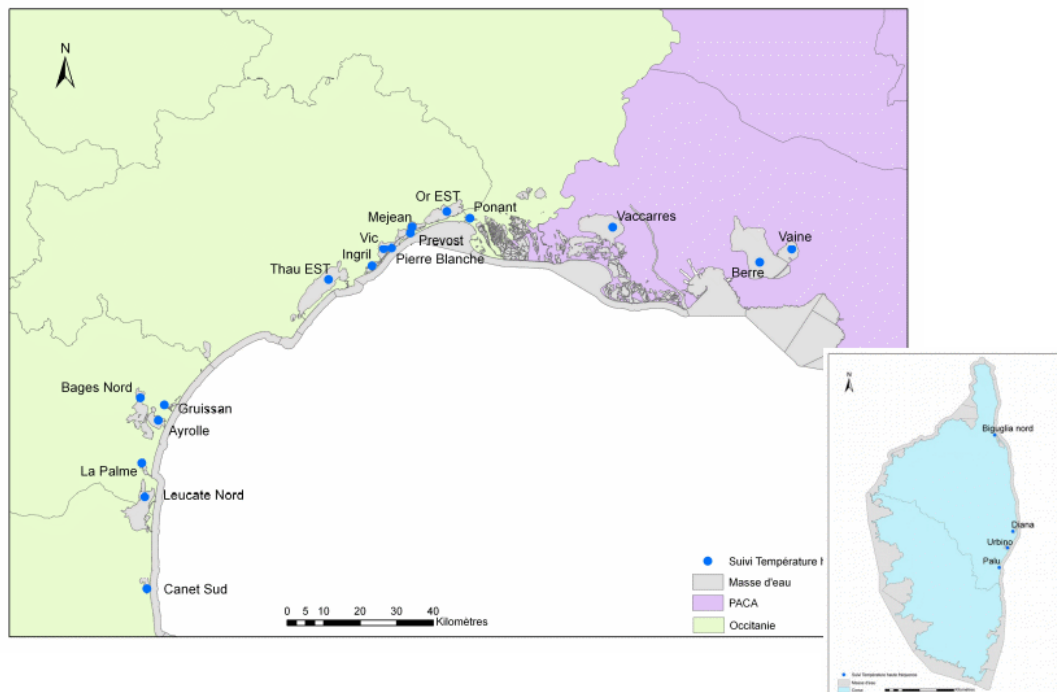


Stratégie pour la mise en place d'un Observatoire de la température et des herbiers dans les lagunes méditerranéennes françaises

Projet C2ZO



Fiche documentaire

Titre du rapport : Stratégie pour la mise en place d'un Observatoire de la température et des herbiers dans les lagunes méditerranéennes françaises	
Référence interne R.ODE/UL/LERLR 22-04	Date de publication : 2022/03/31 Version : 1.0.0
Diffusion : libre (internet) ■ restreinte (intranet) - date de levée d'embargo : 2022/09/01 interdite (confidentielle) - date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	Référence de l'illustration de couverture Crédit photo/titre/date Langue(s) : Français
Résumé/ Abstract : Le changement climatique joue un rôle considérable dans la modification des conditions environnementales qui contrôlent la répartition et la survie des écosystèmes. A ce jour, les principaux changements attendus au sein des lagunes méditerranéennes seraient une augmentation de la température moyenne et du niveau moyen de la mer ainsi qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des Évènements Climatiques Extrêmes (ECEs) tels que les vagues de chaleur, les périodes de sécheresse et de crues. Dans ce contexte, ce document présente un outil d'observation, résolument centré aujourd'hui sur la température et les herbiers de phanérogames, permettant d'interpréter les changements structurels et fonctionnels observés dans les lagunes méditerranéennes françaises en lien avec les évolution du climat. Cet observatoire couvrira 21 lagunes de la façade méditerranéenne française et débutera en avril 2022.	
Mots-clés/ Key words : Changement Climatique Observatoire Lagune méditerranéenne Température	
Comment citer ce document : Cimiterra N., Messiaen G., Ouisse V. (2022) Stratégie pour la mise en place d'un Observatoire de la température et des herbiers dans les lagunes méditerranéennes françaises. 14p.	
Disponibilité des données de la recherche :	
DOI :	

Commanditaire du rapport : AERMC	
Nom / référence du contrat : ■ Rapport intermédiaire (Livrable 1) Rapport définitif (réf. interne du rapport intermédiaire : R.DEP/ UNIT/LABO AN-NUM/ID ARCHIMER)	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) : CZZO	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Ciimterra Nicolas (nicolas.cimterra@ifremer.fr)	ODE/UL/LERLR
Messiaen Grégory (gregory.messiaen@ifremer.fr)	ODE/UL/LERLR
Ouisse Vincent (vincent.ouisse@ifremer.fr)	ODE/UL/LERLR
Encadrement(s) :	
Destinataire :	
Validé par :	

Table des matières

CONTEXTE DU PROJET.....	7
OBJECTIFS DE L'OBSERVATOIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	9
DIMENSIONNEMENT DE L'OBSERVATOIRE.....	10
OBSERVATOIRE EAU.....	10
STRATÉGIE SPATIALE.....	10
MATÉRIELS UTILISÉS ET MISE EN ŒUVRE.....	12
MISE A DISPOSITION DES DONNÉES.....	12
OBSERVATOIRE HERBIER.....	13
STRATÉGIE SPATIALE.....	13
STRATÉGIE TEMPORELLE ET MÉTHODES.....	15
MISE A DISPOSITION DES DONNÉES.....	16
RÉSULTATS ATTENDUS ET PERSPECTIVES.....	17
ÉCHÉANCES.....	18
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	19

