



**OFB**  
OFFICE FRANÇAIS  
DE LA BIODIVERSITÉ



## TransPhyt

### Méthode d'évaluation de l'état écologique basée sur le phytoplancton des masses d'eau de transition de La Réunion

- Rapport d'étape 1 : Mise en place des différents éléments du suivi. « Matériels et méthodes », méthodologie de mise en place, choix des stations, méthode de prélèvements.
- Rapport d'étape n°2 : Méthodologie mise en place suivi diatomées.
- Rapport d'étape n°3 : Acquisition des données année 1. Résultats Inventaires et physico-chimie
- Rapport d'étape 4 : Premiers constats d'interprétation des résultats. Validation de la pertinence du suivi par les diatomées
- Rapport d'étape 5 : ensemble des résultats du suivi
- Rapport d'étape 6 : rapport final (guide méthodologique, flore phytoplancton, indice de qualité d'eau)



## Liste des personnes impliquées

- MicPhyc : Gilles Gassiole
- OCEA consult' : Guillaume Borie, Axelle Euphrasie, Laëtitia Faivre, Lou Anne Jannel, Emilie Métro, Baptiste Salager, Pierre Valade, Chloé Yven
- Artémis : Véronique Jacquet, Florence Peres
- OFB : Olivier Monnier, Eva Thierry
- OLE : Léonard Durasnel, Karoline Ruffié, Julien Bonnier
- Réserve de l'étang de Saint Paul : Pascal Hoarau, Anouk Piteau, Alexandre Tatel, Anne Laterrière, M. Fontaine
- Mairie de Sainte-Suzanne : Patrick Amourdom Mariaye
- AAPPMA de Saint-André : Ritchy Fontaine, Elodie Gourama
- DEAL: Audrey Bonnefoy, Pascal Talec, Maelys Bonnet

## Autorisations

Une autorisation pour les activités scientifiques a été obtenue pour la réserve de Saint Paul ainsi qu'une demande d'AOT (Autorisation Temporaire d'Occupation du domaine public fluvial) pour les différents plans d'eau à la DEAL.

Une autorisation a été acceptée pour la rivière Sainte-Suzanne et le Petit Etang de Saint-André ainsi qu'une mise en relation avec l'Association Agrée Pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Saint-André (A.A.P.P.M.A.S.A.).

## Annexes

L'ensemble des données des annexes sont bancarisées et peuvent être téléchargées sur simple demande à l'Office de l'eau de La Réunion.





**OFB**  
OFFICE FRANÇAIS  
DE LA BIODIVERSITÉ



# TransPhyt

## Méthode d'évaluation de l'état écologique basée sur le phytoplancton des masses d'eau de transition de La Réunion & Pertinence de l'élément de qualité biologique « diatomées »

- Rapport d'étape 1 : Mise en place des différents éléments du suivi. « Matériels et méthodes », méthodologie de mise en place, choix des stations, méthode de prélèvements.
- Rapport d'étape n°2 : Méthodologie mise en place suivi diatomées.
- Rapport d'étape n°3 : Acquisition des données année 1. Résultats Inventaires et physico-chimie.



## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>1- Matériels et méthodes</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1- Sites d'études</b> .....	<b>6</b>
1.1.1- L'Etang de Saint Paul .....	7
1.1.2- L'Etang du Gol.....	11
1.1.3- Le Petit Etang de Saint-André.....	14
1.1.4- Le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne .....	16
<b>1.2- Paramètres suivis</b> .....	<b>17</b>
1.2.1- Prélèvements et mesures in situ .....	17
1.2.2- La physico-chimie .....	19
1.2.3- Phytoplancton .....	22
1.2.4- Diatomées.....	22
1.2.5- Bancarisation .....	24
1.2.6- Récapitulatif des 12 campagnes de prélèvements et problèmes rencontrés .....	24
<b>2- Premiers résultats</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1 - Physico-chimie in situ</b> .....	<b>25</b>
2.1.1- Etang de Saint Paul .....	26
2.1.2- Etang du Gol .....	30
2.1.3- Petit Etang de Saint André.....	35
2.1.4- Bocage Sainte Suzanne .....	37
2.1.5- Les 8 stations – Mesure in-situ de la Chlorophylle a .....	38
<b>2.2 - Physico-chimie spectrophotomètre</b> .....	<b>39</b>
2.2.1- Les différentes formes de l'azote mesurées.....	39
2.2.2- Les différentes formes du phosphore mesurées .....	43
<b>2.3- Phytoplancton</b> .....	<b>44</b>
<b>2.4- Diatomées</b> .....	<b>49</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>55</b>

## TABLEAUX

Tableau 1 : Bibliographie – Etang de Saint Paul .....	9
Tableau 2 : Bibliographie - Etang du Gol .....	12
Tableau 3 : Bibliographie – Petit Etang de Saint André .....	14
Tableau 4 : Bibliographie – Petit Etang de Saint André .....	16
Tableau 5 : Dates des prélèvements et intervenants sur les différents sites.....	19
Tableau 6 : Paramètres mesurés in-situ et au laboratoire .....	21
Tableau 7 : Plan d'échantillonnage des supports artificiels « diatomètres » et cordes (pas de temps de 3 semaines entre chaque sortie).....	23

## FIGURES

Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S) .....	7
Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul .....	8
Figure 3 : de gauche à droite, station PA, PB et PC .....	8
Figure 4 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Etang du Gol .....	11
Figure 5 : en haut vue générale de l'Etang du Gol, de gauche à droite station GA, GB et GC.....	12
Figure 6 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André.....	14
Figure 7 : station A sur le Petit Etang de Saint-André.....	15
Figure 8 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne .....	16
Figure 9 : station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne .....	17
Figure 10 : Feuille de terrain.....	18
Figure 11 : de gauche à droite, embarcation et matériel lors de la première sortie pour l'installation des stations sur l'Etang du Gol, sondes de mesures, bouteille Van Dorn et disque de secchi.....	18
Figure 12 : de gauche à droite et de haut en bas, Spectrophotomètre DR3900, Thermostat Hach LT200, micropipettes pour les différents dosages, tests en cuve LCK. ....	20
Figure 13 : microscope inverse Leica DMi1 et kit Utermöl .....	22
Figure 14 : de gauche à droite et de bas en haut station (tube PVC et bouées) et ses corps morts avant l'installation. Diatomètres fixés à la station. Diatomètre à placer avec lames neuves. Diatomètres avec lames colonisées.....	23
Figure 15 : microscope droit Leica DM2500 pour observation des diatomées .....	24
Figure 16 : Descriptions des différentes parties d'un boxplot .....	25
Figure 17 : Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux stations PA, PB et PC. (pour plus de visibilité, les valeurs extrêmes ont été enlevées) .....	27
Figure 18 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PA de l'installation à l'enlèvement de la station .....	27
Figure 19 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PB de l'installation à la date du dernier prélèvement de phytoplancton .....	28
Figure 20 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PC de l'installation à l'enlèvement de la station .....	28
Figure 21 : Température de l'eau en $^{\circ}\text{C}$ aux stations PA, PB et PC .....	29

Figure 22 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PA de l'installation à l'enlèvement de la station .....	29
Figure 23 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PB de l'installation à la date du dernier prélèvement de phytoplancton .....	30
Figure 24 : Enregistrement de la température sur la station PC (moyenne journalière) de l'installation à l'enlèvement de la station .....	30
Figure 25 : Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux stations GA, GB et GC .....	31
Figure 26 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GA de l'installation à l'enlèvement de la station .....	32
Figure 27 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GB de l'installation à l'enlèvement de la station .....	32
Figure 28 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GC de l'installation à l'enlèvement de la station (l'absence de données du 02/06/2021 au 15/07/2021 est due au vol de la station) .....	33
Figure 29 : Température de l'eau en $^{\circ}\text{C}$ aux stations GA, GB et GC .....	33
Figure 30 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GA de l'installation à l'enlèvement de la station .....	34
Figure 31 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GB de l'installation à l'enlèvement de la station .....	34
Figure 32 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GC de l'installation à l'enlèvement de la station (l'absence de données du 02/06/2021 au 15/07/2021 est due au vol de la station) .....	35
Figure 33 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station A de l'installation à l'enlèvement de la station .....	36
Figure 34 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station A de l'installation à l'enlèvement de la station .....	36
Figure 35 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station S de l'installation à l'enlèvement de la station .....	37
Figure 36 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station S de l'installation à l'enlèvement de la station .....	38
Figure 37 : Concentration en chlorophylle a des 8 stations suivies en $\mu\text{g}/\text{L}$ .....	38
Figure 38 : Concentration en ammonium ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) des 8 stations suivies et résultats présentés avec un changement d'échelle selon les stations .....	40
Figure 39 : Concentration en nitrites( $\mu\text{g}/\text{L}$ ), nitrates( $\text{mg}/\text{L}$ ) et azote total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) des 8 stations suivies. ....	41
Figure 40 : Concentration en azote inorganique total ( $\text{mg}/\text{L}$ ), azote organique ( $\text{mg}/\text{L}$ ) et azote Kjeldahl ( $\text{mg}/\text{L}$ ) des 8 stations suivies.....	42
Figure 41 : Concentrations des formes du phosphore sur les 8 stations suivies .....	43
Figure 42 : Embranchement Chlorophyta .....	44
Figure 43 : Embranchement Ochrophyta Classe : 1-2 Eustigmatophyceae, 3 Xanthophyceae, 4-6 Synurophyceae .....	45
Figure 44 : Embranchement Cyanobacteria Classe Cyanophyceae.....	46
Figure 45 : Embranchement Euglenozoa Classe 1-11 Euglenophyceae.....	47
Figure 46 : Embranchement Bacillariophyta .....	48
Figure 47 : 1-2 Diploneis ; 3-5 Fallacia ; 6-7 Diadesmis ; 8-9 Humidophila ; 10 Frustulia ; 11-17 Sellaphora ; 18 Kobayasiella ; 19 Nupela ; 20 Pinnularia ; 21-22 Caloneis ; Geissleria.....	49

Figure 48 : 1-2 Achnanthes ; 3-5 Achnanthidium ; 6 Lemnicola ; 7 Platessa ; 8-9 Cocconeis ; 10-12 Gogorevia; 14 Planothidium  
Figure 49 : Nitzschia

5

0

Figure 50 : 1-3 Cymbella ; 4-5 Encyonema ; 6 Seminavis ; 7 Halamphora ..... 51  
Figure 51 : Gomphonema ..... 52  
Figure 52 : Surirella ; 2-4 Tryblionella ; 5 Amphora ; 6-7 Halamphora..... 53  
Figure 53 : Navicula..... 54

## Introduction

Ce programme de recherche et développement répond aux besoins de disposer de méthodes d'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition à La Réunion.

Cette étude comporte deux principaux volets :

- la caractérisation du compartiment « phytoplancton » pour le développement d'un outil indiciel à fin d'évaluation de la qualité biologique des masses d'eau de transition, couplant approches biologiques et descripteurs de la qualité physico-chimique ;
- la faisabilité de l'utilisation des populations de « diatomées » pour le développement d'un outil indiciel.

Cette étude permettra de suivre l'état écologique de ces milieux d'un point de vue biologique pour compléter l'évaluation réalisée à partir de descripteurs de la qualité physico-chimique. Il s'agira également de déterminer les sites de suivi les plus pertinents au sein des masses d'eau ainsi que la fréquence d'intervention.

Les bénéficiaires de cette action sont les gestionnaires des milieux aquatiques (Réserve Naturelle de l'Etang de Saint Paul, Communautés de communes en charge de la GEMAPI), ainsi que les organismes en charge du suivi de la qualité de l'eau et des milieux et de la mise en application du SDAGE (Office de l'Eau, DREAL...). Les utilisateurs sont en général les hydrobiologistes (Bureau d'études) pour disposer d'outils de référence pour la caractérisation et de suivi de l'état des masses d'eau de transition.

Le principe du projet repose sur la réalisation conjointe d'inventaires biologiques (phytoplancton et diatomées) et de mesures de la qualité physico-chimique, sur plusieurs stations de quatre plans d'eau de La Réunion. L'analyse croisée des paramètres permettant, in fine, de déterminer des compositions de flore en lien avec la qualité physico-chimique de l'eau. Les investigations seront menées sur des stations subissant différents niveaux de pression, au sein d'une même masse d'eau ou au sein de différentes masses d'eau.

Un contrat de recherche a été signé entre MicPhyc, OCEA consult', Artémis et l'Office Français de la Biodiversité le 29 décembre 2020. Une convention de recherche a aussi été signée entre les intervenants et l'Office de L'Eau de La Réunion le 1<sup>er</sup> juin 2021.

## 1- Matériels et méthodes

La définition des eaux de transition par la DCE est « Eaux de surface situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves, qui sont partiellement salines en raison de leur proximité des eaux côtières, mais qui restent fondamentalement influencées par des courants d'eau douce ».

### 1.1- Sites d'études

Quatre plans d'eau côtiers ou assimilés ont été retenus pour répondre à la définition des eaux de transition et réaliser ce projet : **l'Étang de Saint Paul, l'Étang du Gol, le Petit étang de Saint-André et le Bocage de la rivière Sainte-Suzanne** (Fig. 1). Les trois premiers sites sont des étangs côtiers d'origine sédimentaire. Le gradient de salinité y est souvent marqué et variable selon les saisons, l'hydrologie et les conditions de houle sur le littoral. A ces titres, le cours aval de la rivière Sainte-Suzanne (zone du bocage) présente des caractéristiques morphologiques proches des étangs côtiers et ne peut être inventorié par les méthodologies mises en place sur les cours d'eau de La Réunion (IRM, IRP, IDR). Enfin, ces quatre sites supportent différents niveaux de pressions issues des activités humaines.

Les contacts ont été établis par mail avec les différents protagonistes pouvant être impliqués pour cette étude, une présentation du projet a ainsi été envoyée à :

- CIVIS : Sébastien HERMANN
- Réserve de l'étang de Saint Paul : Pascal HOARAU et Anouk PITEAU
- Mairie de Sainte-Suzanne : Patrick AMOURDOM MARIAYE,
- SEOR : François-Xavier COUZI
- DEAL: Audrey BONNEFOY et Pascal TALEC
- OLE : Léonard DURASNEL

Une visioconférence de présentation a eu lieu le 26 janvier 2021 dont les personnes précédentes ont été invitées. Les personnes présentes étaient Pascal Hoarau, Léonard Durasnel, Pascal Talec, Pierre Valade, Guillaume Borie et Gilles Gassiole.

Suite à cette réunion, une autorisation pour les activités scientifiques a été demandée et obtenue à la réserve de Saint Paul ainsi qu'une demande d'AOT (Autorisation Temporaire d'Occupation du domaine public fluvial) pour les différents plans d'eau à la DEAL (annexe).

Concernant l'Étang de Bois Rouge, qui appartient au domaine privé, l'autorisation de prélever sur ce plan d'eau a été refusée par les propriétaires après mise en relation par la SEOR. Il a été décidé de remplacer la station de Bois Rouge par celle du Petit Etang de Saint-André suite à ce refus d'autorisation. Le Petit Etang de Saint-André est dans le prolongement de l'Étang de Bois Rouge et appartient au domaine public. L'autorisation a été acceptée ainsi qu'une mise en relation avec Ritchy Fontaine (l'encadrant technique de l'Association Agréée Pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Saint-André (A.A.P.P.M.A.S.A.)).

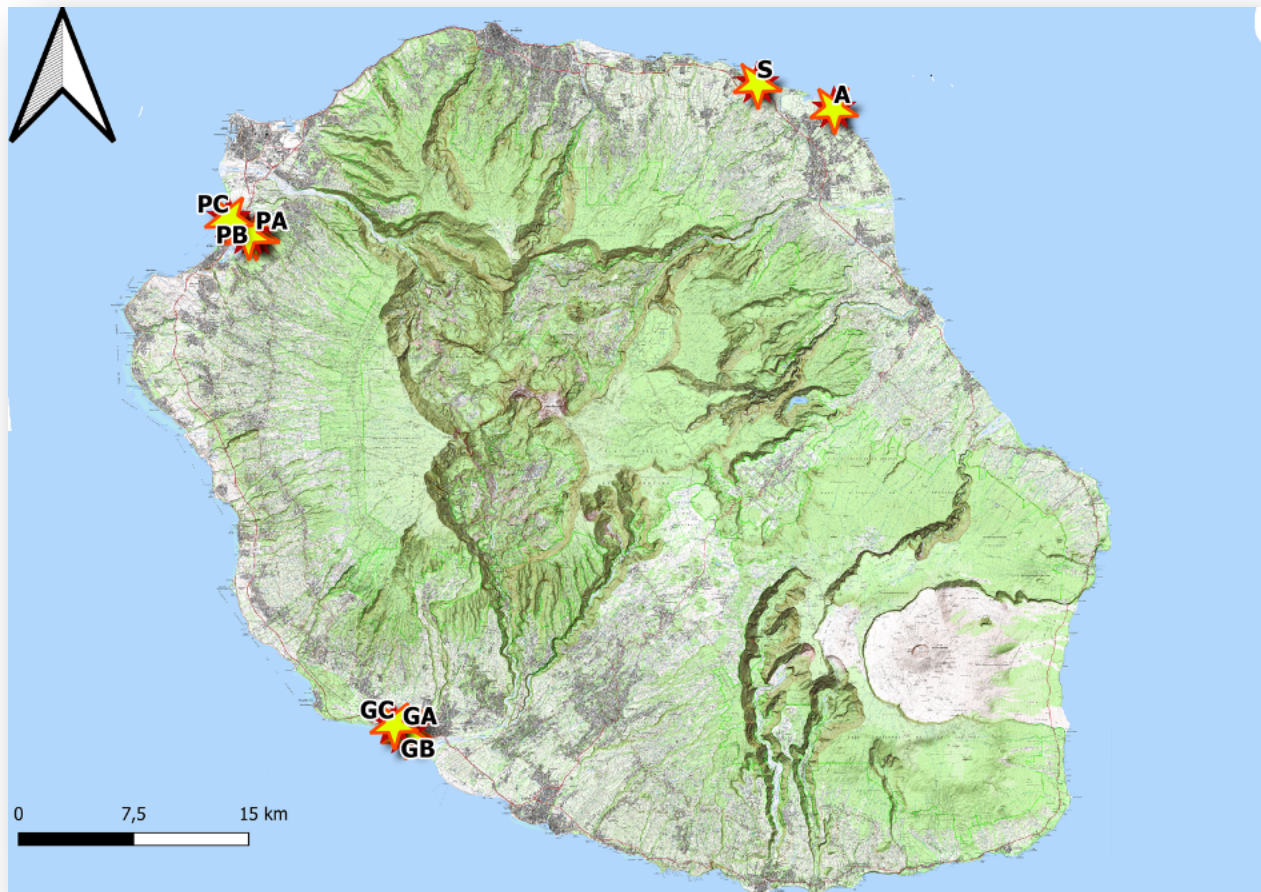


Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S)

### 1.1.1- L'Etang de Saint Paul

Après une visite de terrain avec la réserve de Saint Paul (Pascal Hoarau et Anouk Piteau), le 18 mars 2021, le choix du positionnement des stations TransPhyt a été décidé selon les critères présentés lors de la réunion de présentation, c'est-à-dire répondant aux critères d'eaux de transition (conductivité) ainsi que des aspects pratiques (gêne à la circulation sur le plan d'eau, difficile d'accès sans moyen de navigation pour éviter les dégradations et vols...). Trois stations ont été placées nommées de l'amont vers l'aval, PA, PB et PC (Figs 2 & 3). La zone humide est protégée depuis 2008 par la Réserve Naturelle Nationale sur une surface de 447 ha. L'alimentation de l'Etang de Saint-Paul se fait par un réseau de ravines non pérennes et par de nombreuses sources dont les débits et les conductivités présentent une variabilité. Un cordon littoral sépare l'étang du milieu océanique. Il est un facteur déterminant des caractéristiques concernant le contrôle du niveau et de la conductivité. Les ouvertures du cordon littoral sont pour partie maîtrisées par le gestionnaire de la réserve naturelle nationale de l'Etang de Saint-Paul. La conductivité peut aussi



augmenter lors d'épisodes de fortes houles avec l'intrusion d'eau de mer. Ce plan d'eau DCE fait l'objet d'une surveillance en physico-chimie avec le prélèvement d'eau et de sédiments, quatre fois par an, proche de la station PC. De nombreuses études ont été menées sur ce plan d'eau et sont répertoriées dans le tableau.

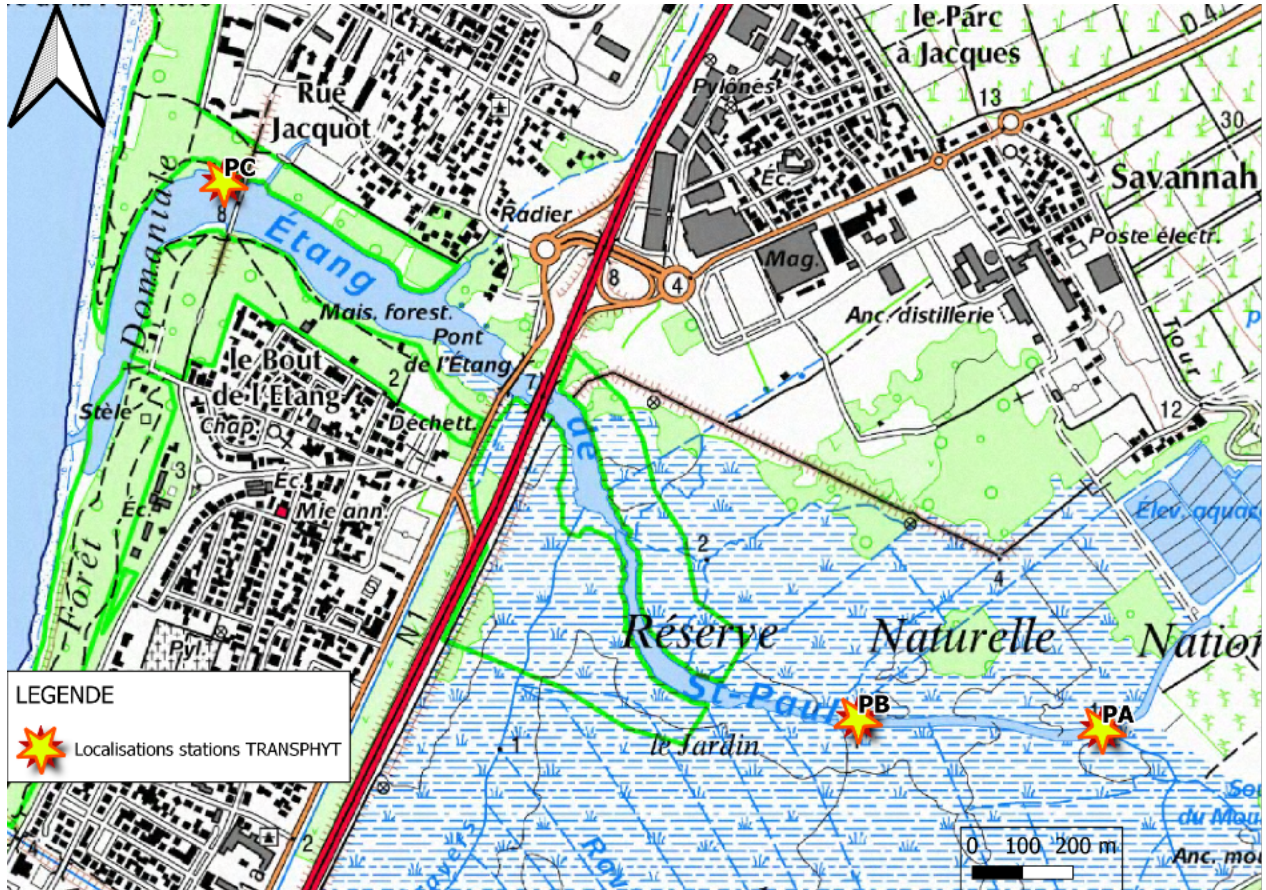


Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul



Figure 3 : de gauche à droite, station PA, PB et PC

*Tableau 1 : Bibliographie – Etang de Saint Paul*

TITRES	Année de publi	Auteurs
Note : Projet de création d'une RBD autour de l'Etang de Saint-Paul (+6 cartes)	1977	T.CADET
Cartes Cadet : 6 cartes scannées	1977	T.CADET
L'ESP : des aménagements sur un milieu unique à préserver	1992	J-M Payet (Université de La Réunion)
Expertise écologique d'une zone humide tropicale insulaire : l'étang de Saint-Paul	1993	F.BLANCHARD
Milieu agricole de l'ESP : propositions de stratégie pour une gestion agri-environnementale du site	1994	Cyathia
Étude du peuplement ichthyologique de l'ESP	1996	ARDA Univ Franche-Comté, S. MERLIN
Suivi des plans d'eau réunionnais : méthodologie proposée et premiers résultats	1998	ORE
Suivi des plans d'eau réunionnais 1998-1999	1999	ORE
Suivi des plans d'eau réunionnais 2000	2000	ORE
Etang de Saint-Paul, synthèse des données – analyse de son comportement hydrologique et hydraulique	2001	Antea
Evaluation des enjeux de la faune de l'ESP et suivi de la recolonisation suite à l'incendie d'octobre 2000	2001	SEOR (M.SALAMOLARD et T. GHESTEMME)
Expertise floristique de la zone incendiée de l'ESP	2001	Université de La Réunion(S. RADJASSEGARANE)
ESP : Etudes entomologiques des zones incendiées	2001	Insectarium
Les macro-invertébrés aquatiques des étangs de La Réunion	2001	Université de La Réunion/ORE
Suivi des plans d'eau réunionnais 2001	2001	ORE
Expertise de l'impact de la digue du ski club sur les niveaux de l'Etang Saint-Paul	2002	Antea
Projet d'aménagement, de mise en valeur et de protection de l'ESP et de ses abords -première phase-	2002	O.CONCHOU
Suivi des plans d'eau réunionnais 2002	2002	ORE
L'Etang de Saint-Paul, projet de réserve naturelle, texte d'accompagnement du projet de décret	2003	DIREN
Projet d'aménagement, de mise en valeur et de protection de l'ESP et de ses abords -deuxième phase-	2003	O.CONCHOU
Étude de faisabilité d'un ouvrage régulateur du niveau d'eau	2006	Biotope/SOGREAH
Lutte 2006 contre le chikungunya, volet surveillance des eaux douces : échantillonnage des poissons et des macrocrustacés de l'ESP	2006	ARDA/ONCFS/OLE
Étude préliminaire et mise au point d'un cahier des charges pour la réalisation de travaux de dégagement des canaux de l'ESP	2009	Safege
Prélèvement et analyse des sédiments, bathymétrie de l'étang de Saint-Paul	2009	Asconit
Notice d'incidence de l'ouverture anthropique du cordon dunaire de l'ESP	2010	Biotope/SOGREAH
Typologie Corine des habitats biotopes	2010	Université de La Réunion

TITRES	Année de publi	Auteurs
Inventaire faunistique des zones humides de la Réunion , Volet macrofaune aquatique	2011	ARDA
Etude foncière sur les zones humides de la Réunion	2011	SAFER
Dossier de déclaration au titre du code de l'environnement – Ouverture anthropique du cordon dunaire de l'ESP	2011	SOGREAH
Diagnostic et enjeux de conservation de la macro faune aquatique de deux étangs côtiers à l'île de La Réunion : étang du Gol et étang de Sait-Paul – Analyse de l'état des populations de poissons et macro crustacés et approche du fonctionnement des cordons dunaires des étangs	2011	Samantha ANGAMA-PETCHY Université de La Réunion, Océa
Cahiers d'habitats de la Réunion, ZONES HUMIDES (pages 32 à 34)	2011	CBNM, M. LACOSTE, P. DELBOSC, & F. PICOT
Poster Cahier d'habitats zones humides – ESP	2011	CBNM
Distribution spatiale et évaluation quantitative des populations de poissons et de macro-crustacés dans la RNN ESP	2012	OCEA
Etude des peuplements de macro-crustacés décapodes amphidromes de l'Etang de Saint-Paul – Etat d'expansion de l'écrevisse exotique Cherax quadricarinatus	2012	A. Leoville (OCEA/Université de La Réunion)
Distribution spatiale et évaluation de la densité des espèces d'Odonates inféodées à la RNN ESP	2012	AreE (S. Couteyen)
Réalisation d'un inventaire ornithologique des oiseaux de la RNN ESP	2012	Biotope
Diagnostic écologique de la réserve naturelle nationale de l'étang de Saint-Paul	2012	M. ATTIE
Plan de gestion 2013-2018 (version pour le CNPN – non définitive)	2012	RNN ESP
Réalisation d'un inventaire ornithologique et évaluation des populations de Héron strié et de Poule d'eau sur la RNN ESP	2014	Eco-Med Océan Indien
Typologie des habitats naturels de La Réunion	2014	CBNM
Synthèse de l'état des lieux de l'agriculture formelle et informelle au sein de la RNN ESP en 2014	2015	RNN ESP
Evaluation quinquennale de la gestion de la RNN ESP (2009-2014)	2015	Biotope
AP ouverture du cordon dunaire de l'ESP	2015	DEAL Préfecture
AP validation du PDG étang de St-Paul 2015-2020	2015	DEAL Préfecture
Plan de gestion RNN StPaul 2015-2020	2015	RNN ESP commune de St-Paul
Atlas PdG RNNESP 2015 2020	2015	RNN ESP commune de St-Paul
Evaluation qualitative et quantitative du recrutement post-larvaire des espèces de poissons et de macrocrustacés diadromes sur l'étang de Saint-Paul. Rapport final	2016	OCEA VALEA
Suivi des peuplements de macro-crustacés au sein de la réserve naturelle nationale de l'étang de saint-paul (la Réunion)	2016	Mondésir Laura univ perpignan et réserve
Expertise sur trois masses d'eau de La Réunion (étangs de Saint-Paul et du Gol) et de Martinique (étang des Salines) : typologie de surveillance	2016	IFREMER AERMC
Prélèvements et analyse de sédiment à l'étang de Saint-Paul en vue des travaux de curage du canal d'en travers	2017	Stratageme 974
fiche sédimentologie étang de la baie de Saint-Paul	2017	Géoscience Michon L.
Etude de faisabilité d'une solution d'écoulement pérenne de l'Etang de Saint-Paul vers la mer visant à optimiser le recrutement post-larvaire...	2018	OCEA-VALEA-Hydrétudes
Etude de faisabilité d'une solution d'écoulement pérenne de l'Etang de Saint-Paul vers la mer visant à optimiser le recrutement post-larvaire, phase 2...	2018	OCEA-VALEA-Hydrétudes



### 1.1.2- L'Étang du Gol

Le choix des stations a été fait par les intervenants terrain suite à des actions déjà menées sur ce plan d'eau (Figs 4 & 5). L'Étang du Gol s'étend sur 19,5 ha. Son alimentation est assurée par des ravines non pérennes (Ravine du Gol et Maniron) lors des épisodes pluvieux ainsi que par les eaux de régulation de réservoirs de la SAPHIR, les eaux de refroidissement de l'usine sucrière ainsi que les eaux de la station d'épuration communale. L'étang est séparé de l'océan par un cordon littoral dont l'ouverture ou la fermeture joue sur la variation du niveau d'eau. L'ouverture naturelle peut être provoquée par la houle ou lors de fortes pluies. Ce plan d'eau DCE fait l'objet d'une surveillance en physico-chimie avec le prélèvement d'eau et de sédiments, quatre fois par an, proche de la station GB. De nombreuses études ont été menées sur ce plan d'eau et sont répertoriées dans le tableau 2.

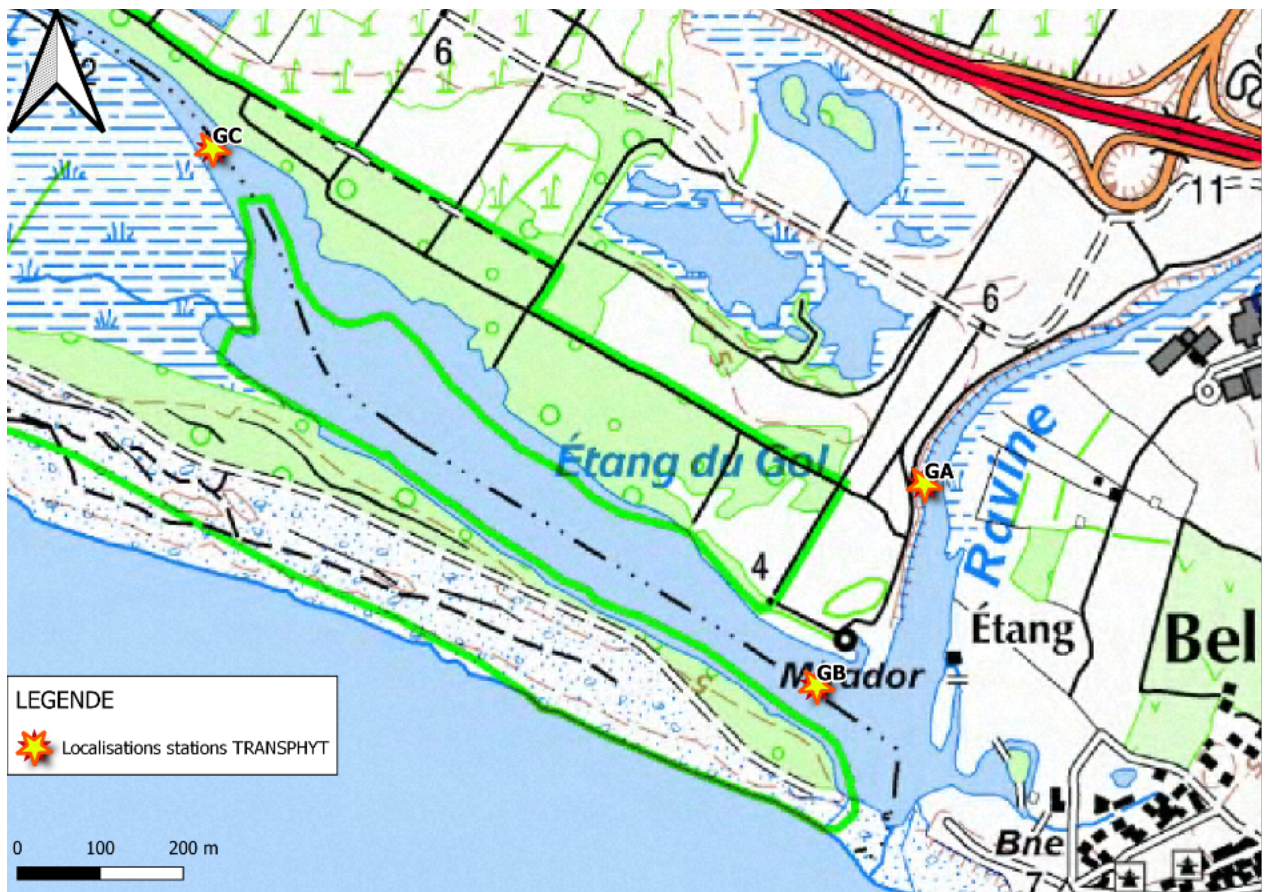


Figure 4 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Étang du Gol



Figure 5 : en haut vue générale de l'Etang du Gol, de gauche à droite station GA, GB et GC

Tableau 2 : Bibliographie - Etang du Gol

TITRES	Année de publi	Auteurs
L'etang du gol - approche descriptive de l'état actuel du milieu	1995	Bosc P, Bonneau S, Lepinay N
L'etang du gol - approche descriptive de l'état actuel du milieu - ANNEXES	1995	Bosc P, Bonneau S, Lepinay N
Centre des eaux douces – dossier d'étude d'impact	2005	Incom Environnement pour l'ARDA
Expertise sur trois masses d'eau de La Réunion (étangs de Saint-Paul et du Gol) et de Martinique (étang des Salines) : typologie de surveillance	2005	IFREMER AERMC
Suivi des milieux aquatiques continentaux en lien avec l'Etang du Gol Synthèse pluriannuelle du suivi environnemental sur la période de 2015 à 2018	2005	Mairie de Saint-Louis, OCEA ANTEA
note relative à l'étang du Gol	2006	Kerjouan R
Rapport sur l'envahissement par Eichhornia du Gol	2007	Hytec
Etude opérationnelle pour l'introduction et l'élevage d'agents de lutte biologique contre la jacinthe d'eau et la laitue d'eau à la Réunion	2007	CIRAD
Rapport final sur l'exploitation de la ressource en eau souterraine sur le secteur du gol et des cocos	2008	Office de l'eau
Les peuplements de poissons et de macrocrustacés d'eau douce de la Réunion	2008	Arda
Plans bathymétriques	2008	Safège
Bathymétrie et caractérisation des sédiments – Etude diagnostique de l'Etang du Gol	2008	Safège
Etude comparative de la qualité des eaux de deux étangs littoraux de la Réunion : l'étrang du Gol et l'étang de Saint Paul	2010	conservatoire du littoral
Notice d'incidence de l'ouverture anthropique du cordon dunaire de l'étang du Gol	2010	SOGREA
Contribution à la réalisation des plans de gestion des sites naturels de la Grande Ravine et de l'Etang du Gol	2010	Dubset Chloé CDL Université de La Réunion

TITRES	Année de publi	Auteurs
inventaire et recommandations de gestion pour la présence de l'ichtyofaune de la zone humide de l'étang du Gol	2010	Océa Consult / Conservatoire du littoral Biotope
Etude préalable Etang du Gol – Phase 1 : Analyse foncière et recherche de solutions en 3 scénarios – Etape 2 : propositions d'aménagements	2010	Vectra / Mairie de Saint-Louis
Amélioration de la connaissance hydrogéologique de l'aquifère côtier du Gol	2010	BRGM
Cahiers d'Habitats de la Réunion, Zones Humides (notamment p35 à 39)	2011	Lacoste M, Delbos P, Picot F
Inventaire et recommandations de gestion pour la préservation de l'ichtyofaune de la zone humide de l'étang du Gol, campagne de 2011 rapport d'inventaire	2011	conservatoire du littoral, OCEA
Connaissance de l'avifaune de l'étang du Gol	2011	Couzi F-X, Riethmuller M, Giloux Y
Convention Cadre relative à la gestion du Gol et de son environnement	2011	Sous-Préfecture de Saint-Pierre, Département de La Réunion, Commune de Saint-Louis, Commune de l'étang-Salé, l'ONF, le CDL, la FDPPMA.
Etude préalable Etang du Gol – Phase 2 : Proposition d'aménagement, Cahier de prescription	2011	Vectra / Mairie de Saint-Louis
Diagnostic et enjeux de conservation de la macro faune aquatique de deux étangs côtiers à l'île de La Réunion : étang du Gol et étang de Sait-Paul – Analyse de l'état des populations de poissons et macro crustacés et approche du fonctionnement des cordons dunaires des étangs	2011	Samantha ANGAMA-PETCHY université de La Réunion, Océa
Inventaire faunistique des zones humides de la Réunion , Volet macrofaune aquatique	2011	ARDA
Etude foncière sur les zones humides de la Réunion	2011	SAFER
Entre Terre et Eau, les Zones Humides de la Réunion : Une diversité remarquable	2012	Conservatoire Botanique National et Centre Permanent
Inventaire et recommandations de gestion pour la préservation de l'ichtyofaune de la zone humide de l'étang du Gol	2012	conservatoire du littoral, OCEA
Cahiers des habitats de zones humides cartographie	2012	CBNM
Rapport d'analyse Grand gravière mer	2012	LDEHM
Rapport d'analyse Grand gravière montagne	2012	LDEHM
Poster zones humides du Gol	2012	CBNM
arrêté Gol ouverture cordon	2012	Deal
Inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique (ZNIEFF)	2013	Hoarau C, Philippe J.S
Prise en compte des attentes sociales des acteurs du territoire. Proposition d'un projet de valorisation du site de l'étang du Gol	2013	helixeo
Rapport d'intervention d'helixeo pour le conservatoire du littoral - délégation Outre Mer	2013	helixeo
Bilan pluriannuel des interventions et des mesures d'accompagnement environnementales relatives à l'ouverture anthropique du cordon dunaire de l'étang du gol	2013	Commune de Saint Louis
Suivi des paramètres Oxygène dissous et température de l'eau sur l'étang du Gol (la Réunion) de novembre 2012 à février 2013	2013	DEAL Ocea
Gestion des effluents traités de la commune de Saint Louis dans le secteur du Gol – étude faisabilité	2013	Antéa Group / OCEA Consult pour Mairie de Saint-Louis
Présentation du projet de valorisation du site du Gol	2013	Conservatoire du littoral Helixeo
Suivis OCEA 2012-2013 O2, températures et niveaux	2013	OCEA
Suivi du niveau d'eau et de la qualité physico-chimique des gravières de l'étang du gol	2014	CDL DEAL OCEA ANTEA
Définition par modélisation des recommandations de pompage pour les puits du Gol	2014	BRGM
Suivi des milieux aquatiques continentaux en lien avec l'Etang du Gol	2016	Mairie de Saint-Louis, OCEA ANTEA



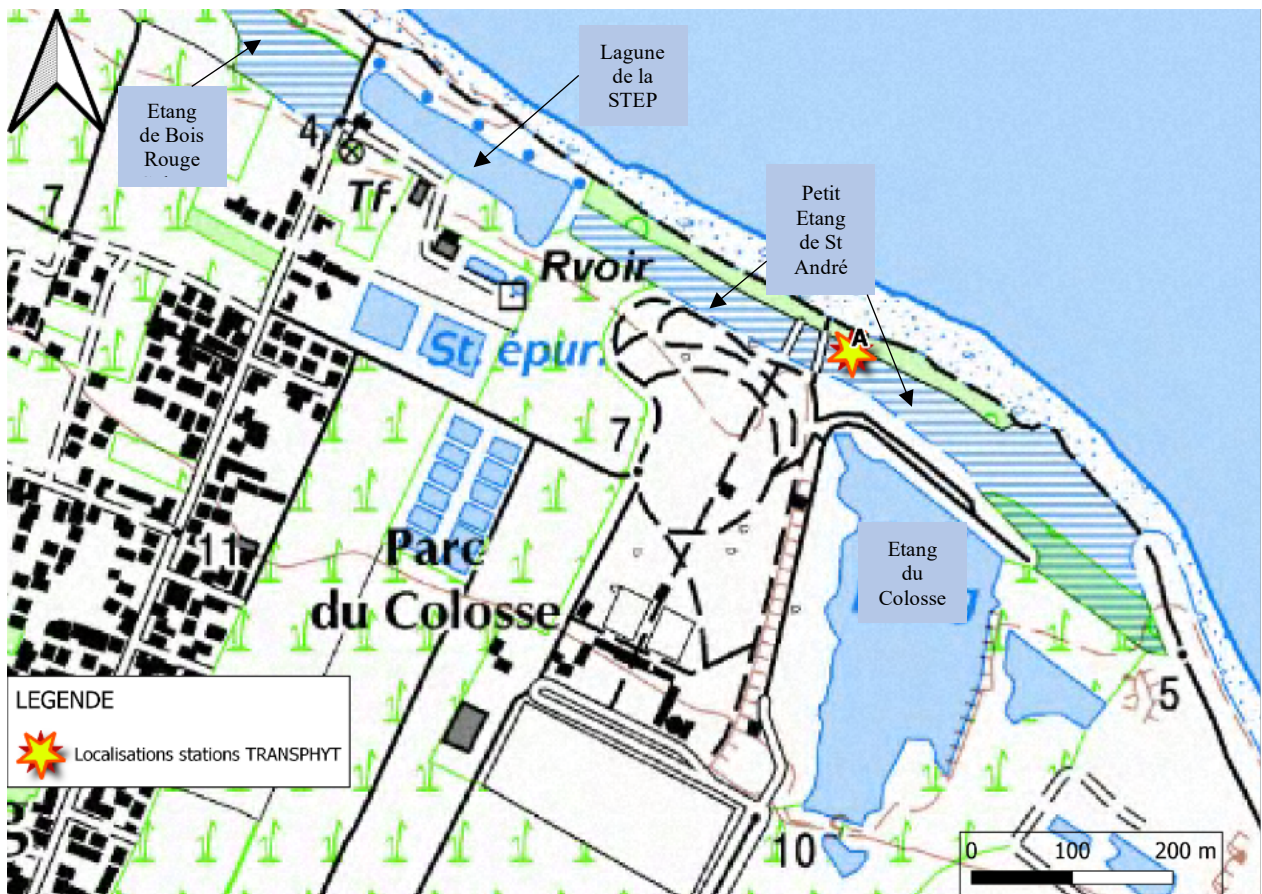
### 1.1.3- Le Petit Etang de Saint-André

Historiquement il existait qu'une seule zone humide de l'Etang de Bois Rouge au Petit Etang actuel. Le Petit Etang de Saint-André s'étend sur 2,7 ha. Aujourd'hui quatre plans d'eau peuvent être distingués, l'Etang de Bois Rouge, la lagune d'infiltration de la station d'épuration, l'Etang du Colosse et le Petit Etang de Saint-André (Figs 6 & 7). Des connexions hydrauliques peuvent se faire entre la lagune et le Petit Etang par l'ouverture d'un cordon de galets d'une dizaine de mètres de large. Une communication existe aussi entre l'Etang du Colosse et le Petit Etang. Des exutoires vers la mer jouent le rôle de vidange du trop-plein du Petit Etang. Quelques références bibliographiques sont répertoriées dans le tableau.

Tableau 3 : Bibliographie – Petit Etang de Saint André

TITRES	Année de publi	Auteurs
Liste et abondance relatives en espèces de macro-crustacés observées sur le Petit Etang et le plan d'eau du Colosse en 2011	2011	ARDA
Diagnostic de fonctionnement Hydrologique et hydrogéologique du Petit Etang	2011	COPLAN
Plan de gestion du Petit Etang – Commune de Saint-André	2013	Cyathea / Ocea Consult' / Ginger

Figure 6 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André





*Figure 7 : station A sur le Petit Etang de Saint-André*



#### 1.1.4- Le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne

Une station a été placée sur le chenal de dérivation de la Rivière Sainte-Suzanne avant la confluence avec le cours principal de cette rivière (Figs 8 & 9). Celle-ci subit des variations de salinité en fonction de la marée, du débit du cours d'eau et du niveau d'ouverture du cordon littoral. De nombreuses études concernent le bassin versant de la Rivière Sainte-Suzanne, les informations liées à la station retenue proviennent du Plan de Gestion de la Rivière Sainte-Suzanne.

Tableau 4 : Bibliographie – Petit Etang de Saint André

TITRES	Année de publi	Auteurs
Réalisation d'un plan de gestion de la Rivière Sainte Suzanne - Phase 1 : Diagnostic / Etat des lieux	2019	Hydrétudes, OCEA, EcoMEd



Figure 8 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne



Figure 9 : station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne

## 1.2- Paramètres suivis

### 1.2.1- Prélèvements et mesures in situ

Les mesures sont faites avec un pas de temps de trois semaines. Les intervenants sont le personnel d'OCEA consult' et de MicPhyc. Sur l'Étang de Saint Paul, une personne de la réserve naturelle de Saint Paul est la majorité du temps présente. 25 sorties ont été effectuées au cours de l'année 2021 (Tab. 1). Les différentes stations sont abordées à l'aide d'une embarcation (Fig. 11). Une mesure de la profondeur maximale est effectuée et la profondeur de disparition du disque de secchi (transparence) est relevée. Cette dernière donnée permet de connaître la zone euphotique ( $X \ 2,5$  profondeur secchi). Un échantillon est prélevé à l'aide d'une bouteille Van Dorn tous les 50 cm dans cette zone euphotique à l'exception des 50 cm proche du fond. Un échantillon intégré est alors constitué. Différentes aliquotes de cet échantillon intégré sont mises en flacon pour les différentes analyses physico-chimiques et phytoplancton au laboratoire. Des mesures in situ sont effectuées sur cet échantillon intégré. Un profil de la colonne d'eau est aussi fait de la surface vers le fond tous les 50 cm à l'exception des derniers 50 cm. Les paramètres in situ sont mesurés à l'aide d'une sonde multiparamétrique (YSI professional plus ou YSI Quattro) et l'oxygène est mesuré avec une sonde YSI pro ODO. Il s'agit de la température, du pH, de la conductivité, de la concentration en oxygène, du taux de saturation. Une autre sonde permet de mesurer la concentration en chlorophylle par fluorescence (YSI EXO). Les données sont notées sur les fiches terrain prévues (fig. 10). Sur chaque station, une sonde de conductivité/température (Hobo Conductivity Logger) enregistrant toutes les 20 minutes est fixée et les données peuvent être relevées lors des différentes visites sur les stations.

### TransPhyt

Station

Plan d'eau :                      Station :                      Date :

Préleveurs :

Météo    Sec ensoleillé    faiblement nuageux    fortement nuageux  
                  temps humide    Pluie fine    orageux

Vent    nul    faible    moyen    fort

Surface de l'eau    lisse    faiblement agitée    agitée    fortement agitée

Bloom    oui    non

Remarques :

Prélèvement

Heure début :                      Heure fin :

Bloom    oui    non

Prélèvements réalisés    Eau phy-chim (2X500ml)    PC I    PC II  
                  Chlorophylle (1X250ml)    P  
                  Phytoplancton (1X500ml- 1X250ml [LUGOL] - 150ml)

Relevé sonde 24/24                      Suppl [150 ml]                      ADNe

Couleur eau

Remarques :  
   zooplancton

### TransPhyt

Secchi :                      Prof. Max :                      Zone euphotique (X2,5) :

Sondes utilisées :  
 Intégré

Temp.	pH	ORP	Cond. Spec.	O2 dissous	Tx sat.	Chloroph.	FDOM

Profil

	Temp.	pH	ORP	Cond. Spec.	O2 dissous	Tx sat.	Chloroph.	FDOM
0								
0,5								
1								
1,5								
2								
2,5								
3								
3,5								
4								

Diatomètres - Cordes

	A	B	C	D	E	F
Poser						
Récupérer						

Figure 10 : Feuille de terrain



Figure 11 : de gauche à droite, embarcation et matériel lors de la première sortie pour l'installation des stations sur l'Etang du Gol, sondes de mesures, bouteille Van Dorn et disque de secchi...



Tableau 5 : Dates des prélèvements et intervenants sur les différents sites

Etang de St Paul				
2021	MicPhyc	OCEA		Réserve de St Paul
22-avr	Gilles Gassiole	Guillaume Borie	Chloé Yven	Anouk Piteau
05-mai				
02-juin			Chloé Yven	
23-juin				Anouk Piteau
15-juil				
04-août		Chloé Yven	Pierre Valade	
25-août		Guillaume Borie	Emilie Metro	Anouk Piteau
15-sept		Baptiste Salager	MB	Alexandre Tatel
06-oct		Guillaume Borie	Axelle Euphrasie	
27-oct		Axelle Euphrasie	Emilie Metro	Muriel Fontaine
17-nov		Emilie Metro	Lou-anne Jannel	Anne Gaëlle Laterriere
08-déc		Guillaume Borie	Chloé Yven	Alexandre Tatel

Etang du Gol			
2021	MicPhyc	OCEA	
23-avr	Gilles Gassiole	Guillaume Borie	Chloé Yven
05-mai			
02-juin			Chloé Yven
23-juin			Pierre Valade
15-juil			
04-août		Chloé Yven	
25-août		Guillaume Borie	Emilie Metro
15-sept		Baptiste Salager	MB
06-oct		Guillaume Borie	Axelle Euphrasie
27-oct		Axelle Euphrasie	Emilie Metro
17-nov		Emilie Metro	Lou-anne Jannel
08-déc		Guillaume Borie	Chloé Yven

Petit Etang de Saint André & Bocage Ste Suzanne			
2021	MicPhyc	OCEA	
21-avr	Gilles Gassiole	Guillaume Borie	Chloé Yven
06-mai			
03-juin			
24-juin			Emilie Metro
16-juil		Emilie Metro	
05-août		Chloé Yven	
26-août		Guillaume Borie	
14-sept		Baptiste Salager	
05-oct		Guillaume Borie	Axelle Euphrasie
28-oct		Emilie Metro	
18-nov			
09-déc		Guillaume Borie	

### 1.2.2- La physico-chimie

Les différents flacons constitués à partir de l'échantillon intégré font l'objet de la mesure d'autres paramètres au laboratoire. Ce sont l'azote total, les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les orthophosphates et le phosphore total. Ces mesures sont effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre de paillasse Hach DR3900 et des tests en cuves LCK Hach adaptées pour chaque paramètre. Un thermostat Hach LT200 permet de chauffer les échantillons en cuve, lorsque cela est nécessaire notamment pour l'azote total et le phosphore total. A partir de certaines de ces mesures peuvent être déduits l'azote organique, l'ammoniac, l'azote inorganique total ainsi que l'azote Kjeldhal.

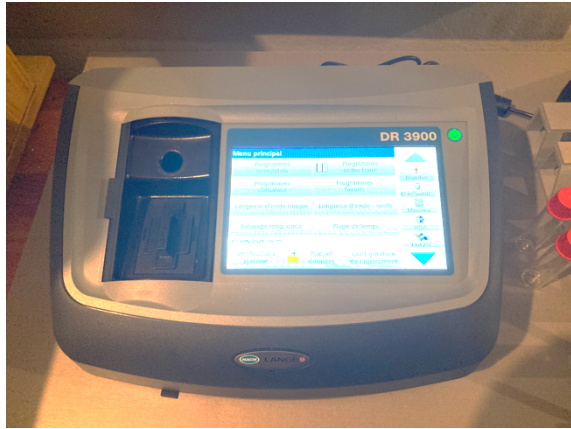


Figure 12 : de gauche à droite et de haut en bas, Spectrophotomètre DR3900, Thermostat Hach LT200, micropipettes pour les différents dosages, tests en cuve LCK.

Tableau 6 : Paramètres mesurés in-situ et au laboratoire

Paramètre	Stratégie d'échantillonnage	Lieu de mesure	Matériel
Profondeur	Du fond à la surface	In situ	Décamètre lesté
Zone euphotique	X 2,5 la profondeur de disparition du disque	In situ	Disque de Secchi
Conductivité	Mesure en continu - pas de temps 20 minutes	In situ	Sonde YSI EXO
Température	Mesure en continu - pas de temps 20 minutes	In situ	Sonde Hobo Conductivity Logger
pH	Profil de la colonne d'eau & sur l'échantillon intégré	In situ	Sonde YSI professionnel plus ou quattro
Température	Profil de la colonne d'eau & sur l'échantillon intégré	In situ	Sonde YSI professionnel plus ou quattro
Conductivité	Profil de la colonne d'eau & sur l'échantillon intégré	In situ	Sonde YSI professionnel plus ou quattro
Taux de saturation en oxygène & concentration en oxygène	Profil de la colonne d'eau & sur l'échantillon intégré	In situ	Sonde YSI pro ODO
Concentration en Chlorophylle a	Profil de la colonne d'eau & sur l'échantillon intégré	In situ	Sonde YSI EXO
Azote total	Echantillon intégré	Laboratoire	Spectrophomètre Hach DR3900
Ammonium	Echantillon intégré	Laboratoire	Spectrophomètre Hach DR3900
Nitrites	Echantillon intégré	Laboratoire	Spectrophomètre Hach DR3900
Nitrates	Echantillon intégré	Laboratoire	Spectrophomètre Hach DR3900
Orthophosphates	Echantillon intégré	Laboratoire	Spectrophomètre Hach DR3900
Phosphore total	Echantillon intégré	Laboratoire	Spectrophomètre Hach DR3900
Azote organique total	Echantillon intégré	Laboratoire	Par calcul à partir des résultats mesurés au spectrophotomètre
Ammoniac	Echantillon intégré	Laboratoire	Par calcul à partir des résultats mesurés au spectrophotomètre
Azote inorganique total	Echantillon intégré	Laboratoire	Par calcul à partir des résultats mesurés au spectrophotomètre
Azote Kjeldahl	Echantillon intégré	Laboratoire	Par calcul à partir des résultats mesurés au spectrophotomètre

### 1.2.3- Phytoplancton

Après homogénéisation dans le seau, une aliquote de l'échantillon intégré est fixée au lugol (2,5 ml pour un flacon de 500 ml) pour l'analyse ultérieure du phytoplancton. Les analyses se font selon la méthode Utermohl (Norme NF EN 15 204) avec un microscope inversé.

Les analyses se font au sein des laboratoires de MicPhyc et Artémis à l'aide de microscopes inversés Leica DMi 1 équipés d'objectifs de qualité (X40 et X63).



