

## Mémoire de fin d'études

**Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome**  
Option: Biodiversité Eau Sol Climat Evaluation Environnementale

**Élaboration de protocoles de suivis des lagunes temporaires méditerranéennes concernant leurs fonctionnements hydrologiques et trophiques, et leurs liens avec le développement de macrophytes.**



par Solène ALARY

Année de soutenance : 2023

**Organisme d'accueil :**  
**Conservatoire Botanique National Méditerranéen**

# **Mémoire de fin d'études**

**Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome**  
Option: Biodiversité Eau Sol Climat Evaluation Environnementale

**Élaboration de protocoles de suivis des lagunes temporaires méditerranéennes concernant leurs fonctionnements hydrologiques et trophiques, et leurs liens avec le développement de macrophytes.**

**par Solène ALARY**

**Année de soutenance : 2023**

**Mémoire préparé sous la direction de : Chiara PISTOCCHI**

**Présenté le : 22/09/2023**

**devant le jury :**

**Marie-Laure NAVAS**

**Jean-Marcel DORIOZ**

**Organisme d'accueil :  
Conservatoire Botanique  
National Méditerranéen**

**Maître de stage : Karine FAURE**

## RESUME

Les lagunes sont des habitats désignés comme prioritaires selon la Directive Habitats Faune Flore (DHFF). Les lagunes temporaires ont la particularité de s'assécher l'été, entraînant un fonctionnement très différent des lagunes permanentes. On retrouve dans cet habitat des espèces protégées à l'échelle régionale, nationale ou européennes, telles qu'*Althenia filiformis*, *Riella helicophylla* ou *Tolypella salina*. Cependant, le manque de connaissances concernant cet habitat limite les possibilités de compréhension et donc de préservation. Un Plan Régional d'Action (PRA) en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes a été mis en place en 2021, afin de les préserver et restaurer.

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de ce PRA, dans le but de permettre un suivi des lagunes temporaires méditerranéennes. Il propose des protocoles de suivis de ces lagunes afin d'améliorer les connaissances concernant leurs fonctionnements hydrologiques et trophiques, et leurs liens avec le développement des macrophytes. Un total de 91 lagunes ont été sélectionnées pour être les lagunes pilotes sur lesquels seront mis en place les protocoles, représentant la diversité des lagunes temporaires méditerranéennes. Des entretiens avec les gestionnaires de sites pilotes ont permis d'évaluer leur intérêt pour prendre part aux suivis proposés.

Afin de vérifier leur faisabilité, les protocoles devront être testés sur le terrain, et pourront être adaptés afin d'être plus pertinents et cohérents face aux moyens humains et techniques.

### Mots clés

Lagune temporaire méditerranéenne, hydrologie, eutrophisation, macrophyte, phénologie, protocole

Pour citer ce document :

Alary, Solène, 2023. Élaboration de protocoles de suivis des lagunes temporaires méditerranéennes concernant leurs fonctionnements hydrologiques et trophiques, et leurs liens avec le développement de macrophytes. Mémoire de fin d'étude, diplôme d'ingénieur agronome, option Biodiversité Eau Sol Climat Évaluation Environnementale, L'Institut Agro Montpellier. 62 pages

## ABSTRACT

**Development of protocols for monitoring Mediterranean temporary lagoons, concerning their hydrological and trophic processes, and their links with the development of macrophytes.**

Lagoons are designated as priority habitats under the Habitats, Fauna and Flora Directive (HFFD). Temporary lagoons have the particularity of drying out during summer, resulting in a very different functioning from permanent lagoons. This habitat hosts species protected at regional, national or European level, such as *Althenia filiformis*, *Riella helicophylla* or *Tolypella salina*. However, the lack of knowledge about this habitat limits our ability to understand and preserve it. A Regional Action Plan (PRA) in favor of Mediterranean Temporary Lagoons has been set up in 2021 to preserve and restore them.

This report is part of this PRA, with the aim of monitoring temporary Mediterranean lagoons. It proposes protocols for monitoring Mediterranean temporary lagoons, in order to improve our knowledge of their hydrological and trophic functions, and their links with macrophyte development. A total of 91 lagoons were selected as pilot lagoons on which to implement the protocols, representing the diversity of Mediterranean temporary lagoons. Interviews with the managers of the pilot sites enabled us to assess their interest in taking part in the proposed monitoring programs.

In order to verify their feasibility, the protocols will have to be tested into the field, and may be adapted to be more relevant and consistent with human and technical resources.

### Key words

Mediterranean temporary lagoon, hydrology, eutrophication, macrophyte, phenology, protocol

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Karine Faure, ma maître de stage, qui grâce à son expertise, m'a accompagné et conseillé dans mes réflexions et problématiques. Un grand merci également à Mathilde Latron pour sa disponibilité, son partage d'expérience et de connaissances, qui m'ont permis de mieux appréhender les différents concepts que j'ai du aborder.

Je remercie aussi les différents membres du comité de stage, Rutger de Wit, Nathalie Barré, Hugo Fontes, Marie Garrido et Katia Lombardini qui ont suivi tout le déroulement de ce stage, ont pris le temps de répondre à mes questions, de m'orienter dans mes recherches, de me faire des retours sur mon travail...

Merci aux différents gestionnaires qui ont acceptés d'échanger avec moi et de répondre à mes questions concernant leurs sites : Xavier Fortuny, Roland Mivière, Héroïse Durand, Nina Schoen, Luc Belenguier et Enzo Fouillé.

Merci à Chiara Pistocchi, ma tutrice, pour son accompagnement et ses remarques qui ont permis d'enrichir ce rapport.

Enfin, je remercie tous les collègues du CBNmed, en particulier ceux de l'antenne de Montpellier, mais également tous les autres que j'ai pu rencontrer, et qui ont rendu ces quelques mois d'autant plus agréables.

# TABLE DES MATIERES

## Table des matières

1	CONTEXTE.....	11
1.1	Les lagunes méditerranéennes.....	11
1.2	Le Plan Régional d'Actions en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes.....	12
1.3	Les objectifs du stage.....	13
2	ÉTAT DE L'ART.....	14
2.1	Définition des lagunes temporaires méditerranéennes.....	14
2.2	Fonctionnement des lagunes temporaires méditerranéennes.....	16
2.2.1	Fonctionnement hydrologique.....	16
2.2.2	Fonctionnement trophique.....	17
2.2.3	Macrophytes.....	19
2.3	Menaces concernant les lagunes.....	20
3	MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	22
3.1	Stratégie d'échantillonnage.....	22
3.1.1	Panel de sites potentiels.....	22
3.1.2	Critères de sélection des lagunes temporaires.....	23
3.1.3	Sélection des lagunes temporaires pilotes.....	25
3.1.4	Entretiens avec les gestionnaires.....	26
3.2	Élaboration des protocoles.....	26
4	RÉSULTATS.....	29
4.1	Hydrologie et trophie des lagunes à partir des données 2019-2020.....	29
4.1.1	Lien entre salinité et hauteur d'eau.....	29
4.1.2	Fonctionnements hydrologiques.....	31
4.1.3	Diversité des degrés de trophie.....	36
4.1.4	Identification des paramètres manquants à l'interprétation.....	38
4.2	Stratégie d'échantillonnage.....	39
4.3	Élaboration des protocoles.....	41
4.4	Entretiens avec les gestionnaires.....	44
5	DISCUSSION.....	47
5.1	Limites de la stratégie d'échantillonnage.....	47
5.2	Limites des protocoles.....	48
5.3	Études complémentaires.....	48

## **AVANT-PROPOS**

Ce mémoire correspond au travail réalisé durant un stage de fin d'étude ayant eu lieu de mars à septembre 2023, pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome de l'Institut Agro Montpellier, option Biodiversité Eau Sol Climat Evaluation Environnementale.

Ce stage a été réalisé au Conservatoire Botanique National Méditerranéen, et a également été accompagné par la Tour du Valat, le Pôle Relais Lagunes, et l'UMR MARBEC. Il s'inscrit dans le cadre du Plan Régional d'Action en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes, dont la mise en œuvre a débuté en 2022, afin d'améliorer les connaissances, la préservation et la restauration de cet habitat.

## GLOSSAIRE

Année hydrologique : Période de 12 mois qui débute après le mois habituel des plus basses eaux (correspondant généralement au mois d'août en France Métropolitaine)

Cynégétique : Qui se rapporte à la chasse

Domaine paralytique : Zone naturelle constituée d'une masse d'eau de transition entre le milieu marin et le milieu continental

Endoréique : Qui ne se déverse pas dans la mer, mais retenant ses eaux dans une cuvette fermée. L'alimentation en eau se fait alors uniquement par précipitations et ruissellement, et les seules pertes en eaux se font alors par évaporation ou infiltration.

Habitat : Ensemble non dissociable constitué :

- d'un compartiment stationnel (conditions climatiques régionales et locales, matériau parental et sol, et leurs propriétés physiques et chimiques) ;
- de communautés d'organismes vivants (faune et flore) ou biocénose.

Herbier : Prairie sous-marine composées de plantes aquatiques comme les ruppias et les zostères.

Laro-limicole : Oiseaux limicoles de la famille des laridés, inféodés aux milieux lagunaires.

Macrophyte : végétaux aquatiques photosynthétiques, dont tout le cycle de vie se déroule dans l'eau.

Roubine : Terme utilisé principalement en Camargue, désignant un canal creusé ou aménagé par l'homme et ayant généralement pour objectif l'écoulement des eaux, l'irrigation ou l'assainissement.

Sténoèce : Espèce de faible valence écologique ne pouvant supporter que des variations limitées des facteurs écologiques (donc à intervalle de tolérance étroit pour l'ensemble des facteurs propres à son habitat).



## **SIGLES ET ACRONYMES**

AMC : Analyse Multicritères

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DHFF : Directive Habitats Faune Flore

FILMED : Forum Interrégional des Lagunes Méditerranéennes

ICOLLS : Intermittently Closed and Open Coastal Lakes and Lagoons

PPRi : Plan de Prévention des Risques d'Inondations

PRA : Plan Régional d'Action

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

## INTRODUCTION

Les lagunes côtières méditerranéennes couvrent plus de 80 000 ha sur l'ensemble du littoral, dont 92% sont des lagunes permanentes (Oswatte Liyanage 2021). De nombreux enjeux sociétaux sont liés à ces milieux, comme la production de sel, les activités halieutiques, la chasse, ou encore les activités récréatives et touristiques (De Wit et al. 2019; Pôle relais lagunes méditerranéennes 2008).

Ces milieux subissent de nombreuses pressions, aussi bien dues aux changements climatiques que directement liées aux activités anthropiques (activités industrielles, agricoles, touristiques...) (Geijwendorffer et al. 2018; Cloern 2001; Zittis et al. 2022). Les conséquences de ces dernières sont amplifiées par la localisation littorale des lagunes, qui en fait le réceptacle final des eaux douces du bassin versant (Di Paola, Rodríguez, et Roskopf 2023). Différents outils juridiques ont alors été mis en place dans le but de mieux préserver ces milieux : outils règlementaires (réserves naturelles, parcs nationaux...), outils de planification (Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), plan de prévention des risques d'inondations (PPRI)...), outils contractuels (contrats Natura 2000, contrats d'étang...) (Cizel 2017).

Or, afin de mettre en place des outils et actions adaptés et cohérents, il est nécessaire d'avoir une base de connaissances solides concernant les fonctionnements et les enjeux liés au milieu. Les lagunes permanentes méditerranéennes étant étudiées depuis plusieurs décennies, ces milieux sont relativement bien connus, même s'il persiste des lacunes, par exemple concernant les conséquences des changements climatiques (Giraud et Stroffek 2016). En revanche, les lagunes temporaires méditerranéennes sont des milieux rarement étudiés, donc encore peu connus. Les connaissances concernant leurs fonctionnements et les enjeux associés sont par conséquent encore assez limitées.

Un Plan Régional d'Action (PRA) en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes a été mis en place en 2021, avec l'objectif de mieux définir, localiser et comprendre les lagunes temporaires méditerranéennes des régions Occitanie et Provence-Alpes-Côte-d'Azur (Latron et al. 2021). L'objectif d'amélioration des connaissances passe notamment par la mise en place d'un suivi des lagunes temporaires méditerranéennes sur plusieurs années hydrologiques.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce mémoire, afin de répondre à la question suivante :

**Quels suivis mettre en place sur les lagunes temporaires méditerranéennes afin de mieux comprendre les fonctionnements hydrologiques et trophiques, et leurs liens avec le développement des macrophytes ?**

L'objectif de ce mémoire est donc à la fois de proposer des protocoles qui pourront être mis en place afin de répondre aux questions soulevées, et de réaliser une sélection de lagunes temporaires pilotes pertinentes pour la réalisation de ces suivis au vue du contexte et des moyens humains, matériels et financiers à disposition.

# 1 CONTEXTE

## 1.1 Les lagunes méditerranéennes

Les lagunes sont des masses d'eau côtières faisant partie du domaine paralytique, de salinité et de volumes variables. Ces milieux sont particulièrement liés aux activités humaines, à la fois historiques et actuelles : pêche, chasse, conchyliculture, tourisme... (Pôle relais lagunes méditerranéennes 2008) Plus particulièrement, ils ont ainsi été fortement influencés et conditionnés par des activités de production, et ce depuis plusieurs décennies, notamment pour la production de sel ou la riziculture (Aguesse et Marazanof 1965; De Wit et al. 2019). Ces usages ont ainsi impacté les fonctionnements hydrologiques, et par extension les salinités, les volumes, et la biodiversité d'un nombre important de lagunes.

De nombreuses études s'intéressent aux lagunes permanentes, et ce depuis plusieurs dizaines d'années (Aguesse et Marazanof 1965; Souchu, Abadie, et Vercelli 1998; La Jeunesse 2001; Ines Le Fur 2018). Un réseau de suivi des lagunes méditerranéennes, le Forum Interrégional des Lagunes Méditerranéennes (FILMED), a vu le jour en 2006, et assure le suivi des paramètres physico-chimiques d'une vingtaine de sites (Pôle relais lagunes méditerranéennes s. d.). D'autres suivis existent, tels que ceux effectués dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), avec pour objectif de maintenir ou rétablir un bon état des masses d'eau (OFB 2015; De Wit et al. 2020) ou encore le Réseau de Suivi Lagunaire, qui jusqu'en 2015 a assuré le suivi opérationnel de la qualité des eaux et de l'eutrophisation des lagunes en Languedoc-Roussillon (Daloz et al. 2009). Ces différents suivis permettent aujourd'hui d'avoir une bonne connaissance du fonctionnement et des enjeux de ces lagunes, aussi bien d'un point de vue hydrologique, trophique, faunistique que floristique.

Cependant, ces études et suivis concernent pour la grande majorité des lagunes permanentes. Cela peut s'expliquer par le fait que ces lagunes ont des tailles généralement importantes, et sont souvent associées à des enjeux économiques et sociaux (pêche, tourisme ...), ce qui est moins le cas des lagunes temporaires, dont les principales utilisations ont pris fin avec l'abandon d'un grand nombre de salins méditerranéens.

Ainsi, les lagunes temporaires sont à la fois peu connues et peu étudiées, ce qui implique l'existence de nombreuses lacunes concernant les connaissances de ces milieux. Or, une étude des lagunes permanentes et temporaires de la réserve du Bagnas réalisée par Papuga et Andrieu (2018) a remis en évidence différents enjeux concernant les lagunes temporaires. La présence d'espèces végétales protégées a notamment été recensée, à savoir :

- *Tolypella salina* : protection nationale (arrêté du 20 janvier 1982)
- *Riella helicophylla* : protection européenne (annexe II de la Directive 92/43/CEE)
- *Althenia filiformis* : protection régionale en ex région Languedoc-Roussillon (arrêté du 29 octobre 1997)
- *Ruppia maritima* : protection régionale en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (arrêté du 9 mai 1994)

Cette étude a permis de rappeler que les lagunes temporaires abritent plusieurs espèces végétales à forts enjeux écologiques, ainsi que de mettre en lumière les lacunes concernant les connaissances de ces milieux. C'est dans ce cadre que le Plan Régional d'Action en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes a été initié, afin d'améliorer les connaissances sur ces milieux pour répondre aux enjeux existants (Latron et al. 2021).

## 1.2 Le Plan Régional d'Actions en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes

Un Plan Régional d'Action est un document d'orientation visant à définir les actions nécessaires à la conservation et à la restauration des espèces ou habitats les plus menacés afin de s'assurer de leur bon état de conservation. Ils sont basés sur 3 axes : la connaissance, la conservation et la sensibilisation.

Le PRA en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes se déroule en 2 phases (Latron et al. 2021) :

- **une phase d'élaboration**, réalisée entre 2019 et 2021, avec une acquisition de connaissances concernant les lagunes temporaires méditerranéennes, l'identification des grands enjeux, et la proposition de fiches actions concrètes en faveur de l'habitat ;
- **une phase de mise en œuvre**, démarrée en 2022, avec la mise en place des premières fiches actions. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce mémoire.

La phase d'élaboration s'est déroulée en 3 temps :

- **un état des lieux concernant la distribution des lagunes temporaires** : clarifier la terminologie des lagunes temporaires méditerranéennes, en accord avec les directives européennes et les définitions scientifiques internationales (Latron et al. 2022) et réaliser un état des lieux de la distribution générale des lagunes temporaires méditerranéennes en France continentale grâce à la télédétection ;
- **l'analyse du fonctionnement écologique des lagunes temporaires** : réaliser le suivi de 127 lagunes sur une année hydrologique (suivi hydrologique complété par des relevés floristiques et pédologiques) afin de mieux comprendre leurs fonctionnements et les leviers pour restaurer la qualité des lagunes temporaires ;
- **la rédaction du programme d'action** : identifier des grands enjeux associés aux lagunes temporaires méditerranéennes et proposer des actions en faveur de l'habitat.

L'analyse du fonctionnement écologique réalisée a permis d'établir un certain nombre de conclusions concernant le fonctionnement des lagunes temporaires :

- forte variabilité de l'hydropériode des lagunes
- importance de l'hydropériode : pas de présence de macrophytes en dessous de 6 mois de mise en eau
- lien entre salinité et développement des macrophytes
- forte variabilité trophique des lagunes
- lien entre degré trophique et développement des macrophytes

La phase d'élaboration du PRA, de par sa courte durée, n'a toutefois pas permis de répondre à l'intégralité des questions initialement posées, et a aussi soulevé un certain

nombre d'interrogations supplémentaires. Certains phénomènes restent à étudier, c'est le cas notamment du fonctionnement trophique des lagunes temporaires méditerranéennes ou de la phénologie des macrophytes.

### 1.3 Les objectifs du stage

Au vue du manque de connaissances concernant les lagunes temporaires méditerranéennes, et ce malgré les données acquises au cours de la phase d'élaboration du PRA, il a été choisi de mettre en place plusieurs fiches actions permettant l'amélioration de la compréhension du fonctionnement de ces milieux.

Ainsi, ce mémoire doit permettre de répondre aux questions scientifiques soulevées par les fiches actions 1.2 à 1.6 à savoir :

- **N°1.2 Sélectionner les sites pilotes** : quels sites pilotes sélectionner afin de dépeindre au mieux la variabilité des fonctionnements écologiques des lagunes temporaires méditerranéennes ?  
**N°1.3 Améliorer les connaissances sur le fonctionnement hydrologique de l'habitat** : Quels protocoles mettre en place afin de comprendre les régimes hydrologiques qui 1) excluent la possibilité de présence de macrophytes sténoèces rare caractéristiques des lagunes temporaires méditerranéennes ? 2) Ceux qui les favorisent ?
- **N°1.4 Améliorer les connaissances sur le processus d'eutrophisation de l'habitat** : Quels protocoles mettre en place afin de comprendre 1) les sources d'eutrophisation dans les lagunes temporaires méditerranéennes ? 2) Les relations qui existent entre le processus d'eutrophisation et les différentes caractéristiques écologiques du milieu (composition, abondance et phénologie des macrophytes, types de fonctionnements hydrologiques) ?
- **N°1.5 Réaliser un suivi pluriannuel des macrophytes au niveau de l'habitat**
- **N°1.6 Améliorer les connaissances sur la phénologie des macrophytes typiques de l'habitat** : Quels protocoles mettre en place afin de 1) réaliser un suivi phénologique des herbiers des lagunes temporaires méditerranéennes ? 2) comprendre les relations existantes entre la phénologie des herbiers et les événements hydrologiques et météorologiques ?

