



Projet « SEARSÉ »

Programme « Au fil de l'eau »

Rapport final

Le 31.05.2023

CRESICA
Consortium pour la recherche, l'enseignement supérieur et l'innovation
en Nouvelle-Calédonie

Nos membres



Avec le soutien
des partenaires financiers



www.cresica.nc

Sommaire

1. Présentation.....	7
2. Synthèse à destination du public.....	9
Contexte.....	9
Objectif(s).....	9
Phase(s).....	10
Résultat(s) et interprétation(s).....	10
Conclusion(s).....	11
3. Enjeux et objectifs du projet.....	13
4. Matériels et méthodes.....	16
5. Résultats et discussions.....	25
6. Conclusions et perspectives.....	38
7. Eléments de valorisation prévus et obtenus.....	41
8. Références.....	43
9. Annexes.....	48
Annexe 1 : données géographiques.....	48
Annexe 1a – Positions géographiques des stations échantillonnées en avril 2019.....	48
Annexe 1b – Positions géographiques des stations échantillonnées en septembre 2019 et décembre 2020.....	48
Annexe 1c – Positions géographiques des stations échantillonnées en février 2020.....	48
Annexe 2 : données hydrologiques.....	48
Annexe 2a – Informations sur les stations hydrométriques et les bassins versants (BV) (d’après Lalau et al., 2019 ; Domet, 2022).....	49
Annexe 2b – Informations sur les débits d’étiage aux limnimètres (Sources : Romieux et Wotling, 2016 et Domet, 2022).....	49
Annexe 2c – Informations sur les étiages aux stations échantillonnées.....	49
Annexe 2d – Caractérisation des débits 2018 aux différentes stations.....	50
Annexe 3 – Evolution des pluies sur Nouméa du 1 ^{er} décembre 2017 au 31 décembre 2020.....	51
Annexe 4 – Evolution des débits estimés aux différentes stations.....	52
Annexe 5 : Evolution des paramètres mesurés dans les rivières.....	53
Annexe 5a – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la physico-chimie (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	54
Annexe 5b – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les sels nutritifs et l’azote total dissous (NTD) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	55
Annexe 5c – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la matière organique dissoute chromophorique (CDOM) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	56
Annexe 5d – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la matière organique dissoute fluorescente (FDOM) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	57
Annexe 5e – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la matière organique particulaire (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	58

Annexe 5f – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les métaux particuliers (> 3 µm) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	59
Annexe 5g – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les métaux dissous (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	60
Annexe 5h – Les différentes classes de cytogrammes pour les autotrophes lors du suivi des rivières (phase 1 du projet).....	61
Annexe 5i – Les différentes classes de cytogrammes pour les bactéries lors du suivi des rivières (phase 1 du projet).....	62
Annexe 5j – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les bactéries et les picocyanobactéries (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	63
Annexe 5k – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : Les eucaryotes pico et nanoplanctonique (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	64
Annexe 6 – Quelques relations entre paramètres dans les eaux des rivières aux exutoires(PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	65
Annexe 7 – Statistiques descriptives à TN et TO pour les eaux douces (TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).....	66
Annexe 8 – Granulométrie des matières en suspension aux exutoires lors du passage du cyclone Hola.....	67
Annexe 9 – Comparaison des concentrations en µg.l ⁻¹ pour les métaux particuliers filtrés sur 3 µm et 0,45 µm dans les eaux des rivières (phase 1 du projet).....	68
Annexe 10 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en septembre 2019.....	69
Annexe 11 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en décembre 2020.....	70
Annexe 12 – Profils SBE mesurés en sept 2019.....	71
Annexe 13 – Profils SBE mesurés en décembre 2020.....	72
Annexe 14 – FDOM observés en période sèche (sept. 2019 et Déc. 2020).....	73
Annexe 15 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en avril 2019.....	74
Annexe 16 – Profils observés en avril 2019.....	75
Annexe 17 – FDOM en avril 2019.....	76
Annexe 18 – Classes de cytogrammes et données de fluorescences pour les autotrophes en avril 2019.....	77
Annexe 19 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en février 2020.....	78
Annexe 20 – Profils observés en février 2020 à la station « grande rade ».....	80
Annexe 21 – Profils SBE observés le 14 février 2020 le long d’un transect entre la sortie de l’estuaire de la Dumbéa et la sortie de la baie de Dumbéa.....	81
Annexe 22 – FDOM observés en février 2020.....	82
Annexe 23 – Part de la fluorescence analysée par cytométrie pour chaque groupe cellulaire détecté en février 2020.....	83

Liste des figures

Figure 1 – Triptyque « de la mine au lagon ».

Figure 2 – Triptyque « au fil de l'eau » (a) Echantillonnage à la rivière des Pirogues ; (b) Rivière des pirogues en crue ; (c) échantillonnage sous le pont de la Dumbea (© Hugues Lemonnier).

Figure 3 – Triptyque « du lagon au filtre ». (a) Bouée dérivante dans le lagon ; (b) Echantillonnage avec une bouteille Niskin ; (c) Filtration des échantillons au laboratoire Bird (IRD) pour récolter l'ADN environnemental (© Armelle Brouquier).

Figure 4 – Cartes d'occupation des sols pour les bassins versants des 4 rivières suivies. Les représentations en bas de la figure indiquent la principale pression anthropique qui touche chaque BV. Certains BV comme celui de la Coulée sont régulièrement impactés par des feux.

Figure 5 : Fresque chronologique des interventions sur le terrain pour le projet SEARSÉ.

Figure 6 : Positionnement des différentes stations d'échantillonnage aux exutoires des rivières et des stations DAVAR pour la mesure des débits.

Figure 7 : Positionnement des stations pour les échantillonnages réalisés lors de nos interventions de septembre 2019, février 2020 et décembre 2020.

Figure 8 : Tryptique « Evénements intenses suivis ». Images satellites (Himawari 8) (a) du cyclone Hola prise le 9 mars 2018, (b) de l'évènement pluvieux exceptionnel du 21 avril 2019, et (c) du cyclone Cyclone Uesi le 12 février à 7h00 (Source : Météo-France Nouvelle-Calédonie).

Figure 9 : (a) Évolution des débits horaires de la rivière des Pirogues (PI). Les losanges orange positionnent les dates de nos échantillonnages. (b) zoom sur les débits associés au cyclone Hola pour PI.

Figure 10 : Évolution de la conductivité en fonction des débits

Figure 11 : Relations entre les paramètres (a) silicates, (b) magnésium et (c) manganèse sous leurs formes dissoutes en fonction de la conductivité des eaux. Les traits en pointillés représentent les tendances issues des données.

Figure 12 : Relations entre quelques paramètres pour le particulaire en fonction des sites. (a) turbidité versus matières minérales ; (b) Fer particulaire versus matières minérales ; (c) Carbone organique particulaire (COP) versus turbidité.

Figure 13 : Concentrations en MES, en SRP et en chl a dans les eaux en fonction des débits exprimés en $m^3.s^{-1}.ha^{-1}$. Chaque point est discriminé en fonction du contexte hydrologique. Carré : débit faible et proche des valeurs d'étiage ; triangle : phase de crue Losange : phase de décrue ; Chaque couleur est associée à une station d'échantillonnage.

Figure 14 : Évolution journalière des débits (a) et de la turbidité (b) pendant le cyclone Hola. (c) relation turbidité – débit pendant cette même période.

Figure 15 : Quantités exportées en matières en suspension (MES), en fer, en Nickel et en azote pendant le cyclone Hola.

Figure 16 : (a) les différentes formes de fer exportées. (b) Formes d'azote exportées par les différents bassins versants.

Figure 17 : Biplot des ACP réalisés sur les paramètres (a) abiotiques et (b) biotiques relevés en sept 19 et déc.20.

Figure 18 : Relations entre (a) les MES et le fer particulaire ; (b) le Manganèse (Mn), (c) le nickel (Ni), (d) le cobalt (Co), le chrome (Cr) et (f) l'aluminium (Al) sous leur forme particulaire et le fer (Fe) particulaire ; Relations entre les formes dissoutes et particulaires pour (g) le fer, (h) le manganèse, (i) le nickel et (j) le cobalt. Les zones bleues et vertes représentent respectivement les stations lagunaires et côtières.

Figure 19 : Relation entre le manganèse sous sa forme dissoute et la chl a en déc. 2020. La zone bleue permet d'identifier les stations lagunaires. La zone verte montre les stations côtières.

Figure 20 : (a) Cheminement des bouées. (b) vitesse de dérive de la bouée 1 ; les flèches correspondent au sens des courant. Les stations T1 à T5 sont représentées sur l'image. Après 24 h de dérive, deux bouées étaient échouées au nord de la baie. La troisième est sortie de la baie et a été récupérée après 23 h de dérive. Elle a parcouru une distance de 13 km soit une vitesse de déplacement moyenne de 0,156 m.s-1. On notera un changement de la vitesse de déplacement de la bouée une fois dans le lagon.

Figure 21 : Trajectoires des bouées B1 et B2 une fois mise à l'eau à la station FB. Résultats de la modélisation du panache par le modèle Mars 3D après 3 et 6 jours. Les données expérimentales et de modélisation donnent des résultats similaires et montrent que l'échantillonnage a bien suivi la trajectoire du panache dans le lagon.

Figure 22 : Biplot F1/F2 de l'ACP réalisée sur les paramètres abiotiques relevés en fév. 2020.

Figure 23 : Biplot F1/F2 de l'ACP réalisée sur les paramètres biotiques relevés en fév. 2020.

Figure 24 : Évolution des concentrations en métaux dissous en fonction de la salinité. Les valeurs à zéro représentent les échantillons pour lesquels les concentrations étaient inférieures à la limite de détection de l'appareil (FB : fond de baie ; GR : grande rade ; MB : milieu de baie ; BO : bouées).

Figure 25 : Communautés de nano-protistes dans la baie de Dumbéa mises en évidence par métabarcoding lors des différents échantillonnages.

Liste des abréviations

ACP	Analyse en composante principale
CDOM	Matière organique dissoute chromophorique
CO	Station de la Coulée
CNRT	Centre National de Recherche Technologique
COD	Carbone Organique Dissous
CRESICA	Consortium de Coopération pour la Recherche, l'Enseignement Supérieur et l'Innovation en Nouvelle-Calédonie
CTD	Conductivity Temperature Depth
DAVAR	Direction des Affaires Vétérinaires Alimentaires et Rurales
FDOM	Matière organique dissoute fluorescente
GIZC	Gestion Intégrée des Écosystèmes Côtiers qui soit durable
IAC	Institut Agronomique Calédonien
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectroscopy
IRD	Institut de recherche pour le développement
LAMA	Laboratoire des moyens analytiques
LEAD	Unité de Recherche Lagons, Ecosystèmes et Aquaculture Durable
MEEF	Matrices d'Excitation et d'Emission de Fluorescence
MIO	Mediterranean Institute of Oceanography
MES	Matières en suspension
MOP	Matières organiques particulaires
NC	Nouvelle-Calédonie
NOD	Azote organique dissous
Nox	Nitrates et nitrites (azote oxydé)
NTD	Azote total dissous
PCR	Polymerase Chain reaction
PF	Station Parc Fayard
PNEC	Programme National Environnement Côtier
PI	Station de la rivière des Pirogues
SRP	Water soluble reactive phosphate
TN	Station Trou des Nurses
TO	Station de Tontouta
ZEE	Zone Economique Exclusive

1. Présentation

Titre **complet** du projet : Signature des EAux des RivièreS et des Estuaires - SEARSÉ

Durée du projet : 3 ans

Rédacteur(s) du présent rapport :

•• LEMONNIER Hugues (IFREMER, Nouméa, Nouvelle-Calédonie)

Tableau 1 - Composition de l'équipe projet (1 Conception et gestion du projet ; 2 Réponse à AO ; 3 Gestion technique du projet ; 4 participation à l'échantillonnage ; 5 Extraction et analyses génétiques, 6 bio-informatique ; 7 Analyses chimiques et biologiques ; 8 Analyse des résultats ; 9 Modélisation hydrodynamique ; 10 Ecriture ; 11 Gestion financière du projet ; 12 Gestion des commandes)

NOM	Prénom	Fonction	Nom de l'établissement	Nom du laboratoire et/ou de l'unité
LEMONNIER ^{1 ; 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11}	Hugues	Chercheur	IFREMER	LEAD / Entropie
SIANO ^{1, 4, 8, 10}	Raffaele	Chercheur	IFREMER	DYNECO
CALLAC ⁴	Nolwenn	Chercheur	IFREMER	LEAD / Entropie
LE GENDRE ^{4, 8 ; 9}	Romain	Ingénieur recherche	IFREMER	LEAD / Entropie
SOULARD ⁴	Benoît	Ingénieur recherche	IFREMER	LEAD / Entropie
SCHMITT ⁵	Sophie	Technicienne	IFREMER	DYNECO
QUERE ⁵	Julien	Technicien	IFREMER	DYNECO
ANTYPAS ^{3, 4, 7, 12}	Florence	Technicienne	IFREMER	LEAD / Entropie
ANSQUER ^{4, 5, 12}	Dominique	Technicienne	IFREMER	LEAD / Entropie
MEYNENG ^{5, 6, 8, 10}	Mathisse	Doctorante	IFREMER	DYNECO
PLOUGOULEN ^{4, 5, 6, 10}	Gwenola	VSC	IFREMER	LEAD / Entropie
LOPEZ ^{4, 7}	Etienne	VSC	IFREMER	LEAD
BROUQUIER ^{4, 7}	Armelle	VSC	IFREMER	LEAD / Entropie
BOURASSIN	Emmanuel	VSC	IFREMER	LEAD
BRISSET ⁴	Maëlle	VSC	IFREMER	LEAD / Entropie
SCHAEFER ⁹	Anne-lou	VSC	IFREMER	LEAD / Entropie
COIGNOT ^{4, 7, 8, 10}	Elise	Stagiaire M2	Université La Rochelle	LEAD
HELLY ^{7, 8, 10}	Maëlle	Stagiaire M1	Université de Pau...	LEAD
MOURAS ^{8, 10}	Naïna	Stagiaire L3	Université La Rochelle	LEAD
DUPOUY ^{8, 10}	Cécile	Chercheur	IRD	M.I.O
MOUNIER ^{8, 10}	Stéphane	Chercheur	IRD	M.I.O
RODIER ⁴	Martine	Chercheur	IRD	M.I.O
OURSSEL ⁷	Benjamin	Ingénieur	IRD	M.I.O
VIGLIOLA ⁴	Laurent	Chercheur	IRD	Entropie
JUILLOT ^{8, 10}	Farid	Chercheur	IRD	IMPMC
JAMET ⁷	Léocadie	Ingénieur d'étude	IRD	US IMAGO/LAMA
DESNUÉ ⁷	Anne	Ingénieur d'étude	IRD	US IMAGO/LAMA
GERARD ⁷	Philippe	Technicien	IRD	US IMAGO/LAMA
BERNE ⁷	Stéphanie	Assistante Ingénieure	IRD	US IMAGO/LAMA
LIUFAU ⁷	Felise	Technicienne	IRD	US IMAGO/LAMA
SIX ⁸	Christophe	Chercheur	Sorbonne université	UMR7144
GUNKEL-GRILLON ⁷	Peggy	Chercheur	UNC	ISEA
LEMESTRE ⁷	Monika	Technicienne	UNC	ISEA
BRUNET ^{4, 7}	NINA	VSC	CRESICA	CRESICA
BOHER ^{4, 7, 8, 10}	Laura	VSC	CRESICA	CRESICA
BOULAI ^{8, 10}	Emmeline	Ingénieur (CDD)	CRESICA	CRESICA
MAI ¹⁰	Tepoerau	Chercheur (CDD)	CRESICA	CRESICA
JAOUEN ¹¹	Solenn	Gestion Financière	IFREMER	LEAD / Entropie
Wassaumi ¹²	Karen	Gestion achat	IFREMER	LEAD / Entropie

Citation du document

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Lemonnier, H., Siano, R., Dupouy, C., Mounier, S., Juillot, F., Le Gendre, R., Antypas, F., Lopez, E., Meyneng, M., Plougoulen, G., Jamet, L., Ansquer, D., 2023. Rapport de fin de contrat du projet SEARSÉ financé dans le cadre du programme au Fil de l'EAU du CRESICA, 83 pages avec annexes.

Contact

Email : Hugues.Lemonnier@ifremer.fr

Mots clés

Continuum terre – mer ; activités anthropiques ; Nouvelle-Calédonie ; bassins versants ultrabasiqes ; apports fluviatiles ; cyclones ; dépressions tropicales ; rivières ; estuaires, Physico-chimie ; Matière organique ; Métaux ; Sels Nutritifs ; ADNe ; Communautés microbiennes ; Protistes ; Bactéries

2. Synthèse à destination du public

Contexte

La Nouvelle-Calédonie (NC) est reconnue comme l'un des hot spots de la biodiversité mondiale avec une des richesses endémiques les plus élevées. Ce territoire possède le plus grand complexe corallien au monde, et près de 75 % de la surface des récifs et lagons des territoires français. L'exceptionnel état de sa biodiversité marine lui a valu une inscription en 2008 au Patrimoine Mondial de l'Humanité d'une grande partie de ses lagons.

La NC est par ailleurs le siège de mutations démographiques, économiques et sociétales rapides. Si l'industrie minière a depuis un siècle façonné significativement les paysages terrestres et littoraux, il existe une volonté forte de diversifier l'économie du pays, de développer le tourisme et des filières pour aller vers plus d'autonomie. Il en résulte des pressions anthropiques croissantes sur les environnements terrestres et lagonaires, auxquelles viennent s'ajouter les conséquences encore mal connues du réchauffement climatique.

Le maintien de l'intégrité de ce bien représente un enjeu important en termes de gestion. L'évaluation de l'état écologique doit tenir compte des diverses pressions d'origine humaine, de leurs impacts et de la variabilité naturelle des écosystèmes pour être en mesure d'adopter des mesures de gestion permettant de limiter, voire supprimer, toute dégradation.



Figure 1 : Triptyque « de la mine au lagon ».

Les eaux des rivières peuvent contribuer à la dégradation de l'environnement littoral par transfert des matières accumulées lors de leur parcours (fig. 1). En effet, à leur arrivée dans le lagon, elles peuvent contenir de nombreux contaminants et polluants et présenter une forte turbidité en lien avec les processus d'érosion. Elles peuvent être ainsi une cause de dégradation des écosystèmes côtiers déjà soumis à de nombreuses pressions.

Plusieurs questions se posent donc :

- Quelle est la qualité de l'eau aux embouchures et quel est l'impact des pressions humaines terrestres ?
- Que deviennent les eaux de rivières après leur arrivée dans le lagon ?
- Quels sont les risques pour l'écosystème lagonaire en cas d'apports terrestres excessifs ?

Objectif(s)

L'objectif de ce travail de recherche était d'apporter des connaissances aux décideurs et à la communauté scientifique.

Dans le cadre d'une première action, il s'agissait de suivre pendant un an les caractéristiques de l'eau au niveau des exutoires de la Dumbéa, de la Coulée, de la Tontouta et de la rivière des Pirogues (fig. 2) et de quantifier les apports de

ces rivières dans le lagon autour du grand Nouméa. Ce travail devait en outre permettre d'identifier une signature chimique et/ou biologique des cours d'eau pour être en mesure de tracer leur devenir dans le milieu marin.

Dans le cadre d'une seconde action, l'objectif était d'étudier le devenir des eaux de rivière et de la matière associée (panaches) au sein du lagon et d'analyser les conséquences de ces apports sur le compartiment microbien. Ce compartiment qui est à la base de la chaîne alimentaire est celui qui réagit le plus vite aux perturbations environnementales.

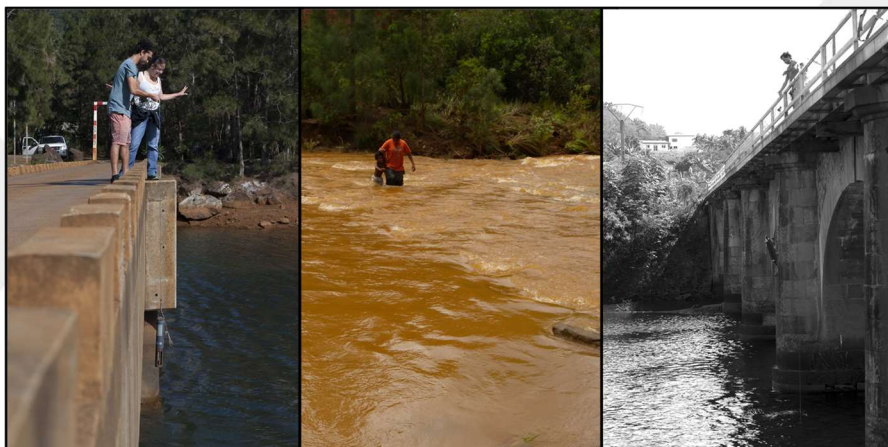


Figure 2 : Triptyque « au fil de l'eau » (a) Échantillonnage à la rivière des Pirogues ; (b) Rivière des Pirogues en crue ; (c) Échantillonnage sous le pont de la Dumbéa (© Hugues Lemonnier).

Phase(s)

Pour répondre aux questions posées dans le cadre de la première action, nous avons prélevé près de 230 échantillons d'eau à l'embouchure des quatre rivières à partir de décembre 2018 pendant un an, et ce à raison d'une campagne tous les 15 jours. Lors du passage du cyclone Hola (mars 2018), nous avons collecté des échantillons tous les jours pendant une semaine. Les échantillons collectés ont été analysés au laboratoire en mesurant une quarantaine de paramètres (température, salinité, pH, oxygène dissous, nutriments, matières minérales et organiques, métaux...).

Pour tracer le trajet des eaux de rivières dans le lagon, nous avons utilisé des bouées dérivantes (pendant et hors période de pluies) et collecté régulièrement des échantillons d'eau sur des stations fixes pour suivre de nombreux paramètres biotiques et abiotiques (fig. 3). La technique de l'ADN environnemental (marqueurs de la biodiversité) a été utilisée pour suivre la réponse des communautés microbiennes aux apports des rivières.

Résultat(s) et interprétation(s)

Les principaux résultats que nous avons obtenus en étudiant l'embouchure de quatre rivières situées entre Païta et Le Mont-Dore sont les suivants :

- À l'embouchure, la qualité de l'eau aux exutoires varie en fonction des conditions hydrologiques. Il faut donc discriminer les périodes de faibles débits, des périodes de crue et de décrue. Toutefois, des changements notables peuvent apparaître lors d'événements climatiques particuliers. L'eau de rivière subit notamment des changements intenses et furtifs lors des cyclones ou des dépressions tropicales.
- Chaque rivière présente une identité biogéochimique unique liée à la nature géologique et biologique du bassin versant qu'elle traverse. En effet, chaque bassin versant possède un sol, un sous-sol et une biodiversité qui lui sont propres. Lors des événements pluvieux, les reliefs sont érodés et la rivière s'enrichit d'une multitude de

matières minérales et organiques. Nous montrons que la turbidité aux exutoires dépend des débits et que cette relation varie en fonction des bassins versants, possiblement en lien avec le niveau de couverture végétale.

- La nature et l'intensité des activités humaines présentes sur les bassins versants ont une influence sur la qualité des eaux. La Coulée est une rivière dégradée du fait des grands incendies qui se sont fréquemment produits sur la montagne des Sources (2005, 2019), de la forte urbanisation et de l'importante activité agricole du bassin Mont-Dorien.
- Il est aujourd'hui possible d'instrumenter les rivières pour mieux suivre les risques que font courir les activités humaines sur l'environnement côtier pour permettre la mise en place de mesures correctives adaptées. Le travail réalisé sur l'eau aux exutoires permet d'optimiser notre protocole d'échantillonnage des eaux en ciblant des périodes d'intérêt et certains paramètres pour en limiter le coût.
- Les communautés microbiennes en période sèche sont structurées en lien avec un gradient côte – large. L'arrivée de l'eau de rivière dans le lagon exerce une influence forte sur cette structure et au final sur la qualité des eaux marines de surface. Lors des crues, cette influence s'étend de manière visible jusqu'au récif et peut durer 24 à 48 h. Les effets de ces perturbations sur les communautés microbiennes restent significatifs après 6 jours. Parmi ces apports, le manganèse, métal impliqué dans le processus de photosynthèse pourrait favoriser la présence de certaines microalgues dans les baies après le passage d'un évènement pluvieux. Nos travaux montrent que la résilience du système est toutefois fonction du paramètre que l'on observe. Une approche multiparamétrique est donc nécessaire si on souhaite comprendre l'influence des bassins versants sur l'écosystème lagonaire. Elle est aussi nécessaire dans le cadre de la mise en place d'un observatoire.



Figure 3 : Triptyque « du lagon au filtre ». (a) Bouée dérivante dans le lagon ; (b) Échantillonnage avec une bouteille Niskin ; (c) Filtration des échantillons au laboratoire Bird (IRD) pour récolter l'ADN environnemental (© Armelle Brouquier).

Conclusion(s)

Le projet SEARSÉ a été l'occasion de poursuivre la dynamique de recherche en lien avec les apports des bassins versants au lagon. Il nous a notamment permis de lancer et/ou de participer à des études :

- Sur l'impact des feux sur la qualité des eaux douces (étude bibliographique),
- Sur la diversité et la dynamique des picocyanobactéries dans l'environnement côtier (étude en cours),
- Sur les communautés microbiennes dans les sédiments des baies sous influence des bassins versants ultrabasiqes (projet ECOMINE en cours)
- Sur le devenir des terres rares (étude publiée)
- Sur le transfert de la matière organique dissoute en support du projet CRESICA TREMOR (étude terminée) et pour faire suite à la thèse de Chloé Martias portée par Cécile Dupouy (IRD)

Une thèse sur l'ADN environnemental vient également de démarrer dans la continuité du projet.

Nos résultats vont prendre une nouvelle dimension grâce à la thèse de Mathisse Meyneng (Ifremer) qui a démarré courant 2021 et qui devrait s'achever en 2024. Cette doctorante travaille sur la variabilité saisonnière et multi-décennale des communautés microbiennes dans les écosystèmes côtiers calédoniens, en relation avec les pressions anthropiques. L'analyse de l'ADN environnemental dans les sédiments côtiers dans le cadre d'un autre projet CRESICA dénommé ECOMINE devrait permettre de suivre les évolutions à d'autres échelles de temps.

Ces informations sont importantes pour améliorer notre connaissance sur le fonctionnement écologique du lagon, et sur l'origine et le devenir des contaminants et les risques pour la santé de cet écosystème dont dépendent de nombreuses activités économiques.

3. Enjeux et objectifs du projet

Partie présentant notamment l'état de l'art, les objectifs de départ, les problématiques, les hypothèses. Merci de préciser (1) si le projet a rencontré des difficultés (2) s'il a été réorienté.

Depuis plus de 20 ans, la Nouvelle-Calédonie (NC) est reconnue comme un des points chauds de la biodiversité mondiale avec quatre écorégions et une richesse endémique des plus élevée (Kier et al., 2009). Ce territoire dispose d'une vaste zone économique exclusive (ZEE) de presque 1 500 000 km². Il possède le plus grand complexe corallien au monde, et près de 75 % de la surface des récifs et lagons des territoires français. Cet espace maritime comprend des récifs avec des structures variées, des zones lagunaires, des mangroves et de très grandes étendues océaniques (Ceccarelli et al., 2013). En 2008, l'exceptionnel état de sa biodiversité marine a conduit à une inscription d'une partie du lagon calédonien au Patrimoine Mondial de l'Humanité.

La NC est par ailleurs le siège de mutations démographiques, économiques et sociétales rapides. Si l'industrie minière a depuis un siècle façonné significativement les paysages terrestres et littoraux (Bird, 1984 ; Ambatsian et al., 1997), il existe une volonté forte de diversifier l'économie du pays, notamment en développant le tourisme en lien avec la formidable attractivité que constitue l'environnement qu'il soit terrestre ou marin, et de tendre vers une autonomie alimentaire en développant les filières agricoles, aquacoles et de la pêche (côtière et hauturière).

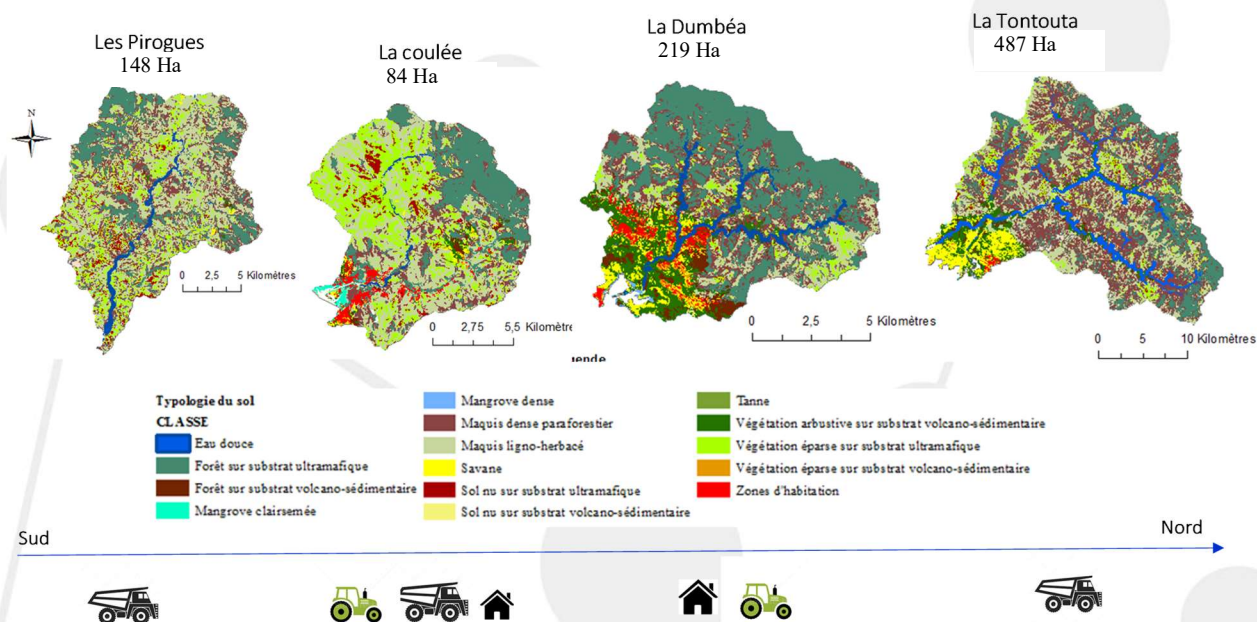
Ces différentes activités exercent néanmoins des pressions anthropiques croissantes sur les milieux littoraux et côtiers, auxquelles viennent s'ajouter les conséquences encore mal connues du changement global (Grenz et al., 2013). L'étude de la vulnérabilité de ces écosystèmes tropicaux représente un enjeu important pour la recherche mais aussi pour les gestionnaires (Stratégie Territoriale de l'Innovation, 2015). La mise en place d'une régulation pour protéger et/ou restaurer ces hydrosystèmes nécessite de définir leur état écologique et leur dynamique. En outre, elle doit tenir compte de l'existence des diverses pressions anthropiques, et de leur capacité de résilience. Cette approche écosystémique est nécessaire à la mise en œuvre d'une Gestion Intégrée des Écosystèmes Côtiers qui soit durable (GIZC).

Bien qu'ils soient essentiels pour la biodiversité et le fonctionnement de l'écosystème corallien calédonien (Biscéré et al., 2015 ; 2017) les apports terrigènes vers le lagon peuvent en cas d'excès être potentiellement néfastes et constituer une pression pour les écosystèmes littoraux (Briand et al., 2014 ; Gilbert et al., 2015 ; Heintz et al., 2015). En effet, le territoire est soumis à d'importants épisodes de pluies intenses, eux-mêmes influencés par de fortes variations climatiques interannuelles dues au phénomène climatique El Niño (Terry et al., 2008 ; Terry et Wotling, 2011 ; Desclaux et al., 2018). Le lessivage du sol, suite à ces événements pluvieux extrêmes, favorisé par la destruction des milieux terrestres par les incendies et la prolifération des espèces envahissantes, induit dans les eaux des rivières des signatures marquées d'apports d'origine terrestre et en particulier de métaux. Les eaux de rivières peuvent aussi être des vecteurs et / ou favoriser le développement de microorganismes affectant directement la santé humaine (bactéries entériques, nouveaux virus) ou menacer l'homme via la consommation de produits de la mer (Baumann et al., 2010 ; Clua et al., 2011). Le risque de ciguatera augmente avec l'enrichissement en sels nutritifs dans l'environnement et en présence de cyanobactéries (Kerbrat et al., 2010 ; Skinner et al., 2013). Le risque de contamination humaine par *Vibrio vulnificus*, qui a déjà entraîné la mort de 3 personnes en 2008 en NC après avoir consommé des huîtres (Cazorla et al., 2011), pourrait augmenter à la fois avec le réchauffement climatique, la montée des eaux et l'enrichissement environnemental dû au ruissellement des rivières (Baker-Austin et Oliver, 2018 ; Hernández et Cabanyero, 2020). En plus des risques microbiologiques, il existe des risques chimiques liés à l'impact de l'industrie minière, mais également des feux de brousse (Thery et al., 2022), sur les captages d'eau. Le niveau de contamination métallique dans les organismes dépend des caractéristiques des milieux récepteurs (Hédouin et al., 2010 ; 2017) qui peuvent même rendre certains produits de la mer impropres à la consommation (Metian et al., 2008 ; 2013). Selon le concept "One Health", La dégradation qui découle d'une gestion inadéquate de l'anthropisation des écosystèmes littoraux est une source de risque pour la santé humaine et un facteur de risque pour l'émergence de nouvelles épidémies (Destoumieux-Garzón et al., 2018).

Différentes études ont montré que les pressions anthropiques sur le lagon sont inégalement réparties sur le Territoire, et présentent souvent une variabilité temporelle et spatiale marquée (Fichez et al., 2010 ; Le Borgne et al., 2010 ; Torréton et al., 2010). Si leurs conséquences sur les composantes de l'écosystème corallien ont fait l'objet de nombreux travaux (programmes Camélia, PNEC...) et si des outils d'observation ont été mis en place (e.g. Ouillon et al., 2004 ; Fernandez et al., 2006 ; Pelletier et al., 2020), elles restent en général peu ou mal caractérisées. L'analyse de ces dernières doit

permettre de distinguer les causes à l'origine des changements qui sont observés dans les différentes composantes des écosystèmes lagunaires, afin de pouvoir anticiper des impacts ou d'y remédier à travers des stratégies de gestion appropriées.

Dans ce cadre, le projet SEARSÉ (Suivi des EAux des Rivières et des Estuaires), qui se positionne le long du continuum terre – lagon, a eu pour premier objectif de qualifier et de quantifier les apports de matières dissoutes et particulaires des rivières en lien avec le niveau d'anthropisation des bassins versants (fig. 4) et d'identifier une signature chimique et/ou biologique de ces eaux. Ce travail a été réalisé sur quatre rivières en Province Sud sur la Côte Sud-Ouest : la rivière des Pirogues, la Coulée, la Dumbéa et la Tontouta. Elles sont toutes associées à des bassins ultrabasiques.



Le second objectif du projet SEARSÉ était de tracer le devenir et l'évolution des apports terrigènes dans les panaches des rivières et leur impact sur les communautés microbiennes. La zone de Nouméa en NC a été choisie comme zone cible pour cette partie du projet, car elle a déjà fait l'objet de nombreuses recherches du fait de sa facilité d'accès et de sa proximité avec Nouméa (et du centre de recherche IRD). On citera des recherches en modélisation (Bujan et al., 2000 ; Pinazo et al., 2004 ; Jouon et al., 2006 ; Torréton et al., 2007 ; Faure et al., 2006 ; 2010 ; Fuchs et al., 2012 ; 2013 ; Desclaux et al., 2018), sur la dynamique du bactérioplancton, du phytoplancton et des virus (Briand et al., 2004 ; Jacquet et al., 2006 ; Mari et al., 2007 ; RochelleNewall et al., 2008 ; Dupouy et al., 2010), sur la diversité des copépodes planctoniques et des larves de poisson et des nématodes (Binet, 1984, 1985 ; Carassou et al., 2007), sur les cycles biogéochimiques (Grenz et al., 2003 ; Fichez et al., 2010 ; Benavides et al., 2018) et sur le comportement des métaux (Migon et al., 2007 ; Rochelle-Newall et al., 2008 ; Fernandez et al., 2017) et la matière organique (Mari et al., 2007 ; 2009), et sur le statut trophique (Carassou et al., 2008). Au cours de deux thèses, celles de Séverine Jacquet (2005) et de Chloé Martias (2018), de nombreuses données ont été récoltées sur ce site. On notera aussi la présence d'une station de référence dénommée "Moïse" en sortie de baie sur laquelle des données physiques et biologiques sont acquises depuis 2012 (Rodier, Dupouy, données archivées à OSU - PYTHEAS). Si des échantillons ont été collectés dans des panaches au cours des études citées précédemment, aucune n'avait pour but de suivre ces derniers et d'analyser la dynamique microbienne associée. Les techniques les plus modernes de biologie moléculaire basées sur le metabarcoding et les analyses PCR en temps réel de l'ADN environnemental (ADNe) peuvent désormais donner accès à une analyse plus complète de la diversité microbienne et pourraient améliorer les études sur les communautés ou les variations d'espèces menées jusqu'à présent en NC (Jacquet et al., 2006 ; Neveux et al., 2010 ; Leblanc et al., 2006 ; Lemonnier et al., 2010 ; 2016 ; 2017 ; Tenório et al., 2005 ; 2018). Ces approches par metabarcoding et PCR de l'ADNe contemporain

se sont déjà avérées être un outil précieux pour la gestion des écosystèmes, de l'évaluation de la qualité de l'eau douce (e.g. Zimmermann et al., 2015 ; Kermarrec et al., 2014) à l'analyse des impacts écologiques sur les communautés (par exemple, événement de déversement d'hydrocarbures (Bik et al., 2012), piscicultures (Pawlowski et al., 2014) et biosurveillance des vertébrés (Andruszkiewicz et al., 2017)).

4. Matériels et méthodes

La fig. 5 montre le déroulé chronologique du projet SEARSÉ qui peut se diviser en deux phases. La première de décembre 2017 à décembre 2018 a été consacrée au suivi des rivières et la seconde de janvier 2019 à décembre 2020 au suivi des estuaires. Le confinement lié au COVID a impacté notre travail en décalant notre dernière intervention sur le terrain à la fin de l'année 2020 et en perturbant de manière significative la phase analytique du projet.

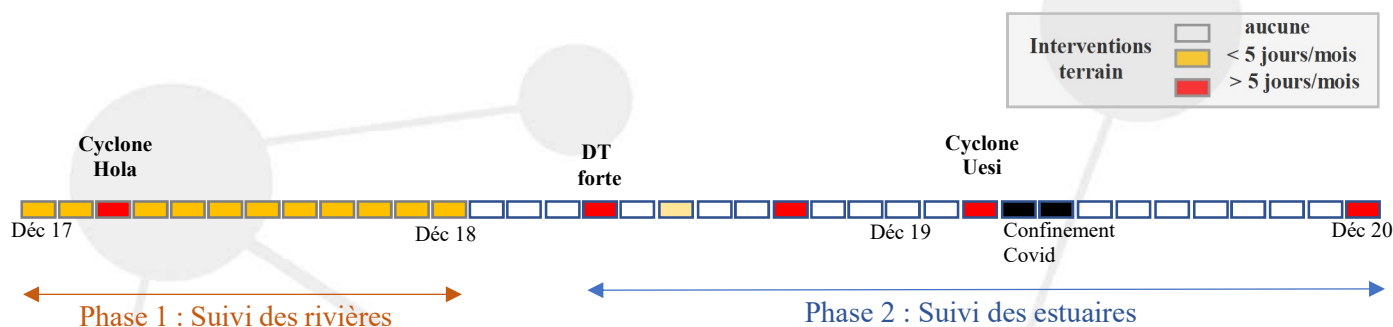


Figure 5 : Fresque chronologique des interventions sur le terrain pour le projet SEARSÉ.

4.1. Suivi des rivières

Quatre rivières ont été suivies de décembre 2017 à décembre 2018. Cinq stations d'échantillonnage ont été identifiées dont quatre proches des exutoires des rivières des Pirogues (PI), de la Coulée (CO), de la Tontouta (TO) et de la Dumbéa (PF). En raison des nombreux affluents de la Dumbéa, la station « Trou des Nurses » (TN) a été ajoutée dans le but de discriminer l'influence des différents bassins versants de la Dumbéa (Dumbéa Nord et Est versus Couvelée) (fig. 6). Les stations ont été choisies pour leur accessibilité et pour minimiser les risques en période de crue pour les personnes chargées du suivi.

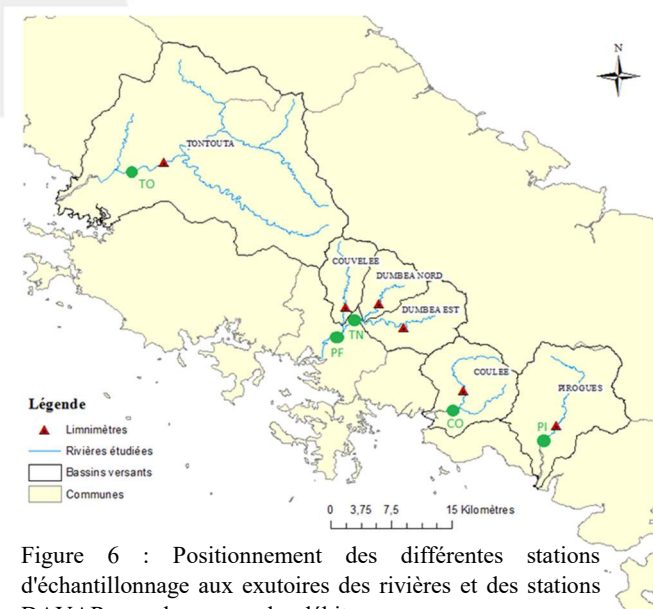


Figure 6 : Positionnement des différentes stations d'échantillonnage aux exutoires des rivières et des stations DAVAR pour la mesure des débits.

Les prélèvements ont été réalisés à partir de décembre 2017 avec un pas de temps bi-mensuel. Un échantillonnage journalier a été effectué lors du passage du Cyclone Hola afin d'étudier la dynamique temporelle d'un événement extrême. Des prélèvements ponctuels ont par ailleurs été réalisés en fonction des conditions météorologiques sur certaines stations. Les dates d'intervention ont été les suivantes : 12-déc-17, 02-janv-18, 11-janv-18, 18-janv-18, 25-janv-18, 31-janv-18, 08-févr-18, 16-févr-18, 19-févr-18, 22-févr-18, 23-févr-18, 07-mars-18, 08-mars-18, 09-mars-18, 10-mars-18, 11-mars-18, 12-mars-18, 13-mars-18, 28-mars-18, 29-mars-18, 30-mars-18, 11-avr-18, 26-avr-18, 09-mai-18, 23-mai-18, 07-juin-18, 25-juin-18, 09-juil-18, 25-juil-18, 08-août-18, 21-août-18, 30-août-18, 18-sept-18, 3-oct, 18-oct, 31-oct, 15-Nov, 29-nov, 18-déc¹. Les mesures *in situ* et les prélèvements ont été réalisés à marée basse, pour minimiser l'effet des intrusions halines. Les paramètres physico-chimiques (i.e. salinité ; turbidité en

NTU ; pH ; température en °C) ont été mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde Ysi (YSI 6600 V2-2) préalablement vérifiée

¹ Les échantillonnages nécessitaient 6 heures de travail à chaque intervention pour deux personnes de l'IFREMER.

et si besoin étalonnée au laboratoire. Les mesures ont été réalisées à 1 m de profondeur et durant 5 min (avec une acquisition à un pas de temps de 20 s). À chaque point d'échantillonnage, 10-15 litres d'eau ont été prélevés à l'aide d'une bouteille Niskin ou d'un seau puis transférés dans des bidons de 20 litres préalablement lavés à l'acide et rincés à trois reprises avec l'eau prélevée. Au laboratoire, les échantillons ont été filtrés pour réaliser différentes analyses le jour même ou conservés pour être analysés ultérieurement. Ces analyses comprenaient les matières en suspension (dont la matière organique particulaire et les matières minérales), la biomasse chlorophyllienne, la diversité cytométrique, l'abondance bactérienne, les sels nutritifs (nitrates et nitrites (Nox), ammonium, silicates, phosphates), la matière organique dissoute (dont le carbone organique chromophorique dissous (CDOM), la matière organique fluorescente dissoute (FDOM), le carbone organique total dissous (COD) et l'azote organique dissous (NOD)), le carbone et l'azote particulaires et leurs isotopes, les métaux particuliers (chrome, nickel, fer, aluminium, zinc, manganèse et cuivre) et les métaux sous forme dissoutes (calcium, magnésium, fer, manganèse, nickel, cuivre et zinc). Quelques échantillons ont été collectés pendant les périodes de fortes crues pour l'analyse de la granulométrie des matières en suspension et de leur contenu en chrome sous ses différentes formes².

