

**Caractérisation des Herbiers
de l'étang de Salses-Leucate
2021**

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), 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

1	Contexte et Objectif	5
1.1	Cartographie initiale de l'herbier existant :	5
1.2	Zones à enjeux faisant l'objet du suivi	6
1.3	Méthodologie des suivis	9
2	Résultats 2021.....	11
2.1	Les conditions météorologiques	11
2.2	Evolution des limites de l'herbier.....	12
2.3	Analyse de l'évolution du recouvrement et densité	16
2.4	Diminution légère de la vitalité de l'herbier	18
3	Conclusion	19
4	Bibliographie.....	20
5	Annexes.....	24

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des transects permanents et des stations de caractérisation.	8
Figure 2 : Mise en place du transect permanent et des stations de caractérisation.	9
Figure 3 : Courbes Pluies et températures à Leucate 2021 (<i>source Infoclimat.fr</i>).....	11
Figure 4 : Températures de l'eau de la lagune en 2021.....	12
Figure 5 : Cartographie des limites des herbiers 2021 et des stations.....	15

Liste des tableaux

Tableau 1 : Coordonnées des limites d'herbier (2021) et des stations de caractérisation.	10
Tableau 2 : Mesures effectuées sur chaque station.....	10
Tableau 3 : Analyse de l'évolution des limites des herbiers de l'étang de Salses-Leucate depuis 2010.	13
Tableaux 4 : Comparaison des classes d'herbier au niveau des stations de caractérisation depuis 2011.	17
Tableau 5 : Présentation des résultats globaux des campagnes de caractérisation.....	18

1 Contexte et Objectif

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 initiales des herbiers de Magnoliophytes marines de l'étang de Salses-Leucate réalisées dans le cadre du projet européen SUDOE ECO-LAGUNES (SUDOE, 2008). 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 (objet de la présente étude) 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.

A noter également que 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.

Plusieurs critères et indicateurs ont été retenus. Suivant la méthodologie proposée, un des indicateurs proposé correspond à l'étude des Macrophytes et des herbiers.

1.1 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 (1978), Verlaque et Laugier (2000), 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. Par la suite, la récession des herbiers de Zostères au profit de *Valonia aegagropila* a été suivie par Clanzig (1987) dans l'anse du Paurel.

Par la suite, le Réseau de Suivi Lagunaire (RSL) opéré par l'Ifremer a établi un inventaire spécifique, qualitatif et quantitatif des macrophytes. 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.

Plus de 77 espèces de macrophytes ont été répertoriées. Les Magnoliophytes dominantes sont *Zostera noltei* et *Ruppia cirrhosa* alors que *Zostera marina* est moins abondante. 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*, *Gracilaria gracilis* et *Halopitys incurva*) 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. *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. 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, 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).

Au centre du bassin de Salses, les rhodophytes, dominées par *Halopitys incurva*, peuvent entrer en compétition avec les herbiers. 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. En revanche, en 2012, pour des raisons encore mal connues (lié au froid très dense qui avait fait geler une partie de l'étang cette année-là ?), cette espèce a pratiquement disparu, pour réapparaître à nouveau en 2013.

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, mais à partir de cette date, l'extension des bancs de *Valonia* a diminué. Aujourd'hui, l'espèce vit en association avec l'herbier sans l'asphyxier.

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).

1.2 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 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**

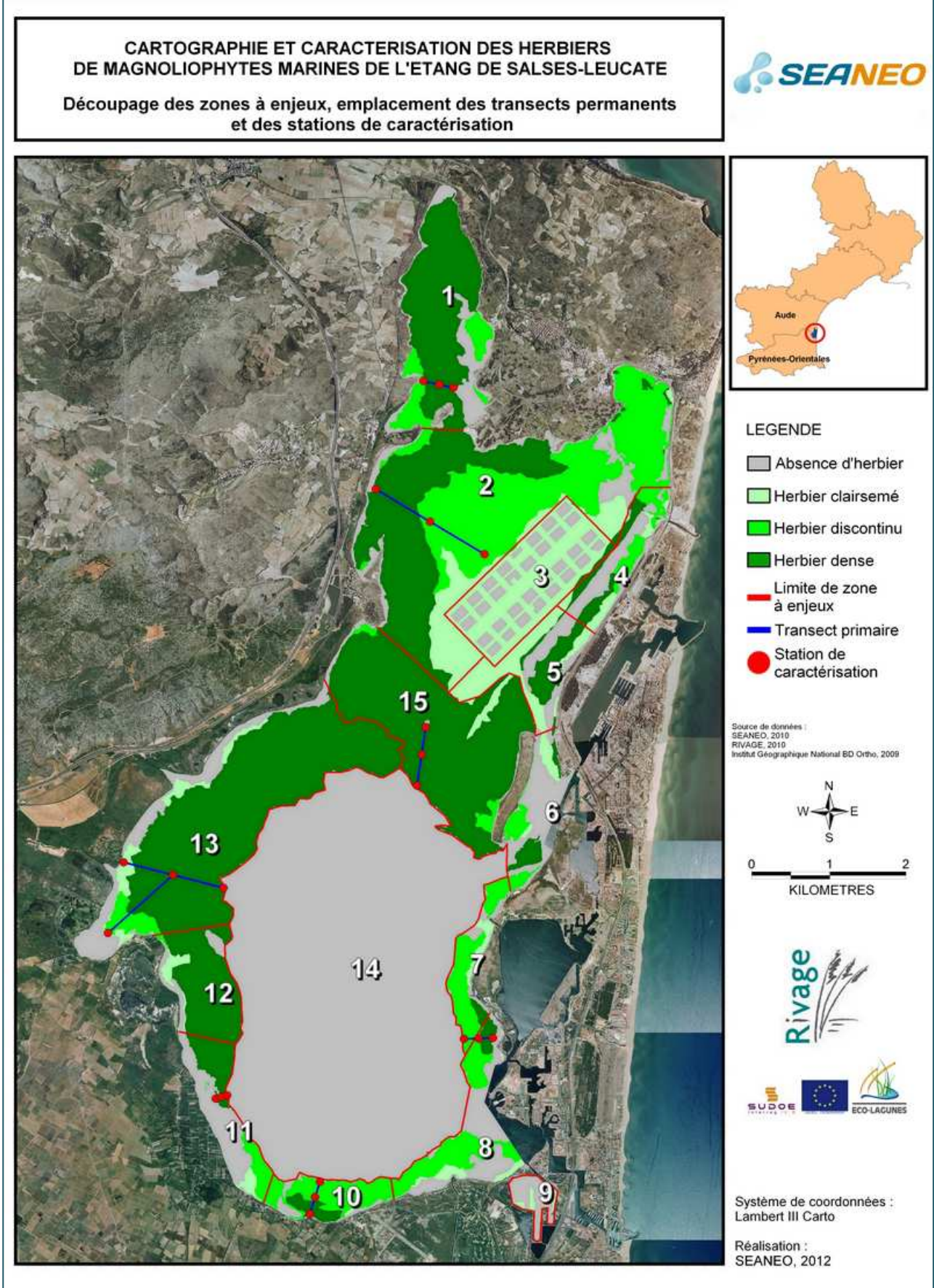


Figure 1 : Localisation des transects permanents et des stations de caractérisation.

1.3 Méthodologie des suivis

1.3.1 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, 2005). 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.

1.3.1.1 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 1).

