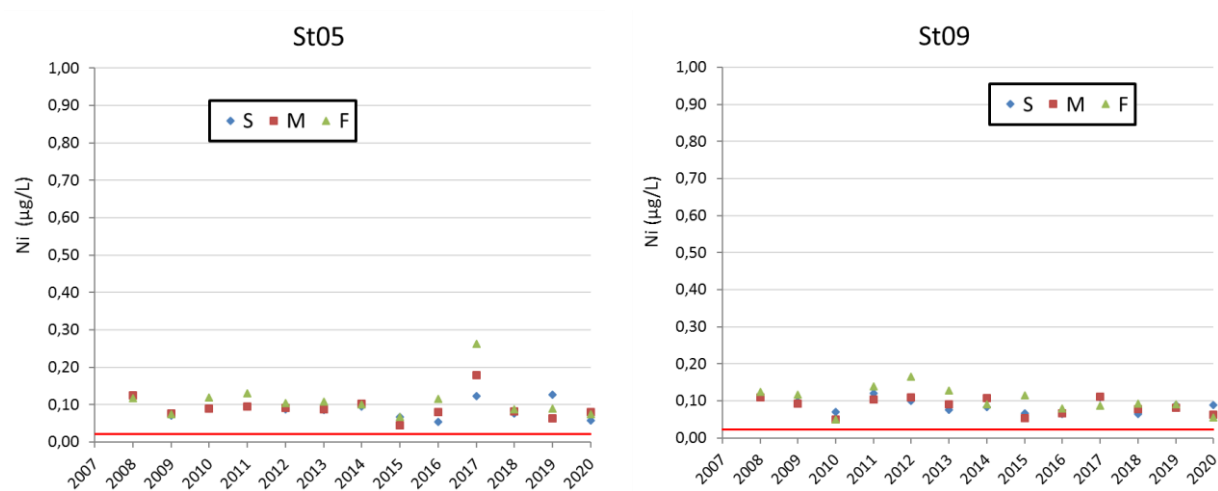


Figure 36 : Concentrations en Ni dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

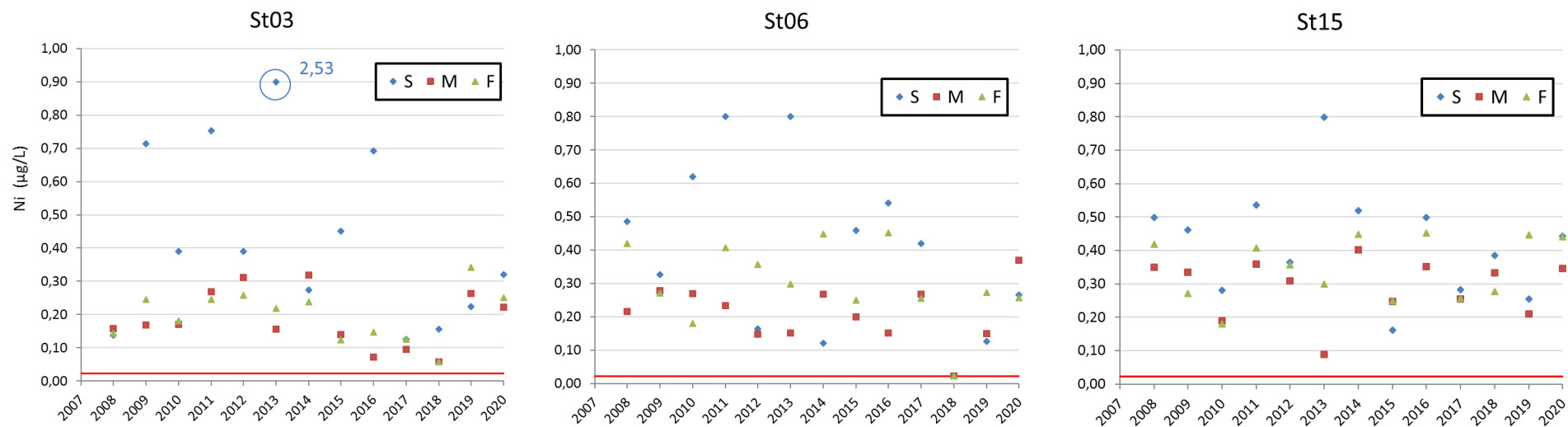


Figure 37: Concentrations en Ni dans les stations du Canal (ST03, ST06 et ST15), en saison fraîche » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,022 µg/L).

V. CONCLUSION

Cette campagne semestrielle « saison fraîche » s'est distinguée cette année par de faibles précipitations avant la campagne, et encore plus faibles durant la campagne. De fait, les profils des variables physico-chimiques ne mettent en évidence qu'une légère influence des apports d'eau douce provenant des creeks et rivière sur la zone d'étude. Ces influences sont surtout décelables au niveau des baies (faibles valeurs de salinité, turbidité plus importante en profondeur). Toutefois, des couches turbides sont présentes en surface dans la baie du Prony et à l'îlot Ugo, explicables peut-être par la présence de particules biologiques.

