



**Evaluation de l'état de conservation  
de l'habitat d'intérêt communautaire prioritaire  
"1150 \*Lagunes côtières à l'échelle du site Natura 2000"**

**Indicateur : Caractérisation des herbiers de l'étang de Salses-Leucate  
2019**



Cette étude est réalisée avec le concours financier du FEADER (Crédit d'animation DOCOB Natura 2000) et de l'Etat

**Maître d'ouvrage :**

**Syndicat Mixte RIVAGE Salses-Leucate**

Monsieur Michel PY

Monsieur Le Maire  
Hôtel de Ville  
Mairie de Leucate – rue du Dr Sidras  
11370 Leucate

**Maître d'œuvre :**

**SEANEO**

**Méditerranée**

11 Rue Louis Esparre

66100 PERPIGNAN

FRANCE

Tél : + 33 (0)4 34 10 43 20

Mobile : + 33 (0)6 20 11 58 75

nicolas.dalias@seaneo.com

www.seaneo.com

**Responsables de l'étude :**

Nicolas Dalias (SEANEO).

Syndicat RIVAGE.

**Participants aux missions de terrain :**

Nicolas Dalias (SEANEO), Eric Fabre (SEANEO), Nelly Soulat (SEANEO).

**Crédits photographiques :**

Syndicat RIVAGE, Nicolas Dalias, Eric Fabre (les photos illustrant le présent rapport ne doivent être ni transformées ni diffusées sans l'accord préalable des auteurs).

---



## Sommaire

<b>1</b>	<b>Contexte et Objectif</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Indicateur "Surface des herbiers" : critères d'évaluation de l'état de conservation des lagunes</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Etude de l'indicateur Herbiers sur la lagune de Salses-Leucate</b> .....	<b>9</b>
3.1	Cartographie initiale de l'herbier existant : .....	9
3.2	Zones à enjeux faisant l'objet du suivi .....	11
3.3	Zones à enjeux faisant l'objet du suivi .....	11
3.4	Méthodologie des suivis .....	13
<b>4</b>	<b>Résultats 2019</b> .....	<b>15</b>
4.1	Les conditions météorologiques .....	15
4.2	Evolution des limites de l'herbier.....	16
4.3	Analyse de l'évolution du recouvrement et densité .....	20
4.4	Diminution légère de la vitalité de l'herbier .....	22
<b>5</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Annexes</b> .....	<b>29</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation des transects permanents et des stations de caractérisation.	12
Figure 2 : Mise en place du transect permanent et des stations de caractérisation..	13
Figure 3 : Courbes Pluies et températures 2019 ( <i>source Infoclimat.fr</i> ).....	15
Figure 4 : Températures de l'eau de la lagune en 2019 .....	16
Figure 5 : Cartographie des limites des herbiers 2019 et des stations.....	19

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Critères et indicateurs retenus pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "Lagunes méditerranéennes".....	7
Tableau 2 : Indicateur Herbiers et modalités pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "Lagunes méditerranéennes".....	9
Tableau 3 : Coordonnées des limites d'herbier (2019) et des stations de caractérisation. ....	14
Tableau 4 : Mesures effectuées sur chaque station .....	14
Tableau 5 : Analyse de l'évolution des limites des herbiers de l'étang de Salses-Leucate depuis 2010. ....	17
Tableaux 6 : Comparaison des classes d'herbier au niveau des stations de caractérisation depuis 2011. ....	21
Tableau 7 : Présentation des résultats globaux des campagnes de caractérisation. .	22

## 1 Contexte et Objectif<sup>1</sup>

---

Dans le cadre de la Directive "Habitats-Faune-Flore" (DHFF), chaque État membre s'est engagé à assurer le maintien ou le rétablissement des habitats naturels et des espèces de faune et de flore sauvages d'intérêt communautaire dans un état de conservation favorable, afin de contribuer au maintien de la biodiversité. L'état de conservation des habitats doit être évalué au niveau du site (obligation nationale) et au niveau biogéographique (obligation communautaire).

Le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie a chargé le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) de mettre en place des méthodes pour évaluer l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire dans les sites Natura 2000, afin de répondre à l'obligation réglementaire de l'article R.414-11 du Code de l'environnement. Une réflexion s'est donc engagée en 2013 pour l'habitat "lagunes côtières" (code UE 1150\*), habitat considéré comme prioritaire c'est-à-dire pour lequel l'état membre porte une responsabilité particulière.

Pour la façade méditerranéenne, un projet animé par le Pôle-relais lagunes méditerranéennes avec le Conservatoire d'espaces naturels du Languedoc-Roussillon en maître d'ouvrage, en partenariat avec la Tour du Valat et l'Office de l'Environnement de la Corse, a permis d'aboutir au chapitre consacré à l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat lagunaire en Méditerranée. Un aspect important de ce projet concerne l'articulation de la méthodologie développée avec les différents programmes en cours sur les lagunes notamment avec la DCE, le Réseau de Suivi Lagunaire (RSL) et le programme RhoMÉO. Ce travail a également pu s'appuyer sur les démarches déjà existantes mises en place par les gestionnaires en Méditerranée. Le rapport fourni par le Conservatoire d'espaces naturels du Languedoc-Roussillon (Pôle-relais lagunes méditerranéennes, 2013) ainsi qu'un mémoire de stage master 2 (Papuga, 2012) sont les travaux de base repris dans le guide d'application de 2013.

Plusieurs critères et indicateurs ont été retenus. Les tableaux ci-dessous en font la synthèse, ainsi que des informations de mise en évidence.

Suivant la méthodologie proposée, un des indicateurs proposés correspond à l'étude des Macrophytes et des herbiers.

L'objectif de l'étude est de suivre régulièrement la surface réellement colonisée par les herbiers afin de participer à l'estimation de l'état de conservation de la lagune.

Enfin de connaître l'état de conservation de la lagune par rapport à l'indicateur herbier, les surfaces réellement couvertes ont été cartographiées et sont suivies chaque année à travers des transects choisis en fonction des pressions les plus courantes. Ces pressions peuvent correspondre aux filtres pour estimer la surface potentiellement recouverte.

La surface potentielle pourra donc être estimée à partir de la surface maximale recouverte.

---

<sup>1</sup> ÉTAT DE CONSERVATION DE L'HABITAT 1150 « LAGUNES CÔTIÈRES » - Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000 - Fanny LEPAREUR Sonia BERTRAND Guillaume PAPUGA Manuelle RICHEUX - Avril 2013

Paramètre	Critère		Indicateur	Information(s) mise(s) en évidence
Surface	Surface couverte par l'habitat		1. Evolution de la surface	Fonctionnement général et perspectives, réservoir de biodiversité, connectivité
Structure et fonctionnement	Biologie	Flore	2. Macrophytes	Fonctionnement général, stabilité des conditions de maintien de l'habitat
			3. Surface des herbiers	Fonctionnement général, stabilité des conditions de maintien de l'écosystème
			4. Espèces végétales exotiques envahissantes	Fonctionnement général, capacité de résilience de l'habitat, conservation de l'habitat
		Faune	5. Invertébrés benthiques	Fonctionnement général, connectivité, productivité
	6. Espèces animales exotiques envahissantes		Fonctionnement général, conservation de l'habitat	
	Fonctionnement hydro-morphologique		7. Liaison à la mer	Fonctionnement général, maintien de la structure
			8. Intégrité des berges	Fonctionnement (rôle alimentaire, support biodiversité, échanges)
			9. Fonctionnement hydrologique	Fonctionnement général
	Qualité physico-chimique et toxique	Colonne d'eau	10. Qualité de la colonne d'eau	Fonctionnement, risques d'atteinte sur organismes
			11. Contaminants chimiques	Risques écotoxicologiques
		Sédiments	12. Sédiments	Fonctionnement, risques d'atteinte sur organismes

Tableau 1 : Critères et indicateurs retenus pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "Lagunes méditerranéennes".

## 2 Indicateur "Surface des herbiers" : critères d'évaluation de l'état de conservation des lagunes

---

L'objectif de cet indicateur est de construire un indice traduisant le développement de l'herbier par rapport à son niveau optimal. En effet, s'il est impossible de mesurer le taux de développement de l'herbier nécessaire au maintien de l'écosystème sur le long terme, il est possible de construire une carte de colonisation potentielle en l'absence d'impact humain. Pour cela, deux cartes sont créées :

- une carte de la surface colonisée par l'herbier est créée par des relevés de terrain (à partir d'images issues de photos aériennes ou de prospection en plongée, à pied ou en kayak). Afin de lisser ces contours de façon homogène, une carte de la surface concernée (enveloppe globale) par l'herbier est réalisée. Le contour de chaque tache est redessiné avec une précision fixe (les zones dépourvues d'herbier sont cartographiées "sans herbier" à partir d'une taille équivalente à un cercle de diamètre 20 m ; deux herbiers sont considérés comme distincts dès lors qu'ils sont séparés par une bande de 20 m ayant un recouvrement en phanérogames nul ou inférieur à 5%).
- une carte de la surface potentielle, adaptée à chaque situation locale. Pour cela il est nécessaire de soustraire à la surface totale de la lagune des "filtres" correspondant à des zones naturellement dépourvues d'herbier, afin de délimiter une zone constituant une référence de développement potentiel :
  - le filtre de la profondeur, qui définit la profondeur maximale d'installation de l'herbier, grâce à des données actuelles (ex : investigation macrophytes DCE) et passées (données historiques). Cela permet d'éliminer les parties de la pièce d'eau dont la profondeur ne permet pas le développement des phanérogames.
  - le filtre historique : des cartographies historiques des herbiers peuvent apporter des éléments sur la répartition des phanérogames à l'échelle d'une pièce d'eau. Des zones naturellement dépourvues d'herbiers peuvent ainsi être exclues de la cartographie potentielle (ex : berge battue par le vent). Il convient cependant de manier ces données avec précaution, en raison de la fréquente imprécision de ces cartes.
  - le filtre du substrat : certains substrats ne permettent pas l'installation et le développement d'un herbier (ex : roches).
  - le filtre de stochasticité : certaines zones peuvent être naturellement soumises à de très fortes variations inter-annuelles du développement des herbiers, causées par des variables environnementales (vent, ensoleillement, etc.) indépendantes des pressions humaines. Il convient alors à l'expert de ne pas prendre en compte ces zones, puisque l'interprétation des résultats ne traduirait pas une modification de l'état de conservation de la lagune, mais un aléa climatique.

L'ensemble de ces filtres se superpose afin de former une zone dépourvue d'herbier, qui par contraste va délimiter la surface potentielle de développement de l'herbier

Le rapport entre la surface concernée et la surface potentielle permet de se situer dans une des modalités de l'indicateur. Rapport = Surface concernée / Surface potentielle



Indicateur	Echelle	Modalités
3. Surface des herbiers	Pièce d'eau	Rapport $\geq 0,7$ [l'herbier est développé à plus de 70% de son potentiel]
		0,7 < Rapport > 0,4 [l'herbier est développé à plus de 40% de son potentiel]
		Rapport $\leq 0,4$ [l'herbier est développé à moins de 40% de son potentiel]

Tableau 2 : Indicateur Herbiers et modalités pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "Lagunes méditerranéennes".

### 3 Etude de l'indicateur Herbiers sur la lagune de Salses-Leucate

Les herbiers de Magnoliophytes marines sont reconnus comme étant des excellents indicateurs des changements des conditions du milieu à l'échelle locale (piétinement), à l'échelle du bassin versant (eutrophisation) et à l'échelle globale (climatique). La surveillance de leur état de conservation est d'un grand intérêt et constitue également un indicateur de l'évolution des conditions de la qualité environnementale de la zone littorale. L'objectif *in fine* est de relier cette dynamique à la gestion du milieu, en particulier celle mise en place à travers le SAGE mais également le DocOb Natura 2000, et de pouvoir éventuellement réorienter les opérations de gestion en fonction de cet indicateur, à la fois intégrateur de la dynamique du milieu mais également relativement réactif.