Figure 13 : microscope inverse Leica DMi1 et kit Utermöl

### 1.2.4- Diatomées

Vu la configuration des plans d'eau prélevés, les méthodes traditionnelles à partir de substrats naturels ne peuvent pas être appliquées (rareté des substrats naturels). Des stations constituées d'un tube en PVC maintenu par deux bouées permettent de fixer des substrats artificiels. Ces derniers sont constitués d'un support en plastique emprisonnant des lames en verre (« diatomètre ») (Fig. 14). Jusqu'à six supports sont immergés sur chaque station et séjournent dans la colonne d'eau pendant des durées différentes (de 6 à 15 semaines) (Tab. 2) pour permettre d'évaluer la dynamique de colonisation et le futur pas de temps à respecter lors d'un suivi. Au laboratoire, les diatomètres relevés sont ouverts et les lames colonisées sont frottées dans un volume d'eau connu pour récupérer le biofilm, ce qui permettra d'évaluer la densité de diatomées. Ce biofilm est ensuite traité en suivant le protocole IDR pour confectionner des lames observables au microscope pour inventaires. Suite au vol de la station GC sur l'étang du Gol et du décrochage d'un diatomètre après la seconde visite, il a été décidé de fixer aussi des cordes comme substrat artificiel complémentaire. Le choix des cordes a été fait suite à leurs essais concluant sur des études ultérieures sur d'autres stations en plan d'eau. Dans le cas de leur utilisation, la densité des diatomées ne pourra pas être évaluée. Les stations ont été installées lors de la première sortie et enlevées lors de la dernière pour éviter qu'elles disparaissent pendant la saison cyclonique à venir.

Le microscope utilisé est un Leica DM2500 équipé d'objectifs de haute qualité et d'un système de contraste interférentiel et d'une caméra Zeiss (Fig. 15).





Figure 14 : de gauche à droite et de bas en haut station (tube PVC et bouées) et ses corps morts avant l'installation. Diatomètres fixés à la station. Diatomètre à placer avec lames neuves. Diatomètres avec lames colonisées.

Tableau 7 : Plan d'échantillonnage des supports artificiels « diatomètres » et cordes (pas de temps de 3 semaines entre chaque sortie)

SORTIE 2021	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Diatomètres</b>												
A	Installation	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	Dernier PRLV	
B	/	Installation	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	Dernier PRLV
C	Installation	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	Dernier PRLV		
D	/	Installation	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	Dernier PRLV	
E	/	/	Installation	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	Dernier PRLV
F	Installation	/	/	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	/	/	Dernier PRLV	
<b>Cordes sur toutes les stations (à l'exception de GC)</b>												
A			Installation	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	Dernier PRLV	
B			/	Installation	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	Dernier PRLV
C			/	Installation	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	Dernier PRLV		
D			Installation	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	Dernier PRLV
F			Installation	/	/	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	/	Dernier PRLV
<b>Cordes sur la station GC</b>												
A				Installation	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	Dernier PRLV
B				Installation	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	PRLVT/Rempl	/	Dernier PRLV
C				Installation	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	PRLVT/Rempl	/	
D				Installation	/	/	/	PRLVT/Rempl	/	/	/	Dernier PRLV
F				Installation	/	/	/	/	/	/	Dernier PRLV	





Figure 15 : microscope droit Leica DM2500 pour observation des diatomées

#### 1.2.5- Bancarisation

Les différentes données relevées sur le terrain et au laboratoire sont bancarisées pour le moment dans différentes tables avant leur intégration dans un système de gestion de base de données.

#### 1.2.6- Récapitulatif des 12 campagnes de prélèvements et problèmes rencontrés

L'accessibilité à la station PB est devenue impossible à partir du 25 août à cause de l'envahissement du plan d'eau par la végétation flottante de *Pistia stratiotes* et d'*Eichhornia crassipes* (laitue d'eau et jacinthe d'eau). Si les prélèvements d'eau et de phytoplancton ont pu être effectués à proximité de la station (< 20 m à vol d'oiseau), les diatomètres à partir de cette date n'ont pas pu être relevés. La sonde 24/24 et ses données enregistrées ont pu être récupérées en 2022 suite au passage des cyclones qui ont provoqués le déplacement de la station rejetée sur une berge.

Le 23 juin 2021, a été constaté le vol de l'ensemble de la station GC (bouée, support PVC, sonde 24/24 et diatomètres déjà fixés). Dès la sortie suivante, une nouvelle sonde ainsi que des cordes ont été replacées sur le même site.

Sur l'ensemble des diatomètres placés, sans en connaître la cause, certains ont été arrachés (cisaillement de la cordelette et des colliers de serrage Colson), ce qui a abouti au placement de nouveaux substrats sous la forme de corde pour pallier le risque de nouvelle perte.

La sonde 24/24 de la station GB a dysfonctionné à partir du 27 octobre 2021. Néanmoins les valeurs enregistrées ont pu être extraites après passage au SAV.

Concernant la physico-chimie et le phytoplancton, l'ensemble des prélèvements ont pu être effectués avec parfois des aménagements pour la station PB dus à l'envahissement du plan d'eau par la végétation.

Quelques diatomètres n'ont pu être prélevés liés aux événements cités précédemment, ce qui a eu comme conséquence l'installation de nouveaux supports sous forme de corde.

## 2- Premiers résultats

### 2.1 - Physico-chimie in situ

Par la suite, les résultats sont synthétisés par des boxplots (boîtes à moustaches). Le boxplot

Sur un boxplot d'une variable est repéré :

- L'échelle des valeurs de la variable, située sur l'axe vertical
- La valeur du 1<sup>er</sup> quartile Q1 (25% des effectifs) correspondant au trait inférieur de la boîte
- La valeur du 2<sup>ème</sup> quartile Q2 (50% des effectifs ; la médiane) représentée par un trait horizontal à l'intérieur de la boîte.
- La valeur du 3<sup>ème</sup> quartile Q3 (75% des effectifs ; la médiane) correspondant au trait supérieur de la boîte.
- La moyenne est représentée par une croix.
- Les 2 « moustaches » inférieure ( $Q1 - 1,5 * (Q3 - Q1)$ ) et supérieure ( $Q3 + 1,5 * (Q3 - Q1)$ ) délimitent les valeurs adjacentes qui sont déterminées à partir de l'écart interquartile ( $Q1 - Q3$ )
- Les valeurs extrêmes ou atypiques (outliers) situées au-delà des valeurs adjacentes sont individualisées, elles sont représentées par des marqueurs sous forme de points dans nos représentations.

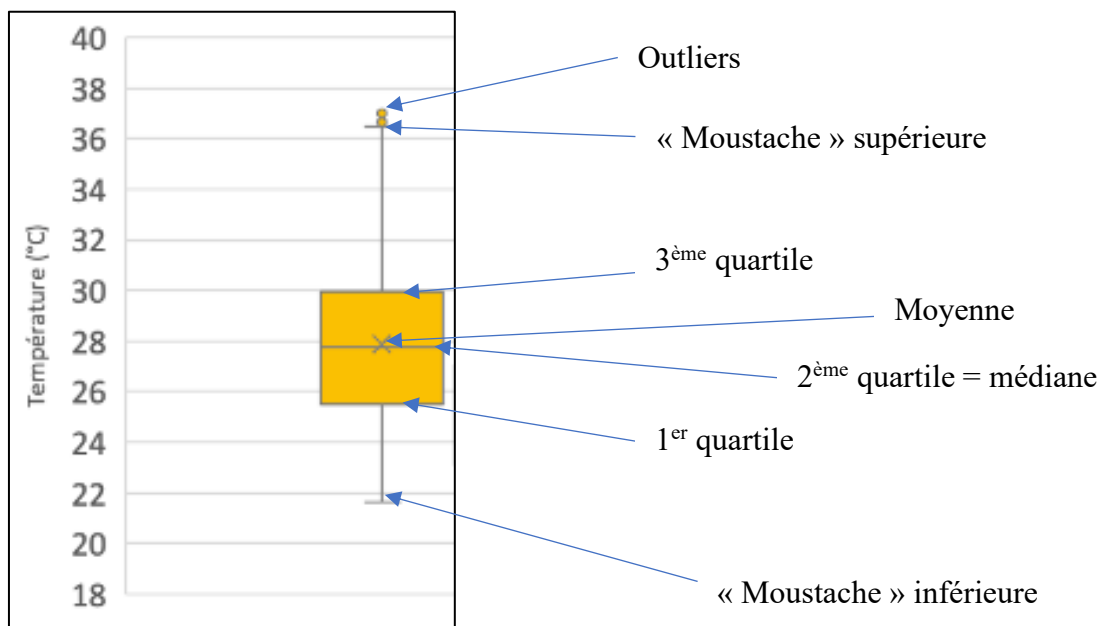


Figure 16 : Descriptions des différentes parties d'un boxplot

### 2.1.1- Etang de Saint Paul

Les profondeurs maximales sur ces stations sont toujours supérieures à 1 m. Les dates pour lesquelles la mesure au disque de secchi est la plus faible ne correspondent pas forcément selon la station suivie.

Les profondeurs :

- Maximales de la station PA varient de 105 à 160 cm au cours des prélèvements, la transparence y était maximale sauf pour deux dates le 23 juin (102 pour 132 cm) et le 25 août (61 pour 141 cm), où le disque de secchi a disparu avant d'atteindre le fond.
- Maximales de la station PB varient de 133 à 180 cm au cours des prélèvements, la profondeur du disque de secchi était moindre du 23 juin au 5 octobre avec pour le 25 août une disparition du disque à partir de 15 cm.
- Maximales de la station PC varient de 127 à 245 cm au cours des prélèvements, le disque de secchi atteint rarement le fond et les profondeurs les plus faibles atteintes par celui-ci ont lieu le 21 avril, le 23 juin et le 8 décembre.

Le profil :

PA : la colonne d'eau est homogène avec des différences entre les valeurs relevées qui restent assez faibles. Pour les situations extrêmes, la température ne diminue que de 1,5 °C et le pH de 0,5 par exemple.

PB : les profils mesurés ne montrent pas de grande différence selon la profondeur, avec des diminutions normales de la température, ce qui indique une colonne d'eau homogène.

PC : la concentration en chlorophylle varie selon la profondeur, selon les dates d'intervention le plus souvent elle diminue de la surface vers le fond, mais il peut exister l'inverse. La concentration en oxygène et par conséquent le taux de saturation en oxygène suivent toujours le même schéma avec une diminution marquée quand on descend en profondeur. Cette stratification se répète pour la température le plus souvent ainsi que pour le pH. La conductivité quant à elle reste assez constante tout le long du profil.

Le pH est neutre (variation de légèrement acide à légèrement basique) sur l'ensemble des stations. La concentration en chlorophylle a sur les stations PA&PB est souvent faible alors que pour la station PC, elle est le plus souvent supérieure ou égale à 10 µg/l.

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont synthétisées par les boxplots (Fig. 16 & 20). En considérant la médiane, la conductivité est un peu plus faible sur la station PA (696,2 µS/cm) que sur les stations PB et PC (respectivement 741,9 et 740,6).

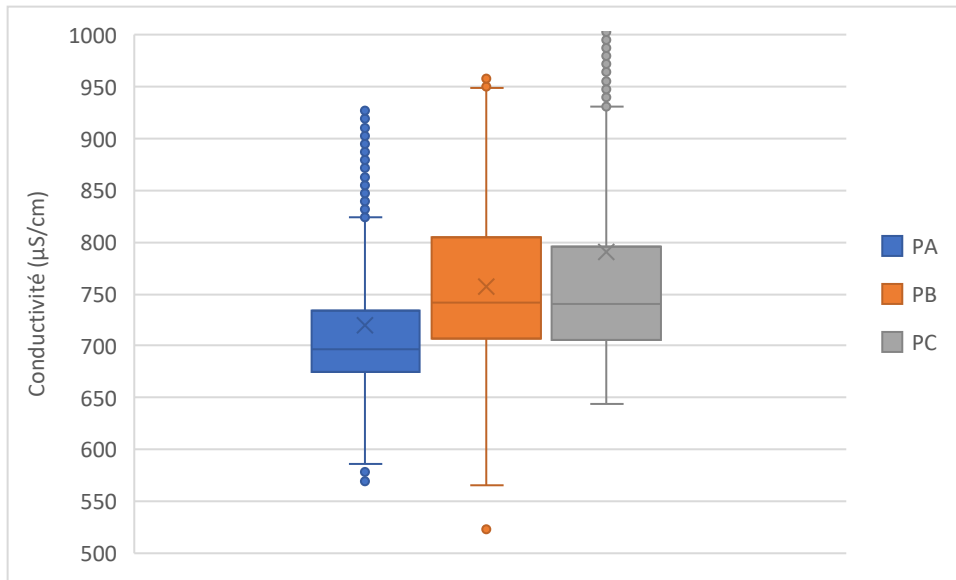


Figure 17 : Conductivité en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aux stations PA, PB et PC. (pour plus de visibilité, les valeurs extrêmes ont été enlevées)

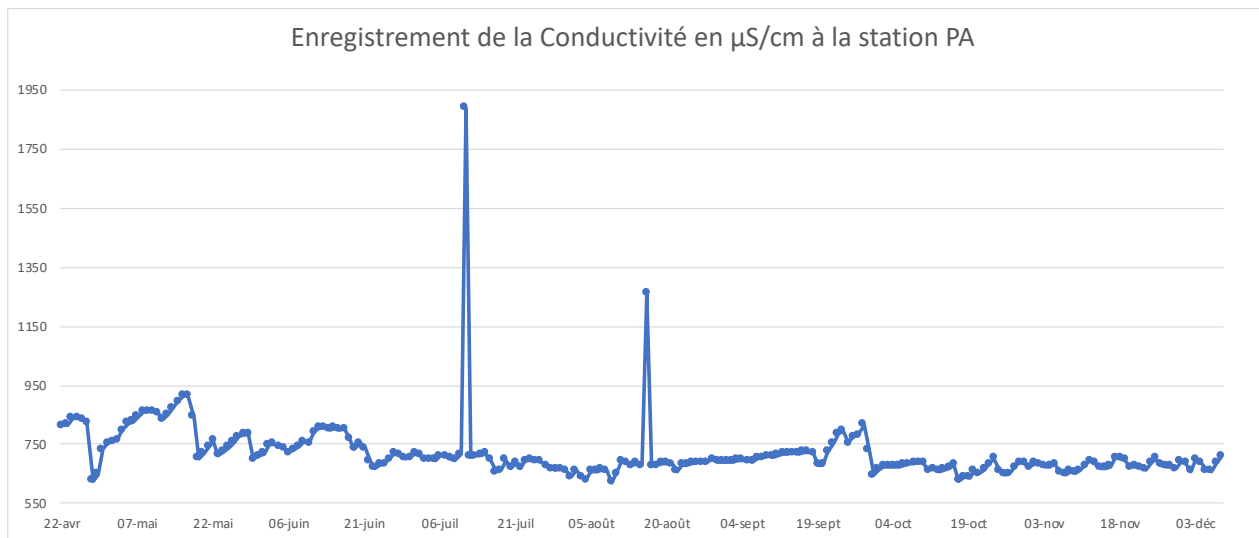


Figure 18 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PA de l'installation à l'enlèvement de la station

La conductivité en général (1<sup>er</sup> à 3<sup>e</sup> quartile) varie assez peu de 674,6 à 734,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , il est à noter deux très fortes intrusions d'eau salée de courte durée sur cette station, le 11 juillet 2021 de 16 h 20 à 17 h 20 et le 16 août 2021 de 8 h 40 à 12 h 20.

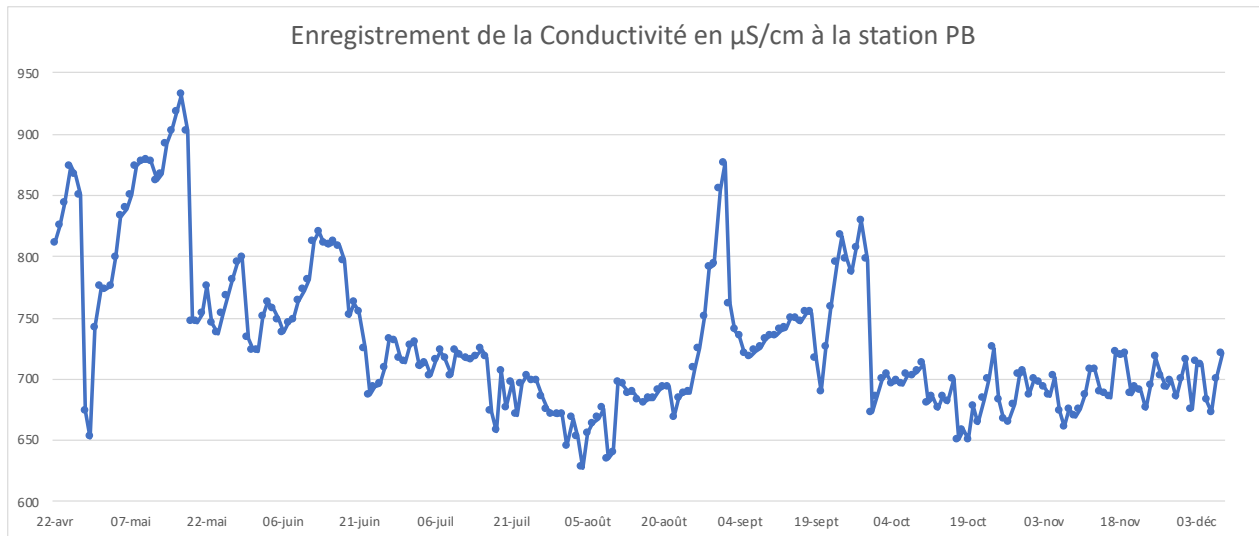


Figure 19 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PB de l'installation à la date du dernier prélèvement de phytoplancton

La conductivité, sur la station PB, varie en général (1er à 3e quartile) de 707,1 à 804,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La courbe de suivi de la conductivité suit durant cette période les mesures effectuées sur la station PA à l'exception des intrusions de salinité du 11 juillet 2021.

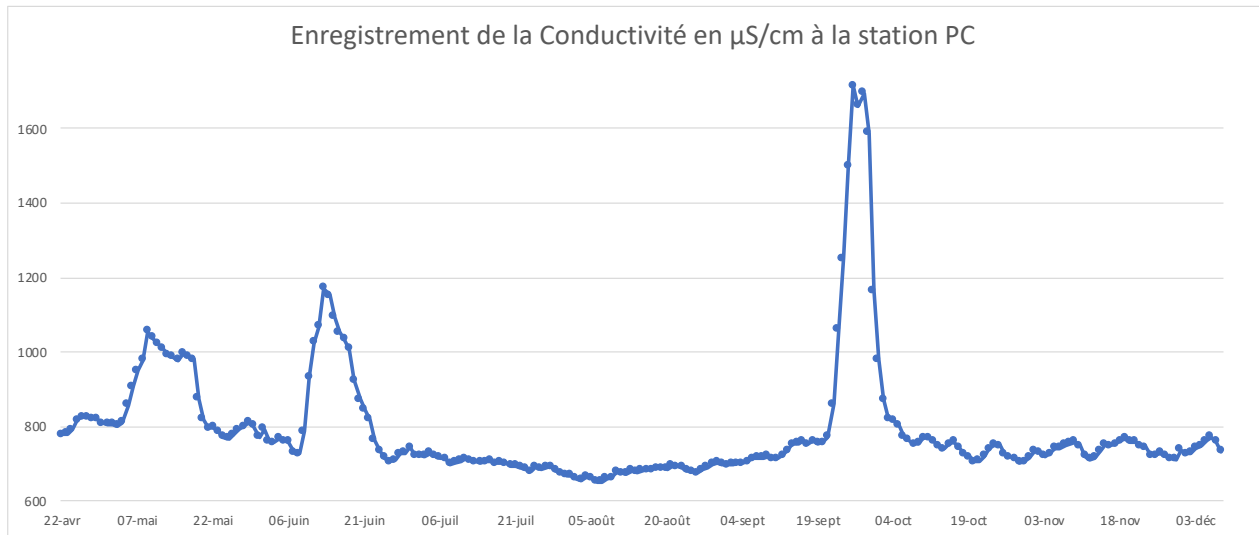


Figure 20 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PC de l'installation à l'enlèvement de la station

La conductivité, sur la station PC, varie en général (1er à 3e quartile) de 705,2 à 795,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La situation est plus variable sur cette station avec quelques augmentations ponctuelles et d'autres, plus étalées dans le temps. Ces dernières durent 15 jours, du 4 au 19 mai et du 9 au 24 juin et 12 jours du 21 septembre au 3 octobre 2021.

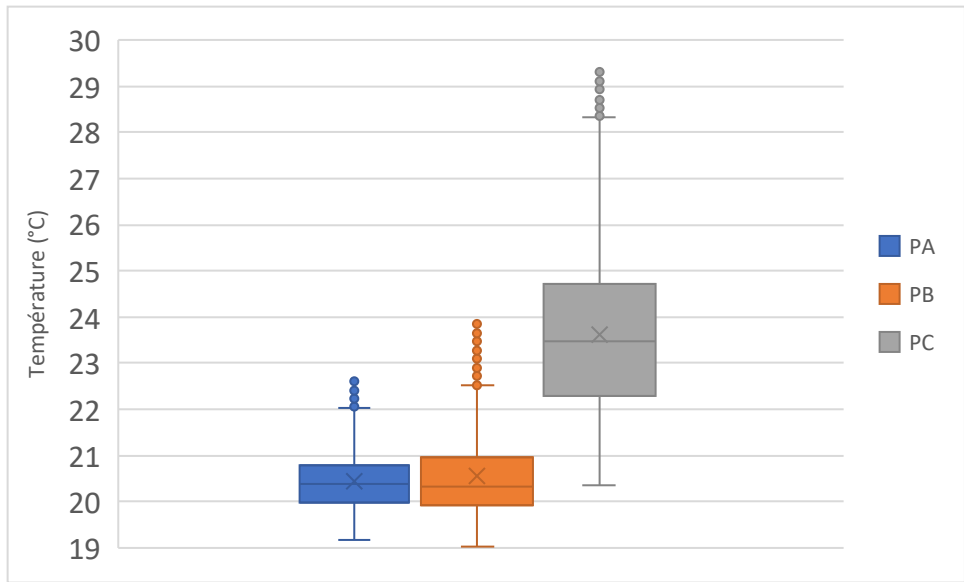


Figure 21 : Température de l'eau en °C aux stations PA, PB et PC

La station PC se différencie bien de PA et PB, la température de l'eau y est, si l'on considère la médiane, supérieure de 3 °C. Les enregistrements dans le temps montrent bien l'alternance jour-nuit et la variation saisonnière.

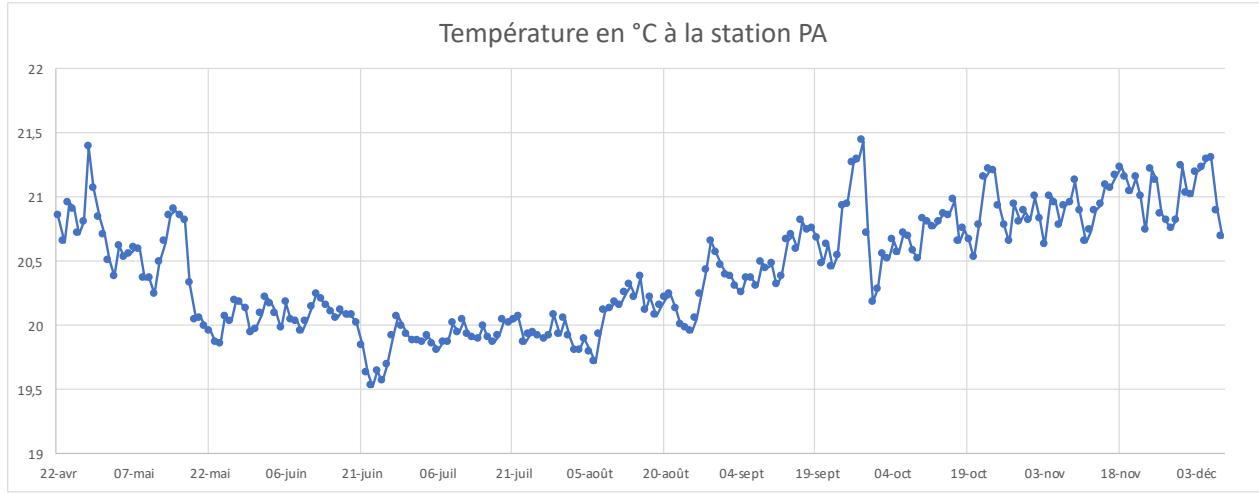


Figure 22 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PA de l'installation à l'enlèvement de la station

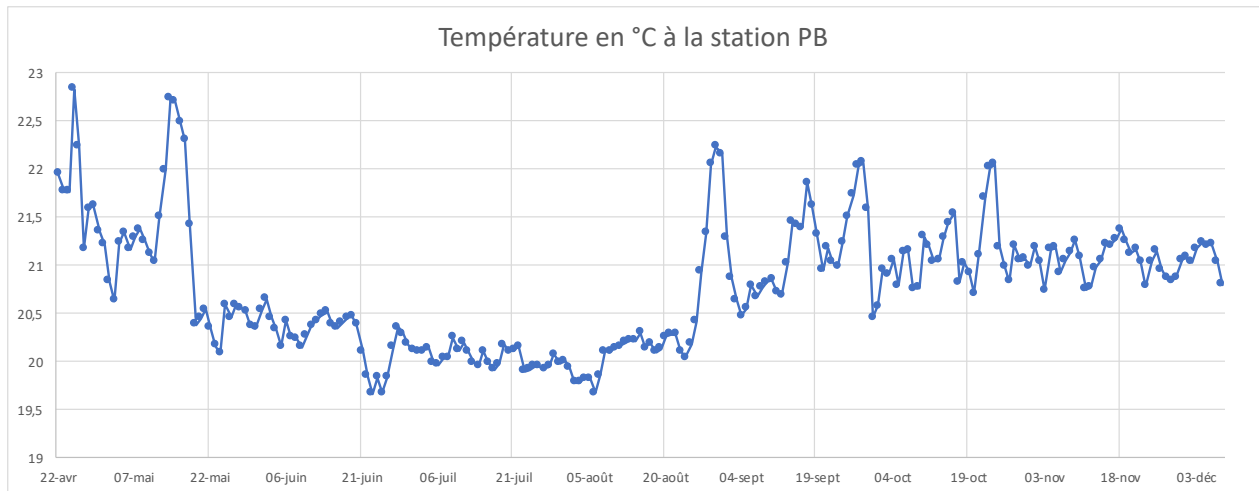


Figure 23 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PB de l'installation à la date du dernier prélèvement de phytoplancton

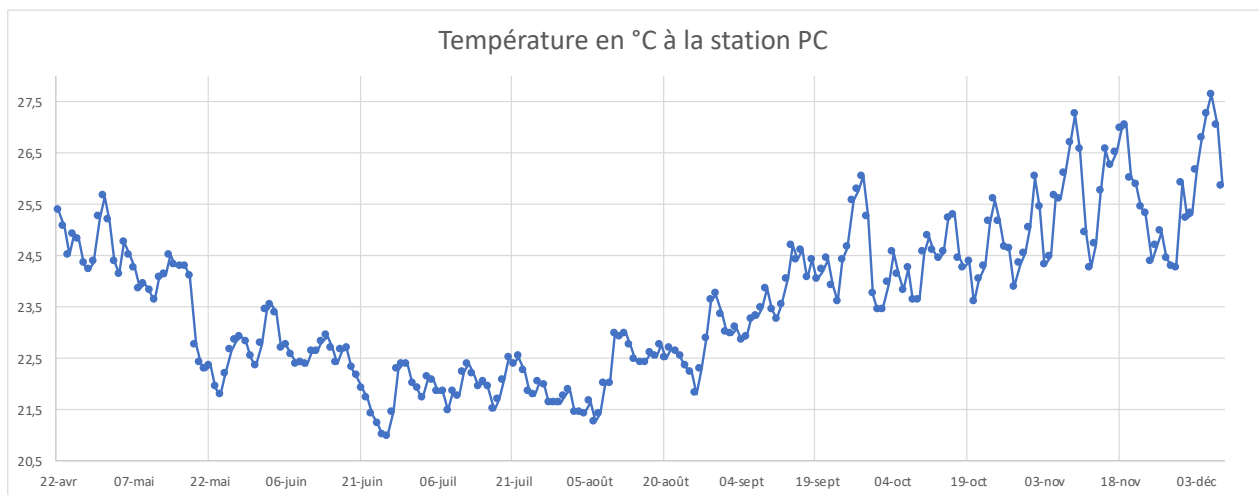


Figure 24 : Enregistrement de la température sur la station PC (moyenne journalière) de l'installation à l'enlèvement de la station

### 2.1.2- Etang du Gol

Les profondeurs maximales sur ces stations sont pour la plupart des dates proches de 1 m. A part pour une date, la transparence est toujours faible avec le secchi n'atteignant parfois que 15 cm.

Les profondeurs :

- Maximales de la station GA varient de 79 à 152 cm au cours des prélèvements, la transparence a une médiane de 25,5 cm.

- Maximales de la station GB varient de 99 à 120 cm au cours des prélèvements, le disque de secchi atteint, en considérant la médiane, une profondeur de 21 cm.
- Maximales de la station GC varient de 97 à 134 cm au cours des prélèvements, le disque de secchi atteint 48,5 (médiane).

Le profil des trois stations présente une même structure avec la concentration en chlorophylle a qui varie selon la profondeur, ce qui traduit le déplacement du phytoplancton dans la colonne d'eau. Le plus souvent, il existe une stratification de la conductivité avec comme attendu les valeurs augmentant avec la profondeur. A l'inverse, la concentration en oxygène diminue fortement en descendant pour atteindre des valeurs pouvant être très faibles en profondeur. Le pH comme la température ne subissent pas, quant à eux, de grandes variations.

Le pH est basique sur l'ensemble des stations.

La concentration en chlorophylle a sur les stations du Gol peut fortement varier de 1,6 à 78,3  $\mu\text{g/l}$ , mais leurs valeurs médianes ou moyennes sont toujours supérieures à 10  $\mu\text{g/l}$ .

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont synthétisées par les boxplots (Fig. 24 & 28). En considérant la médiane, la conductivité est un peu plus faible sur les stations GA et GB (respectivement 6273,2 et 6747,6  $\mu\text{S/cm}$ ) que sur la station GC (respectivement 7791,5  $\mu\text{S/cm}$ ). Les figures 25 à 27 montrent que la conductivité varie souvent dans des proportions élevées avec l'apparition de pics.

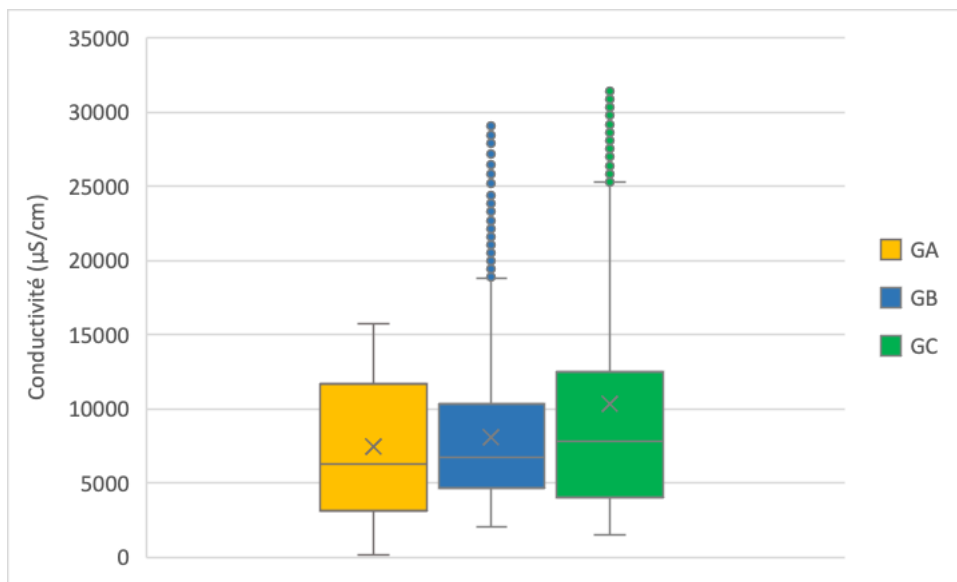


Figure 25 : Conductivité en  $\mu\text{S/cm}$  aux stations GA, GB et GC



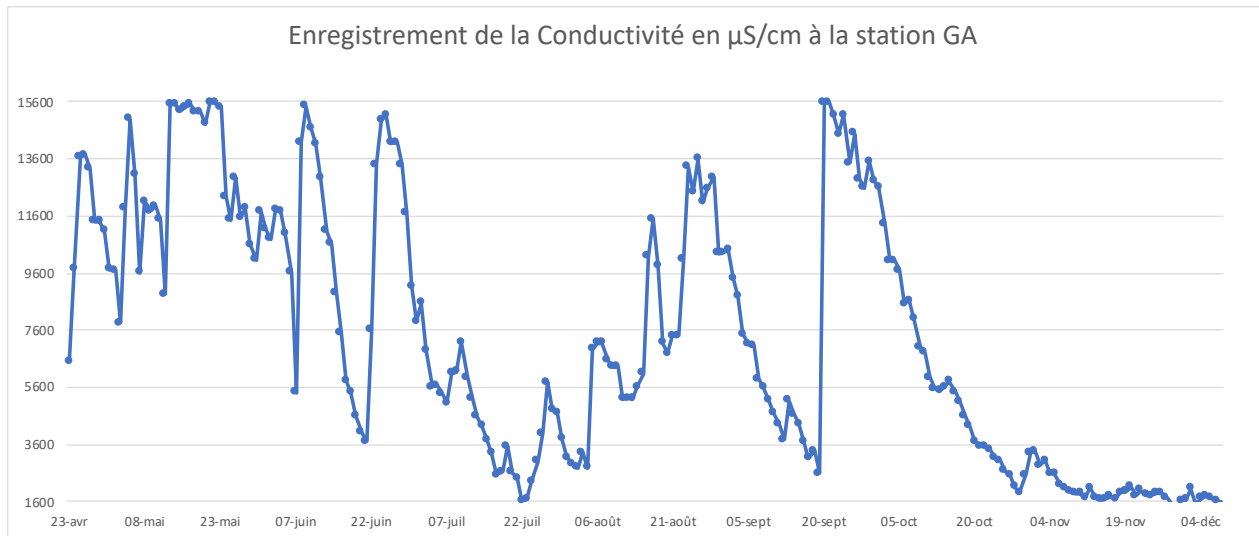


Figure 26 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GA de l'installation à l'enlèvement de la station

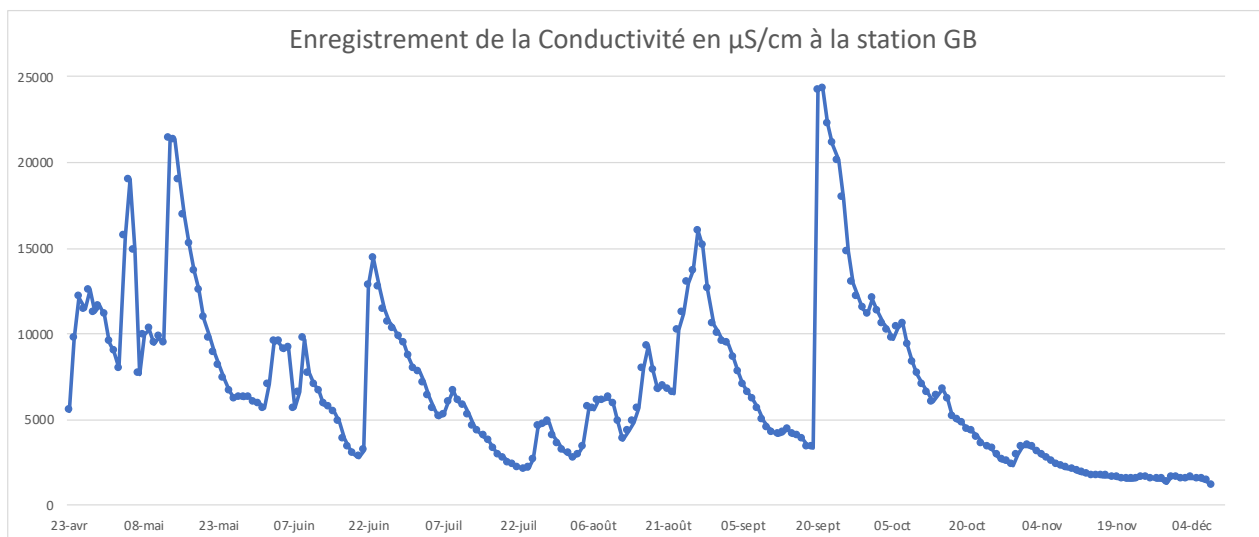


Figure 27 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GB de l'installation à l'enlèvement de la station

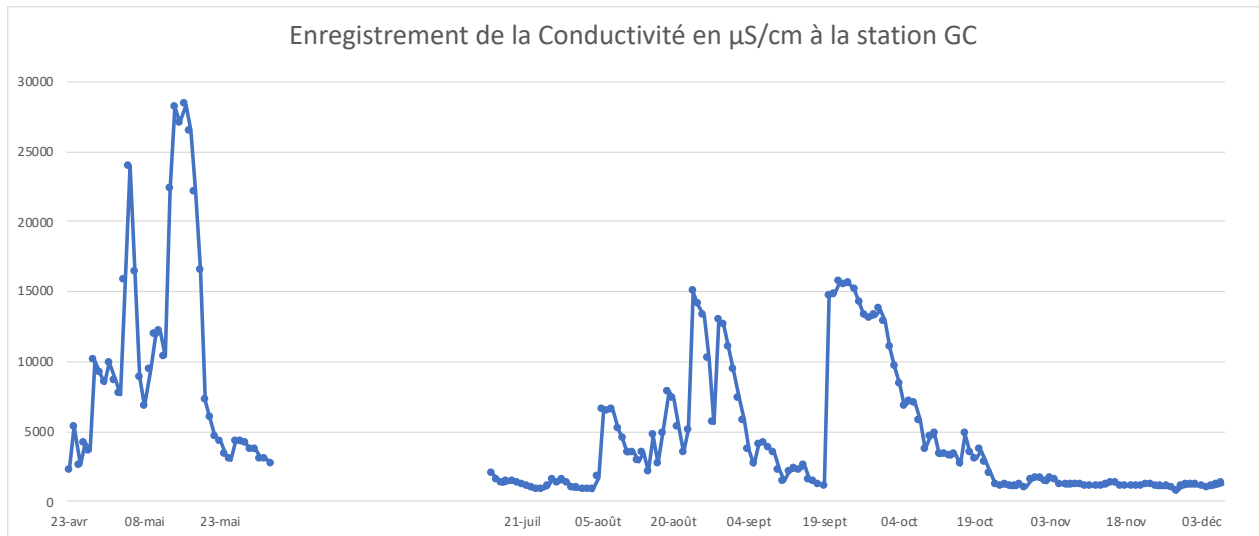


Figure 28 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GC de l'installation à l'enlèvement de la station (l'absence de données du 02/06/2021 au 15/07/2021 est due au vol de la station)

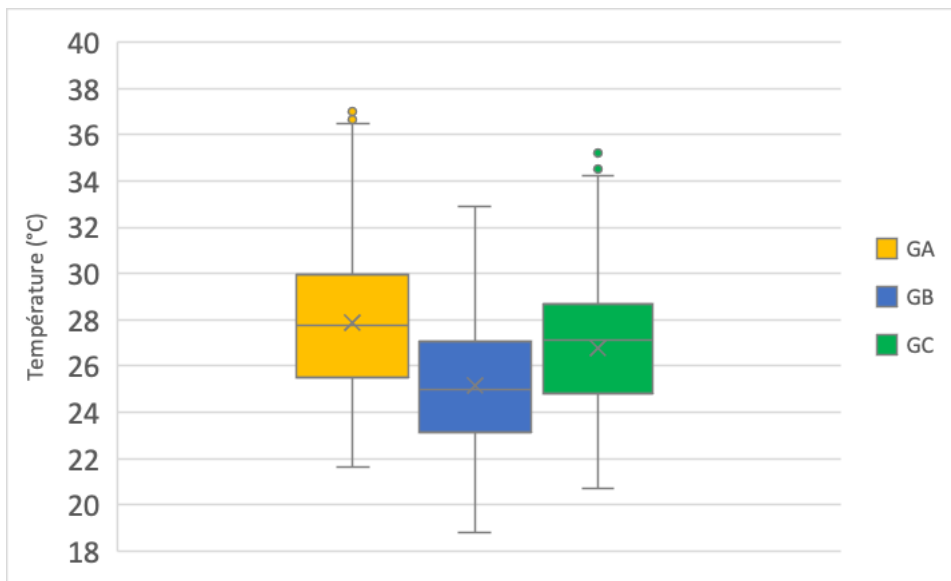


Figure 29 : Température de l'eau en °C aux stations GA, GB et GC

La station GB se différencie bien de GA et GC, la température de l'eau y est, si l'on considère la médiane inférieure de plus de 2 °C. Les enregistrements dans le temps montrent bien l'alternance jour-nuit et la variation saisonnière.

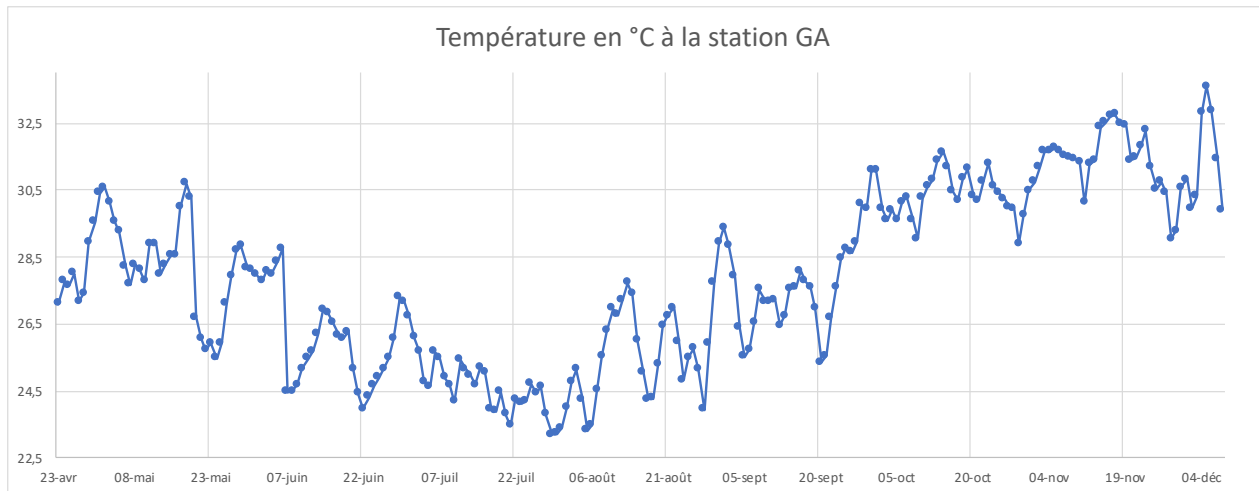


Figure 30 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GA de l'installation à l'enlèvement de la station

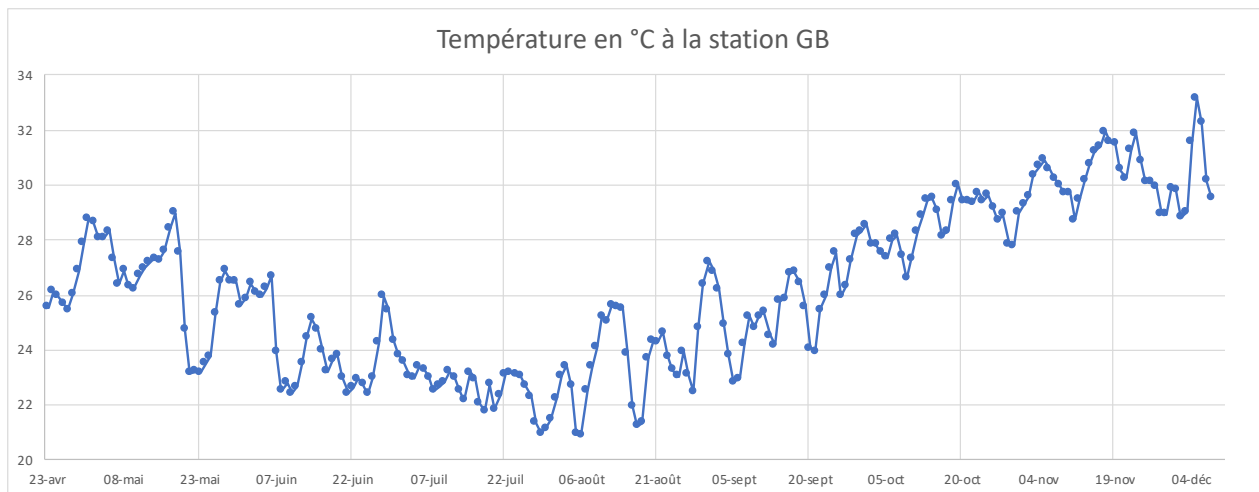


Figure 31 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GB de l'installation à l'enlèvement de la station

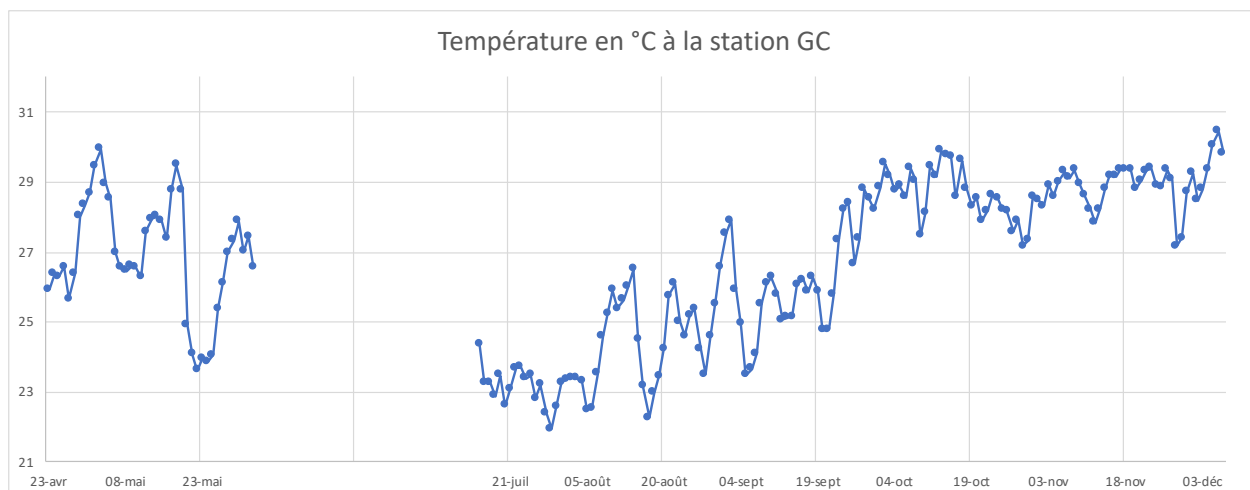


Figure 32 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GC de l'installation à l'enlèvement de la station (l'absence de données du 02/06/2021 au 15/07/2021 est due au vol de la station)

### 2.1.3- Petit Etang de Saint André

Les profondeurs maximales mesurées sur cette station ont une médiane de 42,5 cm. Le disque de secchi atteint la plupart du temps le fond sauf pour deux dates le 23 avril 2021 et le 6 octobre.

Vu la faible profondeur, aucun profil de la colonne n'est fait.

Le pH est environ de 7,5. La concentration en chlorophylle a est toujours supérieures à 10 µg/l et peut atteindre plus de 100 µg/l (médiane 18,4).

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont illustrées par les figures 32 et 33. En considérant la médiane, la conductivité est de 302,4 µS/cm mais les pics ponctuels montent jusqu'à 2904,7. La température de l'eau a une médiane de 25,4°C. L'écart entre les valeurs extrêmes est de plus de 16 °C.

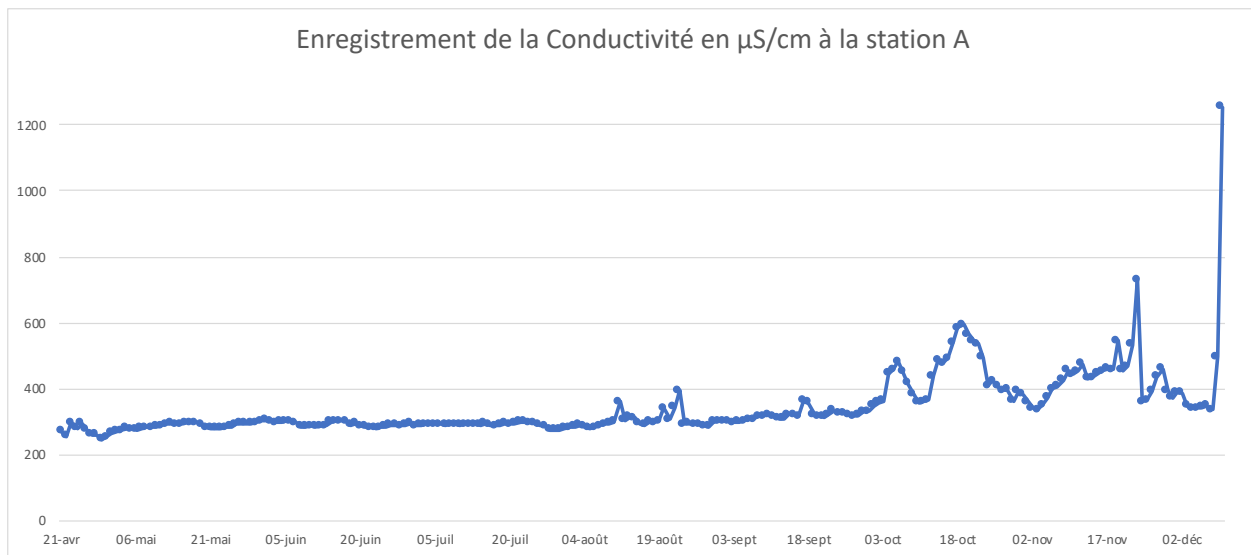


Figure 33 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station A de l'installation à l'enlèvement de la station

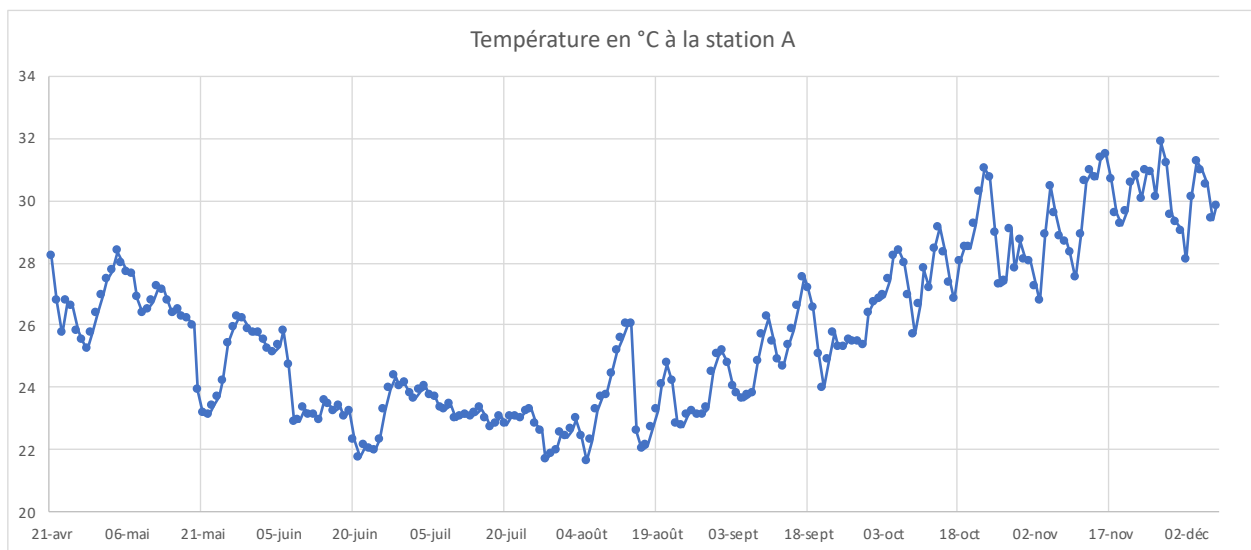


Figure 34 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station A de l'installation à l'enlèvement de la station



#### 2.1.4- Bocage Sainte Suzanne

Les profondeurs maximales mesurées sur cette station ont une médiane de 76 cm. Le disque de secchi atteint toujours le fond. La plupart du temps, vu la faible profondeur maximale, aucun profil de la colonne n'est fait.

Le pH est neutre, il oscille autour de 7. La concentration en chlorophylle a est toujours faible sauf pour les deux derniers prélèvements.

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont illustrées par les figures 34 et 35. En considérant la médiane, la conductivité est de 233,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mais il existe de nombreuses intrusions d'eau salée et la conductivité peut atteindre 14371,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La température de l'eau a une médiane de 23,6 °C et l'écart maximal est de plus de 16 °C.

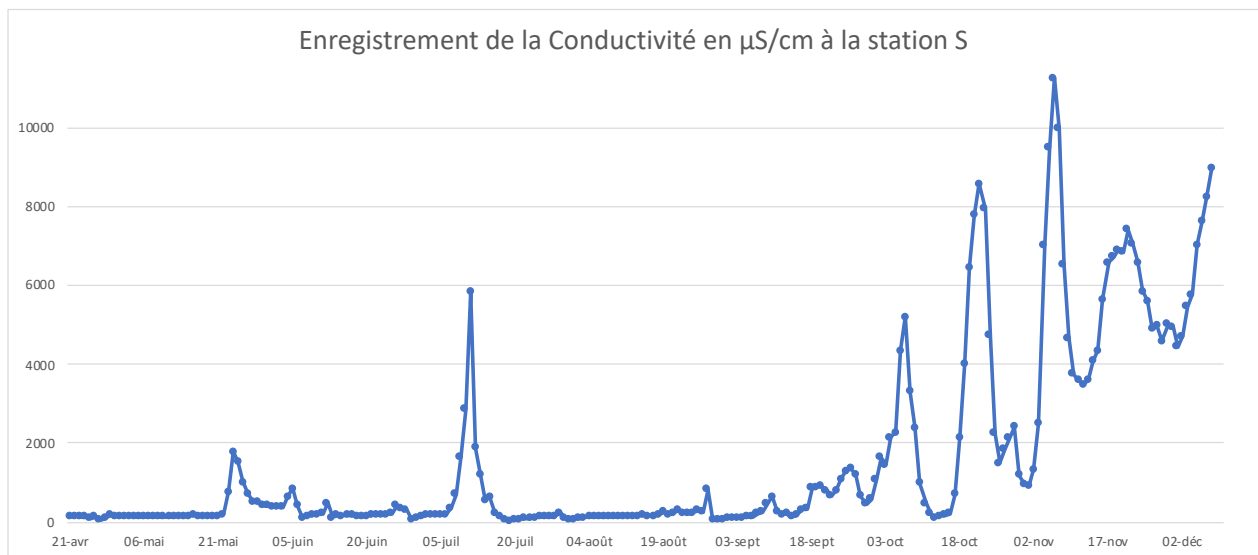


Figure 35 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station S de l'installation à l'enlèvement de la station

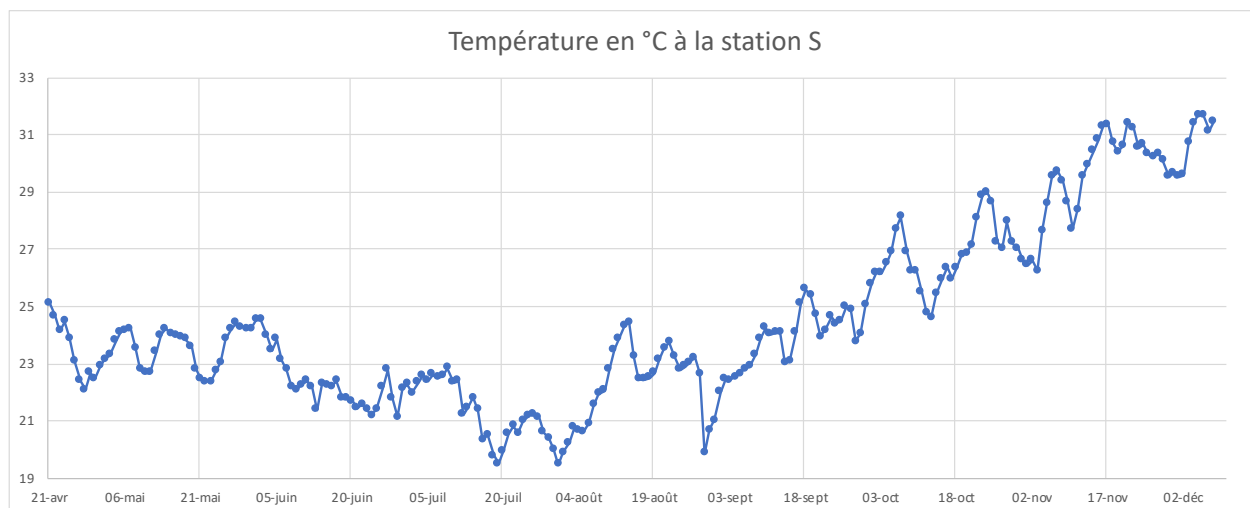


Figure 36 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station S de l'installation à l'enlèvement de la station

### 2.1.5- Les 8 stations – Mesure in-situ de la Chlorophylle a

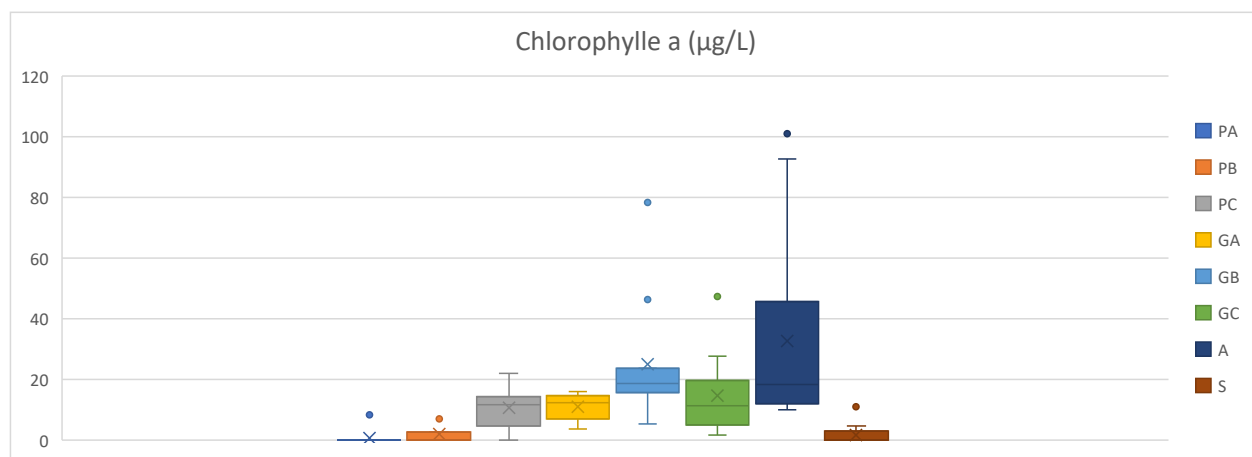


Figure 37 : Concentration en chlorophylle a des 8 stations suivies en µg/L

Ce paramètre est très variable selon la station considérée. Ce graphe corrobore les observations faites sur les comptages au microscope déjà effectués en effet, les stations PA, PB et S présentent des concentrations en phytoplancton pouvant être assez faibles.