Dans la plupart des cas, les profils physico-chimiques obtenus permettent de confirmer que les stations situées dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont principalement influencées par les apports océaniques qui renouvellent les masses d'eaux et apportent des nutriments via les phénomènes de marées. Inversement, les stations des baies sont clairement sous influence des apports terrigènes lorsque les conditions météorologiques y sont propices, ayant souvent comme conséquence une stratification de la colonne d'eau.

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.

Les concentrations en MES, en revanche, ne sont pas homogènes dans l'intégralité de la zone d'étude. On constate une opposition entre les zones de l'île Ouen et de la baie du Prony, aux valeurs très hétérogènes spatialement et verticalement, à celles des baies du Canal et du canal lui-même, plus homogènes et globalement plus faibles. Aucun gradient côte-large n'est mis en évidence, en revanche les valeurs de MES sont presque deux fois plus élevées que l'année précédente en saison fraîche.

La quantification des sels nutritifs montre des profils de répartition bien distincts. Tandis que les nitrates et nitrites montrent une tendance à l'accumulation dans la partie orientale de la zone d'étude, d'influence océanique majoritaire, l'ammonium est plus présent dans la zone occidentale, d'influence terrigène majoritaire. Les plus fortes concentrations en nitrates et nitrites sont retrouvées en profondeur dans le canal de la Havannah, tandis que les valeurs en ammonium les plus élevées sont observées en surface à Port Boisé et vers l'île Ouen.

Les concentrations en matières organiques ne montrent pas de claire influence terrigène. Leur répartition « côte-large » décroissante habituelle n'est pas franchement marquée lors de cette campagne. Contrairement aux sels nutritifs, aucune opposition Est/Ouest de la zone d'étude n'est visible.

Les concentrations en Chlorophylle A sont très hétérogènes sur la verticale, avec pour chaque station de forts écarts entre les concentrations des différents paliers de profondeur. Les concentrations moyennes maximales sont trouvées loin de l'influence terrigène, dans le canal de la Havannah et de l'île Ouen, démontrant l'influence positive des apports océaniques dans la production primaire chlorophyllienne.

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 Mn^{2+} et Ni^{2+} , métaux latéritiques provenant directement des sols miniers, présentent dans l'ensemble une distribution « côte-large » décroissante avec la distance à la côte. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau dans les baies du Canal et la Baie du Prony. Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du Canal de la Havannah. Les concentrations en CrVI et Cr_{Tot} , également latéritiques, ne présentent pas cette année de gradient côte-large clairement marqué. Les concentrations en Zn^{2+} , Cd^{2+} et Co^{2+} sont pour la plupart non quantifiables, inférieurs à la limite de quantification.

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, Adj  roud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. Aquatic Living Resources, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n   C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n   C2445.
- Le Grand H, Rounsard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roin   S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n   C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roin   S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n   1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n   1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n   T1368, 85p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. Deep Sea Research, 13: 223-227.
- Kaplan H, Laurent A, Drouzy M, Moreton, Fernandez JM (2016). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n   E98084, 93p.
- Kaplan H, Laurent A, Moreton, Fernandez JM (2017). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2017. Contrat AEL/Vale-NC n   E98084, 83p.
- Moreton B, Fernandez JM, Dolbecq M (2009). Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia lagoon. Geostandards and Geoanalytical Research 33 (2): 205-218.
- Mullin JB, Riley JP (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. Analytica Chimica Acta, 12: 162-176.

Murphy J, Riley JP (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.

NF EN ISO 17294-2 : Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage de 62 éléments.

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

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

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

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	7
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES PENDANT LES 3 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (03 AU 05/08/2020) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (06 AU 11/08/2020). DONNEES METEOROLOGIQUES MESUREES A LA STATION METEO FRANCE D'OBSERVATION "ANCIENNE PEPINIERE".	9
FIGURE 3 : INTENSITE ET DIRECTION DU VENT SOUFFLANT AVANT ET DURANT LA CAMPAGNE (DONNEES METEO FRANCE, STATION ANCIENNE PEPINIERE DE GORO)	10
FIGURE 4: CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020 REPORTEE SUR LES MAREGRAMMES DU 6 ET 11 AOUT 2020.....	11
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 2020.	13
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 2020.	14
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 2020.	15
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 2020.....	16
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 2020.	19
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 2020.	20
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 2020	21
FIGURE 12 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	24
FIGURE 13 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	24
FIGURE 14: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	25
FIGURE 12 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	26
FIGURE 12 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	26
FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.....	29
FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	31
FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME VI (CrVI) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	32
FIGURE 20: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL (CrTot) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	32
FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CUIVRE (Cu) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	33
FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN FER (Fe) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.....	33

FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	34
FIGURE 12: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	34
FIGURE 12: CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON FRAICHE » DE 2008 A 2020 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « GORO USINE ».	36
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN NH ₄ AUX STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	40
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN NH ₄ AUX STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15) EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,002 µMOL/L).	40
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN NO _x AUX STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,05 µMOL/L).	41
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN NO _x AUX STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15) EN « SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE DETECTION (0,05 µMOL/L).	41
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN CO DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	45
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN CO DANS LES STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).	45
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN CrVI DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	46
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN CrVI DANS LES STATIONS DU CANAL (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).	46
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN Mn DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	47
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN Mn DANS LES STATIONS DU CANAL (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).	47
FIGURE 12 : CONCENTRATIONS EN Ni DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	48
FIGURE 12: CONCENTRATIONS EN Ni DANS LES STATIONS DU CANAL (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON FRAICHE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENT LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,022 µG/L).	48

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1: LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	8
TABEAU 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 2020.	12
TABEAU 3 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN ELEMENTS MAJEURS ET DES VALEURS DU PH MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.....	17
TABEAU 4: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020	18
TABEAU 5 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	22
TABEAU 6 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.....	27
TABEAU 7: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.	28
TABEAU 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 2020.....	30
TABEAU 9 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (Fe, Mn, Ni, Pb ET Zn) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AOUT 2020.....	31
TABEAU 10 : MOYENNES, ENTRE 2008 ET 2020, 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 FONCTIONS DES INFLUENCES DES STATIONS.	39
TABEAU 11 : MOYENNES, ENTRE 2008 ET 2020, 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.....	44

ANNEXES

ANNEXE 1.....	56
ANNEXE 2.....	61
ANNEXE 3.....	63
ANNEXE 4.....	65
ANNEXE 5.....	67
ANNEXE 6.....	69
ANNEXE 7.....	71
ANNEXE 8.....	75
ANNEXE 9.....	80

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

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

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

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

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

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

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

ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

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

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

a) Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_3) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO_3 est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenus par réduction des ions NO_3 . Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ par photométrie (Oudot et Montel, 1988). Cependant, les concentrations en NO_2 dans les eaux de 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 $1\ \mu\text{M}$ avec des limites de quantification d'environ $0,05\ \mu\text{mol/L}$.

b) Ammonium

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

c) Phosphates

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

e) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de Mullin et Riley, 1955, modifiée par Fanning et Pilson (1973). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne

une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0,5 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 & Luegbe, 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 & Luegbe, 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 élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2 mol/L).

L'analyse des éléments dissous **Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn** est ensuite effectuée par spectrométrie d'émission optique par torche à plasma (ICP-OES ; Marque Varian, modèle Vista). Cette méthode a été développée par Moreton et al., (2009).

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 2020.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
ST02	Minimum	23,11	0,06	0,24	35,47
	Maximum	23,26	0,51	1,80	35,90
	Moyenne	23,19	0,35	0,44	35,55
	Ecart-type	0,043	0,094	0,157	0,095
ST03	Minimum	23,43	0,03	0,43	35,13
	Maximum	23,54	0,91	2,18	35,56
	Moyenne	23,49	0,53	0,71	35,37
	Ecart-type	0,028	0,217	0,382	0,086
ST05	Minimum	23,38	0,04	0,24	35,33
	Maximum	23,48	0,48	0,45	35,64
	Moyenne	23,42	0,32	0,32	35,51
	Ecart-type	0,020	0,096	0,031	0,016
ST06	Minimum	22,58	0,01	0,45	35,18
	Maximum	22,68	0,40	3,24	35,45
	Moyenne	22,64	0,26	1,21	35,38
	Ecart-type	0,027	0,094	0,602	0,042
ST07	Minimum	23,46	0,24	0,28	35,47
	Maximum	23,57	0,58	0,81	35,50
	Moyenne	23,52	0,43	0,33	35,49
	Ecart-type	0,033	0,062	0,045	0,003
ST09	Minimum	22,78	0,15	0,24	35,50
	Maximum	22,84	0,53	0,53	35,60
	Moyenne	22,81	0,38	0,31	35,50
	Ecart-type	0,012	0,063	0,039	0,007
ST13	Minimum	21,20	0,31	0,47	35,60
	Maximum	21,30	0,56	1,10	35,61
	Moyenne	21,24	0,45	0,58	35,61
	Ecart-type	0,027	0,043	0,068	0,002
ST14	Minimum	22,79	0,13	0,31	35,38
	Maximum	22,88	0,61	0,90	35,46
	Moyenne	22,84	0,46	0,45	35,42
	Ecart-type	0,022	0,114	0,056	0,020