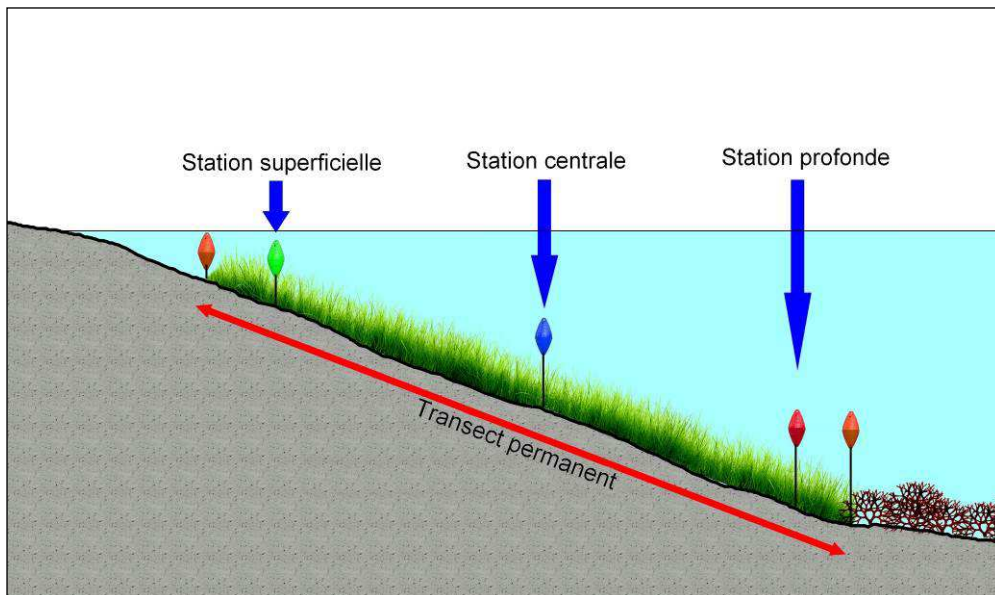


Figure 2 : Mise en place du transect permanent et des stations de caractérisation.

1.3.1.2 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. Idéalement, une station est placée en zone superficielle, une au centre de l'herbier, et une troisième dans la partie profonde.

Zone à enjeux	Limite supérieure 2021 (WGS-84)	Limite inférieure 2021 (WGS-84)	Station supérieure (WGS-84)	Station centrale (WGS-84)	Station profonde (WGS-84)
1 : Paurel	N42.90403 E3.00671	N42.90279 E3.01517	N42.90380 E3.00729	N42.90337 E3.00990	N42.90297 E3.01224
2 : Port-Fitou à Anse de Leucate	N42.89053 E3.00005	/	N42.89050 E2.99930	N42.88640 E3.00815	N42.88230 E3.01722
7 : Dosses	N42.82269 E3.01815	N42.82252 E3.01128	N42.82247 E3.01842	N42.82225 E3.01553	N42.82220 E3.01309
10 : Terrain militaire	N42.80036 E2.9872	N42.80531 E2.98914	N42.80070 E2.98728	N42.80275 E2.98813	N42.80503 E2.98926
11 : Saint-Hippolyte	N42.81429 E2.96914	N42.81742 E2.97902	N42.81504 E2.97172 Sta. Sup : N42.81450 E2.96979	N42.81524 E2.97264	N42.81525 E2.97308
13 : Roquette Sanyes Opoul	N42.84401 E2.95659	N42.84401 E2.97422	N42.84443 E2.95667	N42.84282 E2.96489	N42.84117 E2.97332
13 : Anse de la Roquette	N42.83844 E2.96169	/	N42.83555 E2.95366	/	/
15 : Seuil central	N42.86079 E3.00648	/	N42.86110 E3.00723	N42.85749 E3.00647	N42.85367 E3.00563

Tableau 1 : Coordonnées des limites d'herbier (2021) et des stations de caractérisation.

1.3.2 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 m² sont placés au hasard et plusieurs paramètres y sont mesurés (Tableau 2) (Dalias et Fabre, 2011; 2012).




Paramètres mesurés			
Caractérisation des Magnoliophytes	<ul style="list-style-type: none"> Taux de recouvrement par les feuilles, toutes espèces confondues (Estimation grâce à une photographie prise à la verticale du quadrat si possible) ; Densité : comptage du nombre de faisceaux (par espèce) pour connaître la densité (faisceaux/m²) et la proportion de chaque espèce ; Mesure de la hauteur moyenne de la canopée (par espèce). <p>Remarque : 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"> Substrat (roche ; galets/graviers ; sableux ; sablo-vaseux ; vaseux ; débris coquillés) Teneurs en azote, phosphore et matière organique (Réseau de Suivi Lagunaire). Paramètres climatiques : température, turbidité, pluviométrie, point sur les événements climatiques exceptionnels. 		

Tableau 2 : Mesures effectuées sur chaque station

2 Résultats 2021

2.1 Les conditions météorologiques

Entre le mois de janvier et d'octobre 2021, il est tombé 195 mm de pluie. Cela correspond à une année particulièrement déficitaire avec un printemps sec (67mm entre avril et juin), période de croissance des herbiers. Les pluies automnales sont tombées tardivement au mois de novembre, mais ont permis de rattraper le déficit avec des précipitations marquées (227 mm).