Les objectifs de ce mémoire sont donc d'élaborer des protocoles permettant de répondre aux questions scientifiques présentées ci-dessus, et de proposer une sélection de sites pilotes pertinente afin de répondre à ces questions, le tout en étant en adéquation avec les moyens humains, techniques et financiers disponibles.

Il est à noter que la fiche action n°1.7 du PRA : « Améliorer les connaissances sur certains groupes bioindicateurs » se fera par l'étude de certains groupes spécifiques (algues, mollusque, crustacés ...) sur les lagunes pilotes sélectionnées. Cependant, ce mémoire ne cherche pas à répondre aux questions scientifiques de cette fiche action, dont la réalisation sera déléguée à un bureau d'étude.

## 2 ÉTAT DE L'ART

### 2.1 Définition des lagunes méditerranéennes temporaires

Plusieurs référentiels européens permettent de clarifier les appellations concernant les habitats, dont le référentiel CORINE Biotopes, le référentiel EUNIS, et le référentiel des Habitats d'Intérêt Communautaire (HIC) de la Directive « Habitats-Faune-Flore ». Les trois catégorisent de manières différentes les lagunes :

- **CORINE Biotopes** propose une seule catégorie pour les lagunes (Bissardon et al. 1997) :

Cor. 21	<i>Eaux côtières salées voire hypersalines, souvent issues d'anciens bras de mer envasés et isolés par un cordon de sable ou de vase. La présence de végétation peut être précisée par l'addition des codes 23.21 ou 23.22.</i>
---------	---

Il est à noter que les lagunes à caractères industrielle relèvent d'une autre catégorie, identifiée par le code Cor. 89.1 « Lagunes industrielles et canaux salins ».

- **EUNIS** distingue deux types de lagunes, les lagunes d'eaux salées et les lagunes d'eaux saumâtres (Louvel et al. 2013) :

X02 Lagunes littorales salées	<i>Étendues d'eau salée littorales, peu profondes, de salinité et de volume d'eau variables, totalement ou partiellement séparées de la mer par une barrière de sable, de galets ou plus rarement par une barrière rocheuse. La salinité peut varier, allant de l'eau saumâtre à l'hypersalinité selon la pluviosité, l'évaporation et les apports d'eau marine nouvelle lors des tempêtes, d'un envahissement temporaire par la mer en hiver ou à cause des marées. Avec ou sans une végétation de Ruppies maritimes, de Zostères maritimes ou de charophytes. Les types d'habitats caractéristiques des lagunes se trouvent sous A5 ; néanmoins, un grand nombre d'autres habitats peuvent aussi s'y trouver</i>
X03 Lagunes littorales saumâtres	<i>Étendues d'eau salée littorales, peu profondes, de salinité et de volume d'eau variables, totalement ou partiellement séparées de la mer par des bancs de sable, des galets ou plus rarement des rochers. Les lagunes littorales pleinement salées sont classées dans l'unité X02. Les « Flads » et « gloes », considérés comme une variété baltique de lagunes, sont de petits plans d'eau, généralement peu profonds, plus ou moins délimités, et encore connectés à la mer ou coupés d'elle par un soulèvement de terrain récent. Elles sont caractérisées par des roselières bien développées et une végétation submergée luxuriante. Elles possèdent plusieurs étapes de développement morphologique et botanique dans le processus par lequel la mer devient terre. Les lagunes méditerranéennes peuvent héberger les communautés du Ruppium à végétation halophytique, tandis que dans les sites avec apport d'eau douce des communautés du Juncetum et du Phragmitetum peuvent se développer. Sarcocornia perennis et Arthrocnemum macrostachyum peuvent apparaître ici.</i>

- Le manuel d'interprétation des **HIC** (EUR27) propose la catégorie lagunes côtières. En France, deux habitats élémentaires sont distingués dans les cahiers d'habitats Natura 2000, à savoir les lagunes en mer à marées (façade atlantique) et les lagunes méditerranéennes (Bensettiti 2004; De Bettignies et al. 2021) :

1150*	<p><i>Étendues d'eau salée côtières, peu profondes, de salinité et de volume d'eau variables, séparées de la mer par une barrière de sable, de galets ou plus rarement par une barrière rocheuse. La salinité peut varier, allant de l'eau saumâtre à l'hypersalinité selon la pluviosité, l'évaporation et les apports d'eau marine fraîche lors des tempêtes, d'un envahissement temporaire par la mer en hiver ou à cause des marées. Avec ou sans une végétation des Ruppiaetea maritimae, Potametea, Zosteretea ou Charetea (corine 91 : 23.21 ou 23.22)</i></p> <p><i>« Flads » et « gloes », considérés comme une variété baltique de lagune, sont des petites masses d'eau, en général peu profondes, plus ou moins délimitées, encore connectées à la mer ou qui ont été très récemment isolées par l'émergence des terres. Ils sont caractérisés par des roselières bien développées, une végétation submergée luxuriante et différents stades morphologiques et botaniques liés au processus par lequel la mer devient terre. Les bassins et étangs de salines peuvent être également considérés comme des lagunes, dans la mesure où ils sont le résultat de la transformation d'une ancienne lagune naturelle ou d'un ancien marais salé et caractérisés par un impact mineur de l'activité d'exploitation. « Flads » et « gloes » seulement en Finlande et en Suède</i></p>
1150*-1 Lagune en mer à marées	<p><i>Ces étendues côtières d'eau salée correspondent le long des côtes basses à des zones humides ou des marais côtiers. Les échanges avec la mer se font soit par un étroit chenal que remonte la marée, soit, lorsque la lagune est fermée, par percolation sous un cordon de galets. Parfois, l'apport d'eau de mer ne se produit qu'aux grandes marées de vives-eaux et lors des tempêtes hivernales. Les apports d'eau douce sont très variables temporellement. Dans tous les cas, l'eau doit, par moments, passer par des phases d'hypersalinité (de son évaporation), condition nécessaire pour que l'on ne soit pas seulement en présence d'un marais saumâtre</i></p>
1150*-2 Lagune méditerranéenne	<p><i>Habitat présent au niveau des étangs littoraux salés, mais aussi dans certaines zones marines estuariennes, où l'eau est irrégulièrement dessalée et la température variable. Ces fluctuations se produisent dans des intervalles de temps allant de la journée à l'année. L'évolution de ces paramètres se poursuit également à plus long terme. Les organismes vivant dans cet habitat sont donc soumis à de fortes variations de salinité et de température d'où la présence d'espèces euryhalines et eurythermes. Le sédiment est généralement de type vaseux ou sablo-vaseux.</i></p>

Ces différentes définitions ne mentionnent cependant pas l'existence du caractère temporaire de certaines lagunes. Or, les différences entre lagunes permanentes et temporaires sont nombreuses, aussi bien en termes de fonctionnements hydrologiques que d'espèces floristiques associées. Ainsi, les lagunes temporaires ont un fonctionnement principalement endoréique, avec une mise en eau lors des pluies automnales et hivernales, et un assèchement lors du printemps sous les effets du vent et de la température. Cet assèchement mène à un assec total de la lagune, pouvant durer de quelques semaines à plusieurs mois. Les lagunes temporaires abritent une flore caractéristique, composée de peu d'espèces, souvent inféodées à cet habitat, à savoir des espèces annuelles tolérant les fortes salinités et leurs variations (Papuga et Andrieu 2018; Latron et al. 2022).

Néanmoins, certains termes sont utilisés localement, dans différents pays et différents contextes, pour désigner des milieux pouvant correspondre à des lagunes temporaires. Ainsi, le concept de Intermittently Closed and Open Coastal Lakes and Lagoons (ICOLLS), apparu pour la première fois en Australie, désigne entre autres des lagunes s'asséchant entièrement lors de la saison sèche, et pouvant donc correspondre au terme lagune temporaire (McSweeney et al. 2017). Par ailleurs, en Afrique du Nord, le terme « sebkha » est utilisé pour désigner des milieux à forte salinité, subissant de fortes évaporations,



entraînant l'assèchement du milieu et la précipitation d'évaporites (Lakhdar et al. 2006). Les sebkha peuvent correspondre à des eaux continentales, ou bien côtières, auquel cas le terme recoupe celui de lagune temporaire. Ainsi, il existe donc à l'internationale, une multitude de définitions, se basant sur divers critères (morphologiques, floristiques, concernant leur origines ...). L'absence de définition unique, d'un point de vue scientifique comme institutionnel, concernant les lagunes temporaires entraîne une confusion sémantique.

Un travail a donc été effectué par Latron et al. (2022) afin de clarifier la définition de lagune temporaire méditerranéenne et son rattachement à l'habitat 1150 lagunes côtières de la Directive Habitat dans la législation française. C'est cette définition qui sera utilisée dans ce rapport, à savoir :

*« Les lagunes côtières méditerranéennes temporaires sont des masses d'eau qui présentent d'importantes fluctuations annuelles de leur niveau d'eau et qui sont généralement endoréiques. Elles sont souvent isolées de la mer mais peuvent recevoir des eaux marines lors de surcotes marines importantes. Elles présentent un niveau d'eau fluctuant induit par la variation climatique annuelle, avec une période sèche en été qui va d'un mois à six mois ou plus. La salinité présente une variation cyclique en fonction du niveau de l'eau, augmentant tout au long de la saison végétative, de l'hiver à la fin du printemps avec l'assèchement des lagunes. Les salinités les plus basses en début de saison sont de l'ordre de  $\approx 5$  g/l et peuvent augmenter jusqu'à des concentrations très élevées jusqu'à former une croûte de sel sur le sol asséché de la lagune. Ces masses d'eau peuvent être recouvertes ou non par une végétation de macrophytes, dominée par des espèces sténoèces caractéristiques de ce type d'habitat. »*

## 2.2 Fonctionnement des lagunes temporaires méditerranéennes

### 2.2.1 Fonctionnement hydrologique

Les lagunes temporaires sont caractérisées par un fonctionnement hydrologique spécifique, alternant entre phases d'inondation et d'assèchements. La plupart des lagunes temporaires ont un fonctionnement plus ou moins endoréique, à savoir qui est isolé de la mer, et dont les pertes en eau se font principalement par évaporation ou infiltration. La mise en eau des lagunes survient généralement avec les premières pluies de l'automne. Les précipitations et le ruissellement entraînent une augmentation du volume d'eau dans la lagune temporaire. À partir du printemps, les conditions météorologiques (ensoleillement, température, vent) entraînent une évaporation de l'eau des lagunes temporaires, et ce jusqu'à un assèchement total en été (Papuga et Andrieu 2018).

Ces variations de niveau d'eau entraînent également des variations importantes de salinité, par des phénomènes de concentrations et de dilution du sel. Ainsi, la salinité va être assez forte lors de la remise en eau des lagunes temporaires à l'automne, due à la remise en solution du sel présent dans les sédiments, puis diminue avec la pleine remise en eau des



lagunes, avant d'augmenter à nouveau lors de la phase d'assèchement (Latron et al. 2021). De par leur caractère endoréique, les lagunes temporaires ont tendance à ne pas rejeter le sel présent: les concentrations en sel dans les lagunes temporaires peuvent donc être très élevées, atteignant parfois plusieurs centaines de grammes par litre d'eau.

Toutes les lagunes temporaires ne sont cependant pas complètement endoréiques : beaucoup peuvent être connectées par exemple à d'autres lagunes, temporaires ou permanentes, à la mer, ou encore à la nappe. Ces connexions peuvent être ponctuelles et rares (par exemple lors de coup de mer), mais aussi plus longues et fréquentes (par exemple pour une connexion à une lagune permanente, lorsqu'une certaine hauteur d'eau est atteinte dans la lagune temporaire, et pouvant durer plusieurs semaines).

Certaines lagunes temporaires sont également soumises à une gestion de l'eau, notamment pour des enjeux cynégétiques ou ornithologiques : maintien tardif de la lagune en eau en été, apports d'eau (douce ou salée), qui peuvent menacer le fonctionnement naturel de la lagune temporaire et l'écosystème qui s'y trouve.

Ces différences de fonctionnements hydrologiques, par rapport à un fonctionnement totalement endoréique, peuvent entraîner des différences concernant l'évolution de la salinité au cours de l'année hydrologique.

## 2.2.2 Fonctionnement trophique

Le terme eutrophisation désigne à la fois le phénomène d'augmentation du taux d'apport de nutriments dans un milieu aquatique, et le processus survenant à la suite de cet apport. Cet apport de nutriment entraîne une prolifération de producteurs primaires, et l'écosystème passe d'un système dont le facteur limitant était les nutriments à un système dont le facteur limitant est la lumière (Nixon 1995; Cloern 2001). Il y a donc une concentration de la zone de production primaire vers la surface, couplé à un changement de communauté, aussi bien dans la colonne d'eau que dans la couche de fond (Figure 1). La dégradation de l'importante quantité de biomasse générée implique une forte consommation d'oxygène, donc son appauvrissement, et ce parfois jusqu'à l'anoxie (Pinay et al. 2018). Différents degrés de trophie existent, à savoir l'oligotrophie, la mésotrophie, et l'eutrophie, correspondant à des niveaux d'enrichissement en nutriments plus ou moins forts (La Jeunesse 2001).

Par ailleurs, il semblerait que les évolutions de contribution des producteurs primaires lors du processus d'eutrophisation diffèrent en fonction de la salinité du milieu (Figure 2) (Le Fur et al. 2018). Les lagunes temporaires pouvant avoir des salinités très variées, cela pourrait entraîner des fonctionnements trophiques différents d'une pièce d'eau à une autre.

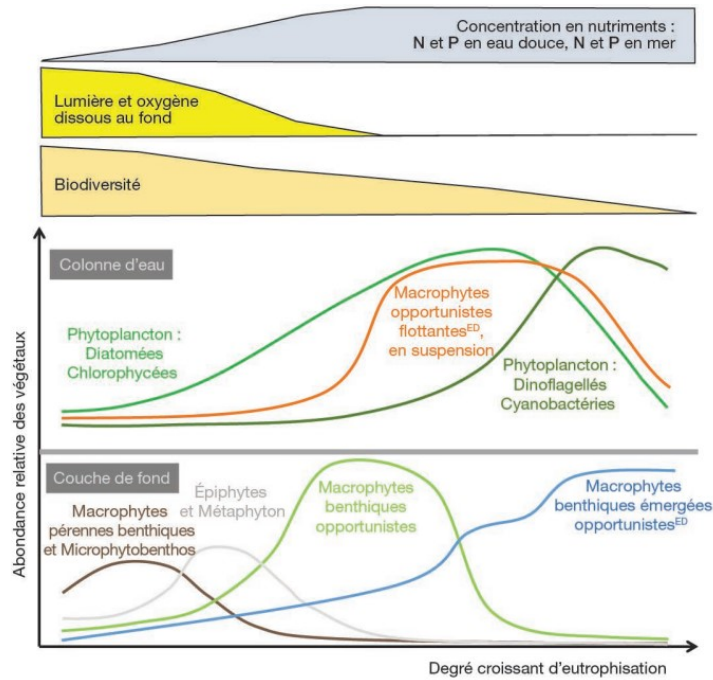


Figure 1: Changements des paramètres physico-chimiques, de la dominance relative des végétaux et de la biodiversité en fonction du degré d'eutrophisation en milieu aquatique (Pinay et al. 2018)

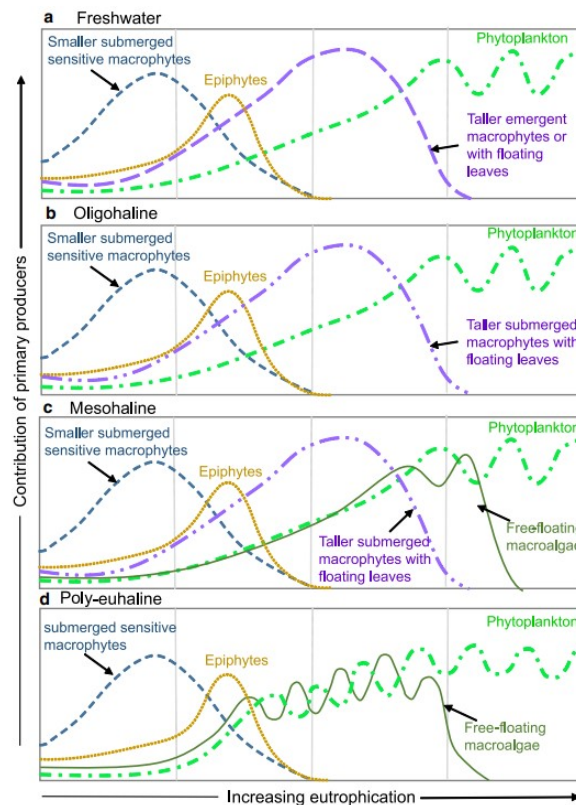


Figure 2: Succession relative des producteurs primaires le long d'un gradient d'eutrophisation dans (a) un lac tempéré peu profond, (b) une lagune oligohaline, (c) une lagune mesohaline, (d) une lagune polyhaline ou euhaline (Ines Le Fur et al. 2018)

Parmi les éléments minéraux nécessaires à la croissance des végétaux, le phosphore est le facteur limitant dans les milieux d'eau douce, et serait donc l'élément déterminant de l'eutrophisation (Schindler 1975). Dans le cas de la mer, c'est le plus souvent l'azote qui a été identifié comme élément déterminant (Capblancq 2002). Il semblerait que dans le cas des lagunes côtières, le facteur limitant dépende du degré de trophie de la lagune : une limitation par le phosphore dans le cas des lagunes oligotrophes, une co-limitation pour les lagunes mésotrophes, et enfin une limitation par l'azote pour les lagunes eutrophes (Souchu et al. 2010). Cependant, ce phénomène n'a a priori jamais été étudié dans le cas des lagunes temporaires méditerranéennes, mais seulement sur les lagunes permanentes.

Il est à noter que l'eutrophisation peut être un phénomène naturel, mais est accéléré par les activités anthropiques : lixiviation d'engrais du secteur agricole, rejets industriels ou urbains des eaux usées dans les cours d'eau ... Les milieux côtiers, situés en exutoire de bassin versant, subissent des ruissellements pouvant accumuler d'importantes quantités de nutriments et peuvent donc être fortement soumis à ces phénomènes d'eutrophisation. L'importance de ces phénomènes peut dépendre des activités présentes sur le bassin versant et de sa taille.

De par leur fonctionnement souvent proche de l'endoréisme, les lagunes temporaires ont tendance à accumuler d'autant plus les différents éléments apportés que ce soit par le ruissellement, ou par d'autres apports d'eau, avec ou sans intervention humaine. Les différents éléments accumulés dans la lagune temporaire peuvent être perdus, soit par infiltration, soit lors de connexion à d'autres masses d'eau. Des pertes d'azote peuvent également avoir lieu par dénitrification, transformant l'azote nitrique en azote moléculaire gazeux (N<sub>2</sub>) (ce processus n'a pas d'équivalent pour le phosphore). Cependant, ces processus restent souvent ponctuels et de faible ampleur par rapport aux apports. De ce fait, les lagunes temporaires méditerranéennes sont fortement soumises à des risques d'eutrophisation, avec une accumulation importante d'azote et phosphore. Ce phénomène est d'autant plus important que ces lagunes sont situées dans des territoires subissant un fort essor démographique, impliquant une augmentation de la pression sur les lagunes temporaires.

### 2.2.3 Macrophytes

Les macrophytes sont des végétaux aquatiques photosynthétiques dont tout le cycle de vie, y compris la reproduction se déroule dans l'eau. Il peut s'agir de phanérogame (plantes à fleurs, pourvues de racines par lesquelles elles puisent leurs nutriments), ou de macroalgues (visible à l'œil nu, et dépourvues de racines) (Lauret et al. 2011).