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
ST15	Minimum	22,05	0,44	0,48	34,78
	Maximum	22,13	1,14	2,77	35,60
	Moyenne	22,09	0,86	0,79	35,51
	Ecart-type	0,019	0,186	0,445	0,154
ST16	Minimum	21,54	0,25	0,42	35,49
	Maximum	21,67	0,96	3,90	35,62
	Moyenne	21,59	0,55	0,96	35,55
	Ecart-type	0,027	0,209	0,565	0,049
ST18	Minimum	22,20	0,13	0,47	35,41
	Maximum	22,29	0,81	23,51	35,63
	Moyenne	22,25	0,51	1,29	35,59
	Ecart-type	0,021	0,148	3,099	0,039
ST19	Minimum	22,82	0,24	0,35	35,51
	Maximum	22,88	0,60	2,85	35,61
	Moyenne	22,85	0,37	0,76	35,54
	Ecart-type	0,013	0,078	0,551	0,030
St20	Minimum	23,40	0,03	0,39	35,65
	Maximum	23,53	0,65	1,15	35,68
	Moyenne	23,47	0,35	0,65	35,67
	Ecart-type	0,037	0,101	0,112	0,004
St21	Minimum	23,92	0,45	4,06	35,60
	Maximum	23,86	0,35	0,97	35,58
	Moyenne	0,025	0,041	0,586	0,009
	Ecart-type	23,92	0,45	4,06	35,60

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 2020 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	428,61	477,265	1370,99	11647,17	20833,22	2350	0,232	8,22
	M	452,17	490,25	1398,33	11883,55	21874,88	2250	0,456	8,24
	F	440,74	493,094	1407,89	11884,29	21180,44	2450	0,368	8,24
ST03	S	439,83	488,555	1405,52	11942,86	21180,44	2750	0,404	8,09
	M	423,23	471,234	1352,69	11483,56	21527,66	2200	0,336	8,20
	F	450,92	496,824	1403,82	12003,68	21874,88	2450	0,334	8,18
ST05	S	421,54	469,173	1343,28	11502,28	21874,88	2200	0,442	8,23
	M	430,17	483,071	1373,7	11785,31	20486,00	2250	0,232	8,18
	F	461,24	509,99	1473,56	12473,77	22222,10	2000	0,314	8,22
ST06	S	441,05	492,016	1408,13	11921,46	22569,32	2350	0,346	8,23
	M	427,92	477,38	1366,92	11561,20	20833,22	2550	0,292	8,19
	F	430,62	483,213	1372,48	11630,98	19791,56	2500	0,864	8,14
ST07	S	437,63	501,32	1383,05	11818,18	19444,34	2300	0,616	8,25
	M	435,03	485,849	1377,08	11881,30	20833,22	2300	0,504	8,22
	F	467,56	514,629	1497,13	12641,93	21180,44	2150	0,394	8,24
ST09	S	448,45	490,605	1387,57	12195,21	22916,54	2350	0,55	8,25
	M	436,68	491,242	1395,68	11886,88	21874,88	2000	0,42	8,24
	F	432,51	474,742	1361,53	11646,17	23263,76	2200	0,472	8,24
ST13	S	423,31	472,296	1351,89	11402,85	20486,00	2850	1,034	8,16
	M	205,64	198,439	659,241	5241,94	19020,00	2600	1,882	8,20
	F	476,78	541,877	1518,53	12928,01	19791,56	2650	0,378	8,21
ST14	S	439,60	493,68	1401,62	11933,53	20138,78	2200	0,328	8,23
	M	439,08	487,965	1391,9	11818,27	22222,10	2550	0,312	8,21
	F	439,21	491,454	1401,34	11958,57	20833,22	2550	0,94	8,25
ST15	S	418,16	469,369	1336,28	11283,80	20833,22	2750	0,538	8,22
	M	436,59	491,909	1398,46	11856,26	20486,00	2050	0,25	8,22
	F	441,13	495,19	1407,88	11880,85	21527,66	2450	0,742	8,19
ST16	S	428,61	477,265	1370,99	11363,06	20833,22	2250	0,302	8,22
	M	452,17	490,25	1398,33	11591,28	20138,78	2500	0,878	8,22
	F	440,74	493,094	1407,89	12138,52	20138,78	2350	0,506	8,21

