

ODE/UL/LERLR

Menu Marion • Vaz Sandrine • Bajjouk Touria • Derolez Valérie • Fiandrino Annie • Giraud Anais • Grillas Patrick • Ouisse Vincent



Rapport final du projet CHAMILA

Contrat n°2018-0157



Fiche documentaire

Titre du rapport : Rapport final du projet CHAMILA	
Référence interne : R.ODE/UL/LERLR AN- NUM Diffusion : ☐ libre (internet) ☐ restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : AAA/MM/JJ ☐ interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	Date de publication : AAA/MM/JJ Version : 1.0.0 Référence de l’illustration de couverture Crédit photo/titre/date Langue(s) : Française
Résumé/ Abstract : Coastal Mediterranean lagoons are often defined as homogeneous ecosystems that home many migratory and sedentary species. They also host strong salinity gradients, depth variation and very diverse plant communities, which create small-scale heterogeneity within lagoons. This is why each lagoon must be described as an entity by itself made up of a multitude of homogeneous features, called habitats, which support specific ecological functions for organisms (nursery, feeding, protection against predators...). Although many studies have resulted in collecting high numbers of physical, chemical and biological data in coastal Mediterranean lagoons, there is currently a lack of knowledge of the spatial distribution of these habitats. In our project, we (1) develop a new habitat classification adapted to coastal Mediterranean lagoons and in coherence with EUNIS system (European Nature Information System), (2) map those habitats in French coastal Mediterranean lagoons, and (3) identify and estimate their surface. Based on physical, chemical and biological data collected from 36 permanent French Mediterranean lagoons since the 2000s, we elaborate for the first time a unique and homogeneous habitat classification based on six hierarchical levels: salinity, substrate, light availability, hydrodynamics, trophic state and biology. A total of 224 habitats were mapped in all French coastal Mediterranean lagoons, including 1 to 24 different habitats per lagoon. This habitat mapping (1:100,000 scale) highlights the mosaic of habitats hosted by French coastal Mediterranean lagoons considered until now as relatively homogeneous. The integration of this new knowledge now makes it possible to have tools to help define spatial sampling strategies, management and planning at local and regional scales. The structural definition of these habitats should be a first step towards defining functional habitats for the organisms inhabiting these lagoons.	
Mots-clés/ Key words : Habitat, Map, Typology, Mediterranean lagoons	
Comment citer ce document : Menu Marion, Vaz Sandrine, Bajjouk Touria, Derolez Valérie, Giraud Anais, Grillas Patrick, Ouisse Vincent (2019). Rapport final du projet CHAMILA (Cartographie des habitats en milieu lagunaire méditerranéen), Ifremer, 78p	

Disponibilité des données de la recherche :

DOI :

Commanditaire du rapport : AERMC	
Nom / référence du contrat : ☐ Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) ☒ Rapport définitif (réf. interne du rapport intermédiaire : R.DEP/UNIT/LABO AN-NUM/ID ARCHIMER)	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit : Accord cadre AERMC - Ifremer	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Menu Marion	Ifremer/ODE/UL/LERLR, Sète
Vaz Sandrine	Ifremer/RBE/MARBEC/LCHM, Sète
Bajjouk Touria	Ifremer/ODE/DYNECO/LEBCO, Brest
Derolez Valérie	Ifremer/ODE/UL/LERLR, Sète
Fiandrino Annie	Ifremer/ODE/UL/LERLR, Sète
Giraud Anais	AERMC, Montpellier
Grillas Patrick	Tour du Valat, Arles
Ouisse Vincent	Ifremer/ODE/UL/LERLR, Sète
Encadrement(s) :	
Destinataire : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse	
Validé par : Bouchoucha Marc	

Table des matière

1 Contexte général et problématique.....	9
2 Objectifs.....	11
3 Cadre du projet.....	13
3.1 Définition retenue d'une lagune et périmètre d'étude.....	13
3.2 Intérêts d'une carte d'habitats.....	15
3.3 Typologie d'habitats.....	16
3.3.1 Typologie Natura 2000.....	16
3.3.2 Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée du référentiel national.....	17
3.3.3 Typologie EUNIS.....	17
4 Méthode de cartographie.....	19
4.1 Cartographie des critères structurants.....	19
4.1.1 Spatialisation.....	19
4.1.2 Discrétisation.....	20
4.1.3 Ajustements manuels.....	21
4.1.4 Caractérisation des incertitudes.....	21
4.2 Cartographie des habitats.....	21
4.2.1 Agrégation successive des cartes des critères structurants.....	21
4.2.2 Post-traitements.....	22
5 Proposition d'une Typologie d'habitats lagunaires.....	23
5.1 Variables à considérer.....	23
5.2 Proposition d'une typologie d'habitats lagunaires.....	23
6 Critères de discrimination de l'habitat lagunaire.....	27
6.1 Critère 1 : Salinité.....	27
6.1.1 Choix de la période.....	27
6.1.2 Description des données disponibles.....	27
6.1.3 Choix des descripteurs.....	30
6.1.4 Classification.....	30
6.1.5 Cartographie.....	31
6.2 Critère 2 : Substrat.....	33
6.2.1 Choix de la période.....	33
6.2.2 Description des données disponibles.....	33
6.2.3 Choix du descripteur.....	36
6.2.4 Classification.....	36
6.2.5 Cartographie.....	37

6.3 Critère 3 : Zone biologique.....	39
6.3.1 Choix de la période.....	40
6.3.2 Description des données disponibles.....	40
6.3.3 Choix du descripteur.....	45
6.3.4 Classification.....	45
6.3.5 Cartographie.....	46
6.4 Critère 4 : Hydrodynamisme.....	48
6.4.1 Choix de la période.....	49
6.4.2 Description des données disponibles.....	49
6.4.3 Choix du descripteur.....	51
6.4.4 Classification.....	51
6.4.5 Cartographie.....	51
6.5 Critère 5 : État trophique.....	53
6.5.1 Choix de la période.....	54
6.5.2 Description des données disponibles.....	54
6.5.3 Choix du descripteur.....	56
6.5.4 Classification.....	57
6.5.5 Cartographie.....	57
6.6 Critère 6 : Biologie.....	58
6.6.1 Choix de la période.....	58
6.6.2 Description des données disponibles.....	59
6.6.3 Choix des descripteurs et classification.....	60
6.6.4 Cartographie.....	61
6.7 Tableau bilan des critères retenus.....	64
7 Cartographie des habitats.....	68
8 Recommandations.....	71
8.1 Données sources.....	71
8.2 Méthodes cartographiques.....	73
8.3 Fréquence d'acquisition des données et d'actualisation des cartographies.....	75
9 Conclusions.....	77
10 Références bibliographiques.....	78
11 Remerciements.....	81

1 Contexte général et problématique

Le projet CHAMILA (Cartographie des habitats en milieu lagunaire méditerranéen) s'appuie sur les résultats de l'expertise « Habitats-Poissons en lagune » menée en 2016. La proposition d'action CHAMILA (Cartographie des habitats en milieux lagunaires) est focalisée sur l'aspect cartographie des habitats en lagune, premier pas vers le développement d'outils intégrateurs fonctionnels fiables en lagune (cf partie 9.2, Ouisse et al., 2017).

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 ou bien selon leur morphologie. Cette connaissance aujourd'hui disponible a abouti à l'utilisation de typologie simple permettant de subdiviser cette entité selon la salinité moyenne de la masse d'eau (oligo-mésohaline vs. poly-euhaline), conduisant ainsi au développement d'indicateurs différents dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE). A une échelle spatiale inférieure (échelle intra-lagunaire), les lagunes méditerranéennes peuvent également abriter de forts gradients de salinité entre des zones confinées et des zones bien connectées à la mer (Fiandrino et al., 2017) ou des communautés végétales très variées (Ifremer 2013). Ainsi, chaque lagune pourrait être décrite comme une entité, elle-même constituée d'une multitude d'espaces homogènes appelés habitats. Chacun de ces habitats serait ainsi défini par des composantes abiotiques et biotiques, naturelles ou anthropiques.

Souvent décrit d'un point de vue uniquement structurel, ces habitats intègrent également une dimension fonctionnelle abordée par la notion d'habitats essentiels pour certains organismes. La notion d'habitats essentiels pour les poissons a été définie par Benaka (1999) et reprise dans le projet DRIVER (Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée). Elle correspond à l'ensemble des habitats nécessaires à la survie des poissons, c'est-à-dire au milieu et au substrat nécessaires pour se nourrir, croître jusqu'à maturité et se reproduire (cf partie « Fonctions », Ouisse et al., 2017). Ces habitats essentiels peuvent être séparés ou confondus dans le temps ou l'espace selon le scénario de vie des espèces.

Il est clair que les lagunes assurent une ou plusieurs fonctions essentielles pour les organismes marins. La lagune doit ainsi être considérée comme un « super habitat » assurant une ou plusieurs fonctions données pour de nombreuses espèces mais aussi comme une mosaïque d'habitats assurant des fonctions propres et pas forcément redondantes aussi bien pour les espèces sédentaires que pour les espèces marines et migratrices. Ainsi, la richesse fonctionnelle d'une lagune vis-à-vis des organismes serait la résultante de la multitude de niches créées par la complexité des habitats rencontrés (salinité, profondeur, structure 3D de la végétation...). A cette échelle, la notion d'habitat en lagune est cependant peu utilisée et aucune représentation n'existe. Bien que la résolution spatiale des données soit hétérogène, il existe pourtant aujourd'hui des données ponctuelles renseignant aussi bien sur la dynamique des processus physiques (courantologie, sédimentologie, bathymétrie...) que sur la distribution spatiale ou temporelle des compartiments biologiques (macrophyte, macrofaune endogée...).

Bien que la nature soit continue et non linéaire, il convient de définir des typologies afin de faciliter l'analyse et la classification de réalités complexes comme les habitats. La liste des types est ainsi propre à chaque domaine d'étude. Concernant les habitats marins, on peut citer la définition du Guide MESH (2008) pour lequel *"une typologie d'habitats vise à définir les habitats d'une façon cohérente, de sorte que des données semblables soient constamment associées à des types d'habitats précis, afin que l'on puisse comparer ces données d'une région géographique ou d'une époque à une autre"*. Au niveau européen, plusieurs référentiels d'habitats ont été élaborés. En 1991 a été publiée la typologie CORINE Biotopes (COordination et Recherche de l'INformation en Environnement). L'objectif était de proposer une classification des habitats naturels et semi-naturels présents en Europe de l'Ouest avec une attention particulière portée aux habitats à forte valeur patrimoniale. Elle a ensuite été remplacée par la classification des habitats du Paléarctique qui étend la typologie CORINE Biotopes à l'ensemble du domaine paléarctique. Pour l'Europe, la classification de référence actuelle est EUNIS Habitats (EUropean Nature Information System), issue en grande partie de ces deux typologies. **Les lagunes littorales salées ou saumâtres y sont considérées comme des complexes d'habitats** et appartiennent à un type unique, au sein duquel la classification EUNIS n'est à ce jour pas développée (déclinée à des niveaux inférieurs selon des critères structurants précis).

2 Objectifs

Dans ce contexte, le projet CHAMILA vise à établir une première cartographie des habitats au sein des lagunes méditerranéennes françaises qui tiendra compte de leurs variabilités temporelle et spatiale. Ainsi ce projet aboutira :

- (1) à la définition d'une typologie adaptée au contexte des lagunes méditerranéennes françaises ;
- (2) à la production de cartographies d'habitats lagunaires homogènes basées sur le niveau de connaissance actuel ;
- (3) à la définition de recommandations sur les actions à mener pour améliorer le niveau de connaissance.

3 Cadre du projet

3.1 Définition retenue d'une lagune et périmètre d'étude

Le terme « lagune côtière » a des sens multiples selon le contexte. Elle est définie comme une unité géomorphologique à l'interface entre les écosystèmes marins et continentaux, généralement peu profonde et séparée de la mer par un cordon littoral appelé « lido » (Figure 1).

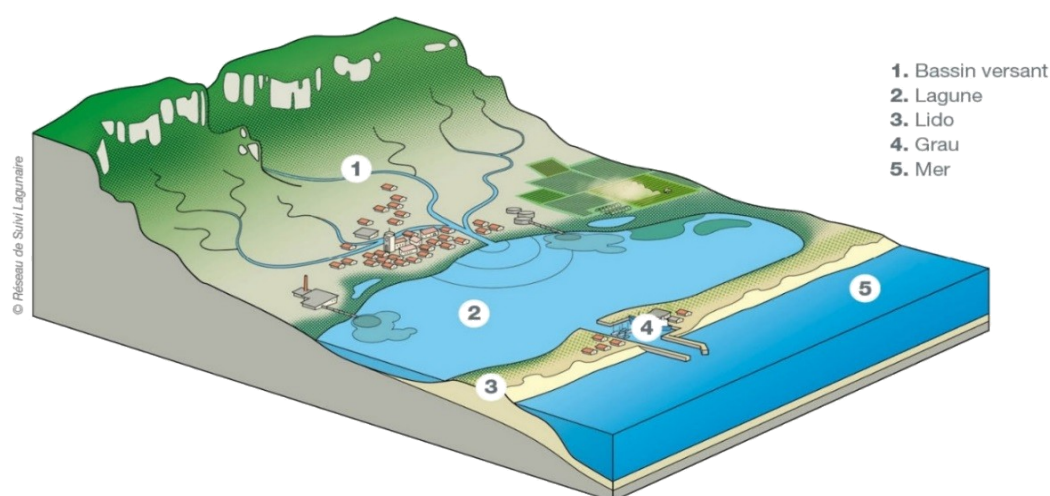


Figure 1: Représentation schématique d'une lagune côtière

D'un point de vue réglementaire, les lagunes côtières font parties de l'unité d'évaluation « masses d'eaux de transition » définies dans la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE). Elles sont « à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves, partiellement salines en raison de leur proximité des eaux côtières mais qui restent fondamentalement influencées par des courants d'eau douce ». La Directive 92/43/CEE Habitat-Faune-Flore a une définition ouverte considérant la lagune comme un complexe d'habitats, sans limitation de dimensions et incluant les milieux littoraux saumâtres ou salés à inondation temporaire.

Dans le cadre du projet CHAMILA, le **périmètre des lagunes correspond à celui défini par la typologie nationale T10 « Lagunes méditerranéennes »** des eaux de transition (circulaire n°2005-11 du 29 avril 2005, Directive Cadre sur l'Eau)¹. Dans cette typologie, les lagunes méditerranéennes sont regroupées en unités homogènes selon des facteurs physiques et chimiques communs qui déterminent les caractéristiques des eaux et donc la structure et la composition de la population biologique. Cette typologie aboutit ainsi en France à la définition de masses d'eau considérées homogènes.

Le projet CHAMILA considère ainsi **36 masses d'eau** réparties le long de la façade méditerranéenne française (Figure 2). Certains complexes lagunaires définis dans le cadre de la DCE ont été subdivisés (cas du complexe du Narbonnais, des étangs Palavasiens et de la Petite Camargue) ou regroupés (cas de Berre/Vaine) pour prendre en compte les masses d'eau

¹<http://id.eaufrance.fr/ddd/MDO/1.3/TypeMasseDEauTransition>

physiques. Le Tableau 1 reprend la nomenclature des 36 lagunes ainsi que leurs code et libellé utilisés dans le cadre de la DCE.

Même si l’emprise spatiale du projet CHAMILA est limitée aux masses d’eau avec une mise en eau permanente telles que définies dans la DCE, la démarche développée ici n’exclut pas une application aux masses d’eau temporaires adjacentes étudiées dans le cadre du Plan régional d’action en faveur de la conservation des lagunes temporaires méditerranéennes (Projet en cours, Conservatoire National Botanique Méditerranéen de Porquerolles, AERMC).

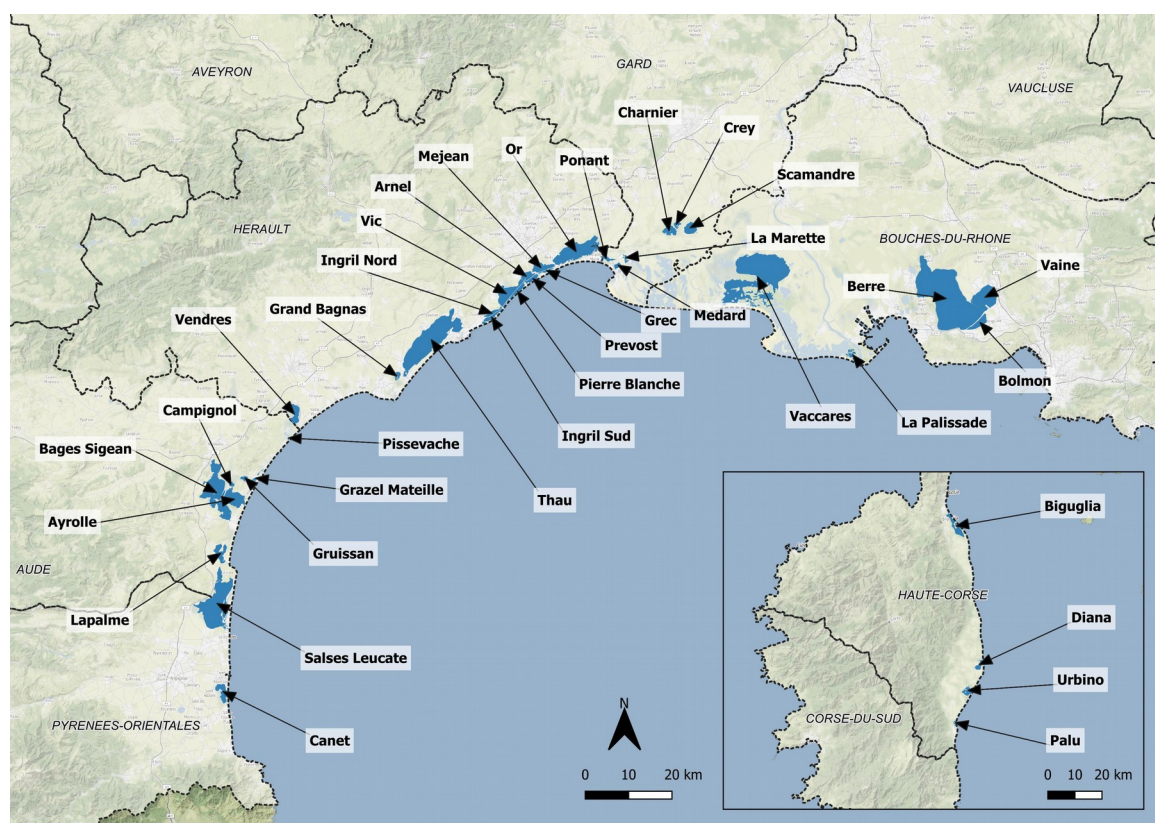


Figure 2: Localisation des 36 lagunes considérées dans le cadre du projet CHAMILA.

Tableau 1: Liste des lagunes considérées dans le projet CHAMILA et correspondances avec la typologie DCE

Identifiant	Libellé	Code DCE	Libellé DCE	Surface (km ²)	Type
01CAN	Canet	FRDT01	Canet	6.43	poly/euhaline
02SLE	Salses Leucate	FRDT02	Salses-Leucate	52.88	poly/euhaline
03LPA	La Palme	FRDT03	Etang de La Palme	6.94	poly/euhaline
04BAG	Bages Sigeon	FRDT04	Complexe du Narbonnais Bages - Sigeon	37.05	poly/euhaline
05AYR	Ayrolle	FRDT05A	Complexe du Narbonnais Ayrolle	13.23	poly/euhaline
06CAM	Campagnol	FRDT05B	Complexe du Narbonnais Campagnol	1	oligo/mésosaline
07GRU	Gruissan	FRDT06A	Complexe du Narbonnais Gruissan	1.31	poly/euhaline
08GRA	Grazel	FRDT06B	Complexe du Narbonnais Grazel/Mateille	1.15	poly/euhaline
09MAT	Mateille	FRDT06B	Complexe du Narbonnais Grazel/Mateille	0.27	poly/euhaline
10PSV	Pissevache	FRDT07	Pissevache	0.12	poly/euhaline
11VDR	Vendres	FRDT08	Vendres	6.6	oligo/mésosaline
12GBA	Grand Bagnas	FRDT09	Grand Bagnas	1.69	oligo/mésosaline
13THA	Thau	FRDT10	Etang de Thau	67.7	poly/euhaline
14INS	Ingril Sud	FRDT11C	Etangs Palavasiens Ouest	3.17	poly/euhaline
15INN	Ingril Nord	FRDT11C	Etangs Palavasiens Ouest	2.28	poly/euhaline
16PBL	Pierre Blanche	FRDT11C	Etangs Palavasiens Ouest	3.14	poly/euhaline
17VIC	Vic	FRDT11C	Etangs Palavasiens Ouest	12.96	poly/euhaline
18PRV	Prevost	FRDT11B	Etangs Palavasiens Est	2.46	poly/euhaline
19ARN	Arnel	FRDT11B	Etangs Palavasiens Est	4.42	poly/euhaline
20GRC	Grec	FRDT11B	Etangs Palavasiens Est	1.08	poly/euhaline
21MEJ	Mejean	FRDT11B	Etangs Palavasiens Est	7.12	poly/euhaline
22OR	Or	FRDT11A	Etang de l'Or	31.31	poly/euhaline
23PON	Ponant	FRDT12	Etang du Ponant	1.92	poly/euhaline
24MED	Medard	FRDT13C	Petite Camargue Medart	1.42	poly/euhaline
25MAR	La Marette	FRDT13E	Petite Camargue Marette	1.3	oligo/mésosaline
26CHR	Chamier	FRDT13H	Petite Camargue Scamandre- Chamier	4.87	oligo/mésosaline
27CRE	Crey	FRDT13H	Petite Camargue Scamandre- Chamier	1.42	oligo/mésosaline
28SCM	Scamandre	FRDT13H	Petite Camargue Scamandre- Chamier	5.92	oligo/mésosaline
29VAC	Vaccars	FRDT14A	Camargue Complexe Vaccars	101.22	poly/euhaline
30PAL	La Palissade	FRDT14C	Camargue La Palissade	2.95	oligo/mésosaline
31BER	Berre Vaine	FRDT15	Etang de Berre /Grand Etang Vaine	154.97	poly/euhaline
32BOL	Bolmon	FRDT15C	Etang de Berre Bolmon	6.01	oligo/mésosaline
33BIG	Biguglia	FRET01	Etang de Biguglia	13.75	poly/euhaline
34DIA	Diana	FRET02	Etang de Diana	5.4	poly/euhaline
35URB	Urbino	FRET03	Etang d'Urbino	7.58	poly/euhaline
36PAL	Palu	FRET04	Etang de Palu	1.08	poly/euhaline

3.2 Intérêts d'une carte d'habitats

La définition d'habitat retenue pour le projet CHAMILA est celle utilisée dans le cadre du Réseau Benthique (REBENT) qui a pour objectif de recueillir les données relatives à la distribution des habitats marins côtiers et au suivi de leur biodiversité. **Un habitat est un « environnement particulier qui peut être distingué par ses caractéristiques abiotiques et ses assemblages biologiques associés, fonctionnant à des échelles spatiales et temporelles spécifiques mais dynamiques, dans un secteur géographique reconnaissable »** (Guillaumont et al. 2009). **Il est non seulement défini par la biocénose mais également par la structure physique qui l'héberge.**

Une carte d'habitats permet de représenter la répartition et l'étendue des différents habitats, en les séparant par des frontières claires. Les paramètres qui définissent un habitat, qu'ils soient physiques, environnementaux ou biologiques varient progressivement dans l'espace et dans le temps. Les limites qui séparent les habitats dans la nature ne sont donc pas nettes contrairement à leurs représentations cartographiques. Un travail de cartographie d'habitats commence donc par la mise en place d'un cadre précis et de règles définies dans une typologie. Celle-ci répond à des objectifs bien identifiés qui peuvent être scientifiques comme la description d'un écosystème ou de gestion comme la mise en œuvre des directives européennes.

A terme, ces cartes d'habitats, issues de données acquises de manière indépendantes, permettent de rendre compte, à un instant « t », d'une réalité complexe à intégrer. Elles permettent ainsi aux différents acteurs (locaux, décideurs, scientifiques...) de :

- Visualiser les connaissances disponibles au sein d'une zone d'intérêt ;
- Évaluer l'importance, la rareté et l'étendue des habitats à l'échelon régional ;
- Fournir une couche d'information à la planification spatiale et stratégique ;
- Aider à la mise en place de mesures de protection des habitats rares et menacés ;
- Aider à cibler et optimiser les efforts de surveillance.

3.3 Typologie d'habitats

Une typologie peut être définie comme un système structuré, souvent hiérarchique, de types d'habitats (classes) clairement définis par un ensemble de traits de caractères et qui se répètent en différents lieux. Elles permettent de définir un langage commun ainsi que des unités de travail. Il existe un certain nombre de typologies et de listes d'habitats issues de directives communautaires ou de conventions internationales qui intègrent les lagunes et les biocénoses associées. Créées dans des contextes particuliers, chacune de ces typologies répond à des objectifs donnés et s'appliquent à des échelles différentes.