4.2. Suivi des estuaires

Plusieurs campagnes ont été réalisées autour de la baie de Dumbéa dans les heures qui ont suivi des épisodes de pluies intenses. Notre objectif pour la première opération de la phase 2, qui s'est déroulée en **avril 2019**, était (1) d'obtenir une première évaluation des trajectoires et de la cinétique (temps de résidence) des eaux de surface après un épisode pluvieux intense, mais également de réaliser (2) des prélèvements au sein même du panache afin d'établir un plan d'échantillonnage et une méthodologie adaptés pour suivre les conséquences d'un événement climatique intense. Ce travail a donc permis de préparer un second suivi plus complet qui s'est déroulé en **février 2020** après le passage du cyclone Uesi. L'objectif, ici, était d'analyser la réponse des communautés microbiennes d'une baie et du lagon à un apport massif par une rivière. Ce travail a été complété par un échantillonnage sur 9 stations en période sèche dans un objectif de comparaison, la première en saison froide (**septembre 2019**) et la seconde en saison chaude (**Décembre 2020**) afin d'obtenir des conditions environnementales très contrastées pour être en mesure d'accéder à un maximum de diversité microbienne en dehors de toute influence terrigène. Des bouées dérivantes (société PacificGyre® (<https://www.pacificgyre.com/reef-drifter.aspx>)) ont été utilisées pour suivre l'eau rejetée par la rivière et suivre les courants (suivi de type lagrangien) (Spencer et al., 2014). Ces dispositifs sont des sphères pour des suivis en eau peu profonde qui restent immergées juste sous la surface, qui envoient leurs positions GPS et qui mesurent la température de la surface de la mer toutes les 10 minutes. Des déploiements ont été effectués lors de chaque campagne. Les bouées ont généralement été récupérées entre 12 et 72 heures après leur mise à l'eau.

4.2.1. Description des campagnes

Dix-huit sorties en mer ont été effectuées au cours du projet SEARSÉ. Les prélèvements ont été réalisés avec un semi-rigide loué à l'entreprise Dal'Océan (prestation privée avec pilote). Nous avons également utilisé les moyens nautiques de l'IRD (Archamia) pour un transect entre la rivière des Pirogues et le phare Amédée.

23 au 25 Avril 2019 : trois missions en mer ont été programmées à la suite d'un événement pluvieux intense. Le 23 avril lors de notre première sortie en mer, nous avons observé un panache important depuis le Nord de la baie de Dumbéa jusqu'à la sortie de cette baie (T4 et T5). Il faut noter que ce panache avait déjà été observé le lundi 22 avril depuis le fond de la baie de Dumbéa jusqu'à l'îlot Signal (Dal'Océan, com pers.). Le 25 avril, le panache n'était plus visible. Ce jour-ci, le vent était orienté principalement Est – Sud Est et d'intensité supérieure à 20 nœuds. Chaque sortie a mobilisé cinq personnes (Ifremer), trois personnes pour les échantillonnages et deux personnes pour la partie laboratoire. Dans ce cadre, trois bouées dérivantes ont été lâchées dans la baie pour suivre le déplacement des masses d'eau de surface. Un transect comprenant cinq stations (T1 à T5) a également été réalisé. A chaque station, de l'eau a été prélevée pour effectuer les mêmes mesures que celles réalisées lors du suivi des rivières. Des profils (salinité, température, fluorescence, turbidité, PAR) ont été obtenus à l'aide d'une sonde CTD 19 plus (SeaBird). Les stations T1 à T5 étaient

² Ce travail a été conduit en lien avec l'Université de Nouvelle-Calédonie (Peggy Gunkel-Grillon et Monika Le Mestre).

situées respectivement à 2,75 ; 4,43 ; 5,88 ; 8,81 et 12,82 km de l'embouchure de la rivière (point de référence : Pont de la RT1) (Annexe 1a).

10-11 Juin 2019 : Trois bouées dérivantes ont été déployées sur les stations T1, T2 et T3 le matin du 10 juin pour acquérir de l'information sur la courantologie au sein de la baie hors période pluvieuse. L'une des bouées financées par l'Ifremer dans le cadre du projet PRESENCE a cessé d'émettre et a été perdue (coût de 250000 FCP). Les deux autres bouées se sont très rapidement échouées dans la baie, la première à Gadji, la seconde à l'Ouest de l'Îlot Chèvre. Elles ont été récupérées le 11 juin.

23-25 septembre 2019 : Trois missions en mer ont été organisées autour du grand Nouméa sur trois jours pour échantillonner 9 stations (de A à I) (fig. 7 ; annexe 1b). Trois stations étaient proches des embouchures des principales rivières du grand Nouméa (La Dumbéa, la Coulée et la rivière des Pirogues) déjà suivies au cours de la phase 1 du projet (§ 4.1.). Deux stations ont été positionnées dans deux baies à Nouméa soumises à des apports urbains importants, dont l'une est proche de l'usine de traitement pyrométallurgique du nickel. Deux stations sont de type lagonaire et deux autres sont sous influence marine plus ou moins marquée.

Chaque sortie a mobilisé cinq personnes (Ifremer) pour les échantillonnages et la partie laboratoire. Des profils (salinité, température, fluorescence, turbidité, PAR) ont été obtenus à l'aide d'une sonde CTD 19 plus (SeaBird). L'eau de surface (-1 m) a été prélevée pour effectuer des analyses sur la matière organique, les sels nutritifs et les métaux. Les échantillons ont été filtrés à différentes porosités pour récolter l'ADN environnemental. Dans ce cadre, le matériel nécessaire à ces filtrations nous a été prêté par le Dr. Laurent Vigliola, chercheur IRD de l'UMR ENTROPIE. Au total, 18 échantillons ont été récoltés et pré-traités. Ce travail a été conduit pendant la mission sur le territoire de Raffaele Siano (Ifremer – Brest), spécialiste de l'écologie des protistes. Martine Rodier (IRD - Tahiti), spécialiste du plancton marin en milieu tropical et Nolwenn Callac, écologiste microbienne (Ifremer - LEAD ont aussi participé à ces missions.

12 – 17 Février 2020 : Sept missions en mer ont été organisées autour du grand Nouméa sur cette période. Chaque sortie a mobilisé quatre agents Ifremer pour les échantillonnages et la partie laboratoire. Les échantillons ont été prélevés après le passage du cyclone Uesi. Deux types de suivi ont été réalisés : un suivi temporel avec des prélèvements tous les jours sur des stations fixes, ainsi qu'un suivi de type lagrangien sur trois jours consécutifs avec des bouées dérivantes (fig. 7, annexe 1c). Les bouées ont été mises à l'eau à la sortie de l'estuaire (station fixe « fond de baie » FB). Sur les cinq déployées, les trois dernières lancées respectivement le 14, 15 et 16 février se sont rapidement échouées. Sur chaque station, de l'eau a été prélevée pour effectuer les mêmes mesures que celles réalisées en sept. 2019. Une radiale « côte – large » a été réalisée le 14 février en fin de matinée dans le cadre du projet PRESENCE par deux agents Ifremer pour réaliser des profils et des analyses de matières en suspension et de chlorophylle a dans l'optique de calibrer une image satellite Sentinel 2 pour l'étude du panache.

8 – 10 Décembre 2020 : Pour répliquer l'échantillonnage réalisé en sept 2019 dans d'autres conditions environnementales, trois stations ont été prélevées par jour pendant trois jours consécutifs (fig. 7, annexe 1b). Le premier transect a été réalisé le 8/12/2020 entre la baie de la rivière de La Dumbéa et la passe de Dumbéa et le second le 09/12/2020 entre la baie de la rivière des Pirogues et la passe de Boulari. Une troisième série de prélèvements a été réalisée le 10/12/2020 dans les baies autour de la presqu'île de Nouméa.

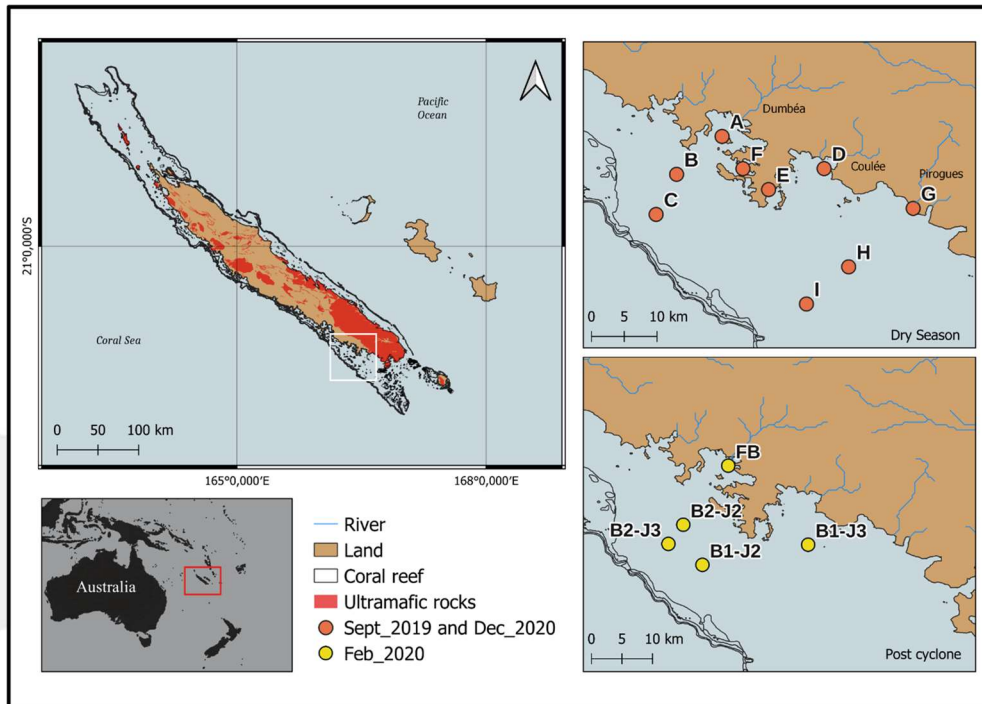


Figure 7 : Positionnement des stations pour les échantillonnages réalisés lors de nos interventions de septembre 2019, février 2020 et décembre 2020 (Meyneng et al., in prep.).

4.3. Les analyses au laboratoire

4.3.1. Eaux des rivières

La phase dissoute

Les sels nutritifs : Après homogénéisation des échantillons, environ 300 mL ont été filtrés sur filtre Whatman GF/C 47 mm (préalablement calciné à 450°C pendant 8 h) à l'aide d'une rampe de filtration à une pression < 1 bar pour supprimer les particules pouvant interférer lors des mesures optiques. Le filtrat obtenu a ensuite été transvasé dans des flacons en polypropylène de 60 mL pour l'analyse des ions NH_4^+ , phosphates (Soluble Reactive Phosphate SRP) et azote total dissous (NTD), et dans des flacons en polypropylène de 20 mL pour l'analyse des nitrites/nitrates (NO_x). Les flacons contenant le filtrat ont ensuite été conservés à -18°C jusqu'à leur analyse. Pour le dosage des silicates, l'eau a d'abord été préfiltrée à 10 μm puis filtrée par gravité à l'aide d'une seringue munie d'un filtre à 0,45 μm . Le filtrat obtenu a été conservé dans un flacon en polypropylène de 40 mL et stocké à 4°C en attendant les analyses. Le dosage des sels nutritifs dans la colonne d'eau a été réalisé en référence aux protocoles proposés par [Aminot et Kérouel \(2004\)](#). Toute la verrerie et le flaconnage utilisés pour les analyses ont été traités durant 4 h à l'HCl 10% puis rincés trois fois avec de l'eau déminéralisée puis une fois avec le filtrat d'échantillon avant utilisation afin de limiter les risques de contamination. Le dosage des ions ammonium (NH_4^+) a été réalisé par détection de Fluorescence après coloration des échantillons pendant 6h à température ambiante et à l'obscurité à l'aide d'un réactif dilué dans un tampon basique de borate de sodium composé de sulfite de sodium et d'une solution d'orthophtaldialdéhyde. Les effets de sels ont été pris en compte en établissant des courbes d'étalonnage à différentes salinités. La lecture a été menée à l'aide d'un fluorimètre Turner Trilogy équipé du module CDOM/Ammonium (7200-041) et en utilisant des cuves en méthacrylate de 1 cm d'épaisseur. Pour les SRP, la coloration a été réalisée à partir de deux réactifs dilués dans l'acide sulfurique (2,9 $\mu\text{mol.L}^{-1}$), le premier composé d'acide ascorbique et le second d'oxotartrate d'antimoine, de potassium et d'heptamolybdate d'ammonium tétrahydraté, pendant 7 min à l'obscurité et à température ambiante. La lecture des échantillons s'est faite dans des cuves en quartz de 10 cm d'épaisseur à l'aide d'un spectrophotomètre Shimadzu UV-1800® à 885 nm avec de l'eau milliQ en référence. En raison des fortes concentrations en silicates (> 250 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) dans les eaux de rivières, les échantillons ont été dilués au 1/10^{ème} avant dosage avec de l'eau milliQ. Les réactifs R1, R2 et R3 étaient composés respectivement d'heptamolybdate d'ammonium tétrahydraté et d'acide sulfurique à 4,5 $\mu\text{mol.L}^{-1}$; d'acide oxalique dihydrate et d'acide

ascorbique. Après réaction conduite à l'obscurité et à température ambiante durant 30 min, la lecture a été réalisée à 810 nm sur le même spectromètre que les SRP dans des cuves en méthacrylate de 1 cm d'épaisseur avec de l'eau milliQ comme référence. Entre chaque lecture, les cuves ont été rincées trois fois à l'eau milliQ et au minimum une fois avec l'échantillon. Pour l'analyse de l'azote total dissous (NTD), les échantillons ont été minéralisés selon la méthode décrite par [Raimbault et al. \(1999\)](#). Durant cette étape, l'azote organique total a été minéralisé en nitrates par un oxydant fort (persulfate de potassium) en milieu légèrement basique (pH : 9), à 120°C et sous une pression égale à 1 bar. L'analyse des nitrites/nitrates (NOx) a été sous-traitée au Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) du Centre IRD Nouméa en utilisant une technique colorimétrique standard sur un Bran + Luebbe AutoAnalyser III ([Raimbault et al., 1990](#)). La concentration en azote organique dissous (NOD) pour chaque échantillon a été calculée en utilisant la formule suivante : $[NOD] = [NTD] - [NOx] - [NH_4^+]$.

La matière organique dissoute : Pour l'analyse de la matière organique chromophorique (CDOM), chaque échantillon a été filtré sur un filtre GF/F Whatman (\varnothing 0,7 μ m) préalablement calciné (450°C, 8h) et conservés à 4°C à l'abri de la lumière. Les mesures ont été réalisées rapidement à température ambiante dans une cuve en quartz de 10 cm d'épaisseur avec un spectrophotomètre Shimadzu UV-1800® entre 200 et 700 nm à un pas de 1 nm. Pour l'analyse de la fluorescence (FDOM) et du carbone organique dissous (COD), chaque échantillon a aussi été filtré sur une membrane en ester de cellulose GSWP Millipore (\varnothing 0,2 μ m) préalablement rincée à l'eau MilliQ puis avec l'échantillon à trois reprises et conservé dans des contenants prétraités à l'HCl 10 %, rincés à l'eau Mili-Q et calciné à 450°C pendant 6h. Seul l'aliquot de filtrat pour l'analyse du COD a été conservé en ajoutant 50 μ L d'acide phosphorique (H₂PO₄) ultrapur. Les filtrats ont ensuite été conservés à l'abri de la lumière à une température de 4 °C en attendant leur analyse. La fluorescence (FDOM) a été analysée par spectrofluorimétrie 3D avec un spectrofluorimètre Perkin Elmer LS55 à l'IRD Nouméa, en collaboration avec le projet TREMOR (programme CRESICA - Au fil de l'eau) porté par Cécile Dupouy (UMR - MIO)³. La méthode des matrices d'excitation et d'émission de fluorescence (MEEF) permet d'établir une cartographie 3D de la composition en fluorophores. Les MEEFs ont été traitées à l'aide du programme informatique ProgMEEF (décrit par le Mediterranean Institute of Oceanography (MIO) – Université de Toulon, 2018). Ces données ont ensuite été analysées par une méthode statistique d'analyse factorielle parallèle (PARAFAC) qui décompose les données multidimensionnelles afin d'identifier les fluorophores présents dans les échantillons. Avec cette approche, seuls les groupes de fluorophores dominants qui se trouvent dans la majorité des échantillons testés sont retenus par l'algorithme pour un CONCORDIA donné (60%) ([Mounier et al., 2011](#)). Les échantillons ont été analysés à température ambiante dans une cuve en quartz de 1 cm d'épaisseur. Entre chaque analyse, la cuve a été rincée une première fois à HCl 10 % avant d'être rincée trois fois à l'eau MilliQ. La vitesse de balayage de l'appareil a été réglée à 1200 nm/min, avec une largeur des fentes d'excitation et d'émission de 5 nm. Les gammes d'excitation et d'émission étaient respectivement de 200-500 nm et de 280-550 nm avec un temps de réponse de 0,5 s. Les données d'intensité ont été normalisées à l'intensité de diffusion Raman avant leur traitement. Les valeurs ont ensuite été transformées en unité « sulfate de quinine » (QSU). Les concentrations en carbone organique dissous (COD) ont été quantifiées à l'aide d'un TOC-VCSH (Shimadzu) équipé d'un passeur d'échantillons ASI-5000A pour les liquides. Le principe d'analyse du carbone repose sur une oxydation catalytique à haute température de l'échantillon, le dioxyde de carbone (CO₂) alors généré étant entraîné par un flux continu d'O₂ dans le système pour être détecté par infrarouge (IR) ([Ammann et al., 2000](#) ; [Callahan et al., 2004](#)). A chaque utilisation de l'appareil, une gamme d'étalonnage a été réalisée manuellement et analysée à partir d'hydrogénophthalate de potassium (C₈H₅KO₄, 99.9%, Prolabo), un matériel de référence certifié (Hansell Laboratory, University of Miami), et des blancs ont permis de valider la mesure par l'appareil. Au minimum trois mesures de chaque échantillon ont été réalisées dans le but d'obtenir un écart-type inférieur à 2%.

Les indicateurs associés à la matière organique dissoute : Afin d'estimer au mieux l'origine de la matière organique dissoute fluorescente, des indicateurs biologiques (BIX) et d'humification (HIX) peuvent être calculés avec des rapports d'intensités spécifiques issues des spectres de FDOM ([Derrien et al., 2017](#)). La MOD autochtone bactérienne présente une faible valeur (< 4) de HIX, mais une valeur élevée de BIX (> 1). Au contraire, la MOD terrestre présente une valeur

³ Ces différentes analyses ont fait l'objet de plusieurs missions sur Nouméa par le personnel IFREMER positionné sur le site de Saint-Vincent. Ces missions ont été réalisées aux dates suivantes (au minimum deux personnes par date) : 19-mars-18, 20-mars-18, 30-mars-18, 06-avr-18, 23-avr-18, 18-mai-18, 16-mai-18, 23-juil-18 et le 24-juil-18. Par la suite (semaines 43, 46 et 50 en 2018 et semaines 14, 15 en 2019), nous avons reçu un soutien analytique important de Laura Boher dans le cadre de son VSC Cresica. Elle a participé à l'analyse des FDOM, des métaux et des isotopes.

HIX élevée (> 16) mais un BIX faible (< 0,7) (Huguet et al., 2009). L'identification de ces composants est possible par comparaison avec la littérature ainsi qu'avec ceux de la base de données Open Fluor2. Le coefficient d'absorbance à 254 nm est utilisé comme indicateur de photodégradation de la CDOM.

Les métaux dissous : Le matériel utilisé a été prétraité avec une solution HCl à 10% pendant au moins 4h, rincés avec de l'eau déminéralisée puis avec l'échantillon. Après filtration avec des filtres en ester de cellulose GSWP (\varnothing 0,2 μ m), les échantillons prélevés dans les rivières ont été acidifiés avec 150 μ L de HNO₃ ultrapure et conservés dans des tubes Falcon de 50 ml. L'analyse de la concentration en Ca, Mg, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Al et Pb dans les eaux douces a été réalisée par spectrométrie à plasma à couplage inductif (ICP-OES Varian 730-ES) par l'équipe du LAMA (Centre IRD Nouméa). Pour les eaux des rivières, les analyses ont été conduites uniquement pour des salinités inférieures à 1 psu. Les valeurs pour Pb ont toujours été inférieures à la limite de détection (LDD). Les limites de quantification sont de 0,059 μ g.L⁻¹ pour Fe ; 0,028 μ g.L⁻¹ pour Mn ; 0,025 μ g.L⁻¹ pour Cu ; 0,1 μ g.L⁻¹ pour Pb ; et 1,07 μ g.L⁻¹ pour Zn. La limite de détection dans l'eau ultrapure est de 0,47 μ g.L⁻¹ pour Ni ; 2,22 μ g.L⁻¹ pour Al ; 1,07 μ g.L⁻¹ pour Cr ; 0,75 μ g.L⁻¹ pour Cu ; et 0,35 μ g.L⁻¹ pour Zn.

Les eaux prélevées en mer pendant la phase 2 ont été filtrées à 0,2 μ m avec des filtre Nucléopore et conservées dans des tubes Falcons de 50 mL et acidifiées avec 150 μ L de solution HNO₃ ultrapure. Les analyses ont été réalisées avec un ICP MS PerkinElmer NexION 350x équipé d'un passeur Seafast pour les éléments traces métalliques (ETM) et avec un spectromètre à plasma à couplage inductif (ICP-OES Varian 730-ES) pour les éléments majeurs par l'équipe du LAMA (Centre IRD Nouméa).

La phase particulaire

Les matières en suspension : La matière totale en suspension (mg.L⁻¹) a été obtenue par pesée du filtre Whatman GF/C (\varnothing = 1,2 μ m) avant et après filtration d'un volume d'eau comprise en 30 et 4000 mL en fonction de la turbidité des échantillons et après séchage à 60°C jusqu'à poids constant. Les concentrations en matière minérale (MM) et organique (MO) ont ensuite été estimées par différences de pesées avant et après une calcination de 4 h à 450°C.

Concentration en carbone, azote particulaire et isotope du carbone ($\delta^{13}C$) et de l'azote ($\delta^{15}N$) : Avant analyse, les échantillons ont été déposés sur filtres whatman GF/F 25 mm (\varnothing = 0,7 μ m) prétraités par calcination (450°C, 6h) après filtration d'un volume d'échantillon compris entre 10 et 200 mL, puis décarbonatés avec de l'acide chlorhydrique fumant à 37 % dans un dessiccateur fermé sous vide durant 6 h, avec évaporation des excès de vapeurs d'acide à pression ambiante pendant 1 nuit. Les filtres décarbonatés ont été encapsulés dans des cupules d'étain de taille 12,5 x 5 mm. Tout le matériel utilisé lors de la mise en capsule a été rincé à l'éthanol 90° afin de limiter les contaminations. Les mesures des isotopes C et N ainsi que des concentrations totales en carbone et azote ont ensuite été réalisées par le laboratoire LAMA (Centre IRD Nouméa) à l'aide d'un analyseur ¹³C¹⁵N SERCON integra.

Les métaux particuliers : Les échantillons ont été filtrés sur filtres en acétate de cellulose Merck Millipore d'une porosité de 0,45 μ m (N = 40) et des filtres PC Whatman™ Nuclepore™ d'une porosité de 3 μ m (N = 180). Les volumes filtrés variaient entre 10 et 4000 mL en fonction de la turbidité des échantillons. Chaque filtre obtenu a été pesé, puis inséré dans un tube Falcon de 50 mL en s'assurant que la face contenant la matière filtrée soit dirigée vers le haut. La minéralisation a été réalisée à 100°C durant 4 h après ajout de 6 mL d'acide chlorhydrique à 37 % et 2 mL d'acide nitrique concentré (HNO₃). Une fois les échantillons remis à température ambiante, le niveau a été complété à 15 ou 30 mL avec de l'eau milliQ en fonction des séries analysées (N = 3). L'analyse de la concentration en métaux particuliers (Cr, Fe, Mn, Ni, Al, Cu, Zn, Pb,) et en phosphore particulaire a été effectuée par spectrométrie à plasma à couplage inductif (ICP-OES Varian 730-ES) par l'équipe du LAMA (Centre IRD Nouméa). Les filtres Merck se sont révélés riches en P rendant les analyses inexploitable pour ce paramètre.

La granulométrie : Elle a été quantifiée à l'aide d'un granulomètre à diffraction laser (MASTERSIZE hydro 2000S Malvern) à l'Institut des Sciences Exactes et Appliquées (ISEA) de l'Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC). La distribution des tailles de particules comprises entre 0,02 et 1,00 μ m a été quantifiée. Cette analyse n'a pu être réalisée qu'à 6 reprises en raison d'une concentration trop faible de matières en suspension dans la plupart des prélèvements. Les échantillons analysés sont ceux prélevés à PI, CO, et PF en mars 2018 lors du passage du cyclone Hola. Les sédiments obtenus après décantation ont été analysés par voie liquide et les résultats ont été exprimés sous forme de pourcentages du volume total des différentes classes de tailles.

Les communautés microbiennes

La chlorophylle a et la phéophytine : Les échantillons déposés sur filtres GF/F 25 après filtration (volume filtré fonction de la turbidité de l'échantillon) ont été conservés à l'abri de la lumière à -80°C. Les filtres ont ensuite été broyés dans 7 mL d'acétone à 90 % (Vextrait) afin d'extraire la chlorophylle a, puis placés au frais et à l'abri de la lumière durant une nuit. Après centrifugation pendant 10 min à 2500 g, l'absorbance du surnageant (2 mL) a été mesurée à l'aide d'un fluorimètre Turner Trilogy en utilisant le module Chla (7200-40). Une première mesure de la fluorescence (F0) a été réalisée, suivie d'une seconde (Fa) après acidification avec 25 µL d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,1 mol.L⁻¹.

La cytométrie en flux : Au laboratoire, les échantillons de 1,8 mL ont été préalablement fixés pendant 15 min à l'obscurité par ajout de 72 µL de glutaraldéhyde 25 % avant d'être plongés dans de l'azote liquide. Ils ont par la suite été conservés à -80°C en attendant la phase analytique (Vaulot et al., 1989). Les échantillons ont été décongelés à température ambiante, puis analysés à l'aide d'un cytomètre en flux C6 accuri équipé de 2 lasers 488 nm (bleu) et 640 nm (rouge). Sur la base des propriétés de diffusion de la lumière par les cellules et des fluorescences rouge (FI3 : 670 LP) et orange (FI2 : 585/40 BP) dues aux pigments « chlorophylle » et « phycoérythrine », plusieurs populations ont été distinguées dans un premier sous-échantillon. Des billes fluorescentes de 1,002 µm (YG, Polysciences Inc., Europe) utilisées comme standard interne ont été systématiquement ajoutées à chaque échantillon analysé. La fluorescence cellulaire moyenne et la diffusion de la lumière ont été normalisées en les divisant par les signaux homologues des billes, rendant ainsi les résultats comparables. Parallèlement au dénombrement du phytoplancton, un second sous-échantillon de 1 mL a été incubé avec un marqueur d'acide nucléique, le SYBRGreen I (Molecular Probes) pendant 15 minutes à température ambiante et dans l'obscurité pour dénombrer les bactéries hétérotrophes (Marie et al., 1997). Deux groupes de bactéries - à haute teneur en acide nucléique (bactéries HNA) et à faible contenu en acide nucléique (bactéries LNA) - ont été différenciés en fonction de l'intensité de la fluorescence verte (FL1 : 530/30 BP).

Métabarcoding 16S et 18S de l'ADN environnemental (ADNe) : Les échantillons ont été obtenus par filtration séquentielle à l'aide d'une pompe péristaltique Alexis® (Proactive Environmental Products) fonctionnant sur batterie en utilisant trois filtres de porosités respectives 20 µm, 3 µm et 0,2 µm placés dans des porte-filtres 47 mm. Les filtres ont été disposés dans des cryotubes de 2 mL et congelés à l'azote liquide pour une durée de 5 jours maximum, puis placés à -80 °C en attente des extractions ADN.

Au laboratoire Ifremer, les extractions d'ADN ont été réalisées à l'aide du kit NucleoSpin Plant II Mini (Macherey Nagel). Le protocole du kit a été complété de quelques ajustements concernant la préparation et la stérilisation du matériel de découpe de filtres. Seule la moitié de chaque filtre a été utilisée pour les extractions et l'autre moitié a été conservée par sécurité en cryotube à -80°C. Pour chaque extrait d'ADN, 100 µL d'ADN élué dans du tampon PE (5 mM Tris/HCl, pH 8.5), ont été aliquotés en deux tubes de 50 µL. La concentration en ADN de chaque extrait a été quantifiée avec le QuBit 4 (Invitrogen). Afin d'analyser les communautés protistes et bactériennes, les gènes codant pour les régions hypervariables de la boucle V4 de la petite sous-unité 18S de l'ADN ribosomal (ADNr 18S V4) et des régions V4-V5 de l'ADN ribosomal 16S (ADNr 16S V4-V5) ont été amplifiés respectivement par PCR avec les amorces universelles utilisées par Stoeck et al. (2010) (TAREuk454FWD1 : 5'-CTTCCCTACACGACGCTCTTCCGATCTCCAGCASCYGGTAATTCC-3', TAREukREV3 : 5'-GGAGTTCAGACGTGTGCTCTTCCGATCTACTTTCGTTCTTGATYRA-3') et par Parada et al. (2016) (515F-Y : 5'-CTTCCCTACACGACGCTCTTCCGATCTGTGYCAGCMGCCGCGGTAA-3', 926R : 5'-GGAGTTCAGACGTGTGCTCTTCCGATCTCCGYCAATTYMTTTRAGTTT-3'). Des triplicats d'amplification ont été réalisés pour chaque extrait avec le kit Phusion High Fidelity Master Mix (Thermo Scientific) afin d'obtenir 50 µL de produit PCR. Le programme utilisé pour l'amplification sur le thermocycleur suit une approche en deux étapes (Ramond et al., 2019) : Les programmes du thermocycleur ont été testés et adaptés aux deux couples d'amorces. Pour les protistes, au cours des 10 premiers cycles, seule l'amorce forward était active, résultant en une amplification de l'ADNr V4 18S dans le sens forward seulement ; lors des 18 cycles suivants, avec une température d'annealing plus faible, les amorces forward et reverse devenaient plus actives pour procéder à l'amplification du gène complet. La qualité de l'amplification a été vérifiée par migration de 10 µL de chaque produit PCR sur gel d'agarose à 1.5%. Les trois produits d'amplification de chaque échantillon ont ensuite été rassemblés dans un tube pour obtenir un volume final de 120 µL. Les extraits ont été envoyés sous carboglace à l'Ifremer Brest en janvier 2020 et en mai 2021 pour être

vérifiés, puis au Genotoul de Toulouse (<https://www.get.genotoul.fr/> pour la partie séquençage. Ils ont été analysés par un séquenceur Illumina MiSeq (2x250pb). Le séquençage a été réalisé par la plateforme Get-Biopuces du Genotoul de Toulouse lors de 2 runs, le premier pour traiter les échantillons de septembre 2019 et le second pour les échantillons de février et décembre 2020.

Le logiciel SAMBA (Standardized and Automated MetaBarcoding Analyses) (<https://github.com/ifremer-bioinformatics/samba>) a été développé par le SebiMer (Ifremer) dans le but de rendre les premières étapes d'analyses de données métabarcoding moins chronophages et comparables entre études. Ce pipeline permet de suivre chaque étape classique de tri des données en renseignant au préalable les critères de filtration désirés. Avec l'outil Cutadapt en mode paired-end de QIIME2, les séquences avec au moins 17 paires de bases (pb) chevauchantes et un taux d'erreur de moins de 0.1% par rapport aux amorces ont été conservées. Le logiciel DADA2 a permis de supprimer les séquences avec un score de qualité de moins de 2, de fusionner et moyenniser les séquences forward et reverse entre elles avec au moins 12 bp chevauchantes entièrement identiques, de supprimer les séquences chimériques en mode consensus, et de regrouper les séquences en variant de séquences d'amplicons (ASVs) associés à une table d'abondances. Les attributions d'ASVs ont ensuite été affinées avec le logiciel dbOTU qui regroupe les ASVs par affinité phylogénétique et somme leurs abondances selon leur distribution parmi les différents échantillons en respectant trois critères : une ressemblance génétique entre ASV d'au moins 99.9 %, un différentiel d'abondance d'au moins 10 entre deux ASVs et une valeur statistique inférieure à une p-value de 0,0005. MicroDecon a servi à la suppression des quantités d'ASVs présents dans le blanc sur tout le reste de la table. La base de données PR² (Guillou et al., 2013) et SILVA (Quast et al., 2013) a ensuite été utilisée pour l'assignation taxonomique des ASVs et l'obtention de la table taxonomique en 18S et en 16S respectivement. Les analyses statistiques et la visualisation des compositions taxonomiques des échantillons ont été réalisées sur le logiciel Rstudio avec les packages phyloseq (McMurdie et Holmes, 2013) et vegan (Oksanen et al., 2018).

4.4. Autres données

Les données météorologiques nous ont été fournies par **Météo-France**. Elles concernaient les valeurs horaires des stations de la Tontouta (n° 98821001), de la Dumbéa (n° 98805001), de Koutio (n° 98805002), de la Coulée (n° 98817005), de Magenta (n° 98818002) et de la montagne des Sources (n°98832004).

Les débits des rivières suivies nous ont été fournis par la **DAVAR** après l'établissement des conventions d'échange / de concession N° CS-18-3310- et 2022-DAV-SDE-49119. Les stations de mesures et les caractéristiques hydrométriques sont décrites dans l'annexe 2 (Romieu et Wotling, 2016 ; Domet, 2022 ; Laroche et al., 2022). Les séries comprenaient des données horaires mesurées du 1/11/17 au 31/12/18. Elles étaient incomplètes pour la Pirogue du 12/12/17 au 31/03/18 (31 % de jeu de données manquants), pour la Dumbéa Nord du 14/12/17 au 27/02/18 (19 %) et pour la Dumbéa Est du 23/05/18 au 25/06/18 (8 %). Un ratio de 0,5422 a été utilisé pour calculer les données manquantes entre la Dumbéa Nord et la Dumbéa Est (Lalau et al., 2019). La propagation des débits, mesurés aux limnimètres situés en amont de nos stations d'échantillonnage aux exutoires, a été calculée à partir de la loi de propagation qui utilise le rapport de surface des bassins versants correspondants. Les débits de la Dumbéa à l'exutoire au « Parc Fayard (PF) » ont été obtenus en faisant la somme des débits de la Dumbéa Est, Nord et de la Couvelée. Les débits à la station « Trou des Nurses (TN) » ont été obtenus en ajoutant les valeurs de Dumbéa Est et Nord. La comparaison des données aux valeurs normales a été réalisée sur l'année 2018 (1^{er} janvier au 31 décembre) alors que les normes sont calculées sur les séries comprises entre le 1^{er} avril de l'année n au 31 mars de l'année n+1.

4.5. Missions en Nouvelle-Calédonie et hors Nouvelle-Calédonie

Une mission du Dr. Raffaele Siano (IFREMER DYNECO - <http://annuaire.ifremer.fr/cv/17456/>), spécialiste de l'écologie moléculaire des protistes marins a été organisée en Nouvelle-Calédonie du 15 au 26 septembre 2019. Le programme de sa mission comprenait :

- Une formation au métabarcoding de l'équipe Ifremer Nouméa à l'étude de tout un assemblage de populations (de bactéries par exemple) dans un échantillon d'eau, de sol, de sédiments ;

- Une conférence dans le cadre du séminaire organisé par le CRESICA pour le programme au fil de l'eau le 17 et 18 septembre 2019. Le titre de la conférence était « Génomique environnementale des protistes marins : l'ADN environnemental comme marqueur des effets des changements de l'écosystème côtier sur les dynamiques des communautés et des espèces & ROME : un Réseau d'Observatoires pour la recherche en Microbiologie Environnementale intégrée » ;
- Du travail de terrain (échantillonnage, filtration, préparation des échantillons) du 23 au 25 septembre 2019 pour l'analyse de la diversité des protistes dans le lagon (voir texte plus haut) ;
- Des rencontres avec les différents intervenants du projet SEARSE ;
- Des prises de contact et des discussions en tant que Référent thématique « Microbiologie et Environnement Côtier » de la direction scientifique Ifremer avec des chercheurs des autres instituts positionnés sur le Territoire.

Pour former les équipes à l'analyse de l'ADN environnemental et pour préparer la mission de Raffaele Siano en Nouvelle-Calédonie, Florence Antypas, agent du LEAD impliquée dans ce projet s'est formée à Ifremer- Brest (financement Ifremer) lors d'une mission (4 – 19 avril 2019) sur la technique de filtration fractionnée pour des analyses en biologie moléculaire. Ce travail de formation a abouti à la rédaction d'une instruction pour conduire ce type d'analyse au LEAD dans une démarche qualité.

5. Résultats et discussions

5.1. Conditions environnementales rencontrées

Tendance générale

Notre échantillonnage a débuté le 12 décembre à la suite d'une importante sécheresse qui a touché le territoire de mai à novembre et aboutit à un déficit hydrique de -70%. Les pluies réapparaissent avec un intense épisode pluvio-orageux entre le 15 et le 22 janvier 2018 (Météo-France, 2018). La NC a été plus particulièrement concernée pendant la saison humide 2018 par 4 phénomènes tropicaux dont une dépression tropicale nommée FEHI (25-30 janvier), et trois cyclones : GITA (07 – 28 fév.), HOLA (3 – 11mars) et Iris (24 – 30 mars). L'année 2019 a vu le passage de quatre épisodes pluvieux majeurs avec en février, le passage à deux reprises du cyclone tropical OMA (11 – 26 fév.), et de deux autres épisodes pluvio-orageux, le premier le 21 avril et le second du 31 août au 1^{er} sept (Météo-France, 2019). La fin de l'année 2019 a connu un bilan hydrique très déficitaire. En 2020, six épisodes pluvieux ont traversé le territoire. On notera le passage du cyclone tropical UESI (du 9 - 13 février), et de la dépression tropicale forte GRETEL (du 14 - 16 mars) (Météo-France, 2020). Les conditions pluviométriques sur Nouméa en décembre 2020 lors de notre dernière intervention doivent être considérées comme humides à très humides. Les années 2018 et 2020 ont été classées comme des années proches de la normale en termes de pluviométrie et 2017 et 2019 comme très sèches. Les écarts à la moyenne annuelle pour la température sont de +0,17°C pour 2018 et 2019 et de +0,6°C pour 2020. L'annexe 3 présente l'évolution de la pluviométrie sur Nouméa du 1^{er} déc. 2017 au 31 déc. 2020.

Événements extrêmes suivis

Au cours de la phase 1 du projet, le **Cyclone tropical Hola** a touché la Nouvelle-Calédonie du 9 au 10 mars 2018 en passant à environ 80 km à l'Est des îles Loyautés (fig. 8a). Pendant cet événement classé en catégorie 4, l'ensemble du territoire a été placé en pré-alerte cyclonique. Il est tombé environ 250 mm de pluie sur Nouméa en cinq jours. Si des vents supérieurs à 130 km.h⁻¹ ont touché les îles Loyautés, le grand Nouméa a été peu impacté par les vents les plus intenses (Météo-France, 2018).

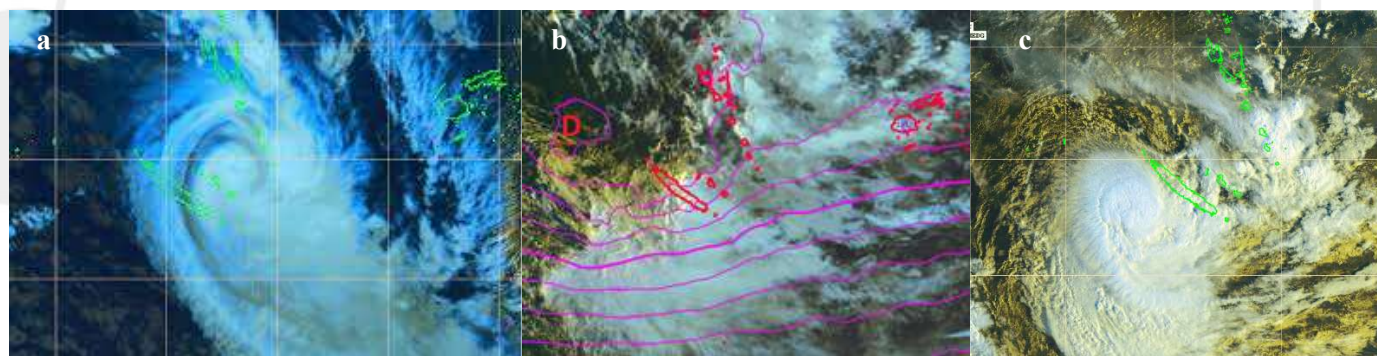


Figure 8 : Tryptique « Événements intenses suivis ». Images satellites (Himawari 8) (a) du cyclone Hola prise le 9 mars 2018, (b) de l'évènement pluvieux exceptionnel du 21 avril 2019, et (c) du cyclone Cyclone Uesi le 12 février à 7h00 (Source : Météo-France Nouvelle-Calédonie).

Nos premières sorties en mer à partir du 23 avril 2019 sont associées à un **événement pluvieux extrême** (fig. 8b). Météo-France a enregistré un record de pluies sur le Grand Nouméa le 21 avril avec un total de 138,8 mm tombés en 24 h. Le précédent record datait de 1964 avec un total 135,2 mm sur une même journée. Concernant le vent, il a soufflé à 20-25 kt et des rafales ont dépassé les 50 kt sur Nouméa pendant le passage de cet épisode pluvieux (Météo-France, 2019).

Notre seconde série concerne le **cyclone tropical UESI** de catégorie 3 qui a touché la NC entre le 10 et le 12 février 2020 (fig. 8c). Le 11 février, ce phénomène s'est déplacé vers le nord de la Grande-Terre et est passé à moins de 100 km à l'ouest des Îles Belep à 17 h heure locale. Suite à son passage, la région de Nouméa a été exposée à de fortes pluies, avec des cumuls pluviométriques très importants de plus de 70 mm en 24 h (Météo-France, 2020).

5.2. Suivi des rivières

Toutes les données issues de ce suivi sont présentées dans les annexes 4 (débits) et 5 (mesures de qualité des eaux).