Cette étude fait suite à la cartographie et la caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate (Dalias et Fabre, 2011 ; 2012 ; 2013a) réalisées dans le cadre du projet européen SUDOE ECO-LAGUNES (SUDOE, 2008). L'objectif de la présente étude est de renouveler la campagne de caractérisation des Magnoliophytes marines (Dalias et Fabre, 2011 ; 2012 ; 2013a). La caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines doit s'effectuer tous les ans à la même période, afin de permettre une comparaison pertinente. Ce suivi annuel des herbiers permet de comprendre leur dynamique, et notamment de permettre la détection de perturbations naturelles ou anthropiques, étape essentielle dans la démarche de gestion de l'étang de Salses-Leucate.

#### 3.1 Cartographie initiale de l'herbier existant :

Les premières cartographies de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate ont été réalisées par Boutière et Mizoule (1975) in Boutière *et al.* (1982), puis Herve par (1978), avant la crise dystrophique de 1980. L'étude comparative entre ces premières cartographies et une autre réalisée après la crise, montre que les herbiers ont disparu des parties profondes (Boutière *et al.*, 1982). Par la suite, la récession des herbiers de *Zostères* au profit de *Valonia aegagropila* (C. Agardh) a été suivie par Clanzig (1987) dans l'anse du Paurel.

Plus récemment, le Réseau de Suivi Lagunaire (RSL) opéré par l'Ifremer a établi un inventaire spécifique, qualitatif et quantitatif des macrophytes (Laugier, 2000 ; Ifremer, 2005c ; Ifremer, 2010 ; Ifremer, 2013). Ces données, acquises dans le but d'une estimation de l'état de la lagune vis-à-vis de l'eutrophisation, permettent d'apprécier la répartition globale des herbiers.

Actuellement, plus de 77 espèces de macrophytes ont été répertoriées (Verlaque, 2000). Les Magnoliophytes dominantes sont *Zostera noltei* (Hornemann) et *Ruppia cirrhosa* (Petagna) alors que *Zostera marina* (Linnaeus) est moins abondante (Boutière *et al.*, 1982 ; Laugier, 2000). Les macrophytes sont présentes sur la quasi-totalité des fonds de l'étang avec des biomasses importantes. Excepté les Magnoliophytes, la végétation benthique est dominée par *Valonia aegagropila* dans le bassin de Leucate, et par une association de Rhodophytes lagunaires (*Alsidium corallinum* (C. Agardh), *Gracilaria gracilis* ((Stackhouse) M.Steentoft, L.M.Irvine & W.F.Farnham) et *Halopityis incurva* (Hudson)) dans le bassin de Salses. Quelques foyers "d'algues opportunistes" proliférantes (*Ulva sp.*, *Chaetomorpha sp.*, *Entéromorpha sp.*, etc.) sont présents près des rejets de stations d'épuration et de piscicultures (Laugier, 2000).

En 2010, une cartographie de Zonage A Dire d'Acteurs (ZADA) des herbiers a été réalisée par le Syndicat Mixte RIVAGE Salses-Leucate en s'appuyant sur les connaissances des acteurs de l'étang (chasseurs sous-marins et pêcheurs professionnels) (Fabre, 2010). Le ZADA permet d'avoir un aperçu global sur la répartition des herbiers de Magnoliophytes. Cependant, au même titre que les cartes du RSL, cette méthode ne permet pas d'avoir une vision fine des limites de l'herbier. Dans la continuité de ce projet, une campagne de cartographie précise et de caractérisation des herbiers a été réalisée (Dalias et Fabre, 2011).

La cartographie réalisée en 2010, précisée en 2011, montre que les herbiers colonisent la plupart des fonds du bassin de Leucate et les fonds entre 0 et 2,4 mètres dans le bassin de Salses. Par la suite, la caractérisation effectuée sur les 7 zones à enjeux a montré que *Z. noltei* constitue l'espèce dominante de la lagune (96 % des faisceaux), tandis que *Z. marina* représente 4,5 % des faisceaux. Toutefois, les faisceaux de *Zostera marina* peuvent atteindre 1 m de haut alors que *Z. noltei* dépasse rarement 30 cm en moyenne (Dalias et Fabre, 2012). *R. cirrhosa* représente 0,5 % des herbiers des zones à enjeux étudiées, et se développe plutôt localement, mêlée aux autres espèces. En revanche, elle peut présenter des herbiers monospécifiques denses hors des zones étudiées, comme sur les bancs de sables entre la Corrège et le grau des ostréiculteurs. Enfin, *Ruppia maritima* a été observée en quantité dans les zones profondes du bassin des Dins d'Illes (Dalias et Fabre, 2013b). Cette espèce, difficile à différencier de *R. cirrhosa* en dehors de la période de floraison, avait déjà été mise en évidence par Verlaque (2000).

Le développement des herbiers est parfois limité par la prolifération des algues vertes opportunistes (*Ulva sp.* et *Chaetomorpha sp.*), surtout à l'Ouest de la lagune. Ces proliférations peuvent être le reflet d'apports continentaux contenant une grande quantité d'éléments nutritifs (nitrates, phosphates) (Dalias et Fabre, 2011 ; 2012 ; 2013a).

Au centre du bassin de Salses, les rhodophytes, dominées par *Halopityis incurva*, peuvent entrer en compétition avec les herbiers (Dalias et Fabre, 2011). Depuis les premières études du Réseau de Suivi Lagunaire, *H. incurva* est citée comme une espèce constituant des peuplements denses au Sud de la lagune (Laugier, 2000 ; Ifremer, 2005c ; Ifremer, 2010). En revanche, en 2012, pour des raisons encore mal connues, cette espèce a pratiquement disparu (Dalias et Fabre, 2012 ; Ifremer, 2013), pour réapparaître à nouveau en 2013 (Dalias et Fabre, 2013a).

Dans le bassin de Leucate, l'herbier est moins impacté. La principale menace a été *Valonia aegagropila*, Chlorophyte dont le développement parfois important a pu limiter l'extension des herbiers (Cesmat, 2006). Jusqu'en 2010, cette espèce occupait de vastes superficies (Ifremer, 2005c ; Fabre, 2010), mais à partir de cette date, l'extension des bancs de *V. aegagropila* a diminué. Aujourd'hui, l'espèce vit en association avec l'herbier sans l'asphyxier (Dalias et Fabre, 2012 ; 2013a ; Ifremer, 2013).

En 2013, une cartographie et une caractérisation des herbiers de Magnoliophytes a été réalisée au Sud du bassin des Dins d'Illes, dans le chenal de l'Île aux Pêcheurs, et dans le chenal de l'étang de l'Angle. Dans ces deux dernières zones, les herbiers présentent un développement limité. En revanche dans le bassin des Dins

d'Illes, *Z. marina* colonise les fonds plus profondément que dans le reste de l'étang de Salses-Leucate. Les densités observées peuvent être supérieures à la densité maximale observable dans l'étang de Salses-Leucate, notamment chez *Z. marina* (Dalias et Fabre, 2013b).

### 3.2 Zones à enjeux faisant l'objet du suivi

Par la suite, des campagnes annuelles de caractérisation sont réalisées sur plusieurs zones à enjeux de l'étang (Dalias et Fabre, 2012) afin de déterminer l'évolution des limites des herbiers en fonction de facteurs anthropiques ou naturels pour valider les filtres à appliquer pour le calcul de la surface potentielle.

L'emplacement des transects permanents a été validé suite à une réunion et à une concertation avec le comité de pilotage en 2010. Sur chaque zone à enjeux sélectionnée, un transect permanent est installé. Les campagnes de caractérisation sont réalisées sur ces transects (Figure 1).

La caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate est réalisée au sein de 7 zones à enjeux représentatives de l'étang de Salses-Leucate :

- Zone à enjeux n°1 "Le Paurel" ;
- Zone à enjeux n°2 "Port-Fitou à l'anse de Leucate" ;
- Zone à enjeux n°7 "Les Dosses" ;
- Zone à enjeux n°10 "Terrain militaire" ;
- Zone à enjeux n°11 "Saint-Hippolyte" ;
- Zone à enjeux n°13 "Anse de la Roquette - Sanyes d'Opoul" ;
- Zone à enjeux n°15 "Seuil central".

La description de chaque transect et des enjeux rattachés est réalisée en **Annexe 1**

### 3.3 Zones à enjeux faisant l'objet du suivi

Comme on l'a vu le suivi de chaque transect permet mieux cerner les filtres pour le calcul de la "surface potentielle" pour l'évaluation de l'indicateur concerné dans l'objectif d'appréhender l'état de conservation de la lagune de Salses-Leucate.

On partira donc sur la surface maximum ainsi trouvée pour déterminer la surface potentielle. Cependant cette analyse demande de prendre en compte plusieurs années de suivis pour savoir réellement quel maximum appliquer.

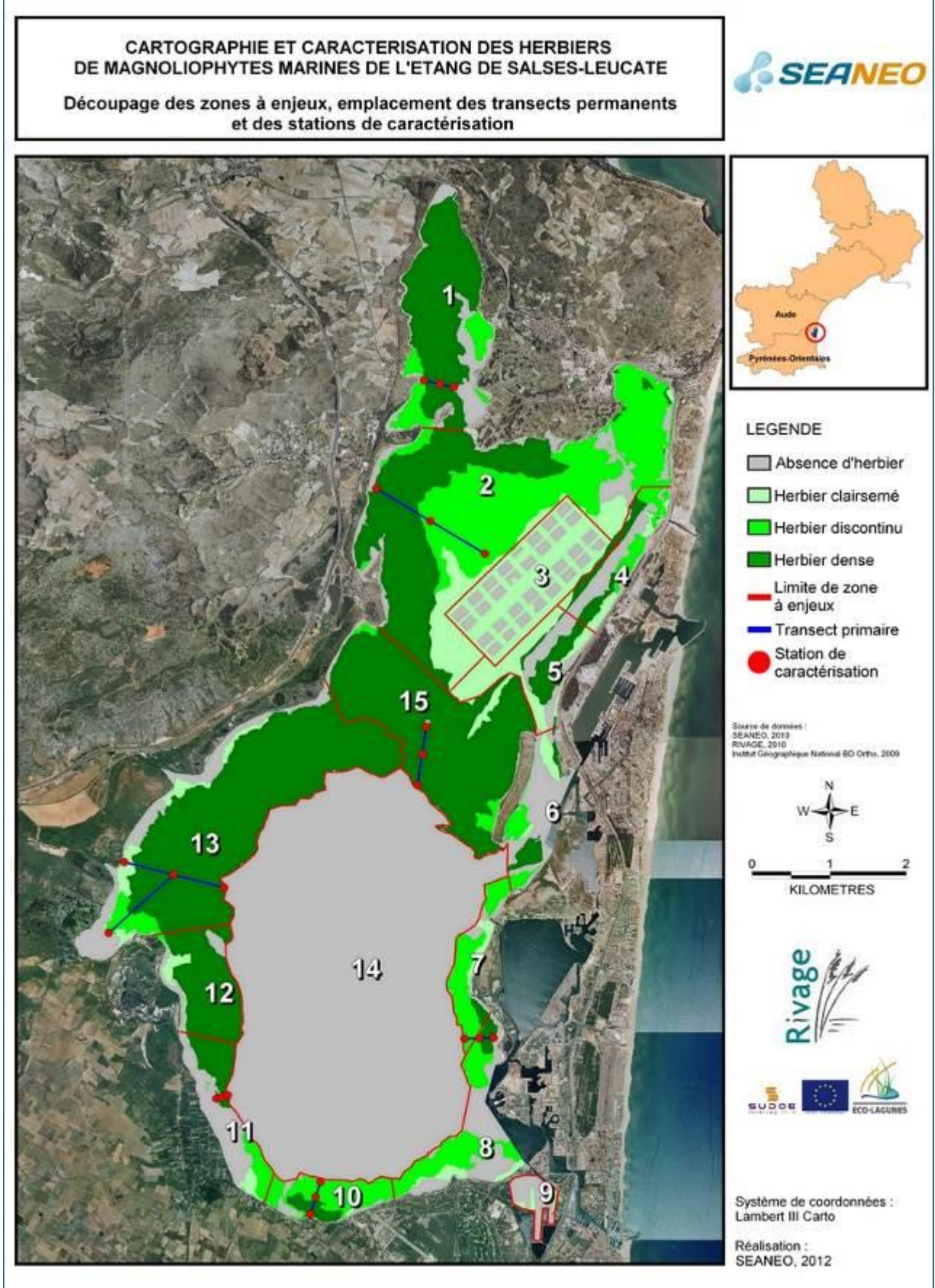


Figure 1 : Localisation des transects permanents et des stations de caractérisation.