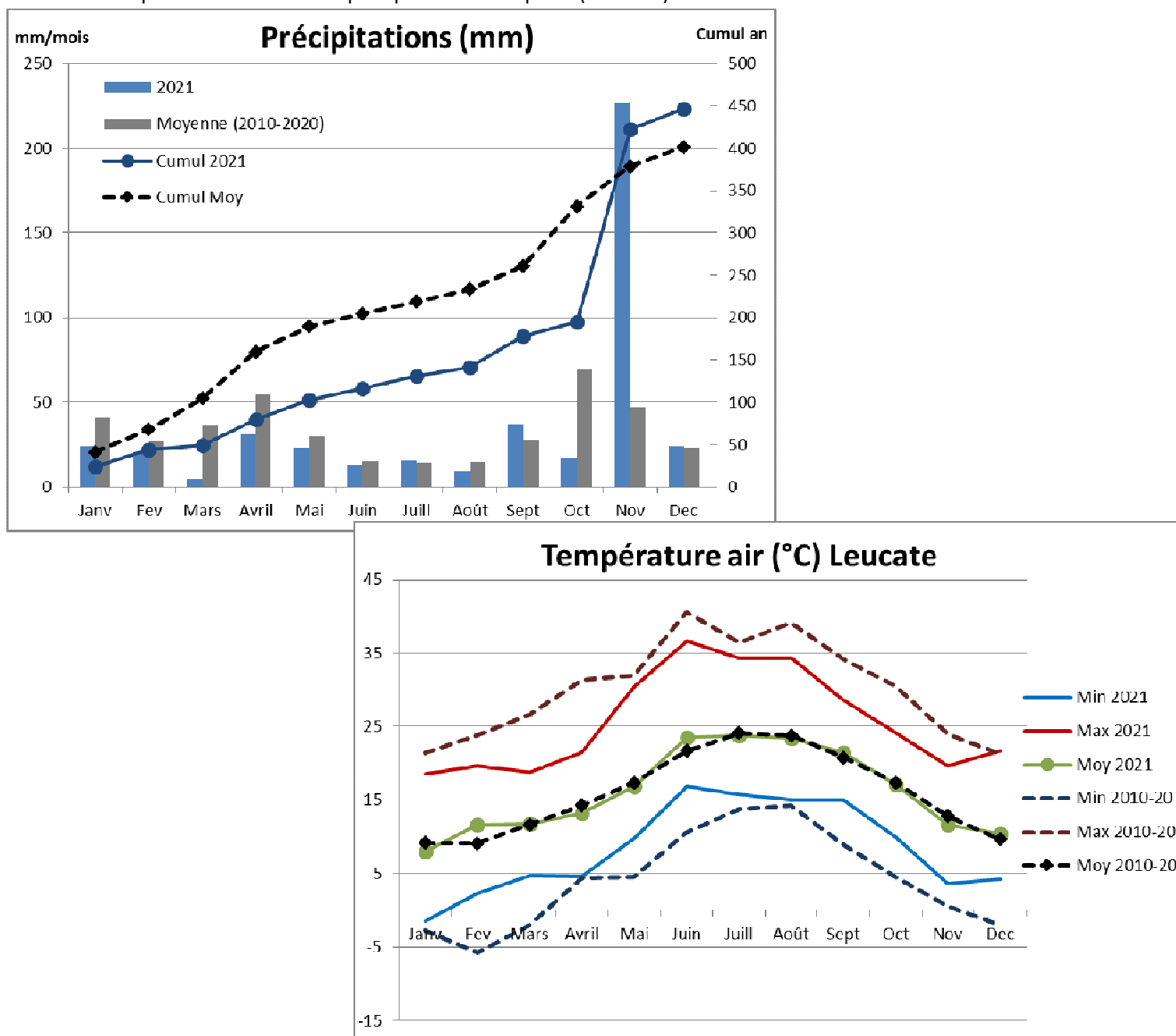


Figure 3 : Courbes Pluies et températures à Leucate 2021 (source Infoclimat.fr)

En ce qui concerne les températures, 2021 avec un retour des valeurs autour des moyennes (16°C). À noter toutefois des températures négatives au mois de janvier et plutôt fraîches aux mois de juillet et novembre. 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.

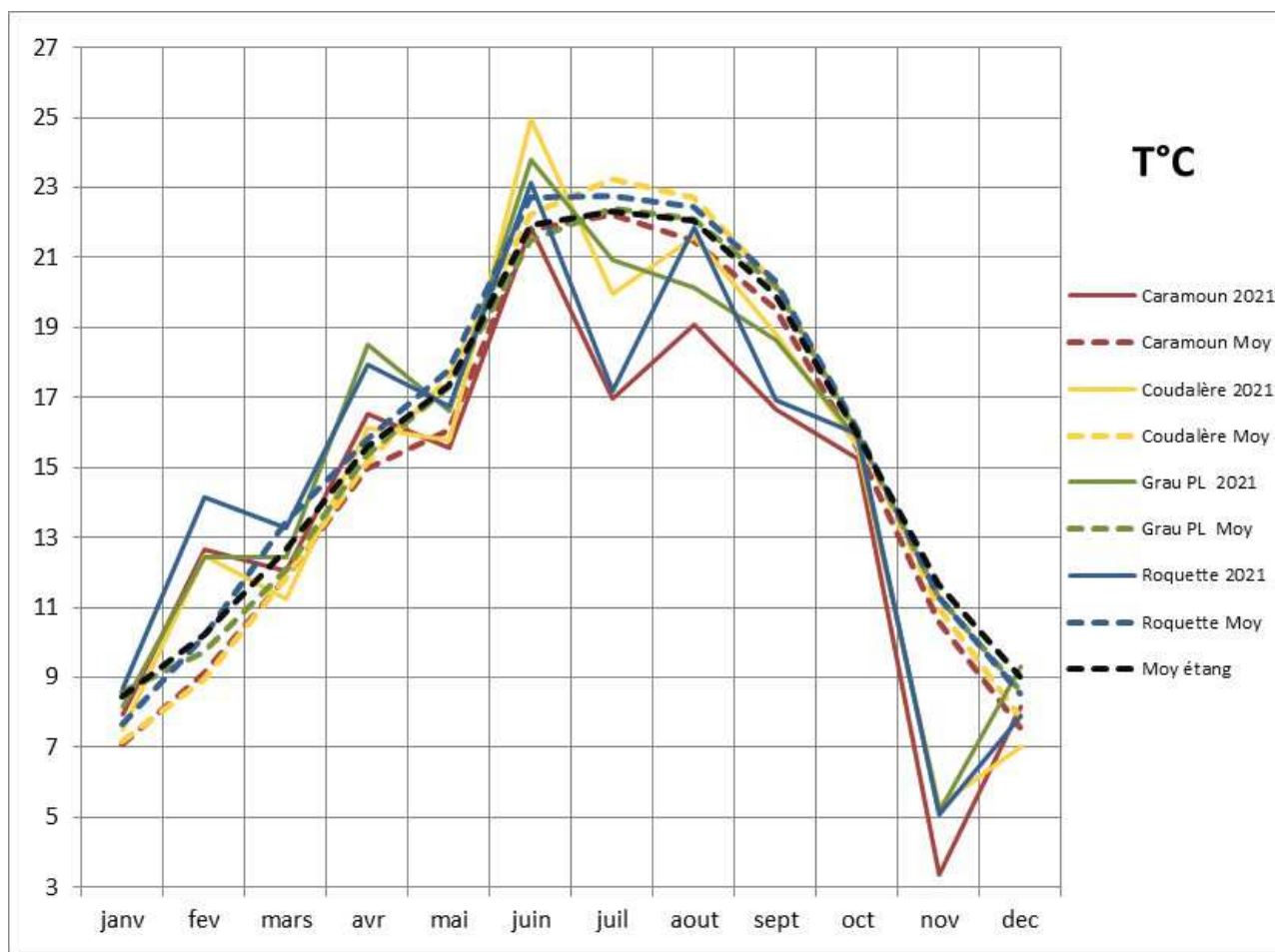


Figure 4 : Températures de l'eau de la lagune en 2021

2.2 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 2021. 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. La situation qui s'était encore dégradée jusqu'en 2020 s'est un peu améliorée en 2021 (Cf. tableau ci-dessous).

Zone à enjeux	Evolution des limites Herbiers (m)																				Evolution 2020-21	Sup 2010-21	Inf 2010-21	Evolution 2010-21	Evolution 2010-21
	Limite superieure										Limite inférieure														
	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2019-20	2020-21	2020-21	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2019-20	2020-21	2020-21						
1 - Le Paurel	+22	0	0	-50	17	+21	-33	+15	+39	↑	+125	-244	-146	+160	-74	+48	-30	+141	↑	↑	54	240	294	↑	
2 - Port-Fitou	+25	0	0	+18	0	0	0	-120	0	↔										↔	-61		-61	↓	
7 - Les Dosses	+25	+21	0	+40	-34	+14	+21	0*			0	0	+55	+111	-61	+82	0*	0*	↔	↔	-33	152	119	↑	
10 - Terrain militaire	0	0	0	0	0	-5	-56	+10	+52	↑	-11	0	0	+55	-60	+35	-48	+10	↔	↑	40	10	50	↑	
11 - Saint-Hippolyte	-158	+150	-180	+30	+143	-7	-158	+15	+141	↑	+200	0	+243	+277	-65	-54	-115	+339	↑	↑	228***	514	742	↑	
13' - Roquette	+256	-48	-108	-36	0	-447	+392	-496	-600**	↓										↓	-730		-730	↓	
13 - Sanyes Opoul	0	0	0	-48	+51	-166	+116	+44	-10**	↔	0	0	+20	+538	-83	-323	-184	0	↔	↔	-10	0	-10	↔	
15 - Seuil central	0	0	0	0	0	-14	+14	0*	-93**	↓	0	0	-145	+125	0	-122	+20	+800*		↑	-70	900*	830	↑	
MOYENNE	+21	+15	-36	-6	+21	-76	+37	-64	-67	↓	+52	-40	+4	+204	-57	-56	-60	+215	↑	↑ (+148)	-47	0	154	↑ (+133)	

Limite trop lointaine/profonde pour être mesurée *

Pas d'herbier sur les cadrats aléatoires de la station, mais quelques brins un peu plus loin qui sont considérés comme étant la limite **

Tableau 3 : Analyse de l'évolution des limites des herbiers de l'étang de Salses-Leucate depuis 2010.