## 2.2 - Physico-chimie spectrophotomètre

### 2.2.1- Les différentes formes de l'azote mesurées

Les différentes formes de l'azote mesurées sont l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3$ ) et l'azote total (NT).

A partir de ces mesures ont pu être déduites les valeurs de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), de l'azote inorganique total (NIT), de l'azote organique et de l'azote Kjeldahl (NKT). Les formules pour les calculer sont ci-dessous :

$$\text{NH}_3 = 0,9441 \times \text{NH}_4$$

$$\text{NIT} = \text{NH}_3 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$$

$$\text{Azote organique} = \text{NT} - \text{NIT}$$

$$\text{NKT} = \text{Azote organique} + \text{NH}_3$$

Concernant l'ammonium (fig. 36), la station GC et dans une moindre mesure GB montrent les valeurs les plus élevées mesurées. Un gradient semble se dessiner concernant ce paramètre sur l'Étang du Gol. Pour l'Étang de Saint Paul, le gradient est moins évident, bien que les stations PB et PC présentent une médiane bien plus élevée que PA. Les valeurs les plus élevées ne sont pas atteintes aux mêmes dates selon les stations, ainsi pour PB, PC, GA, GB et GC, elles se situent entre mi-septembre et mi-novembre, alors que pour PA et S de début juin à mi-juillet et pour A en août et début décembre.

Un gradient semble se dessiner pour l'azote total et l'azote Kjeldahl (Fig. 37 & 38). De la plus faible concentration à la plus élevée l'ordre est le suivant PC/S, PA/A/PB, GA, GB/GC. Les stations du Gol présentent les concentrations en nitrites les plus élevées, notamment de début août à mi-novembre. Pour les nitrates, leur concentration n'est jamais très élevée, avec les plus faibles valeurs pour PC et S

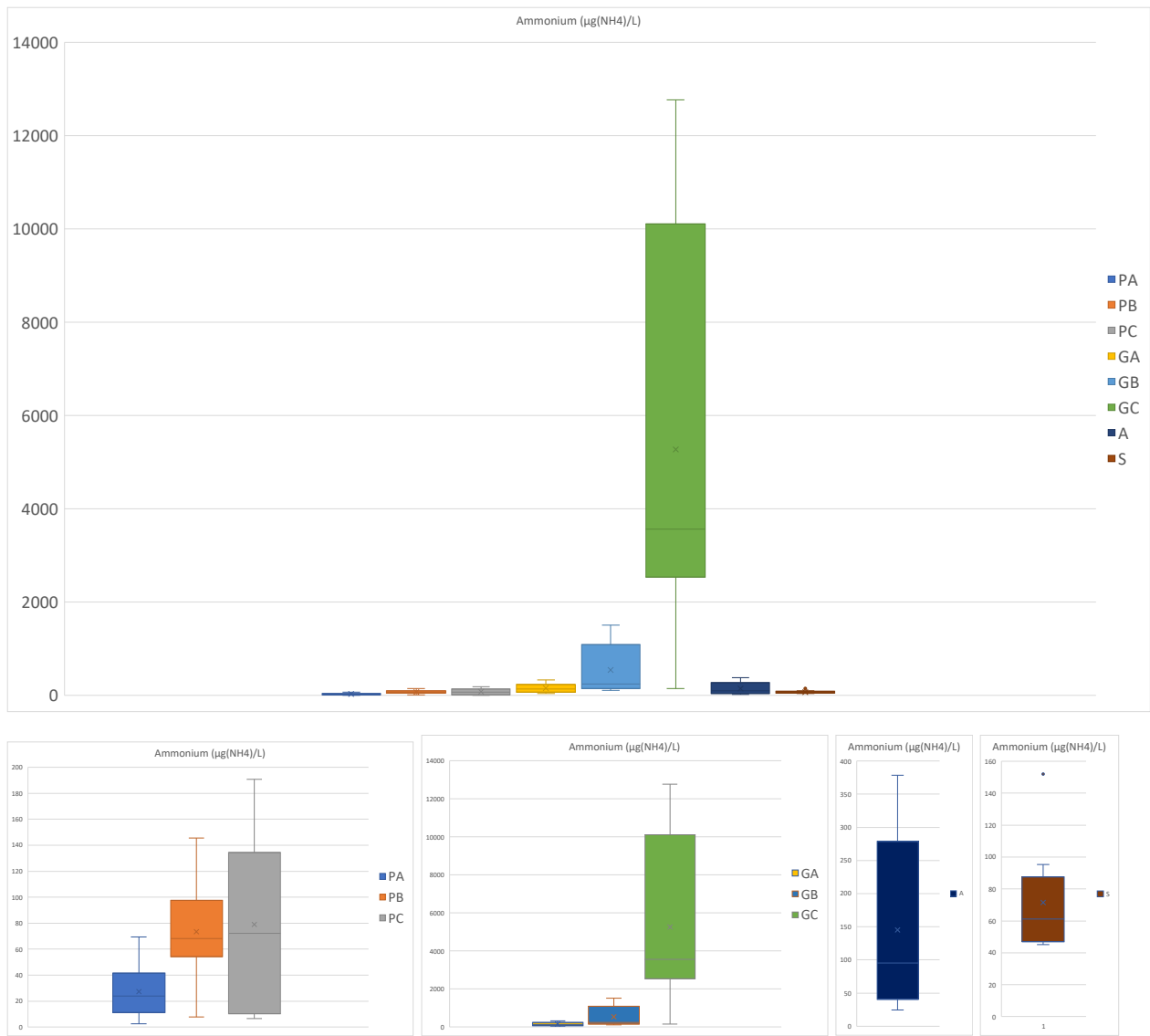


Figure 38 : Concentration en ammonium ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) des 8 stations suivies et résultats présentés avec un changement d'échelle selon les stations

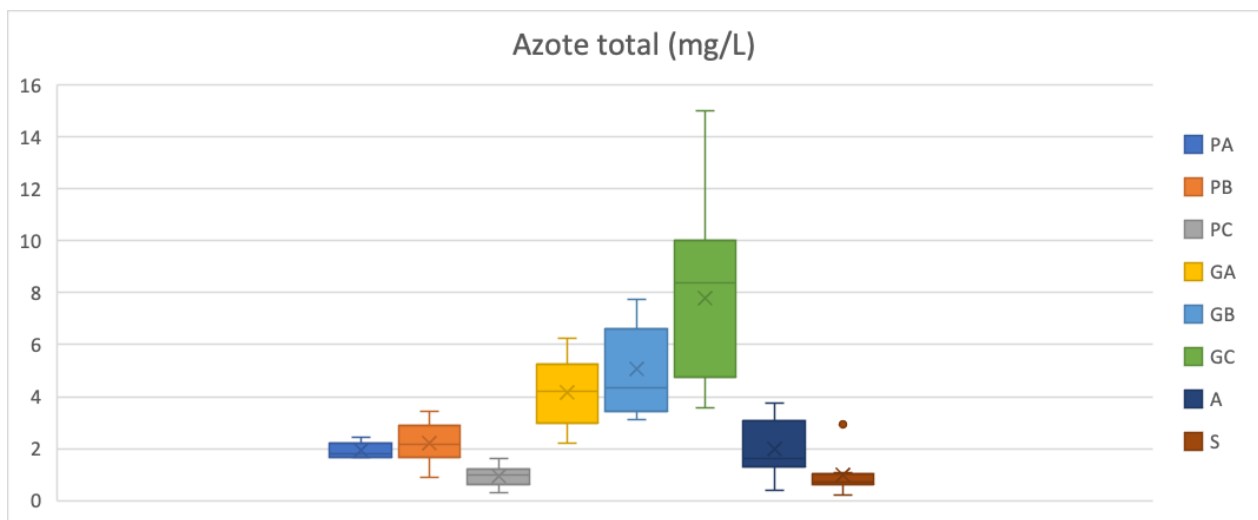
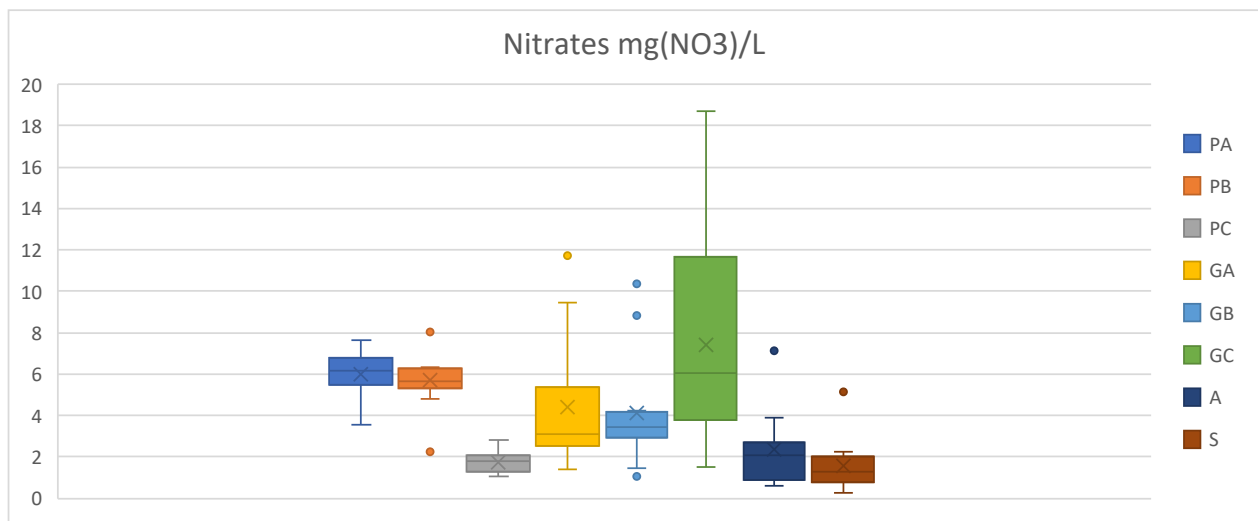
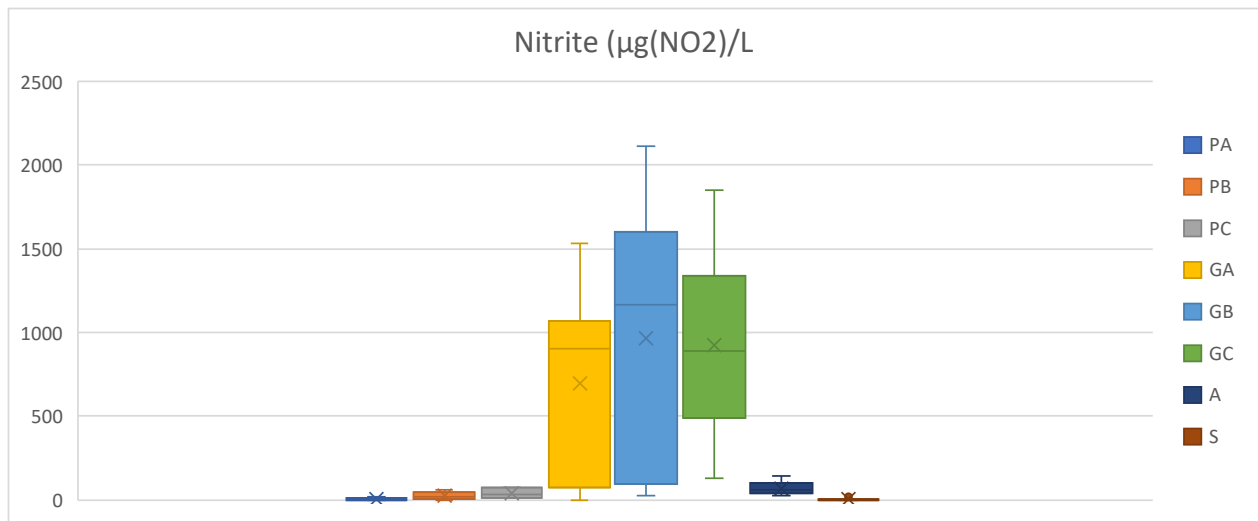


Figure 39 : Concentration en nitrites( $\mu\text{g}/\text{L}$ ), nitrates( $\text{mg}/\text{L}$ ) et azote total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) des 8 stations suivies.



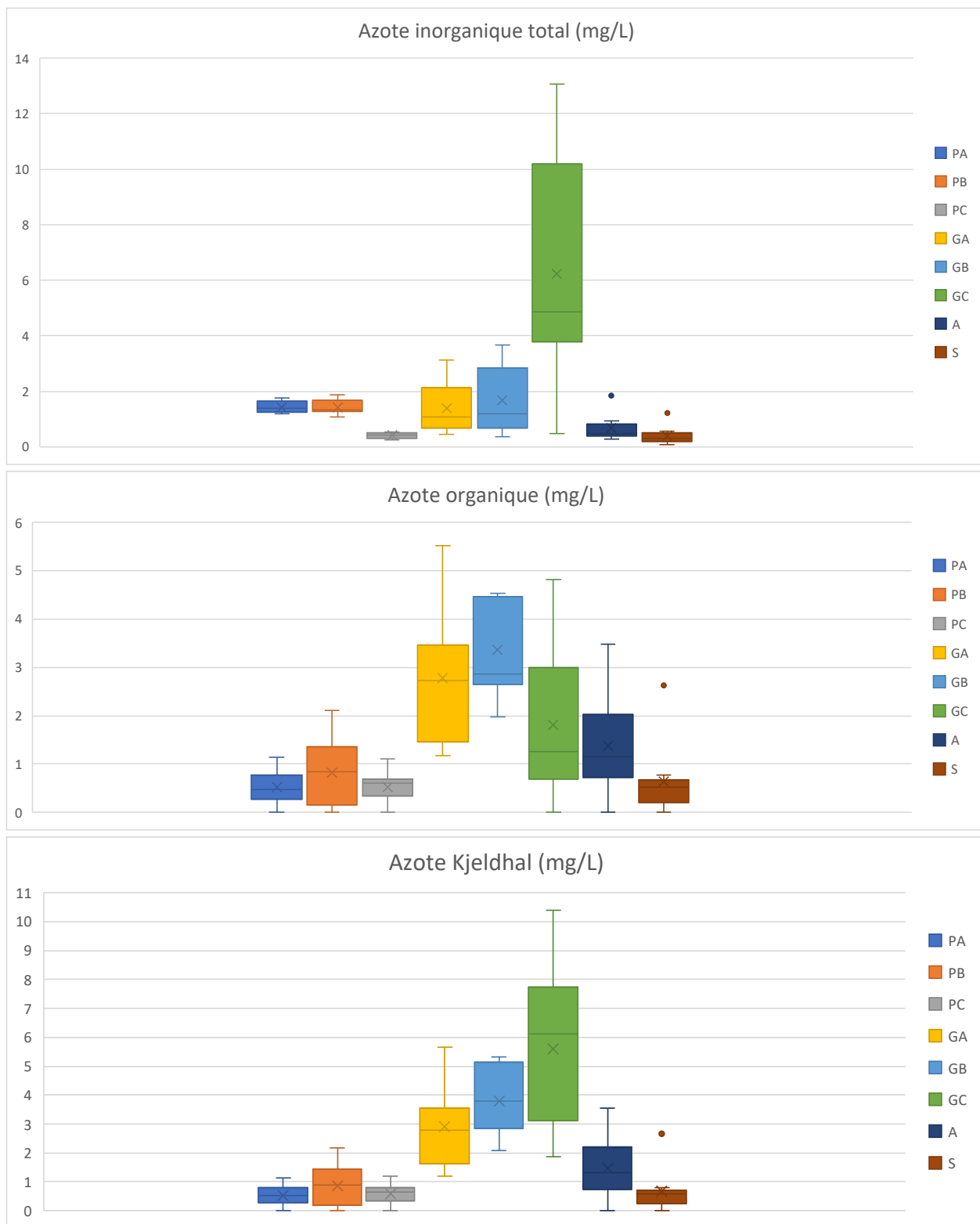


Figure 40 : Concentration en azote inorganique total (mg/L), azote organique (mg/L) et azote Kjeldahl (mg/L) des 8 stations suivies.

## 2.2.2- Les différentes formes du phosphore mesurées

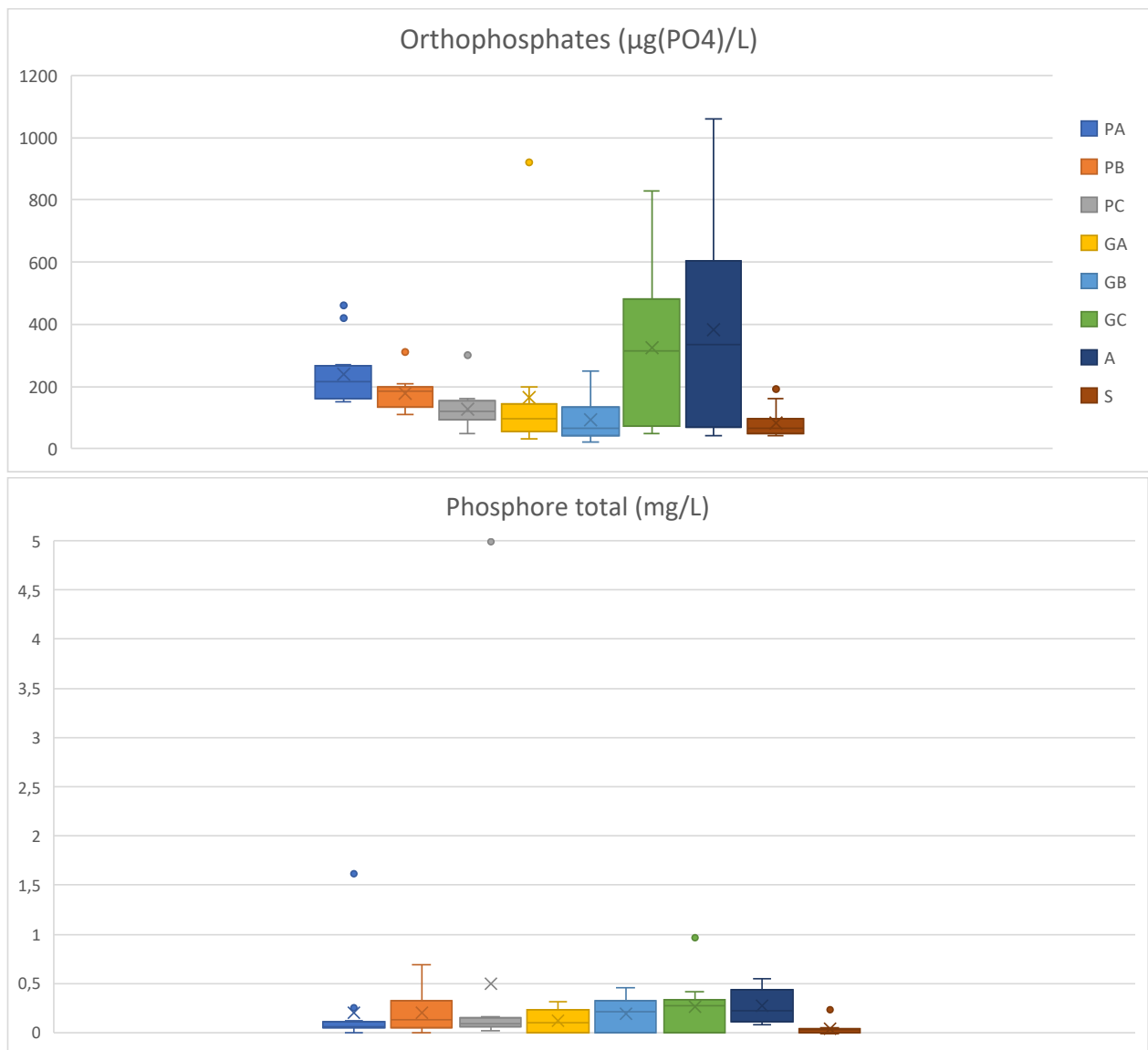


Figure 41 : Concentrations des formes du phosphore sur les 8 stations suivies

Les concentrations en orthophosphates ne sont pas très élevées sur l'ensemble des stations, néanmoins pour certaines dates (fin avril et début décembre), elles peuvent dépasser 0,5 mg/L pour GC et A. Les stations de l'Étang de Saint Paul rejoignent GC et A avec une moyenne supérieure à 0,2 mg/L de phosphore total.

D'un point de vue général au niveau physico-chimique, la station semblant la moins eutrophisée est le bocage Saint Suzanne (S), inversement la station GC semble subir le plus d'apports.

## 2.3- Phytoplankton



Figure 42 : Embranchement Chlorophyta

Classe : 1-23 Chlorophyceae ; 24 Ulvophyceae ; 25-34 Trebouxiophyceae

1 *Monoraphidium minutum*, 2&11 *Desmodesmus costato-granulatus*, 3 *Tetrastrum staurogeniaeforme*, 4 *Monoraphidium circinale*, 5 *Kirchneriella obesa*, 6 *Paulschulzia* sp., 7 *Haematococcus pluvialis*, 8 *Chlamydomonas pertusa*, 9 *Desmodesmus armatus* var. *longispina*, 10 *Monoraphidium contortum*, 12&13 *Desmodesmus abundans*, 14 *Tetrastrum heteracanthum*, 15 *Pediastrum simplex* var. *echinulatum*, 16&20 *Desmodesmus communis*, 17 *Tetradesmus bernardii*, 18 *Ankistrodesmus fusiformis*, 19&22 *Desmodesmus armatus* var. *bicaudatus*, 21 *Golenkinia radiata*, 23 *Monoraphidium griffithii*, 24 *Ulothrix* sp., 25 *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, 26&31 *Didymocystis inconspicua*, 27&28 *Lemmermannia komarekii*, 29&32 *Lemmermannia tetrapedia*, 30 *Dictyosphaerium subsolitarium*, 33&34 *Chlorella* sp.

Etang de Saint Paul (2, 7, 8, 11, 18, 23, 24) / Etang du Gol (3, 4, 29, 30, 31, 32, 33, 34) / Petit Etang de Saint-André (1, 5, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 28) / Bocage Sainte-Suzanne (6, 10, 22)

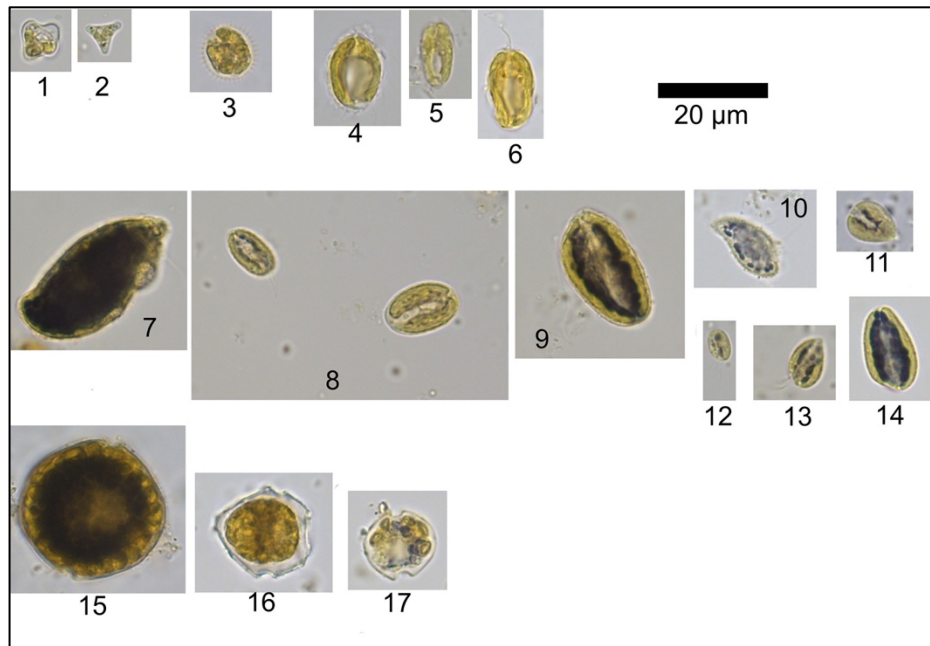


Figure 43 : Embranchement Ochrophyta Classe : 1-2 Eustigmatophyceae, 3 Xanthophyceae, 4-6 Synurophyceae

Embranchement Cryptophyta Classe 7-14 Cryptophyceae

Embranchement Miozoa 15-17 Dinophyceae

1 *Tetraedriella jovetti*, 2 *Goniochloris mutica*, 3 *Akantochloris sp.*, 4-6 *Mallomonas sp.*, 7 *Cryptomonas curvata*, 8 *Cryptomonas sp.*, 9&14 *Cryptomonas ovata*, 10-11&13 *Cryptomonas marssonii*, 12 *Chroomonas coerulea*, 15-17 *Péridiniales*.

Etang de Saint Paul (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14,15)

Etang du Gol (11)

Petit Etang de Saint-André (1, 2, 3, 16)

Bocage Sainte-Suzanne (17)

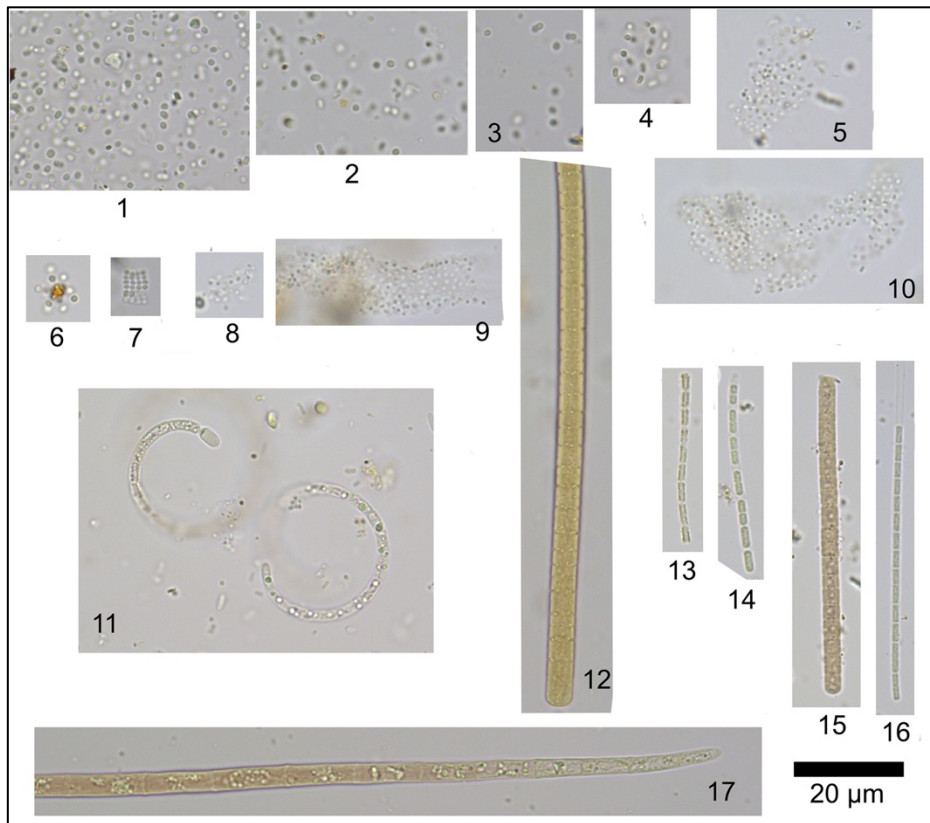


Figure 44 : Embranchement Cyanobacteria Classe Cyanophyceae

1-3 Cyanobium sp. 4 Cyanodictyon sp. 5&8 *Aphanocapsa delicatissima*, 6 *Cyanogranis libera*, 7 *Merismopedia tenuissima*, 9-10 *Aphanocapsa holsatica*, 11 *Cylandrospermopsis sp.*, 12 *Oscillatoria sp.*, 13 *Pseudanabaena catenate*, 14 *Leptolyngbia sp.*, 15 *Planktothrix suspensa*, 16 *Leptolyngbia sp.*, 17 *Aphanizomenon*

Etang de Saint Paul (5, 8, 9, 10, 12, 13 16, 17)

Etang du Gol (1, 2, 3, 7)

Petit Etang de Saint-André (4, 6)

Bocage Sainte-Suzanne (11, 14, 15)

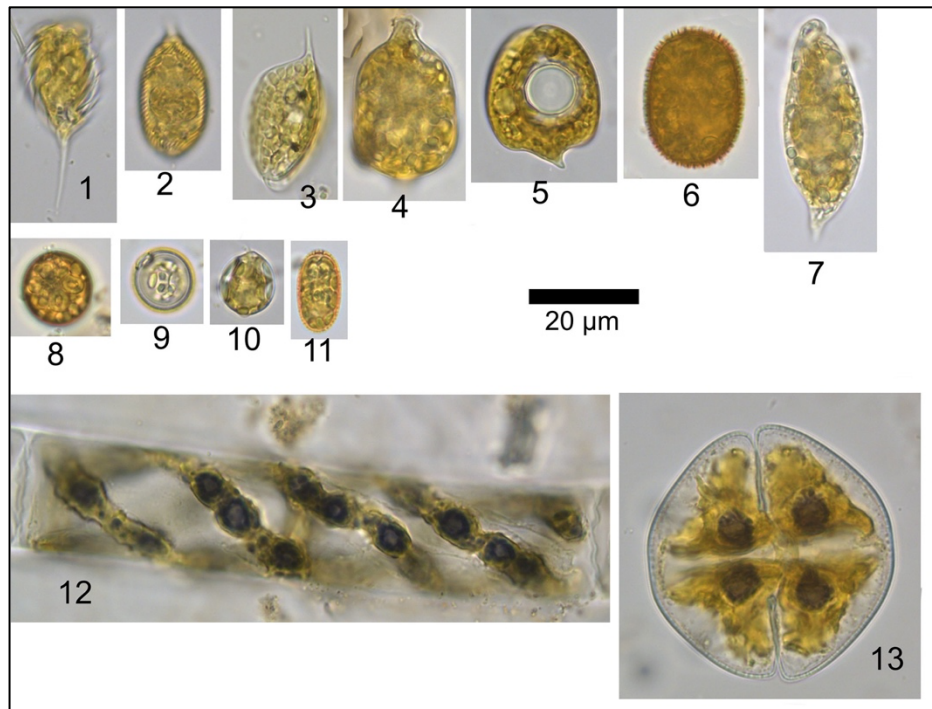


Figure 45 : Embranchement Euglenozoa Classe 1-11 Euglenophyceae

Embranchement Charophyta Classe 12-13 Conjugatophyceae

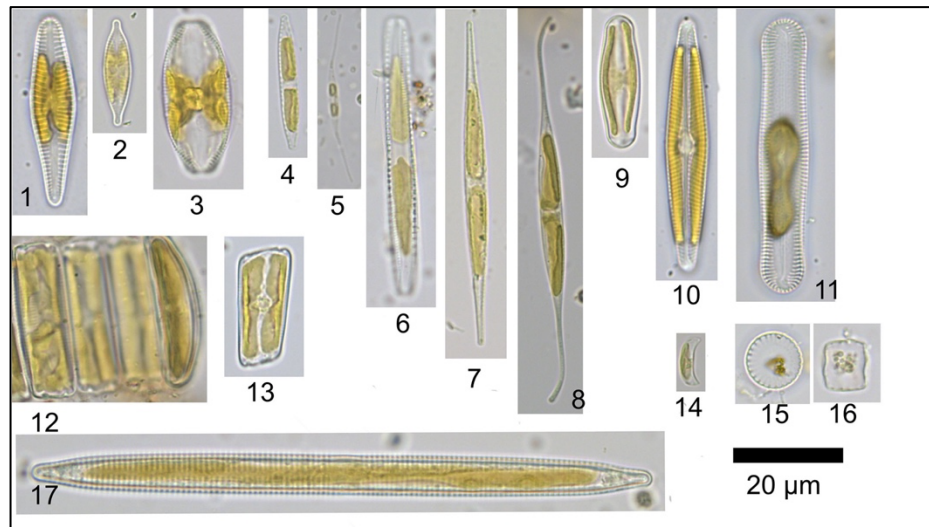
1 *Monomorpha pyrum*, 2 *Lepocinclis*, 3 *Phacus sp.*, 4 *Strombomonas sp.*, 5 *Phacus curvicauda*, 6 *Trachelomonas hispida*, 7 *Euglena sp.*, 8-9 *Trachelomonas volvocinopsis*, 10 *Lepocinclis ovum*, 11 *Trachelomonas sp.*, 12 *Spirogyra sp.*, 13 *Cosmarium sp.*

Etang de Saint Paul (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

Petit Etang de Saint-André (9)

Bocage Sainte-Suzanne (8)





*Figure 46 : Embranchement Bacillariophyta*

*Classe 1-14 Bacillariophyceae, 15-16 Mediophyceae, 17 Fragilariophyceae*

*1&2 Gomphonema sp., 3 Amphora sp., 4-8 Nitzschia sp., 9 Sellaphora sp., 10 Navicula sp., 11 Pinnularia sp., 12&13 Eunotia sp, 14 Achnantheidium sp, 15&16 Cyclotella sp., 17 Ulnaria sp.*

Etang de Saint Paul (1, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 17)

Etang du Gol (5)

Petit Etang de Saint-André (3, 14, 15, 16)

Bocage Sainte-Suzanne (2, 9, 13)

## 2.4- Diatomées

La colonisation des lames en verre ou des cordes donne de bons résultats avec un biofilm bien développé quel que soit le temps de résidence et aboutit à des lames facilement lisibles après réglage de la densité de diatomées pour la lecture au microscope. Il est tout de même à noter, une prédation notamment par quelques mollusques, mais qui se retrouverait aussi si le prélèvement se faisait sur des substrats naturels.

Pour l'instant, des planches de travail sont élaborées pour permettre le travail de taxinomie et assurer une fidélité des comptages par la suite. Cette étape est en effet nécessaire par la nouveauté de ces milieux étudiés à La Réunion ce qui se traduit par de très nombreux taxons non encore observés à La Réunion.

Quelques planches iconographiques ci-dessous illustrent les différents genres rencontrés, les vérifications taxinomiques au niveau spécifique sont en cours. (barre d'échelle 10 µm)

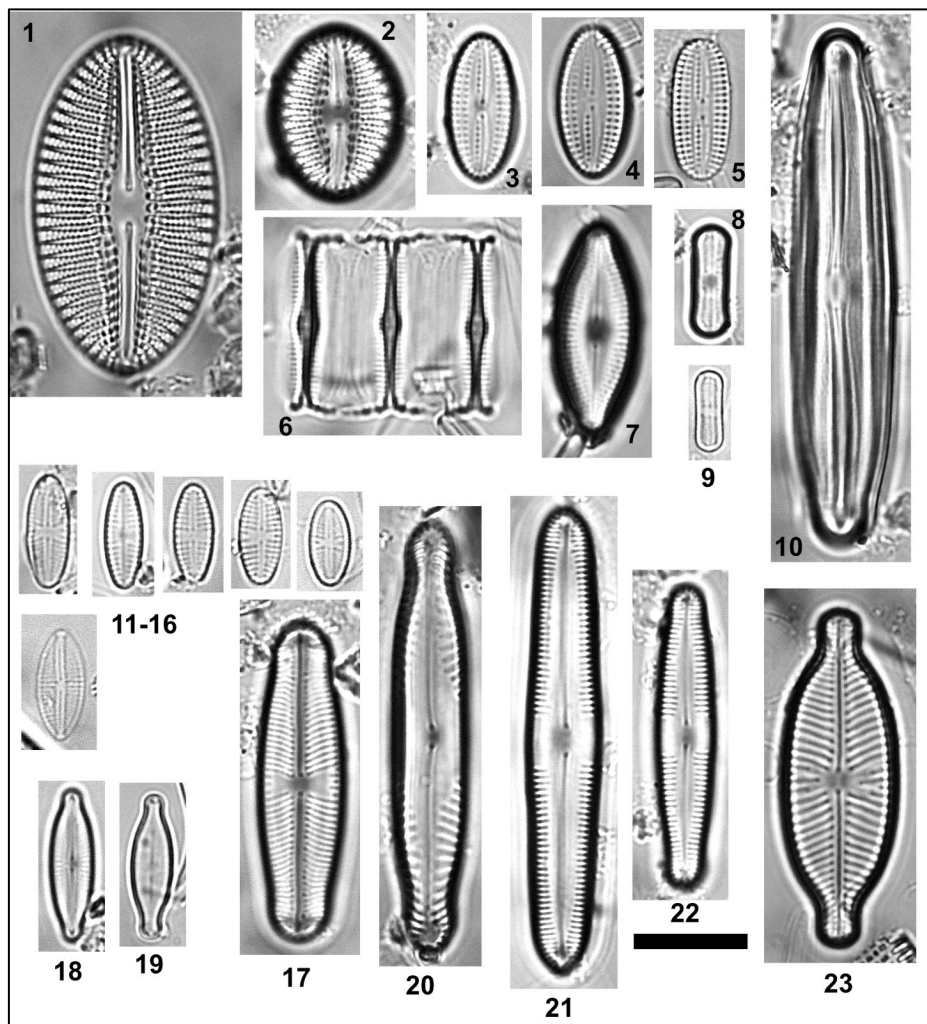


Figure 47 : 1-2 *Diploneis* ; 3-5 *Fallacia* ; 6-7 *Diadesmis* ; 8-9 *Humidophila* ; 10 *Frustulia* ; 11-17 *Sellaphora* ; 18 *Kobayasiella* ; 19 *Nupela* ; 20 *Pinnularia* ; 21-22 *Caloneis* ; *Geissleria*.

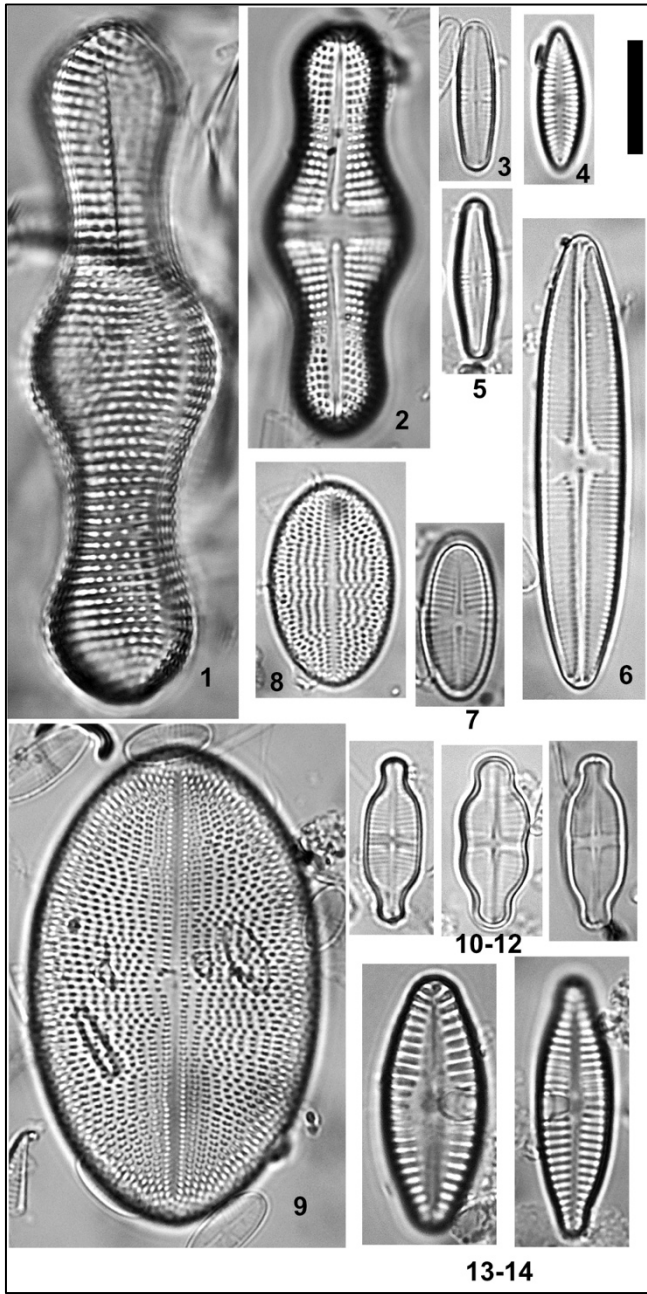


Figure 48 : 1-2 *Achnanthes* ; 3-5 *Achnantheidium* ;  
 6 *Lemnicola* ; 7 *Platessa* ; 8-9 *Cocconeis* ;  
 10-12 *Gogorevia*; 14 *Planothidium*

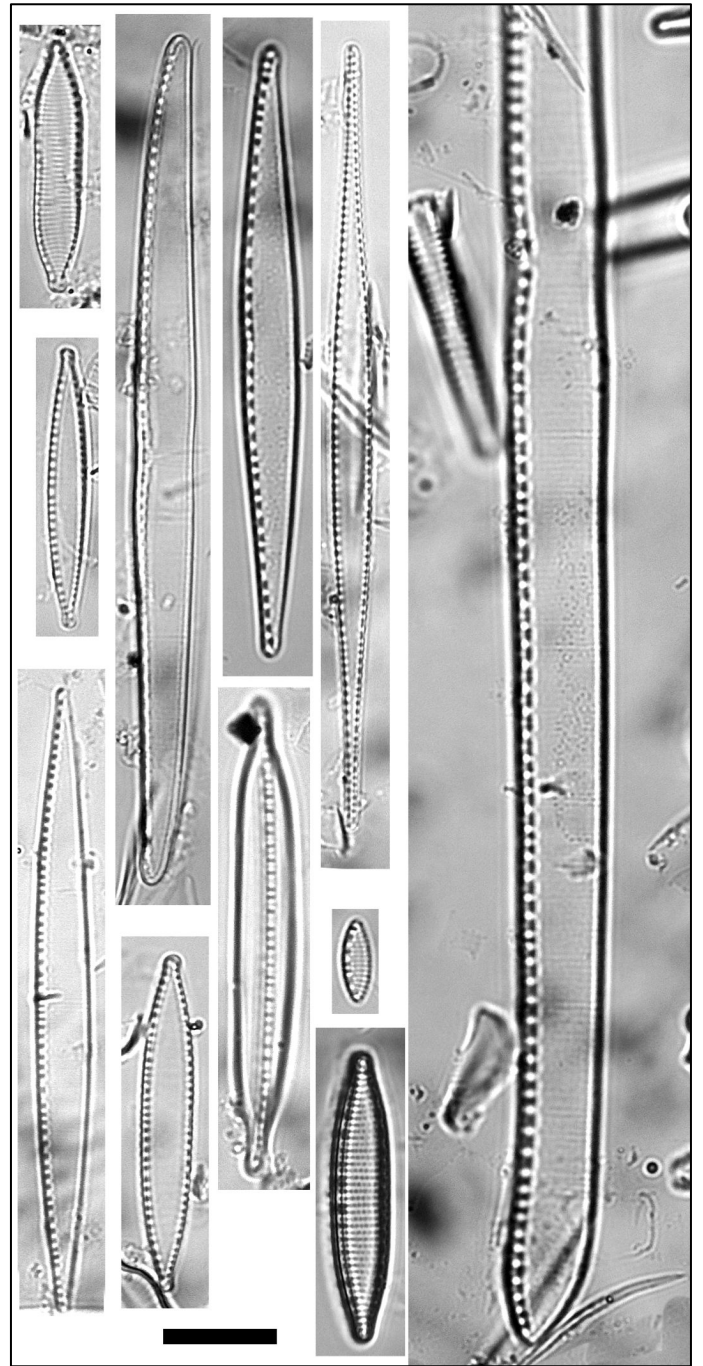


Figure 49 : *Nitzschia*

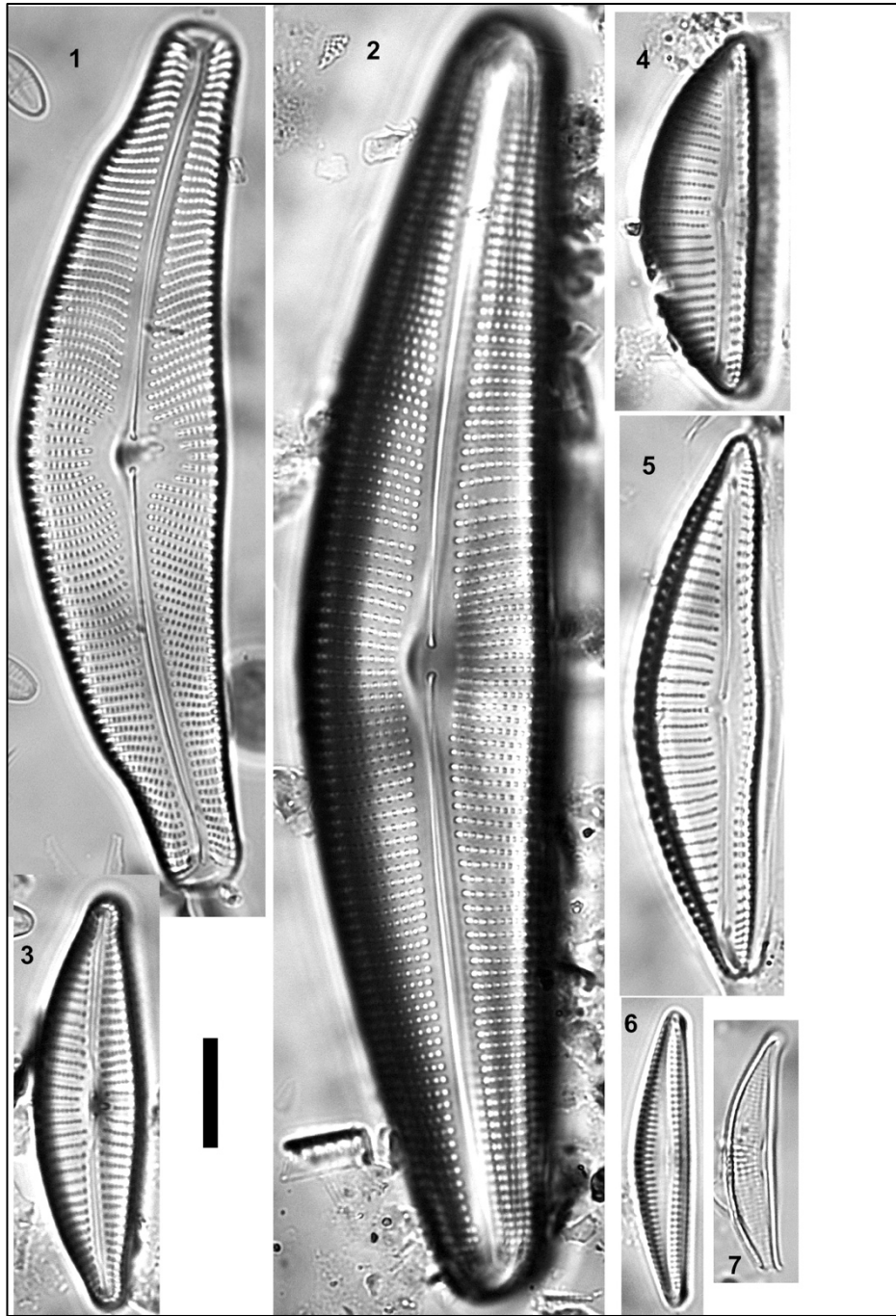


Figure 50 : 1-3 *Cymbella* ; 4-5 *Encyonema* ; 6 *Seminavis* ; 7 *Halamphora*



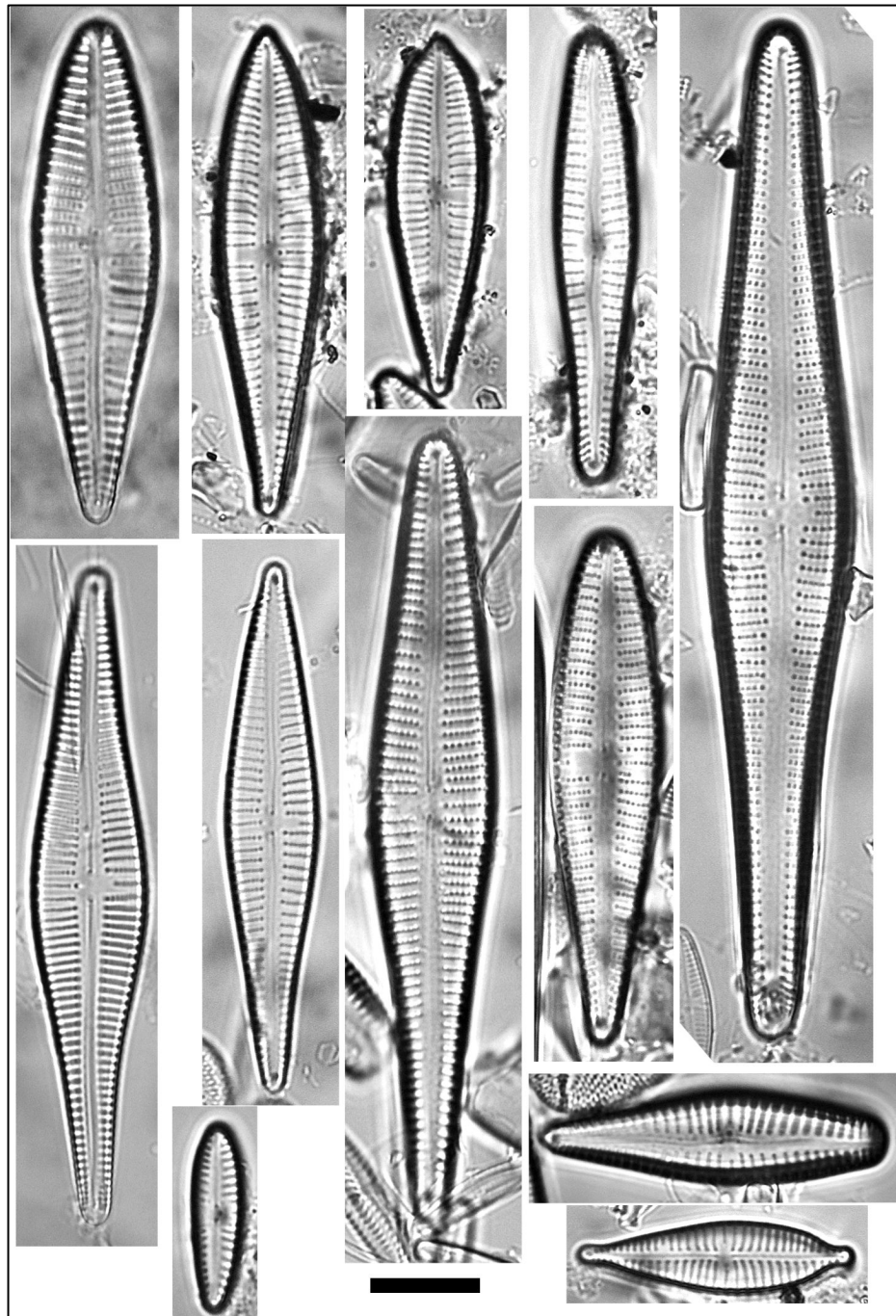


Figure 51 : Gomphonema

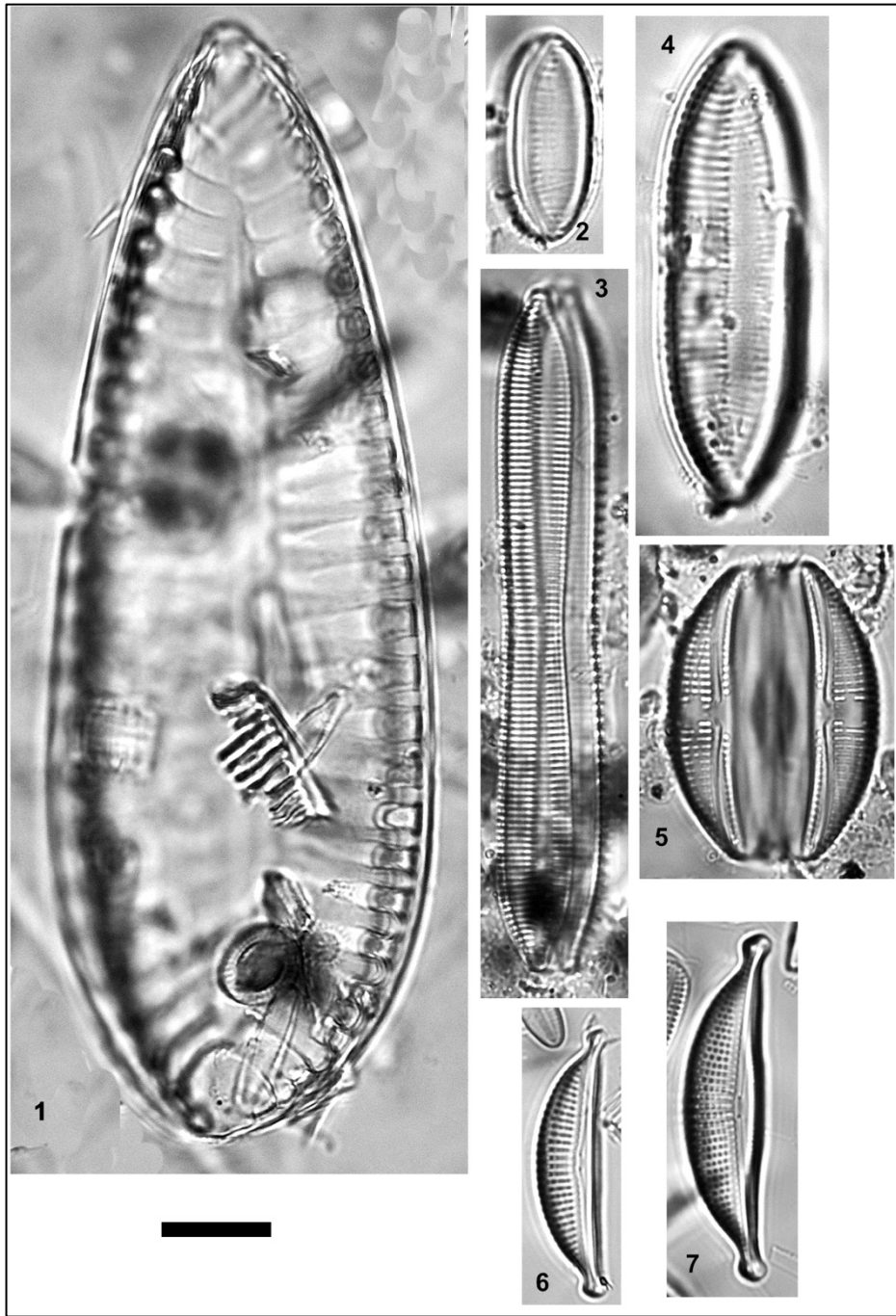
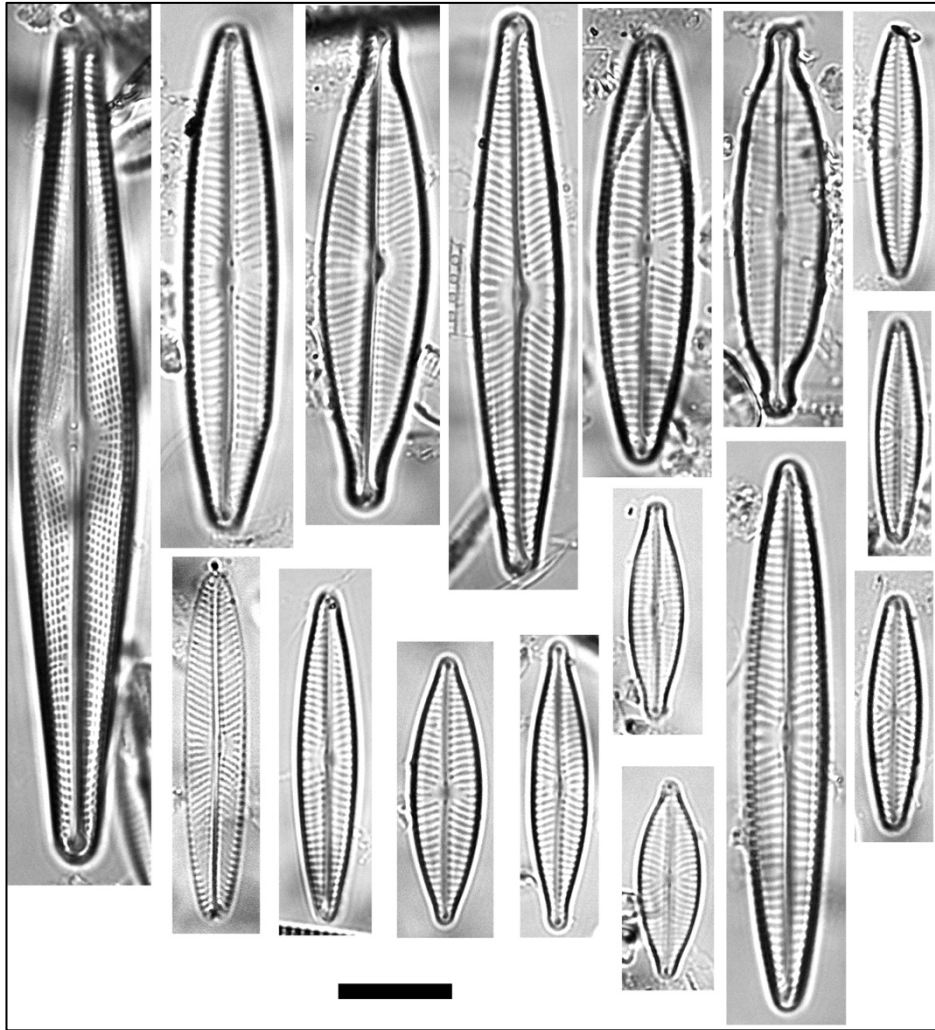


Figure 52 : *Surirella* ; 2-4 *Tryblionella* ; 5 *Amphora* ; 6-7 *Halamphora*





*Figure 53 : Navicula*

## Conclusion

Le suivi de la conductivité sur l'ensemble de la campagne permet de confirmer que les stations choisies répondent à la définition d'eaux de transition

La campagne de 2021 a permis de réaliser les 12 prélèvements prévus en physico-chimie et phytoplancton. Au niveau physico-chimique, des gradients semblent se dessiner pour certains paramètres comme l'ammonium, l'azote total et l'azote Kjeldahl.