1 CONTEXTE DU PROJET

Le changement climatique joue un rôle considérable dans la modification des conditions environnementales qui contrôlent la répartition et la survie des écosystèmes (Duarte, 2014). Le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) a prédit une augmentation significative de la température de l'océan, jusqu'à 2-4°C d'ici à 2100, ainsi que des changements majeurs dans le rayonnement UV-B, les précipitations, les tempêtes et la salinité (IPCC, 2014). La zone littorale est déjà naturellement soumise à de fortes fluctuations locales et saisonnières, ainsi qu'à des pressions grandissantes d'origine anthropique (Lloret et al., 2008; Halpern et al., 2008). C'est en particulier le cas des lagunes méditerranéennes qui sont soumises à de nombreuses pressions liées à leurs usages (exploitations ostréicoles, pêche, tourisme) et au développement d'activités humaines sur leurs bassins versant (de Wit, 2011; Munaron et al., 2012). A ce jour, les principaux changements attendus au sein de ces lagunes seraient une augmentation de la température moyenne et du niveau moyen de la mer ainsi qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des Événements Climatiques Extrêmes (ECEs) tels que les vagues de chaleur, les périodes de sécheresse et de crues. Contrairement au milieu côtier « marin » méditerranéen au sein duquel le réseau CALOR (Suivi de la température en Méditerranée, AERMC, Andromède Océanologie) a été déployé depuis 2013 sur 157 stations (chiffre de 2017), aucun observatoire pérenne n'est aujourd'hui déployé pour qualifier et quantifier ces changements sur l'ensemble des lagunes françaises méditerranéennes malgré les nombreux réseaux d'observations et de suivis existants. Pourtant, ces milieux peuvent être extrêmement fluctuants dans le temps et l'espace (Menu et al., 2019) et seul un suivi haute fréquence pourrait permettre de capter ces ECEs dans ces milieux. Ainsi, l'état des connaissances actuelles ne permet pas de prédire quels seraient les impacts du changement climatique et comment cela pourrait modifier l'état écologique des lagunes méditerranéennes, d'une part, et leur rôle écologique et socio-économique, d'autre part. Quelques études indiquent néanmoins déjà que ces milieux seraient encore plus sensibles aux pressions lorsque d'autres facteurs de stress et perturbations causés par le changement climatique et les ECEs interagissent (Lloret et al., 2008; de Wit, 2011).

Les lagunes méditerranéennes sont souvent définies comme un système particulier unique à l'interface entre la terre et la mer (typologies EUNIS, Directive Habitat Faune Flore). Pourtant les conditions environnementales entre ces lagunes peuvent largement varier selon leur connexion à la mer, la quantité d'eau douce provenant du bassin versant, leur morphologie mais également selon la région hydro-climatique dans laquelle elles se situent. A une échelle spatiale inférieure, les lagunes méditerranéennes sont caractérisées par une mosaïque d'habitats interconnectés (Menu et al., 2019) qui peuvent soutenir des populations et des communautés hautement résilientes. Parmi les habitats identifiés, ceux formés par les herbiers de phanérogames (ou angiospermes) marines jouent un rôle écologique particulièrement important par leur fonctionnement. Les herbiers marins de

manière générale contribuent largement à la séquestration du carbone (Fourqurean et al., 2012; Macreadie et al., 2014), au cycle des nutriments (Hemminga et al., 1991) et interagissent avec d'autres écosystèmes clés tels que les mangroves ou les récifs coralliens dans les systèmes tropicaux (Lai et al., 2013; Gillis et al., 2015), ou d'autres espèces de macrophytes dans les systèmes tempérés (Hyndes et al., 2014; Le Fur et al., 2018). De plus, ils sont couramment utilisés comme bio-indicateurs du bon état écologique des masses d'eau et font l'objet de nombreux suivis dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) depuis sa mise en place en Europe en 2000 (WFD, 2000/60/EC). Dans les lagunes méditerranéennes, les herbiers de phanérogames marines ainsi que leurs espèces - animales et végétales - associées font l'objet de nombreux suivis. A ce jour, l'impact des ECEs et du changement climatique de manière générale sur les herbiers à l'échelle des lagunes méditerranéennes n'est pas documenté (Durreau et al., 2021). À l'échelle mondiale, l'impact du changement climatique se traduirait par des changements physiologiques et morphologiques à l'échelle d'un individu ou d'une population qui vont ensuite impacter sa distribution (Richardson et al., 2018) et son rôle fonctionnel et écologique (Short and Neckles, 1999; Scheffers et al., 2016). L'analyse synthétique menée en 2020 par Durreau et al. (2021) sur cette question met en évidence que l'augmentation des températures, l'acidification et les événements climatiques extrêmes sont les plus étudiées et que l'augmentation de la température va avoir un effet globalement négatif pour *Zostera marina* et *Zostera noltei* mais positif pour *Cymodocea nodosa*. Aucune étude n'existe sur *Ruppia sp.*. Concernant les vagues de chaleur, elles induiraient un effet négatif sur les herbiers de *Z. marina* mais les effets pourraient différer en fonction de l'origine de la plante.