L'analyse de l'évolution 2020-21 montre une augmentation des limites entre les 2 années surtout pour les limites inférieures (qui avaient bien régressé les années précédentes). Les meilleures extensions sont observées sur Saint-Hippolyte qui progresse depuis 2 ans (effet mise aux normes de la STEP ?) et du Seuil central sur ses limites inférieures. A noter qu'une partie des limites supérieures ayant atteint leur maximum, elles ne peuvent qu'être stables ou régresser.

Par rapport aux limites de 2010, les limites 2021 ont marqué globalement une augmentation sauf à Fitou et à l'anse de la Roquette (zone qui reste très sujette aux phénomènes d'eutrophisation).

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.

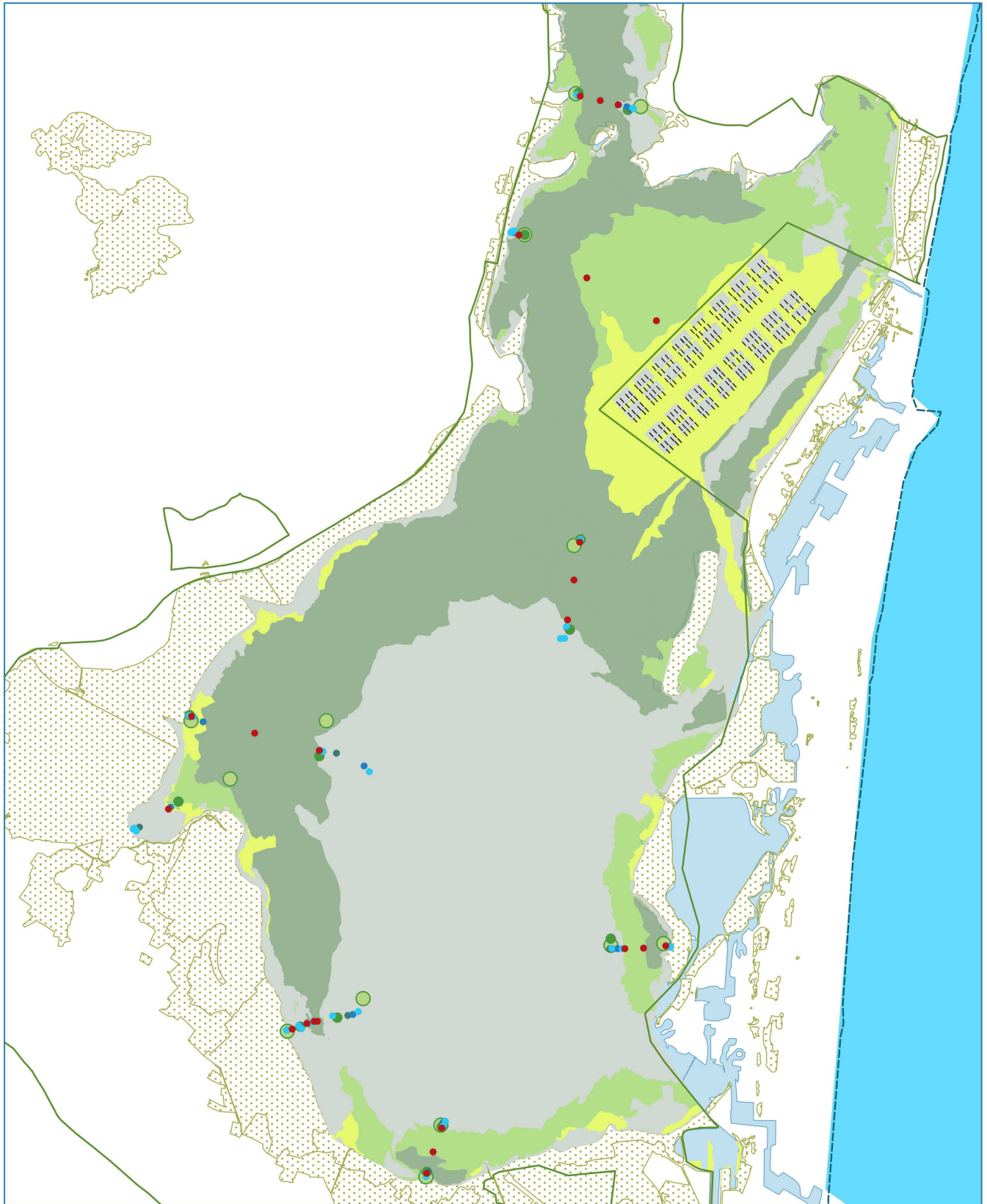
Plus globalement dans la bibliographie et avec nos dix années de suivi, on observe que les herbiers de l'étang de Salses-Leucate ont occupé une superficie très variable. En 1975, la surface colonisée par les herbiers était plus importante qu'actuellement. En revanche en 2000, les herbiers ne s'étendaient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


En effet, les Zostères sont sensibles aux perturbations modifiant leur environnement, et influençant leur répartition. 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. La transparence de l'eau peut être réduite par l'agitation du plan d'eau, notamment lorsque les fonds sont dépourvus de végétation. 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. Ainsi, en 1979 et 1980, une crise dystrophique provoquée par la prolifération de la microalgue brune *Nanochloris sp.* a entraîné une forte turbidité. La plupart des herbiers situés en profondeur ont été détruits par le manque de lumière.

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.

En 2021 les conditions météorologiques du printemps ont été plutôt favorables au développement de l'herbier, ce qui pourrait expliquer l'expansion des limites de l'herbier à l'échelle de la lagune de Salses-Leucate. Plus généralement, les conditions environnementales globales de la lagune sont plutôt favorables au développement des Magnoliophytes du fait d'une faible eutrophisation confirmée par l'atteinte du Bon état écologique DCE).

Limites Herbiers 2021




 Echelle : 1/37 000
 Cartographie : Rivage 2021
 Données : DREAL, RIVAGE, SEANEAO
 Fond topographique : BD Topo, IGN

Légende		
<ul style="list-style-type: none"> Herbier_absent Herbier_clairsemé Herbier_discontinu Herbier_dense Station 	<ul style="list-style-type: none"> 2015-17 2018 2019 2020 Limites_herbier_2021wgs 	<ul style="list-style-type: none"> SIC_CLSL_ds_SAGE ZH 2016 valide LaguneSL SAGE_perimetre






Figure 5 : Cartographie des limites des herbiers 2021 et des stations.

2.3 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 %).