Pour le volet diatomées les stations ont pu être aussi prélevées en majorité en faisant quelques aménagements (corde) suite à quelques problèmes rencontrés (vol, décrochage, accessibilité).

Suite aux problèmes liés à la station PB, une demande va être faite à la Réserve Naturelle de l'Etang de Saint Paul pour prendre la décision de la déplacer ou pas pour la prochaine campagne.

Les analyses physico-chimiques (in-situ et laboratoire) ont été menées au fur à mesure de l'avancement des prélèvements.

L'ensemble des inventaires du phytoplancton ont été réalisés (Tableau en annexe). Pour les diatomées, tous les inventaires sur les 138 diatomètres relevés ont été effectués (Tableau en annexe) et quelques inventaires (30) ont été réalisés à partir des cordes prélevées.

En parallèle du programme TransPhyt et pour profiter des sorties sur les plans d'eau, des prélèvements d'ADNe ont été effectués (programme de recherche PhytoDOM) pour l'INRAE de Thonon Les Bains, qui permettront de mettre en relation la génétique avec les inventaires de phytoplancton effectués.

En 2022, il est prévu de mettre en relation les paramètres biotiques et abiotiques, pour notamment commencer à sélectionner les différents taxons indicateurs. Les différentes analyses sur les diatomées seront menées pour conclure à la pertinence du suivi par ce maillon.

En 2022, il n'est pas prévu de suivre les diatomées, les stations de prélèvements se limiteront donc à une bouée pouvant soutenir la sonde de température/conductivité 24/24.

Le calendrier prévisionnel pour les campagnes de prélèvements 2022 est présenté ci-dessous :

Numéro de sortie	Date Etang de Saint Paul et du Gol (OUEST)	Date Petit Etang de Saint-André et Bocage Sainte Suzanne (EST)
1	16/05/2022	17/05/2022
2	08/06/2022	09/06/2022
3	28/06/2022	29/06/2022
4	21/07/2022	22/07/2022
5	03/08/2022	04/08/2022
6	24/08/2022	25/08/2022
7	14/09/2022	15/09/2022
8	05/10/2022	06/10/2022
9	02/11/2022	03/11/2022
10	15/11/2022	16/11/2022
11	06/12/2022	07/12/2002
12	28/12/2022	29/12/2022



**OFB**  
OFFICE FRANÇAIS  
DE LA BIODIVERSITÉ



# TransPhyt

Méthode d'évaluation de l'état écologique  
basée sur le phytoplancton des masses  
d'eau de transition de La Réunion  
&  
Pertinence de l'élément de qualité  
biologique « diatomées »

- Rapport d'étape 4 : Premiers constats d'interprétation des résultats. Validation de la pertinence du suivi par les diatomées



## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>1- Diatomées</b> .....	<b>4</b>
1.1- Pertinence du suivi du compartiment diatomée.....	4
1.2- Principaux résultats.....	5
<b>2- Phytoplancton</b> .....	<b>13</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>22</b>

## TABLEAUX

Tableau 1 : Richesse spécifique & équitabilité .....	5
Tableau 2 : Taxons indicateurs de chaque groupe par la méthode IndVal .....	9
Tableau 3 : Principaux taxons indicateurs en combinant les différents groupes entre eux — méthode Multipatt.....	10
Tableau 4 : Dates des prélèvements réalisés en 2021 .....	13
Tableau 5 : Taxons indicateurs principaux en combinant les différents groupes entre eux — méthode Multipatt.....	21

## FIGURES

Figure 1 : Résultat de l'arbre de régression multivariable appliquée aux données azote et phosphore et aux inventaires diatomiques. Les seuils sont indiqués en bleu. ....	6
Figure 2 : Répartition selon les différents groupes de l'ARM de la concentration en azote total .....	7
Figure 3 : Répartition selon les différents groupes de l'ARM de la concentration en ammonium, en nitrates et en phosphore total .....	8
Figure 4 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur le Petit Etang de Saint-André lors des différentes sorties — unité : biovolume (mm <sup>3</sup> /L).....	14
Figure 5 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station GA de l'Etang du Gol lors des différentes sorties — unité : biovolume (mm <sup>3</sup> /L).....	14
Figure 6 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station GB de l'Etang du Gol lors des différentes sorties — unité : biovolume (mm <sup>3</sup> /L).....	15
Figure 7 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station GC de l'Etang du Gol lors des différentes sorties — unité : biovolume (mm <sup>3</sup> /L).....	15
Figure 8 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station PA de l'Etang de Saint Paul lors des différentes sorties — unité : biovolume (mm <sup>3</sup> /L) .....	16

Figure 9 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station PB de l'Étang de Saint Paul lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) .....	16
Figure 10 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station PB de l'Étang de Saint Paul lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) .....	17
Figure 11 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station S du bocage de la Rivière Sainte-Suzanne lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ).....	17
Figure 12 : Arbre de régression multivariable phytoplancton/Azote-Phosphore.....	18
Figure 13 : Répartition des prélèvements dans les différents groupes .....	19
Figure 14 : Répartition selon les groupes des paramètres retenus par l'ARM.....	20

## Introduction

Ce programme de recherche et développement répond aux besoins de disposer de méthodes d'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition à La Réunion.

Cette étude comporte deux principaux volets :

- la caractérisation du compartiment « phytoplancton » pour le développement d'un outil indiciel à fin d'évaluation de la qualité biologique des masses d'eau de transition, couplant approches biologiques et descripteurs de la qualité physico-chimique ;
- la faisabilité de l'utilisation des populations de « diatomées » pour le développement d'un outil indiciel.

Suite au premier rapport qui s'attachait à décrire le contexte de l'étude et présentait le matériel et méthodes ainsi que les inventaires effectués, celui-ci tente de répondre à la question de la pertinence de l'utilisation des diatomées comme élément de qualité pour les eaux de transition de La Réunion ainsi que la présentation des premiers résultats pour les deux compartiments biologiques suivis, diatomées et phytoplancton.

Un contrat de recherche a été signé entre MicPhyc, OCEA consult', Artémis et l'Office Français de la Biodiversité le 29 décembre 2020. Une convention de recherche a aussi été signée entre les intervenants et l'Office de L'Eau de La Réunion le 1<sup>er</sup> juin 2021.



# 1- Diatomées

## 1.1- Pertinence du suivi du compartiment diatomée

Pour rappel, le choix d'installer des supports artificiels (« diatomètres » ou cordes) a été guidé par la rareté des substrats naturels sur les sites étudiés. Le biofilm est ensuite traité en suivant le protocole IDR (Eulin et al. 2018) pour confectionner des lames observables au microscope pour inventaire. Les inventaires utilisés pour les différents traitements statistiques sont annexés au rapport d'avancement précédent.

Les diatomées sont reconnues comme de bons bio-indicateurs qui répondent à différentes exigences (Round 1993, Coste 1994, Hürlimann J. et Niederhäuser P. 2007).

Différents points sont listés ci-dessous quant à la pertinence du suivi par les diatomées des eaux de transition prospectée à La Réunion :

- **L'échantillonnage**, comme indiqué, s'effectue sur substrat artificiel. Les substrats utilisés sont inertes. Il reste simple à mettre en œuvre, mais nécessite néanmoins l'installation d'une station (bouée ou autres) qui doit rester un certain laps de temps dans le milieu. Selon la localisation, certains problèmes peuvent intervenir comme le vol ou la difficulté à l'atteindre (macrophytes envahissants). Ces difficultés doivent être prises en compte pour le choix du positionnement de la station sur le site.
- La **conservation** de l'échantillon, **l'élaboration des lames d'observation** et leur **archivage** suivent un protocole déjà existant et ayant déjà fait ses preuves (méthode standardisée). Les lames fabriquées dans le cadre de ce suivi présentent une bonne qualité d'observation microscopique, notamment par l'utilisation de substrats artificiels vierge au début de la colonisation. Le nombre de diatomées dans les échantillons permet une fabrication aisée des lames d'observation. De plus, les lames fabriquées offrent la possibilité d'obtenir des **enregistrements permanents** pour chaque échantillon.
- La **répartition des diatomées** dans le milieu étudié est aussi à prendre en compte. La colonisation des substrats artificiels installés s'est faite facilement et la quantité de matériel biologique prélevé a toujours été abondante tout au long de la première année de suivi et sur toutes les stations suivies même les plus polluées. Le nombre de cellules par unité de surface de substrat est énorme, ce qui rend l'évaluation des comptages aléatoires au microscope excellente.

- La technique de **comptage au microscope** reste la même que celle utilisée dans le cadre de l’IDR (Eulin et al. 2018).
- Le **cycle cellulaire des diatomées est rapide** et répond donc rapidement aux possibles perturbations.
- La possibilité de connaître les **réactions aux modifications environnementales** et de les quantifier ce qui fait partie de l’un des objectifs de cette étude et qui est développé dans la suite de ce document. De plus, si le diagnostic de la qualité de l’eau est pertinent, il l’est pour un **coût** restant modeste, ce qui se traduit par un bon rapport qualité/prix.

## 1.2- Principaux résultats

Les substrats artificiels utilisés ont donné satisfaction. Les lames en verre permettent, par rapport aux cordes, une approche de la densité de colonisation par les diatomées. Les diatomètres installés comportaient 12 lames et au regard de la quantité de matériel biologique prélevée dans l’avenir 6 lames suffiront largement à la confection des lames d’observation. Les inventaires diatomiques indiquent que les différents supports utilisés restent comparables.

La richesse spécifique et l’équitabilité restent d’un niveau moyen en général, mais correspondent à ce qui est retrouvé habituellement à La Réunion (tab. 1) dans les eaux courantes.

Station	Etang du Gol			Etang de St Paul			Bocage Ste Suzanne	Petit Etang St André
	GA	GB	GC	PA	PB	PC	S	A
Richesse spécifique (médiane)	16	16	17	23	20	17	26	15
Equitabilité (médiane)	0,72	0,75	0,59	0,63	0,51	0,53	0,70	0,54

*Tableau 1 : Richesse spécifique & équitabilité*

L’objectif est d’utiliser les diatomées pour indiquer la qualité de l’eau et de possibles perturbations. Dans ce but, la relation entre les paramètres azote et phosphore a été recherchée. L’objectif ici est de synthétiser l’information en croisant les données physico-chimiques avec les inventaires diatomiques. La matrice des données biotiques est constituée par les inventaires diatomiques. La matrice des données abiotiques est construite à partir des valeurs des données concernant l’azote et le phosphore. Chaque diatomètre ayant passé un certain laps de temps dans la colonne d’eau, les données azote et phosphore mesurées à chaque relevé ont été moyennées selon le diatomètre

considéré (et donc l'inventaire diatomique lié). Par exemple l'inventaire GA6B, installé lors de la sortie 4 et relevé à la sortie 6, a été mis en relation avec la physico-chimie relevée aux sorties 4, 5 et 6 qui correspondent à son temps passé dans le milieu.

A partir du pool de données, une première approche statistique a été menée à l'aide du logiciel R (R core Team 2021). La méthode statistique employée construit un arbre « de décision » qui explique le mieux la répartition des différentes stations selon les inventaires ET la physico-chimie. La méthode appliquée est basée sur la construction d'un **arbre de régression multivariable** (ARM) (De'ath 2002). Le package mvpart a été utilisé (De'ath 2012).

L'arbre qui explique le mieux la répartition des diatomées relevées par rapport à la physico-chimie (azote et phosphore) donne **cinq groupes**. Le paramètre chimique qui sépare le mieux les cortèges diatomiques inventoriés est l'azote total suivi par l'ammonium et les nitrates et ensuite le phosphore total (figure 1).

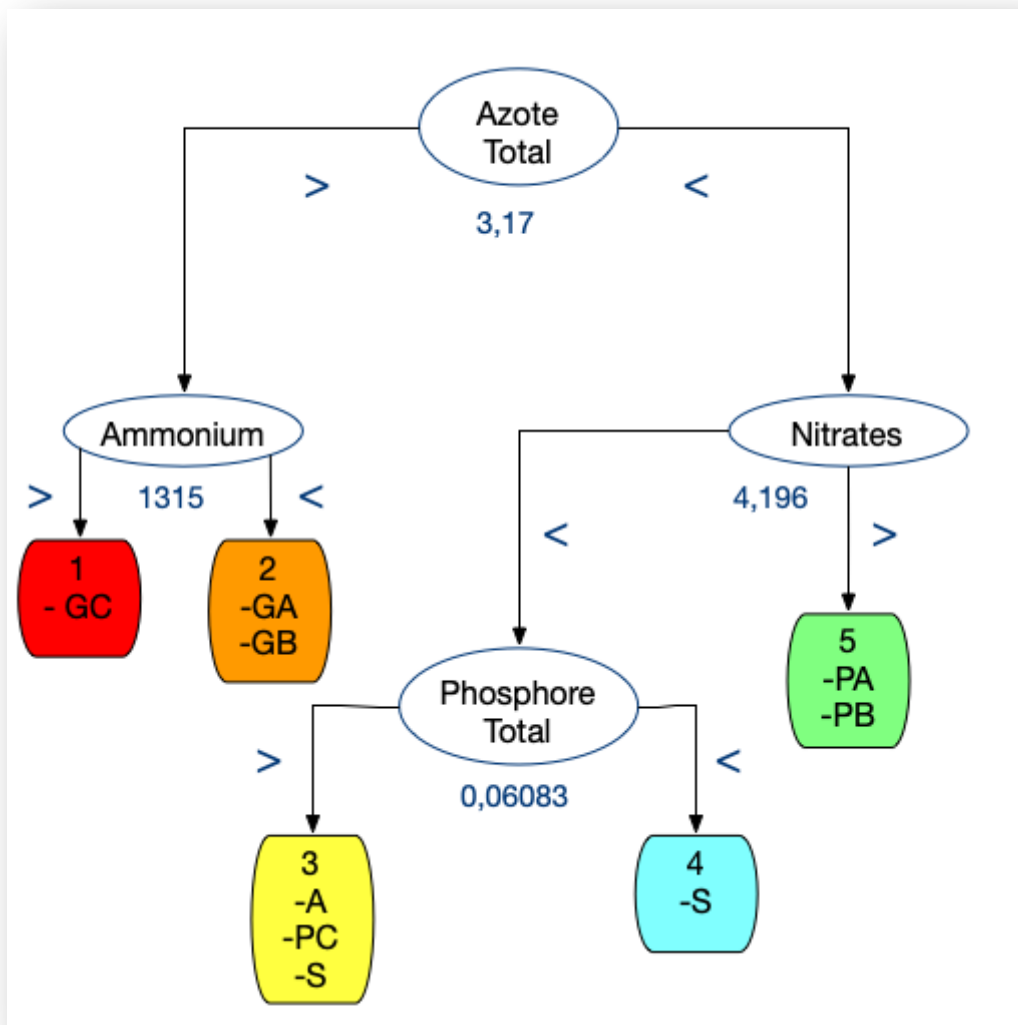
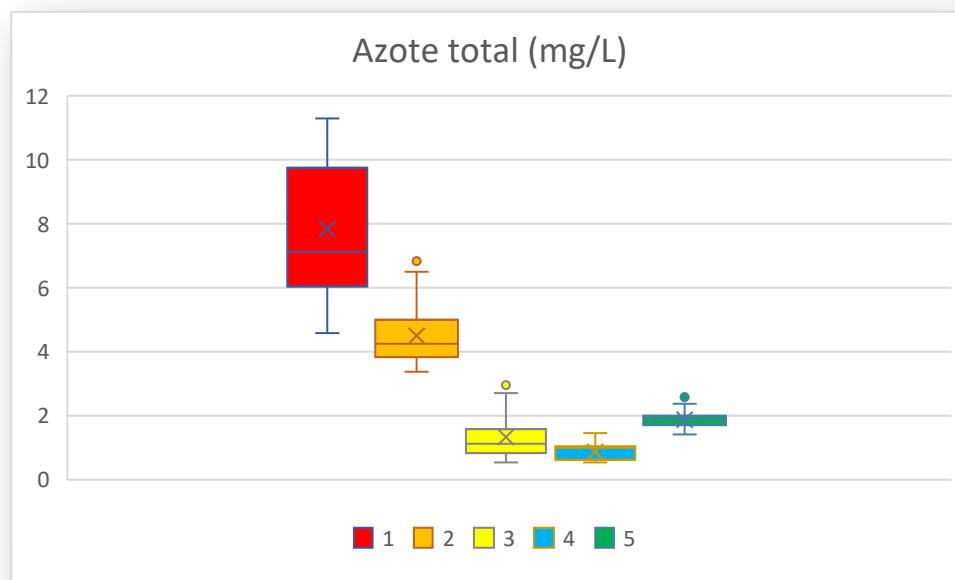


Figure 1 : Résultat de l'arbre de régression multivariable appliquée aux données azote et phosphore et aux inventaires diatomiques. Les seuils sont indiqués en bleu.

La première remarque est que généralement les différentes stations d'un même site se rassemblent entre elles, ce qui peut s'expliquer par une similarité élevée entre les différents inventaires et par conséquent avec la physico-chimie associée. Le groupe 1 rassemble l'ensemble des stations de la station GC, le groupe 2 l'ensemble des stations GA et GB, le groupe 3 l'ensemble des stations A et PC, le groupe 5 l'ensemble des stations PA et PB. Seules les stations sur la rivière Sainte-Suzanne se retrouvent séparées dans les deux groupes 3 et 4, ce qui peut s'expliquer notamment par des inventaires diatomiques qui s'éloignent entre eux durant deux périodes. Ceux du groupe 4 regroupent les diatomètres relevés entre début août et début octobre.

La distribution des valeurs des paramètres retenus par l'ARM est figurée par des boxplots selon les différents groupes résultants. (fig. 2 et 3)



*Figure 2 : Répartition selon les différents groupes de l'ARM de la concentration en azote total*

Cette représentation traduit bien la première séparation de l'arbre de décision avec les stations du Gol (groupe 1 et 2) présentant une concentration en azote total plus élevée que les autres plans d'eau (seuil retenu par l'analyse 3,17 mg/L).

Les boxplots suivants (figure 3) retranscrivent de la même manière les différentes séparations en groupe de l'analyse pour les autres paramètres retenus.



Figure 3 : Répartition selon les différents groupes de l'ARM de la concentration en ammonium, en nitrates et en phosphore total

Suite à cette première analyse, la recherche de taxons bio-indicateurs caractéristiques pour chaque groupe défini a été menée. A partir des différents groupes de l'ARM, la méthode **IndVal** (Dufrêne & Legendre 1997) a été appliquée. Une espèce sera d'autant plus indicatrice qu'elle appartient à un seul groupe (spécificité=A) et si elle est présente sur les sites de ce groupe (fidélité=B) (Tab. 2). Ces analyses ont été menées en utilisant le package *indicspecies* sous R (De Cáceres & Legendre 2009).

<b>Groupe 1</b>			<b>Groupe 4</b>		
Taxons	A : spécificité	B : fidélité	Taxons	A : spécificité	B : fidélité
<i>Gomphonema contraturris</i>	0,988	0,846	<i>Diploneis cf. puella</i>	0,862	0,857
<i>Nitzschia palea</i>	0,618	1,000	<i>Planothidium biporumum</i>	0,821	0,857
<i>Nitzschia inconspicua</i>	0,618	1,000	<i>Chamaepinnularia sp. 4 aff. hippodontiforma</i>	0,849	0,786
<i>Navicula sp. 8</i>	0,698	0,615	<i>Actinocyclus sp. 1</i>	0,768	0,857
<i>Fallacia meridionalis</i>	0,485	0,846	<i>Nitzschia clausii</i>	0,705	0,929
<i>Gomphonema parvulum</i>	0,541	0,615	<i>Planothidium robustius</i>	0,977	0,571
<i>Craticula molestiformis</i>	0,878	0,308	<i>Discostella pseudostelligera</i>	0,689	0,786
			<i>Cymbella sp. 7</i>	0,771	0,571
<b>Groupe 2</b>			<b>Groupe 5</b>		
Taxons	A : spécificité	B : fidélité	Taxons	A : spécificité	B : fidélité
<i>Seminavis.strigosa</i>	0,721	1,000	<i>Eunotia cf. incisa</i>	0,514	0,786
<i>Navicula sp. 3</i>	0,666	0,925	<i>Achnanthydium subhudsonis</i>	0,897	0,429
<i>Staurasira pinnata</i>	0,841	0,725	<i>Nitzschia obtusa</i>	0,738	0,500
<i>Amphora sp. 3</i>	0,720	0,750	<i>Eunotia sp. 1</i>	0,409	0,857
<i>Planothidium delicatulum</i>	0,525	0,900	<i>Achnanthes inflata</i>	0,766	0,429
<i>Achnanthydium sp. 4</i>	0,991	0,475	<i>Fragilaria sp. 3</i>	0,901	0,357
<i>Cyclotella.meneghiniana</i>	0,445	0,975	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	0,879	0,357
<i>Nitzschia microcephala</i>	0,516	0,800	<i>Tryblionella debilis</i>	0,984	0,286
<i>Gomphosphenia oahuensis</i>	0,991	0,325			
<i>Navicula salinicola</i>	0,451	0,700			
<i>Halamphora ghanensis</i>	0,533	0,550			
<b>Groupe 3</b>					
Taxons	A : spécificité	B : fidélité			
<i>Achnanthydium eutrophilum</i>	0,835	0,979	<i>Eolimna minima</i>	0,830	0,971
<i>Encyonema mesianum</i>	0,816	0,583	<i>Placoneis symmetrica</i>	0,858	0,829
<i>Achnanthydium exiguum</i>	0,877	0,542	<i>Nitzschia amphibia</i>	0,666	1,000
<i>Cocconeis placentula var.euglypta</i>	0,492	0,875	<i>Navicula gregaria</i>	0,955	0,686
<i>Ulnaria biceps</i>	0,488	0,646	<i>Tabularia tabulata</i>	0,870	0,629
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	1,000	0,292	<i>Lemnicola hungarica</i>	0,490	0,943
			<i>Diadsmis confervacea</i>	0,514	0,857
			<i>Sellaphora seminulum</i>	0,841	0,429
			<i>Planothidium lanceolatum</i>	0,828	0,429
			<i>Cymbella tumida</i>	1,000	0,314
			<i>Gomphonema cf.clavatum</i>	0,848	0,343

Tableau 2 : Taxons indicateurs de chaque groupe par la méthode *IndVal*

Une classification des sites peut être jugée trop rigide pour indiquer les préférences de niches des espèces du groupe. Ainsi, certaines sont inféodées à un groupe alors que d'autres peuvent être associées à plusieurs groupes. Une autre analyse des espèces bio-indicatrices peut être menée en considérant l'ensemble des combinaisons possibles entre les groupes de sites et ainsi pouvoir sélectionner la combinaison pour laquelle certaines espèces seront de meilleures indicatrices (De Cáceres 2010). Cette méthode (Multipatt) prend en compte le fait que la taille de la niche écologique varie selon les espèces (Tsiripidis et al. 2009). Cette méthode considère toute la structure de la classification du niveau le plus élevé jusqu'aux groupes finaux. Pour chaque espèce, la combinaison qui sera retenue et testée, avec une signification statistique, est celle qui a l'association la plus forte (Tab. 3).



4 Groupes combinés			
Groupes 1 + 2 + 4 + 5	<i>Diadsmis confervacea</i>	0,970	0,509
Groupes 1 + 3 + 4 + 5	<i>Nitzschia inconspicua</i>	0,967	0,922
Groupes 1 + 2 + 3 + 5	<i>Planothidium delicatulum</i>	0,959	0,618
3 Groupes combinés			
Groupes 3 + 4 + 5	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	0,992	0,814
	<i>Ulnaria biceps</i>	0,989	0,608
	<i>Eunotia</i> sp. 1	1,000	0,546
	<i>Sellaphora pupula</i>	0,965	0,443
Groupes 1 + 4 + 5	<i>Lemnicola hungarica</i>	0,871	0,871
Groupes 1 + 2 + 5	<i>Halamphora ghanensis</i>	1,000	0,625
Groupes 1 + 2 + 4	<i>Seminavis strigosa</i>	0,934	0,955
	<i>Fallacia meridionalis</i>	0,958	0,776
	<i>Gomphonema parvulum</i>	0,931	0,418
	<i>Tryblionella apiculata</i>	0,927	0,284
Groupes 1 + 2 + 3	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0,963	0,891
2 Groupes combinés			
Groupes 4 + 5	<i>Eunotia</i> cf. <i>incisa</i>	0,885	0,898
	<i>Achnanthes inflata</i>	0,986	0,367
	<i>Amphora copulata</i>	0,869	0,327
Groupes 3 + 5	<i>Nitzschia amphibia</i>	0,933	0,880
	<i>Achnanthidium exiguum</i> var. <i>constrictum</i>	0,972	0,301
Groupes 3 + 4	<i>Achnanthidium eutrophilum</i>	0,929	0,919
	<i>Discostella pseudostelligera</i>	0,987	0,807
	<i>Encyonema mesianum</i>	0,975	0,532
Groupes 1 + 5	<i>Nitzschia palea</i>	0,792	0,792
Groupes 1 + 4	<i>Navicula cryptocephala</i>	0,793	0,444
Groupes 1 + 2	<i>Navicula</i> sp. 3	0,995	0,906
	<i>Nitzschia microcephala</i>	0,942	0,793
	<i>Amphora</i> sp. 3	0,982	0,679
	<i>Navicula salinicola</i>	0,872	0,660
	<i>Tryblionella levidensis</i>	0,995	0,415
	<i>Cyclotella atomus</i>	1,000	0,264

Tableau 3 : Principaux taxons indicateurs en combinant les différents groupes entre eux — méthode Multipatt

1 groupe			
Groupe 5	<i>Eolimna minima</i>	0,830	0,971
	<i>Placoneis symmetrica</i>	0,858	0,829
	<i>Navicula gregaria</i>	0,955	0,686
	<i>Tabularia tabulata</i>	0,870	0,629
	<i>Sellaphora seminulum</i>	0,841	0,429
	<i>Planothidium lanceolatum</i>	0,828	0,429
	<i>Cymbella tumida</i>	1,000	0,314
	<i>Gomphonema cf. clavatum</i>	0,848	0,343
	Groupe 4	<i>Diploneis cf. puella</i>	0,862
<i>Planothidium biporumum</i>		0,821	0,857
<i>Chamaepinnularia sp. 4 aff. hippodontiforma</i>		0,849	0,786
<i>Actinocyclus sp. 1</i>		0,768	0,857
<i>Nitzschia clausii</i>		0,705	0,929
<i>Planothidium robustius</i>		0,977	0,571
<i>Cymbella sp. 7</i>		0,771	0,571
<i>Rhopalodia sp. 1</i>		0,951	0,429
<i>Achnantheidium subhudsonis</i>		0,897	0,429
<i>Nitzschia obtusa</i>		0,738	0,500
<i>Fragilaria sp. 3</i>		0,901	0,357
<i>Gyrosigma acuminatum</i>		0,879	0,357
<i>Tryblionella debilis</i>		0,984	0,286
Groupe 3		<i>Achnantheidium exiguum</i>	0,877
	<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	1,000	0,292
Groupe 2	<i>Staurosira pinnata</i>	0,841	0,725
	<i>Achnantheidium sp. 4</i>	0,991	0,475
	<i>Gomphosphenia oahuensis</i>	0,991	0,325
Groupe 1	<i>Gomphonema contraturris</i>	0,988	0,846
	<i>Navicula sp. 8</i>	0,698	0,615
	<i>Craticula molestiformis</i>	0,878	0,308

Tableau 3 (suite) : Principaux taxons indicateurs en combinant les différents groupes entre eux — méthode Multipatt

Cette dernière analyse permet de confirmer la pertinence de l'utilisation des diatomées comme bio-indicatrice des eaux de transition étudiées et aussi de comparer les différents sites entre eux en effet certaines espèces sont des indicatrices de plusieurs groupes.

Cette première approche a permis de confirmer que l'utilisation des diatomées pour le diagnostic des eaux de transition de La Réunion est pertinente. La facilité de mise en place et de collecte, l'obtention de matériel d'observation et de comptage à partir

de méthodes éprouvées, la relation avec la qualité de l'eau concernant notamment le phosphore et l'azote de différentes espèces qui peuvent se retrouver sur différents sites. Il est évident que d'autres analyses statistiques peuvent être nécessaires pour préciser l'écologie des diatomées relevées permettant de mieux caractériser le milieu. La quantité de matériel biologique prélevé ainsi que la composition des inventaires permet de s'orienter vers un temps de résidence des supports dans l'eau de six semaines. En effet, il ne semble pas avoir d'intérêt que les substrats restent plus longtemps dans le milieu et cela permettra de limiter certaines déconvenues comme le décrochage de diatomètres, le vol ou l'envahissement par les macrophytes sur certaines stations. La similarité assez forte entre les inventaires d'une même station retracée par le regroupement des stations entre elles permet aussi d'envisager entre un et deux prélèvements par an. Un en fin d'année, fin novembre-début décembre où les valeurs en azote total sont les plus élevées (durant la période d'étude) auquel pourrait venir s'ajouter un prélèvement supplémentaire en août-septembre (séparation groupe 3 et 4).

## 2- Phytoplancton

Le tableau 4 récapitule les dates de prélèvements réalisés en 2021

Sortie	Dates 2021	
1	21-23	avril
2	05-06	mai
3	02-03	juin
4	23-24	juin
5	15-16	juillet
6	04-05	août

Sortie	Dates 2021	
7	25-26	août
8	14-15	septembre
9	05-06	octobre
10	27-28	octobre
11	17-18	novembre
12	08-09	décembre

Tableau 4 : Dates des prélèvements réalisés en 2021

Les différentes figures (fig. 4 à 11) représentent la répartition par station des embranchements en biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) au cours des différentes sorties.

Les embranchements rencontrés sont :

- Les *Bacillariophyta* ou diatomées dont les plus courantes sont des genres *Nitzschia* et *Cyclotella*
- Les *Charophyta* très peu représentées (exemple : genre *Spirogyra*)
- Les *Chlorophyta* dont les plus courantes appartiennent aux genres *Chlorella*, *Monoraphidium* et *Chlamydomonas*
- Les *Cryptophyta* dont les plus courantes ont pour genres *Cryptomonas*, *Chroomonas* et *Rhodomonas*
- Les *Cyanobacteria* dont les plus courantes sont des genres *Aphanocapsa* et *Cyanobium*
- Les *Euglenozoa* dont les plus courantes appartiennent aux genres *Euglena* et *Lepocinclis*
- Les *Miozoa* dont les plus courantes sont des ordres *Gymnodiales* ou *Peridinales*
- Les *Ochrophyta* dont les plus courantes sont des genres *Ochromonas* et *Mallomonas*

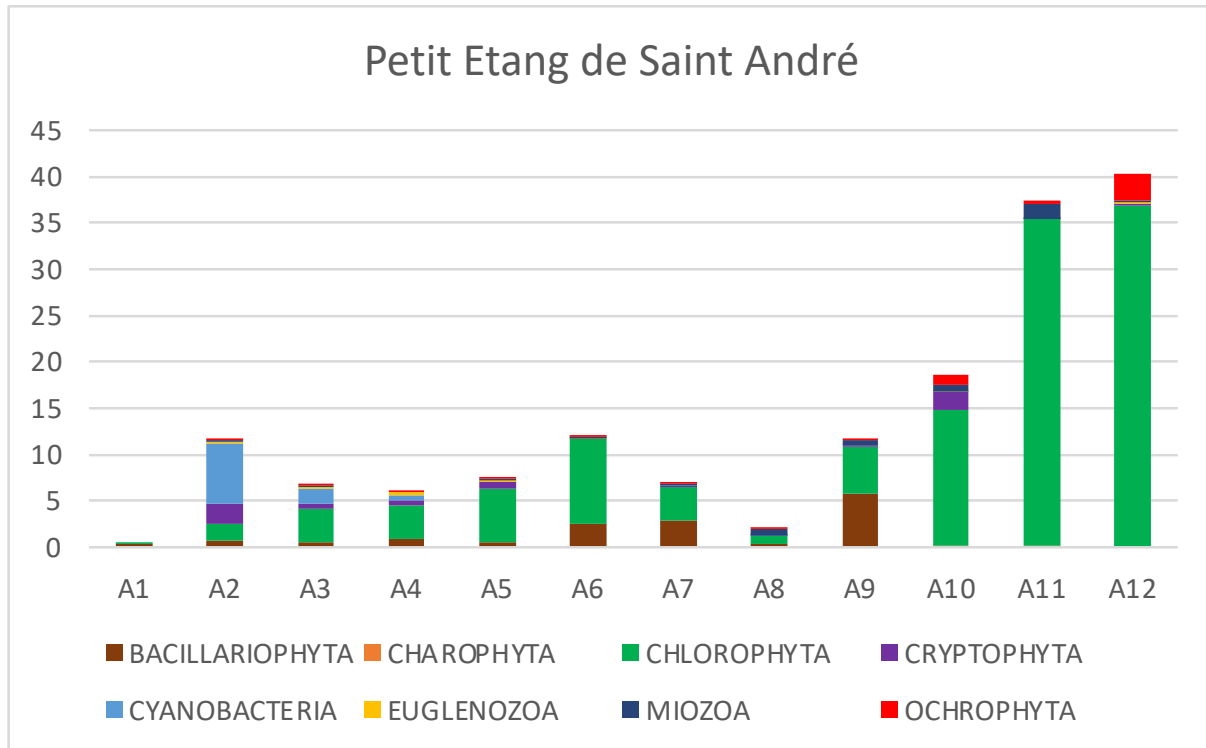


Figure 4 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur le Petit Etang de Saint-André lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )

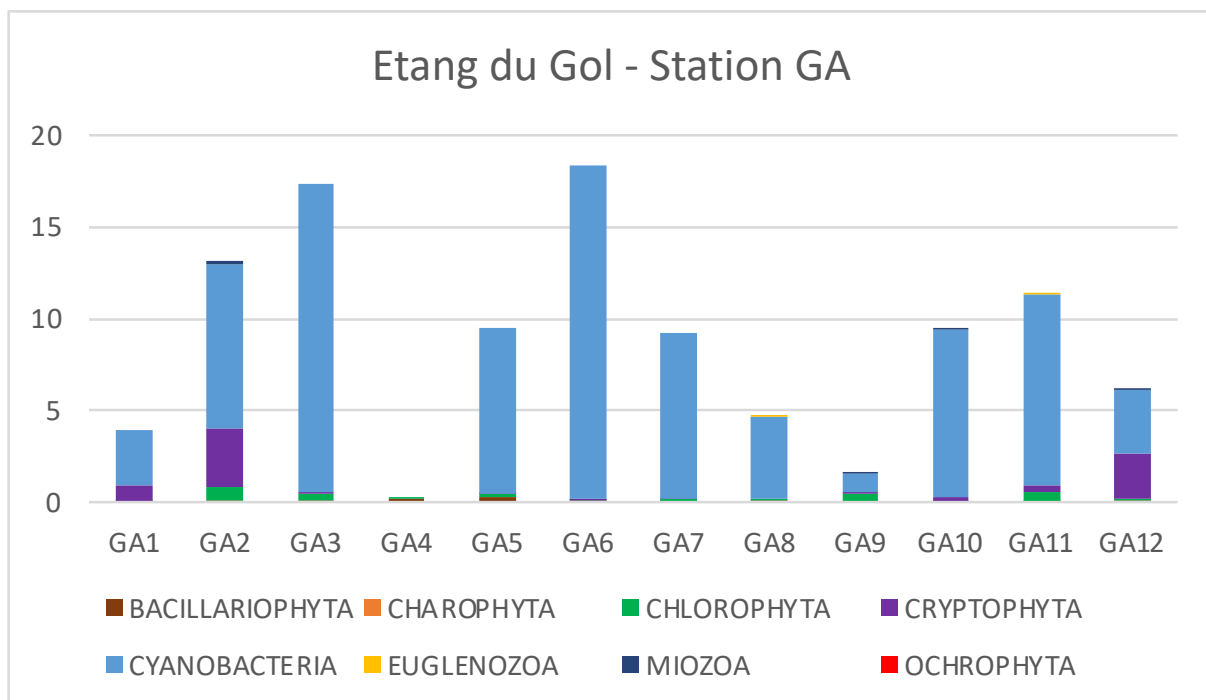


Figure 5 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station GA de l'Etang du Gol lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )

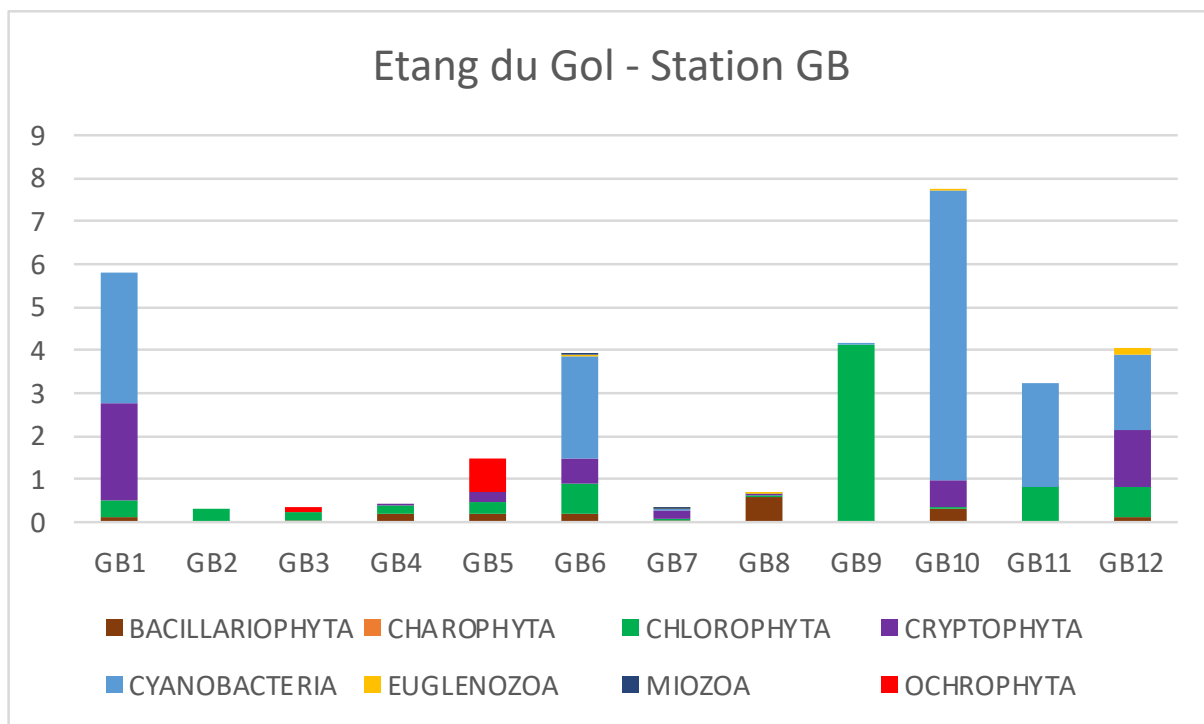


Figure 6 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station GB de l'Etang du Gol lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )

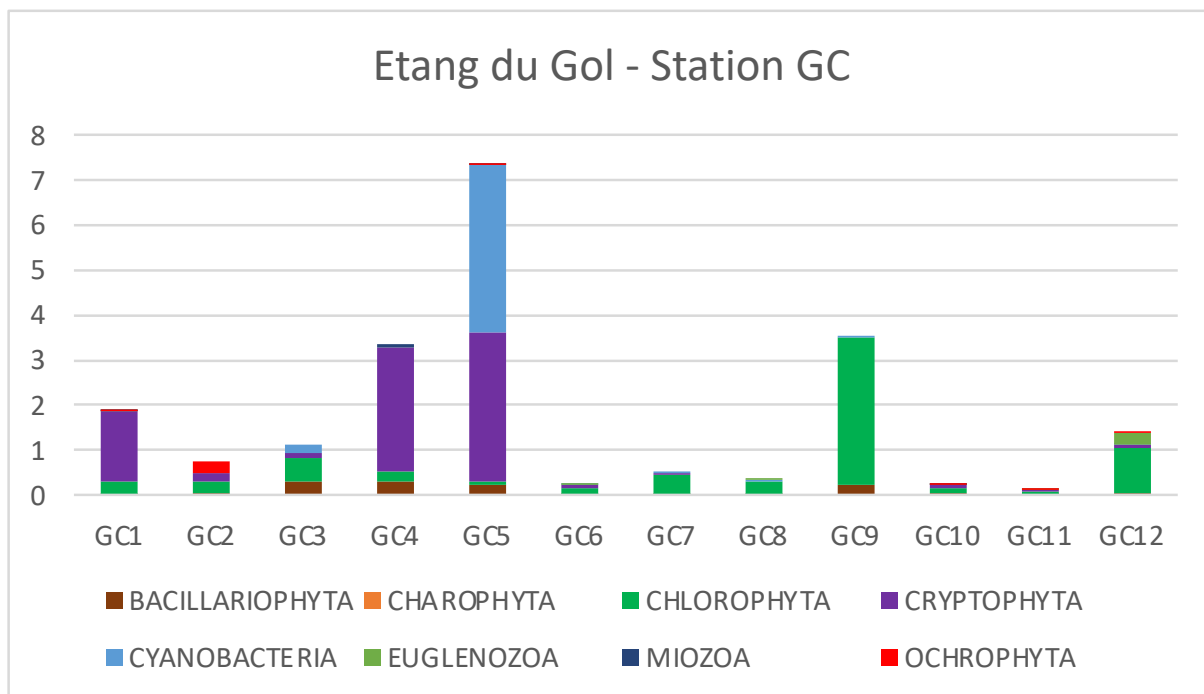


Figure 7 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station GC de l'Etang du Gol lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )



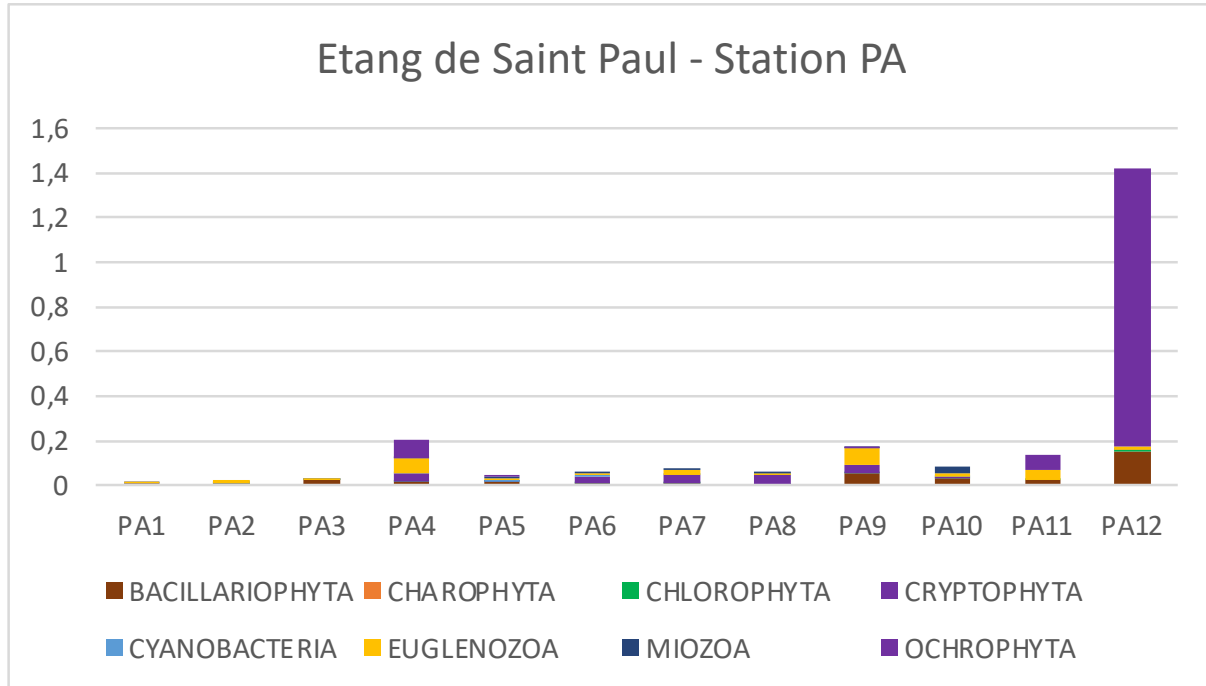


Figure 8 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station PA de l'Etang de Saint Paul lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )

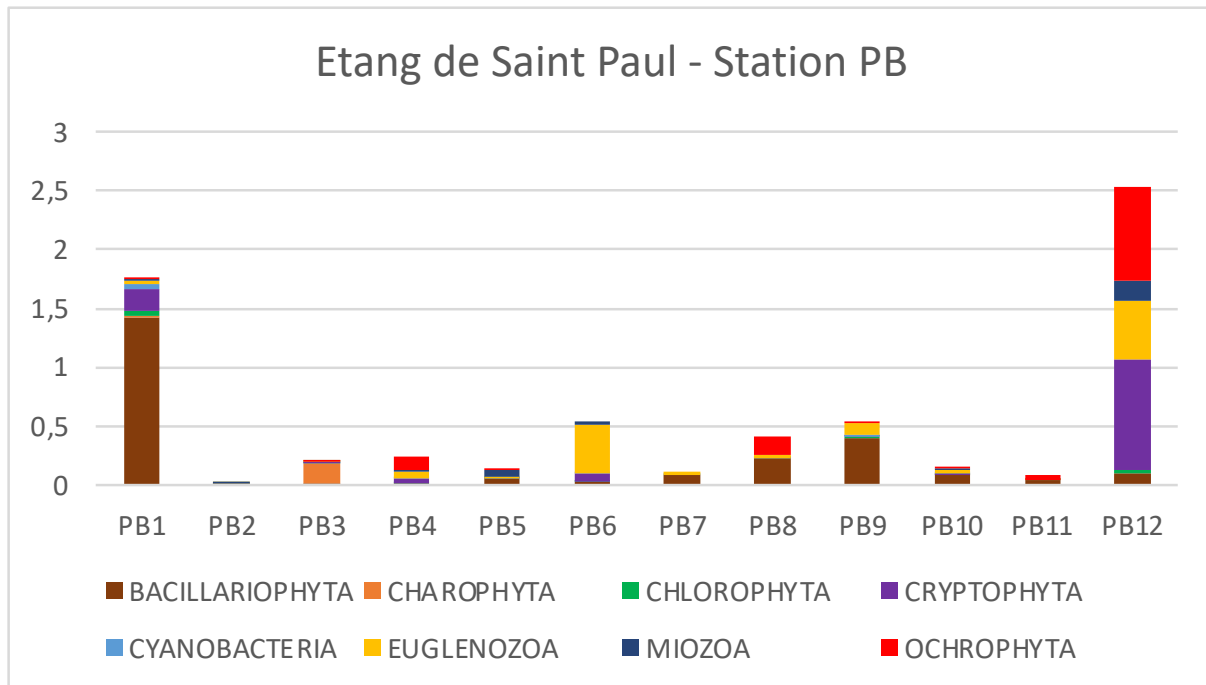


Figure 9 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station PB de l'Etang de Saint Paul lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )

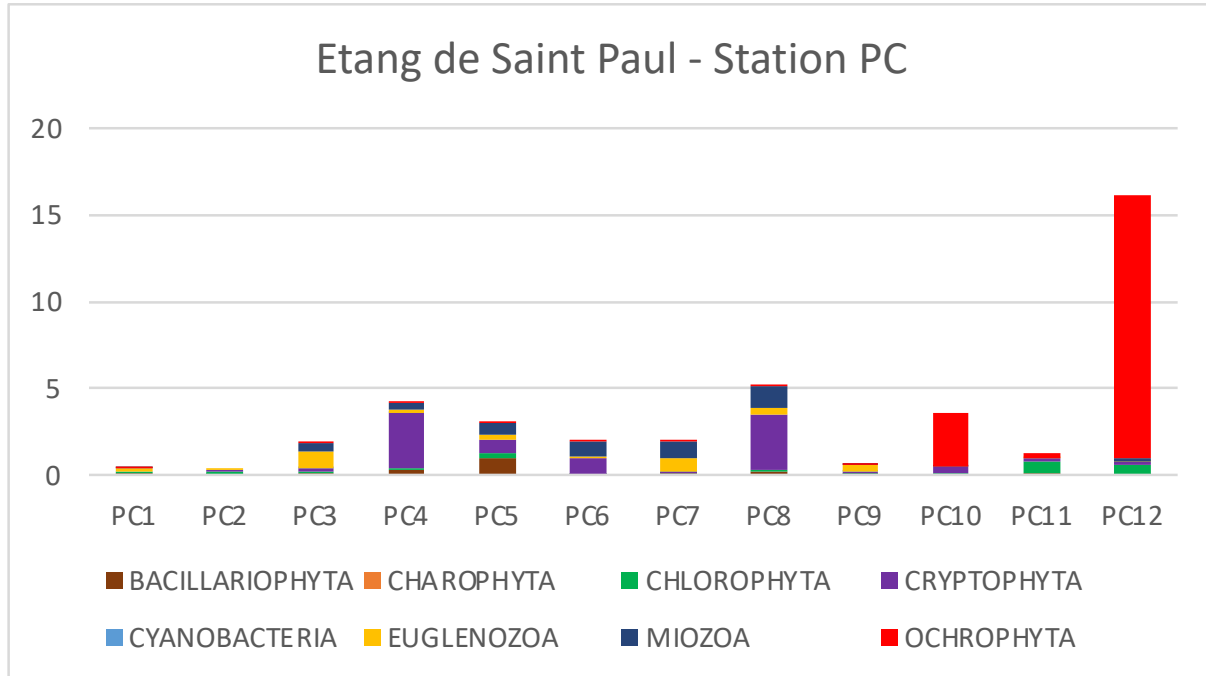


Figure 10 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station PB de l'Etang de Saint Paul lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )

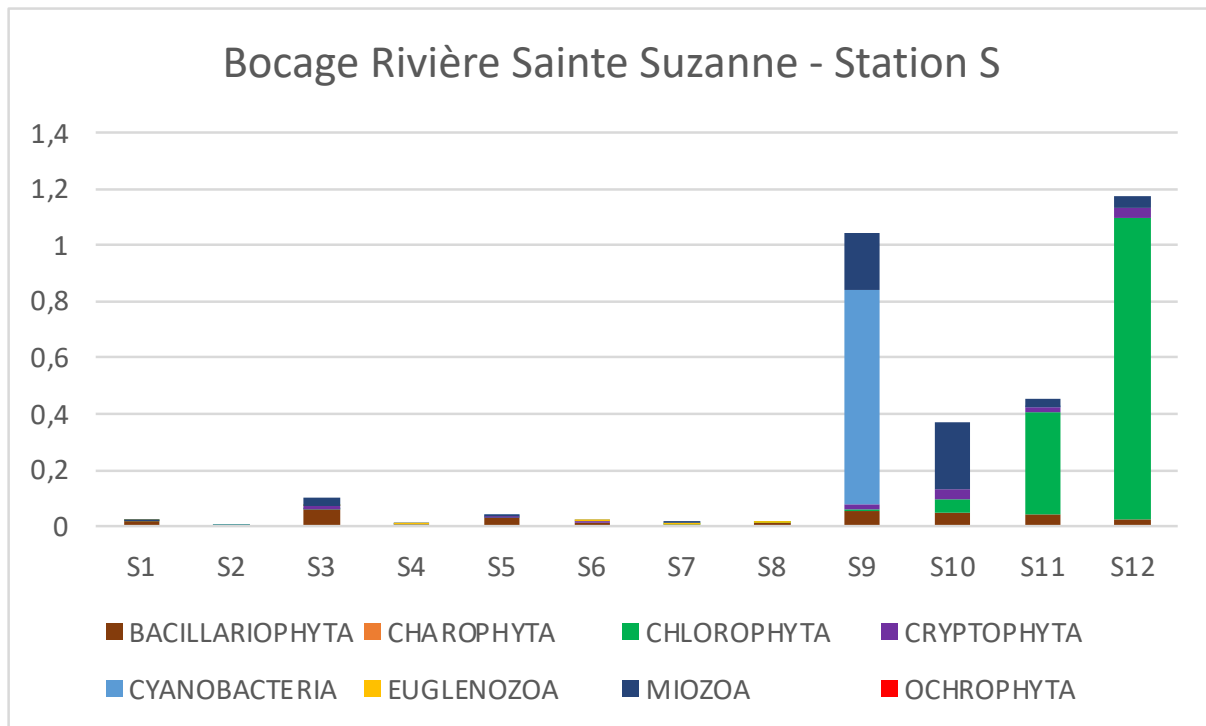


Figure 11 : Répartition des embranchements de phytoplancton sur la station S du bocage de la Rivière Sainte-Suzanne lors des différentes sorties — unité : biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ )

La répartition par embranchement, et par conséquent à des niveaux taxinomiques plus bas, montre une variation importante de la composition des cortèges récoltés sur chaque station lors des différentes sorties, un peu moins marquée sur le Petit Etang de Saint-André et la station GA du Gol. Les variations en biovolume sont aussi assez importantes entre les sorties qui ne sont pourtant espacées que d'environ trois semaines.