Dans ce contexte, l'objectif du projet C2ZO (Effets des épisodes extrêmes en milieu méditerranéen stressé) est de comprendre comment le changement climatique et en particulier l'intensification des vagues de chaleur peuvent affecter le fonctionnement, la résilience et l'état de référence des écosystèmes lagunaires méditerranéens avec un focus sur les herbiers. Dans un premier temps, il paraît donc indispensable de caractériser la dynamique de la température (tendance globale et fréquence des vagues de chaleur) sur l'ensemble des lagunes méditerranéennes françaises, toutes uniques au regard de leurs caractéristiques et des conditions hydro-climatiques qu'elles rencontrent. La température et la salinité structurent en partie la distribution des habitats et en particulier des herbiers de phanérogames, le suivi de leur dynamique face au changement climatique apporterait quant-à-lui des réponses à long terme sur le devenir de ces espèces dites de « référence » dans ces milieux. Aujourd'hui, la dynamique temporelle de la température et de la salinité au sein des lagunes méditerranéennes est mal connue, exceptées pour certaines masses d'eau pour lesquelles des réseaux de suivis existent (Étang de Thau, Étang de Berre...). C'est dans ce contexte que s'inscrit cet observatoire du Changement Climatique.

2 OBJECTIFS DE L'OBSERVATOIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'observatoire du Changement Climatique au sein des lagunes méditerranéennes vise à mettre en place un outil, **résolument centré aujourd'hui sur la température et les herbiers de phanérogames**, permettant d'interpréter les changements structurels et fonctionnels observés dans les lagunes méditerranéennes françaises en lien avec les évolutions du climat. À l'échelle de la façade méditerranéenne française, il permettra plus spécifiquement :

- de caractériser (fréquence et intensité) à court terme les Événements Climatiques Extrêmes (vagues de chaleur ou vagues de froid qui peuvent durer de quelques jours à quelques mois),
- de caractériser la variabilité spatiale de la dynamique de la température au sein des lagunes méditerranéennes françaises.
- de disposer à long terme de données permettant de quantifier la dynamique de la température et de la salinité dans les masses d'eau lagunaires méditerranéennes,
- de comprendre l'impact du changement climatique sur les habitats benthiques et plus particulièrement sur les herbiers de phanérogames.

Cet observatoire du Changement Climatique au sein des lagunes méditerranéennes sera évolutif selon l'avancé des technologies futures. Il sera maintenu a minima sur la totalité du projet C2ZO (2022-2025). Il pourra être « optimisé » à la fin du projet afin de devenir ensuite un réseau pérenne essentiel pour la compréhension de la dynamique future de ces milieux naturellement stressés.

3 DIMENSIONNEMENT DE L'OBSERVATOIRE

L'observatoire du Changement Climatique au sein des lagunes méditerranéennes mis en place sur la période 2022-2025 associera à la fois le suivi de la température dans la colonne d'eau (**Observatoire « EAU »**) et de la structure des herbiers (**Observatoire « HERBIER »**).

3.1 OBSERVATOIRE EAU

L'observatoire « EAU » vise spécifiquement à constituer des séries temporelles de **données de température de fond au sein des lagunes poly-euhalines méditerranéennes françaises** (domaine de compétence de l'Ifremer) afin d'être en capacité d'interpréter les changements structurels et fonctionnels observés dans ces milieux.

3.1.1 STRATÉGIE SPATIALE

Un observatoire homogène, évolutif et pérenne de **28 stations réparties sur 21 lagunes** sera déployé dans l'ensemble des lagunes méditerranéennes françaises d'intérêt (Occitanie, Provence Alpes Côte d'Azur et Corse, Figure 1 et Figure 2). Il viendra compléter les quelques stations déjà instrumentées dans le cadre d'autres programmes.

Figure 1 : Localisation des stations de l'observatoire « EAU » sur la façade méditerranéenne française. Les coordonnées géographiques sont disponibles dans le Tableau 1.

Ainsi parmi les 28 stations,

- 23 stations correspondent aux points de suivi DCE (Tableau 1) et 1 station était suivie historiquement dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire (Pierre-Blanche) permettant ainsi de bénéficier de ces données de

température pour mieux interpréter les fluctuations et les dynamiques des systèmes étudiés jusqu'à la ponctuellement (réseau REPHY, FILMED, DCE...).

- les stations Thau Est, Berre et Urbinu seront équipées d'une sonde supplémentaire en sub-surface permettant la comparaison des données de température de fond et de surface.

- 7 stations supplémentaires sont réparties dans **trois lagunes ateliers** à savoir les lagunes d'Ayrolle, Thau et Urbinu (Figure 2).

