

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

1^{ER} SEMESTRE 2020



« Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique »

Rapport semestriel

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

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

1^{er} semestre 2020

Drouzy M., Fernandez JM.

Nombre de pages : 88

	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 1 ^{er} semestre 2020		
Auteurs	Drouzy Marion, JM Fernandez		
Résumé	Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Vale-NC a mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1er semestre 2020 (février 2020) effectuées dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé en 14 stations réparties dans cette même zone : Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin. Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO_x et NH₄), de matières organiques (Azote et Phosphore) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, CrVI, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie. Les profils de turbidité et de fluorescence permettent de distinguer les stations sous influence terrigène ou bien océanique Globalement les concentrations des paramètres étudiés ne montrent une diminution de l'influence terrigène par rapport aux précédentes campagnes « saison chaude ».		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Drouzy Marion	MD	16/06/2020
Vérificateur 1	JM Fernandez	JMFA	30/06/2020
Vérificateur 2	Celine Pousse	CP	08/07/2020
Approbateur	JM Fernandez	JMFA	09/07/2020
VERSION			
V1.1 : Reprise d'une annexe			
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Nicolas 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. 1^{er} Semestre 2020. Contrat AEL/VALE-NC n° L26981/0001

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	8
A.	SITE D'ETUDE	8
B.	ECHANTILLONNAGE	9
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	10
III.	RESULTATS.....	12
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU	12
B.	ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	18
C.	MATIERES EN SUSPENSION	19
D.	SELS NUTRITIFS	21
E.	MATIERES ORGANIQUES	26
F.	CHLOROPHYLLE A.....	31
G.	METAUX DISSOUS	33
IV.	SYNTHESE	40
A.	SELS NUTRITIFS.....	40
B.	METAUX DISSOUS	44
V.	CONCLUSION	50
	METHODOLOGIE	56
	STRUCTURES DES MASSES D'EAU	56
	ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS, PH ET MATIERE EN SUSPENSION (MES)	56

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le suivi de la colonne d'eau 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 maintient un programme continu de suivi depuis 2008, pour caractériser la colonne d'eau à partir d'un certain nombre de paramètres. Ce suivi s'exerce, sans interruption, sur un total revu de 14 stations (13 ICPE + 1 Vale-NC), depuis plus de 10 ans.

L'objectif consiste à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de mer sur une grande échelle de temps. L'analyse des séries temporelles depuis 2008 permet de déceler l'évolution de l'influence des activités industrielles sur les masses d'eau dans la zone d'impact potentiel du projet Vale-NC.

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvements du 1^{er} semestre 2020 (février 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'Ile 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 en sels nutritifs et en matière organique dissoute et particulaire.

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 en 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 adjacentes ;
- **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 des 20 et 25 Février 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 des bouteilles « Go Flo®, Metal-Free » ont été utilisées pour le dosage des métaux dissous.

L'eau a été échantillonnée aux profondeurs suivantes :

- Sub-surface (-3 m) ;
- Mi-profondeur ;
- Proximité du fond (environ 3 m du fond ou +3 m).

Lors de cette première campagne semestrielle de l'année, 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, de MES (Matières en Suspension) et des concentrations en ions chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates 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 (Cr^{VI}), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

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

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions hydroclimatiques ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de situer chaque prélèvement dans son contexte, les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Vale-NC (Goro Usine, Figure 2 et Figure 3) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 4).

Les conditions météorologiques précédant la campagne semestrielle reflètent des précipitations relativement importantes entre les 15 et 19 février 2020, atteignant les 4,8 mm en cumulé. La journée du 18 février a également été marquée par une intensification du vent de secteur SE (régime d'alizé), soufflant jusqu'à 8 m/s au niveau de l'Usine GORO (environ 16 nœuds). Il est très probable qu'en aval du site minier, au niveau du site d'étude, le vent soufflant sans obstacle au-dessus du lagon ait atteint des valeurs plus élevées encore.

Les conditions météorologiques ayant régné durant la 1^{ère} campagne semestrielle (20 au 25/02/2020) sont également marquées par des pluies très modérées pour la période, notamment du 23 au 25 février 2020, cumulant moins de 5 mm en trois jours. La première période d'échantillonnage (20 /02/2020) succédant au premier passage pluvieux s'est déroulée en conditions totalement sèches. Les vents régnants lors de la campagne se sont maintenus sur un secteur E/SE, avec toutefois d'importantes variations diurnes dans leur intensité (faible vent la nuit).

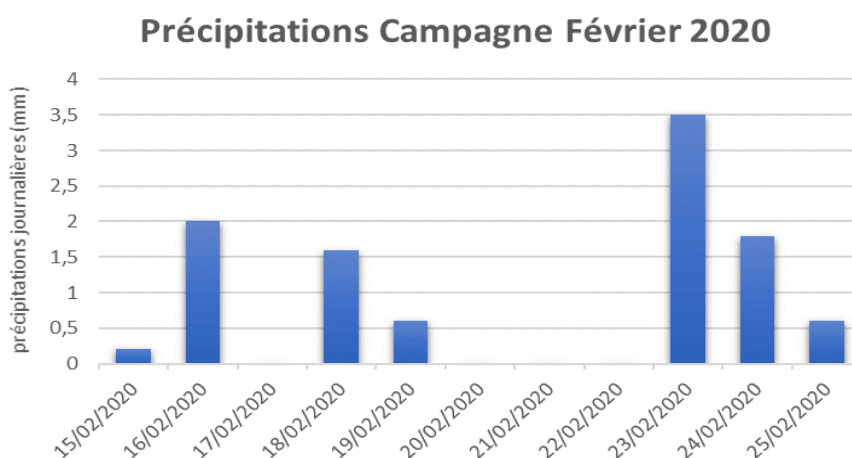


Figure 2: Hauteurs des précipitations enregistrées pendant les 5 jours précédant la campagne (15 au 20/02/2020) et pendant la campagne semestrielle (20 au 25/02/2020). Données Station météo France « Goro usine ».

Les prélèvements ont été réalisés sur des plages d'environ 6 heures, c'est-à-dire sur des moments de marée différents :

- Le 1^{er} jour (20/02/2020), les stations du Canal de la Havannah et de ses baies (ST02, ST09, ST05, ST14, ST06, ST03, et ST07) ont été prélevées à marée descendante, à l'étape de marée basse et au début de la marée descendante.
- Le 2^{ème} jour (25/02/2020), les prélèvements ont été effectués à l'îlot Ugo (ST21) puis à l'île Ouen aux stations ST13 et ST20, à l'étape de la marée haute. En fin de matinée, la Baie de Prony avec les stations ST19, ST15, ST16 et ST18 ont été échantillonnées durant la marée descendante (Figure 4).

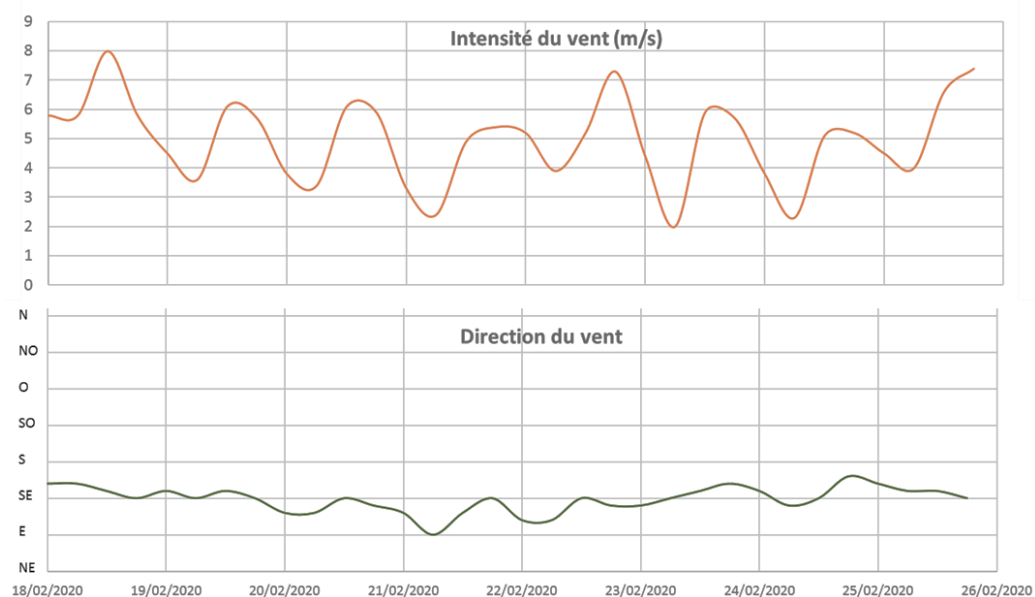


Figure 3 : Conditions de vent (intensité en m/s et direction) du 18 au 25 février 2020. Données station météo France « Goro usine ».

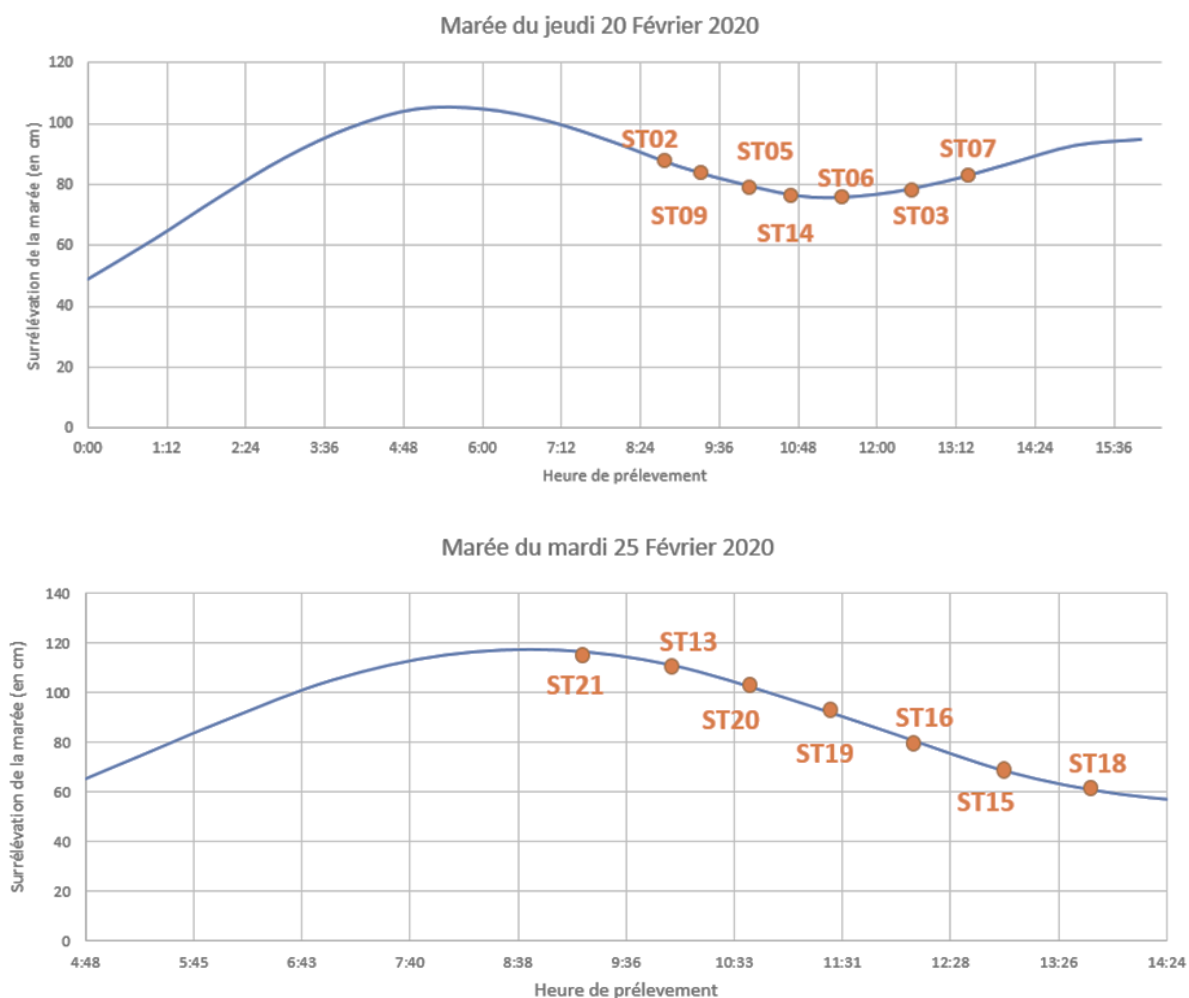


Figure 4 : Chronologie des prélèvements de la campagne semestrielle de février 2020.

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 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 le Tableau 2, les Figures 5 à 8 et en 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 de février 2020.

Zone d'étude	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Canal de la Havannah	Minimum	27,77	0,01	0,01	35,24
	Maximum	31,28	2,16	2,33	35,81
	Moyenne	29,35	0,49	0,35	35,50
	Ecart-type	1,31	0,23	0,13	0,04
Baies du Canal	Minimum	29,73	0,01	0,01	34,70
	Maximum	32,73	4,41	4,63	35,52
	Moyenne	31,28	0,72	0,59	35,42
	Ecart-type	1,16	0,53	0,59	0,12
Baie du Prony	Minimum	27,15	0,05	0,01	35,19
	Maximum	28,11	1,56	2,40	35,55
	Moyenne	27,60	0,29	0,32	35,52
	Ecart-type	0,36	0,18	0,19	0,06
Ile Ouen	Minimum	26,78	0,01	0,33	35,51
	Maximum	27,13	1,30	2,78	35,59
	Moyenne	26,99	0,39	0,49	35,56
	Ecart-type	0,14	0,13	0,17	0,01

1. Température

La température de l'eau en cette saison chaude oscille entre 27 °C environ, aux stations situées le plus au large (ST16, ST20, ST21) et 32 °C pour les moins profondes situées dans les baies (ST03, ST06, ST07). La moyenne est de $28,81 \text{ °C} \pm 0,74 \text{ °C}$. En 2019, la température moyenne de la campagne effectuée en saison chaude était sensiblement plus fraîche avec une moyenne de $25,79 \pm 0,36 \text{ °C}$.

L'écart relatif moyen est faible entre les différents profils toutefois la différence entre températures minimales et maximales atteint $5,95 \text{ °C}$ (ST03 en baie de Port Boisé contre ST20 vers l'île Ouen, Tableau 2). Ces différences spatiales sont plus importantes que durant la saison fraîche, et sont liées aux apports d'eaux extérieurs au cours du cycle de marée, plus intenses au large que dans les baies. En revanche, les températures sur un profil sont très homogènes sur la verticale.

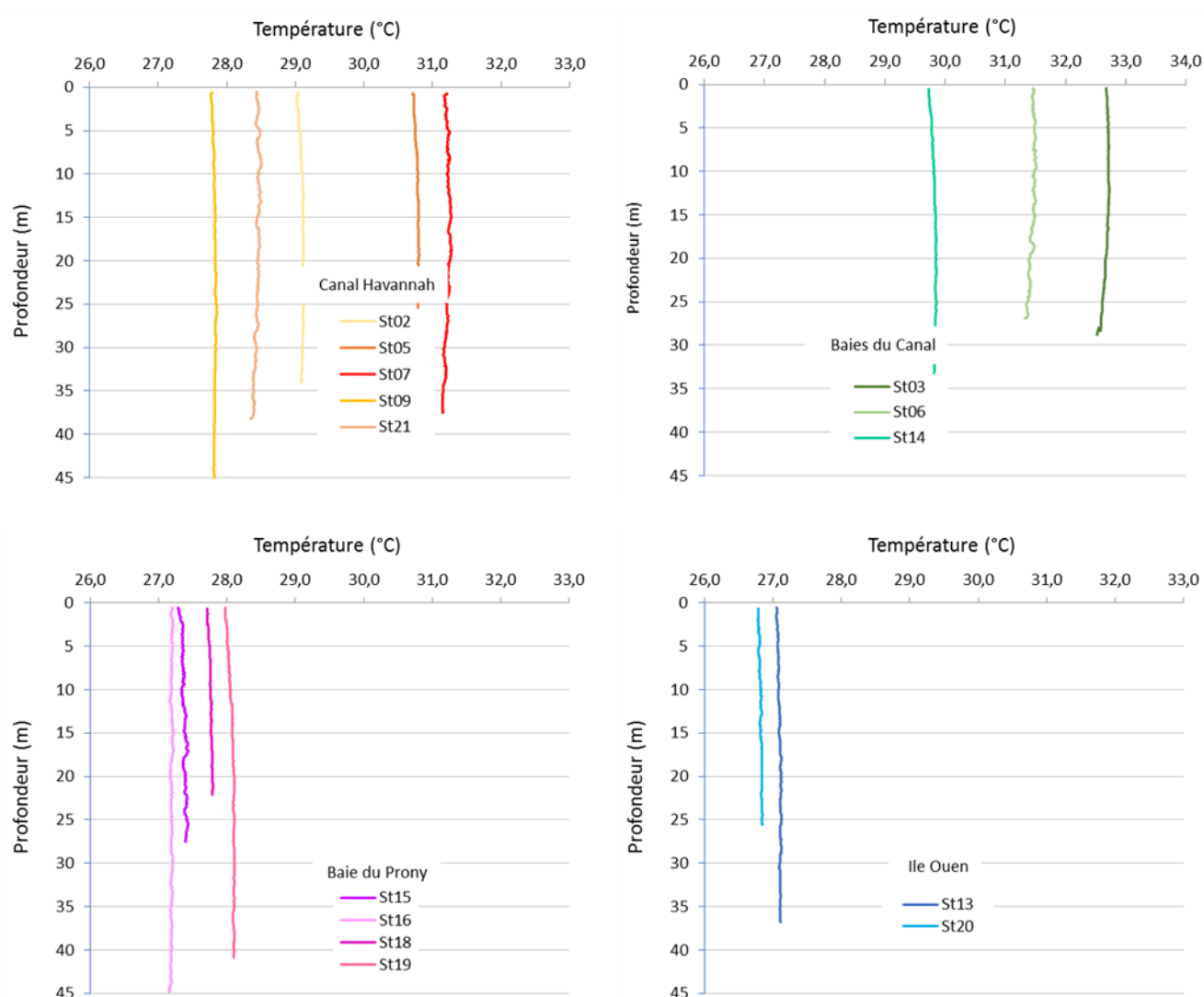


Figure 5 : Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

2. Salinité

La mesure de salinité montre d'infimes différences spatiales entre les différentes stations puisque la moyenne globale est de 35,44 et l'écart type est de 0,06 ‰ (tableau 2).

Les salinités des stations ST02, ST05 et ST09 dans le **Canal de la Havannah** sont très homogènes sur toute la colonne d'eau, à *contrario* des stations de l'île Ouen où la salinité est légèrement supérieure en surface (Figure 6). L'influence des apports d'eau douce est observable dans la couche de surface de la station ST06 (baie Kwé), avec la présence de la halocline la plus marquée, toutes stations confondues (différence de 0,7‰ entre surface et fond).

Pour les stations ST18 et ST15 situées en baie de Prony, c'est l'inverse qui est observé avec une salinité de surface plus faible, marquant peut-être l'influence d'apports minimes en eaux douces surnageantes.

En 2018, cette influence de l'arrivée d'eau douce par les creeks était visible sur les profils de salinité des stations ST15 et ST16. En revanche, elle est toujours moins marquée à la station ST19, proche du récif frangeant.

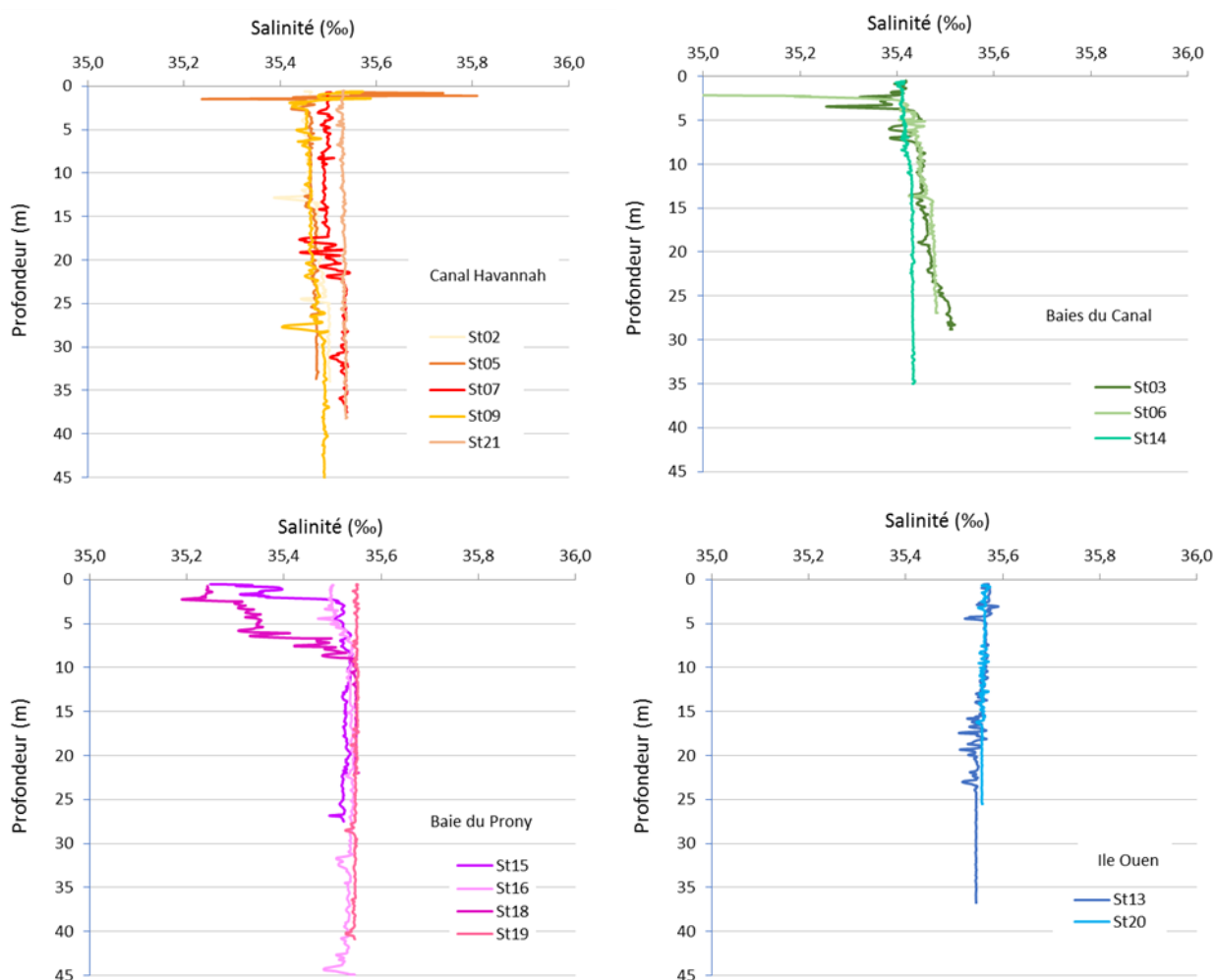


Figure 6 : Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

3. Fluorescence

Les profils de fluorescence se révèlent relativement hétérogènes selon les zones étudiées. En effet, les valeurs montrent une moyenne globale marquée par une forte variabilité ($0,47 \pm 0,27 \text{ mg/m}^3$).

Les variations verticales montrent une fluorescence augmentant avec la profondeur, pour la quasi-totalité des profils. Les plus fortes valeurs sont obtenues au niveau du canal de la Havannah et dans les baies du Canal (Tableau 2), avec un maximum atteint en profondeur de la baie de Port Boisé (ST03, Figure 7). Ces maximums en profondeurs sont difficilement interprétables, dans la mesure où l'activité phytoplanctonique et photosynthétique prend généralement place dans les premiers mètres sous la surface.

Ces valeurs élevées sont peut-être attribuables à une couche constituée de particules phytoplanctoniques et de débris végétaux en voie de dégradation (couche néphéloïde de profondeur).

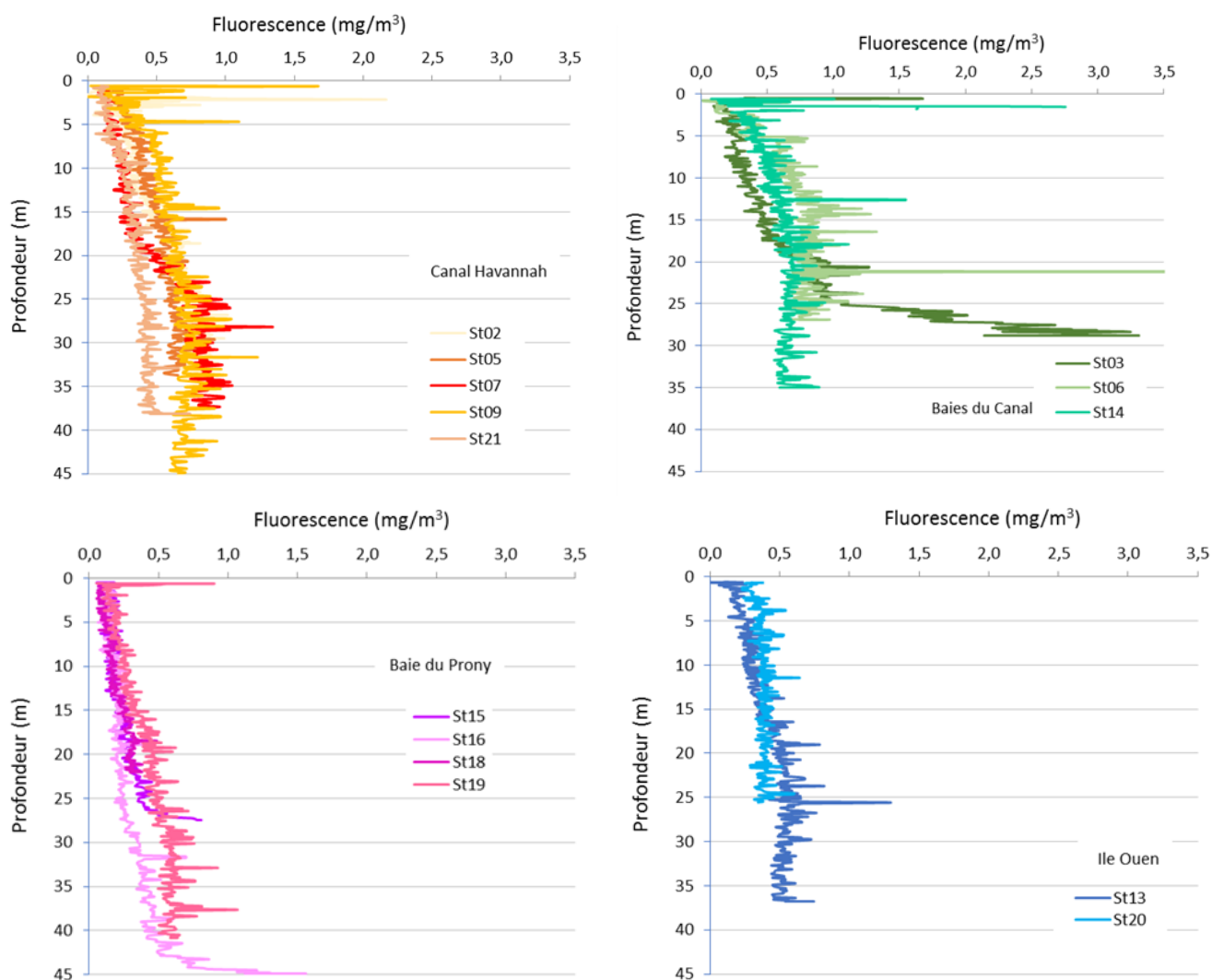


Figure 7 : Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

4. Turbidité

La turbidité apparaît relativement hétérogène entre les différentes zones d'étude (Tableau 2). Les baies du Canal enregistrent une turbidité maximale avec une moyenne de 0,59 NTU, suivies des stations proches de l'île Ouen (0,39 NTU en moyenne). Cette charge forte en matière en suspension est à relier à la proximité de sources d'apports terrestres (creeks) et coralliens (récifs). Les stations de la baie du Prony et du Canal de la Havannah sont caractérisées par des turbidités moyennes très similaires (0,32 et 0,35 NTU respectivement).

