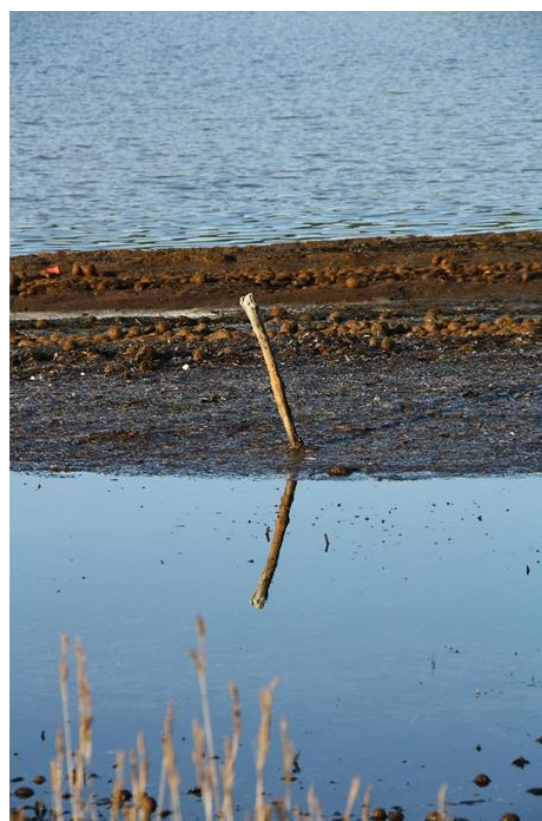
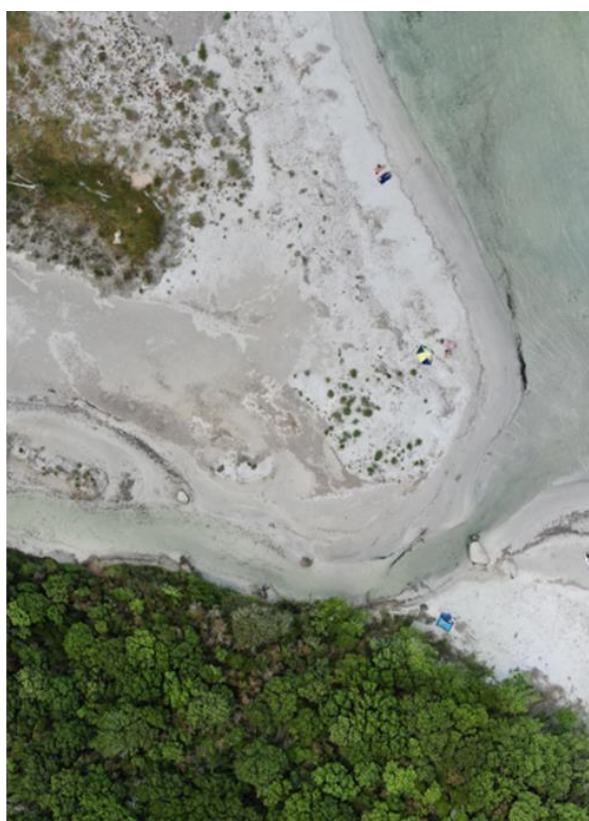


## Diagnostic écologique de la lagune de Santa Giulia

Etat vis-à-vis de l'eutrophisation et de la contamination de la colonne d'eau



Juillet 2023

Malet Nathalie (Ifremer), Marie Garrido (OEC), Vanina Pasqualini (UCPP), Viviana Ligorini (UCPP), Coralie Connes (Ifremer), Munaron Dominique (Ifremer), Gonzalez Jean-Louis (Ifremer)

## **Diagnostic écologique de la lagune de Santa Giulia. État vis-à-vis de l'eutrophisation et de la contamination chimique de la colonne d'eau et des sédiments**

- Juillet 2023 –

### **Étude commandée par**

CdL

OEC

### **Etude financée par**

CdL

OEC

Projet GERHYCO

### **Réalisation de l'étude**

IFREMER

Office de l'Environnement de la Corse

Université de Corse - Pasquale Paoli

### **Responsable de l'étude**

Nathalie Malet - Docteur, Ifremer

Marie Garrido - Docteur, OEC

Vanina Pasqualini - Professeur, Université de Corse

### **Avec la collaboration de**

Viviana Ligorini – Doctorante, Université de Corse

Coralie Connes – Technicienne, Ifremer

Munaron Dominique – Ifremer

Gonzalez Jean-Louis – Ifremer

### **Crédit Photographique**

O. Bonnenfant (OEC)

Université de Corse (Drone)

M. Garrido (OEC)

### **Ce document doit être cité sous la forme :**

Malet N, Garrido M, Pasqualini V, Ligorini V, Connes C, Munaron D, Gonzalez J-L (2023) Diagnostic écologique de la lagune de Santa Giulia - Etat vis-à-vis de l'eutrophisation et de la contamination de la colonne d'eau. ODE/UL/LER/PAC/23- ???. 61 p.



# Table des matières

<b>1 Contexte et objectifs .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Site d'étude .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Paramètres suivis .....</b>	<b>10</b>
3.1 Suivi hydro-climatique et limites de la lagune .....	10
Analyse météorologique régionale .....	10
Suivi haute fréquence de la salinité et de la température de l'eau .....	10
Estimation des limites de la lagune et de l'ouverture du grau. ....	10
3.2 Stratégie d'échantillonnage du suivi <i>in situ</i> et mesures des différents paramètres physico-chimiques et biologiques .....	11
Stations échantillonnées .....	11
Colonne d'eau et phytoplancton .....	12
Compartiment macrophytique et sédiment .....	13
3.3 Contamination chimique de la colonne d'eau .....	13
Contaminants dans la colonne d'eau - Echantillonneurs passifs .....	13
<b>4 Contexte hydro-climatique et éléments de fonctionnement hydrologique de la lagune .....</b>	<b>14</b>
4.1 Contexte climatique .....	14
4.2 Suivi haute fréquence de la salinité .....	17
4.3 Evolution des limites de la lagune et de son embouchure .....	20
<b>5 Variabilités spatio-temporelles de l'environnement physico-chimique de la colonne d'eau et dynamique structurale du phytoplancton .....</b>	<b>21</b>
5.1 Paramètres abiotiques, nutriments et chlorophylle <i>a</i> .....	21
5.2 Phytoplancton .....	26
<b>6 Évaluation de l'état du compartiment macrophytique et du sédiment .....</b>	<b>29</b>
6.1 Indicateurs « macrophytes » .....	29
6.2 Evaluation des sédiments .....	31
<b>7 Etat vis-vis de la contamination de la colonne d'eau et du sédiment .....</b>	<b>33</b>
7.1 POCIS : teneurs en pesticides, composés pharmaceutiques et alkylphénols .....	33
7.2 DGT : teneurs en métaux .....	34
7.3 SBSE : teneurs en HAP, PCB et pesticides .....	34
<b>8 Eléments récapitulatifs .....</b>	<b>35</b>
<b>9 Quel état de référence ou de conservation pour la lagune de Santa-Giulia ? Quelle lagune pour quelle fonction ? .....</b>	<b>38</b>
<b>10 Références bibliographiques .....</b>	<b>40</b>
<b>11 Annexes .....</b>	<b>44</b>
11.1 Choix et analyse de la station Météo-France de Porto-Vecchio (1962-2019) .....	44

Choix de la station Météo France La Chiappa (Porto-Vecchio) .....	45
11.2 Analyse climatique - station Météo France de Porto-Vecchio (1962-2022) .....	47
11.3 Surface en eau de la lagune de Santa Giulia.....	51
11.4 Ouverture du grau de la lagune de Santa Giulia.....	52
11.5 Catégories dimensionnelles du plancton .....	56
11.6 Taux de recouvrement des Macrophytes .....	57
11.7 Analyse des contaminants de la colonne d'eau .....	58
POCIS et résultats des teneurs en pesticides, composés pharmaceutiques et alkylphénols	58
DGT et résultats des teneurs en métaux .....	60
SBSE et résultats des teneurs HAP, PCB et pesticides .....	61



## 1 Contexte et objectifs

Les zones humides littorales font partie des systèmes les plus dynamiques et les plus productifs au monde, mais elles sont aussi les plus menacées (Kjerfve, 1994 ; Zaldivar *et al.*, 2008 ; Newton *et al.*, 2014). En effet, elles subissent depuis de nombreuses années de très fortes pressions anthropiques, qui ont conduit à une pollution généralisée et à une perte non négligeable de leur superficie (Perennou *et al.*, 2012 ; Perennou *et al.*, 2020). Leur rôle est pourtant crucial sur notre littoral méditerranéen, caractérisé par des événements climatiques extrêmes, des fortes concentrations de population et de territoires artificialisés. En plus d'être des hotspots de biodiversité, support de nombreuses activités traditionnelles qui façonnent le paysage (e.g. saliculture, élevage, conchyliculture), ces zones humides littorales sont de véritables infrastructures naturelles gratuites qui renforcent la résilience des territoires face aux grands défis sociétaux que sont le changement climatique et l'érosion de la biodiversité (Barnaud, 1997).

Des mesures de gestion et des actions de restauration (si nécessaire) sont donc essentielles pour conserver, préserver la qualité et le fonctionnement de ces milieux. Afin de mettre en place ces mesures sur des zones humides littorales et plus particulièrement des milieux lagunaires en Corse dans un contexte de changement global (climatique et anthropique), il est indispensable d'établir un diagnostic environnemental sur la qualité et le fonctionnement de ces milieux.

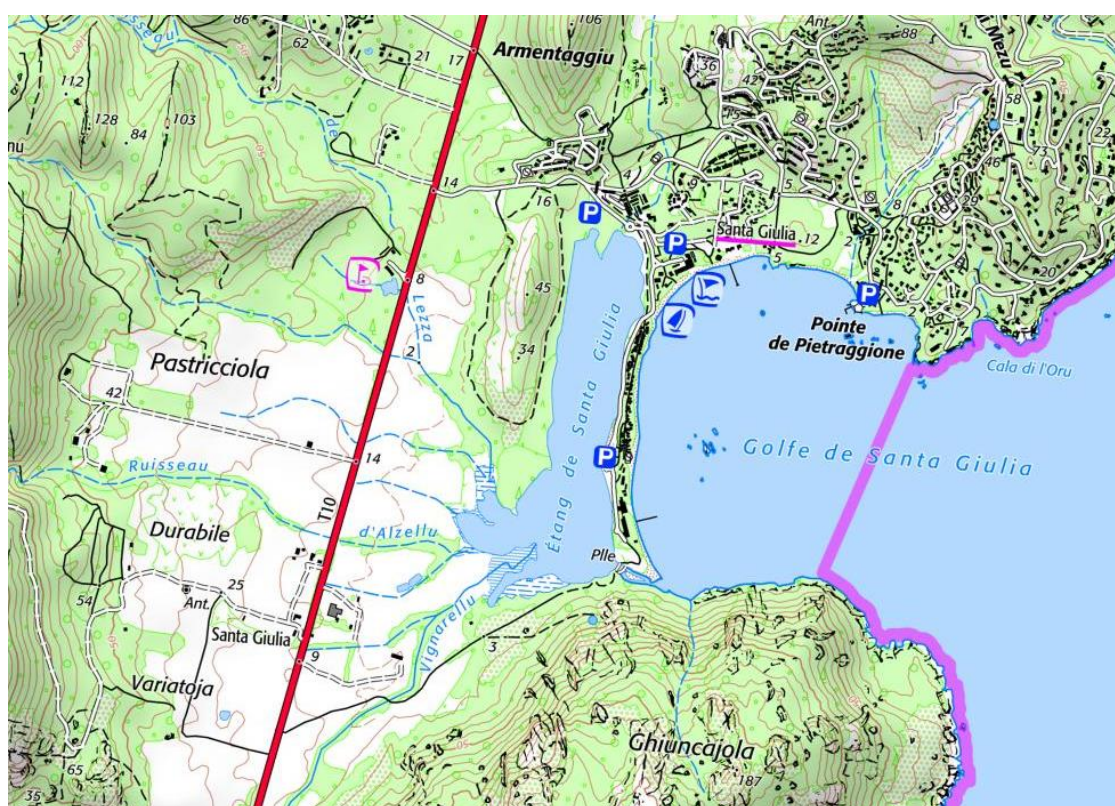
La lagune de Santa Giulia, propriété du Conservatoire du Littoral (CdL) depuis 1981, est gérée depuis 2007 par l'Office de l'Environnement de la Corse (OEC) au titre d'une délégation de gestion par la Collectivité de Corse. Afin d'améliorer les connaissances scientifiques pour apporter une aide à la prise de décisions en matière de gestion sur ce milieu lagunaire, l'OEC, l'IFREMER, le CdL et l'Université de Corse se sont réunis pour étudier les possibilités de mener à bien un diagnostic écologique sur cet lagune. Étant donné le caractère très fluctuant des conditions environnementales d'une année sur l'autre au sein des milieux lagunaires, une étude pluriannuelle a été nécessaire (2019-2022).

L'objectif de cette étude est double (i) améliorer les connaissances sur le site (ii) disposer d'une image à l'instant t de son état écologique vis-à-vis de l'eutrophisation et de la contamination de la colonne d'eau. L'ensemble de ces suivis (pluriannuels) et données permettront également d'apporter des éléments de compréhension sur le fonctionnement écologique de cet écosystème singulier.



## 2 Site d'étude

Santa-Giulia est une lagune côtière peu profonde pouvant varier en fonction des bassins Sud et Nord (respectivement 15 à 50 cm dans le bassin Nord et 25 à 80 cm dans le bassin Sud depuis juin 2019) située sur la commune de Porto-Vecchio. C'est une lagune « *sensus stricto* » (ou lagune sédimentaire ; [Guelorget et Perthuisot, 1983](#)) se situant sur une plaine alluviale et séparée du milieu marin par un cordon littoral sableux (dont la formation est récente : [Frisoni, 1980](#)) érodé depuis la fin des années 80 par une forte urbanisation (e.g. axe routier et constructions hôtelières ; [Gauthier, 1992](#) ; Fig. 1). Avant l'aménagement de ce cordon sableux une forêt basse à *Juniperus phoenicea* recouvrait ce site.



**Figure 1.** Cours d'eau alimentant le bassin sud (carte IGN).

Cette lagune côtière est assez vaste pour la région avec une superficie de 23.13 ha (longueur maximale : 1,1 km ; Fig. 1). Elle est alimentée par un bassin versant relativement restreint d'une superficie de 15.45 km<sup>2</sup> (ou 1545,33 hectares ; Fig. 2), dont les apports sont faibles ([Frisoni, 1980](#)). Elle est divisée en deux sous-ensembles : un bassin Nord et un bassin Sud dont la largeur (dans leurs plus grandes largeurs) est respectivement de 211 m et 460 m. Le bassin Sud est délimité par l'exutoire du bassin versant (alimenté par 3 cours d'eau temporaires : le Vignarellu, l'Alzellu, le Lezza) et le grau (situé à l'extrémité sud du lido contre la colline granitique nommé « Ghiuncajola » (Fig. 1 et 2). Le bassin Nord, quant à lui, est perpendiculaire au précédent, confiné et alimenté quasi uniquement par les eaux de ruissellement. Le seul petit « ruisseau »



alimentant ce bassin, est très court et majoritairement à sec. Les terrains situés sur l'aval du bassin versant, à proximité de la lagune, ont une vocation pastorale ([Ligorini et al., 2023](#))



**Figure 2.** Représentation de la limite du bassin versant de la lagune de Santa-Giulia.

## 3 Paramètres suivis

### 3.1 Suivi hydro-climatique et limites de la lagune

#### Analyse météorologique régionale

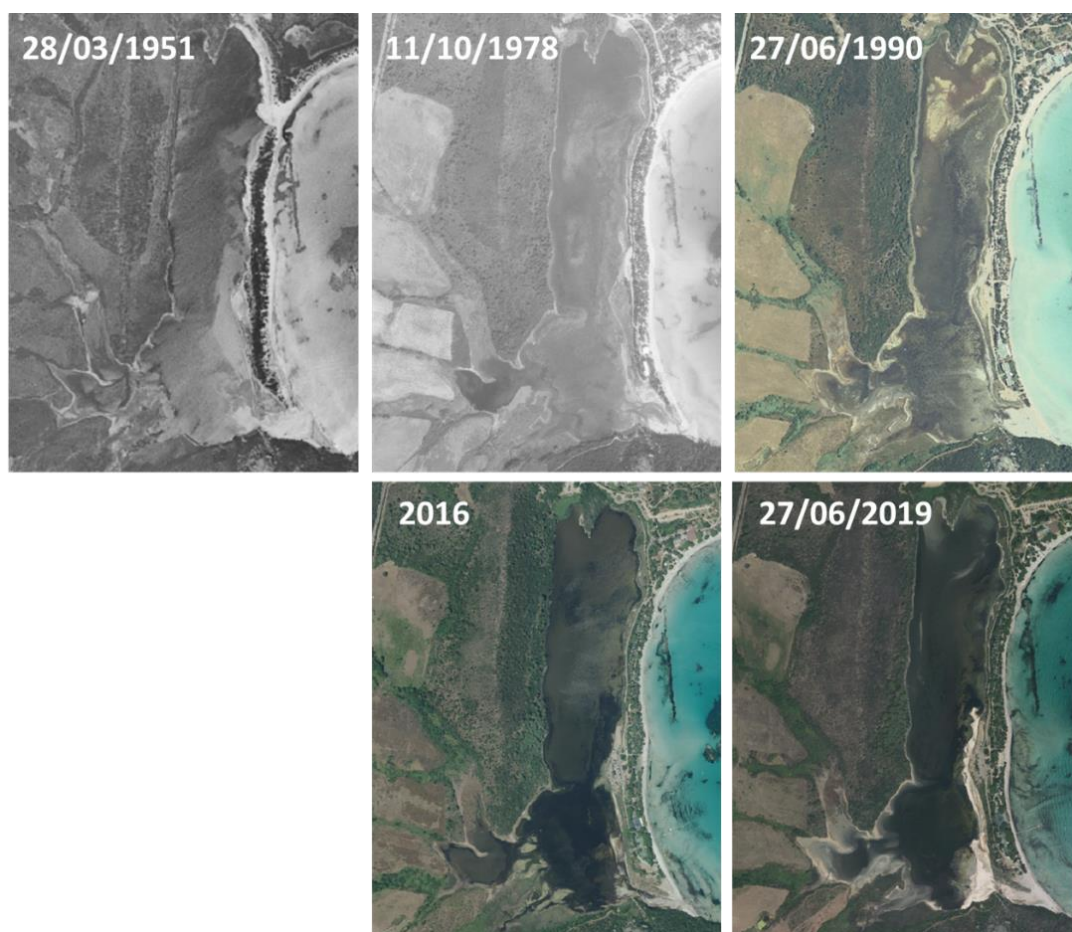
Les données de précipitations (cumul journalier en mm) et de température (moyenne journalière en °C) ont été enregistrées à la station de la Chiappa (données Météo-France ©), située sur la commune de Porto-Vecchio. L'analyse des 3 seules stations météorologiques disponibles (Annexe 11.1 ; Figures 20 et 21) montrent que la station de Porto-Vecchio (La Chiappa) peut être utilisée pour mettre en évidence le contexte climatique local.

#### Suivi haute fréquence de la salinité et de la température de l'eau

Une sonde NKE de type STPS 10m haute fréquence enregistre toute les heures la salinité, la température et la hauteur d'eau de la lagune. Elle a été positionnée entre le bassin sud et le bassin nord (Fig. 4a) à partir du 14 février 2020, au niveau de la zone la plus représentative du mélange des masses d'eau de la lagune. Suite à son exondation le 9 juillet 2020, la sonde a pu être remplacée par une nouvelle sonde NKE WiSens CTDSV le 18 octobre 2020. La sonde enregistre toujours en continu à ce jour toutes les 3 heures. Des mesures de température et de salinité ont été également enregistrées ponctuellement à l'aide d'une sonde manuelle (YSI® ProDSS) dès juin 2019. Ces données viennent compléter ce suivi haute fréquence.

#### Estimation des limites de la lagune et de l'ouverture du grau.

Cinq photographies aériennes diachroniques sont utilisées pour estimer l'évolution des limites de la lagune : 28/03/1951 (Noir et Blanc), 11/10/1978 (Noir et Blanc), 26/06/1990 (Couleur), 06/2016 (Couleur), 27/06/2019 (Couleur) (Fig.3). Les bordures sont délimitées manuellement. Il est important de préciser que certains décalages entre les limites peuvent être liés à la qualité du géoréférencement des prises de vues, au niveau d'eau dans la lagune au moment de la prise de vue ou encore à la qualité des prises de vue (notamment pour les anciennes, e.g. noir et blanc et résolution plus grande).