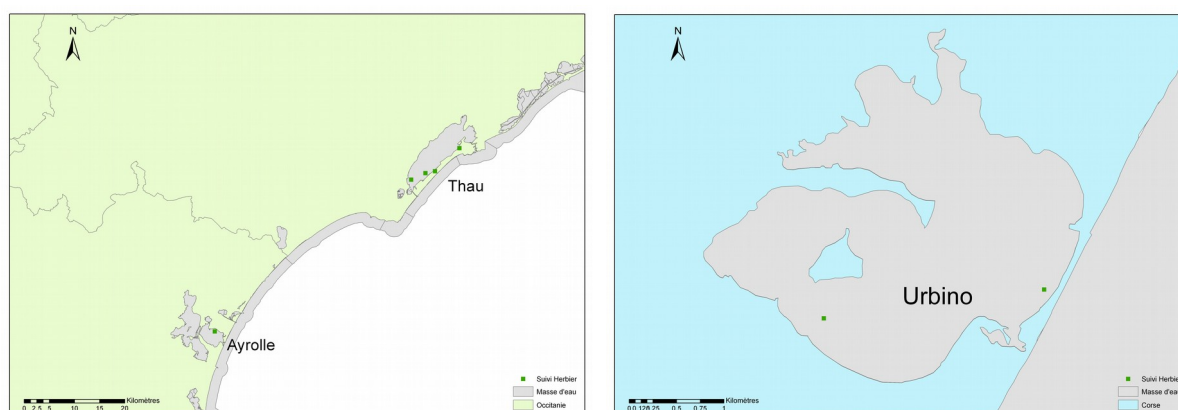


Figure 2 : Carte de répartition des sept stations de l'observatoire « Herbier » au sein des lagunes d'Ayrolle, Thau et Urbinu

La répartition des stations de suivi de la température au sein de masses d'eau hétérogènes permettra ainsi d'illustrer et de quantifier la variabilité de la température :

- à l'échelle intra-lagunaire au sein des lagunes ateliers (Ayrolle, Thau et Urbinu)
- à l'échelle intra-lagunaire entre la sub-surface et le fond dans les lagunes profondes (Thau, Berre, Urbinu)
- à l'échelle inter-lagunaire en fonction des caractéristiques hydro-morphologiques et hydro-climatiques des lagunes telles que la profondeur, la superficie de la lagune et du bassin versant ou encore de la position géographique des lagunes le long du littoral (Tableau 1).

Tableau 1: Profondeur de la station (Prof.), position de ou des sondes, superficie de la masse d'eau (Sup. Lagune), superficie du bassin versant (Sup. BV) et coordonnées géographiques (Degrés décimaux, WGS84) des stations suivies dans le cadre de l'observatoire « EAU ».

Id	Lagunes	Station	Projet Associé	Prof.	Fond Subsurface	Sup. Lagune (ha)	Sup. BV (ha)	Longitude	Latitude
1	Canet Sud	CNS - Canet Sud	DCE	<1m	Fond	626	31261	3,0239	42,6569
2	Ayrolle	AYR - Ayrolle	DCE	<1m	Fond	1323		3,0624	43,0716
3	Ayrolle	AYR-ZN-03		<1m	Fond	1323		3,0579	43,0827
4	Bages-Sigean	BGN - Bages Nord	DCE	1-3m	Fond	3704	46861	3,0020	43,1270
5	Berre	BER-Berre	DCE	>3m	Fond + Subsurface	13271	145345	5,0968	43,4409
6	Biguglia	BIN - Biguglia nord	DCE	1-3m	Fond	1362	17547	9,4523	42,6352
7	Diana	Diana centre	DCE	>3m	Fond	545	17283	9,5247	42,1285
8	Gruissan	GRU - Gruissan	DCE	<1m	Fond	137	11984	3,0825	43,1096
9	Ingril Nord	INN - Ingril Nord	DCE	1-3m	Fond	228		3,7859	43,4498
10	La Palme	LAP - La Palme	DCE	1-3m	Fond	476	8873	3,0067	42,9668
11	Salses-Leucate	LEN - Leucate Nord	DCE	>3m	Fond	5109	20633	3,0165	42,8833
12	Mejean	MEW - Mejean Ouest	DCE	<1m	Fond	712		3,9229	43,5443
13	Or	ORE - Or Est	DCE	<1m	Fond	3261	37380	4,0415	43,5811
14	Palu	Palu	DCE	<1m	Fond	106	11077	9,4087	41,9465
15	Pierre-Blanche	PBL - Pierre-Blanche Centre	RSL	<1m	Fond	314		3,8528	43,4930
16	Ponant	PON - Ponant	DCE	1-3m	Fond	203	78692	4,1194	43,5641
17	Prevost	PRE - Prevost Est	DCE	1-3m	Fond	246		3,9169	43,5291
18	Thau	TE - Thau Est	DCE	>3m	Fond + Subsurface	6836	30394	3,6384	43,4166
19	Thau	THA-ZM-19		2-3m	Fond	6836	30394	3,5383	43,3523
20	Thau	THA-ZN-20		2-3m	Fond	6836	30394	3,5734	43,3637
21	Thau	THA-CN-21		1-2m	Fond	6836	30394	3,5927	43,4148
22	Thau	THA-RP-22		<1m	Fond	6836	30394	3,5970	43,3670
23	Vaccaries	VCS-Vaccaries	DCE	1-3m	Fond	10949	17041	4,6027	43,5357
24	Vaine	Vaine	DCE	>3m	Fond	2277	6130	5,2069	43,4711
25	Vic	VIC - Vic	DCE	1-3m	Fond	1296		3,8259	43,4915
26	Urbinu	Etang d'Urbino - Centre	DCE	>3m	Fond + Subsurface	744	7074	9,4775	42,0461
27	Urbinu	URB-CN-10	DCE	<1m	Fond	744	7074	9,4748	42,0501
28	Urbinu	URB-CN-17	DCE	>3m	Fond	744	7074	9,4903	42,0436