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST18	S	419,81	469,217	1348,72	12174,98	20486,00	2600	1,578	8,22
	M	429,92	479,667	1371,55	12022,18	21527,66	2400	0,29	8,22
	F	449,71	503,575	1443,18	11773,76	21180,44	2750	2,244	8,21
ST19	S	470,05	504,816	1428,67	11847,30	21527,66	2750	0,466	8,20
	M	447,70	502,227	1428,31	12238,01	21874,88	2400	0,316	8,22
	F	438,00	489,32	1399,34	11934,18	20138,78	2650	0,566	8,21
St20	S	443,19	497,864	1407,98	13188,27	21874,88	2400	0,34	8,21
	M	454,07	510,994	1454,85	11623,92	23958,20	2500	0,444	8,12
	F	441,88	497,765	1414,05	14348,06	20486,00	2400	0,512	8,23
St21	S	487,56	550,203	1558,94	12606,42	20833,22	2350	0,648	8,16
	M	428,32	479,06	1370,97	11920,32	21527,66	2300	0,49	8,22
	F	538,93	598,234	1722,92	11910,67	21874,88	2350	2,084	8,20

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020 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	0,294	0,002	0,032	ND
	M	0,383	0,002	0,009	ND
	F	1,894	0,002	0,023	ND
ST03	S	0,050	0,668	<0,050	ND
	M	0,239	0,126	<0,050	ND
	F	0,087	0,248	<0,050	ND
ST05	S	0,557	0,121	0,020	ND
	M	0,312	0,002	0,017	ND
	F	1,007	0,259	0,020	ND
ST06	S	0,404	0,202	<0,050	ND
	M	0,307	0,002	0,005	ND
	F	0,144	0,203	0,019	ND
ST07	S	0,174	0,002	0,004	ND
	M	0,296	0,002	0,037	ND
	F	0,277	0,002	0,002	ND
ST09	S	0,213	0,002	0,014	ND
	M	0,291	0,002	0,009	ND
	F	0,190	0,130	0,022	ND
ST13	S	0,532	0,651	<0,050	ND
	M	0,050	0,143	<0,050	ND
	F	0,050	0,469	<0,050	ND
ST14	S	0,185	0,002	0,023	ND
	M	0,061	0,130	0,001	ND
	F	1,770	0,002	0,009	ND
ST15	S	0,197	0,383	<0,050	ND
	M	0,050	0,219	<0,050	ND
	F	0,123	0,415	0,008	ND
ST16	S	0,081	0,109	<0,050	ND
	M	0,566	0,167	<0,050	ND
	F	0,222	0,398	0,029	ND

Station	Niveau	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
ST18	S	<0,050	0,128	0,020	ND
	M	<0,050	0,185	0,018	ND
	F	0,186	0,211	0,014	ND
ST19	S	<0,050	0,150	<0,050	ND
	M	<0,050	0,132	<0,050	ND
	F	<0,050	0,383	<0,050	ND
St20	S	<0,050	0,285	<0,050	ND
	M	<0,050	0,297	<0,050	ND
	F	<0,050	0,176	<0,050	ND
St21	S	<0,050	0,447	0,004	ND
	M	0,080	0,137	<0,050	ND
	F	<0,050	0,145	<0,050	ND

ND= Non Déterminé

ANNEXE 5

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle α

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle α du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020 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	PT	
ST02	S	5,166	ND	0,1	0,65	<0,050	6,111	0,048	0,228
	M	4,227	0,003	0,17	0,91	<0,050	5,525	0,051	0,073
	F	2,448	ND	0,15	1,00	<0,050	5,339	0,046	0,185
ST03	S	3,903	0,067	0,18	1,03	<0,050	5,650	0,118	0,231
	M	4,534	0,016	0,12	1,06	<0,050	5,958	0,084	0,090
	F	4,615	0,021	0,07	0,68	<0,050	5,626	0,073	0,022
ST05	S	4,010	0,057	0,18	0,91	<0,050	5,600	0,110	0,094
	M	5,970	ND	0,14	0,60	<0,050	6,888	0,034	0,134
	F	4,618	ND	0,1	0,60	<0,050	6,481	0,040	0,021
ST06	S	4,319	ND	ND	1,35	0,08	6,278	0,049	0,067
	M	4,582	ND	0,12	0,86	<0,050	5,750	0,050	0,043
	F	3,924	ND	1,19	1,33	0,12	5,604	0,051	0,166
ST07	S	4,498	0,008	0,17	1,64	0,10	6,319	0,109	0,202
	M	4,645	0,006	0,1	0,72	<0,050	5,659	0,079	0,145
	F	4,974	0,020	0,08	0,77	<0,050	6,026	0,069	0,237
ST09	S	4,012	ND	0,2	1,33	0,07	5,560	0,069	0,233
	M	5,010	0,018	0,09	0,66	<0,050	5,963	0,067	0,077
	F	3,712	ND	0,15	0,82	0,06	4,856	0,050	0,185
ST13	S	3,063	ND	0,14	1,30	0,10	5,551	0,079	0,022
	M	4,093	ND	0,14	1,30	0,08	5,586	0,079	0,031
	F	7,131	ND	0,14	1,30	0,12	8,946	0,106	0,175
ST14	S	4,560	ND	0,11	1,12	0,07	5,871	0,056	0,040
	M	6,470	0,065	0,15	1,08	0,08	7,737	0,141	0,267
	F	2,683	ND	0,76	1,35	0,08	5,807	0,059	0,137
ST15	S	4,006	ND	0,18	1,13	0,07	5,716	0,054	0,045
	M	4,810	ND	0,11	1,23	0,08	6,303	0,069	0,051
	F	5,247	0,040	0,09	0,77	0,06	6,553	0,113	0,070
ST16	S	5,006	0,047	0,11	0,84	<0,050	6,032	0,096	0,086
	M	4,066	0,007	0,12	0,75	<0,050	5,549	0,058	0,213
	F	7,155	0,197	0,08	0,57	<0,050	8,345	0,273	0,125