5.2.1. Les débits

Plusieurs indicateurs publiés par la DAVAR et calculés à partir des débits mesurés sur de longues périodes (> 10 ans) permettent d'estimer les caractéristiques des débits pour une rivière donnée (Domet, 2022). Les tableaux de l'annexe 2d synthétisent les informations que nous avons utilisées pour caractériser ces débits en 2018 (annexe 4). Elles sont basées sur les débits caractéristiques d'étiages et sur les débits maximums mesurés pendant les crues. L'année 2018 montre des débits globalement faibles à très faibles comparativement à une année dite normale. La fig. 9 présente un exemple d'évolution des débits.

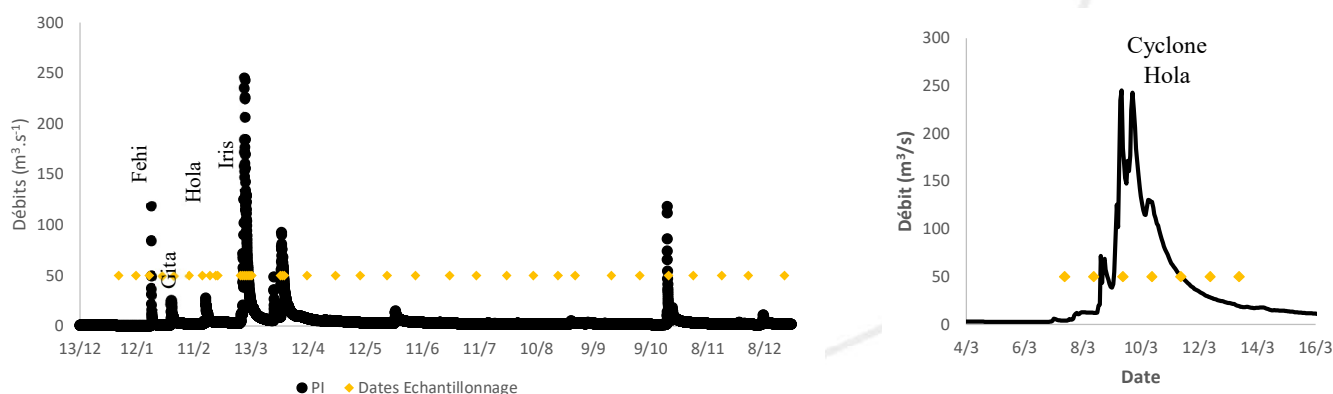


Figure 9 : (a) Évolution des débits horaires de la rivière des Pirogues (PI) en 2018. Les losanges orange positionnent les dates de nos échantillonnages (bimensuels). (b) Zoom sur les débits associés au cyclone Hola pour PI (prélèvements journaliers).

5.2.2. Caractérisation des échantillons

Les débits les plus faibles sont associés à des intrusions halines sur les stations PI, CO, PF et TO (fig. 10). La station PI présente des eaux salées et/ou saumâtres dans 70 % des cas (n = 36). A CO, 19 % des échantillons sont associés à des eaux salées, 31 % à des eaux saumâtres et 50 % à des eaux douces. La station PF montre des eaux salées et/ou saumâtres dans 34% des cas. Quatre échantillons prélevés pendant la période de sécheresse (fin 2017 - début 2018) sont très faiblement saumâtres à saumâtres à TO. Du fait de sa position géographique bien en amont, les eaux à TN sont douces dans 100 % des cas. Au total, sur 183 échantillons récoltés, 59 montrent des intrusions halines.

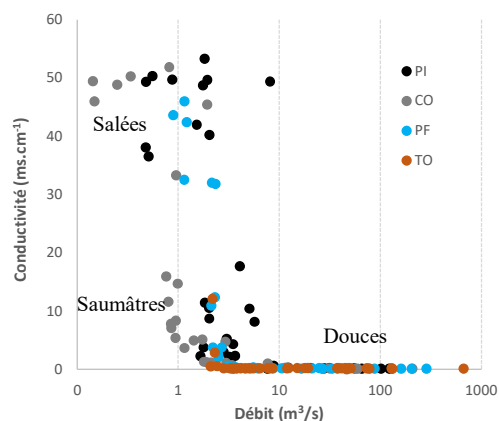


Figure 10 : Évolution de la conductivité en fonction des débits. PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta.

5.2.3. Les eaux saumâtres et salées

On note une désoxygénation des eaux lorsque la conductivité augmente (annexe 6). Ce processus est plus intense à PF et CO qu'à PI. Les silicates, en concentrations élevées dans les eaux douces (voir § suivant), sont dilués par les eaux

salées (Fig. 11a). Les eaux s'enrichissent en parallèle en Mg (Fig. 11b), Ca (Annexe 6) et dans une moindre mesure en Mn (Fig. 11c), montrant une influence des eaux marines sur ces paramètres.

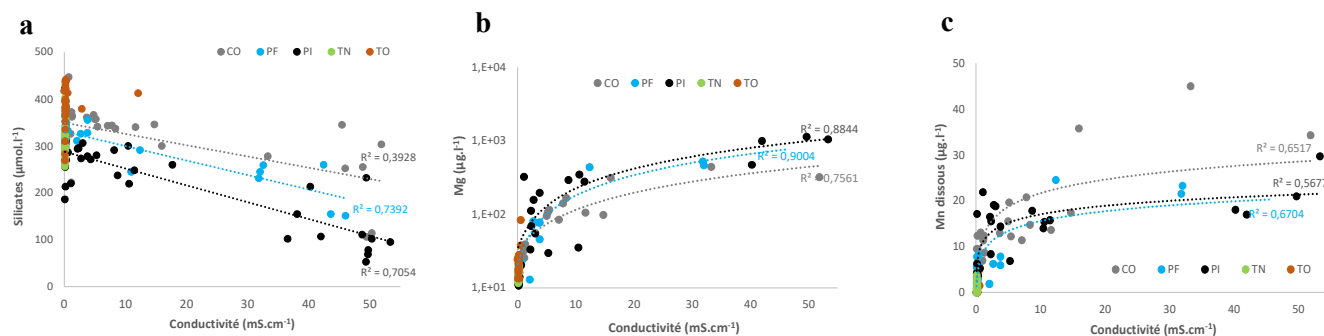


Figure 11 : Relations entre les paramètres (a) silicates, (b) magnésium et (c) manganèse sous leurs formes dissoutes en fonction de la conductivité des eaux. Les traits en pointillés représentent les tendances issues des données. PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta.

Cinq groupes cellulaires autotrophes ont pu être discriminés dans les échantillons : *Synechococcus* (Syn) de types 1 et 2 (cellules procaryotes < 2 µm qui fluorescent en FL2), les picoeucaryotes (< 2 µm), les cellules nanophytoplantoniques (2 – 20 µm) et un groupe UNK faiblement fluorescent en FL3 proche en terme de taille à des picocyanobactéries (Annexe 5h). Deux groupes très minoritaires pour les cryptophytes pourraient être présents (données non montrées). Fortement présentes en milieu côtier, les abondances en Syn 1 sont associées à un simple processus de dilution des eaux de la baie par les eaux douces lors de leur intrusion dans les terres (annexe 6). Leurs abondances maximales sont observées aux salinités les plus élevées mais varient en fonction des estuaires. L'estuaire de la PI présente les abondances les plus fortes alors qu'elles sont du même ordre de grandeur à CO et PF. Concernant les Syn de type 2 (annexe 6), on note des abondances très différentes pour une même conductivité en fonction des estuaires avec par ordre d'importance PI > CO > PF. La population UNK a été clairement observée à PF à 5 reprises en début et fin de suivi (été austral). Elle a été mise en évidence à deux reprises à TO lorsque les débits étaient les plus faibles. La présence de ce groupe observé uniquement à TO et PF pourrait s'expliquer par des conditions favorables liées à la taille des estuaires. La cytométrie permet aussi de déterminer les abondances en cellules procaryotiques hétérotrophes et de discriminer deux populations en fonction de leur contenu en ADN (HNA et LNA) (annexe 5i). La dilution par les eaux douces des échantillons dont l'abondance bactérienne augmente avec la salinité n'explique pas complètement les valeurs mesurées pour PF et PI (différence entre les courbes de dilutions théoriques et observées). Les résultats suggèrent une prolifération de bactéries dans les eaux saumâtres (annexe 6). Les courbes montrent des abondances plus élevées à PF et CO qui sont aussi les BV les plus anthropisées.

5.2.4. Les eaux douces

Les échantillons ont été différenciés en deux groupes. Le premier correspond à ceux dont les valeurs de débits sont inférieures à l'étiage humide à 100 ans. Le second regroupe les échantillons supérieurs à cette même valeur de débit.

Dans le premier cas en période d'étiage, les eaux sont toutes saumâtres ou salées à PI, CO et PF (voir § précédent). Aux stations TN et TO, le nombre d'échantillons type « eaux douces » est respectivement de 10 et de 13. Les statistiques associées aux principaux paramètres mesurés sont présentées en annexe 7. A noter des valeurs au-dessus des valeurs attendues à TN sur certains échantillons. On prendra comme exemple le %HNA qui indique une activité bactérienne au-dessus de la valeur attendue (Annexe 6). L'hypothèse la plus probable pour expliquer ces valeurs exceptionnelles concernerait l'activité récréative intense sur le site à certaines périodes qui pourrait être à l'origine d'une contamination des eaux.

Pour les eaux douces, une augmentation de la turbidité s'accompagne d'une augmentation des concentrations en matières minérales et en matière organique sous ses formes particulaire et dissoute (fig. 12 ; annexe 6). Pour l'absorbance, les filtrations ayant été réalisées avec des filtres de porosité à 0,7 µm, il est possible que la relation avec la turbidité s'explique pour partie par la présence de particules très fines lorsque les eaux étaient très turbides (voir la

granulométrie des MES en période de crue en annexe 8). Toutefois, la turbidité est aussi corrélée à la concentration en acides humiques (Composé C4) dont la proportion varierait en fonction de deux grands groupes incluant respectivement [PF, TN, TO] et [CO, PI]. L'analyse de la qualité de la MOP semble montrer des différences entre les sites. Elle serait moins détritrique sur [TN, CO, PF] et plus associée à des valeurs faibles en 13C (-25 à -30 ‰) à TO et TN. Les eaux seraient plus ou moins acides en fonction des sites [TO, TN, PF versus PI, CO] mais un effet anthropique corroboré par des concentrations élevées en nitrates (> 10 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) dans le système pourrait intervenir. Les bactéries HNA seraient en proportion plus élevées à PF suggérant une activité bactérienne plus intense comparativement aux autres sites. La saturation en oxygène serait plus faible à CO et à PF, stations qui correspondent aussi aux sites les plus impactés par certaines activités humaines (fig. 4). Le taux de matière organique dans les matières en suspension ainsi que les données de granulométrie (annexe 8) montrent des différences entre les sites. PI et CO semblent se distinguer de PF et TO.

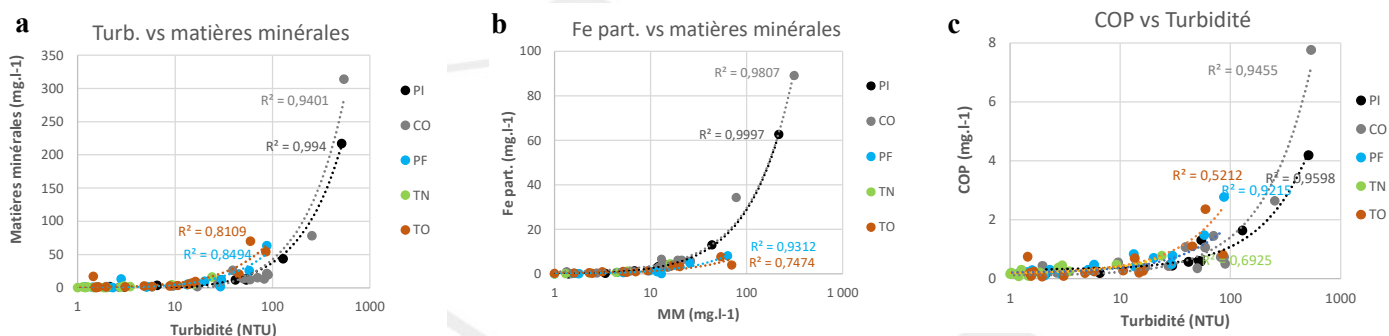


Figure 12 : Relations entre quelques paramètres pour la fraction particulaire en fonction des sites (échelle log pour l'abscisse). (a) turbidité versus matières minérales ; (b) Fer particulaire versus matières minérales ; (c) Carbone organique particulaire (COP) versus turbidité ; PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta.

Pour plus de précision, différents types de débits normalisés par la surface des bassins versants ont été identifiés : débits faibles, phase de crue, phase de décrue (fig. 13). Les matières en suspension montrent deux dynamiques liées aux phases de crue et de décrue. Le rapport entre les pentes entre crue et décrue varie entre 4,2 et 5,6 en fonction des sites (fig. 13a). Les roches ultrabasiques étant essentiellement constituées de silice et de magnésium, les processus d'altération conduisent au lessivage de ces éléments. Nous observons que les concentrations en magnésium dépendent des sites mais aussi des débits (annexe 6), l'eau ruisselée diluant simplement les eaux souterraines en période humide (Trescase, 1969). On observe une baisse plus rapide des concentrations avec l'augmentation des débits à PI et CO suggérant un effet de plus en plus limité des eaux souterraines avec l'augmentation du ruissellement sur ces BV.

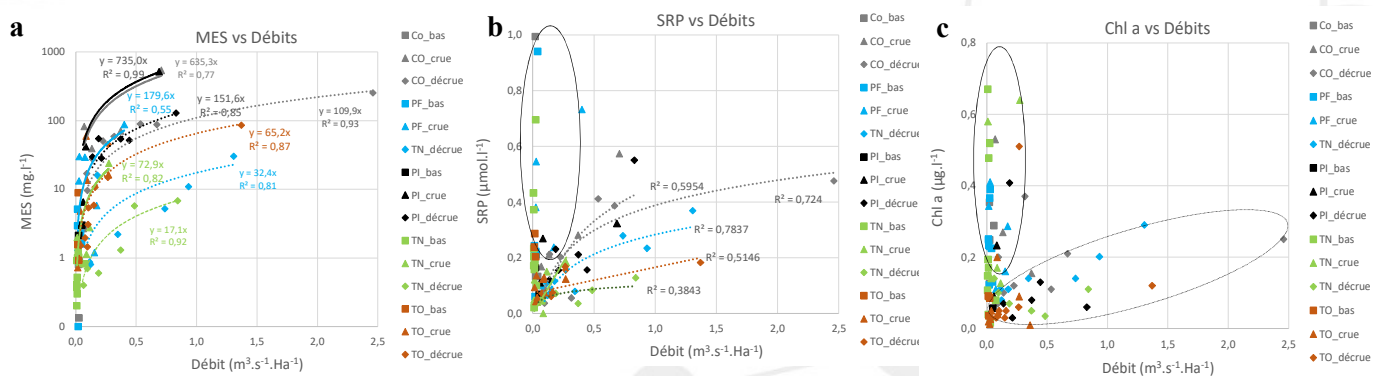


Figure 13 : Concentrations en MES, en SRP et en chl a dans les eaux en fonction des débits exprimés en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Chaque point est discriminé en fonction du contexte hydrologique. Carré : débit faible et proche des valeurs d'étiage ; triangle : phase de crue ; Losange : phase de décrue ; Chaque couleur est associée à une station d'échantillonnage. PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta.

Les concentrations en silicates, si elles varient en fonction des sites, ne montrent pas à l'image du magnésium de variations notables en fonction des débits suggérant une libération proportionnelle au drainage (Trescase, 1969). Les nitrates semblent se comporter de manière similaire. L'effet site serait prédominant. L'analyse de la dynamique des

phosphates (SRP) suggère une augmentation des concentrations avec les débits en phase de décrue (fig. 13b). A noter que le nombre de données reste insuffisant pour analyser la dynamique de cet élément en phase de crue. Lorsque les débits sont les plus bas, cet élément pourrait aussi se concentrer dans l'eau (fig. 13b – cercle trait plein). La chl *a* pourrait avoir une dynamique similaire associée à une phase de prolifération algale en phase d'étiage et à un apport de cellules issues du drainage de plantes terrestres dans les phases de crue et de décrue (fig. 13c).

5.2.5. Dynamique d'un événement extrême : le cyclone Hola

La fig. 14 présente l'évolution des débits, de la turbidité et de la relation débit - turbidité lors d'un événement extrême. A noter que les pluies ont été les plus fortes sur les stations situées au sud de Nouméa. Sachant que la turbidité est significativement corrélée à de nombreux paramètres de la qualité de l'eau (voir § précédent), comprendre les mécanismes qui régissent sa variabilité spatiale et temporelle est essentielle. L'analyse des données collectées au cours du cyclone Hola permet de mieux comprendre les variables à considérer. La turbidité augmente en quelques heures pour atteindre un maximum qui va décroître progressivement avec la décrue. La relation turbidité – débit évolue donc en fonction des phases crue et de décrue. Si l'intensité de la crue est fonction de l'intensité des pluies, l'état de la couverture végétale va influencer sur l'intensité du ruissellement et de l'infiltration des eaux (Desclaux et al., 2018 ; Tramier et al., 2021 ; Genthon et al., 2022).

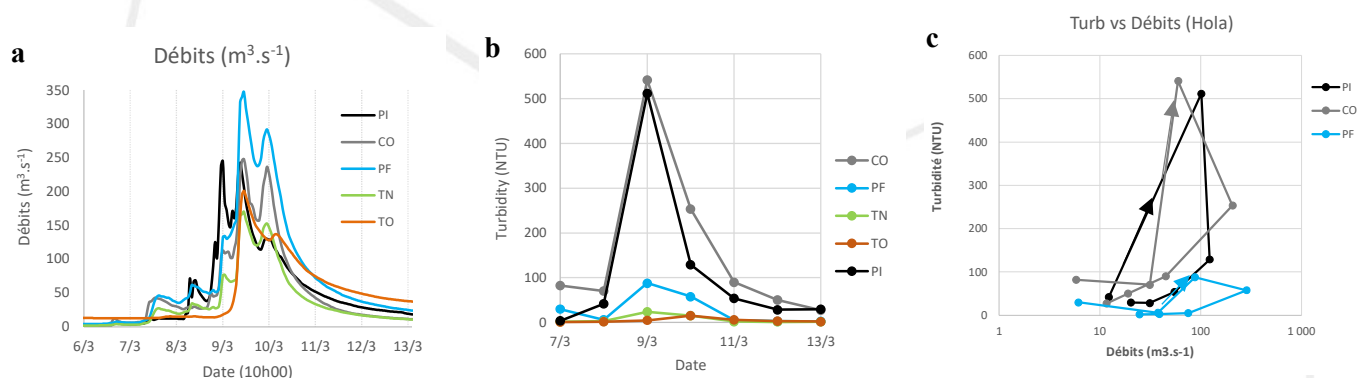


Figure 14 : Évolution journalière des débits (a) et de la turbidité (b) pendant le cyclone Hola. (c) relation turbidité – débit pendant cette même période ; Les sens des flèches montre le sens de la succession crue - décrue. PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta.

5.2.6. Cas particulier : un effet « feu »

L'évolution majeure de la qualité de l'eau récoltée sur le site CO lors de la première pluie qui a suivi un feu d'importance sur le bassin versant ne peut pas ne pas être mentionnée ici. L'échantillon était unique (CO du 18/01/2018) et limite de fait l'interprétation des résultats. Il semble toutefois indiquer un impact très élevé sur du court terme même si les caractéristiques de l'eau peuvent être modifiées sur le long terme d'une manière moins évidente. On note des valeurs exceptionnelles malgré un débit faible ($3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) pour tous les paramètres associés à la matière organique, que ce soit sous sa forme dissoute (absorbances, acides humiques, azote organique dissous) ou particulaire (MOP, COP, N particulaire, chl *a*, phéophytine) (annexe 5). L'impact est aussi observable sur plusieurs sels nutritifs : nitrates-nitrites et ammonium. On note une très nette augmentation des matières minérales (mais dans une proportion moindre comparativement à la MO) et donc des teneurs pour les principaux ETM. Sans montrer des concentrations exceptionnelles, les données suggèrent une augmentation de la concentration pour certains ETM sous leur forme dissoute (Fe, Ni, Mn) dans les eaux de la rivière après le passage de cet événement.

5.2.7. Matière exportée

La quantité de matière exportée a été calculée en intégrant les données sur la période considérée à une échelle horaire. A titre d'exemple, les quantités exportées pour les MES, le fer, le nickel et l'azote lors du cyclone Hola (7 au 13 mars 2018) sont présentées pour chaque bassin versant (fig. 15). Si, les différences entre les bassins versants s'expliquent par l'intensité des pluies qui ont été les plus fortes sur PI et CO, on note que CO présente des exportations presque deux fois supérieures à celle de PI pour des BV dont les débits sont similaires (fig. 14) et géographiquement très proches (fig. 6).

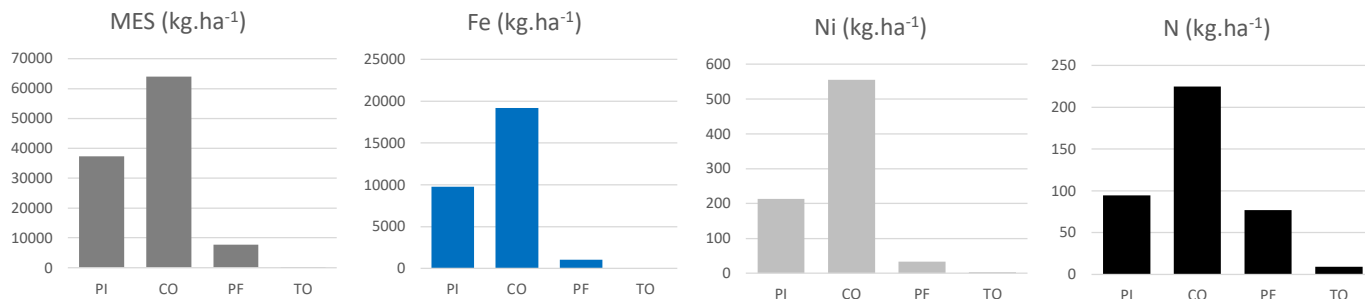


Figure 15 : Quantités exportées en matières en suspension (MES), en fer, en nickel et en azote pendant le cyclone Hola exprimées en kg par hectare. PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TO : Tontouta.

La figure 16 montre les différentes formes de fer et d'azote exportées. Le fer sous sa forme dissoute représente une part négligeable de la part exportée. A noter que le particulaire est sous-estimé (dû à la porosité des filtres > 3 µm) et maximise donc la part du dissous (annexe 9). Ce résultat est similaire pour le nickel et le manganèse. Concernant l'azote, la forme particulaire représente autour de la moitié des exportations à PI et CO. Pour le dissous, les nitrates présentent la plus forte proportion à CO, PF et TO.

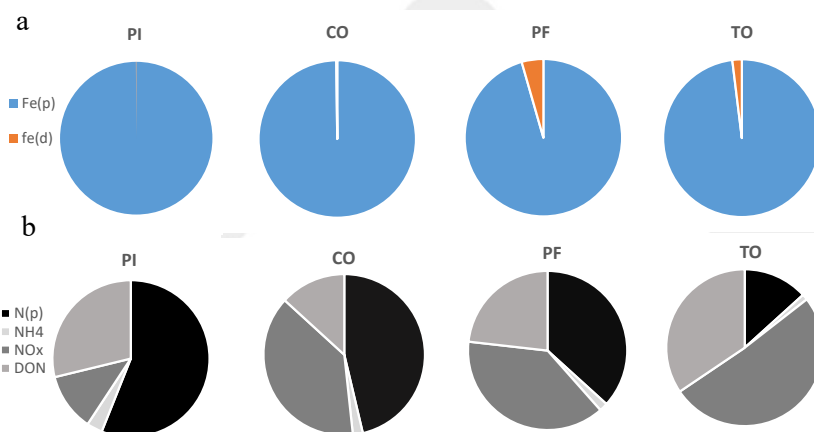


Figure 16 : Les différentes formes de fer (a) et d'azote (b) exportées par les différents bassins versants. PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TO : Tontouta.

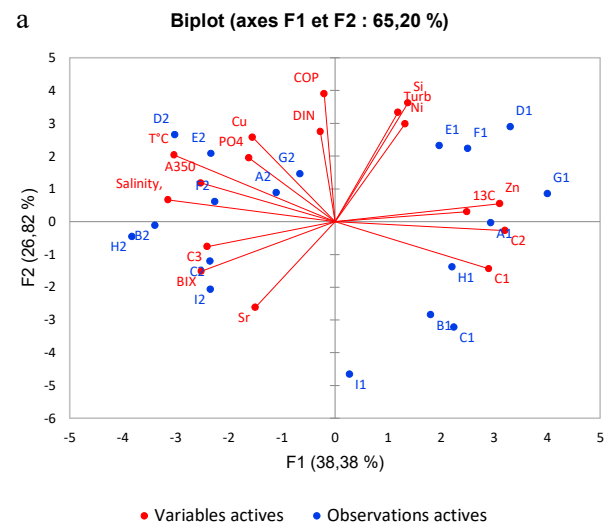
5.3. Suivi des estuaires

5.3.1. Septembre 2019 et décembre 2020

L'objectif de ces deux séries d'échantillonnages était d'analyser les eaux de surface en période sèche (à 22°C en sept. et à 26°C en déc.) pour être en mesure de mieux évaluer l'effet des apports par les rivières. Les données sont présentées dans les annexes 10 et 11. Un problème de pollution des échantillons pour les métaux dissous expliquerait les valeurs incohérentes obtenues en septembre 2019. Elles ont été de fait exclues de la base de données. Les profils SBE sur chaque station d'échantillonnage de sept. 19 et déc. 20 sont présentés respectivement dans les annexes 12 et 13. Les résultats de l'analyse des FDOM réalisée sur l'ensemble des deux jeux de données sont montrés en annexe 14.

Les paramètres abiotiques

Une analyse en composantes principales (ACP) permet de visualiser les principales sources de variabilité associées aux paramètres abiotiques en période sèche (fig. 17a). L'axe 1 qui explique plus de 38% de la variance permet de différencier les échantillons prélevés en sept. (A1 à I1) de ceux récoltés en déc. (A2 à I2). Les principales contributions sont celles de la salinité (11,7 %), de la température (10,9 %), du type de MOD avec les composants FDOM C1 (9,9 %) et C2 (12,1 %), et du Zn(p) (11,4 %). L'axe 2 représente 27% de la variance et met en évidence le « gradient côte – large » déjà décrit par de nombreux auteurs. Les principaux paramètres qui permettent cette discrimination sont le COP (18,5 %), les silicates (15,5 %), la turbidité (13,2 %), la concentration en métaux particuliers d'origine ultrabasique ici représentés par le Ni (10,6 %), le Sr (8,1 %) et les DIN (8,9 %).



Les paramètres biotiques (hors ADNe)

L'axe 1 d'une seconde analyse en composantes principales (ACP) conduite cette fois sur les données biotiques explique 57 % de la variabilité du jeu de données (fig. 17b). Il met en évidence un effet du « gradient côte – large » marqué, avec d'un côté les stations du lagon et d'un autre les stations côtières. Avec environ 13 % pour chacun d'entre-eux, les paramètres les plus discriminants sont la chl_a, les phéophytines, les cryptophytes et le nanophytoplancton, les picocyanobactéries (Syn 1 et Unk). Chaque groupe de bactéries (HNA et LNA) représente un peu moins de 10% de la variance. L'axe 2 (17 % de la variance) permet de distinguer les échantillons prélevés en septembre et décembre. Les paramètres PEUK (33 %), UNK (16 %) et LNA (16 %) sont les plus discriminants sur cet axe.

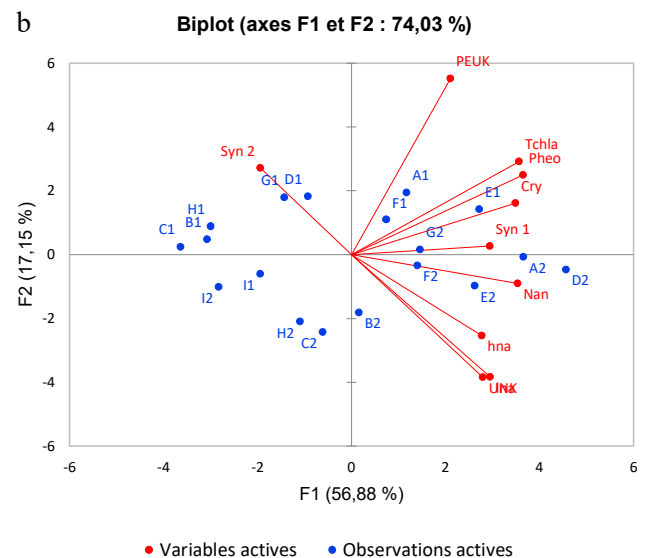


Figure 17 : Biplot des ACP réalisés sur les paramètres (a) abiotiques et (b) biotiques relevés en sept 19 et déc.20.

Les métaux

La fraction particulaire du fer, et plus généralement des métaux comme le manganèse, le cobalt, le nickel et le chrome, augmente très fortement dans les matières en suspension sur les stations les plus exposées à ce type d'éléments. Les stations F (située à proximité de l'usine de la SLN et des scories entreposées) et la station G (estuaire de la PI) présentent les fractions les plus élevées. Les corrélations sont très significatives ($r^2 > 0,90$) entre les éléments métalliques particuliers dont l'origine est typique des bassins versants ultrabasiques (Fe, Co, Mn, Cr, Ni et Al).

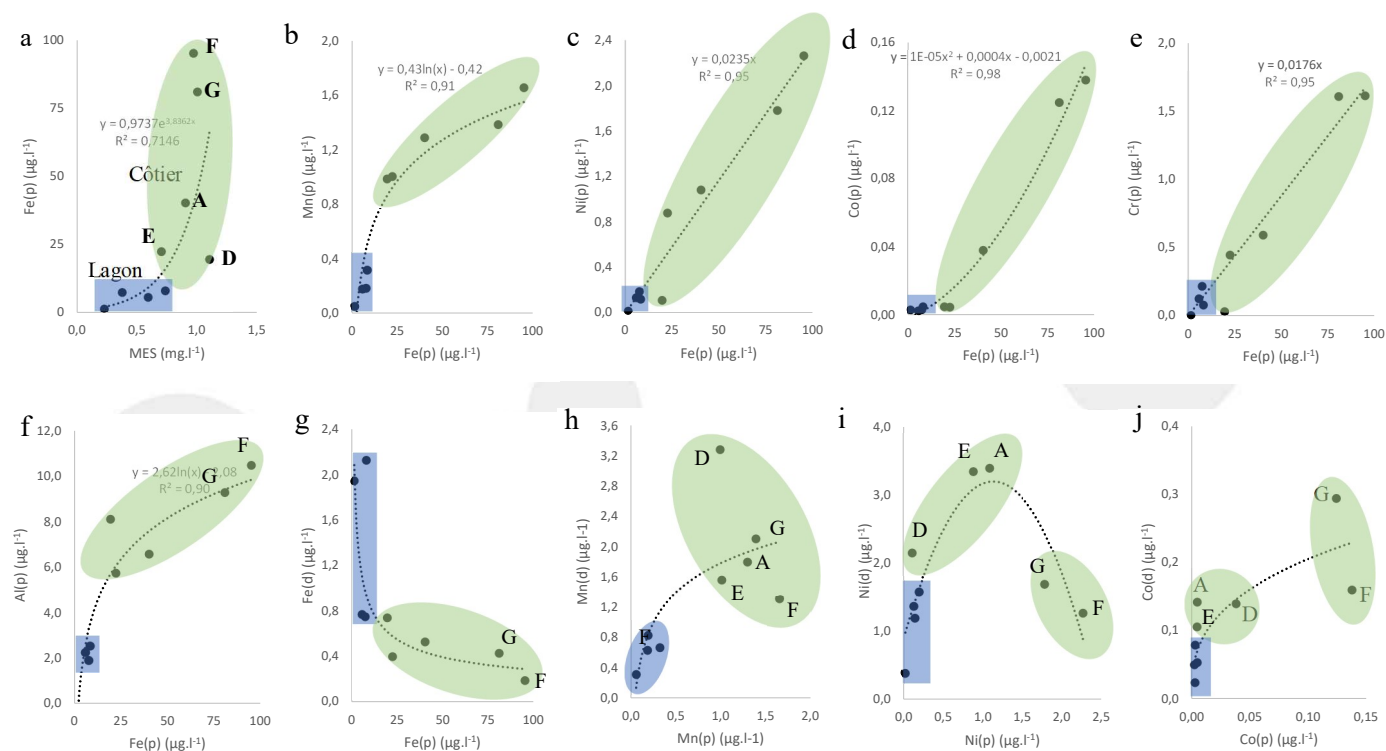


Figure 18 : Relations entre les MES et les concentrations particulières en (a) le fer; (b) manganèse (Mn), (c) nickel (Ni), (d) cobalt (Co), chrome (Cr) et (f) aluminium (Al) et entre les fractions particulières et dissoutes pour (g) le fer, (h) le manganèse, (i) le nickel et (j) le cobalt. Les zones bleues et vertes représentent respectivement les stations lagunaires et côtières.

Concernant le comportement des éléments dissous, la situation est plus complexe. Les valeurs les plus faibles sont observées dans les eaux lagunaires quel que soit le métal, exception faite du Fe(d). La spéciation des éléments dissous va en effet varier en fonction de plusieurs facteurs. Elle dépend du type de complexe que l'élément va former avec son ligand, du pH (ici compris entre 8,16 et 8,48) et de son degré d'oxydation. Dans des eaux oxygénées (notre cas), Le Fe^{2+} va par exemple s'agréger avec la matière organique pour former des colloïdes sous la forme d'oxyhydroxydes de fer amorphes. La floculation de ce complexe pourrait expliquer la chute du fer sous sa forme dissoute dans les environnements les plus côtiers (fig. 18g) (Bligh, 2009). Le manganèse en excès sous sa forme Mn^{2+} peut s'avérer dangereux pour les coraux pour des valeurs de plusieurs mg (Summer et al., 2019). Les valeurs rapportées par la littérature sont donc très au-dessus des valeurs mesurées dans cette étude (qui ne mesure en plus pas seulement la forme Mn^{2+}). Ce métal utilisé dans le processus de photosynthèse, pourrait être l'un des co-facteurs avec l'azote pour expliquer l'augmentation des concentrations en chl *a* dans notre échantillonnage (fig. 18h ; fig. 19). Le compartiment nano-phytoplanctonique (abondances et biomasses en chl*a*) pourrait être favorisé par la présence de Mn(d) (données non montrées). Ce processus expliquerait aussi la corrélation significative entre Mn(p) et la chl*a* (données sept et déc compilées ; $r = 0,93$), potentiellement indicatrice d'une assimilation d'une partie du Mn(d) par les microalgues). Les valeurs pour le nickel sont quant-à-elles inférieures aux valeurs considérées comme dangereuses ($> 6 \mu g.L^{-1}$) (Gissi et al., 2020) et dans la gamme des valeurs rapportées pour la NC ($0,1 - 11 \mu g.L^{-1}$) (Moreton et al., 2009). Le nickel est plutôt décrit comme un élément conservatif dans les eaux côtières. Toutefois, nous observons une chute des concentrations aux stations G et F qui sont aussi les stations les plus turbides. Un mécanisme de floculation après complexation avec la MOD (acides fulviques) est une hypothèse à envisager pour expliquer ce phénomène (Chen et al., 2022 ; voir le projet TREMOR). Toutefois, il est

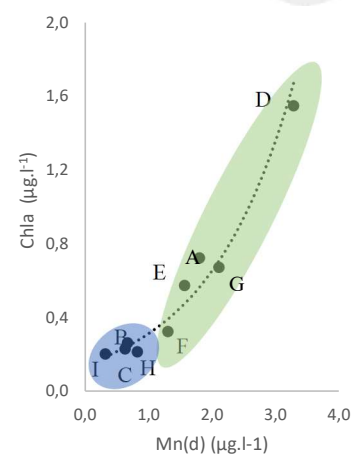


Figure 19 : Relation entre le manganèse sous sa forme dissoute et la chl *a* en déc. 2020. La zone bleue permet d'identifier les stations lagunaires. La zone verte montre les stations côtières.

nécessaire à ce stade avec le peu de données dont nous disposons d'être très prudent dans les conclusions. En effet, d'autres mécanismes peuvent être impliqués pour comprendre les valeurs en métaux mesurés. Le sédiment sur les stations les moins profondes pourrait agir comme une source pour certains métaux dissous. Des apports anthropiques directs ne sont pas à exclure (apports agricoles pour la station D par exemple). En prenant en compte les données de sept. et de déc., nous montrons aussi des corrélations significatives entre la chl *a* et le Co(p) ($r = 0,77$) et la chl *a* et le Ni(p) ($r = 0,80$). L'origine de ces relations devra être recherchée.

Conclusion

Si la principale source de variabilité pour les paramètres abiotiques est associée à la date d'échantillonnage (effet temporel), l'analyse des données biotiques suggère que c'est le gradient côte large (effet spatial) qui est le principal facteur structurant pour les communautés microbiennes. La présence des métaux particuliers est en lien avec la turbidité du milieu et l'origine des contaminants. La concentration pour les métaux dissous dans le milieu pourrait être influencée par des facteurs abiotiques par exemple pour le Fe(d) et biotiques pour le Mn(d). Le Mn pourrait être un co-facteur à l'origine de la prolifération du nano-phytoplancton en milieu côtier. Des expériences en milieu contrôlé permettraient de valider ces hypothèses.

5.3.2. Premier suivi d'un événement extrême : avril 2019

L'objet de ce travail était (i) d'obtenir une première observation de la vitesse des processus physiques en matière d'hydrodynamisme et des temps caractéristiques de circulation dans la baie de Dumbéa (e.g., vitesse de déplacement des bouées dérivantes dans le panache) et (ii) de récolter un premier jeu de données afin d'établir un plan d'échantillonnage et une méthodologie adaptée au suivi du panache à la sortie de la Dumbéa. L'annexe 15 compile les données de cette étude. L'annexe 16 montre les profils SBE. Les annexes 17 et 18 présentent respectivement les résultats des analyses de FDOM et de cytométrie en flux.

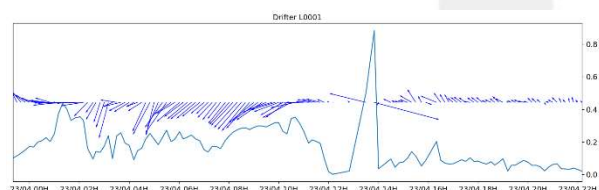
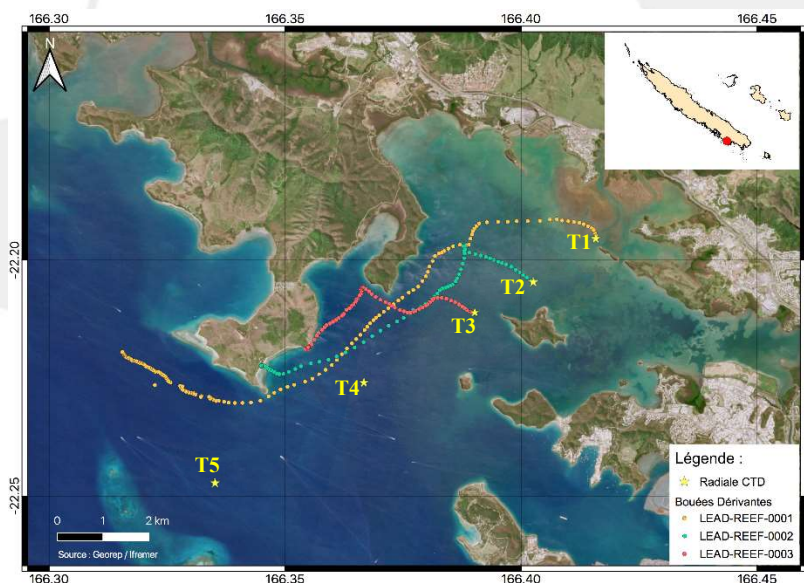


Figure 20 : (a) Cheminement des bouées. (b) vitesse de dérive de la bouée 1. Les flèches en bleu correspondent au sens des courants. Les stations T1 à T5 sont représentées sur l'image. Après 24 h de dérive, deux bouées étaient échouées au nord de la baie. La troisième est sortie de la baie et a été récupérée après 23 h de dérive. Elle a parcouru une distance de 13 km soit une vitesse de déplacement moyenne de $0,156 \text{ m.s}^{-1}$. On notera un changement de la vitesse de déplacement de la bouée une fois dans le lagon.

Les données de cette étude sont typiques du milieu côtier et en adéquation avec les valeurs rapportées dans cette baie dans d'autres études (e.g., Jacquet et al., 2006 ; Martias, 2018). Notre travail montre un transfert rapide dans la baie (sur une épaisseur de 1 à de 2 m) des eaux rejetées par la rivière après un épisode pluvieux intense (fig. 20). Sous l'influence d'un vent de Sud-Est, le panache s'est concentré au nord de la baie. Les données mesurées *in situ* (profils de la sonde SB – annexe 16) du 23 avril sur les stations les plus éloignées de l'embouchure (T4 et T5) indiquent que nous avons échantillonné dans le panache (confirmé par les mesures de silicates $> 30 \mu\text{mol.L}^{-1}$). Les stations T1 et T2 étaient aussi sous influence des apports de la rivière (phase de décrue). L'échantillonnage du 25 avril permet d'observer le retour d'un gradient côte – large classique pour la turbidité, la température, la salinité et la fluorescence (annexe 16). Les eaux

présentent une stratification saline avec la profondeur tout le long du transect. Concernant les nutriments, l'azote est rejeté de la rivière principalement sous forme de nitrates. Sachant que le milieu marin est limité en azote (Jacquet et al., 2006 ; Thomas et al., 2010), cet apport pourrait favoriser une prolifération algale qui serait cependant limitée par les concentrations en phosphore. Les apports en silicates dans le milieu sont conséquents et à priori non limitant pour la croissance des diatomées. Les analyses de MOD montrent la présence de quatre fluorophores (annexe 17) dont les caractéristiques optiques sont similaires à celles observées dans les eaux des rivières (phase 1 du projet). Deux de ces fluorophores sont des composés de type acides aminés like (FDOM_A), dont les signatures sont typiques du tryptophane-like et de la tyrosine-like, et deux sont de type-humique like (FDOM_H). Les fluorophores 4 et 5 (FDOM_H) sont associés au panache. Le fluorophore 2 (tryptophane-like) semble plus concentré dans le fond de baie (stations T1 à T3) le 23 mais aussi le 25 avril. Son origine serait terrigène (Martias, 2018). Il indiquerait la présence de protéines relativement intactes et de peptides peu dégradés (Fellman et al., 2010). Le fluorophore 3 (tyrosine like) n'est corrélé (r_s) à aucun paramètre mesuré. Ce composé est présenté dans la littérature comme un indicateur de matériel peptidique plus dégradé (Fellman et al., 2010). L'absorbance à 350 nm ($< 0,2 \mu\text{m}$) est significativement corrélée (r_s) au seston ($r = 0,88$), aux métaux particuliers comme Cr ($r = 0,68$), Fe ($r = 0,79$), Mn ($r = 0,79$) et Ni ($r = 0,75$), aux silicates ($r = 0,90$), aux NOx ($r = 0,72$), et aux fluorophores 4 ($r = 0,77$) et 5 ($r = 0,88$). Ces résultats montrent l'importance des apports en eaux douces sur la qualité des eaux de surface dans la baie jusqu'à 96 heures après l'évènement climatique. Avec des valeurs de pente $S_{275-295}$ comprises entre 0,016 et 0,028, les données sont typiques du milieu côtier. Mais la diminution significative des valeurs avec l'augmentation de l'absorbance à 350 nm (a_{350}) est indicatrice d'une influence plus intense des apports terrestres sur certains échantillons.