Le fonctionnement des lagunes temporaires, caractérisées par une phase inondée et une phase d'assec, ainsi que par des gammes de salinités élevées et fortement variables, limitent les espèces pouvant s'y développer. On y retrouve des espèces sténoèces, à savoir des espèces dont la faculté d'adaptation est faible, et dont la survie est liée à des conditions physico-chimiques étroites.

Ainsi, on retrouve dans les lagunes temporaires méditerranéennes un nombre assez faible d'espèces de macrophytes, caractérisées par un cycle de vie annuel et leur résistance aux variations de salinité.

Parmi les macrophytes typiques des lagunes temporaires méditerranéennes, on retrouve :

- *Althenia filiformis*, une phanérophYTE de la famille des Potamogetonaceae, protégée à l'échelle régionale en ex région Languedoc Roussillon
- *Ruppia maritima*, de la famille des Ruppiceae, protégée à l'échelle régionale en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur
- *Lamprothamnium papulosum*, une charophyte de la famille des Characeae
- *Tolypella salina*, une charophyte de la famille des Characeae, protégée à l'échelle nationale
- *Riella helicophylla*, une bryophyte de la famille des Riellaceae, protégée à l'échelle européenne

Dans les lagunes temporaires ayant des salinités plutôt faibles, des espèces adaptées aux milieux saumâtres peuvent être présentes (*Chara canescens*, *Stuckenia pectinata*, *Zannichellia palustris* ...). Dans ces conditions, ces espèces ont tendance à être plus compétitives, et donc à prendre le dessus sur les espèces sténoèces des lagunes temporaires.

## 2.3 Menaces concernant les lagunes

De par leur localisation en exutoire des bassins versants, les complexes lagunaires ont des positions de réceptacles finaux avant la mer, et sont donc particulièrement vulnérables et soumis à de nombreuses pressions. En effet, en accumulant l'eau de l'ensemble du bassin versant, ils accumulent aussi les différents éléments qui s'y trouvent, comme l'azote et le phosphore (voir 2.2.1), mais aussi les contaminants chimiques : pesticides, métaux lourds... (Munaron et al. 2022). De plus, les lagunes tendent également à accumuler les sédiments provenant du bassin versants, apportés à la fois par les cours d'eau et par le ruissellement. Ce phénomène est un processus naturel, mais est fortement accéléré par les activités anthropiques : déforestations, pratiques agricoles, rejet d'eaux usées...(Castaing 2008)

Enfin, les complexes lagunaires sont menacés par le changement climatique (MedECC 2020). En effet, ces milieux ne sont généralement séparés de la mer que par un lido dans la plupart des cas. Ainsi, une élévation du niveau de la mer entraînerait une érosion du lido, donc un déplacement de ce lido vers l'intérieur des terres, et à terme sa disparition, impliquant le passage d'un milieu lagunaire à une baie ouverte. Par ailleurs, certaines espèces ne peuvent également pas se développer dans une eau à la température trop élevée, comme c'est le cas de *Zostera marina*. Un réchauffement climatique pourrait donc entraîner la disparition de cette espèce (De Wit 2011). Le changement du cycle des précipitations est également une menace, avec par exemple des phases d'exondation précoces affectant directement la faune et la flore des lagunes.

Ces différentes pressions ont jusqu'à présent été étudiées uniquement sur les lagunes permanentes. Cependant, de par le fonctionnement des lagunes temporaires, ainsi que leurs connexions aux lagunes permanentes, on peut supposer que certaines de ces pressions

s'appliquent également aux lagunes temporaires. Cela semble d'autant plus vrai que la plus part des lagunes temporaires ont un fonctionnement endoréique, qui peut entraîner l'accumulation d'éléments de la même manière qu'elles accumulent le sel (voir 2.2.1). Il semblerait donc que les pressions concernant les lagunes permanentes menacent également les lagunes temporaires, bien que ces menaces ne soient pas toutes subies dans les mêmes mesures et restent à étudier.

Toutefois, toutes les pressions concernant les lagunes permanentes ne concernent pas les lagunes temporaires, comme par exemple la pêche, qui n'a pas lieu dans les lagunes temporaires.

## 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 3.1 Stratégie d'échantillonnage

#### 3.1.1 Panel de sites potentiels

Afin de permettre de répondre aux problématiques du PRA, les protocoles proposés dans le cadre de ce mémoire seront appliqués à un certain nombre de lagunes temporaires méditerranéennes pilotes. Ces lagunes doivent représenter la diversité des fonctionnements hydrologiques, trophiques, et des herbiers présents. De plus, il a été choisi que le nombre total de lagunes suivies ne dépasse pas 100, afin que le suivi puisse effectivement être réalisé au vu de la faisabilité technique et financière, ainsi que du temps à disposition.

Dans le but d'assurer cette diversité souhaitée, la sélection des lagunes pilotes ne peut se faire sans un certain nombre d'informations déjà recueillies. Le choix des lagunes pilotes s'est donc fait parmi les lagunes ayant déjà été étudiées dans le cadre de la phase d'élaboration du PRA. Ces lagunes se répartissent en 2 catégories:

- **les lagunes suivies**, qui sont les lagunes sur lesquelles un suivi a été réalisé lors de l'année hydrologique 2019-2020, pour lesquelles un jeu de données a été recueilli (hydrologie, macrophytes, sédiments, pressions). Ces suivis ont consisté en la mesure mensuelle de la hauteur d'eau, salinité, conductivité, turbidité, et température de chaque lagune. De plus, au printemps, des relevés des recouvrements relatifs de chaque espèce de macrophyte, et du recouvrement total de l'herbier ont été réalisés (Annexe 2). Enfin, des analyses ont été effectuées en laboratoire (matière organique, azote total, phosphore total, granulométrie, densité) sur les sédiments récupérés lors de la période d'assec des lagunes. Ces lagunes suivies sont au nombre de 127. Ces lagunes se répartissent entre 15 sites différents dans 13 zones (il peut y avoir plusieurs sites par zones) ;
- **les lagunes prospectées**, qui n'ont été étudiées qu'une seule fois entre 2018 et 2020 et pour lesquelles les données disponibles sont plus limitées (hydrologie à une seule date, liste des espèces présentes, pressions). Ces lagunes prospectées sont au nombre de 116, et se répartissent entre 19 sites, dans 11 zones.

Ce sont donc au total 243 lagunes temporaires qui constituent une première liste de sites potentiels pour faire partie des lagunes pilote (Figure 3).



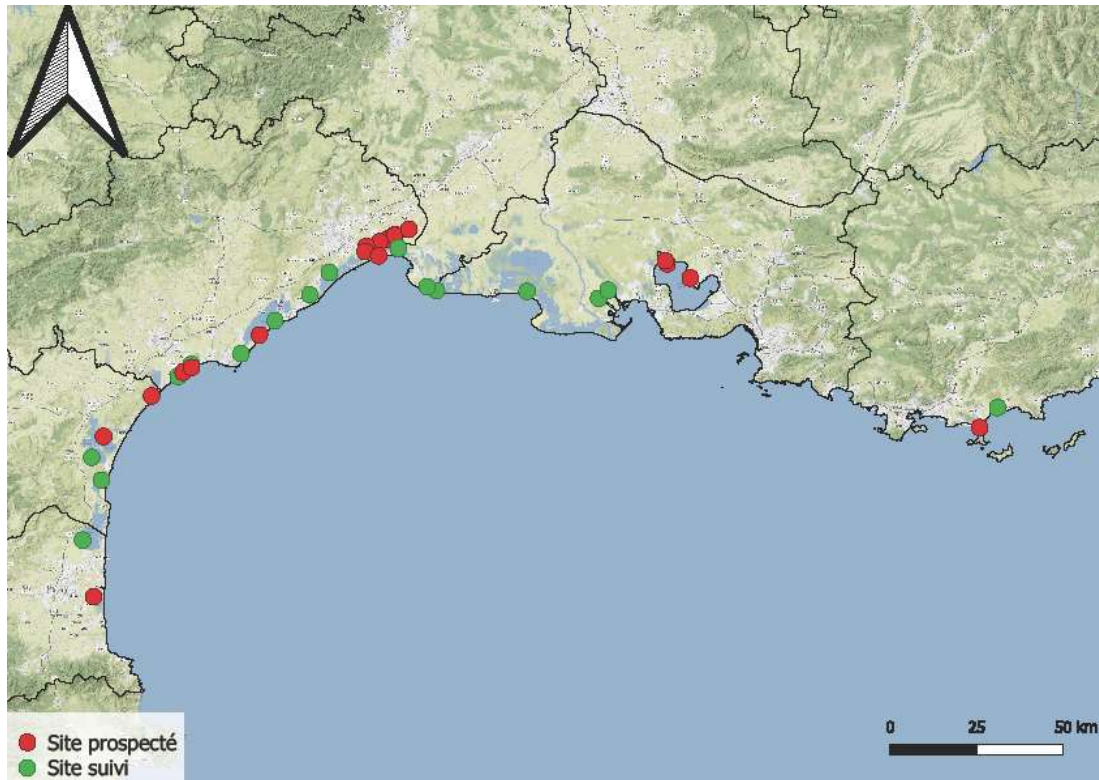


Figure 3: Localisation des sites potentiels (sites suivis et sites prospectés)

### 3.1.2 Critères de sélection des lagunes temporaires

Afin de capter le plus de diversité de fonctionnements hydrologiques des lagunes temporaires possible, deux caractéristiques ont été utilisées, à savoir 1) la salinité de la lagune, ainsi que 2) ses connexions (mer, roubine, lagune permanente, lagune temporaire ou strictement endoréique).

Concernant la diversité de fonctionnement trophique, la caractéristique utilisée est le degré de trophie.

Enfin, pour les macrophytes, la présence/absence d'herbiers ainsi que les espèces présentes ont été analysées. Seules quelques espèces de macrophytes ont été prises en compte, à savoir les espèces caractéristiques et protégées de lagunes temporaires (*Althenia filiformis* n'a pas été prise en compte dans la sélection car est particulièrement fréquente dans les lagunes temporaires méditerranéennes), ainsi que la présence d'espèces d'eau saumâtre, qui donnent des indications complémentaires concernant la salinité de la lagune.

Chaque caractéristique a été subdivisée en plusieurs critères (Tableau 1). L'objectif de la sélection des lagunes pilotes est d'avoir au moins 20 lagunes représentant chaque critère, afin de permettre par la suite une analyse statistique pertinente des données récoltées grâce au suivi (une analyse statistique robuste nécessite en moyenne une trentaine de relevés ayant la modalité étudiée)..

Tableau 1: Critères des lagunes temporaires ciblées pour la sélection des lagunes pilotes

Thématique	Caractéristique	Critère
Macrophytes	Espèces présentes	Espèce d'eaux saumâtres
		<i>Lamprothamnium papulosum</i>
		<i>Riella helicophylla</i>
		<i>Tolypella salina</i>
		Absence d'herbier
Fonctionnement trophique	Degré de trophie	Oligotrophe
		Mésotrophe
		Eutrophe
Fonctionnement hydrologique	Connexions	Apports d'eau de lagune permanente
		Apports d'eau de lagune temporaires
		Apports d'eau de mer
		Apports d'eau de roubine
		Endoréique
	Salinité	Salinité entre 5 et 18 g/L
		Salinité entre 18 et 30 g/L
		Salinité > 30 g/L

Le degré de trophie des lagunes temporaires a été catégorisé d'une manière différente en fonction du type de donnée disponible :

- **pour les lagunes suivies** : des analyses sur les sédiments ont été fait en 2020, afin notamment de mesurer la teneur en azote total. Étant donné qu'il n'existe aujourd'hui pas de seuils formellement établis reliant la teneur en azote et le degré de trophie pour les lagunes côtières, les classes utilisées ont été celles proposées par de Wit (Directeur de recherches à l'UMR MARBEC) (Communication personnelle, 18 juillet 2023). Ces classes sont de <700 mg/kg (soit 50mmol/kg) pour une lagune oligotrophe, entre 700 mg/kg et 3000 mg/kg (soit 214 mmol/kg) pour une mésotrophe et >3000mg/kg pour une eutrophe, et sont basées sur une comparaison avec les lagunes permanentes ;
- **pour les lagunes prospectées** : aucune analyse des sédiments n'a été effectuée. Cependant, la trophie de la lagune a été qualifiée à dire d'expert, à savoir « nulle », « un peu » ou « beaucoup ». L'évaluation s'est principalement basée sur la présence d'algues filamenteuses dans la lagune. Ce sont ces indications qui ont été utilisées, en associant la catégorie « nulle » à oligotrophe, « un peu » à mésotrophe et « beaucoup » à eutrophe.



Concernant les connexions des lagunes temporaires, il est à noter que les termes de “connexion principale” et “connexion secondaire” ont été introduits. En effet, une même lagune temporaire peut être connectée à plusieurs pièces d’eau. Or toutes les connexions n’auront pas le même degré d’impact sur la lagune temporaire : une connexion à une roubine signifie des apports d’eau pouvant être imposés et importants, tandis qu’une connexion à une autre lagune temporaire aura un impact plus faible car ces deux milieux sont initialement assez proches. Ainsi, les différents types de connexion possibles ont été classés, de l’impact a priori le plus faible sur la lagune temporaire à l’impact a priori le plus fort selon l’ordre suivant :

Lagune temporaire < Lagune permanente < Mer < Roubine

Pour chaque lagune temporaire, la “connexion principale” est celle dont l’impact est le plus important selon la classification ci-dessus, tandis que les autres connexions sont dites “connexions secondaires”. Lors de la sélection des lagunes pilotes, seules les connexions principales ont été prises en compte.

La salinité des lagunes temporaires utilisée est celle du mois d’avril 2020, car c’est le mois au cours duquel le plus de données ont été acquises, notamment par rapport aux lagunes prospectées pour lesquelles une seule date était disponible. Les classes de salinité utilisées ont été choisies à partir des seuils proposées par le Venice System (1958), un système de classification des eaux marines en fonction de leur salinité. De plus, les salinités inférieures à 5g/L n’ont pas été prises en compte car elles ne rentrent pas dans la définition utilisée de lagune temporaire méditerranéenne (voir 2.1).

### 3.1.3 Sélection des lagunes temporaires pilotes

Le tri des lagunes temporaires pilotes s’effectue en deux temps (Figure 4). Une première sélection des lagunes temporaires considérées est réalisée, en retenant d’abord les lagunes remplissant les critères les moins représentés : présence d’espèces d’eaux saumâtres (représenté par 5 lagunes), présence de *Riella helicophylla* (représenté par 8 lagunes), connexion à la mer (représenté par 8 lagunes)...

Un second tri est effectué afin de réduire le nombre de lagunes pilotes, et ne pas dépasser le nombre de 100 lagunes à suivre. Ce tri est réalisé cette fois-ci à l’échelle des sites et non des lagunes, afin de prendre en compte les contraintes pratiques et techniques du suivi :

- Élimination des sites peu adaptés au suivi (accès compliqué, compréhension du fonctionnement hydrologique du site difficile...).
- Élimination des sites dont les caractéristiques font parties des modalités suffisamment représentées.
- Élimination des sites pour lesquels seules quelques lagunes étaient sélectionnées, afin d’éviter des déplacements importants pour un faible nombre de lagunes.

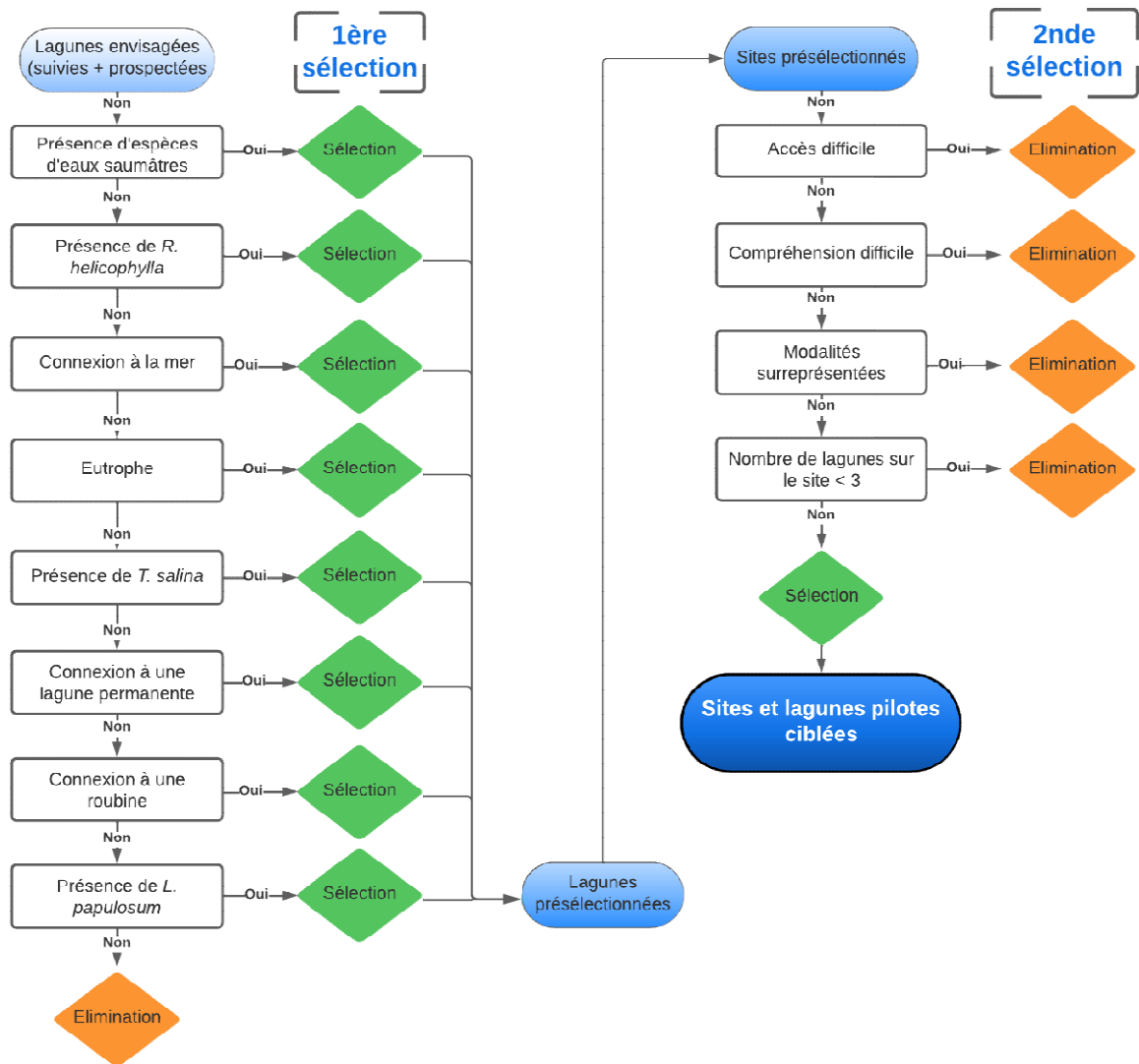


Figure 4: Méthodologie de sélection des lagunes pilotes

### 3.1.4 Entretiens avec les gestionnaires

Suite à la sélection des lagunes, des entretiens avec les gestionnaires des sites contenant des lagunes pilotes ciblées sont réalisés. Ces entretiens ont pour but d'évaluer l'intérêt ou non des gestionnaires pour prendre part aux suivis, ainsi que de recueillir les outils et connaissances disponibles sur leur site. Pour ce faire, un entretien d'environ 1h30 est réalisé, avec visite du site ou non. Une trame d'entretien a été rédigée, et communiquée aux gestionnaires avant l'entretien afin qu'ils puissent préparer leurs réponses et réunir les informations demandées (Annexe 4).

## 3.2 Élaboration des protocoles

Afin d'élaborer les protocoles pour le suivi des lagunes temporaires méditerranéennes, il a d'abord fallu sélectionner les paramètres intéressants à suivre, ce qui s'est déroulé en plusieurs étapes (Figure 5).