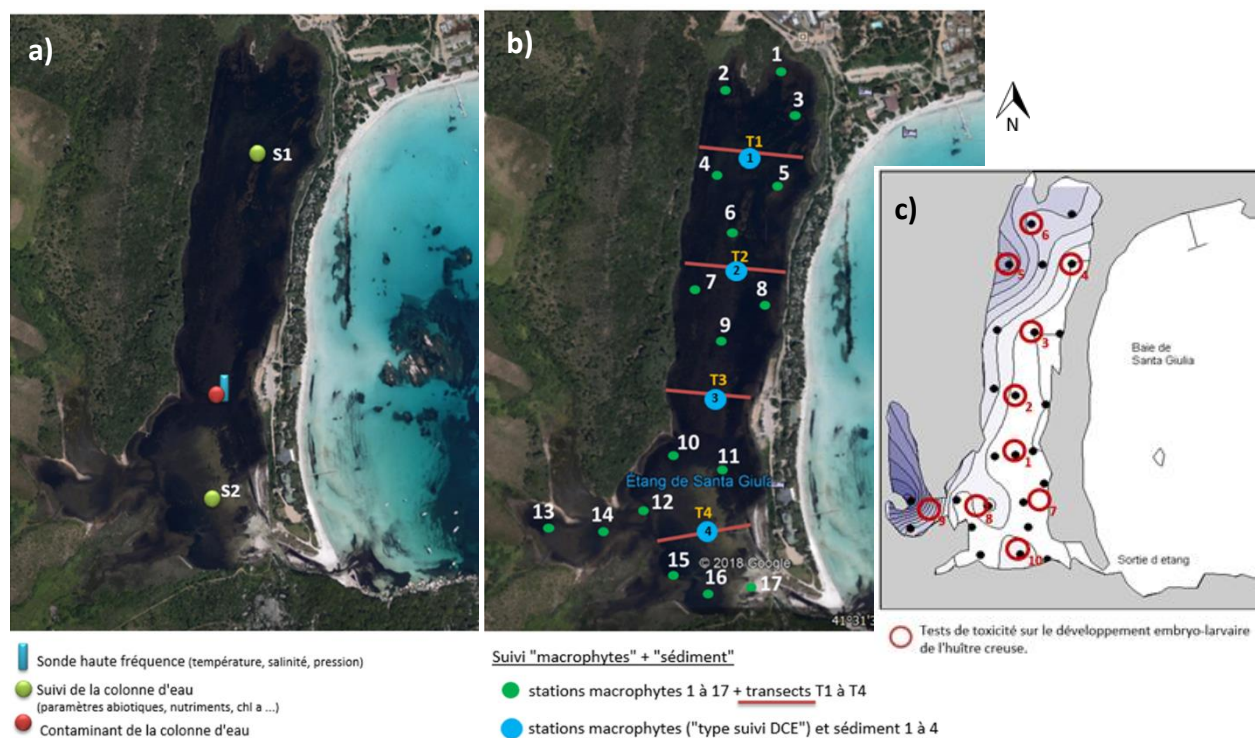
**Figure 3.** Photographies aériennes diachroniques utilisées pour estimer l'évolution des limites de la lagune.

### 3.2 Stratégie d'échantillonnage du suivi *in situ* et mesures des différents paramètres physico-chimiques et biologiques

#### Stations échantillonnées

Le positionnement de l'ensemble des stations de prélèvements en fonction des paramètres physico-chimiques, biologiques ainsi que des contaminants chimiques est présenté ci-dessous (Fig. 4).





**Figure 4.** Localisation des stations d'échantillonnages de l'ensemble des paramètres de l'étude. a) localisation de la sonde NKE ainsi que les stations relatives aux prélèvements dans la colonne d'eau ainsi que les mesures des contaminations chimiques de la colonne d'eau, b) emplacement des transects et des stations ponctuelles pour les suivis macrophytes et sédiments et c) stations de prélèvement des sédiments pour mesure de toxicité.

### Colonne d'eau et phytoplancton

Le suivi de la colonne d'eau a été réalisé saisonnièrement sur 2 ans (2020 et 2021) (*thèse de V. Ligorini*) avec une fréquence plus importante les étés 2019, 2020 et 2021 (juin, juillet et août) spécifiquement pour cette étude afin d'établir le diagnostic écologique. Les prélèvements ont été réalisés en sub-surface aux stations S1 (bassin Nord) et S2 (bassin Sud) (Fig. 4a).

Les suivis de la colonne d'eau (température, salinité, oxygène dissous, chlorophylle *a* et phéopigments, les nutriments dont les nitrates, phosphates, silicates et l'ammonium, ainsi que l'azote et phosphore total), ont été effectués selon les protocoles décrits dans l'étude « *Bilan méthodologique de l'outil de diagnostic de l'eutrophisation du RSL - Quatorze années de résultats en Région Languedoc-Roussillon* » (Ifremer 2012 ; 2013).

Ces paramètres sont complétés par les abondances et la proportion cellulaire de picophytoplancton (< 5 µm) et de nanophytoplancton (5 et 20 µm), réalisées par cytométrie en flux. Les picocyanobactéries riches en phycoérythrine (PE-cyan) ont été distinguées des picocyanobactéries riches en phycocyanine (PC-cyan) (Bec *et al.* 2011, Leruste *et al.* 2019).

### Compartiment macrophytique et sédiment

L'étude de la couverture des macrophytes a été réalisée au début d'été, au mois de juin de chaque année, au moment où la couverture végétale est maximale. La quantification du recouvrement ainsi que la diversité macrophytique ont été réalisées grâce à l'utilisation conjointe de 2 méthodes (Fig. 4b):

- la méthode développée dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire RSL– DCE, ([Lauret et al., 2011](#), [Ifremer, 2012](#) ; [Ifremer, 2013](#) ; [Cimiterra et al. 2020](#)). Cette méthode a pour objectif de permettre un suivi aisé annuel soit 4 stations centrales (rond bleu au milieu des transects 1 à 4, Fig. 4b). Les teneurs en azote et phosphore total et en matière organique ont également été analysées aux mêmes stations ;
- et une évaluation complémentaire de la couverture des macrophytes réalisée à partir de transects, initialement utilisée en milieu terrestre ([Corre, 1970](#)) et déjà éprouvée en milieu lagunaire ([Garrido & Pasqualini, 2011](#)). 4 transects T1 à T4 d'environ 200 m (entre la rive Est et Ouest ; Fig. 4b) ont été couplés à 17 stations ponctuelles (rond vert ; Fig. 4b). La nature du sédiment a également été évaluée.

### 3.3 Contamination chimique de la colonne d'eau

#### Contaminants dans la colonne d'eau - Echantillonneurs passifs

L'évaluation de la contamination chimique de la colonne d'eau a été réalisée à la station la plus représentative du mélange des masses d'eau (Fig. 4a ; « rond rouge ») au niveau de la sonde haute fréquence. Les échantillonneurs passifs ont été positionnés à mi-hauteur d'eau, en octobre 2020 (campagne automnale) et mars-avril 2021 (campagne printanière). La pose ainsi que la relève des échantillonneurs passifs ont été réalisées avec des temps d'immersion différents pour chaque échantillonneur : POCIS de l'ordre de 3 semaines en triplicat, DGT 1 semaine en triplicat et SBSE prélèvement d'eau ponctuel en duplicat ([Gonzalez et al., 2011](#)).

- Le **POCIS** (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) est un échantillonnage intégratif et passif permettant la mesure de 129 substances organiques (hydrophile à intermédiaire, composés pharmaceutiques, pesticides). L'ensemble de la méthodologie de déploiement, d'extraction et d'analyse des substances est décrit dans [Munaron et al. \(2020\)](#).

- Le **DGT** (Diffusive Gradient in Thin film) qui est également échantillonnage intégratif et passif, permet quant à lui la mesure des Cations métalliques dissous (8 métaux : Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc ; [Gourlay & Gonzalez, 2010](#) ; [Gabet et al., 2021](#)).

- La **SBSE** (Stir bar Sportive Extraction) : permet la mesure intégrative des substances intermédiaires à hydrophobes (Organiques HAP, PCB, pesticides ; [Gonzalez et al., 2011](#)).

## 4 Contexte hydro-climatique et éléments de fonctionnement hydrologique de la lagune

L'ensemble des analyses et traitements des résultats nécessaire à l'établissement du contexte hydro-climatique sur la lagune de Santa-Giulia n'est pas présenté ou très peu dans ce chapitre, ni détaillé dans ce présent rapport. Cependant l'ensemble des figures relatives au contexte climatique à long terme (1960-2022) est présenté en Annexe 11.2. Afin de comprendre le fonctionnement hydrologique de la lagune de Santa-Giulia, il a fallu analyser un contexte hydro-climatique à différentes échelle (i) sur une échelle de temps long (1962-2022) pour enfin pouvoir être comparé (ii) au contexte météorologique de notre étude (2019-2022).

### 4.1 Contexte climatique

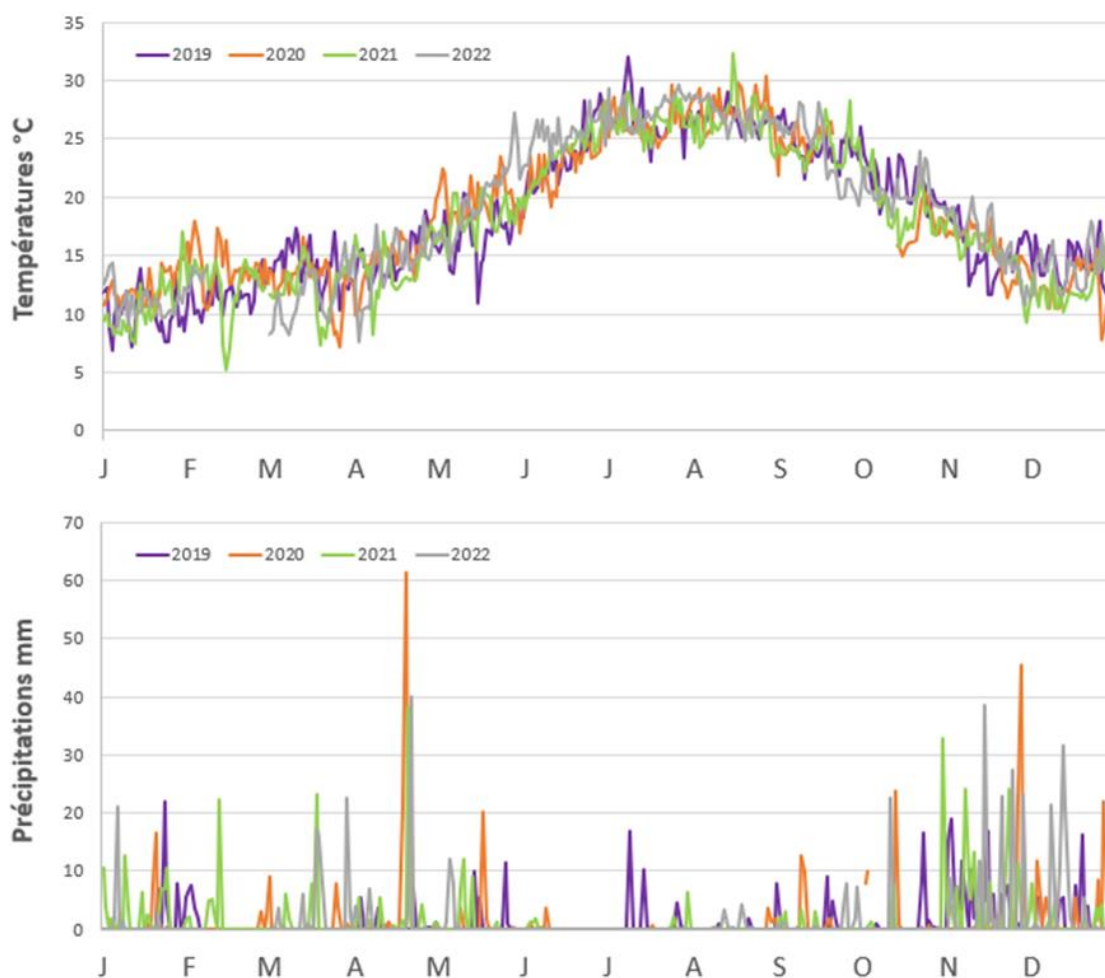
Les graphiques de l'évolution des températures sur la période 1962 – 2022 (au niveau de la station La Chiappa (commune de Porto-Vecchio ; données Météo-France ©) indiquent une forte hausse des températures annuelles et mensuelles (Annexe 11.2, Figures 22 et 23). Depuis les années 1990, presque toutes les moyennes annuelles de température dépassent la moyenne de 17,2 °C sur la période 1962 - 2022. De plus, depuis 2014, cette moyenne annuelle est quasi systématique supérieure à 1 °C (Annexe 11.2, Fig. 22) ; et chaque moyenne mensuelle bat des records de température alors que ces records étaient centrés quelques années seulement sur la période estivale (Fig. 22). L'année 2022 a été particulièrement marquée par ces fortes températures avec une vague de chaleur estivale s'étalant de mai à août et qui s'est poursuivie jusqu'en décembre 2022 (Fig. 5 et 6).

*Attention, pour l'ensemble des graphiques relatifs à l'analyse des précipitations, les couleurs sont inversées ; les couleurs « chaude » indiquant un excès de précipitation et les couleurs « froide » un déficit.*

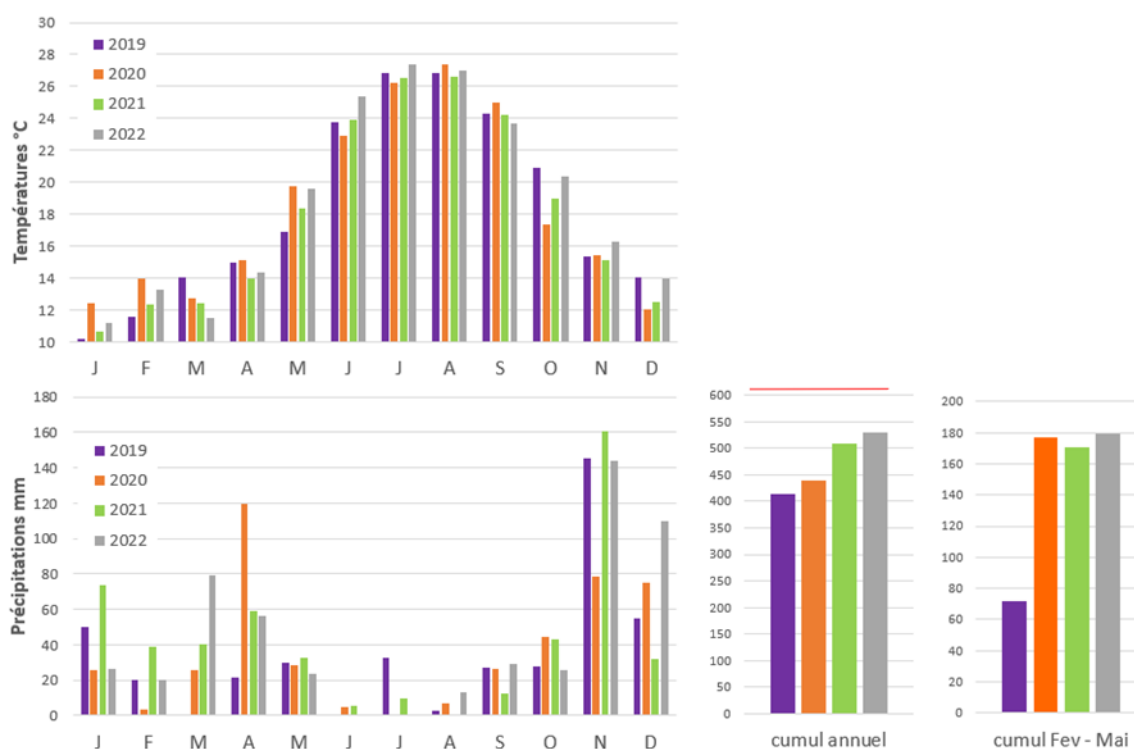
L'analyse des cumuls de précipitation est plus complexe. Pour cette station, un déficit de précipitation est observé depuis les années 1985 (27 années sur 38), avec pour la moitié des années, des déficits supérieurs à 100 mm (Annexe 11.2, Fig. 24). Cependant, quelques années enregistrent des cumuls de précipitation supérieur à la moyenne sur la période 1962-2022. Bien qu'il soit difficile de statuer, il semblerait que depuis les années 1990, la période de fin d'hiver et printemps (de février à avril) soit la plus impactée par ce déficit pluviométrique (Fig. 25).



Sur la période de notre présente étude (2019 à 2022), **ces quatre années** sont marquées par des déficits de précipitation par rapport à la période de référence 1962-2022 (Annexe 11.2, Fig. 24) avec des déficits de pluie marqués de décembre (année n-1) à novembre (Annexe 11.2 ; Fig. 25). Recentré sur la période de fin d'hiver-printemps qui enregistre habituellement des précipitations importantes, **2019 s'avère extrêmement sèche** (avec moins de 80 mm de pluie contre moins de 180 mm les années précédentes ; Fig. 6). Ces quatre années ont battu des records de température, durant la période estivale mais également en février pour toutes les années confondues (mars 2019, mai 2020 et tous les mois de mai à décembre en 2022 ; Fig. 6 ; Annexe 11.2, Fig. 23).



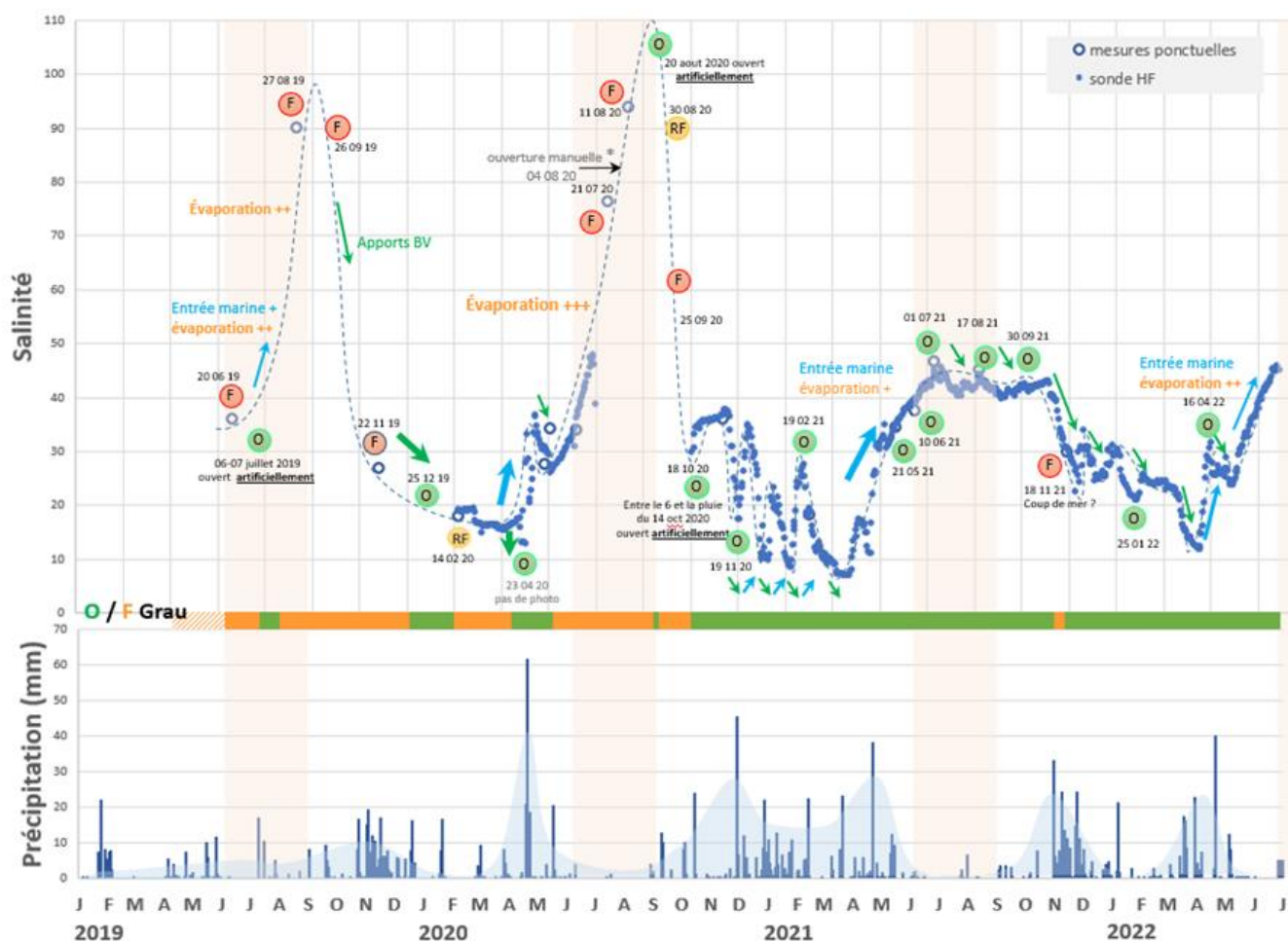
**Figure 5.** Températures moyennes journalières (°C ; moyenne sur 24 données) et cumuls journaliers des précipitations (mm) des années 2019 à 2022.



**Figure 6.** Températures (°C) et cumuls de précipitation (mm) mensuels de 2019 à 2022, ainsi que les cumuls annuels (la ligne rouge indique la moyenne des cumuls annuels « 608 mm » sur la période 1960-2022) et pour la période de février à mai (attention les échelles sont différentes).

## 4.2 Suivi haute fréquence de la salinité

L'interprétation de la figure 6 est à mettre en parallèle de l'évolution du contexte climatique passé et météorologique de la période d'étude 2019-2022.



**Figure 7.** Suivi de la salinité et des conditions d'ouverture ou de fermeture du grau de la lagune de juin 2019 à juillet 2022 (F : grau fermé, O : Grau ouvert permettant les échanges entre la mer et la lagune, RF : grau en train de se refermer, le plus souvent ne permettant plus les échanges entre la mer et la lagune). Le graphique du bas représente le cumul des précipitations journalières sur les mêmes années.

Compte tenu des données hydrologiques sur la durée de l'étude, **les années 2019 et 2020 sont clairement distinctes des années 2021 et 2022** (Fig. 7 ; précipitation). **La salinité est un marqueur clef du fonctionnement hydrologique des lagunes. En effet, il intègre les apports d'eau douce, les entrées d'eau marine et les phénomènes d'évaporation.**

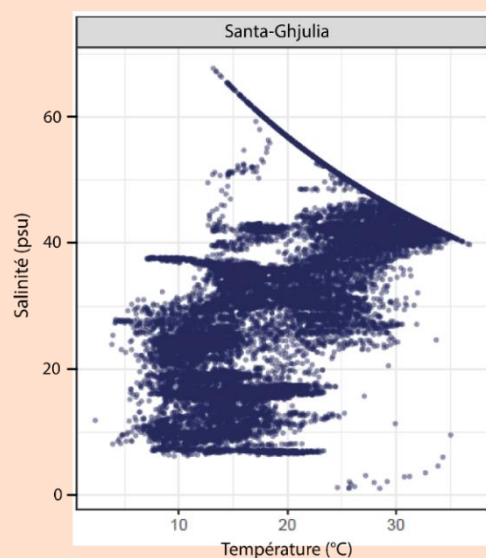
En 2019 et 2020 les **plus fortes salinités sont enregistrées sur la lagune**. Elles ont été supérieures à **90** en 2019 (il est possible que les salinités aient été bien plus élevées l'été 2019 mais ces valeurs n'ont pas été enregistrées) et à **120** en 2020 en fin d'été du fait d'une très forte évaporation ayant conduit à l'assèchement de plus de 2/3 de lagune de mi-juin à juillet 2019 et l'assèchement presque total de la lagune de mi-juin à mi-août

2020 (Annexe 11.3 ; Tab. 5 ; [Fig.https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/](https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/)). La lagune s'est de nouveau asséchée presque totalement, en raison des précipitations quasi inexistantes de mi-septembre à fin octobre 2019 (Annexe 11.3 ; Fig.5). La salinité s'est abaissée au gré des faibles précipitations entre décembre 2019 et fin avril 2020.