Un arbre de régression multivariable est construit à partir des données physico-chimiques (azote et phosphore) et la matrice inventaire (fig. 12).

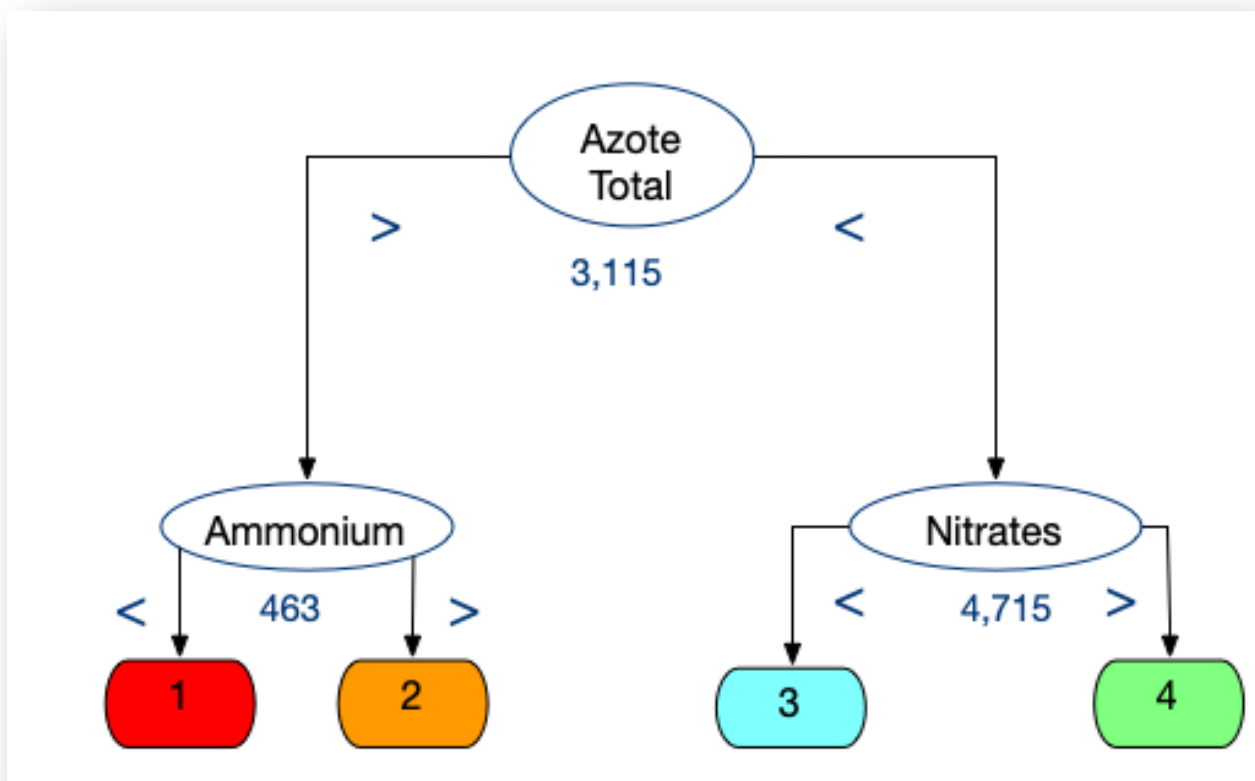


Figure 12 : Arbre de régression multivariable phytoplankton/Azote-Phosphore

L'arbre retenu aboutit à quatre groupes. La séparation principale est faite par l'azote total. Pour pratiquement toutes les sorties, les stations du Gol se retrouvent dans le groupe 1 et 2 où la concentration en azote total est supérieure à 3,115 mg/L. Ces deux groupes se séparent par la concentration en ammonium qui se retrouve en concentration plus élevée pour la plupart des sorties sur GC et quelques-unes de GB de mi-juillet à mi-septembre 2021. Le groupe 4 est composé pour sa part en majorité par les stations « amont » de l'Etang de Saint Paul caractérisées par une concentration

en nitrates plus élevée que celles du groupe 3. La répartition des prélèvements selon les groupes est illustrée par la figure 13.

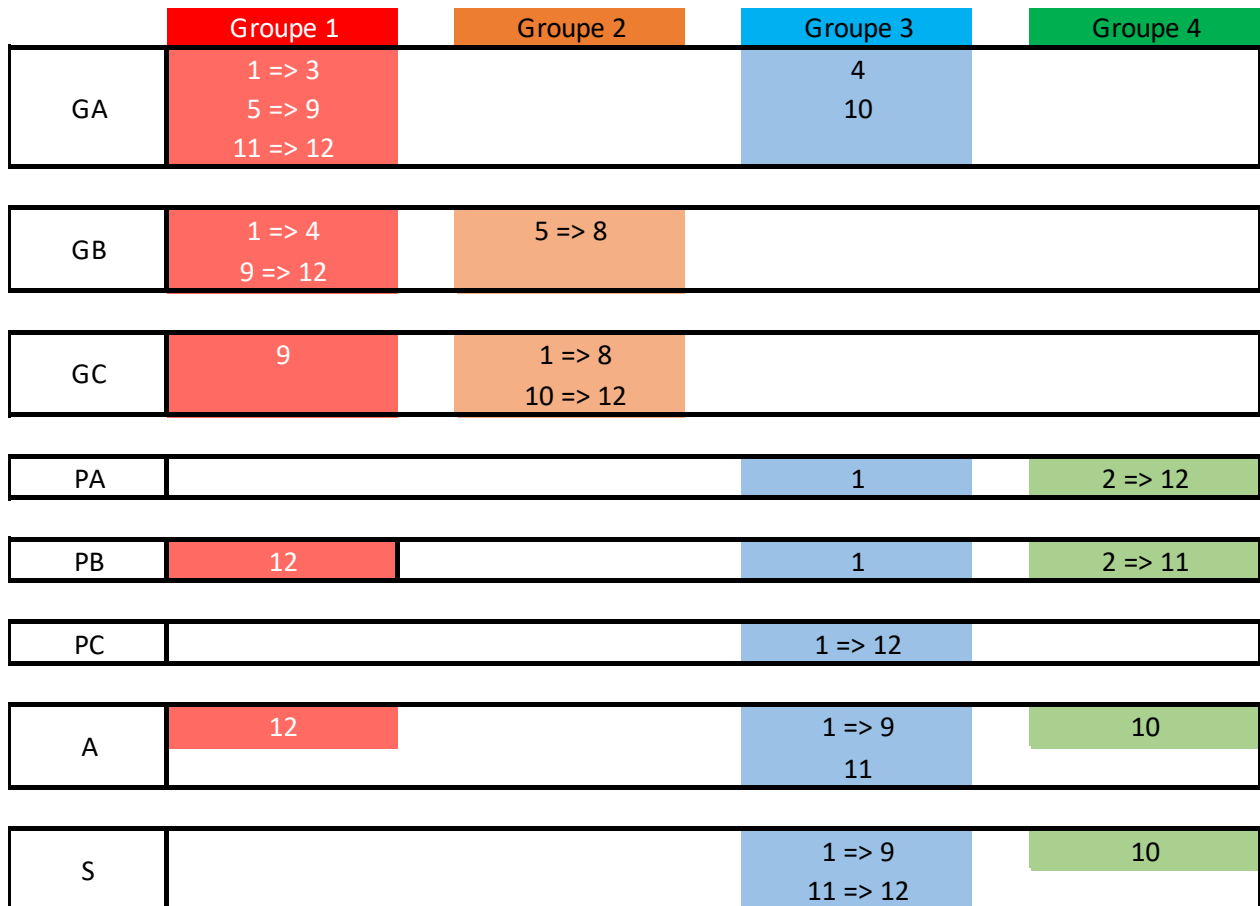


Figure 13 : Répartition des prélèvements dans les différents groupes

Des boxplots (fig. 14) illustrent la distribution des différents paramètres retenus par l'arbre de régression multivariable choisi.

Une recherche des IndVal Multipatt est menée en considérant l'ensemble des combinaisons possibles entre les groupes de sites et ainsi pouvoir sélectionner la combinaison pour laquelle certaines espèces seront les meilleures indicatrices

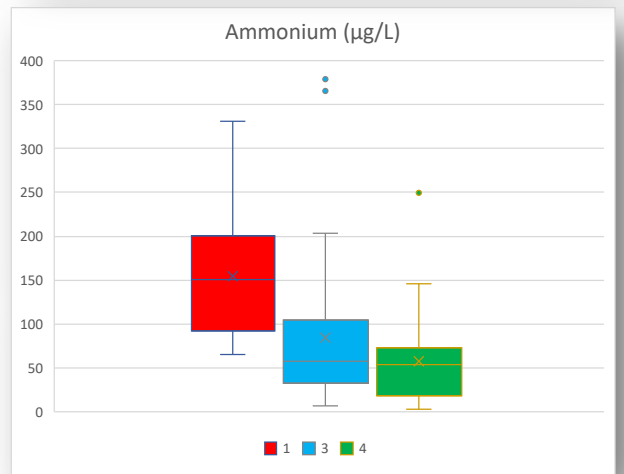
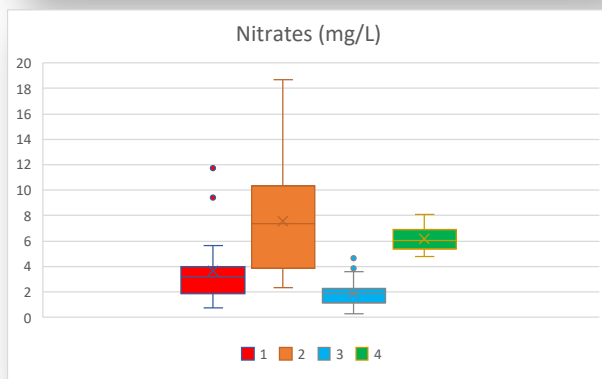
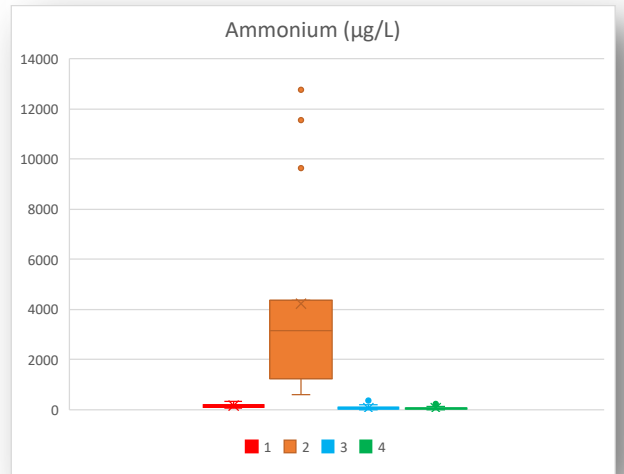
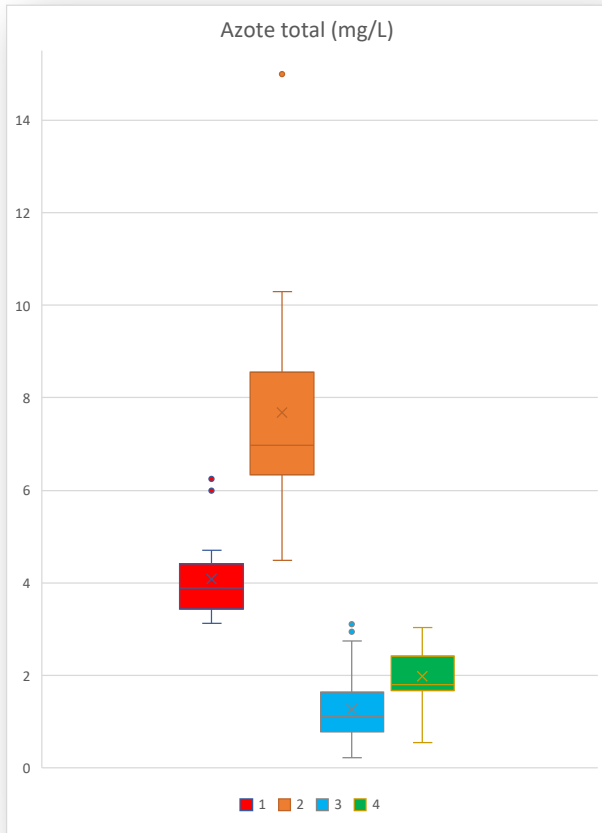


Figure 14 : Répartition selon les groupes des paramètres retenus par l'ARM

3 groupes combinés		
	A	B
Groupes 2+3+4 <i>Euglena</i>	0,986	0,387
Groupes 1+3+4 <i>Lepocinclis ovum</i>	0,965	0,284
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0,975	0,438
Groupes 1+2+3 <i>Didymocystis inconspicua</i>	0,990	0,315
<i>Pseudodidymocystis fina</i>	0,991	0,274

2 groupes combinés		
	A	B
<i>Cryptomonas</i>	0,829	0,700
<i>Trachelomonas valvulinopsis</i>	0,886	0,533
<i>Eunotia</i>	1,000	0,333
Groupes 3+4 <i>Gomphonema</i>	1,000	0,300
<i>Trachelomonas</i>	1,000	0,267
<i>Ulnaria</i>	1,000	0,267
<i>Cryptomonas ovata</i>	0,850	0,300
Groupes 2+4 <i>Navicula</i>	0,961	0,447
Groupes 2+3 <i>Monoraphidium griffithii</i>	0,974	0,365
<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	0,971	0,269
<i>Chlorella</i>	0,874	0,944
Groupes 1+2 <i>Cryptomonas marssonii</i>	0,935	0,583
<i>Monoraphidium circinale</i>	0,809	0,611
<i>Monoraphidium minutum</i>	0,666	0,722

1 groupe		
	A	B
<i>Mallomonas</i>	0,864	0,348
Groupe 4 <i>Eolimna minima</i>	0,670	0,391
<i>Halamphora</i>	1,000	0,261
<i>Monoraphidium contortum</i>	0,941	0,622
<i>Achnantheidium</i>	0,999	0,351
Groupe 3 <i>Ochromonas</i>	0,986	0,324
<i>Desmodesmus communis</i>	0,911	0,324
<i>Desmodesmus armatus</i> var. <i>bicaudatus</i>	0,863	0,297
<i>Aphanocapsa holsatica</i>	0,849	0,467
<i>Dictyosphaerium subsolitarium</i>	0,809	0,467
Groupe 2 <i>Scenedesmus smithii</i>	1,000	0,267
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	0,950	0,267
<i>Cyclotella</i>	0,750	0,333
Groupe 1 <i>Cyanobium</i>	0,877	0,667
<i>Rhodomonas</i>	0,941	0,381

Tableau 5 : Taxons indicateurs principaux en combinant les différents groupes entre eux — méthode Multipatt

Malgré le changement fréquent de cortège sur une même station, pour certains taxons, les valeurs A (spécificité) et B (fidélité) et par conséquent la valeur d'indication ( $Indval = A \times B$ ) restent élevées pour quelques taxons.

Cette première approche par les taxons, pour la majorité au niveau espèce ou genre, n'est peut-être pas la mieux adaptée pour l'utilisation du phytoplancton dans le cas présent. D'autres approches pourraient être testées en utilisant les traits par exemple.



## Conclusion

Cette première approche a permis de confirmer que l'utilisation des diatomées pour le diagnostic des eaux de transition de La Réunion est pertinente :

- facilité de mise en place et de collecte,
- obtention de matériel d'observation et comptage à partir de méthodes éprouvées
- relation avec la qualité de l'eau concernant notamment le phosphore et l'azote de différentes espèces qui peuvent se retrouver sur différents sites.

Un temps de résidence des supports dans l'eau de six semaines et un à deux (août/septembre et novembre/décembre) prélèvements dans l'année semblent appropriés. Des diatomètres comportant 6 lames en verre semblent suffire pour avoir assez de matériel.

D'autres approches peuvent aussi être testées à partir des genres ou des traits ou en faisant intervenir d'autres paramètres que ceux liés directement au niveau espèce.

Le suivi du phytoplancton, plus facile en ce qui concerne les prélèvements par la non-nécessité de station à installer, semble plus complexe à interpréter avec un changement fréquent de cortège sur la plupart des stations suivies pourtant avec des pas de temps court. Le suivi de 2022 confirmera ou pas ce changement régulier de cortège d'espèces. D'autres approches pourront aussi être testées en déplaçant la limite taxinomique, en s'intéressant aux traits, ou à d'autres paramètres comme la profondeur du disque de secchi ou la concentration en chlorophylle a mesuré in situ...

## BIBLIOGRAPHIE

- Coste M. (1994) *Sur l'utilisation des diatomées dans le diagnostic biologique de la qualité des eaux courantes — Intérêts et limites des indices*. Séminaire national 2 et 3 novembre 1994, Paris : Les variables biologiques : des indicateurs de l'état de santé des écosystèmes aquatiques. pp 136–152.
- De Cáceres, M. & Legendre, P. (2009) Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90 : 3566–3574.
- De Cáceres, M., Legendre, P. & Moretti, M. (2010) Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos* 119 : 1674–1684.
- De'ath, G. (2002) Multivariate regression trees: a new technique for modeling species– environment relationships. *Ecology* 83: 1105–1117.
- De'ath, G. (2012) mvpart: Multivariate partitioning. R package version 1.6-0.
- Dufrène, M. & Legendre, P. (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67 : 345–366.
- Eulin A., Gassiolo G., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Boutry S. et Monnier O. (2018) Guide méthodologique pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outremer : l'indice diatomique Réunion. Guides et protocoles. Agence Française pour la Biodiversité. pp.74, 2018
- Hürlimann J. et Niederhäuser P. (2007) Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Diatomées Niveau R (région). Etat de l'environnement n° 0740. Office fédéral de l'environnement, Berne. 132 p.
- R Core Team 2021. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Round, F. E. (1993) *A review and methods for the use of epilithic diatoms for detecting and monitoring changes in river water quality*. *Methods for the examination of water and associated materials*. HMSO Publications, London. pp. 65.
- Tsiripidis, I., Bergmeier, E., Fotiadis, G. & Dimopoulos, P. (2009) A new algorithm for the determination of differential taxa. *Journal of Vegetable Science* 20 : 233–240.



**OFB**  
OFFICE FRANÇAIS  
DE LA BIODIVERSITÉ



# TransPhyt

Méthode d'évaluation de l'état écologique  
basée sur le phytoplancton des masses  
d'eau de transition de La Réunion

- Rapport d'étape 5 : ensemble des résultats du suivi



## Sommaire

<b>Table des figures.....</b>	<b>2</b>
<b>Résultats.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 - Physico-chimie in situ .....</b>	<b>5</b>
1.1.1— Etang de Saint Paul.....	5
1.1.2— Etang du Gol.....	9
1.1.3— Petit Etang de Saint-André .....	12
1.1.4— Bocage Sainte Suzanne.....	14
<b>1.2 - Physico-chimie spectrophotomètre .....</b>	<b>16</b>
1.2.1— Les différentes formes de l'azote mesurées .....	16
1.2.2— Les différentes formes du phosphore mesurées.....	20
<b>Conclusion .....</b>	<b>21</b>
<b>I. Annexes .....</b>	<b>22</b>
<b>1- Sites prélevés et dates de prélèvement.....</b>	<b>22</b>
<b>2- Physico-chimie TransPhyt .....</b>	<b>22</b>
<b>3- Inventaires phytoplancton.....</b>	<b>22</b>

## Table des figures

Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S).....	5
Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul.....	5
Figure 3 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022.....	6
Figure 4 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022.....	7
Figure 5 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PC en 2021 et 2022.....	7
Figure 6 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022.....	7
Figure 7 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022.....	8
Figure 8 : Enregistrement de la température sur la station PC (moyenne journalière) en 2021 et 2022.....	8
Figure 9 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Etang du Gol .....	9
Figure 10 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022 .....	10
Figure 11 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022 .....	10
Figure 12 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GC.....	10

Figure 13 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022 .....	11
Figure 14 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022 .....	11
Figure 15 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GC en 2021 et 2022 .....	11
Figure 16 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André.....	12
Figure 17 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022 .....	13
Figure 18 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022 .....	13
Figure 19 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne .....	14
Figure 20 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022.....	15
Figure 21 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022.....	15
Figure 22 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies.....	16
Figure 23 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies après transformation en Log10.....	17
Figure 24 : Concentration en nitrates(mg/L) des 8 stations suivies.....	17
Figure 25 : Concentration en nitrites (mg/L) des 8 stations suivies.....	18
Figure 26 : Concentration en azote total (mg/L) des 8 stations suivies.....	18
Figure 27 : Concentration en azote Kjeldahl (mg/L) des 8 stations suivies.....	19
Figure 28 : Concentrations des formes du phosphore sur les 8 stations suivies...	20

Ce rapport regroupe l'ensemble des mesures concernant le phytoplancton et les paramètres physico-chimiques effectués sur les quatre plans d'eau suivis au cours des années 2021 et 2022 et vient compléter les différents rapports d'étape déjà livrés. Les annexes regroupent les résultats bruts sous forme de tableaux.

# Résultats

## 1.1 - Physico-chimie in situ

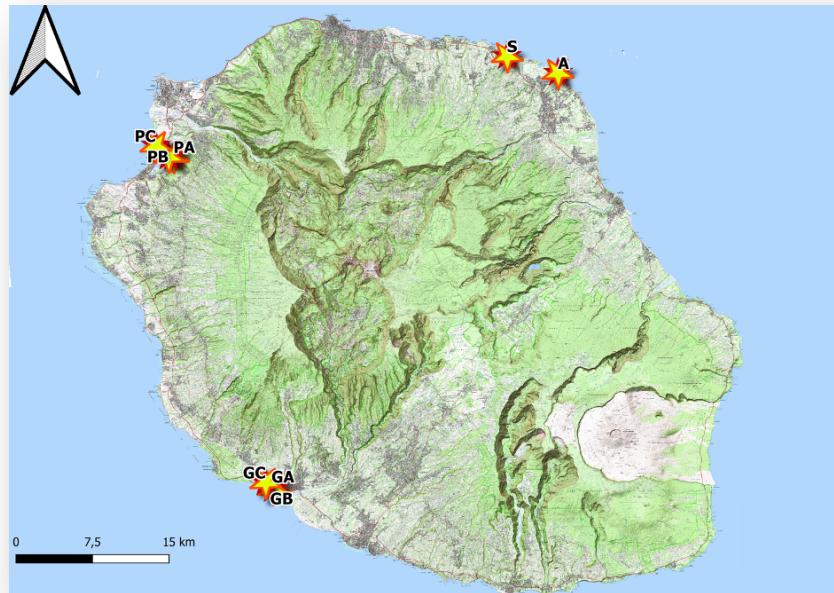


Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S)

### 1.1.1— Etang de Saint Paul

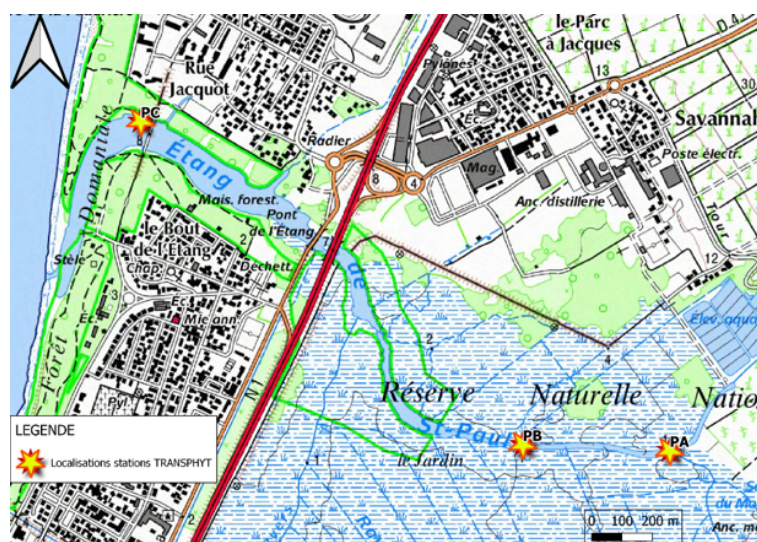


Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul



Les profondeurs maximales sur ces stations sont pratiquement toujours supérieures à 1 m. Elles varient de 95 à 166 cm au cours des prélèvements sur la station PA, de 77 cm à 202 cm sur la station PB et de 127 cm à 262 cm sur la station PC. La mesure de la disparition du disque de secchi montre que sur la station PC et dans une moindre mesure sur les deux autres stations celui-ci n'atteint pas la profondeur maximale. La zone euphotique correspond toujours à l'entièreté de la colonne d'eau pour la station PA. Ce n'est le cas que pour environ 80 % des prélèvements pour la station PB et seulement 60 % des prélèvements pour la station PC.

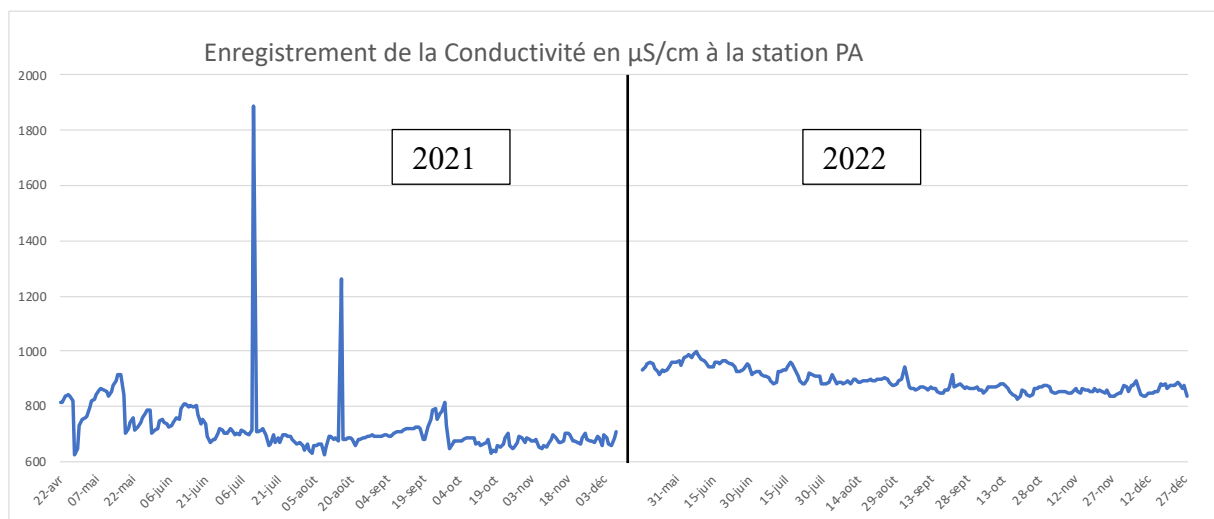
La médiane de la conductivité est de :

- 694,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 881,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour PA
- 713,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 826,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour PB
- 742,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 893,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour PC

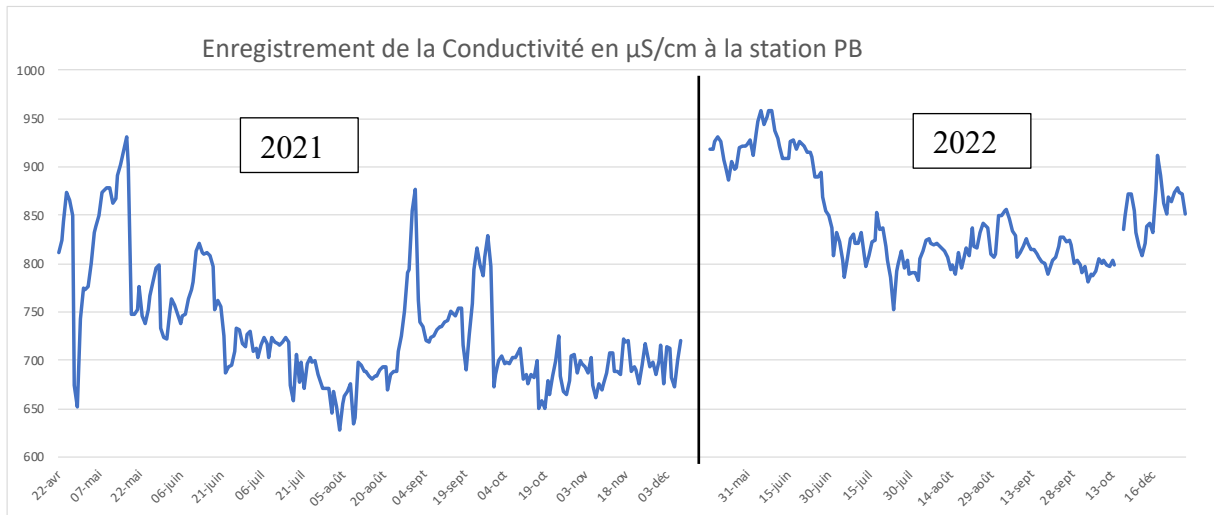
La médiane de la température est de :

- 20,4 °C en 2021 et de 20,9 °C en 2022 pour PA
- 20,8 °C en 2021 et de 21,6 °C en 2022 pour PB
- 23,6 °C en 2021 et de 23,7 °C en 2022 pour PC

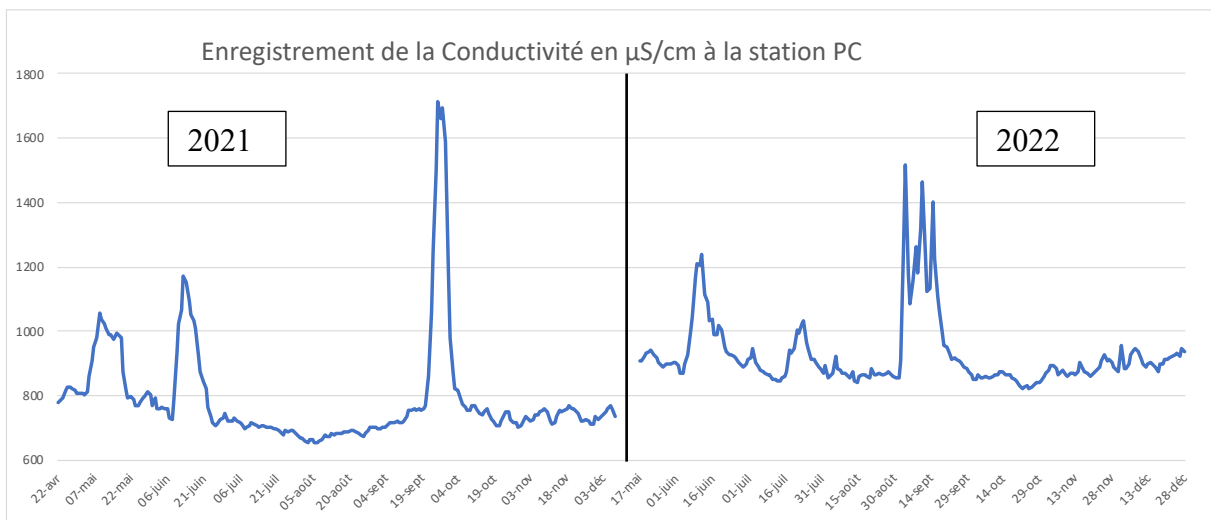
Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.



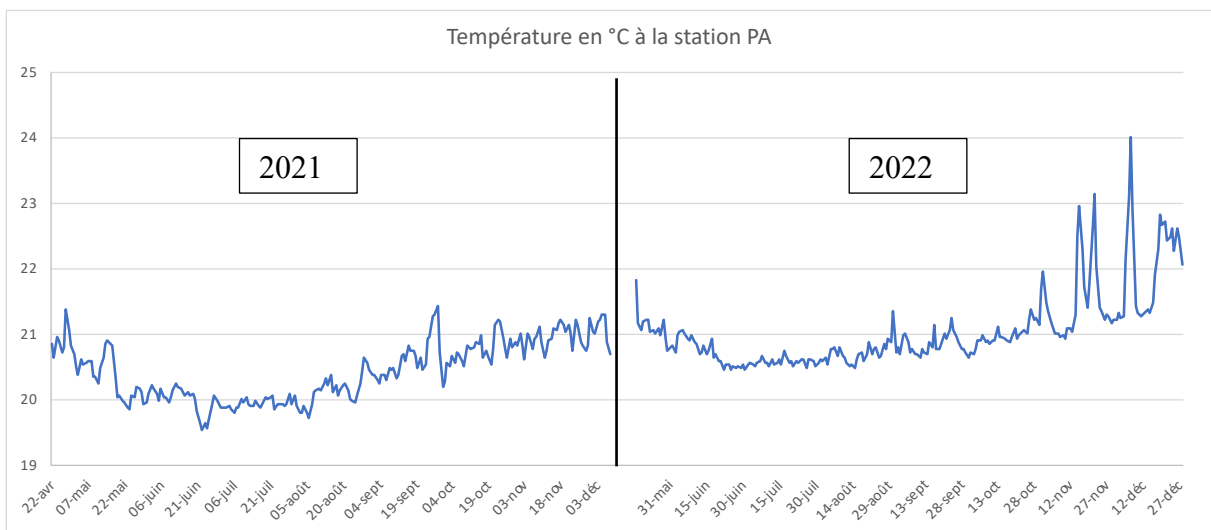
*Figure 3 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022*



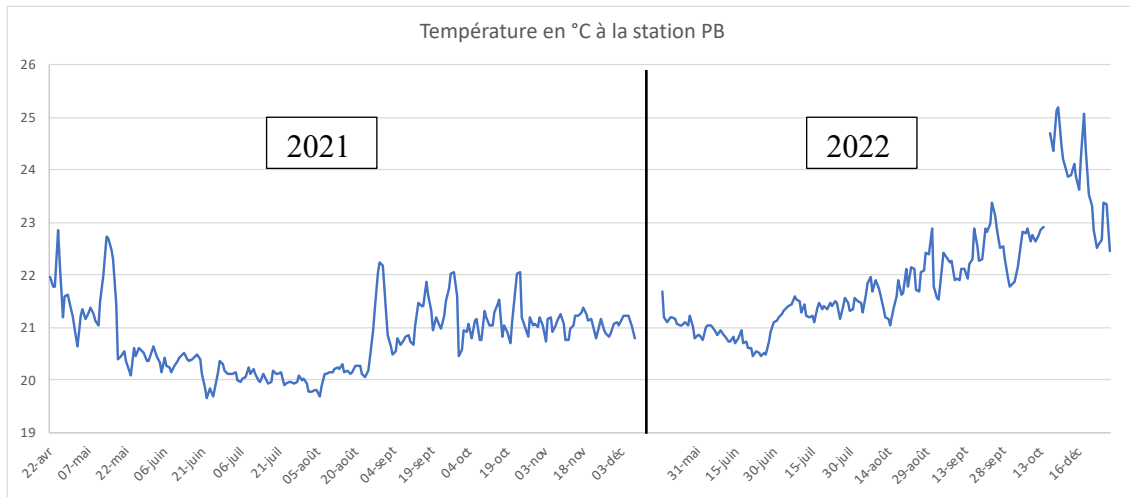
*Figure 4 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022*



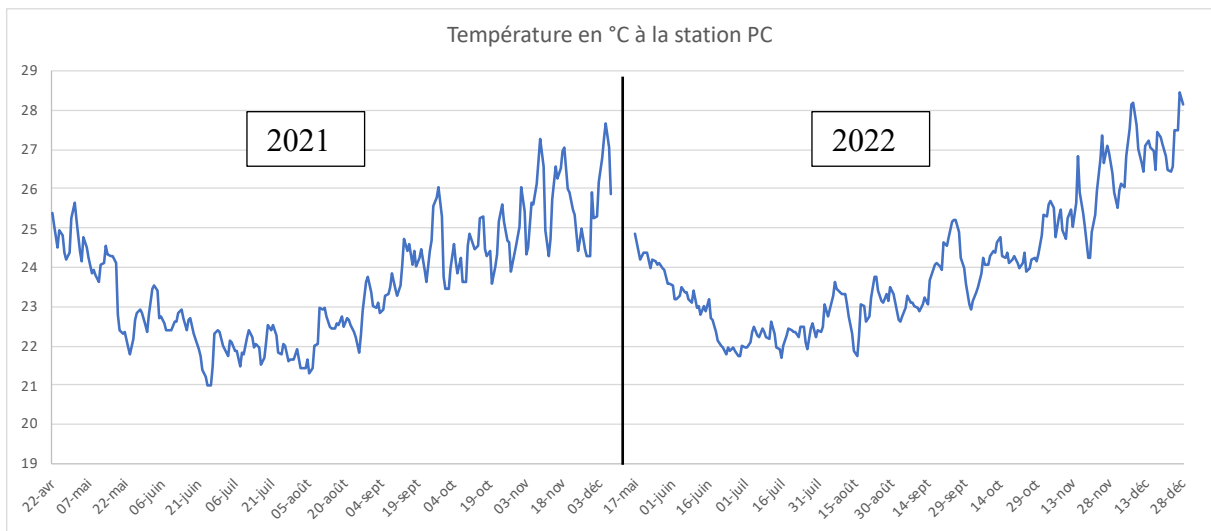
*Figure 5 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PC en 2021 et 2022*



*Figure 6 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022*



*Figure 7 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022*



*Figure 8 : Enregistrement de la température sur la station PC (moyenne journalière) en 2021 et 2022*

### 1.1.2— Etang du Gol



Figure 9 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Etang du Gol

Les profondeurs maximales sur ces stations sont pratiquement toujours supérieures à 1 m. Elles varient de 79 à 459 cm au cours des prélèvements sur la station GA, de 99 cm à 410 cm sur la station GB et de 97 cm à 227 cm sur la station GC. La disparition du disque de secchi se produit toujours avant d'atteindre le fond (à l'exception du prélèvement GC10). La zone euphotique ne correspond à l'entièreté de la colonne d'eau que dans 12 % des prélèvements pour la station GA. Ce n'est le cas que pour qu'un cas sur 24 pour la station GB et pour un tiers des prélèvements pour la station GC.

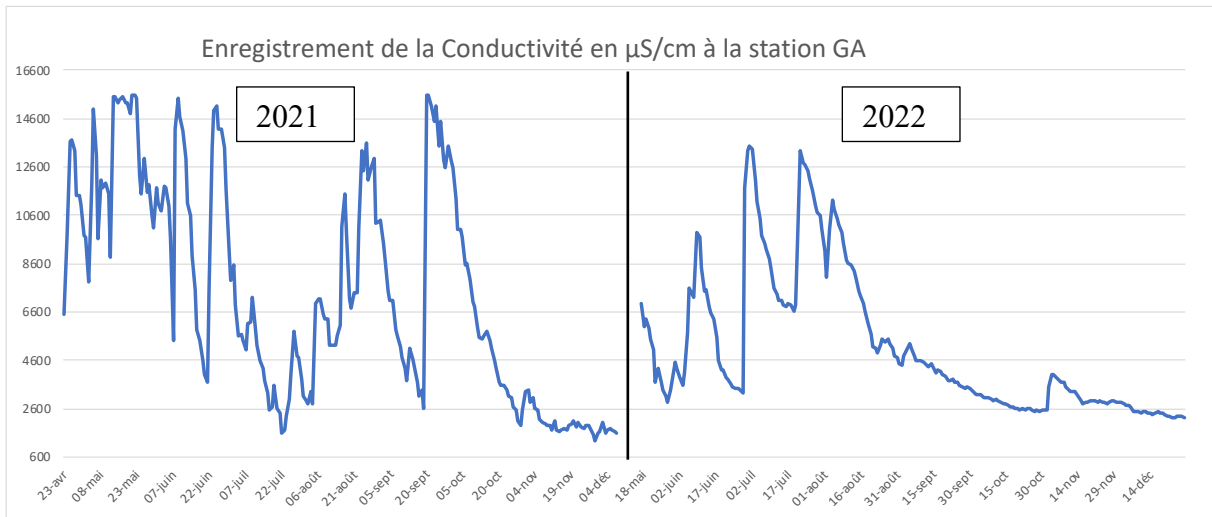
La médiane de la conductivité est de :

- 6323,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 3873,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour GA
- 5987,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 5382,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour GB
- 3123,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 3029,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour GC

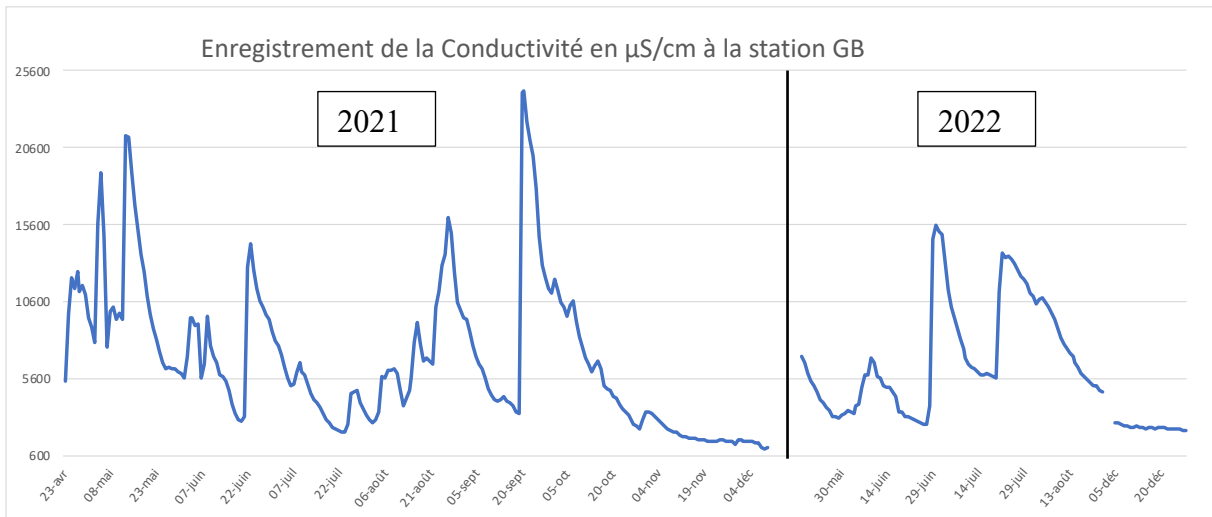
La médiane de la température est de :

- 27,8 °C en 2021 et de 25,4 °C en 2022 pour GA
- 26,0 °C en 2021 et de 23,7 °C en 2022 pour GB
- 27,2 °C en 2021 et de 26,7 °C en 2022 pour GC

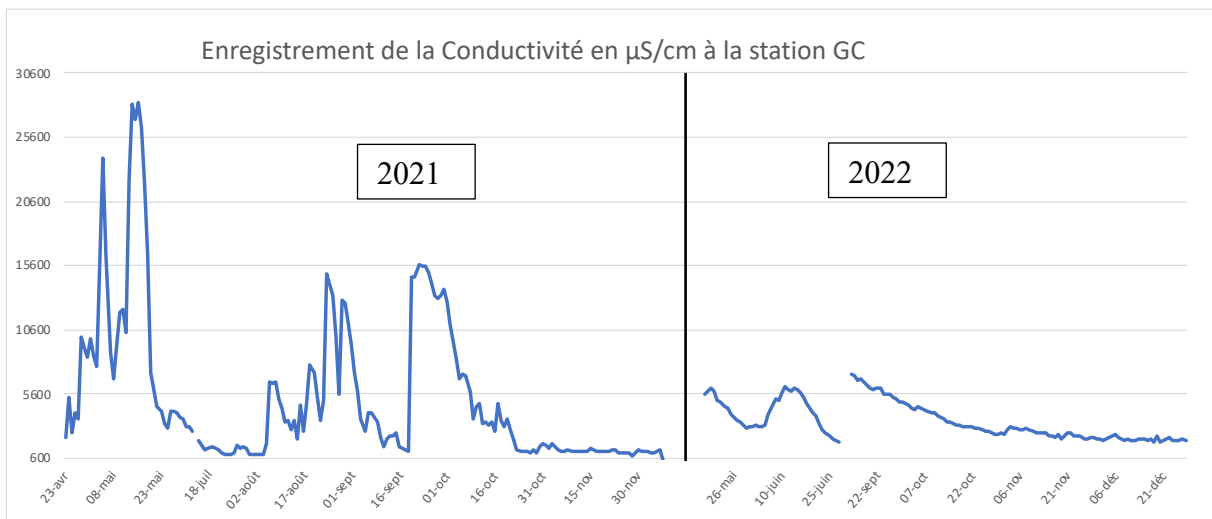
Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.



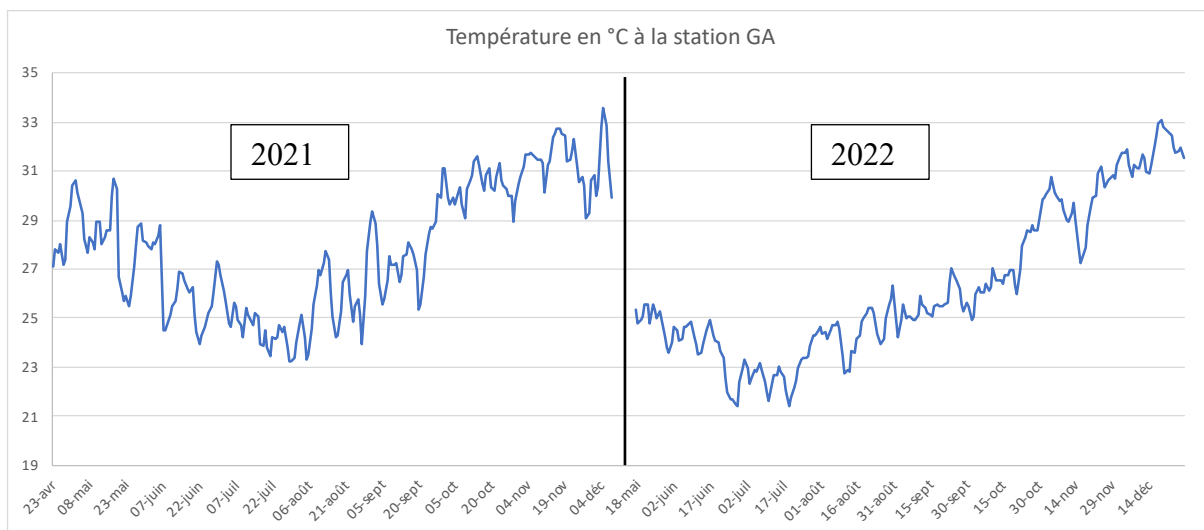
*Figure 10 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022*



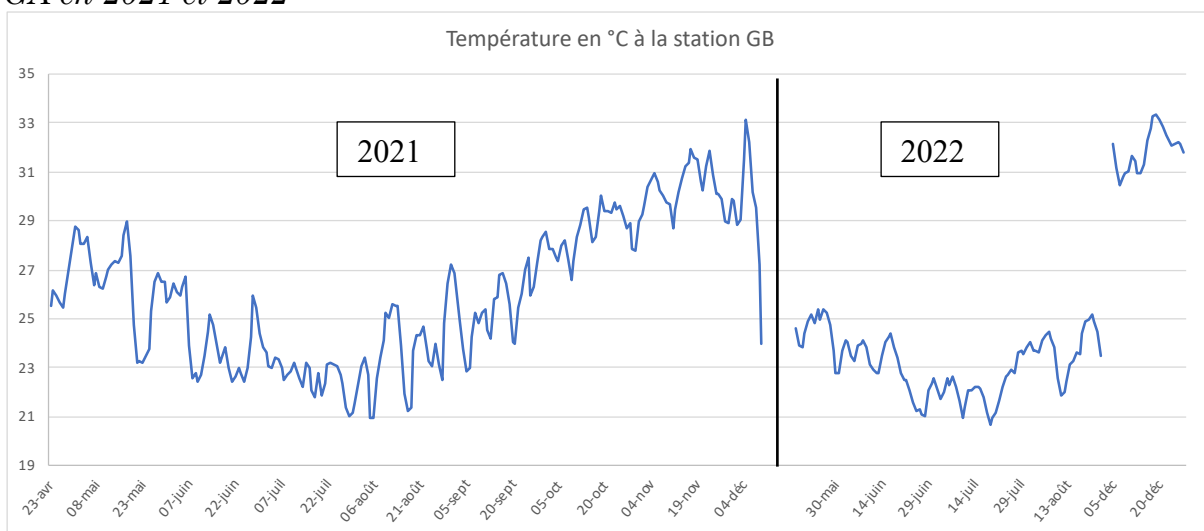
*Figure 11 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022*



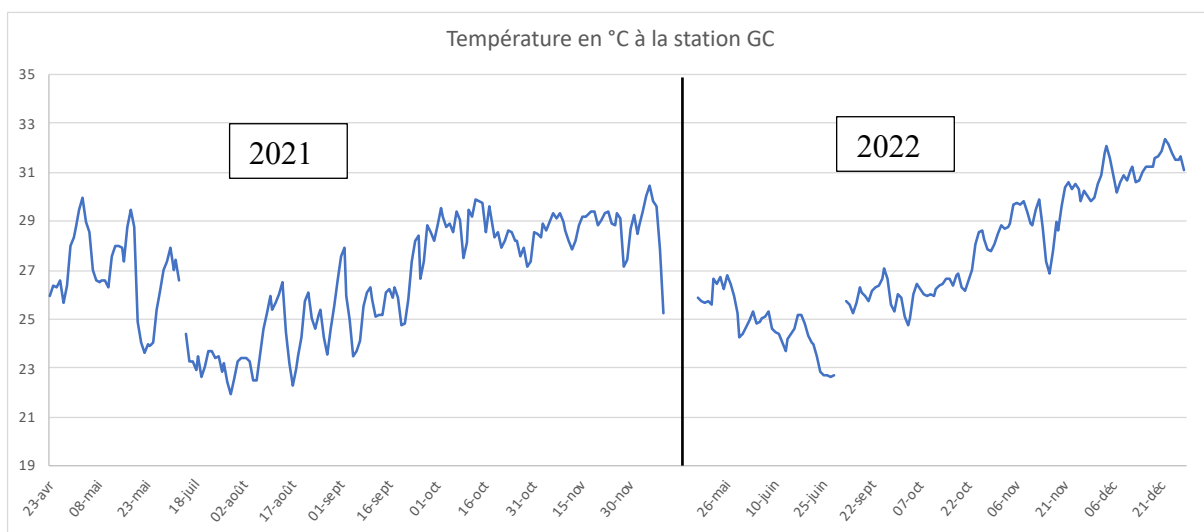
*Figure 12 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GC*



*Figure 13 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022*



*Figure 14 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022*



*Figure 15 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GC en 2021 et 2022*

### 1.1.3— Petit Etang de Saint-André



Figure 16 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André

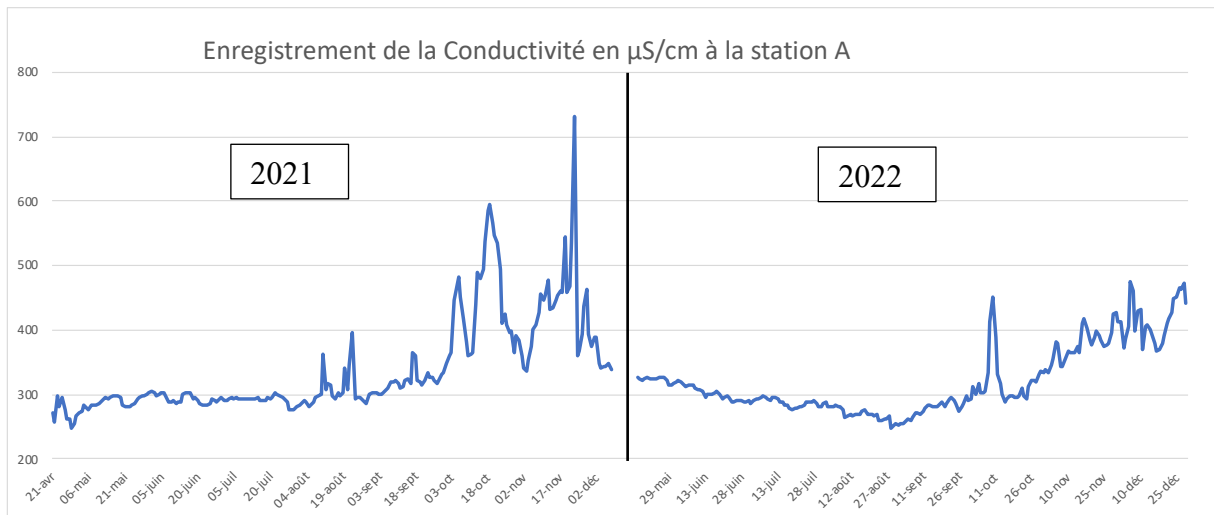
Les profondeurs maximales mesurées sont toujours faibles et varient de 22 cm à 62 cm lors du suivi. Même si pour quelques prélèvements, le disque de secchi disparaît avant d’atteindre le fond, la zone euphotique correspond toujours à l’entièreté de la colonne d’eau.

La médiane de la conductivité est de 301,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 299,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022

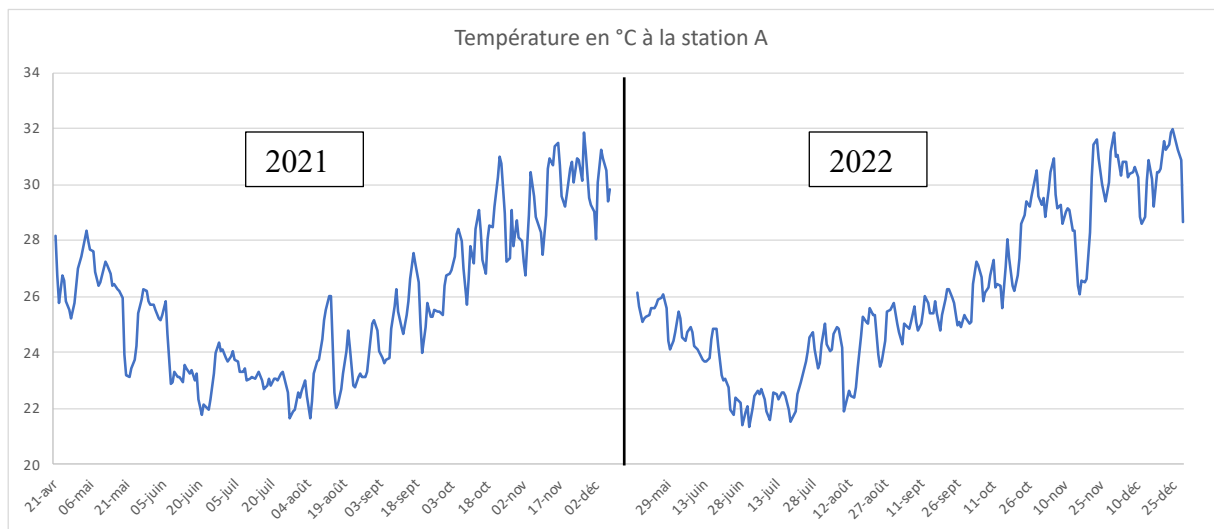
La médiane de la température est de 25,5 °C en 2021 et de 25,4 °C en 2022

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.





*Figure 17 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022*



*Figure 18 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022*

#### 1.1.4— Bocage Sainte Suzanne



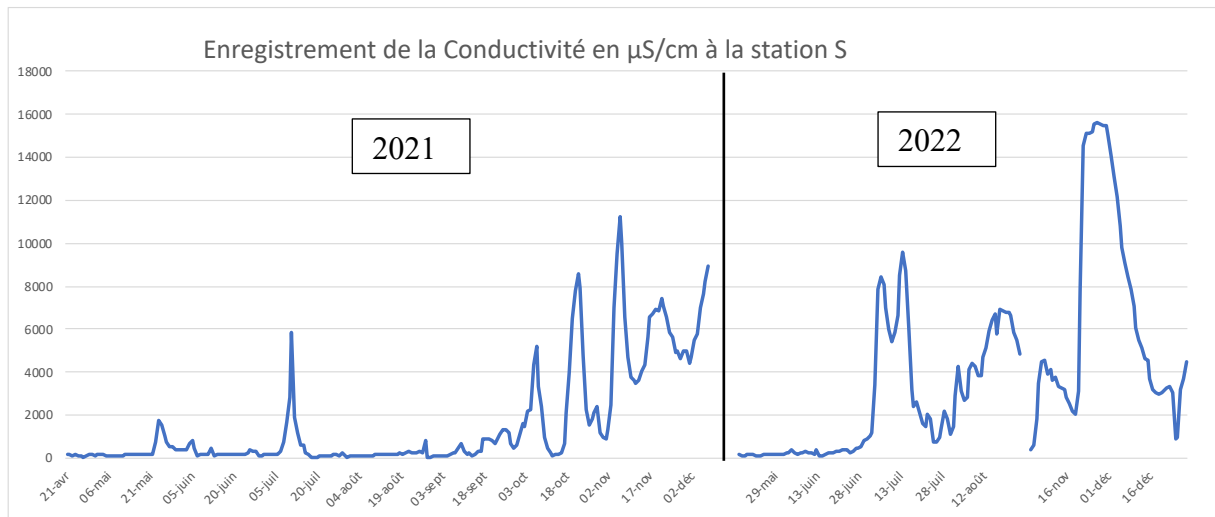
*Figure 19 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne*

Les profondeurs maximales mesurées sur cette station varient de 46 cm à 119 cm. Le disque de secchi atteint toujours le fond.