Les profils de turbidité sont globalement peu variables sur la verticale à l'exception des stations ST07 et ST05 dans le Canal de la Havannah et de la station ST03 en baie de port Boisé (Figure 8). En effet, une tendance à l'augmentation de la turbidité avec la profondeur est observée pour chacune de ces stations. Cette augmentation similaire à celle observée de la fluorescence tend à confirmer l'hypothèse d'une sédimentation de particules formant ainsi une couche néphéloïde benthique.

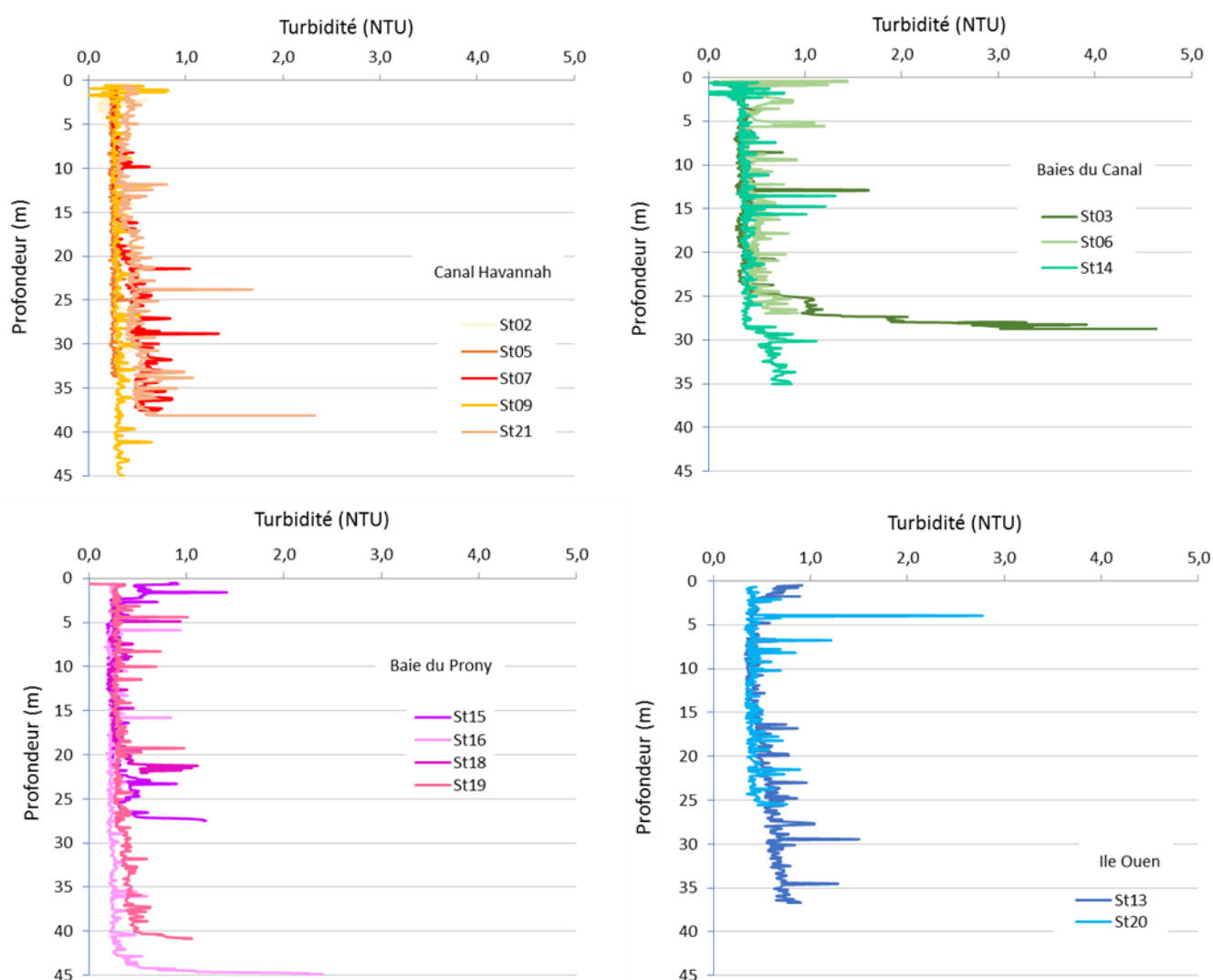


Figure 8 : Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

Ce qu'il faut retenir :

Les profils des variables physico-chimiques révèlent l'hétérogénéité spatiale entre les stations considérées ainsi que l'impact des conditions météorologiques.

En effet, le très faible volume de précipitations relevé cette année avant et pendant la campagne (environ 10 mm en cumulé entre le 15 et le 25 février 2020) rend peu visible l'influence des apports d'eau douce provenant des creeks à l'exception de la rivière Kwé et de la baie du Prony.

Par ailleurs, seules deux couches turbides de profondeur (néphéloïde benthique) sont observées en baie du prony (ST16) et en baie de Port Boisé (ST03). Ces couches turbides de profondeur s'installent dans les zones relativement calmes hydrodynamiquement, comme l'indiquent les temps de résidence plus longs mis en évidence par la modélisation (Drouzy et al., 2019).

De manière générale, la fluorescence augmente légèrement avec la profondeur. Plusieurs valeurs fortes sont relevées en surface, indiquant une activité photosynthétique, à l'exception de la zone de l'île Ouen. Certaines valeurs fortes sont observées en profondeur, comme dans le cas des stations ST16 et ST03, concomitant du pic de turbidité décrit ci-dessus.

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

Une hétérogénéité liée à cette distribution spatiale est observée en termes de salinité, de turbidité et de fluorescence.

Cette structuration des masses d'eau aura une incidence sur la mesure des sels nutritifs qui conditionnent la productivité primaire de ces eaux.

B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

Les concentrations des éléments majeurs et les pH sont regroupées dans le Tableau 3 et en Figure 9.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, les concentrations en éléments majeurs demeurent très homogènes spatialement et restent dans les mêmes ordres de grandeur que lors des précédentes campagnes ([Kaplan et al, 2018](#) : [Kaplan et al, 2019](#)).

Le pH moyen s'avère légèrement plus élevé ($8,21 \pm 0,02$) que l'année précédente à la même époque ($8,13 \pm 0,03$).

Tableau 3 : Statistiques des concentrations en éléments majeurs et des valeurs du pH mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

Zone d'étude	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,16	446	504	1439	11305	18750	1750
	Maximum	8,24	480	546	1549	11857	22917	2300
	Moyenne	8,21	455	516	1466	11454	20185	2113
	Ecart-type	0,03	9	11	31	149	1032	177
Baies du Canal	Minimum	8,19	442	498	1425	11269	18750	1700
	Maximum	8,23	465	525	1503	11552	20833	2350
	Moyenne	8,22	450	510	1452	11373	19907	2200
	Ecart-type	0,02	7	8	23	90	716	206
Baie du Prony	Minimum	8,16	450	509	1454	11366	19444	1950
	Maximum	8,21	489	554	1578	11803	21180	2400
	Moyenne	8,19	461	523	1489	11485	20139	2112
	Ecart-type	0,02	11	12	36	120	610	117
Ile Ouen	Minimum	8,19	462	528	1489	11544	19444	1800
	Maximum	8,20	503	573	1626	12042	20833	2150
	Moyenne	8,20	478	545	1543	11741	20312	2008
	Ecart-type	0,01	17	18	55	192	571	149

Ce qu'il faut retenir :

Globalement, le pH et les éléments majeurs présents dans l'eau de mer restent en concentrations très semblables d'une campagne à une autre. Elles sont donc remarquablement homogènes dans le temps et dans l'espace, entre les différentes zones étudiées.

C. MATIERES EN SUSPENSION

Rappel : La mesure des matières en suspension (MES) est importante dans les milieux côtier et estuarien car elle reflète à la fois l'intensité des apports terrigènes et la remise en suspension de sédiments sous l'influence des conditions météorologiques (vent, pluie...). Les MES influencent également la production primaire : une charge particulaire élevée peut modifier l'importance de la couche euphotique. En milieux côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,20 à 5,0 mg/L (Aminot et Kérouel, 2004).

Les concentrations de matière en suspension (MES) mesurées lors de la campagne de février 2020 sont représentées en Figure 9, récapitulées dans le Tableau 4, et détaillées en Annexe 3.

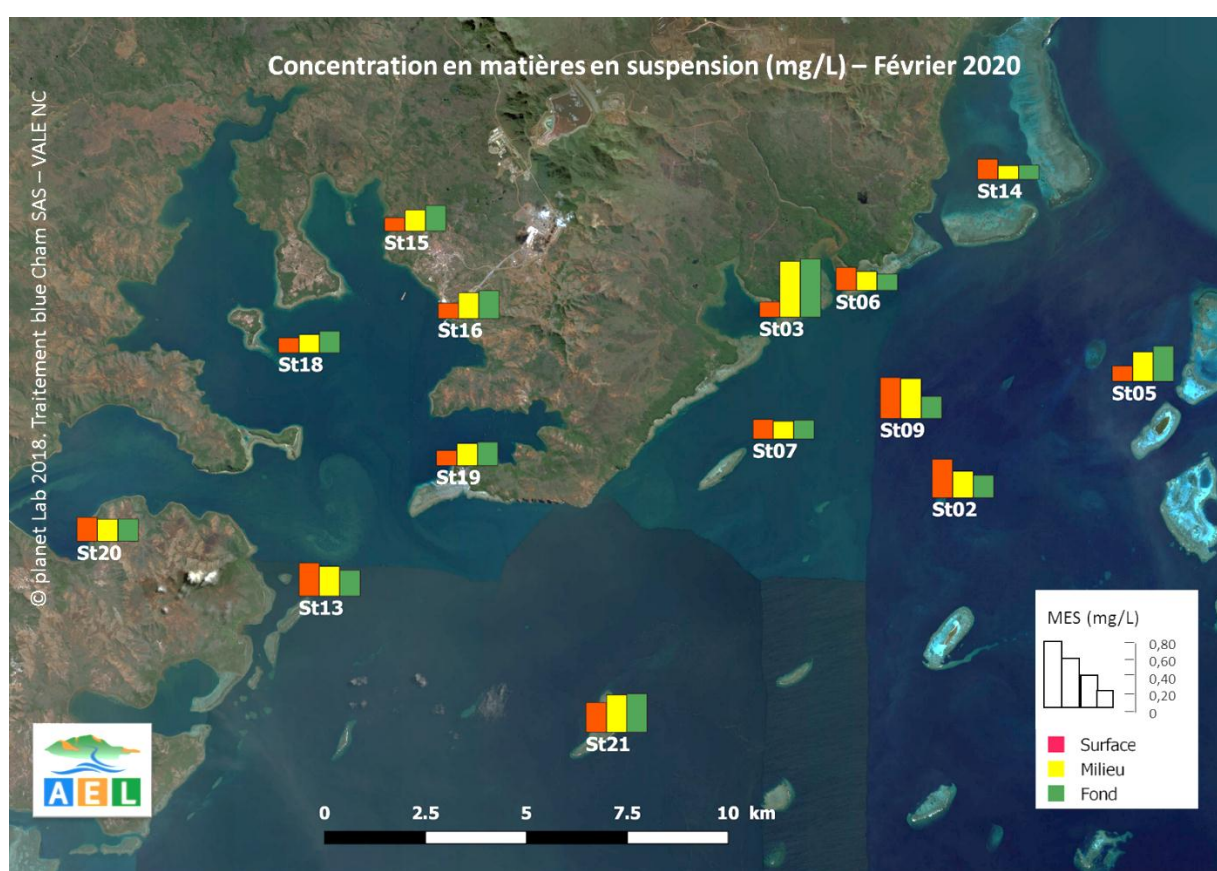


Figure 9 : Distribution des concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

Les concentrations moyennes en MES par zone d'étude sont relativement homogènes (entre 0,36 et 0,39 mg/L) à l'exception de la concentration moyenne calculée en baie du Prony, environ 25 % inférieure aux autres zones (0,28 mg/L, Tableau 4)

Les concentrations les plus élevées sont obtenues en baie de Port Boisé, dans les prélèvements effectués à mi-profondeur et au fond (0,75 et 0,78 mg/L respectivement, Figure 9).

On observe des gradients verticaux inversés entre les stations ; Celles de la baie du Prony, ainsi que les stations ST21 et ST05 présentent une concentration en MES augmentant avec la profondeur, tandis que les autres stations sont plus chargées en matières en suspension dans la couche de surface.

La nature des particules trouvées localement peut expliquer cette répartition différentielle ; leur origine terrigène ou carbonatée, leur flottabilité, leurs caractéristiques de remise en suspension ou bien leur propension à flocculer sont autant de paramètres pouvant influencer leur distribution dans la colonne d'eau, mais qui ne sont pas étudiés à l'heure actuelle.

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

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,21
	Maximum	0,56
	Moyenne	0,39
	Ecart-type	0,12
Baies du Canal	Minimum	0,19
	Maximum	0,79
	Moyenne	0,36
	Ecart-type	0,24
Baie du Prony	Minimum	0,18
	Maximum	0,38
	Moyenne	0,28
	Ecart-type	0,07
Ile Ouen	Minimum	0,30
	Maximum	0,45
	Moyenne	0,36
	Ecart-type	0,06

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, les concentrations en MES sont relativement homogènes dans la zone d'étude à l'exception de celles mesurées dans la Baie du Prony qui sont légèrement plus faibles. Aucun gradient côte-large n'est clairement marqué malgré les précipitations modérées ayant eu lieu les jours précédant les échantillonnages, mais il faut garder à l'esprit que les courants induits par le vent et les marées provoquent la dispersion rapide des particules terrigènes (Drouzy et al., 2019).

D. SELS NUTRITIFS

Note : Le périmètre de certification du laboratoire AEL/LEA s'est étendu aux analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer en 2017 grâce à la validation des méthodes de dosage des nitrates, nitrites, azote totale, phosphore total et silicates. Ainsi, certains domaines d'application et limites de quantification ont évolué.

Les concentrations en sels nutritifs de la campagne semestrielle de février 2020, lors de la saison chaude, sont illustrées dans les Figure 10 à 13, et détaillées dans le Tableau 5 et l'Annexe 4.

Tableau 5 : Statistiques des concentrations en sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	0,050	0,100	0,050	0,60
	Maximum	0,698	0,667	0,111	7,76
	Moyenne	0,221	0,203	0,070	1,08
	Ecart-type	0,173	0,174	0,024	1,85
Baies du Canal	Minimum	0,142	0,100	0,050	0,60
	Maximum	0,937	0,786	0,105	3,91
	Moyenne	0,307	0,269	0,061	1,09
	Ecart-type	0,279	0,218	0,020	1,11
Baie du Prony	Minimum	0,050	0,100	0,050	0,60
	Maximum	0,392	0,512	0,137	1,11
	Moyenne	0,128	0,169	0,067	0,65
	Ecart-type	0,093	0,132	0,028	0,15
Ile Ouen	Minimum	0,059	0,100	0,050	0,60
	Maximum	0,141	0,174	0,156	0,60
	Moyenne	0,108	0,120	0,068	0,60
	Ecart-type	0,030	0,032	0,043	-

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 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ par photométrie (Oudot et Montel, 1988).

Les valeurs en nitrates et nitrites montrent une homogénéité dans la zone de la baie du Prony jusqu'à l'Île Ouen, avec un gradient de valeurs augmentant avec la profondeur. Ces tendances sont retrouvées dans le Canal de la Havannah aux stations ST09 et ST06, ainsi qu'en baie de Port Boisé (ST03). Les autres stations du Canal de la Havannah et des baies montrent des valeurs ponctuellement plus importantes, aléatoirement en surface (ST06), à mi-profondeur (ST14) ou au fond (ST07).

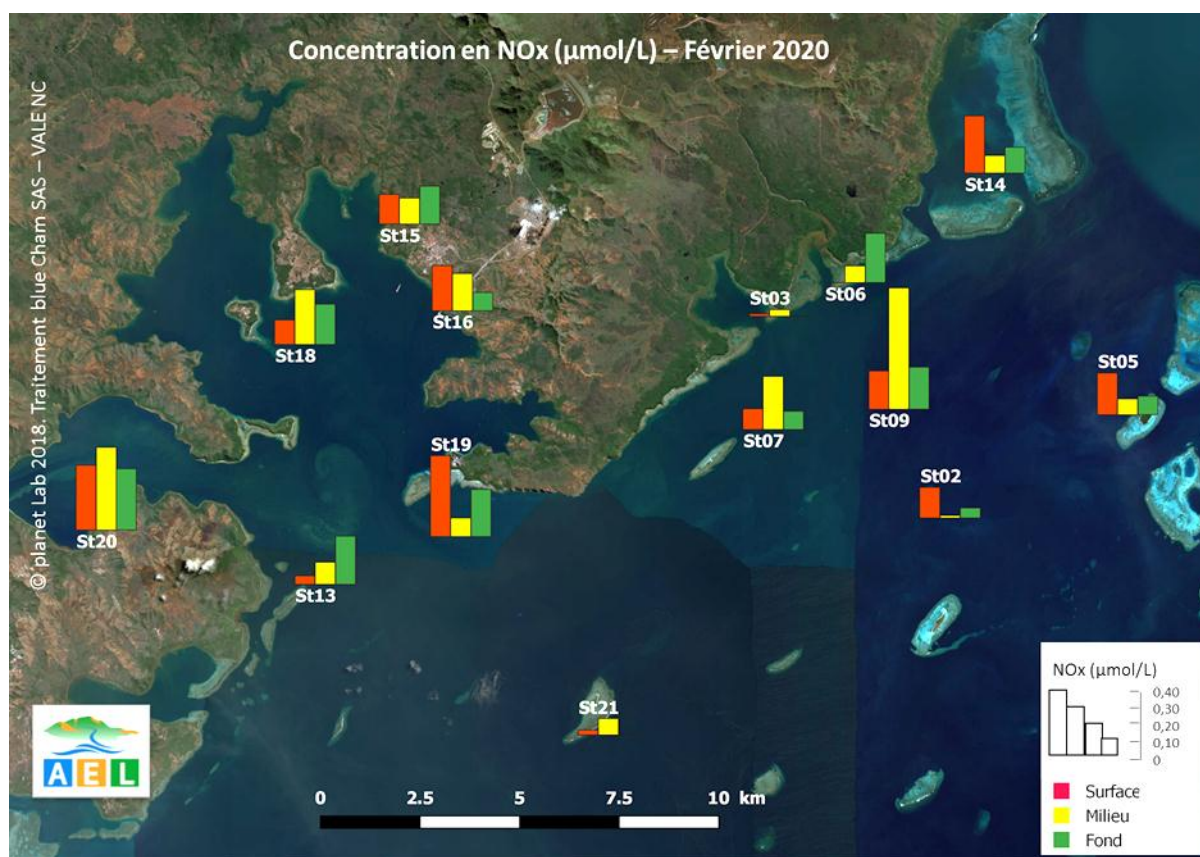


Figure 10 : Distribution des concentrations en nitrates et nitrites ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

NB : L'échantillon caractérisant la mi-profondeur en station ST02 a été invalidé pour cause de contamination lors de l'échantillonnage. La donnée apparaît donc manquante dans la Figure 10 et en ANNEXE 4.

2. Ammonium

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

Les concentrations en ammonium dans la colonne d'eau oscillent entre 0,04 et 0,79 $\mu\text{mol/L}$. Sa répartition spatiale sur la zone et sur la verticale est assez hétérogène. Cependant, on observe globalement un gradient augmentant avec la profondeur. Les plus fortes valeurs moyennées sur la colonne d'eau sont mesurées en baies de la Kwé (ST06) et de Port Boisé. En profondeur, on retrouve également des valeurs importantes dans la baie du Prony (ST15 et ST16) ainsi que dans des zones plus au large du canal de la Havannah (ST02 et ST05). Les concentrations moyennées sur toute la profondeur montrent un gradient côte large.

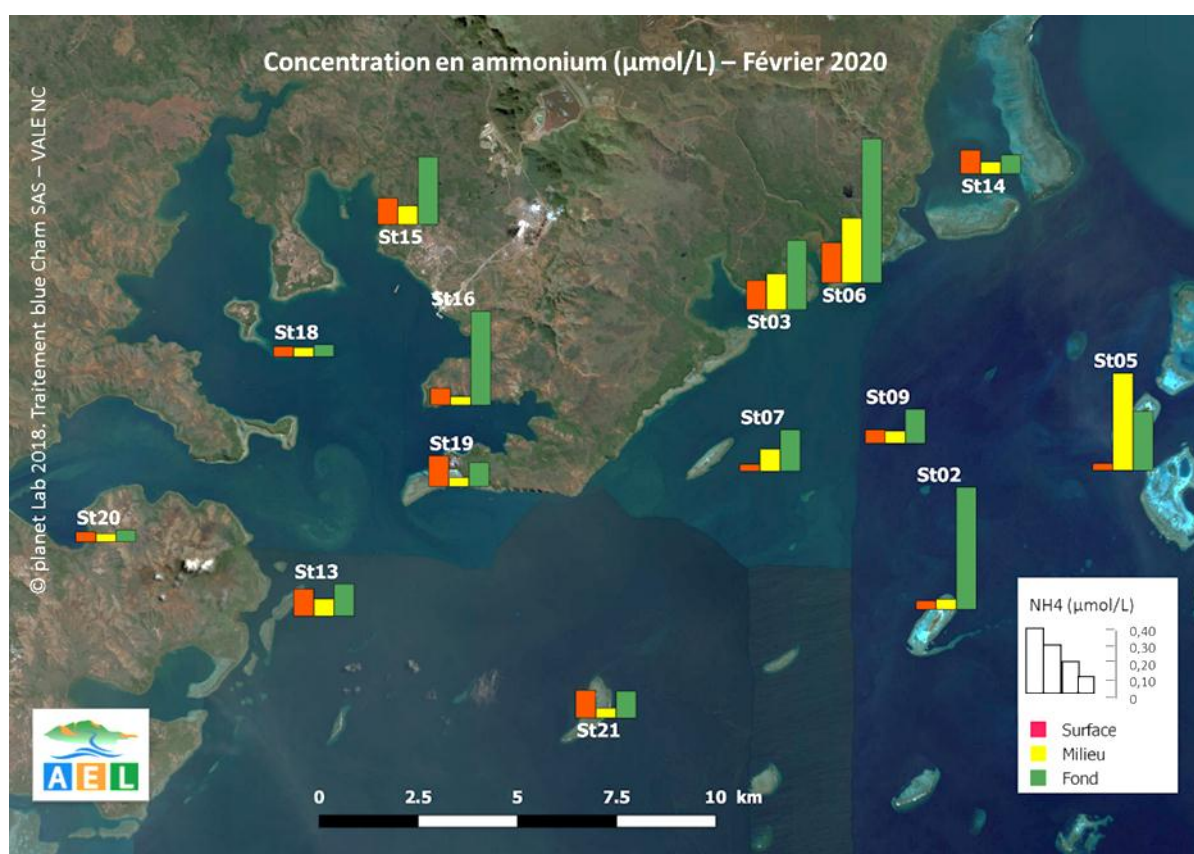


Figure 11 : Distribution des concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

3. Phosphates

Rappel : Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{3-}). Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique (la zone euphotique correspond à la hauteur d'eau superficielle qui reçoit suffisamment de lumière pour que la production végétale y excède les pertes). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène et/ou anthropique.

Lors de cette première campagne semestrielle 2020 en « saison chaude », les concentrations de phosphate dépassant la limite de quantification (0,050 $\mu\text{mol/L}$) sont bien plus nombreuses que lors de la dernière campagne « saison fraîche » (21 valeurs sur 42 contre 1 sur 42). Il existe donc une variabilité inter-saisonnière pour les valeurs de phosphate. Concernant la variabilité spatiale sur la zone d'étude, les valeurs ne présentent pas de gradient côte-large et les stations d'influence océanique présentent même une concentration moyenne en phosphate légèrement plus élevée que les stations d'influence terrigène (Tableau 5). Quant à la variabilité verticale, les concentrations en phosphates les plus faibles sont toujours trouvées en surface.

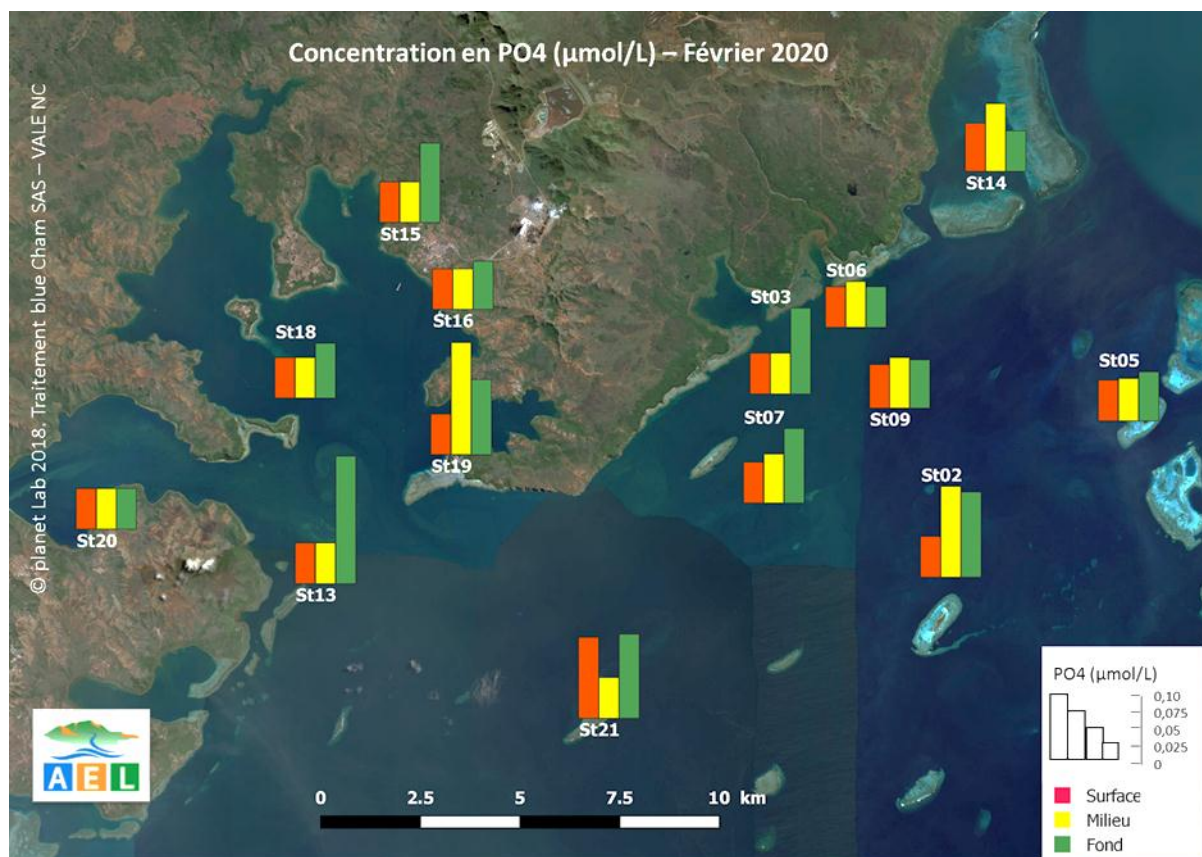


Figure 12 : Distribution des concentrations en phosphates (PO₄) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

4. Silicates

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

Pour la majorité des stations, les valeurs de concentrations en silicates sont inférieures à la limite de quantification (0,06 $\mu\text{mol/L}$). Les valeurs excédant cette limite sont observées en surface (ou à mi-

profondeur pour la station ST14), et trouvent leurs maximums en station ST07 (7,76 $\mu\text{mol/L}$) et ST06 (3,91 $\mu\text{mol/L}$).