### 3.4 Méthodologie des suivis

#### 3.4.1 Mise en place des transects permanents et des stations de caractérisation

La méthode de caractérisation des Magnoliophytes marines fait référence à celle utilisée pour les Zostères sur la côte Atlantique française, selon un protocole compatible avec la DCE (Ifremer, 2005a ; Ifremer, 2005b). Sur chaque zone à enjeux retenue, un transect permanent a été installé. Sur chaque transect permanent, au moins trois stations de caractérisation sont installées. La caractérisation des Herbiers est faite sur chaque station de caractérisation. Le transect permanent permet d'observer et de mesurer la progression ou la régression des limites de l'herbier au fil des campagnes de caractérisation des Magnoliophytes (Dalias et Fabre, 2011).

##### 3.4.1.1 Mise en place du transect permanent

Le transect permanent est une ligne perpendiculaire à la bathymétrie de l'herbier. Il le traverse dans le sens de la largeur, de sa limite supérieure jusqu'à sa limite inférieure. Le choix de son emplacement doit pouvoir donner une représentation des caractéristiques de la zone à enjeux et de l'herbier. Les extrémités du transect sont géolocalisées par GPS. Les bornes FENO installées ont toutes disparu entre 2011 et 2012 (caractéristiques du substrat et de la dynamique hydrosédimentaire de l'étang). Par conséquent, seuls les points GPS sont utilisés lors des campagnes (Figure 2, Tableau 3).

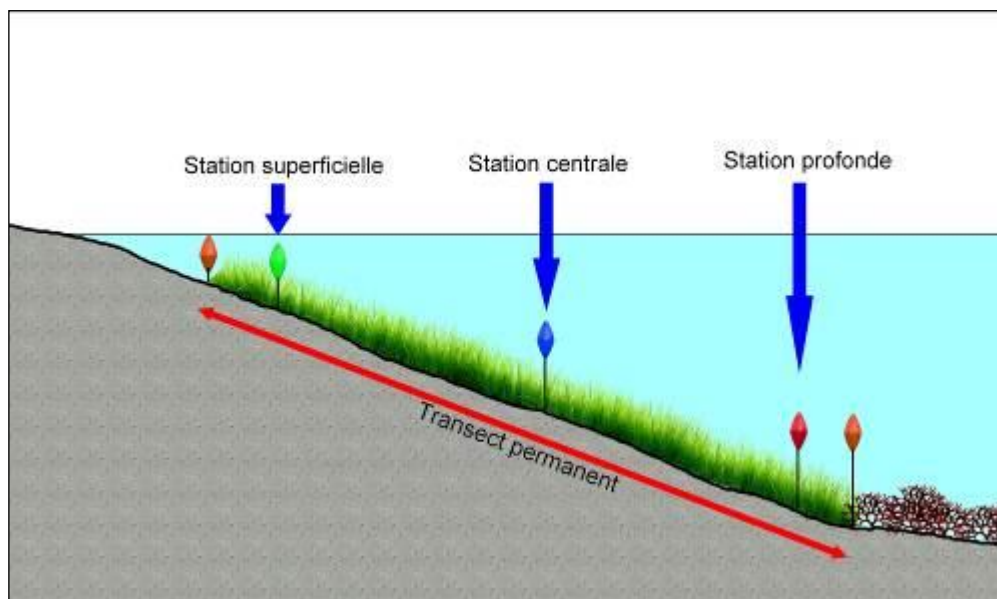


Figure 2 : Mise en place du transect permanent et des stations de caractérisation.

##### 3.4.1.2 Mise en place des stations de caractérisation

Le long du transect permanent, au moins trois stations de caractérisation, géolocalisées sont placées. Elles sont installées dans des zones homogènes et suffisamment stables pour être suivies au cours du temps. De ce fait, les zones proches des limites supérieures et inférieures, souvent plus dégradées et instables que le restant de l'herbier doivent être évitées (Ifremer, 2005a ; Ifremer 2005b). Idéalement, une station est placée en zone superficielle, une au centre de l'herbier, et une troisième dans la partie profonde (Dalias et Fabre, 2011 ; 2012).

Zone à enjeux	Limite supérieure 2019 (WGS-84)	Limite inférieure 2019 (WGS-84)	Station supérieure (WGS-84)	Station centrale (WGS-84)	Station profonde (WGS-84)
1 : Paurel	N42.90382 E3.00724	N42.90255 E3.01386	N42.90380 E3.00729	N42.90337 E3.00990	N42.90297 E3.01224
2 : Port-Fitou à Anse de Leucate	N42.8909 E2.99868	/	N42.89050 E2.99930	N42.88640 E3.00815	N42.88230 E3.01722
7 : Dosses	N42.822335 E3.01906	N42.82220 E3.01113	N42.82247 E3.01842	N42.82225 E3.01553	N42.82220 E3.01309
10 : Terrain militaire	N42.80088 E2.98753	N42.80556 E2.98941	N42.80070 E2.98728	N42.80275 E2.98813	N42.80503 E2.98926
11 : Saint-Hippolyte	N42.81483 E2.97097	N42.81581 E2.97703	N42.81504 E2.97172	N42.81524 E2.97264	N42.81525 E2.97308
	/	/	Sta. Suppl. : N42.81450 E2.96979		
13 : Anse Roquette Sanyes Opoul	N42.84438 E2.95691	N42.84091 E2.97554	N42.84443 E2.95667	N42.84282 E2.96489	N42.84117 E2.97332
13 : Anse de la Roquette	N42.83382 E2.94989	/	N42.83555 E2.95366	/	/
15 : Seuil central	N42.86136 E3.00733	N42.85299 E3.00550	N42.86110 E3.00723	N42.85749 E3.00647	N42.85367 E3.00563

Tableau 3 : Coordonnées des limites d'herbier (2019) et des stations de caractérisation.

### 3.4.2 Caractérisation des herbiers

Lors de la caractérisation, l'évolution des limites supérieures et inférieures de l'herbier est analysée. Des mesures sont ensuite effectuées sur chaque station de caractérisation, qui reste la même au fil des ans. Dans un rayon de 5 m autour de chaque station, quatre quadrats de 0,1 m<sup>2</sup> sont placés au hasard et plusieurs paramètres y sont mesurés (Tableau 4) (Dalias et Fabre, 2011; 2012).




Paramètres mesurés			
Caractérisation des Magnoliophytes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Taux de recouvrement par les feuilles, toutes espèces confondues (Estimation grâce à une photographie prise à la verticale du quadrat si possible) ;</li> <li>Densité : comptage du nombre de faisceaux (par espèce) pour connaître la densité (faisceaux/m<sup>2</sup>) et la proportion de chaque espèce ;</li> <li>Mesure de la hauteur moyenne de la canopée (par espèce).</li> </ul> <p><b>Remarque :</b> Les 4 quadrats doivent présenter au total au moins 30 faisceaux pour assurer la validité statistique des résultats.</p>		
Estimation visuelle du taux d'épiphytase	Epiphytase faible 	Epiphytase moyen 	Epiphytase fort 
Caractérisation de la végétation associée	Analyse des macrophytes associées à l'herbier. Mesures à effectuer dans le quadrat (Taux d'occupation du substrat en %). Les espèces les plus importantes sont : Chlorophytes : <i>Valonia aegagropila</i> ; <i>Ulva</i> spp. ; <i>Chaetomorpha</i> spp.; etc. Rhodophytes : <i>Halopitys incurva</i> ; <i>Gracilaria gracilis</i> ; etc.		
Caractérisation de la faune associée	Densité d'individus dans le rayon d'emprise des quadrats (5 m). Les espèces les plus importantes sont : Cascaïl ( <i>Ficopomatus enigmatus</i> ) ; Hippocampes ; Oursins ; Grande nacre ( <i>Pinna nobilis</i> ) ; etc.		
Paramètres environnementaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substrat (roche ; galets/graviers ; sableux ; sablo-vaseux ; vaseux ; débris coquillés)</li> <li>Teneurs en azote, phosphore et matière organique (Réseau de Suivi Lagunaire).</li> <li>Paramètres climatiques : température, turbidité, pluviométrie, point sur les événements climatiques exceptionnels.</li> </ul>		

Tableau 4 : Mesures effectuées sur chaque station

## 4 Résultats 2019

### 4.1 Les conditions météorologiques

Entre le mois de janvier et de juillet 2019, il est tombé 175 mm de pluie dont 135 entre avril et juin, qui correspondent au mois de croissance des herbiers. Comme l'année dernière ça correspond à un printemps relativement pluvieux (70mm en moyenne sur cette période).