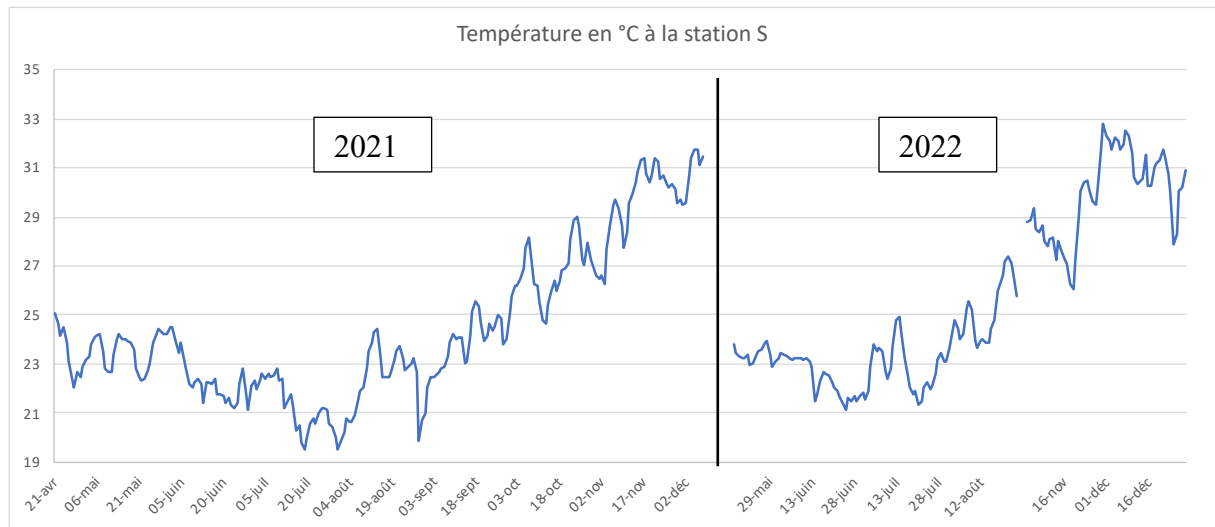
La médiane de la conductivité est de 249,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 3078,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022

La médiane de la température est de 23,8 °C en 2021 et de 24,0 °C en 2022

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.



*Figure 20 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022*



*Figure 21 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022*

## 1.2 - Physico-chimie spectrophotomètre

### 1.2.1— Les différentes formes de l'azote mesurées

Les différentes formes de l'azote mesurées sont l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3$ ) et l'azote total (NT).

A partir de ces mesures ont pu être déduites les valeurs de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), de l'azote inorganique total (NIT), de l'azote organique et de l'azote Kjeldahl (NKT). Les formules pour les calculer sont ci-dessous :

$$\text{NH}_3 = 0,944 \text{ l x NH}_4$$

$$\text{NIT} = \text{NH}_3 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$$

$$\text{Azote organique} = \text{NT} - \text{NIT}$$

$$\text{NKT} = \text{Azote organique} + \text{NH}_3$$

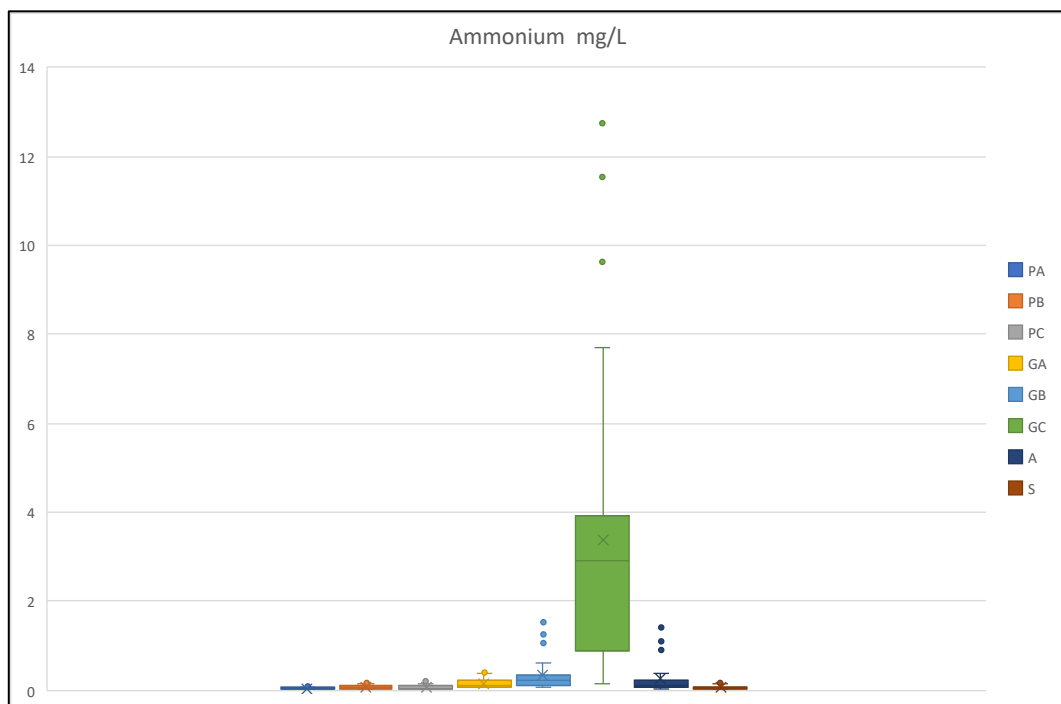


Figure 22 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies

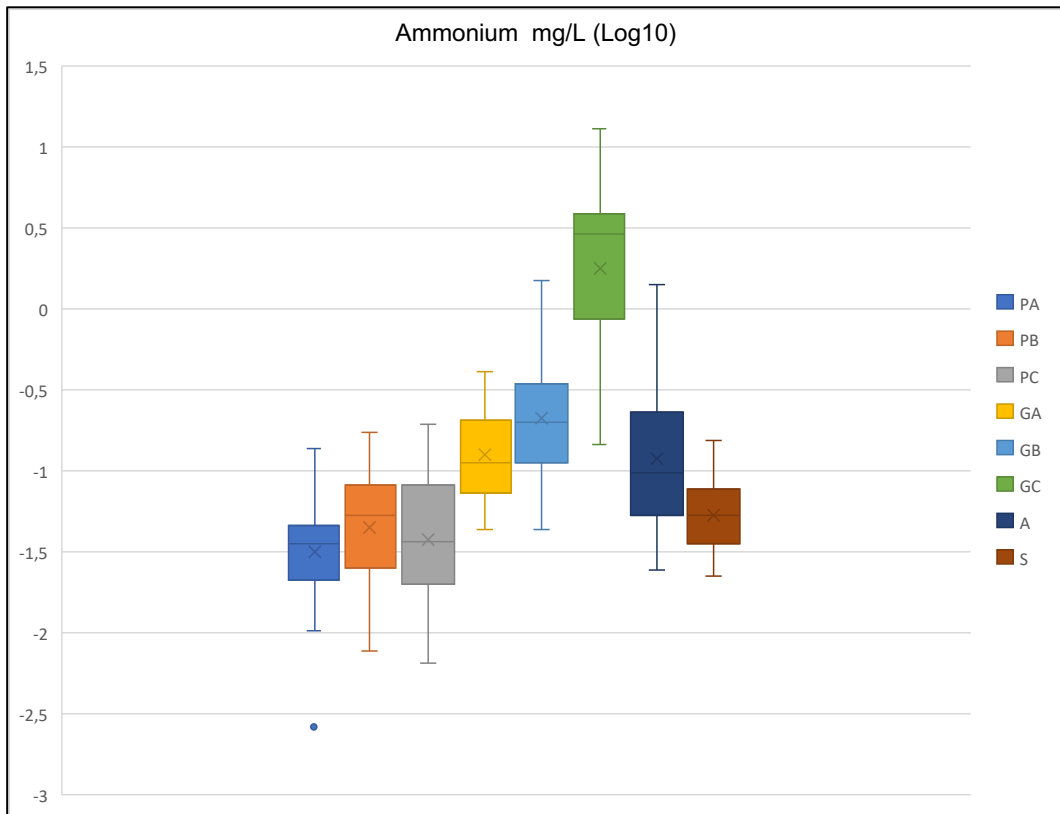


Figure 23 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies après transformation en Log10

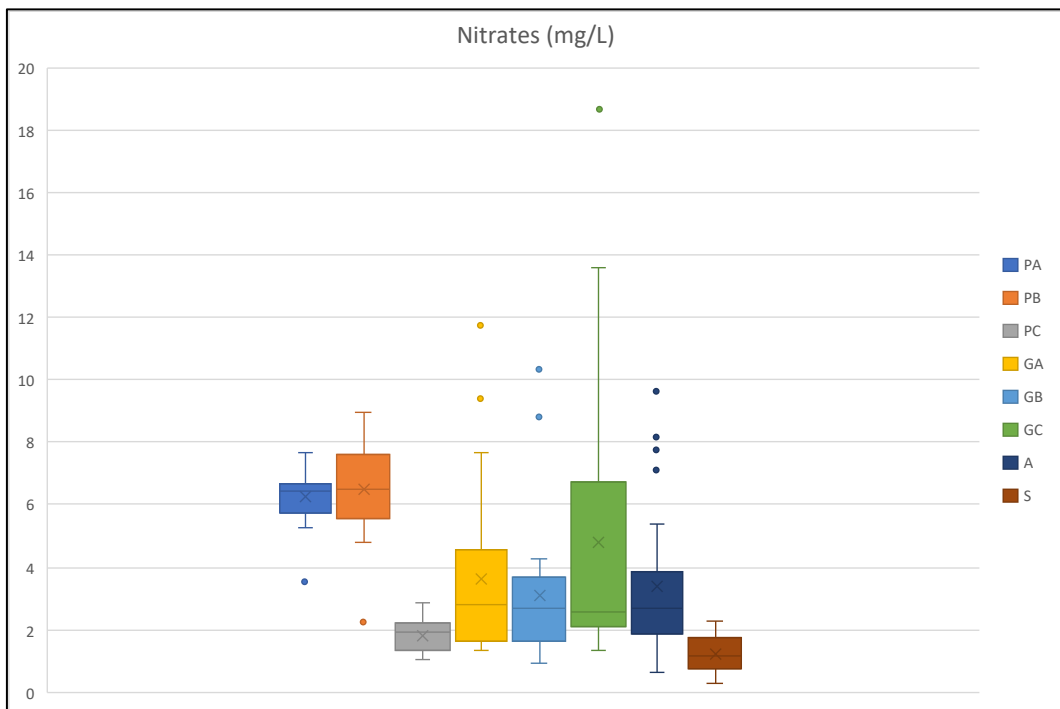


Figure 24 : Concentration en nitrates(mg/L) des 8 stations suivies.

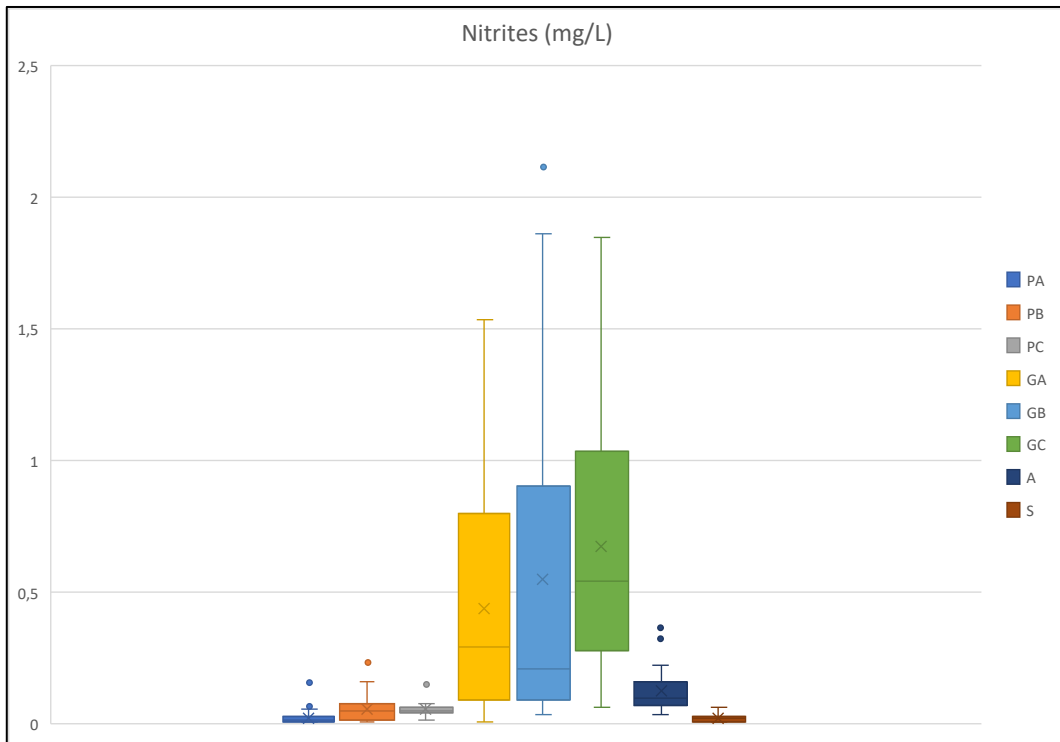


Figure 25 : Concentration en nitrites (mg/L) des 8 stations suivies.

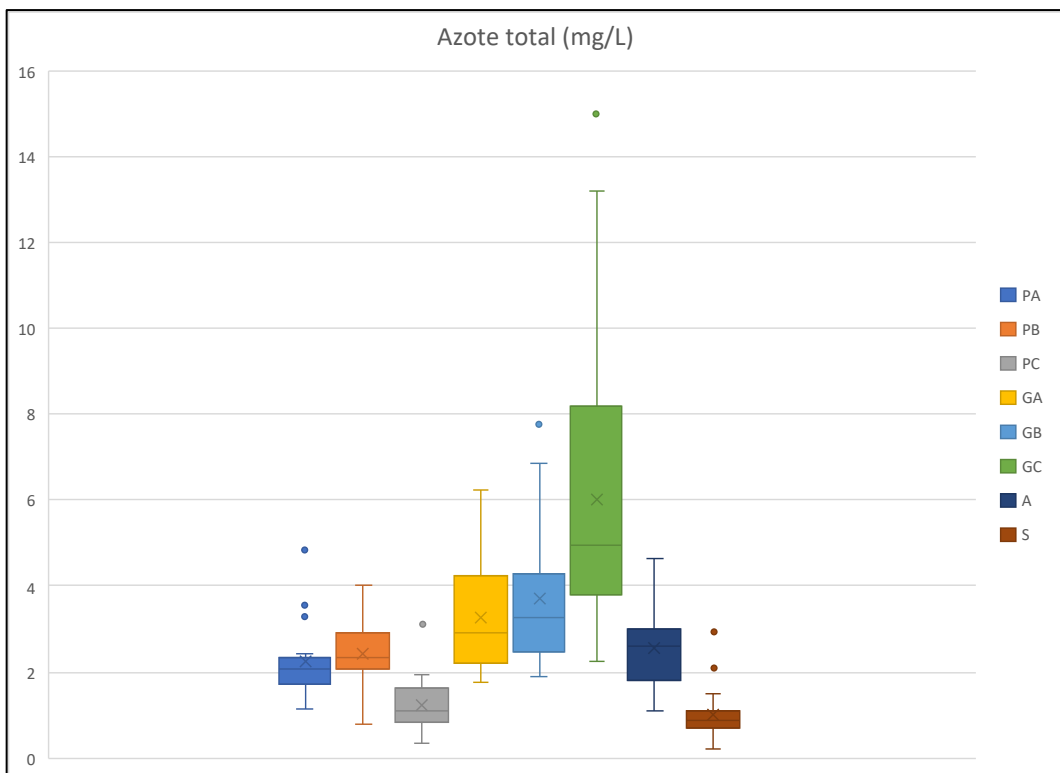


Figure 26 : Concentration en azote total (mg/L) des 8 stations suivies.

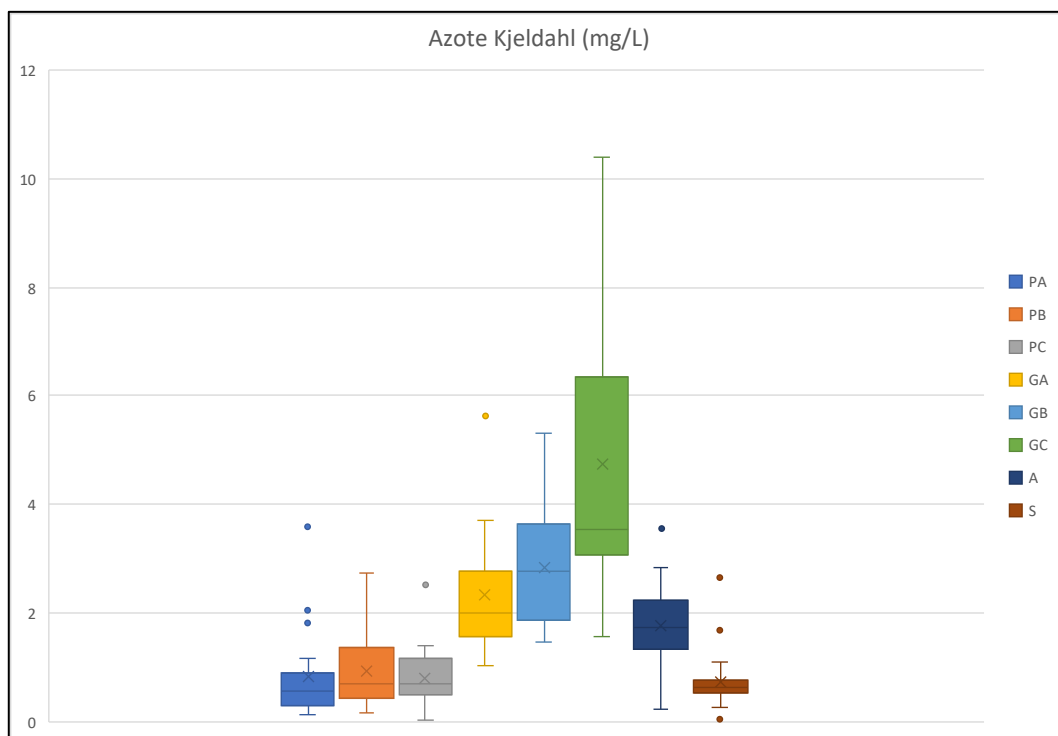


Figure 27 : Concentration en azote Kjeldahl (mg/L) des 8 stations suivies.

Selon les formes d'azote, les différentes stations se séparent bien selon l'azote Kjeldahl et l'ammonium et dans une moindre mesure avec l'azote total et les nitrites. Ainsi deux grands groupes se séparent avec d'un côté les concentrations les plus faibles d'azote Kjeldahl pour les stations de l'Etang de Saint Paul et le bocage Sainte-Suzanne et de l'autre avec des concentrations plus élevées avec les stations de l'Etang du Gol et du Petit Etang de Saint-André.



### 1.2.2— Les différentes formes du phosphore mesurées

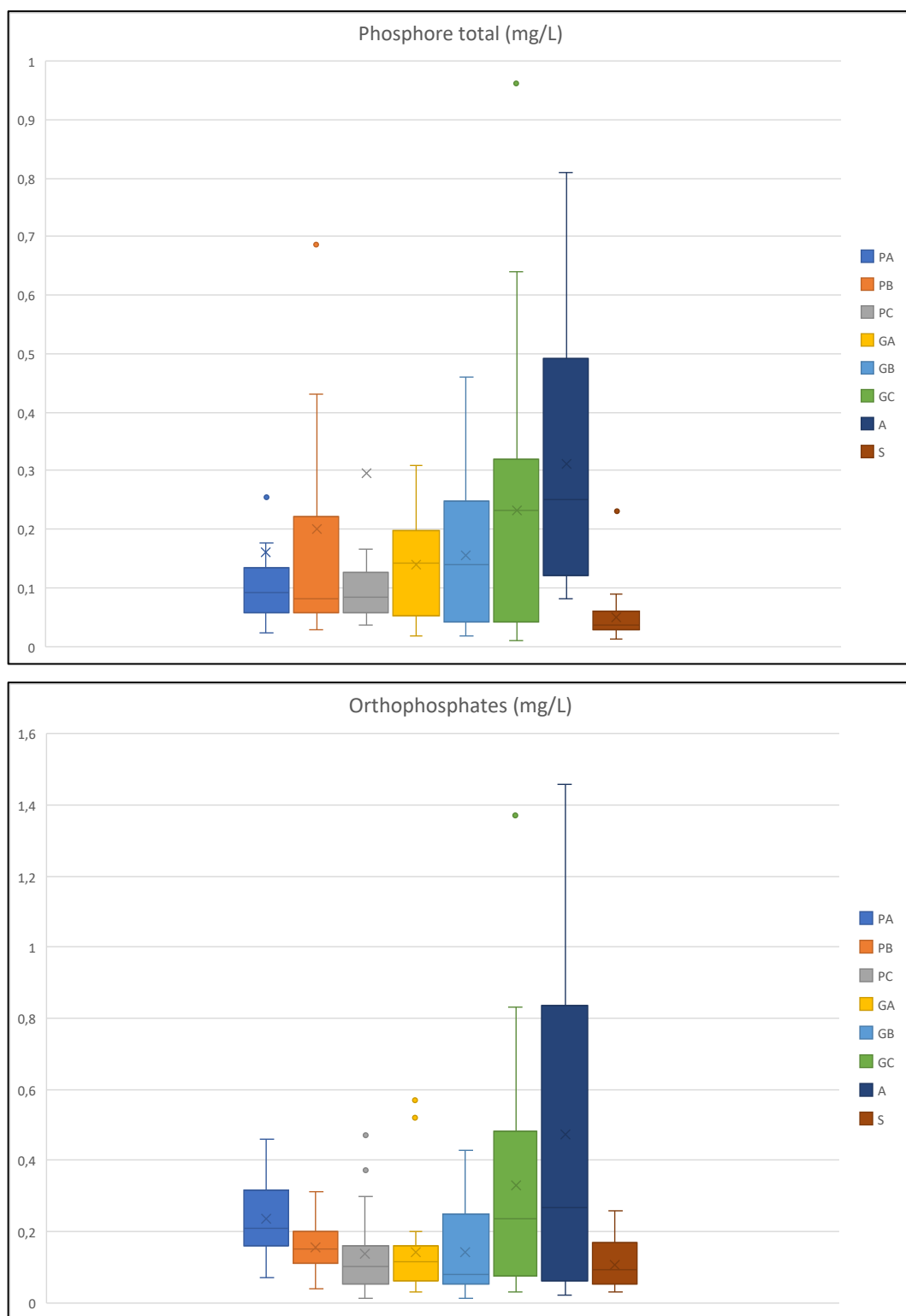


Figure 28 : Concentrations des formes du phosphore sur les 8 stations suivies

Les formes du phosphore ne permettent pas de séparer très clairement les stations entre elles.

## Conclusion

Le suivi de la conductivité sur l'ensemble de la campagne permet de confirmer que les stations choisies répondent à la définition d'eaux de transition

Les campagnes de 2021 et 2022 ont permis de réaliser les 24 prélèvements prévus en physico-chimie et phytoplancton. Au niveau physico-chimique, des gradients semblent se dessiner pour certains paramètres comme l'ammonium, l'azote total, mais surtout l'azote Kjeldahl.

Les analyses physico-chimiques (in situ et laboratoire) ont été menées au fur à mesure de l'avancement des prélèvements.

Les annexes regroupent l'ensemble des résultats physico-chimiques ainsi que les inventaires phytoplanctoniques.



**OFB**  
OFFICE FRANÇAIS  
DE LA BIODIVERSITÉ



# TransPhyt

Méthode d'évaluation de l'état écologique  
basée sur le phytoplancton des masses  
d'eau de transition de La Réunion

- Rapport d'étape 5 : ensemble des résultats du suivi



## Sommaire

<b>Table des figures</b> .....	<b>2</b>
<b>Résultats</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1 - Physico-chimie in situ</b> .....	<b>5</b>
1.1.1— Etang de Saint Paul.....	5
1.1.2— Etang du Gol.....	9
1.1.3— Petit Etang de Saint-André .....	12
1.1.4— Bocage Sainte Suzanne.....	14
<b>1.2 - Physico-chimie spectrophotomètre</b> .....	<b>16</b>
1.2.1— Les différentes formes de l'azote mesurées .....	16
1.2.2— Les différentes formes du phosphore mesurées.....	20
<b>Conclusion</b> .....	<b>21</b>
<b>I. Annexes</b> .....	<b>22</b>
<b>1- Sites prélevés et dates de prélèvement</b> .....	<b>22</b>
<b>2- Physico-chimie TransPhyt</b> .....	<b>22</b>
<b>3- Inventaires phytoplancton</b> .....	<b>22</b>

## Table des figures

Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S).....	5
Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul.....	5
Figure 3 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022.....	6
Figure 4 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022.....	7
Figure 5 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PC en 2021 et 2022.....	7
Figure 6 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022.....	7
Figure 7 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022.....	8
Figure 8 : Enregistrement de la température sur la station PC (moyenne journalière) en 2021 et 2022.....	8
Figure 9 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Etang du Gol .....	9
Figure 10 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022 .....	10
Figure 11 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022 .....	10
Figure 12 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GC.....	10

Figure 13 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022 .....	11
Figure 14 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022 .....	11
Figure 15 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GC en 2021 et 2022 .....	11
Figure 16 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André.....	12
Figure 17 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022 .....	13
Figure 18 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022 .....	13
Figure 19 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne .....	14
Figure 20 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022.....	15
Figure 21 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022.....	15
Figure 22 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies.....	16
Figure 23 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies après transformation en Log10.....	17
Figure 24 : Concentration en nitrates(mg/L) des 8 stations suivies.....	17
Figure 25 : Concentration en nitrites (mg/L) des 8 stations suivies.....	18
Figure 26 : Concentration en azote total (mg/L) des 8 stations suivies.....	18
Figure 27 : Concentration en azote Kjeldahl (mg/L) des 8 stations suivies.....	19
Figure 28 : Concentrations des formes du phosphore sur les 8 stations suivies...	20

Ce rapport regroupe l'ensemble des mesures concernant le phytoplancton et les paramètres physico-chimiques effectués sur les quatre plans d'eau suivis au cours des années 2021 et 2022 et vient compléter les différents rapports d'étape déjà livrés. Les annexes regroupent les résultats bruts sous forme de tableaux.

## Résultats

### 1.1 - Physico-chimie in situ

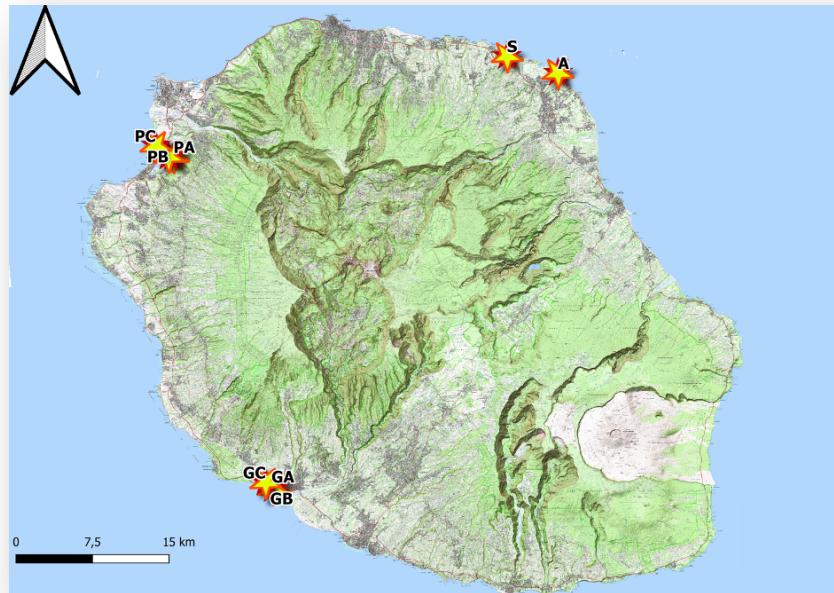


Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S)

#### 1.1.1— Etang de Saint Paul

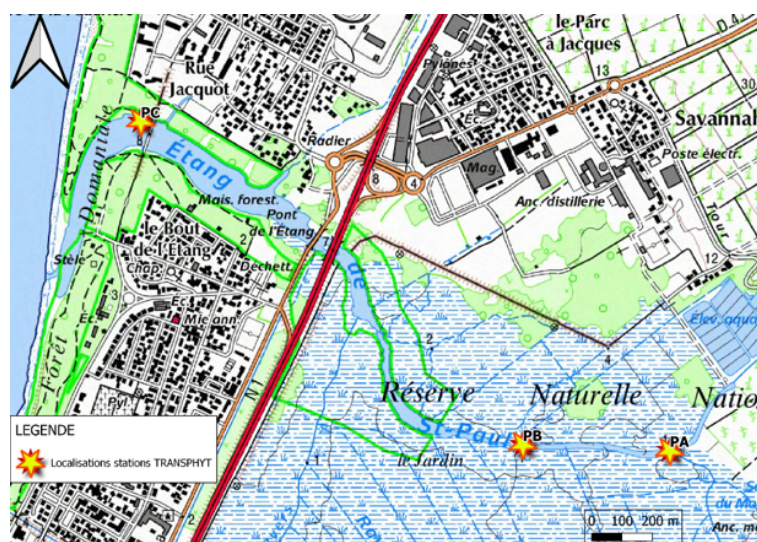


Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul



Les profondeurs maximales sur ces stations sont pratiquement toujours supérieures à 1 m. Elles varient de 95 à 166 cm au cours des prélèvements sur la station PA, de 77 cm à 202 cm sur la station PB et de 127 cm à 262 cm sur la station PC. La mesure de la disparition du disque de secchi montre que sur la station PC et dans une moindre mesure sur les deux autres stations celui-ci n'atteint pas la profondeur maximale. La zone euphotique correspond toujours à l'entièreté de la colonne d'eau pour la station PA. Ce n'est le cas que pour environ 80 % des prélèvements pour la station PB et seulement 60 % des prélèvements pour la station PC.

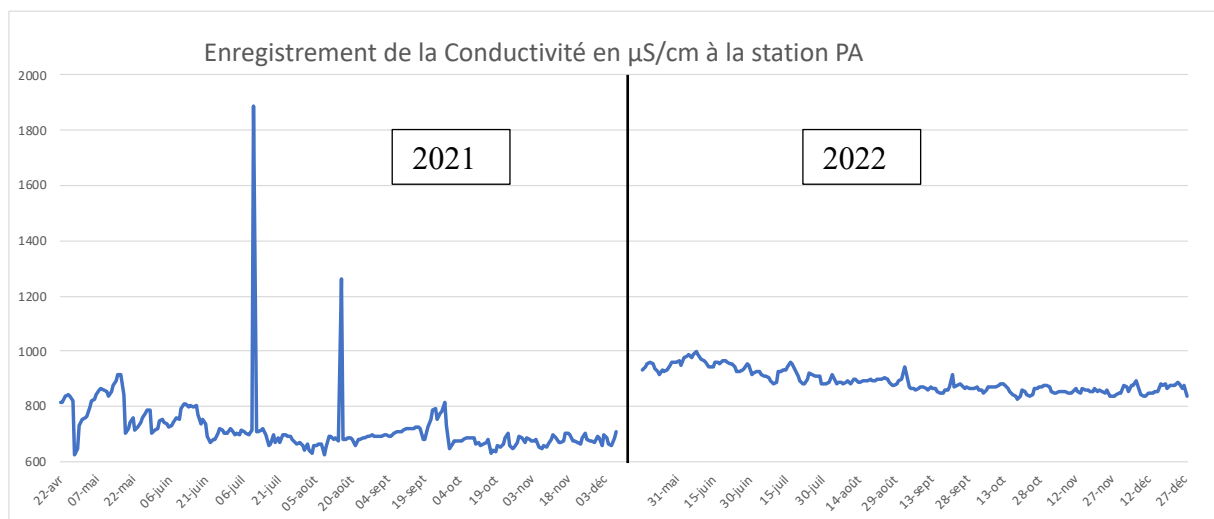
La médiane de la conductivité est de :

- 694,7  $\mu\text{S/cm}$  en 2021 et de 881,2  $\mu\text{S/cm}$  en 2022 pour PA
- 713,8  $\mu\text{S/cm}$  en 2021 et de 826,0  $\mu\text{S/cm}$  en 2022 pour PB
- 742,7  $\mu\text{S/cm}$  en 2021 et de 893,1  $\mu\text{S/cm}$  en 2022 pour PC

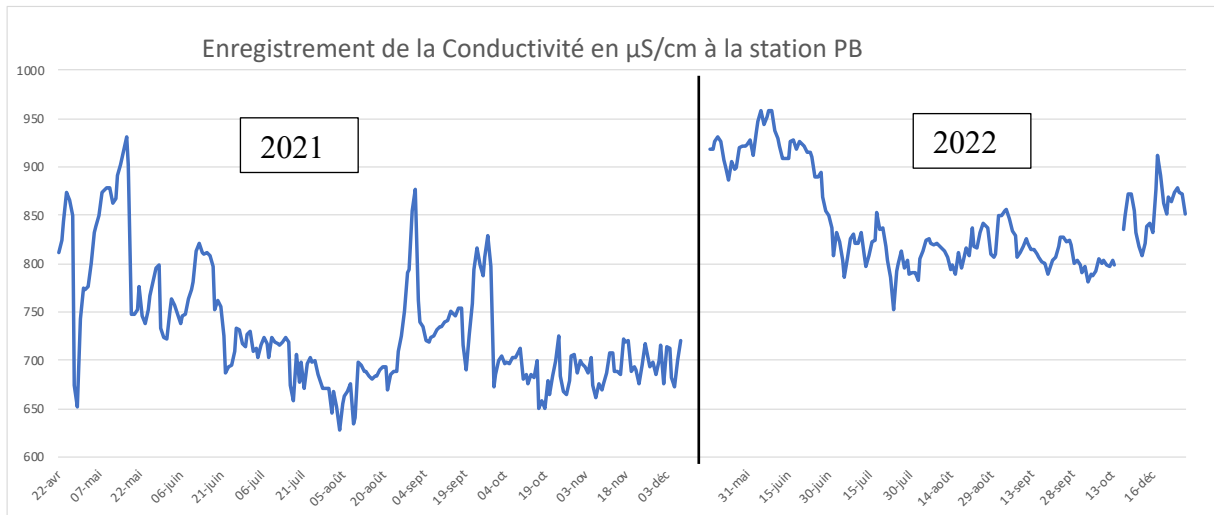
La médiane de la température est de :

- 20,4 °C en 2021 et de 20,9 °C en 2022 pour PA
- 20,8 °C en 2021 et de 21,6 °C en 2022 pour PB
- 23,6 °C en 2021 et de 23,7 °C en 2022 pour PC

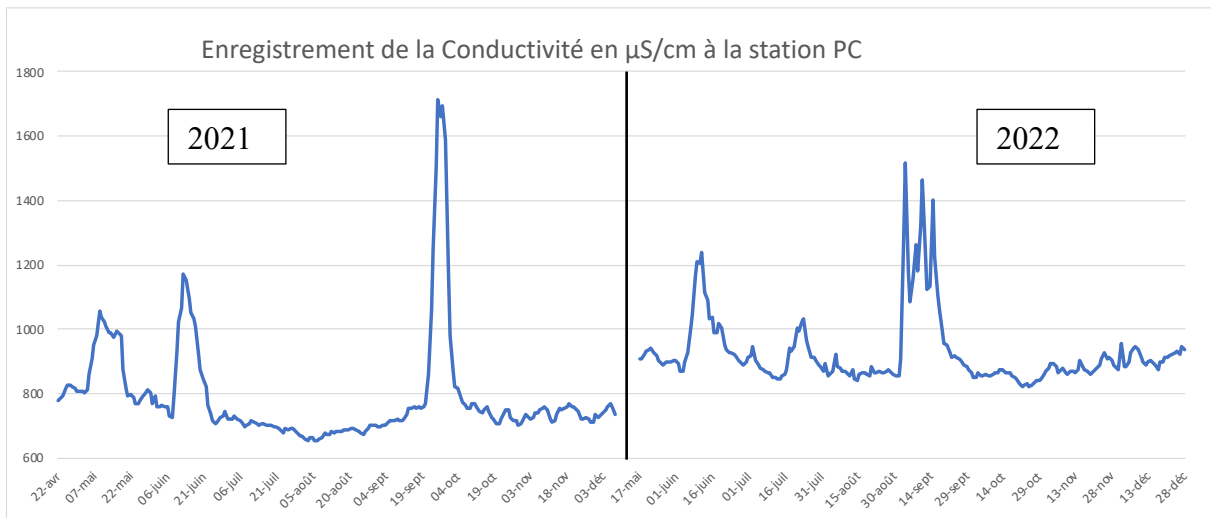
Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.



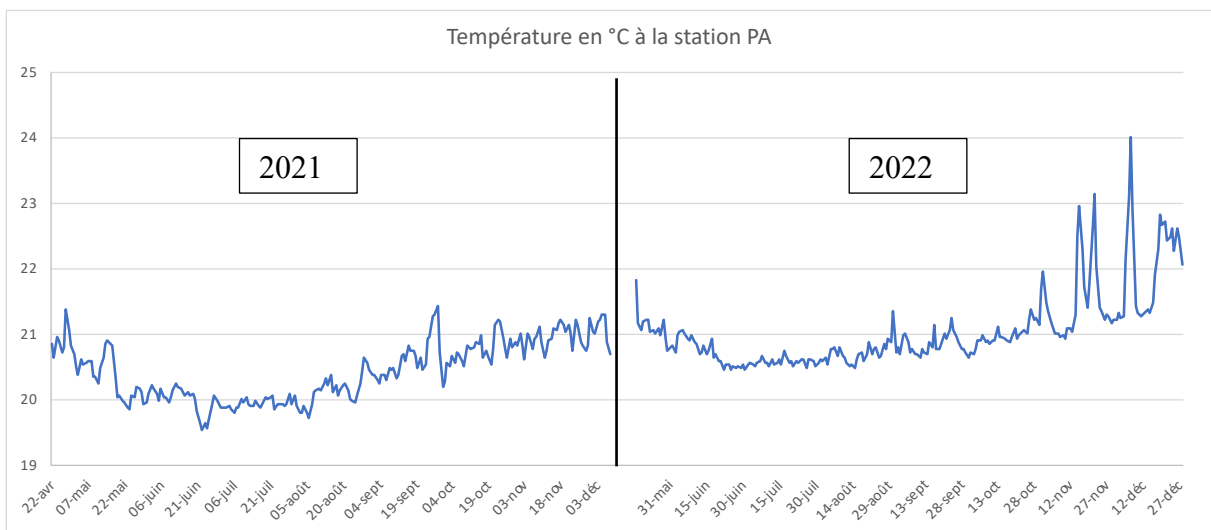
*Figure 3 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022*



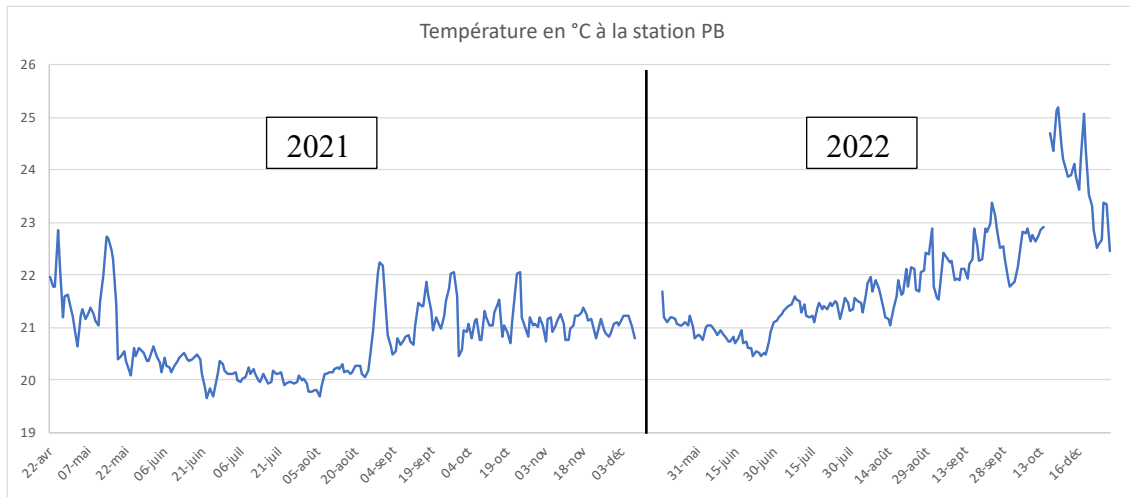
*Figure 4 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022*



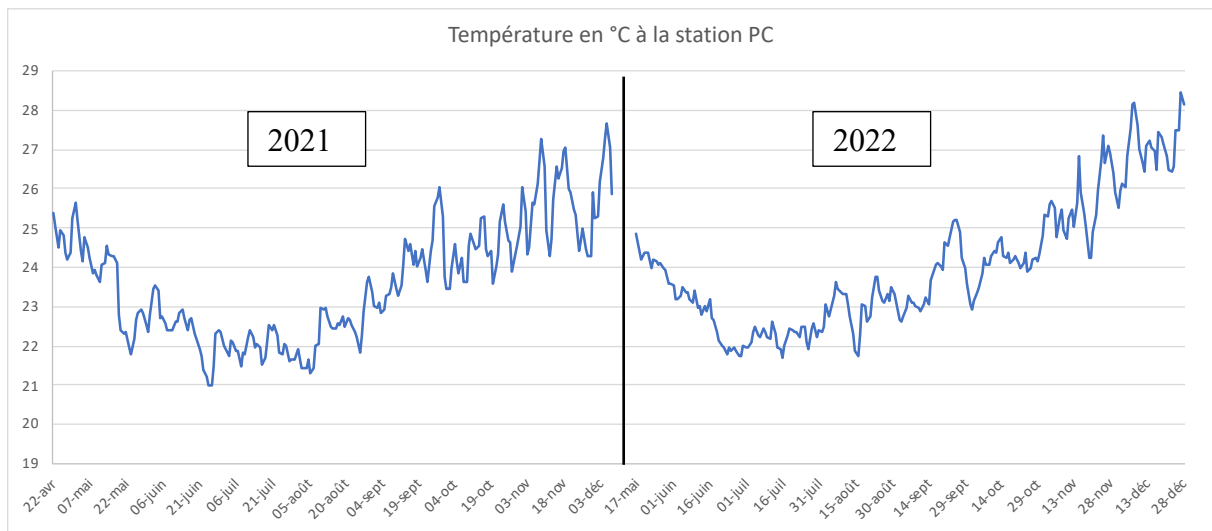
*Figure 5 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station PC en 2021 et 2022*



*Figure 6 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PA en 2021 et 2022*



*Figure 7 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station PB en 2021 et 2022*



*Figure 8 : Enregistrement de la température sur la station PC (moyenne journalière) en 2021 et 2022*

### 1.1.2— Etang du Gol



Figure 9 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Etang du Gol

Les profondeurs maximales sur ces stations sont pratiquement toujours supérieures à 1 m. Elles varient de 79 à 459 cm au cours des prélèvements sur la station GA, de 99 cm à 410 cm sur la station GB et de 97 cm à 227 cm sur la station GC. La disparition du disque de secchi se produit toujours avant d'atteindre le fond (à l'exception du prélèvement GC10). La zone euphotique ne correspond à l'entièreté de la colonne d'eau que dans 12 % des prélèvements pour la station GA. Ce n'est le cas que pour qu'un cas sur 24 pour la station GB et pour un tiers des prélèvements pour la station GC.

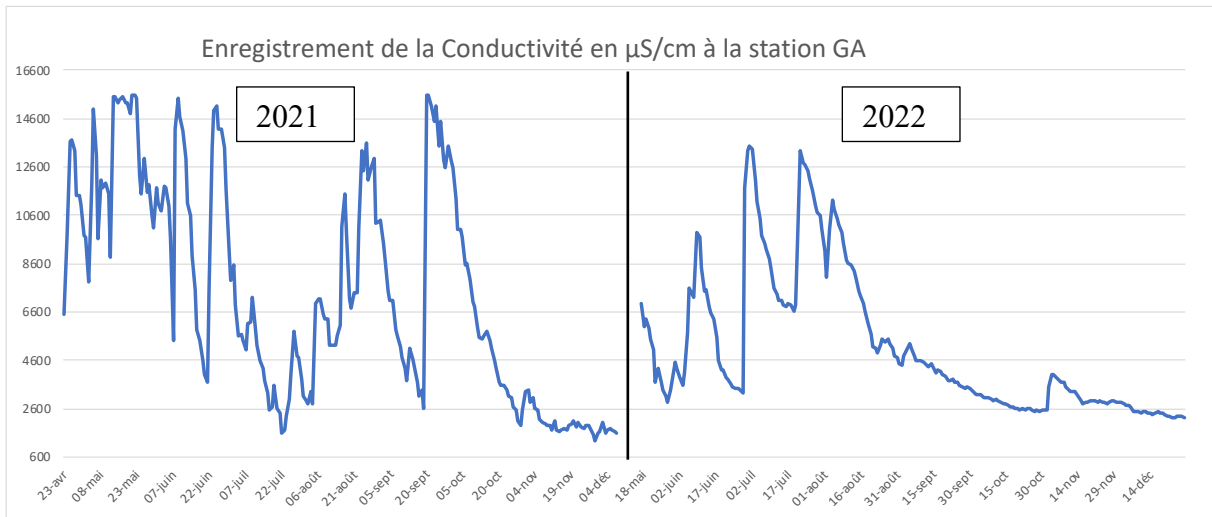
La médiane de la conductivité est de :

- 6323,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 3873,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour GA
- 5987,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 5382,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour GB
- 3123,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 3029,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022 pour GC

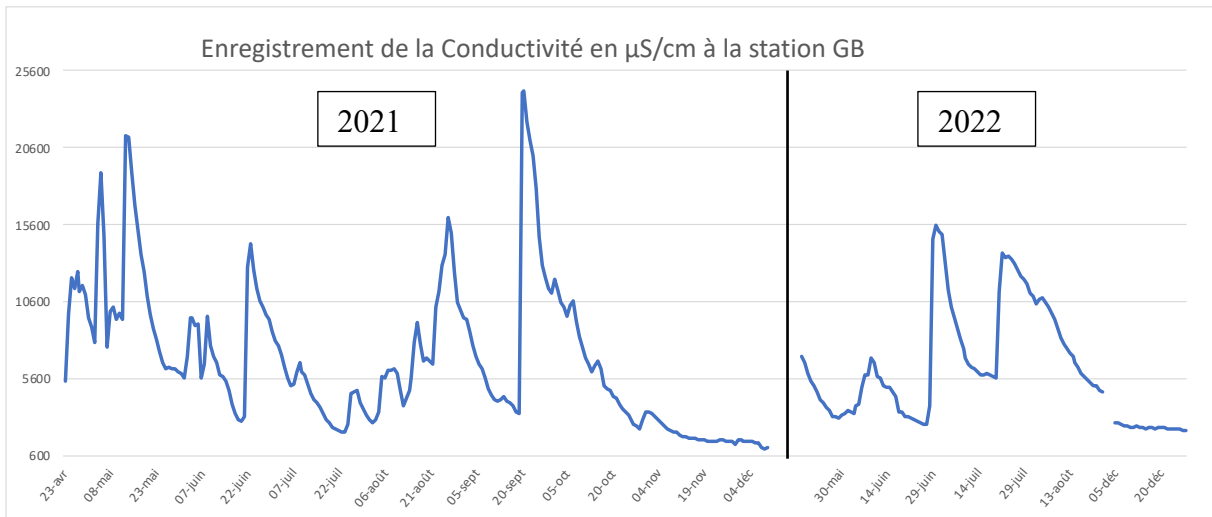
La médiane de la température est de :

- 27,8 °C en 2021 et de 25,4 °C en 2022 pour GA
- 26,0 °C en 2021 et de 23,7 °C en 2022 pour GB
- 27,2 °C en 2021 et de 26,7 °C en 2022 pour GC

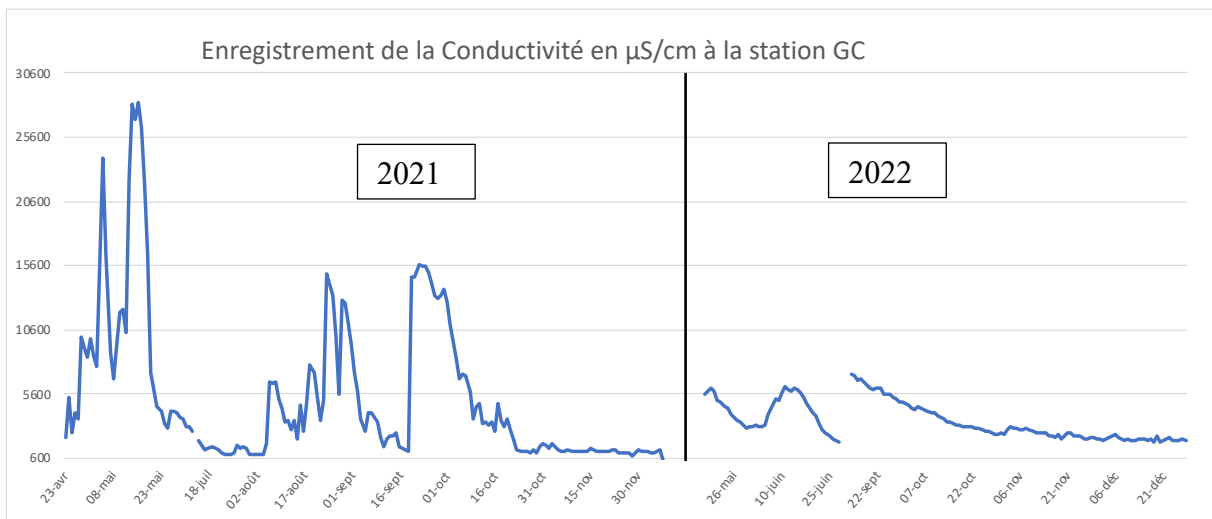
Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.



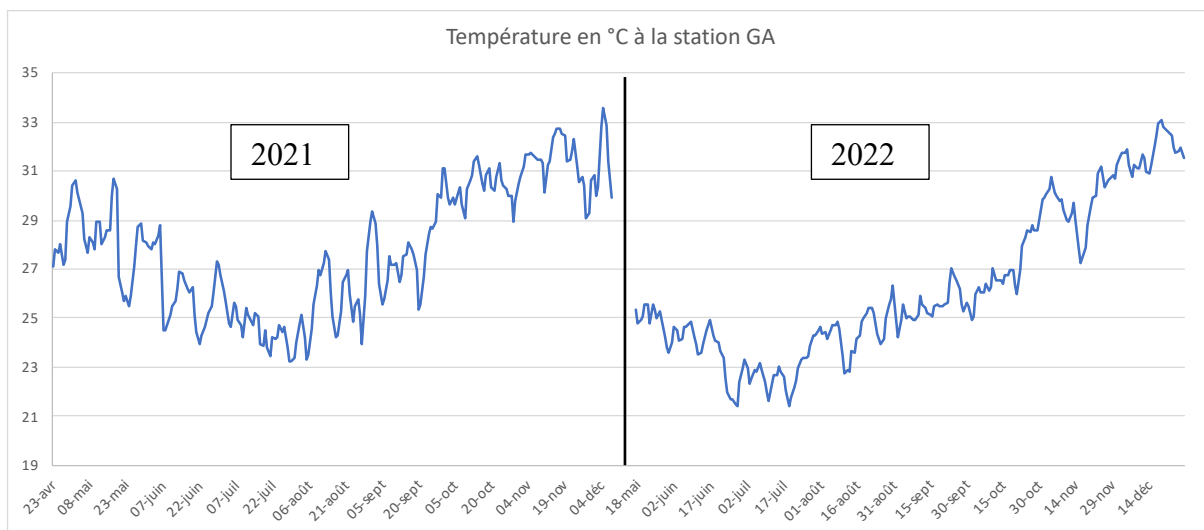
*Figure 10 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022*



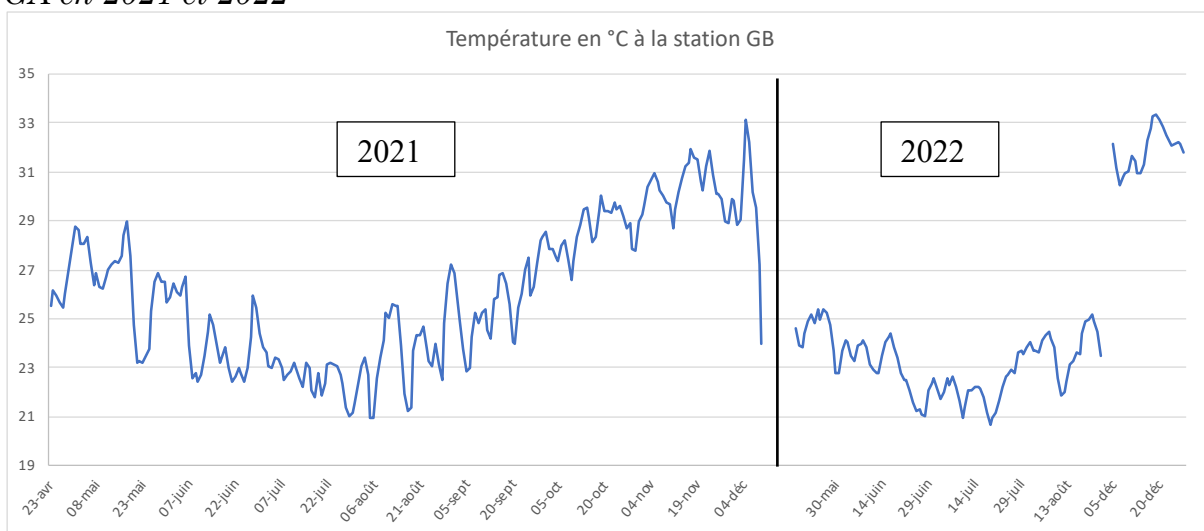
*Figure 11 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022*



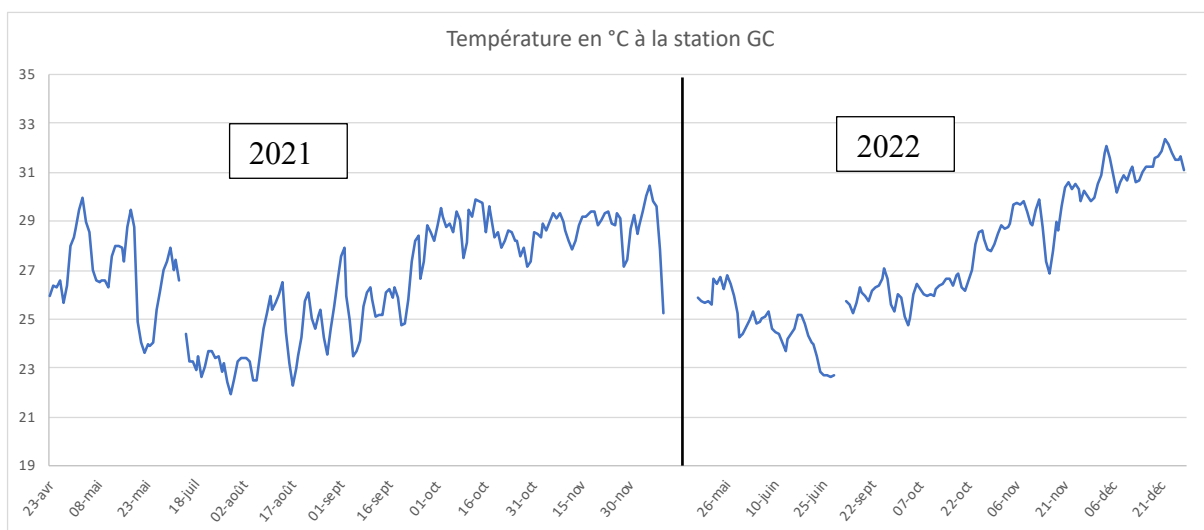
*Figure 12 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station GC*



*Figure 13 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GA en 2021 et 2022*



*Figure 14 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GB en 2021 et 2022*



*Figure 15 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station GC en 2021 et 2022*

### 1.1.3— Petit Etang de Saint-André



Figure 16 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André

Les profondeurs maximales mesurées sont toujours faibles et varient de 22 cm à 62 cm lors du suivi. Même si pour quelques prélèvements, le disque de secchi disparaît avant d’atteindre le fond, la zone euphotique correspond toujours à l’entièreté de la colonne d’eau.