Contrairement aux résultats sur les limites, les taux de recouvrement ne marquent pas d'évolution avec 3 zones en amélioration (Port-Fitou, Terrain militaire et Saint-Hippolyte sup), 3 zones stables (dont Roquette qui reste sans herbier depuis 2 ans) et 3 zones en diminution (Dosses, Sagnes d'Opoul et Seuil central) (Cf. tableau ci-dessous).

Depuis 2010, le recouvrement marque une légère régression.

A noter que les résultats de la densité (nombre de feuilles/m²) marquent une régression sur davantage de zones.

Zone à enjeux	Station supérieure						Station centrale						Station profonde						ZONE 2020-21	Zone 2010-21
	Ref : 2010	2018	2019	2020	2021	Evolution 2020-21	Ref : 2010	2018	2019	2020	2021	Evolution 2020-21	Ref : 2010	2018	2019	2020	2021	Evolution 2020-21		
1 - Le Paurel	Dense	Discontinu	Dense	Discontinu	Discontinu	↔	Dense	Dense	Dense	Discontinu	Discontinu	↔	Dense	Discontinu	Dense	Discontinu	Discontinu	↔	↔	↓
2 - Port-Fitou	Dense	Dense	Dense	Pas d'herbier	Clairsemé	↑	Discontinu	Discontinu	Dense	Discontinu	Dense	↑	Discontinu	Clairsemé	Clairsemé	Clairsemé	Discontinu	↑	↑	↓
7 - Les Dosses	Pas d'herbier	Dense	Discontinu	Dense	Pas d'herbier	↓	Discontinu	Discontinu	Dense	Dense	Dense	↔	Discontinu	Discontinu	Dense	Discontinu	Discontinu	↔	↓	↑
10 - Terrain militaire	Dense	Discontinu	Pas d'herbier	Pas d'herbier	Dense	↑	Discontinu	Discontinu	Discontinu	Discontinu	Discontinu	↔	Pas d'herbier	Discontinu	Discontinu	Clairsemé	Clairsemé	↔	↑	↑
11' - SH	Dense*	Discontinu	Pas d'herbier	Clairsemé	Discontinu	↑													↑	↓
11 - Saint-Hippolyte	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Dense	Dense	Dense	Discontinu	Discontinu	↔	↔	↓
13' - Roquette	Pas d'herbier	Clairsemé	Clairsemé	Pas d'herbier	Pas d'herbier	↔													↔	↔
13 - Sanyes Opoul	Clairsemé	Clairsemé	Dense	Discontinu	Pas d'herbier	↓	Dense	Dense	Dense	Dense	Discontinu	↓	Dense	Discontinu	Clairsemé	Clairsemé	Clairsemé	↔	↓	↓
15 - Seuil central	Dense	Discontinu	Clairsemé	Clairsemé	Pas d'herbier	↓	Dense	Dense	Dense	Dense	Dense	↔	Dense	Discontinu	Discontinu	Dense	Discontinu	↓	↓	↓

*Suivis a/c 2012

Tableaux 4 : Comparaison des classes d'herbier au niveau des stations de caractérisation depuis 2011.

2.4 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 2020, les paramètres de vitalité de l'herbier évoluent différemment suivant les espèces. On observe ainsi :

- Une diminution du recouvrement général,
- Une diminution de la densité des *Z. noltei* qui influence fortement la densité globale (pire année disposition 2011)
- Une augmentation de la densité des *Z. marina* (meilleure année depuis 2011)
- Une diminution des hauteurs de canopée des *noltei*, (stabilité des *Z. marina*)
- Une diminution de l'épiphytisme (ce qui est bien).

A noter que ce sont les herbiers de *noltei* qui sont le plus touchés, et étant largement majoritaires ils influent sur tous les résultats. Les herbiers de *marina* marquent plutôt une amélioration sur tous les paramètres de vitalité comme l'année dernière.

Campagne	Recouvrement (%)	Densité globale (fsx/m ²)	Densité <i>Z. noltei</i> (fsx/m ²)	Densité <i>Z. marina</i> (fsx/m ²)	Canopée <i>Z. noltei</i> (cm)	Canopée <i>Z. marina</i> (cm)	Taux d'épiphytisme (Indice)
2011	58,88	1160,7	1119	35,6	24,6	59,8	1,3
2012	59,8	1383	1321	52,7	27,6	93,5	1,24
2013	55,9	1570,5	1523,4	39,6	21,6	36,8	1,55
2014	52,25	1077,5	1045,5	30,1	22,3	39,4	1,44
2015	64,57	1281,5	1248,5	24,1	22,9	33,2	1,38
2016	64,14	869,87	822,32	38,21	28,82	50,14	1,12
2017	71,67	1176,79	1111,96	43,09	32,53	41,67	1,13
2018	64,11	1368,75	1294,24	49,02	44,35	66,58	1,13
2019	65,11	889,73	847,21	32,83	36,71	39,56	1,42
2020	50,97	595,54	516,63	72,61	37,05	57,45	1,49
2021	47,76	590,43	414,67	166,74	28,47	59,15	1,14
2020-21	-3,2	-5,1	-102,0	94,1	-8,6	1,7	-0,4
2011-21	-11,1	-570,3	-704,3	131,1	3,9	-0,6	-0,2

valeur maximale

valeur minimale

Tableau 5 : 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.

Comme on l'a vu précédemment les conditions météorologiques printanières ont été plutôt propices au développement mais cela semblerait surtout avoir été favorable aux *Z. marina*.

Par rapport à l'année 2011, une légère diminution de la vitalité des herbiers a été observée sur les paramètres de densité pour *Z. noltei*.

3 Conclusion

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

A l'échelle globale de la lagune, en 2021, la vitalité des Magnoliophytes marines à l'échelle de l'étang de Salses-Leucate semble avoir diminué par rapport à l'état initial et 2020 (sauf pour les marina). En revanche, l'herbier occupe en moyenne une plus grande superficie qu'en 2010 et 2020, pouvant signifier que les conditions de développement des Magnoliophytes se sont globalement améliorées en 10 ans.

Au niveau de l'anse de la Roquette, une dynamique de restauration s'était mise en place depuis 2010, mais a à nouveau marqué par une forte régression depuis 2 ans.

Dans la zone à enjeux de Saint-Hippolyte, l'herbier a connu des phases de restauration et de dégradation successives. En fonction des années, cette alternance d'un herbier absent et d'un herbier en bon état restait difficile à expliquer quoique sans doute en lien avec des apports continentaux (provenant de la nappe de la Salanque ou de la STEP). L'amélioration de ces 2 dernières années pourrait soutenir l'influence des apports du BV, notamment de la STEP dont les travaux de mise en conformité (ainsi que sur le réseau de collecte) semblent porter leur fruit. A confirmer dans les années à venir.

Au niveau du Terrain militaire, les limites sont globalement stables d'année en année. Toutefois par rapport à 2010 on observe un meilleur état de conservation.

En remontant vers les Dosses, ainsi que dans la zone du Seuil central, on constate une stabilité des limites et du recouvrement et une amélioration par rapport à l'état initial.

Dans la partie nord, à Port-Fitou et à l'anse du Paurel les limites sont stables ainsi que le recouvrement, avec même une amélioration du recouvrement à Fitou.

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 dix 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.

4 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.