Un inventaire des paramètres potentiellement intéressants à suivre a donc été réalisé. Cet inventaire est composé d'une part des différents paramètres qui ont été suivis lors de la phase d'élaboration du PRA, d'autre part des différents paramètres identifiés par un travail bibliographique. Ce travail bibliographique a dans un premier temps porté sur des documents concernant spécifiquement les lagunes temporaires. Cependant, étant donné le faible nombre de documents pour ce type de milieux, il a été complété par des documents concernant d'autres milieux pouvant avoir un fonctionnement proche, à savoir les lagunes permanentes et les mares temporaires. Au total, ce sont les paramètres de 27 documents (articles scientifiques, études, protocoles de suivis ...) qui ont été inventoriés.

Pour chaque paramètre, un certain nombre d'informations ont été recueillies : intérêt, coûts, fréquence de suivi nécessaire... Ces informations ont été récupérées à la fois dans la bibliographie et par des retours d'expériences.

Une Analyse MultiCritères (AMC) a été réalisée sur cette liste de paramètres afin de visualiser lesquels sont les plus pertinents vis-à-vis de la problématique et du contexte.

Les paramètres sont évalués par rapport à plusieurs critères, en fonction de s'ils sont « adaptés », « partiellement adaptés » ou « inadaptés ».

Les différents paramètres ont été évalués selon les critères suivants :

- **réponse aux problématiques**, évalué en fonction des informations données par chaque paramètre, et de leurs pertinences face aux questions posées. Aucun paramètre n'est jugé « inadapté » pour ce critère, étant donné qu'il n'est pas possible de conclure à l'avance que le suivi d'un paramètre n'apporte aucune information pertinente aux problématiques posées.
- **coût**, évalué à partir du matériel et des moyens humains nécessaires pour la mise en place du suivi du paramètre
- **temps / fréquence de suivi**, évalué en fonction du temps à allouer au suivi sur une année (prise en compte à la fois du temps nécessaire pour une mesure, et de la fréquence de mesures nécessaires)
- **paramètres permettant une continuité avec les données déjà existantes**, évalué en fonction de si le paramètre a déjà été suivi lors de la phase d'élaboration du PRA (aucun critère jugé « partiellement inadapté »)

Les critères les plus pertinents au vue des résultats de l'AMC sont retenus et intégrés aux protocoles.

De plus, les suivis réalisés lors de l'élaboration du PRA ont permis d'obtenir un jeu de données conséquent concernant 127 lagunes sur l'année hydrologique 2019-2020. Des analyses de ces données est réalisée à savoir 1) l'évolution de la salinité et de la hauteur d'eau de chaque lagune au cours d'une année hydrologique, 2) l'évolution de la salinité au cours d'une année hydrologiques des lagunes ayant un même type de connexion et 3) les teneurs en azote total et phosphore total des sédiments des lagunes. Ces analyses permettent de mettre en évidence les paramètres intéressants à suivre car apportant une information nécessaire à la compréhension du fonctionnement de la lagune, mais aussi les paramètres manquant pour permettre une bonne interprétation des résultats. Ces paramètres sont également retenus et intégrés aux protocoles.

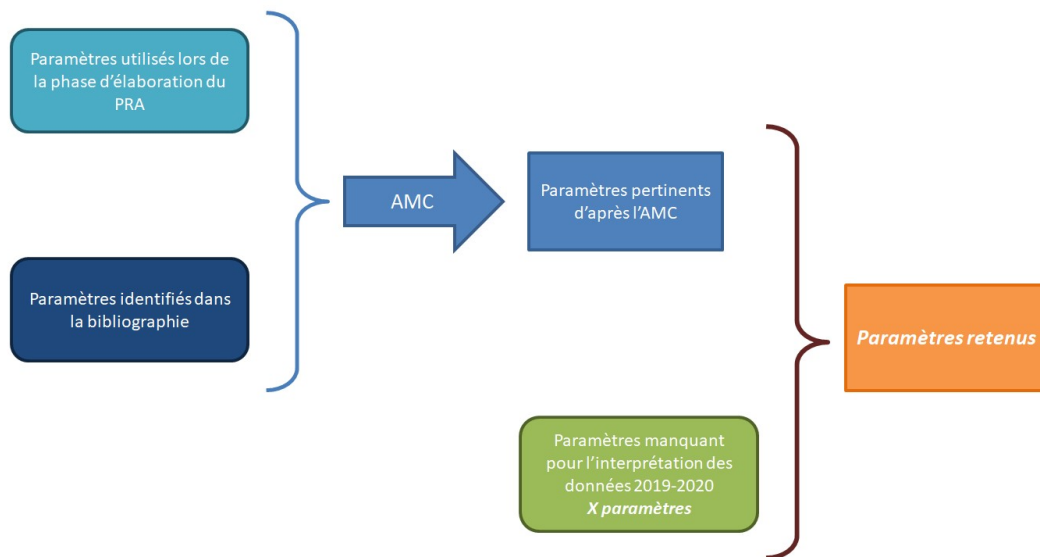


Figure 5: Méthodologie de sélection des paramètres pertinents à suivre

## 4 RÉSULTATS

### 4.1 Hydrologie et trophie des lagunes à partir des données 2019-2020

#### 4.1.1 Lien entre salinité et hauteur d'eau

En considérant une lagune temporaire dont les seuls apports d'eau proviennent des précipitations et du ruissellement, à savoir de l'eau douce, il n'y a pas d'apport de sel dans la lagune : cette quantité de sel dans la lagune est fixée. Mais sa concentration peut varier : un apport d'eau par précipitation ou ruissellement entrainera une dilution du sel, tandis que l'évaporation de l'eau provoquera sa concentration. Ainsi, il y a une relation inverse entre les variations du volume d'eau de la lagune et celles de la concentration en sel.

Dans la plupart des cas, les lagunes temporaires ont tendance à avoir un fond relativement plat, avec des différences topographiques de faible amplitude. Ainsi, en dehors des premiers temps de mise en eau, ou de la fin de l'assèchement, la surface en eau des lagunes temporaires varie peu au cours du temps. Il est donc possible d'approximer le volume d'eau de la lagune par sa hauteur d'eau.

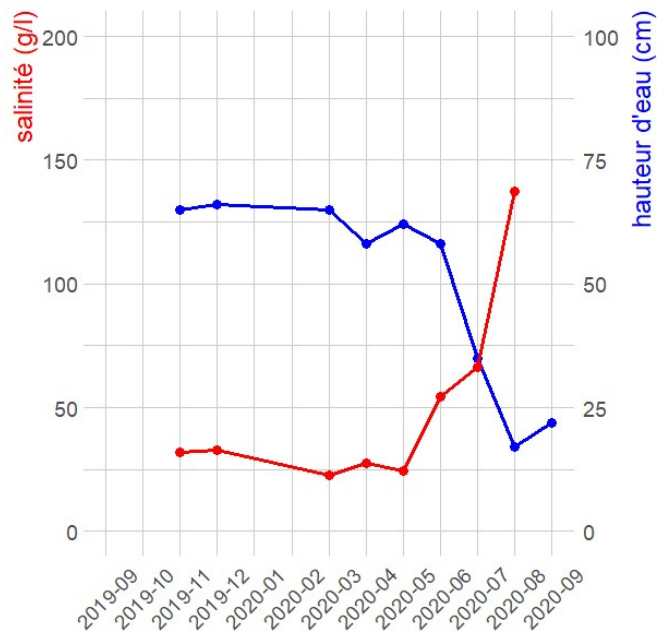
Les liens entre évolution de la salinité et hauteur d'eau ont été étudiés pour chacune des 127 lagunes suivies sur l'année hydrologique 2019-2020, afin de vérifier ou non l'existence d'un lien entre ces deux paramètres, donc de classer leur fonctionnement hydrologique.

Les résultats pour 2 lagunes temporaires d'un même site (les salines de Villeneuve-les-Maguelone, 34) (Figure 6), sont présentés, et montrent 2 situations différentes.

On constate que pour la lagune n°2 (Figure 7), la hauteur d'eau et la salinité semblent anti-corrélées : une augmentation d'hauteur d'eau entraine une diminution de la salinité et inversement. C'est ce à quoi on s'attend pour une lagune endoréique.



Figure 6: Localisation des lagunes du site de Villeneuve-les-Maguelone (34)



*Figure 7: Évolution de la salinité (rouge) et de la hauteur d'eau (bleu) de la lagune n°2 des salines de Villeneuve-les-Maguelone au cours de l'année hydrologique 2019-2020*

On constate que pour la lagune n°4 (Figure 8), il ne semble pas y avoir de lien entre salinité et hauteur d'eau, au moins durant les 8 premiers mois de mise en eau. On peut supposer que cela s'explique par le fait que la lagune n°4 soit connectée à une lagune permanente, dont la salinité évolue très peu au cours d'une année. Il y a donc un effet tampon de la salinité de la lagune temporaire par l'eau de la lagune permanente, pouvant justifier cette absence de variation de salinité. On remarque qu'à partir du mois de juin, il y a cependant une forte augmentation de la salinité de la lagune temporaire, associée à une diminution de la hauteur d'eau. Une hypothèse possible est qu'en dessous d'une certaine hauteur d'eau, à la fois de la lagune temporaire et de la lagune permanente, la connexion entre les deux n'est plus possible, donc que la lagune temporaire reprend un fonctionnement de type « endoréique ».

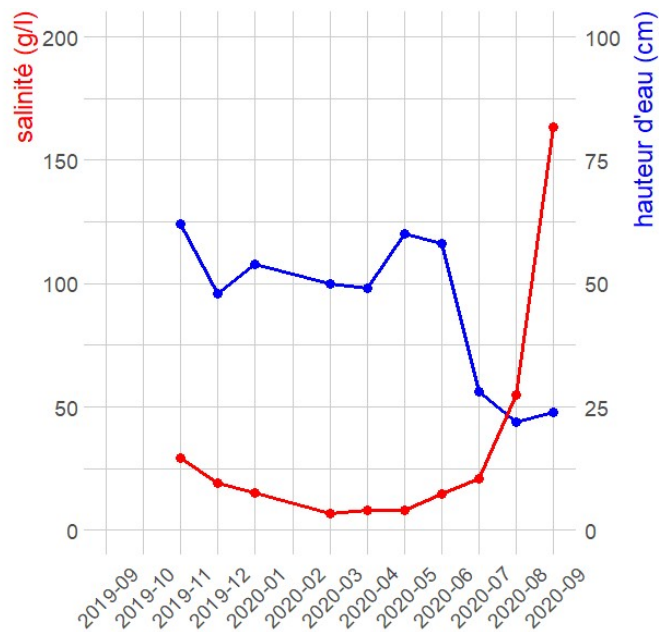


Figure 8: Évolution de la salinité (rouge) et de la hauteur d'eau (bleu) de la lagune n°4 des salines de Villeneuve-les-Maguelone au cours de l'année hydrologique 2019-2020

#### 4.1.2 Fonctionnements hydrologiques

La salinité au cours d'une année peut fortement varier, que ce soit entre les différentes lagunes ou au sein d'une même lagune. Les figures 6 à 10 présentent l'évolution de la salinité au cours de l'année hydrologique 2019-2020, ainsi que pour chaque mois, le nombre de valeurs, la médiane, et l'interquartile de la salinité. Il est à noter qu'une absence de point ne signifie pas forcément un assec dans la lagune, mais peut être dû au fait que le suivi n'ait pas été réalisé ce mois-ci. En effet, les suivis n'ont pas été faits certains mois en fonction des sites, pour des raisons de manque de temps, mais aussi à cause des restrictions liées à la pandémie de COVID-19 et à la période de confinement. Ainsi, les données présentées dans ce rapport ne représentent qu'une partie de l'évolution de la salinité des lagunes temporaires sur l'année hydrologique 2019-2020.

Les **lagunes temporaires connectées à la mer** (Figure 9) ont une salinité relativement stable sur l'ensemble de l'année, et sont relativement homogènes entre elles, avec un interquartile maximum de 30 g/L. On constate que la salinité médiane est comprise entre 27 et 50 g/L, sauf lors du mois d'avril, qui a été un mois particulièrement sec, avec très peu de précipitations, ce qui a entraîné le début d'un assèchement des lagunes temporaires. Cet assèchement s'est traduit par une diminution du niveau d'eau, donc une concentration du sel.

Il semblerait donc que la connexion à la mer ait un effet tampon sur la salinité des lagunes temporaires. Cet effet tampon disparaîtrait autour du mois d'avril, probablement dû à la diminution du niveau d'eau dans les lagunes temporaires, et donc une absence de connexion à la mer sur cette période.

Toutefois, le nombre de lagunes temporaires étudiées connectées à la mer est particulièrement faible. Les résultats sont donc à prendre avec précaution.

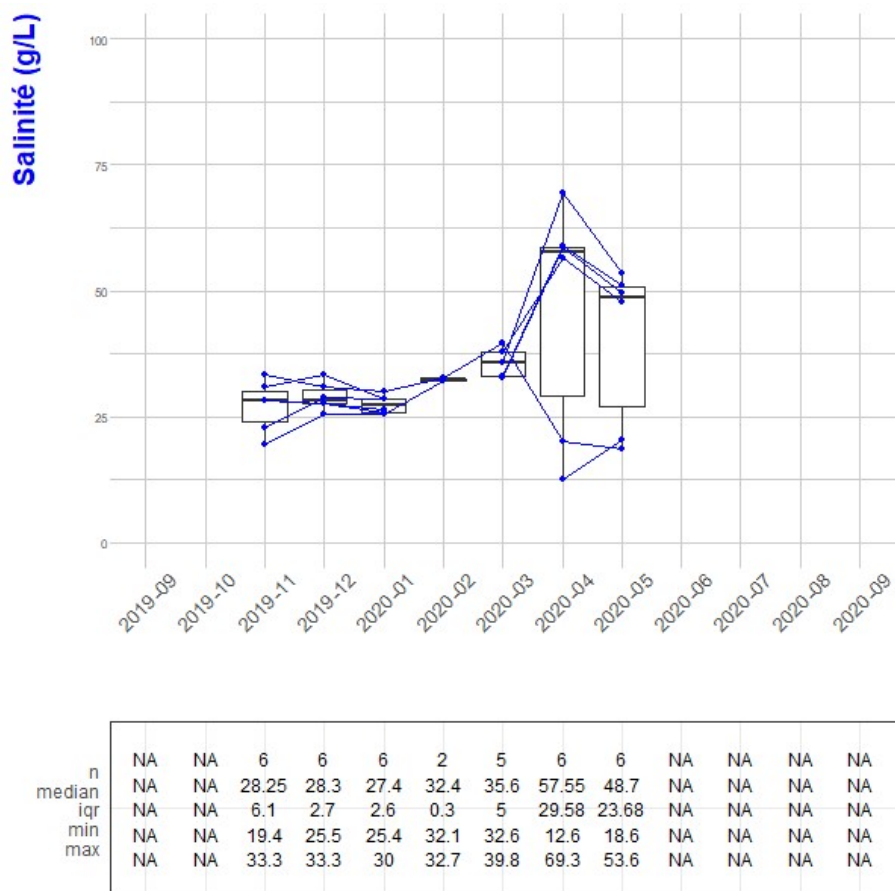


Figure 9: Évolution de la salinité des lagunes temporaires connectées à la mer au cours de l'année hydrologique 2019-2020 (n=6)

La salinité des **lagunes temporaires connectées à d'autres lagunes temporaires** (Figure 10) varie au cours de l'année, avec une salinité augmentant lors de la diminution de la hauteur d'eau liée à l'évaporation.

On constate une assez forte hétérogénéité entre les différentes lagunes temporaires, en particulier lors de période de hauteur d'eau élevées, avec des interquartiles allant jusqu'à 93 g/L. Certaines lagunes ont toutefois une salinité relativement faible, ne dépassant pas les 40 g/L sur toute l'année hydrologique. D'une manière générale, on constate l'existence de lagunes ayant des salinités élevées, et d'autres ayant des salinités faibles : les lagunes ayant des fortes salinités lors de la pleine mise en eau sont majoritairement celles qui ont également les plus fortes salinités lors des périodes d'assèchement, et inversement pour les lagunes à faible salinité.

Il semble donc y avoir une évolution de la salinité dans l'ensemble similaire pour toutes les lagunes connectées à des lagunes temporaires, et proportionnelle à leur niveau de salinité initial. Cela est cohérent puisque ces lagunes ne subissent des entrées d'eau que venant d'autres lagunes temporaires, donc ayant a priori un niveau de salinité proche. Il n'y a donc



pas d'effet tampon comme on peut l'observer pour les lagunes avec des apports d'eau de salinité moins variables sur l'année, comme la mer, une lagune permanente, ou une roubine

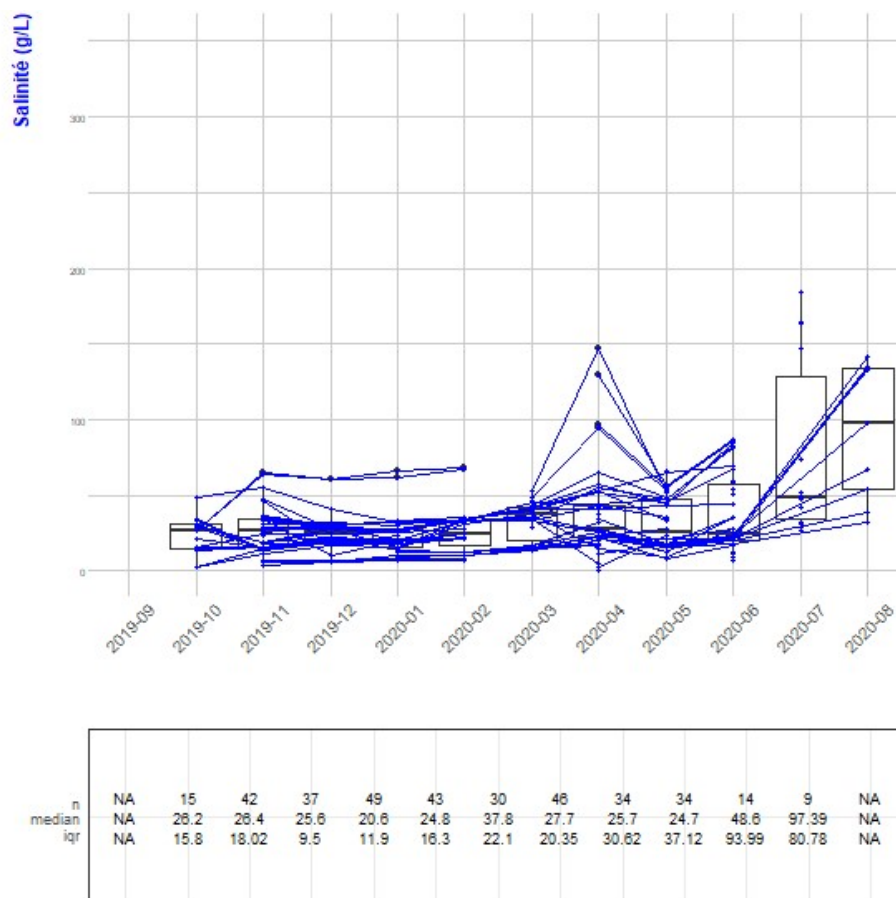


Figure 10: Evolution de la salinité des lagunes temporaires connectées à une lagune temporaire au cours de l'année hydrologique 2019-2020 (n=51)

Les **lagunes temporaires connectées à une lagune permanente** (Figure 11) ont une hétérogénéité variant au cours de l'année, assez faible lors des périodes de pleine mise en eau avec des interquartiles inférieurs à 15 g/L, et beaucoup plus élevée lors de phase d'assèchement, dépassant les 30 g/L et pouvant monter jusqu'à 140 g/L au mois d'août.

Cela peut s'expliquer par le fait que la connexion entre la lagune temporaire et la lagune permanente ne se fait qu'à partir d'une certaine hauteur d'eau dans la lagune temporaire. La connexion à la lagune permanente entraîne un effet tampon de la salinité, car elle présente des variations de salinité beaucoup plus faibles que celles des lagunes temporaires. Ainsi, lors des phases d'assèchement, la hauteur d'eau de la lagune temporaire diminue et la connexion à la lagune permanente disparaît, impliquant un fonctionnement similaire à celui d'une lagune temporaire endoréique, donc avec une salinité variant d'une lagune à une autre.