La médiane de la conductivité est de 301,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 299,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022

La médiane de la température est de 25,5 °C en 2021 et de 25,4 °C en 2022

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.



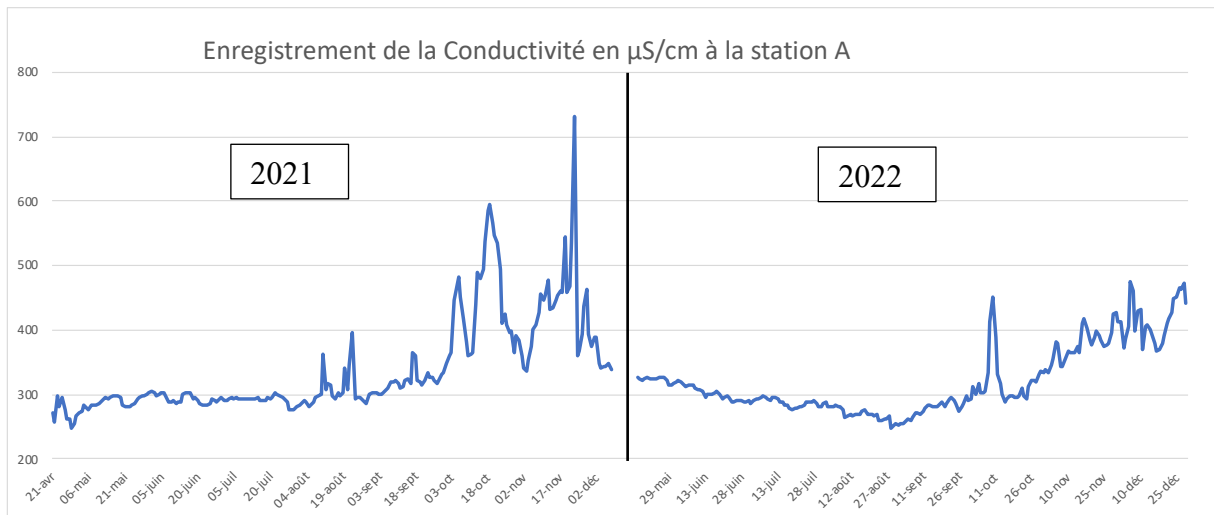


Figure 17 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022

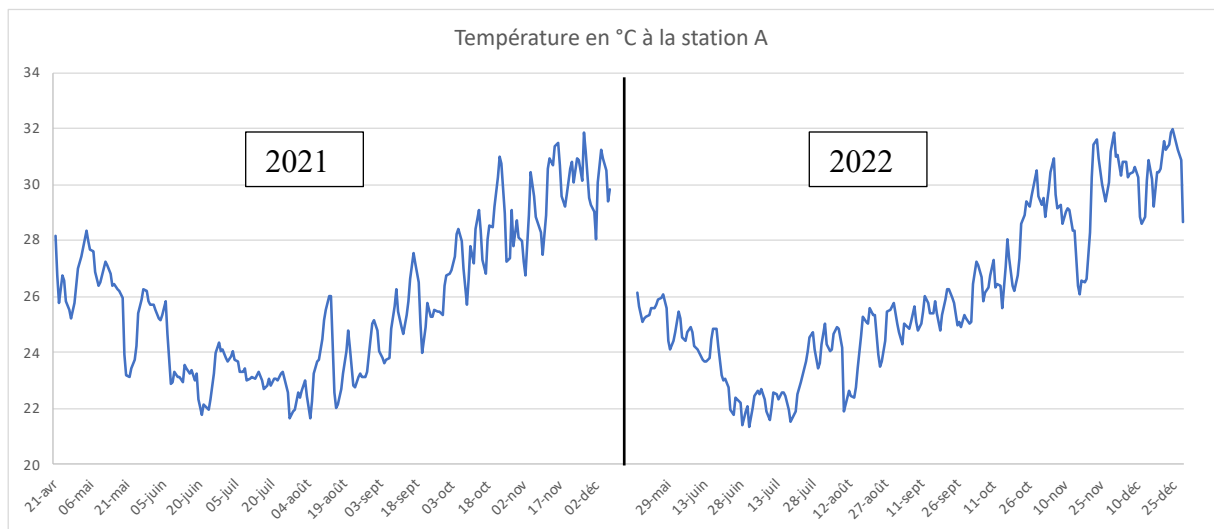


Figure 18 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station A en 2021 et 2022

#### 1.1.4— Bocage Sainte Suzanne



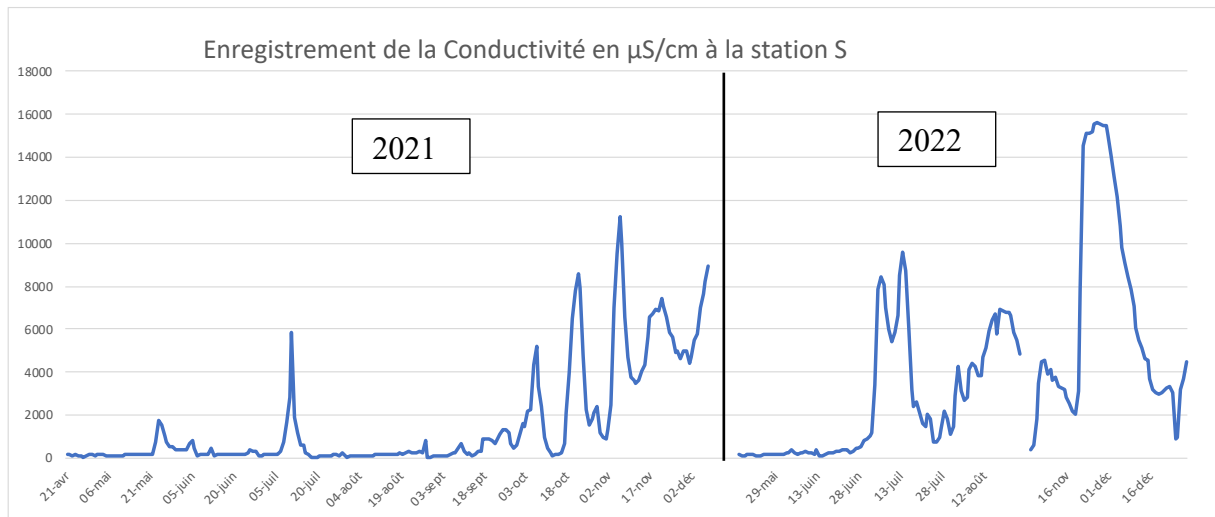
*Figure 19 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne*

Les profondeurs maximales mesurées sur cette station varient de 46 cm à 119 cm. Le disque de secchi atteint toujours le fond.

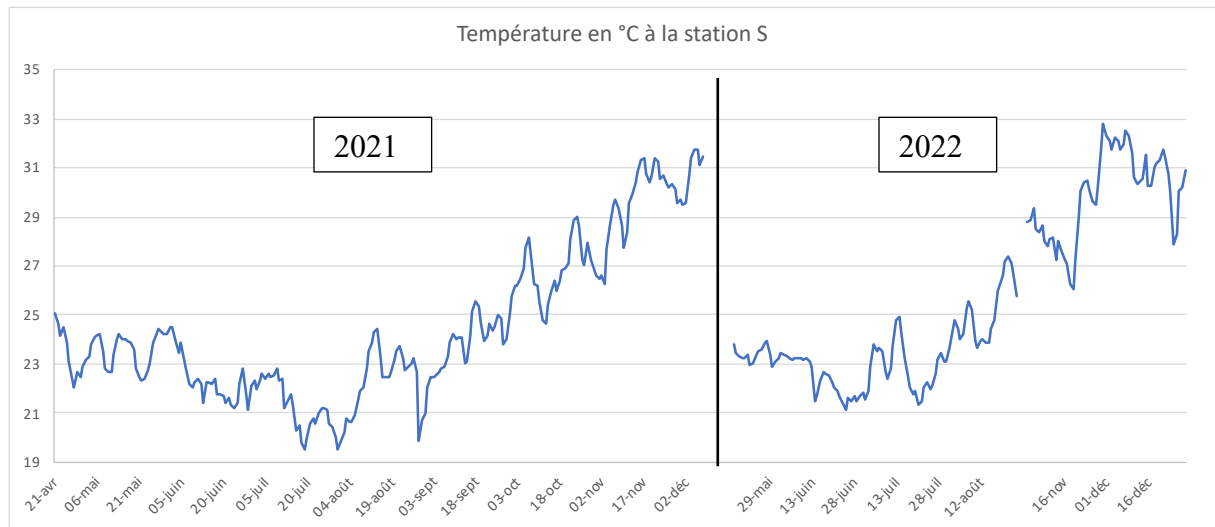
La médiane de la conductivité est de 249,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2021 et de 3078,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2022

La médiane de la température est de 23,8 °C en 2021 et de 24,0 °C en 2022

Les mesures de la sonde température/conductivité installée sur la station sont représentées par les figures suivantes.



*Figure 20 : Enregistrement de la conductivité (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022*



*Figure 21 : Enregistrement de la température (moyenne journalière) sur la station S en 2021 et 2022*

## 1.2 - Physico-chimie spectrophotomètre

### 1.2.1— Les différentes formes de l'azote mesurées

Les différentes formes de l'azote mesurées sont l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3$ ) et l'azote total (NT).

A partir de ces mesures ont pu être déduites les valeurs de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), de l'azote inorganique total (NIT), de l'azote organique et de l'azote Kjeldahl (NKT). Les formules pour les calculer sont ci-dessous :

$$\text{NH}_3 = 0,944 \text{ l x NH}_4$$

$$\text{NIT} = \text{NH}_3 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$$

$$\text{Azote organique} = \text{NT} - \text{NIT}$$

$$\text{NKT} = \text{Azote organique} + \text{NH}_3$$

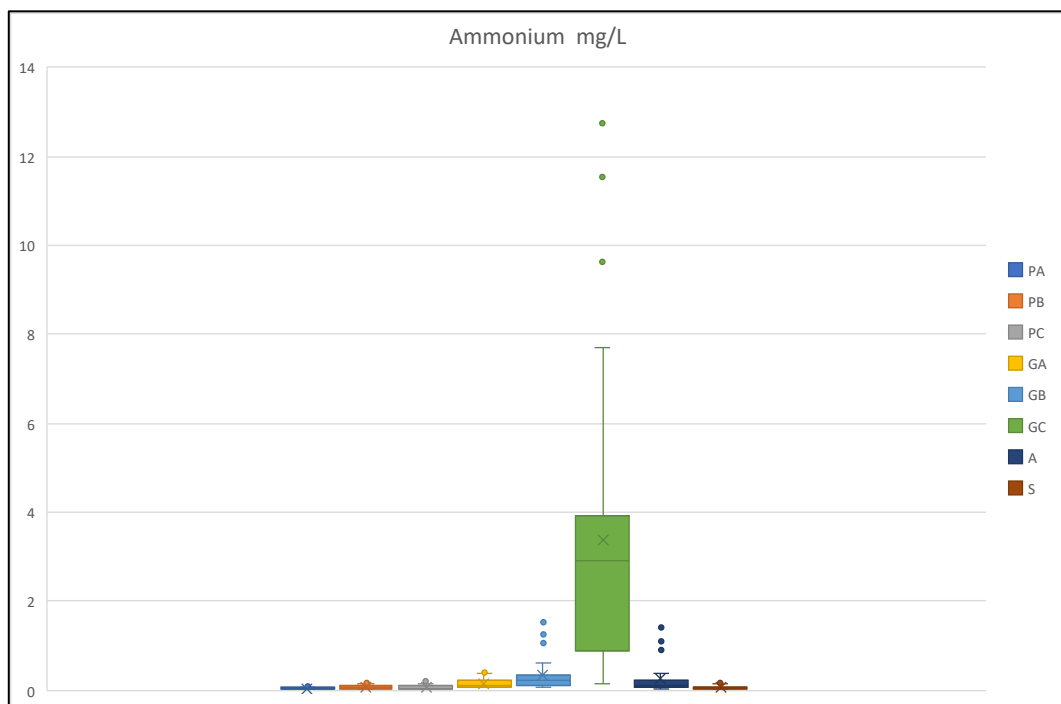


Figure 22 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies

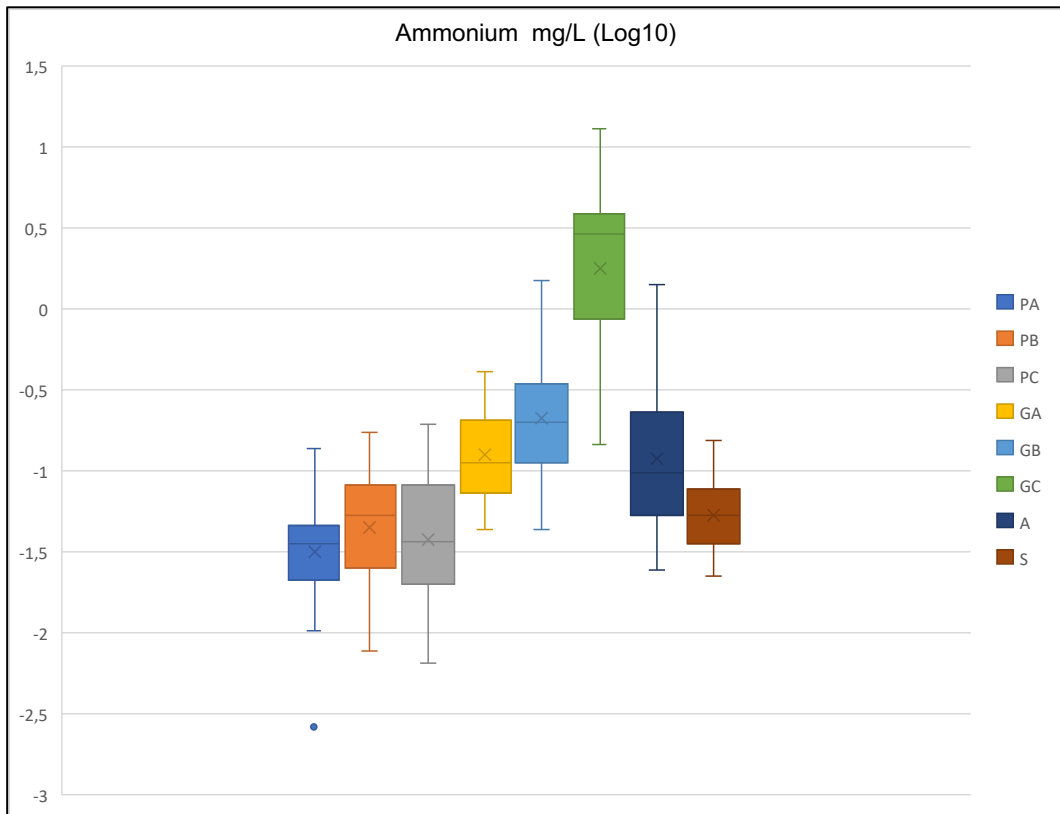


Figure 23 : Concentration en ammonium (mg/L) des 8 stations suivies après transformation en Log10

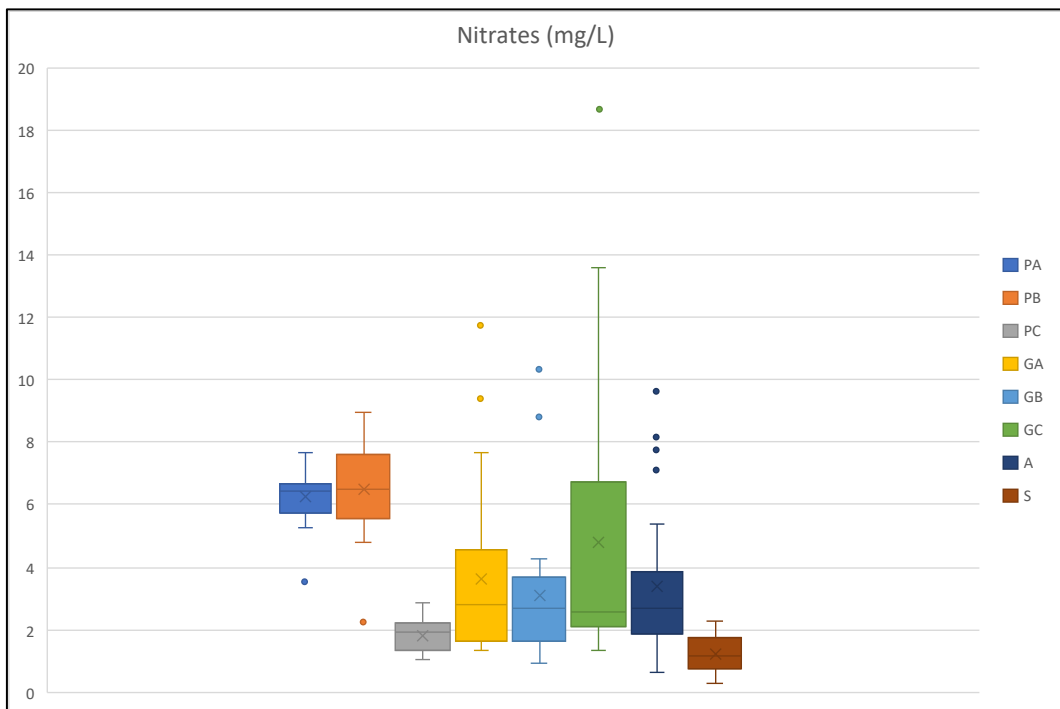


Figure 24 : Concentration en nitrates(mg/L) des 8 stations suivies.

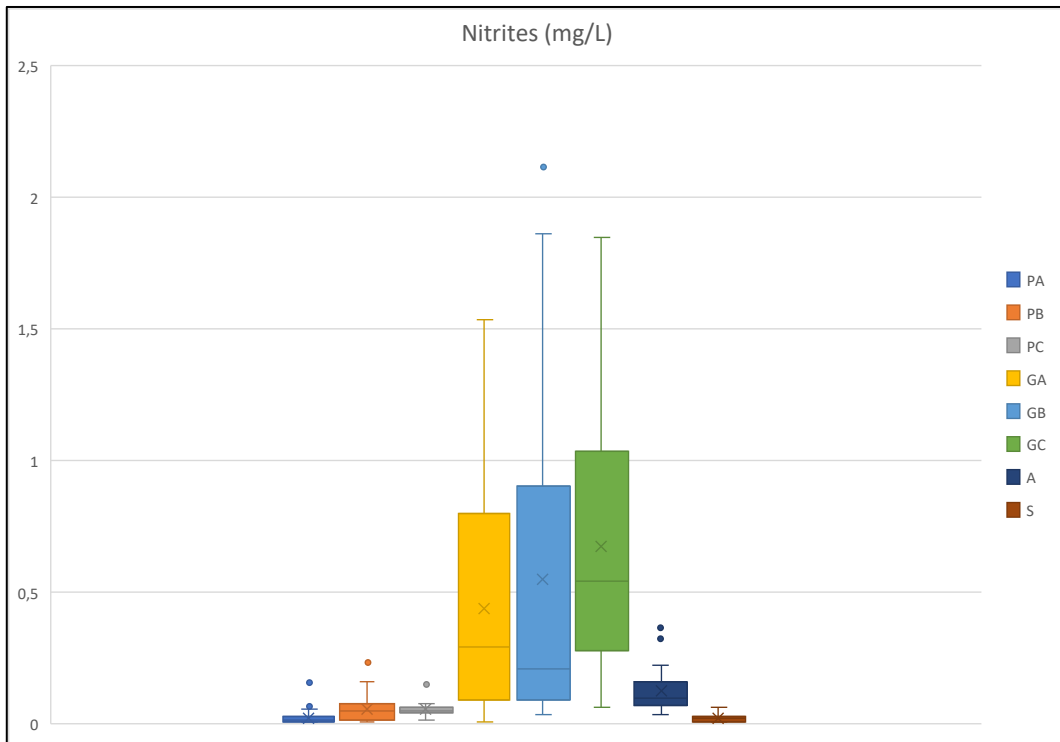


Figure 25 : Concentration en nitrites (mg/L) des 8 stations suivies.

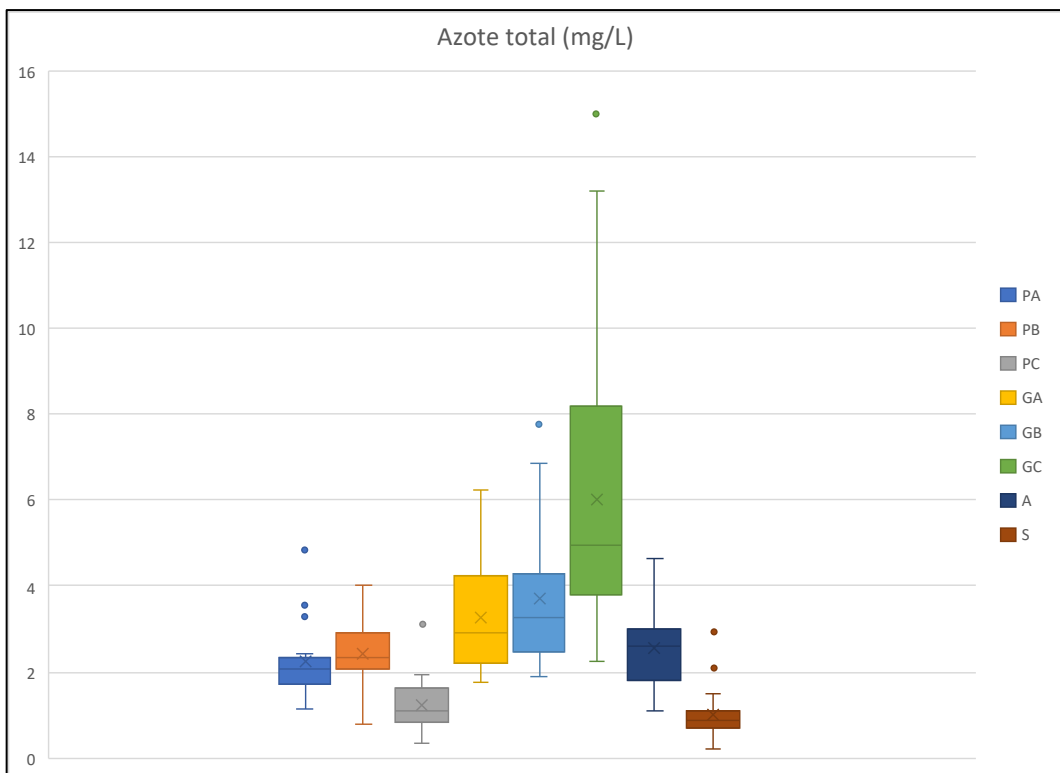


Figure 26 : Concentration en azote total (mg/L) des 8 stations suivies.

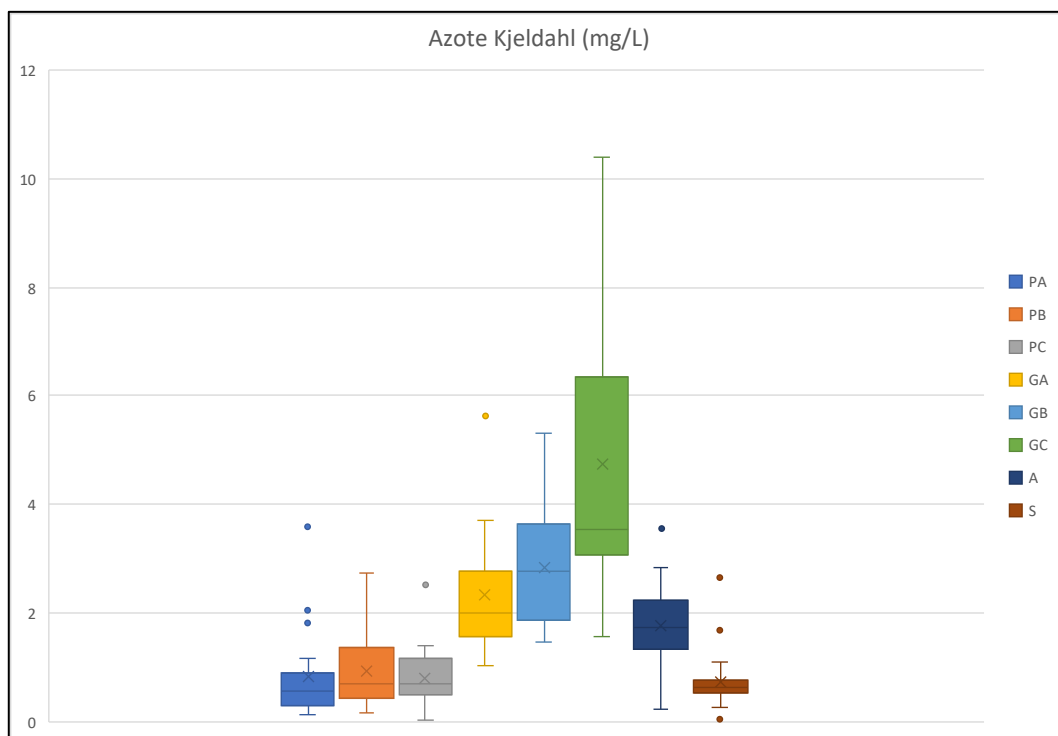


Figure 27 : Concentration en azote Kjeldahl (mg/L) des 8 stations suivies.

Selon les formes d'azote, les différentes stations se séparent bien selon l'azote Kjeldahl et l'ammonium et dans une moindre mesure avec l'azote total et les nitrites. Ainsi deux grands groupes se séparent avec d'un côté les concentrations les plus faibles d'azote Kjeldahl pour les stations de l'Etang de Saint Paul et le bocage Sainte-Suzanne et de l'autre avec des concentrations plus élevées avec les stations de l'Etang du Gol et du Petit Etang de Saint-André.

### 1.2.2— Les différentes formes du phosphore mesurées

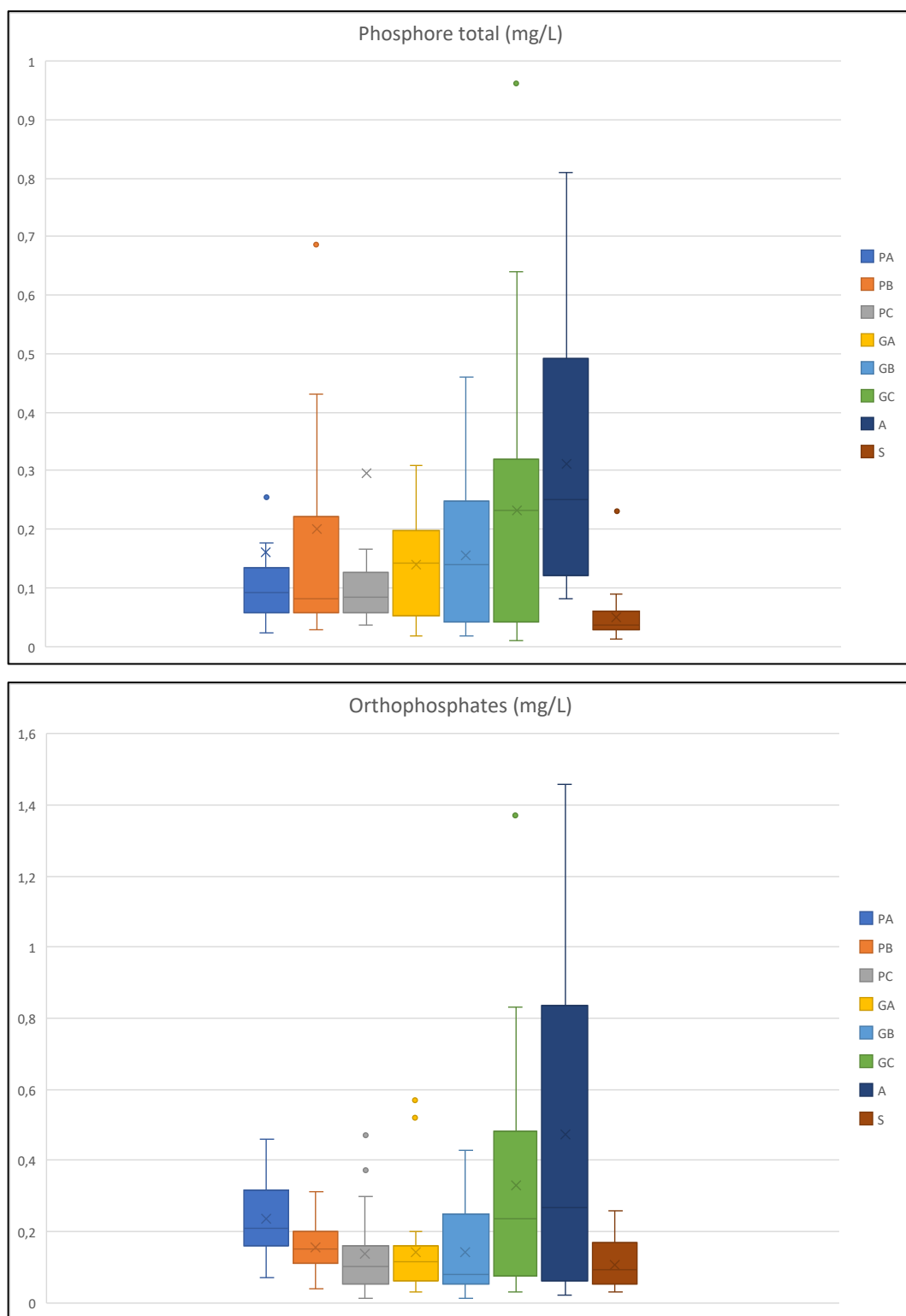


Figure 28 : Concentrations des formes du phosphore sur les 8 stations suivies

Les formes du phosphore ne permettent pas de séparer très clairement les stations entre elles.



## Conclusion

Le suivi de la conductivité sur l'ensemble de la campagne permet de confirmer que les stations choisies répondent à la définition d'eaux de transition

Les campagnes de 2021 et 2022 ont permis de réaliser les 24 prélèvements prévus en physico-chimie et phytoplancton. Au niveau physico-chimique, des gradients semblent se dessiner pour certains paramètres comme l'ammonium, l'azote total, mais surtout l'azote Kjeldahl.

Les analyses physico-chimiques (in situ et laboratoire) ont été menées au fur à mesure de l'avancement des prélèvements.

Les annexes regroupent l'ensemble des résultats physico-chimiques ainsi que les inventaires phytoplanctoniques.



**OFB**  
OFFICE FRANÇAIS  
DE LA BIODIVERSITÉ



# TransPhyt

## Méthode d'évaluation de l'état écologique basée sur le phytoplancton des masses d'eau de transition de La Réunion

- Rapport d'étape 6 : rapport final (guide méthodologique, flore phytoplancton, indice de qualité d'eau)



## Liste des personnes impliquées

- MicPhyc : Gilles Gassiole
- OCEA consult' : Guillaume Borie, Axelle Euphrasie, Laëtitia Faivre, Lou Anne Jannel, Emilie Métro, Baptiste Salager, Pierre Valade, Chloé Yven
- Artémis : Véronique Rouquet, Florence Peres
  
- OFB : Olivier Monnier, Eva Thierry
  
- OLE : Léonard Durasnel, Karoline Ruffié, Julien Bonnier
  
- Réserve de l'étang de Saint Paul : Pascal Hoarau, Anouk Piteau, Alexandre Tatel, Anne Laterrière, Muriel Fontaine, Fanny Alberto-Payet, Chloé Mériel
- Mairie de Sainte-Suzanne : Patrick Amourdom Mariaye
- AAPPMA de Saint-André : Ritchy Fontaine, Elodie Gourama
- DEAL : Audrey Bonnefoy, Pascal Talec

## Autorisations

Une autorisation pour les activités scientifiques a été obtenue pour la réserve de Saint Paul ainsi qu'une demande d'AOT (Autorisation Temporaire d'Occupation du domaine public fluvial) pour les différents plans d'eau à la DEAL.

Une autorisation a été acceptée pour la rivière Sainte-Suzanne et le Petit Etang de Saint-André ainsi qu'une mise en relation avec l'Association Agrée Pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Saint-André (A.A.P.P.M.A.S.A.)).

## Citation

Gassiole G., Rouquet V., Borie G., Yven C., Valade P., Peres F., Ruffié K. et Monnier O. (2023) L'indice phytoplanctonique des eaux de transition de La Réunion (IPTR). Guide méthodologique, planches iconographiques et indice de qualité d'eau.

## Avant-Propos

Dans le cadre de la directive cadre sur l'eau (DCE), la bioindication est l'un des dispositifs essentiels du processus d'évaluation des milieux aquatiques.

L'IPTR a été développé conjointement par MicPhyc, OCEA consult' et Artémis, dans le cadre d'un programme de Recherche-Développement initié suite à un appel à manifestation d'intérêt publié par l'OFB. Ce programme a été financé par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) sous forme de contrat de recherche, par l'Office de l'Eau de La Réunion (OLE) par une convention de Recherche ainsi qu'une part d'autofinancement de MicPhyc, OCEA consult' et Artémis.

L'objectif de ce document est de synthétiser les différentes étapes de mise en œuvre de l'indice phytoplanctonique des eaux de transition de La Réunion (IPTR), de l'élaboration du plan d'échantillonnage au calcul de la note indicielle, en décrivant les différentes étapes comme la méthode de prélèvement, d'analyse de l'échantillon jusqu'à l'obtention de l'inventaire.

Ce guide est destiné à tous les opérateurs intervenant sur les eaux de transition réunionnaises pour permettre une application fiable de la méthode de l'IPTR.

## Résumé

L'indice phytoplanctonique pour les eaux de transition de La Réunion (IPTR) est un outil de bioindication destiné à l'évaluation de la qualité biologique des eaux de transition de la Réunion à partir du phytoplancton.

Le présent guide a pour but de cadrer la mise en œuvre opérationnelle de l'IPTR afin d'obtenir les résultats les plus fiables possibles. Il décrit l'ensemble des procédures de prélèvements, d'analyse au laboratoire, de calcul de l'indice. Il lui est associé des planches iconographiques aidant à la détermination du phytoplancton rencontré.

## Mots clés

Bioindication — Eaux de transition — Phytoplancton — Directive cadre sur l'eau (DCE) — Etat écologique — La Réunion — Réseau de contrôle et surveillance (RCS)

## Sigles et abréviations

AOT : Autorisation Temporaire d'Occupation du domaine public fluvial

BE : bon état

DCE : directive cadre sur l'eau

DEAL : direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement

DROM : départements et régions d'outre-mer

EQR : ecological quality ratio

GEMAPI : gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations

IDR : indice diatomique Réunion

IPTR : indice phytoplancton des eaux de transition de La Réunion

IRM : indice Réunion macroinvertébrés

IRP : indice Réunion poissons

RCS : réseau de contrôle et surveillance

SDAGE : schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux

TBE : très bon état

## Sommaire

Avant-Propos .....	3
Résumé .....	4
Mots clés.....	4
Sigles et abréviations .....	4
<b>I. Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>II. Contexte et objectif du guide.....</b>	<b>8</b>
A. La directive cadre sur l'eau .....	8
B. Le contexte réunionnais.....	8
C. L'indice phytoplancton pour les eaux de transition de La Réunion (IPTR) .....	8
D. Le périmètre de mise en œuvre .....	9
E. Restrictions d'application de la méthode et réserves sur la fiabilité des résultats .....	9
<b>III. L'acquisition des données .....</b>	<b>10</b>
A. Sites d'études .....	10
B. Période d'échantillonnage .....	12
C. Conditions de prélèvement.....	12
D. Méthode de prélèvements .....	13
E. Traitements et Analyse des échantillons .....	16
<b>IV. L'IPTR .....</b>	<b>18</b>
A. La création de l'IPTR .....	18
B. Constitution de l'IPTR .....	19
C. Résultats de l'IPTR pendant la durée de TransPhyt .....	25
<b>V. Niveau de confiance et incertitudes.....</b>	<b>29</b>
A. Les incertitudes liées à l'utilisation de l'élément de qualité « phytoplancton » .....	29
B. Les incertitudes liées à la conception de l'outil .....	29
C. Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'outil.....	29
<b>VI. Bibliographie.....</b>	<b>31</b>
<b>VII. Planches iconographiques .....</b>	<b>32</b>
A. Bacillariophyta.....	32
B. Charophyta.....	32
C. Chlorophyta.....	33
D. Cryptophyta.....	34
E. Cyanobacteria.....	35
F. Euglenozoa .....	36
G. Mioza .....	36
H. Ochrophyta .....	37
<b>VIII. Annexes.....</b>	<b>38</b>

A. Annexe 1 : Sites prélevés et dates de prélèvement .....	38
B. Annexe 2 : Matrice abiotique.....	38
C. Annexe 3 : Matrice biotique.....	38
D. Annexe 4 : Résultats IPTR et de ses composantes .....	38
E. Annexe 5 : Etudes référencées sur les plans d'eau échantillonnés.....	38
F. Annexe 6 : Quelques ouvrages de référence pour la détermination du phytoplancton.....	38

## Table des figures

Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S).....	10
Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul .....	11
Figure 3 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Etang du Gol.....	11
Figure 4 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André .....	11
Figure 5 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne	12
Figure 6 : Matériel de prélèvement.....	14
Figure 7 : Exemple de fiche de prélèvement.....	15
Figure 8 : microscope inversé et kit Utermöhl avec lame support et différentes colonnes de sédimentation .....	17
Figure 9 : Arbre de régression multivariées et combinaison des embranchements les plus indicateurs pour chaque groupe .....	19
Figure 10 : Schéma récapitulatif du principe de conception de la grille d'EQR de l'IPTR ....	22
Figure 11 : A — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du $\log_{10}$ du nombre de cellules par ml de cyanobactéries. B — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du $\log_{10}$ du nombre de cellules totales par ml. C — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR des valeurs du rapport profondeur de disparition du disque de secchi et profondeur maximale. D — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR des valeurs de la composante « Tax ».....	23
Figure 12 : A — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du $\log_{10}$ de la concentration en azote Kjeldahl. B — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du $\log_{10}$ de la concentration en azote totale.....	24

## Table des tableaux

Tableau 1 : Résultats des corrélations de Spearman sur la matrice d'apprentissage .....	21
Tableau 2 : Résultats des corrélations de Spearman sur la matrice test.....	21
Tableau 3 : Limites des classes d'état écologique pour l'IPTR.....	22
Tableau 4 : IPTR des 3 stations de l'Etang de Saint Paul.....	25
Tableau 5 : IPTR des 3 stations de l'Etang du Gol.....	26
Tableau 6 : IPTR de la station du Petit Etang de Saint-André.....	28
Tableau 7 : IPTR de la station Bocage Rivière Sainte-Suzanne .....	28
Tableau 8 : incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IPTR.....	30

## I. Introduction

Ce programme de recherche et développement répond aux besoins de disposer de méthodes d'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition à La Réunion.

Cette étude comporte deux principaux volets :

- la caractérisation du compartiment « phytoplancton » pour le développement d'un outil indiciel à fin d'évaluation de la qualité biologique des masses d'eau de transition, couplant approches biologiques et descripteurs de la qualité physico-chimique ;
- la faisabilité de l'utilisation des populations de « diatomées » pour le développement d'un outil indiciel (rapport d'étape n° 4 et poster ADLAF 2023 (Gassiole et al. 2023)).

Le présent rapport regroupe, quant à lui, l'ensemble des données nécessaires à l'application de l'indice de qualité pour les eaux de transition de La Réunion basé sur le compartiment phytoplancton ainsi que les différentes étapes de son élaboration.

Cette étude a permis de suivre l'état écologique de ces milieux d'un point de vue biologique pour compléter l'évaluation réalisée à partir de descripteurs de la qualité physico-chimique.

Les bénéficiaires de cette action sont les gestionnaires des milieux aquatiques (Réserve Naturelle de l'Etang de Saint Paul, Communautés de communes en charge de la GEMAPI), ainsi que les organismes en charge du suivi de la qualité de l'eau et des milieux et de la mise en application du SDAGE (Office de l'Eau, DEAL...). Les utilisateurs sont en général les hydrobiologistes (Bureau d'études) pour disposer d'outils de référence pour la caractérisation et de suivi de l'état des masses d'eau de transition.

Le principe du projet repose sur la réalisation conjointe d'inventaires biologiques et de mesures de la qualité physico-chimique, sur plusieurs stations de quatre plans d'eau de La Réunion. L'analyse croisée des paramètres permettant, in fine, de déterminer des compositions de flore en lien avec la qualité physico-chimique de l'eau. Les investigations ont été menées sur des stations subissant différents niveaux de pression, au sein d'une même masse d'eau ou au sein de différentes masses d'eau.



## II. Contexte et objectif du guide

### A. La directive cadre sur l'eau

La directive cadre sur l'eau (European commission 2000), adoptée le 23 octobre 2000 et transcrite en droit français par la loi n° 2004-338 du 21 avril 2004, établit le cadre de la politique communautaire dans le domaine de l'eau et définit les objectifs environnementaux à atteindre pour l'ensemble des eaux, avec obligation de résultat. Les principaux objectifs sont la réduction ou la suppression des rejets de substances chimiques prioritaires, la non-détérioration de la qualité des eaux, et dans bien des cas la reconquête du bon état des eaux et des milieux aquatiques. Pour l'établissement de l'état des masses d'eau, La DCE prend en compte l'état écologique et l'état chimique. L'état écologique est l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Le phytoplancton est l'un des compartiments clés pouvant être pris en compte pour son évaluation. L'état écologique est mesuré par rapport à des conditions de référence.

### B. Le contexte réunionnais

L'application de la DCE dans les départements et régions d'outre-mer (DROM) nécessite, au même titre que la France métropolitaine, la réalisation régulière d'opérations de surveillance de la qualité des eaux, ainsi que la mise en application d'indices biologiques permettant d'évaluer l'état écologique des milieux aquatiques. Ces opérations soumises à rapportage vers l'Union européenne sont réalisées dans le cadre des réseaux institutionnels de surveillance, et notamment du réseau de contrôle et de surveillance (RCS).

Cependant, le caractère tropical de La Réunion, fait que les compartiments biologiques clés présents sont très différents de ceux de la métropole, tant dans leur composition spécifique que dans leur fonctionnement. Cela a conduit à développer des indices biologiques spécifiques.

### C. L'indice phytoplancton pour les eaux de transition de La Réunion (IPTR)

L'IPTR est un indice basé sur la structure du peuplement phytoplanctonique de la station considérée appartenant aux eaux de transition de La Réunion.

#### D. Le périmètre de mise en œuvre

L'IPTR a été conçu à partir d'un jeu de données issues d'échantillons prélevés sur quatre plans d'eau répondant à la définition d'eau de transition. Le territoire d'application est donc l'île de La Réunion.

#### E. Restrictions d'application de la méthode et réserves sur la fiabilité des résultats

Les cas de restrictions de la méthode peuvent être liés à une non-appartenance au domaine des eaux de transition.

Les résultats seront aussi moins fiables dans le cas où les conditions de prélèvement sont perturbées par la houle, le vent, l'ouverture du cordon littoral ou encore le recouvrement par des plantes immergées.

### III. L'acquisition des données

#### A. Sites d'études

Quatre plans d'eau côtiers ou assimilés ont été retenus pour répondre à la définition des eaux de transition : l'**Étang de Saint Paul (3 stations)**, l'**Étang du Gol (3 stations)**, le **Petit étang de Saint-André (1 station)** et le **Bocage de la rivière Sainte-Suzanne (1 station)**. Les trois premiers sites sont des étangs côtiers d'origine sédimentaire. Le gradient de salinité y est souvent marqué et variable selon les saisons, l'hydrologie et les conditions de houle sur le littoral. À ce titre, le cours aval de la rivière Sainte-Suzanne (zone du bocage) présente des caractéristiques morphologiques proches des étangs côtiers et ne peut être inventorié par les méthodologies mises en place sur les cours d'eau de La Réunion (IRM, IRP, IDR). Enfin, ces quatre sites supportent différents niveaux de pression issus des activités humaines. Plusieurs études ont déjà été menées sur ces plans d'eau, elles sont référencées en annexe. Il est aussi à noter que l'Étang de Saint Paul et l'Étang du Gol sont suivis dans le cadre du RCS au niveau de la qualité physico-chimique de l'eau.

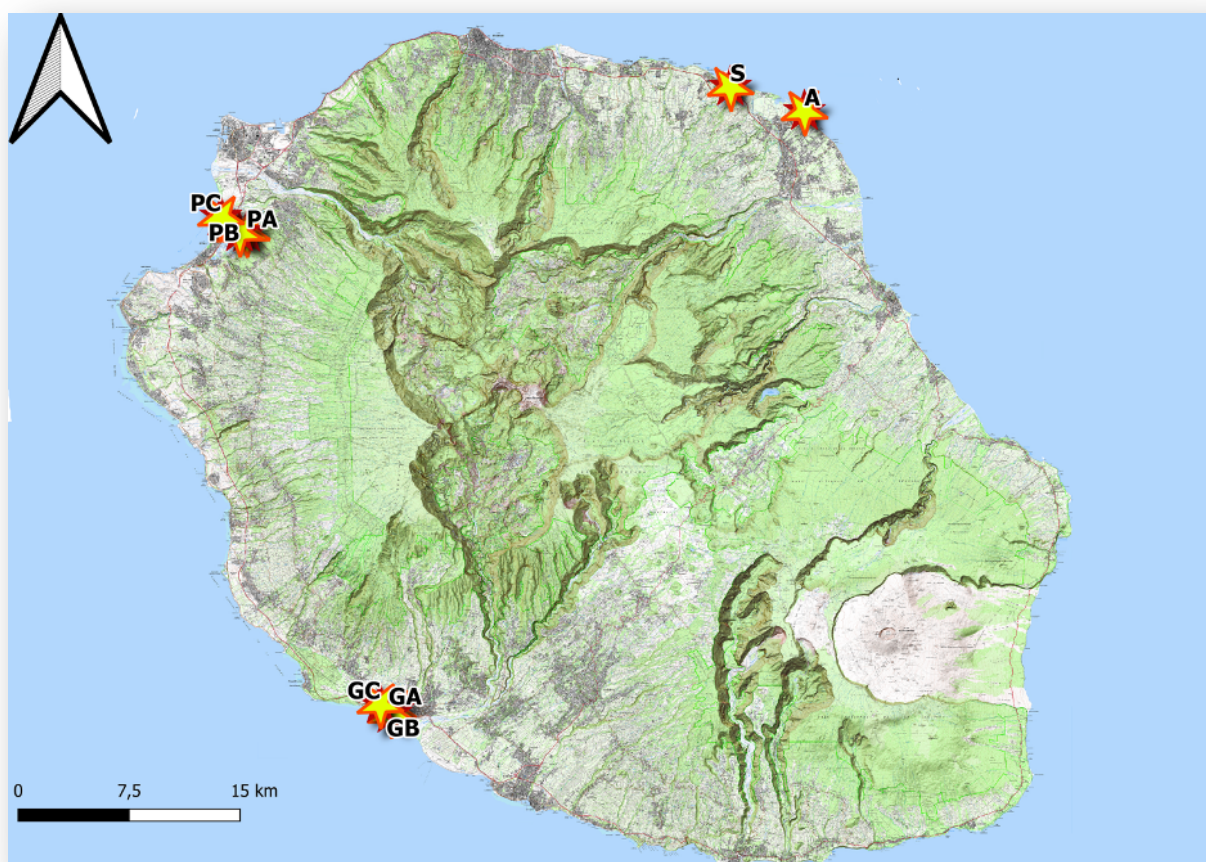


Figure 1 : Localisation générale des plans d'eau suivis. Etang de Saint Paul (stations PA, PB, PC), Etang du Gol (stations GA, GB, GC), Petit Etang de Saint-André (station A), Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne (station S)



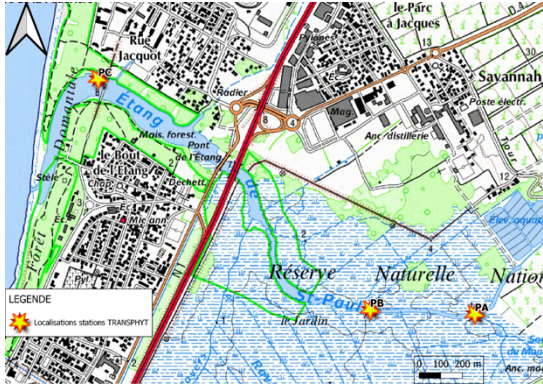


Figure 2 : localisations des stations PA, PB et PC sur l'Etang de Saint Paul



Figure 3 : localisations des stations GA, GB et GC sur l'Etang du Gol



Figure 4 : localisation de la station A sur le Petit Etang de Saint-André



Figure 5 : localisation de la station S sur le Bocage de la Rivière Sainte-Suzanne

Les méthodes d'acquisition des données biologiques font appel à des procédures déjà existantes dont les documents de référence sont différentes normes ou protocoles standardisés :

- Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en œuvre de la DCE (Laplace-Treytore et al. 2009),
- Concernant la mesure de la transparence de l'eau, la norme EN ISO 7027-2 (AFNOR, 2019),
- La norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl) NF EN 15 204 (AFNOR, 2006).

### B. Période d'échantillonnage

Les milieux d'eau de transition sont très changeants. Les différents apports d'eau continentale ou marine provoquent de grosses variations notamment au niveau de la composition phytoplanctonique. Le suivi effectué malgré un pas de temps resserré de trois semaines a montré encore de grosses variations au niveau des inventaires taxinomiques et des relevés physico-chimiques. Le suivi en routine en physico-chimie étant réparti en quatre fois dans l'année à La Réunion, le suivi phytoplanctonique pourrait se calquer sur ce calendrier pour donner une image de la qualité écologique des eaux de transition par le phytoplancton.

### C. Conditions de prélèvement

La masse d'eau suivie doit appartenir aux eaux de transition. Le SANDRE définit une masse d'eau de transition comme « une partie distincte et significative des eaux de surface située à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves, qui sont partiellement salines en raison de leur proximité des eaux côtières, mais qui restent fondamentalement influencées par des courants d'eau douce, constituant le découpage élémentaire des milieux aquatiques destiné à être l'unité d'évaluation de la DCE. ».

Le prélèvement doit s'effectuer dans de bonnes conditions climatiques pour permettre une perturbation la plus limitée possible de la colonne d'eau où s'effectue le prélèvement. Ainsi les périodes de vent soutenu, de pluie trop abondante ou encore de « houle » seront évitées.

#### D. Méthode de prélèvements

Le prélèvement consiste à constituer un échantillon intégré de la zone euphotique de la colonne d'eau.

Les étapes de la constitution d'un échantillon intégré sont les suivantes :

- Mesure de la profondeur maximale au point de prélèvement,
- Mesure de transparence à l'aide d'un disque de Secchi. Cette mesure est primordiale, car elle détermine la zone euphotique sur laquelle le prélèvement intégré est réalisé,
- la profondeur de disparition du disque de Secchi est multipliée par 2,5 pour connaître la zone euphotique,
- un échantillon est prélevé à l'aide d'une bouteille à prélèvement de type Van Dorn tous les 50 cm dans cette zone euphotique à l'exception des 50 cm proches du fond,
- l'ensemble des prélèvements effectués dans la zone euphotique sont mélangés dans un récipient pour constituer l'échantillon intégré.

Les différentes étapes permettant la mesure de la transparence avec le disque de Secchi sont les suivantes :

- descendre lentement dans l'eau le disque de Secchi jusqu'au point de disparition,
- faire remonter le disque de Secchi jusqu'à apparition, puis le descendre à nouveau afin de trouver le point exact où il disparaît,
- noter la valeur,
- répéter l'opération au moins 3 fois,
- consigner la moyenne des mesures.

Les plans d'eau échantillonnés pouvant faire moins de 50 cm de profondeur maximale alors plusieurs prélèvements de l'eau en surface sont alors effectués et mélangés dans un récipient pour constituer l'échantillon intégré.

Après homogénéisation de l'échantillon intégré, une aliquote de 500 ml est conservée pour l'analyse du phytoplancton. Cette aliquote est fixée au lugol (2,5 ml pour un flacon de 500 ml) lors de sa constitution pour arrêter tout développement du phytoplancton.

Dans le cadre du calcul de l'IPTR seule la constitution d'un échantillon intégré est nécessaire.



La liste du matériel nécessaire pour la constitution de l'échantillon intégré dans le cadre de l'IPTR est :

- une embarcation pour atteindre les points de prélèvements,
- un disque de Secchi,
- une bouteille Van Dorn,
- un seau pour recueillir l'ensemble des prélèvements constituant l'échantillon intégré,
- flaconnage de 500 ml,
- Lugol et pipette.

Des données complémentaires pour l'analyse ultérieure des résultats et leurs interprétations peuvent être effectuées :

- mesures in situ de la température, pH, conductivité, pourcentage d'oxygène, concentration d'oxygène de l'échantillon intégré
- profil vertical de la colonne d'eau avec les mesures in situ de la température, pH, conductivité, pourcentage d'oxygène, concentration d'oxygène,
- mesures de la chlorophylle a (en laboratoire ou in situ à l'aide d'une sonde) de l'échantillon intégré et du profil vertical de la colonne d'eau
- prélèvements au filet (vide de maille de 30  $\mu\text{m}$ ), pour concentrer le phytoplancton pour une analyse complémentaire qualitative de sa composition.

La liste du matériel nécessaire pour les données complémentaires est :

- sonde de mesure in situ température, pH, conductivité, pourcentage d'oxygène, concentration d'oxygène
- sonde de mesure in situ chlorophylle a
- flaconnage adapté pour mesure de la chlorophylle a au laboratoire
- filet à phytoplancton (vide de maille de 30  $\mu\text{m}$ ).



Figure 6 : Matériel de prélèvement

Une fiche consignait les différentes mesures effectuées sur le terrain est remplie. Les éléments obligatoires sont :

- nom de la station de prélèvement
- date et heure de prélèvement
- nom du ou des préleveurs
- conditions climatiques (vent, pluie, houle)
- couleur de l'eau
- présence ou absence d'efflorescence
- profondeur maximale
- profondeur de disparition du disque de secchi
- profondeur de la zone euphotique

Pourront être ajoutés les éléments permettant une interprétation ultérieure comme :

- les mesures physico-chimiques in situ de l'échantillon intégré et du profil de la colonne d'eau
- la mesure de la chlorophylle a (échantillon intégré et profil de la colonne d'eau)
- la constitution d'un échantillon concentré de phytoplancton
- la constitution d'un échantillon pour la mesure de la chlorophylle a au laboratoire.

TransPhyt			
Station			
Plan d'eau :	Station :	Date :	
Préleveurs :			
Météo	Sec ensoleillé	faiblement nuageux	fortement nuageux
	temps humide	Pluie fine	orageux
Vent	nul	faible	moyen fort
Surface de l'eau	lisse	faiblement agitée	agitée fortement agitée
Bloom	oui	non	
Remarques :			
Prélèvement			
Heure début :	Heure fin :		
Bloom	oui	non	
Prélèvements réalisés	Eau phy-chim (2X500ml)	PC I	PC II
	Chlorophylle (1X250ml)	P	
	Phytoplancton (1X500ml- 1X250ml [LUGOL] - 150ml)		
Relevé sonde 24/24	Suppl [150 ml]	ADNe	
Couleur eau			
Remarques :	zooplancton		

TransPhyt								
Secchi :	Prof. Max :	Zone euphotique (X2.5) :						
Sondes utilisées :								
Intégré								
Temp.	pH	ORP	Cond. Spec.	O2 dissous	Tx sat.	Chloroph.	FDOM	
Profil								
	Temp.	pH	ORP	Cond. Spec.	O2 dissous	Tx sat.	Chloroph.	FDOM
0								
0,5								
1								
1,5								
2								
2,5								
3								
3,5								
4								
Diatomètres - Cordes								
	A	B	C	D	E	F		
Poser								
Récupérer								

Figure 7 : Exemple de fiche de prélèvement



## E. Traitements et Analyse des échantillons

Le traitement et l'analyse des échantillons suivent la méthode Utermöhl (Norme NF EN 15 204).

Cette méthode nécessite obligatoirement :

- un microscope inversé équipé d'oculaire à minima de X10 et d'objectifs avec des distances de travail importantes, de différents grossissements dont le X40 ou X63 pour l'identification,
- des chambres de sédimentation de 10 à 50 ml de capacité,
- des pipettes et éprouvettes graduées pour effectuer des concentrations ou dilutions si nécessaires.