3.1.2 MATÉRIELS UTILISÉS ET MISE EN ŒUVRE

La température sera mesurée en continu sur l'ensemble des 28 stations à l'aide de sondes autonomes STAR-ODDI (modèle Stramon mini). La dérive constatée en 1 an est estimée aujourd'hui à 0,03°C maximum auxquels s'ajoute une incertitude de mesure de 0,04°C. L'incertitude de mesure globale serait donc inférieure à 0,10°C pour ces sondes. Les performances obtenues ne nécessiteront pas de correction post-traitement de la valeur lue par le capteur. La dérive de chaque sonde au cours du temps sera néanmoins contrôlée au moins une fois par an au laboratoire. Ceci permettra de corriger éventuellement la donnée brute et d'évaluer l'incertitude de mesure pour une comparaison intra et inter-lagunaire. L'autonomie batterie et mémoire de ces sondes est supérieure à 1 an. Les données seront acquises entre **30 et 50 cm au-dessus du fond** (station « Fond ») et **1 m sous la surface** (stations « Subsurface ») et **récupérées tous les 6 mois** sur chacune des stations. La **fréquence d'acquisition de données** sera fixée à **10 minutes**. A chaque récupération des données, des mesures de température seront réalisées afin de corriger les éventuelles dérives de mesure.

3.1.3 MISE A DISPOSITION DES DONNÉES

Les données brutes de température seront tout d'abord filtrées afin de supprimer toutes les mesures aberrantes puis agrégées afin de créer une série temporelle pour chacune des stations de suivi. Ces données validées

seront mises à disposition de l'AERMC chaque année afin qu'elles soient intégrées dans MEDTRIX.

3.2 OBSERVATOIRE HERBIER

En complément de l'observatoire « EAU », l'observatoire « HERBIER » vise spécifiquement à comprendre l'impact du changement climatique sur les habitats benthiques. Celui-ci sera plus particulièrement focalisé sur les quatre principaux herbiers de phanérogames inféodés aux lagunes méditerranéennes poly-euhalines, à savoir :

- les herbiers dominés par *Zostera marina* dont la distribution est aujourd'hui limitée aux lagunes de Salses-Leucate, Bages-Sigean, Ayrolle et Thau,
- les herbiers dominés par *Zostera noltei* aujourd'hui largement distribués dans les lagunes méditerranéennes françaises,
- les herbiers dominés par *Cymodocea nodosa* décrites dans les lagunes d'Urbino, de Diana et de Thau,
- les herbiers dominés par *Ruppia sp.* principalement présents dans les zones subissant des fluctuations de salinité forte.

3.2.1 STRATÉGIE SPATIALE

L'observatoire « HERBIER » sera basé sur sept stations positionnées au sein des lagunes d'Ayrolle (1 station), Thau (4 stations) et Urbino (2 stations, Figure 2). Cela permettra, même avec ce nombre restreint de stations, de suivre la dynamique des quatre espèces d'herbier soumis à une large gamme de conditions environnementales.

La lagune d'Ayrolle, proche de Narbonne, est une lagune peu profonde (profondeur maximale inférieure à 1m) peu soumise aux pressions anthropiques (Meinesz et Bouchouca, 2013). Le recouvrement végétal y est généralement important (82,5 % en moyenne en 2016) et relativement constant depuis 2013 (Cimiterra et al., 2020). La station **AYR-ZN-03** est peu profonde et caractérisée par un herbier mixte de *Z. marina* et *Z. noltei* (Tableau 2).

Tableau 2 : Profondeur (Prof.), espèce étudiée et coordonnées géographiques (Degrés décimaux, WGS84) des stations suivies dans le cadre de l'observatoire « HERBIER ».

Id	Lagune	station	Prof.	Espèce étudiée	Longitude	Latitude	Remarques
3	Ayrolle	AYR-ZN-03	<1m	<i>Zostera noltei</i>	3,0579	43,0827	Point Ayrolle (MARES2)
19	Thau	THA-ZM-19	2-3m	<i>Zostera marina</i>	3,5383	43,3523	Point TH_ZM_C1 (MARHA)
20	Thau	THA-ZN-20	2-3m	<i>Zostera noltei</i>	3,5734	43,3637	Point TH_ZN_C1 (MARHA)
21	Thau	THA-CN-21	1-2m	<i>Cymodocea nodosa</i>	3,5927	43,4148	
22	Thau	THA-RP-22	<1m	<i>Ruppia sp.</i>	3,5970	43,3670	
27	Urbino	URB-CN-10	<1m	<i>Cymodocea nodosa</i>	9,4748	42,0501	Point U10 (DCE)
28	Urbino	URB-CN-17	>3m	<i>Cymodocea nodosa</i>	9,4903	42,0436	Point U17 (DCE)

La lagune de Thau, proche de Sète, est relativement profonde (profondeur moyenne égale à 4,5 m) et grande (Tableau 1). La zone proche du Lido au

Sud est peu connectée au grand étang, ce qui induit dans cette zone des conditions locales très différentes en terme de température et de salinité. Au sein de cette lagune, les quatre herbiers sont aujourd’hui décrits. Ainsi, les stations **THA-ZM-19**, **THA-ZN-20**, **THA-CN-21** et **THA-RP-22** sont respectivement caractérisées par un herbier de *Z. marina*, un herbier dominé par *Z. noltei*, un herbier dominé par *C. nodosa* et un herbier dominé par *Ruppia sp.* (Tableau 2).