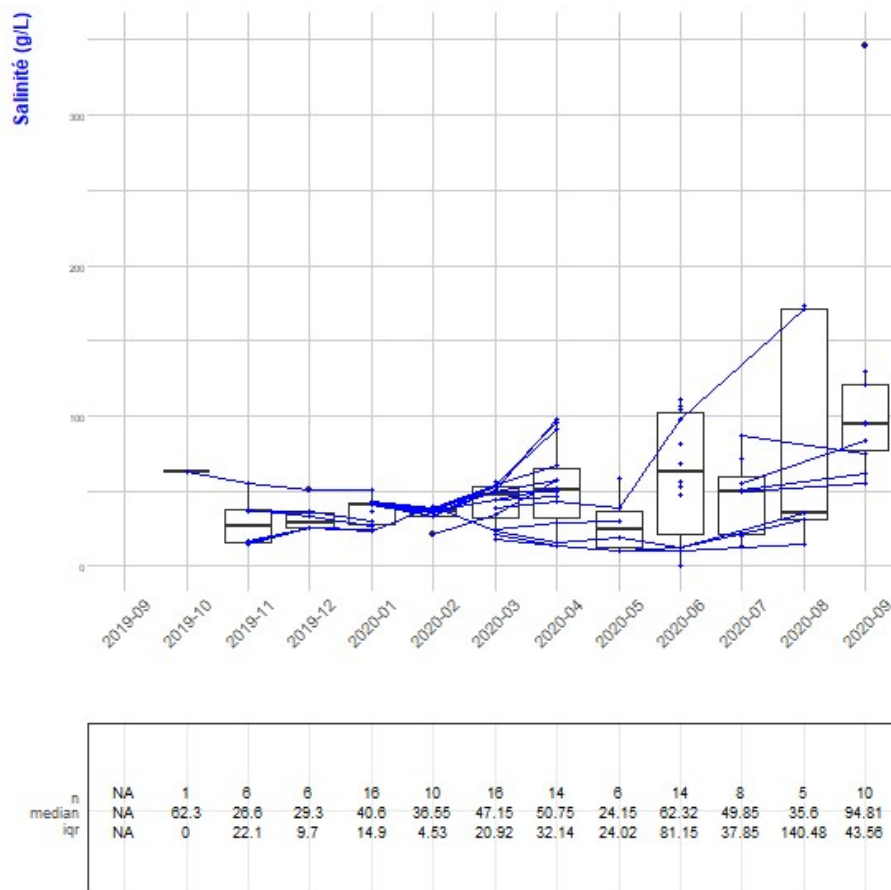


Figure 11: Evolution de la salinité des lagunes temporaires connectées à une lagune permanente au cours de l'année hydrologique 2019-2020 (n=16)

On constate que les **lagunes temporaires connectées à une roubine** semblent avoir des salinités assez stables (Figure 12), au moins durant les périodes de pleine mise en eau. En revanche, cette salinité tend à beaucoup augmenter pour certaines lagunes lors de l'assèchement. Par ailleurs, certaines de ces lagunes ne se sont pas asséchées durant l'été 2020, et sont encore en eau en septembre avec des salinités particulièrement élevées, et une médiane à 99 g/L. Certaines de ces lagunes conservent néanmoins des salinités assez faibles, ne dépassant pas les 50 g/L. Il y a donc une très forte hétérogénéité du fonctionnement hydro-salin de ces lagunes.

Différents éléments peuvent expliquer cela, notamment le fait que certaines roubines apportent de l'eau douce, et d'autres de l'eau salée. De plus, certaines roubines sont gérées activement par les gestionnaires, avec par exemple des apports d'eau douce lors de la période d'assèchement pour maintenir les lagunes en eau (par exemple pour des enjeux cynégétiques ou ornithologiques), tandis que d'autres ne sont pas gérées, et peuvent donc s'assécher en été. Cet assèchement peut ainsi entraîner un fonctionnement similaire à celui d'une lagune temporaire endoréique, expliquant les fortes salinités pouvant être observées.

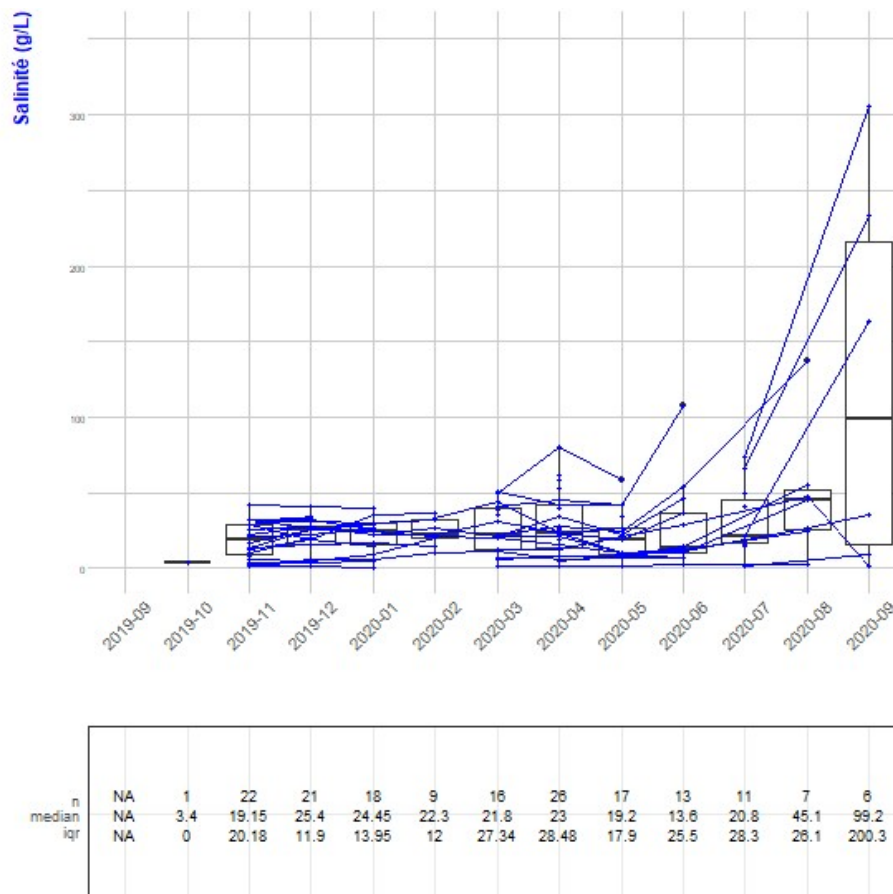


Figure 12: Evolution de la salinité des lagunes temporaires connectées à une roubine au cours de l'année hydrologique 2019-2020 (n=28)

La salinité des **lagunes endoréiques** varie au cours de l'année (Figure 13), augmentant lors de la diminution de la hauteur d'eau due aux précipitations. En effet, étant donné que ces lagunes n'ont pour arrivées d'eau que les précipitations, les seules variations de salinité sont dues à des phénomènes de dilution du sel lors de précipitations et de concentration lors d'évaporation. Deux cas de figure se présentent dans le cas des lagunes temporaires endoréiques. Certaines conservent une salinité assez stable et faible tout au long de l'année, même lors d'une phase d'assèchement ou de précipitations. Cela peut s'expliquer par le fait que pour une lagune ayant initialement une salinité assez faible, les effets de dilution par de l'eau douce et de concentration sont moins importants, donc moins visibles. Pour d'autres, on remarque qu'il y a une première phase d'augmentation de la salinité au mois d'avril, qui peut être interprétée comme un d'assèchement au mois d'avril, pouvant être liée à une absence de précipitations et à une évaporation de l'eau. Au mois de mai, cette salinité diminue, possiblement à cause de précipitations qui ont eu lieu et qui ont dilué le sel dans les lagunes. On note par la suite à nouveau une augmentation des salinités, liée à une évaporation importante due aux températures plus élevées.

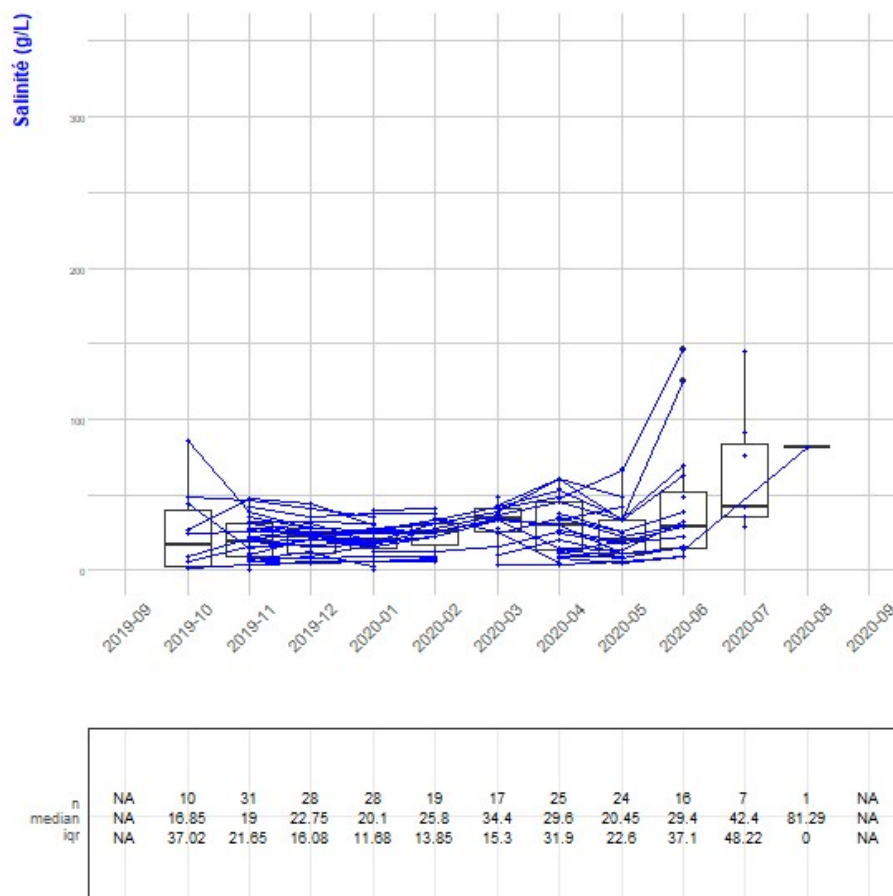


Figure 13: Evolution de la salinité des lagunes temporaires endoréiques au cours de l'année hydrologique 2019-2020 (n=32)

### 4.1.3 Diversité des degrés de trophie

Afin de connaître les niveaux trophiques des lagunes, les teneurs en azote total (TN) et phosphore total (TP) des sédiments des 127 lagunes temporaires ont été analysées (Figure 14).

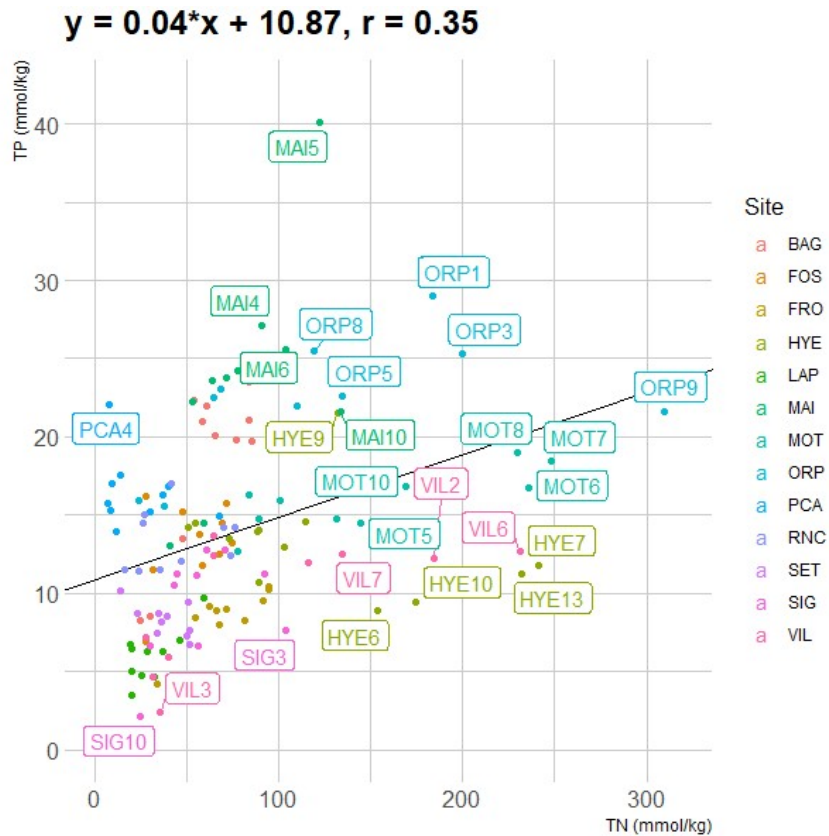
Les teneurs en TN varient d'un facteur 100 et celles en TP d'un facteur 10. Les lagunes temporaires des sites des Orpellières et de la Grande Motte semblent être les plus eutrophes, avec des valeurs de TN et TP respectivement autour de 200 mmol/kg et 20 mmol/kg. Plusieurs sites semblent plutôt oligotrophes, comme ceux de la Palme, Sète, ou encore Hyères, avec des teneurs en TN et TP respectivement inférieures à 60 mmol/kg et 10 mmol/kg.

Les teneurs en TN et TP de lagunes d'un même site sont dans la majorité des cas relativement proches : il semble donc y avoir un effet site. Cela peut s'expliquer par le fait que les lagunes d'un même site vont généralement subir des pressions similaires (par exemple les ruissellements et les apports d'un même bassin versant, avec des teneurs en azote et phosphore similaires) mais aussi car ces lagunes peuvent, dans certains cas, être connectées entre elles au moins sur une période de l'année, ou être connectées à une même pièce d'eau (lagune permanente par exemple). Il y a cependant certains sites pour lesquels cela n'est pas vérifié, tel que le site de Villeneuve-les-Maguelone, dont les teneurs

en TN vont de 40 à 225 mmol/kg et les teneurs en TP de 3 à 13 mmol/kg. Ce site possède des lagunes pouvant avoir des caractéristiques et des fonctionnements assez différents : certaines correspondent à d'anciens salins, d'autres sont naturelles, certaines sont connectées à des roubines et/ou à des lagunes temporaires, d'autres ont un fonctionnement endoréique ... On peut supposer que cette diversité de fonctionnements est à l'origine de ces différences de teneurs dans les sédiments.

Une régression linéaire nous indique un ratio N/P de 25, relativement proche du ratio de Redfield, qui est de 16 (Redfield 1958). Ce ratio de Redfield correspond au rapport molaire entre l'azote et le phosphore dans le phytoplancton. De plus, ce ratio a été mis à jour en 2014 (Martiny et al. 2014), et résulte être de 22. On peut donc supposer que, lorsqu'il y a eutrophisation, les teneurs en azote et phosphore dans les sédiments des lagunes temporaires sont, au moins en partie, dues à l'accumulation de matière organique venant de la colonne d'eau. Cependant, on constate également une variation importante autour de la droite de régression. Cette variation pourrait être due à une diversité de fonctionnements des lagunes, ou encore une diversité d'apports, avec des ratio N/P différents.

D'après les résultats de la régression, lorsque  $TN = 0$  mmol/kg,  $TP = 10.87$  mmol/kg, ce qui signifie qu'une part du phosphore présent dans les sédiments ne serait pas due à la matière organique, mais correspondrait à du phosphore inorganique (cristaux d'apatite, phosphore adsorbé sur des éléments minéraux, tels que les argiles et les oxydes de fer ...). Il est à noter que De Wit et al. (2020), ont obtenu avec des analyses similaires sur des lagunes permanentes une valeur de  $TP = 5.752$  mmol/kg pour un  $TN = 0$  mmol/kg, ce qui est bien inférieur au résultat en lagune temporaire. Cette variation pourrait être expliquée par une différence dans la capacité des sédiments à séquestrer le phosphore, par exemple dû à des teneurs en calcium ou fer différentes. Toutefois, cette comparaison est à prendre avec précaution puisque les sites d'études (localisation et nombres) ne sont pas les mêmes : il n'est donc pas possible de conclure quant au fait que cette différence soit due ou non au caractère temporaire ou permanent d'une lagune.



**Figure 14: Phosphore total en fonction de l'azote total des lagunes temporaires suivies (BAG: Réserve du Bagnas ; FOS : Salins de Fos-sur-Mer ; FRO : Salins de Frontignan ; HYE : Vieux salins de Hyères ; LAP : Salins de La Palme ; MAI : La Grande Maïre ; MOT : La Grande Motte ; ORP : Les Orpellières ; PCA : Petite Camargue ; RNC : Réserve de Camargue ; SET : Salines de Sète ; SIG : Grand Salin de Sigean ; VIL : Salines de Villeneuve)**

#### 4.1.4 Identification des paramètres manquants à l'interprétation

Certains éléments manquent afin d'interpréter au mieux les résultats précédents.

Ainsi, les liens entre salinité (donc hauteur d'eau) et précipitations ne sont que des suppositions puisque les données météorologiques n'ont pas été obtenues. Ces **données météorologiques** sont nécessaires pour confirmer ou non le lien entre les précipitations et la diminution de la salinité.

De plus, les informations concernant les connexions entre la lagune temporaire étudiée et d'autres pièces d'eau ont été obtenues par le biais des questionnaires, qui ont indiqué pour chaque lagune les connexions connues. Or, pour certaines lagunes, certaines connexions visiblement existantes n'ont pas été indiquées par les questionnaires, par oubli ou par manque de connaissance du fonctionnement hydrologique précis du site. Il serait donc intéressant de connaître, pour chaque lagune temporaire, le **nombre et le type de connexions**.

Par ailleurs, les connexions indiquées sont les connexions possibles sur une année hydrologique : ces données ne certifient pas que la connexion a effectivement eu lieu lors de

l'année 2019-2020, ni ne qualifient la connexion, à savoir si elle est ponctuelle, permanente... Or, il semble évident qu'une connexion ayant lieu seulement une fois dans l'année aura a priori un impact plus faible qu'une connexion durant plusieurs mois. Il est donc nécessaire de connaître la **temporalité des connexions** avec la lagune temporaire afin de savoir, mois par mois, s'il y a eu des apports d'eau extérieurs et leur fréquence. Il est aussi utile de connaître différents **paramètres (salinité, degré de trophie ...)** des **connexions** à la lagune temporaire, pour comprendre si ce sont bien ces connexions qui sont à l'origine des variations observées dans la lagune temporaire.

A ceci s'ajoute que certains des sites étudiés subissent une gestion de l'eau, avec des apports d'eau pouvant varier en termes de salinité de l'eau apportée ainsi qu'en termes de période d'apport d'eau. Sans ces informations concernant la **gestion**, il n'est pas possible de savoir si une variation de salinité ou de hauteur d'eau au sein d'une lagune temporaire est due à un apport d'eau par les gestionnaires, ou bien à des phénomènes de naturels.

Enfin, les **connexions éventuelles à la nappe** n'ont pas été étudiées lors de la phase d'élaboration du PRA, ce qui provient de la difficulté à obtenir cette information. Cependant, celle-ci est primordiale pour interpréter les données, car la connexion entre une lagune temporaire et une nappe, qu'elle soit d'eau douce ou d'eau salée, aurait probablement un effet tampon sur la salinité de la lagune temporaire, et pourrait également impacter son niveau d'eau. Connaître les variations de **salinité et de hauteur d'eau de la nappe** permettrait de vérifier ou non une corrélation (et donc une connexion) entre les paramètres de la nappe et ceux de la lagune.

Ces différentes informations seront à intégrer aux protocoles afin de pouvoir interpréter au mieux les autres données recueillies.