A noter que les assèchements estivaux de 2019 et 2020 ont été suivis par une ouverture du grau mécanique par l'hôtelier avec une remise en eau de la lagune alors que l'assèchement automnal de 2019 a suivi un **processus naturel** de remise en eau suite aux précipitations de novembre 2019.



Cependant et notamment pour l'année 2022, où de très fortes chaleurs ont été enregistrées (données non présentées), les données de salinité seront à vérifier. Un diagnostic des données provenant de la sonde haute fréquence a permis de mettre en avant une cassure sur la mesure de la salinité en fonction de l'augmentation de la température (Fig. 8). Une étude (financée par l'OEC) est en cours pour évaluer la fiabilité des données acquises par la sonde à haute fréquence en fonction de la température de l'eau, tenter une extrapolation de la donnée non enregistrée à partir du calcul de l'évaporation et émettre un outil d'aide à la gestion pour les gestionnaires.



**Figure 8.** Diagnostic des données de température et de salinité de la sonde haute fréquence sur la lagune de Santa-Giulia intégrant les mesures de février 2020 à décembre 2022.

En 2021 et 2022 enregistrées des salinités plus faibles ont été enregistrées, inférieures à 10 de novembre 2020 à avril 2021 et n'excédant pas 50 en période estivale. Durant cette période (2021-2022) **aucune intervention sur le grau n'a été observée**. La dernière ouverture mécanique a eu lieu le 14 octobre 2020 suite à de fortes pluies. Cette action a été opérée par l'hôtelier car le niveau d'eau de la lagune inondait la route permettant d'accéder au complexe hôtelier. À la suite de l'intervention, d'octobre 2020 à avril 2021, la lagune n'a cessé d'évoluer entre apport d'eau douce et entrée d'eau de mer ce qui s'est traduit par des variations de salinité oscillant entre 8 et 30 (Fig. 7).

Quelques conclusions peuvent être tirées de ces 4 années d'études qui ont permis d'enregistrer des fonctionnements de la lagune de Santa Giulia différents avec ou sans ouvertures mécaniques et ce pour différents régimes de précipitation :

- les interventions mécaniques estivales sur une année très sèche et par conséquent des apports du bassin versant très réduits, ne permettront pas de maintenir le grau ouvert et d'éviter l'évaporation massive de la lagune ;
- dans les mêmes conditions que ci-dessus, sur une année très sèche et donc des apports du bassin versant très réduits, un pic de précipitation, au moins égal à 60 mm (quantité conséquente en terme de cumul de précipitation), en fin de printemps ne permettra pas au grau de se maintenir ouvert (avec ou sans intervention) ;
- des pluies automnales, hivernales et printanières (entre octobre et mai) régulières, sans interruption majeure sur la période considérée, alimentent suffisamment la lagune en eau douce pour créer un flux sortant vers la mer permettant ainsi de maintenir le grau ouvert et ce sans intervention mécanique ;
- les pluies de l'année **n** automnales, hivernales et printanières (e.g. 2020-2021) contribuent à maintenir un fonctionnement hydrologique de la lagune naturel et un grau ouvert permettant des échanges avec la mer plus modérés l'été **n+1** (cf. 2022).

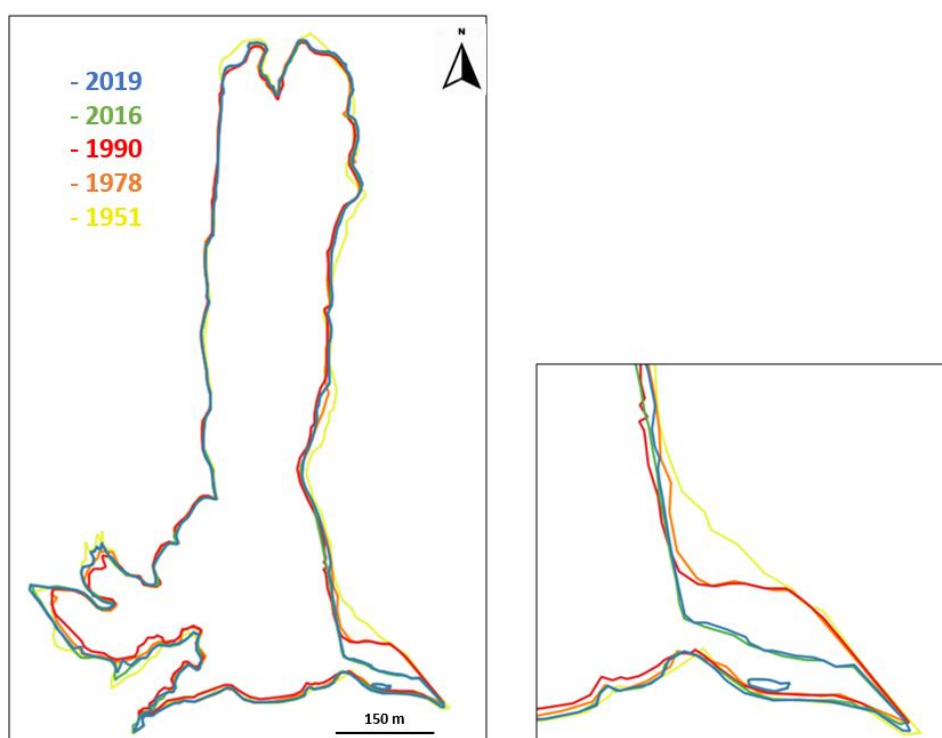
La gestion du grau est un facteur ayant une grande influence sur les écosystèmes lagunaires (Garrido *et al.*, 2016 ; Ligorini *et al.*, 2022). Au cours de ce suivi annuel (juin 2019 à juin 2022), le grau naturel de la lagune, situé au sud, était ouvert par intermittence (Fig. 7). Ce grau naturel est soumis aux aléas climatiques (e.g. pluie, marée, vent), au débit des 3 ruisseaux situés au sud-ouest de la lagune (bassin Sud) et comblement via le dépôt de banquettes de posidonies (naturel et non naturel). En effet, il y a une très importante accumulation de litière provenant des dépôts effectués, régulièrement et depuis un laps de temps conséquent, à la suite des nettoiyages de la plage.

Des interventions mécaniques ont été effectuées par le gérant du complexe hôtelier se situant sur le lido (Fig. 7 ; Annexe 11.6 Tab. 11). Il est d'ailleurs important de souligner que le nombre d'interventions n'est ni connu et ni suivi. L'absence de gestion du grau, les dépôts non raisonnés de banquettes de posidonies couplés aux changements globaux contribuent au comblement de la lagune et diminue certainement la capacité de fonctionnement hydrologique de la lagune et par conséquent de résilience de cet écosystème. Frisoni (1980) fait mention dans ces travaux d'un rapport d'archives du SREA Bastia datant de 1899 qui présente la lagune comme étant « toujours ouverte sur la baie, libre de toute prolifération algale sans aucune fermentation sur les fonds uniformément constitués de sable propre ».

Cette évolution vers le comblement de la lagune de Santa-Giulia est d'autant plus dommageable qu'il est montré dans cette étude que des ouvertures mécaniques ne

permettent pas/plus de maintenir le grau ouvert ou que très brièvement et n'évitent en rien l'évaporation massive de la lagune. En revanche, il est évident que le rejet volontaire et l'accumulation massive à l'intérieur de la lagune des banquettes de posidonies (et cela depuis de nombreuses années) a considérablement réduit la capacité de la lagune à « fonctionner naturellement » d'un point de vu hydrologique et augmenté les seuils de cumuls (intensité, durée) de précipitation nécessaire à l'ouverture puis au maintien du grau ouvert.

#### 4.3 Evolution des limites de la lagune et de son embouchure



**Figure 9.** Evolution des bordures de la lagune de Santa Giulia et de son embouchure.

Les bordures de la lagune et de son embouchure ont évolué depuis 70 ans (Fig. 9). Même si certains décalages observés peuvent être liés au géoréférencement, au niveau d'eau dans l'étang ou à la qualité des prises de vue, on observe une tendance au **comblement** à certains endroits. Ce comblement est observable en particulier à l'Est, à proximité du parking de l'hôtel, et jusqu'à plus de 20 m de large. Il est caractérisé par de grandes étendues de sédiment mélangées à de la litière de posidonie (observable sur site). Au niveau du grau, la communication avec la mer s'est également réduite. Alors qu'elle était de 80 m de large en 1951 (Fig. 9), elle est actuellement à 20 m. De plus, on observe la formation d'un îlot qui se végétalise, identifiable à partir de la prise de vue de 2016.



## 5 Variabilités spatio-temporelles de l'environnement physico-chimique de la colonne d'eau et dynamique structurale du phytoplancton

Afin de faciliter la lecture des résultats de ce chapitre, il a été noté aucune différence majeure entre les 2 stations d'échantillonnages S1 (bassin Nord) et S2 (bassin Sud). Il faudra donc apprécier essentiellement la variabilité temporelle des résultats.

### 5.1 Paramètres abiotiques, nutriments et chlorophylle *a*

Hors période estivale, le pic de  $\text{NO}_3^-$  (nitrate) enregistré et de  $\text{PO}_4^{3-}$  (phosphate), bien que très relatif pour ce dernier, est concomitant aux précipitations enregistrées en novembre 2019 (Figures 7 et 11). Le pic de  $\text{NH}_4^+$  (ammonium) beaucoup plus marqué en février 2020 est difficilement explicable. Il est souvent attribué à de potentiels rejets anthropiques ponctuels. Il peut également provenir du sédiment sous l'action de la remise en suspension par le vent. Cependant, cette information n'est pas vérifiable.

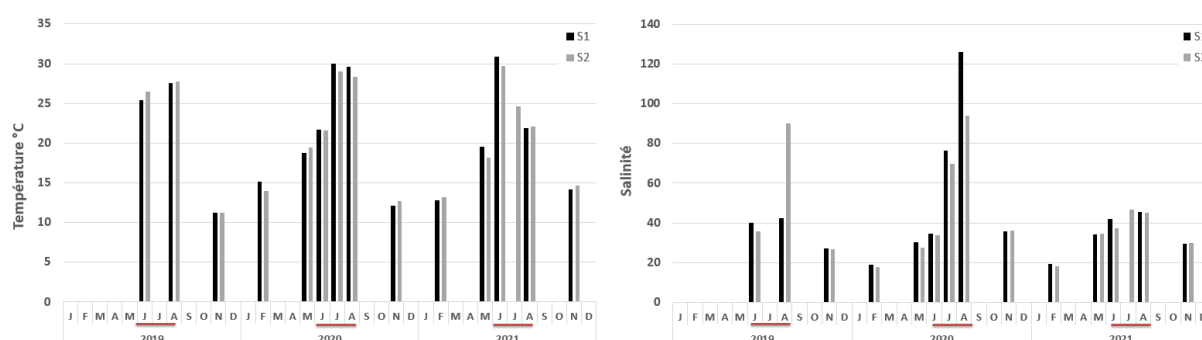
Pendant les périodes estivales durant la durée de l'étude 3 fonctionnements hydro-biologiques distincts ont pu être observés :

- **Été 2019** : l'ensemble des nutriments apporté à la lagune ont été consommés (nitrates et phosphate). Cette forte biomasse a été observée à travers les concentrations en chlorophylle *a* à la station S2 particulièrement élevées (août 2020 : 17,24  $\mu\text{g/L}$ ), ainsi que les concentrations d'azote total (NT) également élevées ; paramètre de la biomasse produite (fraîche et en cours de dégradation, microalgues et débris végétaux macrophytiques en dégradation) (Figures 11 et 12).
- **Été 2020** : des nutriments dissous sont en plus grande quantité dans la colonne d'eau que l'année précédente ; ces concentrations restent toutefois modérées (Fig. 11). La biomasse phytoplanctonique assez similaire à l'été 2019 mais a été répartie sur les 2 stations (S1 et S2). Il est vraisemblable que l'excès de nutriment dans la colonne d'eau est généré par le relargage sédimentaire et de la reminéralisation de la matière organique (micro-algue) présente dans la colonne d'eau sous l'effet des fortes chaleurs et des conditions d'anoxie. Cet apport de nutriments « interne » à la lagune n'a pas pour autant favorisé un surplus de biomasse micro-algale. La matière organique en décomposition dans la colonne d'eau se vérifie par les teneurs élevées en azote et phosphore total (NT et PT ; Fig. 12).

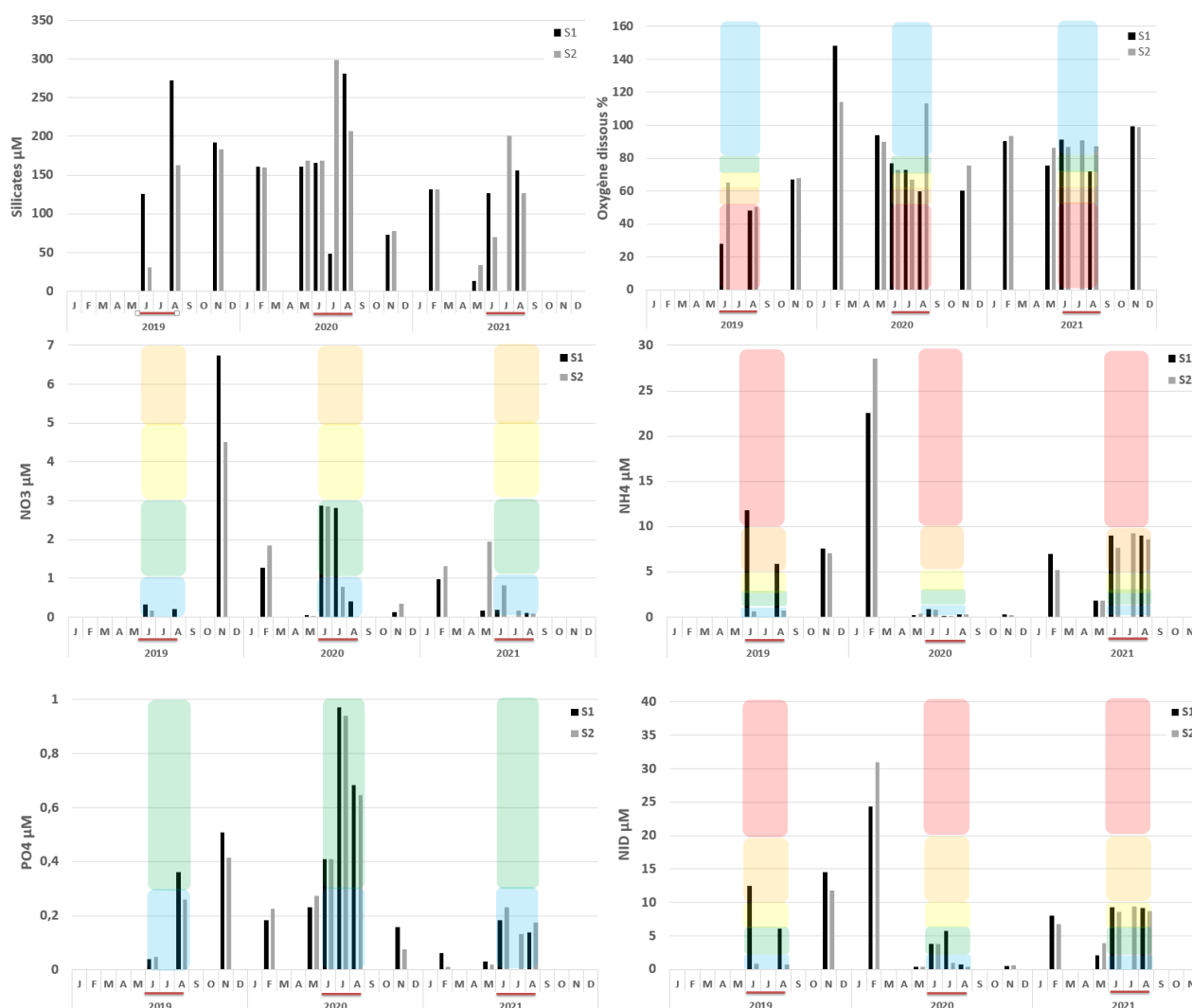
- **Eté 2021** : les nitrates et phosphate ont été peu présents dans la colonne d'eau. De l'ammonium non consommé a été de nouveau détecté. Ce n'est pas la forme préférentiellement consommée par les micro-algues, d'autant que la biomasse micro-algale, en 2021 n'était pas très peu importante (en moyenne 2,07  $\mu\text{g/L}$ ) ; en témoignent également les faibles teneurs en azote et phosphore totale (Figures 11 et 12).



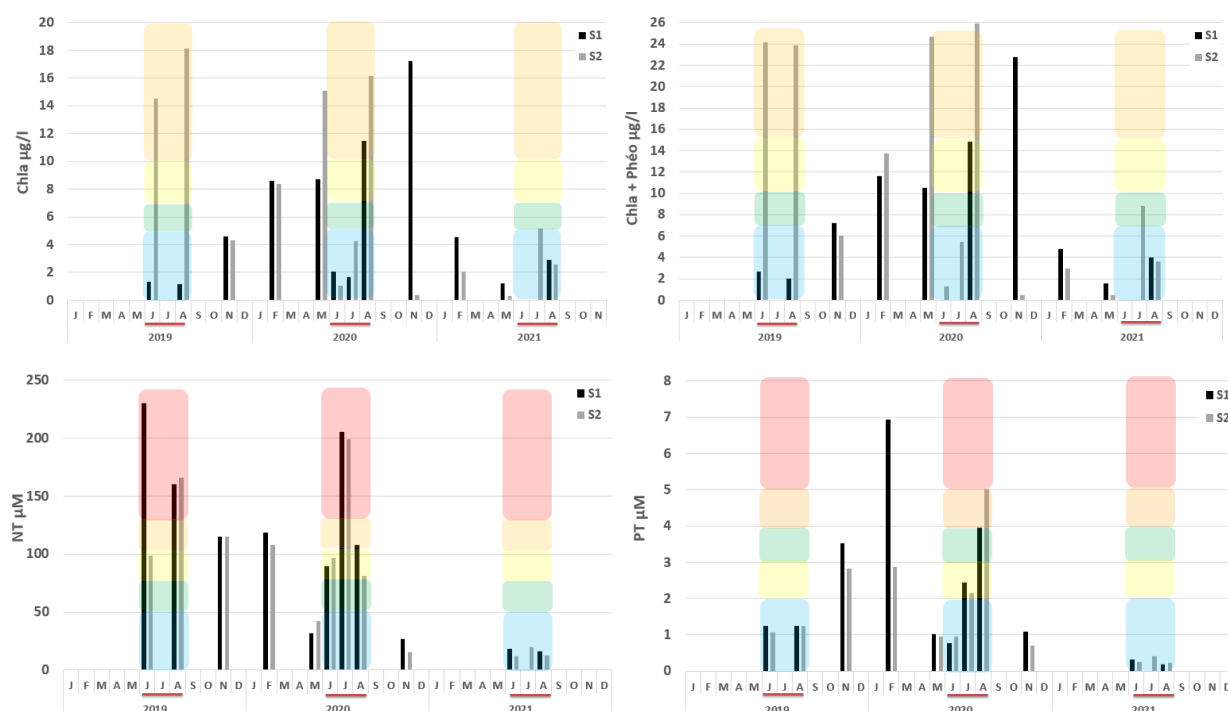
Pour mémoire, les éléments azotés et phosphorés dissous proviennent des apports extrinsèques (e.g. bassin versant, mer, eau souterraine, apports anthropiques) ainsi que de la dégradation et de la reminéralisation de la matière organique et du relargage sédimentaire. Les concentrations en éléments dissous (Fig. 11) présents dans la colonne d'eau de la lagune représentent ce qui reste dans la colonne d'eau après consommation par les producteurs primaires (micro- et macro-algues).



**Figure 10.** Évolution de la salinité et de la température de l'eau en 2019, 2020 et 2021 aux stations S1 et S2.



**Figure 11** Évolution de la concentration en silicates ( $\mu\text{M}$ ), nitrates ( $\text{NO}_3 \mu\text{M}$ ), ammonium ( $\text{NH}_4 \mu\text{M}$ ), phosphates ( $\text{PO}_4 \mu\text{M}$ ), azote inorganique dissous ( $\text{NID} \mu\text{M}$  = Nitrates + Nitrites + Ammonium) aux stations S1 et S2. Les encadrés de couleur représentent, à titre indicatif, les seuils de qualité des différents paramètres utilisés par le Réseau de Suivi Lagunaire, uniquement pour la période estivale (Tableau 2). Il n'y a pas eu de prélèvement en hiver et au printemps 2019.



**Figure 12.** Évolution de la concentration en azote total (NT), phosphore total (PT) ( $\mu\text{M}$ ), chlorophylle a et phéopigments ( $\mu\text{g/l}$ ) aux stations S1 et S2. Les encadrés de couleur représentent, à titre indicatif, les seuils de qualité des différents paramètres utilisés par le Réseau de Suivi Lagunaire uniquement pour la période estivale (Tableau 2). Il n'y a pas eu de prélèvement en hiver et au printemps 2019.