3.3.1 Typologie Natura 2000

La typologie Natura 2000 correspond à la liste des habitats d'intérêt communautaire (habitats génériques) de la Directive européenne 92/43/CEE dite Directive Habitat Faune Flore (DHFF). Les manuels d'interprétation des habitats de l'Union européenne constituent la référence européenne principale pour l'interprétation des Habitats génériques dans le milieu marin. La version originale (EUR 15/2) a été produite en octobre 1999 (Commission Européenne, 1999), puis actualisée en 2003 (EUR25) et 2007 (EUR27) (European Commission, 2007).

Ces habitats de référence se déclinent en France en habitats élémentaires définis dans les Cahiers d'habitats côtiers français. Ainsi, les lagunes côtières (1150) constituent un habitat générique décliné en deux habitats élémentaires : les lagunes en mer à marées en Atlantique (1150-1) et les lagunes méditerranéennes (1150-2) (Bensettiti et al. 2004).

Les Cahiers d'Habitats déterminent 5 faciès qui caractérisent la biocénose des lagunes méditerranéennes en fonction de la salinité, la température et la surface en eau :

- faciès d'épiflore à *Ruppia cirrhosa* avec ou sans *Zostera spp.*
- faciès à *Ruppia maritima*
- faciès à *Stuckenia pectinata*
- faciès à macroalgues libres
- faciès à *Ficopomatus enigmaticus*

Cette typologie fait essentiellement appel à des critères biologiques pour caractériser les habitats lagunaires. Elle reste imprécise pour décrire de manière exhaustive le milieu lagunaire.

3.3.2 Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée du référentiel national

Face aux limites des référentiels existants, des démarches ont été entreprises par la communauté française pour les adapter aux spécificités locale et régionale. Ces initiatives ont contribué à l'élaboration d'un référentiel national des habitats benthiques (Michez et al. 2017). Il s'agit notamment de la liste de référence française des biocénoses, faciès et associations présents en Méditerranée. Elle synthétise et harmonise les typologies existantes se rapportant aux habitats benthiques méditerranéens. Cette typologie hiérarchique est structurée en quatre niveaux. Le premier niveau correspond à l'étagement et le deuxième aux substrats et/ou le régime de salinité. Le troisième niveau fait apparaître les biocénoses, le niveau quatre les faciès et associations de ces biocénoses. Classées au sein de l'étage « infralittoral » puis du substrat « vases, vases sableuses, sables, graviers et roche en milieu euryhalin et eurytherme », l'équivalent des lagunes méditerranéennes apparaît au niveau 3 comme « Biocénose lagunaire euryhaline et eurytherme ». Au niveau 4 sont listées 16 faciès et associations de biocénoses qui présentent un caractère saisonnier et sont géographiquement localisées (Figure 3).



Figure 3: Description de la typologie des biocénoses lagunaires (https://inpn.mnhn.fr/habitat/cd_typo/32)

Les critères physiques sont peu représentés dans cette typologie qui s'attache davantage à décrire les associations d'espèces. Le niveau 2 regroupe effectivement 5 types non distincts de substrat et considère les lagunes comme des masses d'eau à fortes variations de salinité et de température, sans subdivisions.

3.3.3 Typologie EUNIS

La typologie EUNIS (European Nature Information System qui remplace CORINE Biotope) mise au point par l'Agence Européenne de l'Environnement est un système de description visant l'exhaustivité, qui tend à constituer un standard au niveau européen. Celle-ci a l'avantage de

prend en compte tous les habitats : des habitats naturels aux habitats artificiels, des habitats terrestres aux habitats d'eau douce et marins. Elle a une structure hiérarchique fondée sur 11 grands types de milieux parmi lesquels figurent les habitats marins (A) et les complexes d'habitats (X) (Tableau 1 dans Louvel et al. 2013). Chacun de ces grands types de milieux peut être subdivisé jusqu'à 7 niveaux inférieurs, basés sur des critères relatifs aux facteurs environnementaux qui influencent les communautés. Au total, la classification compte ainsi 5 282 unités (Louvel et al. 2013). Les principaux critères retenus pour les habitats côtiers correspondent à une succession de critères abiotiques (étage, substrat, exposition, salinité) puis biotiques avec les espèces structurantes et les communautés associées (Bajjouk et al., 2015).

Les lagunes appartiennent au grand type « complexes d'habitats », divisées en deux unités géomorphologiques distinctes selon leur niveau de salinité :

- X02 - lagunes littorales salées et
- X03 - lagunes littorales saumâtres.

Cette classification au sein de complexe d'habitats offre ainsi la possibilité de gérer en parallèle les entités spécifiques comme les lagunes. En effet, certains types d'habitats caractéristiques des lagunes sont classés au niveau « A5- Sédiment subtidal » mais un grand nombre d'autres habitats non décrits peuvent aussi s'y trouver (Michez et al. 2012)

4 Méthode de cartographie

4.1 Cartographie des critères structurants

La typologie d'habitats lagunaires définit un certain nombre de **critères structurants** cet habitat, dans un **ordre précis**. Chacun de ces critères est représenté par une ou plusieurs **variables environnementales** qui sont cartographiées indépendamment en suivant la même méthode (Figure 4).

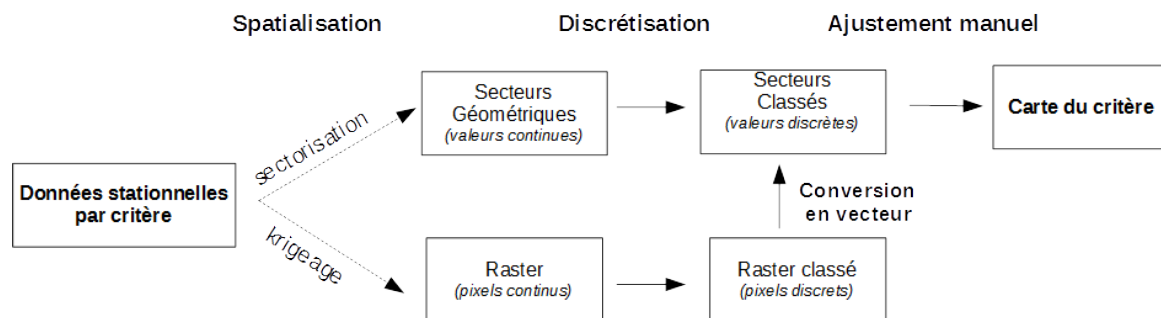


Figure 4: Schéma des étapes de cartographie des critères structurants l'habitat

4.1.1 Spatialisation

Dans le cadre du projet CHAMILA, la plupart des données utilisées sont **stationnelles**. La cartographie de chaque critère implique une étape de **spatialisation** afin de transformer les données stationnelles en données surfaciques sur l'ensemble de la lagune traitée. Deux techniques de spatialisation ont été appliquées (Figure 5) :

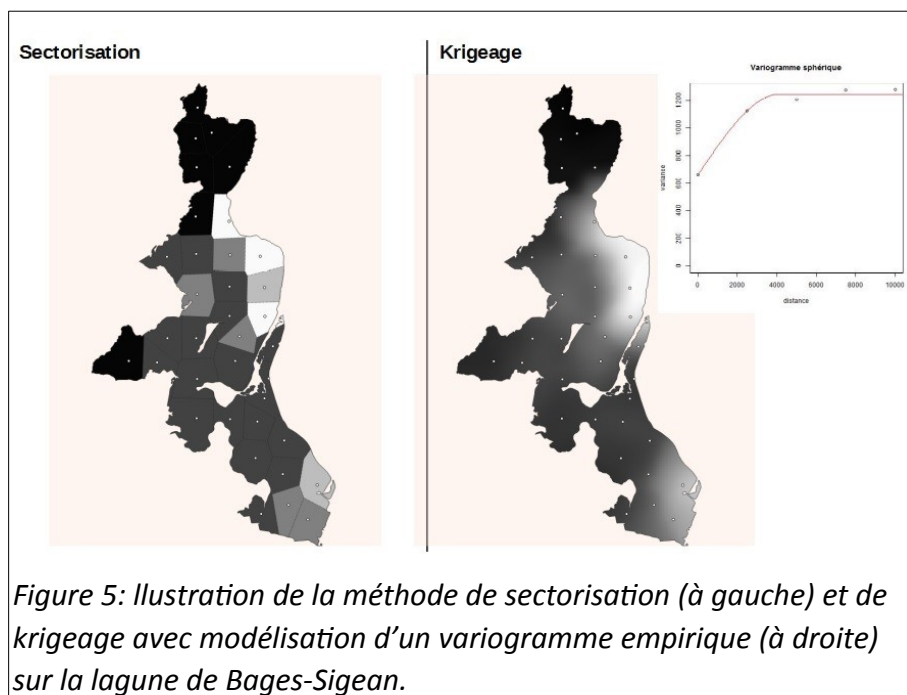
- **La sectorisation**

La sectorisation consiste à partitionner la lagune en **secteurs géométriques** (appelés polygones de Voronoï) délimités selon la localisation des stations. Chaque secteur enferme un unique point d'échantillonnage. Tous les emplacements dans ce polygone sont plus proches de ce point que des autres stations.

- **L'interpolation spatiale par krigeage**

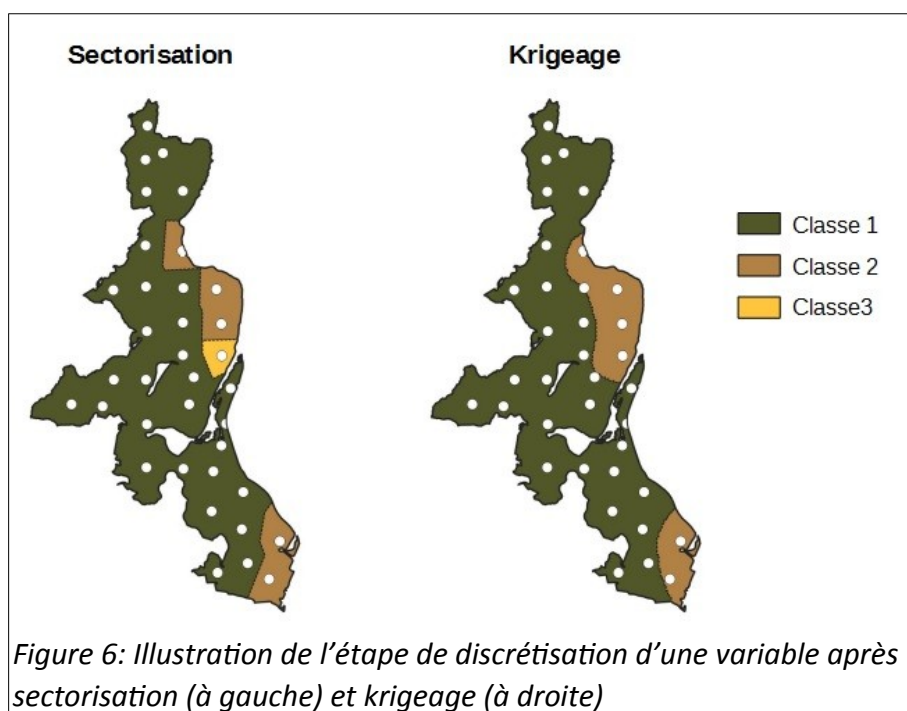
La seconde méthode mise en œuvre est l'interpolation spatiale par krigeage. Cette méthode géostatistique permet d'estimer une variable dans l'espace via la modélisation d'un variogramme expérimental. Le variogramme exprime la dissimilarité entre les valeurs observées en fonction de la distance qui les sépare spatialement. Le krigeage a été appliqué sur les plus grandes lagunes (Leucate, Bages, Thau, Or, Vaccarès, Berre) pour lesquelles le nombre de stations était plus important et le variogramme modélisé plus robuste.

Par sectorisation, la valeur stationnelle du descripteur est attribuée à l'ensemble du polygone tandis que le krigeage interpole la valeur stationnelle du descripteur dans l'espace.



4.1.2 Discrétisation

Pour chaque critère, l'étape de discrétisation vise à découper en différentes classes le descripteur préalablement spatialisé par sectorisation ou krigeage (Figure 6). Elle inclut le choix du nombre de classes et la méthode appliquée pour seuiller les résultats de la spatialisation. Les seuils doivent être génériques pour l'ensemble des lagunes méditerranéennes. Dans le cas où une classification existe déjà dans la littérature, elle sera automatiquement appliquée. Autrement, les seuils peuvent être fixés par dires d'experts en lien avec le type et le fonctionnement de lagunes ou en recourant à des méthodes statistiques.



La méthode appliquée pour déterminer le nombre de classes et les seuils est expliquée dans les paragraphes « Classification » de la partie 6 « Critères de discrimination de l'habitat lagunaire ». A l'issue de cette étape, une carte par critère est générée (cartes intermédiaires).

4.1.3 Ajustements manuels

Les deux méthodes de spatialisation utilisées, basées sur les coordonnées géographiques des points génère des artefacts liés à la configuration spatiale du plan d'échantillonnage et à la forme de la lagune. La cohérence des classes résultantes est vérifiée et le cas échéant rectifiée manuellement par expertise en affectant la classe du polygone adjacent au polygone concerné.

4.1.4 Caractérisation des incertitudes

Les données brutes sont multi-sources et très hétérogènes spatialement et temporellement d'une lagune à l'autre (cf 6.). La qualité du résultat cartographique est dépendante non seulement de cette variabilité mais également des différents choix méthodologiques opérés (méthodes de spatialisation et discrétisation). Un indice de fiabilité par critère est déterminé par dires d'experts. Il est qualifié de **satisfaisant (indice 1)** ou **insatisfaisant (indice 0)** en fonction de trois types de paramètres suivants :

- la qualité des données brutes : nombre de données, nombre de station, résolution des données, ancienneté ;
- la fiabilité de la méthode : type de spatialisation, choix des seuils ;
- la connaissance des experts rencontrés par lagune.

4.2 Cartographie des habitats

4.2.1 Agrégation successive des cartes des critères structurants

La carte d'habitats résulte de l'agrégation successive des cartes de critères (Figure 7). Les intersections se font dans l'ordre des critères et constituent à chaque étape un niveau de la typologie d'habitats lagunaires. Le niveau 1 constitue la carte du critère 1, le niveau 2 l'intersection entre le niveau 1 et le critère 2 etc.

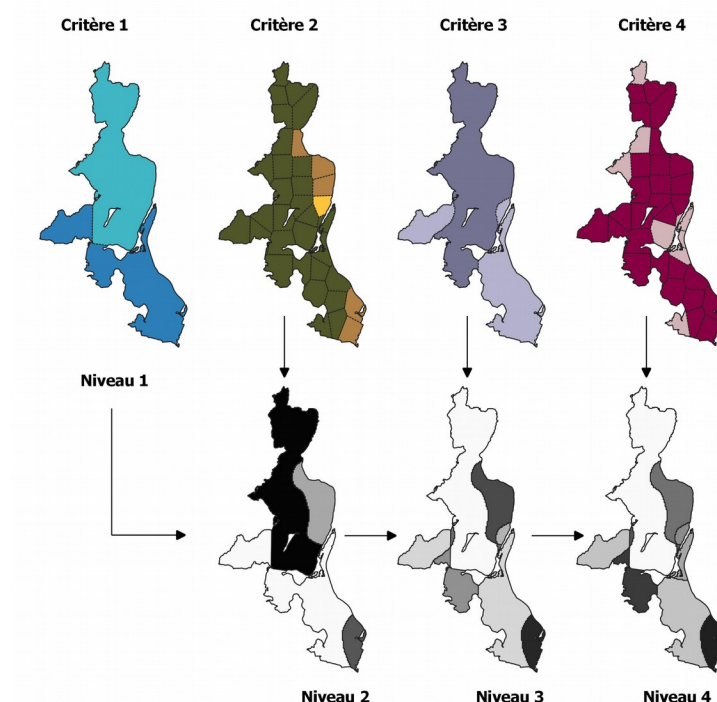


Figure 7: Illustration de l'agrégation successive des cartes de critères pour réaliser les cartes d'habitats par niveau

4.2.2 Post-traitements

Le résultat brut issu de l'intersection des critères nécessite les étapes de post-traitements suivantes afin d'aboutir à la carte finale d'habitats :

- définition et application d'une surface minimale de polygones par lagune (agrégation des unités de moins de 5% de la surface totale de la lagune) ;
- Modification de certains polygones au niveau des zones de jonction entre les couches ;
- simplification vectorielle pour répondre à une échelle générique des lagunes comprise entre 1/50 000 et 1/100 000 ;
- Création d'une table attributaire après harmonisation des tables des données source ;
- application d'un masque dans la mesure du possible pour exclure les zones non concernées par une mise en eau permanente (zones temporaires, roselière) ;
- Ajout de données apportant des informations localement sur le type d'habitats : naturalité des berges et structures conchylicoles (lagunes de Thau et Salses-Leucate).

5 Proposition d'une Typologie d'habitats lagunaires

A ce jour, il n'existe pas de classification au sein des lagunes côtières mais la structure hiérarchique de **la typologie EUNIS permet d'imbriquer une typologie spécifique aux lagunes méditerranéennes, en préservant la cohérence avec ce standard européen**. Cette démarche de classification a donc été **retenue pour servir de base pour le projet CHAMILA**. Le développement d'une typologie des lagunes côtières méditerranéennes permettra ainsi d'y **définir les habitats d'une manière cohérente**, en appliquant des critères précis. Ainsi, les habitats lagunaires pourront être caractérisés de la même manière par des personnes différentes et à différentes échelles spatio-temporelles. Le concept de ce référentiel pourrait ainsi être **appliqué dans d'autres lagunes méditerranéennes** (Grèce, Italie) et enrichi par leurs spécificités locales ou régionales tout en offrant la possibilité d'être **reconduit dans le temps**.

5.1 Variables à considérer

Les lagunes méditerranéennes, à l'interface entre le milieu terrestre et le milieu marin, sont des écosystèmes paraliques relativement confinés et hétérogènes qui, par leur localisation géographique, sont soumises à des pressions naturelles et anthropiques variées. Dans le cadre du projet CHAMILA, il s'agit de définir des entités structurelles homogènes au sein de chaque lagune méditerranéenne. Pour cela, il faut considérer les variables biotiques et abiotiques aujourd'hui définies comme structurantes de l'habitat :

- **Composante physique** : Bathymétrie, Trait de côte, Hydro-morphologie, Hydro-dynamisme, Intensité lumineuse au fond
- **Composante physico-chimique du sédiment** : Granulométrie, Matière Organique, Teneur en eau, Contaminants chimiques
- **Composante physico-chimique de la colonne d'eau** : Salinité, Température, Oxygène, Turbidité, Teneur en Chlorophylle a, concentration en nutriments
- **Composante biotique** : Macrophytes, Macrofaune

Cependant, ce projet est basé sur le niveau de connaissance actuel (pas de nouvelles acquisitions de données). Les variables à considérer correspondent ainsi à un **compromis** entre la **pertinence de la variable** dans la définition de l'habitat potentiel ainsi que la **disponibilité et l'accessibilité des données** associées.

5.2 Proposition d'une typologie d'habitats lagunaires

La typologie proposée par les experts présents lors de la journée de travail (27 septembre 2018 à La Tour du Valat, Arles, Tableau 2) a ensuite été jointe au compte-rendu de la journée et ainsi soumise à l'ensemble des experts contactés dans le cadre du projet CHAMILA. Une des exigences qui a été fixée pour élaborer ce référentiel est la cohérence avec les objectifs définis (cartographie d'habitats lagunaires) et générique à l'échelle de l'ensemble des lagunes méditerranéennes.

Tableau 2: Nom, organisme de rattachement et compétences des experts contactés dans le cadre de la définition des typologies d'habitat dans le cadre du projet CHAMILA

Nom, Prénom	Organisme de rattachement	Compétences
Vasquez, Mickaël	Ifremer, Brest	Cartographie, Typologie d'habitat
Fiandrino, Annie	Ifremer, Sète	Lagunes méditerranéennes, Modélisation
Giraud, Anaïs	AERMC, Montpellier	Lagunes méditerranéennes
Astruch, Patrick	GIS Posidonie, Marseille	Macrophytes
Le Direach, Laurence	GIS Posidonie, Marseille	Macrophytes
Malet Nathalie	Ifremer, Bastia	Lagunes méditerranéennes, Macrophytes
Pasqualini, Vanina	Univ. Corse, Corte	Lagunes méditerranéennes, Macrophytes
Michez, Noémie	MNHN, Paris	Typologie d'habitat
Tomasino, Corinne	Ifremer, Seyne-Sur-Mer	Cartographie
Argagnon, Olivier	CBN Méditerranée, Montpellier	Lagunes méditerranéennes, Macrophytes
Papuga, Guillaume	CBN Méditerranée, Montpellier	Lagunes méditerranéennes, Macrophytes
Barré, Nathalie	PRL, Arles	Lagunes méditerranéennes
Faure, Vincent	GIPREB, Berre	Lagunes méditerranéennes, Modélisation
Massinelli, Laura	Ifremer, Sète	Macrophytes
Derolez, Valérie	Ifremer, Sète	Lagunes méditerranéennes, Macrophytes
Bajjouk, Touria	Ifremer, Brest	Cartographie, Typologie d'habitat
Vaz, Sandrine	Ifremer, Sète	Cartographie, Typologie d'habitat
Grillas, Patrick	TDV, Arles	Lagunes méditerranéennes, Macrophytes
Menu, Marion	Ifremer, Sète	Cartographie
Ouisse, Vincent	Ifremer, Sète	Lagunes méditerranéennes, Macrophytes

La typologie des habitats lagunaires proposée s'appuie sur la méthode hiérarchique d'EUNIS. Elle est basée sur la définition de **critères structurants**, classés dans un certain **ordre**, afin de définir **successivement des niveaux d'habitats**.

L'**ordre des critères** répond à un **compromis entre une intégration dans EUNIS**, la prise en compte des **facteurs structurants les habitats** au sein des lagunes méditerranéennes ainsi que la complexité et la disponibilité des données.

La typologie a été conçue comme une base dont **chaque niveau dépend du niveau précédent**. Chaque **niveau introduit un critère supplémentaire** et crée des classes d'habitats en combinant progressivement les critères structurants. Cette typologie intégrant critères et niveaux est synthétisée dans la Figure 8.

La typologie proposée pour les lagunes méditerranéennes intègre **sept critères structurants** :

- La **persistance de la masse d'eau** correspond au **niveau 0**. Ce niveau pourra permettre à terme de connecter une typologie spécifique adaptée aux masses d'eau temporaires.
- La **salinité**, correspondant au **critère 1**, a été définie comme le paramètre structurant des habitats lagunaires par de nombreux auteurs (Guelorget et Pertuisot, 1984 ; Le Fur et al., 2018 par exemple). Les milieux lagunaires sont caractérisés par de fortes variations de salinité, pouvant aller de l'eau saumâtre à l'hypersalinité à des échelles intra-annuelles. Ces variations dépendent de la pluviosité, des apports d'eau douce continentale et des échanges avec la mer via les graus. A l'échelle spatiale intra-lagunaire, la salinité est également considéré comme un proxy du confinement.
- Le **type de substrat** constitue le **critère 2**. Dans la typologie EUNIS, sont distingués les substrats mobiles qui comprennent les galets, les cailloutis, le sable et la vase, équivalents au sédiment des lagunes généralement de type vaseux ou sablo-vaseux ; des substrats dits immobiles (les fonds rocheux continus durs et tendres, blocs immobiles, les rochers et les galets consolidés durs) ici exclus.
- La **zone biologique** correspond au **critère 3**. Elle est caractérisée par la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. La lumière disponible constitue un paramètre clé dans la distribution des communautés benthiques, notamment pour les habitats de milieux rocheux. Dans la typologie EUNIS, il correspond à l'étagement qui est accolé au substrat (ex : Infralittoral rock). Ce paramètre clé dans la typologie EUNIS semble également déterminant pour le développement d'organismes autotrophes structurants dans les lagunes méditerranéennes parfois relativement turbides.
- L'**hydrodynamisme (critère 4)**, déterminant dans la structuration spatiale des habitats marins dans la classification EUNIS, apparaît comme relativement faible dans les lagunes qui sont des écosystèmes micro à nano-tidaux. Il peut néanmoins jouer un rôle important dans la distribution d'espèces de macrophytes (Ouisse et al. 2014). Dans les milieux semi-fermés peu profonds tels que les lagunes méditerranéennes, la circulation des masses d'eau résulte principalement de l'action du vent. Il s'exerce alors une tension de cisaillement sur le fond, que ce soit par les courants ou par les vagues, qui peut conduire à une remise en suspension des particules. Si la part de la tension sur le fond due aux courants peut être considérée comme négligeable (Fiandrino et Verney, 2010), celle due aux vagues est en revanche à considérer.
- L'**état trophique** des masses d'eau lagunaires méditerranéennes est au cœur de nombreuses études depuis plus de 20 ans. Il constitue le **critère 5**. En effet, l'augmentation des flux de nutriments via les apports anthropiques peuvent engendrer des effets indirects sur la structure des communautés benthiques (diminution de la lumière, anoxies, modifications des peuplements phytoplanctoniques...).
- Enfin la **biologie** constitue le **critère 6**. Il inclut des variables souvent complexes à acquérir.