ND= Non Déterminé

Station	Niveau	Matière organique (µmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (µg/L)
		NOD	POD	COP	NOP	POP	NT	PT	
ST18	S	4,302	ND	0,06	0,87	0,06	5,351	0,069	0,089
	M	4,796	0,004	0,19	0,58	<0,050	5,607	0,055	0,387
	F	6,936	0,074	0,08	0,59	0,08	7,920	0,170	0,039
ST19	S	4,189	ND	0,1	1,25	0,10	5,643	0,027	0,162
	M	3,959	ND	0,12	1,19	0,07	5,331	0,050	0,038
	F	4,918	0,010	0,05	0,59	<0,050	5,945	0,046	0,169
St20	S	4,690	ND	0,11	0,86	0,06	5,886	0,049	0,106
	M	2,924	0,011	0,18	0,94	0,06	4,214	0,067	0,095
	F	3,846	ND	0,25	1,28	0,10	5,355	0,046	0,435
St21	S	4,347	ND	0,25	1,01	0,08	5,859	0,080	0,345
	M	3,645	ND	0,22	1,31	0,07	5,174	0,067	0,170
	F	6,202	ND	0,25	1,31	0,09	7,705	0,078	0,090

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'août 2020 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	1,98	<0,025	<0,027	0,103	0,22	<0,03	<0,06	<0,03	0,06	<0,10	<1,07
	M	1,99	<0,025	<0,027	0,109	0,27	<0,03	1,10	<0,03	0,12	<0,10	<1,07
	F	1,82	<0,025	<0,027	0,122	0,248	<0,03	<0,06	<0,03	0,08	<0,10	<1,07
ST03	S	1,6	<0,025	<0,027	0,263	0,649	<0,03	<0,06	0,10	0,32	<0,10	<1,07
	M	1,4	<0,025	<0,027	0,137	0,245	<0,03	<0,06	0,14	0,22	<0,10	<1,07
	F	0,5	<0,025	<0,027	0,112	0,199	<0,03	<0,06	0,22	0,25	<0,10	<1,07
ST05	S	1,84	<0,025	<0,027	0,098	0,172	<0,03	<0,06	<0,03	0,08	<0,10	<1,07
	M	1,61	<0,025	<0,027	0,096	0,192	<0,03	0,08	<0,03	0,08	<0,10	<1,07
	F	1,69	<0,025	<0,027	0,1	0,167	<0,03	<0,06	<0,03	0,07	<0,10	<1,07
ST06	S	1,6	<0,025	<0,027	0,199	0,358	<0,03	<0,06	0,26	0,27	<0,10	<1,07
	M	1,93	<0,025	<0,027	0,156	0,26	<0,03	<0,06	0,54	0,37	<0,10	<1,07
	F	1,72	<0,025	<0,027	0,125	0,283	<0,03	<0,06	0,34	0,26	<0,10	<1,07
ST07	S	2,08	<0,025	<0,027	0,113	0,187	<0,03	<0,06	0,04	0,06	<0,10	<1,07
	M	1,94	<0,025	<0,027	0,122	0,184	<0,03	<0,06	0,09	0,08	<0,10	<1,07
	F	0,5	<0,025	<0,027	0,147	0,237	<0,03	<0,06	0,14	0,10	<0,10	<1,07
ST09	S	1,93	<0,025	<0,027	0,097	0,202	<0,03	<0,06	0,05	0,09	<0,10	<1,07
	M	1,79	<0,025	<0,027	0,112	0,344	<0,03	<0,06	<0,03	0,06	<0,10	<1,07
	F	1,97	<0,025	<0,027	0	0	<0,03	<0,06	<0,03	0,06	<0,10	<1,07
ST13	S	1,88	<0,025	<0,027	0,121	0,207	0,05	<0,06	0,19	0,25	<0,10	<1,07
	M	0,5	<0,025	<0,027	0,037	0,081	<0,03	0,15	0,22	0,29	<0,10	<1,07
	F	1,9	<0,025	<0,027	0,148	0,29	<0,03	<0,06	0,22	0,29	<0,10	<1,07
ST14	S	1,42	<0,025	<0,027	0,136	0,189	<0,03	0,15	0,04	0,14	<0,10	<1,07
	M	1,71	<0,025	<0,027	0,144	0,316	<0,03	<0,06	0,04	0,12	<0,10	<1,07
	F	1,78	<0,025	<0,027	0,111	0,223	<0,03	<0,06	0,04	0,09	<0,10	<1,07
ST15	S	1,66	<0,025	<0,027	0,429	0,414	<0,03	<0,06	0,27	0,44	<0,10	<1,07
	M	1,97	<0,025	<0,027	0,157	0,179	<0,03	<0,06	0,25	0,35	<0,10	<1,07
	F	1,85	<0,025	<0,027	0,16	0,209	<0,03	<0,06	0,90	0,44	<0,10	<1,07
ST16	S	1,6	<0,025	<0,027	0,213	0,269	0,04	<0,06	0,36	0,43	<0,10	<1,07
	M	1,74	<0,025	<0,027	0,073	0,258	<0,03	<0,06	0,15	0,29	<0,10	<1,07
	F	2,11	<0,025	<0,027	0,141	0,181	<0,03	<0,06	0,21	0,32	<0,10	<1,07