**Les diagnostics de l'état DCE de la colonne d'eau et du phytoplancton** s'appuient sur les paramètres clés de l'eutrophisation (Derolez et al., 2020 ; cf. pages 9-11) : les variables azote total (NT), phosphore total (PT), paramètres intégrateurs de l'eutrophisation, et les variables azote inorganique dissout (NID, qui regroupe les nitrites, les nitrates et l'ammonium) et les orthophosphates ( $\text{PO}_4$ ), indicatrices de pollutions ponctuelles ou d'apports récents. Ces quatre paramètres sont complétés par la biomasse de chlorophylle a et les abondances de picophytoplancton (diamètre  $< 3 \mu\text{m}$ ) et de nanophytoplancton (diamètre compris entre 3 et  $20 \mu\text{m}$ ), pour qualifier l'état du phytoplancton. Des agrégations spatiales, temporelle et des variables sont nécessaires à l'établissement du diagnostic de l'état physico-chimique et de la colonne d'eau. Ces diagnostics DCE découlent des données acquises et des analyses statistiques réalisées dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire de 2001 à 2012 (Ifremer, 2013 ; cf. pages 477-484).

**Attention dans cette présente étude** : les données des 3 mois d'été sur 3 années consécutives ont été utilisées au lieu des 6 années requises, durée des plans de gestion DCE. Pour les diagnostics de l'état du phytoplancton les résultats n'ont pas été convertis en EQR, ne bénéficiant pas d'une lagune de référence appropriée. Des paramètres physico-chimiques d'appui ont été mesurés afin de compléter l'interprétation des données : température, salinité, oxygène dissous, turbidité, silicates.

**Tableau 1 :** Etat physico-chimique de la colonne d'eau DCE

NID	PO4	NT	PT
9,1	0,8	163,5	3,0
etat physico-chimique 2019-2021			



L'ensemble des variables a été repris dans le tableau en utilisant les seuils de qualité élaborés dans le Réseau de Suivi Lagunaire (RSL), afin de suivre l'évolution annuelle des états des variables. Attention : Les seuils des variables peuvent être légèrement différents (cas du PT) entre ceux d'ObsLag et de la DCE car une homogénéisation des états, portant sur un nombre de données et de variables différents a été nécessaire. Cette grille RSL ci-dessous est donnée à **titre indicatif**.

**Tableau 2.** Grille de lecture estivale de la colonne d'eau utilisée dans le cadre du Réseau de Suivi lagunaire appliqué à la lagune de Santa Giulia.

2019 (avant dernier état le plus déclassant)											
Variables			Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
%O2 SAT		100		80		70		60		50	47,9
PO4	μM	0	0,2	0,3		1		1,5		4	
NID	μM	0		2	5	6		10		20	
NO3	μM	0	0,2	1		3		5		10	
NH4	μM	0		1		3	4,8	5		10	
Chl a	μg/l	0		5		7	8,8	10		20	
ChlaPhe	μg/l	0		7		10	13,2	15		25	
NT	μM	0		50		75		100		120	163,6
PT	μM	0		0,75	1,2	1,5		2,5		4,5	
2020											
Variables			Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
%O2 SAT		100		80	77,1	70		60		50	
PO4	μM	0		0,3	0,7	1		1,5		4	
NID	μM	0		2	2,5	6		10		20	
NO3	μM	0		1	1,6	3		5		10	
NH4	μM	0	0,4	1		3		5		10	
Chl a	μg/l	0		5	6,1	7		10		20	
ChlaPhe	μg/l	0		7	8,7	10		15		25	
NT	μM	0		50		75		100		120	130,1
PT	μM	0		0,75		1,5		2,5	2,6	4,5	
2021											
Variables			Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
%O2 SAT		100	85,6	80		70		60		50	
PO4	μM	0	0,2	0,3		1		1,5		4	
NID	μM	0		2		6	9	10		20	
NO3	μM	0	0,3	1		3		5		10	
NH4	μM	0		1		3		5	8,7	10	
Chl a	μg/l	0	3,5	5		7		10		20	
ChlaPhe	μg/l	0	5,5	7		10		15		25	
NT	μM	0	15,9	50		75		100		120	
PT	μM	0	0,3	0,75		1,5		2,5		4,5	

## Peut-on établir un état physico-chimique de la colonne d'eau vis-à-vis de l'eutrophisation ?



Les seuils peuvent sembler déclassant. Il serait nécessaire de les réévaluer ou de les vérifier grâce à un panel de petite lagune similaire à Santa Giulia sur un nombre d'années plus conséquent. Néanmoins, ces grilles et seuils de lecture RSL et ObsLag permettent de donner un état général à la lagune de Santa Giulia et de le suivre dans le temps.

Si l'on se réfère à un état physico-chimique calculé sur 3 ans (au lieu de 6 pour la DCE ; Tableau 1), la lagune de Santa Giulia affiche un état « médiocre » de la colonne d'eau. Cependant, les 3 années de suivis de la lagune de Santa Giulia indiquent clairement une progression de la lagune d'un fonctionnement très dégradé de type « eutrophe » à un état « meso-oligotrophe » (Tableau 2). La lagune a subi un important stress hydrique en 2019 suivi d'un assèchement en 2020 entraînant une sursalinisation importante ( $> 100$  ; Fig. 7), *a contrario* elle semble peu impactée par les apports anthropiques eutrophisants.

### 5.2 Phytoplancton

Les analyses cytométriques ont permis la distinction et la quantification de différents groupes phytoplanctoniques de classe de taille inférieure à  $20\ \mu\text{m}$ , les picoeucaryotes (PEUK), les picocyanobactéries riche en phycoérythrine (PE-CYAN), les picocyanobactéries riche en phycocyanine (PC-CYAN) et le nanophytoplancton (NANO ; Annexe 11.3). Ces analyses sont complémentaires des données microscopiques, car les observations microscopiques ne permettent pas de quantifier et d'identifier clairement cette fraction du phytoplancton. L'importance écologique de la taille des organismes phytoplanctoniques (pico-, nano- et microphytoplanctoniques ; Annexe 11.3) en relation avec l'acquisition de nutriments peut être observée lors d'une comparaison des espèces dominantes dans les environnements pauvres ou riches en nutriments (Reynolds & Smayda, 1998 ; Elliott et al., 1999 ; Smayda & Reynolds, 2001).

Les enrichissements (naturels ou anthropiques) en éléments nutritifs contribuent généralement à élever la production biologique, qui se manifeste par la prolifération de certaines espèces ou groupes d'espèces et tend à réduire la diversité. Ce processus a pu être observé en 2020 sur la lagune de Santa-Giulia (Fig. 12, NT et PT et Fig. 13a) à l'inverse de l'année 2021 où les concentrations plus faibles en éléments nutritifs se sont traduites par des concentrations en Chl a moins élevées (Fig. 12, 13b, 14a) et une diversité phytoplanctonique plus importante (Fig. 13a, 14b).

les lagunes, la production primaire nouvelle se développe à partir d'apports externes de nitrate ou d'ammonium faisant suite aux périodes pluvieuses (Bec et al., 2011 ; Leruste et al., 2019) et peut être dominée soit par une composante nanophytoplanctonique soit microphytoplanctonique, en fonction du statut trophique (Bec, 2005). Dans les lagunes eutrophisées, l'importante composante nanophytoplanctonique peut être attribuée à

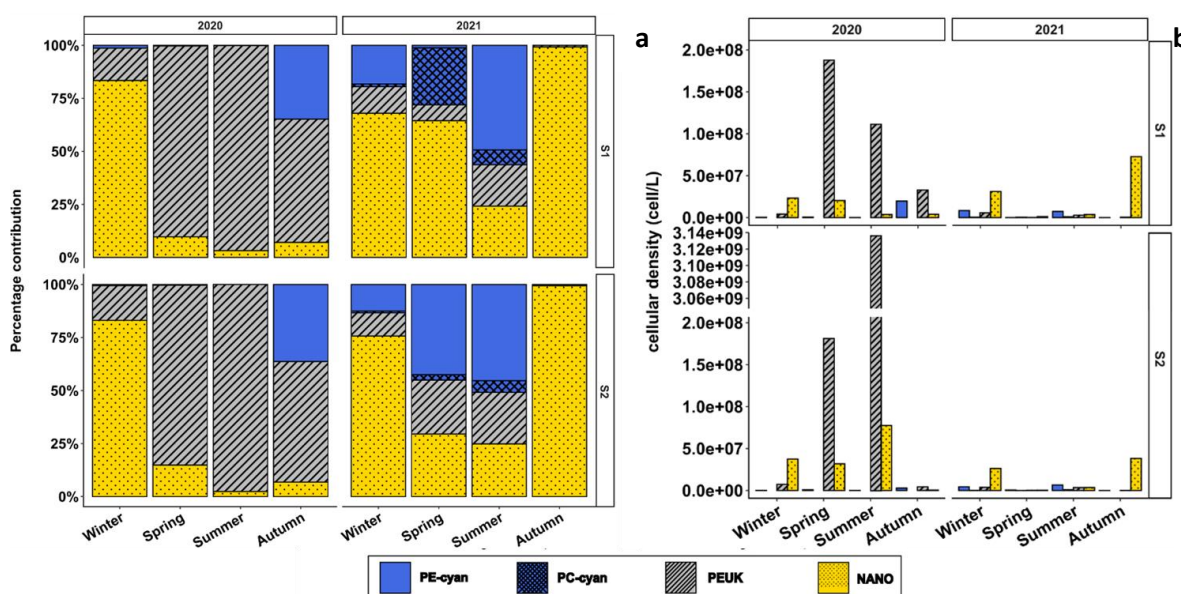


une assimilation préférentielle de l'ammonium par cette fraction, en opposition au microphytoplancton qui assimile principalement les nitrates (Collos *et al.*, 2003 ; Bec, 2005). En revanche, dans les lagunes modérément eutrophisées, les abondances de picoeucaryotes sont modérées et les apports de nitrate favorisent également le développement micro phytoplanctonique (diatomées coloniales).

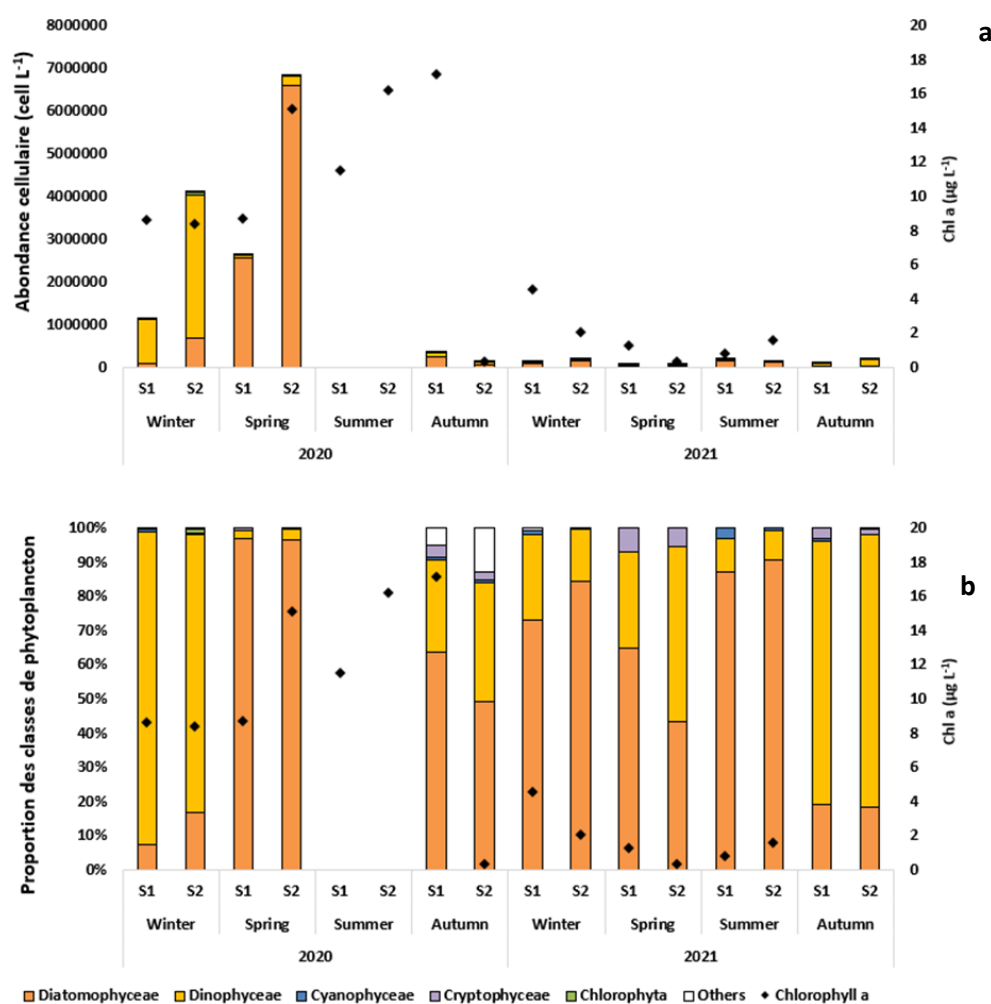
Les communautés pico-, nano- et microphytoplanctoniques de la lagune n'ont pas montré des différences spatiales marquantes entre les deux stations 2020 et 2021 (Fig. 13a). Globalement, la biomasse élevée et la dominance de picoeucaryotes (Figures 13b), typique des milieux riches ont permis d'avancer que le niveau trophique de la lagune de Santa Giulia était plutôt eu- à mésotrophe ; particulièrement très productif en 2020. La fraction pico- et nanophytoplanctonique (NANO) était dominée par les picoeucaryotes (PEUK) en 2020, et nanophytoplanctonique en 2021 (Fig. 13a ; Ligorini *et al.*, 2022).

En 2020, la densité totale de microphytoplancton était très élevée avec des valeurs dépassant systématiquement  $1 \times 10^6$  cell L<sup>-1</sup> et dominée par les diatomées indépendamment de la saison et des stations (Fig. 14a).

La perte de connectivité (échanges avec la mer via le grau) peut être associée à l'augmentation de biomasse dans le milieu ainsi qu'à une augmentation de la diversité, observée à partir de l'automne 2020. Pendant l'année 2020, période durant laquelle le grau était fermé la plupart du temps ou avec des ouvertures non efficaces, des fortes biomasses et fréquents phénomènes de bloom ont été enregistrés, alternativement causés par des diatomées ou dinoflagellés (Fig. 14a et 14b). À partir de l'automne 2020, suite à l'assèchement et pendant une période où le grau était majoritairement ouvert, la biomasse était plus faible (Figures 14a) et la diversité plus élevée (Fig. 13b et 14b). Potentiellement, l'assèchement peut avoir entraîné une augmentation des nutriments dans la colonne d'eau via les apports sédimentaires, en particulier en NH<sub>4</sub>, favorisant ainsi la diversité grâce au développement d'espèces tolérant le stress.



**Figure 13.** Évolution saisonnière des proportions (a) et abondance (b) cellulaires phytoplanctoniques par classes de taille aux stations S1 et S2 en 2020 et 2021.



**Figure 14 :** Évolution saisonnière des abondances (a) et proportion (b) cellulaires phytoplanctoniques par groupes taxonomiques aux stations S1 et S2 en 2020 et 2021.

## 6 Évaluation de l'état du compartiment macrophytique et du sédiment



Attention, les indicateurs macrophytes développés dans le cadre du Réseau de suivi Lagunaire et de la DCE le sont au titre de la problématique de l'eutrophisation. De plus, ces indicateurs ont été développés pour des lagunes de grandes tailles (> à 50 ha, masse d'eau de transition au titre de la DCE). Selon le fonctionnement écologique des lagunes de petites tailles (< à 50 ha), les seuils de qualité pourraient nécessiter une réévaluation en prenant en compte un panel de lagunes similaires dont une lagune considérée comme « référence ». Néanmoins, cet état calculé est très informatif car il s'appuie sur des connaissances solides au regard du comportement des macrophytes en milieu lagunaire et a pour objectif un suivi temporel utilisant systématiquement la même méthode.

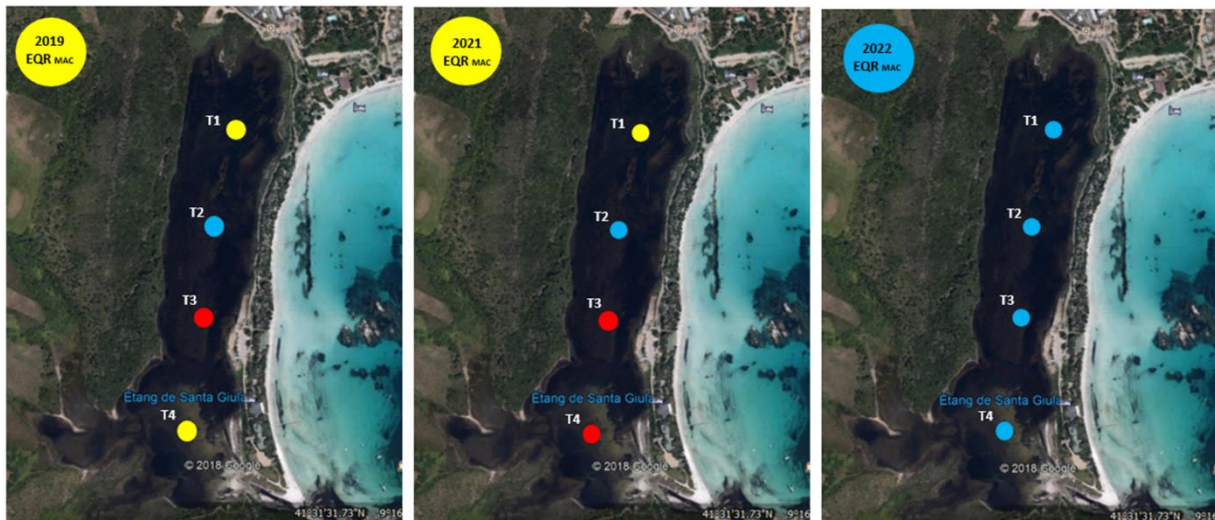
### 6.1 Indicateurs « macrophytes »

Cette évaluation est basée sur les indicateurs de recouvrement des macrophytes et espèces de références développés dans le cadre du réseau de Suivi Lagunaire RSL puis adapté aux besoins de la DCE (Lauret *et al.*, 2011 ; Ifremer, 2012 & 2013 ; Cimiterra *et al.*, 2020). Les relevés « terrain » et calcul des taux de recouvrement sont disponibles en annexe 11.4.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes attachées, en plus de l'établissement d'un diagnostic de l'état écologique de la lagune, à apporter des outils d'aide à la gestion. Afin que le gestionnaire de la lagune de Santa-Giulia puisse réaliser dans le futur un suivi de l'état du compartiment macrophytique, une simplification de la méthode a été opérée au cours du temps (entre 2019 et 2021) et testée en 2022. Cette méthode simplifiée a été validée en 2022 et peut-être désormais effectuée annuellement par le gestionnaire. Entre 2019 et 2021, 4 transects et 17 stations complémentaires ont été suivis et en 2022, nous avons fait le choix de ne conserver que les 4 stations centrales à chaque transect en 2022.

**En 2019**, la lagune affichait un état « moyen » vis-à-vis du compartiment macrophytique de *Ruppia cirrhosa* (espèce de référence ; cf. encadré bleu ci-dessous) (Fig. 15, Annexe 11.4). Les *Lamprothamnium papulosum* (espèce de référence) sont présentes sur la station T1 avec un fort taux de recouvrement. Ces characées sont également présentes sur l'ensemble du pourtour de la lagune. **En 2021**, l'espèce *L. papulosum* n'a pas été retrouvée sur la lagune et l'herbiers de *R. cirrhosa* n'a été rencontré qu'aux stations qu'aux stations T1 et T2. L'état de la couverture macrophytique s'est dégradé mais n'a pas engendré de déclassement (baisse de l'EQR mac ; *Ecological Quality Ratio* « macrophytes » ; Fig. 15). **En 2022**, la lagune a affiché un EQR mac « très bon état » du

fait de la couverture très importante de l'herbier de *R. cirrhosa*, avec 100 % de recouvrement de l'espèce sur les 4 stations.

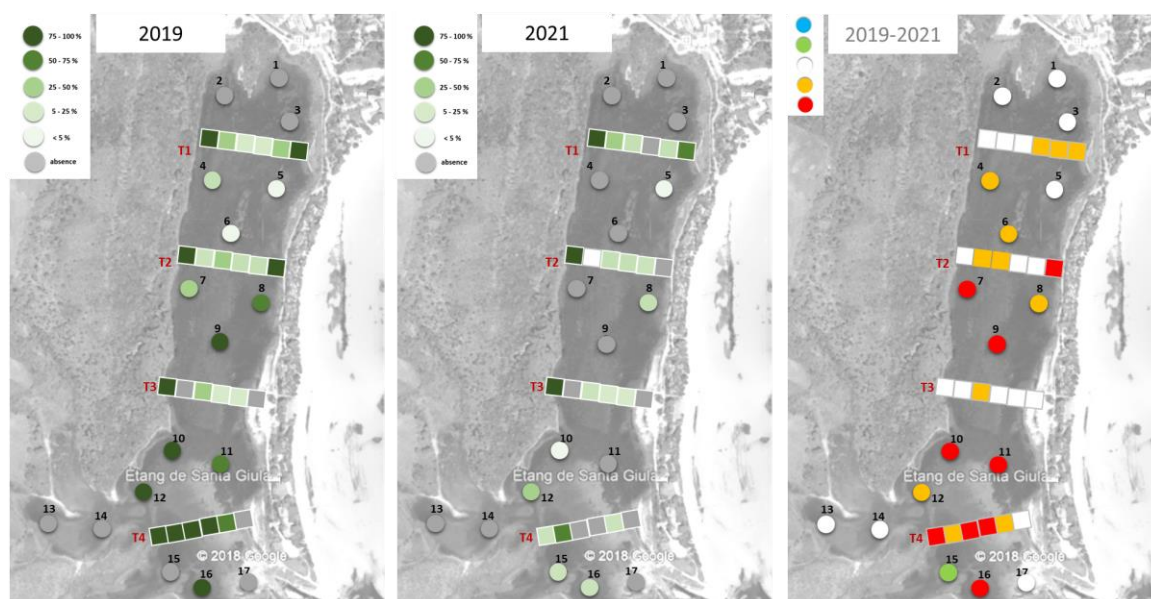


**Figure 15.** Évaluation du compartiment macrophyte selon la méthode DCE « adaptée à la lagune de Santa Giulia » en 2019, 2021 et 2022.