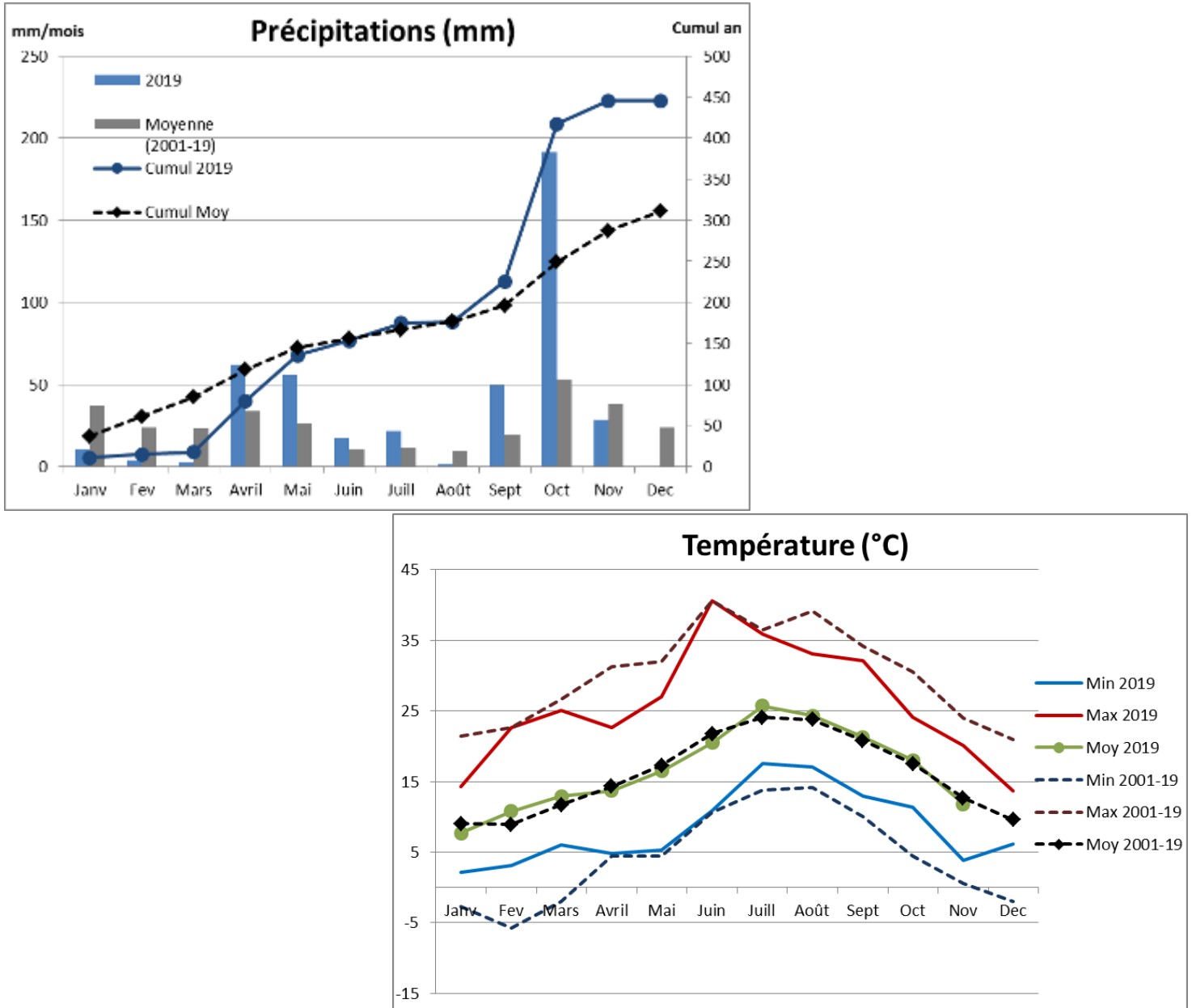


Figure 3 : Courbes Pluies et températures 2019 (source Infoclimat.fr)

En ce qui concerne les températures, 2019 a été particulièrement chaude avec un nouveau record de 40,6°C au mois de juin. Ces températures de l'air se répercutent évidemment sur les températures de l'eau.

A noter que les températures de l'eau ne sont suivies qu'une fois par mois, entre 9h et 11h le matin. Il se peut donc que certaines températures extrêmes (surtout les maximales) ne soient pas relevées. Surtout que suite à un problème de matériel, les relevés n'ont pas pu être réalisés au mois de juin qui a été particulièrement chaud cette année.

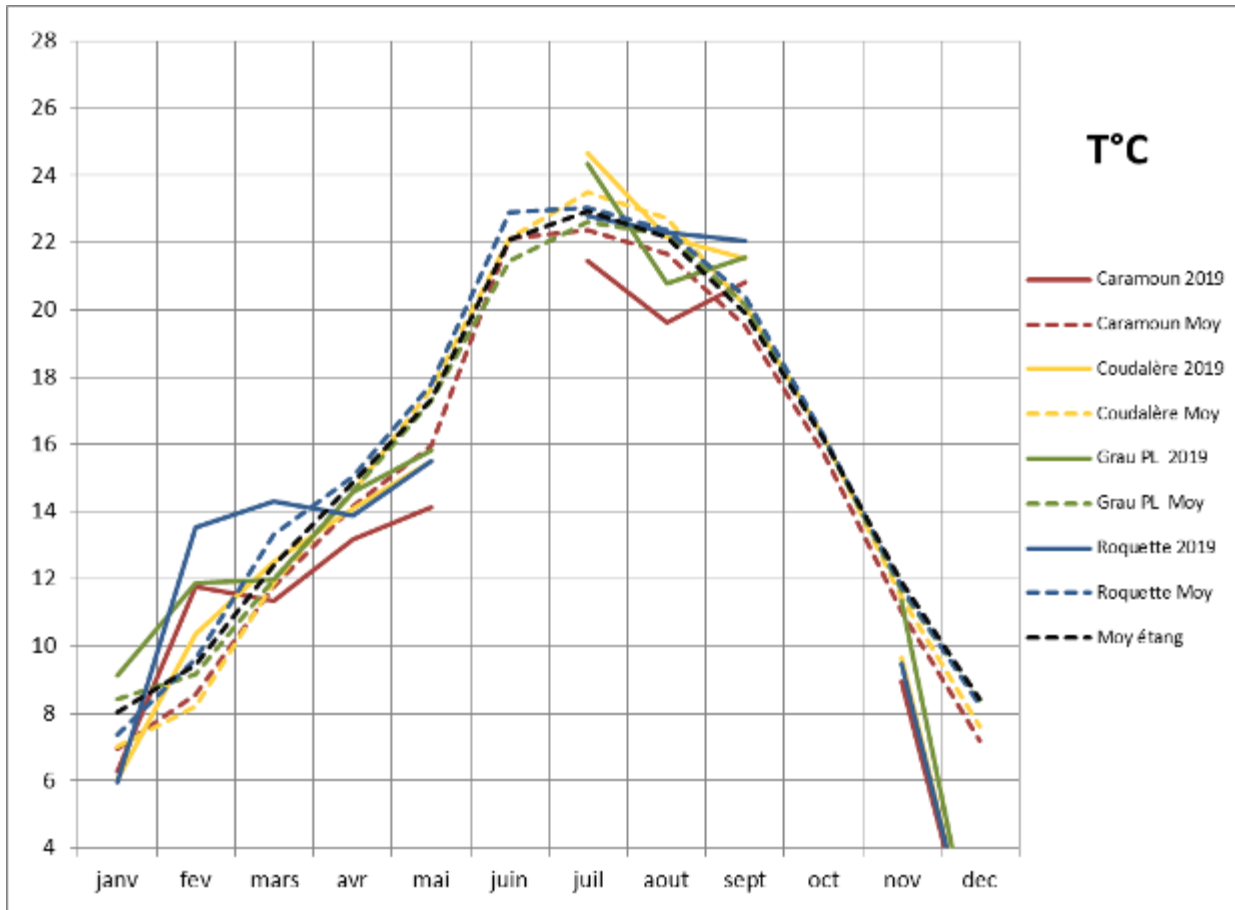


Figure 4 : Températures de l'eau de la lagune en 2019

## 4.2 Evolution des limites de l'herbier

Les limites, identifiées dès 2010, puis chaque année, sont comparées à l'emplacement des limites observées lors de la caractérisation de 2019. La dynamique de colonisation des herbiers a ainsi pu être mise en évidence. L'année 2017 avait été marquée par une très grosse progression des herbiers suivie par un retour aux limites de 2016 en 2018, situation qui semble s'être stabilisée en 2019 (Cf. tableau ci-dessous)



## Evolution des limites Herbiers (m)

Zone à enjeux	Limite supérieure										Limite inférieure									Evolution 2018-19	Evolution 2010-19
	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2018-19	2010-11	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2018-19		
1 - Le Paurel	+10	0	+22	0	0	-50	17	+21	-33	↓	0	0	+125	-244	-146	+160	-74	+48	↑	↔	↑
2 - Port-Fitou	+15	+44	+25	0	0	+18	0	0	0	↔										↔	↑
7 - Les Dosses	+20	-25	+25	+21	0	+40	-34	+14	+21	↑	0	0	0	0	+55	+111	-61	+82	↑	↑	↑
10 - Terrain militaire	+28	0	0	0	0	0	0	-5	-56	↓	+50	0	-11	0	0	+55	-60	+35	↑	↔	↑
11 - Saint-Hippolyte	0	+215	-158	+150	-180	+30	+143	-7	-158	↓	-45	-40	+200	0	+243	+277	-65	-54	↓	↓	↑
13' - Roquette	+35	+115	+256	-48	-108	-36	0	-447	+392	↑										↑	↑
13 - Sanyes Opoul	0	-12	0	0	0	-48	+51	-166	+116	↑	0	0	0	0	+20	+538	-83	-323	↓	↓	↑
15 - Seuil central	+18	0	0	0	0	0	0	-14	+14	↔	0	+185	0	0	-145	+125	0	-122	↓	↓	↑
MOYENNE	+16	+42	+21	+15	-36	-6	+21	-76	+37	↑	+1	+24	+52	-40	+4	+204	-57	-56	↓	↔ (-19)	↑ (+188)

\*Erratum 2017-18 : inversion lim sup et inf pour Paurel + "progression" pour lim sup Dosses

Tableau 5 : Analyse de l'évolution des limites des herbiers de l'étang de Salses-Leucate depuis 2010.

L'analyse des données 2018 et 2019 montre une relative stabilité entre les 2 années après la forte régression de l'année dernière (après le bloom exceptionnel de 2017).

Cette stabilité moyenne se fait entre la progression des limites supérieures Roquette et la perte des limites inférieures Sagnes Opoul et Seuil central. A noter aussi que si les limites des Dosses ont toutes progressé, celles de Saint-Hippolyte ont toutes régressé.

Par rapport aux limites de 2010, toutes les limites 2019 ont marqué une progression (sauf Sagnes Opoul sup). Les progressions la plus importante sont marquées sur Saint-Hippolyte et Roquette.

On peut donc observer que les limites supérieures et inférieures des herbiers ont majoritairement progressé par rapport à l'année de référence de 2010. Cette progression pourrait également avoir eu lieu hors des zones surveillées. Ainsi, la superficie colonisée par les herbiers serait plus importante qu'en 2010.

Plus globalement dans la bibliographie et avec nos neuf années de suivi, on observe que les herbiers de l'étang de Salses-Leucate ont occupé une superficie très variable. En 1975, la surface colonisée par les herbiers était plus importante (Boutiere et Mizoule, 1975). En 2000, les herbiers ne s'étendaient pas au-delà de 1,5 m de profondeur (Laugier, 2000) et colonisaient une plus faible superficie qu'aujourd'hui.

En effet, les Zostères sont sensibles aux perturbations modifiant leur environnement (Short et Wyllie-Echeverria, 1996), et influençant leur répartition (Hily, 2006). Dans les milieux lagunaires, la répartition des herbiers, notamment en profondeur, est directement limitée par la transparence de la colonne d'eau et par la quantité de lumière disponible pour les plantes (Hily et Den Hartog, 1997, Hily et Le Hir, 2002). La transparence de l'eau peut être réduite par l'agitation du plan d'eau, notamment lorsque les fonds sont dépourvus de végétation (Dalias et Fabre, 2012). Une turbidité importante peut également être causée par des phénomènes d'eutrophisation. La diminution de l'accès des feuilles à la lumière peut également être liée à la formation d'algues épiphytes, à la prolifération d'algues opportunistes, ou au recouvrement par des bancs d'algues dérivantes (Short *et al.*, 1995 ; Onuf, 1996 ; Hemminga et Duarte, 2000 ; McGlathery, 2001, Réseau de Suivi Lagunaire, 2011). Ainsi, en 1979 et en 1980, une crise dystrophique provoquée par la prolifération de la microalgue brune *Nanochloris* sp. (Knoepffler et Gros, 1980) a entraînée une forte turbidité. La plupart des herbiers situés en profondeur ont été détruits par le manque de lumière (Boutiere *et al.*, 1982).

En partie superficielle, et notamment près des apports continentaux parfois chargés en éléments nutritifs, le développement des herbiers peut être stoppé par la prolifération des algues vertes opportunistes qui peuvent occuper toute la colonne d'eau (Réseau de Suivi Lagunaire, 2011).