Dans le cadre de cette typologie, la **température** constitue un paramètre très variable à des échelles temporelles courtes difficile à intégrer sur une carte statique. **L'oxygène**, bien qu'influençant directement le fonctionnement biologique, est également en partie la résultante des activités biologiques. Les données décrivant la **contamination chimique** et de leurs effets est à ce jour relativement parcellaire. Enfin, le **caractère stratifié** d'une lagune méditerranéenne concerne uniquement la lagune de Berre (et éventuellement Biguglia dans une autre mesure). Pour toutes ces raisons, ces critères **ne seront pas considérés dans la typologie** proposées dans le cadre de ce projet. La **nature des berges, leur degré d'artificialisation et de rugosité** ou bien la présence de **structures artificielles** comme les tables conchylicoles peuvent jouer un rôle fonctionnel pour de nombreuses espèces. Bien qu'elles n'apparaissent pas dans la typologie, elles seront ajoutées directement sur les cartographies finales par superposition.

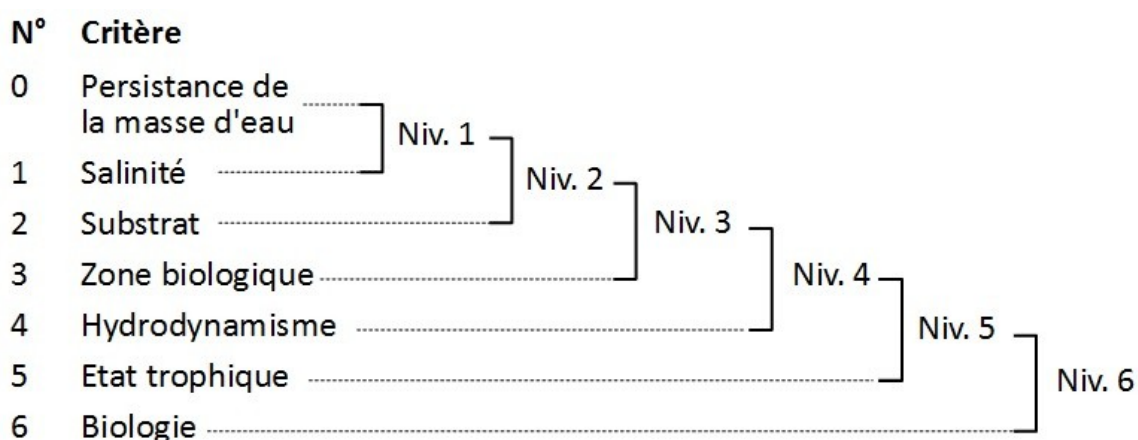


Figure 8: Liste des critères et niveaux typologiques proposés dans le cadre des lagunes méditerranéennes françaises

6 Critères de discrimination de l'habitat lagunaire

Les données utilisées dans le cadre du projet CHAMILA ont permis de couvrir l'ensemble des 36 lagunes pour au moins un des critères considérés. En revanche, le niveau de la carte d'habitat ainsi que la fiabilité des représentations de chacun des critères est variable selon la lagune. Ceci est principalement dépendant du nombre de données disponibles et de leur répartition spatiale et temporelle.

Dans la suite du document, les résultats pour chacun des critères seront commentés sur l'ensemble des lagunes méditerranéennes françaises. Cependant, pour des raisons de présentation, seul le complexe des étangs narbonnais « élargi » (incluant les lagunes de Bages-Sigean, Ayrolle, Campagnol, Gruissan, Grazel et Mateille), reflétant une partie de la diversité des lagunes étudiées (données disponibles, gradient de salinité...) sera représenté. Les représentations cartographiques des autres lagunes sont disponibles dans l'atlas associé au rapport.

Le critère 0 « persistance de la masse d'eau » est basé sur le trait de côté des masses d'eau de transition élaboré par le SANDRE. L'ensemble des 6 critères utilisés dans la typologie développée dans le cadre du projet CHAMILA est décrit dans les parties suivantes.

6.1 Critère 1 : Salinité

6.1.1 Choix de la période

La salinité est un paramètre variable dans le temps, il faut donc définir une période pour l'intégration temporelle des données de salinité. Après exploration du jeu de données, il a été décidé de borner les données entre les **années 2012 et 2017** afin de répondre au mieux au compromis entre données récentes et données disponibles. L'amplitude de 6 années consécutives est compatible avec celle de diagnostic des états DCE. De plus, les paramètres physico-chimiques comme la salinité peuvent être très variables au cours de l'année. Il a été choisi de ne conserver que les données collectées **entre les mois de mai et septembre** par volonté de caractériser l'habitat à cette période qui correspond au maximum de productivité du milieu lagunaire.

6.1.2 Description des données disponibles

Les données de salinité utilisées dans le cadre du projet CHAMILA sont issues des programmes nationaux ou régionaux RSL/DCE (Réseau de Suivi Lagunaire/Directive Cadre sur l'Eau), FILMED (Forum Interrégional des Lagune MEDiterranéennes) et REPHY (REseau d'observation et de surveillance du PHYtoplancton et des phycotoxines). En complément pour les lagunes de Vaccarès, Médard et de Berre, des données issues de certains acteurs locaux ont également été considérées (Tableau 3).

Tableau 3: Description des données de salinité utilisées pour le critère 1 « Salinité »

programme	source	lagunes	nombre de lagunes	nombre de stations	périodicité	période
RSL/DCE – colonne d'eau	Quadrigé ²	Toutes	36	76	suivi estival	2012 – 2017
FILMED	Métropole Perpignan, RIVAGE, PNR Narbonnaise, CC la Domitienne, ADENA, SYBLE, SYMBO, Conservatoire du Littoral, RNN Camargue, SMC, PNR Camargue	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 10PSV, 11VDR, 12GBA, 14INS, 15INN, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 24MED, 25MAR, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 30PAL	24	57	variable	2012 – 2017
REPHY	Quadrigé ²	02SLE, 05AYR, 07GRU, 13THA, 14INS, 17VIC, 18PRV, 23PON, 34DIA, 35URB	10	18	suivi mensuel	2012 – 2017
Suivi Vaccarès RNN	RNN Vaccarès	29VAC	1	12	suivi mensuel	2012 – 2017
Echelle automatique	Conservatoire du Littoral	24MED	1	1	suivi horaire	2016-2017
Observatoire du GIPREB	GIPREB	31BER	1	10	suivi mensuel	2012 – 2017

D'autres données issues de programmes de recherche ont été explorées sur les lagunes de Thau (suivi de l'épisode de malaïgue de l'été 2008) ou d'Ayrolle (suivi 2008). Souvent ponctuelles et affectées à une seule lagune, elles n'ont pas été prises en compte.

Un bilan du nombre de données disponible par lagune sur la période de travail est donné dans le Tableau 4. La résolution moyenne correspond à la distance moyenne en mètres entre les stations au sein de chaque lagune considérée.

Tableau 4: Détail par lagunes des données de salinité utilisées pour le critère « salinité ».

lagune	période	nombre d'années	nombre de données	nombre de stations	résolution moyenne (en m)
01CAN	2012-2017	6	556	7	1049
02SLE	2012-2017	6	404	10	1092
03LPA	2012-2017	6	137	5	1288
04BAG	2012-2017	6	74	7	1707
05AYR	2012-2017	6	92	5	1010
06CAM	2012-2017	5	30	6	346
07GRU	2012-2017	5	24	2	107
08GRA	2012-2015	1	3	1	
09MAT	2015	1	3	1	
10PSV	2013-2017	5	30	2	215
11VDR	2012-2017	6	225	7	629
12GBA	2012-2017	6	179	7	448
13THA	2012-2017	6	467	8	2029
14INS	2012-2017	6	152	6	551
15INN	2012-2017	6	41	3	2119
16PBL	2012-2014	3	11	1	
17VIC	2012-2017	6	81	4	1684
18PRV	2012-2017	6	133	5	673
19ARN	2012-2017	4	42	3	1390
20GRC	2012-2017	6	33	2	878
21MEJ	2012-2017	6	141	6	1153
22OR	2012-2017	6	142	7	1850
23PON	2012-2017	6	87	3	800
24MED	2012-2017	6	239	3	766
25MAR	2012-2017	6	54	5	324
26CHR	2012-2017	6	29	5	951
27CRE	2012-2017	6	33	3	1086
28SCM	2012-2017	6	33	5	795
29VAC	2012-2017	6	324	13	2231
30PAL	2012-2017	6	70	6	482
31BER	2012-2017	6	24	2	3494
32BOL	2015	1	9	3	1605
33BIG	2012-2017	6	36	2	7082
34DIA	2012-2017	6	98	2	1262
35URB	2012-2017	6	72	1	
36PAL	2012-2017	6	18	1	

Les valeurs de salinité mesurées sur la période printemps-été 2012-2017 sont représentées pour les 36 lagunes sur la Figure 9. Cette représentation graphique rend compte de la variabilité inter-lagunaire de la salinité mais également de la variabilité intra-lagunaire concernant certaines lagunes comme par exemple Canet, La Palme, Pissevache, Vendres, l'Or, le Méjean, Pierre-Blanche, Ponant, la Palissade ou encore Biguglia.

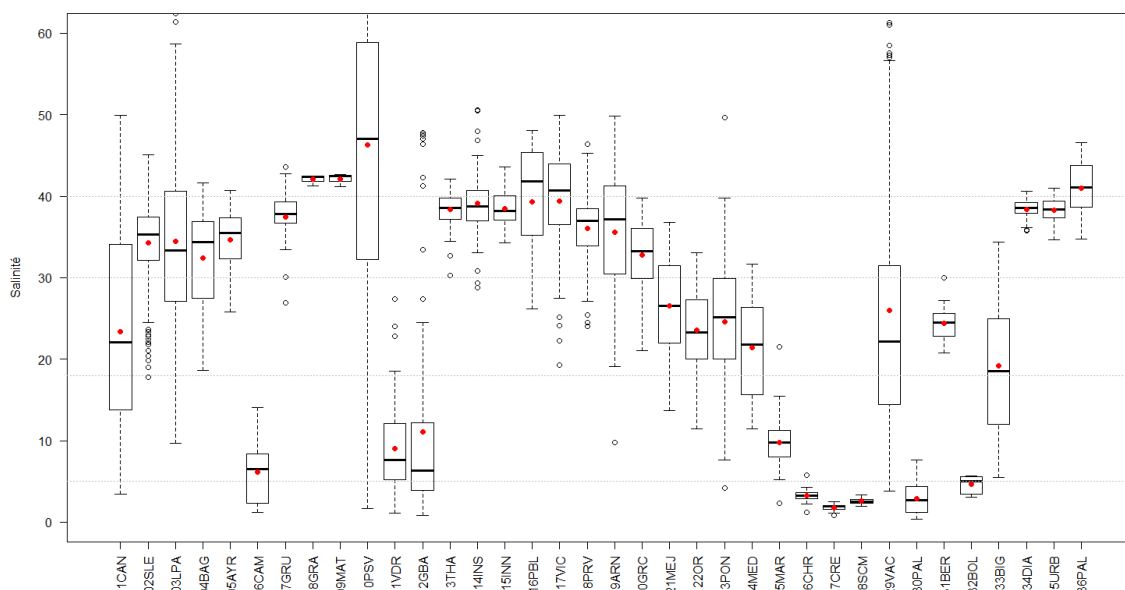


Figure 9: Amplitudes des valeurs de salinités et valeurs médianes (traits continus horizontaux) et moyennes (points rouges) observées sur chaque lagune sur la période printemps-été 2012-2017. Les traits pointillés horizontaux correspondent aux seuils de salinité définis par la classification de Venise (1958)

6.1.3 Choix des descripteurs

Les données de salinité sont mesurées au sein de l'ensemble des lagunes mais suivant une fréquence et une résolution spatiale variables. Les données issues du REPHY ainsi que certaines données du FILMED ont une périodicité d'échantillonnage infra-mensuelle. Dans ces cas de figure, les mesures de salinité ont été moyennées chaque mois afin d'obtenir une seule valeur et ainsi d'équilibrer le nombre de données très variables d'un mois à l'autre, lié à des pressions d'échantillonnage différentes entre les programmes de surveillance et les lagunes.

Afin de rendre compte de la valeur centrale ainsi que de la variabilité temporelle, les **valeurs médiane** de salinité **et l'écart-type** de salinité sur la période étudiée sont ensuite utilisées comme les **deux descripteurs du critère 1 « salinité »**.

Sur certaines stations profondes, les prélèvements d'eau ont été effectués non seulement en sub-surface (0-1 m) mais également au fond (à plus de 1m du fond). L'objectif étant de caractériser les habitats benthiques, les **valeurs de salinité de fond ont été conservées** sauf exception concernant l'Etang de Berre qui est stratifié, la donnée utilisée constitue la moyenne de salinité sur la colonne d'eau.

6.1.4 Classification

La typologie des lagunes méditerranéennes actuellement utilisée dans le cadre de la DCE et basé sur la salinité, relève de celle proposée au symposium de Venise (1958). La **médiane de salinité** par station est ainsi discrétisée selon cinq classes (oligohaline, mésohaline, polyhaline, euhaline et hyperhaline). Le second descripteur qualifiant la **variation de salinité** est divisé en deux classes dites « stable » et « variable » selon le seuil correspondant à la moitié de l'amplitude de

la classe de salinité à laquelle il appartient. Le Tableau 5 reprend l'ensemble des 10 classes pour le critère 1 « salinité » et le niveau 1 de la typologie d'habitat lagunaire.

Tableau 5: Seuils et libellés pour chacune des 10 classes potentielles du critère 1 « salinité » créés à partir des deux descripteurs (médiane et écart-type de salinité).

médiane	écart-type	libellé de classe
[0 ; 5[	< 2,5	Oligohalin stable
[0 ; 5[	≥ 2,5	Oligohalin variable
[5 ; 18[	< 6,5	Mésohalin stable
[5 ; 18[	≥ 6,5	Mésohalin variable
[18 ; 30[	< 6	Polyhalin stable
[18 ; 30[	≥ 6	Polyhalin variable
[30 ; 40[	< 5	Euhalin stable
[30 ; 40[	≥ 5	Euhalin variable
≥ 30	< 5	Hyperhalin stable
≥ 30	≥ 5	Hyperhalin variable

6.1.5 Cartographie

La salinité, premier critère de la cartographie lagune méditerranéenne, a pu être **représentée sur l'ensemble des 36 lagunes** considérées dans le projet. Le nombre de données disponibles sur la totalité de la période considérée (mai-septembre, 2012-2017) varie entre 3 (lagunes de Grazel et Mateille) et 556 (lagune de Canet, Tableau 4). Quelle que **soit la lagune, la représentation spatiale est issue de la sectorisation des données stationnelles**. A l'échelle régionale, l'ensemble des 10 types est représenté. Les lagunes sont principalement stables dans le temps (84,85 % de la surface lagunaire totale). Les types poly et euhalin apparaissent comme les plus représentés avec 75,32 % de la surface totale et 22 lagunes ou partie de lagune concernée. A l'opposé, seule 5,72 % et 3,39 % de la surface des lagunes appartiennent respectivement aux types hyperhalin et oligohalin.

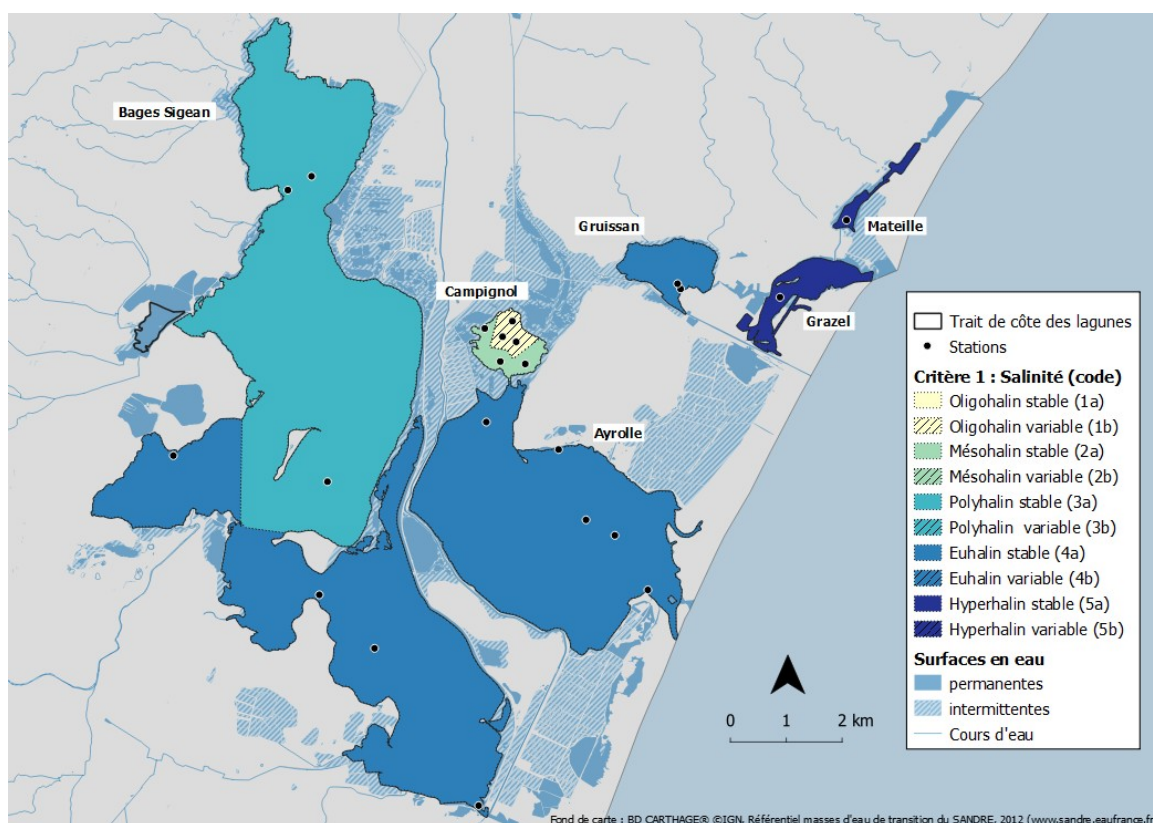


Figure 10: Résultats de la cartographie du critère Salinité obtenus par sectorisation des données stationnelles (période mai-septembre, 2012-2017) sur le complexe des étangs narbonnais élargi.

Au sein du complexe des étangs narbonnais, la répartition et le nombre de stations de mesure ont permis de définir, à partir des résultats de sectorisation, une première représentation de la salinité au sein de la lagune sur la période estivale 2012-2017 (Figure 10). Sur la lagune de l'Ayrolle, la salinité est homogène (euhalin) et stable dans le temps. En revanche, le bassin Nord de la lagune de Bages-Sigeon est polyhalin (salinité médiane comprise entre 18 et 30) alors que la salinité du bassin Sud, bien connecté à la mer au niveau de Port La Nouvelle, est euhalin (salinité médiane comprise entre 30 et 40). Enfin, la lagune de Campagnol est globalement variable dans le temps et dans l'espace (oligohalin et mésohalin variable).

Parmi les lagunes méditerranéennes françaises, la totalité de la lagune de l'Or est définie comme polyhaline. Bien que ce résultat puisse sembler contraire aux connaissances des acteurs locaux qui décrivent un gradient Est-Ouest, ce résultat issu des données disponibles s'explique par :

- la prise en compte des données sur la période mai-septembre qui exclut les périodes de crues automnales et printanières ;
- la définition internationale des classes de salinité. La classe « Polyhaline » est comprise entre 18 et 30. La représentation graphique des données de salinité sur l'ensemble des stations met en évidence une différence moyenne entre l'Est et l'Ouest de la lagune de l'ordre de 7 unités avec environ 19 à l'Est et 26 à l'Ouest (Figure 11).

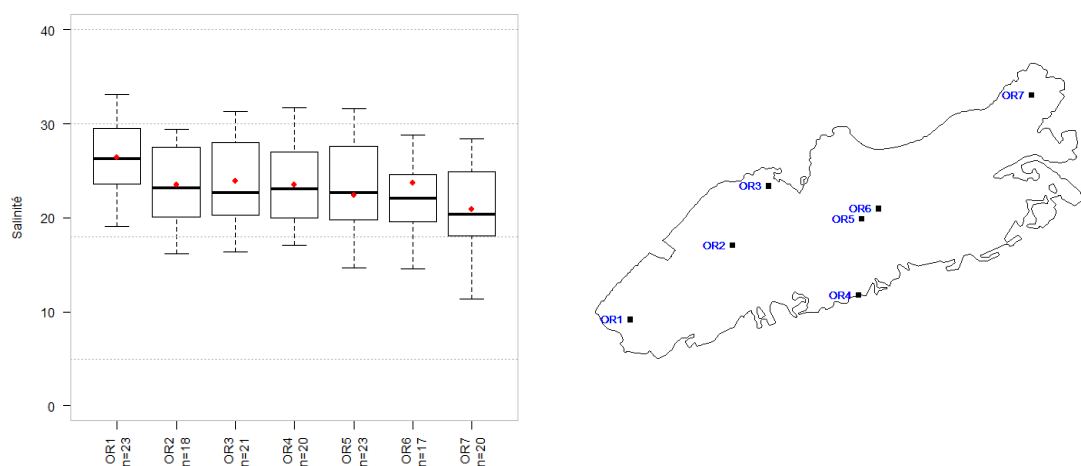


Figure 11: Distribution des données printanières et estivales de salinité sur l'étang de l'Or entre 2012 et 2017 sur 7 stations distribuées sur un gradient ouest-est

Concernant le critère salinité, le nombre de données ainsi que leurs répartitions temporelle et spatiale ont permis la production de cartes relativement fiables dans la plupart des lagunes méditerranéennes françaises (plus de détails Tableau 28) excepté :

- les lagunes de Bages-Sigean et Biguglia pour lesquelles la limite entre deux zones caractérisées par des salinités différentes est difficile à positionner puisque aucun point de mesure n'est à proximité de celle-ci ;
- les lagunes de Grazel et Mateille pour lesquelles le nombre de données est très limité (3 valeurs mesurées en 2018).

6.2 Critère 2 : Substrat

6.2.1 Choix de la période

Le substrat (au sens granulométrie) est un critère considéré comme peu évolutif sur la période de temps sur laquelle des données sont disponibles. Après vérification de l'absence de tendance significative, l'ensemble des données disponibles caractérisant le substrat a été utilisé afin de fiabiliser la description de ce critère.

6.2.2 Description des données disponibles

Les données utilisées s'appuient en grande partie sur les celles du compartiment sédiment recueillies dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire (RSL), qui a permis d'évaluer l'état des lagunes vis-à-vis de l'eutrophisation jusqu'en 2013. Elles concernent 28 lagunes sur les 36 étudiées. Elles sont complétées par des données de suivi DCE pour quatre lagunes oligohalines (Tableau 6). Pour chacune de ces données, la nature du substrat est décrite à partir de fractions granulométriques standardisées. Dans le cadre des lagunes méditerranéennes, le seuil de séparation de la fraction de vase de la fraction sableuse est de 50µm. **La variable considérée pour qualifier le substrat est la fraction de vase dans les sédiments** superficiels (5 premiers centimètres).

Tableau 6: Sources des données utilisées pour caractériser le critère 2 « substrat »

programme	source	lagunes	nombre de lagunes	nombre de stations	périodicité	période
RSL compartiment sédiment	Quadrige ²	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 11VDR, 12GBA, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 24MED, 25MAR, 29VAC, 31BER, 33BIG, 34DIA, 35URB, 36PAL	28	500	tous les 6 ans	1999-2015
DCE	SMCG	25MAR, 26CHR, 27CRE, 28SCM	4	15	ponctuel	2013

D'autres données issues de programmes de surveillance comme le ROCCH (Réseau d'Observation de la Contamination CHimique) et la DCE (compartiment Macrofaune) ont été explorées mais les fractions granulométriques mesurées ne correspondent pas à celles utilisées ici (le seuil Vase/Sable de 50 µm est remplacé dans ces programmes par un seuil à 63 µm).

Un bilan par lagune sur la période de travail du nombre de données disponibles sur le substrat (au sens granulométrie) est présenté dans le Tableau 7. La résolution moyenne correspond à la distance moyenne entre les stations au sein de chaque lagune considérée. Quelque soit la lagune, la distance moyenne entre deux points est inférieure à 1000 mètres. Pour les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache, Bolmon et La Palissade, aucune donnée n'est à ce jour disponible.