*Les espèces de référence, les herbiers, certaines algues, les Characées par exemple, sont sensibles à la dégradation du milieu et en font de très bons indicateurs. Les characées sont très sensibles à cette dégradation mais peuvent supporter de fortes amplitudes et soudaine fluctuation de la salinité du milieu.*

Les macroalgues et phanérogames (macrophytes) ont été identifiées sur 4 transects d'environ 200 m (largeur totale berge à berge) et 17 stations complémentaires réparties sur l'ensemble de la lagune (Fig. 16). Les relevés terrain ont permis la réalisation de représentations synthétiques de l'évolution de la couverture macrophytique. **En 2019**, les stations de bordure ont présenté les plus forts taux de recouvrement ainsi que les stations se situant dans le bassin Sud (transect 4 et stations 10, 11, 12 et 16 ; Fig. 16). Ce recouvrement a été essentiellement dû aux herbiers de *Ruppia cirrhosa* (Fig. 13). Les *Lamprothamnium* ont été observées à la station 6, ainsi qu'en tâches (environ 10 % de recouvrement) au niveau du transect 2 sur la rive Est de la lagune. Elles ont été également fréquemment observées le long du transect 4 (Sud-Est de la lagune, de 0 à 100 m ; notamment de 0 à 100 m, départ du transect à l'Est). La couverture macrophytique représentée par l'herbier de *R. cirrhosa* en 2019 a très fortement régressée en 2021 (Fig. 16) et en particulier dans le bassin Sud. Quelques « tâches » de *L. papulosum* ont été recensées au niveau des transects 1, 2. Cependant, elles n'ont pas du tout été retrouvées dans le bassin Sud de la lagune.





**Figure 16.** Évaluation de la couverture macrophytique (transects et stations) en 2019 et 2020 et écart de % de couverture macrophytique. (Les transect et les 17 stations complémentaires n'ont pas été réalisées en 2022).

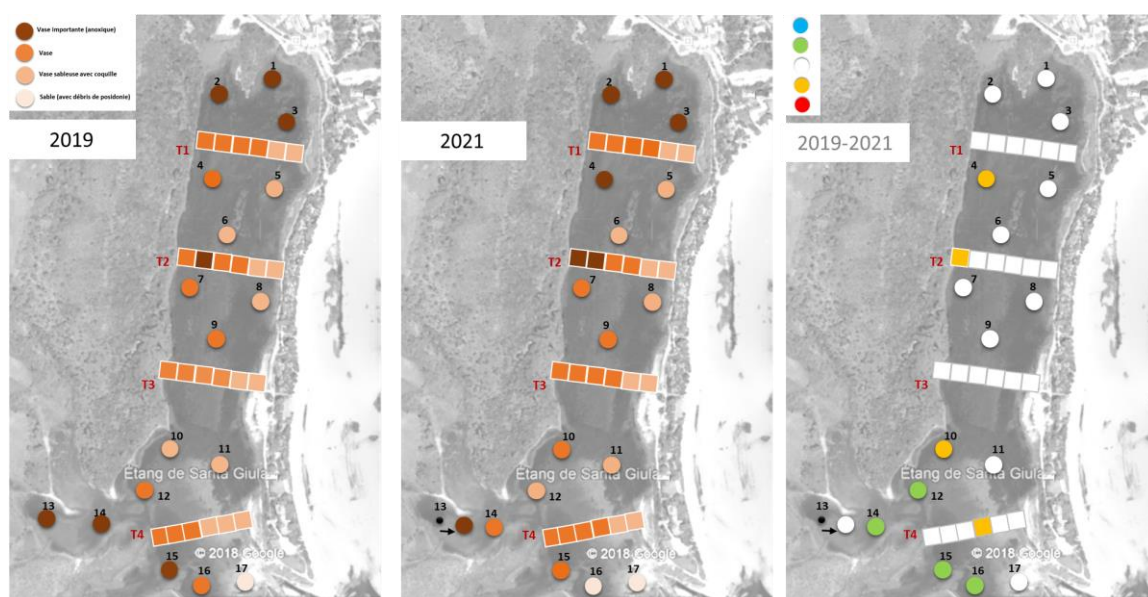
La lagune a indéniablement subi un stress « salin » de 2019 à 2020, qui a pu être enregistré par le compartiment intégrateur macrophytique également en 2021 pour atteindre un « très bon état » (selon la notation DCE pour l'indicateur « Macrophytes ») en 2022. La capacité de la lagune à recouvrir des herbiers est très rapide et dénote d'une réactivité et très certainement d'une capacité de résilience importante.

## 6.2 Evaluation des sédiments

Des évaluations des sédiments sur les 17 stations et les 4 transects ont été réalisées (Fig. 17). Le bassin Nord de la lagune est beaucoup plus ensasé et présente des sédiments anoxiques (forte odeur liée à la production de sulfures en condition d'anoxie) de même que la bordure ouest de la lagune et la petite zone confinée au sud-ouest dans laquelle se rejettent les cours d'eau principaux. Le reste de la lagune est constitué de sédiment constitué de vase sableuse et de sable associé à des débris de coquilles et de posidonie. Il semble que la qualité du sédiment de la zone confinée sud-ouest se soit légèrement améliorée en 2021 très probablement suite au lessivage de la couche superficielle du sédiment par les apports du bassin versant plus conséquents en automne, hiver et printemps 2020-2021.

Des analyses sédimentaires (5 premiers centimètres du sédiment) ont également été réalisées en juin 2021 (Tab. 3) au niveau des 4 stations « macrophytes » **centrales**. Elles présentent un état « mauvais » du fait des concentrations élevées en azote totale. Les sédiments ne montrent cependant pas d'enrichissement en phosphore et des ratios C/N

(non présenté) entre 10 et 12 légèrement élevés. Cependant, il est difficile d'en tirer des conclusions. Cet enrichissement peut provenir de matière en décomposition riche en azote du fait de la dégradation de la lagune en 2019 et 2021 (sédimentation de matière organique particulaire, dégradation des feuilles d'herbier de *Ruppia*) quand la lagune se trouvait en phase « eutrophe », d'un fort développement de microphytobenthos (visible en patche marron sur le sédiment) ou d'un enrichissement régulier sur le long terme du fait de la dégradation des amas feuilles de posidonie à l'intérieur de la lagune. Un suivi pluriannuel serait nécessaire pour mettre en évidence le caractère ponctuel ou permanent de ces concentrations, soit lié au fonctionnement écologique de la lagune, soit à des facteurs anthropiques.



**Figure 17.** Evaluation de la qualité des sédiments en 2019 et 2021

**Tableau 3.** Etat du sédiment (prélèvements réalisés en 2021)

	Azote g/kg PS		Phosphore g/kg PS	
T1	1,38	± 0,21	62,66	± 0,01
T2	8,01	± 1,59	247,55	± 0,02
T3	11,34	± 1,04	484,51	± 0,00
T4	2,11	± 0,22	76,90	± 0,02

## 7 Etat vis-vis de la contamination de la colonne d'eau et du sédiment

### 7.1 POCIS : teneurs en pesticides, composés pharmaceutiques et alkylphénols

La liste des polluants et normes de qualité environnementale (NQE) est disponible en annexe du rapport DCE ObsLag 2020-2021 ([Munaron et al., 2022](#) ; pages 88-90). Les NQE pour les « eaux » sont indiquées en µg/L ; avec les NQE-MA les Concentrations Moyennes Annuelles à ne pas dépasser (µg/L) et les NQE-CMA les Concentrations Maximales Admissibles.

**Dans le cadre de cette étude, il est important de souligner qu'aucune des substances mesurées ne dépasse les NQE**

Deux substances ressortent (étant supérieure à la limite de quantification ; Tab. 6 en Annexe 11.5) :

- l'**hydroxysimazine** avec une concentration de 90,1 ng/L en automne 2020 et 50,3 ng/L au printemps 2021 soit 0,09 µg/L et 0,05 µg/L bien en dessous des NQE. La base de la référence est la molécule mère la simazine avec une NQE-MA égale à 1 µg/L et une NQE-CMA égale à 4 µg/L pour les eaux côtières et les eaux de transition. C'est un **herbicide phytosanitaire** dérivé de l'atrazine, [interdit depuis 2003](#), utilisé comme anti-algue (e.g ; dans les aquariums) ou encore comme herbicide pour les herbes à larges feuilles et les graminées pour les surfaces non agricole. Sa demi-vie est de l'ordre du mois avec une rémanence sur plusieurs années (surement le golf avec un peu de rémanence). Cette substance, dans cette gamme de concentration, ne présente *a priori*, à notre connaissance, pas de risque fort de contamination de la colonne d'eau lagune de Santa Giulia ;

- et la **carbamazépine** avec une concentration supérieure à la limite de quantification seulement au printemps 2021 avec 0,68 ng/L soit une concentration extrêmement faible de 0,00068 µg/L. C'est une substance en lien avec l'**urbanisation**, les **centres hospitaliers ou les cliniques**. C'est un dérivé de la dibenzazépine dotée de propriétés antiépileptiques, neurotropes et psychotropes. La carbamazépine est utilisée dans la prise en charge de douleurs neuropathiques, épilepsies, névralgies faciales, troubles bipolaires.

Cette substance, dans cette gamme de concentration, ne présente *a priori* à notre connaissance pas de risque fort de contamination de la colonne d'eau de la lagune de Santa Giulia et reste difficilement explicable.



Il n'existe, de plus, pas ou très peu d'effet « cocktail » sur la lagune de Santa Giulia ([Munaron et al., 2022](#)) en raison du faible nombre de substances révélées dans la colonne d'eau.

## 7.2 DGT : teneurs en métaux

Aucune teneur en métaux ne semble présenter de risque de contamination de la colonne d'eau pour la lagune de Santa Giulia (Tableau 7 en Annexe 11.5). Les concentrations en chrome (Cr), cuivre (Cu) et nickel (Ni) restent relativement basse comparées à d'autres lagunes de Corse et d'Occitanie dont la lagune de Référence DCE est la lagune d'Ayrolle et représentent le bruit de fond géologique (Tab. 8).

## 7.3 SBSE : teneurs en HAP, PCB et pesticides

À l'exception de 2 substances, aucune des substances recherchées ne dépasse la limite de détection et de quantification. Il n'existe a priori, à notre connaissance, pas de risque fort de contamination de la colonne d'eau de la lagune de Santa Giulia (Tab. 9 en Annexe 11.5).

Pour information, bien que sa concentration soit très faible, le **phénanthrène** est un composé organique toxique largement répandu, un hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) qui fait partie des polluants organiques persistants (POPs). On le trouve dans l'environnement surtout dans les sols et les sédiments, et il est essentiellement produit avec les goudrons, par une mauvaise combustion des hydrocarbures ou du bois (la présence de nombreux véhicules, notamment durant la période estivale, sur le parking se trouvant en lien direct avec la lagune pourrait expliquer sa présence).

Le **biphényle** dépasse également la limite de détection et de quantification. Il est en concentration très faible. Il est également largement répandu et est utilisé comme conservateur, biocide, caloporteur. Il est irritant et nocif pour l'environnement mais pas dans cette concentration.

## 8 Éléments récapitulatifs

### L'état écologique de la lagune de Santa Giulia vis-à-vis de l'eutrophisation est-il préoccupant ?

**Sur la période d'étude l'état écologique de la lagune de Santa Giulia vis-à-vis de l'eutrophisation peut être considéré comme bon** au regard des paramètres hydrologiques et de la couverture macrophytique. Les dépassements de seuil des paramètres hydrologiques sont rares et concernent surtout les formes de l'azote total (seuil mauvais) et de chlorophylle *a* (seuil moyen) en raison du confinement de la lagune de 2019 à 2020. La résilience de la lagune est nette et largement confirmée par la couverture macrophytique en 2021.

La lagune ne montre plus de traces des activités anthropiques de la période 1965 - 1985 qui avaient fortement impactées et eutrophisées la lagune (développement de macroalgue opportunistes) (du fait du déversement des rejets bruts d'une cave viticole, rejets des eaux non traitées dans la partie nord de la lagune d'un club de vacances, Frisoni 1985). La partie extrême Nord de la lagune montre toutefois une couche épaisse de sédiments très vaseux et anoxique dès les premiers centimètres.

### Quel est l'état du compartiment macrophyte et pourquoi ?

Les travaux antérieurs (Frisoni, 1987 ; Clanzig *in* Pergent-Martini et al. 1997 ; Pergent *et al.* 2006) montre une reprise de la couverture d'herbier progressive suite à la réhabilitation de la lagune entre 1971 et 1992 (cessation de la cave viticole en 1986, mise en place de station d'épuration).

Notre étude montre que la couverture macrophytique évolue fortement selon les conditions hydrologiques de la lagune et en particulier les conditions de sursalure et d'assèchement. Elle montre également, que les assèchements de la lagune ne conduisent pas à la disparition des macrophytes et que la résilience du compartiment macrophyte, sous réserve de conditions hydrologiques favorables, dont, la connexion à la mer, s'opère naturellement en 2 ans. L'ensemble de la lagune, excepté l'extrême Nord, revêt une couverture macrophytique importante avec les plus forts taux de recouvrement en bordure et sud de la lagune.

La tolérance au sel est un facteur très important pour expliquer la ségrégation spatiale entre espèces. Elle permet également d'appréhender la composition et la richesse spécifique des communautés. Classiquement, le nombre d'espèce diminue rapidement en lien avec l'augmentation de la salinité ; ce qui semble le cas pour la lagune de Santa

Giulia. La présence de Characées et plus particulièrement de l'espèce *Lamprothamnium papulosum* sur les bords de la lagune, atteste d'une certaine salinité des eaux (espèce rencontrée dans les eaux hyperhalines ; 30 à 50 psu). De plus, elle marque le caractère temporaire et peu profond de cette lagune. Guerlesquin (1992) décrit cette espèce comme strictement inféodée aux pièces d'eau saumâtres à salées où la salinité augmente graduellement au cours de la saison, par évaporation. *L. papulosum* occupe des eaux peu profondes (5 à 100 cm), transparentes et chaudes.

L'évaluation de la couverture macrophytique est un indicateur intégré révélateur des conditions et perturbations hydrologiques.

### Est-ce que l'état de la lagune de Santa Giulia est préoccupant vis-à-vis de la contamination de la colonne d'eau ?

Les résultats n'indiquent pas de contamination forte du milieu. La présence de *L. papulosum* atteste nos résultats. En effet, cette espèce est un bioindicateur de la qualité des eaux.

### Quels sont les éléments clefs de fonctionnement et dysfonctionnement de la lagune de Santa Giulia ?

Le fonctionnement écologique de la lagune de Santa Giulia, de type Méditerranéen, est basé sur une cyclicité inter-annuelle et saisonnière « naturelle » avec des variabilités saisonnières de la salinité et notamment des sursalures estivales du fait du caractère temporaire des apports d'eaux douce des cours d'eau (assèchement des cours d'eau) et d'une forte évaporation.

Toutefois cette cyclicité dite « naturelle » est **largement impactée** par le confinement de la lagune du fait de la réduction de la connexion avec la mer et du comblement anthropique de la partie sud de la lagune par de la litière de posidonie. Les dimensions du grau était d'une largeur de 90 à 100 m en 1889 (Archives SRAE Bastia, mars 1889 in Frisoni, 1987), 80 m en 1952 puis plus que 20 m en 1971 (Frisoni 1985) contre quelques mètres ces dernières années avec une temporalité dans ses ouvertures marquées depuis les années 60 à la suite des aménagements touristiques successifs (Frisoni, 1987). Ce confinement de la lagune de Santa Giulia vis-à-vis de la mer exacerbe les sursalures estivales provoquant un **dysfonctionnement écologique avéré** notamment sur le compartiment macrophytes et la colonne d'eau. L'été 2020 a également été marqué par une forte mortalité d'*Aphanius fasciatus*.

## Est-ce que la lagune de Santa Giulia est ou risque d'être impactée par le changement climatique ?

Les projections climatiques prévoient une intensification des précipitations à certaines périodes mais à la fois une raréfaction des pluies, une augmentation de la période de sécheresse estivale et une hausse continue de la température. Ces conditions climatiques auront nécessairement des répercussions sur l'hydro-écologie de la lagune de Santa Giulia qui restent toutefois difficiles à évaluer.

Des travaux récents montrent que les lagunes Méditerranéennes sont soumises à une hausse de leur salinité et de plus en plus de limitation de leur connexion à la mer. La tendance à la fermeture des graus est exacerbée par les modifications des périodes hydrologiques, en particulier par une diminution des pluies ou bien leur concentration dans des périodes plus courtes et intenses (MedECC, 2020). Cela implique un apport mineur en eau douce aux bassins lagunaires et une accumulation de sédiments, qui ne peuvent pas être chassés par la force sortante (insuffisante), et qui ont donc la tendance à colmater les graus (Ligorini et al., 2022). Ce phénomène, en association avec l'augmentation de températures et en particulier les vagues de chaleur estivales, détermine une forte pression d'évaporation sur les milieux lagunaires, qui engendrent des variations de salinité et de température importantes dans les plans d'eau.

L'hydro-écologie de la lagune de Santa Giulia est guidée par une cyclicité météorologique inter-annuelle et saisonnière de type méditerranéen. Elle est très certainement déjà impactée par le changement climatique dont les baisses de cumuls de précipitation et les hausses de température malgré qu'il soit difficile de déconvoluer les 2 signaux concernant les précipitations.

## Le fonctionnement de la lagune de Santa Giulia est-elle comparable au fonctionnement des « grandes » lagunes dites DCE ou Masse d'Eau de Transition?

Les MET suivies dans le cadre de la DCE DCE sont différentes entre elles de par leur caractéristiques morphologiques, hydrologiques et biologiques qui en découlent (e.g. Thau, Ayrolle, et pour la Corse, Biguglia, Diana, Urbinu et Palu). Les lagunes de petites surfaces (< 50 ha) ne rentrant pas dans la définition de MET donc non suivies dans le cadre de la DCE (Ligorini et al. 2023) ont un fonctionnement qui semble assez productif. Cette étude et d'autres travaux en cours ont notamment montré l'amplitude des variables abiotiques dans ces lagunes (e.g. température, salinité), moteur principale de la biologie, et, du fait même, de leur caractéristiques intrinsèques fonctionnelles qui en découlent, avec un taux de réactivité et une capacité de résilience qui semblent supérieurs (<https://pole-lagunes.org/lagunes-de-petite-surface-des-ecosystemes-sentinelles/> ; Ligorini et al. 2023)

## 9 Quel état de référence ou de conservation pour la lagune de Santa-Giulia ? Quelle lagune pour quelle fonction ?

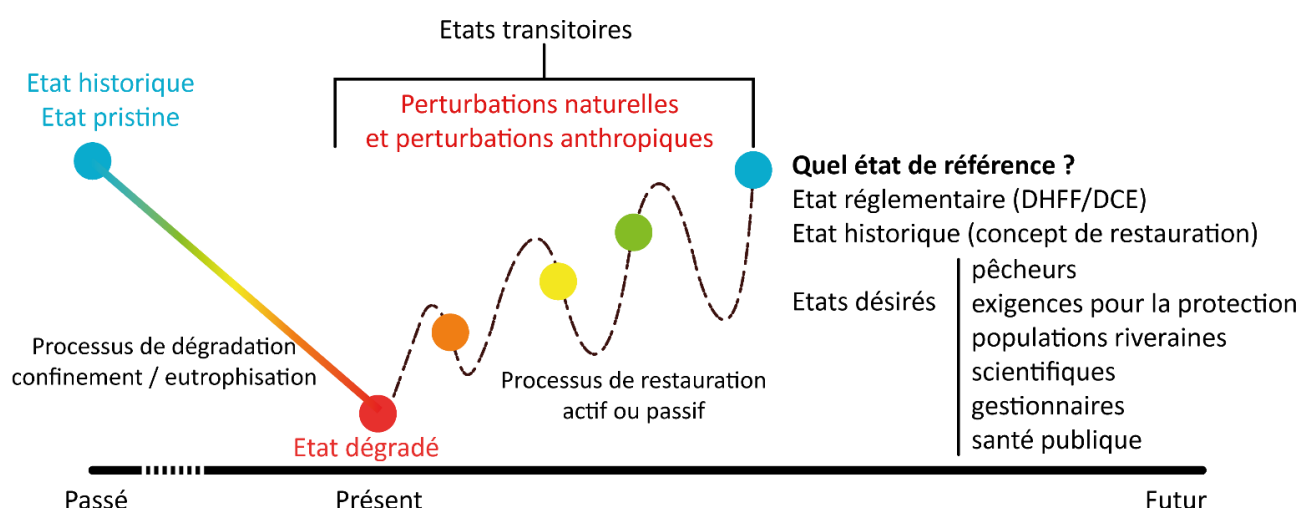
Les services écosystémiques associés à la lagune de Santa-Giulia (e.g. pêche, biodiversité de la faune et de la flore, bien-être des populations riveraines, tourisme), sont de plus en plus menacés par les pressions liées aux changements globaux (e.g. aménagements passés sur le lido, urbanisme, comblement progressif par le biais d'apports de banquette de Posidonie depuis plusieurs années, fonctionnement hydrologique perturbé, augmentation des températures, de la salinité ; [Ligorini et al., 2022](#) ; présente étude). Malgré ces pressions la lagune de Santa Giulia revêt un bon état de conservation (pas de pression anthropique due à l'eutrophisation ou à la contamination chimique) et de fortes capacités de résilience. La contrainte majeur de la lagune de Santa Giulia repose essentiellement sur les fortes variabilités de salinité cycliques et très certainement pour une part « naturelle » du fait des conditions météorologiques mais également aggravé du fait de la réduction de la connexion avec la mer (fonctionnement hydrologique perturbé par des aménagements du grau intempestifs, comblement non naturel de la partie Sud Est de la lagune). Les évolutions climatiques futures pourraient amplifier ces phénomènes cycliques.