Enfin, la lagune d’Urbinu sur la côte Est de la Corse, est relativement profonde et aujourd’hui peu soumise aux pressions anthropiques (activité humaine restreinte). Le recouvrement végétal y est variable avec des herbiers dominés par *C. nodosa* relativement bien développés sur plusieurs stations de bordure (Cimiterra et al., 2020). Sur les stations **URB-CN-10** et **URB-CN-17**, deux stations suivies dans le cadre de la DCE, le recouvrement végétal est dominé par un herbier de *C. nodosa* depuis 2009 (Figures 3 et 4).

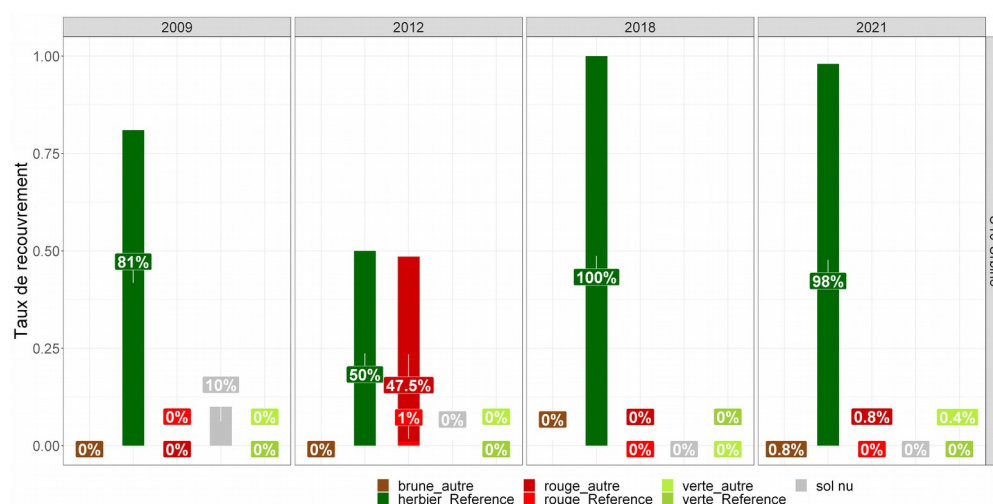


Figure 3 : Dynamique temporelle du recouvrement des principaux groupes de macrophytes estimé lors des relevés DCE entre 2009 et 2021 station URB-CN-10 (station U10 dans le cadre de la DCE).

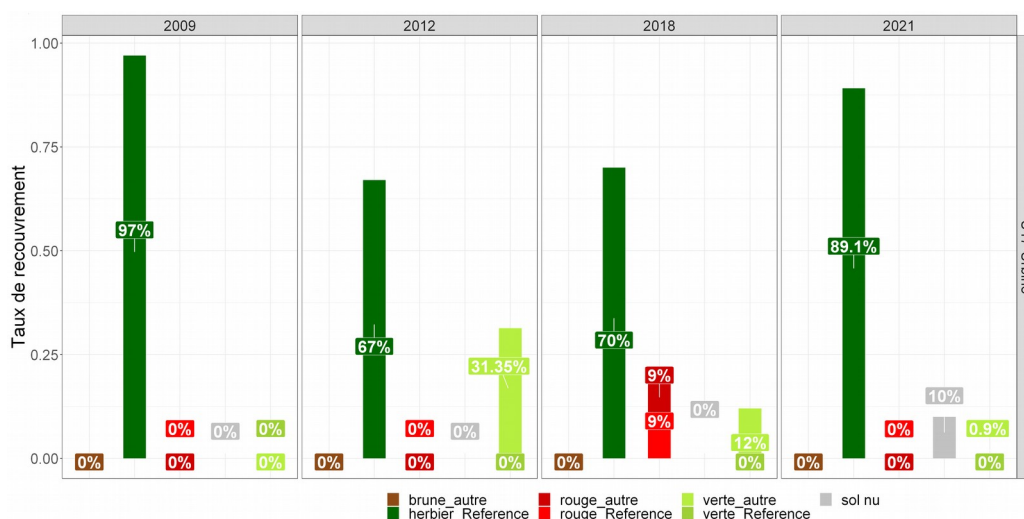


Figure 4 : Dynamique temporelle du recouvrement des principaux groupes de macrophytes estimé lors des relevés DCE entre 2009 et 2021 à la station URB-CN-U17 (station U17 dans le cadre de la DCE).

3.2.2 STRATÉGIE TEMPORELLE ET MÉTHODES

- **Observations des herbiers de phanérogame**

Les relevés seront effectués au début du printemps et de l'automne sur chacune des **sept stations**. Ces périodes d'observation encadrent ainsi les potentielles périodes les plus impactées par les vagues de chaleurs d'une part et d'autre part la période de développement de ces espèces.

Pour chacune des stations, les observations seront réalisées le long d'un **transect fixe** (50 m) prenant son origine au sein de l'herbier et se terminant hors de l'herbier. La limite de l'herbier, la longueur des zones de clairière, la présence d'espèces emblématiques (*Pina* sp. par exemple) ou de perturbations locales (mouillage, structure posée au fond...) seront relevés afin d'apporter une **mesure spatiale de la dynamique de l'herbier** (extension, régression...).