Tableau 7: Détail par lagunes des données de salinité utilisées pour le critère « substrat ».

lagune	période	nombre d'années	nombre de données	nombre de stations	résolution moyenne (en m)
01CAN	2002-2012	2	30	15	545
02SLE	1999-2009	3	160	74	681
03LPA	2002-2013	3	36	12	522
04BAG	1999-2015	4	140	36	868
05AYR	1999-2010	3	42	14	813
06CAM	1999-2010	3	12	4	180
07GRU	1999-2010	3	9	3	491
08GRA					
09MAT					
10PSV					
11VDR	2002	1	10	10	266
12GBA	2002	1	4	4	511
13THA	2003-2014	3	142	71	825
14INS	1999-2011	4	31	9	586
15INN	1999-2011	4	18	5	747
16PBL	2001-2011	3	30	10	450
17VIC	2001-2011	3	70	29	566
18PRV	2001-2012	3	29	10	345
19ARN	2001-2012	3	27	9	654
20GRC	1999-2012	4	28	8	380
21MEJ	2001-2012	3	39	13	583
22OR	1999-2010	3	73	32	842
23PON	2002	1	7	7	450
24MED	2002	1	4	4	466
25MAR	2004-2013	3	16	8	226
26CHR	2013	1	4	4	1234
27CRE	2013	1	3	3	1086
28SCM	2013	1	4	4	1112
29VAC	2003	1	23	23	1069
30PAL					
31BER	2011	1	21	21	1913
32BOL					
33BIG	1999-2013	3	58	28	681
34DIA	1999-2013	3	43	17	468
35URB	1999-2013	3	53	20	540
36PAL	2013	1	6	6	350

La Figure 12 rend compte de la variabilité de taux d'envasement entre les lagunes. Ce paramètre dépend du degré de connexion à la mer et de la proximité des apports continentaux. Une hétérogénéité spatiale est également mise en évidence sur Thau, Pierre Blanche et Diane.

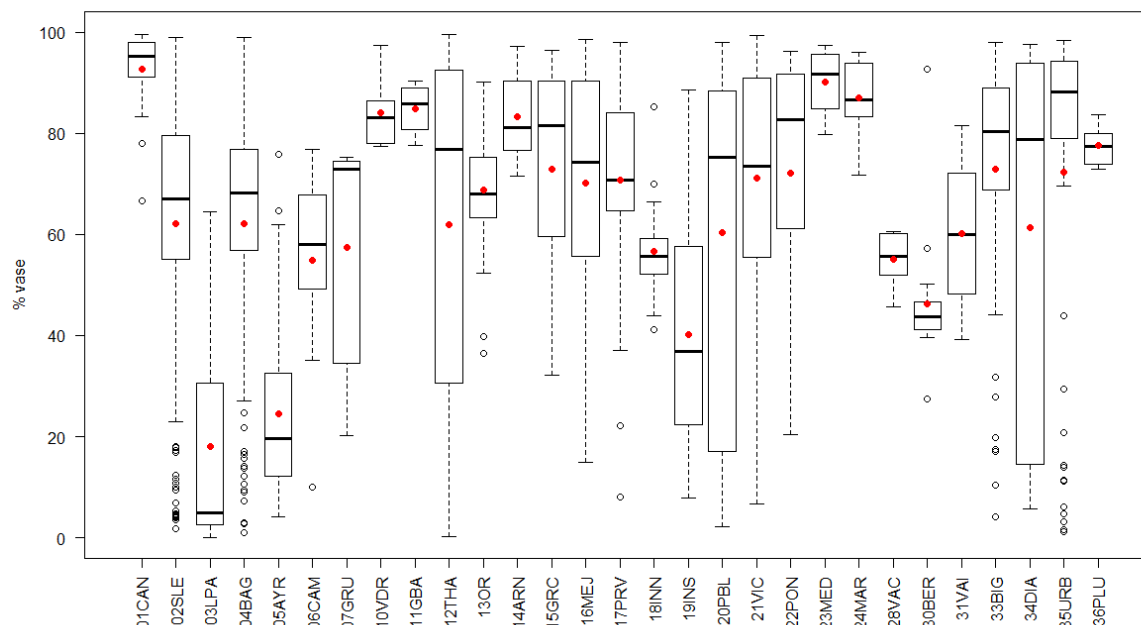


Figure 12: Amplitude des proportions de vases, valeurs médianes (traits continus horizontaux) et moyennes (points rouges) observées par lagunes, à partir de l'ensemble des données acquises.

6.2.3 Choix du descripteur

Le descripteur utilisé correspond à la **moyenne du pourcentage de vase** par station benthique sur l'ensemble des données disponibles.

6.2.4 Classification

La discrétisation de la moyenne du pourcentage de vase s'appuie sur la classification granulométrique de Folk (1954) mais appliquée uniquement sur la dimension « sable » / « vase » (la dimension « graviers » est exclue) (Figure 13). Elle correspond aux proportions relatives moyennes de vase (et donc indirectement de sable) sur chacune des stations.

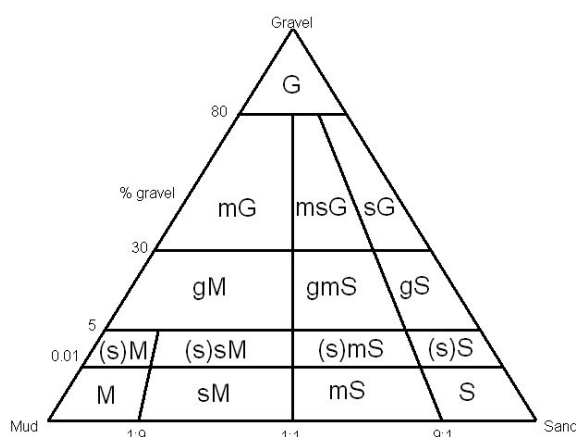


Figure 13: Diagramme de Folk

Quatre classes potentielles de substrat caractérisées par leur pourcentage relatif de vase contenu dans les sédiments sont ainsi définies : les substrats à dominance sableuse (pourcentage moyen de vase inférieur à 10 %), vaso-sableuse (compris entre 10 et 50 %), sablo-vaseuse (compris entre 50 et 90 %) et vaseuse (supérieur à 90 %, Tableau 8).

Tableau 8: Seuils et libellés pour chacune des 4 classes potentiels du critère 2 « substrat » créés à partir du descripteur (pourcentage moyen de vase).

% de vase	Libellé de classe
[0;10[	sableux
[10;50[	vaso-sableux
[50;90[	sablo-vaseux
≥90	vaseux

6.2.5 Cartographie

A l'échelle régionale, 31 des 36 lagunes ont pu être considérées pour le critère 2 « substrat ». Pour les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache, Bolmon et la Palissade, aucune donnée, même historique, n'a été recensée. La cartographie d'habitats pour ces lagunes ne pourra donc être faite à ce niveau, ni aux niveaux supérieurs.

Les cartographies du critère 2 « substrat » sont issues de la sectorisation (80 %) ou du krigeage (20 %) selon la quantité de données disponibles et leur répartition dans l'espace. Même si les quatre classes sont représentées au sein des lagunes méditerranéennes, la surface de substrat sableux et vaseux est limitée (respectivement 3,36 % et 5,96 %) et ne couvre qu'une partie des lagunes concernées (Tableau 9). De manière générale, les substrats sableux se trouvent dans les zones de bordure exposées au vent, peu profondes alors que les substrats vaseux se trouvent dans les zones profondes (Thau, Urbino, Diana), eutrophisées (Mejean, Arnel) ou très confinées (Grand Bagnas, Crey, Scamandre).

Tableau 9: Résultats de la cartographie du critère 2 « substrat » pour les quatre classes sur 31 des 36 lagunes méditerranéennes françaises

code de classe	libellé	nombre de lagunes concernées	lagunes	% de surface concernée
1	sableux	8	02SLE, 03LPA, 05AYR, 13THA, 16PBL, 33BIG, 34DIA, 35URB	3,36
2	vaso-sableux	21	02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 27CRE, 31BER, 33BIG, 34DIA, 35URB	30,14
3	sablo-vaseux	31	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 11VDR, 12GBA, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 24MED, 25MAR, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 31BER, 33BIG, 34DIA, 35URB, 36PAL	60,48
4	vaseux	19	01CAN, 02SLE, 11VDR, 12GBA, 13THA, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 23PON, 24MED, 25MAR, 26CHR, 28SCM, 33BIG, 34DIA, 35URB	5,96

La représentation cartographique sur le complexe des étangs narbonnais illustre les deux types de spatialisation : sectorisation, pour les lagunes de Campagnol, Ayrolle et Gruissan et krigeage pour la lagune de Bages-Sigean (Figure 14). Au sein de ce complexe, trois classes de substrat sont représentées. A l'échelle de la lagune, le substrat est hétérogène avec au moins deux classes représentées.

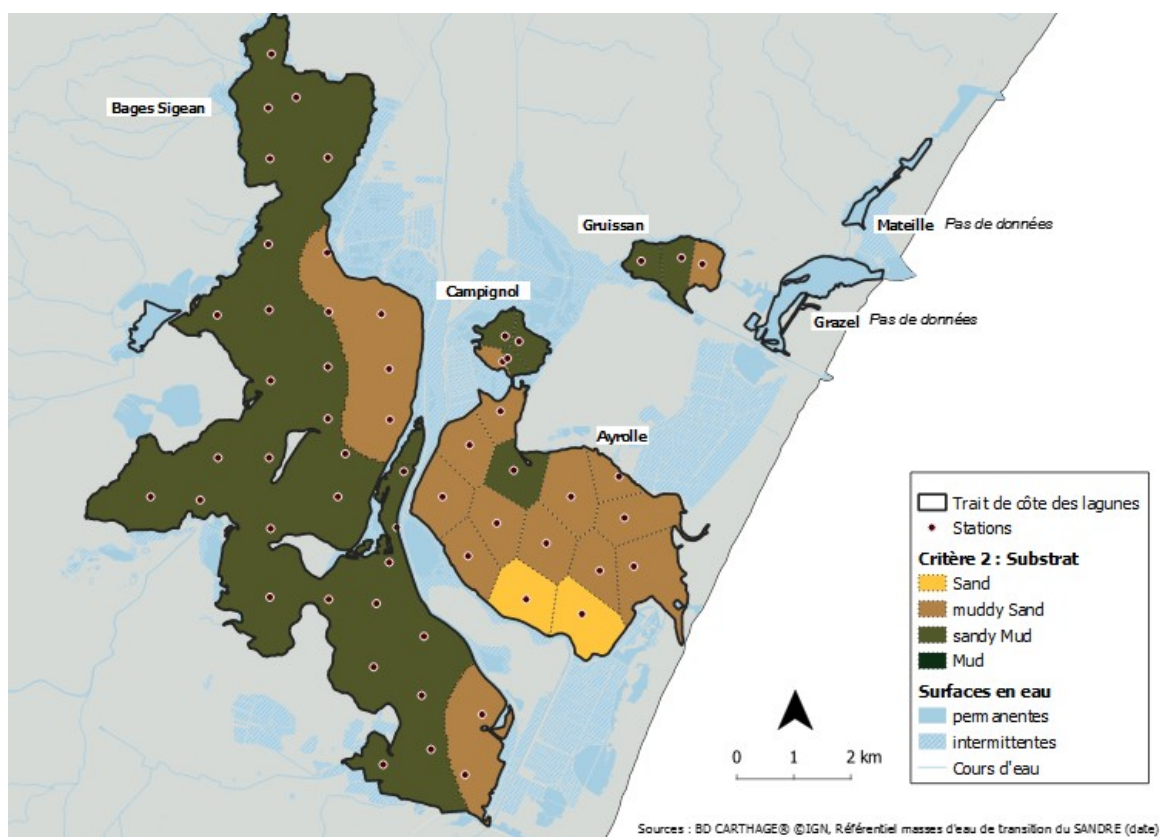


Figure 14: Résultats de la cartographie du critère Substrat obtenus par sectorisation ou krigeage des données stationnelles (période mai-septembre, 2012-2017) sur le complexe des étangs narbonnais.

La répartition et le nombre de points de mesure au sein de chaque lagune permet aujourd'hui de disposer d'une première carte de substrat homogène sur 31 lagunes. La distribution spatiale et la répartition temporelle des mesures depuis environ 20 ans sur certaines lagunes permet de définir la fiabilité de l'ensemble des cartes comme bonne (plus de détails Tableau 28), exceptée pour les lagunes où une seule année de données est disponible avec un nombre de stations réduit à l'échelle de la masse d'eau. C'est le cas pour les lagunes de Vendres, Grand Bagnas, Ponant, Médard, Crey, Scamandre, Charnier, Vaccarès, Berre et la Palissade.

6.3 Critère 3 : Zone biologique

Le critère 3 « zone biologique » est caractérisé par la quantité de lumière disponible sur le fond pour les organismes photosynthétiques. Seule une partie de la lumière est assimilable par les organismes autotrophes, il s'agit des longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm et correspondant à la définition du PAR (Photosynthetically Active Radiation). La quantité de lumière utilisable au fond peut être mesurée directement ou estimée. Elle dépend à la fois de la profondeur et du coefficient d'atténuation de la lumière dans la colonne d'eau, le K_{PAR} (Figure 15). Ce coefficient traduit les phénomènes d'absorption et de diffusion de la lumière assimilable par les organismes photosynthétiques et dépend largement de la quantité de matière en suspension constituée à la fois de matière minérale et de matière organique (Auby et Grillas 1996).

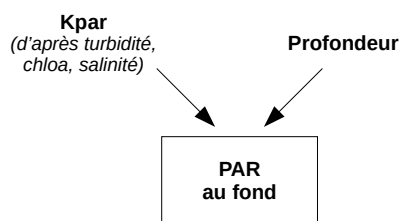


Figure 15: Schéma décrivant le lien entre la profondeur, le coefficient d'atténuation de la lumière et la lumière disponible pour les organismes photosynthétiques au fond.

6.3.1 Choix de la période

La lumière disponible pour les organismes photosynthétiques au fond varie principalement dans les lagunes méditerranéennes selon le coefficient d'atténuation de la lumière dans l'eau, lui-même dépendant des concentrations en matière organique et minérale. Après exploration du jeu de données, il a été décidé de borner les données entre les **années 2012 et 2017** afin de répondre au mieux au compromis entre données récentes et données disponibles. L'amplitude de 6 années consécutives est compatible avec celle de diagnostic des états DCE. Les concentrations en matière organique et minérale dans l'eau varient au cours de l'année (remise en suspension du sédiment, développement phytoplanctonique). Il a été choisi de ne conserver que les données collectées **entre les mois de mai et septembre** par volonté de caractériser l'habitat à cette période qui correspond à au maximum de productivité du milieu lagunaire.

6.3.2 Description des données disponibles

A ce jour, il existe peu de mesures directes de la lumière au fond. Les quelques données existantes ont été acquises sur des périodes très courtes de l'ordre de la journée et sur des sites spécifiques lors d'expériences scientifiques. Il est donc impossible d'utiliser directement ces mesures. Dans le cadre du projet CHAMILA, la **lumière au fond dans les lagunes méditerranéennes a donc été estimée à partir du coefficient d'atténuation de la lumière (K_{PAR}) et de la profondeur.**

Concernant le K_{PAR} , il peut être :

- mesuré directement dans la colonne d'eau. Bien que ces mesures directes soient directement utilisables, il n'existe à ce jour que quelques données ponctuelles au sein de 11 lagunes mesurées en mai 2017 (Coignot et al. 2017), ces dernières **ne permettant pas de couvrir la totalité des lagunes méditerranéennes françaises**. En revanche, ces mesures servent de référence pour rechercher les meilleurs estimateurs du K_{PAR} .
- estimé à partir des données satellites. Les produits rasters d'atténuation de la lumière issues des images satellites MERIS de Agence Spatiale Européenne, dans le cadre du programme EMODnet (European Marine Observation and Data Network) Seabed Habitats, ont été extraites sur les systèmes lagunaires étudiés et comparées aux données *in situ* disponibles (Figure 16). Bien que certaines valeurs issues du K_{PAR} satellite soient proches de celles estimées en lagunes quand le K_{PAR} est faible, le K_{PAR} modélisé par satellite et le K_{PAR} *in situ* ne semblent pas être corrélés pour des valeurs supérieures à 1.

Sur certaines stations turbides situées sur le Méjean, l'étang de l'Or et le Ponant où de fortes concentrations en chlorophylle *a* et matières en suspension ont été relevées, le coefficient d'atténuation peut atteindre des valeurs importantes non retranscrites sur les images issues de la modélisation. Ainsi, **les données dérivées des images satellites n'ont pas pu être utilisées.**

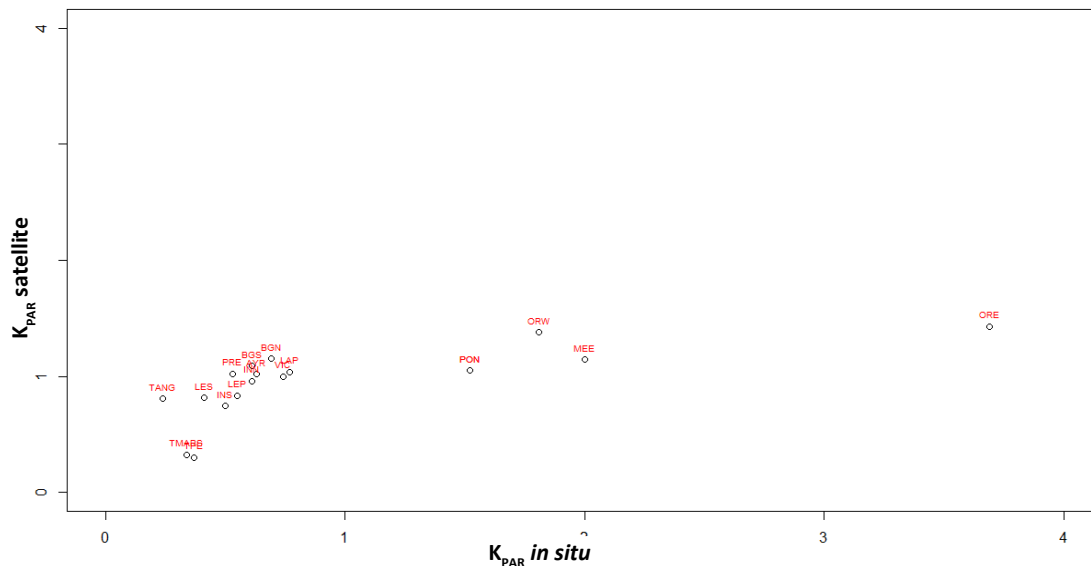


Figure 16: Coefficients d'atténuation de la lumière modélisés à partir des images satellites MERIS (EMODnet Seabed Habitats) en fonction des coefficients d'atténuation de la lumière mesurés (Coignot et al. 2017).

- estimé à partir des facteurs affectant le K_{PAR} comme la salinité, la turbidité, la charge en matière organique et minérale. Pour cela, trois relations issues de la littérature ont été testées et comparées avec les mesures *in situ* (Tableau 10, Figure 17). Les données de turbidité, de concentration en chlorophylle *a* dans l'eau et salinité nécessaires pour calculer le K_{PAR} proviennent du suivi effectué dans le cadre de la DCE et du suivi mensuel du REPHY.

Tableau 10: Références, contexte et variables utilisées pour estimer le coefficient d'atténuation (K_{PAR}) de la colonne d'eau des lagunes méditerranéennes françaises. Avec chloa, la concentration en chlorophylle a, turb, la turbidité et MM, la concentration en matières minérales.

Référence	Contexte	Variables de calcul
Gohin et al. (2005)	Réseau REPHY	$K_{PAR}=f(MM, \text{chloa})$ avec $MM=f(\text{turb}, \text{chloa})$
Paolin et al. (2012)	Bassin d'Arcachon	$K_{PAR}=f(MM, \text{chloa}, \text{salinité})$ avec $MM=f(\text{turb}, \text{chloa})$
Coignot et al. (2017)	11 lagunes méditerranéennes poly et euhalines	$K_{PAR}=f(\text{turb})$

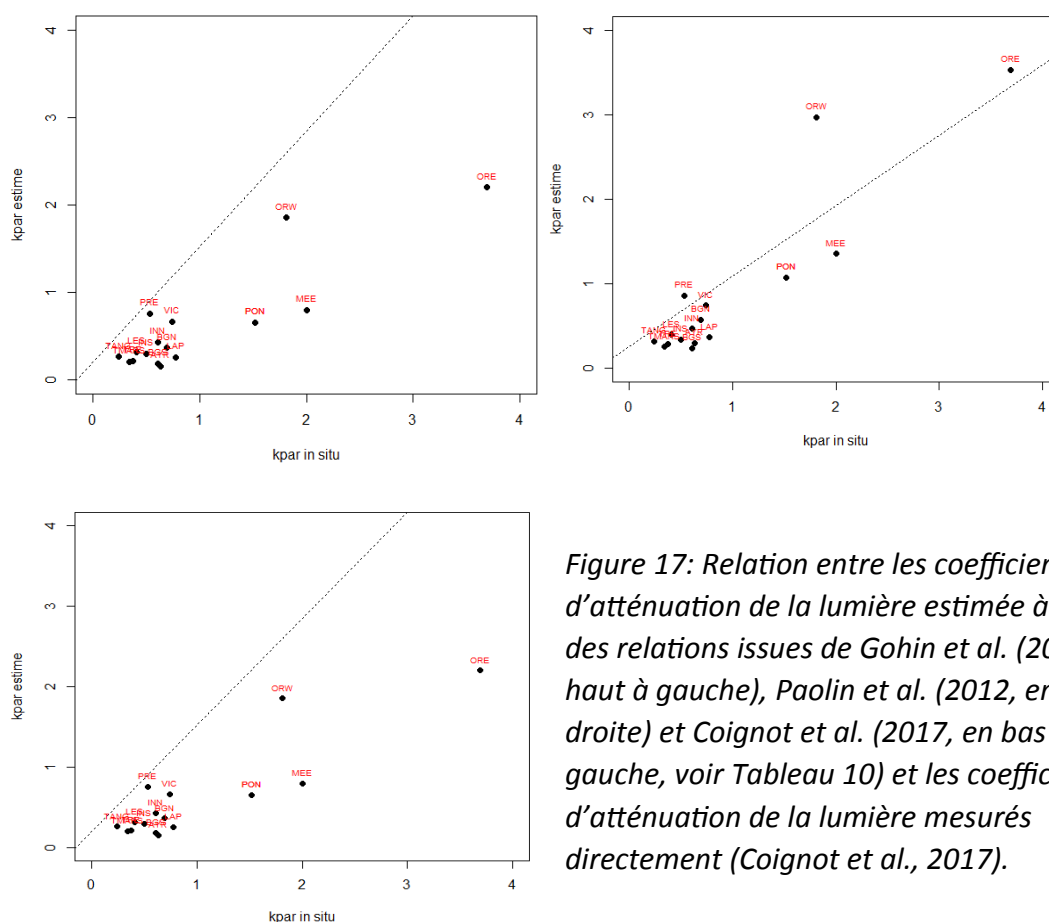


Figure 17: Relation entre les coefficients d'atténuation de la lumière estimée à partir des relations issues de Gohin et al. (2005 en haut à gauche), Paolin et al. (2012, en haut à droite) et Coignot et al. (2017, en bas à gauche, voir Tableau 10) et les coefficients d'atténuation de la lumière mesurés directement (Coignot et al., 2017).

Les trois relations sont significatives ($p < 0,001$). Les données de K_{PAR} estimées à partir de l'étude sur le bassin d'Arcachon (Paolin et al., 2012) présentent la meilleure corrélation linéaire avec les données *in situ*. Le K_{PAR} a donc été estimé selon la relation suivante :

$$K_{PAR} = 0.722 + 0.0622 \times chloa + 0.0372 \times MM - 0.0159 \times salinité$$

avec $MM = \frac{turb}{1.29 \times 0.54 - 0.234 \times chloa^{0.57}}$

avec K_{PAR} le coefficient d'atténuation en m^{-1} , $chloa$ la concentration en chlorophylle a en $mg.m^{-3}$, $turb$ la turbidité en NTU, MM la concentration en matières minérales en $mg.m^{-3}$.

En utilisant cette relation, le K_{PAR} est estimé pour chacune des lagunes concernées pour le projet CHAMILA à partir des données issues du REPHY et de la DCE. L'ensemble des informations est synthétisé dans le Tableau 11.

Tableau 11: Sources des données utilisées pour l'estimation du K_{PAR} , paramètre nécessaire à la caractérisation le critère 3 « zone biologique ».

programme	source	lagunes	nombre de lagunes	nombre de stations	périodicité	période
REPHY	Quadrigé ²	02SLE, 13THA, 34DIA	3	5	suivi mensuel	2012-2017
DCE – colonne d'eau	Quadrigé ²	Toutes	36	76	suivi estival	2012-2017

La Figure 18 rend compte de la variabilité de coefficient d'atténuation de la lumière (K_{PAR}) entre les lagunes concernées par le projet. Les coefficients d'atténuation de la lumière estimés mettent en évidence une variabilité importante au sein des lagunes méditerranéennes avec des K_{PAR} largement supérieurs dans les lagunes oligo-mésahalines (Vendres, Grand Bagnas, Crey, Scamandre, Charnier, Bolmon).