Les constats actuels de l'état écologique de la lagune de Santa-Giulia ont renforcé la sensibilisation des parties prenantes (propriétaire et gestionnaire) qui ont soutenu leur engagement par la mise en œuvre de différentes opérations (e.g. participation active aux suivis réalisés dans le cadre Forum des Gestionnaires Corses (FOGEC), action de sensibilisation des effets néfastes des interventions mécaniques sur le grau auprès de l'hôtelier).

La directive européenne cadre sur l'eau 2000/60 (DCE), nécessite un cadre juridique avec une obligation de performance pour les États membres, à savoir, l'obligation d'atteindre un bon ou un meilleur état pour toutes les eaux de surface d'ici 2027. L'état de la qualité est déterminé par comparaison avec un état de référence. Pour rappel, la lagune de Santa-Giulia n'est pas une masse d'eau de transition au titre de la DCE, mais doit-elle, peut-elle être évaluée comme telle ?

Au titre de la directive européenne habitats faune flore 1992/43 (DHFF) cette lagune, comme toutes les « lagunes côtières » (cf. définition DHFF ; [Barré et al., 2020](#)), est reconnue comme un habitat d'intérêt communautaire prioritaire (Code UE : 1150-2\*) et pour cette raison la surveillance et l'évaluation de l'état de conservation des « lagunes côtières » est une obligation. L'article R. 414-11 du Code de l'Environnement prévoit que *« Le document d'objectifs comprend : 1° Un rapport de présentation décrivant l'état de conservation et les exigences écologiques des habitats naturels et des espèces qui justifient la désignation du site, la localisation cartographique de ces habitats naturels et des habitats de ces espèces, les mesures et actions de protection de toute nature qui, le cas échéant, s'appliquent au site et les activités humaines qui s'y exercent au regard, notamment, de leurs effets sur l'état de conservation de ces habitats et espèces [...] »*.

La surveillance ainsi que l'évaluation de l'état de conservation de cette lagune étant une obligation, il convient donc de tenter de répondre à la question : quel est l'état de référence réelle pour la lagune de Santa Giulia? Est-ce que l'état historique correspond à la situation future souhaitée ? Est-ce envisageable compte tenu des usages présents en périphérie du site ? Si oui, de quel état historique parle-t-on ? Les différentes catégories d'acteurs impliqués dans l'exploitation, la fréquentation et la gestion de la lagune de Santa-Giulia doivent s'accorder ou *a minima* se concerter sur un futur *état désiré* au regard des services écosystémiques considérés (Figure 18).



**Figure 18.** Schéma conceptuel des trajectoires d'un écosystème dans un contexte de restauration et d'atteinte du bon état écologique (DCE ou DHFF) en prenant en compte les états « désirés » (Garrido *et al.*, 2015).

A travers cette étude et d'après la littérature (Guelorget *et al.*, 1983; Frisoni, 1987; Gravina *et al.*, 1989; Guelorget & Perthuisot, 1992; Chomérat *et al.*, 2007 ; Chatzigeorgiou *et al.*, 2011 ; Garrido *et al.*, 2016 ; Ligorini *et al.* 2022 ; Ligorini *et al.*, soumis), les variations spatiales et temporelles de la salinité sont les principaux moteurs de l'écologie des eaux de transition. Elles contrôlent fortement leurs propriétés émergentes (productivité et diversité). La gestion des flux d'eau peut théoriquement déterminer leur gamme à différentes échelles spatiales et temporelles. Les valeurs de salinité constituent un paramètre précieux pour discuter des scénarii futurs possibles avec les acteurs œuvrant sur la lagune de Santa Giulia.

**L'analyse des scénarii, en fonction des différents services écosystémiques souhaités, peut aider à définir l'état consensuel pour la lagune, afin d'identifier les actions d'intervention les plus pertinents à mettre en œuvre.**



## 10 Références bibliographiques

Tous les documents référencés avec une adresse URL « Archimer » sont disponibles en open accès sur l'Archive Institutionnelle de l'Ifremer.

- Barnaud G (1997) La gestion intégrée des infrastructures naturelles "zones humides" : principes généraux et application du concept d'utilisation rationnelle. Séminaire de Séminaire de Guérande, 2-3 Octobre 1997, 13 p.
- Barré N, Garrido M, Riera L, Lombardini K, Mauclert V, Lepareur F (2020) État de conservation des "Lagunes côtières" d'intérêt communautaire (UE 1150\*) : Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000. Annexe façade méditerranéenne. Classeur technique, 70 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16726.37446>
- Bec B, Hussein-Ratrema, J, Collos, Y, Souchu, P, Vaquer A (2005) Phytoplankton seasonal dynamics in a Mediterranean coastal lagoon: emphasis on the picoeukaryote community. *Journal of Plankton Research*, 27(9), 881-894. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbi061>
- Bec B, Collos Y, Souchu P, Vaquer A, Lautier J, Fiandrino A, Benau L, Orsoni, V, Laugier T (2011) Distribution of picophytoplankton and nanophytoplankton along an anthropogenic eutrophication gradient in French Mediterranean coastal lagoons. *Aquatic Microbial Ecology* 63: 29–45. <https://doi.org/10.3354/ame01480>
- Chatzigeorgiou G, Reizopoulou S, Maidanou M, Naletaki M, Orneraki E, Apostolaki E, Arvanitidis C (2011) Macrobenthic community changes due to dystrophic events and freshwater inflow: Changes in space and time in a Mediterranean lagoon (Gialova lagoon, SW Greece). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 94: 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.06.001>
- Chomérat N, Garnier R, Bertrand C, Cazaubon A (2007) Seasonal succession of cyanoprokaryotes in a hypereutrophic oligo-mesohaline lagoon from the South of France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72: 591-602. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.11.008>
- Cimiterra N, Massinelli L, Dijoux L, Oheix J, Derolez V (2020) Diagnostic du compartiment macrophyte dans 17 masses d'eau de transition lagunaires en 2016, 2017 et 2018. ODE/UL/LER-LR/20-15. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00656/76772/>
- Collos Y, Vaquer A, Bibent B, Souchu P, Slawyk G, & Garcia N (2003) Response of coastal phytoplankton to ammonium and nitrate pulses: seasonal variations of nitrogen uptake and regeneration. *Aquatic Ecology*, 37, 227-236. <https://doi.org/10.1023/A:1025881323812>
- Corre J (1970) La méthode des transects dans l'étude de la végétation littorale. *Bull. Acad. Soc., lorr. Sci.*, 9(1), 59-79.

- Derolez V, Bec Béatrice, Cimiterra N, Foucault E, Messiaen G, Fiandrino A, Malet N, Munaron D, Serais O, Connes C, Gautier E, Hatey E, Giraud A (2021) OBSLAG 2020 - volet eutrophisation Lagunes méditerranéennes (période 2015-2020). Etat DCE de la colonne d'eau et du phytoplancton, tendance et variabilité des indicateurs. RST/LER/LR/21.16. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00696/80768/>
- Elliot A J (1999) Approach and avoidance motivation and achievement goals. Educational psychologist, 34(3), 169-189. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep3403\\_3](https://doi.org/10.1207/s15326985ep3403_3)
- Finlay BJ (2002) Global dispersal of free-living microbial eukaryote species, Science, 296 (5570), 1061-1063.
- Frisoni GF (1980) Zones humides région de Porto-Vecchio. Rapp. DRAE, 33 p.
- Frisoni GF (1985) Situation actuelle de l'écosystème « étang » et perspectives d'avenir en vue de sa gestion. Rapp. CEMAGREF, Association des Amis du PNRC, AGENC: 1-62
- Frisoni GF (1987) L'influence du bassin versant sur le fonctionnement des lagunes méditerranéennes concepts d'eutrophisation et de confinement. Exemple d'application : l'étang de Santa Giulia (Corse). Bulletin d'Ecologie, 18, 169-175.
- Gabet V M, Sanz MR, Amouroux I, Belzunce MJ, Bersuder P, Bolam T, ... & Zhang H (2021) A Good Practice Guide for the Use of DGTs. Sampling of metals in transitional and coastal waters by Diffusive Gradient in Thin films (DGT) technique. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147001>
- Garrido M, Cecchi P, Collos Y, Agostini S, Pasqualini V (2016) Water flux management and phytoplankton communities in a Mediterranean coastal lagoon. Part I: How to promote dinoflagellate dominance? Marine Pollution Bulletin, 104, 139 – 152. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.049>
- Garrido M, Pasqualini V (2011) Analyse biologique spatiale des étangs d'Urbino et de Palo : rapport final. Contrat Conseil général de la Haute-Corse et Université de Corse / UMR CNRS 6134 SPE, Corte, 51 p.
- Gonzalez J-L, Munaron D, Andral B, Sargian P, Tomasino C, Guyomarch J, Van Ganse S (2011) Campagne DCE 2009 : Utilisation des échantillonneurs passifs (DGT, POCIS, SBSE) pour l'évaluation au titre de la DCE de l'état chimique des eaux côtières méditerranéennes. RST.ODE/LER-PAC/11-04 . <https://archimer.ifremer.fr/doc/00035/14620/>
- Gourlay C, Gonzalez J-L (2010) L'utilisation des échantillonneurs passifs. Une nouvelle méthode pour évaluer la contamination chimique des masses d'eau. *TSM, Techniques Sciences Méthodes*, (3), 24-35. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1051/tsm/201003024> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00077/18850/>
- Gravina MF, Ardizzone GD, Scaletta F, Chimenz C (1989) Descriptive analysis and classification of benthic communities in some Mediterranean coastal lagoons (Central Italy). Pubblicazioni della Stazione zoologica di Napoli. Marine Ecology, 10, 141-166. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1989.tb00071>

- Gauthier A (1922) Erosion du littoral : quelques exemples en corse . Causes, conséquences enseignements. Bull Soc Sci Hist Nat Corse, 662, 39-56
- Guelorget O, Frisoni GF, Perthuisot JP (1983) La zonation biologique des milieux lagunaires: definition d'une echelle de confinement dans le domaine paralique méditerranéen. Journal de Recherche Oceanographique, 8 (1), 15-36.
- Guelorget O, Perthuisot JP (1983) Le domaine paralique : Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. Presse de l'Ecole Normale Supérieure, 4 (16), 136 p.
- Guelorget O, Perthuisot JP (1992) Paralic ecosystems. Biological organization and functioning. Vie et Milieu, 42, 215-251.
- Guerlescin M (1992) Systématique et biogéographie du genre Lamprothamnium (Characeae) caractéristique des biotopes aquatiques saumâtres. Revue des Sciences de l'Eau, 5, 415 – 430.
- Ifremer (2012) Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon. Bilan des résultats 2011. RST/LER/LR12.03. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00118/22913/>
- Ifremer (2013) Bilan méthodologique de l'outil de diagnostic de l'eutrophisation du RSL. Quatorze années de résultats en Région Languedoc-Roussillon. RST/LER/LR/13.08. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00165/27662/>
- Kjerfve B (1994) Coastal Lagoon Processes. Elsevier, Oceanography Series: Amsterdam, 577 p.
- Lauret M, Oheix J, Derolez V, Laugier (2011). Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon . Réseau de Suivi Lagunaire (Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau RM&C, Région Languedoc-Roussillon). <https://archimer.ifremer.fr/doc/00043/15416/>
- Leruste, A, Guilhaumon F, De Wit R, Malet N, Collos Y, Bec B (2019) Phytoplankton strategies to exploit nutrients in coastal lagoons with different eutrophication status during re-oligotrophication. *Aquatic Microbial Ecology* 83: 131–146. <https://doi.org/10.3354/ame01906>.
- Ligorini V, Malet N, Garrido M, Four B, Etourneau S, Leoncini AS, Dufresne C, Cecchi P, Pasqualini V (2022) Long-term ecological trajectories of a disturbed Mediterranean coastal lagoon (Biguglia lagoon): Ecosystem-based approach and considering its resilience for conservation? *Frontiers in Marine Science* 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.937795>
- Ligorini V, Crayol E, Huneau F, Garel E, Malet N, Garrido M, Simon L, Cecchi P, Pasqualini V (2022) Small Mediterranean coastal Lagoons Under Threat: Hydro-ecological Disturbances and Local Anthropogenic Pressures (Size Matters) . *Estuaries and Coasts* IN PRESS. Publisher's official version : <https://doi.org/10.1007/s12237-023-01182-1> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00823/93475/>

MedECC (2020) Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report. Ze-nodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4768833>

Millán Gabet V, Rodrigo Sanz M, Amouroux I, Belzunce M J, Bersuder P, Bolam T, Caetano Miguel, Correia Dos Santos M, Fones G R, Gonzalez J-L, Guesdon S, Larreta J, Marras Barbara, McHugh B, Menchaca I, Menet-Nedelec F, Montero N, Regan F, Robinson G D, Rodriguez G, Schintu M, White B, Zhang H (2021) A Good Practice Guide for the Use of DGTs. Sampling of metals in transitional and coastal waters by Diffusive Gradient in Thin films (DGT) technique. MONITOOL project. Instituto Tecnológico de Canarias (ITC). <https://archimer.ifremer.fr/doc/00706/81757/>

Munaron D, Gianaroli C, Cimiterra N, Derolez V, Ouisse V, Giraud A (2022). OBSLAG - Pesticides. Bilan 2020-2021 du suivi des lagunes méditerranéennes. Rapport de la Convention AERMC-Ifremer 2020, n° ODE/UL/LER-LR/22.12, août 2022. 90p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00795/90672/>

Newton A, Icely J, Cristina S, Brito A, Cardoso AC, Colijn F, Riva SD, Gertz F, Hansen JW, Holmer M, Ivanova K, Leppäkoski E, Canu DM, Mocenni C, Mudge S, Murray N, Pejrup M, Razinkovas A, Reizopoulou S, Pérez-Ruzafa A, Schernewski G, Schubert H, Carr L, Solidoro C, Viaroli P, Zaldívar J-M (2014) An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 95-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.023>

Perennou C, Beltrame C, Guelmami A, Tomàs Vives T, Caestecker P (2012) Existing areas and past changes of wetland extent in the Mediterranean region: an overview, *Ecol. Mediterr.* 38, 53-66.

Perennou C, Gaget E, Galewski T, Geijzenborffer I, Guelmami A (2020) Chapter 11 - evolution of wetlands in mediterranean region, in: M. Zribi, L. Brocca, Y. Trambly, F. Molle (Eds.), *Water Resources in the Mediterranean Region*, Elsevier, 297–320.

Pergent-Martini C, Fernandez C, Agostini S, Pergent G (1997) Les étangs de Corse. 269 p.

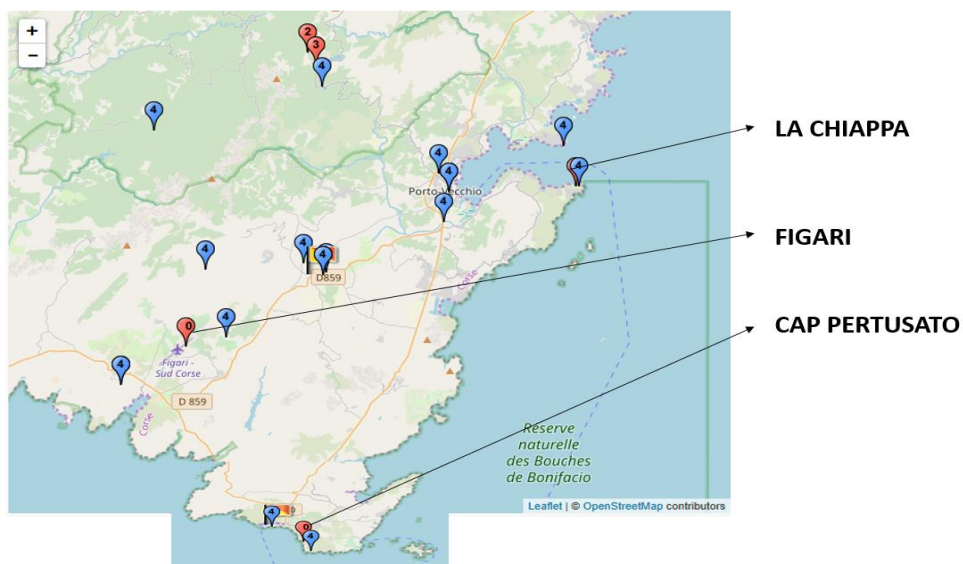
Pergent G, Pasqualini V, Pergent-Martini C, Ferrat L, Fernandez C (2006) Variability of *Ruppia cirrhosa* in two coastal lagoons with differing anthropogenic stresses. *Botanica Marina* 49 : 103-110.

Reynolds CS, & Smayda T J (1998) Principles of species selection and community assembly in the phytoplankton: further explorations of the Mandala. *Harmful algae*, 8-10.

Zaldívar JM, Cardoso AC, Viaroli P, Newton A, de Wit R, Ibanez C, Reizopoulou S, Somma F, Razinkovas A, Basset A, Holmer M, Murray N (2008) Eutrophication in transitional waters: an overview. *Transitional Waters Monographs*, 1, 1-78. DOI Code: [10.1285/i18252273v2n1p1](https://doi.org/10.1285/i18252273v2n1p1)

## 11 Annexes

### 11.1 Choix et analyse de la station Météo-France de Porto-Vecchio (1962-2019)



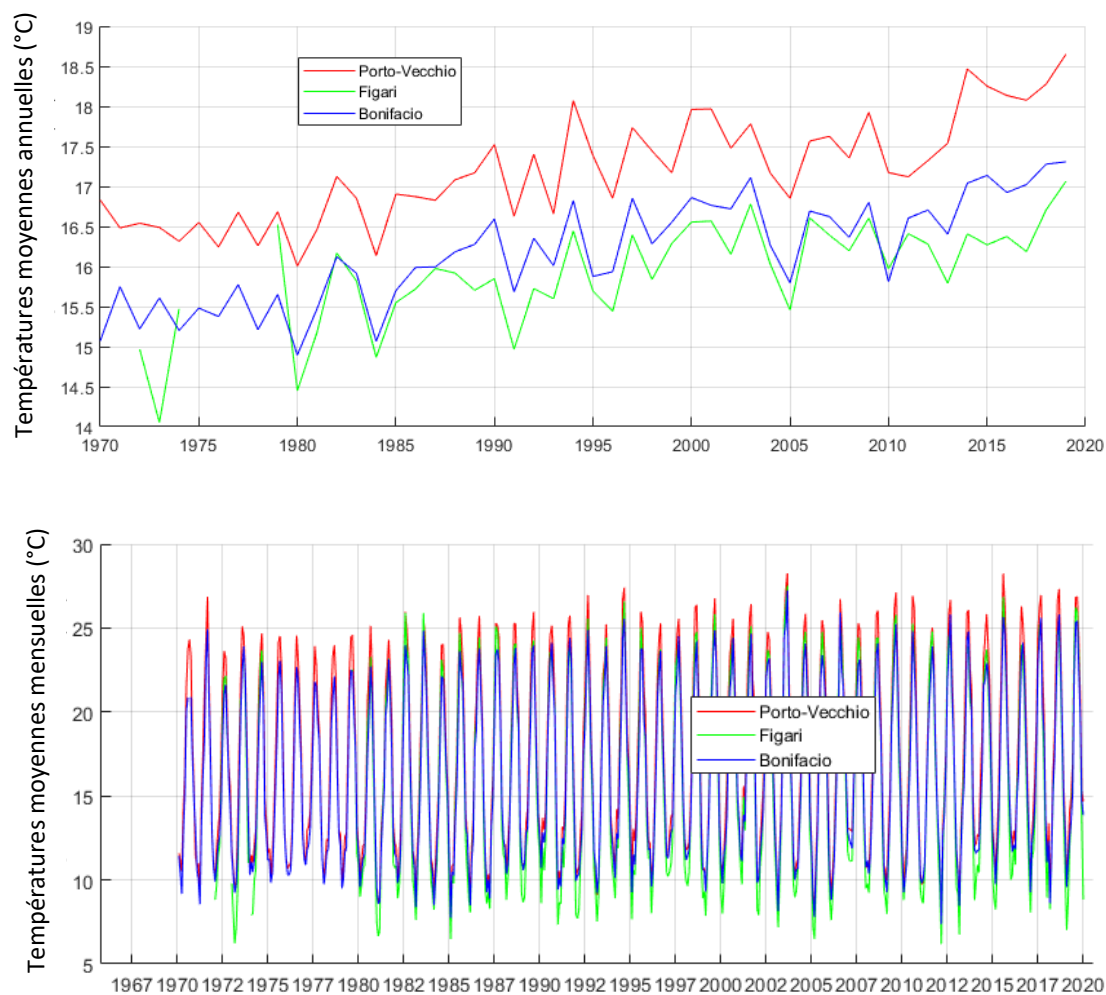
**Figure 19.** Localisation des 3 stations météo France de Porto-VECchio (La Chiappa), Figari et Bonifacio (Cap Pertusato).