Sur ce même transect, 3 quadrats (0,25m²) seront positionnés à 2 m (cœur de l'herbier), à la limite de l'herbier (zone dans l'herbier proche de la limite d'extension de l'herbier) et à 48 m (zone adjacente de l'herbier). Au sein de ces **9 quadrats**, la densité de phanérogames¹, la présence d'épiphytes sur les feuilles et le recouvrement végétal au sein de trois « strates » (Algues/Sédiment nu au pied de l'herbier, Herbier et Algues au-dessus de l'herbier) seront estimés in situ.

Enfin, à proximité immédiate de chacun des quadrats (structuration de l'herbier identique visuellement) mais hors de la zone explorée par le transect, 3 prélèvements seront réalisés à chaque distance. Pour les herbiers dominés par *Z. marina*, 5 pieds avec leur rhizome seront collectés au hasard pour chaque prélèvement. Pour les autres espèces, les surfaces prélevées varient en fonction de la taille et de la densité des espèces et sont détaillées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Surface de prélèvement pour chacune des herbiers. Le nombre de réplicat est donné pour chaque point d'observation.

Espèce étudiée	Surface par Prélèvement (cm ²)	Surface par Prélèvement (cm ²)
<i>Cymodocea nodosa</i>	3	314
<i>Ruppia</i> sp.	3	50
<i>Zostera marina</i>	3	-
<i>Zostera noltei</i>	3	50

Au laboratoire, la densité au sein de chacun des prélèvements sera mesurée pour les herbiers de *Z. noltei*, *Ruppia* sp. et *C. nodosa*. Pour toutes les espèces, des mesures biométriques (longueur, largeur, nombre de feuille...) seront réalisées sur 5 pieds de chaque prélèvement. Toutes ces mesures acquises in situ ou au laboratoire permettront ainsi de **caractériser la structure de l'herbier** et de suivre sa réponse face à l'évolution des conditions climatiques dans le futur.

Bien qu'adapté aux herbiers, ce protocole pourra être modifié au cours de la première campagne en fonction des premières observations (ajustement de la longueur du transect, nombre de réplicats...).

Enfin, une approche surfacique des stations de suivi à partir d'image aérienne ou de vidéo est en cours de réflexion. Cette approche complémentaire pourra venir compléter la stratégie mise en place en fonction des moyens et compétences disponibles dans les années à venir.

- **Paramètres de soutien**

En plus de la **température** (cf observatoire « EAU »), la **salinité** ainsi que la **lumière** seront mesurées en continu respectivement à l'aide de sonde NKE (STPS/WISENS) couplée à un chlorateur qui limite le biofouling (principale cause de dérive) et à des capteurs HOBO UA-002-64. L'incertitude de mesure globale sera inférieure ou égale à 1 pour la salinité. Elle n'est aujourd'hui pas quantifiée pour la lumière. L'autonomie batterie et mémoire de ces sondes est estimé à au moins un an pour la salinité et la lumière. Afin de limiter la dérive liée à la colonisation par les organismes de la surface de mesure, ces sondes et capteurs seront nettoyées **tous les 2 mois** sur chacune de ces sept stations. La dérive au cours du temps de la mesure de la salinité sera contrôlée au moins une fois par an. La **fréquence d'acquisition de données sera fixée à 10 minutes**. Les données seront récupérées lors de l'opération de maintenance à savoir tous les 2 mois. A chaque récupération des données, des mesures de température et salinité seront réalisées afin de corriger les éventuelles dérives de mesure.

3.2.3 MISE A DISPOSITION DES DONNÉES

Les données structurelles et spatiales de l'herbier seront bancarisées dans Quadrigé2. Ces données seront mises à disposition de l'AERMC chaque année.

Comme pour la température (cf partie 3.1.3), les données brutes de salinité et de lumière acquises dans cadre de la partie « Herbier » de l'observatoire seront tout d'abord filtrées afin de supprimer toutes les mesures aberrantes puis agrégées afin de créer une série temporelle pour chacune des sept stations de suivi. Ces données validées seront ensuite mises à disposition de l'AERMC chaque année.

4 RÉSULTATS ATTENDUS ET PERSPECTIVES

Le couplage de cet observatoire homogène à l'échelle de la façade méditerranéenne avec celui existant en mer (réseau CALOR) permettra d'avoir une vision intégrée de la dynamique du changement climatique dans le domaine côtier méditerranéen. Cet observatoire constituera un outil permettant d'interpréter les changements structurels et fonctionnels observés dans les lagunes méditerranéennes françaises :

- À court terme, il permettra de caractériser les Evènements Climatiques Extrêmes in situ (vagues de chaleur ou vagues de froid qui peuvent durer de quelques jours à quelques mois).
- A long terme, il permettra de disposer de données permettant de quantifier la dynamique de la température dans les masses d'eau lagunaires méditerranéennes.

Tout ceci contribuera d'une part à alimenter les réseaux d'observation déjà existant (DCE-OBSLAG) et plus généralement à mieux quantifier et modéliser les changements environnementaux dans ces milieux hétérogènes.