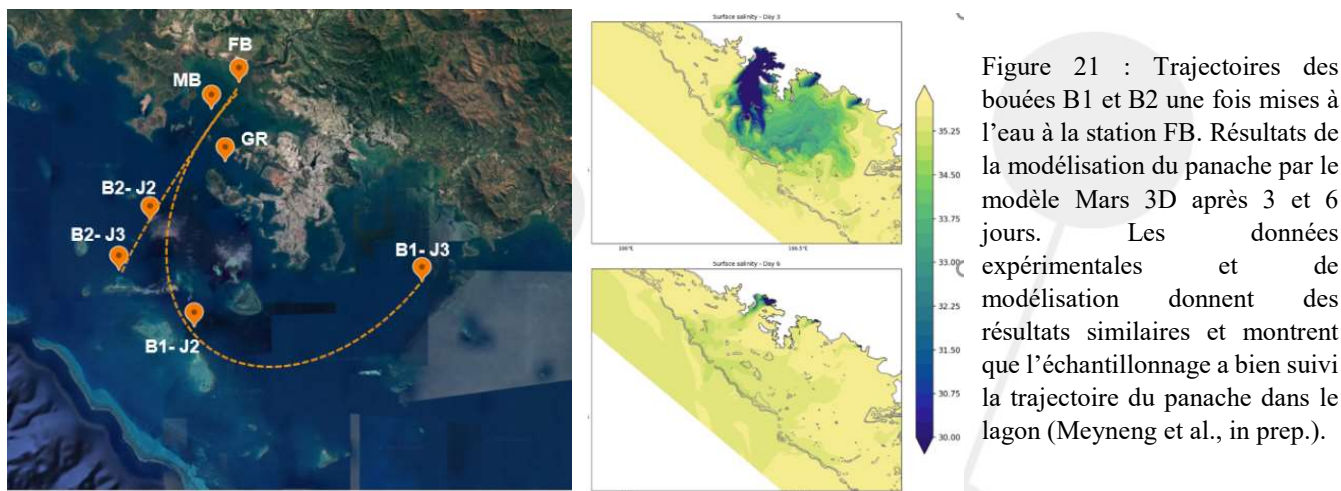
Entre les deux dates d'échantillonnages, on observe une augmentation des concentrations en chl *a*, mesure qui est considérée comme un proxy de la biomasse phytoplanctonique. Ce paramètre est corrélé à la fluorescence ($r = 0,76$), aux abondances en Cry ($r = 0,75$), en Nano ($r = 0,92$) et en PEUK ($r = 0,90$). Ces résultats suggèrent que le bloom dans la baie après le passage du panache est en terme de biomasse principalement constitué par ces groupes. Toutefois, on note aussi une augmentation des abondances en Syn entre les deux dates dans la baie (T1 à T4). La fluorescence que l'on peut attribuer à ces organismes représenterait plus de 25 % de la fluorescence totale mesurée par cytométrie (Annexe 18b). Les abondances en Nano et en Cry augmentent uniquement en fond de baie entre les deux dates et sont associées à une baisse du Sr (respectivement $r = -0,70$ et $-0,68$), dont les valeurs sont caractéristiques des eaux côtières. La chl *a* est aussi positivement corrélée à l'azote particulaire ($r = 0,84$), au ^{15}N ($r = 0,65$) et au ^{13}C ($r = 0,85$). L'augmentation des valeurs ^{15}N dans la gamme mesurée (1,9 – 7,0 ‰) pourrait s'expliquer par un apport en azote issu d'eaux usées (concentrées en ^{15}N). Les corrélations sont inverses et significatives entre les Syn et les sels nutritifs (NOx (e.g. $r = -0,89$ pour Syn 2) et les phosphates ($r = -0,81$ pour Syn 2)). La concentration en DIN est aussi significativement corrélée à celle en PEUK ($r = -0,66$). Ces tendances s'expliqueraient par une consommation des sels nutritifs apportés par la rivière durant la phase de bloom. Sachant que l'azote est le facteur limitant dans le lagon calédonien (Jacquet et al., 2006 ; Thomas et al., 2010), un excès d'azote en amont de ce site en lien avec les activités humaines, déjà pointé dans la phase 1 de cette étude, conduirait à une prolifération algale dans la baie au-dessus des $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ de chl *a*. Cette valeur correspond à la limite haute qui caractérise une eutrophisation des eaux dans le lagon calédonien. Concernant les bactéries, on observe un gradient pour HNA et LNA dans la baie avec des abondances plus élevées en T4 et une baisse hors de la baie en T5 sans doute sous l'influence d'un effet dilution. Le pourcentage de HNA (indicateur de la présence d'une plus forte activité bactérienne) est corrélé aux métaux particuliers ; Co ($r = 0,67$) Cr ($r = 0,78$) ; Fe ($r = 0,83$), Mn ($r = 0,78$) ; Ni ($r = 0,79$) et à la MOP ($r = 0,66$). Ces résultats indiqueraient une plus forte activité bactérienne dans le panache.

5.3.3. Conséquences du cyclone UESI

Les données de cette série d'échantillonnage sont compilées dans l'annexe 19. Les profils mesurés dans la grande rade sont présentés en annexe 20 et ceux réalisés dans le cadre d'un transect le 14 février le long d'un gradient côte large en annexe 21. Les résultats d'analyse des FDOM est montrée dans l'annexe 22. La part de fluorescence attribuée pour chaque groupe identifié par cytométrie se trouve dans l'annexe 23.

5.3.3.1. Hydrodynamique suite au passage du cyclone

Les conditions hydrodynamiques suite au passage du cyclone Uesi ont été analysées de manière disjointe par modélisation et par expérimentation en lançant des bouées dérivantes conçues pour suivre le devenir des masses d'eau (fig. 21). Les résultats des deux approches sont similaires et montrent un déplacement du panache vers le sud en lien avec les conditions météorologiques et de marée. Cette configuration est assez inédite et jusqu'ici non décrite. L'absence de vent pendant toute la semaine qui a suivi l'événement, contrairement à ce que nous avons observé en avril 2019, a été un véritable atout pour cette étude ciblée sur l'évolution des communautés microbiennes.



5.3.2.2. Etude des conditions environnementales

Une ACP permet de visualiser les principales sources de variabilité associées aux paramètres abiotiques à la suite du passage du cyclone Uesi (fig. 22). La variable chl *a* a été ajoutée en variable supplémentaire. Les axes 1 et 2 expliquent respectivement 39 % et 14 % de la variance. Les principales contributions pour l'axe 1 sont les silicates (14,9 %), l' a_{350} (12,6 %), le Ni(p) (10,6 %) et le Ca(d) (13,5 %). Pour l'axe 2, ce sont les PO₄ (14,4%), les DIN (19,7 %), le ¹³C (22,4 %) et le Cu(p) (10,6 %). L'axe 1 permet de distinguer trois grands groupes : un groupe composé des stations les plus impactées par le panache, un groupe fortement influencé par le milieu marin qui reflète un retour à la normale (GR5, GR6 et B1J3 et B2J3) et un groupe intermédiaire (GR1, GR2, B1J2 et B2J3). L'axe 2 permet de discriminer la réponse du milieu qui s'exprime par l'évolution des concentrations en sels nutritifs et de la part de ¹³C.

Cette réponse a pour conséquence une augmentation de la biomasse chlorophyllienne dans le milieu pour les échantillons de FB à J5 et J6 et de milieu de baie à J4 et J5.

Concernant les paramètres biotiques, l'axe 1 qui représente plus de 46 % de la variance, permet de distinguer les échantillons dont la présence en procaryotes et en eucaryotes unicellulaires est la plus forte (fig. 23). Avec 16 % de la variance expliquée, la contribution de l'axe 2 est associée à la présence de Syn 2 (43,8 %) et inversement à la concentration en phéophytines (17,7 %). Il permet de distinguer les échantillons prélevés à FB et MB de ceux récoltés à GR et au niveau des bouées.

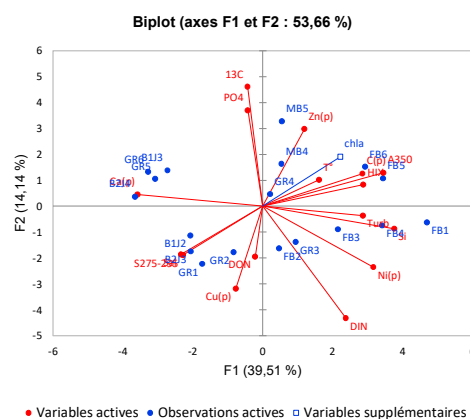


Figure 22 : Biplot F1/F2 de l'ACP réalisée sur les paramètres abiotiques relevés en fév. 2020.

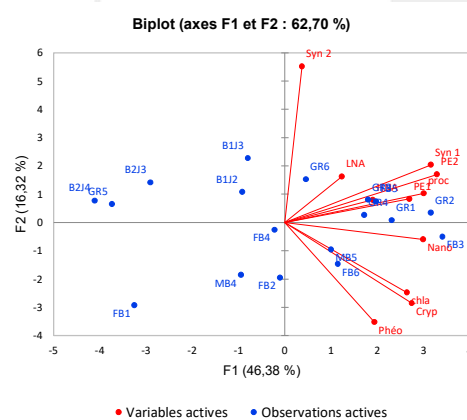


Figure 23 : Biplot FI/F2 de l'ACP réalisée sur les paramètres biotiques relevés en fév. 2020.

5.3.2.2. Comportement des métaux

Concernant la phase particulaire, les corrélations linéaires sont très significatives entre Fe, Mn, Co, Ni, Al et Cr (données non montrées). Concernant la phase dissoute, la fig. 24 montre l'évolution des concentrations en Ni, Cr, Co et Cu en fonction de la salinité. Ces données devront être validées par des mesures en MS pour les valeurs les plus faibles. Toutefois, pour expliquer l'évolution des concentrations avec l'augmentation de la salinité, une hypothèse serait qu'une seconde source de métaux dissous contaminerait l'eau lors de son cheminement. Pour le Cu(d), après cette phase de contamination, une dilution des échantillons avec une eau non contaminée expliquerait la baisse observée des concentrations. La mesure de la bouée dont les concentrations en Ni et en Cu sont les plus élevées correspond à la bouée 1 jour 3 dont on peut supposer qu'elle résulte d'un mélange avec les eaux côtières impactées par la Coulée.

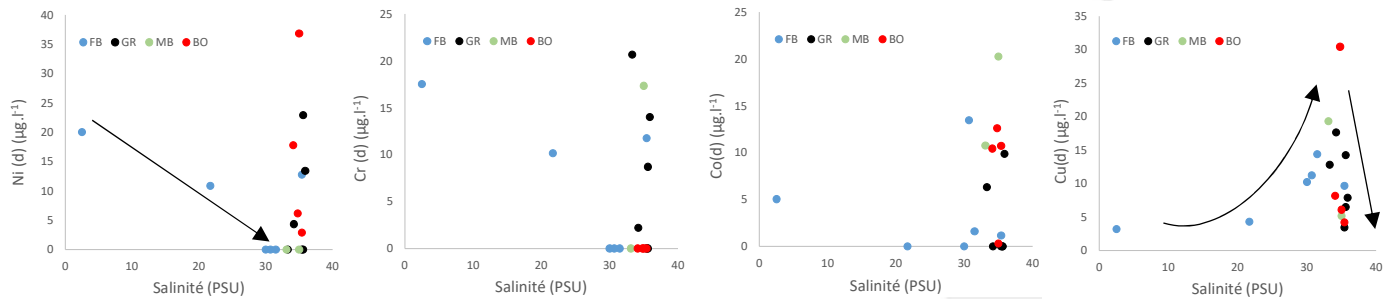


Figure 24 : Évolution des concentrations en métaux dissous en fonction de la salinité. Les valeurs à zéro représentent les échantillons pour lesquels les concentrations étaient inférieures à la limite de détection de l'appareil (FB : fond de baie ; GR : grande rade ; MB : milieu de baie ; BO : bouées).

5.3.4. Les communautés microbiennes

Le principal objectif des données collectées pour l'analyse de l'ADNe était d'étudier la dynamique des communautés microbiennes (protistes et bactéries) des eaux de surface dans le lagon en aval de la rivière de la Dumbéa. Les données sont issues de trois campagnes d'échantillonnage : sept. 2019, fév. 2020 et déc. 2020. Parmi elles, deux campagnes (sept. et déc.) avaient pour but de représenter la variabilité spatiale et saisonnière du milieu sans impact des pluies. L'analyse des données a permis de mettre en évidence un gradient côte-large visible sur la composition des communautés microbiennes. En effet, l'abondance relative des Cercozoa et des Ochrophyta est plus importante en zone côtière, et à l'inverse, les Radiolaria sont plus présents à proximité de la barrière récifale sous influence des apports océaniques. La variabilité saisonnière entre ces deux campagnes de saison sèche, influencée par la température, provoque des différences significatives sur la composition des communautés. La dominance des Dinoflagellata est d'autant plus importante quand la température est plus élevée. L'arrivée massive d'eau douce avec le cyclone Uesi a un impact visible sur les communautés microbiennes, avec un changement net de leur composition directement après l'évènement. On observe chez les nano-protistes une disparition de la dominance des Dinoflagellata, remplacée par les Ciliophora, Ochrophyta et Chlorophyta. Certains groupes taxonomiques sont présents uniquement après le cyclone. C'est le cas des Perkinsea. Ceci soutient l'hypothèse de l'arrivée d'organismes plutôt caractéristiques de milieu terrestres ou fluviaux. Une dynamique se met ensuite en place, résultant de la dilution du panache d'eau douce, des processus biogéochimiques ainsi que des interactions biotiques entre micro-organismes. La proportion des Ciliophora diminue de jour en jour, avec en parallèle un retour progressif des Dinoflagellata. Après six jours, les communautés se rapprochent de celles observées en condition de saison sèche. Toutefois, les analyses montrent que la composition des communautés ainsi que leur milieu sont encore sous l'effet de l'impact six jours après l'évènement.

Communauté de nano-protistes (20-3µm) dans la Baie de Dumbéa

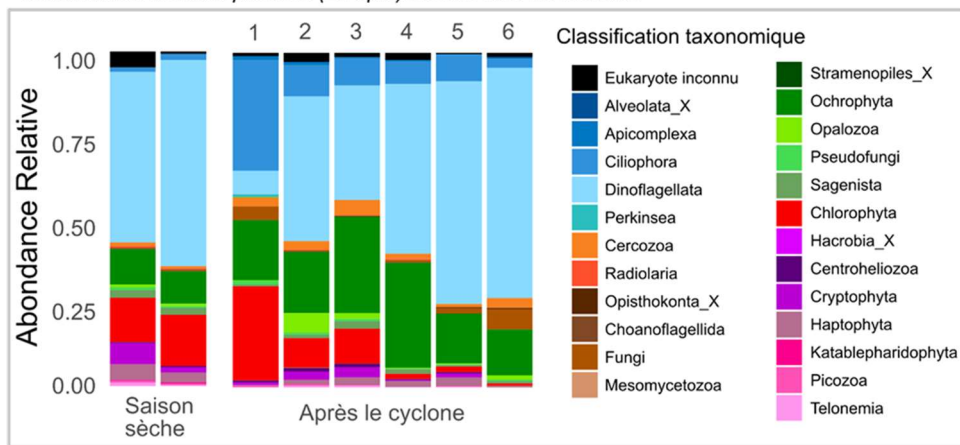


Figure 25 : Communautés de nano-protistes dans la baie de Dumbéa mises en évidence par métabarcoding lors des différents échantillonnages.

6. Conclusions et perspectives

Le projet CRESICA SEARSÉ fait suite à plusieurs projets sur le continuum terre-mer, et plus particulièrement sur les apports de matériaux latéritiques. On peut notamment citer les Projets du CNRT :

- « DYNAMINE » (Dynamique des métaux de la mine au lagon en Nouvelle-Calédonie) centré sur le massif du Koniambo (Juillot et al., 2019) ;
- « IMMILA » (impact des métaux de la mine au lagon) focalisé sur le site de Thio (Allenbach et al., 2020) ;
- DMML (dispersion des métaux de la mine au lagon) qui se proposait (i) de tracer la dispersion par voie atmosphérique autour du massif du Koniambo et (ii) d'analyser l'entrée de ces métaux dans la chaîne trophique dulçaquicole et estuarienne (Baudrimont et al., 2019).

Les résultats obtenus dans le cadre du projet SEARSÉ se veulent donc complémentaires de ces projets, en étant focalisé sur les massifs du Sud tout en appliquant des approches différentes et en ciblant le compartiment microbien afin d'évaluer la réponse de l'écosystème lagonaire aux apports terrestres.

La qualité de l'eau aux exutoires varie en fonction de plusieurs facteurs liés à l'hydrologie. Il faut donc discriminer les périodes à faible débit des périodes de crue et de décrue. A noter que le classement des débits qui tient compte de la notion d'étiage pourrait être trop restrictive pour discriminer les différentes eaux de surface en fonction de leur qualité. Ce point doit être éclairci. Dans ce suivi, le volume de données récoltées pendant les phases de crue reste bien souvent trop restrictif pour mesurer de manière significative certains mécanismes. Un effort d'échantillonnage supplémentaire en ciblant cette phase dans le processus hydrologique devrait être réalisé. Malgré cette contrainte, nous montrons que la turbidité aux exutoires est fonction des débits et que cette relation est fonction des bassins considérés, PI et CO présentant les valeurs de turbidité les plus élevées en fonction des débits exprimées en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ces bassins versants sont aussi ceux qui présentent la plus faible couverture végétale et sont soumis régulièrement à des feux. Nous montrons que certaines variables vont être impactées par les activités humaines (e.g., oxygène, nitrites-nitrates) et pourraient constituer à l'avenir des indicateurs pour évaluer la bonne santé des cours d'eau. Un effet bassin versant est observable sur d'autres paramètres (e.g., pH, C4, Mg, Si). Ces paramètres pourraient être utilisés pour construire des indicateurs en lien avec le type de bassin versant. Même si l'échantillon était unique, les caractéristiques de l'eau à l'exutoire à CO en janvier 2018 après le passage d'un feu suggèrent l'importance de ce type d'évènement sur la qualité de l'eau (matières organiques et métaux) et sur le transfert de la matière vers le lagon (Abraham et al., 2017). Les conséquences de ce type d'évènement ponctuel dans l'environnement marin devront être évaluées. Enfin, ce travail confirme le fait que la turbidité est un élément clé pour mesurer la dynamique des particules et le suivi des apports vers le lagon pendant les évènements extrêmes. L'instrumentation de différents bassins versants aux exutoires permettrait d'améliorer nos connaissances sur la dynamique des apports. Associés à des mesures ponctuelles de certains paramètres, nous pourrions mieux évaluer et suivre les pressions exercées par les activités humaines sur l'environnement côtier. L'analyse des données présentées dans ce rapport devra être poursuivie, en particulier pour mieux évaluer les exportations de matières afin de les comparer avec celles réalisées dans le cadre du projet DYNAMINE qui était focalisé sur le massif du Koniambo (Juillot et al., 2019).

Les résultats présentés dans ce rapport apportent des informations essentielles sur l'étendue spatiale et temporelle d'une perturbation cyclonique et sur les mécanismes de résilience du système côtier. Il complète notamment les travaux réalisés sur le devenir des métaux (Fernandez et al., 2006 ; 2017) et ceux conduits dans le cadre de thèses sur la matière organique dissoute (Martias 2018 ; Martias et al., 2018) et le phytoplancton (Jacquet, 2005 ; Jacquet et al., 2006). Ce travail a permis de collecter de nombreuses données pour analyser la diversité des communautés microbiennes dans le lagon et les conséquences des apports sur ce compartiment. Il va se poursuivre en ciblant des organismes qui pourraient avoir des conséquences pour la santé de l'écosystème, des organismes exploités et/ou pour la santé humaine. Dans le cadre d'une collaboration avec l'Institut Agronomique Calédonie (IAC), l'étude de l'ADNe en complément de celles déjà réalisées sur le milieu terrestre (Gourmelon et al., 2016 ; Nunez et al., 2021) devrait permettre en outre de créer de nouveaux marqueurs pour identifier l'origine de la matière dans les eaux lagonaire. Dans cette perspective, le projet SEARSÉ pourrait se prolonger par une étude sur le long terme de l'ADNe dans le cadre d'un observatoire dans le lagon

en complément de ce qui est déjà réalisé sur la station Moïse⁴ pour étudier l'impact des apports successifs sur le compartiment microbien et les conséquences en termes de résilience. Concernant les métaux, un effort devra être mené pour bien identifier le rôle du manganèse sur les proliférations algales dans les baies qui sont les environnements les plus à risque. Le cycle de cet élément dans ces écosystèmes côtiers devra être précisé.

Le projet SEARSÉ a été à l'origine de nouveaux questionnements et de différentes actions. Le premier concernait l'impact des feux sur la qualité des cours d'eau. Il s'est concrétisé par la mise en place d'un travail bibliographique financé par le CRESICA (Mai 2019). Certains échantillons ont été envoyés au Canada dans le cadre d'une étude sur le devenir des terres rares à l'interface terre mer (Dang et al., 2021). A noter que notre participation à ce travail a été rendue possible par la synergie avec le projet TREMOR financé par le CRESICA et coordonné par Cécile Dupouy (IRD-MIO). Les analyses ADNe réalisées ont fait l'objet à posteriori d'un travail spécifique porté par le Dr. Christophe Six (Sorbonne Université) pour analyser la diversité des cyanobactéries présentes dans les eaux côtières autour de Nouméa. Des contacts ont été pris pour une analyse des risques microbiologiques (projet interne Ifremer). Le projet SEARSÉ s'est poursuivi par une autre étude scientifique sur un sujet similaire financée par le CRESICA (2021- 2022) dénommée ECOMINE. Ce travail est centré sur l'analyse des communautés microbiennes au sein des sédiments côtiers. Cette dynamique autour des différents projets a contribué à l'obtention d'une bourse de thèse, financée par l'Ifremer (Projet MICROCOSMA pour l'analyse des données de métabarcoding collectées pendant les projets SEARSÉ et ECOMINE). Les travaux conduits autour de l'ADNe ont été aussi l'occasion d'engager des échanges scientifiques avec l'IAC autour de cet outil et des questions qui se posent sur le transfert de la matière le long du continuum terre-mer. Nous avons émis l'idée d'un séminaire autour de l'outil ADNe. Différentes réunions ont été organisées avec le Secrétariat de la Communauté du Pacifique (CPS), l'IAC, l'Ifremer, l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (IPNC), l'IRD, et l'UNC. Ce séminaire initialement prévu en mars 2023 devrait se tenir à Nouméa en octobre.

Impact des feux sur la qualité des eaux aux exutoires (Résumé du rapport bibliographique – Mai, 2019)

Suite à la dégradation de la qualité de l'eau observée sur le site CO le 18 fév 2018, après que le bassin versant ait été fortement impacté par un feu, nous devons nous interroger sur l'effet des feux sur la qualité des eaux aux exutoires. Les feux de forêt représentent une problématique importante en Nouvelle-Calédonie. En saison sèche, ils détruisent en moyenne 10 000 à 30 000 ha de végétation par an, mettant à nu des sols riches en métaux. L'impact de ces événements sur (i) la qualité chimique et microbiologique des eaux des rivières qui au final se rejettent dans le lagon calédonien et indirectement (ii) sur la qualité des eaux côtières n'a été que peu ou pas étudié à l'échelle locale. Une recherche bibliographique sur ce thème a été menée dans le cadre d'un CDD financé par le CRESICA (<https://archimer.ifremer.fr/doc/00617/72895/>). Ce document avait pour objectif de synthétiser les connaissances acquises sur un sujet qui a fait l'objet de plusieurs études à travers le monde et qui devient de plus en plus d'actualité dans le contexte du réchauffement climatique.

Devenir des terres rares (résumé de la publication en anglais)

Rare earth elements (REEs) and Y, or REYs, are commonly used as geochemical proxies for water chemistry, history of the continental crust and provenance studies. At the continent-ocean interface, the estuarine geochemistry of REYs is commonly thought to be driven by large-scale removal of the dissolved fraction. Consequently, contributions of river-borne dissolved REYs to the marine budget are assumed to represent a minor fraction of the total flux. Here, we report a significant release of dissolved REYs, together with a fractionation between light REEs, heavy REEs and Y, in the tropical mangrove estuaries of New Caledonia. These observations were associated with biogeochemical processes of the redox-dynamic mangrove system, rather than a possible contribution of REYs from a fresh groundwater source, based on stable water isotope compositions. These findings imply that tropical mangrove estuaries may act as a sizeable source of REYs to the ocean rather than buffer zones, at least for the dissolved fraction. We also extrapolated our data to compute the contributions of dissolved REY fluxes from the mangroves to global oceans. This preliminary calculation suggests that the mangrove system supplies 2.6-5% of global river-borne dissolved Nd, an REE with the most comprehensive mass balance. Therefore, given that the ocean mass budget of REYs remains unbalanced with fluxes missing on a global scale, considering the mangrove system as an input of oceanic mass balance models may help improve our understanding of the global distribution of REYs.

Le projet Cyanobactéries (collaboration mise en place fin 2021 avec Christophe Six de Sorbonne Université).

⁴ <https://www.mio.osupytheas.fr/fr/mers-et-oceans-changement-global/moise-mouillage-lagonaire-instrumente-suivi-biogeochimique>

Ce projet vise, à l'aide des données de séquençage ADNe, à identifier les différents clades de picocyanobactéries présents dans les eaux côtières autour de Nouméa et à voir si une structuration de cette communauté permettrait de discriminer différentes masses d'eau. Dix-huit catégories taxonomiques ont pu être discriminées et les stations côtières montrent une forte hétérogénéité. Outre les connaissances en termes de biodiversité, ce travail pourrait permettre de définir un indicateur de qualité des eaux côtières. Une communication dans le cadre du colloque ASLO est prévue en juin 2023.

Le projet ECOMINE (résumé du projet déposé au Cresica)

En associant des approches de génomique environnementale (ADNe) et de géochimie (métaux, matière organique), le projet ECOMINE (Évolutions des COMMunautés MICRObiennes aux exutoires des massifs MiniErs) vise (i) à comprendre les impacts de l'activité minière sur les communautés microbiennes à différentes échelles de temps (annuelle, décennale, centennale) le long du continuum terre - mer et (ii) à développer des indicateurs biotiques de santé des hydrosystèmes et des écosystèmes littoraux et des risques sanitaires. Pour mener à bien cette étude, l'ADNe sera recherché dans les sédiments superficiels des rivières et des estuaires sur différents sites sous influence de bassins versants ultrabasiques exploités ou anciennement exploités par des mines à ciels ouverts et le long d'une carotte sédimentaire pour retracer l'évolution des communautés en lien avec l'activité minière.

La thèse MICROSCOMA - Microbial COMMunity shifts in New Caledonia coastal ecosystems under Seasonal and Multidecadal Anthropogenic impacts – Mathisse Meyneng - (Résumé du projet de thèse)

Cette thèse a débuté en octobre 2021. En associant des approches de génomique environnementale (ADNe), d'hydrologie côtière et de géochimie elle vise plus spécifiquement à comprendre les impacts de l'activité humaine sur les communautés microbiennes sous trois perspectives complémentaires. (1) L'évaluation des variations de la structure des communautés microbiennes entre la saison sèche et humide dans les écosystèmes estuariens des bassins versants sous influence minière. (2) L'analyse des changements des communautés microbiennes qui ont eu lieu au cours du siècle dernier parallèlement au développement de l'industrie minière via l'analyse de d'archives sédimentaires (ADNsed ancien et métaux). (3) L'évaluation de l'arrivée et/ou de la recrudescence des efflorescences de micro-organismes potentiellement nuisibles en relation avec le développement des activités humaines.

7. Éléments de valorisation prévus et obtenus

Décrire l'impact du projet par exemple par ses communications, ses conférences et publications ainsi que les brevets potentiels, la création d'entreprise, le développement de partenariats ou l'utilisation des travaux par les services publics et les industriels.

Communications	<ul style="list-style-type: none"> ••• Comité technique Collectivités Ifremer ••• Restitution accord cadre Collectivités Ifremer ••• Séminaire DYNECO à Ifremer Brest par Hugues Lemonnier ••• Raffaele Siano missions 1 et 2 ••• Séminaire DYNECO à Ifremer Brest Mathisse Meyneng ••• Participation de Mathisse Meyneng à MT180s en 2023 avec obtention du prix du Jury à Brest – qualifiée pour la finale régionale. https://www.youtube.com/watch?v=OE2JfX6YxvU (à la minute 54)
Conférences	<ul style="list-style-type: none"> ••• Dupouy C., Baumann F., Bouard S., Goirant C., Lemonnier H., Letourneur Y., Meyer M., Tatin C., 2019. The “Along the River” program: a research and innovation project focusing on the integrated management of water, its uses and its governance in New Caledonia, in Abs. Booklet, p.7, Conference STAR 2019, 19-23 November, Suva, Fiji. ••• Lemonnier H., Royer F., Lopez E., Berne S., Boher L., Coignot E., Desnues A., Dupouy C., Helly M., Gérard P., Gunkel-Grillon P., Jamet L., Lemestre M., Liufau F., Siano R., Soulard B., 2019. Signature des EAux des RivièreS et des Estuaires dans le Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie: le projet SEARSÉ. Présentation orale réalisée dans le cadre du séminaire « Au fil de l'eau » organisé par le Cresica du 17 au 18 septembre 2019 à Nouméa. ••• Meyneng M., Lemonnier H., Le Gendre R., Plougoulen G., Antypas F., Ansquer D., Siano R., 2023. Subtropical coastal microbiome changes due to massive river run-off after a cyclonic event. Conférence ASLO – juin 2023 SS068: Extreme Climatic Events: A Challenge for Shallow Coastal Ecosystems ••• Six C., Meyneng M., Siano R., Antypas F., Ansquer D., Lemonnier H., Impact of a cyclonic event on the cyanobacterial communities of the Nouméa Lagoon (New Caledonia). Poster présenté à ASLO Aquatic Sciences Meeting 2023, 4–9 June 2023, Palma de Mallorca, Spain.
Publications	<ul style="list-style-type: none"> ••• Lemonnier H., Royer F., Lopez E., Berne S., Boher L., Coignot E., Desnues A., Dupouy C., Helly M., Gérard P., Gunkel-Grillon P., Jamet L., Lemestre M., Liufau F., Siano R., Soulard B., 2020. Signature des EAux des RivièreS et des Estuaires dans le Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie: le projet SEARSÉ. Editions PUNC ••• Dang DH, Zhang Z., Wang W., Oursel B., Juillot F., Dupouy C., Lemonnier H., Mounier S., 2021. Tropical mangrove forests as a source of dissolved rare earth elements and yttrium. <i>Chemical Geology</i>. 576, 120278. ••• Meyneng M., Lemonnier H., Le Gendre R., Plougoulen G., Antypas F., Ansquer D., Serghine J., Siano R. (in prep) Subtropical coastal microbiome changes due to massive river run-off after a cyclonic event. STOTEN
Brevets	<ul style="list-style-type: none"> •• Non
Création d'entreprise	<ul style="list-style-type: none"> •• Non
Partenariats	<ul style="list-style-type: none"> ••• DAVAR ••• Météorologie Nationale
Utilisation des travaux	<ul style="list-style-type: none"> ••• Mise à disposition de la base de données « phase 1 » (en cours) ••• Pour l'obtention d'un financement de thèse intitulée Microcosma par la direction scientifique Ifremer (Oct 2021 – Oct 2024)

Rapports stages et
CDD

- Mouras, N. 2020. Étude du devenir de la matière organique dissoute colorée et fluorescente dans le panache d'une rivière tropicale sous influence anthropique. Rapport de stage de Licence Sciences de la Vie Parcours Biologie des Écosystèmes Marins de l'Université de La Rochelle. 18 p.
- Helly, M., 2019. Recherche d'une signature biologique propre à la rivière de la Dumbéa et à la rivière des Pirogues. Rapport de stage pour le Master 1 « Chimie et sciences du vivant » de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. 21 p
- Maï, T., 2019. Etude bibliographique sur l'impact des feux sur la chimie de l'environnement. Rapport Ifremer RBE / LEAD / RST-20-01 de fin de contrat CRESICA d'un CDD réalisé dans le cadre du projet Searsé. 29 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00617/72895/72771.pdf>
- Boulai, E., 2019. SEARSE : Fouille de données Traitement de la base de données en MOD sur le logiciel R studio. Rapport de fin de contrat Ifremer / CRESICA de CDD réalisé du 1/09/19 au 20/12/19. 79 p.
- Coignot, E., 2018. Recherche d'une signature chimique de quatre rivières autour du Grand Nouméa (Tontouta, Dumbéa, La Coulée, rivière des Pirogues). Rapport de stage pour le Master 2" Sciences pour l'environnement - Parcours Ecologie de l'Université de La Rochelle. 60 p.
- Boher L., Coignot E., Lopez E., Royer F., Lemonnier H., 2018. Suivi de la matière organique fluorescente en amont des estuaires dans le sud de la Nouvelle-Calédonie. Projets PRESENCE & SEARSÉ. Rapport de fin de contrat CDD Ifremer-LEAD.

8. Références

- Allenbach M et coll. (2020) – Rapport scientifique. Programme « IMMILA, Impact de la mine au lagon ». CNRT « Nickel & son environnement ». 251 pages.
- Ambatsian P, Fernex F, Bernat M, Parron C, Lecolle J (1997). High metal inputs to closed seas: the New Caledonian lagoon. *Journal of geochemical Exploration* 59(1), 59-74.
- Aminot A, Kérouel R. (2004) *Hydrologie des écosystèmes marins: paramètres et analyses*. Editions Quae.Ammann AA, Rüttimann TB, Bürgi F (2000) Simultaneous determination of TOC and TNb in surface and wastewater by optimised high temperature catalytic combustion. *Water Res.* 34, 3573-3579.
- Andruszkiewicz EA, Starks HA, Chavez FP, Sassoubre LM, Block BA, Boehm, A (2017) Biomonitoring of marine vertebrates in Monterey Bay using eDNA metabarcoding *PLoS One* 12 (4), e0176343
- Baker-Austin C, Oliver JD (2018) *Vibrio vulnificus*: new insights into a deadly opportunistic pathogen. *Environ Microbiol*, 20: 423-430.
- Baudrimont M, Dominique Y, Feurtet-Mazel A, Gonzalez P, Gourvès P-Y, Gunkel-Grillon P, Laporte-Magoni C, Lefrançois E, Letourneur Y, Marquié J, Maury-Brachet R, Monna F, Pasquet C, Rivière E, Roth E (2019) – Rapport scientifique final. Programme « Dispersion des métaux de la mine au lagon. ». CNRT « Nickel & son environnement. 192 pages.
- Baumann F, Bourrat M-B, Pauillac S (2010) Prevalence, symptoms and chronicity of ciguatera in New Caledonia: Results from an adult population survey conducted in Nouméa during 2005. *Toxicon*, 56, 662-667.
- Benavides M, Martias C, Elifantz H, Berman-Frank I, Dupouy C and Bonnet S (2018) Dissolved Organic Matter Influences N2 Fixation in the New Caledonian Lagoon (Western Tropical South Pacific). *Front. Mar. Sci.* 5:89. doi: 10.3389/fmars.2018.00089
- Bik HM, Sung W, De Ley P, Baldwin JG, Sharma J, Rocha-Olivares A., Thomas WK (2012) Metagenetic community analysis of microbial eukaryotes illuminates biogeographic patterns in deep-sea and shallow water sediments. *Molecular Ecology*, 21, 1048–1059.
- Binet D (1984) Planktonic copepods in the lagoon of New Caledonia: Ecological factors and species assemblages. *Marine biology*. Berlin, Heidelberg, 82(2), 143-156.
- Binet D (1985). Essai d'utilisation de la diversité spécifique dans l'analyse des communautés de copépodes planctoniques du lagon de Nouvelle-Calédonie. *Marine Biology*, 88, 85-99.
- Bird C, Dubois J-P, Iltis J (1984) The impact of opencast mining on the rivers and coasts of New Caledonia. The United Nations University, Tokyo, pp. 53.
- Biscéré T, Rodolfo-Metalpa R, Lorrain A, Chauvaud L, Thébault J, Clavier J, Houbrèque F (2015) Responses of Two Scleractinian Corals to Cobalt Pollution and Ocean Acidification. *PLoS One*, 10, e0122898
- Biscéré T, Lorrain A, Rodolfo-Metalpa R, Gilbert A, Wright A, Devissi C, Peignon C, Farman R, Duvieilbourg E, Payri C, Houbrèque F (2017) Nickel and ocean warming affect scleractinian coral growth. *Marine Pollution Bulletin*, 120, 250-258.
- Bligh MW (2009) Formation, fate and transformation of products of iron oxidation in coastal waters (Doctoral dissertation, Ph. D Thesis).
- Boula A, Laporte-Magoni C, Gunkel-Grillon P, Bour O, Selmaoui-Folcher N (2022) Potential contamination of stream waters by ultramafic mining sediments: Identification of geochemical markers (New Caledonia). *Journal of Geochemical Exploration*, 232, 106879.
- Briand E, Pringault O, Jacquet S, Torrétion JP (2004) The use of oxygen microprobes to measure bacterial respiration for determining bacterioplankton growth efficiency. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2(12), 406-416.
- Briand MJ, Letourneur Y, Bonnet X, Wafo E, Fauvel T, Brischoux F, Guillou G, Bustamante P (2014) Spatial variability of metallic and organic contamination of anguilliform fish in New Caledonia. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 4576-4591.
- Bujan S, Grenz C, Fichez R, Douillet P (2000) Biogeochemical recycling in the south-west lagoon of New Caledonia. A box model approach. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Series III Sciences de la Vie*, 2(323), 225-233.
- Callahan J, Dai M, Chen RF, Li X, Lu Z, Huang W (2004). Distribution of dissolved organic matter in the Pearl River Estuary, China. *Mar. Chem.* 89, 211-224. été analysé en sous-traitance par le laboratoire MIO - Equipe CEM de l'Université de Toulon.
- Carassou L, Ponton D (2007) Spatio-temporal structure of pelagic larval and juvenile fish assemblages in coastal areas of New Caledonia, southwest Pacific. *Marine Biology*, 150, 697-711.
- Carassou L, Kulbicki M, Nicola TJ, Polunin NV (2008) Assessment of fish trophic status and relationships by stable isotope data in the coral reef lagoon of New Caledonia, southwest Pacific. *Aquatic Living Resources*, 21(1), 1-12.
- Cazorla C, Guigon A, Noel M, Quilici M-L, Lacassin F (2011) Fatal *Vibrio vulnificus* infection associated with eating raw oysters, New Caledonia. *Emerg Infect Dis* 17(1), 136–137.
- Ceccarelli DM, McKinnon AD, Andréfouët S, Allain V, Young J, Gledhill DC, Flynn A, Bax NJ, Beaman R, Borsa P, Brinkman R, Bustamante RH, Campbell R, Cappo M, Cravatte S, D'Agata S, Dichmont CM, Dunstan PK, Dupouy C, Edgar G, Farman R, Furnas M, Garrigue C, Hutton T, Kulbicki M, Letourneur Y, Lindsay D, Menkès C, Mouillot D, Parravicini V, Payri C, Pelletier B, Richer

- de Forges B, Ridgway K, Rodier M, Samadi S, Schoeman D, Skewes T, Swearer S, Vigliola L, Wantiez L, Williams A, Richardson A (2013) The Coral Sea: Physical Environment, Ecosystem Status and Biodiversity Assets, *Advances in Marine Biology*, Vol. 66, Burlington: Academic Press, 2013, pp. 213-290, ISBN: 978-0-12-408096-64
- Chen S, Xie Q, Su S, Wu L, Zhong S, Zhang Z, ... Fu P (2022) Source and formation process impact the chemodiversity of rainwater dissolved organic matter along the Yangtze River Basin in summer. *Water Research*, 211, 118024.
- Clua E, Brena PF, Lecasble Cm, Ghnassia R, Chauvet C (2011) Prevalence and proposal for cost-effective management of the ciguatera risk in the Nouméa fish market, New Caledonia (South Pacific). *Toxicon*, 58, 591-601.
- Derrien Morgane, Yang Liyang, Hur Jin, 2017. Lipid biomarkers and spectroscopic indices for identifying organicmatter sources in aquatic environments: A review. *Water research* 112, 58-71.
- Desclaux T, Lemonnier H, Genthon P, Soulard B, Le Gendre R (2018) Suitability of a lumped rainfall–runoff model for flashy tropical watersheds in New Caledonia, *Hydrological Sciences Journal* 63(11), 1689-1706.
- Destoumieux-Garzón D, Mavingui P, Boetsch G, Boissier J, Darriet F, Duboz P, Fritsch C, Giraudoux P, Le Roux F, Morand S, Paillard C, Pontier D, Sueur C, Voituren Y (2018) The One Health Concept: 10 Years Old and a Long Road Ahead. *Frontiers in Veterinary Science* 5.
- Domet MA (2022). "Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie - Actualisation jusqu'à la période 2019-2021. Ed DAVAR Service de l'eau. 405 p.
- Dupouy C, Neveux J, Ouillon S, Frouin, R, Murakami H, Hochard S, Dirberg, G., 2010. Inherent optical properties and satellite retrieval of chlorophyll concentration in the lagoon and open ocean waters of New Caledonia, *Marine Pollution Bulletin*, 61, 503-518, doi:10.1016/j.marpolbul.2010.06.039
- Faure V, Pinazo C, Torrétón J P, Douillet P (2006) Relevance of various formulations of phytoplankton chlorophyll a: carbon ratio in a 3D marine ecosystem model. *Comptes rendus biologies*, 329(10), 813-822.
- Faure V, Pinazo C, Torrétón J P, Douillet P (2010) Modelling the spatial and temporal variability of the SW lagoon of New Caledonia II: realistic 3D simulations compared with in situ data. *Marine pollution bulletin*, 61(7-12), 480-502.
- Fellman JB, Hood E, Spencer RG (2010) Fluorescence spectroscopy opens new windows into dissolved organic matter dynamics in freshwater ecosystems: A review. *Limnology and oceanography*, 55(6), 2452-2462.
- Fernandez J-M, Ouillon S, Chevillon C, Douillet P, Fichez R, Le Gendre R (2006) A combined modelling and geochemical study of the fate of terrigenous inputs from mixed natural and mining sources in a coral reef lagoon (New Caledonia). *Marine Pollution Bulletin* 52, 320-331.
- Fernandez J-M., Meunier, J-D., Ouillon, S., Moreton, B., Douillet, P., Grauby, O., 2017. Dynamics of Suspended Sediments during a Dry Season and Their Consequences on Metal Transportation in a Coral Reef Lagoon Impacted by Mining Activities, *New Caledonia. Water*. 9(5), 338.
- Fichez R, Chifflet S, Douillet P, Gérard P, Gutierrez F, Jouon A, Ouillon S, Grenz C (2010) Biogeochemical typology and temporal variability of lagoon waters in a coral reef ecosystem subject to terrigenous and anthropogenic inputs (New Caledonia). *Marine Pollution Bulletin* 61, 309–322.
- Fuchs R, Dupouy C, Douillet P, Dumas F, Caillaud M, Mangin A, Pinazo C, 2012. Modelling the impact of a La Niña event on a South West Pacific Lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 1596-1613.
- Fuchs R., Pinazo C., Douillet P., Fraysse, M., Grenz, C., Mangin A., Dupouy C., 2013. Modeling the ocean-lagoon interaction via upwelling processes on the South West of New Caledonia, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135, 5-17.
- Genthon P, Tramier C, Delvienne Q, Dumas P, Rouché N, Wijesuriya K, ... Goué A. (2022) Hydrosedimentary monitoring of the Hydrothiem observatory, Eastern tropical coast of New Caledonia (SW Pacific). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44, 101223.
- Gourmelon V, Maggia L, Powell JR, Gigante S, Hortal S, Gueunier C, ... & Carriconde F (2016) Environmental and geographical factors structure soil microbial diversity in New Caledonian ultramafic substrates: a metagenomic approach. *Plos one*, 11(12), e0167405.
- Gilbert A, Heintz T, Hoeksema BW, Benzoni F, Fernandez JM, Fauvelot C, Andréfouët S (2015) Endangered New Caledonian endemic mushroom coral *Cantharellus Nouméa* in turbid, metal-rich, natural and artificial environments. *Marine Pollution Bulletin* 100, 359-369.
- Gissi F, Wang Z, Batley GE, Leung KM, Schlekot CE, Garman ER, Stauber JL (2020) Deriving a chronic guideline value for nickel in tropical and temperate marine waters. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(12), 2540-2551.
- Grenz C, Denis L, Boucher G, Chauvaud L, Clavier J, Fichez R, Pringault O (2003) Spatial variability in sediment oxygen consumption under winter conditions in a lagoonal system in New Caledonia (South Pacific). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 285, 33-47.
- Grenz C, Le Borgne R, Torrétón J-P, Fichez R (2013) New Caledonia Lagoon: a threatened paradise under anthropogenic pressure? In: Mwinyihija M. (ed.). *Lagoons: habitat and species, human impacts and ecological effects*. New York: Nova Science, p. 31-56. ISBN 978-1-62808-092-6.
- Guillou L, Bachar D, Audic S, Bass D, Berney C, Bittner L, et al. (2013) The Protist Ribosomal Reference database (PR2): a catalog of unicellular eukaryote Small Sub-Unit rRNA sequences with curated taxonomy. *Nucleic Acids Res.*, 41, D597–D604.