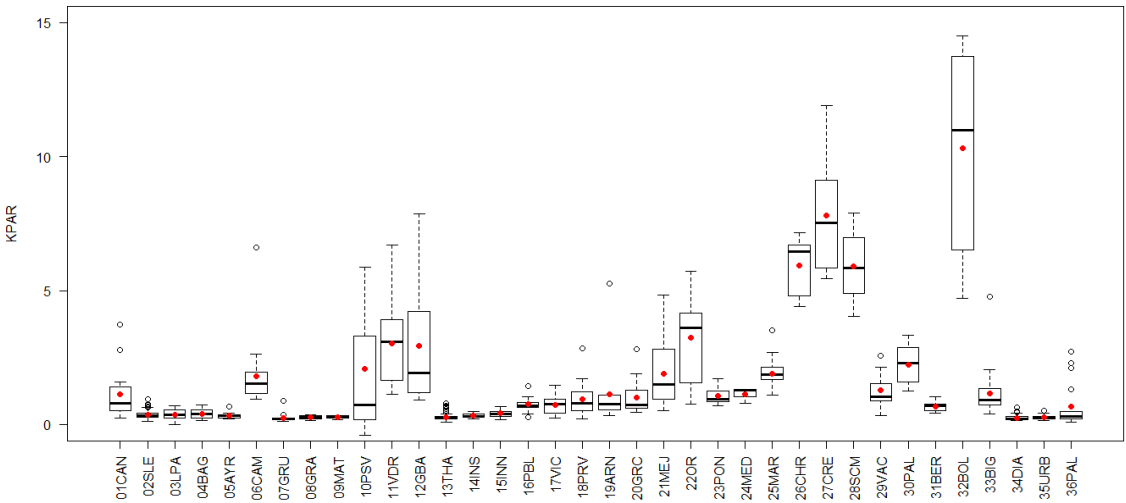


Figure 18: Amplitudes des K_{PAR} estimés, valeurs médianes (traits horizontaux) et moyennes (points) observées sur chaque lagune sur la période printemps-été 2012-2017.

Concernant la profondeur, la plupart des données sont issues du suivi DCE des stations benthiques. D'autres données ont été ajoutées sur certaines lagunes qui n'intègrent pas ce programme (Tableau 12).

Tableau 12: Sources des données utilisées pour l'estimation de la profondeur, paramètre nécessaire à la caractérisation le critère 3 « zone biologique ».

programme	source	lagunes	nombre de lagunes	nombre de stations	périodicité	période
RSL compartiment sédiment	Quadrigé ²	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 11VDR, 12GBA, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 24MED, 25MAR, 33BIG, 34DIA, 35URB, 36PAL	26	451	tous les 6 ans	1999-2015
DCE -macrophytes	Quadrigé ²	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 07GRU, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 24MED, 29VAC, 31BER, 33BIG, 34DIA, 35URB, 36PAL	24	517	tous les 3 ans	1999-2018
Natura 2000 « Petite Cmargue »)	Tour du Valat	26CHR, 27CRE, 28SCM,	3	117	ponctuel	2014
Observatoire du GIPREB	GIPREB	31BER, 32BOL	2	grille bathymétrique 100m	ponctuel	

Les K_{PAR} calculés pour chacune des stations hydrologiques ont ensuite été affectés à la donnée **ponctuelle de profondeur la plus proche**. Le pourcentage de lumière disponible au fond par rapport la lumière incidente est enfin calculé pour chaque point de profondeur disponible avec le coefficient d'atténuation moyenné de la station hydrologique la plus proche sur la période printemps-été 2012-2017 selon la loi de Beer-Lambert :

$$I(z) = I_0 \exp(-K_{par} \times z)$$

avec $I(z)$ l'énergie lumineuse à la profondeur z (en $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$), I_0 l'énergie lumineuse de sub-surface (en $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$) ; K_{PAR} le coefficient d'atténuation de la lumière dans la colonne d'eau (en m^{-1} , z la profondeur (en m)

Bien qu'un K_{PAR} ait pu être calculé sur les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache et la Palissade, l'absence de points profondeur sur ces lagunes ne permet pas d'estimer le critère 3 (Tableau 13).

Tableau 13: Détail par lagunes des données disponibles concernant le critère 3 « zone biologique ». La résolution moyenne (en m) constitue la distance moyenne entre les stations.

lagune	période	nombre d'années	nombre de données	nombre de stations hydrologiques	résolution moyenne
01CAN	2013-2017	5	15	1	545
02SLE	2012-2017	6	104	4	666
03LPA	2012-2017	6	18	1	522
04BAG	2012-2017	6	42	3	868
05AYR	2012-2017	6	24	2	813
06CAM	2012-2015	4	24	5	180
07GRU	2012-2017	5	15	1	491
08GRA	2015-2015	1	3	1	
09MAT	2015-2015	1	3	1	
10PSV	2015-2015	1	3	1	
11VDR	2012-2015	4	17	4	319
12GBA	2013-2015	3	18	4	511
13THA	2012-2017	6	183	6	825
14INS	2012-2014	3	9	1	586
15INN	2012-2017	6	21	1	747
16PBL	2012-2014	3	11	1	450
17VIC	2012-2017	6	21	1	566
18PRV	2012-2017	6	27	2	345
19ARN	2012-2014	3	12	1	654
20GRC	2012-2017	5	18	1	380
21MEJ	2012-2017	6	30	2	583
22OR	2012-2017	6	35	2	842
23PON	2014-2017	2	6	1	450
24MED	2014-2014	1	3	1	466
25MAR	2012-2015	4	29	4	395
26CHR	2015-2015	1	8	4	275
27CRE	2015-2015	1	9	3	186
28SCM	2015-2015	1	12	4	325
29VAC	2012-2017	6	17	1	898
30PAL	2015-2015	1	15	5	
31BER	2012-2017	6	21	2	710
32BOL	2015-2015	1	9	3	999
33BIG	2012-2017	6	36	2	682
34DIA	2012-2017	6	82	2	396
35URB	2012-2017	6	18	1	567
36PAL	2012-2017	6	18	1	576

6.3.3 Choix du descripteur

Le descripteur utilisé correspond à la **moyenne du pourcentage de lumière disponible par rapport à la lumière incidente au niveau de chacune des stations benthiques** sur la période considérée (mai-septembre, 2012-2017).

6.3.4 Classification

Le pourcentage de lumière au fond calculé par station est mis en relation avec le recouvrement des angiospermes et des macroalgues pour en déduire des seuils de classification (Figure 19).

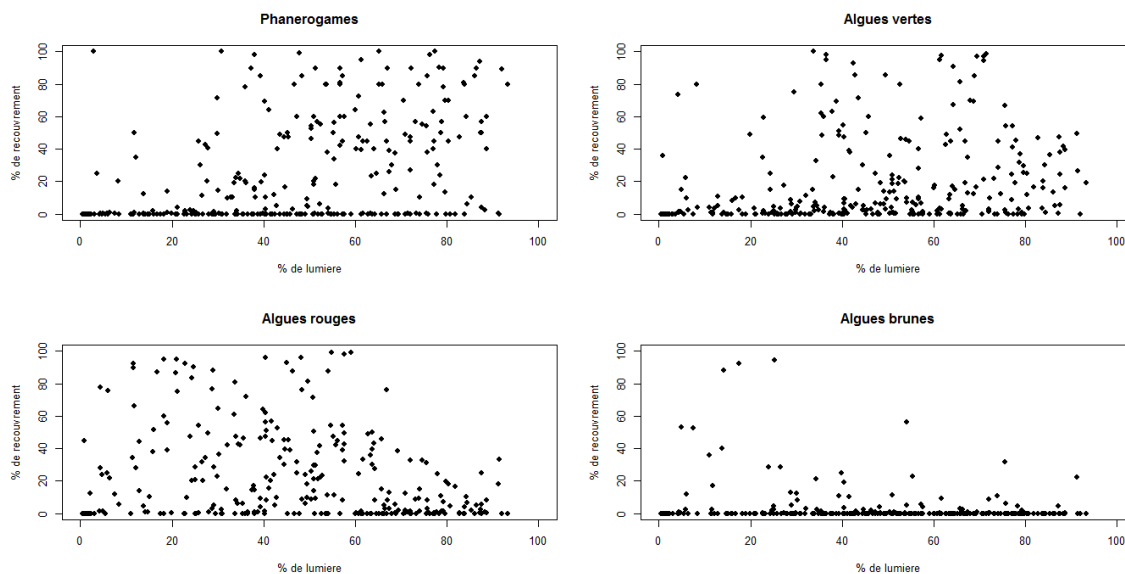


Figure 19: Pourcentage de recouvrement des phanérogames, algues vertes, algues rouges et algues brunes issue des suivies DCE Macrophytes en fonction du pourcentage de lumière calculé sur la période printemps-été 2012-2017 dans les lagunes polyhalines et euhalines.

Concernant les phanérogames et les algues vertes, un premier signal est mis en évidence autour de 20% de lumière sur certaines lagunes. A l'inverse, il semblerait que le seuil de 60% de lumière puisse induire une diminution du recouvrement en algues rouges. Ces deux valeurs ont été proposées pour définir une première classification de l'intensité de la lumière disponible pour les communautés benthiques (Tableau 14). Le critère de la zone biologique mériterait de faire l'objet d'études plus approfondies dans le contexte des lagunes méditerranéennes afin de consolider la méthode proposée.

Tableau 14: Seuils et libellés pour chacune des 3 classes potentielles du critère 3 « zone biologique » créés à partir du descripteur (pourcentage moyen de lumière disponible au fond

% de lumière	Libellé de classe
[0;20[	Lumière faible
[20;60[	Lumière moyenne
≥60	Lumière importante

6.3.5 Cartographie

A l'échelle régionale, 32 des 36 lagunes ont pu être considérées pour le critère 3 « zone biologique ». Le descripteur utilisé pour ce critère n'a pas pu être calculé sur les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache et la Palissade. Ceci provient de l'absence de données de profondeur, paramètre relativement facile à mesurer.

Comme pour le critère « substrat », les cartographies du critère 3 « zone biologique » sont issues de la sectorisation (80 %) ou du krigeage (20%). Les trois classes sont représentées au sein des lagunes méditerranéennes (Tableau 15); Le descripteur « lumière » résulte à la fois de la

profondeur et de l'atténuation de la lumière. Ainsi, les zones de « lumière importante » se trouvent dans les lagunes peu profondes et oligotrophes et ne couvrent que 13,61 % de la surface des lagunes méditerranéennes françaises. Opposées à ces zones, la classe « lumière faible » est disponible dans les lagunes eutrophisées (par exemple Méjean, Or), oligo-mésohalines (Vendres, Crey, Scamandre...) ou profondes (Thau, Berre, Urbino et Diane). Le descripteur étant basé sur les mesures de turbidité acquises principalement dans le cadre de la DCE, les résultats représentent une situation « stable » et ne prennent pas en compte les événements climatiques pouvant faire varier la turbidité de l'eau (vent, crue...).

Tableau 15: Résultats de la cartographie du critère 3 « zone biologique » obtenus par sectorisation et krigeage des données stationnelles.

code de classe	libellé	nombre de lagunes concernées	lagunes	% de surface concernée
1	Faible	15	11VDR, 12GBA, 13THA, 21MEJ, 22OR, 23PON, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 31BER, 32BOL, 33BIG, 34DIA, 35URB	49,68
2	Moyenne	21	01CAN, 02SLE, 04BAG, 06CAM, 11VDR, 12GBA, 13THA, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 23PON, 24MED, 25MAR, 29VAC, 31BER, 33BIG, 34DIA, 35URB	37,71
3	Importante	17	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 07GRU, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 34DIA, 35URB, 36PAL	12,61

Au sein du complexe des étangs narbonnais, seules deux classes sont représentées (Figure 20). Le pourcentage de lumière au fond appartient à une seule classe dans les lagunes d'Ayrolle, Gruissan et Campagnol, trois lagunes de petite taille au sein desquelles la profondeur est faible (inférieure à 1,5 mètres) et le nombre de point hydrologiques limité. En revanche, le pourcentage de lumière dans la lagune de Bages-Sigean est variable spatialement avec des valeurs inférieures dans la partie sud, zone moins profonde et où la turbidité est plus faible que dans le bassin nord. Cette représentation est en adéquation avec les observations des acteurs locaux.

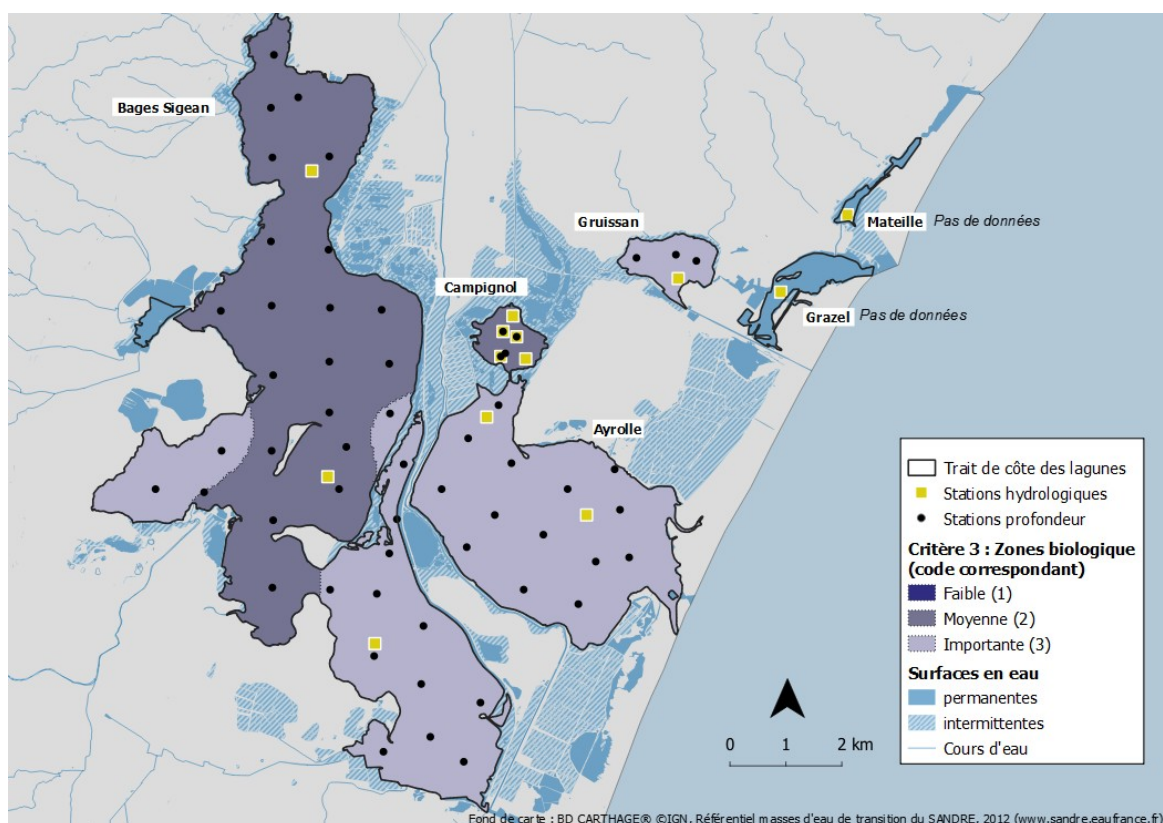


Figure 20: Résultats de la cartographie du critère 3 « Zone biologique » obtenus par sectorisation ou krigeage des données stationnelles (période mai-septembre, 2012-2017) sur le complexe des étangs narbonnais.

Le niveau de fiabilité est de manière générale moyen à médiocre (plus de détails Tableau 28) sur les lagunes méditerranéennes et dépend :

- des données utilisées. Dans le cas du critère 3 « zone biologique », les données sont issues de données stationnelles dans l'espace issues des réseaux DCE et REPHY. Dans ces deux cas, les relevés sont ponctuels dans le temps et réalisés lorsque les conditions climatiques le permettaient. Le manque d'information sur la variabilité de ce descripteur, potentiellement variable à court terme (vent, crue, bloom phytoplanctonique...), n'est pas pris en compte.
- de l'estimation du descripteur. Bien que plusieurs modèles aient été testés, le calcul du coefficient d'atténuation de la lumière dans l'eau est basé sur des relations empiriques qui ne peuvent retranscrire l'ensemble de la variabilité des relations entre la variable estimée et les variables mesurées. Cette incertitude joue sur le niveau de fiabilité de ce critère.

6.4 Critère 4 : Hydrodynamisme

Le critère 4 « Hydrodynamisme » en lagune peut être approximé par la tension de cisaillement sur le fond. Le mouvement des masses d'eau bien qu'influencé par la marée, dépend principalement des conditions hydro-climatiques et en particulier de l'action du vent. Ainsi, la tension de cisaillement est fonction de **la profondeur de la masse d'eau, de la durée, de**

l'intensité et la direction de l'épisode de vent. Seuls les épisodes de vent établis dont la durée est au moins égale au temps minimal nécessaire pour la mise en place de la dynamique physique des masses d'eau ont un effet (à savoir 15h consécutives, avec au moins 80 % des données de vent restant dans un même secteur de vent) (Figure 21). En ce qui concerne la direction, la tension de cisaillement est fonction de la distance d'action du vent sur la surface d'eau libre appelée « fetch ».

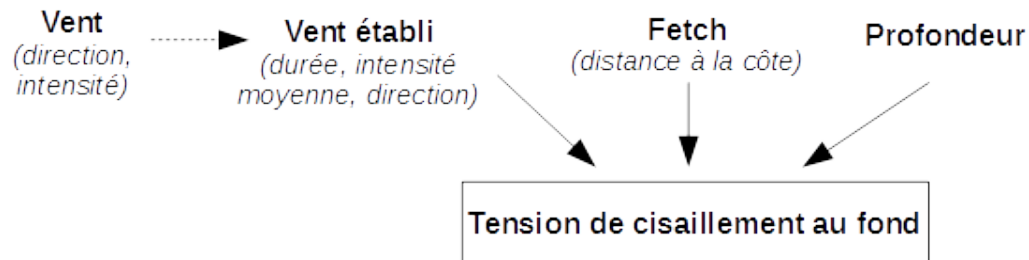


Figure 21: Schéma décrivant le lien entre le vent, le fetch, la profondeur et la tension de cisaillement au fond, variable d'approximation du critère 4 « Hydrodynamisme ».

6.4.1 Choix de la période

Le fetch et la profondeur, deux variables contribuant à l'estimation de la tension de cisaillement au fond des lagunes méditerranéennes, sont stables dans le temps. En revanche, la fréquence des épisodes de vent, leur intensité ainsi que leur direction varient au cours du temps. Après exploration du jeu de données, il a été décidé de borner les données entre les **années 2012 et 2017** afin de répondre au mieux au compromis entre données récentes et données disponibles. L'amplitude de 6 années consécutives est compatible avec celle de diagnostic des états DCE. En lien avec les autres descripteurs, seules les données collectées **entre les mois de mai et septembre** ont été conservées.

6.4.2 Description des données disponibles

A ce jour, aucune mesure directe de la tension de cisaillement n'est disponible sur les lagunes méditerranéennes françaises. Dans le cadre du projet CHAMILA, la **tension de cisaillement au fond dans les lagunes méditerranéennes a donc été estimée à partir de la profondeur de la masse d'eau, de la durée, de l'intensité et la direction de l'épisode de vent.**

Concernant la profondeur, la plupart des données sont issues du suivi DCE des stations benthiques comme pour le critère 3 « zone biologique ». D'autres données ont été ajoutées sur certaines lagunes qui n'intègrent pas ce programme (Tableau 12 du critère 3). Les données de vent proviennent des stations de Météo France les plus proches des lagunes étudiées (Tableau 16).

Tableau 16: Données Météo France utilisées pour définir les caractéristiques des épisodes de vent établi

Station Météo France	Lagunes	périodicité	période
Leucate (LEU)	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 08GRA, 09MAT, 10PSV, 11VDR	moyenne trihoraire	2012-2017
Sète (SET)	12GBA, 13THA, 14INS, 15INN	moyenne trihoraire	2012-2017
Montpellier (MPL)	16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 25MAR	moyenne trihoraire	2012-2017
Arles (ARL)	26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 30PAL	moyenne horaire	2012-2017
Marignane (MAR)	31BER, 32BOL	moyenne sur 10 minutes	2012-2017
Bastia (BAS)	33BIG	moyenne horaire	2012-2017
Solenzara (SOL)	34DIA, 35URB, 36PAL	moyenne horaire	2012-2017

Les sept stations Météo France couvrent l'ensemble du littoral méditerranéen français. Les épisodes de vents établi sont définis comme une période de vent dont la longueur est **au moins égal à 15h consécutives avec au moins 80 % des données de vent restant dans un des 16 secteurs** de vent défini (l'angle de chacun des secteurs correspond à 22,5°, Figure 22).

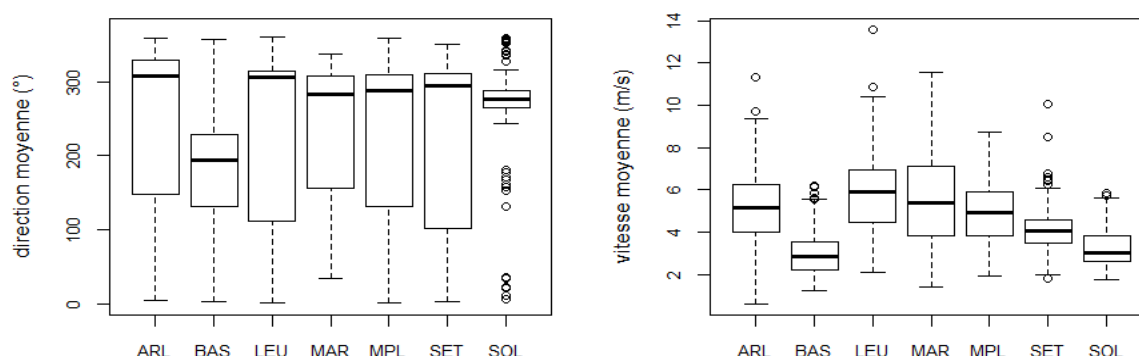


Figure 22: Direction moyenne en degrés et vitesse moyenne en m.s-1 des épisodes de vent établi sur la période printemps-été 2012-2017 aux 7 stations Météo France attribuées aux lagunes.

La distance à la côte permettant le calcul du fetch est mesurée à partir du trait de côte élaboré par le SANDRE et du positionnement des stations benthiques sur laquelle la donnée de profondeur est disponible..

La **vitesse orbitale** (U_{orb}) définie à l'échelle stationnelle est choisie comme **proxy de la tension de cisaillement au fond**. Une formulation simple de la vitesse orbitale (qui ne prend pas en compte la dynamique de génération des vagues) est donnée par United States Army Corps of Engineers et Coastal Engineering Research Center U. S. (1984) :

$$U_{orb} = \frac{\Pi H}{T_m \sinh\left(\frac{2\Pi z}{\lambda}\right)}$$

avec z la profondeur à la station benthique (en m), H la hauteur significative des vagues correspondant à la moyenne du tiers supérieur de la distribution des hauteurs de vagues (en m), T_m la période des vagues (en s) et λ la longueur d'onde des vagues (en m).

En milieu peu profond la longueur d'onde est fonction de période des vagues (Castaings, 2012) :

$$\lambda = T_m \sqrt{g z} \quad \text{avec } g = 9,81$$

A partir de ces données et du trait de côte de chaque lagune, le fetch est calculé pour chaque secteur de vent. Une vitesse orbitale est ainsi calculée pour chaque épisode de vent établi.

Bien que les données concernant les conditions hydroclimatiques soient disponibles sur l'ensemble du territoire, les vitesses orbitales n'ont pu être calculées sur les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache et la Palissade faute de données de profondeur. Ainsi, il est impossible d'estimer le critère 4 « hydrodynamisme » sur ces lagunes.

6.4.3 Choix du descripteur

La tension de cisaillement stationnelle à l'échelle de la période étudiée est approximée par la **somme normalisée des vitesses orbitales stationnelles** sur la période totale de vent établi :

$$\text{descripteur}(\text{hydrodynamisme}) = \frac{\sum U_{orb} \times d_i}{\sum d_i}$$

avec U_{orb} la vitesse orbitale pour chaque épisode de vent établi (m.s^{-1}), d_i la durée d'un épisode de vent établi (en s).