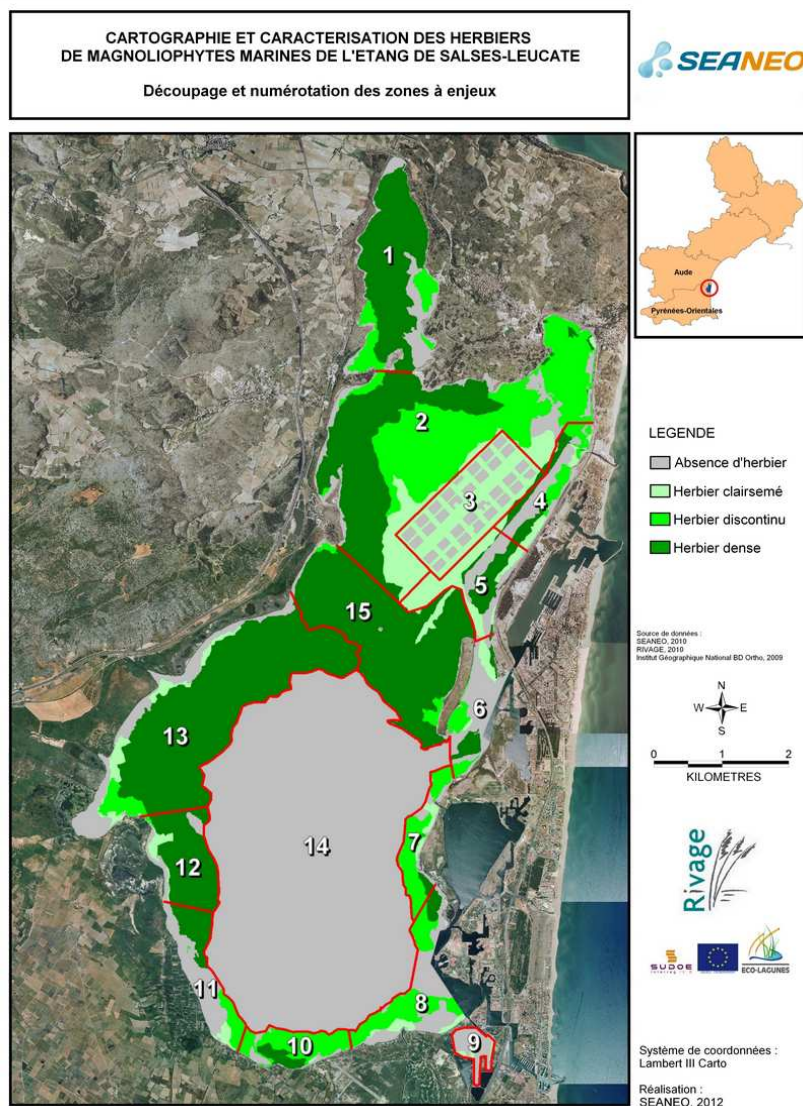
- Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau RMC, Région Languedoc-Roussillon, 2011. Réseau de Suivi Lagunaire : Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon : 148p.
- Ifremer, 2012. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2011. *Rapport 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/IIABO/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) pnec - 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.

5 Annexes

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

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
15 - Seuil central	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.	1	v
1 - Anse du Paurel	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.	2	v
4 - Corrège – Grau des ostréiculteurs	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.		
6 - Corrège Sud	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.		
8 - Coudalère	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.		
7 - Dosses	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.	3	v
12 - Sanyes del Deves	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.		

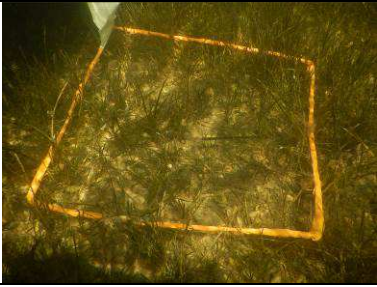
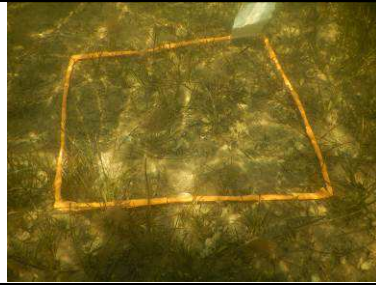
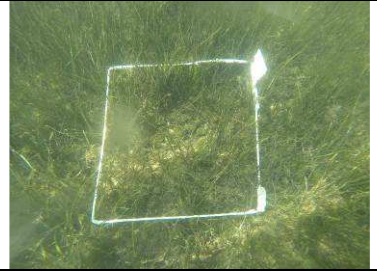
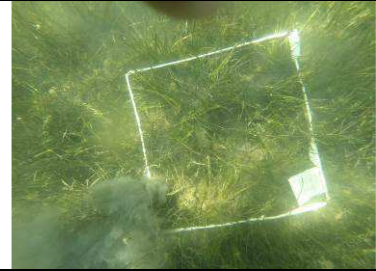
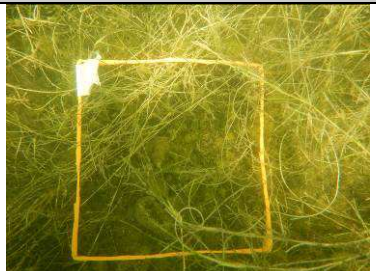
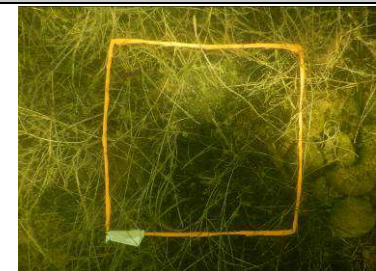
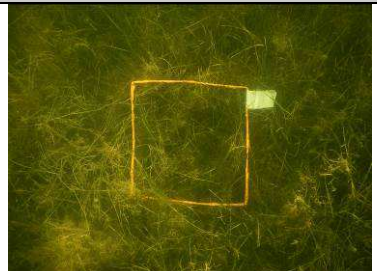

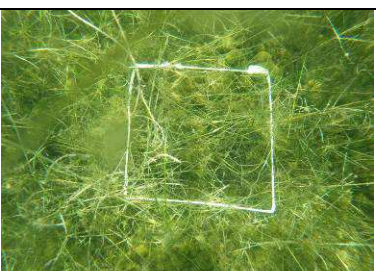
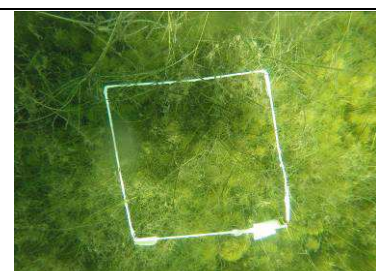
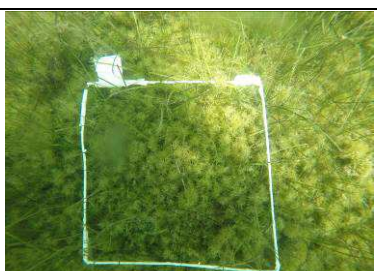

Localisation zone	Sensibilité	Risque	Commentaires	Classes	Transect
2 - Port-Fitou / Anse de Leucate	2	2	Secteur de sensibilité bonne et exposé à des risques moyens (compétition avec <i>Valonia aegagropila</i>). Dans ce secteur, les activités anthropiques sont faibles. La compétition entre les herbiers 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.		√