- Hédouin L, Metian M, Teyssié J-L, Fichez R, Warnau M (2017) High contribution of the particulate uptake pathway to metal bioaccumulation in the tropical marine clam *Gafrarium pectinatum*. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Hédouin L, Metian M, Teyssié J-L, Fichez R, Warnau M (2010) Delineation of heavy metal contamination pathways (seawater, food and sediment) in tropical oysters from New Caledonia using radiotracer techniques. *Marine Pollution Bulletin* 61, 542-553
- Heintz T, Haapkylä J, Gilbert A (2015) Coral health on reefs near mining sites in New Caledonia. *Diseases of Aquatic Organisms* 115, 165-173.
- Hernández C, Cabanyero CA (2020) Phylogeny and life cycle of the zoonotic pathogen *Vibrio vulnificus*. *Environmental Microbiology*, 22(10), 4133-4148.
- Huguet A, Vacher L, Relexans S, Saubusse S, Froidefond JM, Parlanti E. (2009). Properties of fluorescent dissolved organic matter in the Gironde Estuary. *Organic Geochemistry*, 40(6), 706-719.
- Jacquet S (2005). Impact des apports en nutriments sur le réseau trophique planctonique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- Jacquet S, Dellasalle B, Torréton J-P, Blanchot J (2006) Response of phytoplankton communities to increased anthropogenic influences (Southwestern lagoon, New Caledonia). *Marine Ecology Progress Series* 320, 65-78.
- Jouon A, Douillet P, Ouillon S, Fraunié P (2006) Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model. *Continental Shelf Research*, 26(12-13), 1395-1415.
- Juillot F. et coll. (2019) – Rapport scientifique final. Programme « Dynamique des métaux de la mine au lagon ». CNRT « Nickel & son environnement ». 202 pages.
- Kerbrat AS, Darius HT, Pauillac S, Chinain M, Laurent D (2010) Detection of ciguatoxin-like and paralyzing toxins in *Trichodesmium* spp. from New Caledonia lagoon. *Marine Pollution Bulletin* 61, 360-366.
- Kermarrec L, Franc A, Rimet F, Chaumeil P, Humbert J, Bouchez, A (2014). A next-generation sequencing approach to river biomonitoring using benthic diatoms. *Freshwater Science* 33, 349–363.
- Kier G, Kreft H, Lee TM, Jetz W, Ibsch PL, Nowicki C, Mutke J, Barthlott W (2009) A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 9322-9327.
- Lalau N, Soulard B, Le Gendre R (2019). Atlas 2011-2016 des apports hydriques à l'échelle du territoire calédonien. 59p.
- Leblanc K, Cornet V, Caffin M., Rodier M, Desnue A, Berthelot H, Turk-Kubo K, Heliou J (2016) Phytoplankton community structure in the VAHINE MESOCOSM experiment. *Biogeosciences* 13, 5205-5219
- Laroche C, Chauveau M, N'Guyen P, Wotling G, Mir J-M, Bernast N (2022) Plus de 60 ans d'hydrométrie en Nouvelle-Calédonie bilan, pratiques, évolutions et perspectives, LHB, DOI: 10.1080/27678490.2022.2050429
- Le Borgne R, Douillet P, Fichez R, Torréton J-P (2010) Hydrography and plankton temporal variabilities at different time scales in the southwest lagoon of New Caledonia: a review. *Mar Pollut Bull.* 61(7-12), 297-308.
- Lemonnier H, Courties C, Mugnier C, Torréton J.-P, Herbland A (2010) Nutrient and microbial dynamics in eutrophying shrimp ponds affected by a vibriosis. *Marine Pollution Bulletin* 60, 402-411.
- Lemonnier H, Lantoine F, Courties C, Guillebault D, Nézan E, Chomérat N, Escoubeyrou K, Galinié C, Blockmans B, Laugier T (2016) Dynamics of phytoplankton communities in eutrophying tropical shrimp ponds affected by vibriosis. *Marine Pollution Bulletin* 11, 449-459.
- Lemonnier H, Hochard S, Nakagawa K, Courties C, Rodier M (2017). Response of phytoplankton to organic enrichment and shrimp activity in tropical aquaculture ponds: a mesocosm study. *Aquatic Microbial Ecology* 80, 105- 122.
- McMurdie PJ, Holmes S (2013) phyloseq: an R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. *PloS one*, 8(4), e61217.
- Mari X, Kerros ME, Weinbauer MG (2007a) Virus attachment to transparent exopolymeric particles along trophic gradients in the southwestern lagoon of New Caledonia. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(16), 5245-5252.
- Mari X, Rochelle Newall E, Torréton JP, Pringault O, Jouon A, Migon C. (2007b). Water residence time : A regulatory factor of the DOM to POM transfer efficiency. *Limnology and Oceanography*, 52 (2), 808-819. ISSN 0024-3590
- Mari X, Migon C, Nicolas E (2009) Reactivity of transparent exopolymeric particles: a key parameter of trace metal cycling in the lagoon of Nouméa, New Caledonia. *Marine pollution bulletin*, 58(12), 1874-1879.
- Marie D, Partensky F, Jacquet S, Vaulot D (1997) Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green I. *Applied and environmental microbiology*, 63(1), 186-193.
- Martias C (2018). Dynamique de la matière organique dissoute colorée et fluorescente en zone lagonaire tropicale dans le Pacifique Sud (Nouvelle Calédonie): influences climatiques et anthropogéniques (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).
- Martias C, Tedetti M, Lantoine F, Jamet L, Dupouy C (2018) Characterization and sources of colored dissolved organic matter in a coral reef ecosystem subject to ultramafic erosion pressure (New Caledonia, Southwest Pacific). *Science of the Total Environment*, 616, 438-452. ISSN 0048-9697
- Météo-France 2018. Bulletin Climatique Annuel de la Nouvelle-Calédonie 2018. Ed Météo-France, Direction Interrégionale en Nouvelle-Calédonie et à Wallis-et-Futuna, Nouméa www.meteo.nc/nouvelle-caledonie/climat/bulletins-climatiques.
- Météo-France 2019. Bulletin Climatique Annuel de la Nouvelle-Calédonie 2019. Ed Météo-France, Direction Interrégionale en Nouvelle-Calédonie et à Wallis-et-Futuna, Nouméa www.meteo.nc/nouvelle-caledonie/climat/bulletins-climatiques.

- Météo-France 2020. Bulletin Climatique Annuel de la Nouvelle-Calédonie 2020. Ed Météo-France, Direction Interrégionale en Nouvelle-Calédonie et à Wallis-et-Futuna, Nouméa www.meteo.nc/nouvelle-caledonie/climat/bulletins-climatiques
- Metian M, Bustamante P, Hédouin L, Warnau M (2008) Accumulation of nine metals and one metalloid in the tropical scallop *Comptopallium radula* from coral reefs in New Caledonia. *Environmental Pollution* 152, 543-552.
- Metian M, Warnau M, Chouvelon T, Pedraza F, Rodriguez y Baena AM, Bustamante P (2013) Trace element bioaccumulation in reef fish from New Caledonia: Influence of trophic groups and risk assessment for consumers. *Marine Environmental Research* 87-88, 26-36.
- Migon C, Ouillon S, Mari X, Nicolas E (2007) Geochemical and hydrodynamic constraints on the distribution of trace metal concentrations in the lagoon of Nouméa, New Caledonia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74(4), 756-765.
- Moreton BM, Fernandez JM, Dolbecq MBD (2009) Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia Lagoon. *Geostand Geoanal Res* 33:205-218.
- Mounier S, Zhao H, Garnier C, Redon R (2011) Copper complexing properties of dissolved organic matter: PARAFAC treatment of fluorescence quenching. *Biogeochemistry* 106, 107-116. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9486-6>.
- Neveux J, Lefebvre J-P, Le Gendre R, Dupouy C, Gallois F, Courties C, Gérard P, Fernander J-M, Ouillon S (2010) Phytoplankton dynamics in the southern New Caledonian lagoon during a southeast trade winds event. *Journal of marine systems* 82, 230-244.
- Nunez NF, Maggia L, Stenger PL, Lelièvre M, Letellier K, Gigante S, ... & Carriconde F (2021) Potential of high-throughput eDNA sequencing of soil fungi and bacteria for monitoring ecological restoration in ultramafic substrates: The case study of the New Caledonian biodiversity hotspot. *Ecological engineering*, 173, 106416.
- Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlinn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H (2018) Vegan: Community ecology package. R package version 2.5-2 ; Available online at <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>
- Ouillon S, Douillet P, Andréfouët S (2004) Coupling satellite data with in situ measurements and numerical modeling to study fine suspended-sediment transport: a study for the lagoon of New Caledonia. *Coral Reefs* 23, 109-122.
- Parada AE, Needham, DM, Fuhrman J A (2016) Every base matters: assessing small subunit rRNA primers for marine microbiomes with mock communities, time series and global field samples. *Environ Microbiol* 18, 1403-1414.
- Pawlowski J, Esling P, Lejzerowicz F, Cedhagen T, Wilding TA (2014). Environmental monitoring through protist next-generation sequencing metabarcoding: assessing the impact of fish farming on benthic foraminifera communities. *Molecular Ecology Resources* 14, 1129-1140.
- Pelletier D, Selmaoui-Folcher N, Bockel T, Schohn T (2020) A regionally scalable habitat typology for assessing benthic habitats and fish communities: Application to New Caledonia reefs and lagoons. *Ecol Evol.* 10(14), 7021-7049.
- Pinazo C, Bujan S, Douillet P, Fichez R, Grenz C, Maurin A (2004). Impact of wind and freshwater inputs on phytoplankton biomass in the coral reef lagoon of New Caledonia during the summer cyclonic period: a coupled three-dimensional biogeochemical modeling approach. *Coral Reefs*, 23, 281-296.
- Quast C, Pruesse E, Yilmaz P, Gerken J, Schweer T, Yarza P, Peplies J, Glöckner FO (2013) The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools, *Nucleic Acids Research*, Volume 41(D1), 590-596, <https://doi.org/10.1093/nar/gks1219>
- Ramond P, Sourisseau M, Simon N, Sarah R, Schimtt S, Rigaut-Jalabert F, Henry N, de Vargas C, Siano R (2019) Coupling between taxonomic and functional diversity in protistan coastal communities. *Environ. Microbiol.* 21, 730-749.
- Raimbault P, Slawyk G, Coste B, Fry J (1990) Feasibility of using an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100 n M range: Examples from field and culture. *Marine Biology*, 104, 347-351.
- Raimbault Patrick, Wilfried Pouvesle, Frédéric Diaz, Nicole Garcia, Richard Sempéré, 1999. Wet-oxidation and automated colorimetry for simultaneous determination of organic carbon, nitrogen and phosphorus dissolved in seawater. *Marine Chemistry*, Volume 66, Issues 3-4, Pages 161-169.
- Rochelle-Newall EJ, Torréton JP, Mari X, Pringault O (2008) Phytoplankton-bacterioplankton coupling in a subtropical South Pacific coral reef lagoon. *Aquat Microb Ecol* 50:221-229. <https://doi.org/10.3354/ame01158>
- Romieux N, Wotling G (2016) Caractérisation des régimes d'étiage - Actualisation des Débits Caractéristiques d'Etiages (DCE) - Observations et Modélisations. Ed DAVAR Service de l'eau - Pôle Mesures et Etudes de la Ressource en Eau. 39p.
- Skinner MP, Lewis RJ, Morton S (2013) Ecology of the ciguatera causing dinoflagellates from the Northern Great Barrier Reef: Changes in community distribution and coastal eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 77, 210-219.
- Spencer D, Lemckert CJ, Yu Y, Gustafson J, Lee SY, Zhang H. (2014) Quantifying dispersion in an estuary: A Lagrangian drifter approach. *Journal of Coastal Research*, (70 (10070)), 29-34.
- Stoeck T, Bass D, Nebel M, Christen R, Jones MDN, Breiner H-W, Richards T (2010). Multiple marker parallel tag environmental DNA sequencing reveals a highly complex eukaryotic community in marine anoxic water. *Molecular Ecology* 19, 21-31.
- Stratégie Territoriale de l'Innovation, 2015. Plan d'action du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. 34p. <https://sap.gouv.nc/sites/default/files/documents/Strategie%20territoriale%20de%20l%27innovation%20-%20Plan%20actions.pdf>

- Summer K, Reichelt-Brushett A, Howe P (2019) Toxicity of manganese to various life stages of selected marine cnidarian species. *Ecotoxicology and environmental safety*, 167, 83-94.
- Terry JP, Kostaschuk RA, Wotling G (2008). Features of tropical cyclone-induced flood peaks on Grande Terre, New Caledonia. *Water and Environment Journal* 22, 177-183.
- Terry JP, Wotling G (2011) Rain-shadow hydrology: influences on river flows and flood magnitudes across the central massif divide of La Grande Terre Island, New Caledonia. *Journal of hydrology* 404, 77-86.
- Tenório MMB, Le Borgne R, Rodier M, Neveux J (2005) The impact of terrigenous inputs on the Bay of Ouinné (New Caledonia) phytoplankton communities: A spectrofluorometric and microscopic approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 64(2), 531-545.
- Tenório MMB, Dupouy C, Rodier M, Neveux J (2018) Trichodesmium and other planktonic cyanobacteria in New Caledonian waters (SW tropical Pacific) during an El Niño episode. *Aquatic Microbial Ecology* 81 (3), 219-241.
- Thery G, Juillot F, Meyer M, Quiniou T, David M, Jourand P, ... & Fritsch E (2023) Wildfires on Cr-rich Ferralsols can cause freshwater Cr (VI) pollution: A pilot study in New Caledonia. *Applied Geochemistry*, 148, 105513.
- Thomas Y, Courties C, El Helwe Y, Herbland A, Lemonnier H (2010) Spatial and temporal extension of eutrophication associated with shrimp farm wastewater discharges in the New Caledonian Lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 61, 387-398.
- Torréton J-P, Rochelle Newall E, Jouon A, Faure V, Jacquet S, Douillet P (2007) Correspondence between the distribution of hydrodynamic time parameters and the distribution of biological and chemical variables in a semi-enclosed coral reef lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 74 (4), 766-776. ISSN 0272-7714.
- Torréton J-P, Rochelle-Newall E, Pringault O, Jacquet S, Faure V, Briand E (2010) Variability of primary and bacterial production in a coral reef lagoon (New Caledonia). *Mar Pollut Bull.* 61(7-12), 335-48.
- Tramier CMC, Genthon P, Delvienne QRCP, Sauvan NL, Cassan JJO, Ebrard E, ... Queffélean Y (2021) Hydrological regimes in a tropical valley of New Caledonia (SW Pacific): Impacts of wildfires and invasive fauna. *Hydrological Processes*, 35(3), e14071.
- Trescases JJ (1969) Géochimie des altérations et des eaux de surface dans le Massif ultrabasique du Sud de la Nouvelle-Calédonie. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 22(4), 329-354.
- Vaulot D, Courties C, Partensky F (1989) A simple method to preserve oceanic phytoplankton for flow cytometric analyses. *Cytometry: The Journal of the International Society for Analytical Cytology*, 10(5), 629-635.
- Zimmermann J, Gernot G, Jahn, R, Enke N, Gemeinholzer B (2015). Metabarcoding vs. morphological identification to assess diatom diversity in environmental studies. *Molecular Ecology Resources* 15, 526–542.

9. Annexes

Annexe 1 : données géographiques

Annexe 1a – Positions géographiques des stations échantillonnées en avril 2019.

Station	Lieu	Position	Prof (m)	Distance à l'embouchure (m)
T1	Sortie rivière	166,415826 ; -22,195537	< 2	2747
T2	Fond de baie	166,402672 ; -22,204688	6,5	4434
T3	Baie	166,390201 ; -22,211176	14	5885
T4	Sortie baie	166,366722 ; -22,226007	17	8806
T5	Lagon	166,335202 ; -22,24722	21	12815

Annexe 1b – Positions géographiques des stations échantillonnées en septembre 2019 et décembre 2020.

Stations	Longitude	Latitude
A	22°12,436S	166°23,635E
B	22°15,808S	166°19,585E
C	22°19,373S	166°17,760E
D	22°15,297S	166°32,724E
E	22°17,162S	166°27,780E
F	22°15,299S	166°25,494E
G	22°18,834S	166°40,660E
H	22°24,035S	166°34,913E
I	22°27,342S	166°31,150E

Annexe 1c – Positions géographiques des stations échantillonnées en février 2020

Nom	Longitude	Latitude
D01	166°E41,5826	22°S19,5537'
D02	166°E39,8436	22°S24,6611'
D03	166°E37,5933'	22°S24,6611'
D04	166°E41,5826	22°S19,5537'
D05	166°E39,8436	22°S24,6611'
D06	166°E54,5106'	22°S32,235'
D07	166°E34,4586'	22°S29,0838'
D08	166°E41,5826	22°S19,5537'
D09	166°E39,8436	22°S24,6611'
D10	166°E19,2093	22°S19,1328'
D11	166°E41,5826	22°S19,5537'
D12	166°E39,384'	22°S20,8029'
D13	166°E39,8436	22°S24,6611'
D14	166°E41,5826	22°S19,5537'
D15	166°E39,384'	22°S20,8029'
D16	166°E39,8436	22°S24,6611'
D17	166°E41,5826	22°S19,5537'
D18	166°E39,8436	22°S24,6611'

Annexe 2 : données hydrologiques

Annexe 2a – Informations sur les stations hydrométriques et les bassins versants (BV) (d'après Lalau et al., 2019 ; Domet, 2022)

Station hydrométrique	Rivière	Superficie du BV au limnimètre (km ²) (S _b)	Périmètre au limnimètre (km)	Surface du BV à l'exutoire (km ²) (S _a)	Périmètre à l'exutoire (km)
5704400101	Pirogues	104,8	48	147,9	61,7
5705200106	Coulée	43,7	30,1	84,4	42,4
5700500107	Dumbéa Est	51,2	33	218,7	74
5700500201	Dumbéa Nord	32,2	26,3	218,7	74
5700500301	Couvelée	40	28	218,7	74
5705200103	Tontouta	385	99,0	486,9	115,9

Annexe 2b – Informations sur les débits d'étiage aux limnimètres (Sources : Romieux et Wotling, 2016 et Domet, 2022)

Rivière	X	y	Q _{min} évalué (m ³ /s)	DCE médian (m ³ /s)	DCE SEC 10 ans (m ³ /s)	DCE humide 10 ans (m ³ /s)	Q Max évalué m ³ /s
Pirogues	472 781	216 611	0,305	0,772	0,460	1,460	2240
Coulée	463 058	220 970	0,08	0,228	0,115	0,447	845
Dumbéa Est	455 190	28888	0,175	0,400	0,276	0,576	1017
Dumbéa Nord	452 419	231 849	0,097	0,222	0,139	0,356	735
Couvelée	448 602	231 372	0,079	0,180	0,116	0,293	680
Tontouta	427740	249 324	1,251	2,588	1,724	3,610	4583

X et Y : position géographique des limnimètres ; Q : débit ; DCE : débits caractéristiques d'étiage.

Annexe 2c – Informations sur les étiages aux stations échantillonnées

Stations	Code	Données utilisées	(S _a /S _b) ^{0,8}	Etiage médian (m ³ /s)	Etiage sec 10 ans	Etiage Humide 10	Etiage humide 100
Pirogue	PI	5704400101	1,41	1,017	0,606	1,923	2,923
Coulée	CO	5705200106	1,93	0,386	0,195	0,757	1,353
Trou Nurses	TN	DN, DE	1,00	0,622	0,415	0,932	1,228
Parc Fayard	PF	DN, DE, Cou	1,77	1,268	0,839	1,936	2,616
Tontouta	TO	5705200103	1,26	3,123	2,080	4,356	6,057

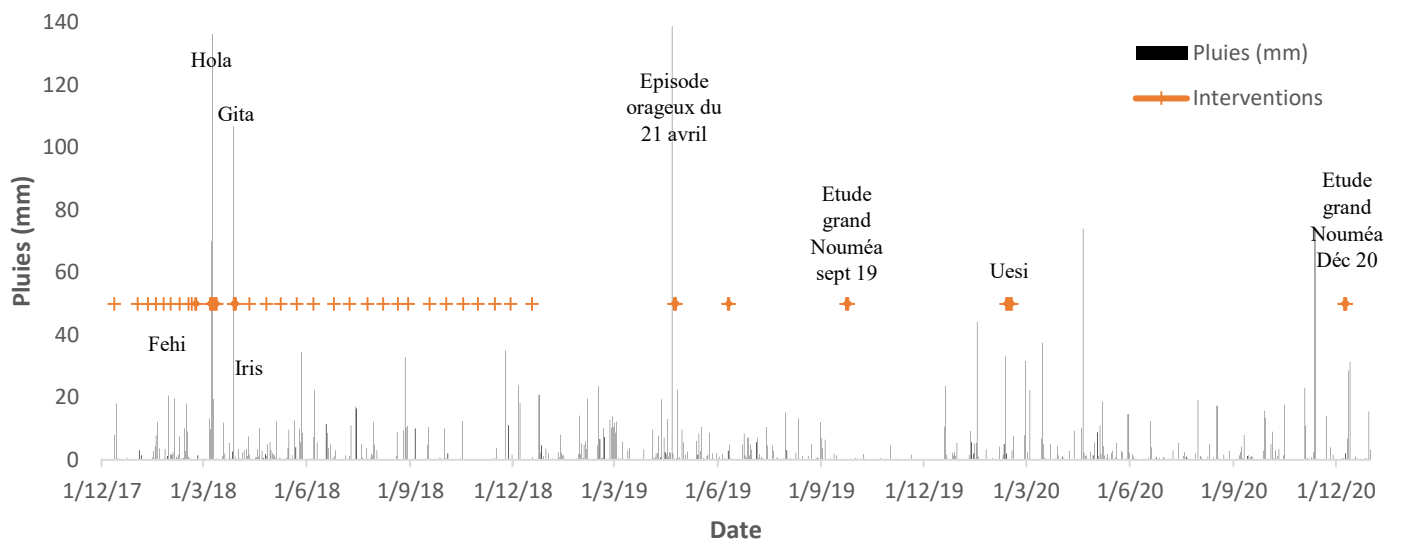
DE : 5700500107; DN : 5700500201 ; Cou : 5700500301. Loi de propagation pour estimer les débits aux exutoires : $Q_a = (S_a/S_b)^{0,8} \times Q_b$ avec Q_a et Q_b les débits à l'exutoire et au limnimètre ; S_a et S_b les surfaces du bassin versant à l'exutoire et au limnimètre.

Annexe 2d – Caractérisation des débits 2018 aux différentes stations

m ³ /s	PI	CO	TN	PF	TO
Normes débits classés	3,331	1,459	2,208	4,457	6,649
Valeurs médianes obs. 2018	2,462	1,338	1,942	3,818	4,893
Crues (moyennes horaires)					
Valeurs débits max observés 2018	150	155	113	220	558
Max observés	> 2200	> 800	> 1700	> 2400	> 4500
Etiages (moyennes journalières)					
Débit d'étiage 2018	0,484	0,143	0,473	1,008	2,192
Normes DCE ₂	1,017	0,386	0,622	1,268	3,123
Nb de jours sous DCE ₂	23	22	17	17	54
Normes DCE ₅ étiages secs	0,725	0,247	0,476	0,967	2,392
Nb de jours sous DCE ₅	18	17	5	4	10
Normes DCE ₁₀ étiages secs	0,606	0,195	0,415	0,839	2,080
	18	17	0	0	0
Normes DCE ₁₀₀ étiages secs	0,398	0,112	0,298	0,596	1,494
	0	0	0	0	0
type d'étiage 2018	CS	CS	DS	QS	DS

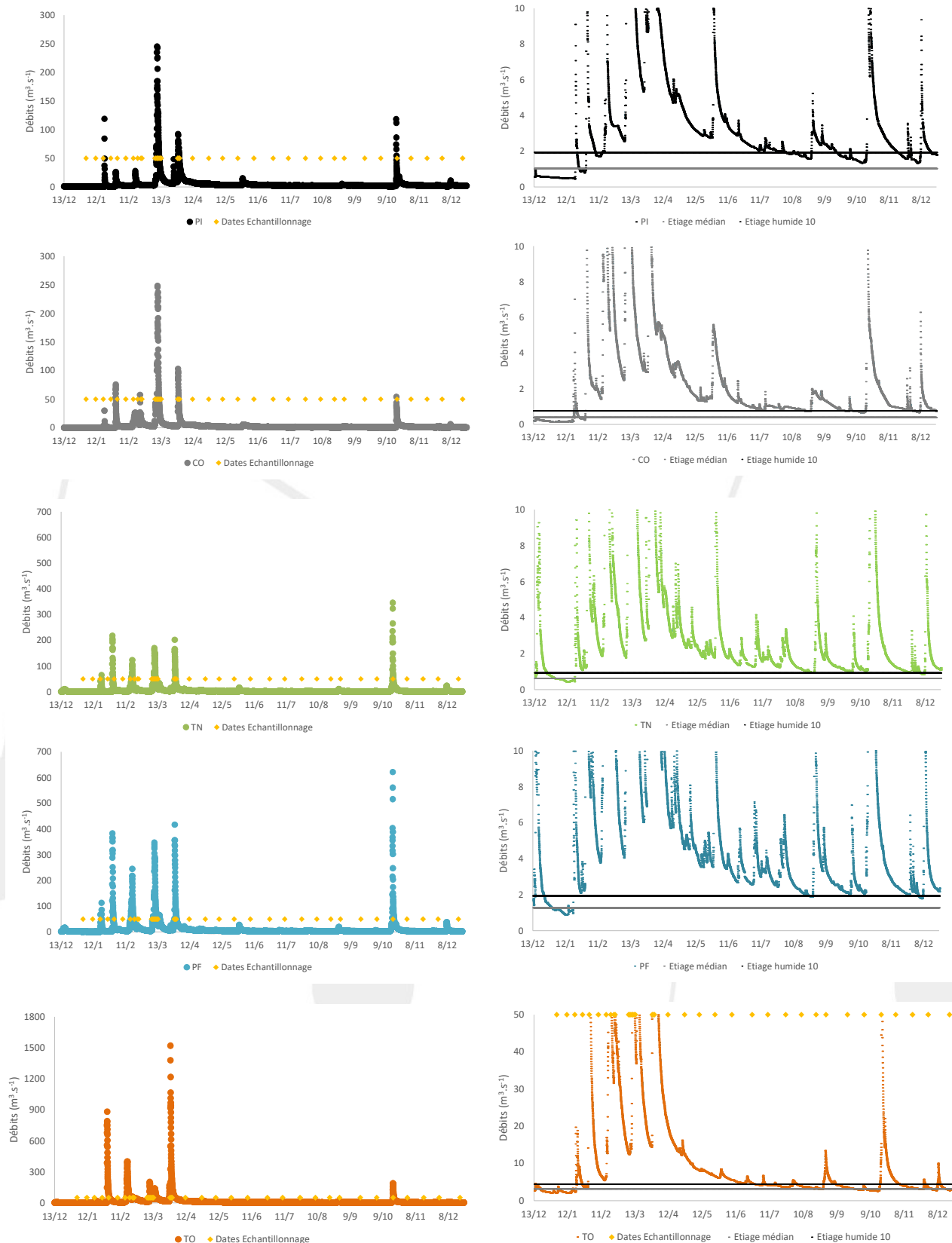
Les chiffres rouges et bleus indiquent respectivement des valeurs inférieures et supérieures à la norme établie par la DAVAR (Domet, 2022). QS : Quinquennal sec ; DS : décennal sec ; CS : centennal sec.

Annexe 3 – Evolution des pluies sur Nouméa du 1^{er} décembre 2017 au 31 décembre 2020

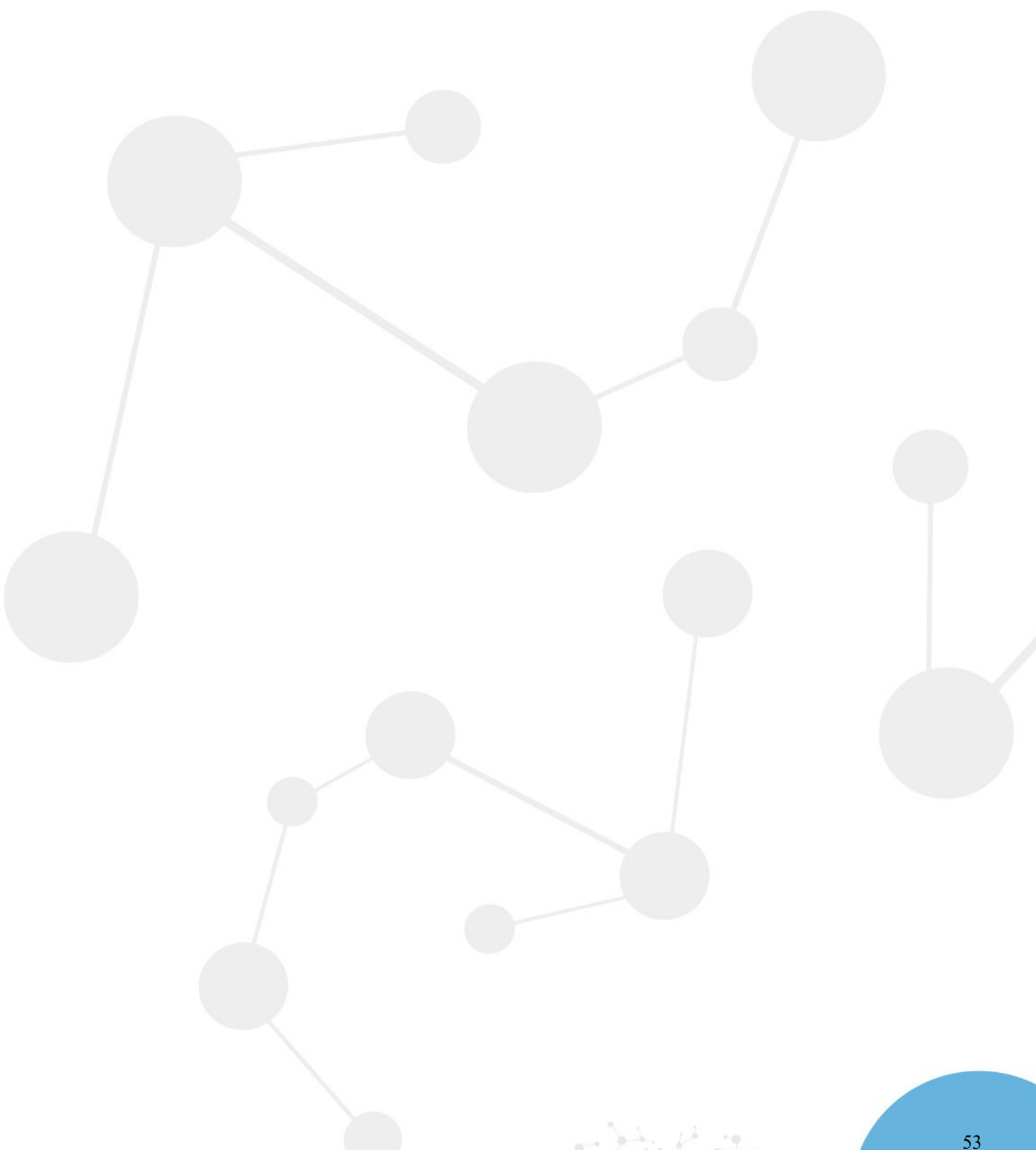


Les barres représentent les hauteurs de pluies et les croix marquent les dates de nos interventions sur le terrain (source : météoFrance).

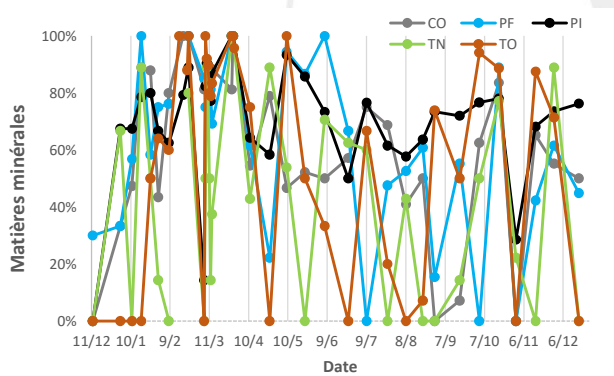
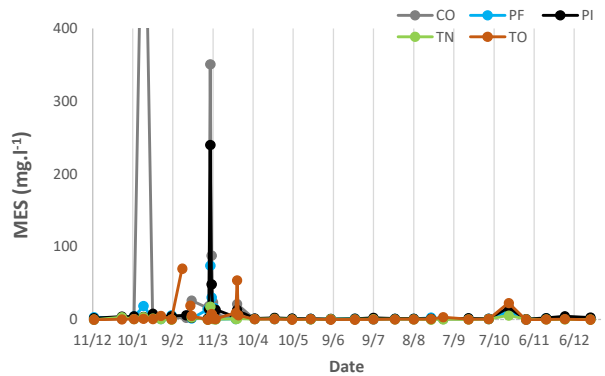
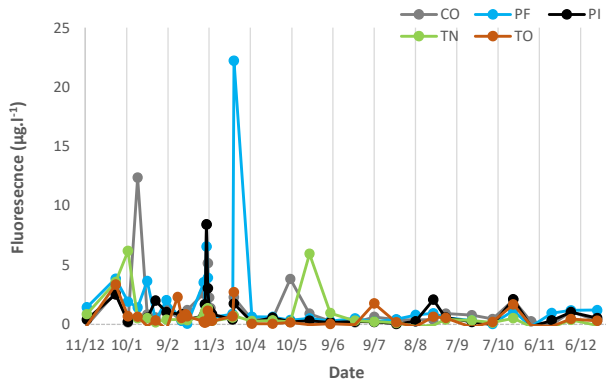
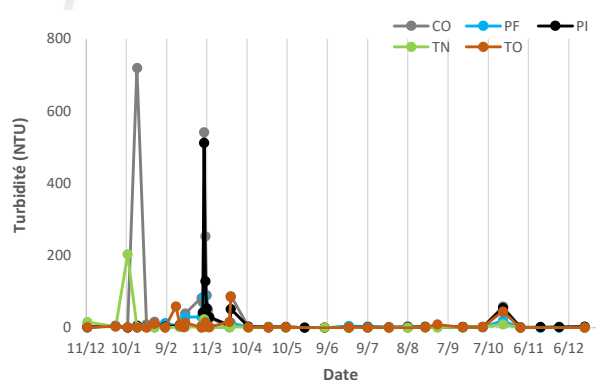
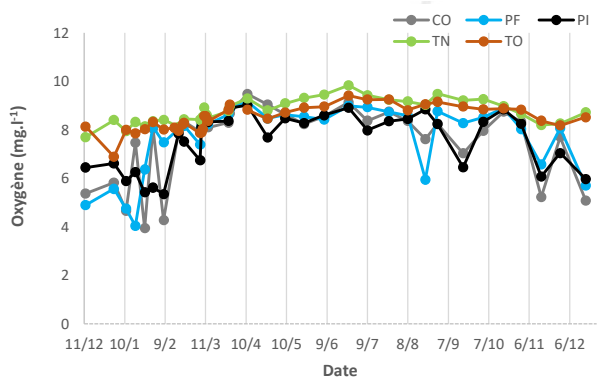
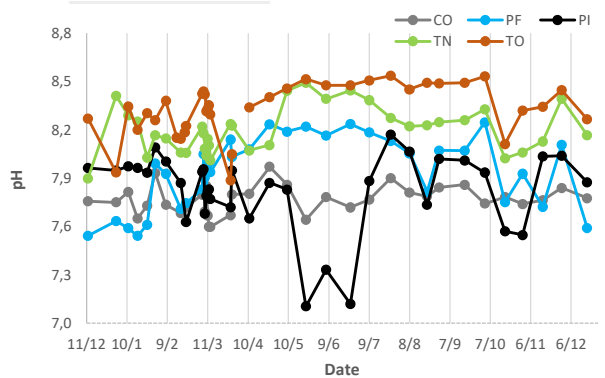
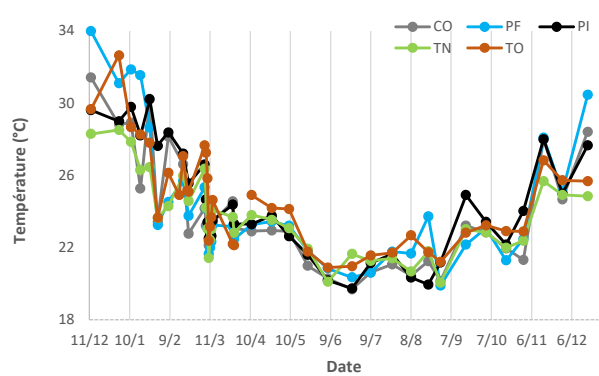
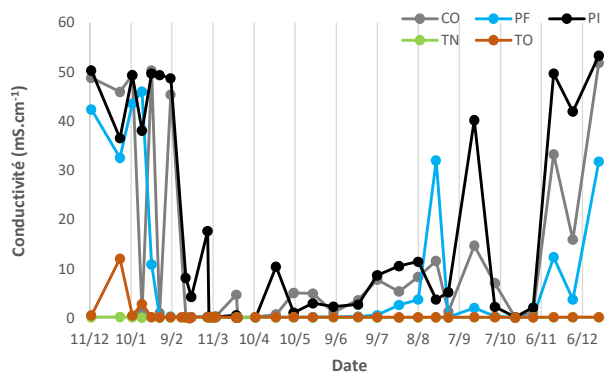
Annexe 4 – Evolution des débits estimés aux différentes stations



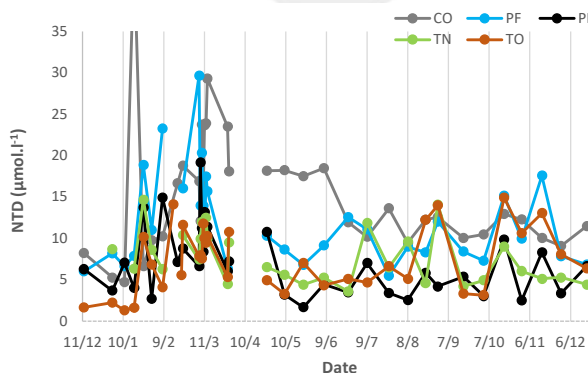
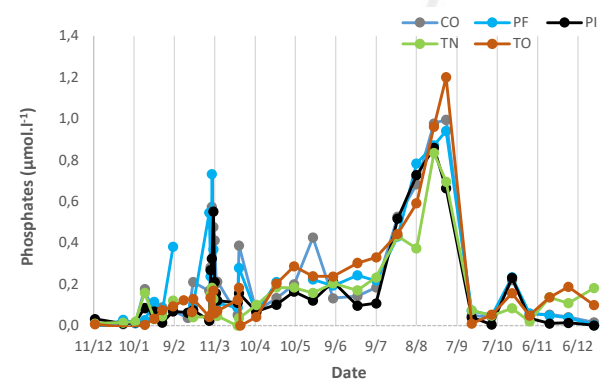
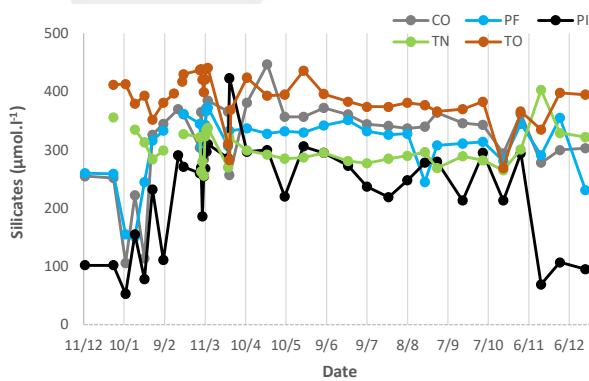
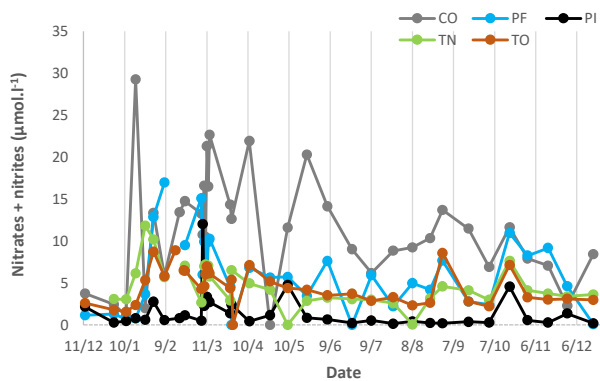
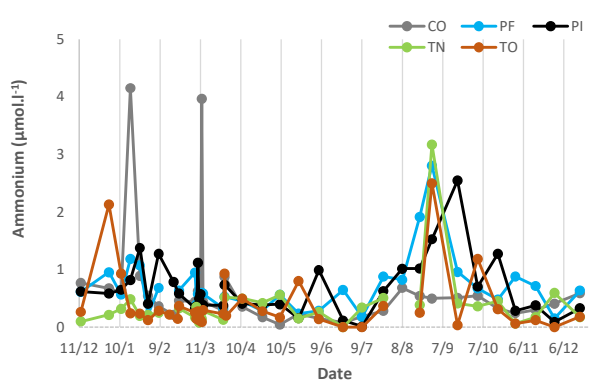
Evolution des débits aux stations d'échantillonnage. Les losanges orange pointent les interventions sur le terrain. Les graphes de droite permettent de visualiser l'évolution des débits d'étiage. Les lignes grises et noires représentent respectivement une estimation du débit d'étiage médian et du débit d'étiage humide avec une probabilité de 10 ans pour chaque site.