## 4.2 Stratégie d'échantillonnage

Au total, 91 lagunes temporaires ont été ciblées pour être les lagunes pilotes, à partir des 247 envisagées, suite aux deux tris successifs effectués. Ces lagunes sont réparties sur 14 sites différents, parmi 10 zones, sur les départements des Pyrénées-Orientales (66), de l'Aude (04), de l'Hérault (34), du Gard (30) et des Bouches-du-Rhône (13) (Tableau 2, Figure 15)

Tableau 2: Sites et lagunes pilotes sélectionnés

Zone (département)	Site	Identifiant du site	Nombre de lagunes ciblées
Réserve du Bagnas (34)	Petit Bagnas	BAG_PET	10
Bassin plaine de l'Aude (11)	Étang de Pissevache	BPA_PIS	9
Complexe lagunaire de Canet (66)	Saint-Nazaire	CAN_NAZ	8
Étang de l'Or (34)	La Grande-Motte	EOR_MOT	6
	Cros-Martin	EOR_CRO	3
Golf de Fos-sur-Mer (13)	Salin du Caban	FOS_CAB	4
	Salin du Relai	FOS_REL	2
Grande Camargue (13)	Réserve naturelle de Camargue	GCA_RNC	7
Orb Libron (34)	Grande Maïre	ORB_MAI	2



	Les Orpellières	ORB_ORP	7
Etangs palavasiens (34)	Salins de Frontignan	PAL_FRO	7
	Salins de Villeneuve	PAL_VIL	10
Complexe lagunaire de Bages-Sigean (11)	Le Grand Salin	SIG_GSA	6
Bassin de Thau (34)	Les Castellias	THA_CAS	10



Figure 15: Localisation des différents sites sélectionnés

Ces 91 lagunes pilotes permettent de représenter certains critères par plus de 20 lagunes, ce qui était souhaité afin de permettre la réalisation d'analyses statistiques fiables à partir des résultats du suivi (Tableau 3). Cependant, certains autres critères sont représentés par un nombre plus faible de lagunes, à savoir « Présence d'espèces d'eau saumâtres », « Présence de *Riella helicophylla* », « Présence de *Tolypella salina* », « Eutrophie », « Connexion à une lagune permanente », « Connexion à une lagune temporaire » et « Connexion à la mer ». Cela s'explique par plusieurs raisons :

- Certains critères étaient représentés par un nombre insuffisant de lagunes dans l'ensemble des lagunes envisagées. Ainsi, seules 9 lagunes remplissaient le critère « connectée à la mer », il n'est donc pas possible d'en cibler un nombre supérieur à 20 ;
- Plusieurs critères étaient bien représentés par plus de 20, mais parmi ces lagunes, la sélection de certaines entraînait une forte redondance au niveau d'autres critères. Par exemple, plusieurs lagunes étaient connectées à une lagune permanente, mais étaient également oligotrophe, un critère déjà représenté par un grand nombre de lagune, et donc peu intéressant à intégrer dans un objectif de limitation du nombre total de lagunes suivies ;
- Lors du second tri, visant à éliminer un certain nombre de lagunes, il a été choisi de ne pas conserver les sites possédant un nombre de lagunes ciblées trop faible, afin de limiter les trajets pour un nombre de lagunes suivies peu important. Ainsi, certaines lagunes correspondant à des critères insuffisamment représentées ont pu être éliminées lors de cette phase.



Tableau 3: Nombre de lagunes correspondant à chaque critère parmi les lagunes pilotes

Objectif	Caractéristique	Critère	Nombre de lagunes
Macrophytes	Espèces présentes	Espèce eaux saumâtres	4
		<i>Lamprothamnium papulosum</i>	31
		<i>Riella helicophylla</i>	8
		<i>Tolypella salina</i>	13
		Absence d'herbier	22
Fonctionnement trophique	Degré de trophie	Oligotrophe	34
		Mésotrophe	45
		Eutrophe	12
Fonctionnement hydrologique	Connexions	Apports eau lagune permanente	7
		Apports eau lagune temporaire	18
		Apports eau mer	7
		Apports eau roubine	33
		Endoréique	22
		Salinité	Salinité entre 5 et 18 g/L
	Salinité entre 18 et 30 g/L		29
	Salinité > 30 g/L		34

### 4.3 Élaboration des protocoles

L'inventaire des paramètres suivis dans le cadre de la phase d'élaboration du PRA et de ceux trouvés par le travail bibliographique a permis d'identifier 45 paramètres d'intérêt. Ces paramètres d'intérêt ont été classés selon 5 catégories en fonction de s'ils concernaient la colonne d'eau, la végétation, les sédiments, la pièce d'eau, ou le site (Annexe 1).

L'AMC est réalisée sur l'ensemble de ces paramètres afin de sélectionner les plus pertinents (Tableau 4).

Tableau 4: AMC des différents paramètres identifiés (Vert : adapté; orange : partiellement adapté; rouge : inadapté)

		Réponse aux problèmes	Coût	Temps / Fréquence de suivi	Continuité des données existantes
Colonne d'eau	Conductivité de l'eau	Vert	Vert	Vert	Vert
	Salinité de l'eau	Vert	Vert	Vert	Vert
	Température de l'eau	Vert	Vert	Orange	Vert
	Transparence de l'eau	Orange	Vert	Vert	Vert
	Hauteur d'eau	Vert	Vert	Vert	Vert
	Oxygène dissous dans l'eau	Vert	Vert	Orange	Rouge
	Teneur en azote de l'eau	Vert	Orange	Vert	Rouge

	Teneur en phosphore de l'eau				
	Teneur en chlorophylle a de l'eau				
	pH de l'eau				
	Teneur en silice de l'eau				
	Teneur en contaminants chimiques dans l'eau				
	Densité cellulaire dans l'eau				
Végétation	Recouvrement de la végétation total				
	Recouvrement de la végétation relatif				
	Composition floristique				
	Richesse spécifique				
	Indice de Shannon				
	Surface de l'herbier				
Sédiments	Granulométrie des sédiments				
	Densité des sédiments				
	Teneur en matière organique des sédiments				
	Teneur en carbonate des sédiments				
	Teneur en azote des sédiments				
	Teneur en phosphore des sédiments				
	Teneur en fer des sédiments				
	pH des sédiments				
	Conductivité sédiments				
	Teneur en eau sédiments				
	Potentiel redox des sédiments				
	Pièce d'eau	Longueur de l'hydropériode			
Surface de la pièce d'eau					
Volume de la pièce d'eau					
Date d'assèchement de la pièce d'eau					
Date d'inondation de la pièce d'eau					
Etat de la connexion à la mer					
% de berge naturelle					
Nombre de périodes d'inondation par an					
Site	Densité de pièce d'eau alentours				
	Indice de Pression Anthropique				
	Indice d'Impact Anthropique				
	Précipitations				
	Température de l'air				
	Évapotranspiration Potentielle				

Cette AMC a permis de mettre en évidence le fait que certains paramètres ne sont pas adaptés au contexte, et ne sont donc pas pertinents pour le suivi à mettre en place. Par exemple, le volume de la pièce d'eau serait un paramètre intéressant à suivre afin de faire le lien avec l'évolution de la salinité (voir 4.1.1). Cependant, obtenir cette information nécessiterait à la fois d'avoir des données fines concernant la bathymétrie des différentes lagunes, mais aussi de pouvoir suivre l'évolution de la surface. Cela pourrait se faire grâce au suivi du périmètre des lagunes par image satellites, ou encore par l'utilisation d'un drone, mais ces deux solutions seraient particulièrement chronophages et/ou coûteuses. De plus, bien que le volume d'eau soit une information intéressante, il peut être approximé par la hauteur d'eau pour une large majorité de lagunes. La mesure de la hauteur d'eau étant particulièrement simple, rapide, et peu coûteuse, c'est cette solution qui sera retenue. Par ailleurs, il a été choisi de suivre à la fois la salinité et la conductivité, bien que ces deux paramètres soient liés. Ce choix a été fait car, face aux fortes salinités pouvant être

rencontrées dans les lagunes temporaires, il arrive que les appareils de mesure de salinité fonctionnent mal (perte de précision, valeur aberrante). L'information concernant la salinité étant centrale dans l'étude des lagunes temporaires, il a donc été choisi par précaution de suivre également la conductivité, permettant d'obtenir la salinité grâce à la température. A la suite de l'AMC, 22 paramètres ont été retenus.

Ces paramètres ont été complétés par ceux identifiés comme manquants pour l'interprétation des données (voir 4.1), à savoir les précipitations, les connexions (nombre et type) et leurs caractéristiques (salinité, oxygène dissout ...), et la profondeur et salinité de la nappe. Au total, ce sont donc 40 paramètres qui seront suivis dans le cadre du PRA (Tableau 5).

Tableau 5: Paramètres sélectionnés pour la réalisation du suivi

Thème	Catégorie	Paramètres	Unité	Fréquence de suivi	Moyen d'obtention de l'information
FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE	Hauteur d'eau	Hauteur d'eau	cm	Mensuelle	Mesure terrain
	Hydropériode	Date de mise en eau	/	Annuelle	Gestionnaire / observation terrain
		Date d'assec	/	Annuelle	Gestionnaire / observation terrain
		Longueur de l'hydropériode	Mois	Annuelle	Calculée à partir de "Date de mise en eau" et "Date d'assec"
	Salinité	Salinité de la pièce d'eau	g/kg	Mensuelle	Mesure terrain
		Conductivité de la pièce d'eau	mS/cm	Mensuelle	Mesure terrain
	Nappe	Profondeur de la nappe	cm	Mensuelle	Mesure terrain
		Salinité de la nappe	g/kg	Mensuelle	Mesure terrain
		Conductivité de la nappe	mS/cm	Mensuelle	Mesure terrain
	Connectivité	Nombre de connexions	/	Mensuelle	Observation terrain
		Type de connexions	/	Mensuelle	Observation terrain
		Temporalité de la connexion	/	Mensuelle	Observation terrain
		Salinité des connexions	g/kg	Mensuelle	Mesure terrain
		Conductivité des connexions	mS/cm	Mensuelle	Mesure terrain
Précipitations	Pluviométrie	mm	Mensuelle	Météo France	
FONCTIONNEMENT TROPHIQUE	Oxygène	Oxygène dissout	mg/L	Mensuelle	Mesure terrain
		Température	°C	Mensuelle	Mesure terrain
		Saturation en oxygène	%	Mensuelle	Calculé à partir de "Oxygène dissous" et " Température"
	Chlorophylle a et algues filamenteuses	Chlorophylle a	µg/L	Mensuelle	Mesure terrain
		Algues filamenteuses	/	Mensuelle	Observation terrain
	Sels nutritifs colonne d'eau	NH4	mg/L	3 fois par an	Analyse en laboratoire
		NO3	mg/L	3 fois par an	Analyse en laboratoire
		NO2	mg/L	3 fois par an	Analyse en laboratoire
		PO4	mg/L	3 fois par an	Analyse en laboratoire
		SiO2	mg/L	3 fois par an	Analyse en laboratoire
	Sédiments	MO	mg/kg	Tous les 3 ans	Analyse en laboratoire
		Ntot	mg/kg	Tous les 3 ans	Analyse en laboratoire
		Nminéral	mg/kg	Tous les 3 ans	Analyse en laboratoire
		Ptot	mg/kg	Tous les 3 ans	Analyse en laboratoire
		Pminéral	mg/kg	Tous les 3 ans	Analyse en laboratoire
	Turbidité	Turbidité	NTU	Mensuelle	Mesure terrain
		Origines possibles de la turbidité	/	Mensuelle	Observation terrain
		Fréquence de turbidité	/	mensuelle	Observation terrain
	Connectivité	Oxygène dissout des connexions	mg/L	Mensuelle	Mesure terrain
Température des connexions		°C	Mensuelle	Mesure terrain	
Chlorophylle a des connexions		µg/L	Mensuelle	Mesure terrain	
MACROPHYTES	Phénologie	Date de floraison	/	Mensuelle	Observation terrain
		Date de fructification	/	Mensuelle	Observation terrain
	Présence et abondance	Recouvrement Végétation Total	/	Annuelle	Mesure terrain
		Recouvrement Végétation Relatif	/	Annuelle	Mesure terrain

Parmi les paramètres retenus, tous ne nécessitent pas la même fréquence de suivi.

La plupart des paramètres seront suivis grâce à un protocole mensuel, à partir du moment où les lagunes sont mises en eau, jusqu'à leur assec (Annexe 2). Ce protocole consiste dans un premier temps à se placer au point le plus profond de la lagune, et à mesurer les paramètres physico-chimiques, ainsi que la concentration en chlorophylle a. Par la suite, le parcours de la lagune permet d'identifier les différentes espèces en fleur et en fruit, la présence d'algues filamenteuses, et les différentes connexions de la lagune temporaire (mer, lagune temporaire, lagune permanente, roubine). Dans chacune des connexions identifiées sera réalisée la mesure des paramètres physico-chimiques, et de la chlorophylle a. Enfin, pour les sites possédant un piézomètre, la profondeur de la nappe, ainsi que sa salinité sera mesurée. Le suivi des sels nutritifs dans la colonne d'eau se fera trois fois par an (durant la période d'inondation, lors de la pleine mise en eau, et lors de la phase d'assèchement) par des analyses en laboratoire. Cela nécessitera donc des prélèvements d'eaux, qui seront réalisés lors des suivis mensuels des mois concernés.

D'autres paramètres ne seront suivis qu'annuellement, notamment les recouvrements totaux et relatifs de la végétation, qui seront relevés au printemps, selon le protocole déjà utilisé dans la phase d'élaboration du PRA (0). Ce protocole consiste à réaliser, à partir d'un point central, 4 transects, orientés vers les 4 points cardinaux. Sur chaque transect, 5 points contacts sont effectués, d'une surface de 7 dm<sup>2</sup> et espacés entre eux de 1m, pour lesquels le recouvrement relatif de chaque espèce, et le recouvrement total de l'herbier est noté.

Enfin, l'analyse des sédiments sera réalisée une fois tous les trois ans. Entre 6 et 8 carottes, de 5 cm de profondeur seront effectués sur chaque lagune pour capter son éventuelle hétérogénéité édaphique. Les échantillons seront ensuite homogénéisés, afin d'atteindre le poids d'1kg, nécessaire à l'analyse des sédiments par le laboratoire.

#### 4.4 Entretien avec les gestionnaires

Des entretiens avec les gestionnaires de sites pilotes ciblés ont été réalisés. Ces entretiens avaient plusieurs objectifs :

- Connaître l'intérêt des gestionnaires pour que leur site fasse partie des sites suivis dans le cadre du PRA, et le cas échéant, évaluer les moyens humains, matériels et financiers dont ils disposent afin de prendre part à ce suivi ;
- Comprendre les informations et connaissances qu'ils possèdent déjà concernant le site, au travers d'étude et de suivis déjà réalisés notamment ;
- Échanger autour de la pertinence des lagunes pilotes sélectionnées.

Des entretiens ont pu être menés avec 6 des 11 gestionnaires concernés par les lagunes pilotes ciblées. Avant chaque entretien, la trame de l'entretien (Annexe 4) a été fournie aux gestionnaires, ainsi que la liste des paramètres qui seront suivis, et une carte des lagunes pilotes ciblées sur le site concerné. Les entretiens ont duré entre 1 et 2h chacun.

Pour 5 d'entre eux, l'entretien a pu être couplé à une visite sur le terrain des lagunes concernées, permettant de mieux appréhender leur fonctionnement.

Le Tableau 6 présente pour chacun des 6 entretiens les informations principales recueillies auprès des gestionnaires. Ces entretiens ont permis de mettre en évidence l'intérêt de la plupart des gestionnaires pour que leurs sites fassent partie des sites pilotes dans le cadre du PRA. Cependant, la plupart d'entre eux ne disposent pas des moyens humains et/ou matériels et financiers pour assurer le suivi, notamment le suivi mensuel prévu. Beaucoup réalisent déjà des suivis sur leur site (5 gestionnaires sur 6), notamment les suivis dans le

cadre du FILMED, mais la plupart de ces suivis sont réalisés sur les lagunes permanentes, et non sur les lagunes temporaires (ou bien seules quelques lagunes temporaires sont concernées). Enfin, certains gestionnaires (4 gestionnaires sur six) ont mis en évidence la présence d'enjeux concernant la nidification d'oiseaux, notamment l'aro-limicoles, sur certaines des lagunes temporaires. Cela peut limiter voir empêcher la réalisation du suivis au printemps, afin d'éviter tout dérangement des populations.

Tableau 6: Synthèse des entretiens avec les gestionnaires de sites pilotes ciblés (LTC : Lagune Temporaire Ciblée)

Zone, Site	Gestionnaire	Ancien salin	Gestion de l'eau	Suivis effectués	Matériel de suivi possédé	Intérêt pour faire parti du PRA	Remarques concernant les LTC
Réserve Naturelle du Bagnas, Petit Bagnas	ADENA	Ancien salin à proximité, mais ne concernent pas les LTC	Non, <b>mais présence d'ouvrages hydrauliques</b> non gérés pouvant entraîner un apport d'eau de l'étang de Thau sur certaines LTC	Suivis <b>FILMED</b> sur le site, dont sur certains LTC Suivis <b>DCE</b> sur le site mais pas sur les LTC Suivis des <b>eaux de surface et souterraines</b> depuis 2000 dont certains sur les LTC	Matériel de suivi de <b>paramètres physico-chimiques</b> <b>Piézomètres</b> sur le site, dont certain sur des LTC	Possibilité de <b>prendre part en partie aux suivis</b> , et <b>d'avertir de la mise en eau</b> des LTC	<b>Enjeux de nidification</b> sur certaines LTC, pouvant limiter la possibilité de réaliser les suivis aux périodes concernées
Bassin plaine de l'Aude, Etang de Pissevache	Communauté de communes la Domitienne	Non	Une LTC située dans une zone aménagée pour un <b>maintien en eau</b> plus tardif (enjeux cynégétiques) Présence <b>d'ouvrages hydrauliques</b> non gérés, pouvant entraîner un apport d'eau de l'Aude sur certaines LTC Présence d'une <b>station d'épuration</b> déversant de l'eau dans une pièce d'eau connectée à une LTC	Suivis <b>FILMED</b> sur le site, dont certains sur des LTC Suivis <b>"rézo du rozo"</b> concernant l'état des roselières, par le suivis de plusieurs piézomètres, dont un sur une lagune temporaires ciblée	Matériel de suivi de <b>paramètres physico-chimiques</b> <b>Piézomètres</b> sur le site, dont certain sur des LTC	Intérêt notamment afin de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du site Possibilité de <b>prendre part en partie aux suivis</b> , et <b>d'avertir de la mise en eau</b> d'une partie des LTC	Lagune impactée par la <b>station d'épuration</b> pouvant avoir un fonctionnement hydrologique particulier, avec une remise en eau dû au déversement par la station, après la forte période d'affluence durant l'été
Etang de Canet, Saint-Nazaire	Syndicat Mixte de Bassin Versant du Réart	Non	Certaines LTC dont les connexions avec la lagune permanente ont été facilitées, pour un <b>maintien en eau tardif</b> (enjeux cynégétiques)	Suivis hebdomadaire des <b>paramètres physico-chimiques</b> dans la lagune permanente	Pas de matériel (suivis non réalisés en interne)	Possibilité <b>d'avertir de la mise en eau</b> d'une partie des LTC	<b>Enjeux de nidification</b> sur certaines LTC, pouvant limiter la possibilité de réaliser les suivis aux périodes concernées
Grande Camargue, Réserve Naturelle de Camargue	Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN)	Non	<b>Canal de drainage</b> d'eau douce pouvant impacter une des LTC	Suivis <b>FILMED</b> sur le site Suivis <b>DCE</b> sur le site Suivi interne de <b>paramètres physico-chimiques</b>	Matériel de suivi de <b>paramètres physico-chimiques</b> Futurs piézomètres sur le site	Pas de temps prévu pour prendre part aux suivis, sauf de manière ponctuelle Possibilité <b>d'avertir de la mise en eau</b> des LTC	Doute concernant certaines LTC, qui pourraient faire partie de la même pièce d'eau
Orb Libron, Les Orpellières	Communauté d'Agglomération Béziers Méditerranée	Non	<b>Nombreux fossés</b> sur l'ensemble du site, reliant les différentes pièces d'eau entre elles	Aucun	Matériel de suivi de <b>paramètres physico-chimiques</b> <b>Piézomètre</b> situé à proximité d'une LTC	<b>Temps et moyens prévus pour participer aux suivis</b> Possibilité <b>d'avertir de la mise en eau</b> des LTC, et de <b>réaliser les suivis du site de la Grande Maïre</b>	<b>Enjeux de nidification</b> sur certaines LTC, pouvant limiter la possibilité de réaliser les suivis aux périodes concernées
Etangs Palavasiens, Salins de Villeneuve	Conservatoire des Espaces Naturels d'Occitanie	Oui pour la majorité des LTC		Suivis <b>FILMED</b> sur le site, dont certains sur des LTC Suivis de <b>salinité / température</b> , dont certains sur des LTC	Matériel de suivi de <b>paramètres physico-chimiques</b> Plusieurs <b>piézomètre</b> sur le site, dont un situé dans une LTC <b>Station météorologique</b> sur le site	Intérêt modéré, au vu des connaissances déjà possédées Possibilité de <b>fournir les données</b> des suivis physico-chimique afin d'éviter des suivis supplémentaires	<b>Enjeux de nidification</b> sur certaines LTC, pouvant limiter la possibilité de réaliser les suivis aux périodes concernées

## 5 DISCUSSION

### 5.1 Limites de la stratégie d'échantillonnage

La sélection des sites pilotes s'est faite parmi les sites qui avaient déjà été étudiés dans le cadre de l'élaboration du PRA, à savoir les sites suivis et les sites prospectés. En effet, ces lagunes ayant déjà été étudiées, un certain nombre de données et d'informations étaient disponibles pour sélectionner les lagunes permettant d'avoir une diversité de salinités, degrés trophiques et de représentation d'espèces caractéristiques. Cependant, ces informations ont toutes été récoltées sur la même année hydrologique, à savoir 2019-2020. On peut donc se demander quelle est la représentativité de cette année concernant le fonctionnement des lagunes. Par exemple, la station météorologique Montpellier-Aéroport a enregistré des précipitations annuelles de 439mm sur l'année hydrologique 2018-2019, 528.9 mm sur l'année 2019-2020 et 341.9mm sur 2021-2021, ce qui témoigne de fortes variations interannuelles (Météo France). L'année du suivi a été une année avec des précipitations particulièrement importantes, qui ont pu impacter le niveau d'eau des lagunes temporaires, ainsi que leurs fonctionnements. Ainsi, certaines lagunes ont pu être sélectionnées sur des critères qu'elles ne remplissent en réalité que ponctuellement, dans certains cas « extrêmes » qui ont pu être captés lors de l'élaboration du PRA.