6.4.4 Classification

Sans appui scientifique pour interpréter les valeurs de tension de cisaillement obtenues sur chaque station, **seules deux classes ont été définies** pour caractériser l'hydrodynamisme en lagune. Le seuil est calculé avec l'algorithme de Jenks, méthode de discrétisation statistique qui maximise la variance inter-classes et minimise la variance intra-classes sur l'ensemble des valeurs de tension de cisaillement estimées sur le pourtour méditerranéen (Tableau 17).

Tableau 17: Seuils et libellés pour chacune des 2 classes potentielles du critère 2 « hydrodynamisme » créées à partir de l'estimation des vitesses orbitales

Somme tension de cisaillement	Libellé de classe
< 0.128	Abrité
≥ 0.128	Exposé

6.4.5 Cartographie

A l'échelle régionale, 32 des 36 lagunes ont pu être considérées pour le critère 4 « hydrodynamisme ». Le descripteur utilisé pour ce critère n'a pas pu être calculé sur les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache et la Palissade. Ceci provient de l'absence de données de profondeur, paramètre pourtant relativement facile à mesurer. Comme pour les critères

« substrat » et « zone biologique », les cartographies du critère 4 « hydrodynamisme » sont issues de la sectorisation (80 %) ou du krigeage (20 %). Les deux classes sont représentées au sein des lagunes méditerranéennes (Tableau 18). Le descripteur « vitesse orbitale » résulte à la fois de la profondeur et de l'action du vent sur la surface de l'eau libre (intensité du vent, direction du vent et distance à la côte entre la station et la rive dans la direction du vent). De manière générale, l'hydrodynamisme est relativement homogène sur chacune des lagunes mais il existe une hétérogénéité régionale forte. Les zones exposées, c'est-à-dire avec un hydrodynamisme lié à l'action du vent, se trouvent principalement dans les lagunes situées à l'Ouest de la façade méditerranéenne exposées à la tramontane ou en Camargue (région exposée au Mistral). L'effet du vent sur l'hydrodynamisme est accentué dans les lagunes peu profondes.

Tableau 18: Résultats de la cartographie du critère 4 « hydrodynamisme » obtenus par sectorisation et krigeage des données stationnelles.

code de classe	libellé	nombre de lagunes concernées	lagunes	% de surface concernée
1	Abrité	28	02SLE, 03LPA, 04BAG, 07GRU, 11VDR, 12GBA, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 24MED, 25MAR, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 31BER, 33BIG, 34DIA, 35URB, 36PAL	38,84
2	Exposé	19	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 11VDR, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 21MEJ, 22OR, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 31BER	61,16

Au sein du complexe des étangs narbonnais, les deux classes sont représentées (Figure 23). Ces lagunes peu profondes sont globalement exposées, exceptées dans quelques zones à proximité directe de la rive par rapport au vent dominant venant du Nord-Ouest (Tramontane, 300° Figure 22).

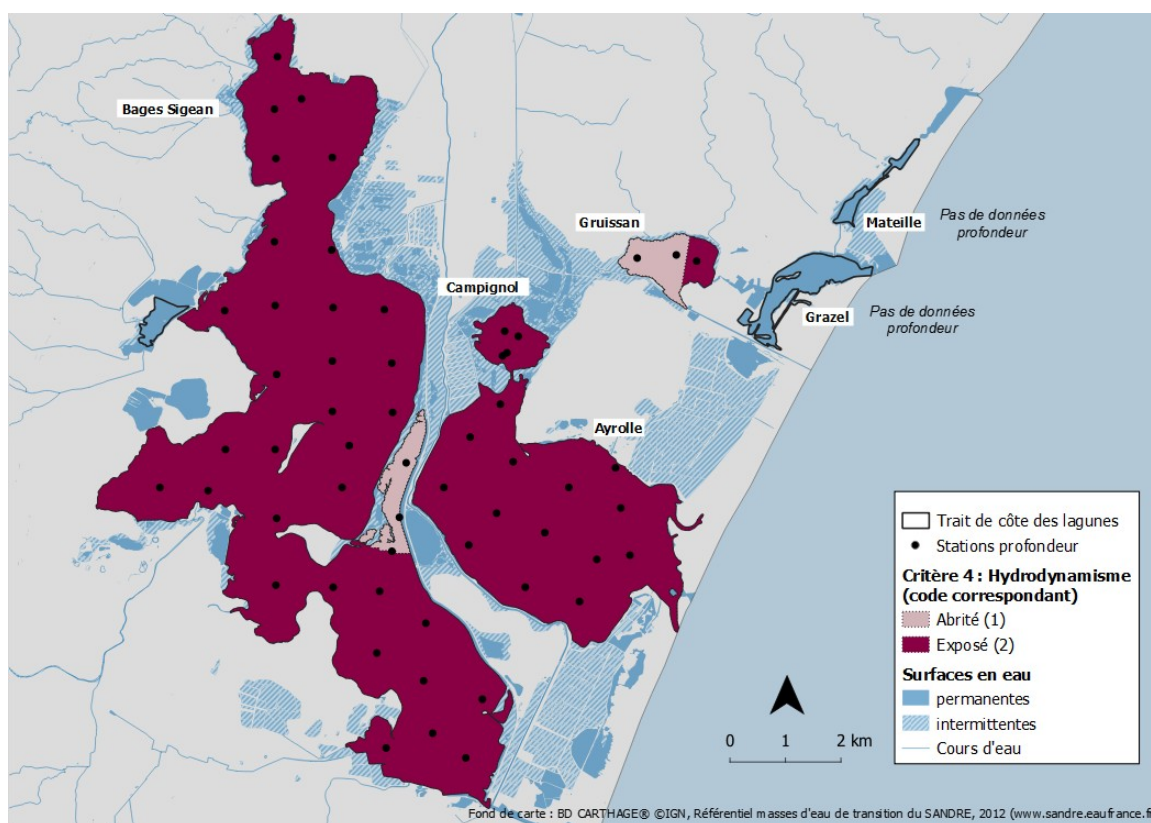


Figure 23: Résultats de la cartographie du critère 4 « hydrodynamisme » obtenus par sectorisation ou krigeage des données stationnelles (période mai-septembre, 2012-2017) sur le complexe des étangs narbonnais.

Le niveau de fiabilité est de manière générale bon (plus de détails Tableau 28) sur les lagunes méditerranéennes. Comme pour le critère 3 « zone biologique », le niveau de fiabilité du critère 4 « hydrodynamisme » dépend :

- des données utilisées. Ici, les données sont issues des stations météorologiques de Météo France et de relevés de profondeur. Concernant les données météorologiques, elles sont issues de sept stations réparties le long du littoral.
- de l'estimation du descripteur. Le descripteur est relativement simple et pourrait être amélioré. Le calcul est cependant homogène sur l'ensemble des lagunes méditerranéennes. Bien que l'on ne puisse pas donner un niveau de qualité de la valeur absolue, les tendances mises en évidence sur la façade doivent être considérées comme fiables.

6.5 Critère 5 : État trophique

L'état trophique est pris en compte *via* l'utilisation de l'indicateur de qualité physico-chimique qui constitue un paramètre de soutien de la DCE. Il s'appuie sur les paramètres clés de l'eutrophisation, l'azote total (Nt), le phosphore total (Pt), l'azote inorganique dissous qui regroupe les nitrites, les nitrates et l'ammonium (NID) et le phosphore inorganique dissous qui correspond aux ions orthophosphates (PID) .

6.5.1 Choix de la période

Ces paramètres sont variables dans le temps et leur dynamique temporelle peut résulter des changements de fonctionnement du système lagunaire ou de mode de gestion. Après exploration du jeu de données, il a été décidé de borner les données entre les **années 2012 et 2017** afin de répondre au mieux au compromis entre données récentes et données disponibles. L'amplitude de 6 années consécutives est compatible avec celle de diagnostic des états DCE. En lien avec les autres descripteurs, seules les données collectées **entre les mois de mai et septembre** ont été conservées.

6.5.2 Description des données disponibles

L'ensemble des données disponible est issu des campagnes DCE réalisées en été (Tableau 19). Les données utilisées sont celles des concentrations mensuelles d'azote et phosphore inorganiques dissous (NID, PID en $\mu\text{mol/L}$) et d'azotes et phosphores totaux (Nt, Pt) mesurées en surface ou au fond pour les stations profondes, de juin à août sur la période 2012-2017.

Tableau 19: Sources des données utilisées pour caractériser l'état trophiques des masses d'eau (critère 5).

programme	source	lagunes	nombre de lagunes	nombre de stations	périodicité	période
DCE – colonne d'eau	Quadrigé ²	Toutes	36	76	suivi estival	2012-2017

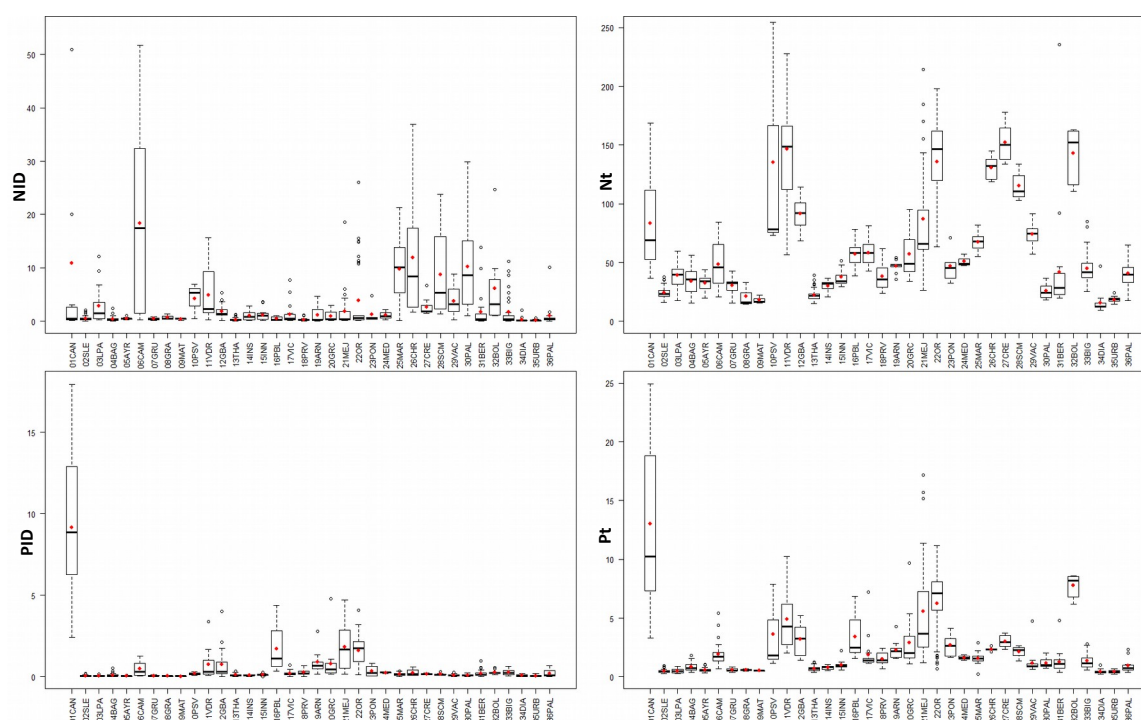


Figure 24: Amplitudes des concentrations d'azote inorganique dissous (NID), d'azote total (Nt), de phosphore inorganique dissous (PID) et phosphore total (Pt), valeurs médianes (traits continus horizontaux) et moyennes (points rouges) observées sur chaque lagune sur la période printemps-été 2012-2017.

La Figure 24 illustre la variabilité de chacun des paramètres selon les lagunes et au sein même des lagunes. Les lagunes oligo et mésohalines ont de manière générale des valeurs supérieures en NID et en Nt à celle rencontrées dans les lagunes poly et euhalines.

Le nombre de données ainsi que la période d'acquisition varie largement entre les lagunes méditerranéennes, allant de trois données sur les lagunes de Grazel, Mateille et Pissevache en 2015 à 66 valeurs sur la lagune de Thau entre 2012 et 2017 (Tableau 20). Cette hétérogénéité résulte d'une part de la surface des lagunes mais également de leur classement vis-à-vis de la DCE (contrôle opérationnel, contrôle de surveillance,...). Enfin, les points, souvent centraux, sont considérés représentatifs d'une zone hydrologiquement homogène.

Tableau 20: Détail par lagunes des données disponibles concernant le critère 5 « état trophique». La résolution moyenne constitue la distance moyenne entre les stations.

lagune	période	nombre d'années	nombre de données	nombre de stations	résolution moyenne (en m)
01CAN	2013-2017	5	15	1	
02SLE	2012-2017	6	45	3	4862
03LPA	2012-2017	6	18	1	
04BAG	2012-2017	6	42	3	3891
05AYR	2012-2017	6	24	2	2502
06CAM	2012-2015	4	24	5	345
07GRU	2012-2017	5	15	1	
08GRA	2015-2015	1	3	1	
09MAT	2015-2015	1	3	1	
10PSV	2015-2015	1	3	1	
11VDR	2012-2015	4	17	4	707
12GBA	2013-2015	3	18	4	480
13THA	2012-2017	6	66	4	4227
14INS	2012-2014	3	9	1	
15INN	2012-2017	6	21	1	
16PBL	2012-2014	3	11	1	
17VIC	2012-2017	6	21	1	
18PRV	2012-2017	6	27	2	2357
19ARN	2012-2014	3	12	1	
20GRC	2012-2017	5	18	1	
21MEJ	2012-2017	6	30	2	2043
22OR	2012-2017	6	35	2	3390
23PON	2014-2017	2	6	1	
24MED	2014-2014	1	3	1	
25MAR	2012-2015	4	29	4	332
26CHR	2015-2015	1	8	4	1234
27CRE	2015-2015	1	8	3	1086
28SCM	2015-2015	1	12	4	1112
29VAC	2012-2017	6	18	1	
30PAL	2015-2015	1	15	5	521
31BER	2012-2017	6	24	2	8752
32BOL	2015-2015	1	9	3	1605
33BIG	2012-2017	6	36	2	7082
34DIA	2012-2017	6	18	1	
35URB	2012-2017	6	18	1	
36PAL	2012-2017	6	18	1	

6.5.3 Choix du descripteur

La qualification de l'état trophique est **basé sur le calcul de l'indicateur physico-chimie DCE pour les lagunes méditerranéennes**. Il repose dans le cas des lagunes oligo- et mésohalines sur les valeurs de Nt et de Pt et sur les valeurs de NID, PID, Nt et Pt dans le cas des lagunes poly-, eu- et hyperhalines. Dans les deux cas, l'indicateur est calculé sur le percentile 90 pour chaque paramètre sur la période 2012-2017. Enfin, le critère 5 « État trophique » correspond au paramètre le plus déclassant.

Contrairement à l'indicateur physico-chimie DCE qui s'applique à l'échelle de la masse d'eau DCE, le descripteur du critère 5 « état trophique » est agrégé au niveau stationnel (point de mesure).

6.5.4 Classification

Trois classes sont utilisées (très bon, bon et inférieur à bon) quelle que soit la lagune. Comme dans le cadre de la DCE, les seuils sont spécifiques aux lagunes poly-, eu- et hyperhalines d'une part et aux lagunes oligo- et mésahalines d'autre part (Tableau 21).

Tableau 21: Seuils utilisés pour calculer l'indicateur physico-chimie DCE pour les lagunes polyhalines, euhalines et hyperhalines d'une part et oligohalines et polyhalines d'autre part

	Seuils NID	Seuils Nt	Seuils PID	Seuils Pt	Libellé de classe
Lagunes poly-eu-hyperhalines	≤ 2	≤ 50	$\leq 0,3$	≤ 2	Très bon
	$]2 ; 6]$	$]50 ; 75]$	$]0,3 ; 1]$	$]2 ; 3]$	Bon
	> 6	> 75	> 1	> 3	Inférieur à bon
Lagunes oligo/mésahalines		≤ 70		$\leq 2,5$	Très bon
		$]70 ; 95]$		$]2,5 ; 3,5]$	Bon
		> 95		$> 3,5$	Inférieur à bon

6.5.5 Cartographie

A l'échelle régionale, l'ensemble des lagunes a pu être considéré pour le critère 5 « état trophique ». Ces cartes sont basées sur l'extrapolation d'une à quatre stations de mesure par sectorisation. Les trois classes sont représentées de manière égale en termes de superficie sur la façade méditerranéenne (Tableau 22). Le descripteur renseigne ainsi sur les ressources trophiques disponibles dans le milieu.

Tableau 22: Résultats de la cartographie du critère 5 « état trophique » obtenus par sectorisation des données stationnelles.

code de classe	libellé	nombre de lagunes concernées	lagunes	% de surface concernée
1	Très bon état	12	02SLE, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 08GRA, 09MAT, 13THA, 25MAR, 30PAL, 34DIA, 35URB	31,72
2	Bon état	10	04BAG, 14INS, 15INN, 17VIC, 18PRV, 24MED, 25MAR, 31BER, 33BIG, 36PAL	29,56
3	Inférieur à bon état	19	01CAN, 03LPA, 06CAM, 10PSV, 11VDR, 12GBA, 16PBL, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 31BER, 32BOL, 33BIG	38,72

Au sein du complexe des étangs narbonnais, l'état trophique est homogène dans les lagunes de Mateille, Grazel, Gruissan et Ayrolle (Figure 25), tous les quatre étant dans un état « très bon ». Ils traduisent un milieu plutôt oligotrophe. En revanche, les zones Nord de Campagnol et Bages-Sigean sont respectivement dans un état trophique qualifié de « inférieur à bon » et « bon ». Ces deux zones sont plus confinées et reçoivent les apports d'eau douce provenant du bassin versant et des zones humides adjacentes.

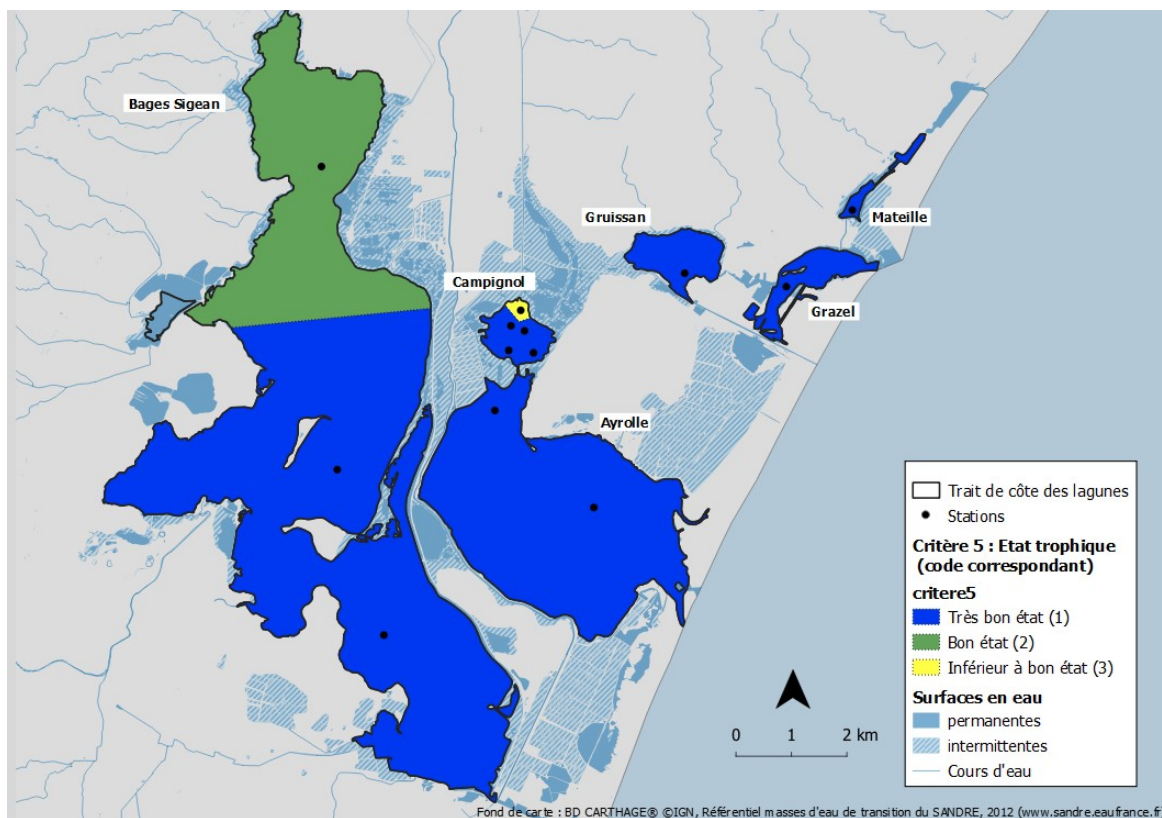


Figure 25: Résultats de la cartographie du critère 5 « état trophique » obtenus par sectorisation des données stationnelles (période mai-septembre, 2012-2017) sur le complexe des étangs narbonnais.

En termes de fiabilité, elle est globalement « bonne » pour le critère 5 « état trophique » exceptée pour les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache, Médard, Crey, Scamandre et Charnier pour lesquelles une seule année de données est disponible (plus de détails Tableau 28). Concernant les autres lagunes, les connaissances acquises depuis plus de quinze ans permettent aujourd'hui de dresser un diagnostic fiable de l'état trophique des lagunes méditerranéennes françaises. Ces connaissances ont d'ailleurs abouti à la dissociation des indicateurs utilisées dans les deux typologies (polyhalines, euhalines et hyperhalines d'une part et oligohalines et mésahalines d'autre part). Même si la sectorisation de la lagune à partir des données stationnelles ponctuelles (1 à 4 stations dans chacune des lagunes) permet d'avoir une vision globale de chaque masse d'eau, elle ne permet pas d'avoir un niveau fin des états trophiques au sein même des lagunes.

6.6 Critère 6 : Biologie

Seules les macrophytes sont prises en compte par manque de connaissances et de données sur les autres compartiments.

6.6.1 Choix de la période

Le suivi de la végétation dans le cadre de la DCE est mené lors de la période de développement maximal de la végétation et avant les mortalités estivales. Les données des macrophytes prises

en compte correspondent à celle du **dernier relevé disponible sur chacune des lagunes méditerranéennes françaises**.

6.6.2 Description des données disponibles

Les données sont issues des campagnes DCE macrophytes (Tableau 23). La description du peuplement de macrophytes est effectuée selon deux protocoles différents en fonction du type de lagune. Dans les lagunes dessalées (oligo- et mésahalines), la méthode d'échantillonnage consiste à identifier les espèces et estimer leurs abondances relatives à l'aide d'un râteau, le long d'un transect de 30m à partir de la station (Grillas et David, 2010). Pour les lagunes poly-eu- et hyperhalines, le pourcentage de recouvrement des différentes espèces est estimé sur une surface d'environ 120m² (Lauret et al. 2011).

Tableau 23: Sources des données utilisées pour caractériser le critère 6 « biologie »

programme	source	lagunes	nombre de lagunes	nombre de stations	périodicité	période
DCE – macrophytes	Quadriges ²	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 11VDR, 12GBA, 13THA, 14INS, 15INN, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 24MED, 25MAR, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 30PAL, 31BER, 32BOL, 33BIG, 34DIA, 35URB, 36PAL	33	439	année du dernier relevé	2005-2018

Le recouvrement végétal est disponible sur 33 des 36 lagunes considérées dans le projet CHAMILA (Tableau 24). Les données disponibles sont relativement récentes car postérieures à 2012, hormis celles concernant la lagune du Médard qui datent de 2005.

Tableau 24: Détail par lagunes des données utilisées pour le critère 6 « biologie ». La résolution moyenne constitue la distance moyenne entre les stations.

lagune	année	nombre de stations	résolution moyenne (en m)
01CAN	2017	15	545
02SLE	2017	38	1106
03LPA	2018	12	522
04BAG	2018	36	868
05AYR	2016	14	813
06CAM	2017	5	345
07GRU	2018	3	491
08GRA			
09MAT			
10PSV			
11VDR	2017	4	707
12GBA	2017	4	513
13THA	2017	36	1008
14INS	2017	8	586
15INN	2017	5	747
16PBL	2014	10	450
17VIC	2017	13	1024
18PRV	2017	10	345
19ARN	2012	9	654
20GRC	2012	8	380
21MEJ	2018	13	583
22OR	2017	15	1266
23PON	2018	7	450
24MED	2005	4	466
25MAR	2017	4	332
26CHR	2017	4	1234
27CRE	2017	3	1086
28SCM	2017	4	1112
29VAC	2018	55	898
30PAL	2017	5	521
31BER	2017	35	1643
32BOL	2017	1	
33BIG	2017	15	985
34DIA	2018	10	510
35URB	2018	13	618
36PAL	2017	3	576

6.6.3 Choix des descripteurs et classification

Pour l'ensemble des lagunes, le **pourcentage d'abondance de végétation et les pourcentages d'abondances relatifs des groupes taxonomiques phanérogames, algues rouges, algues vertes, algues brunes et characées** ont été calculés sur chacune des stations. Ils permettent de définir trois sous-niveaux successifs pour le critère 6 (Tableau 25) :

- Le **critère 6a** est relatif à l'abondance de la **végétation tous groupes confondus**. Il discrimine trois classes : le substrat nu, la végétation éparse et la végétation majoritaire ;
- Le **critère 6b** caractérise le **groupe taxonomique dominant si la végétation est dite majoritaire** (strictement supérieure à 25%) . Les deux classes du critère 6a « Substrat nu » et « végétation éparse » sont complétées par la déclinaison de la végétation majoritaire en 6 classes (une pour chacun des cinq groupes dominants et une classe de végétation mixte) ;
- Le **critère 6c** détermine les **co-dominances et combinaisons en cas de peuplement mixte**. Il en résulte 20 classes potentielles de végétation mixte (toutes les combinaisons possibles des cinq groupes dominants) qui s'ajoutent aux 7 classes issues du critère 6b (8 classes moins celle de végétation mixte qui est déclinée).