La mesure enregistrée en ST06 est à mettre en relation avec l'altération des roches (péridotite) et les apports en silice qui en résultent dans le lagon par la rivière Kwé. La valeur maximale obtenue en surface en station ST07 est plus surprenante mais pourrait être due à la proximité du récif loro.

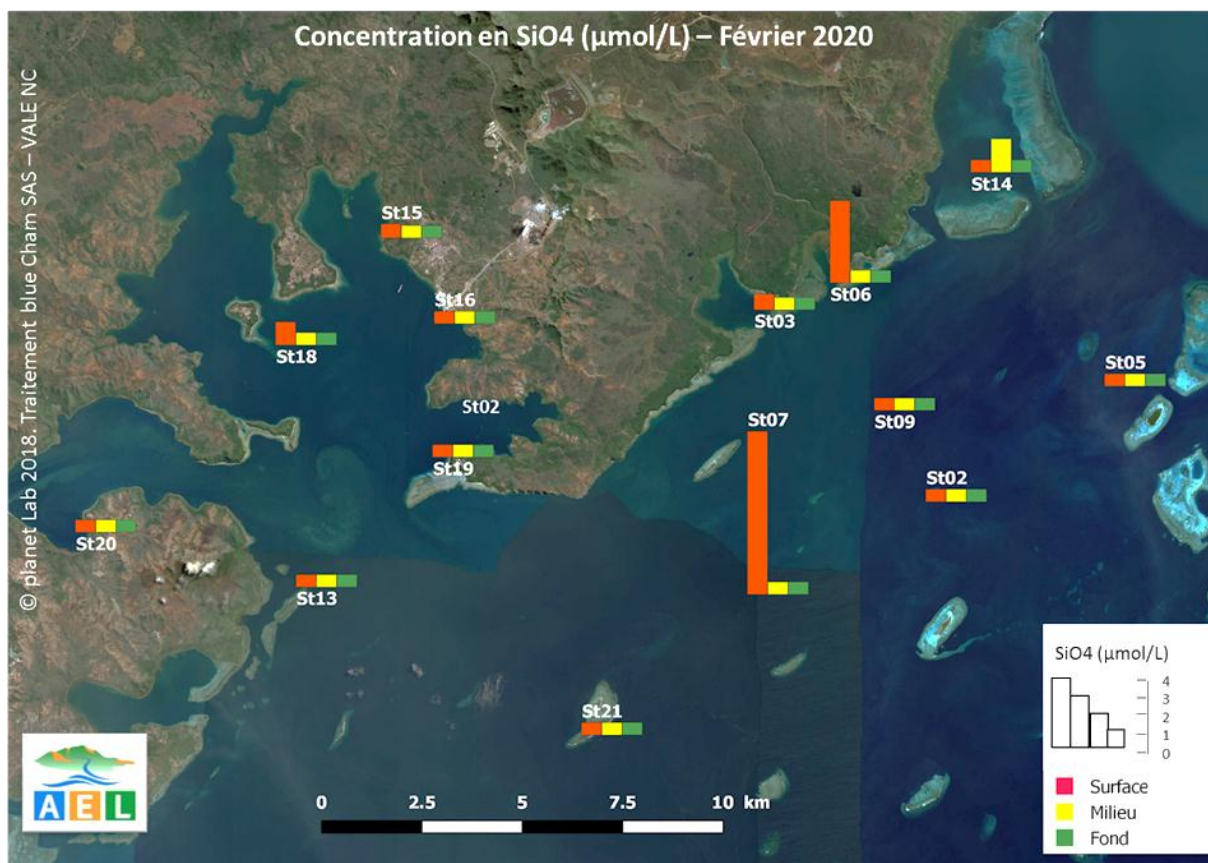


Figure 13 : Distribution des concentrations en silicates (SiO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

Ce qu'il faut retenir :

La quantification des sels nutritifs réalisée sur l'ensemble de la zone montre des profils de répartition bien distincts. Aucune tendance ou répartition n'est similaire pour deux types de sels nutritifs. Seule la station ST06 montre des valeurs en sels nutritifs constamment supérieures à la moyenne, et cette observation est moins vraie pour le phosphate.

Les concentrations en ammonium les plus élevées sont retrouvées aux stations côtières, montrant l'influence des apports terrigènes sur sa présence. La station ST02 au large montre toutefois une forte concentration au fond.

La distribution spatiale des SiO_4 ne suit aucun gradient « côte-large » comme observé lors des précédentes campagnes. On observe toutefois l'influence des apports terrigènes dans la baie Kwé et potentiellement celle du récif loro et de ses organismes marins sur les concentrations de surface des stations proches.

Les concentrations moyennes en sels nutritifs du Canal de la Havannah et de l'île Ouen, majoritairement influencées par les apports océaniques, sont pourtant très similaires à celles des baies, en l'absence de

précipitations et donc d'influence terrestre conséquente. La répartition verticale de ces éléments dans la colonne d'eau est en revanche variable.

Les quelques concentrations en NO_3+NO_2 et NH_4 plus importantes reflètent l'influence des apports de matières organiques d'origines océaniques et ses cycles de production/dégradation concomitants.

Les concentrations en PO_4 sont bien retrouvées préférentiellement en profondeur, traduisant une moins grande utilisation de ce nutriment par le phytoplancton en profondeur.

Depuis le début des campagnes « saison chaude », la mesure des concentrations de NO_3+NO_2 , NH_4 , PO_4 et SiO_4 ne montre pas d'évolution significative des concentrations moyennes obtenues dans les 4 zones étudiées.

E. MATIERES ORGANIQUES

Les concentrations de matières organiques dissoutes et particulières mesurées lors de la campagne semestrielle de février 2020 sont regroupées dans les Figures 14 à 19 ainsi que les Tableau 6, et l'Annexe 5.

Tableau 6 : Statistique des concentrations de matières organiques dissoutes et particulières mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique ($\mu\text{mol/L}$)				
		NOP	POP	NOD	POD	COP
Canal de la Havannah	Minimum	0,705	0,050	1,941	0,000	0,000
	Maximum	1,345	0,098	36,174	0,256	13,839
	Moyenne	0,923	0,059	14,213	0,061	5,490
	Ecart-type	0,179	0,015	7,881	0,063	3,742
Baie Canal	Minimum	0,688	0,050	7,510	0,000	3,802
	Maximum	1,682	0,111	23,465	0,121	7,949
	Moyenne	0,982	0,061	14,428	0,041	5,231
	Ecart-type	0,308	0,020	5,160	0,045	1,369
Baie du Prony	Minimum	0,562	0,050	1,825	0,039	0,000
	Maximum	1,682	0,111	23,833	0,171	43,838
	Moyenne	0,999	0,064	10,811	0,081	8,847
	Ecart-type	0,354	0,022	7,641	0,037	10,031
Ile Ouen	Minimum	0,562	0,050	5,692	0,018	3,940
	Maximum	1,292	0,082	11,071	0,174	10,741
	Moyenne	0,865	0,059	7,781	0,101	6,769
	Ecart-type	0,293	0,013	2,289	0,059	2,667

1. Azote et phosphore organiques dissous

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

Les concentrations en azote organique dissous ne présentent pas de gradient sur la colonne d'eau. En revanche, les valeurs indiquent une prévalence de l'azote dissous en surface dans les stations les plus côtières, aux influences terrigènes et/ou anthropiques (ST16, ST15, ST19 et ST06). En moyenne sur la colonne d'eau, aucun gradient côte large ne se distingue (14,213 ; 14,428; 10,811 et 7,781 $\mu\text{mol/L}$ pour les zones du Canal, des baies du Canal, de la baie du Prony et de l'île Ouen, respectivement ; Tableau 6).

La variabilité verticale et spatiale en saison chaude s'avère plus marquée qu'en saison fraîche, notamment dans le Canal de la Havannah (écart-type de 7,9 $\mu\text{mol/L}$ lors de cette campagne de février 2020 et de 0,6 $\mu\text{mol/L}$ en Août 2019).

Cette observation est sans doute à mettre en relation avec la variabilité saisonnière de la stratification de la colonne d'eau ainsi que de l'activité biologique et la production primaire.

Depuis le début des campagnes « saison chaude », les concentrations en azote dissous montrent une tendance à l'augmentation, se traduisant également dans le taux d'azote total.

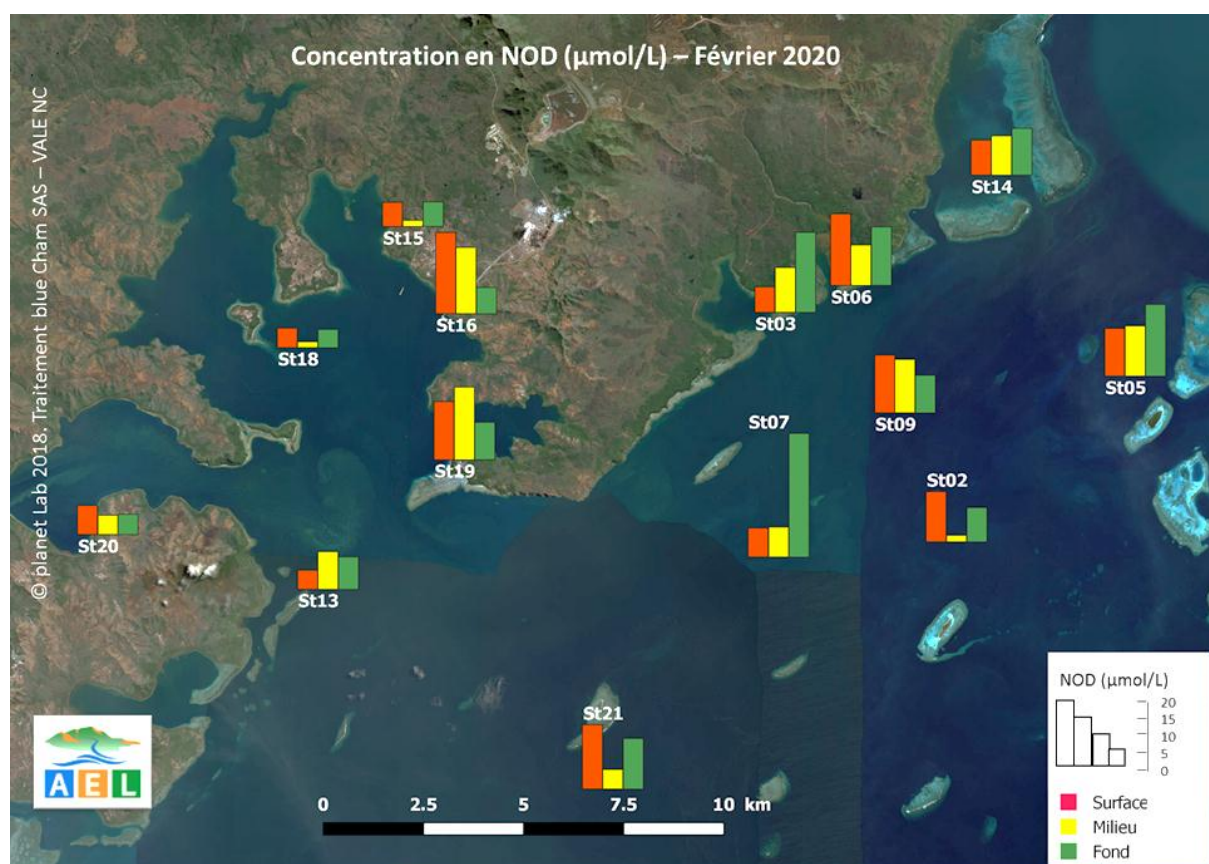


Figure 14 : Distribution des concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

Les concentrations en phosphates dissous présentent des maximums aux stations assez éloignées des côtes (ST19, ST09). La valeur maximale atteinte, à mi-profondeur de la station ST09, n'excède toutefois pas les 0,26 $\mu\text{mol/L}$. Les baies du Canal enregistrent les plus faibles valeurs avec une moyenne de 0,041 $\mu\text{mol/L}$. La variabilité verticale ne semble indiquer aucune tendance particulière.

A l'inverse de l'azote dissous, les concentrations en phosphate dissous diminuent entre 2009 et 2020, au vu des données précédentes des campagnes « saison chaude ».

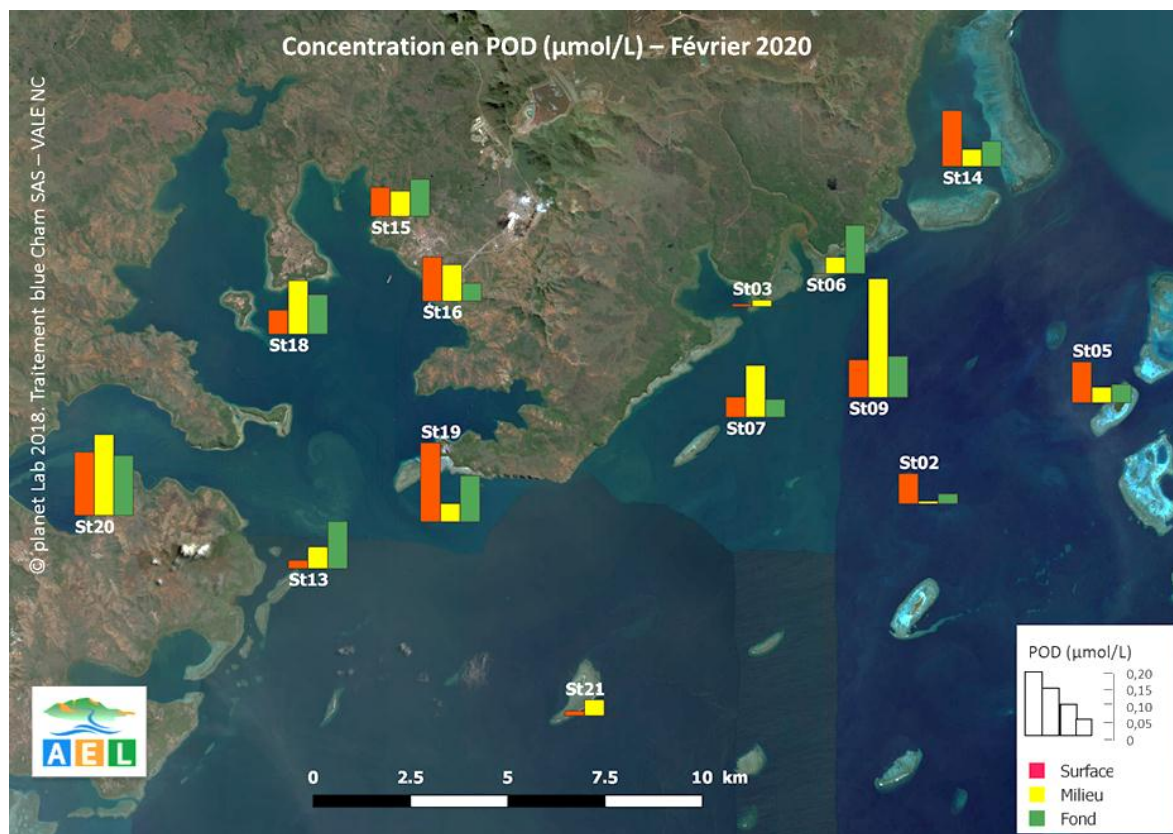


Figure 15 : Distribution des concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

Ce qu'il faut retenir :

Les variabilités verticales en azote dissous ne sont pas homogènes. Leur répartition ne permet pas non plus de conclure une influence marquée des apports terrigènes ou anthropiques. En revanche la variabilité temporelle des concentrations enregistrées durant la saison chaude entre 2009 et 2020 permet de conclure à une augmentation du taux d'azote dissous dans la zone d'étude (Moyenne toutes stations confondues : 12,4 $\mu\text{mol/L}$ contre 7,6 $\mu\text{mol/L}$ en Février 2019 et 4,2 $\mu\text{mol/L}$ en Février 2018, voir ANNEXES). Le phosphate dissous possède une tendance légère à la diminution, bien qu'elle soit moins marquée que celle de l'azote dissous (0,068 $\mu\text{mol/L}$; 0,089 $\mu\text{mol/L}$; 0,010 $\mu\text{mol/L}$ pour 2020, 2019 et 2018 en saison chaude, voir ANNEXES).

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.

Bien que les concentrations en Azote et en Phosphore organiques particulaires diffèrent d'un ordre de grandeur, leurs distributions spatiale et verticale sont très similaires, comparées stations à stations (Figure 16 et Figure 17). La station ST03, en baie de Port Boisé, montre en effet un gradient vertical augmentant avec la profondeur pour les deux éléments, tandis que la station ST13, proche de l'île Ouen, présente un gradient inversé. Pour le reste des stations, les valeurs de concentrations sur la verticale varient peu et aucun gradient ne peut être observé. Aucune distribution particulière n'est observée non plus entre la côte et le large.

De fait, les moyennes par zone sont totalement comparables, aux alentours de 0,9 $\mu\text{mol/L}$ pour l'azote organique particulaire et 0,06 $\mu\text{mol/L}$ pour le phosphore organique particulaire.

Les valeurs ponctuelles de concentrations en carbone organique particulaire (Figure 18, Tableau 6) présentent une forte variabilité puisqu'elles varient entre 2,88 et 43,84 $\mu\text{mol/L}$. Cette valeur maximale fait figure d'exception et est enregistrée en surface de la Station ST16, au niveau du Port de Prony. Toutefois les valeurs moyennées par zones (Tableau 6) ne dénotent pas de forte hétérogénéité spatiale. Sur la verticale, aucun gradient n'est clairement observé.

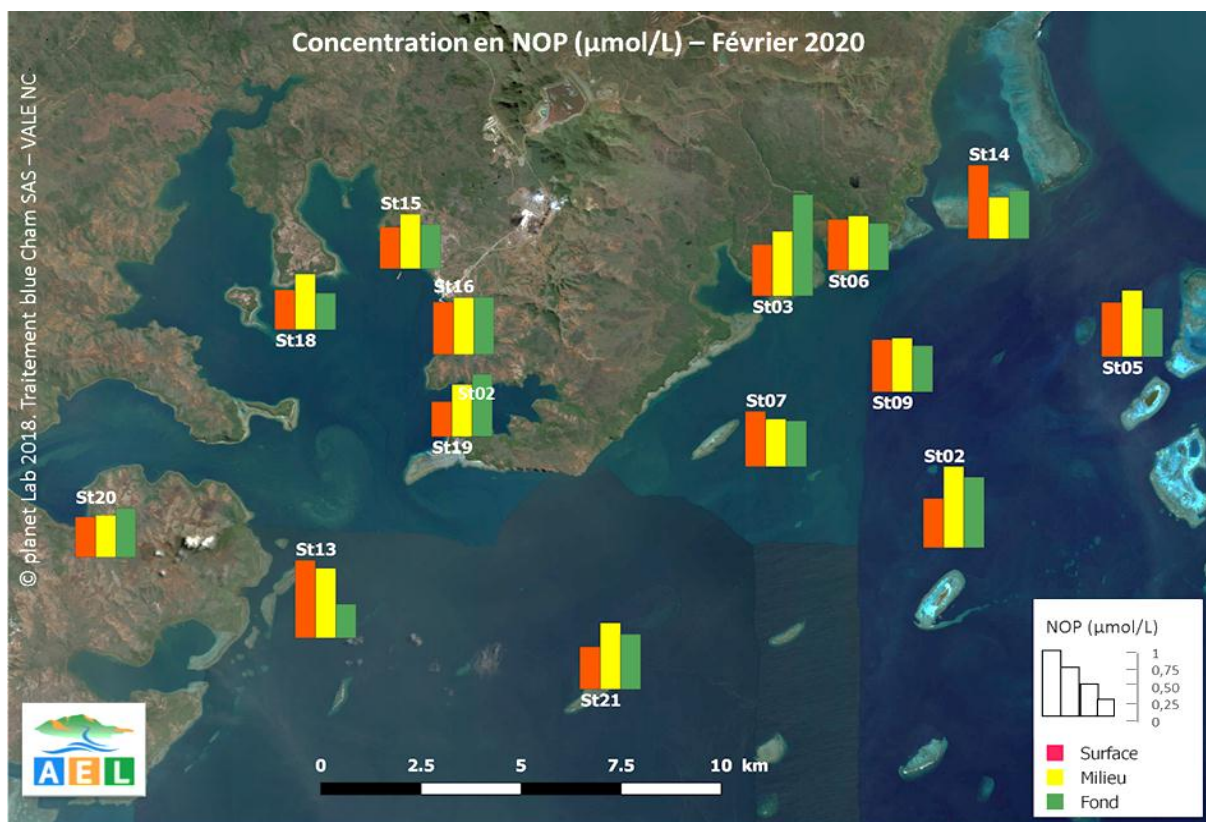


Figure 16 : Distribution des concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

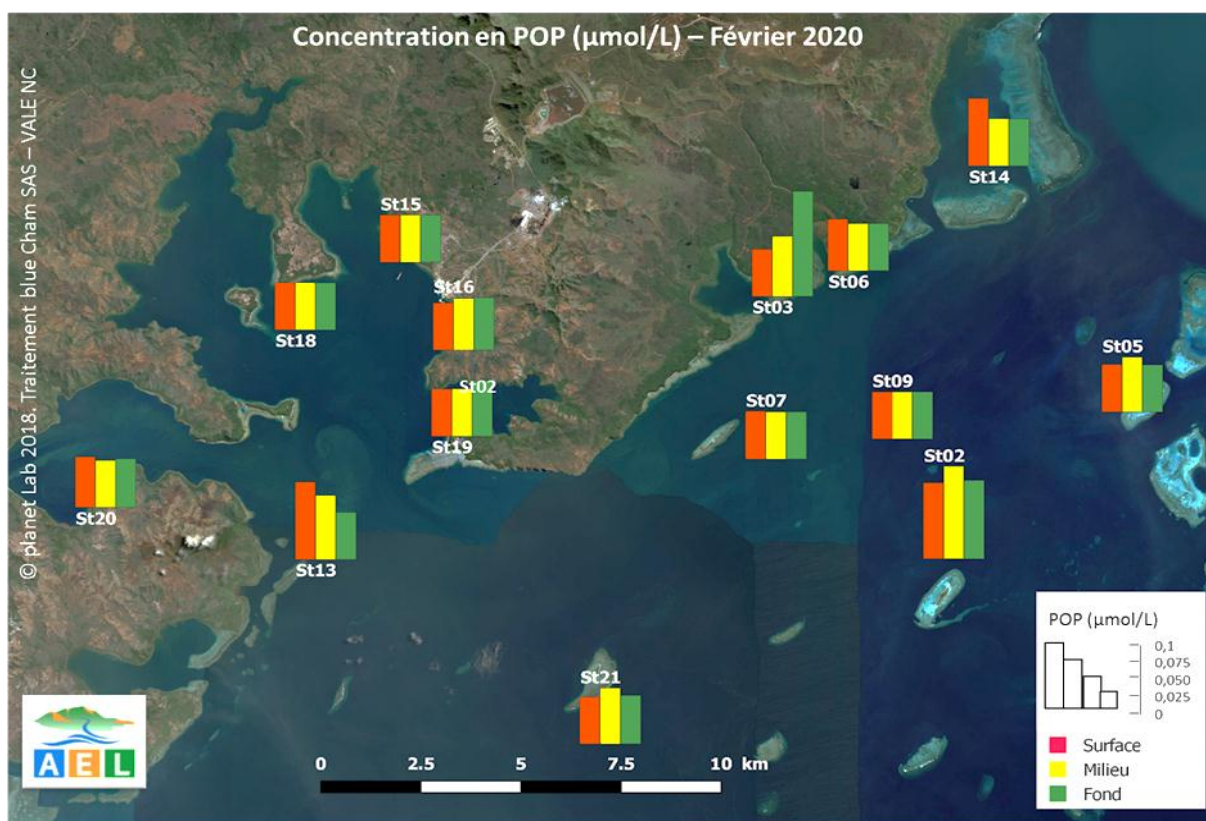


Figure 17 : Distribution des concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

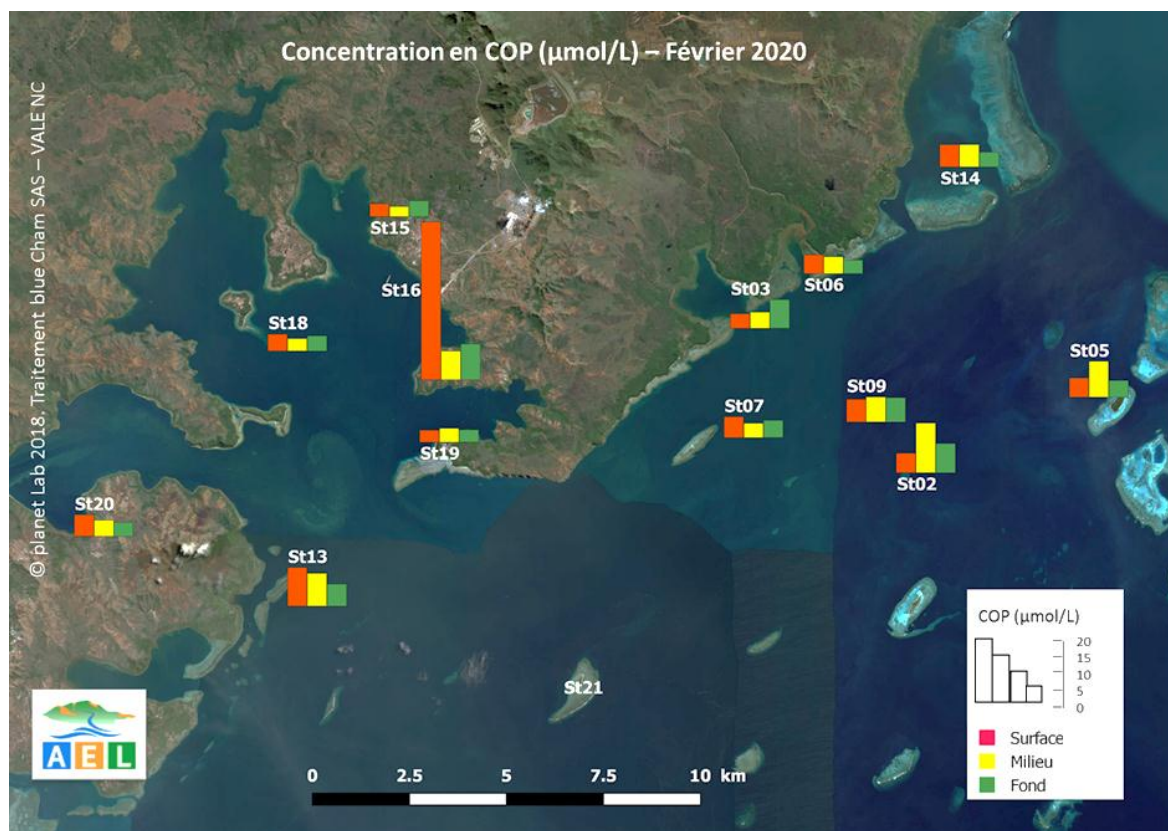


Figure 18 : Distribution des concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

F. CHLOROPHYLLE A

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

Les concentrations de *chlorophylle-a* déterminées durant la campagne de février 2020 sont représentées en Figure 17 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5.