En 2019 la stabilité des limites de l'herbier à l'échelle de la lagune de Salses-Leucate pourrait donc indiquer que les conditions environnementales sont plutôt favorables (faible eutrophisation confirmée par l'atteinte du Bon état écologique DCE) au développement des Magnoliophytes. Toutefois sous l'influence de conditions météorologiques moins optimales que 2017 (printemps sec), la superficie des herbiers n'a pas progressé jusqu'à son maximum.

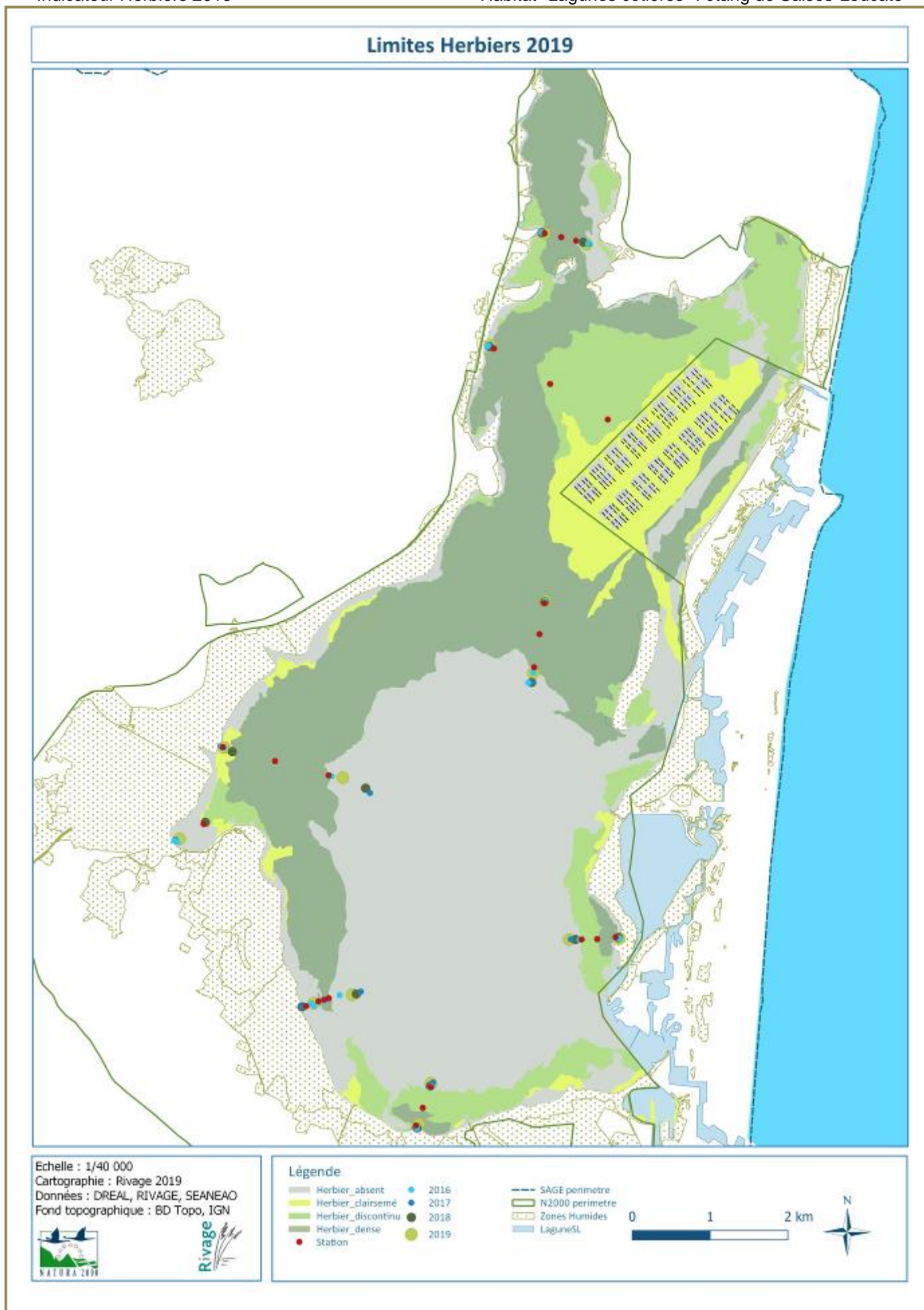


Figure 5 : Cartographie des limites des herbiers 2019 et des stations.

### 4.3 Analyse de l'évolution du recouvrement et densité

L'analyse de l'évolution des classes d'herbier en fonction de leur taux de recouvrement permet de mettre en évidence l'évolution de la vitalité des herbiers entre les campagnes. Les taux de recouvrement sont divisés en 4 classes :

- Substrat nu ou algal : Absence d'herbier (0%) ;
- Herbier clairsemé : Taches disséminées ou pieds dispersés en faible densité (<25%) ;
- Herbier discontinu : Alternance de taches recouvertes et non recouvertes (25 - 75%) ;
- Herbier dense : Couverture foliaire forte et homogène (>75%).

A noter que ces classes sont aussi observées visuellement par le plongeur et qu'il peut exister des différences entre le "ressenti" et le comptage. Ces différences interviennent majoritairement sur les valeurs charnières (25 ou 75 %).

Tout comme pour les limites, les taux de recouvrement marquent une stabilité globale par rapport à 2018, avec 3 zones en amélioration (Paurel, Fitou, Dosses), 3 zones stables (Saint-Hippolyte, Roquette, Sagnes) et 3 zones en diminution (Terrain militaire, SH sup, Centre). (Cf. tableau ci-dessous).

Depuis 2010, le recouvrement marque une légère régression.

Zone à enjeux	Station supérieure						Station centrale						Station profonde						ZONE 2018-19	Zone 2010-19
	Ref : 2010	2016	2017	2018	2019	Evolution 2018-19	Ref : 2010	2016	2017	2018	2019	Evolution 2018-19	Ref : 2010	2016	2017	2018	2019	Evolution 2018-19		
1 - Le Paurel	Dense	Clairsemé	Dense	Discontinu	Dense	↑	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Dense	Clairsemé	Dense	Discontinu	Dense	↑	↑	↔
2 - Port-Fitou	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Discontinu	Dense	Discontinu	Discontinu	Dense	↑	Discontinu	Clairsemé	Discontinu	Clairsemé	Clairsemé	↔	↑	↔
7 - Les Dosses	Pas d'herbier	Dense	Dense	Dense	Discontinu	↓	Discontinu	Discontinu	Discontinu	Discontinu	Dense	↑	Discontinu	Clairsemé	Discontinu	Discontinu	Dense	↑	↑	↑
10 - Terrain militaire	Dense	Discontinu	Discontinu	Discontinu	Pas d'herbier	↓	Discontinu	Dense	Dense	Discontinu	Discontinu	↔	Pas d'herbier	Discontinu	Clairsemé	Discontinu	Discontinu	↔	↓	↓
11' - SH	Dense*	Pas d'herbier	Clairsemé	Discontinu	Pas d'herbier	↓													↓	↓
11 - Saint-Hippolyte	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Dense	Discontinu	Discontinu	Dense	Dense	↔	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	↔	↔
13' - Roquette	Pas d'herbier	Dense	Discontinu	Clairsemé	Clairsemé	↔													↔	↑
13 - Sanyes Opoul	Clairsemé	Pas d'herbier	Clairsemé	Clairsemé	Dense	↑	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Dense	Discontinu	Dense	Discontinu	Clairsemé	↓	↔	↔
15 - Seuil central	Dense	Dense	Clairsemé	Discontinu	Clairsemé	↓	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Dense	Discontinu	Dense	Discontinu	Discontinu	↔	↓	↓

\*Suivis a/c 2012

Tableaux 6 : Comparaison des classes d'herbier au niveau des stations de caractérisation depuis 2011.

#### 4.4 Diminution légère de la vitalité de l'herbier

Sur l'ensemble de la lagune de Salses-Leucate et pour les 2 espèces suivies - *Z. noltei* (espèce dominante) et *Z. marina* - par rapport à 2017, les paramètres de vitalité de l'herbier évoluent différemment, mais de manière générale on observe une diminution des paramètres de vitalité :

- stabilité du recouvrement général,
- diminution de la densité des *Z. noltei* qui va fortement la densité globale (pas loin de la pire année),
- diminution des hauteurs de canopée,
- augmentation de l'épiphytage.

Par rapport à l'année 2011, une légère diminution de la vitalité des herbiers a été observée sur 3 des 4 paramètres (densité, canopée et épiphytage).

Campagne	Recouvrement (%) ± ES		Densité globale (fsx/m <sup>2</sup> ) ± ES		Densité <i>Z. noltei</i> (fsx/m <sup>2</sup> ) ± ES		Densité <i>Z. marina</i> (fsx/m <sup>2</sup> ) ± ES		Canopée <i>Z. noltei</i> (cm) ± ES		Canopée <i>Z. marina</i> (cm) ± ES		Taux d'épiphytage (Indice ± ES)	
2011	58,88	3,9	1160,7	107,7	1119	108	35,6	5,9	24,6	1	59,8	3,3	1,3	0,04
2012	59,8	4	1383	134,2	1321	134,9	52,7	10,3	27,6	1,5	93,5	8,8	1,24	0,05
2013	55,9	4,3	1570,5	187,6	1523,4	189,5	39,6	8,6	21,6	1,3	36,8	2,6	1,55	0,08
2014	52,25	4,2	1077,5	111,6	1045,5	110,9	30,1	5,6	22,3	1,5	39,4	3,2	1,44	0,06
2015	64,57	3,6	1281,5	95,5	1248,5	96,8	24,1	4,4	22,9	0,8	33,2	1,5	1,38	0,07
2016	64,14	4,07	869,87	76,77	822,32	78,8	38,21	12,36	28,82	1,9	50,14	3,9	1,12	0,04
2017	71,67	3,33	1176,79	93,3	1111,96	92,29	43,09	8,41	32,53	1,48	41,67	2,77	1,13	0,04
2018	64,11	3,25	1368,75	91,22	1294,24	90,48	49,02	8,72	44,35	2,09	66,58	3,47	1,13	0,04
2019	65,11	4,48	889,73		847,21	68,04	32,83	6,06	36,71	3,29	39,56	3,08	1,42	0,06
2018-19	1,0	3,9	-479,0	91,2	-447,0	79,3	-16,2	7,4	-7,6	2,7	-27,0	3,3	0,3	0,1
2011-19	6,2	4,2	-271,0	107,7	-271,8	88,0	-2,8	6,0	12,1	4,2	-20,2	3,4	0,1	0,1

Tableau 7 : Présentation des résultats globaux des campagnes de caractérisation.

La vitalité des herbiers de *Zostères* diminue durant la saison hivernale, du fait des conditions défavorables (températures basses, hydrodynamisme important, turbidité, variations de salinité). La vitalité augmente à nouveau au cours du printemps, pour atteindre son maximum au début de l'été (Hootmans *et al.*, 1987 ; Harrison, 1993 ; Zimmerman *et al.*, 1996 ; Sfriso et Ghetti, 1998 ; Laugier *et al.*, 1999 ; Zharova *et al.*, 2001 ; Hauxwell *et al.*, 2006).

Comme on l'a vu dans le bilan des conditions météorologiques, les précipitations printanières propices aux apports de nutriments rendent les conditions de développement moins favorables et ce pour la deuxième année consécutive, ce qui peut expliquer la perte de vitalité de l'herbier.

## 5 Conclusion

---

La présente étude a porté sur la neuvième campagne de caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate.