Critère 6a : Abondance de végétation		Critère 6b : Végétation majoritaire		Critère 6c : Combinaisons de végétation mixte			
% végétation	libellé de classe						
0	Substrat nu						
]0 ; 25]	Végétation éparse						
]25 ; 100]	Végétation majoritaire	% relatif par groupe	libellé de classe				
		≥ 50 % Phanérogames	Phanérogames dominantes				
		≥ 50 % Algues rouges	Algues rouges dominantes				
		≥ 50 % Algues vertes	Algues vertes dominantes				
		≥ 50 % Algues brunes	Algues brunes dominantes				
		≥ 50 % Characées	Characées Dominantes				
		Deux groupes co-dominants (=50%) ou Tous les groupes < 50 %	Végétation mixte				
		% relatif par groupe		libellé de classe			
		gp1= 50 % gp2 = 50 %		Co-dominance des groupes gp1 et gp2 (10 classes potentielles)			
		Gp1 < 50 % gp2 < Gp1 (Gp1 + gp2 > 50%)	Gp 1 majoritaire, puis gp2 (10 classes potentielles)				

Le critère « biologie » basé sur le recouvrement des macrophytes dans les lagunes méditerranéennes françaises est décrit selon 3 sous-critères (6a, 6b et 6c) pour permettre une lecture adaptée au besoin. Faute de données, le descripteur utilisé pour ce critère n'a pas pu être calculé sur les lagunes de Grazel, Mateille et Pissevache. A l'échelle régionale, seule 9,6 % de la surface des lagunes n'abrite pas de végétation. Ces zones se situent dans les lagunes dégradées vis-à-vis de l'eutrophisation (étang de l'Or, Ifremer, 2014) ou dans les zones profondes (Diana, Urbino, Berre). La végétation est en revanche dominante sur 66,9 % de la

surface (Tableau 26, somme de tous les codes supérieurs à 300 soit la végétation majoritaire). Au sein de cette végétation, les peuplements dominés par les phanérogames, les algues rouges ou les algues vertes sont dominants (60,7 % de la surface des lagunes). Les peuplements mixtes (somme de toutes les combinaisons des groupes codés en 36) sont en revanche peu représentés (3%).

Tableau 26: Résultats de la cartographie du critère 6 « biologie » obtenus par sectorisation des données stationnelles.

code de classe 6c	libellé	nombre de lagunes concernées	lagunes	% de surface concernée
100	Substrat nu	7	14INS, 22OR, 24MED, 29VAC, 31BER, 34DIA, 35URB	9,64
200	Végétation éparse	22	03LPA, 04BAG, 11VDR, 13THA, 15INN, 16PBL, 17VIC, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 25MAR, 26CHR, 27CRE, 28SCM, 29VAC, 30PAL, 31BER, 32BOL, 33BIG, 34DIA	23,45
310	Végétation majoritaire, Phanérogames dominantes	18	01CAN, 02SLE, 03LPA, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 11VDR, 12GBA, 13THA, 14INS, 26CHR, 27CRE, 29VAC, 33BIG, 34DIA, 35URB, 36PAL	16,35
320	Végétation majoritaire, Algues rouges dominantes	14	02SLE, 04BAG, 13THA, 14INS, 16PBL, 17VIC, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 23PON, 29VAC, 31BER, 33BIG, 35URB	20,27
330	Végétation majoritaire, Algues vertes dominantes	21	01CAN, 02SLE, 04BAG, 05AYR, 06CAM, 07GRU, 11VDR, 14INS, 15INN, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 20GRC, 21MEJ, 22OR, 23PON, 29VAC, 30PAL, 31BER, 33BIG, 34DIA	24,03
340	Végétation majoritaire, Algues brunes dominantes	1	13THA	3,24
350	Végétation majoritaire, Characées dominantes	1	03LPA	0,11
361	Végétation majoritaire, veg mixte : AR, ab	1	02SLE	0,19
362	Végétation majoritaire, veg mixte : ar/av	6	04BAG, 16PBL, 17VIC, 18PRV, 19ARN, 29VAC	0,98
363	Végétation majoritaire, veg mixte : AR, av	1	13THA	0,31
364	Végétation majoritaire, veg mixte : AR, p	2	02SLE, 04BAG	0,50
365	Végétation majoritaire, veg mixte : AV, p	2	04BAG, 06CAM	0,36
366	Végétation majoritaire, veg mixte : P, ab	1	02SLE	0,16
367	Végétation majoritaire, veg mixte : P, ar	1	13THA	0,23
368	Végétation majoritaire, veg mixte : p/av	2	01CAN, 14INS	0,17

Au sein du complexe des étangs narbonnais, toute la surface des lagunes est recouverte de végétation (éparse ou dense, Figure 26). A une échelle plus fine, la composition de la végétation est plus variable et largement dominée par phanérogames dans les lagunes d'Ayrolle, de Campagnol et dans la partie Sud de la lagune de Bages-Sigean (Figure 27). Les peuplements dominés par les algues vertes sont également présents dans les lagunes de Gruissan et d'Ayrolle.

Enfin, les autres classes de végétation « Algues rouges dominantes », « végétation mixte » et « végétation éparées » sont également présentes dans la lagune de Bages-Sigean. Ces résultats soulignent la diversité du couvert végétal au sein des lagunes, même à ce niveau taxonomique.

Comme pour le descripteur 5 « état trophique », les données disponibles sur le couvert végétal sont riches aussi bien en termes de qualité que de quantité. Bien que les données utilisées soient uniquement celle du dernier relevé, leur répartition spatiale ainsi que la finesse de résolution taxonomique permet d'atteindre un niveau de fiabilité « bon » sur 33 des 36 lagunes méditerranéennes françaises (plus de détails Tableau 28). Ce descripteur biologique pourra néanmoins largement varier dans le temps et dans l'espace en réponse à des forçages naturels ou anthropiques entraînant ainsi une divergence entre les observations à un temps t et cette carte du critère « biologie »

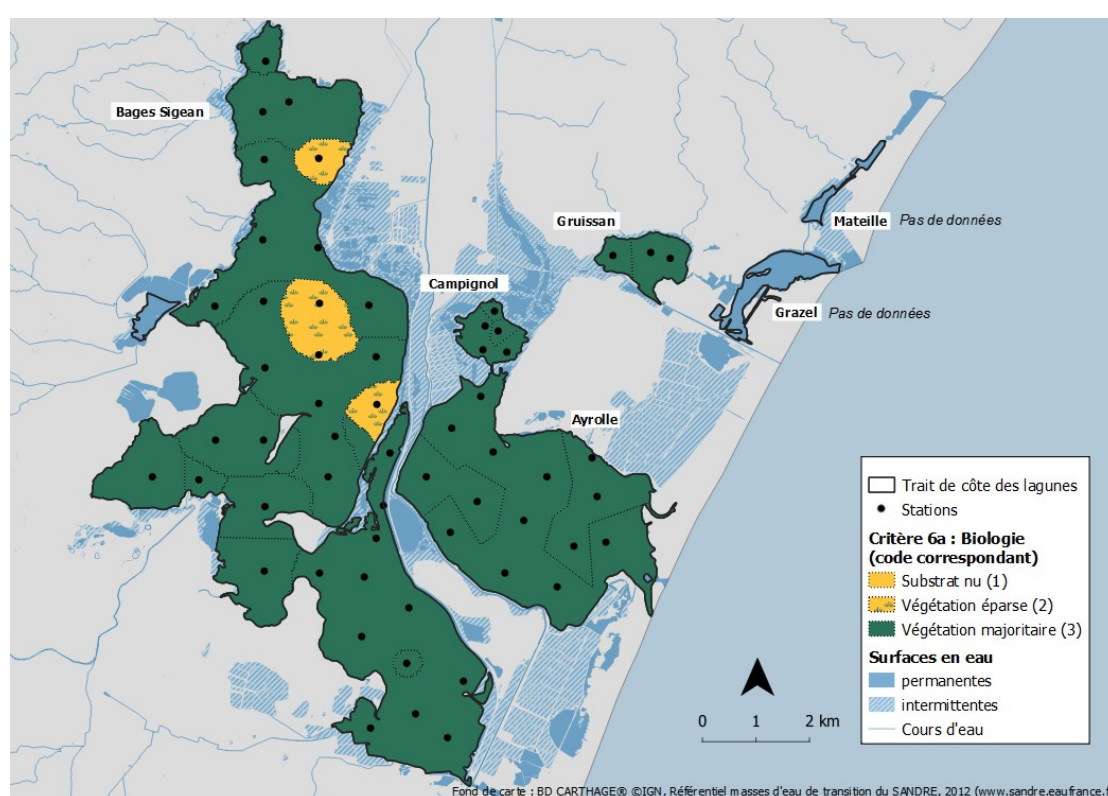


Figure 26: Résultats de la cartographie du critère 6a « biologie » obtenus par sectorisation ou krigeage des données stationnelles les plus récentes sur le complexe des étangs narbonnais.

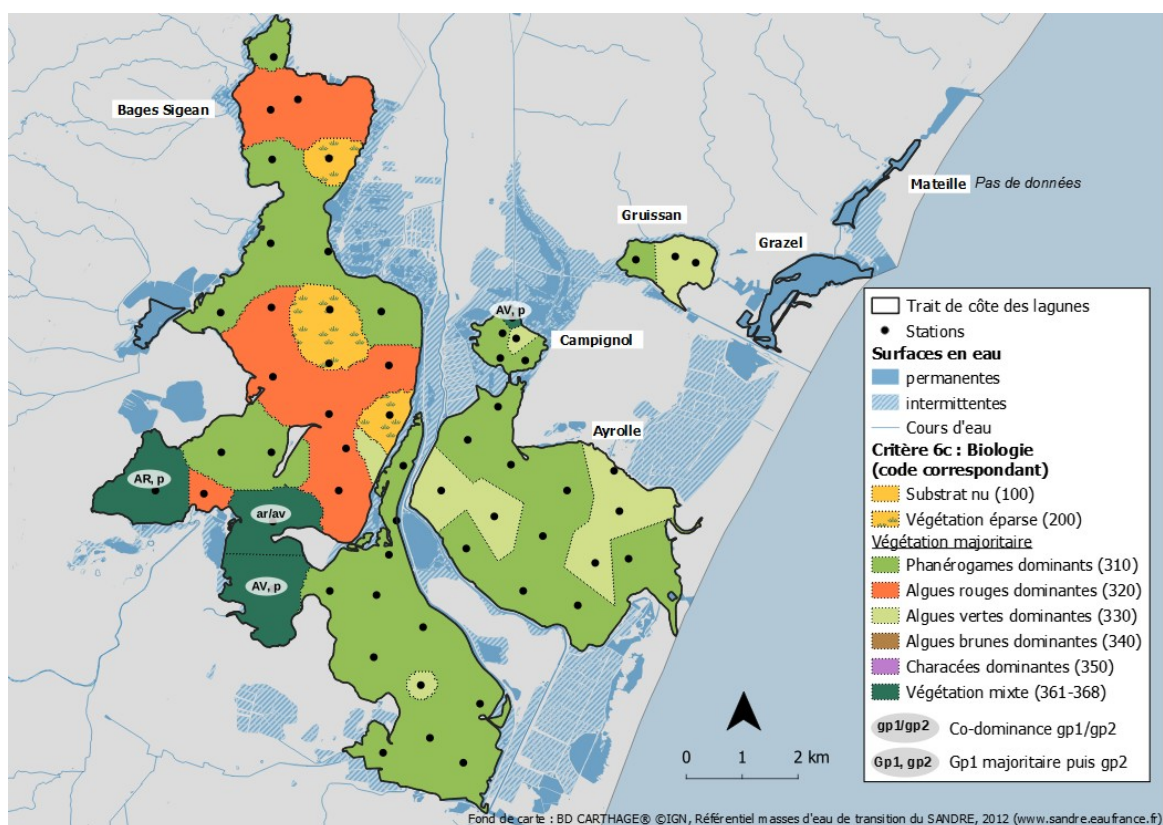


Figure 27: Résultats de la cartographie du critère 6b « biologie » obtenus par sectorisation ou krigeage des données stationnelles les plus récentes sur le complexe des étangs narbonnais.

6.7 Tableau bilan des critères retenus

Le Tableau 27 reprend l'ensemble des informations pour les 6 critères utilisés dans le cadre du projet CHAMILA. Enfin un premier bilan du niveau de fiabilité des cartographies basé sur les données disponibles et le traitement utilisé dans le cadre de ce projet est donné à dans le Tableau 28.

Tableau 27: Description des critères, variables, période considérée, descripteur(s) et classes utilisés dans le cadre du projet CHAMILA

Critère	Variable(s)	Période	Descripteur(s)	Classes (code)
1. Salinité	Salinité Gradient de salinité	Printemps-été 2012-2017	Médiane stationnelle de salinité Ecart -type total stationnel	10 classes • Oligohalin stable/variable (1/2) • Mésohalin stable/variable (3/4) • Polyhalin stable/variable (5/6) • Euhalin stable/variable (7/8) • Hyperhalin stable/variable (9/10)
2. Substrat	% de vase	1999-2015	Moyenne stationnelle de % de vase	4 classes • Sableux (1) • Vaso-sableux (2) • Sablo-vaseux (3) • Vaseux (4)
3. Zone biologique	% de lumière disponible au fond	Printemps-été 2012-2017	% de lumière (calculé avec les moyennes de K_{PAR} par station hydrologique associées aux données profondeur)	3 classes • Lumière faible (1) • Lumière moyenne (2) • Lumière importante (3)
4. Hydro-dynamisme	Tension de cisaillement	2012-2017	Somme normalisée des vitesses orbitales ($m.s^{-1}$)	2 classes • Exposé (1) • Abrité (2)
5. Etat trophique	Concentrations en azote et phosphore inorganiques dissous et totaux	2012-2017	Indicateur physico-chimie DCE	3 classes • Très bon état (1) • Bon état (2) • Inférieur à bon état (3)
6. Biologie	Abondance de végétation, groupes taxonomiques dominants	Dernière année disponible, échantillonnage au maximum de développement	% de végétation relativement au sédiment nu % de Phanérogames % d'Algues rouges	Critère 6a : 3 classes • Substrat nu (1) • Végétation éparse (2) • Végétation majoritaire (3)

		des macrophytes	% d'Algues vertes % d'Algues brunes % de Characées	Critère 6b : 8 classes • Substrat nu (10) • Végétation épars (20) • Groupe dominant : • P/AR/AV/AB/C (31/32/33/34/35) • Végétation mixte (36) Critère 6c : 27 classes • Substrat nu (100) • Végétation épars (200) • Groupe dominant : • P/AR/AV/AB/C (310/320/330/340/350) • 10 combinaisons potentielles de co-dominances gp1/gp2 et 10 combinaisons potentielles Gp1 majoritaire, gp2 (361 à 368)
--	--	--------------------	--	--

Tableau 28: Bilan des résultats des cartographies par critère avec indication du niveau de fiabilité, bon (en vert), à revoir (en jaune) et absence de données (en gris)

Lagune	Critère 1 Salinité	Critère 2 Substrat	Critère 3 Zone biologique	Critère 4 Hydro- dynamisme	Critère 5 Etat trophique	Critère 6 Biologie
01CAN	2b, 3b, 4b	3,4	2	2	3	310,330,368
02SLE	3a, 4a	1, 2, 3, 4	2	1,2	1	310,320,330,361,3 64,366
03LPA	3b, 4b, 5b	1, 2, 3	3	1,2	3	200,310,350
04BAG	3a, 4a	2,3	2	1,2	2,3	200,310,320,330,3 62,364,365
05AYR	4a	1, 2, 3	3	2	1	310,33
06CAM	1b, 2a	2,3	2	2	1,3	310,330,365
07GRU	4a	2,3	3	1,2	1	310,33
08GRA	5a				1	
09MAT	5a				1	
10PSV	5b				3	
11VDR	2a, 2b	3,4	1, 2, 3	1,2	3	200,310,330
12GBA	1a, 1b, 2a, 3b	3,4	1	1	3	310
13THA	4a	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	1	1	200,310,320,340,3 63,367
14INS	4a, 5a, 5b	2,3	3	1	2	100,310,320,330,3 68
15INN	4a	2,3	3	1	2	200,33
16PBL	5b	1, 2, 3, 4	2	1,2	3	200,320,362
17VIC	5b	2, 3, 4	2	1,2	2	200,320,330,362
18PRV	4a, 4b	2, 3, 4	2	1,2	2	330,362
19ARN	4b	3,4	2	1,2	3	200,320,330,362
20GRC	4a, 4b	2, 3, 4	2	1	3	200,320,330
21MEJ	3a, 3b, 4a	2, 3, 4	1	1,2	3	200,320,330
22OR	3a	2,3	1	1,2	3	100,200,330
23PON	3a, 3b	2, 3, 4	1	1	3	200,320,330
24MED	2a, 3a, 3b	3,4	2	1	2	100
25MAR	2a	3,4	2	1	1,2	200
26CHR	1a	3,4	1	1,2	3	200,31
27CRE	1a	2,3	1	1,2	3	200,31
28SCM	1a	3,4	1	1,2	3	200
29VAC	2a, 2b, 3b, 4b, 5b	3	1	1,2	3	100,200,310,320,3 30,362
30PAL	1a, 1b				1	200,33
31BER	3a	2,3	1, 2,	1,2	2,3	100,200,320,330
32BOL	1a, 2a		1	1,2	3	200
33BIG	2b, 3b	1, 2, 3, 4	1	1	2,3	200,310,320,330
34DIA	4a	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	1	1	100,200,310,330
35URB	4a	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	1	1	100,310,320
36PAL	5a	3	3	1	2	310

7 Cartographie des habitats

La superposition des 6 critères et le post-traitement manuel ont permis d'aboutir à la production d'une carte d'habitats lagunaires. Parmi les 5760 habitats potentiels au **niveau 6b** (multiplication du nombre de classe des critères 1 à 6b), **224 habitats ont été recensés** à ce jour sur l'ensemble des lagunes méditerranéennes françaises. Le **niveau 6b est disponible sur 31 des 36 lagunes**. En revanche, seules des cartographies d'habitats de niveau 1 (Salinité) ont pu être réalisées sur les lagunes de Grazel, Mateille, Pissevache, La Palissade et Bolmon par manque de données disponibles pour le critère suivant (Substrat).

Le nombre d'habitats par lagune au **niveau 5** (correspondant au niveau d'intégration de la physico-chimie, soient les critères 1 à 5) varie entre 1 pour la lagune de Palo et 13 à Leucate. Au niveau 6b (intégration critère Biologie), ce nombre varie entre 1 (Palo) et 24 à Berre (Figure 28). Ces résultats illustrent tout d'abord l'augmentation du nombre d'habitats en prenant en compte le critère 6 Biologie. Le nombre d'habitats restreint dans certaines lagunes comme Palo ou l'Or indique une certaine homogénéité de ces lagunes à l'échelle de travail considérée. Hormis dans le cas des lagunes de l'Or et de Vaccarès pour lesquels respectivement seuls 5 et 11 habitats ont été recensés malgré une surface de 31 et 101 km², le nombre d'habitats au niveau 5 comme au niveau 6b augmente rapidement avec la surface avant d'atteindre un maximum compris ici entre 8 et 13 habitats pour le niveau 5 et entre 15 et 24 habitats pour le niveau 6b (Figure 28).

Concernant la représentativité des habitats au sein des lagunes méditerranéennes françaises, 35,7% des habitats de niveau 5 et 16,5 % au niveau 6b sont présents dans au moins 2 lagunes (Figure 28). Au niveau 6, l'habitat le plus rencontré est la classe « Euhalin stable à dominance sablo-vaseuse, à lumière importante, hydrodynamisme abrité, oligotrophe, dominé par les phanérogames », présent dans les lagunes de Leucate, Bages-Sigean, Gruissan, Diane et Urbino.

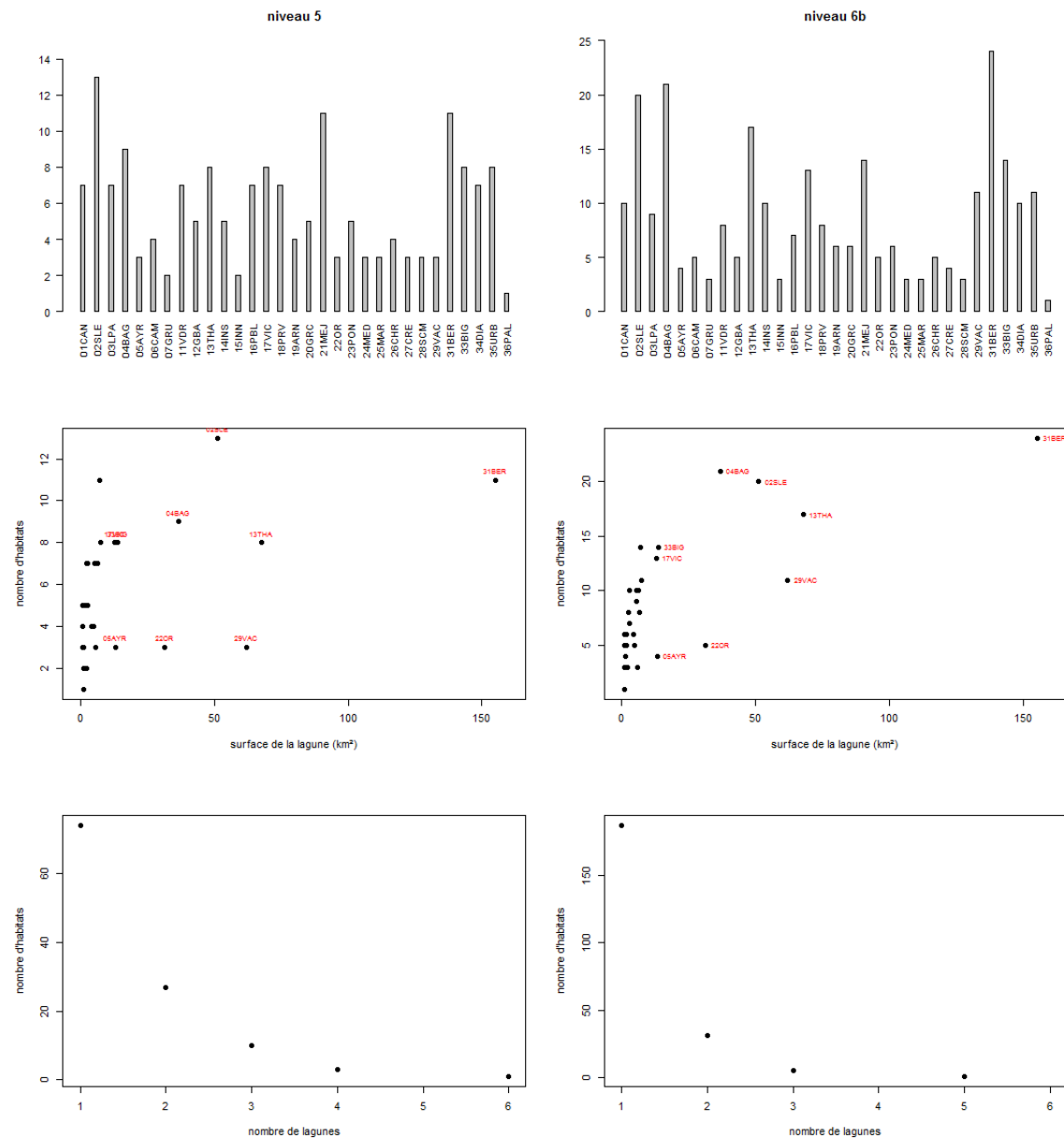


Figure 28: Nombre d'habitats recensés sur chacune des lagunes (en haut), relation entre le nombre d'habitats et la surface des lagunes (au milieu) et nombre d'habitats communs en fonction du nombre de lagune abritant cet habitat commun (en bas) pour les niveaux 5 et 6b.

Concernant le complexe des étangs narbonnais, la cartographie met en évidence la mosaïque d'habitats d'une part entre plusieurs lagunes proches géographiquement et d'autre part au sein même des lagunes (Figure 29).