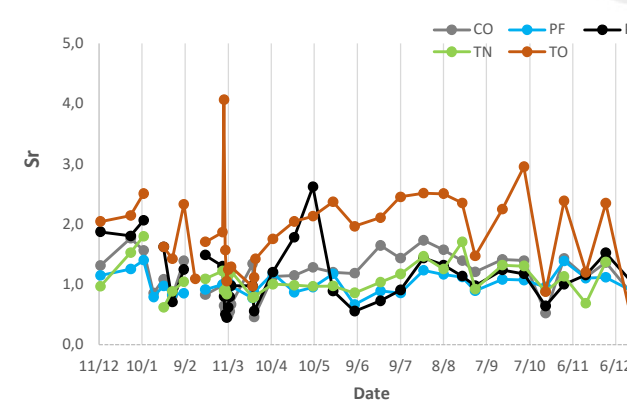
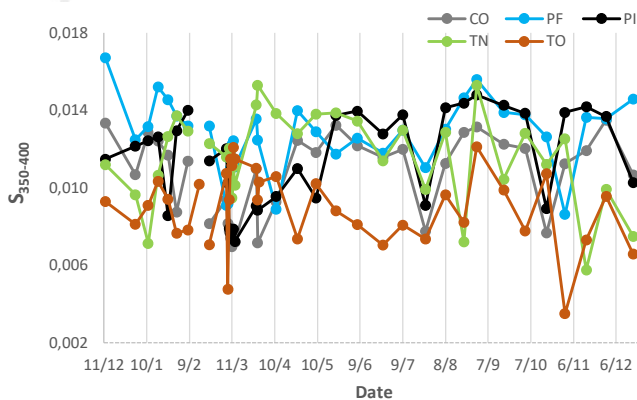
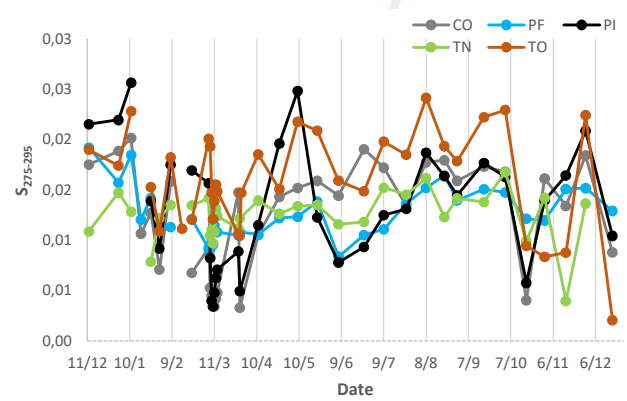
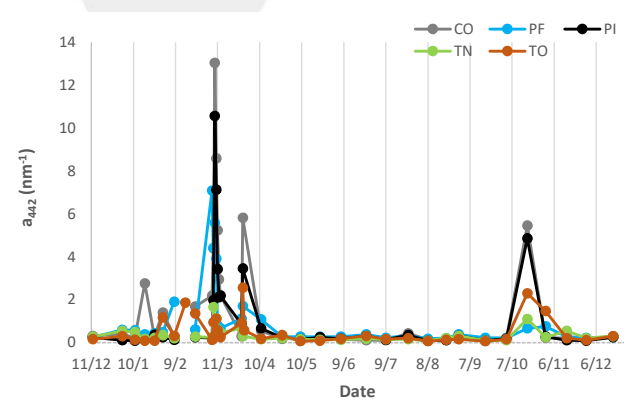
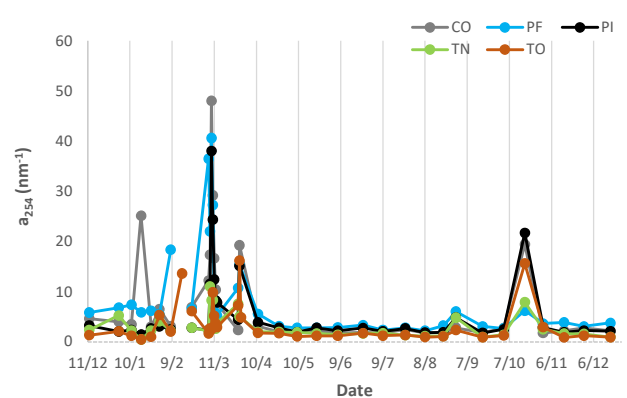
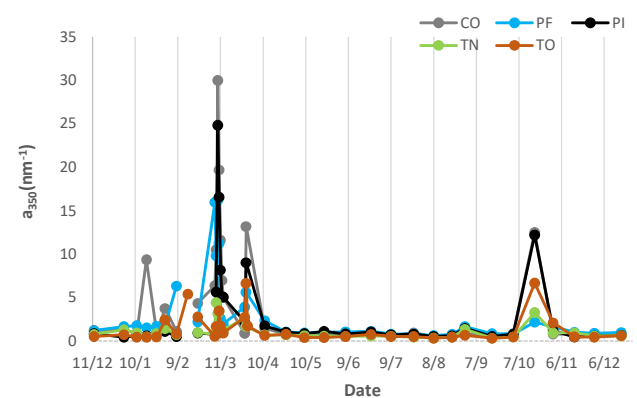
Annexe 5a – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la physico-chimie (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).



Annexe 5b – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les sels nutritifs et l’azote total dissous (NTD) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).

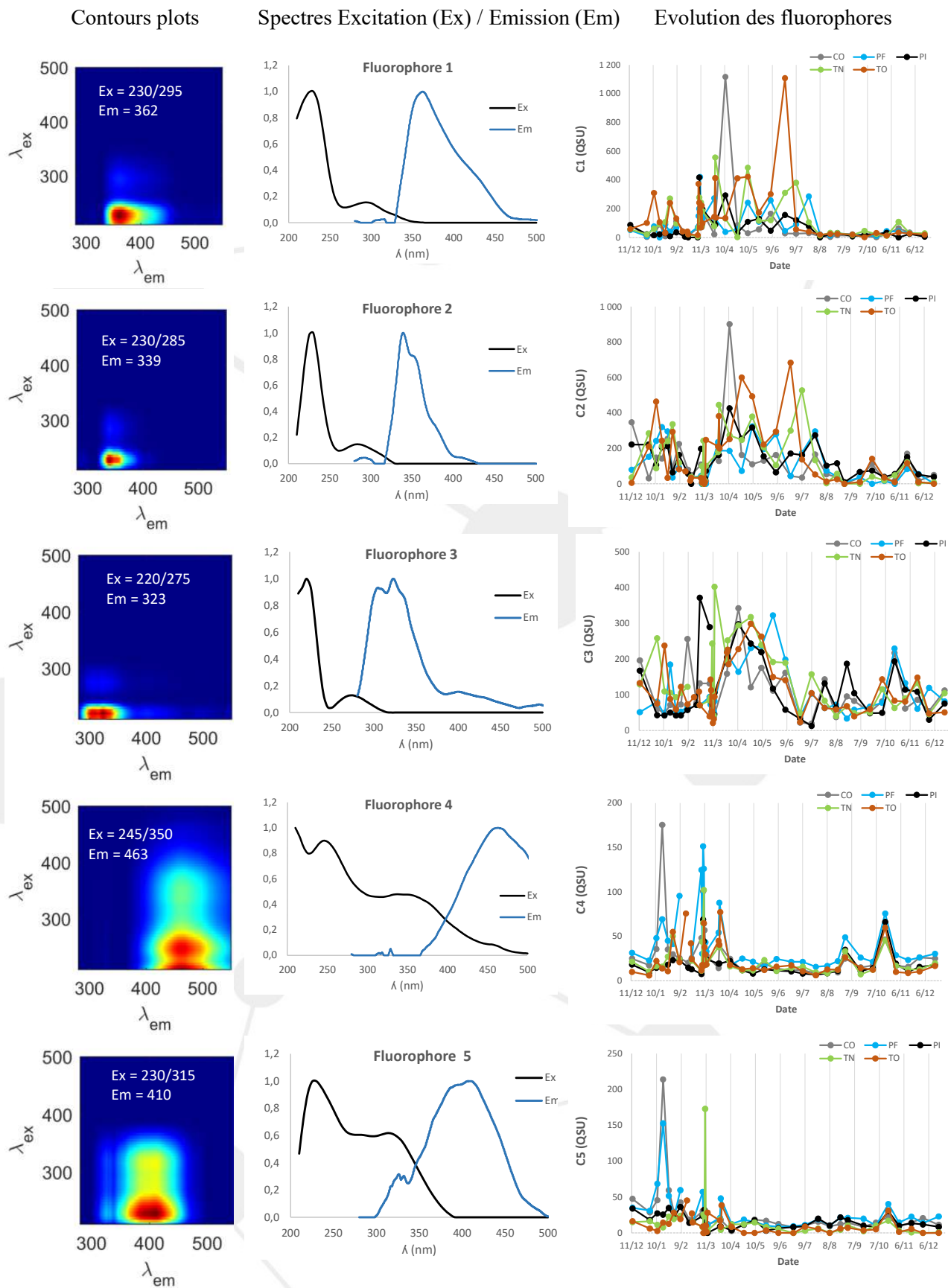


Annexe 5c – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la matière organique dissoute chromophorique (CDOM) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).

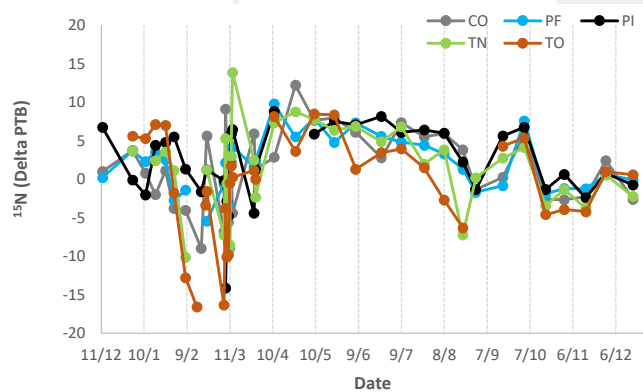
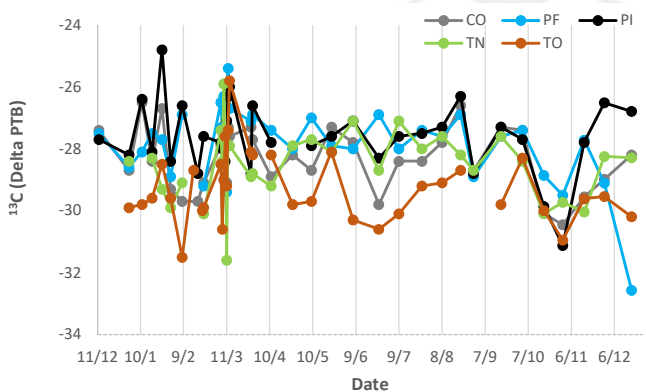
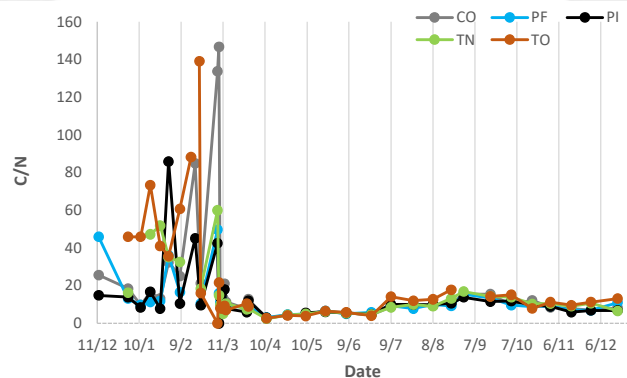
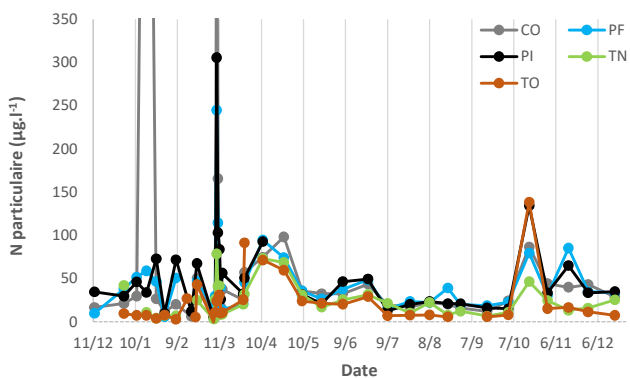
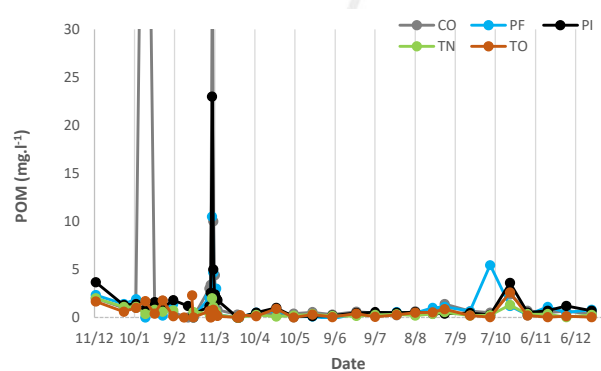
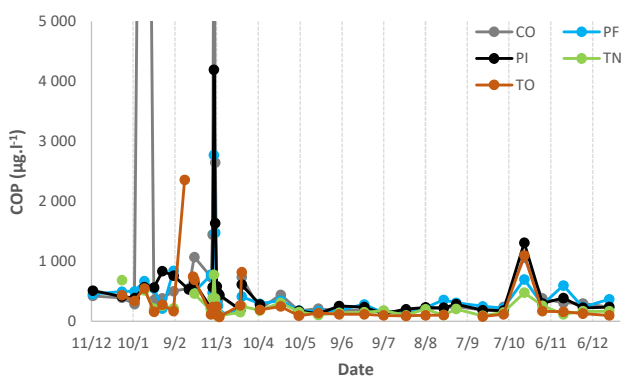
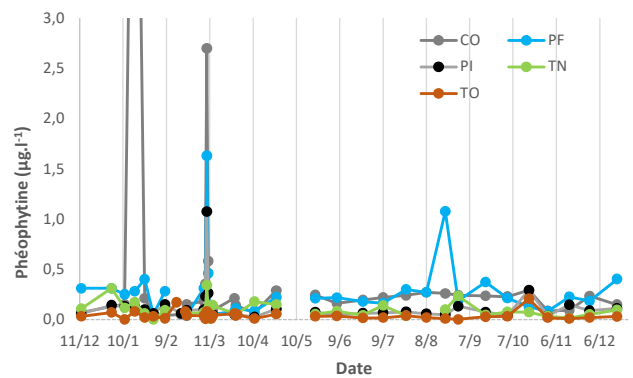
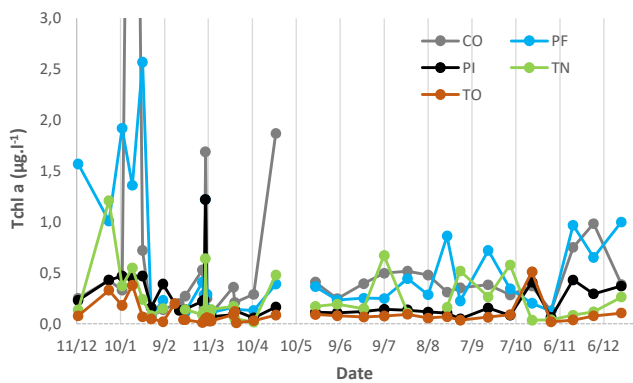


Annexe 5d – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la matière organique dissoute fluorescente (FDOM) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).

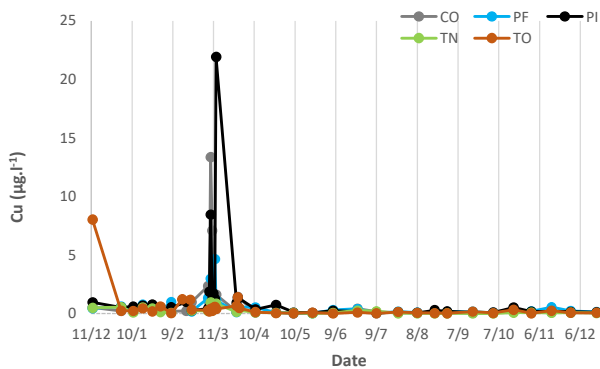
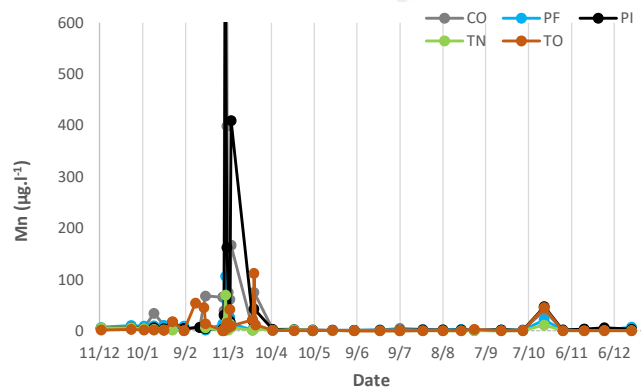
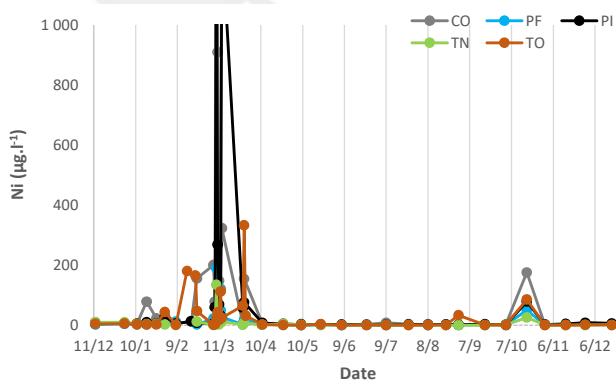
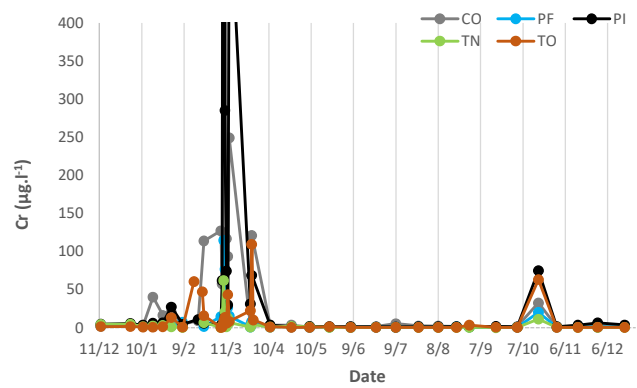
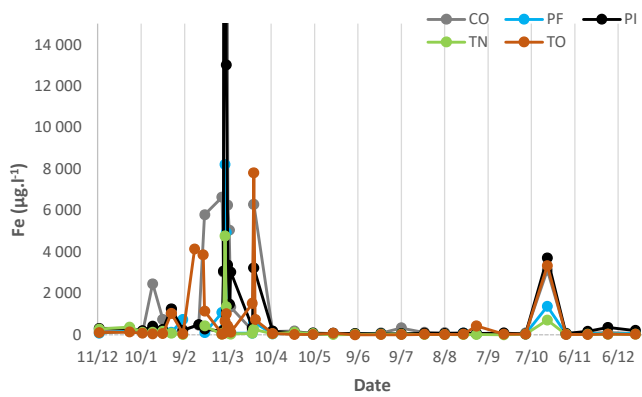
L'analyse avec PROGMEEF réalisée sur la totalité des échantillons a permis de discriminer 5 composants avec un concordia de 52,9%.



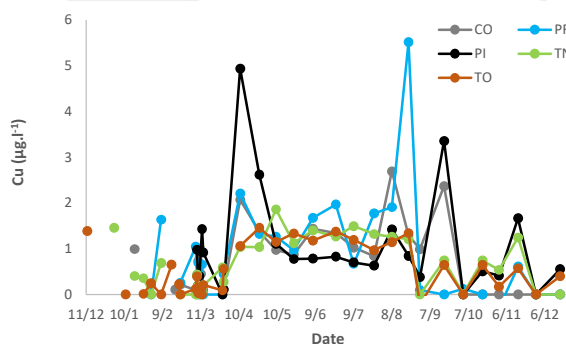
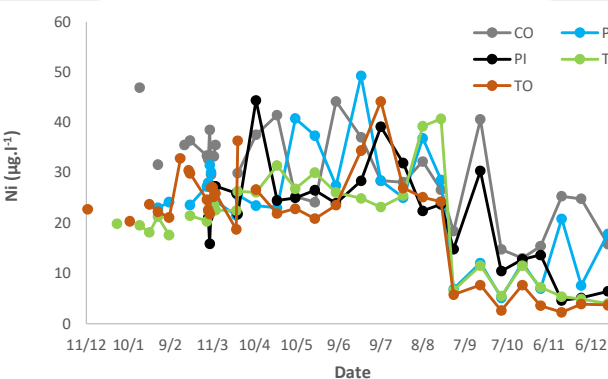
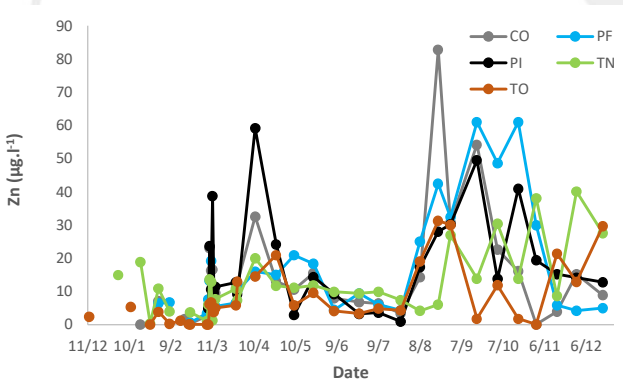
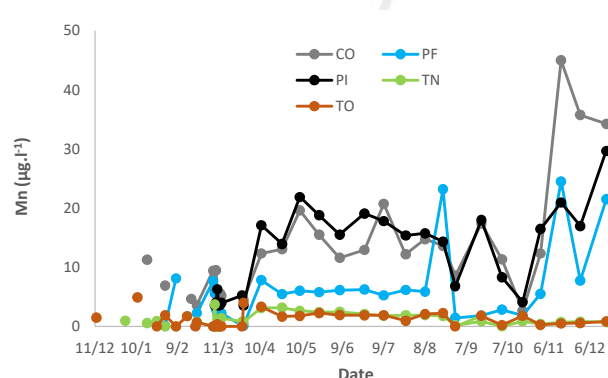
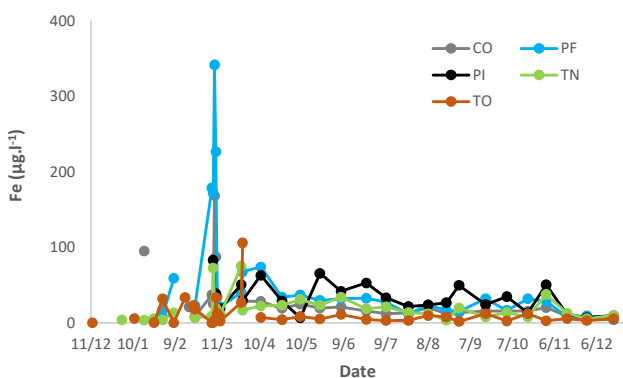
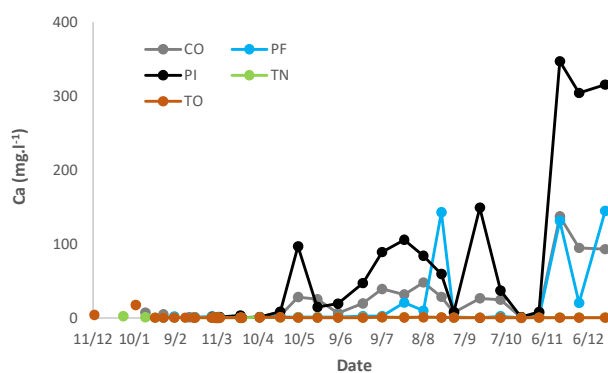
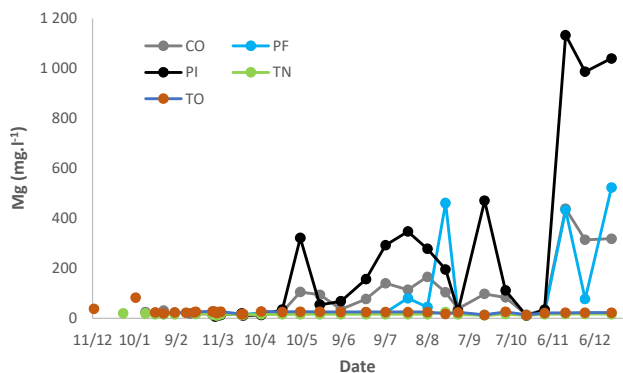
Annexe 5e – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : la matière organique particulaire (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).



Annexe 5f – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les métaux particuliers (> 3 µm) (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).

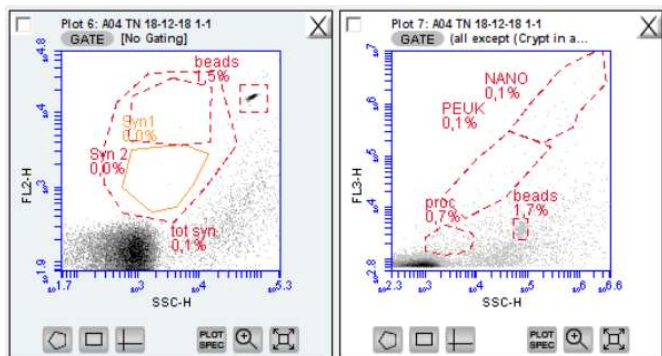


Annexe 5g – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les métaux dissous (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).



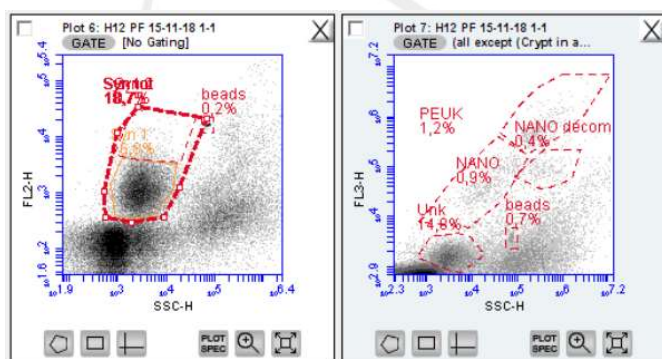
Annexe 5h – Les différentes classes de cytogrammes pour les autotrophes lors du suivi des rivières (phase 1 du projet)

Les cytogrammes de gauche et de droite présentent respectivement la fluorescence mesurée en FL2-H liée à la détection de particules avec phycoerythrine, et en FL3-H liée aux particules à chlorophylle *a* en fonction de la taille relative des particules (SSC-H). Des billes calibrées (beads) de 1 µm sont ajoutées à chaque échantillon pour permettre des comparaisons entre les différents comptages.



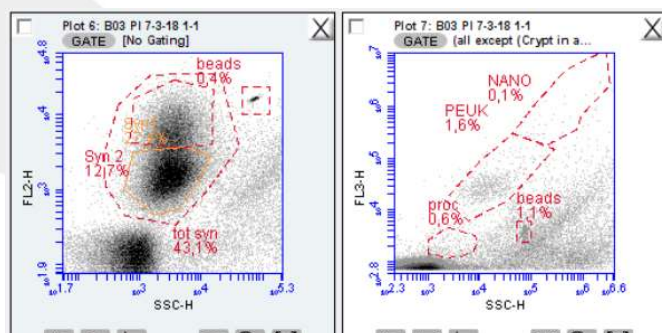
TN le 18/12/2018 avec une conductivité de 0,18 mS.cm⁻¹

Cytogrammes types observés à TN et TO pour des conductivités inférieures à 1 mS.cm⁻¹. Les abondances pour les cellules autotrophes sont faibles à très faibles malgré des volumes analysés importants. Nous avons passé entre 391 et 652 µl de chaque échantillon (entre 6 et 10 min de passage par échantillon) pour estimer au mieux la présence de ces cellules.



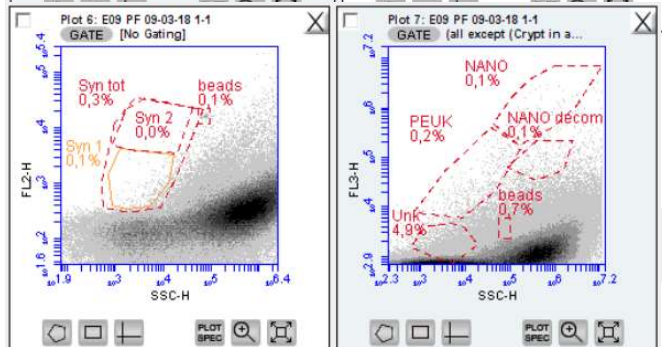
PF du 15/11/2018 avec une conductivité de 12,3 mS.cm⁻¹

Présence d'une population de *Synechococcus* avec une faible réponse en FL2-H ; présence d'une population de picoeucaryotes (PEU) et de nanophytoplancton ; Le groupe 'Nano decom' correspond à des cellules dont la fluorescence diminue, propriété qui caractérise des cellules en phase de sénescence ; présence d'une population inconnue proche de la limite de détection qui fluoresce très faiblement en FL3-H et pas en FL2-H ; Cette dernière population a été aussi observée sur cette station le 2/01/18 ; le 11/01/2018 ; le 18/01/2018 et le 18/12/2018. Elle a été observée à deux reprises à TO, le 2/01/2018 et le 18/01/2018.



PI le 07/03/2018 avec une conductivité de 17,69 mS.cm⁻¹

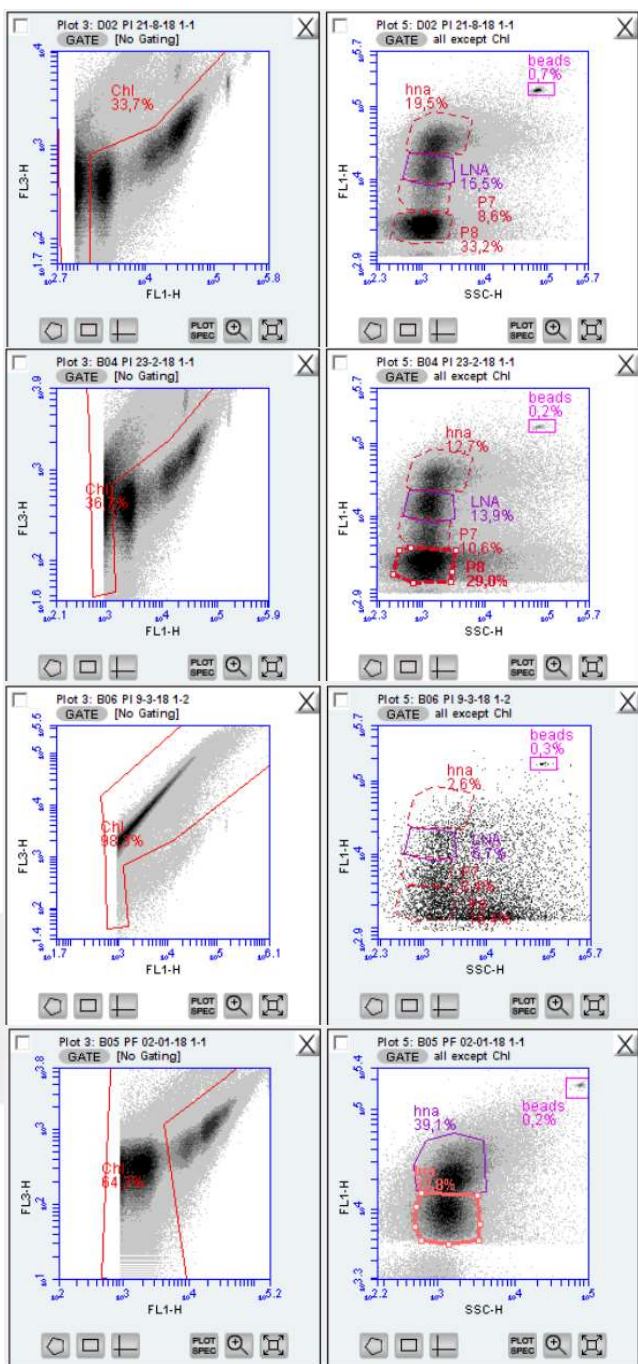
Cytogrammes types observés à la rivière des pirogues. Ils sont issus d'un échantillon prélevé la veille du passage du cyclone Hola. Présence de 3 populations incluant deux types de *Synechococcus* (avec plus ou moins de phycoerythrine mise en évidence avec le FL2-H) et d'une population de picoeucaryotes (Peuk).



PF le 09/03/2018 avec une conductivité de 0,14 mS.cm⁻¹

Cet échantillon a été prélevé pendant le passage du cyclone Hola en pleine crue. Ces cytogrammes montrent la présence de déchets en quantité très élevée. Nous avons laissé les contours où l'on trouve classiquement les différentes populations. Ces comptages réalisés sur le cytogramme FL3-H/SSC-H pourraient être « perturbés » par la présence en quantité de particules non phytoplanctoniques pour les populations les moins fluorescentes. Le cytogramme FL2-H / SSC-H montre une absence de *Synechococcus sp.*

Annexe 5i – Les différentes classes de cytogrammes pour les bactéries lors du suivi des rivières (phase 1 du projet)



PI le 21/08/2018 avec une conductivité de 3,8 mS.cm⁻¹.

Présence de 3 groupes bien distincts dont un proche du bruit et caractérisé par très peu de fluorescence en FL1-H, une population associée classiquement à LNA et une autre à HNA.

PI le 21/02/2018 avec une conductivité de 4,3 mS.cm⁻¹.

Présence de 4 groupes bien distincts dont deux proches du bruit et avec peu à très peu de fluorescences en FL1-H, une population associée classiquement à LNA et une autre à HNA.

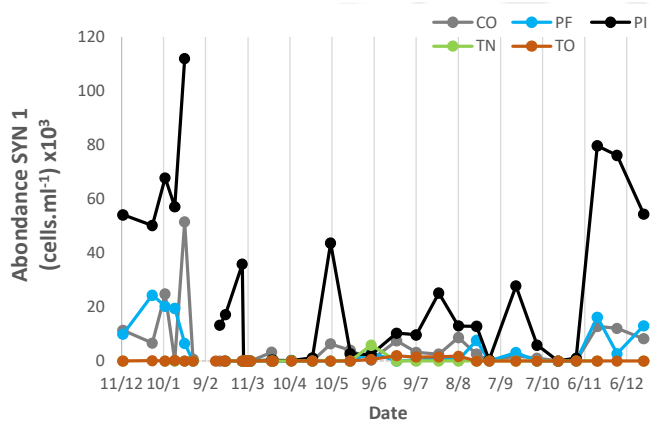
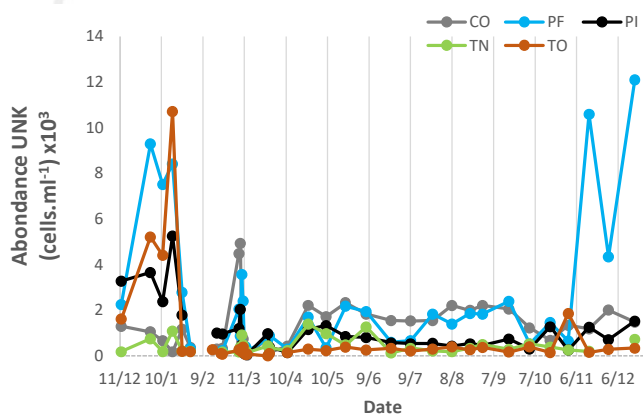
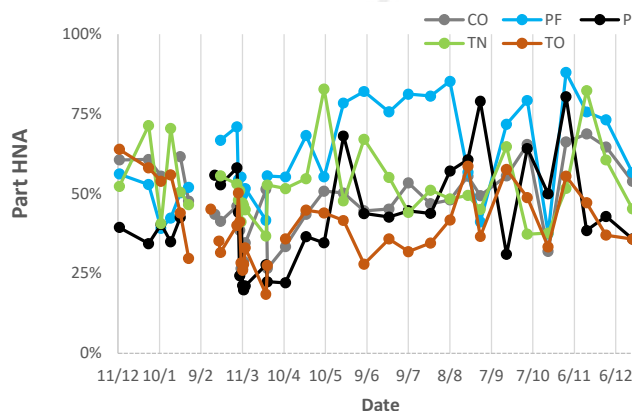
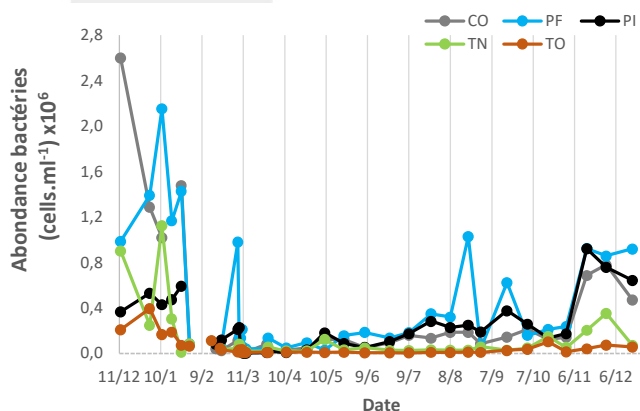
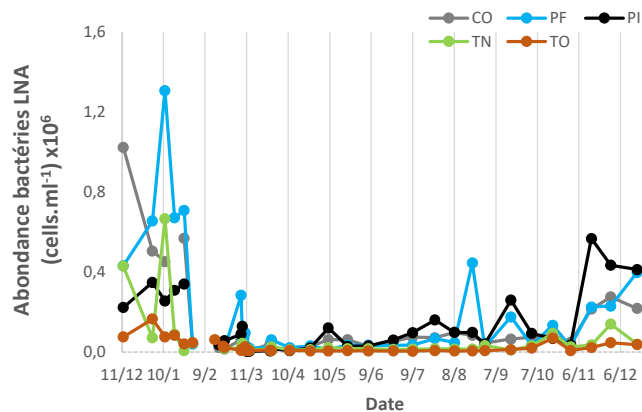
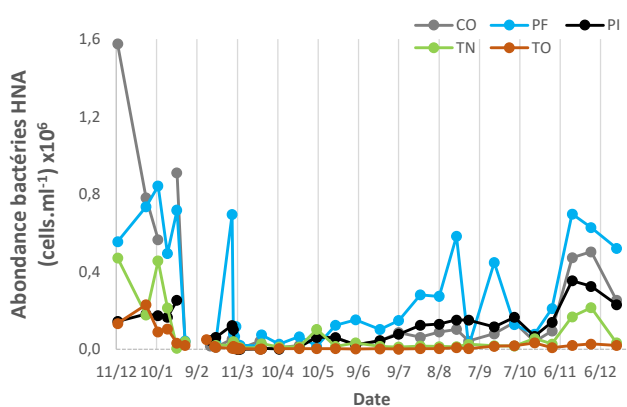
PI le 09/03/2018 avec une conductivité de 0,1 mS.cm⁻¹.

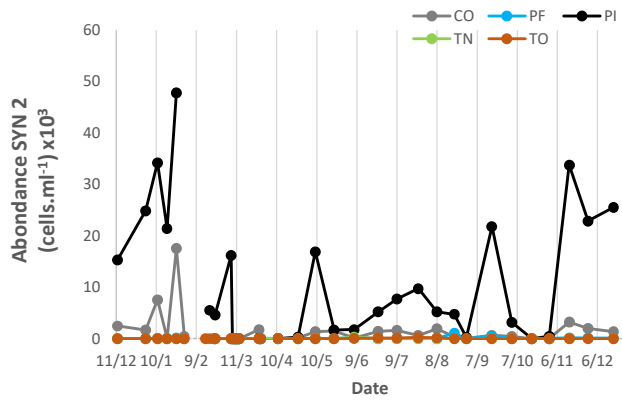
Difficilement interprétable. Echantillon prélevé en pleine crue pendant le passage du cyclone Hola.

PF le 2/01/2018 avec une conductivité de 32,5 mS.cm⁻¹.

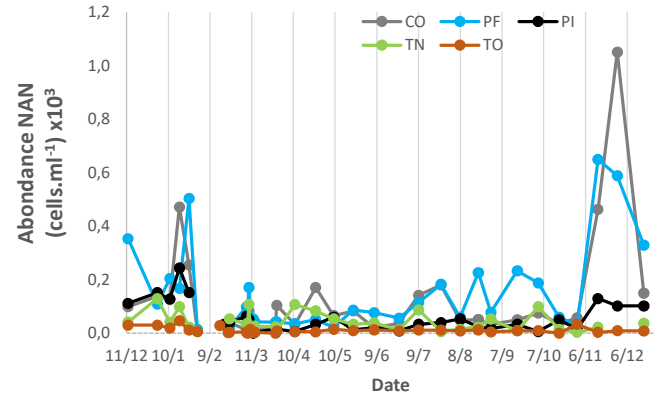
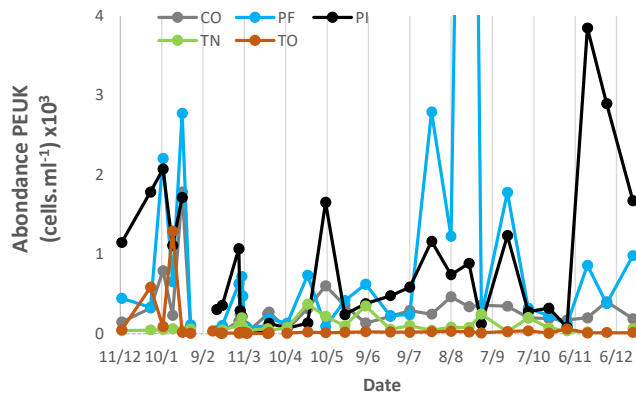
Echantillon salé avec deux populations à faible et haute teneur en acides nucléiques (respectivement LNA et HNA).

Annexe 5j – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : les bactéries et les picocyanobactéries (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).



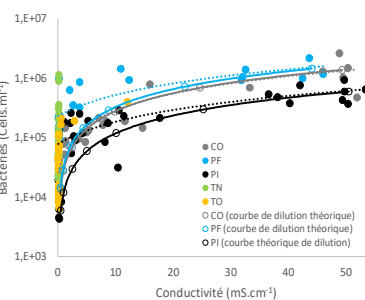
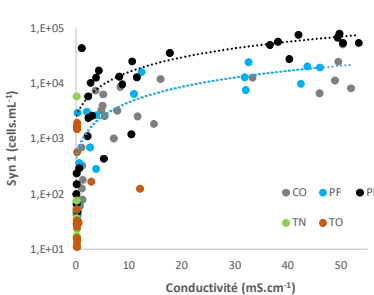
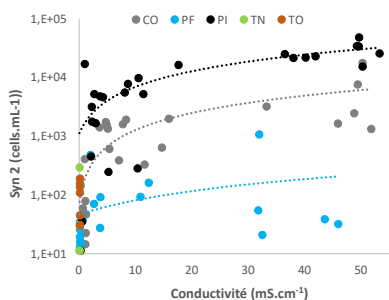
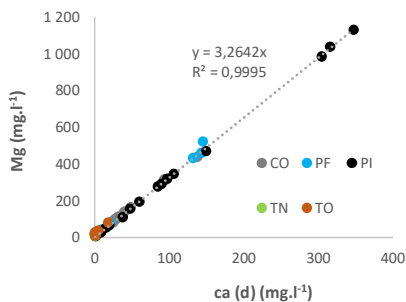
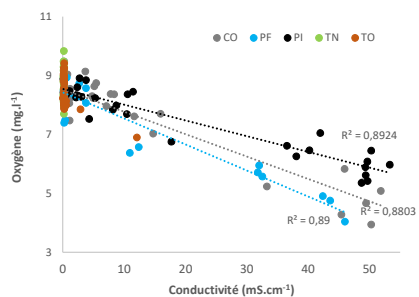


Annexe 5k – Evolution des paramètres mesurés aux exutoires : Les eucaryotes pico et nanoplanctonique (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).