Les concentrations en Chl *a* s'étalent entre 0,064 et 1,22 µg/L en fonction de la zone considérée et de la profondeur. Les maximums sont atteints dans les baies du canal (ST06 et ST03) dans la couche la plus profonde (Tableau 7). Les stations de baie du Canal enregistrent une moyenne élevée ($0,464 \pm 0,338$ µg/L) mais une forte variabilité sur la verticale (Figure 19), suivies par les stations du canal de la Havannah ($0,370 \pm 0,087$ µg/L) et de l'île Ouen ($0,332 \pm 0,031$ µg/L).

A l'inverse de la dernière campagne semestrielle (Août 2019), celles mesurées en baie du Prony sont plus faibles avec une moyenne de $0,242 \pm 0,101$ µg/L.

Aucun gradient côte-large n'est vraiment marqué hormis entre les valeurs profondes des baies du canal et le canal lui-même.

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

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,190
	Maximum	0,483
	Moyenne	0,370
	Ecart-type	0,087
Baie Canal	Minimum	0,140
	Maximum	1,220
	Moyenne	0,464
	Ecart-type	0,338
Baie du Prony	Minimum	0,064
	Maximum	0,375
	Moyenne	0,242
	Ecart-type	0,101
Ile Ouen	Minimum	0,294
	Maximum	0,365
	Moyenne	0,332
	Ecart-type	0,031

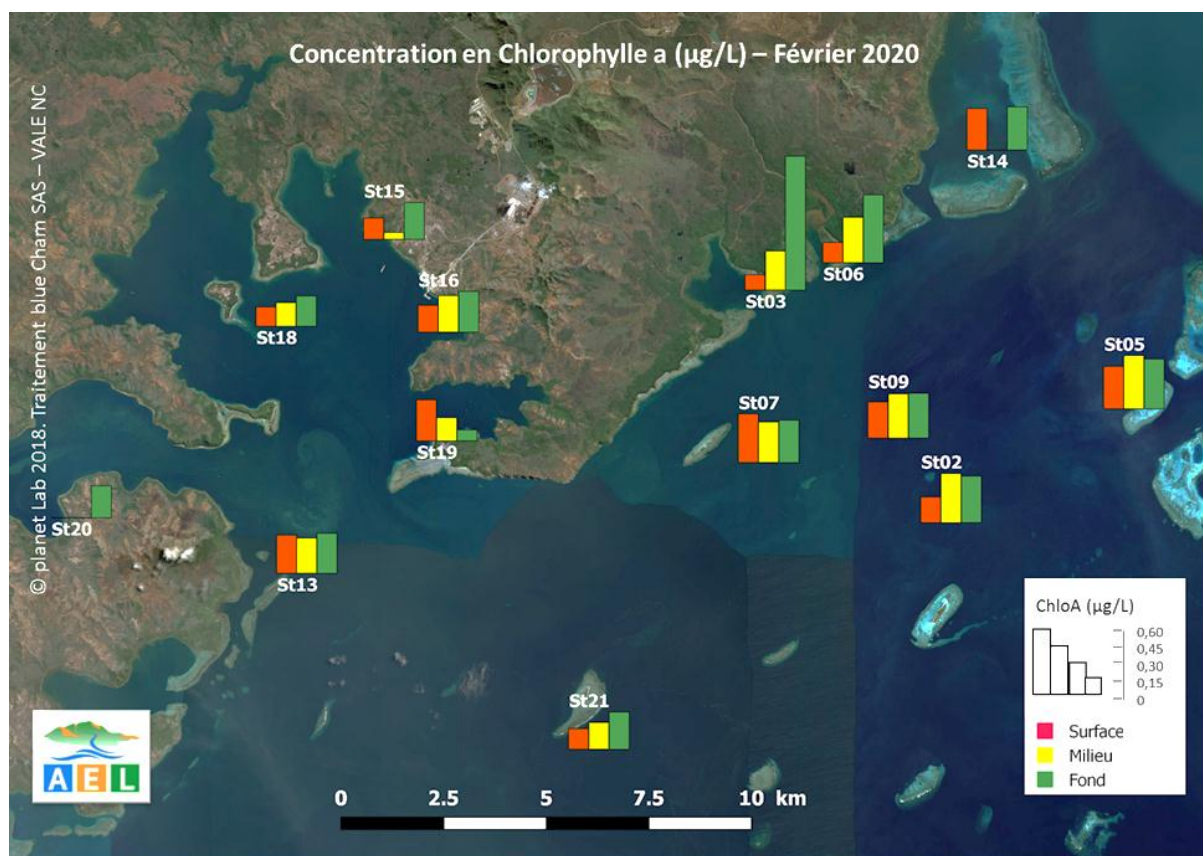


Figure 19 : Distribution des concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en NOP et POP ainsi que celles en NOD ne mettent en avant aucune influence terrigène particulière. Leur répartition « côte-large » décroissante habituelle n'est pas franchement marquée lors de cette campagne. Les concentrations en NOD sont plus élevées aux stations d'influences anthropiques, tandis que les concentrations les plus élevées en POD sont trouvées dans les stations les plus au large.

Les concentrations en NOD suivent une tendance importante à l'augmentation depuis 2008, tandis que le POD diminue temporellement.

La concentration élevée en COP mesurée au niveau de la station St16 (Port de commerce) pourrait être attribuable à l'activité portuaire (déchargement de charbon).

Les concentrations de Chlorophylle-*a* mesurées sont plus importantes dans la couche profonde des baies du Canal, tout comme elles l'étaient en NH₄ (baies du Canal), qui entre dans le cycle de la production primaire exprimée en première approximation par la Chl*a* (proxy).

G. METAUX DISSOUS

Les concentrations des métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle de février 2020 sont regroupées dans les Tableau 8 et Tableau 9 ainsi qu'en Annexe 6 et illustrées par les Figures 20 à 26.

Tableau 8 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As_{total}, Cd²⁺, Co²⁺, Cr⁶⁺, Cr_{total} et Cu²⁺) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,78	<0,025	<0,027	0,09	0,11	<0,025
	Maximum	2,36	<0,025	<0,027	0,12	0,20	0,101
	Moyenne	1,96	<0,025	<0,027	0,10	0,16	0,042
	Ecart-type	0,16	-	-	0,01	0,03	0,033
Baies du Canal	Minimum	1,71	<0,025	<0,027	0,11	0,16	<0,025
	Maximum	2,33	<0,025	0,090	0,35	0,53	0,081
	Moyenne	1,97	<0,025	0,060	0,14	0,22	0,060
	Ecart-type	0,19	-	0,030	0,08	0,12	0,032
Baie du Prony	Minimum	1,65	<0,025	<0,027	0,12	0,16	<0,025
	Maximum	1,98	<0,025	0,090	0,22	0,27	0,049
	Moyenne	1,80	<0,025	0,051	0,14	0,20	0,041
	Ecart-type	0,115	-	0,019	0,03	0,04	0,008
Ile Ouen	Minimum	1,67	<0,025	<0,027	0,10	0,15	<0,025
	Maximum	2,02	<0,025	0,041	0,13	0,21	0,050
	Moyenne	1,88	<0,025	0,036	0,11	0,18	0,050
	Ecart-type	0,12	-	0,005	0,01	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 de février 2020

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	<0,06	0,07	0,07	<0,10	<1,07
	Maximum	0,18	0,27	0,24	0,47	<1,07
	Moyenne	0,13	0,12	0,15	0,19	<1,07
	Ecart-type	0,05	0,05	0,05	0,12	-
Baies du Canal	Minimum	<0,06	0,10	0,14	<0,10	<1,07
	Maximum	0,08	0,67	0,58	0,21	<1,07
	Moyenne	0,07	0,25	0,23	0,16	<1,07
	Ecart-type	0,01	0,16	0,15	0,06	-
Baie du Prony	Minimum	<0,06	0,14	0,16	<0,10	<1,07
	Maximum	<0,06	0,39	0,37	0,32	<1,07
	Moyenne	<0,06	0,22	0,23	0,23	<1,07
	Ecart-type	-	0,07	0,06	0,13	-
Ile Ouen	Minimum	<0,06	0,15	0,13	<0,10	<1,07
	Maximum	<0,06	0,27	0,24	0,11	3,97
	Moyenne	<0,06	0,19	0,18	0,11	2,62
	Ecart-type	-	0,05	0,04	-	1,16

Les LQ sont respectivement pour Fe : 0,059 µg/L ; Mn : 0,028 µg/L ; Ni : 0,022 µg/L ; Pb : 0,100 µg/L et Zn : 1 µg/L.

Les concentrations mesurées en As_{total} sont relativement homogènes dans la zone d'étude avec une moyenne de $1,90 \pm 0,16$ µg/L et montrent peu de différence selon le niveau de profondeur (Tableau 8 et Figure 20). Cet élément est considéré comme ubiquiste.

Les concentrations obtenues en Cadmium se situent toutes en dessous de la limite de quantification (0,027 µg/L), quant au Cobalt, les concentrations maximales atteintes sont de l'ordre de 0,09 µg/L pour des concentrations moyennes aux alentours de 0,050 µg/L sans hétérogénéité spatiale marquée.

Les plus fortes concentrations en Cu^{2+} sont systématiquement détectées dans la couche de surface, en accord avec les résultats des années précédentes (Figure 21). On observe dans cette couche de surface un clair gradient côte-large, à l'exception de la station ST02, marquée par une concentration maximale (0,10 µg/L, Tableau 8) suivie de peu par la station ST06, en baie Kwé (0,08 µg/L). Plus en profondeur, les valeurs sont quasi-systématiquement en dessous de la limite de quantification du cuivre (0,025 µg/L).

De manière similaire, les concentrations les plus élevées en Fe^{2+} sont observées aux stations ST02 et ST06 (0,18 et 0,08, respectivement). Les stations échantillonnées près de l'île Ouen et de la baie du Prony présentent des concentrations moyennes inférieures à la limite de quantification du fer (0,059 µg/L). Globalement, on observe donc une présence de fer plus importante dans les stations du Canal et dans ses baies que sur le reste du site d'étude, et parmi elles, les concentrations les plus élevées sont trouvées en surface.

Les éléments Cr^{6+} , Cr_{total} , Mn^{2+} et Ni^{2+} sont caractérisés par des répartitions respectives très semblables, autant spatialement que sur la verticale. Leurs concentrations se distinguent dans la couche de surface de la stations ST06 où la valeur est maximale quel que soit l'élément considéré. L'ensemble des stations

proches de la côte, directement influencées par les apports terrigènes des rivières et creeks, sont marquées par une concentration plus importante en surface, tandis que les stations les plus au large (autour de l'île Ouen et dans le Canal de la Havannah), influencées par les apports océaniques, ont un gradient inversé avec les valeurs plus importantes trouvées en profondeur. Ainsi, ces métaux dissous suivent une distribution « côte-large » décroissante (Figure 23 à Figure 26).

Les concentrations moyennes en plomb par zone s'échelonnent entre 0,11 µg/L près de l'île Ouen et 0,23 ± 0,13 µg/L dans la baie du Prony. Les concentrations maximales sont en revanche obtenues localement à mi-profondeur de la station ST09, dans le canal de la Havannah.

Les concentrations obtenues en zinc sont toutes en dessous de sa limite de quantification (1.07 µg/L).

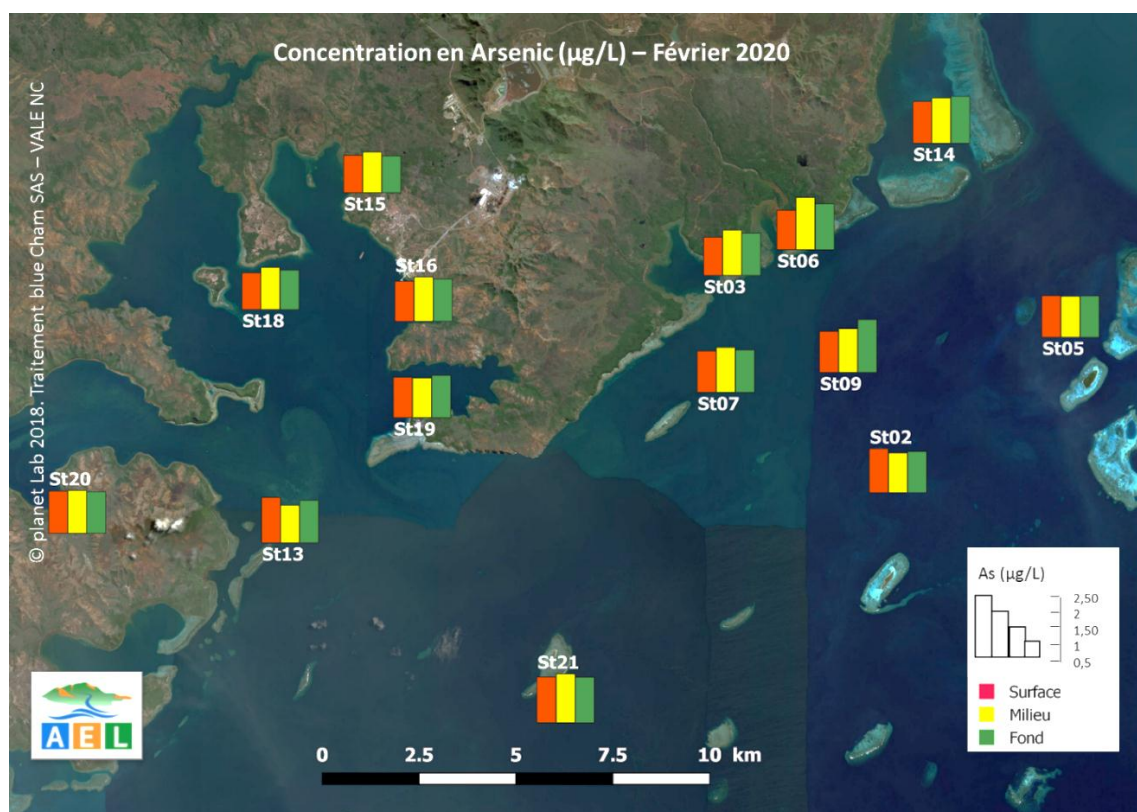


Figure 20 : Distribution des concentrations en arsenic (As) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

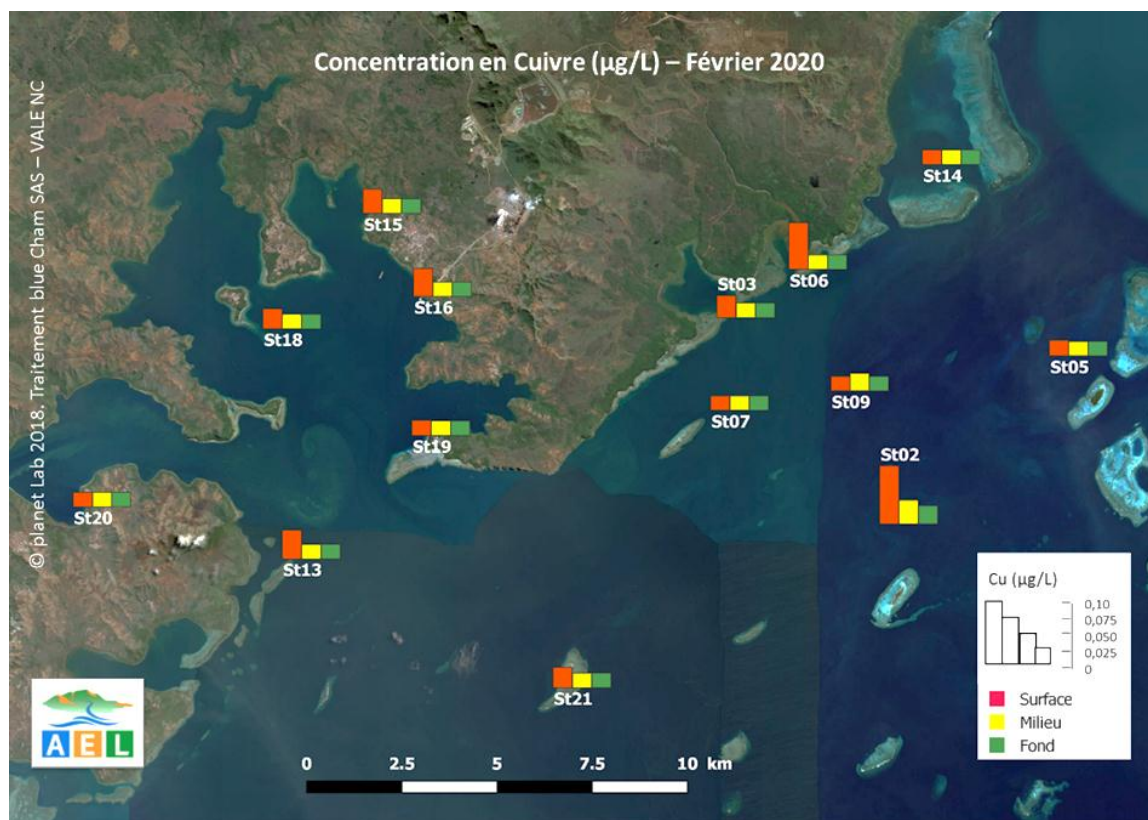


Figure 21 : Distribution des concentrations en cuivre (Cu) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020

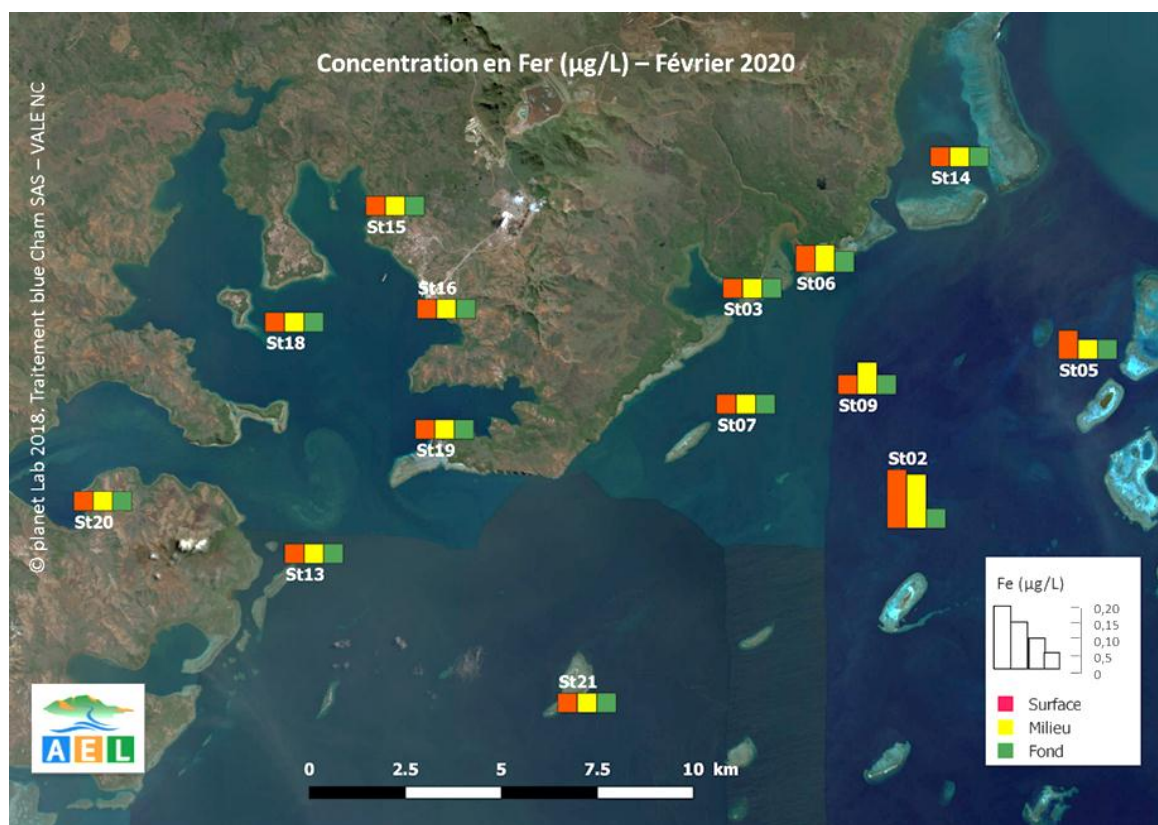


Figure 22 : Distribution des concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle février 2020.

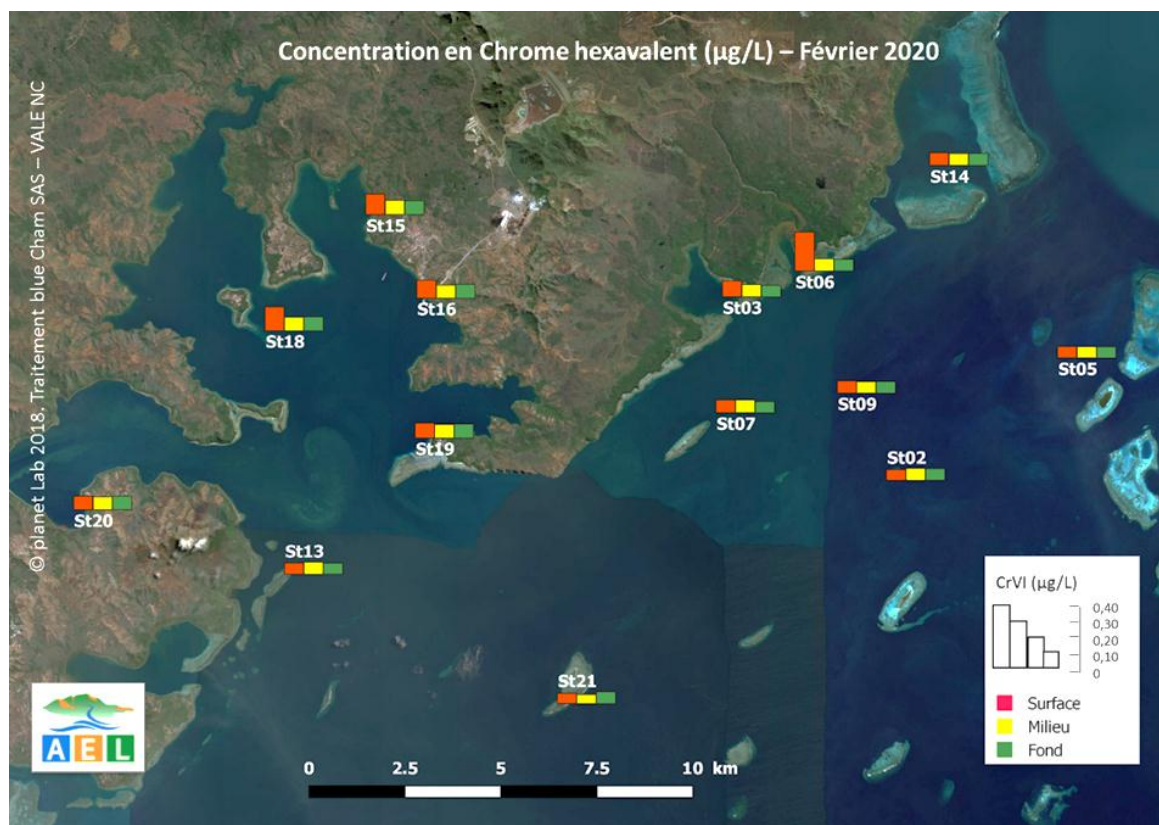


Figure 23 : Distribution des concentrations en chrome hexavalent (Cr^{6+}) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle février 2020.

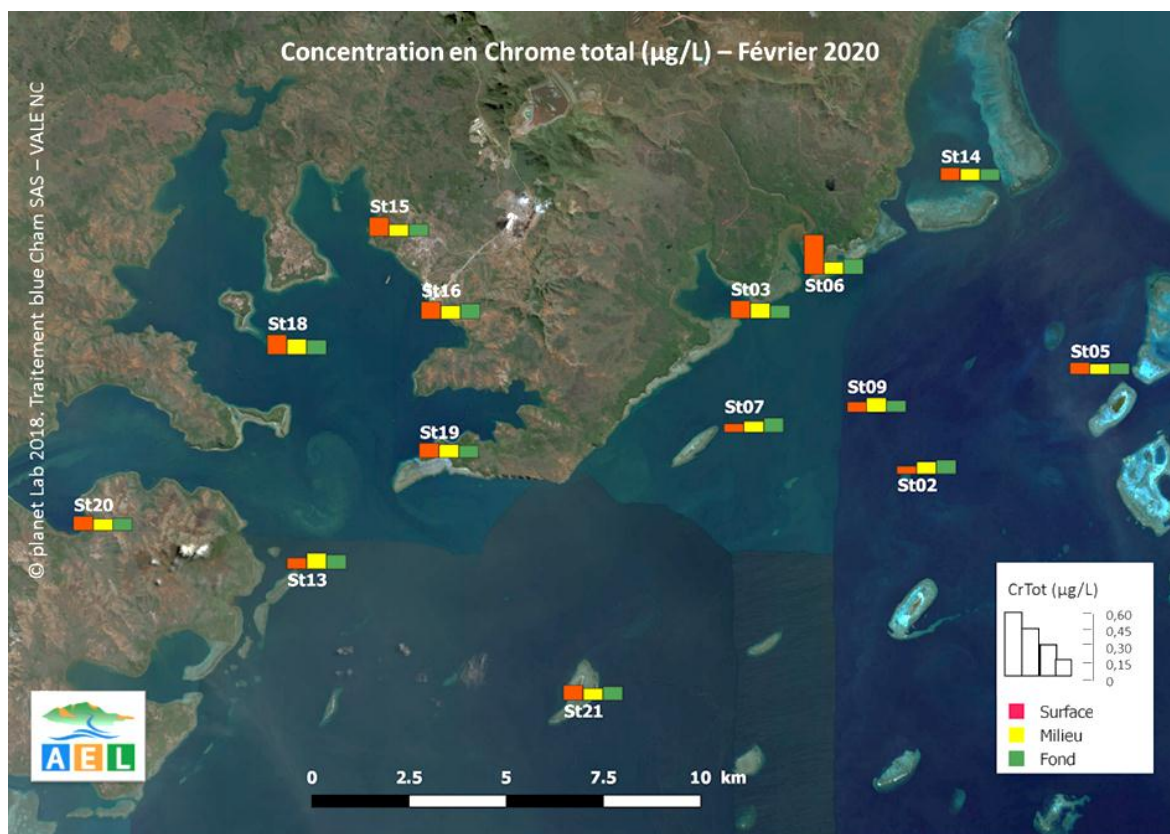


Figure 24 : Distribution des concentrations en chrome total (Cr_{total}) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle février 2020.