**Tableau 4.** Caractéristiques de stations météorologiques utilisées pour la caractérisation des microclimats de Sud-Corse

		Figari (n°20114002)	La Chiappa (n°20247001)	Cap Pertusato (n°20041001)
Caractéristiques des stations météorologiques	Coordonnées	41°30'19"N 9°06'13" E	41°22'29" N 9°12'42" E	41°35'41" N 9°21'47" E
	Altitude (m)	21	107	57
	Dates de fonctionnement	01/08/1979 En cours	01/01/1882 En cours	01/01/1928 En cours
	Données récoltées	Précipitation ; température et autres.	Précipitation ; température et autres.	Précipitation ; température et autres.
	Fréquence	Journalière et horaire	Journalière et horaire	Journalière et horaire
	Distance à la mer (km)	10	0.2	0.2

## Choix de la station Météo France La Chiappa (Porto-Vecchio)

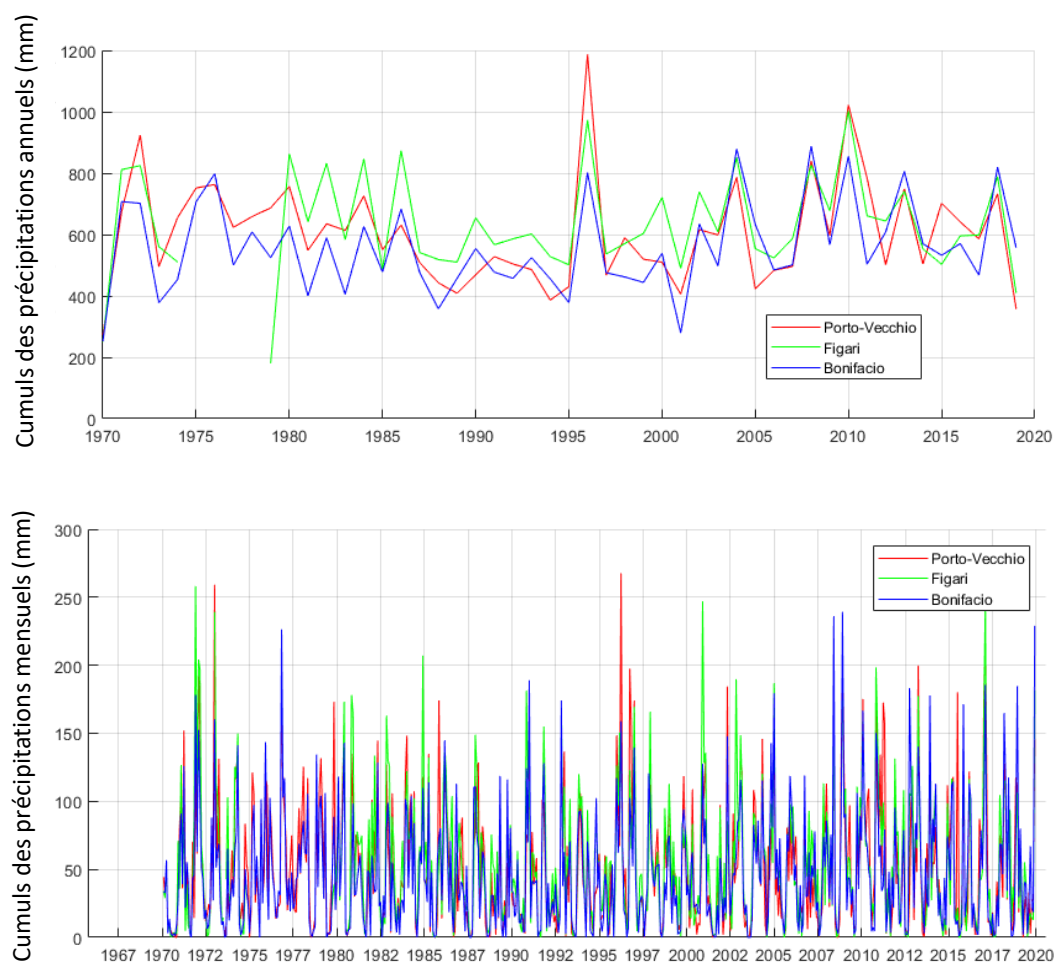
### Températures



**Figure 20.**Températures moyennes annuelles et mensuelles depuis 1970.



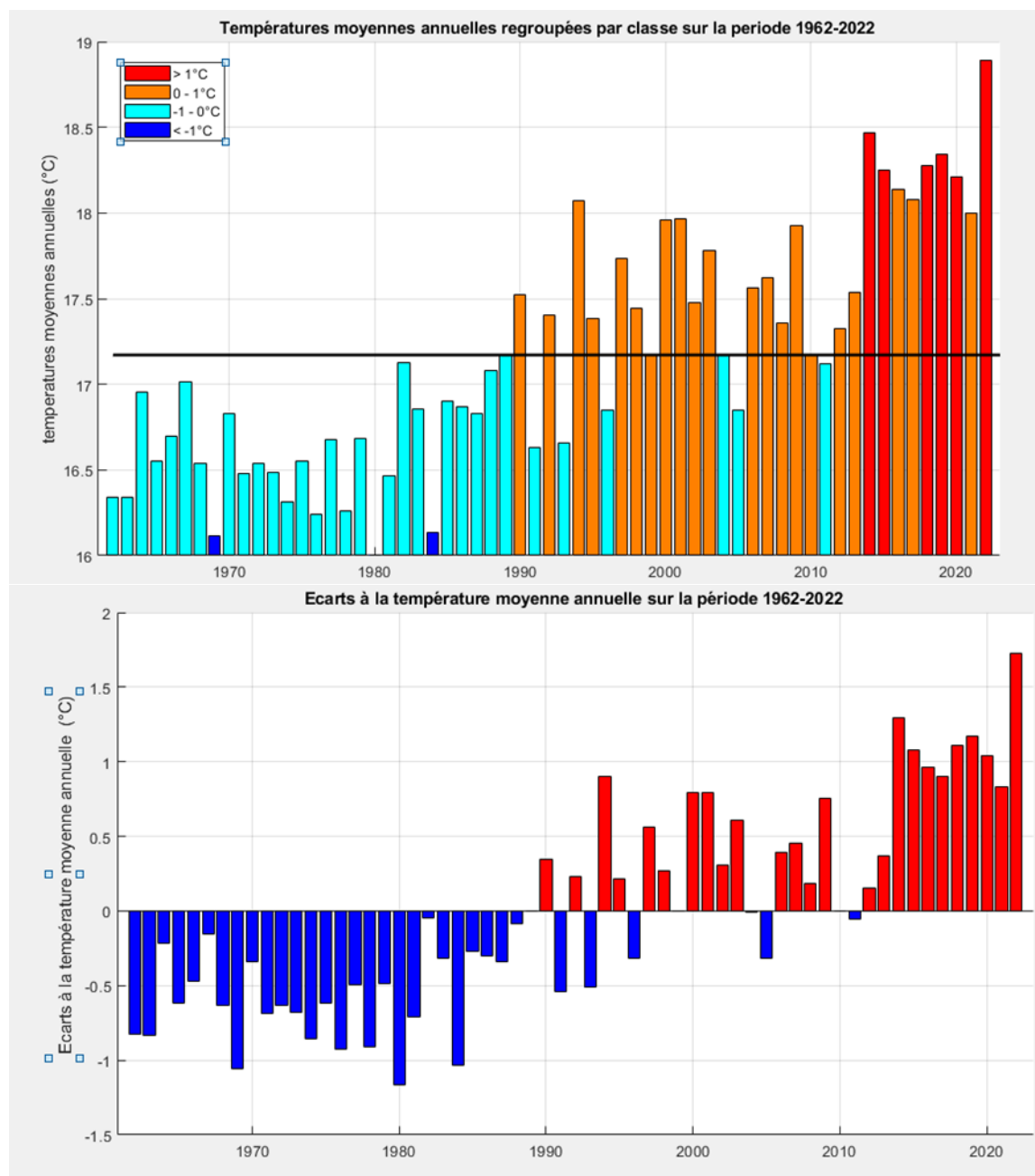
## Précipitations



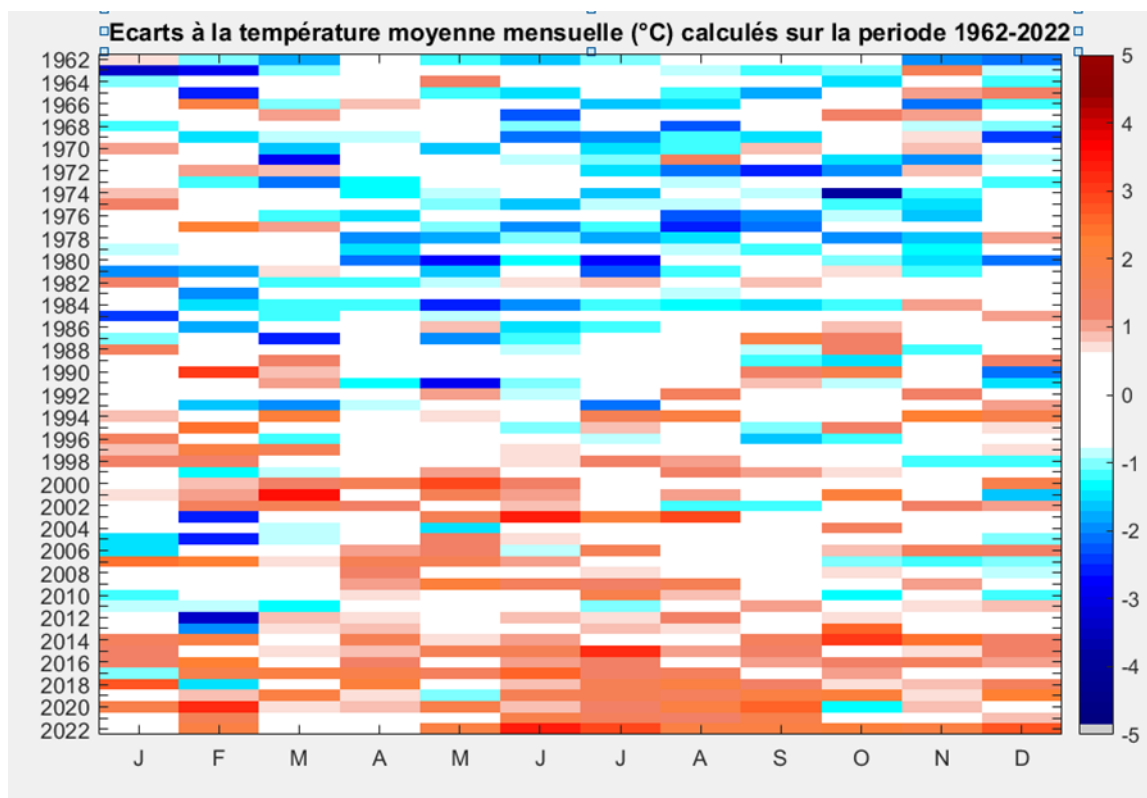
**Figure 21.** Cumuls annuels et mensuels des précipitations depuis 1970 sur les 3 stations de Porto-Vecchio, Figari et Bonifacio

## 11.2 Analyse climatique - station Météo France de Porto-Vecchio (1962-2022)

### Températures

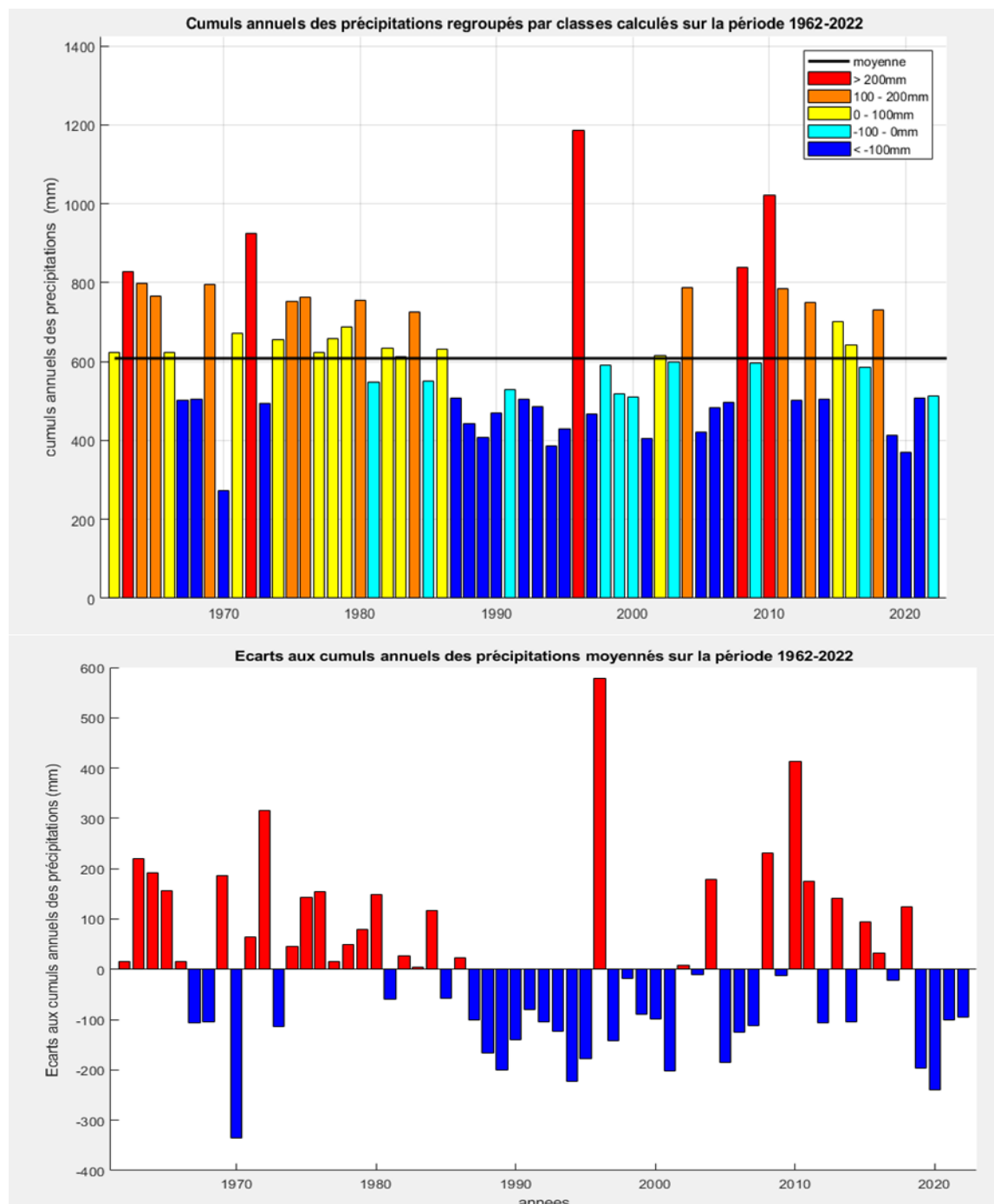


**Figure 22.** (de haut en bas) Températures moyennes annuelles regroupées par classes selon l'écart à la moyenne annuelle et écarts à la température moyenne annuelle sur la période 1962-2022 (température moyenne 1962-2021 de 17,2°C).

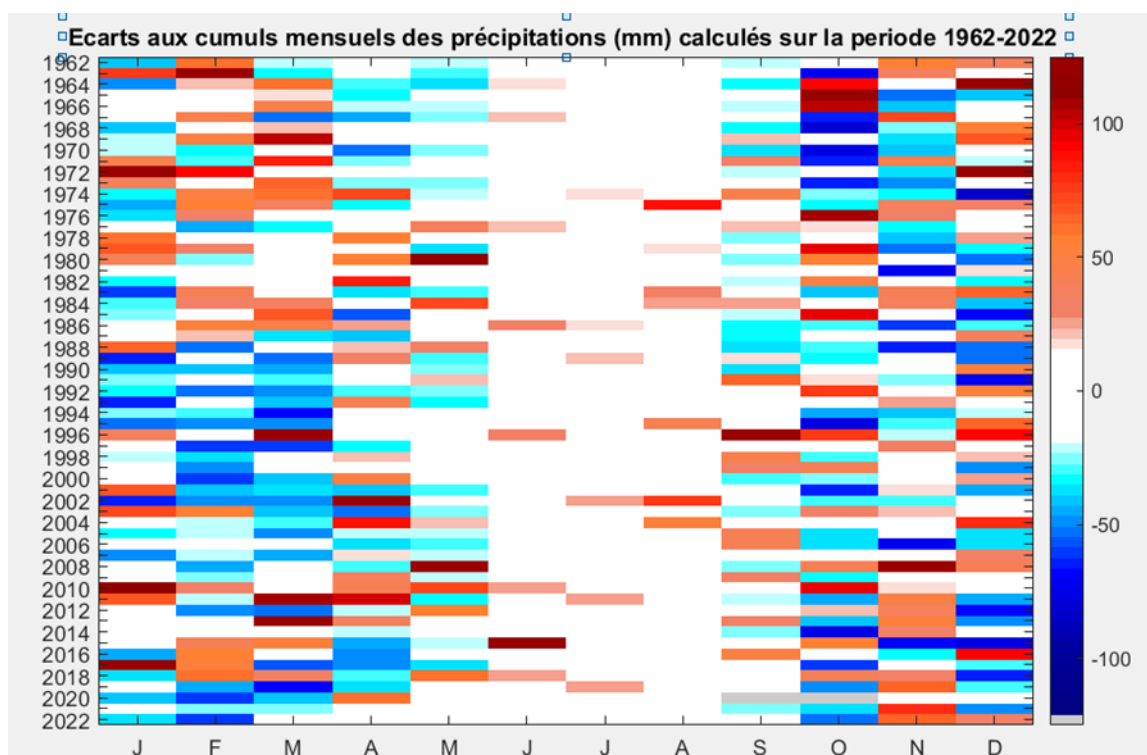


**Figure 23.** Ecarts à la température moyenne mensuelle (°C) sous forme de heatmap plot de 1962 à 2022.

## Précipitations



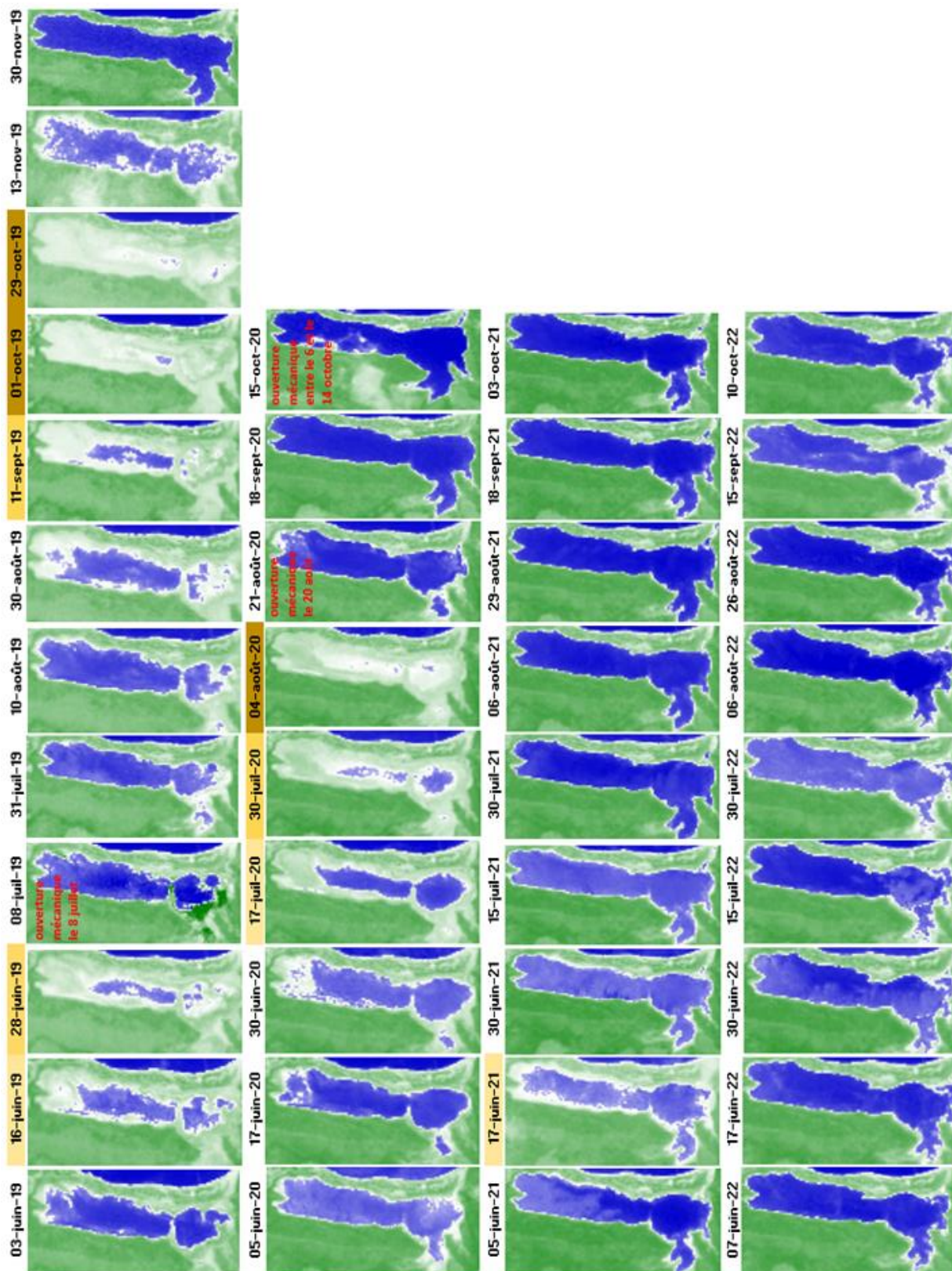
**Figure 24.** (de haut en bas) Cumuls annuels des précipitations regroupés par classes selon l'écart à la moyenne annuelle sur la période 1962-2022 et écarts aux cumuls annuels des précipitations moyennés sur la période 1962-2022 (cumul moyen 1962-2022 de 608 mm).