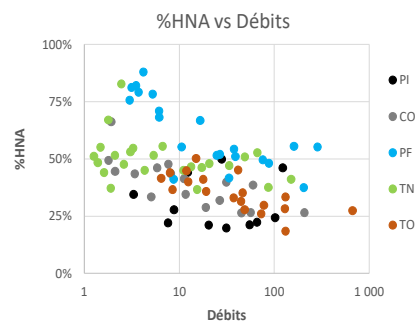
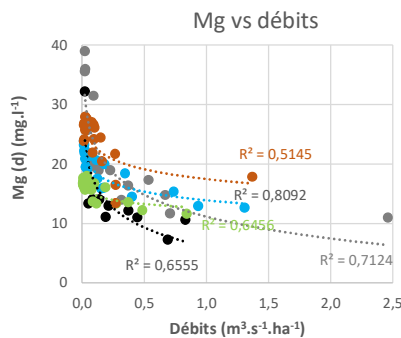
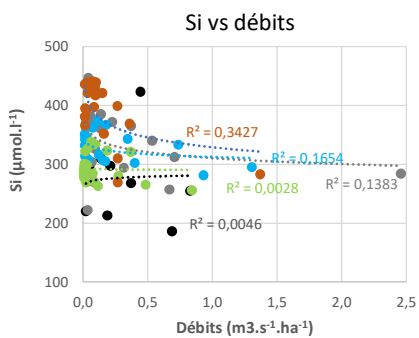
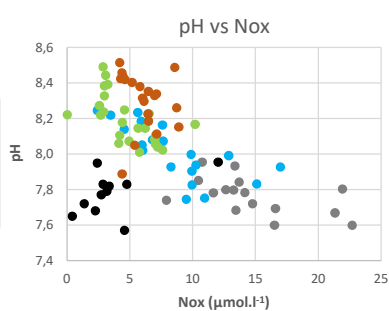
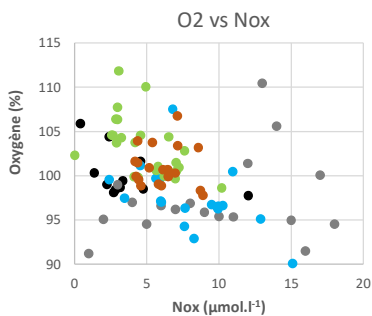
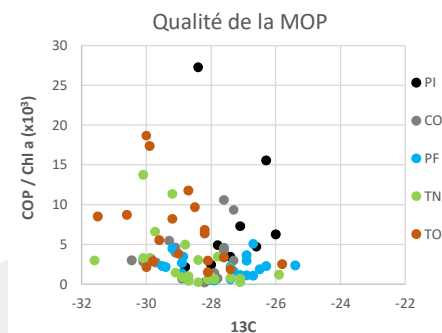
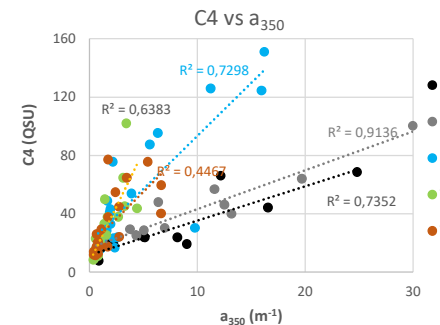
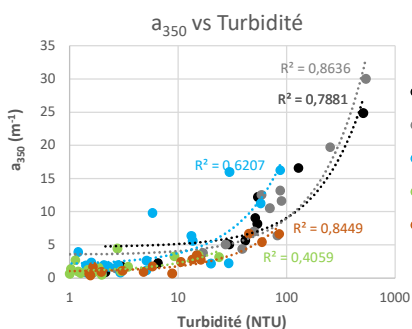


Annexe 6 – Quelques relations entre paramètres dans les eaux des rivières aux exutoires (PI : Pirogues ; CO : Coulée ; PF : Dumbea ; TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta).

Dans les eaux saumâtres et salées



Dans les eaux douces

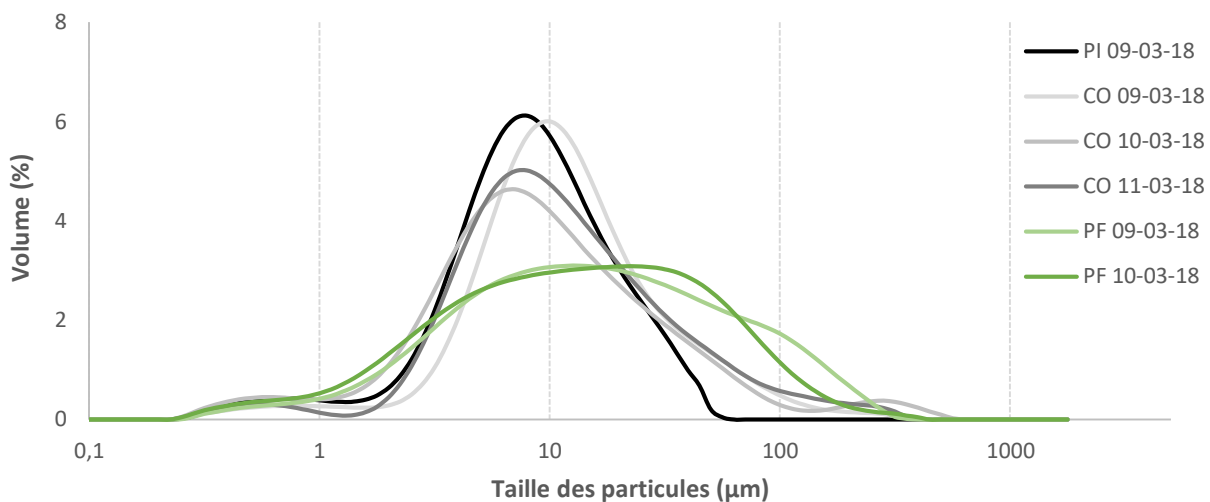


Annexe 7 – Statistiques descriptives à TN et TO pour les eaux douces (TN : Dumbea-trou des nurses ; TO : Tontouta)

Aux stations TN et TO, le nombre d'échantillons type « eaux douces » est respectivement de 10 et de 13. Les principales statistiques associées aux différents paramètres mesurés sont présentées dans tableau ci-dessous.

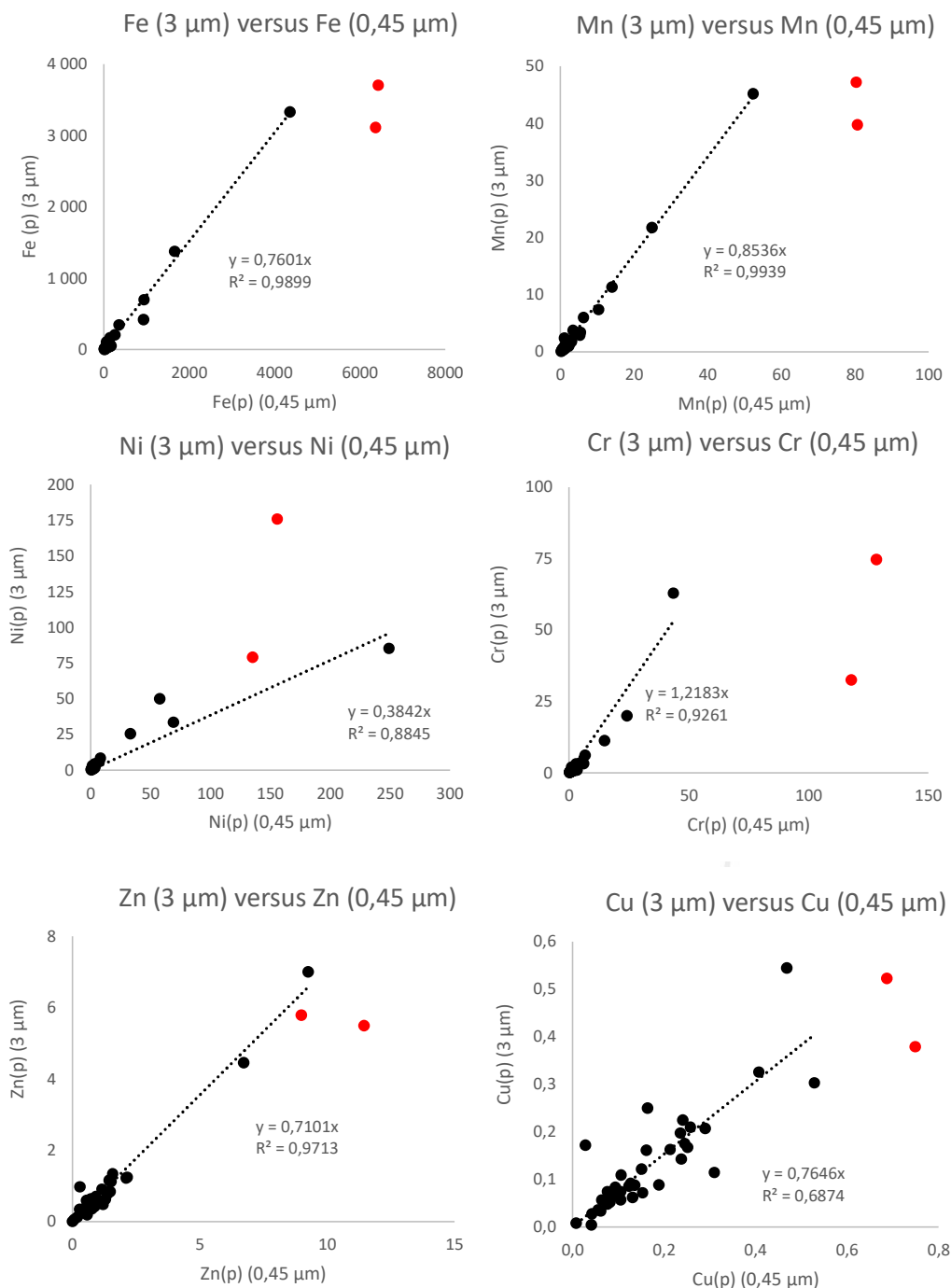
Paramètre	TN					PF				
	moy	min	max	Ecart-type	médiane	moy	min	max	Ecart-type	médiane
Cond mS/cm	0,17	0,13	0,24	0,03	0,17	0,19	0,17	0,20	0,01	0,19
DOsat %	103	99	108	3	102	103	100	106	2	104
MES (mg.l ⁻¹)	0,95	0,00	3,30	1,30	0,27	0,32	0,00	0,80	0,25	0,33
Chl a (µg.L ⁻¹)	0,34	0,08	1,21	0,34	0,25	0,07	0,02	0,11	0,02	0,07
SRP (µM)	0,16	0,01	0,83	0,25	0,09	0,26	0,01	0,96	0,27	0,19
Si (µM)	330	289	403	36	326	379	335	398	17	381
Nox (µM)	4,68	3,03	11,84	2,85	3,63	3,16	2,22	5,34	0,78	3,02
NTD (µM)	6,66	4,21	14,66	3,54	5,19	7,14	3,14	13,05	3,38	6,37
NH4 (µM)	0,31	0,10	0,59	0,16	0,27	0,22	0,00	1,19	0,33	0,13
N(p) (µg.L ⁻¹)	15,8	4,1	42,2	12,6	12,1	11,2	3,9	29,1	7,2	7,9
COP (µg.l ⁻¹)	259,6	93,5	686,9	220,3	170,0	119,8	83,2	170,0	27,7	118,6
¹⁵ N	-0,1	-7,2	3,6	4,0	1,5	0,8	-6,3	7,0	4,1	1,3
¹³ C	-28,5	-30,0	-27,6	0,8	-28,3	-29,6	-31,0	-28,3	0,8	-29,6
Ca(d) (mg.L ⁻¹)	1,03	0,46	2,54	0,65	0,84	0,80	0,37	1,28	0,25	0,72
Mg(d) (mg.l ⁻¹)	18,4	12,2	25,4	4,0	17,7	23,1	13,4	26,4	3,7	24,4
Fe(d) (µg.L ⁻¹)	6,52	3,50	12,57	3,28	5,50	5,34	0,25	11,94	3,63	4,49
Mn(d) (µg.L ⁻¹)	0,92	0,55	1,79	0,37	0,84	1,17	0,00	2,26	0,82	0,97
Ni(d) (µg.L ⁻¹)	15,5	4,0	40,7	12,2	14,8	17,4	2,3	44,2	14,1	23,5
Cr(p) (µg.L ⁻¹)	1,64	0,02	4,60	1,79	0,90	0,28	0,05	1,20	0,30	0,20
Fe(p) (µg.L ⁻¹)	110,9	3,9	366,2	124,5	70,5	18,8	4,6	51,3	12,5	17,3
Mn(p) (µg.L ⁻¹)	2,39	0,10	6,36	2,54	1,29	0,36	0,09	0,96	0,23	0,33
Ni(p) (µg.L ⁻¹)	3,35	0,15	9,81	3,68	2,02	0,73	0,19	2,17	0,52	0,64
A350 (m ⁻¹)	0,72	0,32	1,29	0,29	0,68	0,62	0,32	2,10	0,46	0,48
Sr	1,3	0,6	1,8	0,4	1,3	2,1	0,3	3,0	0,7	2,3
C1 QSU	55,9	16,7	109,3	35,6	45,6	131,1	1,9	1107,2	303,2	28,4
C2 QSU	105,0	0,0	284,7	106,0	71,4	117,0	0,0	683,2	189,8	33,0
C3 QSU	109,7	45,6	258,2	60,3	104,9	80,5	23,3	147,8	40,5	63,2
C4 QSU	15,6	7,2	27,1	5,8	14,3	12,1	6,1	17,3	3,2	12,3
C5 QSU	8,1	0,0	22,6	7,9	5,9	3,7	0,0	12,6	4,0	3,5
HIX	1,1	0,6	1,5	0,3	1,2	1,2	0,6	1,8	0,5	1,2
BIX	1,2	0,7	1,8	0,3	1,2	1,3	0,8	2,7	0,6	1,0
BA (cells.mL ⁻¹)	328322	12816	1124197	384296	226831	29741	6601	74561	25203	16025
%HNA	59%	41%	82%	13%	56%	43%	28%	59%	10%	42%

Annexe 8 – Granulométrie des matières en suspension aux exutoires lors du passage du cyclone Hola



Annexe 9 – Comparaison des concentrations en $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pour les métaux particulaires filtrés sur 3 μm et 0,45 μm dans les eaux des rivières (phase 1 du projet)

Cette comparaison montre que les métaux filtrés sur 3 μm représentent par exemple 76% du fer total (filtré sur 0,45 μm). Toutefois, pour les valeurs les plus fortes (valeurs en rouge non prises en compte pour le calcul des corrélations), on note une perte importante de matières pour les filtres 3 μm comparativement au filtres 0,45 μm suggérant pour les concentrations les plus fortes une augmentation de la part de particules fines.



Annexe 10 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en septembre 2019

septembre-19

Paramètres	Unités	septembre-19								
		A Baie DU	B Lagon	C Large	D Baie CO	E Baie SM	F Baie GR	G Baie PI	H Lagon	I Large
Physico-chimie										
Température	°C	22,47	22,25	22,17	22,58	22,76	22,94	22,21	22,31	22,32
Conductivité	mS.cm ⁻¹	50,98	51,01	50,97	51,34	51,60	51,72	50,77	51,15	51,09
Fluorescence	µg.L ⁻¹	0,30	0,08	0,02	0,18	0,47	0,21	0,18	0,15	0,09
Turbidité	NTU	1,02	0,56	0,30	1,68	1,50	0,91	1,14	0,46	0,38
Salinité	PSU	35,41	35,62	35,66	35,60	35,67	35,61	35,46	35,68	35,63
pH		8,09	8,13	8,10	8,08	8,06	<i>8,04</i>	8,11	8,11	8,14
Sels nutritifs										
NH ₄ *	µmol.L ⁻¹	0,038	0,043	0,073	0,091	0,348	0,077	0,076	0,045	<i>0,034</i>
Nox*	µmol.L ⁻¹	0,12	0,07	0,05	0,24	0,66	0,25	0,12	0,09	<i>0,05</i>
DIN*	µmol.L ⁻¹	0,16	0,11	0,13	0,33	1,01	0,32	0,20	0,14	<i>0,08</i>
SRP*	µmol.L ⁻¹	0,32	0,05	0,06	0,06	0,29	0,08	<i>0,03</i>	0,05	0,04
Si*	µmol.L ⁻¹	3,34	1,54	1,19	11,24	4,57	6,59	12,69	1,37	<i>0,87</i>
Ratio Si/Nox		27,5	22,3	22,1	47,3	6,9	26,8	103,2	15,1	17,4
Ratio N/P		0,5	2,2	2,2	5,5	3,4	4,2	7,2	2,5	2,2
Matière organique dissoute										
DON	µmol.L ⁻¹	5,20	5,65	7,78	6,51	6,13	5,78	5,60	5,38	5,28
A ₃₅₀	m ⁻¹	0,23	0,25	0,12	0,09	0,39	0,14	<i>0,07</i>	<i>0,07</i>	0,12
S ₂₇₅₋₂₉₅	nm ⁻¹	0,029	0,027	0,035	0,035	<i>0,026</i>	0,032	0,038	0,035	0,036
S ₃₅₀₋₄₀₀	nm ⁻¹	0,010	<i>0,007</i>	0,011	0,024	0,009	0,016	0,027	0,023	0,009
Sr		2,89	3,84	3,34	1,47	2,89	2,02	<i>1,40</i>	1,51	3,84
C1 (FDOM)	QSU	93,87	74,69	60,52	55,73	59,43	61,76	60,33	55,93	88,70
C2 (FDOM)	QSU	52,32	41,39	38,90	44,54	34,98	27,02	54,83	38,45	17,70
C3 (FDOM)	QSU	11,25	9,29	7,47	8,37	6,55	8,74	16,12	9,54	15,72
HIX (Zsolnay)		1,23	1,10	1,07	1,32	1,48	1,26	1,18	1,30	<i>0,97</i>
BIX (Parlanti)		0,97	1,11	0,98	0,93	0,96	0,98	0,95	1,03	1,16
Matières particulaires										
Chla	µg.L ⁻¹	0,60	0,23	0,21	0,41	1,33	0,57	0,40	0,24	0,24
Pico	%	N/A	0,91	0,70	0,78	0,63	0,63	0,79	0,84	N/A
Nano	%	N/A	0,02	0,25	0,13	0,36	0,24	0,19	0,07	N/A
Micro	%	0,04	0,07	0,04	0,09	0,01	0,13	0,02	0,09	N/A
phéophytine	µg.L ⁻¹	0,16	0,05	<i>0,05</i>	0,10	0,29	0,17	0,11	0,07	0,08
%phéo	%	21%	17%	18%	20%	18%	23%	22%	22%	25%
N part.*	mg.L ⁻¹	0,017	0,012	0,012	0,022	0,039	0,023	0,019	0,012	<i>0,011</i>
¹⁵ N*	DeltaPDB	6,8	6,3	6,1	6,0	10,1	7,2	4,4	3,8	4,5
Carbone part.*	mg.L ⁻¹	0,15	0,09	0,09	0,17	0,31	0,18	0,16	0,10	<i>0,09</i>
¹³ C*	DeltaPDB	-19,6	-20,4	-20,0	-22,5	-19,1	-18,9	-22,3	-21,7	-22,6
Métaux dissous										
Ca	mg.L ⁻¹	374	376	384	364	371	375	376	377	372
Mg	mg.L ⁻¹	1 241	1 238	1 272	1 210	1 234	1 254	1 250	1 247	1 227
Problème de pollution pour les ETM : données inexploitable										
Métaux particulaires										
Fe	µg.L ⁻¹	55,69	6,86	4,12	139,32	58,64	53,85	122,48	9,82	<i>0,21</i>
Ni	µg.L ⁻¹	1,28	0,12	0,09	3,35	0,46	1,72	2,56	0,36	<i>0,02</i>
Cr	µg.L ⁻¹	0,68	0,05	0,06	2,38	0,35	0,99	2,26	0,16	<i>0,00</i>
Mn	µg.L ⁻¹	0,82	0,07	0,01	1,94	0,67	1,05	1,86	0,09	<i>0,00</i>
Zn	µg.L ⁻¹	0,27	0,22	0,26	0,55	0,61	0,67	0,43	0,48	<i>0,21</i>
Co	µg.L ⁻¹	0,08	0,02	0,02	0,26	0,03	0,08	0,17	0,02	<i>0,01</i>
Cu	µg.L ⁻¹	0,04	<i>0,00</i>	0,02	0,14	0,04	0,17	0,01	0,04	<i>0,00</i>
Pb	µg.L ⁻¹	0,05	0,03	0,02	0,10	0,13	0,16	0,04	0,04	<i>0,00</i>
Compartment microbien										
Bact. HNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	1,57	1,43	1,70	1,52	3,09	2,79	1,28	1,44	1,47
Bact. LNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	4,05	3,43	3,34	3,74	4,93	4,66	3,08	2,70	1,99
Bact. totales	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	5,62	4,86	5,04	5,26	8,02	7,45	4,36	4,14	3,46
%HNA	%	28%	29%	34%	29%	39%	37%	29%	35%	43%
UNK	cell.mL ⁻¹	767	582	622	450	1244	941	1212	565	1479
SYN 1	cell.mL ⁻¹	61258	21264	5068	51091	21050	56322	23073	14168	546
SYN 2	cell.mL ⁻¹	57375	74757	93978	65008	45512	43123	72731	51777	32285
PEU	cell.mL ⁻¹	11327	4371	4372	10491	15866	12378	6486	4976	4289
NAN	cell.mL ⁻¹	152	46	32	54	326	43	40	29	59
Cry	cell.mL ⁻¹	93	2	0	5	420	11	14	2	0

Limites de détection de l'OES : Cd (LQ = 0,025µg/L) Co (LQ = 0,027µg/L) Cu (LQ = 0,025µg/L) Fe (LQ = 0,059µg/L) Mn (LQ = 0,028µg/L) Pb (LQ = 0,1µg/L) Zn (LQ = 1,07µg/L)

LDD en µg/l dans l'eau ultra pure Ni 0,47; Al 2,22; Cr 1,07; Cu 0,75; Zn 0,35

* Mesures réalisées en triplicats : les valeurs indiquent la moyenne

FDOM analysés conjointement avec décembre 2020

Annexe 11 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en décembre 2020

Paramètres	Unités	décembre-20								
		A Baie DU	B Lagon	C Large	D Baie CO	E Baie SM	F Baie GR	G Baie PI	H Lagon	I Large
Physico-chimie										
Température	°C	26,61	26,00	25,70	27,70	26,92	25,84	25,29	26,00	25,30
Conductivité	mS.cm ⁻¹	55,94	55,30	54,95	57,12	56,33	54,96	54,41	55,25	54,33
Fluorescence	µg.L ⁻¹	0,31	0,12	0,09	0,63	0,19	0,31	0,31	0,11	0,13
Turbidité	NTU	0,82	0,54	0,55	0,81	0,60	1,46	1,68	0,43	0,34
Salinité	PSU	35,85	35,86	35,85	35,85	35,89	35,74	35,76	35,83	35,70
pH		8,16	8,26	8,27	8,48	8,26	8,32	8,32	8,30	8,28
Sels nutritifs										
NH ₄	µmol.L ⁻¹	0,044	0,101	0,061	0,329	0,121	0,028	0,034	0,026	0,032
Nox	µmol.L ⁻¹	0,10	0,07	0,02	0,42	0,08	0,07	0,19	0,59	0,30
DIN	µmol.L ⁻¹	0,15	0,17	0,08	0,74	0,20	0,10	0,22	0,62	0,33
SRP	µmol.L ⁻¹	0,02	0,33	0,09	0,35	0,23	0,09	0,17	0,18	0,07
Si	µmol.L ⁻¹	3,41	1,28	0,95	6,52	4,96	3,07	3,88	1,27	1,29
Ratio Si/Nox		33,39	19,35	63,07	15,71	59,07	44,49	20,97	2,16	4,27
Ratio N/P		7,55	0,50	0,83	2,11	0,87	1,03	1,28	3,36	4,51
Matière organique dissoute										
DON	µmol.L ⁻¹	4,40	4,78	4,97	3,78	3,33	3,27	4,88	7,06	3,21
A ₃₅₀	m ⁻¹	0,39	0,28	0,28	0,74	0,41	0,25	0,12	0,67	0,18
S ₂₇₅₋₂₉₅	nm ⁻¹	0,024	0,025	0,024	0,020	0,022	0,027	0,033	0,017	0,030
S ₃₅₀₋₄₀₀	nm ⁻¹	0,013	0,008	0,009	0,009	0,008	0,008	0,013	0,004	0,008
Sr										
C1 (FDOM)	QSU	21,09	9,84	11,64	8,68	9,74	8,14	9,28	7,73	9,16
C2 (FDOM)	QSU	30,90	3,18	10,37	5,13	3,65	3,58	28,69	11,97	6,29
C3 (FDOM)	QSU	47,66	21,47	23,63	15,14	11,31	11,50	15,29	56,09	32,07
HIX (Zsolnay)		1,97	1,27	1,37	1,30	1,03	1,35	1,56	1,75	1,33
BIX (Parlanti)		1,61	1,01	1,46	1,11	1,06	1,12	1,06	1,54	1,07
Matières particulaires										
Seston total	mg.L ⁻¹	0,90	0,73	0,59	1,10	0,70	0,97	1,00	0,38	0,22
MOP	mg.L ⁻¹	0,43	0,43	0,52	0,60	0,43	0,40	0,45	0,33	N/A
MM	mg.L ⁻¹	0,47	0,30	0,07	0,50	0,27	0,57	0,55	0,05	N/A
%MOP	%	48%	59%	89%	55%	62%	41%	45%	87%	N/A
Chla	µg.L ⁻¹	0,73	0,27	0,23	1,55	0,58	0,33	0,67	0,22	0,21
phéophytine	µg.L ⁻¹	0,23	0,09	0,08	0,28	0,15	0,12	0,18	0,05	0,04
%phéo	%	24%	25%	26%	15%	21%	26%	21%	19%	17%
Pico	%	57%	60%	61%	41%	55%	63%	74%	72%	82%
Nano	%	12%	3%	12%	30%	23%	28%	16%	12%	6%
Micro	%	32%	37%	27%	29%	23%	9%	10%	16%	11%
N part.	mg.L ⁻¹	0,035	0,026	0,017	0,052	0,036	0,029	0,029	0,028	0,016
¹⁵ N	DeltaPDB	10,0	1,5	10,4	10,8	9,2	10,7	4,6	5,5	3,5
Carbone part.	mg.L ⁻¹	0,24	0,16	0,11	0,27	0,20	0,17	0,16	0,15	0,09
¹³ C	DeltaPDB	-22,3	-24,1	-23,1	-21,9	-23,6	-24,7	-24,2	-23,8	-24,4
Métaux particulaires										
Fe	µg.L ⁻¹	40,26	8,22	5,79	19,60	22,49	94,93	80,82	7,55	1,53
Al	µg.L ⁻¹	6,59	2,52	2,24	8,11	5,75	10,47	9,28	1,89	0,00
Mn	µg.L ⁻¹	1,293	0,316	0,180	0,992	1,011	1,657	1,388	0,186	0,055
Ni	µg.L ⁻¹	1,083	0,123	0,136	0,113	0,880	2,262	1,781	0,189	0,017
Co	µg.L ⁻¹	0,038	0,005	0,002	0,005	0,005	0,138	0,125	0,003	0,003
Cr	µg.L ⁻¹	0,593	0,080	0,126	0,033	0,446	1,613	1,609	0,218	0,004
Cu	µg.L ⁻¹	0,068	0,087	0,142	0,097	0,093	0,068	0,073	0,132	0,043
Zn	µg.L ⁻¹	0,226	0,013	0,153	0,013	0,166	0,013	0,014	0,141	0,099
Métaux dissous										
Ca	mg.L ⁻¹	439	434	442	445	445	443	434	447	443
Mg	mg.L ⁻¹	1 467	1 442	1 476	1 491	1 482	1 475	1 443	1 489	1 483
Fe	µg.L ⁻¹	0,53	2,12	0,77	0,74	0,40	0,19	0,43	0,75	1,94
Co	µg.L ⁻¹	0,14	0,05	0,05	0,14	0,11	0,16	0,29	0,08	0,02
Mn	µg.L ⁻¹	1,80	0,66	0,63	3,28	1,56	1,30	2,10	0,82	0,31
Ni	µg.L ⁻¹	3,40	1,36	1,19	2,16	3,35	1,27	1,68	1,57	0,39
Zn	µg.L ⁻¹	1,04	1,03	1,50	1,38	1,28	0,62	0,66	1,73	0,85
Compartiment microbien										
Bact. HNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	3,56	2,85	2,28	4,58	2,83	2,98	1,42	1,81	2,09
Bact. LNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	7,66	5,96	6,93	6,70	7,86	7,32	5,75	5,87	4,30
Bact. totales	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	11,22	8,81	9,21	11,28	10,69	10,30	7,16	7,68	6,40
%HNA	%	32%	32%	25%	41%	26%	29%	20%	24%	33%
UNK	cell.mL ⁻¹	1905	1281	1288	3589	2000	1720	3241	1777	915
SYN 1	cell.mL ⁻¹	95594	21082	25511	100851	57806	89424	49231	37440	22482
SYN 2	cell.mL ⁻¹	35583	27557	38120	22169	46044	90553	69776	53321	63135
PEU	cell.mL ⁻¹	13946	2876	2858	9181	5407	5860	4144	2581	3031
NAN	cell.mL ⁻¹	156	64	118	542	220	108	163	54	25
Cry	cell.mL ⁻¹	25	20	0	807	54	22	108	10	2

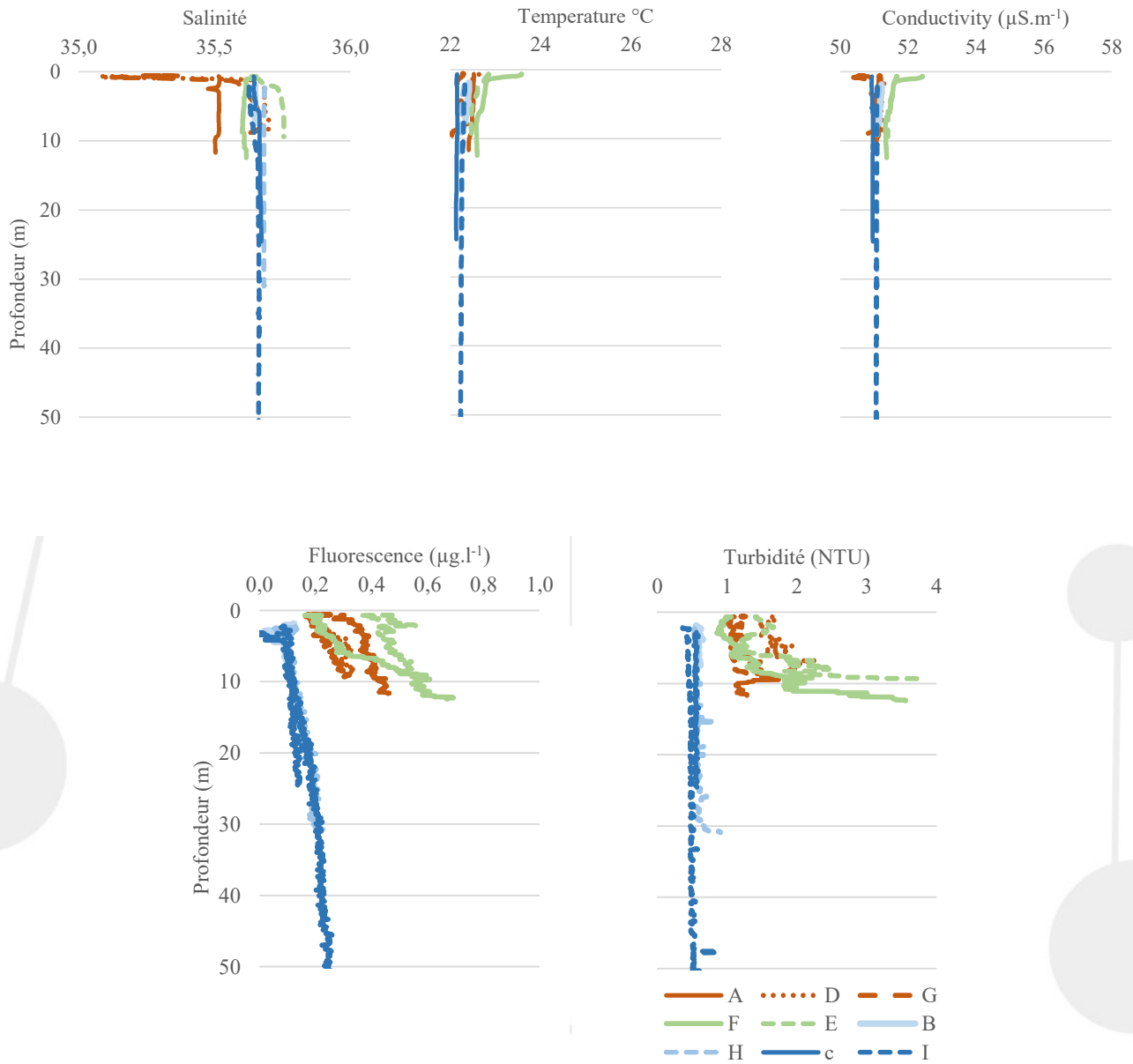
Limites de détection de l'OES : Cd (LQ = 0,025µg/L) Co (LQ = 0,027µg/L) Cu (LQ = 0,025µg/L) Fe (LQ = 0,059µg/L) Mn (LQ = 0,028µg/L) Pb (LQ = 0,1µg/L) Zn (LQ = 1,07µg/L)

LDD en µg/l dans l'eau ultra pure Ni 0,47; Al 2,22; Cr 1,07; Cu 0,75; Zn 0,35

FDOM analysés conjointement avec décembre 2020

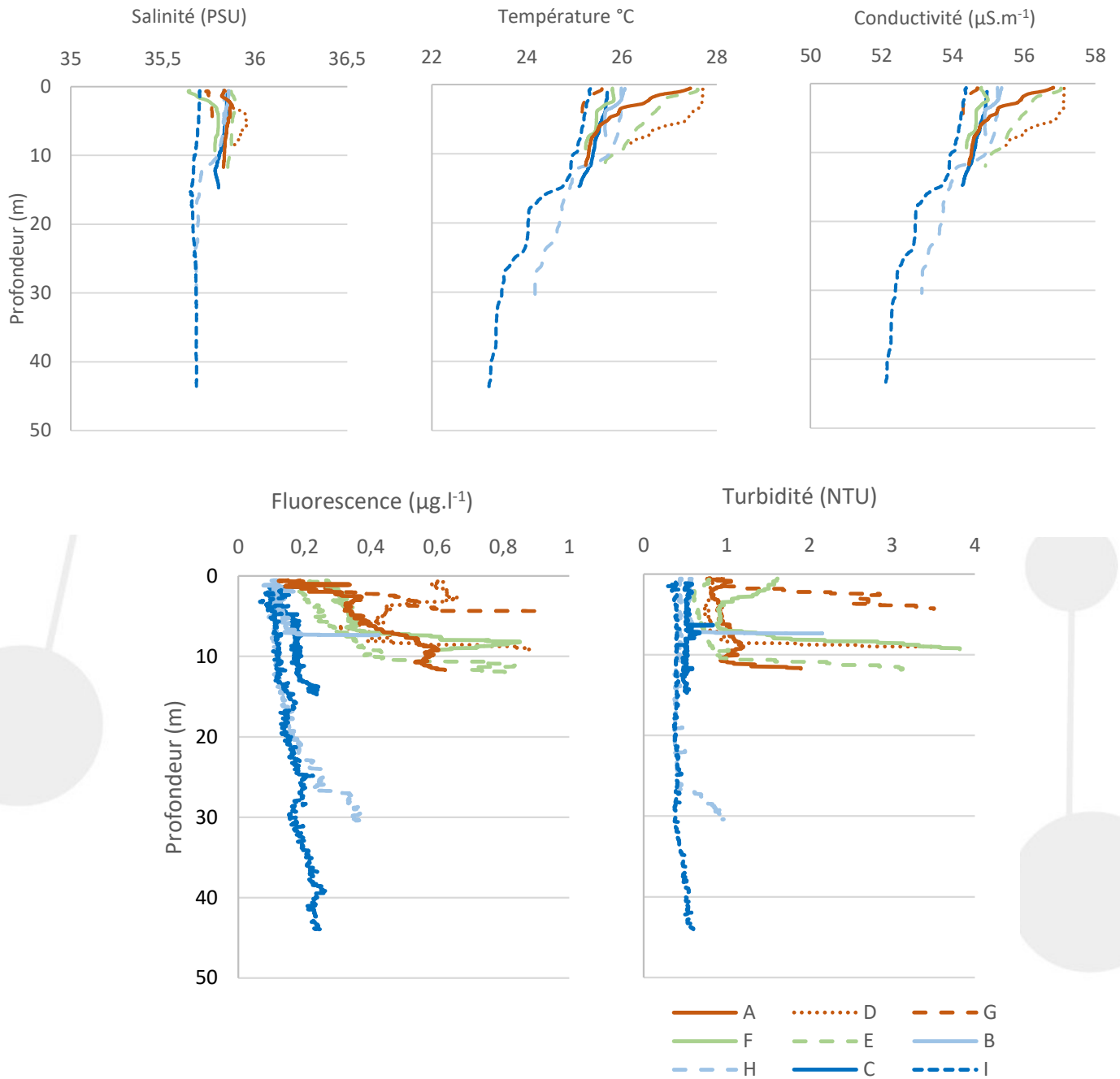
Annexe 12 – Profils SBE mesurés en sept 2019

Les profils en marron, en vert, en bleu clair et en bleu foncé correspondent respectivement aux échantillons collectés dans les estuaires (A, D et G), dans les baies (F et E), au milieu du lagon (B et H) et à proximité de la barrière récifale (C et I).



Annexe 13 – Profils SBE mesurés en décembre 2020

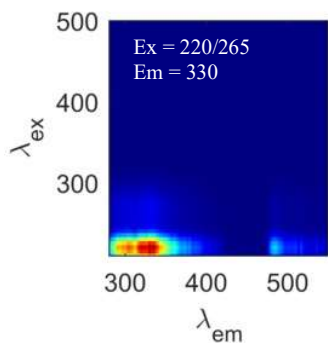
Les profils en marron, en vert, en bleu clair et en bleu foncé correspondent respectivement aux échantillons collectés dans les estuaires (A, D et G), dans les baies (F et E), au milieu du lagon (B et H) et à proximité de la barrière récifale (C et I).



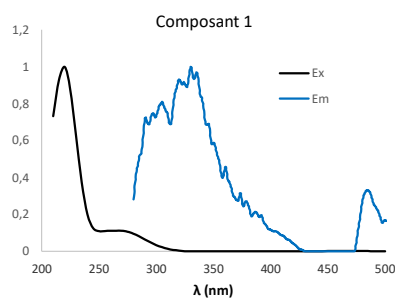
Annexe 14 – FDOM observés en période sèche (sept. 2019 et Déc. 2020)

L'analyse avec PROGMEEF réalisée sur les 18 échantillons a permis de discriminer 3 composants avec un Concordia de 64%. Le processus de décomposition à l'aide du logiciel PARAFAC semble moins performant pour séparer les différents composés dans ces échantillons. Le composant 1 serait une substance protéique de type tryptophane-like. La présence d'un double pic en émission suggérerait la présence d'une autre substance protéique de type tyrosine-like au sein de ce complexe. Le composant 2 pourrait correspondre à des humic-like. Un effet bruit pourrait perturber le signal. Le composant 3 bien discriminé possède les caractéristiques d'une autre substance protéique de type tryptophane-like.