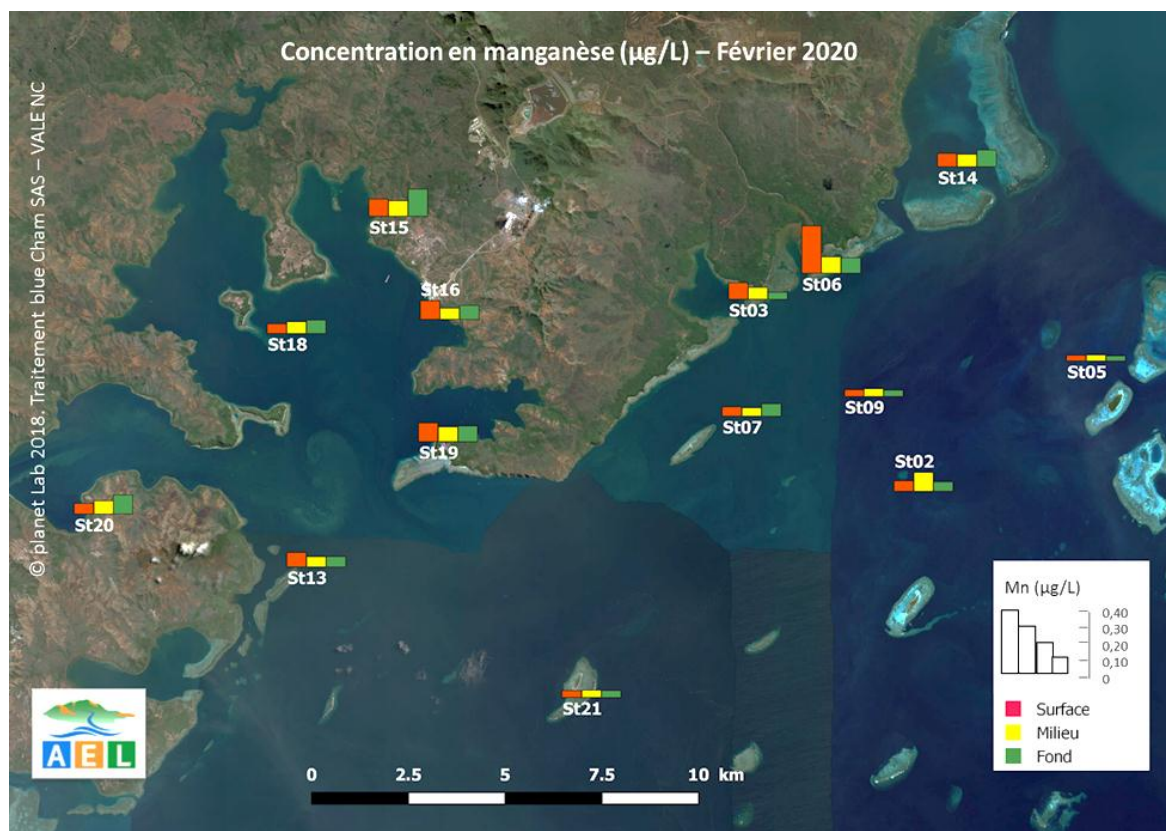


Figure 25 : Distribution des concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

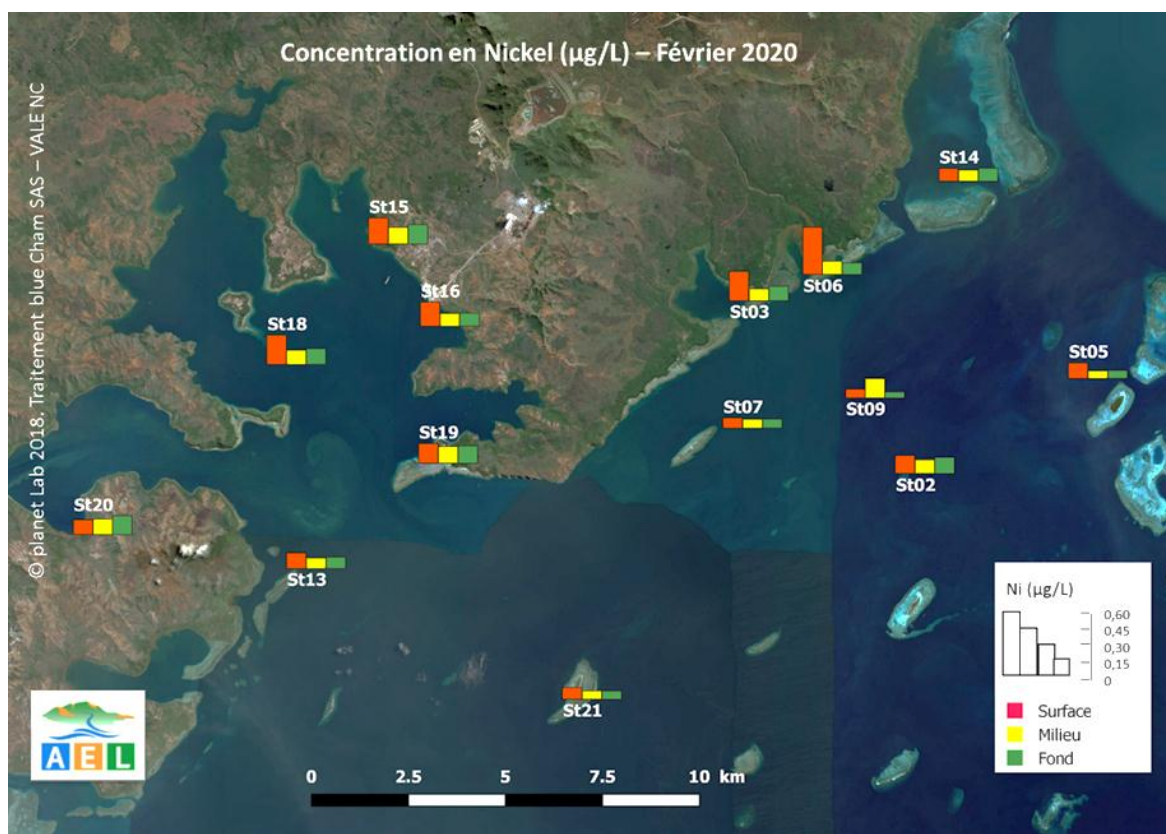


Figure 26 : Distribution des concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle février 2020.

Ce qu'il faut retenir :

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

Les métaux latéritiques dont le chrome, le manganèse et le nickel présentent dans l'ensemble une distribution « côte-large » décroissante avec la distance à la côte. Ces métaux proviennent directement des sols miniers présents dans cette zone géographique. Les concentrations les plus importantes se situent en surface de la colonne d'eau dans les baies du Canal et la Baie du Prony. Ces métaux se retrouvent, en moindre quantité, au niveau des stations du Canal de la Havannah et de l'île Ouen qui sont majoritairement influencées par les apports océaniques.

Les valeurs minimales sont toujours enregistrées au niveau de la réserve Merlet.

Les concentrations de cadmium, cobalt et zinc sont souvent non quantifiables, inférieures à la limite de quantification.

Globalement, les concentrations en métaux mesurées lors de la campagne de février 2020 restent dans des gammes de valeurs identiques à celles mesurées depuis 2008.

IV. SYNTHÈSE INTERCAMPAGNES « SAISON CHAUDE »

Rappel : Cette synthèse regroupe les concentrations des sels nutritifs et des métaux dissous mesurées aux stations sentinelles depuis 2008 : ST03 (Port Boisé), ST05 (ilot Kié), ST06 (Baie Kwé), ST07 (Récif Ioro), ST09 (Canal de la Havannah) et ST15 (Prony Creek Rade Nord) pour les campagnes de suivi « **saison chaude** ». Ces stations reflètent deux différents types d'influence dénombrés dans la zone d'étude : (i) influence terrigène des creeks des baies de Port Boisé (ST03), de la Kwé (ST06) et du Prony (ST15) et (ii) influence océanique dans le Canal de la Havannah (ST05 et ST07). La station ST09 est également suivie en raison de sa proximité du diffuseur (influence industrielle).

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

La campagne 2020 se caractérise par une absence de précipitation durant la campagne et de très faibles précipitations les 5 jours précédents.

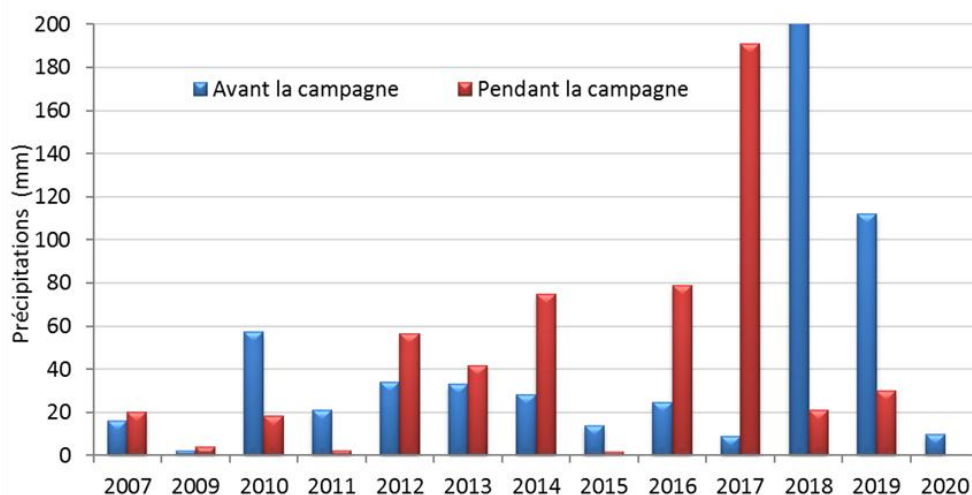


Figure 27 : Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2020 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Prony Pilot station ».

A. SELS NUTRITIFS

L'évolution des concentrations de NH_4 et de NO_3+NO_2 entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2008 a été reportée dans les Figure 28 à 31. Leur évolution a été étudiée aux stations sentinelles ST05, ST09, ST06 et ST15.

1. Ammonium

A la station ST05, à l'exception des valeurs de 2020, les concentrations en NH_4 restaient sous la barre de $0.20 \mu\text{mol/L}$ en saison chaude. Cette année, une augmentation a été observée dans les couches de surface (double des moyennes saisonnières) et de mi-profondeur (triple des valeurs saisonnières). Cette

augmentation récente des concentrations en NH_4 n'est à considérer, à cet instant, que comme un événement ponctuel.

A la station ST09, une légère augmentation des concentrations de NH_4 a été mesurée en « saison chaude » entre 2011 et 2019. Cette tendance s'inverse avec les valeurs de la campagne 2020. Depuis le début des campagnes, les valeurs sont globalement dans le même ordre de grandeur, à savoir, inférieures à 0,20 $\mu\text{mol/L}$. A l'inverse, en ce qui concerne la station St06, les concentrations en NH_4 ont fortement augmenté depuis 2017, toutes profondeurs confondues, et la campagne 2020 ne déroge pas à cette évolution. En profondeur, la concentration atteint 0,80 $\mu\text{mol/L}$. Aucun gradient vertical n'est clairement démontré avec des valeurs maximales variant suivant les années entre la surface, la mi-profondeur et le fond.

En station ST15, on observe une forte variabilité intercampagne pour les valeurs de NH_4 depuis 2008. Les concentrations enregistrées en profondeur sont souvent les plus élevées, notamment lors des années de fortes concentrations (2011, 2014, 2019, 2020). Ces observations peuvent être liées à la présence de matières organiques issues essentiellement de la dégradation des débris végétaux terrigènes apportés, respectivement, par les deux creeks ou de manière événementielle (précipitations atmosphériques) pour donner suite à une modification potentielle des caractéristiques des bassins versants respectifs.

2. Nitrates et nitrites

Les stations sentinelles des baies (ST06 et ST15, voir Figure 31) diffèrent entre elles par l'évolution des concentrations en NO_x . La baie de la Kwé (ST06), sous influence directe de l'activité minière, présente de fortes variabilités interannuelles pour les campagnes « saison chaude ». Les concentrations étaient en augmentation entre 2015 et 2017, la tendance s'est inversée en 2018, résultat peut-être en lien avec les faibles taux de précipitations, et les concentrations de cette campagne confirment une diminution des nutriments NO_x en baie de la Kwé.

Toutefois, les valeurs sont plus élevées qu'en baie du Prony ST15, et les concentrations en surface sont généralement au moins deux fois plus élevées que plus en profondeur. Les valeurs obtenues en station ST15 sont majoritairement inférieures à 0,20 $\mu\text{mol/L}$, et hormis quelques valeurs ponctuellement élevées, aléatoirement enregistrées en surface (2019), à mi-profondeur (2018) ou au fond (2014), les variations interannuelles sont peu significatives.

Aux stations sentinelles du large (influence océanique prédominante, Figure 30) les concentrations moyennes en nutriments NO_x sont globalement plus élevées que celles observées dans les baies, et moins soumises à des variations interannuelles. Cette homogénéité temporelle est à mettre en relation avec la proximité des eaux froides et profondes en provenance de l'extérieur du lagon (« up-welling ») s'enrichissant en nutriments au passage du récif barrière, notamment en ST05.

En effet, pour la station ST05, les concentrations les plus élevées sont majoritairement trouvées en profondeur, corroborant cette hypothèse. Leur répartition verticale est moins marquée en station ST09, mais sa localisation dans le Canal de la Havannah, à l'hydrodynamique intense, peut expliquer cette distribution plus variable. Toutefois pour chacune des stations, l'année 2019 s'est avérée globalement plus riche en nutriments NO_x , les valeurs de cette campagne avoisinent celles, plus faibles, des années précédentes (2017 et 2018).

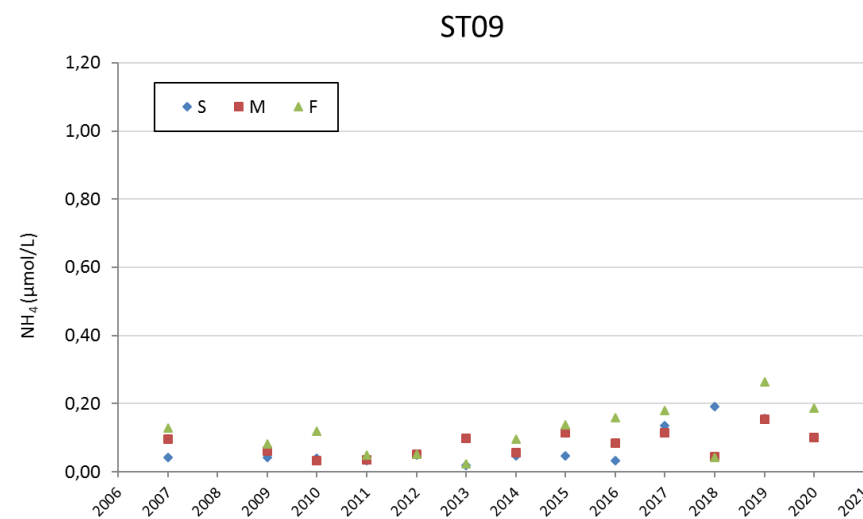
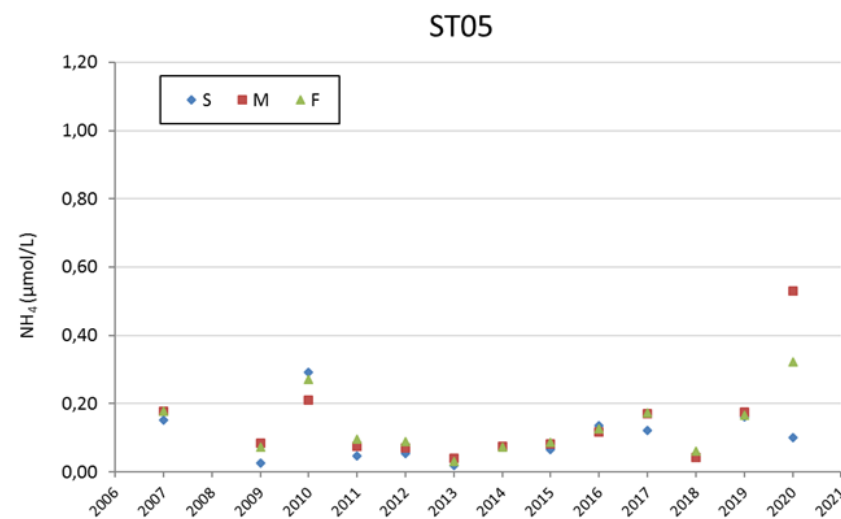


Figure 28 : Concentrations en NH_4 mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2008 à 2020)

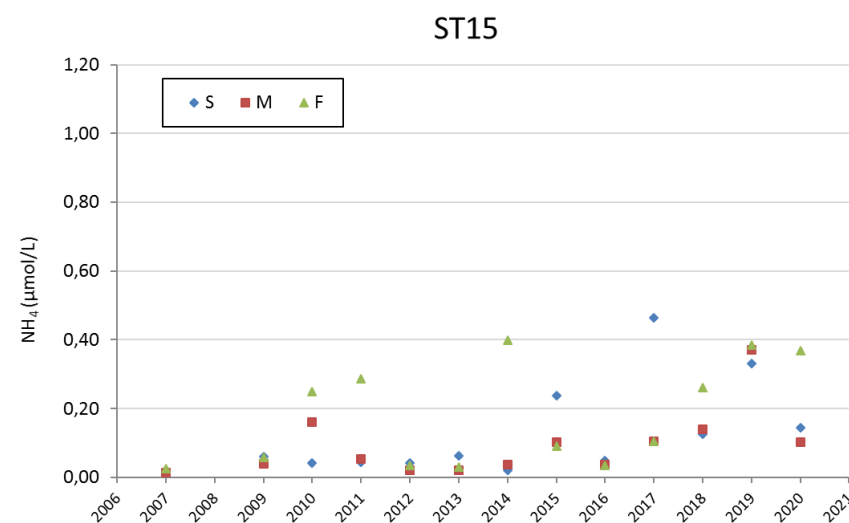
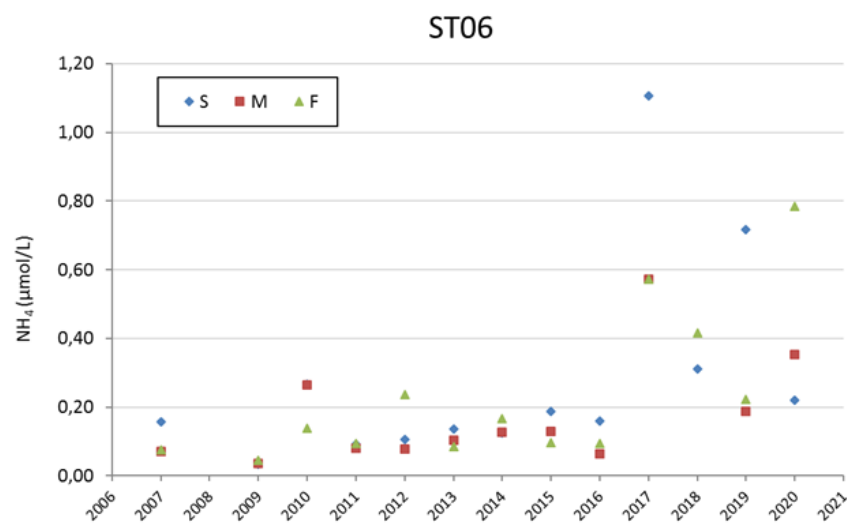


Figure 29 : Concentrations d'ammonium (NH_4) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2008 à 2020)

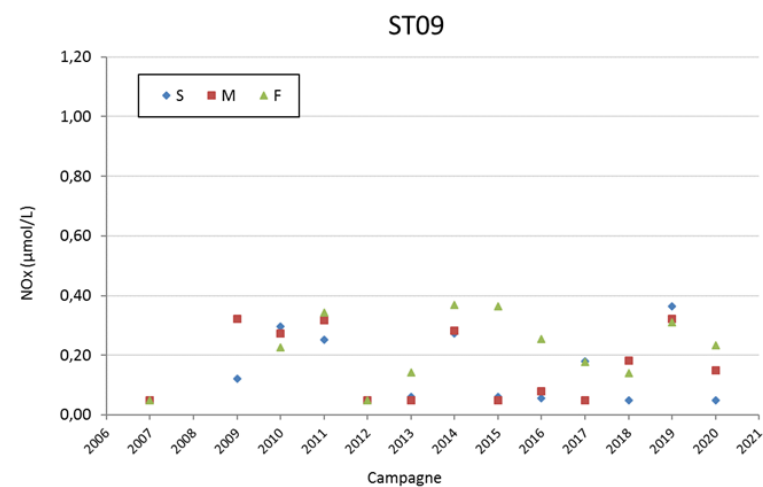
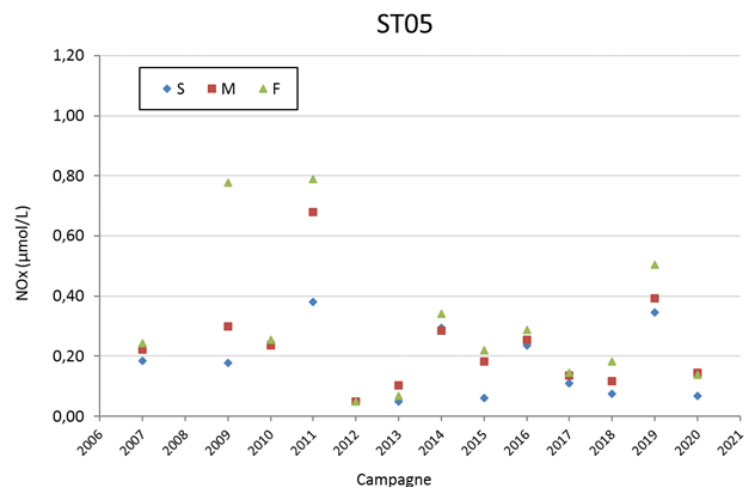


Figure 30 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St05 et St09 lors des campagnes « saison chaude » (2007 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ($0,050 \mu\text{mol/L}$).

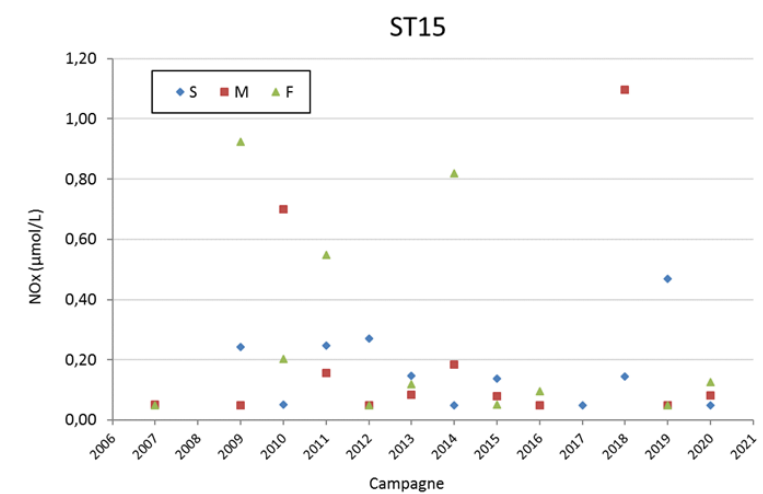
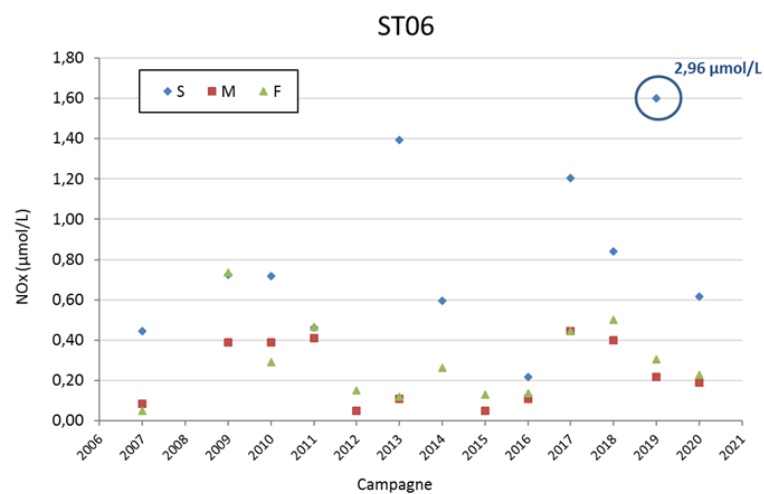


Figure 31 : Concentrations de nitrates+nitrites (NO_3+NO_2) mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations St06 et St15 lors des campagnes « saison chaude » (2008 à 2020) ; la ligne rouge représente la limite de quantification ($0,050 \mu\text{mol/L}$).

B. METAUX DISSOUS

1. Comparaison des distributions verticales du Cobalt, Chrome hexavalent, Manganèse et nickel. Stations des baies vs stations du Canal

L'évolution des concentrations de Co^{2+} , Cr^{6+} , Mn^{2+} et Ni^{2+} entre les différentes campagnes « saison chaude » sont comparées depuis 2008 entre « **stations des baies** » (ST03, ST06 et ST15) et « **stations du Canal** » (ST05, ST07, et ST09) Cette comparaison est illustrée par les Figure 32 à 38.

De manière générale, les concentrations en métaux dissous mesurées aux 3 stations des baies présentent une variabilité intercampagne, notamment en surface, tandis que les stations du Canal montre une relative homogénéité interannuelle.

- Les concentrations en Co^{2+} varient essentiellement dans les eaux de surface pour les stations des baies ($0,082 \pm 0,053 \mu\text{g/L}$; $0,070 \pm 0,037 \mu\text{g/L}$ et $0,046 \pm 0,060 \mu\text{g/L}$ pour les stations ST03, ST06 et ST15 respectivement ; Figure 32). La campagne de saison chaude 2019 avait montré une augmentation significative en chacune des stations des baies en surface. Cette année, ces concentrations sont revenues à des valeurs plus proches des moyennes saisonnières. Pour les stations du Canal (Figure 33). Les concentrations en Cobalt sont généralement inférieures à la limite de quantification.
- Les concentrations en Cr^{6+} , tout comme celles de Mn^{2+} et de Ni^{2+} , sont maximales dans les eaux de surface et diminuent avec la profondeur dans les trois stations des baies (Figure 34). Pour ces trois mêmes stations, les concentrations en Cr^{6+} varient, dans les eaux de surface, dans de plus fortes proportions comparativement au Co^{2+} , respectivement : $0,492 \pm 0,573 \mu\text{g/L}$; $0,594 \pm 1,146 \mu\text{g/L}$ et $0,446 \pm 0,315 \mu\text{g/L}$. Les valeurs obtenues au fond et à mi-profondeur sont remarquablement similaires entre elles, mais subissent quelques variations interannuelles ($0,038 \pm 0,016 \mu\text{g/L}$ à mi-profondeur ; $0,047 \pm 0,018 \mu\text{g/L}$ au fond). Toutes confondues, les concentrations en chrome des stations du Canal sont en moyenne plus faibles et plus constantes dans le temps ($0,028 \pm 0,002$ en surface et $0,027 \pm 0,002$ à mi-profondeur et enfin $0,027 \pm 0,002 \mu\text{g/L}$ au fond).