A la fin du projet C2ZO (2022-2025), cet observatoire du changement climatique pourrait d'une part évoluer (ajustement du nombre de station, modification des approches, ajout d'une approche spatialisé du suivi des herbiers...) et d'autre part être étendu aux lagunes oligo et mésohalines en partenariat avec d'autres structures comme la fondation Tour du Valat.

5 ÉCHÉANCES

Mars 2022 : Validation de la stratégie

Avril 2022 : Lancement de l'observatoire (Rencontre des gestionnaires et déploiement du matériel). Premières observations in situ dans le cadre de l'observatoire « HERBIER »).

Septembre 2022 : Campagne de terrain

Avril/Septembre 2023, 2024 et 2025 : Campagnes de terrain

Février 2026 : Livrable sur l'analyse de la stratégie d'acquisition mise en place dans le cadre de l'observatoire à grande échelle (pérennisation, dimensionnement, mise en œuvre future)

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

de Wit, R. 2011. Biodiversity of coastal lagoon ecosystems and their vulnerability to global change, p. 29–40. In O. Grillo and G. Venore [eds.], *Ecosystems biodiversity*. InTech Open Access Publisher.

Duarte, C. M. 2014. Global change and the future ocean : a grand challenge for marine sciences. *Front. Mar. Sci.* 1. doi:10.3389/fmars.2014.00063

Durreau Alice, Soissons Laura, Ouisse Vincent (2021). Effet des épisodes extrêmes en milieu méditerranéen stressé. Phase 1 : étude bibliographique . R.ODE/UL/LERLR 21-22 . <https://doi.org/10.13155/80623>

Cimiterra Nicolas, Massinelli Laura, Dijoux Laury, Oheix Jocelyne, Derolez Valerie (2020). Diagnostic du compartiment macrophyte dans 17 masses d'eau de transition lagunaires en 2016, 2017 et 2018 . ODE/UL/LER-LR/20-15 . <https://archimer.ifremer.fr/doc/00656/76772/>

Fourqurean, J. W., C. M. Duarte, H. Kennedy, and others. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nat. Geosci.* 5: 505–509. doi:10.1038/ngeo1477

Gillis, L. G., T. J. Bouma, C. Cathalot, A. D. Ziegler, and P. M. Herman. 2015. Particulate matter in mangrove forests and seagrass beds as a nitrogen source in tropical coastal ecosystems. 47: 286–291. doi:10.1111/btp.12220

Halpern, B. S., S. Walbridge, K. A. Selkoe, and others. 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* (80-). 319: 948–52. doi:10.1126/science.1149345

Hemminga, M. A., P. G. Harrison, and F. Van Lent. 1991. The balance of nutrient losses and gains in seagrass meadows. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71: 85–96. doi:10.3354/meps071085

Hyndes, G. A., I. Nagelkerken, R. J. Mcleod, R. M. Connolly, P. S. Lavery, and M. A. Vanderklift. 2014. Mechanisms and ecological role of carbon transfer within coastal seascapes. *Biol. Rev.* 89: 232–254. doi:10.1111/brv.12055

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Lai, S., L. G. Gillis, C. Mueller, T. J. Bouma, J. R. Guest, K. S. Last, A. D. Ziegler, and P. A. Todd. 2013. First experimental evidence of corals feeding on seagrass matter. *Coral Reefs* 32: 1061–1064. doi:10.1007/s00338-013-1062-9

Le Fur I., R. de Wit, M. Plus, J. Oheix, M. Simier, and V. Ouisse. 2018. Submerged benthic macrophytes in Mediterranean lagoons: distribution patterns in relation to water chemistry and depth . *Hydrobiologia* , 808(1), 175-200. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3421-y>

Lloret, J., A. Marín, and L. Marín-Guirao. 2008. Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 78: 403–412. doi:10.1016/j.ecss.2008.01.003

Macreadie, P. I., M. E. Baird, S. M. Trevathan-Tackett, A. W. D. Larkum, and P. J. Ralph. 2014. Quantifying and modelling the carbon sequestration capacity of seagrass meadows - A critical assessment. *Mar. Pollut. Bull.* 83: 430–439. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.07.038

Menu, M., S. Vaz, T. Bajjouk, V. Derolez, A. Fiandrino, A. Giraud, P. Grillas, and V. Ouisse. 2019. Rapport final du projet CHAMILA (Cartographie des habitats en milieu lagunaire méditerranéen). Ifremer. <https://doi.org/10.13155/70545>.

Meinesz C., Bouchouca M., 2013. Développement d'une base de données pression DCE. Analyse des liens état - pressions. RST.ODE/LER-PAC/13-07

Munaron, D., N. Tapie, H. Budzinski, B. Andral, and J.-L. Gonzales. 2012. Pharmaceuticals, alkylphenols and pesticides in mediterranean coastal waters: results from a pilot survey using passive samplers. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 114: 82–92.

Richardson, J. P., J. S. Lefcheck, and R. J. Orth. 2018. Warming temperatures alter the relative abundance and distribution of two co-occurring foundational seagrasses in Chesapeake bay, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 599: 65-74. <https://doi.org/10.3354/meps12620>.

Scheffers, B. R., L. De Meester, T. C. L. Bridge, and others. 2016. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science* (80-.). 354. doi:10.1126/science.aaf7671

Short, F. T., and H. A. Neckles. 1999. The effects of global climate change on seagrasses. *Aquat. Bot.* 63: 169–196. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770(98)00117-X