De plus, les sites suivis dans le cadre de l'élaboration du PRA ont été choisis pour être caractéristiques de l'habitat lagune temporaire (présence d'espèces caractéristiques). Les lagunes temporaires ayant des fonctionnements moins caractéristiques ont donc été peu représentées dans cette étude. C'est le cas par exemple des lagunes ayant des salinités moins élevées, ou encore avec des temps de mise en eau plus longs. Ces lagunes, bien que typiques, ne sont donc pas représentatives de la diversité de lagunes temporaires existant en méditerranée. Or, c'est en partie au sein de ces lagunes temporaires que les lagunes pilotes ont été sélectionnées (les lagunes suivies lors du PRA représentant la moitié des lagunes au sein desquelles la sélection s'est faite). Sachant que les lagunes suivies représentent au final deux tiers des lagunes pilotes ciblées, on peut questionner la représentativité de celles-ci vis-à-vis de la variabilité environnementale que l'on souhaite étudier.

Par ailleurs, les lagunes prospectées sont des lagunes qui n'ont été étudiées que lors d'un unique passage, contrairement aux lagunes suivies. Le protocole appliqué sur ces lagunes prospectées était également moins lourd, notamment pour des questions de temps. Ainsi, plusieurs paramètres n'ont pas été mesurés mais seulement indiqués qualitativement, comme le degré de trophie qui a été indiqué à dire d'expert. A défaut d'informations plus précises, ce sont ces données qui ont été utilisées pour catégoriser les différentes lagunes prospectées lors de la sélection des lagunes pilotes. Il est donc probable que certaines lagunes aient été mal catégorisées. Cela entraînerait un changement du nombre de lagunes pour certaines modalités, ce qui pourrait poser problème lors des analyses statistiques qui seront réalisées sur les données obtenues suite au suivi.

## 5.2 Limites des protocoles

En 2018, l'UMS Patrinat, en partenariat avec plusieurs autres structures dont le Pôle Relais Lagunes, a proposé une méthode d'évaluation de l'état de conservation des lagunes côtières d'intérêt communautaire (Lepareur et al. 2018). Cette méthode propose 12 indicateurs, ainsi que les protocoles permettant de les évaluer, dont certains peuvent s'appliquer aux lagunes temporaires. Parmi ces protocoles, un concerne l'étude des macrophytes au travers de l'abondance, de la composition et de la diversité de la flore, et ce en considérant le recouvrement des différentes espèces en présence. Pour cela, l'évaluation du cortège floristique se fait par plusieurs relevés correspondant à des cercles de 2m de diamètre, aléatoirement répartis dans la lagune, dont le nombre dépend de la surface de la lagune temporaire étudiée.

Ce protocole ne répondant pas aux mêmes questions que celles posées par le PRA, c'est un autre protocole qui a été élaboré, dit protocole « en croix » (0). Ainsi, ces deux protocoles s'intéressent aux mêmes paramètres, mais avec une approche et des objectifs différents.

Une comparaison entre les deux protocoles a été réalisée (Tableau 7), réalisée à partir de retours d'expérience en interne, et alimentée par un questionnaire ayant mis en place les deux protocoles (Xavier Fortuny, communication personnelle, 06 juillet 2023).

*Tableau 7: Comparaison des protocoles d'étude des macrophytes de lagunes temporaires*

	<b>Protocole DCE</b>	<b>Protocole « en croix »</b>
<b>Intérêts</b>	Capte la diversité des herbiers de la lagune, notamment en bordure	Rapide à mettre en place Permet une continuité avec les données de la phase d'élaboration du PRA
<b>Inconvénients</b>	Chronophage Turbidité provoquée par les déplacements rendant la mesure difficile	Un seul relevé sur la lagune, éloigné du bord, donc ne capte pas l'hétérogénéité des macrophytes Turbidité provoquée par les déplacements rendant la mesure difficile

Au vu de cette comparaison, il a été décidé de conserver le protocole en croix pour le suivi des macrophytes, et non de changer pour le protocole DCE. Cela implique que les suivis réalisés ne permettront pas de capter toute l'hétérogénéité des macrophytes au sein des lagunes temporaires, notamment un éventuel effet bord. Cependant, le temps consacré à la mise en place du protocole a été un critère important, puisque chaque suivi doit pouvoir être fait sur les différentes lagunes pilotes d'un même site sur une seule journée, ce qui n'aurait pas été possible en utilisant le protocole DCE. De plus, utiliser les données de la phase d'élaboration du PRA permettra d'étudier l'évolution des macrophytes depuis 2020, ce qui ne serait pas possible en changeant le protocole.

## 5.3 Études complémentaires

Dû aux contraintes de temps et de moyen du PRA, les protocoles proposés dans le cadre de ce stage ne couvrent qu'une partie des éléments pouvant être étudiés afin de mieux



comprendre les fonctionnements des lagunes temporaires. En effet, d'autres paramètres qui auraient pu apporter des informations pertinentes pour répondre aux questions scientifiques énoncées dans ce projet n'ont pas été sélectionnés car leur étude n'aurait pas pu être mise en place dans le cadre du suivi. L'une des contraintes ayant limité le choix des paramètres à suivre est le fait de réaliser le suivi *in-situ*. En effet, cela implique une absence de contrôle et parfois un manque de connaissance des différents paramètres pouvant varier. Il serait néanmoins possible de réaliser des expériences *ex-situ*, afin de se libérer des contraintes de l'*in-situ* et de compléter les connaissances au sujet des lagunes temporaires méditerranéennes.

Travailler en *ex-situ* permettrait de contrôler les conditions environnementales du milieu, et de pouvoir décorrélérer certains paramètres (par exemple la date de mise en eau et la durée d'inondation), ce qui permet une étude fine de leur impact sur la lagune. L'impact des paramètres environnementaux sur la phénologie des macrophytes pourrait notamment être mieux compris. En *in-situ*, l'une des difficultés majeure est l'identification des différentes espèces avant la floraison, car elles sont particulièrement ressemblantes, notamment pour des personnes n'étant pas expertes, comme cela sera majoritairement le cas lors des suivis. Ainsi, seuls les stades fleur et fruit peuvent être facilement étudiés en *in-situ*. Travailler en *ex-situ* permettrait de contrôler l'espèce étudiée, et donc de surpasser la contrainte de détermination, permettant ainsi d'étudier par exemple l'effet des paramètres environnementaux sur la phénologie des stades de germination et de feuillaison, espèce par espèce. Un suivi *ex-situ* permettrait également un suivi plus régulier car non assujéti à des contraintes de déplacement et d'accessibilité des lagunes.

D'autres phénomènes peuvent être étudiés en *ex-situ*, comme le relargage des nutriments suite à l'assec estival et à la remise en eau automnale. En effet, contrairement aux lagunes permanentes, les sédiments des lagunes temporaires subissent une phase d'assec de plusieurs semaines en été. La quantité d'oxygène supplémentaire par rapport à une phase de mise en eau pourrait avoir un impact sur l'activité bactérienne dans les sédiments, et donc sur la minéralisation des nutriments. Ce phénomène pourrait entraîner une teneur supérieure de nutriments disponibles pour les macrophytes et autres organismes lors de la remise en eau, et donc impacter leur développement et le degré de trophie de la lagune. Étudier ce phénomène en *ex-situ* permettrait de comparer la minéralisation d'un milieu subissant un assec et un autre n'en subissant pas, tout en pouvant contrôler avec précision la longueur de l'assec par exemple.

Enfin, les différents protocoles proposés dans le cadre de ce stage cherchent à répondre aux questions scientifiques énoncées par les fiches actions 1.2 à 1.6 du PRA. Cependant, d'autres phénomènes n'étant pas couverts par les questions scientifiques énoncées peuvent avoir leur importance dans le fonctionnement des lagunes. Notamment, parmi les différentes pressions pouvant être subies par les lagunes temporaires méditerranéennes, seul le phénomène d'eutrophisation est étudié dans le cadre du suivi proposé. Or, on peut s'attendre à ce que le fonctionnement des lagunes temporaires méditerranéennes en fasse des milieux vulnérables à d'autres menaces : accumulation de métaux lourds, de pesticides, comblement des lagunes... (Voir 2.3) Ces différentes menaces n'ont *a priori* jamais été étudiées sur les lagunes temporaires méditerranéennes. Il pourrait donc être envisagé

d'élargir les protocoles proposés afin d'intégrer l'étude de ces différents phénomènes, permettant de mieux comprendre et caractériser les lagunes temporaires méditerranéennes, et par extension pouvoir mieux les conserver.

## CONCLUSION

Le recensement et la comparaison des différents paramètres pouvant être utilisés pour suivre les lagunes temporaires a permis de mettre en évidence ceux pertinents dans le cadre du suivi de la phase d'action du PRA, et l'élaboration d'un protocole de suivi. Appliqués aux lagunes pilotes sélectionnées sur l'ensemble du littoral méditerranéen continental, ce suivi devrait assurer la récolte de données permettant une avancée conséquente dans la connaissance de ce milieu méconnu et lourdement impacté par les activités anthropiques, ainsi que des réponses aux questions soulevées par le PRA. Ces connaissances permettront une meilleure prise en compte des lagunes temporaires dans la gestion des zones côtières.

Cependant, ce suivi reste limité, tant dans le temps et dans l'espace, que dans les axes auxquels il s'intéresse. Une étude réalisée durant 2 ans sur 91 lagunes temporaires ne peut permettre une compréhension totale de cet habitat, de son fonctionnement et de sa diversité. Ce suivi devrait néanmoins permettre d'apporter des réponses aux questions soulevées par le PRA, mais aussi probablement d'ouvrir vers de nouvelles interrogations concernant ce milieu. De nombreux autres éléments restent à étudier et à comprendre concernant les lagunes temporaires méditerranéennes, notamment les différentes menaces, dont les impacts sur ces habitats restent encore méconnus.

Enfin, le protocole n'ayant jamais été testé sur le terrain, et s'intéressant à un habitat encore peu connu, il est probable que certains éléments ne soient pas pertinents, efficaces, ou que d'autres soient manquants. Ce protocole sera donc amené à évoluer par le futur, afin d'être plus adapté à l'habitat lagune temporaire méditerranéennes et à son contexte.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguesse, P., et F. Marazanof. 1965. « Les modifications des milieux aquatiques de Camargue au cours des 30 dernières années ». *Annales de Limnologie* 1 (2): 163-190. <https://doi.org/10.1051/limn/1965001>.
- Bagella, S., M. C. Caria, E. Farris, et R. Filigheddu. 2009. « Spatial-time Variability and Conservation Relevance of Plant Communities in Mediterranean Temporary Wet Habitats: A Case Study in Sardinia (Italy) ». *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 143 (3): 435-442. <https://doi.org/10.1080/11263500903187068>.
- Barral, M., V.C. Sourribes, E. Bourgeois, E. Gavoty, N Barré, et C. Tillier. 2007. *Synthèse sur les zones humides françaises, à destination des gestionnaires, élus et acteurs de terrain*. Vol. vol.3. Vers une gestion intégrée des lagunes méditerranéennes.
- Bensettiti, Farid, J. Roland, et Lacoste. 2004. « Cahier d'habitats » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats d'intérêt communautaire*. Cahiers d'habitats, tome 2. Paris: Documentation française.
- Bissardon, Miriam, Lucas Guibal, et Jean-Claude Rameau. 1997. « CORINE biotopes, Version originale, Types d'habitats français ».
- Bouahim, Siham, Laila Rhazi, Btissam Amami, Aline Waterkeyn, Mouhssine Rhazi, Er-Riyahi Saber, Abdelmjid Zouahri, et al. 2014. « Unravelling the Impact of Anthropogenic Pressure on Plant Communities in Mediterranean Temporary Ponds ». *Marine and Freshwater Research* 65 (10): 918. <https://doi.org/10.1071/MF13194>.
- Buckwell, Philippe, Alain Sandoz, Philippe Chauvelon, et Valérie Prosper-Laget. 1999. « Étude et suivi d'un milieu aquatique temporaire endoréique méditerranéen : les Cerisières (tour du Valat, Camargue) ». *Méditerranée* 93 (4): 19-26. <https://doi.org/10.3406/medit.1999.3126>.
- Capblancq, J. 2002. « L'eutrophisation des eaux continentales : questions à propos d'un processus complexe Towards a sustainable control of eutrophication of continental waters ». *Nature Sciences Sociétés* 10 (2): 6-17. [https://doi.org/10.1016/S1240-1307\(02\)80066-8](https://doi.org/10.1016/S1240-1307(02)80066-8).
- Castaing, Jérôme. 2008. « État de l'art des connaissances du phénomène de comblement des milieux lagunaires ».
- Cizel, Olivier. 2017. « Zones humides : l'évolution du cadre juridique ». *Sciences Eaux & Territoires* Numéro 24 (3): 22. <https://doi.org/10.3917/set.024.0022>.
- Cloern, Je. 2001. « Our Evolving Conceptual Model of the Coastal Eutrophication Problem ». *Marine Ecology Progress Series* 210: 223-253. <https://doi.org/10.3354/meps210223>.
- Daloz, Aurélien, Nabila Gaertner-Mazouni, Marc Barral, Nathalie Malet, Laurent Moragues, Annie Fiandrino, Thierry Laugier, Valérie Derolez, et Dominique Munaron. 2009. « Le Réseau de Suivi Lagunaire : un outil de diagnostic et d'aide à l'action pour la lutte contre l'eutrophisation des lagunes ».
- De Bettignies, T., M. La Rivière, J. Delavenne, S. Dupré, V. Gaudillat, A.-L. Janson, F. Leparreur, et al. 2021. « Interprétation française des Habitats d'Intérêt

- Communautaire marins ».
- De Wit, Rutger. 2011. « Biodiversity of Coastal Lagoon Ecosystems and Their Vulnerability to Global Change ». In *Ecosystems Biodiversity*, édité par Oscar Grillo. InTech. <https://doi.org/10.5772/24995>.
- De Wit, Rutger, Maria-Carmen Guerrero, Alfredo Legaz, Henk M. Jonkers, Laëtitia Blocier, Charles Gumiaux, et Pascale Gautret. 2013. « Conservation of a Permanent Hypersaline Lake: Management Options Evaluated from Decadal Variability of *Coleofasciculus Chthonoplastes* Microbial Mats: CONSERVATION OF A PERMANENT HYPERHALINE LAKE ». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 23 (4): 532-545. <https://doi.org/10.1002/aqc.2319>.
- De Wit, Rutger, Amandine Leruste, Ines Le Fur, Mariam Maki Sy, Béatrice Bec, Vincent Ouisse, Valérie Derolez, et Hélène Rey-Valette. 2020. « A Multidisciplinary Approach for Restoration Ecology of Shallow Coastal Lagoons, a Case Study in South France ». *Frontiers in Ecology and Evolution* 8 (mai): 108. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00108>.
- De Wit, Rutger, Alice Vincent, Ludovic Foulc, Mario Kleszczewski, Olivier Scher, Claudine Loste, Marc Thibault, Brigitte Poulin, Lisa Ernoul, et Olivier Boutron. 2019. « Seventy-Year Chronology of Salinas in Southern France: Coastal Surfaces Managed for Salt Production and Conservation Issues for Abandoned Sites ». *Journal for Nature Conservation* 49 (juin): 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.03.003>.
- Di Paola, Gianluigi, Germán Rodríguez, et Carmen M. Roskopf. 2023. « Shoreline Dynamics and Beach Erosion ». *Geosciences* 13 (3): 74. <https://doi.org/10.3390/geosciences13030074>.
- Geijwendorffer, Ilse, Laurent Chazée, Elie Gaget, Thomas Galewski, et Laurent Perennou. 2018. « Mediterranean Wetlands Outlook 2 : Solutions for sustainable mediterranean wetlands ».
- Giraud, Anaïs, et Stéphane Stroffek. 2016. « Connaissance des lagunes, Bilan et stratégie dans le cadre de la mise en oeuvre du SDAGE 2016-2021 ».
- Grillas, Patrick. 1992. « Les communautés macrophyte submergées des marais temporaires oligo-halins de Camargue. Etude expérimentale des causes de la distribution des espèces ».
- Kneitel, Jamie M. 2014. « Inundation Timing, More than Duration, Affects the Community Structure of California Vernal Pool Mesocosms ». *Hydrobiologia* 732 (1): 71-83. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1845-1>.
- La Jeunesse, Isabelle. 2001. « Etude intégrée dynamique du phosphore dans le système bassin versant- Lagune de Thau (Mer Méditerranée, Hérault) ».
- Lakhdar, Rached, Mohamed Soussi, Mohamed Hédi Ben Ismail, et Ali M'Rabet. 2006. « A Mediterranean Holocene Restricted Coastal Lagoon under Arid Climate: Case of the Sedimentary Record of Sabkha Boujmel (SE Tunisia) ». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 241 (2): 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.02.014>.
- Latron, Mathilde, Aubin Allies, Olivier Argagnon, Nadine Bosc, Karine Faure, Hugo Fontes, Patrick Grillas, James Molina, Rutger De Wit, et Guillaume Papuga. 2022. « Mediterranean Temporary Lagoon: Proposal for a Definition of This Endangered Habitat to Improve Its Conservation ». *Journal for Nature Conservation* 68 (août): 126193. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126193>.
- Latron, Mathilde, Karine Faure, Aubin Allies, Pablo Massart, R Alric, et Guillaume

- Papuga. 2021. « Plan Régional d'Actions en faveur des Lagunes temporaires méditerranéennes ».
- Lauret, Michel, Jocelyne Oheix, Valérie Derolez, et Thierry Laugier. 2011. *Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon*.
- Le Fur, I, R De Wit, M Plus, J Oheix, V Derolez, M Simier, N Malet, et V Ouisse. 2019. « Re-Oligotrophication Trajectories of Macrophyte Assemblages in Mediterranean Coastal Lagoons Based on 17-Year Time-Series ». *Marine Ecology Progress Series* 608 (janvier): 13-32. <https://doi.org/10.3354/meps12814>.
- Le Fur, Ines. 2018. « Role des macrophytes dans la restauration des milieux lagunaires - successions écologiques ».
- Le Fur, Ines, Rutger De Wit, Martin Plus, Jocelyne Oheix, Monique Simier, et Vincent Ouisse. 2018. « Submerged Benthic Macrophytes in Mediterranean Lagoons: Distribution Patterns in Relation to Water Chemistry and Depth ». *Hydrobiologia* 808 (1): 175-200. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3421-y>.
- Le Marchand, Marie. 2017. « Dynamique Hivernale des Nutriments et du Carbone dans les Exutoires du Marais Poitevin et Flux Terrestres Associés en Baie de l'Aiguillon ».
- Lepareur, F, S Bertrand, E Morin, M Le Floch, N Barré, M Garrido, L Riera, et V Mauclert. 2018. « État de conservation des « Lagunes côtières » d'intérêt communautaire (UE 1150\*), Méthode d'évaluation à l'échelle du site - Guide d'application (Version 2) ».
- Louvel, Justine, Vincent Gaudillat, et Laurent Poncet. 2013. « Système d'informations européen sur la nature, Classification des habitats, Traduction française ».
- Martiny, Adam C, Jasper A Vrugt, et Michael W Lomas. 2014. « Concentrations and Ratios of Particulate Organic Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in the Global Ocean ». *Scientific Data* 1 (1): 140048. <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.48>.
- McSweeney, S.L., D.M. Kennedy, I.D. Rutherford, et J.C. Stout. 2017. « Intermittently Closed/Open Lakes and Lagoons: Their Global Distribution and Boundary Conditions ». *Geomorphology* 292 (septembre): 142-52. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.04.022>.
- MedECC. 2020. « Changement climatique et environnemental dans le bassin méditerranéen – Situation actuelle et risques pour le futur. Premier rapport d'évaluation sur la Méditerranée (MAR1) ».
- Météo France. s. d. « Climat Aéroport-Montpellier - Relevés ». Météo France. Consulté le 8 août 2023. <https://meteofrance.com/climat/relevés/france/occitanie/montpellier-aeroport>.
- Munaron, Dominique, Camille Gianaroli, Nicolas Cimiterra, Valérie Derolez, Vincent Ouisse, et Anaïs Giraud. 2022. « Bilan 2020-2021 du Suivi des Lagunes Méditerranéennes ».
- Nixon, Scott W. 1995. « Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns ». *Ophelia* 41 (1): 199-219. <https://doi.org/10.1080/00785236.1995.10422044>.
- OFB. 2015. « Surveillance de la qualité de l'eau (chimique, écologique) dans le cadre DCE ». Le portail technique de l'OFB. 2015. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/282>.
- Oswatte Liyanage, Priyashani. 2021. « Suivi spatiotemporel des eaux de surface dans les lagunes côtières méditerranéennes (France) ».