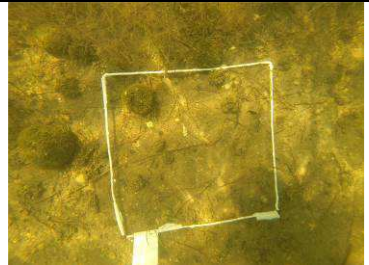
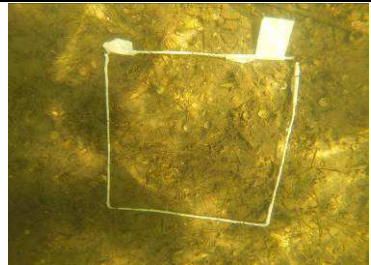
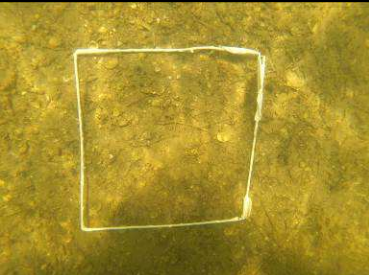
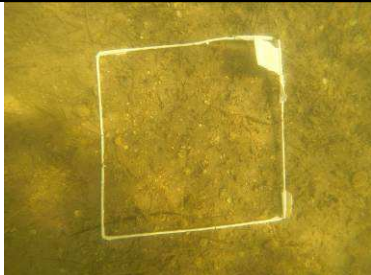

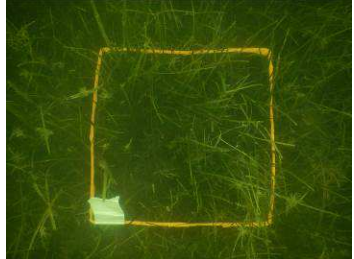
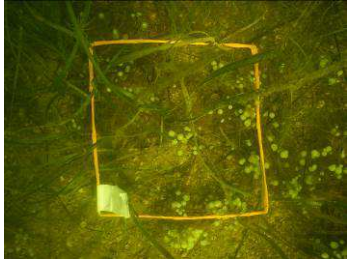
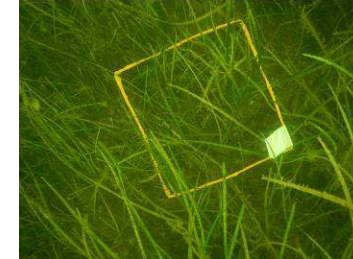




Annexe 2 : Photographies sous-marines des quadrats de caractérisation des Magnoliophytes

Légende

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

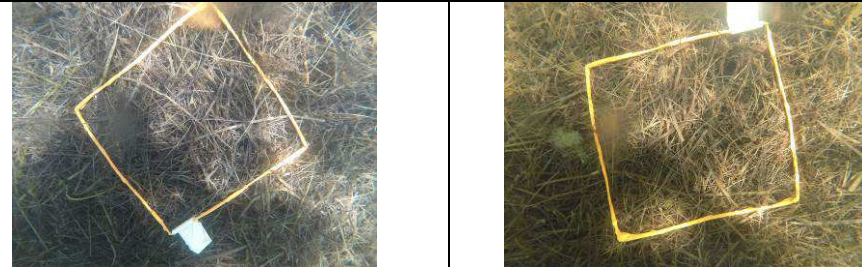
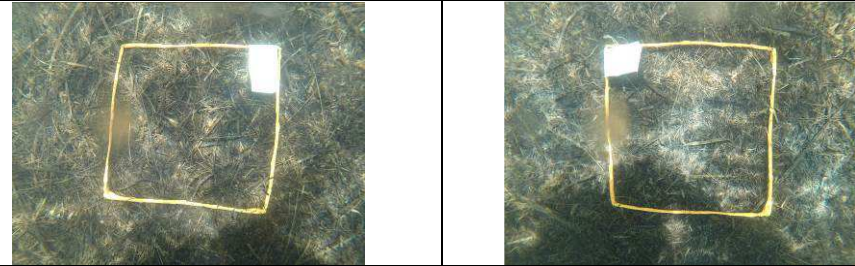
A noter que certaines photos sont absentes car elles étaient inexploitable et/ou visibilité trop faible.

Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°1 "Paurel"	Station superficielle				
					
					
	Station centrale				
				Station profonde	
					
					
					

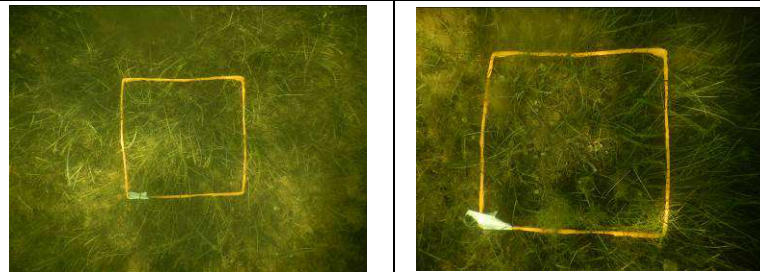
<p>Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°2 "Port-Fitou à l'Anse de Leucate"</p>	Station superficielle			
				
	Station centrale		Station profonde	
				
				

Caractérisation des Magnoliophytes dans la zone à enjeux n°7 "Les Dosses"

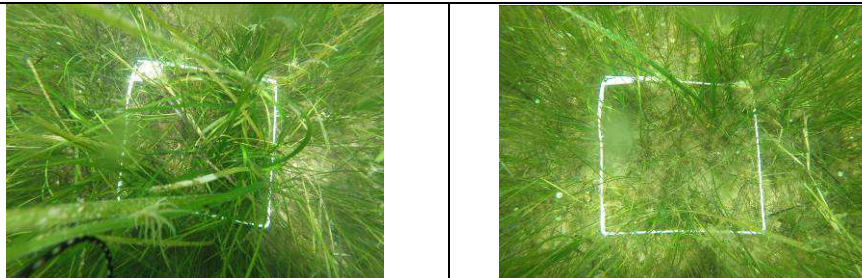
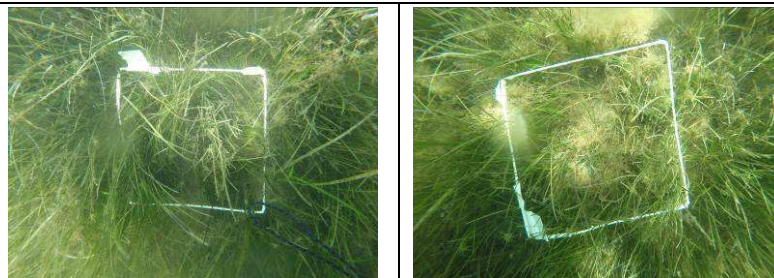
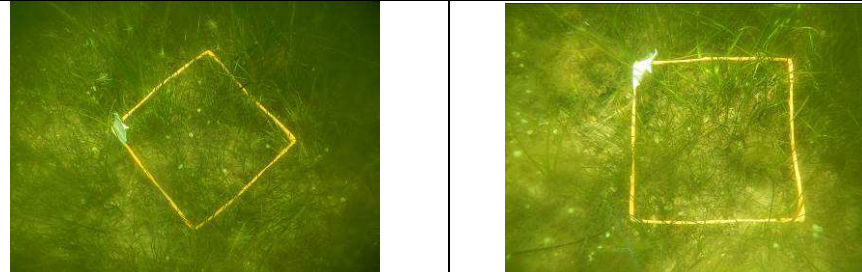
Station superficielle