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr ^{-total}	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST18	S	1,62	<0,025	<0,027	0,185	0,266	<0,03	<0,06	0,31	0,42	<0,10	<1,07
	M	2	<0,025	<0,027	0,138	0,198	<0,03	<0,06	0,17	0,29	<0,10	<1,07
	F	1,91	<0,025	<0,027	0	0,361	<0,03	0,07	0,27	0,35	<0,10	<1,07
ST19	S	1,74	<0,025	<0,027	0,209	0,313	0,04	<0,06	0,11	0,24	<0,10	<1,07
	M	1,57	<0,025	<0,027	0,506	0,534	<0,03	<0,06	0,26	0,39	<0,10	<1,07
	F	1,86	<0,025	<0,027	0,17	0,259	<0,03	<0,06	0,08	0,24	<0,10	<1,07
St20	S	1,99	<0,025	<0,027	0,281	0,384	0,06	<0,06	0,28	0,47	<0,10	<1,07
	M	1,95	<0,025	<0,027	0,179	0,312	<0,03	<0,06	0,23	0,46	<0,10	<1,07
	F	1,92	<0,025	<0,027	0,198	0,86	<0,03	<0,06	0,38	0,55	<0,10	<1,07
St21	S	1,82	<0,025	<0,027	0,114	0,243	<0,03	0,10	0,18	0,23	<0,10	1,23
	M	1,89	<0,025	<0,027	0,064	0,138	<0,03	<0,06	0,08	0,15	<0,10	<1,07
	F	1,84	<0,025	<0,027	0,105	0,145	<0,03	0,10	0,16	0,22	<0,10	<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<0,028µg/L ; Ni<0,022µg/L, Pb< 0,100µg/L et Zn<1,07 µg/L µg/L.

ANNEXE 7

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO_3+NO_2), ammonium (NH_4), phosphates (PO_4) et silicates (SiO_4) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2020 lors des campagnes semestrielles « saison fraîche ».

Zone d'étude	Statistique	NO_3+NO_2 ($\mu\text{mol/L}$)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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
	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
	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
	Ecart-type	0,029	0,101	0,070	0,204	0,020	0,337	0,355	0,155	-	0,171	0,265	-	4,82
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	Ecart-type	0,012	0,050	0,047	0,058	0,416	0,191	0,680	0,035	-	<0,050	0,081	-	0,15
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
	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
	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
	Ecart-type	0,025	0,082	0,067	0,051	0,037	0,135	0,482	0,274	-	<0,050	0,034	-	0,20

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (μmol/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (μmol/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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	-	-	-
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	-	-
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	-	-
Ile Ouen	Minimum	<0,050	<0,050	ND	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,102	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<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	<0,050
	Moyenne	<0,050	<0,050	ND	0,051	<0,050	<0,050	0,090 (n=1)	0,116	-	0,026	<0,050	<0,050	<0,050
	Ecart-type		0,014	ND	0,028		0,018		0,013	-	0,023	<0,050	-	-

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (μmol/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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

ANNEXE 8

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

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

Zone d'étude	Statistique	NOD (µmol/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
Ile Ouen	Minimum	3,86	3,39	5,33	3,67	3,21	1,96	5,56	3,34	4,64	4,20	4,61	2,210	2,92
	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
	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
	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