- Papuga, Guillaume, et Frédéric Andrieu. 2018. « Les macrophytes et les végétations aquatiques de la Réserve Naturelle Nationale du Bagnas Inventaires, état de conservation et indicateurs de suivis des lagunes temporaires et permanentes ».
- Pinay, Gilles, Chantal Gascuel, Alain Ménesguen, Yves Souchon, Morgane Le Moal, Alix Levain, Claire Etrillard, Florentina Moata, Alexandrine Pannard, et Philippe Souchu. 2018. *L'eutrophisation, Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2757-0>.
- Pinto-Cruz, C., A.M. Barbosa, J.A. Molina, et M.D. Espírito-Santo. 2011. « Biotic and Abiotic Parameters That Distinguish Types of Temporary Ponds in a Portuguese Mediterranean Ecosystem ». *Ecological Indicators* 11 (6): 1658–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.012>.
- Pôle relais lagunes méditerranéennes. 2008. « Mieux gerer les lagunes mediterraneennes ».
- . s. d. « Le FILMED, un réseau de suivi des milieux lagunaires ». Pôle lagunes. Consulté le 4 mai 2023. <https://pole-lagunes.org/en-action/le-filmed-un-reseau-de-suivi-des-milieux-lagunaires/>.
- Redfield, Alfred. 1958. « The Biological Control of Chemical Factors in the Environment ».
- Sánchez, Ana Elena. 2012. « Indicateur macrophytes dans les lagunes oligo-halines et méso-halines ».
- Schindler, D. W. 1975. « Whole-lake eutrophication experiments with phosphorus, nitrogen and carbon ». *SIL Proceedings, 1922-2010* 19 (4): 3221–31. <https://doi.org/10.1080/03680770.1974.11896436>.
- Souchu, Philippe, Eric Abadie, et Catherine Vercelli. 1998. « La crise anoxique du bassin de Thau de l'été 1997. Bilan du phénomène et perspectives ».
- Souchu, Philippe, Béatrice Bec, Val H. Smith, Thierry Laugier, Annie Fiandrino, Laurent Benau, Valérie Orsoni, Yves Collos, et André Vaquer. 2010. « Patterns in Nutrient Limitation and Chlorophyll *a* along an Anthropogenic Eutrophication Gradient in French Mediterranean Coastal Lagoons ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67 (4): 743–53. <https://doi.org/10.1139/F10-018>.
- Van den Broeck, Maarten, Aline Waterkeyn, Laila Rhazi, Patrick Grillas, et Luc Brendonck. 2015. « Assessing the Ecological Integrity of Endorheic Wetlands, with Focus on Mediterranean Temporary Ponds ». *Ecological Indicators* 54 (juillet): 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.016>.
- Venice System. 1958. « The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity ». *Limnology and Oceanography* 3 (3): 346–47. <https://doi.org/10.4319/lo.1958.3.3.0346>.
- Zittis, G., M. Almazroui, P. Alpert, P. Ciais, W. Cramer, Y. Dahdal, M. Fnais, et al. 2022. « Climate Change and Weather Extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East ». *Reviews of Geophysics* 60 (3): e2021RG000762. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>.



## Annexe 1 LISTE DES PARAMETRES IDENTIFIES DANS LES SUIVIS DU PRA ET LE TRAVAIL BIBLIOGRAPHIQUE

	Paramètre	Source(s)
<b>COLONNE D'EAU</b>	Conductivité de l'eau	Suivi PRA; Grillas, 1992; Kneitel, 2014
	Salinité de l'eau	Suivi PRA; De Wit et al., 2013; Le Fur et al., 2018; Le Marchand, 2017; Papuga et Andrieu, 2018; Souchu et al., 2010
	Température de l'eau	Suivi PRA; De Wit et al., 2013; Grillas, 1992; Le Fur et al., 2018; Le Marchand, 2017; Papuga et Andrieu, 2018; Souchu et al., 2010
	Transparence de l'eau	Suivi PRA; Kneitel, 2014; Le Fur et al., 2018; Le Fur et al., 2019; Le Marchand, 2017; Papuga et Andrieu, 2018; Sanchez, 2012
	Hauteur d'eau	Suivi PRA; Bagella et al., 2009; Bouahim, 2010; Buckwell et al., 1999; De Wit et al., 2013; Papuga et Andrieu, 2018; Souchu et al., 2010; VanDesBroeck, 2015
	Oxygène dissous dans l'eau	De Wit et al., 2013; Kneitel, 2014; Papuga et Andrieu, 2018; VanDesBroeck, 2015
	Teneur en azote de l'eau	Le Fur et al., 2018; Le Fur et al., 2019; Le Marchand, 2017; Barré et al., 2020; Sanchez, 2012; Souchu et al., 2010; VanDesBroeck, 2015
	Teneur en phosphore de l'eau	Le Fur et al., 2018; Le Fur et al., 2019; Le Marchand, 2017; Barré et al., 2020; Sanchez, 2012; Souchu et al., 2010; VanDesBroeck, 2015
	Teneur en chlorophylle a de l'eau	Le Fur et al., 2018; Le Fur et al., 2019; Le Marchand, 2017; Sanchez, 2012; Souchu et al., 2010
	pH de l'eau	Le Marchand, 2017; Papuga et Andrieu, 2018; Papuga et Andrieu, 2018; VanDesBroeck, 2015
	Teneur en silice de l'eau	Le Marchand, 2017
	Teneur en contaminants dans l'eau	Barré et al., 2020
	Densité cellulaire dans l'eau	Sanchez, 2012
<b>VEGETATION</b>	Recouvrement de la végétation total	Suivi PRA; Bagella et al., 2009; Barré et al., 2020; Papuga et Andrieu, 2018; Sanchez, 2012; VanDesBroeck, 2015
	Recouvrement de la végétation relatif	Suivi PRA; Bagella et al., 2009; Barré et al., 2020; Papuga et Andrieu, 2018; Sanchez, 2012; VanDesBroeck, 2015
	Composition floristique	Suivi PRA; Bagella et al., 2009; Papuga et Andrieu, 2018; VanDesBroeck, 2015
	Richesse spécifique	Suivi PRA; Bagella et al., 2009; Bouahim, 2010; Grillas, 1992; Barré et al., 2020; VanDesBroeck, 2015
	Indice de Shannon	Bagella et al., 2009
<b>SEDIMENTS</b>	Surface de l'herbier	Barré et al., 2020
	Granulométrie du sol	Suivi PRA; Bouahim, 2010; Buckwell et al., 1999; Grillas, 1992; Papuga et Andrieu, 2018; PintoCruz et al., 2011; Sanchez, 2012; VanDesBroeck, 2015
	Densité du sol	Suivi PRA
	Teneur en matière organique du sol	Suivi PRA; Bouahim, 2010; Le Fur et al., 2019; Barré et al., 2020; Papuga et Andrieu, 2018; PintoCruz et al., 2011; Sanchez, 2012; VanDesBroeck, 2015
	Teneur en carbonate du sol	Suivi PRA; Grillas, 1992; Papuga et Andrieu, 2018
	Teneur en azote du sol	Suivi PRA; Bouahim, 2010; Grillas, 1992; Kneitel, 2014; Le Fur et al., 2019; Barré et al., 2020; Papuga et Andrieu, 2018; PintoCruz et al., 2011; Sanchez, 2012
	Teneur en phosphore du sol	Suivi PRA; Bouahim, 2010; Grillas, 1992; Kneitel, 2014; Le Fur et al., 2019; Barré et al., 2020; Papuga et Andrieu, 2018; Sanchez, 2012
	Teneur en fer du sol	Suivi PRA
	pH sédiments	Bouahim, 2010; PintoCruz et al., 2011
	Conductivité sédiments	Grillas, 1992; PintoCruz et al., 2011
	Teneur en eau sédiments	Grillas, 1992; Papuga et Andrieu, 2018
Potentiel redox des sédiments	VanDesBroeck, 2015	



<b>PIECE D'EAU</b>	Longueur de l'hydropériode	Suivi PRA; Bagella et al., 2009; Kneitel, 2014; VanDesBroeck, 2015; Oswatte, 2021
	Surface de la pièce d'eau	Bagella et al., 2009; Bouahim, 2010; Buckwell et al., 1999; De Wit et al., 2013; Barré et al., 2020; Souchu et al., 2010; Oswatte, 2021
	Volume de la pièce d'eau	De Wit et al., 2013; Souchu et al., 2010
	Date d'assèchement de la pièce d'eau	Grillas, 1992; Kneitel, 2014; Oswatte, 2021
	Date d'inondation de la pièce d'eau	Grillas, 1992; Kneitel, 2014; Papuga et Andrieu, 2018; Oswatte, 2021
	Etat de la connexion à la mer	Barré et al., 2020
	% de berge naturelle	Barré et al., 2020
	Nombre de périodes d'inondation par an	VanDesBroeck, 2015
<b>SITE</b>	Densité de pièce d'eau alentours	Bouahim, 2010
	Indice de Pression Anthropique	Bouahim, 2010
	Indice d'Impact Anthropique	Bouahim, 2010
	Précipitations	Buckwell et al., 1999; Le Marchand, 2017
	Température de l'air	Le Marchand, 2017
	Evapotranspiration Potentielle	PintoCruz et al., 2011

PROTOCOLE TERRAIN LAGUNES TEMPORAIRES SUIVI MENSUEL				
Informations Générales				
Date				
Observateur(s)				
Zone				
Site				
N° de lagune				
Coordonnées	X :	Y :		
Au point le plus profond de la lagune				
En eau	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non		
Turbidité (NTU)				
Température (°C)				
Oxygène dissous (mg/L)				
Hauteur d'eau (cm)				
Salinité (g/L)				
Conductivité (ms/cm)				
Chlorophylle a (µg/L)				
Prélèvement eau pour sels nutritifs	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	Identifiant :	
Durant larcours de la lagune				
Connexion à d'autres pièces d'eau	<input type="checkbox"/> Lagune temporaire <input type="checkbox"/> Mer	<input type="checkbox"/> Lagune permanente <input type="checkbox"/> Roubine		
Espèce(s) en fleur				
Espèce(s) en fruit				
Algues filamenteuses	<input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/> Un peu	<input type="checkbox"/> Beaucoup	
Origine(s) possible de la turbidité	<input type="checkbox"/> Oiseaux Autre :	<input type="checkbox"/> Chevaux	<input type="checkbox"/> Vent	
Dans les pièces d'eau connectées				
	Lagune temporaire	Lagune permanente	Mer	Roubine
Salinité (g/L)				
Conductivité (mS/cm)				
Température (°C)				
Oxygène dissous (mg/L)				
Chlorophylle a (µg/L)				

)				
<b>Dans le piézomètre</b>				
Profondeur de la nappe (cm)				
Salinité (g/L)				
Conductivité (mS/cm)				

Le suivi macrophytes doit se faire au moment de la reproduction des herbiers, moment le plus propice pour différencier certaines espèces (entre mars et mai). Au total 1.6 m<sup>2</sup> sont prospectés exhaustivement sur une surface de 200 m<sup>2</sup> (les pièces d'eau doivent donc présenter une surface d'au moins 200 m<sup>2</sup>). Il est possible d'effectuer plusieurs relevés au sein d'une même lagune si celle-ci est très grande. Il est nécessaire de bien noter le point GPS central du relevé pour que celui-ci soit reproductible à long terme. La répétition du relevé permettra de contrôler l'évolution de l'herbier dans le temps, soit au sein d'une seule année hydrologique dans le cadre d'une étude des successions végétales, soit entre plusieurs années pour comparer la composition de l'herbier au cours du temps.

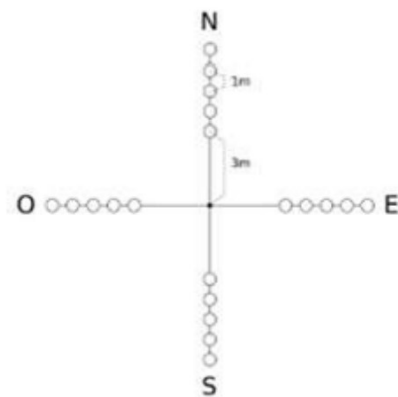


Figure 1 : Schématisation d'un relevé macrophytes avec 20 points de contacts.

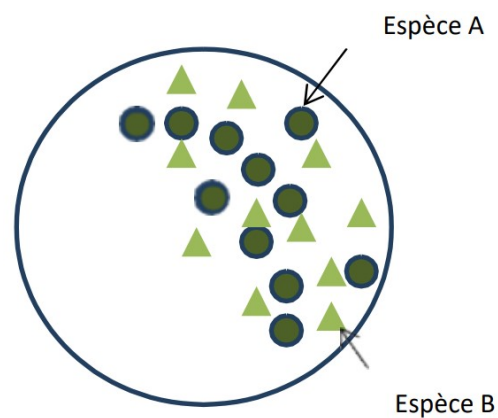


Figure 2 : Relevés de végétation au niveau de chacun des points contacts.

La **figure 1** présente le schéma d'un échantillonnage :

- A partir du point central dont les coordonnées GPS sont relevées, effectuer cinq points contact le long de chaque transect orienté vers les quatre grands points cardinaux (Nord, Sud, Est, Ouest).
- Pour chaque transect, s'éloigner de 3 mètres du point central et effectuer le premier relevé ; une distance d'un mètre doit être respectée entre chaque point contact.

La **figure 2** présente le relevé au niveau des points contacts :

- A l'aide de l'aquascope faire le relevé précis du pourcentage de recouvrement total de l'herbier.
- Relever le recouvrement relatif de chaque espèce au sein du recouvrement total. Dans le schéma d'exemple de la figure 2, le recouvrement total de l'herbier est de 50% et les recouvrements relatifs des espèces A et B sont de 50% chacun. La somme de tous les recouvrements relatifs doit donc être égale à 1. A l'aide d'un calcul simple il sera ensuite possible d'obtenir le recouvrement réel de chacune des espèces grâce au recouvrement total de l'herbier et aux recouvrements relatifs.

**Matériel :**

- aquascope (30 cm de diamètre) ;
- fiche de relevé (page suivante)

**Recommandations :**

- Faire les relevés lorsque le vent est de faible intensité.
- Effectuer les points contacts dans le sens inverse du vent pour éviter d'augmenter la turbidité sur les points contacts suivants avec des particules en suspension.
- Choisir la période de relevé en fonction des niveaux d'eau et, si possible, du développement des herbiers.

## Trame d'entretien PRA en faveur des lagunes temporaires méditerranéennes

---

### INFORMATIONS GENERALES SUR LE SITE

- Le site correspond-t-il à un ancien salin ?  
Si oui :
  - Quelle est la date d'abandon des salins ?
  
- Y a-t-il une gestion de l'eau sur le site ?  
Si oui :
  - Quel est l'objectif de cette gestion ?
  - Quelles secteurs /lagunes sont concernées par cette gestion ?
  - Assurez-vous un suivi des volumes d'eau apportés ?
  - Quelle est la fréquence et la période d'apport d'eau ?
  - Quelle est la qualité de l'eau apportée (salinité, trophie, oxygène dissous ...) ?
  - Gardez-vous un suivi de la gestion de l'eau des années passées (Dates d'apport d'eau, volumes, salinité...) ? Sous quel format sont disponibles ces données ?
  
- Effectuez-vous des suivis sur les lagunes temporaires ou permanentes ?  
Si oui :
  - En quoi consistent ces suivis (objectifs du suivi, paramètres suivis, fréquence ...) ?
  - Quelles lagunes sont concernées par ce suivi ?
  - Depuis combien de temps effectuez-vous ce suivi ?
  - Les données de ces suivis sont-elles accessibles ? Sous quel format ?
  - Y a-t-il des contraintes quant à l'accès aux lagunes (temps de marche important, impossibilité d'accès selon les saisons...) ?

### SUIVI DANS LE CADRE DU PRA LAGUNES TEMPORAIRES

- Avez-vous déjà mis en place des protocoles de suivis proposés dans le PRA lagunes temporaires ?  
Si oui :
  - Quels sont les protocoles mis en place (Suivi hydrologique, pédologique, macrophytes, prospection) ?
  
- Seriez-vous intéressés pour que certaines des lagunes temporaires présentes sur votre site fassent partie des sites pilotes du PRA lagunes temporaires ?  
Si oui :
  - Aurez-vous du temps / des moyens à consacrer pour participer à la réalisation de ce suivi ? A quelle hauteur ?
  - Possédez-vous du matériel de suivi (salinomètre, conductimètre, aquascope, fluorimètre ...) ?

○ Avez-vous des besoins de bancarisation et de mutualisation des données ?  
Y a-t-il sur le site du matériel de suivi (piézomètre, station météorologique ...) ?

Si oui :

- Quel est ce matériel ?
  - Des suivis sont-ils réalisés avec ce matériel ? A quelle fréquence ?
  - Les données de ces suivis sont-elles accessibles ? Sous quel format ?
- Possédez-vous des données concernant la bathymétrie du site ?
- Si oui :
- Quelle est la résolution spatiale de vos données ?
- Avez-vous déjà réalisé des études concernant les mollusques, les crustacés ou les algues des lagunes ? (groupes bioindicateurs auxquels s'intéresse le PRA lagunes temporaires)