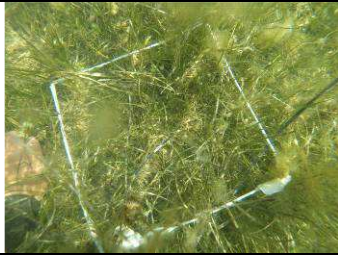

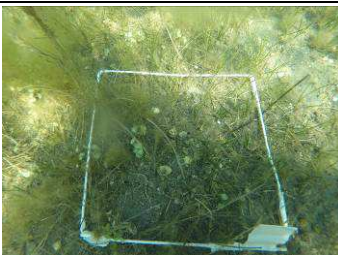
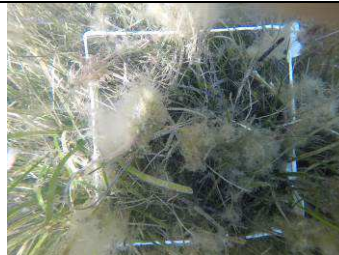
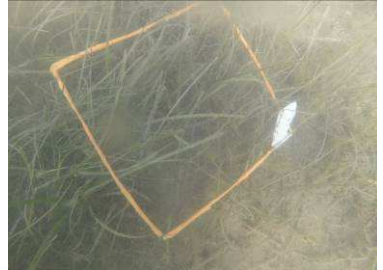
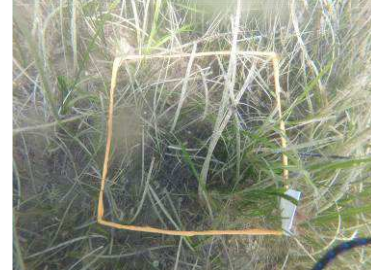

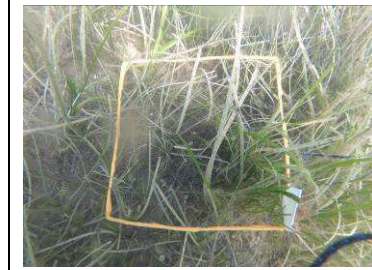


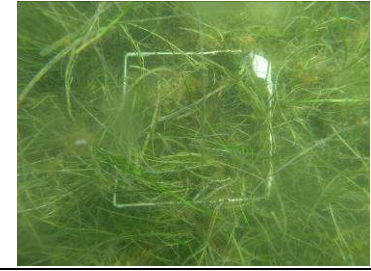





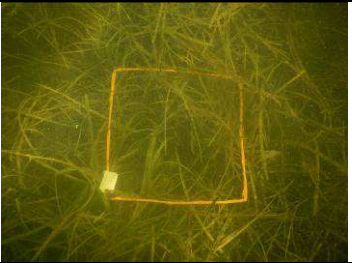
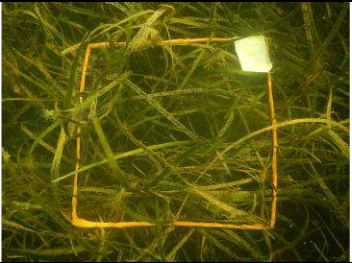




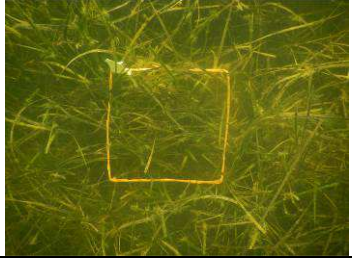

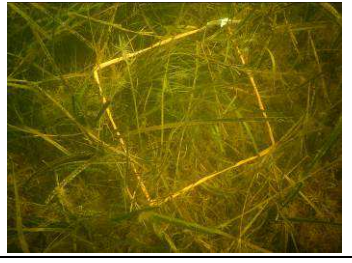
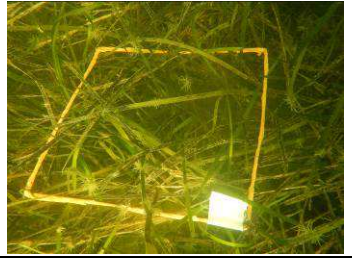




Station centrale


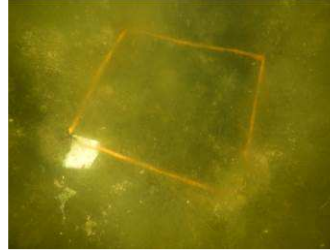


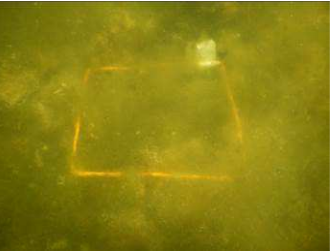
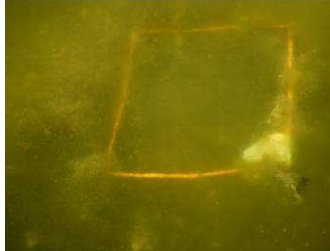


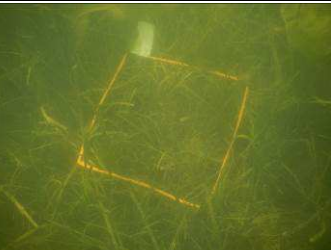

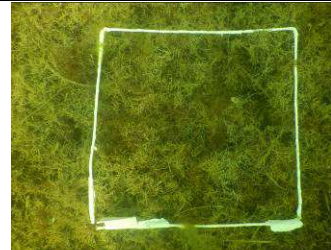
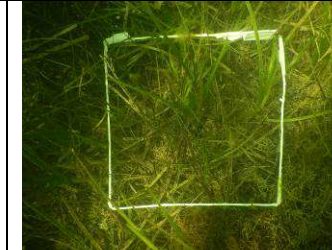


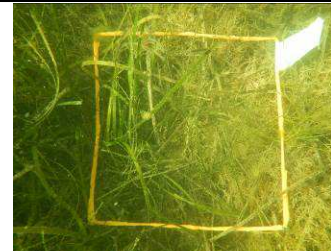
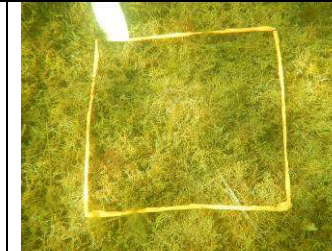


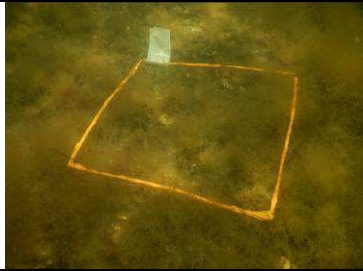
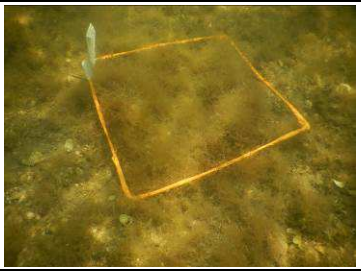
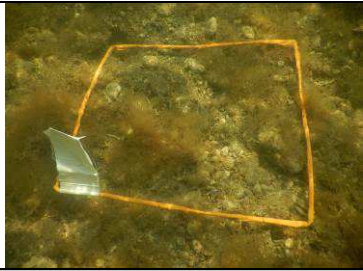
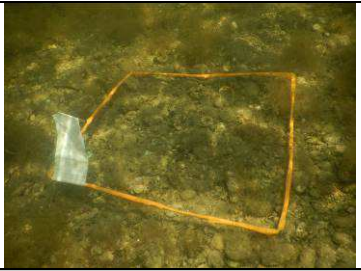


Station profonde



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

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>	Station superficielle			
				
	Station centrale			
			Station profonde	