Le matériel de microscopie peut être complété par des systèmes de contraste ainsi que d'un système de prise de vues pour faciliter les identifications.

Le nombre de cellules par millilitre étant un paramètre rentrant en compte dans le calcul de l'IPTR, un soin particulier est apporté aux mesures du diamètre du champ de comptage, de volume des chambres et du diamètre de la chambre de comptage.

### **Confection de l'échantillon d'observation**

L'ensemble des constituants de la chambre de sédimentation, c'est-à-dire la lame support, la lamelle et la colonne doit être propre et sec.

La chambre de sédimentation et l'échantillon doivent être à température ambiante.

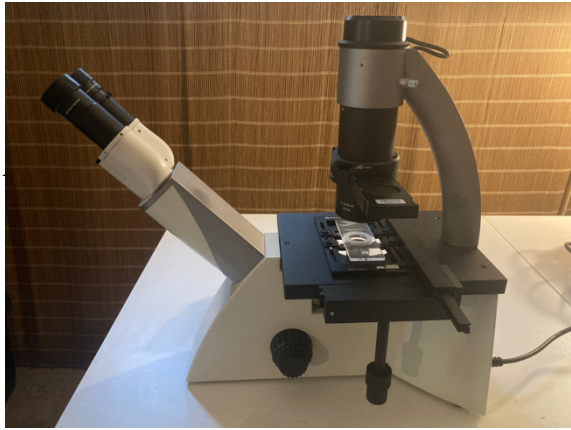
Pour permettre une homogénéisation de l'échantillon de phytoplancton, celui-ci est doucement agité par des mouvements lents (les mouvements ne doivent pas être trop brusques pour ne pas détruire les colonies de cellules) pendant au moins une minute. Puis un sous échantillon est versé dans la chambre de sédimentation. Celle-ci est alors placée à l'obscurité, à température ambiante et en absence de vibration. Compter au minimum 4 heures de sédimentation par cm de hauteur de colonne de sédimentation. Une fois la durée de sédimentation nécessaire dépassée, faire glisser la colonne en s'aidant d'une lame en verre qui va venir fermer la chambre de comptage.

Après avoir placé la lame support sur la platine du microscope, une vérification de l'homogénéité de l'échantillon est effectuée à faible grossissement. Si l'échantillon est homogène, l'identification et le comptage des cellules phytoplanctoniques peuvent commencer. Si l'homogénéité n'est pas assurée alors l'échantillon doit être réparé.

Pour que le comptage soit possible, il faut aussi que les différents individus soient facilement distinguables, ainsi une concentration ou une dilution pourra être effectuée et l'échantillon réparé.

Le comptage s'effectue soit par transects soit sur différents champs choisis aléatoirement au grossissement X400 ou X630. Le comptage s'effectue par cellule. Dans le cas de colonies où le nombre de cellules est trop important, une estimation est donnée. Au moins quarante champs sont comptés.

Les résultats sont donnés en nombres de cellules par millilitre d'échantillon.



*Figure 8 : microscope inversé et kit Utermöhl avec lame support et différentes colonnes de sédimentation*

## IV. L'IPTR

A partir des mesures effectuées durant les deux années de suivi du programme de recherche sur les quatre plans d'eau retenus, une matrice abiotique et une matrice biotique ont été constituées. La matrice abiotique regroupe les données liées aux différents paramètres liés à l'azote, au phosphore ainsi que les données de profondeur de disparition du disque de secchi.

La matrice biotique regroupe quant à elle les inventaires taxinomiques des différents prélèvements.

### A. La création de l'IPTR

Un tirage au sort a été effectué sur l'ensemble des 192 échantillons pour séparer une matrice d'apprentissage (172 échantillons) à partir de laquelle l'IPTR a été constitué et une matrice de test (20 échantillons : environ 10 %).

A partir des matrices brutes constituées, plusieurs essais à partir d'arbre de régression multivariées (De'ath, G., 2002) et de recherche d'indicateurs (De Cáceres, M. & Legendre, P., 2009 ; Dufrêne, M. & Legendre, P., 1997) ont été menés pour comprendre la structure des peuplements. Les analyses ont été menées sous R (R Core Team, 2022) notamment à l'aide des packages mvpart (De'ath, G., 2012) et indicpecies (De Cáceres, M. & Legendre, P., 2009).

Différents essais selon les regroupements taxinomiques ont aussi été effectués. Pour cela la base de données incluse dans le logiciel Phytobs (en libre téléchargement : <https://hydrobio-dce.hub.inrae.fr/telecharger/logiciels/phytobs>) est utilisée pour la classification des différents taxons. Ci-dessous l'exemple de l'arbre présentant une des meilleures explications de la répartition du phytoplancton selon les paramètres abiotiques.

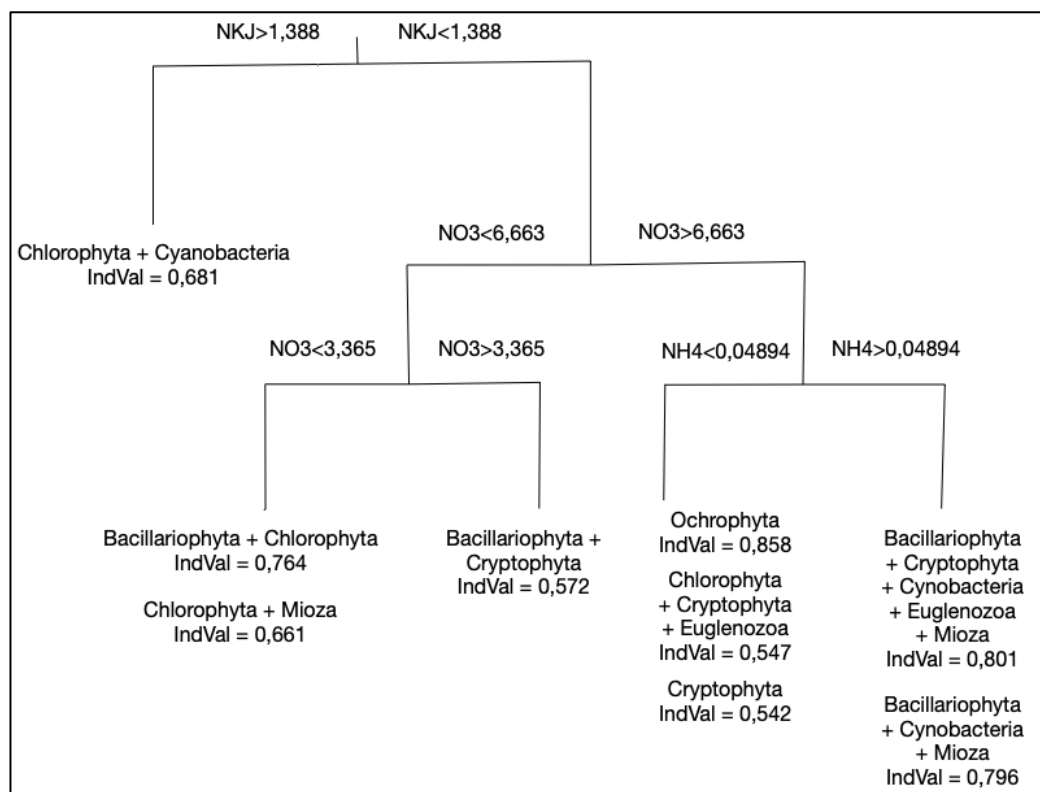


Figure 9 : Arbre de régression multivariées et combinaison des embranchements les plus indicateurs pour chaque groupe

L'arbre de décision présenté se base principalement sur l'azote Kjeldahl ainsi que dans une moindre mesure sur les nitrates et l'ammonium pour les paramètres abiotiques et sur le nombre de cellules par millilitres des différents embranchements pour classer les différents prélèvements.

## B. Constitution de l'IPTR

L'IPTR est la somme de deux métriques, l'une liée directement à la composition taxinomique et l'autre liée à la composante bloom (indicateurs d'efflorescence et d'abondance) de l'échantillon.

### Métrique « Bloom »

La métrique « Bloom » est composée de trois paramètres :

- la mesure lors du prélèvement de la profondeur de disparition du disque de secchi
- le nombre total de cellules par millilitre inventoriées
- le nombre total de cellules de cyanobactéries par millilitre inventoriées

Les valeurs pour la composante « Secchi » sont données par le rapport entre la profondeur de disparition du disque de secchi et la profondeur maximale. Une note

de 0 à 3 est donnée à chaque classe d'attribution qui est indiquée dans le tableau de correspondance ci-dessous.

Disparition Secchi/Prof. Max.	≤ 0,3	< 0,7	<1	=1
Secchi	0	1	2	3

Les valeurs utilisées pour la composante « nombre total de cellules de cyanobactéries par millilitre » sont données par les seuils qui sont utilisés pour les eaux de baignade, c'est-à-dire 20 000 cell/ml et 100 000 cell/ml.

Les mêmes seuils sont utilisés pour la composante « nombre total de cellules par millilitre ».

Une classe d'attribution est donnée pour chaque valeur de ces composantes dans le tableau suivant.

Nombre cellules totales/ml	≥ 100 000	≥ 20 000	< 20 000
CellTot	0	1	2
Nombre cellules Cyano/ml	≥ 100 000	≥ 20 000	< 20 000
CyanoTot	0	1	2

La somme des valeurs de chaque classe constitue cette métrique qui s'étend de 0 à 7.

$$\text{Bloom} = \text{Secchi} + \text{CellTot} + \text{CyanoTot}$$

### Métrique « Tax »

Cette métrique se base sur les proportions des différents embranchements en liaison avec les paramètres liés à l'azote et le phosphore. Les réflexions basées sur les différents essais d'arbres de régression, le calcul de valeurs indicatrices par différentes méthodes (indVal, Multipatt, moyenne pondérée d'abondance) ont abouti à la formule suivante :

$$\text{Tax brute} = (2x \text{ Bacillariophyta} + \text{Cryptophyta} + 3x \text{ Euglenozoa} + 4x \text{ Mioza}) / (2x \text{ Chlorophyta} + \text{Cyanobacteria}/2 + \text{Cryptophyta})$$

Pour chaque embranchement utilisé dans la formule, les valeurs sont exprimées en nombre de cellules par millilitre.

Une classe d'attribution est donnée à chaque Tax brute calculée.

Tax Brute	≤ 0,025	< 0,070	<0,456	< 2,06	≥ 2,06
Tax	1	2	3	4	5

L'IPTR est la somme de ces deux métriques

$$\text{IPTR} = \text{Bloom} + \text{Tax}$$

Les valeurs de l'IPTR s'étendent de 1 à 12.

L'IPTR est calculé sur l'ensemble des échantillons de la matrice d'apprentissage suivi du calcul de la corrélation de Spearman sur les paramètres choisis.

La corrélation de Spearman est l'équivalent non paramétrique de la corrélation de Pearson. Elle mesure le lien entre deux variables. Si les variables sont ordinales, discrètes ou qu'elles ne suivent pas une loi normale, on utilise la corrélation de Spearman. Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1, 0 correspondant à une relation nulle entre les deux variables, une valeur négative signifiant que lorsqu'une des variables augmente, l'autre diminue ; tandis qu'une valeur positive (corrélation positive) indique que les deux variables varient ensemble dans le même sens.

*Tableau 1 : Résultats des corrélations de Spearman sur la matrice d'apprentissage*

IPTR Matrice Appri	0,738	- 0,899	- 0,681	0,899	- 0,618	- 0,577	- 0,525
	<b>Disparition Secchi/prof. max</b>	<b>Nombre de cellules total/ml</b>	<b>Nombre de cellules Cyano/ml</b>	<b>Tax</b>	Azote Kjeldahl	Nitrites	Ammonium

*Tableau 2 : Résultats des corrélations de Spearman sur la matrice test*

IPTR Matrice Test	0,699	- 0,935	- 0,742	0,963	- 0,671	- 0,783	- 0,515
	<b>Disparition Secchi/prof. max</b>	<b>Nombre de cellules total/ml</b>	<b>Nombre de cellules Cyano/ml</b>	<b>Tax</b>	Azote Kjeldahl	Nitrites	Ammonium

Les relations entre l'IPTR et les variables présentées restent du même ordre (et du même signe) entre la matrice d'apprentissage et la matrice test.

### **La construction de la grille d'EQR (ecological quality ratio)**

Le site de référence choisi est la station PA, c'est-à-dire la station la plus en amont de l'Étang de Saint Paul.

La médiane des notes IPTR sur cette station est de 11,5 et correspond à la valeur représentative du niveau de référence.

Le percentile 25 calculé pour les notes IPTR de cette station qui correspond à la limite TBE/BE est de 10 c'est-à-dire un EQR de 0,696.

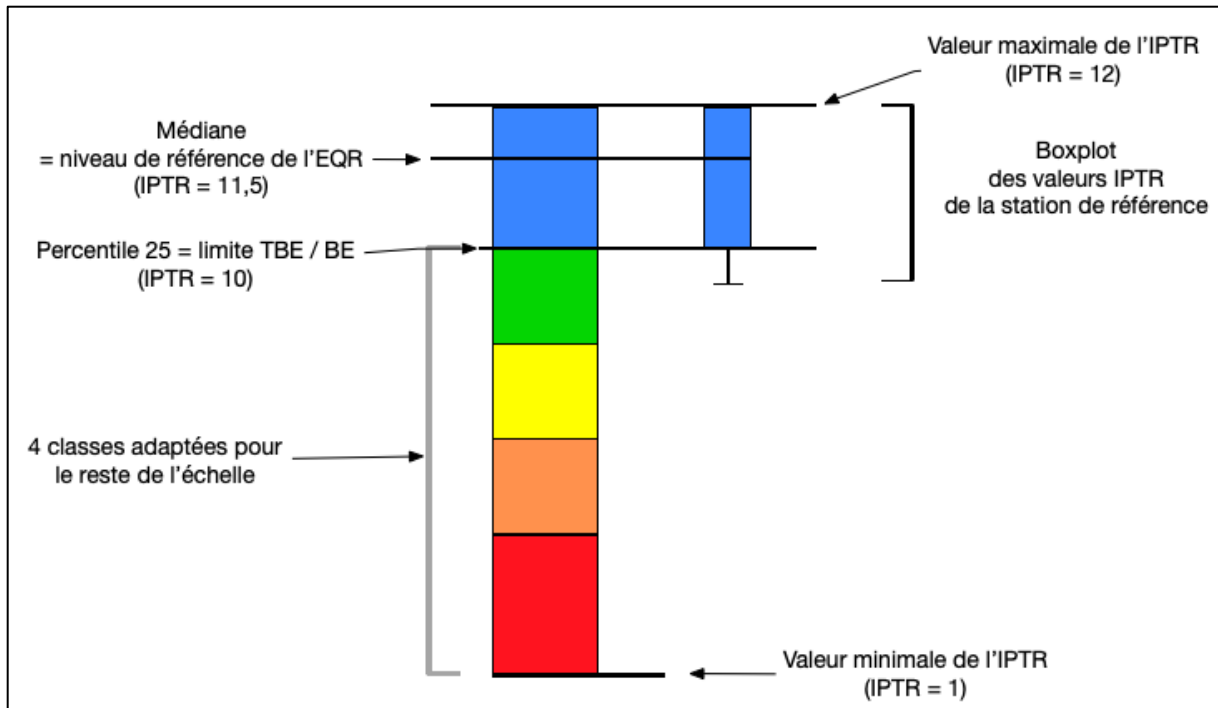


Figure 10 : Schéma récapitulatif du principe de conception de la grille d'EQR de l'IPTR

Tableau 3 : Limites des classes d'état écologique pour l'IPTR

Classes d'état	Niveau de référence	Très bon état	Bon état	Etat moyen	Etat médiocre	Mauvais état
Grille d'EQR	1	$\geq 0,870$	$\geq 0,696$	$\geq 0,522$	$\geq 0,348$	$< 0,348$
Note d'IPTR	11,5	$\geq 10$	$\geq 8$	$\geq 6$	$\geq 4$	$< 4$
Effectif de relevés pour chaque classe		72	31	29	27	33
Pourcentage de relevés pour chaque classe		37,5 %	16,1 %	15,1 %	14,1 %	17,2 %

## Variations des composantes de l'IPTR selon les classes de qualité

Boîtes à moustache (la croix correspond à la médiane, la ligne intérieure correspond à la moyenne, une ligne relie les médianes de chaque classe)

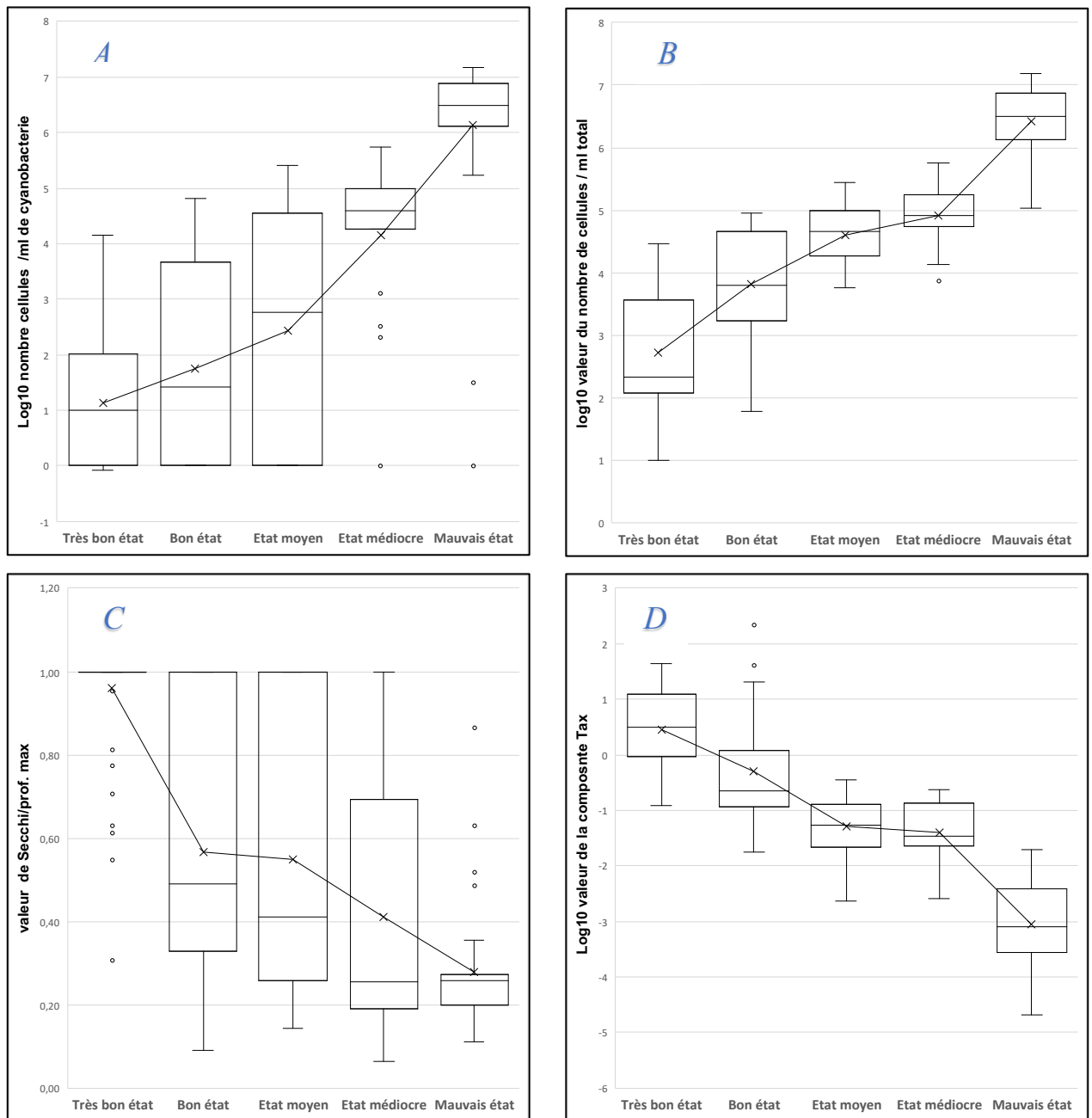


Figure 11 : A — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du log<sub>10</sub> du nombre de cellules par ml de cyanobactéries. B — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du log<sub>10</sub> du nombre de cellules totales par ml. C — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR des valeurs du rapport profondeur de disparition du disque de secchi et profondeur maximale. D — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR des valeurs de la composante « Tax ».



## Variation de l'IPTR selon la concentration en azote totale et en azote Kjeldahl

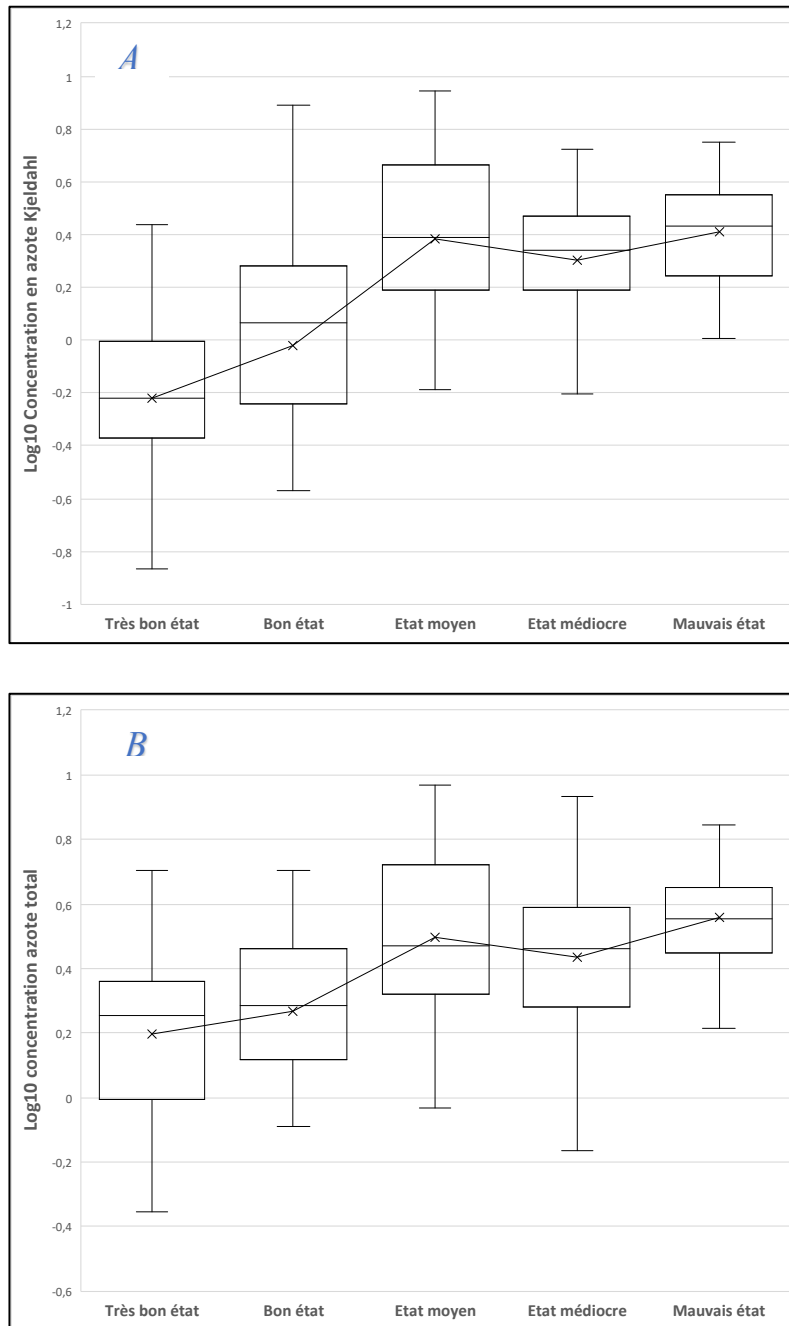


Figure 12 : A — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du  $\log_{10}$  de la concentration en azote Kjeldahl. B — Variations selon les classes de qualité de l'IPTR du  $\log_{10}$  de la concentration en azote totale.

### C. Résultats de l'IPTR pendant la durée de TransPhyt

Les résultats IPTR sur les différentes stations du suivi en 2021 et 2022 sont regroupés dans les tableaux suivants.

Tableau 4 : IPTR des 3 stations de l'Etang de Saint Paul

#### Station PA

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
PA01	10	0,870		Très bon état
PA02	11	0,957		Très bon état
PA03	11	0,957		Très bon état
PA04	10	0,870		Très bon état
PA05	11	0,957		Très bon état
PA06	10	0,870		Très bon état
PA07	8	0,696		Bon état
PA08	10	0,870		Très bon état
PA09	12	1,000		Très bon état
PA10	12	1,000		Très bon état
PA11	12	1,000		Très bon état
PA12	10	0,870		Très bon état

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
PA13	12	1,000		Très bon état
PA14	12	1,000		Très bon état
PA15	12	1,000		Très bon état
PA16	12	1,000		Très bon état
PA17	10	0,870		Très bon état
PA18	10	0,870		Très bon état
PA19	12	1,000		Très bon état
PA20	12	1,000		Très bon état
PA21	12	1,000		Très bon état
PA22	12	1,000		Très bon état
PA23	12	1,000		Très bon état
PA24	11	0,957		Très bon état

#### Station PB

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
PB01	10	0,870		Très bon état
PB02	10	0,870		Très bon état
PB03	11	0,957		Très bon état
PB04	10	0,870		Très bon état
PB05	10	0,870		Très bon état
PB06	9	0,783		Bon état
PB07	9	0,783		Bon état
PB08	9	0,783		Bon état
PB09	9	0,783		Bon état
PB10	12	1,000		Très bon état
PB11	12	1,000		Très bon état
PB12	10	0,870		Très bon état

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
PB13	10	0,870		Très bon état
PB14	12	1,000		Très bon état
PB15	11	0,957		Très bon état
PB16	11	0,957		Très bon état
PB17	11	0,957		Très bon état
PB18	9	0,783		Bon état
PB19	11	0,957		Très bon état
PB20	12	1,000		Très bon état
PB21	12	1,000		Très bon état
PB22	12	1,000		Très bon état
PB23	12	1,000		Très bon état
PB24	12	1,000		Très bon état

Tableau 4 (suite)

Station PC (équivalent station de suivi RCS physico-chimie)

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
PC01	9	0,783		Bon état
PC02	8	0,696		Bon état
PC03	10	0,870		Très bon état
PC04	9	0,783		Bon état
PC05	11	0,957		Très bon état
PC06	10	0,870		Très bon état
PC07	10	0,870		Très bon état
PC08	10	0,870		Très bon état
PC09	10	0,870		Très bon état
PC10	6	0,522		Etat moyen
PC11	7	0,609		Etat moyen
PC12	3	0,261		Mauvais état

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
PC13	10	0,870		Très bon état
PC14	8	0,696		Bon état
PC15	9	0,783		Bon état
PC16	6	0,522		Etat moyen
PC17	9	0,783		Bon état
PC18	8	0,696		Bon état
PC19	9	0,783		Bon état
PC20	9	0,783		Bon état
PC21	9	0,783		Bon état
PC22	8	0,696		Bon état
PC23	8	0,696		Bon état
PC24	9	0,783		Bon état

Tableau 5 : IPTR des 3 stations de l'Etang du Gol

Station GA

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
GA01	2	0,174		Mauvais état
GA02	1	0,087		Mauvais état
GA03	1	0,087		Mauvais état
GA04	6	0,522		Etat moyen
GA05	1	0,087		Mauvais état
GA06	2	0,174		Mauvais état
GA07	1	0,087		Mauvais état
GA08	1	0,087		Mauvais état
GA09	1	0,087		Mauvais état
GA10	1	0,087		Mauvais état
GA11	1	0,087		Mauvais état
GA12	1	0,087		Mauvais état

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
GA13	1	0,087		Mauvais état
GA14	4	0,348		Etat médiocre
GA15	6	0,522		Etat moyen
GA16	1	0,087		Mauvais état
GA17	2	0,174		Mauvais état
GA18	4	0,348		Etat médiocre
GA19	5	0,435		Etat médiocre
GA20	1	0,087		Mauvais état
GA21	5	0,435		Etat médiocre
GA22	1	0,087		Mauvais état
GA23	1	0,087		Mauvais état
GA24	1	0,087		Mauvais état

Tableau 5 (suite)

Station GB (équivalent station de suivi RCS physico-chimie)

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
GB01	1	0,087		Mauvais état
GB02	5	0,435		Etat médiocre
GB03	5	0,435		Etat médiocre
GB04	6	0,522		Etat moyen
GB05	6	0,522		Etat moyen
GB06	1	0,087		Mauvais état
GB07	4	0,348		Etat médiocre
GB08	7	0,609		Etat moyen
GB09	4	0,348		Etat médiocre
GB10	1	0,087		Mauvais état
GB11	1	0,087		Mauvais état
GB12	1	0,087		Mauvais état

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
GB13	1	0,087		Mauvais état
GB14	5	0,435		Etat médiocre
GB15	6	0,522		Etat moyen
GB16	5	0,435		Etat médiocre
GB17	5	0,435		Etat médiocre
GB18	5	0,435		Etat médiocre
GB19	1	0,087		Mauvais état
GB20	1	0,087		Mauvais état
GB21	4	0,348		Etat médiocre
GB22	4	0,348		Etat médiocre
GB23	5	0,435		Etat médiocre
GB24	1	0,087		Mauvais état

Station GC

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
GC01	6	0,522		Etat moyen
GC02	6	0,522		Etat moyen
GC03	1	0,087		Mauvais état
GC04	8	0,696		Bon état
GC05	2	0,174		Mauvais état
GC06	5	0,435		Etat médiocre
GC07	5	0,435		Etat médiocre
GC08	6	0,522		Etat moyen
GC09	3	0,261		Mauvais état
GC10	10	0,870		Très bon état
GC11	8	0,696		Bon état
GC12	8	0,696		Bon état

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
GC13	1	0,087		Mauvais état
GC14	6	0,522		Etat moyen
GC15	6	0,522		Etat moyen
GC16	5	0,435		Etat médiocre
GC17	7	0,609		Etat moyen
GC18	4	0,348		Etat médiocre
GC19	6	0,522		Etat moyen
GC20	7	0,609		Etat moyen
GC21	4	0,348		Etat médiocre
GC22	6	0,522		Etat moyen
GC23	6	0,522		Etat moyen
GC24	6	0,522		Etat moyen

Tableau 6 : IPTR de la station du Petit Etang de Saint-André

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
A01	10	0,870		Très bon état
A02	6	0,522		Etat moyen
A03	7	0,609		Etat moyen
A04	5	0,435		Etat médiocre
A05	8	0,696		Bon état
A06	10	0,870		Très bon état
A07	10	0,870		Très bon état
A08	10	0,870		Très bon état
A09	5	0,435		Etat médiocre
A10	9	0,783		Bon état
A11	9	0,783		Bon état
A12	6	0,522		Etat moyen

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
A13	4	0,348		Etat médiocre
A14	3	0,261		Mauvais état
A15	5	0,435		Etat médiocre
A16	8	0,696		Bon état
A17	7	0,609		Etat moyen
A18	6	0,522		Etat moyen
A19	8	0,696		Bon état
A20	7	0,609		Etat moyen
A21	10	0,870		Très bon état
A22	9	0,783		Bon état
A23	8	0,696		Bon état
A24	9	0,783		Bon état

Tableau 7 : IPTR de la station Bocage Rivière Sainte-Suzanne

2021				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
S01	12	1,000		Très bon état
S02	12	1,000		Très bon état
S03	12	1,000		Très bon état
S04	12	1,000		Très bon état
S05	12	1,000		Très bon état
S06	12	1,000		Très bon état
S07	12	1,000		Très bon état
S08	11	0,957		Très bon état
S09	5	0,435		Etat médiocre
S10	10	0,870		Très bon état
S11	8	0,696		Bon état
S12	7	0,609		Etat moyen

2022				
Station/campagne	IPTR		Classe de qualité	
	Note	EQR		
S13	12	1,000		Très bon état
S14	12	1,000		Très bon état
S15	12	1,000		Très bon état
S16	4	0,348		Etat médiocre
S17	12	1,000		Très bon état
S18	12	1,000		Très bon état
S19	4	0,348		Etat médiocre
S20	7	0,609		Etat moyen
S21	12	1,000		Très bon état
S22	11	0,957		Très bon état
S23	7	0,609		Etat moyen
S24	12	1,000		Très bon état

## V. Niveau de confiance et incertitudes

### A. Les incertitudes liées à l'utilisation de l'élément de qualité « phytoplancton »

De nombreux facteurs environnementaux peuvent influencer la composition du peuplement phytoplanctonique des eaux de transition, notamment toutes perturbations « climatiques » comme le vent, la pluie, la houle, les crues. Les masses d'eaux de transition sont sujettes à ces changements qui peuvent être brusques avec des crues soudaines ou une houle importante pouvant entraîner des modifications du cordon littoral séparant le plan d'eau de l'océan.

### B. Les incertitudes liées à la conception de l'outil

Les analyses ont été menées sur 192 relevés et sur seulement deux années, les milieux d'eaux de transition à La Réunion sont sujets à de fortes variations de par leur situation avec une forte variabilité due à des apports en eau douce ou en eau marine pouvant être brusques et conséquents. De plus la présence d'espèces envahissantes sous forme de macrophytes émergés peut rendre le suivi difficile.

### C. Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'outil

Chaque étape dans la mise en œuvre peut entraîner des incertitudes qui sont regroupées dans le tableau suivant.

Tableau 8 : incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IPTR

Source de l'incertitude	Mesure à mettre en œuvre
<b>Prélèvement des échantillons</b>	
Plan d'eau non adapté	Respect des conditions des eaux de transition
Conditions climatiques non appropriées (vent, pluie, houle, crue)	Attendre de meilleures conditions climatiques
Profondeur maximale faible	Adapter le prélèvement si la profondeur est trop faible pour éviter de prélever des particules sédimentaires
Echantillon intégré non représentatif	Prélever une quantité d'eau suffisante et homogénéiser (mélange) le prélèvement
<b>Traitement de l'échantillon</b>	
Echantillon non représentatif	Mélange approprié de l'échantillon avant le remplissage de la colonne
Répartition des individus	Respect du protocole : température ambiante, pas de vibration
<b>Détermination</b>	
Erreur d'attribution à l'embranchement	Effort de diagnose
Visibilité des individus	Concentration ou dilution de l'échantillon en conséquence
Prise en compte de cellules mortes	Les cellules dépourvues de cytoplasme ne doivent pas être comptabilisées (cas notamment des diatomées)
<b>Calcul de l'IPTR</b>	
Mode de calcul particulier	Prendre en compte les différents seuils pour attribuer les bonnes valeurs aux différentes composantes des métriques

## VI. Bibliographie

AFNOR, 2006. NF EN 15 204. Qualité de l'eau — Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl). [Water quality. Guidance standard on the enumeration of phytoplankton using inverted microscopy (Utermöhl technique)]. pp. 39.

AFNOR, 2019. NF EN 7027-2. Qualité de l'eau — Détermination de la turbidité — Partie 2 : méthodes semi-quantitatives pour l'évaluation de la transparence des eaux. pp, 22.

De Cáceres, M. & Legendre, P., 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90 : 3566–3574.

De'ath, G., 2002. Multivariate regression trees: a new technique for modeling species– environment relationships. *Ecology* 83: 1105–1117.

De'ath, G., 2012. mvpart: Multivariate partitioning. R package version 1.6-0.

Dufrêne, M. & Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67 : 345–366.

European Parliament, 2000. Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Communauté Européenne, Bruxelles, pp. 72.

Gassiole G., Borie G., Métro E., Yven C. et Monnier O., 2023. Qualité des masses d'eau de transition de La Réunion. Faisabilité par les diatomées? Poster. 41<sup>e</sup> Colloque de l'ADLAF — Besançon — 12-14 septembre 2023.

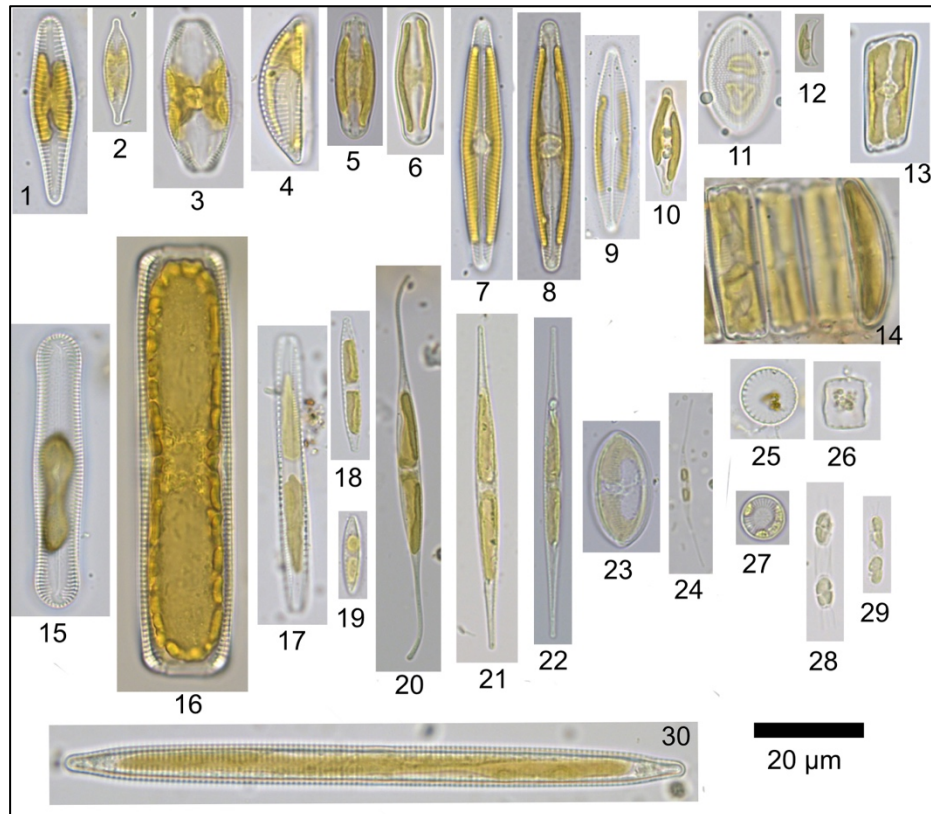
Laplace-Treyture, C., Barbe, J., Dutartre, A., Druart, J.C., Rimet, F., Anneville, O., 2009. Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation, d'observation et de dénombrement du phytoplancton en plan d'eau pour la mise en œuvre de la DCE : version 3.3.1, pp. 44.

R Core Team, 2022. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.



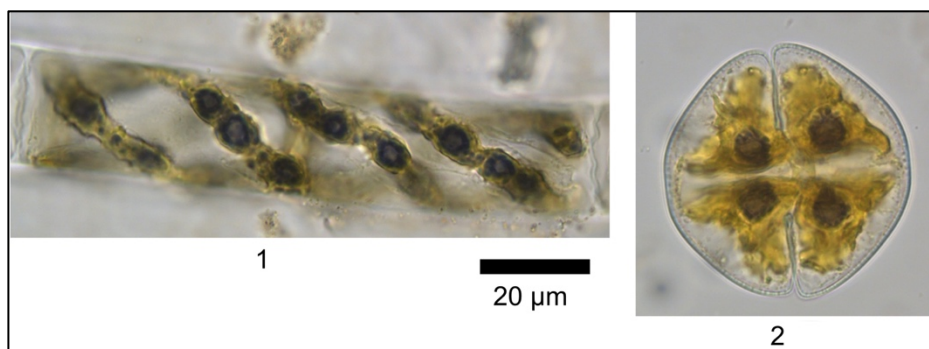
## VII. Planches iconographiques

### A. Bacillariophyta



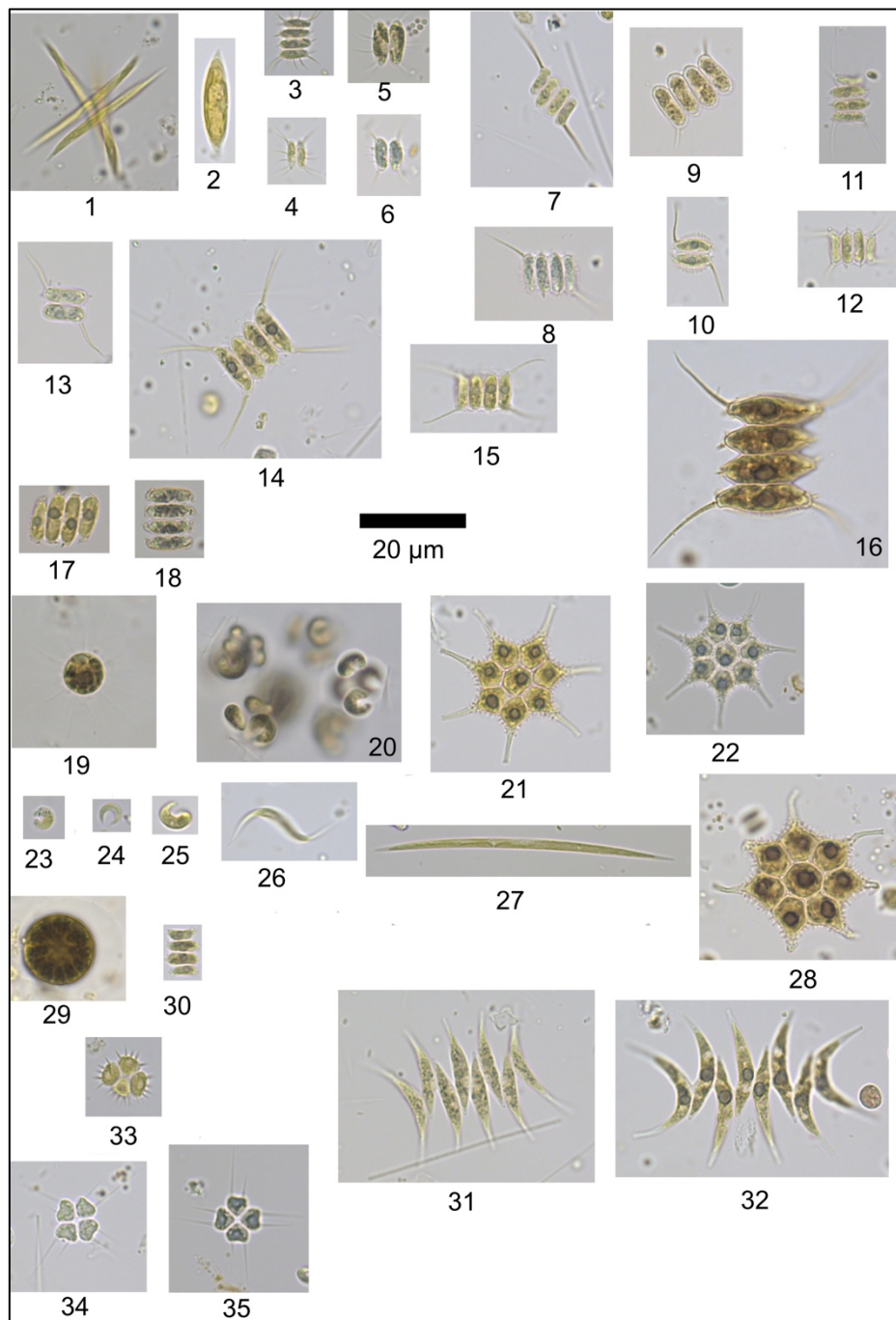
1&2 *Gomphonema* sp., 3 *Amphora* sp., 4 *Encyonema* sp., 5&6 *Sellaphora* sp., 7 à 10 *Navicula* sp., 11 *Cocconeis* sp., 12 *Achnantheidium* sp., 13&14 *Eunotia* sp., 15&16 *Pinnularia* sp., 17 à 22 *Nitzschia* sp., 23 *Tryblionella* sp., 24 *Ceratoneis* sp., 25&26 *Cyclotella* sp., 27 *Discostella* sp., 28&29 *Skeletonema* sp., 30 *Ulnaria* sp.

### B. Charophyta

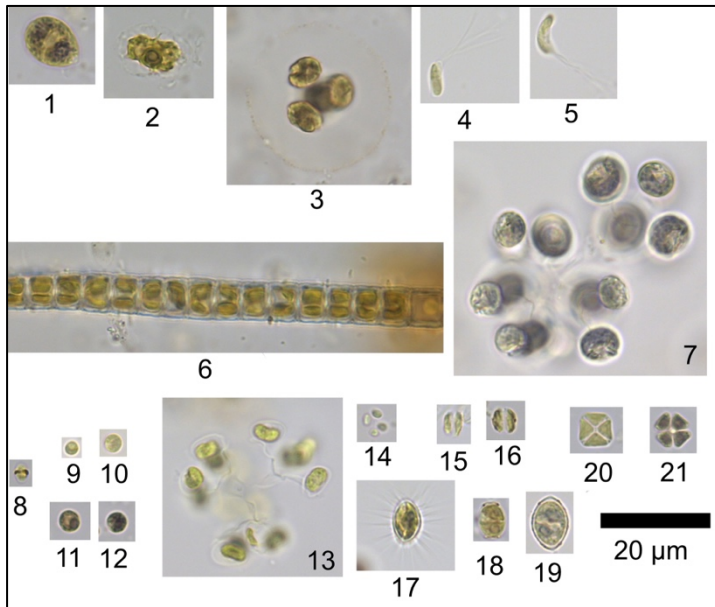


1 *Spirogyra* sp., 2 *Cosmarium* sp.

C. Chlorophyta

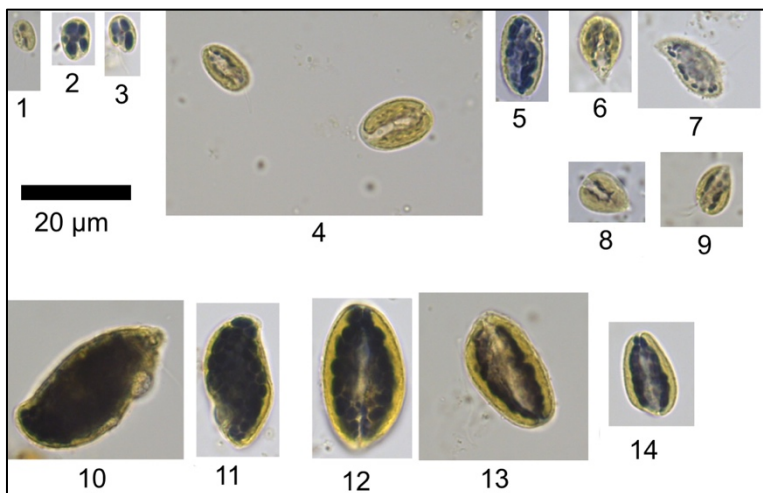


1 *Ankistrodesmus fusiformis*, 2 *Characium* sp., 3 à 6 *Desmodesmus abundans*, 7 à 10&13 *Desmodesmus armatus* var. *bicaudatus*, 11&12 *Desmodesmus armatus* var. *longispina*, 14&15 *Desmodesmus communis*, 16 *Desmodesmus opoliensis* var. *carinatus*, 17&18 *Desmodesmus costato-granulatus*, 19 *Golenkinia radiata*, 20 *Kirchneriella obesa*, 21&22 *Monactinus simplex*, 23 *Monoraphidium minutum*, 24 *Monoraphidium circinale*, 25 *Monoraphidium convolutum*, 26 *Monoraphidium contortum*, 27 *Monoraphidium griffithii*, 28 *Pediastrum simplex* var. *echinulatum*, 29 *Planktosphaeria* sp., 30 *Scenedesmus polyglobulus*, 31 *Tetrademus bernardii*, 32 *Tetrademus bernardii*, 33 *Tetrastrum staurogeniaeforme*, 34 *Tetrastrum heteracanthum*, 35 *Tetrastrum heteracanthum*



1 *Chlamydomonas pertusa*, 2 *Haematococcus pluvialis*, 3 *Paulschulzia* sp., 4&5 *Spermatozopsis exsultans*, 6 *Ulothrix* sp., 7 *Mucidosphaerium pulchellum* 8 *Catena viridis*, 9 à 12 *Chlorella* sp., 13 *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, 14 *Dictyosphaerium subsolitarium*, 15&16 *Didymocystis inconspicua*, 17 *Franceia* sp., 18 *Granulocystopsis coronata*, 19 *Siderocelis ornata*, 20 *Lemmermannia tetrapedia*, 21 *Lemmermannia komarekii*

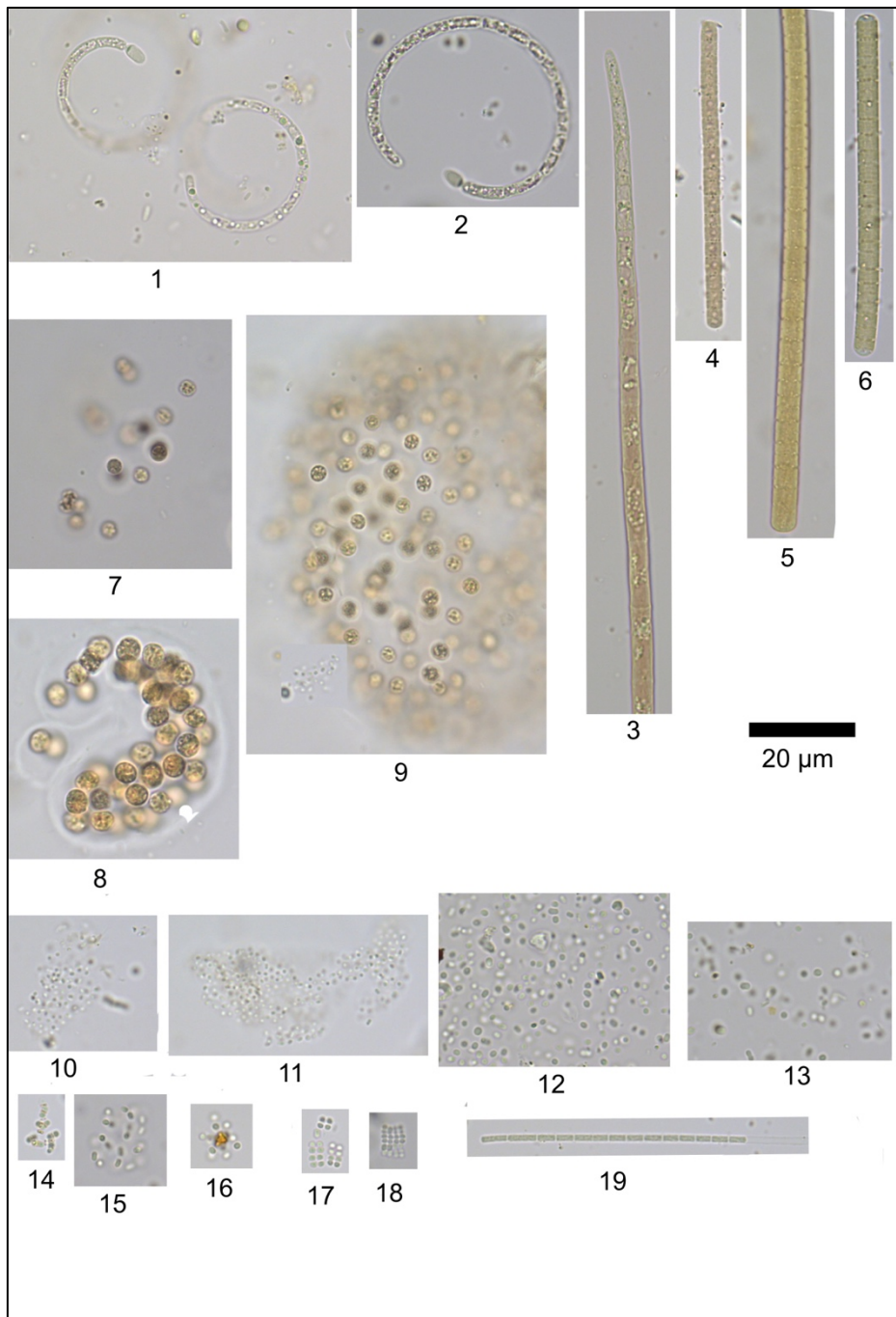
#### D. Cryptophyta



1 à 3 *Chroomonas coerulea*, 4&5 *Cryptomonas* sp., 6 à 9 *Cryptomonas marssonii*, 10&11 *Cryptomonas curvata*, 12 à 14 *Cryptomonas ovata*

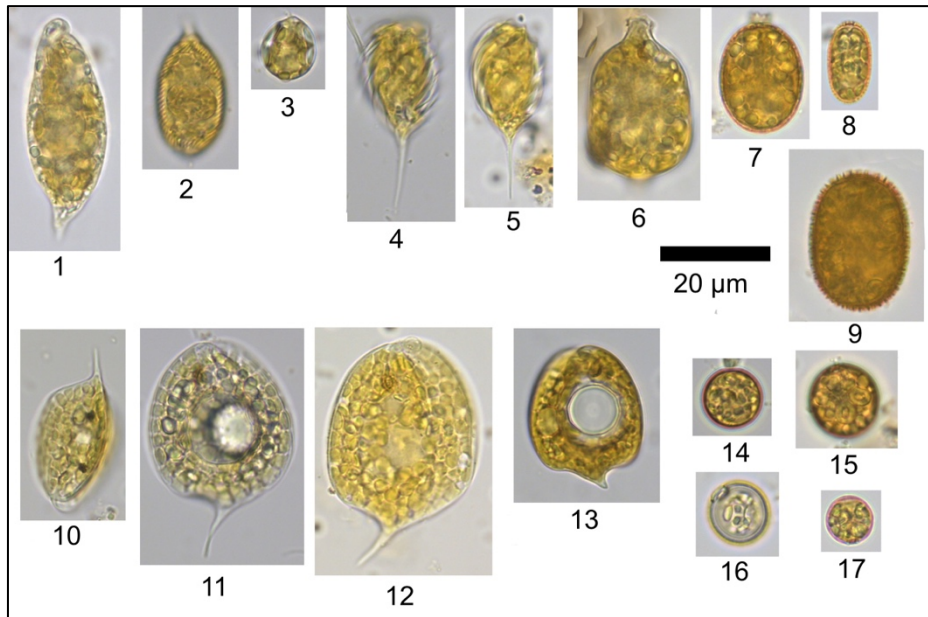


E. Cyanobacteria



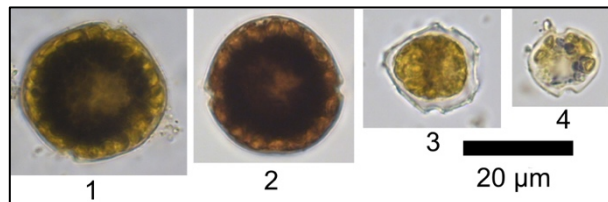
1&2 *Cylindrospermopsis* sp., 3 *Aphanizomenon* sp., 4 *Planktothrix suspensa*, 5 *Oscillatoria* sp., 6 *Planktothrix* sp., 7&9 *Microcystis smithii*, 8 *Microcystis wesenbergii*, 10 *Aphanocapsa delicatissima*, 11 *Aphanocapsa holsatica*, 12&13 *Cyanobium* sp, 14 *Cyanocatena planctonica*, 15 *Cyanodictyon* sp, 16 *Cyanogranis libera*, 17&18 *Merismopedia tenuissima*, 19 *Leptolyngbya* sp

F. Euglenozoa



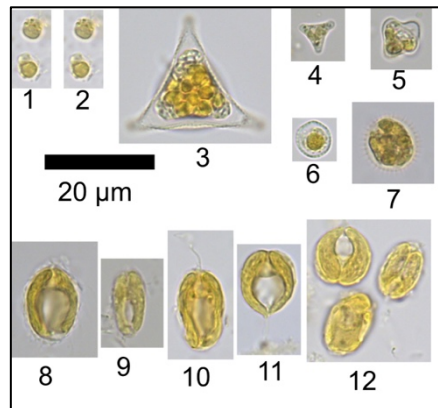
1 *Euglena* sp., 2 *Lepocinclis* sp., 3 *Lepocinclis ovum*., 4 *Monomorphina pyrum*, 5 *Monomorphina pyrum*, 6 *Strombomonas* sp., 7&8 *Trachelomonas* sp., 9 *Trachelomonas hispida*, 10 à 12 *Phacus* sp, 13 *Phacus curvicauda*, 14 à 17 *Trachelomonas volvocinopsis*

G. Mioza



1 à 4 *Péridiniales*

## H. Ochrophyta



1&2 *Chromulina* sp., 3 *Goniochloris* sp., 4 *Goniochloris mutica*, 5 *Tetraedriella jovetti*, 6 *Trachydiscus sexangulatus*, 7 *Akantochloris* sp., 8 à 10 *Mallomonas* sp., 11&12 *Synura* sp.