A l'échelle globale de la lagune, en 2019, la vitalité des Magnoliophytes marines à l'échelle de l'étang de Salses-Leucate semble avoir légèrement diminué par rapport à l'état initiale et 2018. En revanche, l'herbier occupe en moyenne une plus grande superficie qu'en 2010 (et stabilité par rapport à 2018), pouvant signifier que les conditions de développement des Magnoliophytes se sont améliorées.

Au niveau l'anse de la Roquette, une restauration semble se mettre en place depuis 2010. Cette dynamique est confirmée en 2019 après 2 années de stagnation / baisse dans des conditions trophiques satisfaisantes. Dans la zone à enjeux de Saint-Hippolyte, l'herbier connaît des phases de restauration et de dégradation successives. En fonction des années, dans cette zone à enjeux, l'alternance d'un herbier détruit et d'un herbier en bon état reste pour le moment difficile à expliquer. Les apports continentaux (provenant de la nappe de la Salanque ou du ruissellement de la plaine) lors des printemps pluvieux pourraient influencer la dynamique de cet herbier particulier. Les années connaissant un printemps particulièrement sec (2012, 2014, 2015 et 2017) ne suffisent pas à expliquer un herbier en bon état. Une étude complémentaire sur cette zone permettrait d'apporter des éléments sur la dynamique de cette zone à enjeux.

Au niveau du Terrain militaire, si les limites sont stables en 2019, les paramètres de vitalité régressent un peu. Toutefois par rapport à 2010 on observe un meilleur état de conservation.

En remontant vers les Dosses on constate une augmentation des limites et du recouvrement, contrairement au Seuil central.

Enfin, dans l'anse du Paurel et à Port-Fitou, l'évolution des limites est stable par rapport à 2018 et en augmentation par rapport à 2010. Si les densités diminuent en 2019, cela n'impacte pas le recouvrement qui reste dense (sauf Fitou profond).

Depuis 2010, l'espèce dominante est *Zostera noltei*. Elle est présente sur la quasi-totalité des herbiers de la lagune. *Zostera marina* est plus disséminée et elle est souvent mêlée à *Zostera noltei*, formant ainsi un herbier mixte. Les principaux herbiers de *Z. marina* monospécifiques sont observés dans le Sud de la lagune (Saint-Hippolyte) et au niveau du bassin des Dins d'Illes. Enfin, *Ruppia cirrhosa* et *Ruppia maritima* sont plus rares et se développent de façon isolée, excepté dans la partie Est du bassin de Leucate et dans le bassin des Dins d'Illes.

Suite à ces neuf années de suivi, quelques hypothèses ont pu être émises sur la dynamique des macrophytes opportunistes. Ainsi, les algues vertes opportunistes (*Chaetomorpha* sp., et *Ulva* sp.) et les algues rouges à comportement proliférant (comme *Halopitys incurva*) semblent posséder une dynamique similaire et tendent à se développer plus intensément pendant les années où la pluviométrie printanière est importante (2010, 2011, 2013, 2018). Lors des printemps secs (2012, 2014 et 2017), ces mêmes espèces ont tendance à régresser ou à disparaître localement. La dynamique de proliférations de macrophytes pourrait donc être liée à la pluviométrie printanière. Lors des printemps pluvieux, des foyers de prolifération d'algues vertes opportunistes sont localisés à proximité des apports continentaux identifiés dans la bibliographie. Des études complémentaires sur ces proliférations devraient donc être réalisées, afin de vérifier l'existence de cette dynamique. Les connaissances apportées pourraient donc permettre notamment de mieux comprendre les phénomènes de prolifération, et à terme de les réduire, voire de les supprimer.

Au-delà des objectifs opérationnels et de gestion, il est évident que la caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate, participe à la surveillance globale de la qualité des eaux lagunaires, mise en œuvre dans le cadre des différents réseaux existants (RSL, DCE, etc.). Il est donc

important que cette surveillance soit poursuivie de manière annuelle, afin de déceler toute anomalie au sein de l'herbier de l'étang de Salses-Leucate et de mettre en place des mesures de gestions adéquates.



## 6 Bibliographie

- Alexandre A., Santos R., Serrão E., 2005. Effects of clam harvesting on sexual reproduction of the seagrass *Zostera noltii*. Marine Plant Ecology Research Group, CCMAR - Centro de Ciências do Mar, CIMAR - Laboratório Associado, Universidade do Algarve, Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. Vol. 298 : 115-122.
- Auby I, Labourg P., 1996. Seasonal dynamics of *Zostera noltii* Hornem. in the bay of Arcachon (France). *J Sea Res* 35(4) : 269–277.
- Backman, T.W., Barilotti, D.C., 1976. Irradiance reduction: effects on standing crops of the eelgrass *Zostera marina* in a coastal lagoon. *Mar. Biol.* 34, 33–40.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M., 2009. Regression of Mediterranean Seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*, 52: 395-418.
- Boutiere H., De Bovee F., Dellile D., Fiala M., Gros C., Jacques G., Knoepffler M., Labat J.P., Panouse M., Soyer J., 1982. Effet d'une crise dystrophique dans l'étang de Salses-Leucate. *Oceanologica Acta*, n°sp. LASSERRE P., POSTMA H. edit. : 231 - 242.
- Boutière H., De Bovee F., Dellile D., Fiala M., Gros C., Jacques G., Knoepffler M., Labat J.P., Panouse M., Soyer J., 1982. Effet d'une crise dystrophique dans l'étang de Salses-Leucate. *Oceanologica Acta*, n°sp. LASSERRE P., POSTMA H. edit. : 231 - 242.
- Boutière H., Mizoule R., 1975. Préliminaire à l'étude de l'étang de Salses-Leucate après son remaniement général. *Doc. Lab. Arago*. 1 - 8.
- Boutière H., Mizoule R., 1975. Préliminaire à l'étude de l'étang de Salses-Leucate après son remaniement général. *Doc. Lab. Arago*. 1 - 8.
- Burkholder, J.M., Glasgow, H.B., Cooke, J.E., 1994. Comparative effects of water-column nitrate enrichment on eelgrass *Zostera marina*, shoalgrass *Halodule wrightii*, and widgeongrass *Ruppia maritima*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 105, 121–138.
- Burkholder, J.M., Mason, K.M., Glasgow, H.B., 1992. Water-column nitrate enrichment promotes decline of eelgrass *Zostera marina*: evidence from seasonal mesocosm experiments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 81, 163–178.
- Cesmat L., 2006. Etudes des processus écophysologiques et hydrodynamiques de la dynamique de l'algue invasive *Valonia aegagropila* (C.Agardh) dans la lagune de Salses-Leucate. Thèse de doctorat, Univ. Montpellier II, Fr. : 1 - 197 + Ann.
- Clanzig S., 1987. Inventaire des invertébrés d'une lagune méditerranéenne des côtes de France, biocénose et confinement : l'étang de Salses-Leucate (Roussillon). Thèse de doctorat, Ecole pratique des hautes études Sciences de la vie et de la terre. Paris, Fr. : 1 - 460.
- Collier C, Waycott M, 2009. Drivers of change to seagrass distributions and communities on the Great Barrier Reef: Literature review and gaps analysis, Reef and Rainforest Research Centre Limited, Cairns
- Collier, C. J., Lavery P.S., Masini R.J. and Ralph P.J., 2009. Shade-induced response and recovery of the seagrass *Posidonia sinuosa*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 370: 89-103
- Dalias N, Fabre E, 2011. Cartographie et caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate. Projet européen SUDOE Eco-Lagunes. Contrat Syndicat RIVAGE Salses-Leucate & OCEANIDE. OCEANIDE publ. Fr. : 98 pages.
- Dalias N, Fabre E, 2012. Caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate. Contrat Syndicat RIVAGE Salses-Leucate & SEANEO. SEANEO publ. Fr. : 79 p.
- Dalias N, Fabre E, 2013a. Caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate. Syndicat RIVAGE Salses-Leucate & SEANEO. SEANEO publ. Fr. : 75 pages.
- Dalias N, Fabre E, 2013b. Travaux de dragage sur une partie du domaine portuaire de la commune de Barcarès - Mesures de suivi. Port-Barcarès & SEANEO. SEANEO publ. Fr. : 100 pages.
- Dalias N, Fabre E, 2014. Caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate. Syndicat RIVAGE Salses-Leucate & SEANEO. SEANEO publ. Fr. : 65 pages.
- Dalias N, Fabre E, 2015. Caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate. Syndicat RIVAGE Salses-Leucate & SEANEO. SEANEO publ. Fr. : 40 pages.

- Delistraty D.A., Hershner C., 1984. Effects of the herbicide atrazine on adenine nucleotide levels in *Zostera marina* L. (eelgrass). *Aquatic Botany* Volume 18, Issue 4, June 1984, Pages 353–369.
- Denet A., 2010. Pôle relais Lagunes méditerranéennes. <http://www.pole-lagunes.org> Novembre 2010.
- DREAL LR, 2013. DREAL Languedoc-Roussillon. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement. <http://www.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr> Aout 2013.
- Fabre E., 2010. Préparation et mise en œuvre d'une campagne de cartographie et de caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines dans l'étang de Salses-Leucate. Rapp. Stage, Master 2 Gestion Intégrée du Littoral et des Ecosystèmes, Univ. Corse, Fr. : 1 - 32 + ann.
- Gallegos, M., Merino, M., Marbà, N., Duarte, C. (1992) Flowering of *Thalassia testudinum* Banks ex König in the Mexican Caribbean: age-dependence and interannual variability. *Aquatic Botany*, 43: 249-255.
- Got H., 1965. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Feuillea-Fitou (Corbières) et de la Salanque (Roussillon). Thèse de doctorat, CERGH, Institut de géologie, Univ. Montpellier II, Fr. : 1 - 158 + Ann.
- Harrison P.G., 1993. Variations in demography of *Zostera marina* and *Zostera noltii* on an intertidal gradient. *Aquat. Bot.*, 45, 63-77.
- Hauxwell, J., Cebrian, J., and Valiela, I., 2006. Light dependence of *Zostera marina* annual growth dynamics in estuaries subject to different degrees of eutrophication. *Aquat. Bot.* 84: 17-25.
- Haynes D., Ralph P., Prange J., Dennison B., 2000. The impact of the herbicide Diuron on photosynthesis in three species of tropical seagrass. *Marine Pollution Bulletin* 41 (7-12), pp. 288-293.
- Hemminga M.A., Duarte C.M., 2000. *Seagrass ecology*. Cambridge Univ. Press publ. 310 p.
- Herve P., 1978. Ichtyofaunes comparées de deux étangs littoraux du Roussillon : Canet-Saint Nazaire et Salses-Leucate. Thèse de doctorat, Univ. Pierre et Marie CURIE, Paris, Fr. : 1 - 253.
- Hily C., 2006. Fiche de synthèse sur les biocénoses : Les herbiers de Zostères marines (*Zostera marina* et *Zostera noltii*). Ifremer publ. : 1 - 6.
- Hily C., Bajjouk T., 2010. Fiche de Synthèse Habitat "Herbiers " – Mars 2010. Ifremer publ. : 13 p.
- Hily C., Den Hartog C., 1997. Les herbiers de zostères. In DAUVIN J.C., (Ed.), "*Les Biocénoses Marines et Littorales Françaises des Côtes Atlantiques, Manche et mer du nord: Synthèse, Menaces et Perspectives.*" MNHN, Paris, 28 : 140–143.
- Hily C., Le Hir M., 2002. The use of sedimentary intertidal system as recreational hand fishing area and its impacts on eelgrass beds (*Zostera marina*). In West Brittany, France. *Seminar "The Intertidal System"*. Royal Irish Academy National Committee for Biology, Dublin Ireland.
- Hiraoka K., Goto Y., Terawaki T., Okada M., 2001. Natural Deterioration of Eelgrass Meadows, *Zostera marina* L. Deposition of Fine Sediments Supplied from Flooding Rivers. *Journal of Japan Society on Water Environment (Japon)* ; ISSN:0916-8958; VOL.24; NO.3 : 153-158.
- Hootsmans, M.J.M., J.E. Vermaat, W. van Vierssen, 1987. Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrasses from the Netherlands: *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* Hornem.. *Aquat. Bot.*, 28, 275-285.
- Ifremer, 2000. Mise à jour d'indicateurs du niveau d'eutrophisation des milieux lagunaires méditerranéens. Rapport final. Tome II. Laboratoire Ifremer del/st Direction de l'Environnement et de l'Aménagement du Littoral. 412 p.
- Ifremer, 2005a et b. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Recommandations concernant le benthos. *Fiches techniques n°6 et 7 : Angiospermes – Herbiers à Zostera marina*. : 1 - 4.
- Ifremer, 2005c. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2004. *Rapport RSL-05/2005*. : 1 - 434.
- Ifremer, 2010. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2009. *Rapport RSL-10/2010* : 1 - 321.
- Ifremer, 2011. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2010. *Rapport RSL-11/2011* : 275p.

- Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau RMC, Région Languedoc-Roussillon, 2011. Réseau de Suivi Lagunaire : Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon : 148p.
- Ifremer, 2012. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2011. *Rapport RSL-12/2012* : 277p.
- Ifremer, 2013. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2012. *Rapport RSL-13/2013*, 266 p.
- Ifremer, 2014. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2013. *Rapport RSL-14/2014*, 219 p.
- Ifremer, 2017. Campagne de surveillance DCE 2015 en Méditerranée française. Convention Agence de l'Eau RMC/Ifremer n°214-2292, 79 p.
- Infoclimat : <http://www.infoclimat.fr>.
- Jacobs RPWM.,1982. Reproductive strategies of 2 seagrass species (*Zostera marina* and *Z. noltii*) along West Euro-pean coasts. In: Symoens JJ, Hooper SS, Compère P (eds). *Studies on aquatic vascular plants*. Royal Botanical Society of Belgium, Brussels, p 57–62.
- Keddy, C.J. 1987. Reproduction of annual eelgrass: variation among habitats and comparison with perennial Eelgrass (*Zostera marina* L.). *Aquat. Bot.* 27: 243-256.
- Knoepffler M., GROS C., 1980. Les eaux brunes de l'étang de Salses-Leucate. *Lab. Arago* :1 - 8.
- Laugier T., 2000. Bilan écologique et diagnostic de l'étang de Salses-Leucate. Contrat pour l'étang de Salses-leucate Volet II.B. Ifremer publ. : 1 - 109.
- Laugier T., Rigollet V., De Casabianca M.L., 1999. Seasonal dynamics in mixed Seagrass beds, *Zostera marina* L. and *Z. noltii* Hornem., in a Mediterranean coastal lagoon (Thau lagoon, France). *Aquatic Botany* 63: 51–69.
- Marbà, N. Walker, D., 1999. Growth, flowering and population dynamics of temperate Westernern Australian seagrasses. *Marine Ecology Progress Series*, 184: 105-118.
- McGlathery K.J., 2001. Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient-enriched coastal waters. *J. Phycol.*, 37 : 453 - 456.
- McKenzie L., Unsworth R., 2011. Surviving the flood. How long can seagrass "hold it's breath" ?. McKenzie L.J., Yoshida R.L., Unsworth R., 2011. *Seagrass-Watch News*. Issue 43, April 2011. *Seagrass-Watch HQ*. 28p.
- Moore K.A., Wetzel R.L., 2000. Seasonal variations in eelgrass (*Zostera marina* L.) responses to nutrient enrichment and reduced light availability in experimental ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 244 (2000) 1–28.
- Nielsen LW, Dahllöf I., 2007. Direct and indirect effects of the herbicides Glyphosate, Bentazone and MCPA on eelgrass (*Zostera marina*). *Aquat Toxicol.* 2007 Apr 20;82(1):47-54.
- Nixon S.W.,1982. Nutrients dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Proceedings of International symposium on coastal lagoons*. SCOR/IABO/UNESCO. Bordeaux. France. In *Oceanol. Acta* 357-371.
- Onuf C., 1996. Seagrass responses to long-term light reduction by brown tide in upper Laguna Madre, Texas: distribution and biomass patterns. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 138 : 219 - 231.
- Pena G., 1989. Sels nutritifs et micropolluants métalliques dans un écosystème lagunaire: l'étang de Thau. Thèse doct. Université de Montpellier (Montpellier II) sciences et techniques du Languedoc. Montpellier, France. 143 p.
- Pergent-Martini C., Pasqualini V., Ferrat L., Pergent G., Fernandez C., 2005. Seasonal dynamics of *Zostera noltii* Hornem. in two Mediterranean lagoons. *Hydrobiologia*. 543 (1) : 233-243.
- Pichot P., Ximenes M.C., Deslous-Paoli J.M., Juge C., 1994. Bilan de l'azote et du phosphore dans le système lagune-bassin versant de Thau. *Contrat Plan Etat-Région Languedoc-Roussillon Ifremer Publ.* 84 p.
- Plus M., 2001. Étude et modélisation des populations de macrophytes dans la lagune de Thau (Hérault, France). Thèse de Doctorat. Paris 6 – France. 369 p.
- Plus M., Deslous-Paoli J.M., Dagault T F., 2003. Seagrass (*Zostera marina* L.) bed recolonisation after anoxia-induced full mortality. *Aquatic Botany* 77 (2003) Elsevier publ. :121 - 134.

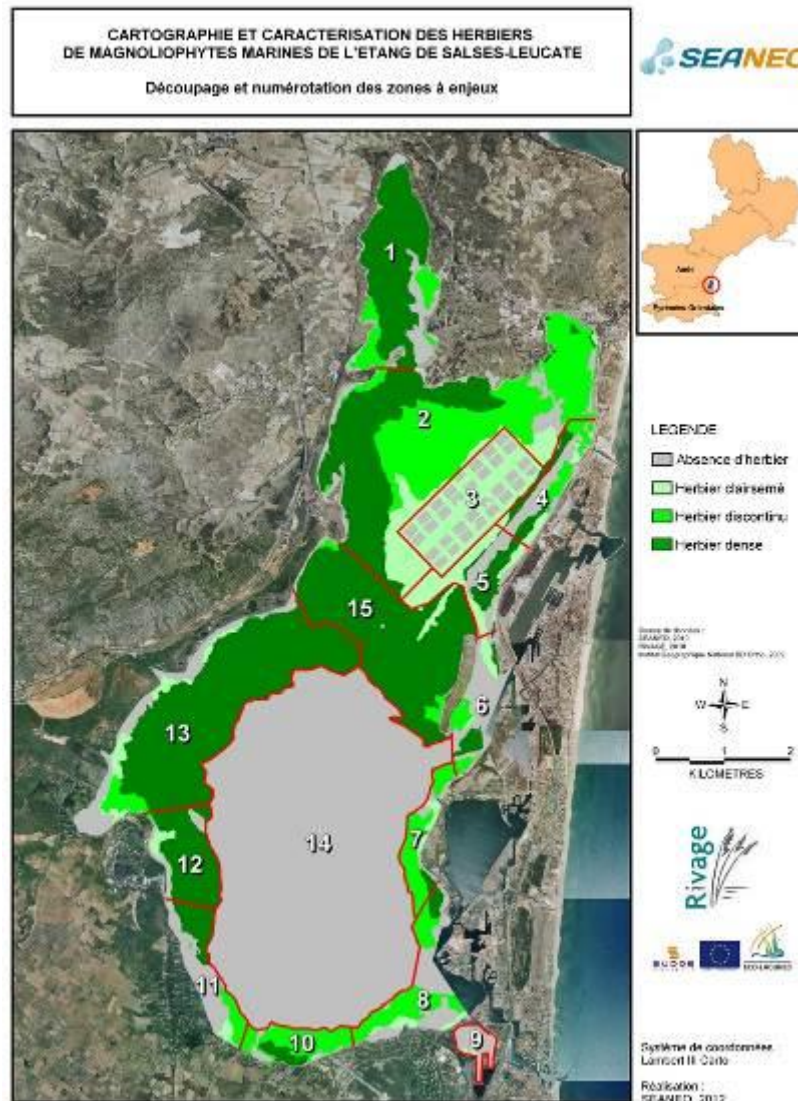
- Réseau de Suivi Lagunaire, 2011. Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon : 148 p.
- RIVAGE, 2015. Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau de l'étang de Salses-Leucate. Etat des Lieux, Plan d'Aménagement et de Gestion de l'Eau et Atlas cartographique.
- RIVAGE, 2016. Evaluation de l'état de conservation de l'habitat d'intérêt communautaire prioritaire "1150 \*Lagunes côtières à l'échelle du site Natura 2000" : Indicateur : Caractérisation des herbiers de l'étang de Salses-Leucate 2016. Syndicat RIVAGE Salses-Leucate & SEANEO, 42p.
- RIVAGE, 2017-2018. Caractérisation des herbiers de l'étang de Salses-Leucate 2017. Syndicat RIVAGE Salses-Leucate & SEANEO.
- Robertson, A. I., Mann, K. H. (1984) Disturbance by ice and Life-history adaptations of the eelgrass, *Zostera marina*. *Mar. Biol.* 80: 131-141.
- Ruggiero MV, Capone S, Pirozzi P, Reusch TBH, Procaccini G, 2005a. Mating system and clonal architecture: a comparative study in two marine angiosperms. *Evolutionary Ecology.* 19, 487–499.
- Ruggiero MV, Reusch TBH, Procaccini G, 2005b. Local genetic structure in a clonal dioecious angiosperm. *Molecular Ecology.* 14, 957–967.
- Sfriso A., Ghetti P.F., 1998. Seasonal variation in biomass, morphometric parameters and production of Seagrasses in the lagoon of Venice. *Aquatic Botany* 61: 1–17.
- Short F.T., Burdick D.M., Kaldy J.E., 1995. Mesocosm experiments quantify the effects of eutrophication on eelgrass, *Zostera marina*. *Limnol. Oceanogr.*, 40 : 740 - 749.
- Short FT., Wyllie-Echeverria S., 1996. Natural and human induced disturbance of seagrasses. *Environ Conserv.*, 23 : 17–27.
- Short, F.T., Burdick, D.M., Kaldy, J.E.K., 1995. Mesocosm experiments quantify the effects of eutrophication on eelgrass, *Zostera marina*. *Limnol. Oceanogr.* 40, 740–749.
- SUDOE, 2008. SUDOE Programme de Coopération Territoriale. <http://interreg-sudoe.eu> Juin 2012.
- Takesue R.K., Rosenbauer B.J., Grossman E.E., 2005. Sedimentation and contaminant loading: effects on eelgrass (*Zostera marina*) bed health in northern Puget Sound. *Proceedings of the 2005 Puget Sound Georgia Basin Research Conference.* 2 p.
- Van Lent F, Verschuure JM., 1994. Intraspecific variability of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the estuaries and lagoons of the southwestern Netherlands 11. Relation with environmental factors. *Aquat Bot* 48:59-75.
- Van Lent F. Verschuure JM, 1994. Intraspecific variability of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the estuaries and lagoons of the southwestern Netherlands. I: population dynamics. *Aquat Bot* 48:31-58.
- Verlaque M., 2000. Actualisation de la flore des macrophytes des étangs de Thau (Hérault) et de Salses-Leucate (Aude – Pyrénées-Orientales). Programme national d'océanographie côtière (2ème phase) p nec - lagunes méditerranéennes. Thème 1 : Le compartiment 'MACROPHYTES' UMR-6540 DIMAR COM CNRS : 1 - 63 + ann.
- Windguru : <https://www.windguru.cz/258>.
- Zharova, N., A. Sfriso, et al., 2001. A simulation model for the annual fluctuation of *Zostera marina* biomass in the Venice lagoon. *Aquatic Botany* 70(2): 135-150.
- Zimmerman, R. C., J. L. Reguzzoni, et al., 1995. Eelgrass (*Zostera-Marina* L) Transplants in San-Francisco Bay - Role of Light Availability on Metabolism, Growth and Survival. *Aquatic Botany* 51(1-2): 67-86.