**Figure 25.** Ecarts aux cumuls mensuels des précipitations (mm) sous forme de heatmap plot de 1962 à 2022.

### 11.3 Surface en eau de la lagune de Santa Giulia

**Tableau 5.** Surface en eau et période d'assèchement de la lagune de Santa Giulia de juin 2019 à octobre 2022 (captures d'écran du site [Fighhttps://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground](https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground))














## 11.4 Ouverture du grau de la lagune de Santa Giulia


**Tableau 6.** Photos illustrant le fonctionnement du grau de 2019 à 2022

*Auteurs : Garrido M (OEC), Sorba V (OEC), Malet N (IFREMER), Fauvelle E (CdL)*

	Vue étang	Vue mer	Etat du grau
20 juin 2019			Fermé
6 – 7 juillet 2019			Ouvert Artificiellement  Faible profondeur - peu d'échange
27 aout 2019			Fermé
22 novembre 2019			Fermé

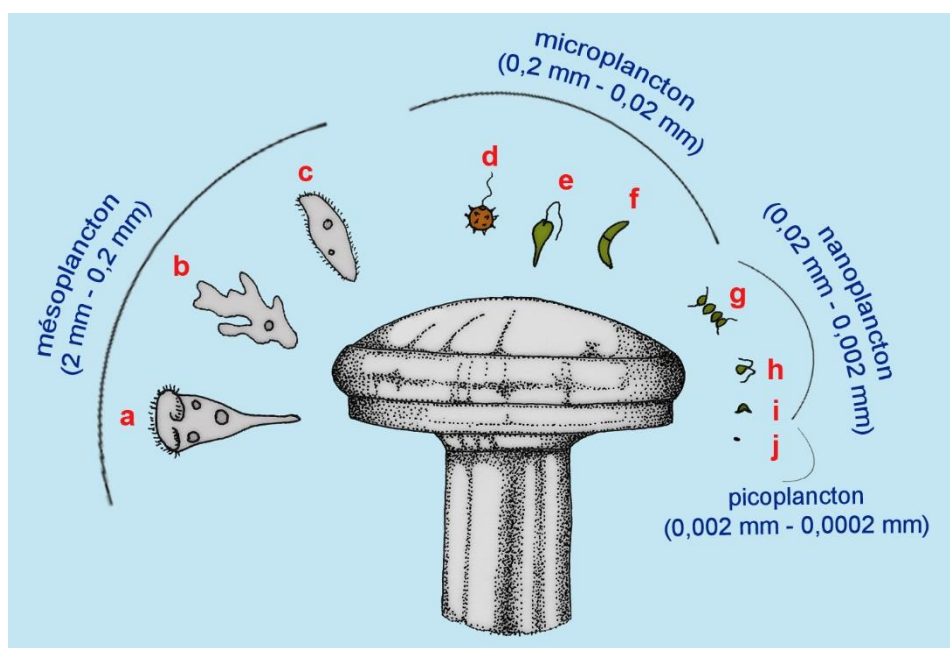
25 décembre 2019			Ouvert
14 février 2020			Fermé par banquette de posidonie
13 mai 2020			Fermé par banquette de posidonie
18 juin 2020			
11 août 2020			Fermé par banquette de posidonie Lagune en partie asséchée
			



6 octobre 2020			
18 octobre 2020			ouvert artificiellement entre le 6 et le 14 octobre
			Traces de l'ouverture à pelle mécanique
19 février 2021			ouvert
23 mars 2021			ouvert
10 juin 2021			ouvert
1 <sup>er</sup> juillet 2021			ouvert

19 juillet 2021			ouvert
17 août 2021			ouvert
30 septembre 2021			ouvert
27 janvier 2022			ouvert

## 11.5 Catégories dimensionnelles du plancton



**Figure 26.** Catégories dimensionnelles du plancton comparées à une tête d'épingle, a) *Stentor*, b) amibe, c) paramécie, d) *Trachelomonas*, e) *Euglena*, f) *Closterium*, g) *Scenedesmus*, h) *Chlamydomonas*, i) *Monoraphidium*, j) bactérie (dessin A. Couté d'après Finlay, 2002).

## 11.6 Taux de recouvrement des Macrophytes

**Tableau 5.** Relevé terrain « Macrophytes » en juin 2019, 2021 et 2022.

Secteur	Station n° (Etat)	date	recouvrement total (%)	n° groupe (H=herbier)	% recouvrement du groupe	espèces (les esp de reference sont surlignées en bleu)	Références (=1)	% de l'espèce dans groupe	% recouvrement relative espèce de référence
Santa Giulia	T1 milieu	20/06/2019	5,00%	H	10,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	10,00%
Santa Giulia	T1 milieu	20/06/2019	5,00%	1	90,00%	<i>Lamprothamnium papulosum</i>	1	40,00%	36,00%
Santa Giulia	T1 milieu	20/06/2019	5,00%	1	90,00%	<i>Claphora vagabunda</i>		55,00%	
Santa Giulia	T1 milieu	20/06/2019	5,00%	1	90,00%	<i>Chaetomorpha aerea</i>		5,00%	
Santa Giulia	T2 milieu	20/06/2019	90,00%	H	90,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	90,00%
Santa Giulia	T2 milieu	20/06/2019	90,00%	1	10,00%	<i>Polysiphonia sp (sertularioides ?)</i>		100,00%	
Santa Giulia	T3 milieu	20/06/2019	3,00%	H	100,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	100,00%
Santa Giulia	T4 milieu	20/06/2019	98,00%	H	20,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	20,00%
Santa Giulia	T4 milieu	20/06/2019	98,00%	1	80,00%	<i>Polysiphonia sp.</i>		100,00%	

Secteur	Station n° (Etat)	date	recouvrement total (%)	n° groupe (H=herbier)	% recouvrement du groupe	espèces (les esp de reference sont surlignées en bleu)	Références (=1)	% de l'espèce dans groupe	% recouvrement relative espèce de référence
Santa Giulia	T1 milieu	10/06/2021	70,00%	H	5,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	5,00%
Santa Giulia	T1 milieu	10/06/2021	70,00%	1	95,00%	algue filamenteuse		100,00%	
Santa Giulia	T2 milieu	10/06/2021	5,00%	H	100,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	100,00%
Santa Giulia	T3 milieu	10/06/2021	10%	1	100,00%	algue filamenteuse		100,00%	
Santa Giulia	T4 milieu	10/06/2021	20%	1	100,00%	algue filamenteuse		100,00%	

Secteur	Station n° (Etat)	date	recouvrement total (%)	n° groupe (H=herbier)	% recouvrement du groupe	espèces (les esp de reference sont surlignées en bleu)	Références (=1)	% de l'espèce dans groupe	% recouvrement relative espèce de référence
Santa Giulia	T1 milieu	02/06/2022	15,00%	H	100,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	100,00%
Santa Giulia	T2 milieu	02/06/2022	20,00%	H	98,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	98,00%
Santa Giulia	T2 milieu	02/06/2022	20,00%	1	2,00%	algue filamenteuse			
Santa Giulia	T3 milieu	02/06/2022	50,00%	H	100,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	100,00%
Santa Giulia	T4 milieu	02/06/2022	40,00%	H	100,00%	<i>Ruppia cirrhosa</i>	1	100,00%	100,00%



## 11.7 Analyse des contaminants de la colonne d'eau

### POCIS et résultats des teneurs en pesticides, composés pharmaceutiques et alkylphénols

**Tableau 6.** Bilan des teneurs (ng/g) mesurées par échantillonneurs passifs POCIS dans la lagune de Santa Giulia pour les 2 campagnes de l'automne 2020 et du printemps 2021.

\* LOQ : Limite of Quantification, la plus petite concentration du composé à doser pour laquelle la méthode analytique est capable de donner une valeur quantifiée avec une faible incertitude.

				automne 2020 (ng.g-1)		automne 2020 (ng.L-1)	printemps 2021 (ng.g-1)	printemps 2021 (ng.L-1)
				* LOQ C1 (ng.g-1)	LOQ C2 (ng.g-1)	Santa giulia / C1 (ng.g-1)	Santa giulia / C2 (ng.g-1)	Santa Giulia / C2 (ng.L-1)
Santa Giulia								
pesticides	7619	124 dichloro phénylurée (dcpu)	ng/g	8,7	4,8	<loq	<loq	<loq
pesticides	1930	134 dichloro phénylurée (dcpu)	ng/g	5,3	3,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1929	134 dichlorophényl 3 méthyl urée (dcpmu)	ng/g	9,1	1,6	<loq	<loq	<loq
pesticides	1903	acétochlore	ng/g	11,1	0,3	<loq	<loq	<loq
pesticides	6856	acétochlore ESA	ng/g	2,8	1,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	6862	acétochlore OA	ng/g	8,2	6,7	<loq	<loq	<loq
pesticides	1101	alachlore	ng/g	16,2	3,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1104	amétryne	ng/g	0,2	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1107	atrazine	ng/g	4,4	4,3	<loq	<loq	<loq
pesticides	1832	atrazine 2 hydroxy	ng/g	0,8	0,5	<loq	<loq	<loq
pesticides	1951	azoxystrobine	ng/g	0,8	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1113	bentazone	ng/g	1,0	0,3	<loq	<loq	<loq
pesticides	1129	carbendazime	ng/g	5,8	1,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1333	carbétamide	ng/g	3,0	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1130	carbofuran	ng/g	1,0	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1864	carbosulfan	ng/g	5,0	6,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1136	chlorotoluron	ng/g	2,0	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1353	chlorsulfuron	ng/g	2,0	0,6	<loq	<loq	<loq
pesticides	1137	cyanazine	ng/g	5,0	0,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	2897	cyromazine	ng/g	3,1	2,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1108	DEA	ng/g	4,3	7,7	<loq	<loq	<loq
pesticides	1109	DIA	ng/g	5,5	2,4	<loq	<loq	<loq
pesticides	1170	dichlorvos	ng/g	26,8	7,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1360	dichlofluanide	ng/g	20,0	8,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1814	diflufenican	ng/g	3,0	0,3	<loq	<loq	<loq
pesticides	2546	diméthachlore	ng/g	1,1	0,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	1175	diméthoate	ng/g	0,5	0,3	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1177	diuron	ng/g	0,5	3,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	7618	DMSA	ng/g	0,6	0,4	<loq	<loq	<loq
pesticides	6824	DMST	ng/g	0,1	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1185	fénarimol	ng/g	5,5	3,3	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1339	flazasulfuron	ng/g	3,0	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1404	fluzifop-p-butyl	ng/g	0,5	0,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	1194	flusilazole	ng/g	0,3	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	2806	foramsulfuron	ng/g	3,8	0,0	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	2744	fosthiazate	ng/g	0,2	0,0	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1673	hexazinone	ng/g	0,2	0,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	1831	hydroxysimazine	ng/g	0,3	0,1	79,3	90,1	43,8
pesticides	1877	imidaclopride	ng/g	6,0	2,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1935	irgarol(cybutrine)	ng/g	0,3	0,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1208	isoproturon	ng/g	1,0	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1209	linuron	ng/g	5,6	1,6	<loq	<loq	<loq
pesticides	1706	métalaxyl M	ng/g	3,4	0,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1215	métamitron	ng/g	2,9	4,3	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1670	métazachlore	ng/g	0,5	0,4	<loq	<loq	<loq
pesticides	1510	méthiocarbe	ng/g	0,5	0,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	1221	métolachlore	ng/g	0,8	0,9	<loq	<loq	<loq
pesticides	6854	métolachlore ESA	ng/g	6,1	4,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	6853	métolachlore OA	ng/g	7,2	2,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	1222	métoxuron	ng/g	0,6	0,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	1797	metsulfuron-méthyl	ng/g	51,6	5,8	<loq	<loq	<loq
pesticides	1227	monolinuron	ng/g	1,6	0,0	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1882	nicosulfuron	ng/g	1,9	0,3	<loq	<loq	<loq
pesticides	1669	norflurazon	ng/g	0,2	0,0	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1253	prochloraz	ng/g	0,2	0,3	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1254	prométhryne	ng/g	0,5	0,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	1712	propachlore	ng/g	0,7	7,5	<loq	<loq	<loq
pesticides	1256	propazine	ng/g	0,6	0,8	<loq	<loq	<loq
pesticides	1257	propiconazole	ng/g	2,8	0,9	<loq	<loq	<loq
pesticides	2534	prosulfuron	ng/g	2,7	0,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	5416	pyméthozine	ng/g	2,6	0,2	<loq	<loq	<loq
pesticides	2069	quizalofop-éthyl	ng/g	0,5	0,4	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	7617	quizalofop-p-téfuryl	ng/g	4,3	3,3	<loq	qualitatif	qualitatif
pesticides	1263	símazine	ng/g	4,4	1,6	<loq	<loq	<loq
pesticides	1269	terbutryne	ng/g	31,4	4,1	<loq	<loq	<loq
pesticides	1268	terbutylazine	ng/g	1,8	2,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	2045	terbutylazine deséthyl	ng/g	6,3	1,0	<loq	<loq	<loq
pesticides	6390	thiamethoxam	ng/g	0,7	2,9	<loq	<loq	<loq
pesticides	1719	tolyfluanide	ng/g	1,2	1,8	<loq	qualitatif	qualitatif

Alkylphénols	5474	4-NP	ng/g	100,0	25,0	<loq	<loq	<loq	<loq
Alkylphénols	1959	4-t-OP	ng/g	3,0	3,0	<loq	<loq	<loq	<loq
Alkylphénols	7080	NP1EC	ng/g	2,0	2,0	<loq	<loq	<loq	<loq
Alkylphénols	5345	NP1EO	ng/g	10,0	10,0	<loq	<loq	<loq	<loq
Alkylphénols	5346	NP2EO	ng/g	8,0	3,0	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7948	aba cavit	ng/g	1,2	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6456	a cébutolol	ng/g	1,5	1,5	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5367	acide 4-chlorobenzoïque	ng/g	11,1	6,4	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	5408	acide clofibrique	ng/g	2,5	0,9	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	5369	acide fénofibrique	ng/g	5,0	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5355	acide salicylique	ng/g	100,0	24,5	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5370	alprazolam	ng/g	2,3	1,3	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6967	amitriptyline	ng/g	4,7	0,7	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5361	aténolol	ng/g	5,0	0,2	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7950	atorvastatine	ng/g	5,7	0,3	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5366	bézafrilate	ng/g	2,1	0,5	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6453	bisoprolol	ng/g	1,0	0,5	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5371	bromazépam	ng/g	12,3	8,2	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6519	caféine	ng/g	20,0	40,0	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5296	carbamazépine	ng/g	1,2	0,1	<loq	<loq	0,8	0,68
Pharmaceutiques	7952	cétirizine	ng/g	2,1	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6968	clenbutérol	ng/g	3,8	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7953	clonazépam	ng/g	3,0	0,5	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7954	clopidogrel	ng/g	2,5	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5372	diazépam	ng/g	6,1	3,4	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5349	diclofénac	ng/g	2,9	4,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7955	disopyramide	ng/g	15,0	0,5	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6969	doxépine	ng/g	3,0	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5373	fluoxétine	ng/g	6,0	0,4	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5365	gemfibrozil	ng/g	1,0	0,6	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7011	hydroxy ibuprofène	ng/g	8,9	1,7	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	5350	ibuprofène	ng/g	12,0	2,3	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6971	imipramine	ng/g	1,0	0,2	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7956	indinavir	ng/g	1,5	0,5	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	5353	kétoprofène	ng/g	227,0	3,7	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7957	lamivudine	ng/g	8,1	1,2	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	5374	lorazépam	ng/g	6,6	7,3	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6699	losartan	ng/g	3,0	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7958	méprobamate	ng/g	13,0	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5362	métoprolol	ng/g	9,0	0,1	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5351	naproxène	ng/g	6,8	2,6	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7959	néfinavir	ng/g	3,0	0,2	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7960	névirapine	ng/g	3,8	0,3	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7607	nordiazépam	ng/g	4,9	0,3	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6766	oméprazole	ng/g	0,6	0,3	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	5375	oxazépam	ng/g	3,6	1,0	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5354	paracétamol	ng/g	11,5	0,6	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6771	pravastatine	ng/g	3,9	4,8	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	7961	primidone	ng/g	6,6	1,0	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	5363	propranolol	ng/g	7,7	0,2	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6529	ra nitidine	ng/g	15,0	4,0	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	7962	ritonavir	ng/g	26,1	3,1	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	6527	salbutamol	ng/g	2,9	0,8	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7963	saguinavir	ng/g	3,9	0,4	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	7964	sildénafil	ng/g	10,0	0,3	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	5424	sotalol	ng/g	8,9	2,5	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	6963	terbutaline	ng/g	20,0	14,3	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	7616	théophylline	ng/g	12,5	3,6	<loq	<loq	<loq	<loq
Pharmaceutiques	7965	timolol	ng/g	3,7	1,0	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif
Pharmaceutiques	7966	zidovudine	ng/g	22,5	11,4	<loq	qualitatif	<loq	qualitatif

## DGT et résultats des teneurs en métaux

**Tableau 7.** Bilan des teneurs moyennes (ng/g) mesurées par échantillonneurs passifs DGT dans la lagune de Santa Giulia pour les 2 campagnes de l'automne 2020 et du printemps 2021.

ET et %ET : Ecart-type et pourcentage de deviation standard (pour les mesures ayant été réalisées en triplicat). En bleu, valeurs <LQ (la valeur indiquée = LQ/2) (LQ Limite de Quantification)

\* LQ : Limite of Quantification, la plus petite concentration du composé à doser pour laquelle la méthode analytique est capable de donner une valeur quantifiée avec une faible incertitude.

		Octobre 2020	Printemps 2021
Cd	ng/l	2,6	1,6
	ET	0,1	
	%ET	4	
Co	ng/l	81	36
	ET	8,4	0,3
	%ET	10	1
Cr	ng/l	380	303
	ET	26,0	37,5
	%ET	7	12
Pb	ng/l	15	13
	ET	0,7	1,5
	%ET	5	12
Mn	µg/l	84,3	11,7
	ET	4,99	0,6
	%ET	6	5
Zn	µg/l	1,2	0,8
	ET	0,09	
	%ET	7	
Ni	ng/l	327	210
	ET	58,6	14,9
	%ET	17,9	7
Cu	ng/l	184	165
	ET	37	53,8
	%ET	20	33
Fe	µg/l	3,9	2,9
	ET	0,54	0,81
	%ET	14	28,1
Al	µg/l	1,5	2,9
	ET	0,42	1,93
	%ET	0	

**Tableau 8.** A titre de comparaison, concentrations moyennes mesurées par DGT sur quelques stations en région corse et Occitanie

		Campagne DCE 2012			Campagne DCE 2015			Campagne DCE 2018		
		Hiver	Printemps/Eté	Printemps	Hiver	Printemps/Eté	Printemps	Hiver	Printemps/Eté	Printemps
		Cd ng/L	Cd ng/L	Cd ng/L	Co ng/L	Co ng/L	Co ng/L	Pb ng/L	Pb ng/L	Pb ng/L
Corse	Palo	4	5	4	71	56	40	225	185	81
	Diana	9		6	57		45	173	124	6
	Urbino	8		4	42		14	246	92	3
	Biguglia N	16	15	8	370	110	87	127	89	412
	Biguglia S		30	4		37	41		113	236
Occitanie	Ayrolle	28	6		82	26		347	39	
	Leucate N	11	11	6	161	52	72	269	34	161
	La Palme	7	2	3	142	21	65	348	46	188
		Hiver	Printemps/Eté	Printemps	Hiver	Printemps/Eté	Printemps	Hiver	Printemps/Eté	Printemps
		Zn µg/L	Zn µg/L	Zn µg/L	Ni ng/L	Ni ng/L	Ni ng/L	Cu ng/L	Cu ng/L	Cu ng/L
Corse	Palo	0,86	1,16	0,33	365	178	137	487	83	68
	Diana	1,09		0,33	753		390	497		154
	Urbino	0,95		0,21	706		340	407		55
	Biguglia N	0,71	0,77	0,74	6178	3781	3890	1295	251	880
	Biguglia S		1,03	0,74		4405	2567		537	491
Occitanie	Ayrolle	3,75	0,62		466	168		419	137	
	Leucate N	3,73	0,36	0,76	640	364	296	398	261	229
	La Palme	3,78	0,68	0,96	490	79	142	418	60	166
		Hiver	Printemps/Eté	Printemps	Hiver	Printemps/Eté	Printemps	Hiver	Printemps/Eté	Printemps
		Fe µg/L	Fe µg/L	Fe µg/L	Al µg/L	Al µg/L	Al µg/L	Fe µg/L	Fe µg/L	Fe µg/L
Occitanie	Ayrolle									
	Leucate N									
	La Palme									

## SBSE et résultats des teneurs HAP, PCB et pesticides

**Tableau 9.** Bilan des teneurs (ng/g) mesurées par analyse SBSE dans la lagune de Santa Giulia pour les 2 campagnes de l'automne 2020 et du printemps 2021.

LD : Limite de détection du composé, LQ : Limite de quantification du composé

LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Composés	automne 2020		printemps 2021	
			Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 1	Prélèvement 2
1,50	5,00	naphtalene	<LD	<LQ	<LD	<LD
1,50	5,00	1-methylnaphtalene	<LD	<LQ	<LD	<LD
1,50	5,00	2-methylnaphtalene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	benzothiophene	<LQ	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	<b>biphenyl</b>	<LD	<b>2,43</b>	<LD	<LD
0,30	1,00	acenaphtylene	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	acenaphtene	<LD	<LD	<LQ	<LD
0,30	1,00	fluorene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	Dibenzothiophene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	<b>Phenanthrene</b>	<LD	<LQ	<b>1,36</b>	<LD
0,15	0,50	anthracene	<LQ	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	fluoranthene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	pyrene	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	2-methylfluoranthene	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	benzoanthracene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,15	0,50	chrysene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	benzobfluoranthene	<LQ	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	benzokfluoranthene	<LQ	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	benzoepylene	<LQ	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	benzoapylene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	perylene	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	indeno123cdpyrene	<LQ	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	dibenzoanthracene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	benzo(ghi)perylene	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-7	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-28	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-52	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-35	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-101	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-77	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-135	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-118	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-153	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-105	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-138	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-156	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-180	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	PCB-169	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	Alpha-BHC	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	hexachlorobenzene	<LD	<LD	<LD	<LD
1,50	5,00	atrazine	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	Beta-BHC	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	gamma bhc	<LD	<LD	<LQ	<LD
1,50	5,00	Diazinon	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	Delta-BHC	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	acetochlore	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	methylparathion	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	alachlore	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	aldrine	<LD	<LD	<LD	<LD
1,50	5,00	metolachlore	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	chlorpyrifos	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	ethylparathion	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	isodrine	<LD	<LD	<LD	<LD
1,50	5,00	metazachlore	<LD	<LD	<LD	<LD
0,30	1,00	pendimethaline	<LD	<LQ	<LD	<LD
0,30	1,00	chlorfenvinphos	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	2-4-dde	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	endosulfan alpha	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	4-4-dde	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	dieldrine	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	2-4-ddd	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	endrine	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	endosulfan beta	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	4-4ddd	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	2,4-ddt	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	endosulfan sulfate	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	4-4ddt	<LD	<LD	<LD	<LD
0,15	0,50	TBT	<LD	<LD	<LD	<LD