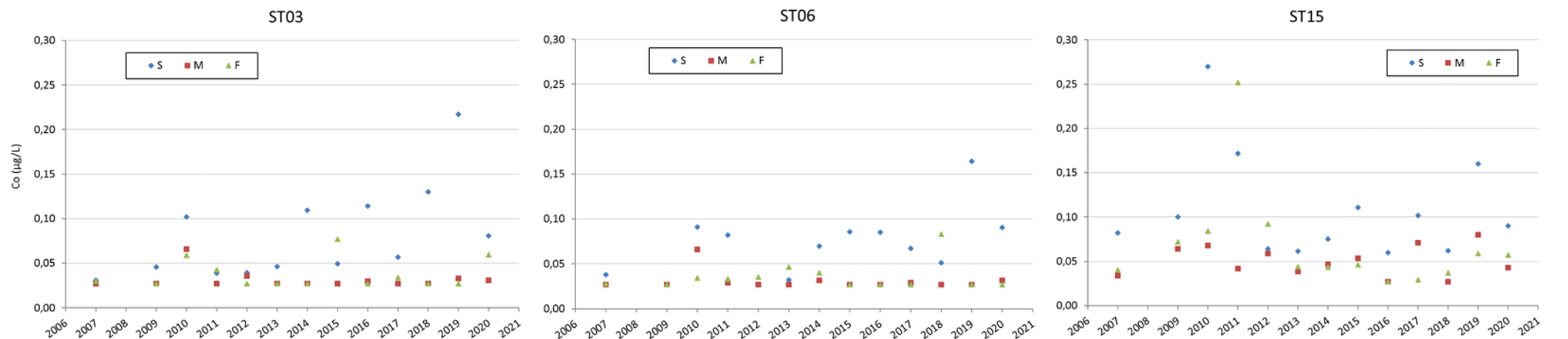


Figure 32 : Concentrations de cobalt (Co) dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 en « saison chaude » (2007 à 2020) ; LQ=0,027 µg/L.

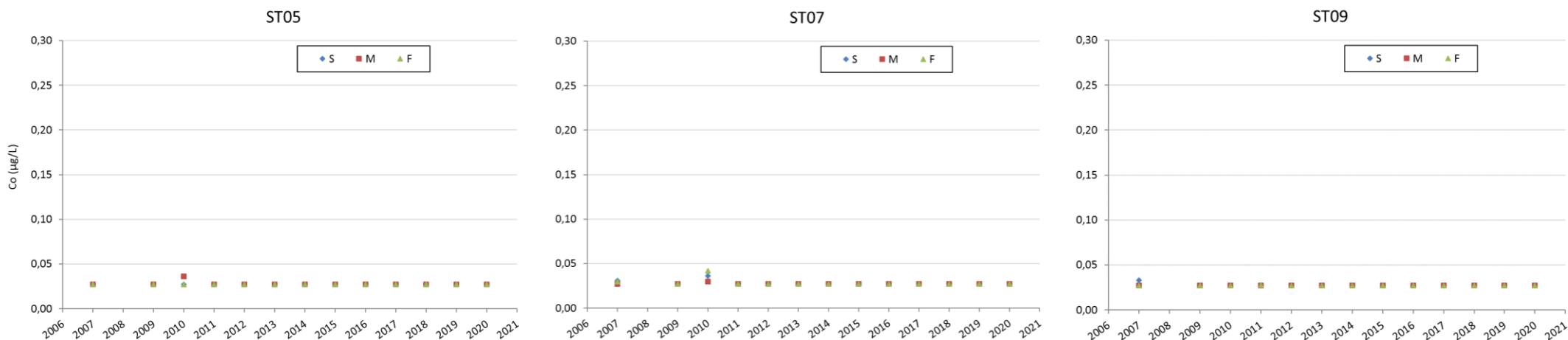


Figure 33 : Concentrations de Co dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal : St05, St07 et St09, en « saison chaude » (2007 à 2020) ; LQ=0,027 µg/L.

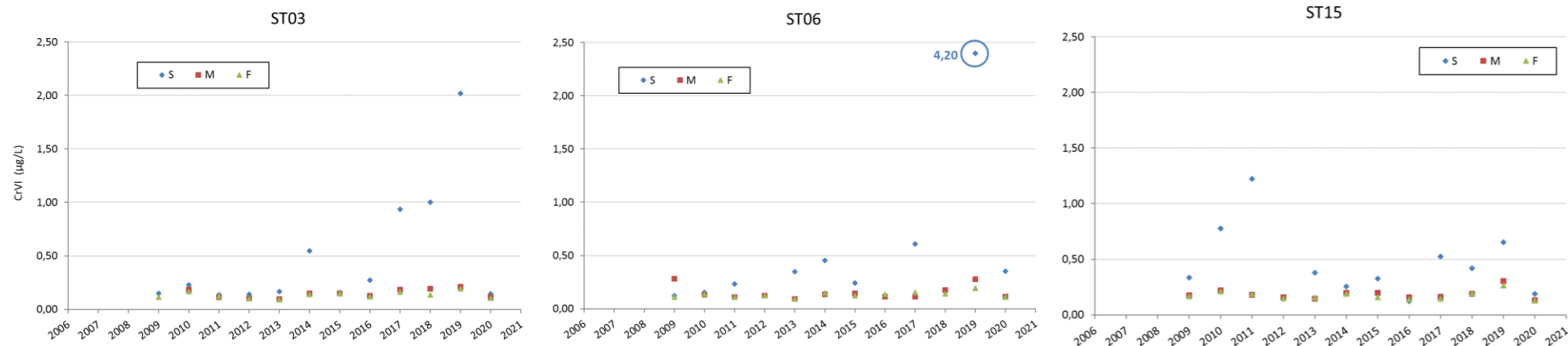


Figure 34 : Concentrations en Cr^{6+} dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 en « saison chaude » (2008 à 2020) LQ= 0,050 $\mu g/L$.

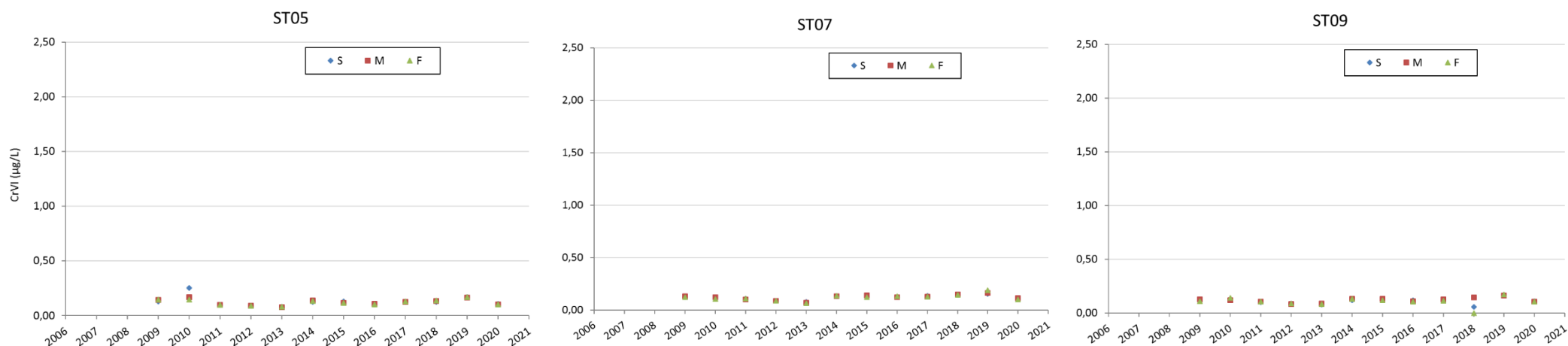


Figure 35 : Concentrations en Cr^{6+} dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal : St05, St07 et St09, en « saison chaude » (2008 à 2020) LQ= 0,050 $\mu g/L$.

- Les concentrations en Mn^{2+} sont une nouvelle fois plus élevées, et varient de manière très significative aux stations des baies ; globalement, les concentrations (Figure 36) sont de l'ordre de $0,491 \pm 0,459 \mu g/L$ en surface, $0,229 \pm 0,156 \mu g/L$ à mi-profondeur et $0,301 \pm 0,287 \mu g/L$ au fond alors qu'aux stations du canal (Figure 37), elles sont comprises entre $0,098 \pm 0,058$ en surface, $0,093 \pm 0,055$ à mi-profondeur et $0,109 \pm 0,041$ au fond.. Les concentrations des couches de fond peuvent épisodiquement être plus élevées que celles de surface. Un autre niveau de variabilité vient s'ajouter spatialement puisque la station ST03 se démarque des deux autres par de plus faibles variations intercampagnes (S : $0,231 \pm 0,095 \mu g/L$; M : $0,177 \pm 0,079$ et F : $0,178 \pm 0,118 \mu g/L$). Pour les stations du Canal, les variations temporelles, spatiales et verticales sont bien moindres.
- Concernant les concentrations en Ni^{2+} (Figure 38 et Figure 39), les stations du Canal montrent une très grande homogénéité sur la verticale, (S : $0,113 \pm 0,050$; M : $0,111 \pm 0,046$ et F : $0,109 \pm 0,041 \mu g/L$) et de faibles variations spatiales et intercampagnes puisque les concentrations n'excèdent que très rarement $0,25 \mu g/L$, quelle que soit la station considérée. En revanche, les stations des baies présentent des concentrations de surface élevées, associées à des gradients verticaux très prononcés, (S : $0,687 \pm 0,353 \mu g/L$; M : $0,214 \pm 0,096 \mu g/L$ et F : $0,231 \pm 0,142 \mu g/L$). La variabilité intercampagne pour les couches de surface sont respectivement : ST03 : $0,673 \pm 0,542 \mu g/L$; ST06 : $0,738 \pm 0,637 \mu g/L$ et ST15 : $0,648 \pm 0,370 \mu g/L$. Ces forts écarts-types traduisent des valeurs ponctuelles très fortes pour les concentrations de surface, notamment en 2019 pour ST03 et ST06, et 2010 et 2011 pour ST15.

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations des différents métaux dissous mesurées aux 3 **stations du Canal** demeurent d'une grande constance intercampagne. Cette homogénéité est à rapprocher des caractéristiques physico-chimiques des masses d'eau qui sont particulièrement constantes, les stations sont donc directement influencées par les masses d'eau océaniques.

Ces distributions temporelles contrastent nettement avec celles des **stations des baies** dont les concentrations sont, par ailleurs, bien plus fortes en surface car elles sont directement influencées par la variabilité des apports terrigènes. Leur variabilité est aussi bien verticale que temporelle. De plus, les différences pouvant être observées entre ces trois stations lors d'une même campagne sont plus importantes qu'entre les stations du Canal. Cette variabilité est attribuable à l'influence terrigène inhérente à chaque station. Les différentes sources d'apport terrigène (creeks et rivières) varient en nombre, en nature (bassin versant contenant des terrains miniers ou non), et en débit de rivière.

En ce qui concerne le Co^{2+} , Mn^{2+} et Ni^{2+} dissous, aucun enrichissement progressif des eaux de surface des **stations de baies**, n'est clairement observable depuis 2008, malgré des concentrations de surface sporadiquement élevées, en général en lien avec des épisodes climatologiques tels que des précipitations atmosphériques de forte intensité. Seul le Cr^{6+} a montré une augmentation progressive en ST03, mais la campagne 2020 marque la fin de cette progression.

Aux **stations du Canal de la Havannah**, les concentrations demeurent faibles (Cr^{6+} , Mn^{2+} et Ni^{2+}), voire en dessous de la LQ (Co^{2+}) et particulièrement stables dans la colonne d'eau depuis la mise en place du suivi marin. Enfin, les concentrations obtenues aux différentes stations lors de la campagne de 2020 sont globalement dans le même ordre de grandeur que celles recueillies lors des précédentes campagnes de « saison chaude » depuis 2008.



Figure 36 : Concentrations en Mn dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 en « saison chaude » (2008 à 2020). LQ=0.028 µg/L

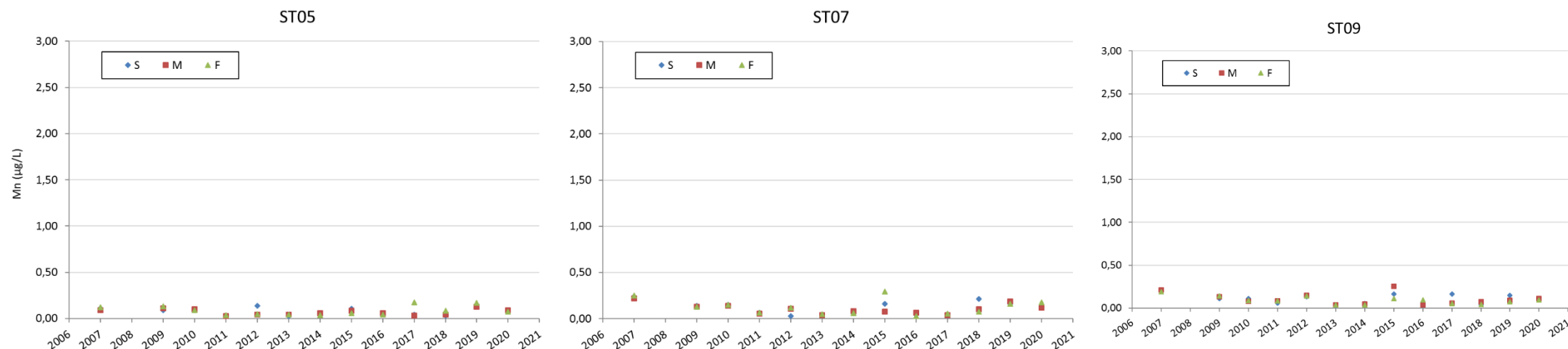


Figure 37 : Concentrations en Mn dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal : St05, St07 et St09, en « saison chaude » (2008 à 2020). LQ=0.028 µg/L

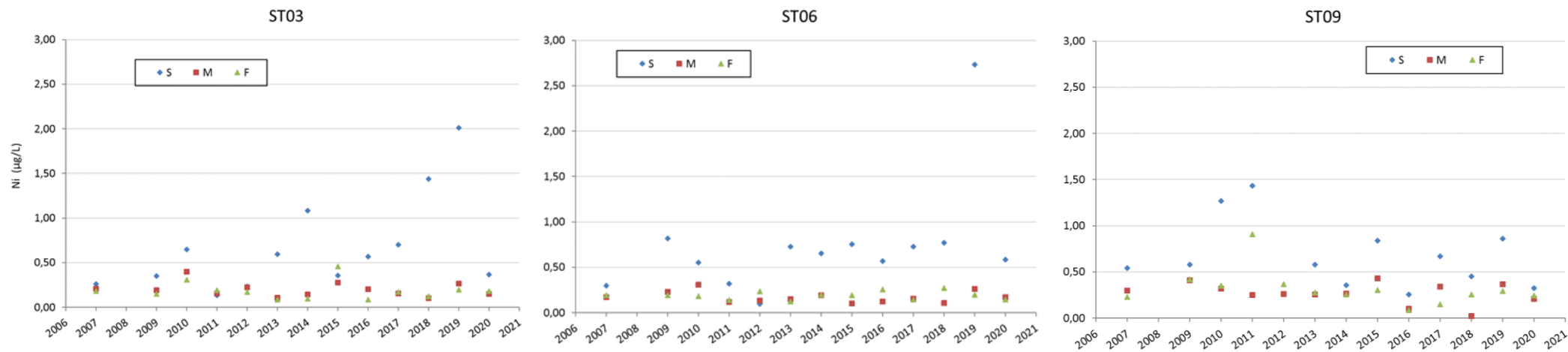


Figure 38 : Concentrations en Ni dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations de baies St03, St06 et St15 en « saison chaude » (2008 à 2020). LQ=0.022 µg/L



Figure 39 : Concentrations en Ni dissous mesurées en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F) aux stations du Canal : St05, St07 et St09, en « saison chaude » (2008 à 2020). LQ=0.022 µg/L

V. CONCLUSION

Cette première campagne semestrielle 2020, en « saison chaude » est marquée par le plus faible taux de précipitations depuis 2009. Cette relative « sécheresse » se traduit surtout par un apport en eau douce non significatif dans la zone d'étude, et donc une influence potentielle réduite de l'activité minière sur le milieu marin. Cette absence d'apport en eau douce par les creeks et rivières est tout d'abord visible dans l'étude des variables physico-chimiques. Bien que les 14 stations se distinguent par les profils de turbidité, de fluorescence et de température, les différences de salinité ne marquent de claires haloclines qu'aux stations les plus proches des embouchures (ST03 en baie de la Kwé, ST15 et ST16 en baie du Prony).

Étant donné ces apports terrigènes limités, les concentrations de matières en suspension (MES) se révèlent relativement faibles. Aucun gradient côte-large n'est observé et les valeurs homogènes retrouvées à chaque station sont principalement dues à la remise en suspension du matériel sédimentaire ainsi qu'au matériel d'origine océanique.

Les sels nutritifs (NO_x , PO_4 , SiO_4 , NH_4) sont présents dans la colonne d'eau en plus faibles quantités que les trois années précédentes. Aucune tendance dans la répartition spatiale ou verticale ne ressort, à l'exception de la station ST06 en baie Kwé, où les valeurs de sels nutritifs sont constamment supérieures à la moyenne (hors phosphate). La répartition n'est donc pas homogène dans la colonne d'eau ou dans l'espace, mais la variabilité observée semblant aléatoire, aucune distinction influence terrigène/océanique n'est distinguable. Depuis le début des campagnes « saison chaude », les sels nutritifs ne montrent pas d'évolution significative des concentrations moyennes dans les 4 zones étudiées, elles ne semblent donc pas être directement influencées par les apports terrigènes et/ou l'activité anthropique.

Les concentrations en matières organiques (NOD, POD, NOP, POP, COP) montrent habituellement une répartition décroissante de la côte vers le large. Durant cette campagne marquée par des très faibles précipitations et apports terrigènes concomitants, ce gradient est moins visible. Les concentrations notables en azote organique dissous (NOD) sont toutefois observées aux stations d'influence anthropique, tandis que les concentrations maximales en phosphore organique dissous (POD) sont retrouvées plus au large. La tendance à l'augmentation pour l'azote dissous dans la zone d'étude, observée depuis 2009, est confirmée par la campagne 2020. Le phosphore dissous (POD) montre une tendance inverse.

Concernant l'étude des métaux, les concentrations très faibles d'arsenic, cadmium, cobalt et zinc sont le plus souvent non quantifiables. Les valeurs de cette campagne confirment en revanche que les métaux latéritiques (chrome, manganèse et nickel) se répartissent selon un gradient « côte-large » directement en lien avec les apports terrigènes des creeks et rivières. Cette distribution met en évidence des niveaux de concentrations d'une grande constance intercampagne aux stations situées les plus au large, homogénéité directement liée à l'influence océanique qu'elles subissent. Tandis qu'en stations plus côtières, les variabilités importantes observées dans le temps et dans l'espace depuis 2009 sont dues à une influence terrigène plus fluctuante (proximité et débit des rivières, faibles profondeurs soumises à une hydrodynamique plus importante).

De manière globale, au vu des concentrations obtenues pour les différents éléments analysés, cette campagne semestrielle ne met en évidence aucune évolution particulière pour l'environnement marin.

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Bagnis R, Chanteau S, Chungue E, Hurtel JM, Yasumoto T, Inoue A (1980). Origins of ciguatera fish poisoning: a new dinoflagellate, *Gambierdiscus toxicus* Adachi and Fukuyo, definitively involved as a causal agent. *Toxicon*, 18(2) : 199-208.
- Bodeï S, Pointeau I (2009). Projet GoroNickel : Bilan de la réactivité géochimique de l'effluent. Modélisation chimie-transport en champ proche du diffuseur. Document technique DEN CEA n°DEN/DTN/SMTM/LMTE/NT/2009/05.
- Douillet P, Le Gendre R (2008). Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulières : Modèle hydrodynamique (Notice technique – Validation). Convention IRD/Goro-Ni n°1124, 54 p.
- Drouzy, M., Douillet, P., Fernandez, J. M., & Pinazo, C. (2019). Hydrodynamic time parameters response to meteorological and physical forcings: toward a stagnation risk assessment device in coastal areas. *Ocean Dynamics*, 69(8), 967-987.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	8
FIGURE 2: HAUTEURS DES PRECIPITATIONS ENREGISTREES PENDANT LES 5 JOURS PRECEDANT LA CAMPAGNE (15 AU 20/02/2020) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (20 AU 25/02/2020). DONNEES STATION METEO FRANCE « GORO USINE ».	10
FIGURE 3 : CONDITIONS DE VENT (INTENSITE EN M/S ET DIRECTION) DU 18 AU 25 FEVRIER 2020. DONNEES STATION METEO FRANCE « GORO USINE ».....	11
FIGURE 4 : CHRONOLOGIE DES PRELEVEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 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 DE FEVRIER 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 DE FEVRIER 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 DE FEVRIER 2020. FIGURE 7.....	15
FIGURE 8 : PROFILS DE TURBIDITE DES 14 STATIONS ECHANTILLONNEES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 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 DE FEVRIER 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 DE FEVRIER 2020.....	22
FIGURE 11 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020	23
FIGURE 12 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020	24
FIGURE 13 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO ₄) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020	25
FIGURE 14 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	27
FIGURE 15 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	28
FIGURE 16 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	30
FIGURE 17 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	30
FIGURE 18 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	31
FIGURE 19 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.	32
FIGURE 20 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020	35
FIGURE 21 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CUIVRE (Cu) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020	36
FIGURE 22 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN FER (Fe) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	36

FIGURE 23 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME HEXAVALENT (CrVI) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE FEVRIER 2020.	37
FIGURE 24 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL (CRTOT) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE FEVRIER 2020.	37
FIGURE 25 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.	38
FIGURE 26 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE FEVRIER 2020.	38
FIGURE 27 : CUMULS DES PRECIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT « SAISON CHAUDE » DE 2008 A 2020 ; DONNEES METEOROLOGIQUES ENREGISTREES A LA STATION D'OBSERVATION « PRONY PILOT STATION ».	40
FIGURE 28 : CONCENTRATIONS EN NH ₄ MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020)	42
FIGURE 29 : CONCENTRATIONS D'AMMONIUM (NH ₄) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020)	42
FIGURE 30 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST05 ET ST09 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2007 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	43
FIGURE 31 : CONCENTRATIONS DE NITRATES+NITRITES (NO ₃ +NO ₂) MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS ST06 ET ST15 LORS DES CAMPAGNES « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020) ; LA LIGNE ROUGE REPRESENTA LA LIMITE DE QUANTIFICATION (0,050 µMOL/L).	43
FIGURE 32 : CONCENTRATIONS DE COBALT (Co) DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 EN « SAISON CHAUDE » (2007 A 2020) ; LQ=0,027 µG/L.....	45
FIGURE 33 : CONCENTRATIONS DE Co DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL : ST05, ST07 ET ST09, EN « SAISON CHAUDE » (2007 A 2020) ; LQ=0,027 µG/L.....	45
FIGURE 34 : CONCENTRATIONS EN Cr ^{VI} DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F)) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 EN « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020) LQ= 0,050 µG/L).	46
FIGURE 35 : CONCENTRATIONS EN Cr ^{VI} DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F)) AUX STATIONS DU CANAL : ST05, ST07 ET ST09, EN « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020) LQ= 0,050 µG/L).	46
FIGURE 36 : CONCENTRATIONS EN Mn DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 EN « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020). LQ=0.028 µG/L	48
FIGURE 37 : CONCENTRATIONS EN Mn DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL : ST05, ST07 ET ST09, EN « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020). LQ=0.028 µG/L.....	48
FIGURE 38 : CONCENTRATIONS EN Ni DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DE BAIES ST03, ST06 ET ST15 EN « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020). LQ=0.022 µG/L	49
FIGURE 39 : CONCENTRATIONS EN Ni DISSOUS MESUREES EN SURFACE (S), MI-PROFONDEUR (M) ET FOND (F) AUX STATIONS DU CANAL : ST05, ST07 ET ST09, EN « SAISON CHAUDE » (2008 A 2020). LQ=0.022 µG/L.....	49

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1: LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE.....	9
TABEAU 2: STATISTIQUES DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE ENREGISTREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 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 DE FEVRIER 2020	18
TABEAU 4: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MES MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	20
TABEAU 5 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.	21
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 DE FEVRIER 2020.	26
TABEAU 7: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020	32
TABEAU 8 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (As_{TOTAL} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Cr^{6+} , Cr_{TOTAL} ET Cu^{2+}) MESUREES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE DE FEVRIER 2020.....	33
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 DE FEVRIER 2020	34

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

STRUCTURES DES MASSES D'EAU

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

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

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

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

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

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

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

- le dosage des ions calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) qui ont été déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- le dosage des ions chlorures (Cl⁻) a été réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr
- le dosage des ions sulfates (SO₄²⁻) a été réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900);

- la mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- la détermination de la concentration en MES (Matière En Suspension) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore® de 0,45 µm de porosité).

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

ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

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

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH₄) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites (NO₃ + NO₂) et de phosphates (PO₄) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatman® GF/F (porosité 0,7 µm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) Nitrates + Nitrites

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

b) Ammonium

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

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

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

c) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de [Mullin et Riley, 1955](#), modifiée par [Fanning et Pilson \(1973\)](#). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0,5 à 15 µmol/L, la limite de quantification est de 0,6 µmol/L et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µmol/L de SiO₄.

ANALYSE DE MATIERE ORGANIQUE

a) Azote et phosphore organiques dissous

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

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

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

b) Azote et phosphore organiques particulaires

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

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

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

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

Soit : - [NOP] et [POP] = les concentrations respectives en azote et phosphate organiques particulaires ;

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

Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et 40 $\mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification de 0,130 $\mu\text{mol/L}$ pour le NOP et entre 0,75 et 7 $\mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification de 0,050 $\mu\text{mol/L}$ pour POP.

c) Carbone organique particulaire

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

ANALYSE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

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

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

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

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

a) Conditionnement des échantillons

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

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à 0,45 μm (pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments dissous **Cr^{VI}/Cr-total** effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à 0,45 μm (filtres Millipore®, qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de Rouen pour l'analyse de l'**As** dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) ([NF EN ISO 17294-2](#)).
- les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à 0,45 μm en ligne (filtres Millipore®, qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les pré-concentrations terminées, chaque colonne de résine est bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer®) puis stockée dans un portoir fermé

hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux sont élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2 mol/L).

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

Les limites de quantification (LQ) des métaux dissous pour cette méthode sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Limite de quantification des métaux dissous.