## **7 Annexes**

---

<p><b>Annexe 1 : Définition des zones à enjeux</b></p>
--

Un découpage de l'étang en 15 zones à enjeux a été opéré. Dans une même zone à enjeux, les critères de sensibilité et de risques sont semblables (Dalias et Fabre, 2011; 2012).



Le classement des zones à enjeux selon leur niveau de sensibilité et de risque, a permis de définir plusieurs groupes de zones ayant des degrés de vulnérabilité semblables. Ce classement permet d'obtenir cinq classes. Dans chacune d'elle, une ou plusieurs zones à enjeux ont été désignées pour la caractérisation des Magnoliophytes marines (Dalias et Fabre, 2011; 2012).

Synthèse de la sensibilité et du risque pour chaque zone à enjeux.

Localisation zone	Sensibilité	Risque	Commentaires (état initial de référence de 2010)	Classes	Transect
<b>15 - Seuil central</b>	3	1	Secteur de sensibilité forte, exposé à des risques faibles (faible pression anthropique). L'herbier de ce secteur est en excellent état de conservation, il peut être défini comme herbier de référence. Ce type de situation laisse entrevoir des perspectives de maintien de la valeur biologique de l'habitat.	<b>1</b>	v
<b>1 - Anse du Paurel</b>	3	2	Secteur de sensibilité forte, exposé à des risques moyens (faible compétition avec les algues opportunistes et <i>Valonia aegagropila</i> , faible pression anthropique). L'herbier de ce secteur est en excellent état de conservation, il peut être défini comme herbier de référence. Ce type de situation laisse entrevoir des perspectives de maintien voire d'amélioration de la valeur biologique de l'habitat.	<b>2</b>	v
<b>4 - Corrège – Grau des ostréiculteurs</b>	3	2	Secteur de sensibilité forte ( <i>Pinna nobilis</i> ), exposé à des risques moyens (anthropisation). Un tel secteur se doit de pouvoir préserver ses richesses actuelles. Une gestion du site peut être mise en place dans le cadre d'une politique de développement durable.		
<b>6 - Corrège Sud</b>	3	3	Secteur de sensibilité forte ( <i>Pinna nobilis</i> ), exposé à des risques forts (anthropisation, algues opportunistes, <i>Halopitys incurva</i> ). Les perspectives à envisager seraient de contenir voire de diminuer les effets de l'anthropisation, des algues opportunistes et d' <i>Halopitys incurva</i> . L'espèce protégée <i>Pinna nobilis</i> peut être suivie.		
<b>8 - Coudalère</b>	3	3	Secteur de sensibilité forte ( <i>Pinna nobilis</i> ) et exposé à des risques forts (anthropisation importante, <i>Halopitys incurus</i> ). Les perspectives à envisager seraient de contenir voire de diminuer les effets de l'anthropisation, des algues opportunistes et d' <i>Halopitys incurva</i> . L'espèce protégée <i>Pinna nobilis</i> peut être suivie.		
<b>7 - Dosses</b>	2	1	Secteur de sensibilité bonne, exposé à des risques faibles (faible compétition avec <i>Halopitys incurus</i> ). Dans ce secteur, les activités anthropiques sont faibles. La compétition entre les herbiers et <i>Halopitys incurva</i> peut être suivie.	<b>3</b>	v
<b>12 - Sanyes del Deves</b>	2	1	Secteur de sensibilité bonne et exposé à des risques faibles (faible compétition avec <i>Halopitys incurva</i> ). Dans ce secteur, les activités anthropiques sont faibles. La compétition entre les herbiers et <i>Halopitys incurva</i> peut être suivie.		

Localisation zone	Sensibilité	Risque	Commentaires	Classes	Transect
2 - Port-Fitou / Anse de Leucate	2	2	Secteur de sensibilité bonne et exposé à des risques moyens (compétition avec <i>Valonia aegagropila</i> ). Dans ce secteur, les activités anthropiques sont faibles. La compétition entre les herbiers et <i>Valonia aegagropila</i> peut être suivie.	4	√
3 - Parcs à huîtres	2	2	Secteur de sensibilité bonne (présence d'herbier dans une zone profonde), exposé à des risques moyens (présence d'algues opportunistes, herbier dégradé). Une surveillance de l'herbier présent dans cette zone profonde peut être effectuée.		
5 - Corrége Nord	2	2	Secteur de sensibilité bonne et exposé à des risques moyens (anthropisation). Dans ce secteur, il n'y a pas de compétition avec d'autres macrophytes. Ce type de situation laisse entrevoir des perspectives de maintien voire d'amélioration de la valeur biologique de l'habitat.		
10 - Terrain militaire	2	2	Secteur de sensibilité bonne, exposé à des risques moyens (compétition avec <i>Halopitys incurva</i> ). Dans ce secteur, les activités anthropiques sont faibles. La compétition entre les herbiers et <i>Halopitys incurva</i> peut être suivie.		√
13 - Anse de la Roquette, Sanyes d'Opoul	2	2	Secteur de sensibilité bonne soumis à des risques forts (prolifération d'algues opportunistes en limite supérieure et compétition avec <i>Halopitys incurva</i> en limite inférieure). Les perspectives à envisager seraient de contenir voire de diminuer les éléments responsables de cette prolifération.		√
14 - Centre du bassin de Salses	1	2	Secteur de sensibilité faible et exposé à un risque fort (prolifération d' <i>Halopitys incurva</i> ). Les perspectives à envisager seraient de contenir voire de diminuer les éléments responsables de cette prolifération. De plus, le caractère dérivant d' <i>Halopitys incurva</i> expose toutes les zones périphériques à un risque de recouvrement des herbiers.	5	
9 - Etang de l'angle	1	3	Secteur de sensibilité faible, soumis à un risque fort (algues opportunistes, <i>Gracilaria gracilis</i> , <i>Ficopomatus enigmatus</i> ). Ces espèces indiquent que le milieu est trop enrichi. Les perspectives à envisager seraient de contenir, voire de diminuer les effets et les impacts de cet enrichissement excessif.		
11 - Saint-Hippolyte	1	3	Secteur de sensibilité faible soumis à un risque fort (algues opportunistes, présence d'herbier mort, <i>Halopitys incurva</i> , aménagement littoral). Les perspectives à envisager seraient de contenir voire de diminuer les éléments responsables de l'état particulièrement dégradé de l'herbier dans cette zone.		√




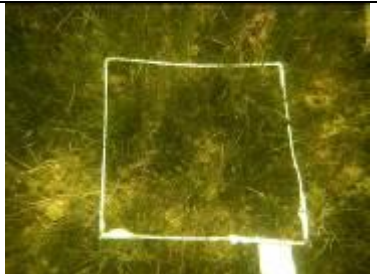



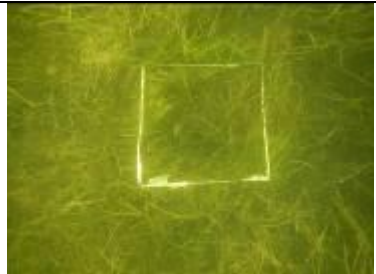



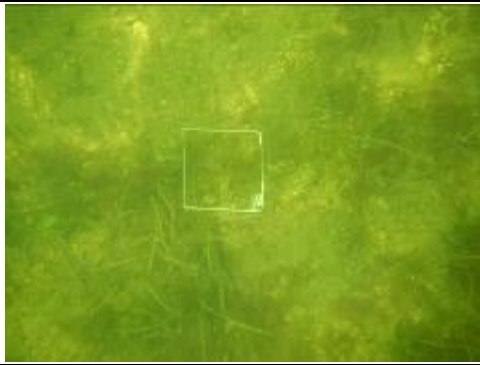

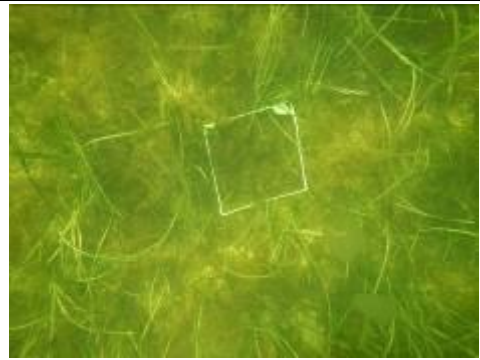
## Annexe 2 : Photographies sous-marines des quadrats de caractérisation des Magnoliophytes

### Légende





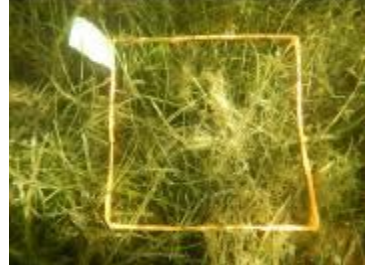


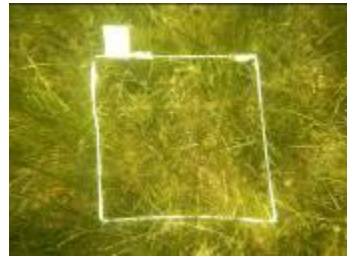


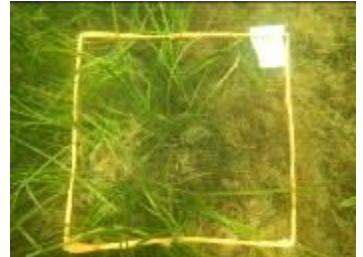
Nom de la station de caractérisation	
Quadrat 1	Quadrat 2
Quadrat 3	Quadrat 4













A noter que certaines photos sont absentes car elles étaient inexploitables et/ou visibilité trop faible.

















<p>Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°1 "Paurel"</p>	<b>Station superficielle</b>			
				
				
	<b>Station centrale</b>			
				
				
<b>Station profonde</b>				
				
				



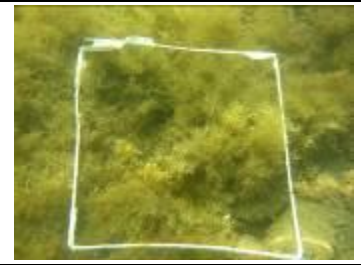

<p>Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°2 "Port-Fitou à l'Anse de Leucate"</p>	Station superficielle				
Station centrale		Station profonde			
					
					

<b>Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°7 "Les Dosses"</b>	<b>Station superficielle</b>		
<b>Station centrale</b>		<b>Station profonde</b>	

<p>Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°10 "Terrain militaire"</p>	<b>Station superficielle</b>			
				
				
	<b>Station centrale</b>			
<b>Station centrale</b>		<b>Station profonde</b>		
				
				

Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°11 "Saint-Hippolyte"			
Station superficielle annexe		Station superficielle	
			
			
Station centrale		Station profonde	
			
			

Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°13 "Anse de la Roquette – Sanyes d'Opoul»			
Station superficielle de "Anse de la Roquette"		Station superficielle "Font Dame"	
			
			
Station centrale		Station profonde	
			
			

<p>Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°15 "Seuil central"</p>	<b>Station superficielle</b>			
				
	<b>Station centrale</b>		<b>Station profonde</b>	
	