Zone d'étude	Statistique	POD (µmol/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	Ecart-type	0,051	0,129	ND	0,065	0,066	0,083	0,042	NA	0,089	0,033	0,083	-	-
Baie du Prony	Minimum	0,171	0,533	ND	0,052	0,107	0,269	0,098	NA	0,064	0,065	0,071	0,149	<0,050
	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
	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
	Ecart-type	0,034	0,103	ND	0,037	0,037	0,125	0,049	NA	0,029	0,018	0,035	0,066	-
Ile Ouen	Minimum	0,191	0,538	ND	0,059	0,067	0,257	0,176	NA	0,014	<0,050	0,081	0,165	<0,050
	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
	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
	Ecart-type	0,058	0,109	ND	0,012	0,044	0,111	0,048	NA	0,077	0,033	0,031	0,059	-

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

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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 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)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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
Ile Ouen	Minimum	0,717	0,110	0,183	0,583	0,593	1,961	0,622	0,531	0,623	0,618	0,730	0,428	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

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	Ecart-type	0,019	0,075	0,017	0,017	0,040	0,024	0,008	0,015	0,008	0,033	0,008	-	-
Baies du Canal	Minimum	0,067	0,042	0,083	0,022	0,043	0,072	0,017	0,046	0,030	<0,050	0,047	<0,050	<0,050
	Maximum	0,106	0,079	0,156	0,050	0,102	0,233	0,054	0,089	0,060	0,110	0,112	0,181	0,12
	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
	Ecart-type	0,013	0,012	0,024	0,008	0,019	0,050	0,011	0,015	0,010	0,033	0,023	-	-
Baie du Prony	Minimum	0,075	0,048	0,093	0,022	0,049	0,067	0,023	0,041	0,042	0,065	0,035	<0,050	<0,050
	Maximum	0,115	0,086	0,124	0,057	0,160	0,247	0,072	0,065	0,071	0,128	0,100	0,068	0,10
	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
	Ecart-type	0,014	0,013	0,009	0,013	0,031	0,051	0,016	0,006	0,010	0,018	0,017	-	-
Ile Ouen	Minimum	0,082	0,032	0,086	0,015	0,041	0,072	0,028	0,048	0,040	<0,050	0,044	<0,050	0,06
	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
	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
	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

ANNEXE 9

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

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

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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
	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
	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
	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
Baie du Canal	Minimum	0,333	0,157	0,404	0,304	0,364	0,119	0,011	0,212	0,123	NE	0,238	0,173	0,022
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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

ANNEXE 10

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

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

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)*												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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	1,79
	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
Ile 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 voltamétrie) et par différents laboratoires expliquant les différents seuils de LQ ; ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	Co (µg/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	Maximum	<0,027	0,059	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,025	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Moyenne	<0,027	0,031	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,015	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027
	Ecart-type	-	0,015	-	-	-	-	-	-	0,006	-	-	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	0,029	<0,027	0,057	<0,027	0,029	<0,027	<0,027	<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
	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
	Ecart-type	0,021	0,024	0,030	0,051	0,012	0,060	0,013	0,008	0,029	0,019	-	-	-
Baie du Prony	Minimum	0,035	<0,027	<0,027	0,030	<0,027	<0,027	<0,027	0,027	0,039	0,031	0,030	<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
	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
	Ecart-type	0,011	0,017	0,006	0,021	0,008	0,015	0,015	0,006	0,015	0,007	0,011	-	-
Ile Ouen	Minimum	<0,027	<0,027	0,006	0,021	0,008	0,015	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<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
	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
	Ecart-type	0,004	0,050	0,012	0,035	0,010	0,009	0,012	-	0,014	-	-	-	-

Zone d'étude	Statistique	Cr ^{VI} (µg/L)												At 2020
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	
Canal de la Havannah	Minimum	0,073	0,118	0,120	0,074	0,052	0,097	0,087	0,058	0,108	0,131	0,105	0,103	0,06
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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

Zone d'étude	Statistique	Cr-tot (µg/L)*												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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

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

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	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
	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
	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
	Ecart-type	-	-	-	0,040	-	-	-	-	-	0,053	-	0,013	-
Baie du Prony	Minimum	0,042	<0,025	<0,025	<0,025	0,530	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,027	<0,0250	<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
	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
	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
	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
	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
	Ecart-type	0,009	-	0,003	0,465	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	Ecart-type	0,034	0,062	0,021	0,029	-	-	0,043	-	0,071	-	0,003	-	-

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 2020
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
	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
	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
	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	0,053
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
	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
	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
	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
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
	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
	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
	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
	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
	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
	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

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)												
		At 2008	At 2009	At 2010	At 2011	At 2012	At 2013	At 2014	At 2015	At 2016	At 2017	At 2018	At 2019	At 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