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

TRAITEMENTS STATISTIQUES

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

Annexe 2

VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES

Minimums, maximums, moyennes et écart-types des données physico-chimiques mesurées dans le lagon sud de Nouvelle Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St02	Minimum	29,01	0,00	0,07	35,39
	Maximum	29,13	2,16	0,61	35,50
	Moyenne	29,10	0,53	0,29	35,48
	Ecart-type	0,029	0,238	0,071	0,020
St03	Minimum	32,52	0,09	0,05	35,26
	Maximum	32,73	3,30	4,63	35,52
	Moyenne	32,66	0,89	0,81	35,46
	Ecart-type	0,056	0,837	0,982	0,040
St05	Minimum	30,71	0,17	0,19	35,24
	Maximum	30,81	1,00	0,49	35,81
	Moyenne	30,77	0,48	0,26	35,48
	Ecart-type	0,025	0,164	0,035	0,051
St06	Minimum	31,32	0,01	0,15	34,70
	Maximum	31,52	4,41	1,44	35,48
	Moyenne	31,45	0,69	0,52	35,39
	Ecart-type	0,046	0,295	0,163	0,202
St07	Minimum	31,15	0,08	0,23	35,44
	Maximum	31,28	1,34	1,34	35,54
	Moyenne	31,22	0,49	0,41	35,51
	Ecart-type	0,032	0,288	0,155	0,021
St09	Minimum	27,77	0,00	0,00	35,40
	Maximum	27,86	1,67	0,81	35,59
	Moyenne	27,82	0,61	0,31	35,48
	Ecart-type	0,020	0,197	0,079	0,022
St13	Minimum	27,05	0,00	0,33	35,51
	Maximum	27,13	1,30	1,50	35,59
	Moyenne	27,10	0,40	0,54	35,55
	Ecart-type	0,022	0,161	0,158	0,012
St14	Minimum	29,73	0,07	0,01	35,40
	Maximum	29,86	2,76	1,32	35,44
	Moyenne	29,82	0,59	0,44	35,43
	Ecart-type	0,036	0,222	0,158	0,009

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
St15	Minimum	27,29	0,05	0,19	35,25
	Maximum	27,44	0,81	1,42	35,54
	Moyenne	27,37	0,23	0,34	35,51
	Ecart-type	0,033	0,114	0,180	0,055
St16	Minimum	27,16	0,06	0,17	35,47
	Maximum	27,23	1,56	2,40	35,55
	Moyenne	27,20	0,25	0,25	35,53
	Ecart-type	0,011	0,118	0,062	0,016
St18	Minimum	27,71	0,06	0,20	35,19
	Maximum	27,80	0,48	1,12	35,55
	Moyenne	27,76	0,19	0,31	35,46
	Ecart-type	0,026	0,086	0,132	0,114
St19	Minimum	27,98	0,05	0,00	35,53
	Maximum	28,11	1,07	1,05	35,55
	Moyenne	28,07	0,40	0,33	35,55
	Ecart-type	0,040	0,179	0,090	0,004
St20	Minimum	26,78	0,23	0,33	35,55
	Maximum	26,85	0,64	2,78	35,57
	Moyenne	26,82	0,38	0,42	35,56
	Ecart-type	0,018	0,060	0,167	0,004
St21	Minimum	28,34	0,04	0,28	35,52
	Maximum	28,50	0,74	2,33	35,54
	Moyenne	28,44	0,32	0,46	35,53
	Ecart-type	0,033	0,125	0,157	0,004

Annexe 3

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

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St02	S	452	511	1449	11423	19444	2050	0,522	8,22
	M	448	508	1444	11376	22917	2200	0,360	8,23
	F	448	508	1443	11367	19097	2300	0,306	8,22
St03	S	453	517	1465	11435	20833	2300	0,210	8,2
	M	449	511	1450	11374	18750	2250	0,756	8,23
	F	446	503	1433	11292	18750	2350	0,789	8,2
St05	S	460	521	1476	11486	20139	2300	0,210	8,23
	M	459	522	1478	11485	19444	2200	0,400	8,23
	F	447	504	1440	11306	19097	2250	0,480	8,24
St06	S	443	501	1432	11269	20139	2300	0,316	8,19
	M	465	525	1503	11552	19792	2050	0,258	8,21
	F	442	498	1425	11275	20139	2300	0,226	8,23
St07	S	458	519	1477	11448	20833	2200	0,266	8,23
	M	446	505	1442	11305	20833	1950	0,244	8,24
	F	462	527	1489	11545	20833	1800	0,256	8,24
St09	S	447	507	1439	11333	20139	2200	0,556	8,23
	M	447	511	1442	11381	20486	2250	0,540	8,22
	F	452	511	1452	11376	18750	2000	0,300	8,22
St13	S	462	530	1495	11606	20486	1800	0,450	8,19
	M	486	550	1565	11803	20833	1850	0,404	8,2
	F	462	528	1489	11600	20486	2150	0,354	8,19
St14	S	451	513	1456	11416	20486	2300	0,276	8,23
	M	450	509	1452	11361	20139	2250	0,186	8,22
	F	449	510	1451	11384	20139	1700	0,194	8,23
St15	S	477	539	1546	11624	19444	2000	0,182	8,2

	M	461	522	1485	11483	19444	2100	0,286	8,2
	F	459	524	1484	11475	21180	2100	0,348	8,21
St16	S	462	524	1488	11459	20486	2100	0,212	8,16
	M	458	521	1480	11482	19444	2050	0,352	8,17
	F	460	521	1484	11448	20139	2100	0,382	8,18

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
St18	S	450	509	1454	11366	19792	2150	0,206	8,21
	M	456	518	1474	11439	20486	2250	0,250	8,19
	F	454	514	1466	11390	19792	2100	0,296	8,17
St19	S	489	554	1578	11803	20833	2050	0,204	8,21
	M	457	523	1477	11478	20833	2400	0,302	8,21
	F	451	513	1457	11379	19792	1950	0,318	8,2
St20	S	488	554	1578	11852	20833	2150	0,328	8,2
	M	503	573	1626	12042	19444	2050	0,300	8,2
	F	468	533	1508	11544	19792	2050	0,304	8,2
St21	S	465	528	1501	11682	19792	1750	0,404	8,18
	M	456	518	1468	11435	20833	2000	0,508	8,16
	F	480	546	1549	11857	20139	2250	0,522	8,17

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 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	0,186	<0,100	0,050	<0,600
	M	-	<0,100	0,111	<0,600
	F	0,348	0,667	0,104	<0,600
St03	S	0,146	0,159	0,050	0,752
	M	0,142	0,195	0,050	<0,600
	F	0,151	0,378	0,105	<0,600
St05	S	0,069	<0,100	0,050	<0,600
	M	0,145	0,530	0,052	<0,600
	F	0,138	0,322	0,060	<0,600
St06	S	0,615	0,220	0,050	3,914
	M	0,189	0,354	0,056	<0,600
	F	0,227	0,786	0,050	<0,600
St07	S	0,256	<0,100	0,050	7,759
	M	0,079	0,121	0,060	<0,600
	F	0,698	0,226	0,091	<0,600
St09	S	0,050	<0,100	0,053	<0,600
	M	0,149	<0,100	0,062	<0,600
	F	0,234	0,186	0,059	<0,600
St13	S	0,059	0,147	0,050	<0,600
	M	0,124	<0,100	0,050	<0,600
	F	0,130	0,174	0,156	<0,600
St14	S	0,149	0,129	0,059	<0,600
	M	0,937	<0,100	0,083	1,598
	F	0,207	0,103	0,050	<0,600
St15	S	0,050	0,144	0,050	0,673
	M	0,082	0,101	0,050	<0,600
	F	0,126	0,369	0,097	<0,600
St16	S	0,117	<0,100	0,050	<0,600
	M	0,054	<0,100	0,050	<0,600
	F	0,145	0,512	0,059	<0,600

Station	Niveau	Sels nutritifs (μmol/L)			
		NO ₃ +NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₄
St18	S	0,125	<0,100	0,050	1,110
	M	0,075	<0,100	0,050	<0,600
	F	0,392	<0,100	0,067	<0,600
St19	S	0,051	0,168	0,050	<0,600
	M	0,140	<0,100	0,137	<0,600
	F	0,183	0,131	0,092	<0,600
St20	S	0,093	<0,100	0,050	<0,600
	M	0,103	<0,100	0,050	<0,600
	F	0,141	<0,100	0,050	<0,600
St21	S	0,345	0,153	0,099	<0,600
	M	0,066	<0,100	0,050	<0,600
	F	0,330	0,147	0,103	<0,600

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 de février 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	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St02	S	14,700	0,816	0,065	0,081	5,411	15,802	0,195	0,233
	M	1,941	1,345	0,006	0,098	13,839	17,536	0,215	0,446
	F	10,108	1,170	0,022	0,083	8,189	12,293	0,209	0,425
St03	S	7,510	0,853	0,005	<0,050	4,087	8,669	0,105	0,140
	M	13,190	1,074	0,014	0,063	4,560	14,601	0,128	0,357
	F	23,465	1,682	0,000	0,111	7,949	25,676	0,114	1,218
St05	S	13,984	0,905	0,088	0,050	5,485	15,059	0,189	0,388
	M	14,705	1,100	0,034	0,058	9,978	16,479	0,144	0,483
	F	20,966	0,807	0,039	<0,050	4,705	22,233	0,149	0,452
St06	S	21,000	0,844	0,000	0,055	5,295	22,678	0,101	0,187
	M	11,945	0,898	0,035	<0,050	4,681	13,386	0,141	0,416
	F	17,111	0,777	0,104	<0,050	3,802	18,902	0,204	0,620
St07	S	8,545	0,918	0,044	0,051	5,812	9,819	0,145	0,442
	M	8,822	0,789	0,112	<0,050	3,929	9,812	0,222	0,371
	F	36,174	0,760	0,039	<0,050	4,801	37,859	0,180	0,388
St09	S	16,933	0,865	0,081	<0,050	6,340	17,949	0,184	0,331
	M	15,753	0,891	0,256	<0,050	6,998	16,893	0,368	0,404
	F	11,098	0,763	0,089	<0,050	6,858	12,281	0,198	0,409
St13	S	5,745	1,292	0,018	0,082	10,741	7,243	0,150	0,349
	M	11,071	1,155	0,047	0,068	9,169	12,450	0,165	0,320
	F	9,559	0,562	0,102	<0,050	6,214	10,425	0,308	0,365
St14	S	10,306	1,221	0,121	0,072	6,327	11,805	0,252	0,378
	M	11,617	0,688	0,038	<0,050	6,262	13,342	0,171	
	F	13,709	0,800	0,055	<0,050	4,120	14,819	0,155	0,393
St15	S	7,124	0,687	0,063	<0,050	3,612	8,005	0,163	0,197
	M	1,825	0,910	0,055	<0,050	2,882	2,919	0,155	0,064
	F	7,261	0,738	0,080	<0,050	4,426	8,493	0,227	0,336
St16	S	23,833	0,870	0,095	<0,050	43,838	24,920	0,195	0,245
	M	19,447	0,944	0,078	0,055	8,077	20,545	0,183	0,335
	F	7,788	0,950	0,039	0,056	9,968	9,395	0,154	0,370

ND= Non Déterminé

Station	Niveau	Matière organique (μmol/L)							Chlorophylle <i>a</i> (μg/L)
		NOD	NOP	POD	POP	COP	NT	PT	
St18	S	5,807	0,662	0,052	<0,050	4,747	6,694	0,152	0,177
	M	1,906	0,923	0,116	<0,050	3,468	3,004	0,216	0,218
	F	5,449	0,605	0,085	<0,050	4,273	6,547	0,202	0,278
St19	S	17,059	0,578	0,171	<0,050	3,411	17,856	0,271	0,375
	M	21,291	0,863	0,040	0,050	3,851	22,394	0,227	0,211
	F	10,941	1,036	0,100	0,059	3,527	12,291	0,251	0,103
St20	S	8,588	0,664	0,137	0,054	6,056	9,445	0,240	ND
	M	5,692	0,700	0,174	<0,050	4,490	6,595	0,274	ND
	F	6,033	0,816	0,130	0,052	3,940	7,090	0,231	0,294
St21	S	18,845	0,705	0,010	<0,050	0,000	20,048	0,159	0,190
	M	5,778	1,098	0,034	0,059	0,000	7,042	0,144	0,245
	F	14,839	0,913	0,000	0,051	0,000	16,229	0,126	0,340

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de février 2020 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Co	CrVI	Crtot	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St02	S	1,97	<0,025	<0,027	0,097	0,105	0,099	0,177	0,148	0,224	0,157	3,966
	M	1,78	<0,025	<0,027	0,108	0,16	0,040	0,163	0,269	0,176	0,176	1,944
	F	1,84	<0,025	<0,027	0,107	0,188	0,031	<0,059	0,136	0,205	<0,100	1,956
St03	S	1,71	<0,025	0,081	0,144	0,237	0,038	<0,059	0,242	0,365	0,121	<1,07
	M	2,03	<0,025	0,031	0,113	0,199	<0,025	<0,059	0,175	0,149	<0,100	<1,07
	F	1,89	<0,025	0,059	0,106	0,171	<0,025	<0,059	0,100	0,181	<0,100	<1,07
St05	S	1,87	<0,025	<0,027	0,106	0,16	0,027	0,087	0,085	0,197	0,146	<1,07
	M	1,84	<0,025	<0,027	0,104	0,143	<0,025	<0,059	0,088	0,096	<0,100	<1,07
	F	1,85	<0,025	<0,027	0,104	0,15	<0,025	<0,059	0,073	0,100	0,173	<1,07
St06	S	1,76	<0,025	0,091	0,352	0,527	0,080	0,081	0,670	0,583	<0,100	<1,07
	M	2,33	<0,025	0,032	0,112	0,163	<0,025	0,082	0,233	0,169	0,209	<1,07
	F	2,05	<0,025	<0,027	0,107	0,204	<0,025	0,064	0,221	0,146	<0,100	<1,07
St07	S	1,85	<0,025	<0,027	0,117	0,115	<0,025	<0,059	0,134	0,129	0,104	<1,07
	M	2,01	<0,025	<0,027	0,117	0,144	<0,025	<0,059	0,120	0,114	<0,100	<1,07
	F	1,89	<0,025	<0,027	0,102	0,191	<0,025	<0,059	0,176	0,112	<0,100	<1,07
St09	S	1,84	<0,025	<0,027	0,112	0,138	<0,025	<0,059	0,096	0,109	<0,100	<1,07
	M	1,96	<0,025	<0,027	0,107	0,19	0,030	0,097	0,113	0,240	0,467	<1,07
	F	2,36	<0,025	<0,027	0,105	0,154	<0,025	<0,059	0,092	0,075	<0,100	<1,07
St13	S	2,02	<0,025	<0,027	0,104	0,148	0,049	<0,059	0,206	0,197	0,111	<1,07
	M	1,67	<0,025	<0,027	0,108	0,211	<0,025	<0,059	0,151	0,134	<0,100	<1,07
	F	1,89	<0,025	<0,027	0,099	0,19	<0,025	<0,059	0,151	0,141	<0,100	<1,07
St14	S	1,86	<0,025	<0,027	0,115	0,173	<0,025	<0,059	0,190	0,160	<0,100	<1,07
	M	2,02	<0,025	<0,027	0,11	0,161	<0,025	<0,059	0,179	0,142	<0,100	<1,07
	F	2,09	<0,025	<0,027	0,109	0,156	<0,025	<0,059	0,242	0,162	<0,100	<1,07
St15	S	1,68	<0,025	0,090	0,188	0,254	0,041	<0,059	0,248	0,322	<0,100	<1,07
	M	1,82	<0,025	0,043	0,13	0,157	<0,025	<0,059	0,223	0,210	<0,100	<1,07
	F	1,65	<0,025	0,057	0,126	0,164	<0,025	<0,059	0,387	0,242	0,142	<1,07
St16	S	1,79	<0,025	0,064	0,167	0,232	0,048	<0,059	0,266	0,298	<0,100	<1,07
	M	1,98	<0,025	<0,027	0,122	0,175	<0,025	<0,059	0,164	0,158	<0,100	<1,07
	F	1,9	<0,025	0,033	0,126	0,205	<0,025	<0,059	0,201	0,165	<0,100	<1,07

ND= Non déterminé

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Co	CrVI	Crtot	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
St18	S	1,65	<0,025	0,074	0,216	0,266	0,034	<0,059	0,140	0,366	0,323	<1,07
	M	1,89	<0,025	0,034	0,124	0,202	<0,025	<0,059	0,167	0,178	<0,100	<1,07
	F	1,77	<0,025	0,035	0,127	0,195	<0,025	<0,059	0,191	0,195	<0,100	<1,07
St19	S	1,81	<0,025	0,047	0,135	0,194	0,026	<0,059	0,270	0,247	<0,100	<1,07
	M	1,78	<0,025	0,036	0,125	0,176	<0,025	<0,059	0,211	0,208	<0,100	<1,07
	F	1,9	<0,025	0,044	0,127	0,164	<0,025	<0,059	0,224	0,217	<0,100	<1,07
St20	S	1,89	<0,025	0,036	0,124	0,194	<0,025	<0,059	0,152	0,186	<0,100	<1,07
	M	1,92	<0,025	0,031	0,117	0,158	<0,025	<0,059	0,190	0,196	<0,100	<1,07
	F	1,86	<0,025	0,041	0,125	0,167	<0,025	<0,059	0,274	0,236	<0,100	<1,07
St21	S	2,05	<0,025	<0,027	0,098	0,198	0,034	<0,059	0,102	0,146	0,138	<1,07
	M	2,19	<0,025	<0,027	0,085	0,161	<0,025	<0,059	0,108	0,108	<0,100	<1,07
	F	2,04	<0,025	<0,027	0,108	0,181	<0,025	<0,059	0,103	0,105	0,118	<1,07

Rappel : Les valeurs des LQ des métaux sont : Co< 0,027 µg/L ; Cu<, 0,025 µg/L ; Fe<L0,068 µg/L ; Mn<0,028µg/L ; Ni<0,022µg/L, Pb< 0,100µg/L et Zn<1,00 µg/L µg/L.

Annexe 7

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

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

Zone d'étude	Statistique	NO_3+NO_2 ($\mu\text{mol/L}$)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,103	0,086	0,167	0,050	0,050	0,050	0,050	0,055	0,050	0,050	0,183	0,050
	Maximum	1,050	0,309	1,038	0,279	0,263	0,469	0,406	0,312	0,291	0,878	0,940	14,150
	Moyenne	0,395	0,220	0,493	0,079	0,089	0,268	0,155	0,239	0,125	0,161	0,381	1,150
	Ecart-type	0,318	0,067	0,237	0,065	0,066	0,105	0,117	0,075	0,067	0,213	0,189	3,600
Baies du Canal	Minimum	0,233	0,194	0,065	0,050	0,050	0,123	0,050	0,053	0,050	0,050	0,050	0,142
	Maximum	0,735	0,717	0,719	0,146	1,393	0,596	0,522	0,268	1,205	0,842	2,966	0,937
	Moyenne	0,491	0,355	0,376	0,064	0,241	0,253	0,191	0,158	0,396	0,428	0,515	0,307
	Ecart-type	0,187	0,167	0,194	0,036	0,435	0,158	0,180	0,075	0,332	0,265	0,930	0,279
Baie du Prony	Minimum	0,050	0,050	0,064	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	1,740	0,700	1,858	0,270	0,148	0,818	0,258	0,224	1,806	1,464	0,469	0,392
	Moyenne	0,385	0,122	0,401	0,085	0,071	0,254	0,079	0,086	0,892	0,603	0,147	0,128
	Ecart-type	0,527	0,187	0,526	0,066	0,033	0,239	0,061	0,060	0,688	0,561	0,127	0,093
Ile Ouen	Minimum	0,349	0,056	0,101	0,050	0,050	0,055	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,059
	Maximum	1,470	0,286	0,766	0,097	0,465	0,727	0,257	0,257	0,226	0,688	1,004	0,141
	Moyenne	0,719	0,131	0,322	0,067	0,145	0,273	0,085	0,107	0,102	0,241	0,245	0,108
	Ecart-type	0,389	0,085	0,250	0,020	0,162	0,261	0,085	0,080	0,064	0,261	0,377	0,030

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (μmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,026	0,034	0,010	0,018	0,019	0,044	0,039	0,030	0,115	0,032	0,127	0,100
	Maximum	0,125	0,292	0,262	0,088	0,135	0,114	0,610	0,210	0,260	0,266	2,050	0,667
	Moyenne	0,059	0,141	0,075	0,052	0,049	0,070	0,138	0,128	0,167	0,080	0,340	0,203
	Ecart-type	0,029	0,091	0,062	0,019	0,032	0,019	0,138	0,042	0,045	0,067	0,479	0,174
Baies du Canal	Minimum	0,009	0,064	0,014	0,025	0,022	0,043	0,065	0,050	0,207	0,007	0,174	0,100
	Maximum	0,136	0,266	0,230	0,237	0,135	0,166	0,323	0,270	1,106	0,415	0,718	0,786
	Moyenne	0,045	0,169	0,102	0,112	0,079	0,096	0,160	0,126	0,500	0,195	0,307	0,269
	Ecart-type	0,038	0,074	0,065	0,058	0,032	0,040	0,080	0,071	0,327	0,125	0,183	0,218
Baie du Prony	Minimum	0,004	0,018	0,012	0,016	0,014	0,014	0,066	0,030	0,105	0,126	0,065	0,100
	Maximum	0,114	0,249	0,287	0,199	0,073	0,595	0,276	0,280	1,721	0,262	0,488	0,512
	Moyenne	0,042	0,111	0,079	0,058	0,036	0,140	0,136	0,086	0,338	0,165	0,302	0,169
	Ecart-type	0,028	0,078	0,094	0,057	0,021	0,181	0,073	0,073	0,449	0,040	0,133	0,132
Ile Ouen	Minimum	0,005	0,043	0,018	0,061	0,022	0,064	0,059	0,040	0,195	0,057	0,051	0,100
	Maximum	0,163	0,389	0,216	0,162	0,246	0,137	0,339	0,140	0,606	0,134	0,944	0,174
	Moyenne	0,063	0,155	0,066	0,104	0,118	0,098	0,155	0,082	0,307	0,094	0,234	0,120
	Ecart-type	0,070	0,128	0,075	0,039	0,103	0,030	0,100	0,041	0,152	0,034	0,349	0,032

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (μmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,070	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,061	0,074	0,102	0,093	0,051	0,091	0,127	0,139	0,202	0,050	0,107	0,111
	Moyenne	0,053	0,054	0,056	0,060	0,050	0,059	0,055	0,100	0,061	0,050	0,059	0,070
	Ecart-type	0,004	0,006	0,014	0,014	0,000	0,012	0,020	0,017	0,039	0,000	0,017	0,024
Baies du Canal	Minimum	0,050	0,052	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,060	0,072	0,120	0,096	0,050	0,072	0,050	0,113	0,050	0,112	0,080	0,105
	Moyenne	0,052	0,062	0,060	0,056	0,050	0,056	0,050	0,076	0,050	0,061	0,053	0,061
	Ecart-type	0,004	0,008	0,023	0,015	0,000	0,010	0,000	0,020	0,000	0,020	0,010	0,020
Baie du Prony	Minimum	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,171	0,202	0,185	0,094	0,063	0,273	0,050	0,112	0,148	0,148	0,105	0,137
	Moyenne	0,068	0,072	0,072	0,070	0,051	0,107	0,050	0,063	0,081	0,070	0,063	0,067
	Ecart-type	0,037	0,043	0,042	0,016	0,004	0,066	0,000	0,019	0,039	0,034	0,018	0,028
Ile Ouen	Minimum	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,082	0,073	0,070	0,115	0,050	0,088	0,050	0,072	0,295	0,050	0,050	0,156
	Moyenne	0,063	0,054	0,053	0,081	0,050	0,061	0,050	0,057	0,091	0,050	0,050	0,068
	Ecart-type	0,013	0,009	0,008	0,026	0,000	0,016	0,000	0,011	0,100	0,000	0,000	0,043

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (μmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,969	0,050	0,050	1,117	0,744	0,602	0,986	0,800	1,726	0,500	1,226	0,600
	Maximum	1,575	0,940	1,615	2,532	1,161	1,061	1,382	2,910	3,152	1,918	1,541	7,759
	Moyenne	1,211	0,359	0,333	1,909	0,956	0,822	1,140	1,497	2,208	1,091	1,399	1,077
	Ecart-type	0,172	0,247	0,383	0,530	0,141	0,148	0,132	0,638	0,438	0,473	0,098	1,849
Baies du Canal	Minimum	1,344	0,520	0,050	1,504	1,144	1,035	1,029	1,270	2,300	1,284	1,634	0,600
	Maximum	4,794	4,690	2,840	4,149	12,342	8,140	4,215	3,980	18,430	10,690	20,330	3,914
	Moyenne	2,128	1,813	0,953	2,573	3,115	2,578	1,847	1,826	6,170	4,243	5,122	1,096
	Ecart-type	1,131	1,280	1,100	0,820	3,667	2,679	0,959	0,893	5,675	4,034	6,576	1,106
Baie du Prony	Minimum	1,546	1,320	0,095	1,466	1,189	1,809	1,358	0,490	3,013	1,109	0,893	0,600
	Maximum	4,209	6,640	9,953	3,250	12,959	6,624	4,480	3,990	8,178	26,176	6,238	1,110
	Moyenne	2,628	2,431	4,385	2,158	2,676	2,682	2,155	1,573	4,284	3,819	1,857	0,649
	Ecart-type	1,007	1,455	4,232	0,545	3,324	1,433	1,072	0,906	1,487	7,062	1,440	0,147
Ile Ouen	Minimum	1,308	0,540	0,050	1,638	1,212	1,053	1,251	0,630	1,915	1,344	1,323	0,600
	Maximum	1,672	1,340	0,400	2,242	1,472	1,746	2,007	2,720	4,454	4,904	1,582	0,600
	Moyenne	1,496	0,975	0,272	1,926	1,360	1,471	1,588	1,438	3,136	2,264	1,449	0,600
	Ecart-type	0,144	0,280	0,128	0,231	0,089	0,276	0,258	0,763	0,892	1,325	0,093	0,000

ANNEXE 8

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD) et du carbone, de l'azote et du phosphore organiques particuliers mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2020 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NOD (µmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,676	0,380	2,922	2,740	0,957	2,754	3,027	2,940	2,084	0,660	5,795	1,941
	Maximum	3,509	6,830	5,475	4,705	4,715	4,072	6,021	8,560	3,825	5,505	10,732	36,174
	Moyenne	2,521	2,427	4,498	3,545	3,585	3,427	4,054	3,690	3,140	3,807	7,572	14,213
	Ecart-type	0,896	1,937	0,627	0,545	0,827	0,447	0,828	1,412	0,509	1,077	1,228	7,881
Baies du Canal	Minimum	0,948	0,870	4,233	1,088	3,257	2,288	3,465	3,760	2,093	3,765	6,179	7,510
	Maximum	3,786	3,320	5,551	3,781	4,274	4,462	5,576	6,940	4,327	5,477	9,610	23,465
	Moyenne	2,559	2,128	4,990	3,130	3,717	3,765	4,212	4,771	2,795	4,445	7,513	14,428
	Ecart-type	0,862	0,756	0,413	1,041	0,311	0,731	0,637	1,088	0,734	0,682	0,938	5,160
Baie du Prony	Minimum	1,513	1,070	3,792	1,740	2,982	3,613	1,634	2,450	2,393	3,423	6,070	1,825
	Maximum	4,455	2,900	5,782	4,451	4,048	4,635	5,614	5,130	4,644	8,059	9,298	23,833
	Moyenne	2,677	2,071	4,818	3,537	3,652	4,272	4,328	3,711	3,255	4,792	7,446	10,811
	Ecart-type	0,796	0,673	0,652	0,729	0,330	0,330	1,143	0,676	0,554	1,303	0,948	7,641
Ile Ouen	Minimum	2,027	0,830	2,850	3,322	2,392	3,115	3,147	3,520	1,277	0,810	6,138	5,692
	Maximum	3,727	3,080	5,386	4,909	3,856	5,528	5,071	5,460	4,173	5,233	10,388	11,071
	Moyenne	3,090	1,725	4,233	4,042	3,322	4,416	4,330	4,245	3,154	3,245	8,385	7,781
	Ecart-type	0,630	0,966	0,848	0,607	0,502	0,870	0,750	0,813	0,995	1,438	1,530	2,289