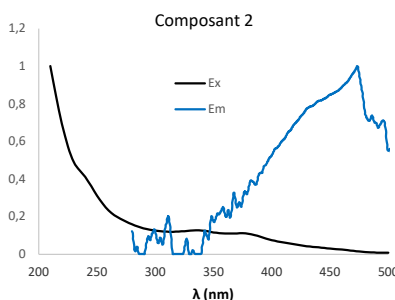
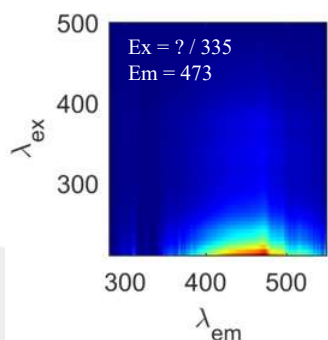
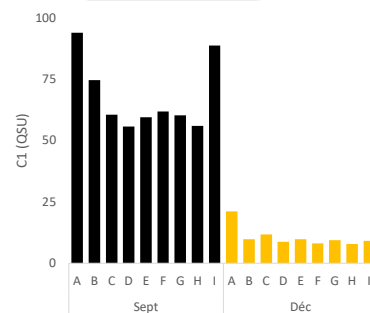
Contours plots



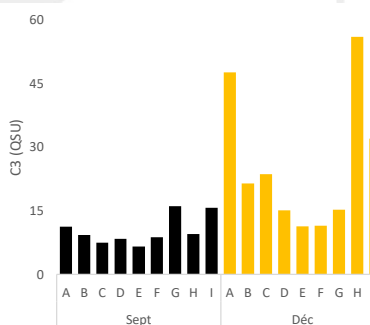
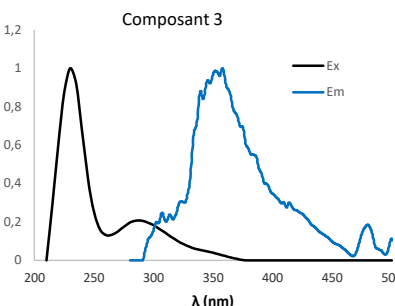
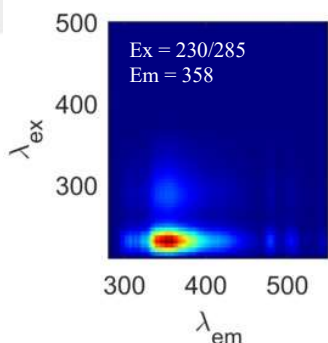
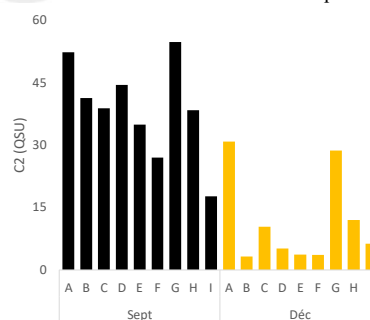
Spectres Excitation (Ex) / Emission (Em)



Les fluorophores (QSU)



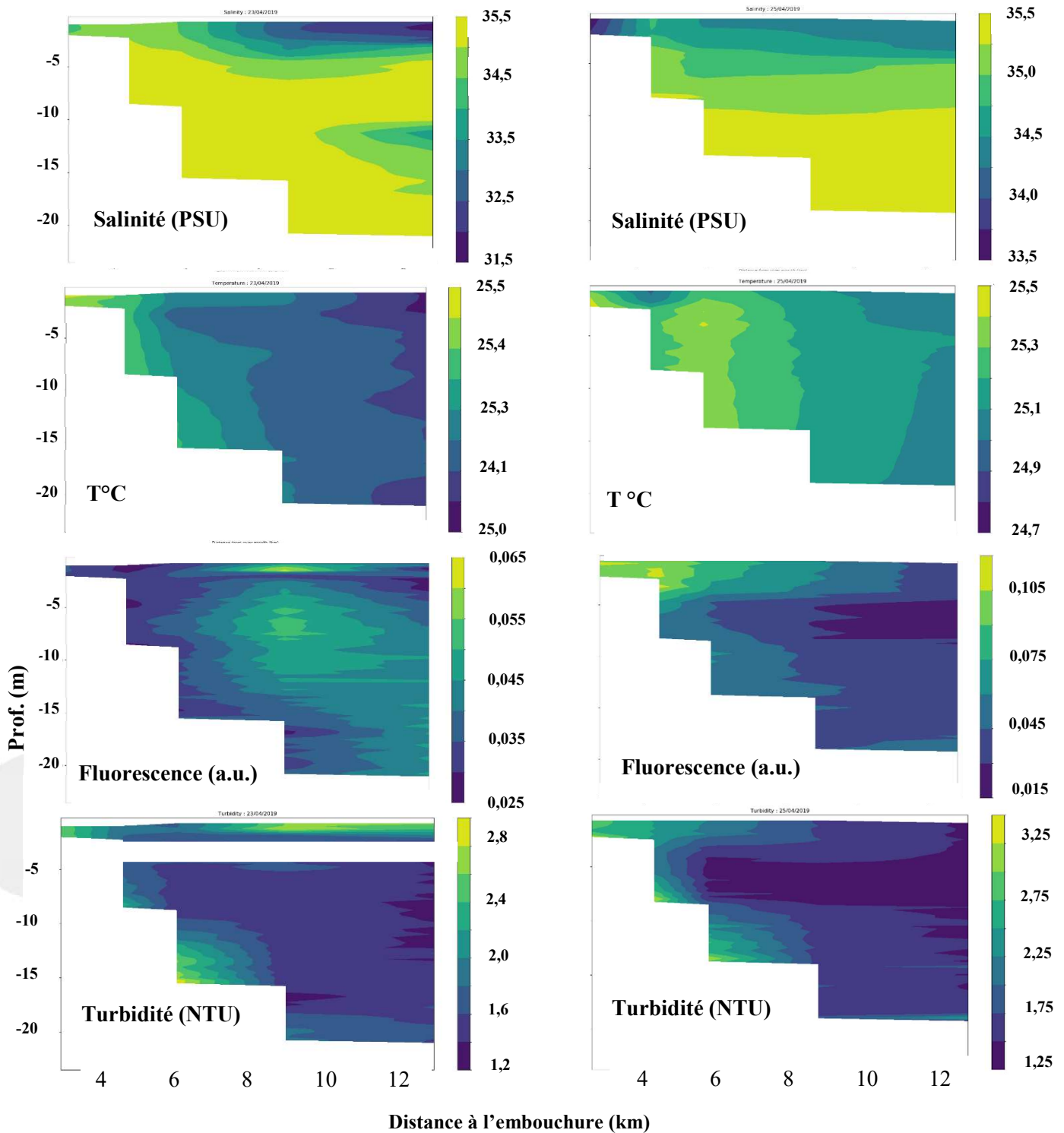
Bruit ou trace de substances humiques



Annexe 15 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en avril 2019

Paramètres	Unités	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
		23/04/2019					25/04/2019				
Distance	km	2,75	4,43	5,89	8,81	12,82	2,75	4,43	5,89	8,81	12,82
Physico-chimie											
Température	°C	25,42	25,35	25,14	25,15	25,09	25,43	25,17	25,41	25,14	25,03
Conductivité	mS.cm ⁻¹	52,93	53,52	53,12	51,15	52,49	51,76	53,23	52,95	52,63	52,37
Fluorescence	µg.L ⁻¹	0,35	0,31	0,30	0,42	0,25	0,97	1,13	0,75	0,59	0,35
Turbidité	NTU	2,63	1,75	1,47	1,69	1,48	2,86	2,36	1,82	1,71	1,47
Salinité	PSU	34,58	35,06	34,94	33,47	34,50	33,72	34,99	34,60	34,58	34,46
Sels nutritifs											
NH ₄	µmol.L ⁻¹	1,35	0,47	0,92	0,68	0,43	0,46	0,19	0,51	0,70	0,96
Nox (µmole/L)	µmol.L ⁻¹	4,74	1,44	2,07	4,37	1,09	1,63	0,93	0,22	0,32	0,66
DIN	µmol.L ⁻¹	6,09	1,91	2,99	5,05	1,52	2,09	1,12	0,73	1,01	1,62
SRP	µmol.L ⁻¹	0,14	0,08	0,06	0,10	0,04	0,03	0,27	0,00	0,02	0,00
Si	µmol.L ⁻¹	12,83	9,76	11,65	32,55	34,39	13,72	6,89	9,49	9,18	8,54
Ratio Si/Nox		2,7	6,8	5,6	7,5	31,6	8,4	7,4	42,7	29,0	12,9
Ratio N/P		44,8	25,0	46,7	48,6	38,0	72,2	4,1	P _{lim}	53,3	P _{lim}
Matière organique dissoute											
DON	µmol.L ⁻¹	5,71	5,60	3,47	3,90	3,76	4,24	5,99	4,13	8,12	3,92
A ₃₅₀	m ⁻¹	0,37	0,28	0,48	0,90	0,67	0,30	0,25	0,28	0,23	0,21
S ₂₇₅₋₂₉₅	nm ⁻¹	0,022	0,025	0,021	0,016	0,019	0,024	0,025	0,025	0,025	0,028
S ₃₅₀₋₄₀₀	nm ⁻¹	0,016	0,018	0,014	0,011	0,014	0,020	0,022	0,012	0,020	0,018
Sr		1,43	1,40	1,49	1,52	1,39	1,24	1,16	2,14	1,26	1,52
C1 (FDOM)	QSU	156,48	132,66	127,24	57,50	69,10	62,78	76,90	97,66	30,33	53,01
C2 (FDOM)	QSU	47,78	26,42	70,52	22,49	97,31	39,02	56,00	48,74	27,47	26,15
C3 (FDOM)	QSU	25,93	14,63	32,31	26,15	31,04	17,52	12,70	10,95	17,85	12,10
C4 (FDOM)	QSU	13,75	11,32	20,39	21,56	21,44	10,37	9,75	5,86	10,06	6,66
HIX (Zsolnay)		1,50	1,53	1,94	4,00	2,21	2,03	1,52	1,13	3,56	1,94
BIX (Parlanti)		0,99	1,12	0,98	0,83	0,85	0,94	1,16	1,25	0,96	1,06
Matières particulaires											
Seston total (mg/L)	mg.L ⁻¹	2,80	2,07	2,23	3,25	3,15	1,90	1,69	0,88	1,69	1,00
MOP	mg.L ⁻¹	0,70	0,57	0,60	0,90	0,65	0,70	0,60	0,25	0,47	0,48
MM	mg.L ⁻¹	2,10	1,50	1,63	2,35	2,50	1,20	1,09	0,62	1,22	0,52
%MOP	%	25%	27%	27%	28%	21%	37%	35%	29%	28%	48%
Chla	µg.L ⁻¹	0,87	0,71	0,84	1,86	1,08	2,04	2,27	1,28	2,21	0,73
phéophytine	µg.L ⁻¹	0,30	0,22	0,21	0,43	0,23	0,41	0,50	0,28	0,50	0,21
%phéo	%	0,26	0,24	0,20	0,19	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,22
N part.	mg.L ⁻¹	0,04	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03
¹⁵ N		6,4	1,9	3,4	5,8	4,9	7,0	5,9	5,4	6,3	5,5
Carbone part.	mg.L ⁻¹	0,36	0,30	0,24	0,28	0,21	0,35	0,31	0,26	0,32	0,21
¹³ C	DeltaPDB	- 23,7	- 25,5	- 25,3	- 22,9	- 23,9	- 23,1	- 23,1	- 24,3	- 23,5	- 24,9
Métaux particulaires											
Co	µg.L ⁻¹	0,17	0,06	0,07	0,20	0,23	0,22	0,16	0,07	0,07	0,03
Cr	µg.L ⁻¹	1,37	0,36	0,51	1,58	1,50	1,57	1,22	0,41	0,53	0,15
Fe	µg.L ⁻¹	122,8	40,7	52,6	146,3	133,9	130,1	107,1	37,7	43,4	21,4
Mn	µg.L ⁻¹	1,54	0,54	0,71	1,98	1,80	1,70	1,48	0,54	0,61	0,29
Ni	µg.L ⁻¹	2,70	0,85	1,15	3,20	2,95	3,12	2,62	0,91	1,04	0,44
Cu	µg.L ⁻¹	0,10	0,09	0,01	1,72	0,01	0,14	0,09	0,04	0,05	0,02
Zn	µg.L ⁻¹	9,69	3,25	4,14	12,64	10,52	10,39	8,60	3,03	3,48	1,69
Compartiment microbien											
Bact. HNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	1,21	1,49	1,66	2,56	2,54	1,99	1,91	1,57	2,11	1,32
Bact. LNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	3,51	3,69	4,39	4,90	5,82	4,09	4,56	5,63	5,85	5,16
Bact. totales	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	4,73	5,18	6,05	7,46	8,35	6,08	6,47	7,20	7,96	6,49
%HNA	%	26%	29%	27%	34%	30%	33%	30%	22%	27%	20%
UNK	cell.mL ⁻¹	951	1094	868	1266	1123	1333	1413	1437	1617	1852
SYN 1	cell.mL ⁻¹	17999	29138	35413	38556	41206	58294	54525	82927	82300	74481
SYN 2	cell.mL ⁻¹	4604	6955	9133	6563	10599	14310	14241	24180	18360	20055
PEU	cell.mL ⁻¹	5730	5423	8280	15453	13479	17446	19856	17508	22307	12785
NAN	cell.mL ⁻¹	143	115	110	201	163	214	276	129	201	96
Cry	cell.mL ⁻¹	220	86	41	91	102	504	289	80	230	49

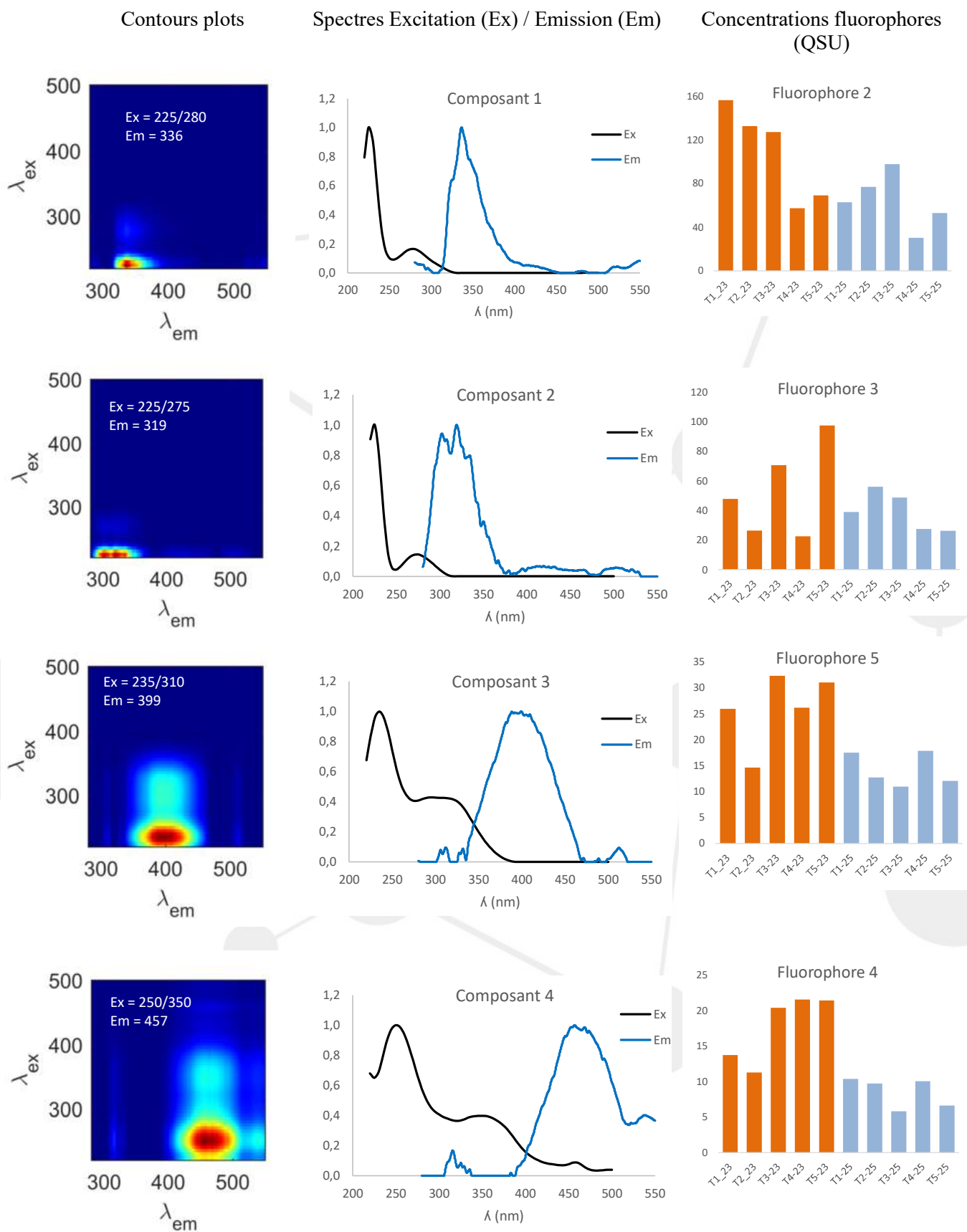
Annexe 16 – Profils observés en avril 2019



Paramètres physico-chimiques sur toute la colonne d'eau le long du transect le 23 (colonne gauche) et le 25 avril 2019 (colonne droite). L'abscisse indique la distance des stations 1 à 5 à l'embouchure de la rivière en km. Pour plus de lisibilité, les échelles de droite de l'axe des ordonnées varient entre fonction des graphes.

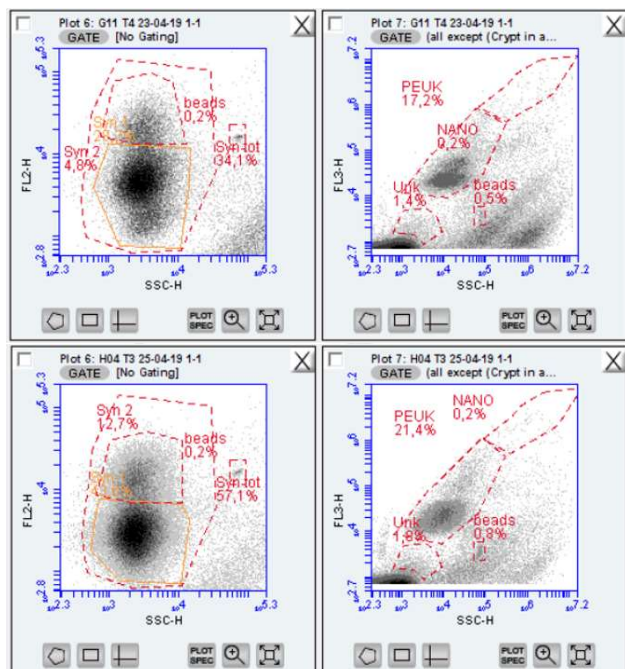
Annexe 17 – FDOM en avril 2019

L'analyse avec PROGMEEF réalisée sur les 10 échantillons a permis de discriminer 4 composants avec un Concordia de 69%. Ces 4 composants ont aussi été retrouvés dans les eaux des rivières (phase 1 du projet)



Annexe 17a : classes de cytogrammes

Les cytogrammes de gauche et de droite présentent respectivement la fluorescence mesurée en FL2-H (particules avec phycoerythrine), et en FL3-H (des particules à chlorophylle *a*) en fonction de la taille relative des particules (SSC-H). Des billes calibrées (beads) de 1 µm sont ajoutées à chaque comptage pour permettre des comparaisons entre les différents échantillons.



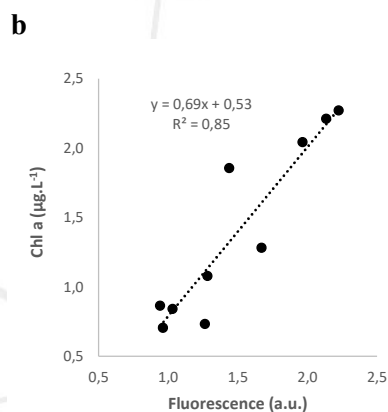
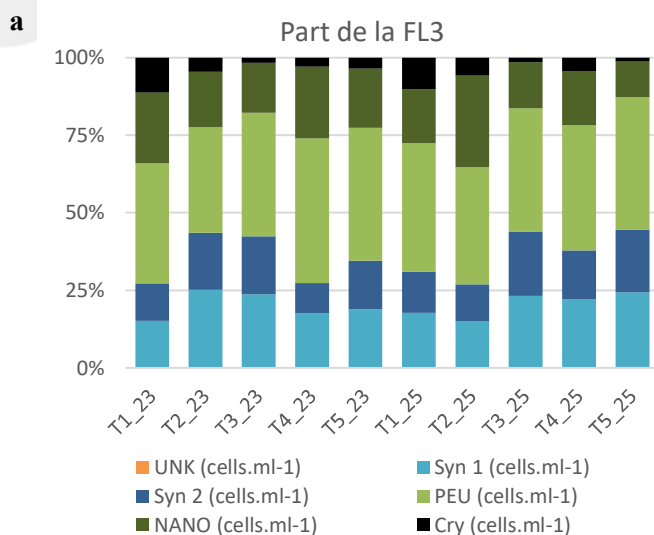
Exemple de cytogrammes pour la station T4 le 23 avril.

Présence importante de picocyanobactéries avec une faible fluorescence en FL2 et de plusieurs populations de picoeucaryotes

Exemple de cytogrammes pour la station T3 le 25 avril.

Présence importante de picocyanobactéries avec une faible fluorescence en FL2 et de plusieurs populations de picoeucaryotes

Annexe 17a : (a) Part de fluorescence de chaque groupe cellulaire sur la fluorescence totale (FL3) mesurée par cytométrie en flux ; (b) Relation entre cette fluorescence totale et la concentration en chlorophylle *a* (chl *a*) extraite.



Annexe 19 – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en février 2020

Paramètres	Unités	février-20						février-20					
		Fond de baie						Grande rade					
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6
Physico-chimie													
Température	°C	23,86	27,74	28,66	29,80	28,31	27,96	27,77	27,83	28,77	29,14	27,78	27,49
Conductivité	mS.cm ⁻¹	3,97	57,19	57,10	55,40	57,35	55,74	57,34	57,31	57,16	56,58	56,80	56,75
Fluorescence	µg.L ⁻¹	0,72	0,31	0,49	0,66	0,52	1,00	0,91	0,61	0,41	0,49	0,33	0,50
Turbidité	NTU	9,80	1,66	0,88	1,66	2,41	2,94	0,95	0,85	0,82	0,74	0,64	1,05
Salinité	PSU	2,15	35,87	35,11	33,14	35,55	34,69	35,96	35,88	35,08	34,42	35,57	35,75
pH		7,84	8,30	8,07	8,10	8,19	8,22	8,16	N/A	8,19	8,28	8,29	8,30
Sels nutritifs													
NH ₄	µmol.L ⁻¹	0,229	0,308	0,818	1,223	0,255	0,170	0,908	0,192	0,696	0,275	0,161	0,069
Nox	µmol.L ⁻¹	12,09	0,92	0,98	2,90	0,88	0,56	0,43	0,35	0,54	0,31	0,35	0,35
DIN	µmol.L ⁻¹	12,32	1,23	1,80	4,12	1,13	0,73	1,34	0,55	1,24	0,58	0,51	0,41
SRP	µmol.L ⁻¹	0,12	0,03	0,00	0,03	0,04	0,08	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04
Si	µmol.L ⁻¹	226,7	15,3	41,5	119,1	49,3	31,7	7,3	10,7	23,4	16,2	1,9	1,0
Ratio Si/Nox		18,8	16,6	42,3	41,1	56,2	57,0	17,1	30,2	43,4	52,3	5,6	3,0
Ratio N/P		100	37	> 100	127	31	10	41	30	54	21	10	11
Matière organique dissoute													
DON	µmol.L ⁻¹	6,32	6,97	6,18	5,36	6,21	7,15	6,32	8,44	6,44	5,42	4,91	4,25
A ₃₅₀	m ⁻¹	10,11	0,55	3,39	1,17	4,10	0,62	0,21	0,30	0,46	0,37	0,21	0,18
S ₂₇₅₋₂₉₅	nm ⁻¹	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
S ₃₅₀₋₄₀₀	nm ⁻¹	0,003	0,013	0,007	0,015	-0,001	0,016	0,017	0,017	0,015	0,015	0,017	0,020
Sr		2,3	1,7	1,2	1,2	-8,5	1,3	1,7	1,1	1,5	1,7	0,9	1,4
C1 (FDOM)	QSU	43,5	23,9	N/A	20,1	16,5	15,3	18,1	30,9	22,9	15,3	18,4	14,3
C2 (FDOM)	QSU	73,1	8,5	22,9	20,5	10,0	10,8	4,9	5,6	7,6	5,5	4,2	4,1
HIX (Zsolnay)		15,1	2,5	0,4	8,1	4,9	4,5	1,6	1,4	2,3	2,0	1,2	1,6
BIX (Parlanti)		0,5	0,7	1,4	0,7	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,9	0,9	1,0
Matières particulaires													
Seston total	mg.L ⁻¹	37,5	1,0	1,2	1,3	2,4	3,2	1,6	1,2	1,2	0,9	1,0	1,9
MOP	mg.L ⁻¹	7,0	0,6	0,8	0,8	1,1	1,4	0,8	0,9	0,8	0,6	0,7	1,3
MM	mg.L ⁻¹	30,5	0,4	0,5	0,5	1,3	1,7	0,8	0,3	0,4	0,2	0,2	0,6
%MOP	%	19%	58%	63%	62%	46%	45%	51%	73%	64%	73%	75%	0,67
Chla	µg.L ⁻¹	0,69	1,01	1,27	0,84	1,82	2,52	0,94	0,95	1,30	0,99	0,45	0,87
phéophytine	µg.L ⁻¹	1,47	0,40	0,42	0,20	0,38	0,48	0,89	0,67	0,25	0,23	0,19	0,27
%phéo	%	68%	28%	25%	19%	17%	16%	49%	41%	16%	19%	30%	24%
N part.	mg.L ⁻¹	0,15	0,04	0,06	0,04	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03
¹⁵ N	DeltaPDB	7,6	0,3	2,6	-0,1	2,9	3,0	4,4	3,2	3,0	3,4	2,0	0,8
Carbone part.	mg.L ⁻¹	1,69	0,21	0,30	0,21	0,30	0,33	0,22	0,27	0,26	0,27	0,21	0,21
¹³ C	DeltaPDB	-26,1	-23,5	-22,8	-24,4	-22,6	-22,0	-23,5	-24,0	-22,9	-22,7	-23,0	-22,6
Métaux particulaires													
Fe	µg.L ⁻¹	7031,19	85,47	116,53	155,03	187,22	221,74	53,47	53,42	59,44	30,58	15,72	33,46
Al	µg.L ⁻¹	758,13	14,43	20,29	22,21	30,89	34,11	16,00	14,55	12,33	7,90	4,44	10,05
Mn	µg.L ⁻¹	89,990	1,702	3,172	4,139	4,228	4,912	0,925	1,109	1,416	1,167	0,314	0,523
Ni	µg.L ⁻¹	213,906	2,430	3,444	3,941	4,920	5,875	1,633	1,666	1,850	1,115	0,537	0,789
Co	µg.L ⁻¹	12,327	0,105	0,196	0,303	0,235	0,302	0,000	0,081	0,070	0,042	0,013	0,049
Cr	µg.L ⁻¹	104,005	1,245	1,668	2,209	2,598	3,105	0,656	0,729	0,893	0,494	0,178	0,379
Cu	µg.L ⁻¹	0,789	0,038	0,094	0,018	0,032	0,079	0,141	0,162	0,173	0,137	0,115	0,080
Zn	µg.L ⁻¹	5,341	0,131	0,206	0,207	0,995	0,963	0,193	0,244	0,135	0,281	0,312	0,402
Métaux dissous													
Ca	mg.L ⁻¹	41	400	365	251	360	373	413	413	404	404	421	422
Mg	mg.L ⁻¹	136	1 325	1 210	791	1 176	1 236	1 342	1 366	1 312	1 335	1 388	1 396
Fe	µg.L ⁻¹	3,13	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	6,33	< ldd	< ldd	< ldd
Co	µg.L ⁻¹	5,05	1,17	13,47	< ldd	1,62	< ldd	9,88	< ldd	6,33	< ldd	< ldd	< ldd
Mn	µg.L ⁻¹	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd
Ni	µg.L ⁻¹	20,06	12,75	< ldd	10,88	< ldd	< ldd	13,41	22,91	< ldd	4,32	< ldd	< ldd
Cu	µg.L ⁻¹	3,18	9,67	11,22	4,29	10,22	14,38	7,88	14,22	12,78	17,62	6,47	3,43
Zn	µg.L ⁻¹	77,58	< ldd	77,34	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd	46,33	< ldd	< ldd	< ldd	< ldd
Compartiment microbien													
Bact. HNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	2,73	2,77	6,32	4,70	4,16	4,67	3,07	2,93	4,57	4,08	3,96	3,78
Bact. LNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	2,18	3,87	6,59	7,36	8,45	8,42	5,63	6,18	5,65	4,43	6,47	7,71
Bact. totales	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	4,92	6,64	12,91	12,07	12,60	13,09	8,70	9,11	10,23	8,51	10,43	11,50
%HNA	%	56%	42%	49%	39%	33%	36%	35%	32%	45%	48%	38%	33%
UNK	cell.mL ⁻¹	300	1822	2846	960	2731	3260	2648	4278	1576	3034	443	3573
SYN 1	cell.mL ⁻¹	5230	76389	184779	97604	149808	55729	214221	219194	204277	118349	33672	80332
SYN 2	cell.mL ⁻¹	1532	7599	12247	6234	21690	8760	31353	29828	25410	19923	13089	33666
PEU1	cell.mL ⁻¹	997	13699	29130	14522	9736	4071	7242	17613	20427	9468	1787	3394
PEU2	cell.mL ⁻¹	346	868	1656	750	1838	1110	2048	2970	1656	2000	549	1646
NAN	cell.mL ⁻¹	68	86	217	99	102	89	195	108	147	182	16	204
Cry	cell.mL ⁻¹	132	249	367	182	80	201	341	654	134	188	13	57

LDD OES - Cd (LQ = 0,025µg/L) Co (LQ = 0,027µg/L) Cu (LQ = 0,05µg/L) Fe (LQ = 0,05µg/L) Mn (LQ = 0,028µg/L) Pb (LQ = 0,1µg/L) Zn (LQ = 1,07µg/L)

LDD en µg/l dans l'eau ultra pure Ni 0,47; Al 2,22; Cr 1,07; Cu 0,75; Zn 0,35

Les valeurs pour les métaux dissous devront être confirmées par une analyse complémentaire en MS

FDOM analysés sur série fév 2020

Annexe 19 (suite) – Valeurs des paramètres pour les échantillons récoltés en février 2020

Paramètres	Unités	février-20							
		Bouée 1			Bouée 2			Milieu baie	
		J1	J2	J3	J2	J3	J4	J4	J5
Physico-chimie									
Température	°C	23,86	26,95	27,63	27,74	27,57	27,78	28,48	28,06
Conductivité	mS.cm ⁻¹	3,97	55,61	56,03	57,19	56,41	56,67	57,01	56,40
Fluorescence	µg.L ⁻¹	0,72	0,42	0,29	0,31	0,17	0,21	0,43	0,50
Turbidité	NTU	9,80	0,60	0,58	1,66	0,43	0,49	0,75	0,76
Salinité	PSU	2,15	35,36	35,14	35,87	35,45	35,48	35,19	35,08
pH		7,84	8,23	8,20	8,30	8,15	8,25	8,23	8,22
Sels nutritifs									
NH ₄	µmol.L ⁻¹	0,229	0,221	0,242	0,308	0,262	0,286	0,110	0,065
Nox	µmol.L ⁻¹	12,09	0,54	0,27	0,92	0,38	0,33	0,43	0,31
DIN	µmol.L ⁻¹	12,32	0,76	0,51	1,23	0,65	0,62	0,54	0,37
SRP	µmol.L ⁻¹	0,12	0,04	0,06	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05
Si	µmol.L ⁻¹	226,7	6,8	4,7	15,3	7,4	2,7	20,7	8,4
Ratio Si/Nox		18,8	12,6	17,5	16,6	19,2	8,2	48,4	27,3
Ratio N/P		100	20	9	37	18	11	15	8
Matière organique dissoute									
DON	µmol.L ⁻¹	6,09	6,27	6,27	6,66	6,73	6,46	5,29	5,38
A ₃₅₀	m ⁻¹	10,11	0,25	0,28	0,55	0,25	0,28	0,46	6,29
S ₂₇₅₋₂₉₅	nm ⁻¹	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00
S ₃₅₀₋₄₀₀	nm ⁻¹	0,003	0,018	0,011	0,013	0,018	0,015	0,014	0,000
Sr		2,3	1,5	2,4	1,7	1,6	1,4	1,7	
C1 (FDOM)	QSU	43,5	15,1	14,6	23,9	13,6	29,1	16,4	13,0
C2 (FDOM)	QSU	73,1	4,6	4,3	8,5	4,2	4,6	8,3	5,4
HIX (Zsolnay)		15,1	1,7	1,5	2,5	1,5	1,0	2,2	2,2
BIX (Parlanti)		0,5	0,9	1,0	0,7	0,9	1,0	0,9	0,7
Matières particulaires									
Seston total	mg.L ⁻¹	37,5	0,7	0,7	1,0	0,9	0,9	1,2	1,3
MOP	mg.L ⁻¹	7,0	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6
MM	mg.L ⁻¹	30,5	0,2	0,0	0,4	0,2	0,3	0,6	0,7
%MOP	%	19%	78%	105%	58%	73%	70%	54%	44%
Chla	µg.L ⁻¹	0,69	0,64	0,82	1,01	0,47	0,40	1,34	1,32
phéophytine	µg.L ⁻¹	1,47	0,37	0,20	0,40	0,14	0,11	0,32	0,36
%phéo	%	68%	37%	20%	28%	24%	22%	20%	21%
N part.	mg.L ⁻¹	0,15	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05
¹⁵ N	DeltaPDB	7,6	0,0	5,5	0,3	3,5	2,5	3,1	3,4
Carbone part.	mg.L ⁻¹	1,69	0,21	0,21	0,21	0,21	0,15	0,31	0,27
¹³ C	DeltaPDB	-26,1	-22,7	-23,2	-23,5	-23,8	-22,4	-21,7	-21,8
Métaux particulaires									
Fe	µg.L ⁻¹	7031,19	27,58	16,63	85,47	139,36	5,10	46,51	33,81
Al	µg.L ⁻¹	758,13	9,88	2,83	14,43	28,39	1,33	11,22	7,62
Mn	µg.L ⁻¹	89,990	0,487	0,335	1,702	2,795	0,107	1,465	1,006
Ni	µg.L ⁻¹	213,906	0,861	0,533	2,430	4,713	0,183	1,307	0,835
Co	µg.L ⁻¹	12,327	0,039	0,043	0,105	0,146	0,005	0,079	0,075
Cr	µg.L ⁻¹	104,005	0,445	0,364	1,245	3,442	0,064	0,639	0,456
Cu	µg.L ⁻¹	0,789	0,216	0,017	0,038	1,522	0,156	0,104	0,086
Zn	µg.L ⁻¹	5,341	0,036	0,334	0,131	2,691	0,081	0,292	0,519
Métaux dissous									
Ca	mg.L ⁻¹	41	400	418	400	419	423	397	413
Mg	mg.L ⁻¹	136	1 310	1 351	1 325	1 368	1 388	1 329	1 330
Fe	µg.L ⁻¹	3,13	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD
Co	µg.L ⁻¹	17,52	< LDD	< LDD	11,77	< LDD	< LDD	< LDD	17,34
Mn	µg.L ⁻¹	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD
Ni	µg.L ⁻¹	20,06	17,80	36,84	12,75	6,15	2,88	< LDD	< LDD
Cu	µg.L ⁻¹	3,18	8,15	6,09	9,67	30,43	4,20	19,30	5,19
Zn	µg.L ⁻¹	77,58	< LDD	< LDD	< LDD	< LDD	17,47	< LDD	< LDD
Compartment microbien									
Bact. HNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	2,73	3,87	3,80	2,77	2,57	2,42	2,90	2,62
Bact. LNA	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	2,18	5,26	6,42	3,87	4,57	5,86	4,88	8,07
Bact. totales	cell.mL ⁻¹ (x10 ⁵)	4,92	9,13	10,22	6,64	7,14	8,28	7,78	10,69
%HNA	%	56%	42%	37%	42%	36%	29%	37%	25%
UNK	cell.mL ⁻¹	300	1519	1994	1822	1404	450	1171	2827
SYN 1	cell.mL ⁻¹	5230	74386	103627	76389	64761	40212	63041	90955
SYN 2	cell.mL ⁻¹	1532	50600	75700	7599	39699	21055	6138	8732
PEU1	cell.mL ⁻¹	997	6100	6202	13699	4827	2970	4575	4087
PEU2	cell.mL ⁻¹	346	1318	1050	868	810	485	979	1228
NAN	cell.mL ⁻¹	68	77	80	86	32	54	134	236
Cry	cell.mL ⁻¹	132	124	38	249	61	16	105	140

LDD OES : Cd (LQ = 0,025µg/L) Co (LQ = 0,027µg/L) Cu (LQ = 0,025µg/L) Fe (LQ = 0,059µg/L) Mn (LQ = 0,028µg/L) Pb (LQ = 0,1µg/L) Zn (LQ = 1,07µg/L)

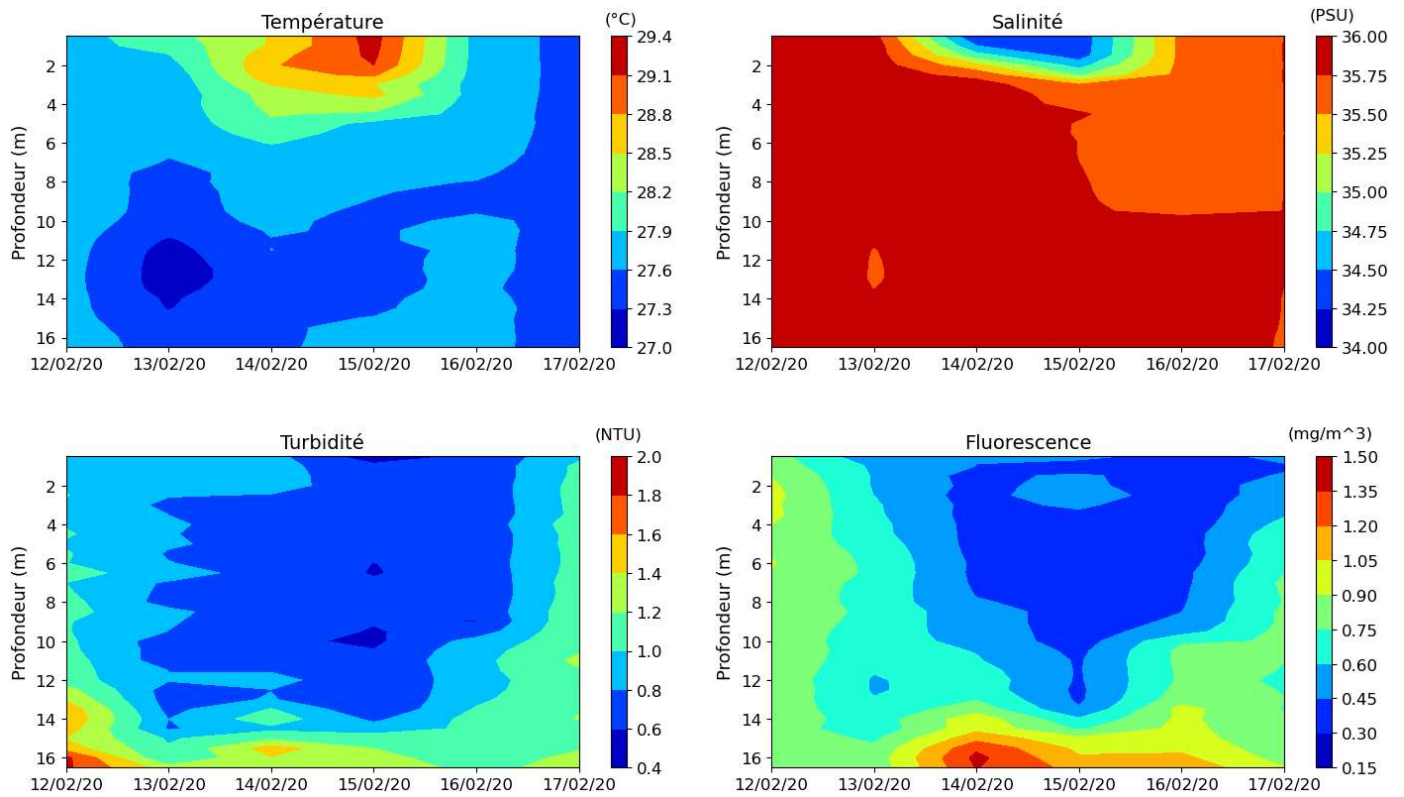
LDD en µg/l dans l'eau ultra pure Ni 0,47; Al 2,22; Cr 1,07; Cu 0,75; Zn 0,35

Les valeurs pour les métaux dissous devront être confirmées par une analyse complémentaire en MS

FDOM analysés sur série fév 2020

Annexe 20 – Profils observés en février 2020 à la station « grande rade »

Evolution temporelle des paramètres « température, salinité, turbidité et fluorescence » en fonction de la profondeur, mesurés à la station grande rade en février 2020 à l'aide d'un sonde SBE lors du passage du cyclone Uesi.

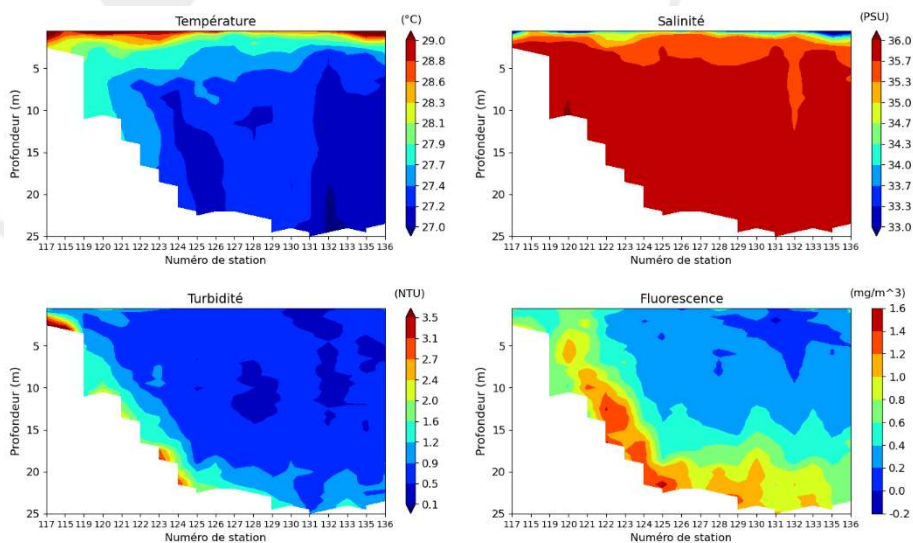


Annexe 21 – Profils SBE observés le 14 février 2020 le long d'un transect entre la sortie de l'estuaire de la Dumbéa et la sortie de la baie de Dumbéa

Evolution spatiale des paramètres « température, salinité, turbidité et fluorescence » en fonction de la profondeur, le long d'un gradient côte – large le 14 février 2020 en milieu de journée, deux jours après le passage du cyclone Uesi.

Ces données ont été utilisées dans le cadre d'un stage de fin d'étude (projet PRESENCE) pour évaluer la couleur de l'eau par le satellite Sentinel 2 (Ly Rintz, 2020).

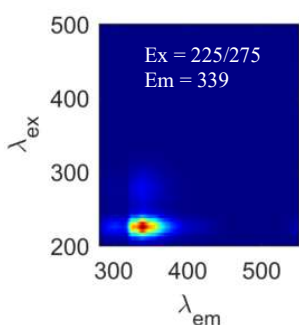
Ly Rintz, C, 2020. Estimations satellitales de la couleur de l'eau lagonaire à l'aide des produits Sentinel-2. Rapport de stage de 2ème année. AgroParisRech, 45p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00645/75752/76712.pdf>



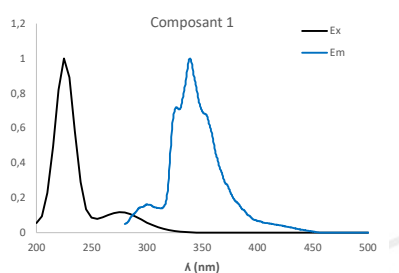
Annexe 22 – FDOM observés en février 2020

L'analyse avec PROGMEEF ciblée uniquement sur les 18 échantillons de cet échantillonnage a permis de discriminer 2 composants avec un Concordia de 99,9%. Les caractéristiques spectrales du premier composé sont proches des substances protéiques de type **tryptophane-like** (Cawley et al., 2012 ; Retelletti Brogi et al., 2019 ; Bianchi et al., 2014 ; Murphy et al., 2011 ; Asmala et al., 2018). La présence de ces acides aminés aromatiques indiquerait une activité microbienne importante. Le second composé a été identifié comme étant **un humic-like** dont l'origine est typique des sols terrestres (Jørgensen et al., 2011 ; Chen et al., 2017 ; Jia et al., 2017 ; D'Andrilli et al., 2019). La région incriminée est souvent appelée pic humique C (Coble, 1996). Cette signature correspondait à des décompositions de composés plus complexes, probablement des sous-produits transitoires de l'activité microbienne (D'Andrilli et al., 2019). La valeur exceptionnelle de C1 pour l'échantillon D08 s'expliquerait par un problème de filtration lors du traitement des échantillons et/ou de conservation.

Contours plots

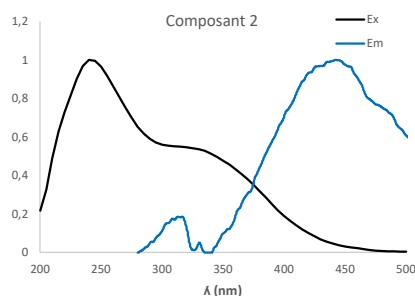
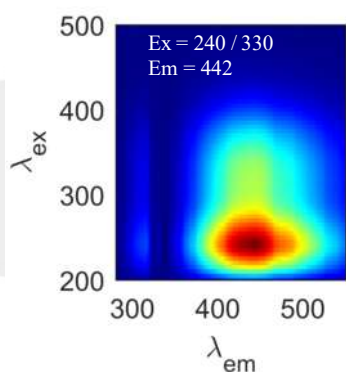
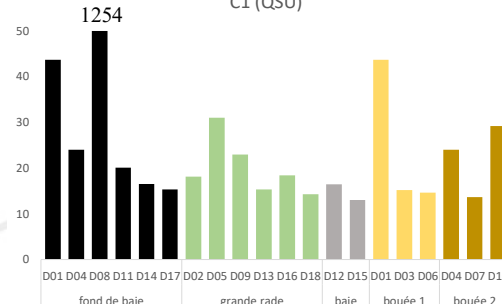


Spectres Excitation (Ex) / Emission (Em)

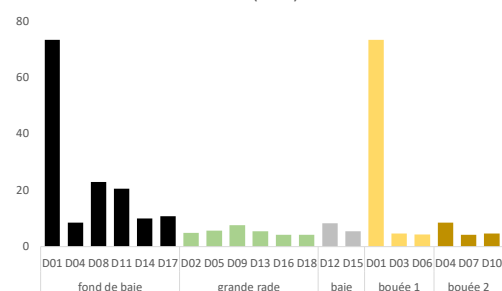


Valeurs des fluorophores

C1 (QSU)



C2 (QSU)



Annexe 23 – Part de la fluorescence analysée par cytométrie pour chaque groupe cellulaire détecté en février 2020.