Zone d'étude	Statistique	POD (μmol/L)												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,132	0,671	0,470	0,107	0,165	0,074	0,000	0,000	0,018	0,021	0,011	0,000	0,132
	Maximum	0,322	0,953	0,705	0,298	0,326	0,235	0,178	0,505	0,083	0,158	0,225	0,256	0,322
	Moyenne	0,195	0,848	0,614	0,204	0,234	0,149	0,105	0,109	0,052	0,086	0,104	0,061	0,195
	Ecart-type	0,077	0,093	0,063	0,054	0,049	0,042	0,050	0,115	0,021	0,032	0,056	0,063	0,077
Baies du Canal	Minimum	0,064	0,708	0,442	0,001	0,130	0,019	0,009	0,035	0,003	0,059	0,033	0,000	0,064
	Maximum	0,220	0,920	0,699	0,255	0,251	0,135	0,269	0,150	0,120	0,414	0,134	0,121	0,220
	Moyenne	0,127	0,847	0,607	0,208	0,162	0,091	0,110	0,109	0,058	0,132	0,084	0,041	0,127
	Ecart-type	0,048	0,064	0,081	0,080	0,041	0,043	0,077	0,038	0,035	0,109	0,029	0,045	0,048
Baie du Prony	Minimum	0,124	0,596	0,552	-0,013	0,126	0,063	0,000	0,000	0,003	0,028	0,036	0,039	0,124
	Maximum	0,374	0,942	0,723	0,240	0,238	0,192	0,176	0,218	0,213	0,271	0,131	0,171	0,374
	Moyenne	0,228	0,776	0,624	0,153	0,167	0,148	0,074	0,096	0,110	0,109	0,070	0,081	0,228
	Ecart-type	0,085	0,105	0,048	0,072	0,037	0,038	0,055	0,060	0,058	0,077	0,030	0,037	0,085
Ile Ouen	Minimum	0,105	0,792	0,555	0,067	0,174	0,134	0,033	0,000	0,019	0,007	0,066	0,018	0,105
	Maximum	0,329	1,050	0,709	0,161	0,203	0,269	0,159	0,122	0,099	0,111	0,162	0,174	0,329
	Moyenne	0,211	0,875	0,620	0,120	0,191	0,187	0,128	0,054	0,063	0,065	0,100	0,101	0,211
	Ecart-type	0,104	0,092	0,065	0,036	0,011	0,046	0,047	0,055	0,032	0,038	0,033	0,059	0,104

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	10,760	6,370	8,513	-	6,152	9,472	6,900	1,270	5,000	5,000	0,050	0,000
	Maximum	28,070	12,110	18,268	-	15,086	21,512	11,400	13,730	19,167	24,167	0,130	13,839
	Moyenne	17,604	8,147	12,139	-	11,686	14,409	8,327	6,447	9,000	8,278	0,074	5,490
	Ecart-type	5,118	1,514	3,039	-	2,665	4,023	1,120	3,391	3,974	5,142	0,019	3,742
Baies du Canal	Minimum	8,850	5,160	10,801	-	9,498	11,398	7,800	7,710	3,333	4,167	0,060	3,802
	Maximum	25,960	11,500	16,044	-	61,849	22,230	13,800	16,010	18,333	15,000	0,120	7,949
	Moyenne	17,246	6,911	12,674	-	17,246	16,164	9,267	10,493	7,870	7,593	0,090	5,231
	Ecart-type	5,588	2,157	1,957	-	16,900	4,284	1,840	2,933	4,332	3,472	0,017	1,369
Baie du Prony	Minimum	8,410	5,160	7,932	-	6,152	8,570	5,600	1,270	3,333	2,500	0,050	0,000
	Maximum	28,070	27,890	27,071	-	61,849	34,740	22,600	16,010	19,167	24,167	0,170	43,838
	Moyenne	15,908	11,252	13,603	-	15,656	16,855	10,799	8,586	9,575	7,803	0,090	8,847
	Ecart-type	5,119	7,494	4,975	-	13,103	8,071	5,106	4,093	5,483	5,031	0,031	10,031
Ile Ouen	Minimum	11,820	6,690	9,404	-	11,939	12,750	10,000	8,150	5,000	5,000	0,090	3,940
	Maximum	17,820	27,890	20,083	-	16,781	34,740	22,600	14,440	9,167	8,333	0,150	10,741
	Moyenne	14,332	13,643	13,601	-	13,658	18,597	15,367	10,735	7,083	6,806	0,120	6,769
	Ecart-type	2,451	7,926	4,309	-	1,701	8,058	5,446	2,318	1,728	1,701	0,027	2,667

Zone d'étude	Statistique	NOP (μmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	1,120	0,920	0,784	0,755	0,542	0,823	0,702	0,559	0,697	0,660	0,488	0,705
	Maximum	3,540	3,110	1,349	1,227	0,933	1,904	1,142	1,149	2,732	4,514	1,304	1,345
	Moyenne	1,753	1,909	1,043	0,921	0,737	1,210	0,857	0,802	1,414	1,420	0,688	0,923
	Ecart-type	0,792	0,751	0,160	0,133	0,113	0,362	0,142	0,157	0,526	1,160	0,231	0,179
Baies du Canal	Minimum	0,960	0,780	0,948	0,851	0,590	0,744	0,710	0,876	0,615	0,732	0,500	0,688
	Maximum	5,010	3,010	1,689	2,842	1,328	1,823	1,179	1,609	1,930	1,450	1,062	1,682
	Moyenne	2,120	1,354	1,223	1,275	0,903	1,197	0,862	1,173	1,080	0,970	0,768	0,982
	Ecart-type	1,243	0,677	0,236	0,608	0,247	0,311	0,143	0,265	0,395	0,265	0,172	0,308
Baie du Prony	Minimum	0,960	0,780	0,784	0,755	0,542	0,744	0,702	0,488	0,615	0,387	0,488	0,562
	Maximum	5,010	6,250	3,531	2,842	1,328	2,687	4,620	1,819	2,732	4,514	1,345	1,682
	Moyenne	1,790	2,684	1,434	1,224	0,882	1,313	1,170	0,998	1,439	1,515	0,736	0,999
	Ecart-type	1,045	2,010	0,874	0,679	0,226	0,637	0,978	0,329	0,644	1,261	0,214	0,354
Ile Ouen	Minimum	1,170	1,370	0,799	0,996	0,731	1,022	0,928	1,000	0,948	0,965	0,712	0,562
	Maximum	1,570	6,250	3,531	1,331	1,051	2,687	1,581	1,316	1,428	4,264	1,021	1,292
	Moyenne	1,417	3,395	1,509	1,188	0,930	1,369	1,284	1,183	1,110	1,988	0,900	0,865
	Ecart-type	0,147	2,301	1,025	0,122	0,129	0,648	0,220	0,121	0,170	1,278	0,130	0,293

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,051	0,002	0,000	0,038	0,053	0,038	0,029	0,049	0,061	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,080	0,107	0,083	0,091	0,094	0,089	0,100	0,119	0,120	0,089	0,115	0,098
	Moyenne	0,061	0,060	0,017	0,060	0,065	0,054	0,052	0,070	0,088	0,055	0,072	0,059
	Ecart-type	0,010	0,027	0,022	0,019	0,010	0,014	0,019	0,017	0,018	0,013	0,027	0,015
Baies du Canal	Minimum	0,069	0,034	0,000	0,052	0,060	0,051	0,030	0,077	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,119	0,141	0,045	0,260	0,123	0,087	0,115	0,140	0,117	0,054	0,108	0,111
	Moyenne	0,089	0,080	0,017	0,088	0,091	0,068	0,047	0,107	0,081	0,051	0,080	0,061
	Ecart-type	0,019	0,033	0,016	0,066	0,022	0,013	0,026	0,023	0,022	0,002	0,017	0,020
Baie du Prony	Minimum	0,051	0,002	0,000	0,038	0,053	0,038	0,029	0,046	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,119	0,141	0,106	0,260	0,123	0,096	0,275	0,151	0,120	0,245	0,115	0,111
	Moyenne	0,075	0,064	0,026	0,085	0,076	0,062	0,067	0,090	0,090	0,082	0,074	0,064
	Ecart-type	0,023	0,029	0,035	0,073	0,021	0,018	0,062	0,034	0,021	0,068	0,020	0,022
Ile Ouen	Minimum	0,062	0,020	0,000	0,059	0,063	0,054	0,051	0,108	0,073	0,065	0,061	0,050
	Maximum	0,105	0,072	0,106	0,084	0,101	0,076	0,112	0,151	0,109	0,245	0,090	0,082
	Moyenne	0,081	0,054	0,045	0,073	0,079	0,064	0,075	0,128	0,086	0,114	0,074	0,059
	Ecart-type	0,020	0,018	0,045	0,010	0,014	0,009	0,024	0,015	0,013	0,067	0,010	0,013

ANNEXE 9

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de la chlorophylle a mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2020 lors des campagnes semestrielles « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,376	0,501	0,258	0,014	0,385	0,250	0,332	0,024	0,087	0,322	0,195	0,190
	Maximum	0,773	1,120	1,168	0,427	0,601	0,641	0,654	0,491	0,228	0,918	0,880	0,483
	Moyenne	0,532	0,911	0,661	0,281	0,496	0,442	0,462	0,283	0,165	0,561	0,551	0,370
	Ecart-type	0,119	0,152	0,238	0,113	0,061	0,132	0,087	0,117	0,043	0,135	0,188	0,087
Baie du Canal	Minimum	0,357	0,322	0,243	0,016	0,309	0,066	0,284	0,257	0,145	0,339	0,136	0,140
	Maximum	0,802	0,949	1,205	0,406	0,694	0,454	0,539	0,870	0,330	0,738	0,992	1,218
	Moyenne	0,556	0,613	0,644	0,281	0,539	0,307	0,427	0,570	0,238	0,568	0,609	0,464
	Ecart-type	0,153	0,248	0,275	0,140	0,110	0,118	0,089	0,162	0,071	0,116	0,277	0,338
Baie du Prony	Minimum	0,265	0,322	0,243	0,014	0,279	0,066	0,000	0,024	0,087	0,261	0,136	0,064
	Maximum	1,200	1,120	3,341	0,659	0,880	1,344	0,654	1,132	0,551	0,918	1,345	1,218
	Moyenne	0,595	0,837	0,835	0,269	0,560	0,414	0,386	0,466	0,220	0,564	0,682	0,498
	Ecart-type	0,231	0,252	0,746	0,147	0,141	0,301	0,150	0,290	0,111	0,136	0,303	0,327
Ile Ouen	Minimum	0,334	0,630	0,260	0,145	0,485	0,216	0,247	0,141	0,193	0,270	0,525	0,294
	Maximum	1,009	0,923	0,952	0,357	0,771	0,606	0,541	0,636	0,323	0,605	0,957	0,365
	Moyenne	0,759	0,767	0,556	0,255	0,670	0,320	0,339	0,453	0,246	0,516	0,827	0,332
	Ecart-type	0,256	0,101	0,259	0,068	0,098	0,145	0,107	0,212	0,046	0,124	0,158	0,031

ANNEXE 10

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

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, Cr(VI), Cr-total, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2020 lors des campagnes semestrielles « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,150	-	-	-	1,700	0,000	1,400	1,000	1,000	1,400	1,690	1,780
	Maximum	0,470	-	-	-	1,900	1,330	2,500	2,600	2,400	1,900	2,310	2,360
	Moyenne	0,323	-	-	-	1,800	0,865	1,867	1,843	1,713	1,660	1,973	1,956
	Ecart-type	0,093	-	-	-	0,065	0,383	0,320	0,486	0,479	0,140	0,217	0,156
Baies du Canal	Minimum	0,160	-	-	-	1,600	0,608	1,000	1,200	1,000	1,300	1,310	1,710
	Maximum	0,480	-	-	-	2,000	1,777	2,400	3,100	2,800	1,900	2,390	2,330
	Moyenne	0,351	-	-	-	1,789	0,982	1,847	1,814	1,822	1,578	1,892	1,971
	Ecart-type	0,097	-	-	-	0,145	0,325	0,428	0,597	0,487	0,192	0,301	0,189
Baie du Prony	Minimum	0,150	-	-	-	1,500	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,310	1,650
	Maximum	0,620	-	-	-	2,000	1,777	2,500	3,100	2,800	1,900	2,390	2,360
	Moyenne	0,347	-	-	-	1,818	0,997	1,749	1,767	1,602	1,638	1,954	1,950
	Ecart-type	0,134	-	-	-	0,121	0,423	0,462	0,555	0,579	0,210	0,252	0,202
Ile Ouen	Minimum	0,330	-	-	-	1,700	0,753	1,300	1,000	1,000	1,500	1,580	1,670
	Maximum	0,500	-	-	-	1,800	1,115	1,700	2,300	1,500	1,700	2,230	2,020
	Moyenne	0,400	-	-	-	1,767	0,922	1,467	1,567	1,267	1,600	1,858	1,875
	Ecart-type	0,057	-	-	-	0,052	0,135	0,137	0,568	0,258	0,089	0,215	0,115

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

Zone d'étude	Statistique	Co (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	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
	Maximum	0,027	0,044	0,042	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Moyenne	0,027	0,032	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Ecart-type	0,000	0,006	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Baies du Canal	Minimum	0,027	0,029	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Maximum	0,102	0,102	0,082	0,058	0,046	0,109	0,086	0,114	0,106	0,130	0,217	0,091
	Moyenne	0,039	0,057	0,038	0,033	0,032	0,043	0,042	0,043	0,049	0,049	0,064	0,045
	Ecart-type	0,025	0,027	0,017	0,011	0,008	0,028	0,024	0,033	0,030	0,036	0,073	0,026
Baie du Prony	Minimum	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Maximum	0,102	0,270	0,252	0,092	0,061	0,109	0,111	0,114	0,107	0,130	0,217	0,091
	Moyenne	0,033	0,053	0,045	0,035	0,031	0,034	0,037	0,033	0,037	0,039	0,041	0,034
	Ecart-type	0,019	0,061	0,058	0,018	0,010	0,021	0,024	0,022	0,021	0,029	0,049	0,018
Ile Ouen	Minimum	0,027	0,039	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Maximum	0,048	0,058	0,054	0,052	0,027	0,031	0,061	0,032	0,032	0,027	0,034	0,041
	Moyenne	0,036	0,050	0,033	0,034	0,027	0,028	0,040	0,028	0,029	0,027	0,028	0,031
	Ecart-type	0,008	0,008	0,011	0,010	0,000	0,002	0,016	0,002	0,002	0,000	0,003	0,006

Zone d'étude	Statistique	CrVI (µg/L)*												
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,113	0,106	0,098	0,086	0,067	0,096	0,115	0,102	0,116	0,060	0,154	0,085	0,113
	Maximum	0,147	0,251	0,231	0,116	0,087	0,160	0,144	0,132	0,145	0,150	0,189	0,117	0,147
	Moyenne	0,131	0,143	0,114	0,094	0,078	0,128	0,127	0,117	0,131	0,131	0,168	0,105	0,131
	Ecart-type	0,012	0,035	0,033	0,011	0,005	0,015	0,008	0,010	0,007	0,023	0,008	0,008	0,012
Baies du Canal	Minimum	0,092	0,110	0,107	0,098	0,079	0,119	0,124	0,115	0,112	0,134	0,178	0,106	0,092
	Maximum	0,277	0,230	0,232	0,264	0,348	0,546	0,243	0,272	0,934	1,004	4,200	0,352	0,277
	Moyenne	0,144	0,153	0,133	0,133	0,130	0,218	0,154	0,151	0,299	0,292	0,856	0,141	0,144
	Ecart-type	0,057	0,036	0,038	0,051	0,086	0,161	0,035	0,052	0,281	0,284	1,390	0,080	0,057
Baie du Prony	Minimum	0,089	0,106	0,098	0,086	0,067	0,079	0,115	0,102	0,107	0,060	0,154	0,085	0,089
	Maximum	0,409	0,776	1,222	0,264	0,513	0,638	0,325	0,295	0,934	1,004	4,200	0,352	0,409
	Moyenne	0,153	0,191	0,204	0,111	0,116	0,161	0,151	0,134	0,207	0,236	0,457	0,124	0,153
	Ecart-type	0,078	0,165	0,285	0,044	0,111	0,135	0,051	0,047	0,204	0,238	1,037	0,064	0,078
Ile Ouen	Minimum	0,089	0,136	0,136	0,088	0,083	0,079	0,134	0,115	0,136	0,154	0,159	0,099	0,089
	Maximum	0,219	0,160	0,238	0,138	0,096	0,203	0,190	0,147	0,214	0,236	0,220	0,125	0,219
	Moyenne	0,142	0,149	0,162	0,118	0,090	0,147	0,166	0,130	0,191	0,205	0,189	0,113	0,142
	Ecart-type	0,047	0,008	0,039	0,021	0,006	0,053	0,021	0,011	0,030	0,032	0,028	0,011	0,047

Zone d'étude	Statistique	Cr-TOT (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,177	0,150	0,127	-	0,097	0,135	0,127	0,137	0,142	0,142	0,180	0,105
	Maximum	0,676	0,270	0,702	-	0,255	0,176	0,203	0,255	0,249	0,214	0,356	0,198
	Moyenne	0,372	0,181	0,288	-	0,144	0,154	0,166	0,155	0,163	0,174	0,253	0,159
	Ecart-type	0,181	0,038	0,183	-	0,049	0,012	0,023	0,029	0,026	0,021	0,039	0,028
Baies du Canal	Minimum	0,187	0,150	0,184	-	0,103	0,147	0,172	0,153	0,162	0,160	0,228	0,156
	Maximum	0,730	0,170	0,488	-	0,425	0,584	0,334	0,329	1,058	1,116	4,240	0,527
	Moyenne	0,383	0,160	0,320	-	0,177	0,239	0,207	0,222	0,382	0,414	0,995	0,221
	Ecart-type	0,177	0,008	0,112	-	0,102	0,165	0,052	0,071	0,304	0,348	1,452	0,118
Baie du Prony	Minimum	0,174	0,150	0,127	-	0,097	0,133	0,127	0,137	0,142	0,140	0,180	0,105
	Maximum	0,730	0,450	1,857	-	0,425	1,670	0,344	0,329	1,058	2,970	4,240	0,527
	Moyenne	0,350	0,196	0,494	-	0,164	0,263	0,193	0,173	0,270	0,402	0,536	0,186
	Ecart-type	0,177	0,079	0,459	-	0,077	0,390	0,049	0,052	0,235	0,719	1,027	0,099
Ile Ouen	Minimum	0,236	0,170	0,194	-	0,119	0,133	0,164	0,145	0,188	0,158	0,222	0,148
	Maximum	0,404	0,250	1,000	-	0,168	0,239	0,217	0,185	0,257	0,276	0,268	0,211
	Moyenne	0,302	0,195	0,579	-	0,138	0,196	0,195	0,163	0,225	0,229	0,249	0,178
	Ecart-type	0,057	0,028	0,312	-	0,023	0,037	0,022	0,015	0,024	0,040	0,019	0,024

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,040	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
	Maximum	0,100	0,327	0,182	0,254	0,043	0,049	0,048	0,026	0,065	0,025	0,078	0,099
	Moyenne	0,080	0,091	0,052	0,080	0,027	0,028	0,027	0,025	0,031	0,025	0,031	0,032
	Ecart-type	0,035	0,092	0,048	0,092	0,005	0,008	0,006	0,000	0,012	0,000	0,015	0,019
Baies du Canal	Minimum	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
	Maximum	0,100	0,235	0,093	0,192	0,065	0,121	0,025	0,025	1,402	0,041	0,025	0,080
	Moyenne	0,069	0,058	0,035	0,097	0,032	0,036	0,025	0,025	0,253	0,027	0,025	0,032
	Ecart-type	0,025	0,067	0,022	0,070	0,013	0,032	0,000	0,000	0,486	0,005	0,000	0,018
Baie du Prony	Minimum	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
	Maximum	0,160	0,864	0,182	0,630	0,075	0,275	0,266	0,203	1,402	0,055	0,144	0,099
	Moyenne	0,066	0,202	0,061	0,141	0,031	0,049	0,047	0,049	0,176	0,030	0,041	0,032
	Ecart-type	0,039	0,282	0,052	0,157	0,013	0,067	0,062	0,062	0,380	0,011	0,042	0,019
Ile Ouen	Minimum	0,025	0,058	0,025	0,098	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
	Maximum	0,160	0,864	0,123	0,630	0,047	0,275	0,067	0,203	0,100	0,055	0,144	0,049
	Moyenne	0,091	0,244	0,059	0,241	0,031	0,070	0,045	0,055	0,044	0,030	0,045	0,029
	Ecart-type	0,049	0,311	0,050	0,194	0,009	0,101	0,022	0,073	0,031	0,012	0,049	0,010

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,070	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,059
	Maximum	1,020	0,164	0,068	0,204	0,068	0,068	0,201	0,068	0,352	0,093	0,134	0,177
	Moyenne	0,180	0,099	0,068	0,081	0,068	0,068	0,116	0,068	0,083	0,064	0,064	0,078
	Ecart-type	0,265	0,034	0,000	0,035	0,000	0,000	0,046	0,000	0,076	0,011	0,019	0,039
Baies du Canal	Minimum	0,100	0,073	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,059
	Maximum	0,450	0,290	0,178	0,135	0,068	0,166	0,243	0,068	0,116	0,138	0,059	0,082
	Moyenne	0,199	0,167	0,080	0,083	0,068	0,097	0,121	0,068	0,070	0,085	0,059	0,065
	Ecart-type	0,108	0,070	0,037	0,023	0,000	0,034	0,051	0,000	0,022	0,034	0,000	0,010
Baie du Prony	Minimum	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,059
	Maximum	1,020	0,290	0,178	0,230	0,068	0,166	0,443	0,088	0,352	0,138	0,134	0,177
	Moyenne	0,244	0,140	0,083	0,089	0,068	0,083	0,166	0,069	0,087	0,078	0,064	0,070
	Ecart-type	0,318	0,067	0,039	0,043	0,000	0,028	0,139	0,005	0,076	0,027	0,019	0,031
Ile Ouen	Minimum	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,059
	Maximum	0,150	0,194	0,068	0,230	0,068	0,143	0,443	0,068	0,140	0,129	0,059	0,059
	Moyenne	0,108	0,122	0,068	0,102	0,068	0,093	0,214	0,068	0,073	0,075	0,059	0,059
	Ecart-type	0,032	0,050	0,000	0,065	0,000	0,027	0,164	0,000	0,033	0,028	0,000	0,000

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,090	0,080	0,038	0,029	0,033	0,029	0,057	0,029	0,034	0,033	0,072	0,073
	Maximum	0,140	0,146	0,134	0,150	0,052	0,082	0,292	0,093	0,191	0,212	0,200	0,269
	Moyenne	0,126	0,110	0,067	0,090	0,042	0,050	0,169	0,047	0,077	0,071	0,140	0,123
	Ecart-type	0,015	0,023	0,028	0,044	0,006	0,016	0,070	0,017	0,051	0,047	0,039	0,048
Baies du Canal	Minimum	0,130	0,179	0,098	0,053	0,039	0,087	0,061	0,034	0,137	0,055	0,167	0,100
	Maximum	0,660	0,543	0,383	0,496	0,251	0,504	0,992	0,394	0,520	0,547	2,585	0,670
	Moyenne	0,253	0,290	0,186	0,186	0,116	0,226	0,357	0,140	0,269	0,233	0,505	0,250
	Ecart-type	0,171	0,115	0,110	0,128	0,080	0,148	0,264	0,110	0,125	0,200	0,782	0,164
Baie du Prony	Minimum	0,090	0,080	0,028	0,029	0,033	0,029	0,057	0,029	0,034	0,033	0,072	0,073
	Maximum	0,660	1,271	4,157	1,127	0,462	0,692	1,107	0,396	0,520	0,547	2,585	0,670
	Moyenne	0,198	0,249	0,474	0,240	0,106	0,150	0,278	0,105	0,166	0,175	0,333	0,177
	Ecart-type	0,142	0,290	1,165	0,274	0,117	0,172	0,268	0,090	0,147	0,178	0,626	0,145
Ile Ouen	Minimum	0,180	0,205	0,101	0,234	0,052	0,110	0,173	0,054	0,037	0,039	0,152	0,151
	Maximum	0,330	0,332	0,258	0,422	0,136	0,285	0,525	0,143	0,299	0,191	0,270	0,274
	Moyenne	0,255	0,242	0,150	0,290	0,099	0,198	0,297	0,097	0,142	0,089	0,209	0,187
	Ecart-type	0,056	0,046	0,065	0,068	0,029	0,075	0,130	0,030	0,100	0,055	0,039	0,049

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,120	0,086	0,030	0,048	0,041	0,051	0,088	0,045	0,068	0,041	0,119	0,075
	Maximum	0,160	0,126	0,219	0,131	0,085	0,120	0,239	0,135	0,239	0,155	0,222	0,240
	Moyenne	0,141	0,106	0,078	0,091	0,067	0,077	0,171	0,079	0,132	0,084	0,149	0,142
	Ecart-type	0,011	0,011	0,046	0,028	0,013	0,020	0,045	0,021	0,043	0,032	0,028	0,052
Baies du Canal	Minimum	0,150	0,150	0,121	0,122	0,074	0,096	0,104	0,053	0,243	0,095	0,195	0,142
	Maximum	0,820	0,654	0,321	0,235	0,726	1,082	0,755	0,571	1,131	1,438	2,734	0,583
	Moyenne	0,277	0,322	0,179	0,171	0,261	0,306	0,309	0,214	0,478	0,416	0,703	0,229
	Ecart-type	0,212	0,182	0,076	0,048	0,247	0,337	0,197	0,179	0,351	0,466	0,965	0,150
Baie du Prony	Minimum	0,120	0,086	0,030	0,048	0,041	0,051	0,088	0,045	0,068	0,020	0,117	0,075
	Maximum	0,820	1,062	1,440	0,369	0,726	1,082	1,128	0,571	1,131	1,861	2,734	0,583
	Moyenne	0,216	0,224	0,208	0,158	0,174	0,183	0,302	0,147	0,266	0,294	0,350	0,171
	Ecart-type	0,173	0,240	0,349	0,086	0,189	0,253	0,285	0,125	0,265	0,464	0,662	0,121
Ile Ouen	Minimum	0,170	0,174	0,053	0,194	0,073	0,118	0,240	0,102	0,107	0,101	0,117	0,134
	Maximum	0,340	0,283	0,292	0,300	0,403	0,247	1,128	0,184	0,297	0,306	0,234	0,236
	Moyenne	0,268	0,221	0,165	0,231	0,175	0,186	0,510	0,142	0,211	0,172	0,191	0,182
	Ecart-type	0,061	0,036	0,082	0,037	0,116	0,054	0,360	0,027	0,093	0,070	0,044	0,038