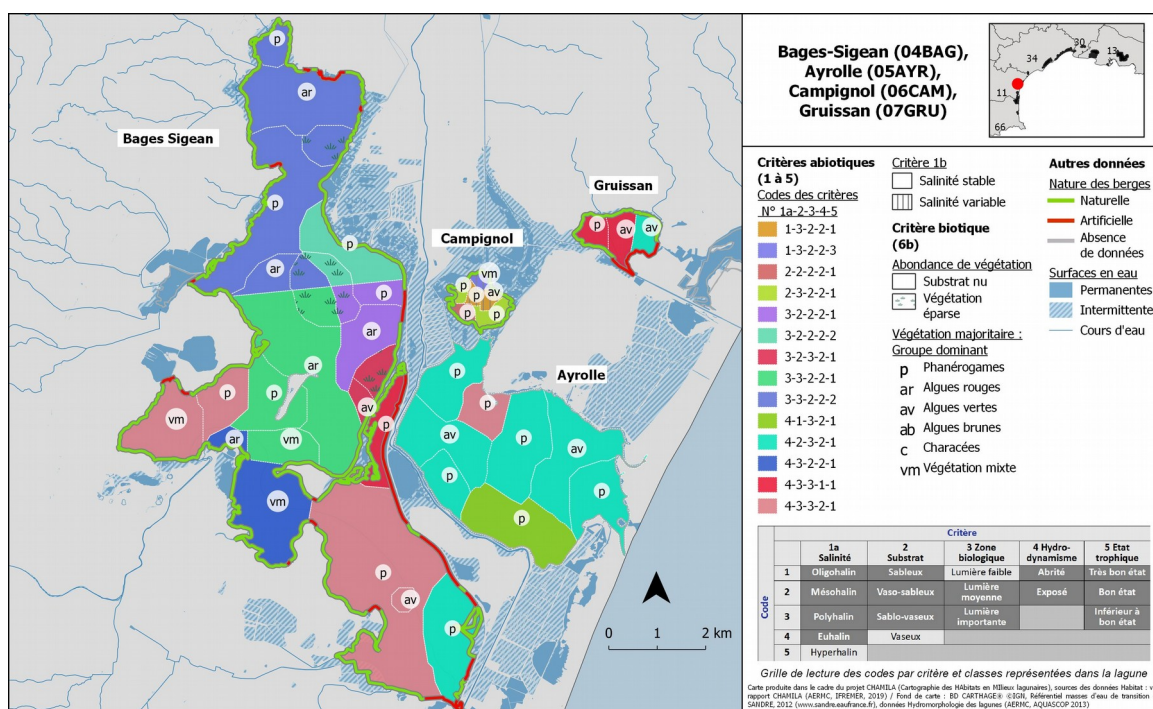


Figure 29: Cartographie des habitats lagunaires au niveau du complexe des étangs narbonnais.

La symbologie des habitats sépare les critères abiotiques des critères biotiques afin de localiser rapidement les secteurs homogènes d'un point de vue physico-chimique et les macrophytes. On distingue :

- d'une part, un figuré de couleur intègre les critères 1a (salinité), 2 (substrat), 3 (lumière), 4 (hydrodynamisme) et 5 (état trophique). Cela correspond au niveau typologique 5 après exclusion du critère 1b (variation de salinité) représenté indépendamment par des hachures. En légende, chacun des critères 1a à 5 sont identifiés par leurs codes respectifs dont la lecture est facilitée par la grille au dessous (les classes surlignées en gris étant présentes sur la carte).
- Exemple : l'interprétation du premier code 1-3-2-2-1 consiste à coupler chaque critère avec son code correspondant :*
- le critère 1a (en première position) est codé « 1 » ⇒ **Oligohalin**
 - le critère 2 (en 2ème position) est codé « 3 » ⇒ **Sablo-vaseux**
 - le critère 3 (en 3ème position) est codé « 2 » ⇒ **Lumière importante**
 - le critère 4 (en 4ème position) est codé « 2 » ⇒ **Exposé**
 - le critère 5 (en 5ème position) est codé « 1 » ⇒ **Très bon état**
- d'autre part, le critère 6 Biologie est immédiatement identifiable via une étiquette indiquant le groupe dominant en cas de végétation majoritaire, ou un figuré de végétation en cas de végétation éparse. L'absence d'information indique la présence d'un substrat nu.

Les cartes d'habitats des autres lagunes sont disponibles dans l'atlas associé à ce rapport.

8 Recommandations

A l'issu du projet CHAMILA et après une présentation aux acteurs locaux de l'ensemble du territoire, ces premiers résultats cartographiques ont permis de mettre en évidence la richesse des connaissances acquises au sein des lagunes méditerranéennes françaises. Néanmoins, plusieurs axes d'amélioration ont été identifiés parmi lesquels la **disponibilité et la qualité des données sources, les méthodes cartographiques et la fréquence d'acquisition de nouvelles données et d'actualisation** des cartes ont été largement évoquées.

8.1 Données sources

- Ajustement du **trait de côte** à l'échelle régionale

Les six critères et les habitats ont été cartographiés à partir de la délimitation du trait de côte des « Masses d'eau de transition » du SANDRE produite à partir des données existantes dans les différents bassins DCE. Référentiel national, cette donnée semble issue selon les lagunes d'éléments provenant de la BD TOPO® thème Hydrographie (IGN) pour les surfaces eau permanente, de la BD CARTO® (IGN) ou encore de la donnée Histolitt du SHOM.

Parmi les problèmes identifiés, la surface du référentiel ne correspond ainsi pas toujours aux masses d'eau permanentes comme à Vaccarès, Pissevache, la Marette, Charnier et Vendres où des étendues d'eau temporaires sont incluses dans le périmètre. Le périmètre de Vendres inclut également une grande partie de la roselière. Les salins de La Palme et de Leucate (marais à l'ouest de l'anse de la Roquette) sont également conservés (Figure 30). Dans la mesure du possible, un masque a été appliqué pour ne pas prendre en compte ces zones dans la carte finale d'habitats. A l'inverse, certains secteurs ne sont pas pris en compte, comme l'étang du Doul à Bages-Sigean où des données sont pourtant disponibles, où encore les surfaces en eau à l'est de Leucate.

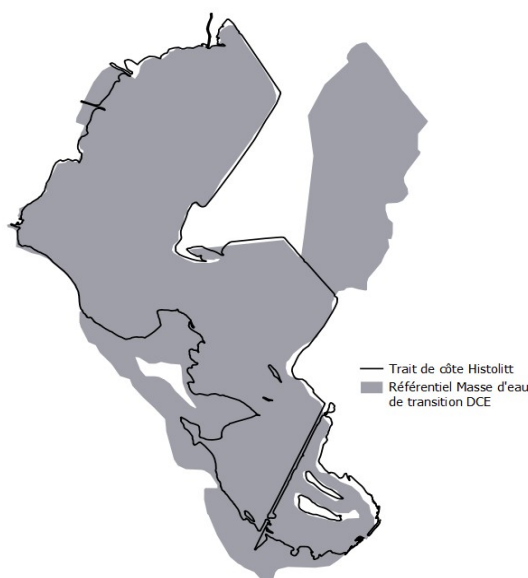


Figure 30: Comparaison des périmètres de la lagune de La Palme issus du Référentiel du SANDRE (polygone gris) et de la donnée Histolitt du SHOM (polyligne noire)

Ainsi, **le périmètre des lagunes pris en compte devrait être vérifié pour chaque lagune** afin que les cartes d'habitats concernent uniquement les masses d'eau permanentes (définition de la lagune donnée dans ce projet). De plus, le trait de côte haute résolution (TCHR) du SHOM, aujourd'hui disponible uniquement dans l'Aude et le Var pourrait à terme être généralisé à l'ensemble du territoire. Ce produit à l'échelle métrique et décamétrique décrit également la nature de la côte (construite ou naturelle, rocheuse, sableuse etc.).

Dans les cas de Vendres ou Pissevache, lagunes pour lesquelles la mise en eau est variable spatialement et temporellement, le contour de lagune devrait dans le futur être adapté à la temporalité de la carte d'habitats.

- **Acquisition de données** actuellement inexistantes ou partielles

Les données exploitées dans ce projet sont inégales selon les lagunes. Sur les lagunes de Bolmon, Pissevache, Grazel et Mateille, la cartographie des habitats ne peut pas aller plus loin que le niveau 1 (intègre uniquement la salinité) par manque de données concernant le critère 2 Substrat. De plus, en l'absence de données de profondeur, les critères 3 et 4 n'ont pas pu être cartographiés sur ces lagunes. Ces paramètres étant stables dans le temps, une **analyse ponctuelle du sédiment et une mesure de profondeur** permettraient d'améliorer l'état des connaissances et ainsi préciser les cartes d'habitats jusqu'aux niveaux 5 voir 6.

Les **choix opérés concernant le critère 3 Zone biologique induisent un certain nombre d'incertitudes**. L'estimation du K_{PAR} est basée sur un modèle développé dans le bassin d'Arcachon et le choix des seuils sur les conditions physico-chimiques de 11 lagunes poly-euhalines de Languedoc-Roussillon, mesurées ponctuellement au cours de l'été 2017. La quantité de lumière disponible pour les communautés benthiques peut être mesurée directement par des capteurs *in situ*. Cette méthode impliquerait la mise en place d'un protocole pour être représentatif de la variabilité spatiale et temporelles des lagunes méditerranéennes françaises et ainsi améliorer la fiabilité de ce critère.

Le critère 6 Biologie n'intègre pour l'instant que les macrophytes par **manque de connaissance et de données sur les communautés d'invertébrés benthiques**. L'intégration de la Macrofaune dans le diagnostic DCE et l'acquisition de connaissances dans le cadre de la thèse de Théophile Mouton pourtant sur les effets des perturbations naturelles et anthropiques sur la biodiversité de la macrofaune benthique en lagune (thèse de doctorat, financement AFB-Ifremer, 2019-2022) permettront d'améliorer les connaissances sur ce compartiment, de considérer des données supplémentaires et ainsi de préciser la typologie lagunaire en ajoutant un niveau.

- Récolte et structuration de **données multi-sources**

Le projet CHAMILA basé sur le niveau de connaissance actuel, a permis de dresser un bilan des données disponibles concernant les paramètres structurants les habitats benthiques. Après homogénéisation des données récoltées au sein d'une même base de données, les cartes d'habitats en résultant sont ainsi multi-sources. La plupart des données utilisées sont issues de programmes de surveillance nationaux et régionaux menés depuis plus de vingt ans et qui ont permis de bancariser une grande quantité de données sur l'ensemble de lagunes méditerranéennes françaises. Cependant, certaines données comme celle du ROCCH (Réseau d'Observation de la Contamination Chimique) et du compartiment Macrofaune de la DCE ont été écartées car les fractions granulométriques mesurées ne correspondent pas à celles utilisées dans le RSL sur lesquelles se basent la cartographie du substrat. Le seuil discriminant le vase du sable est en effet de 63 µm contre 50 µm dans le RSL. D'autre part, certains paramètres comme

la turbidité, mesurée au sein réseau de suivi physico-chimique du FILMED n'ont pas pu être exploitées en raison des différences de techniques de mesure utilisée. Ces deux exemples mettent en évidence l'intérêt d'harmoniser les protocoles de suivi des lagunes en vue d'une part d'améliorer la qualité des cartes du projet CHAMILA et d'autre part de valoriser l'ensemble de ces données récoltées à large échelle.

Le Tableau 29 précise les actions à mener sur les données sources pour consolider les cartes d'habitats

Tableau 29: Bilan des recommandations sur les données sources. La priorité de travail est issue des réflexions menées dans le cadre du projet CHAMILA.

	Actions à mener	Priorité de travail
Trait de côte	- Vérification et ajustement du trait de côte existant sur l'ensemble de la façade - Généralisation du trait de côte haute résolution du SHOM sur l'ensemble de la façade	2
Données inexistantes	- Acquisition <i>a minima</i> des données manquantes	1
Critère 3 (Zone biologique)	- Amélioration du modèle de calcul de la pénétration de la lumière dans l'eau adapté au contexte lagunaire méditerranéen	2
Critère 6 (Biologie)	- Ajout de la diversité de la macrofaune benthique	1
Données multi-sources	- Harmonisation des méthodes d'acquisition dans l'ensemble des réseaux d'observation	1

8.2 Méthodes cartographiques

- **Méthodes de spatialisation** et discrétisation

Dans cette étude, le choix entre sectorisation et krigeage est régi par la superficie de la lagune et le nombre d'observations disponibles. Ainsi, les plus grandes lagunes ont bénéficié de la méthode de krigeage, plus complexe que la sectorisation, en ce qui concerne les critères 2,3,4 et 6. Quand le nombre d'observations est estimé suffisant, les prédictions qui en résultent s'avèrent plus fiables et proches du phénomène étudié. Contrairement à la sectorisation basée uniquement sur la position des points, la géostatistique caractérise le comportement spatial de la variable environnementale.

Ainsi, la méthode de krigeage pourrait être généralisée à l'ensemble des lagunes à condition d'ajuster certains paramétrages. Jusqu'ici l'interpolation était calculée sur une grille générée sur l'emprise rectangulaire de la lagune. Les résultats n'intégraient pas les barrières physiques liées à la sinuosité des berges ou la présence d'îlots. Une étape de post-traitement, basée sur l'expertise et les observations, est alors nécessaire pour ajuster le résultat brut krigé. Ainsi, les

cartes pourraient être améliorées en intégrant les limites géographiques dans le choix du voisinage. Des méthodes, telles que le krigeage sous contrainte, qui sépare des sous-régions lors du krigeage ou l'utilisation de matrices de distances non euclidiennes, décrivant la distance entre les observations sur la base du plus court chemin dans l'eau et non à vol d'oiseau (López A, Quílez, Muñoz F. 2009) peuvent être utilisées pour améliorer les valeurs estimées.

De plus, le krigeage produisant une moyenne pondérée des observations environnantes, les estimations reproduisent difficilement les valeurs les plus extrêmes qui sont lissées lors de l'interpolation. La discrétisation des grilles krigées peut ainsi résulter en la sous-représentation de certaines catégories liée à « l'effet seuil. » En effet, l'estimation pouvant être légèrement différente de l'observation en certains points, l'application d'un seuil peut entraîner la discrimination en deux classes différentes après sectorisation ou krigeage. Ici, cet effet indésirable a été corrigé manuellement par post-traitement. Une autre solution consisterait à **définir des seuils propres à chaque lagune**, à partir des différences observées entre les observations et les estimations, afin de conserver la diversité de catégories observées dans les données brutes. Cette méthode s'éloigne cependant de l'objectif de généraliser la méthode de cartographie sur l'ensemble des lagunes méditerranéennes françaises.

- **Spatialisation des incertitudes** liées aux méthodes utilisées

Un indice de fiabilité est proposé par critère et par lagune. La spatialisation de cet indice permettrait de **proposer une carte d'indice de confiance** associée à la carte d'habitats. Les résultats pourront ainsi être évalués en tout point de la carte d'habitats. Une méthode d'évaluation mériterait d'être développée en prenant en compte le nombre d'observations disponibles dans le temps et dans l'espace, la fiabilité de la mesure de la variable étudiée, la robustesse des seuils choisis. Lorsque le krigeage ou la sectorisation sont utilisés, la fiabilité pourrait être déterminée également à partir respectivement de la variance d'estimation (Figure 31) ou la distance aux point d'estimation.

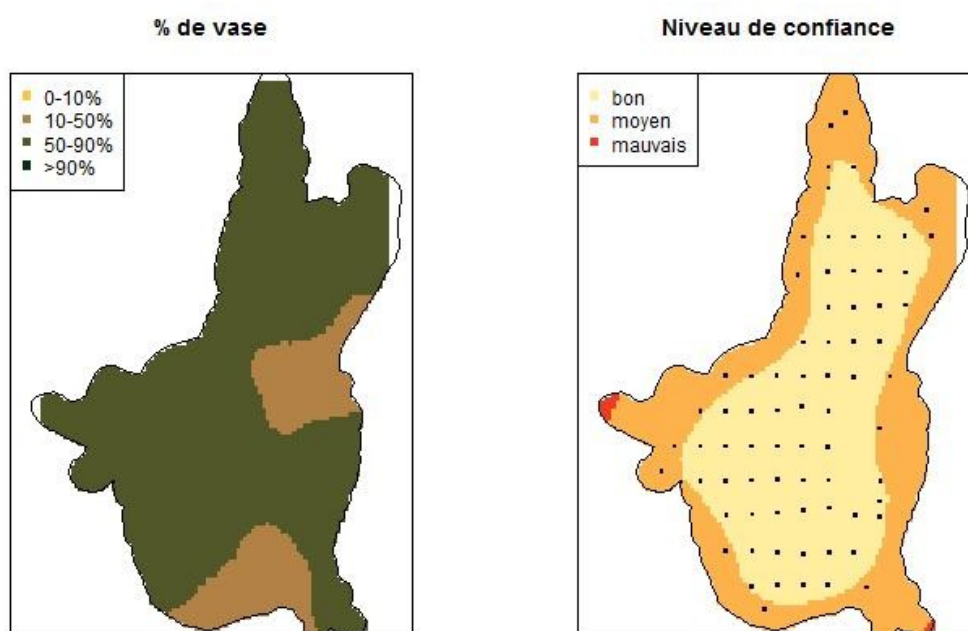


Figure 31: Illustration de l'utilisation de la variance de krigeage pour déterminer un indice de confiance de la carte de substrat sur la lagune de Salses-Leucate

Le Tableau 30 précise les actions à mener sur les méthodes cartographiques pour consolider les cartes d'habitats

Tableau 30: Bilan des recommandations sur les méthodes cartographiques. La priorité de travail est issue des réflexions menées dans le cadre du projet CHAMILA.

	Description de l'action à mener	Priorité de travail
Spatialisation des données	- Application d'une méthode de spatialisation prenant mieux en compte des limites géographiques (distance euclidienne, krigeage sous contrainte)	1
Discrétisation des données	- Définition de seuils propres à chaque lagune pour la discrétisation	2
Représentation de l'incertitude	- Calcul d'un indice de fiabilité des cartographies proposées	1

8.3 Fréquence d'acquisition des données et d'actualisation des cartographies

Pour répondre à la question de la fréquence d'actualisation des connaissances, il faut distinguer les variables « dynamiques » des variables « constantes » à l'échelle de temps à laquelle la cartographie est produite. Ainsi, les données des variables évolutives comme la salinité, la turbidité, la direction et la force du vent et les concentrations en nutriments nécessitent une collecte des données à haute fréquence (horaire, mensuelle). Cette acquisition est compatible avec les réseaux d'observation existants (DCE, OBSLAG, REPHY, FILMED et METEOFRANCE). La dynamique du compartiment benthique, à l'image de ce qui est fait dans la DCE, est étudiée à l'échelle de 3 ans. De nombreux processus expliquant la distribution des macrophytes s'expriment à plus petite échelle temporelle. Néanmoins, l'harmonisation des méthodes d'acquisition des données à l'échelle de la façade et le travail que représente cette acquisition rend difficile l'augmentation de la fréquence d'acquisition. Concernant les variables relativement stables (pourcentage de vase et profondeur), l'actualisation des données disponibles doit être plus ponctuelle si les conditions hydro-morphologiques ne changent pas.

Les cartes présentées dans le projet CHAMILA sont actuellement agrégées sur la période printanière et estivale entre 2012 et 2017. La fréquence d'actualisation des cartes intermédiaires et de la carte d'habitat **dépend évidemment de l'acquisition de nouvelles données**. Ainsi les fréquences d'actualisation proposées dans le Tableau 31 sont données à titre indicatif. Chacune des cartes intermédiaires pourraient être mises à jour régulièrement (tous les 3, 6 ou 10 ans) car celles-ci peuvent permettre de visualiser les dynamiques temporelles de chacune des variables. Concernant la carte d'habitat à l'échelle de la façade, il est proposé de la **mettre à jour tous les 6 ans**.

Tableau 31: Fréquences préconisées d'acquisition pour chacune des variables et de mise à jour des cartes d'habitats issues des réflexions menées dans le cadre du projet CHAMILA.

Critères	Variables	Fréquence minimale d'acquisition	Fréquence minimale d'actualisation des cartes	Sources de données potentielles
Critère 1 : Salinité	Salinité Gradient de salinité	Mensuelle	Tous les 3 ans	REPHY, DCE, OBSLAG, FILMED
Critère 2 : Substrat	% de vase	Tous les 10 ans	Tous les 12 ans	ROCCHSED*
Critère 3 : Zone biologique	% de lumière disponible au fond (turbidité/profondeur)	Mensuelle (Turbidité) Tous les 10 ans (Profondeur)	Tous les 3 ans	REPHY, DCE, OBSLAG
Critère 4 : Hydro-dynamisme	Tension de cisaillement (vent/profondeur)	Tri-horaire (Vent) Tous les 10 ans (Profondeur)	Tous les 6 ans	MétéoFrance
Critère 5 : Etat trophique	Concentrations en azote et phosphore inorganiques dissous et totaux	Mensuelle	Tous les 3 ans	DCE, OBSLAG
Critère 6 : Biologie	Abondance de végétation, groupes taxonomiques dominants	Tous les 3 ans	Tous les 6 ans	DCE, OBSLAG
Cartographie d'habitat			Tous les 6 ans	

* Nécessite une harmonisation des données recueillies avec les données nécessaire à la cartographie

9 Conclusions

Le projet CHAMILA a permis pour la première fois de développer une typologie unique et homogène qui a abouti à une cartographie des habitats sur l'ensemble des lagunes méditerranéennes françaises. Ce travail de synthèse des données existantes, d'homogénéisation et de définition de méthodes met aujourd'hui en évidence la mosaïque d'habitat abritée par ces milieux souvent considérés comme relativement homogènes. L'intégration de cette nouvelle connaissance permet aujourd'hui de disposer d'outils d'aide à la définition de stratégie spatiale d'échantillonnage mais également d'aide à la gestion et à la planification, à l'échelle locale et régionale. La définition structurelle de ces habitats doit être un premier pas vers la définition d'habitats fonctionnels pour les organismes fréquentant ces lagunes.

Cette première démarche a mis en évidence la force des réseaux locaux, régionaux ou nationaux dans l'acquisition de données sur les milieux lagunaires méditerranéens puisque 31 des 36 cartes d'habitats de niveau 6 ont pu être produites à l'échelle du 1 /100 000. En revanche, la production de cartographies d'habitats à une échelle plus fine n'est pas possible à ce jour à partir des données existantes.

10 Références bibliographiques

- Aquascope (2014). Réalisation d'une ou deux campagnes d'acquisition et d'interprétation de données sur les descripteurs hydromorphologiques des lagunes littorales des bassins Rhône Méditerranée et Corse, Tranche conditionnelle - Rapport final. 158p.
- Auby I. et Grillas P., 1996. Etude des herbiers de *Zostera noltii* de l'étang du Vaccarès. Synthèse des résultats 1993-1995
- Bajjouk T., Guillaumont B., Michez N., Thouin B., Croguennec C., Populus J., Louvel-Glaser J., Gaudillat V., Chevalier C., Touroille J., Hamon D. (2015). Classification EUNIS, Système d'information européen sur la nature : Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranée. Vol. 1. Habitats Littoraux. IFREMER/DYNECO/AG/15-02/TB1, 231p.
- Benaka L. (1999). Fish habitat: essential fish habitat and rehabilitation. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 459p.
- Bensettiti F., Bioret F., Roland J., Lacoste J.-P. (coord.) (2004). Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 399 p. + cd-rom.
- Castaigns Jerome (2012). Etude du fonctionnement hydrosédimentaire d'un écosystème lagunaire sur des échelles de temps multiples. Application au complexe lagunaire "étangs Palavasiens - étang de l'Or - canal du Rhône à Sète". PhD Thesis, Université de Montpellier II. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00193/30436/>
- Charpentier A., Grillas P., Lescuyer F., Coulet E., Auby I. (2005). Spatio-temporal dynamics of a *Zostera noltii* dominated community over a period of fluctuating salinity in a shallow lagoon, Southern France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64, 307-315
- Coignot E., Ouisse V., Fiandrino A (2017). Étude de la disponibilité en lumière pour les communautés de macrophytes benthiques dans les lagunes méditerranéennes. 23p
- Davies C. E., Moss D., Hill M.O. (2004). EUNIS habitat classification revised.
- Gillanders B. M., Able K. W., Brown J. A., Eggleston D. B., Sheridan P. F. (2003). Evidence of connectivity between juvenile and adult habitats for mobile marine fauna: an important component of nurseries. *Marine Ecology Progress Series* 247, 281-295
- Guillaumont B., Bajjouk T., Rollet C., Hily C., Gentil F. (2009). Typologie d'habitats marins benthiques : analyse de l'existant et propositions pour la cartographie (Habitats côtiers de la région Bretagne) - Note de synthèse, Projet REBENT-Bretagne et Natura Bretagne. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-06/REBENT. 22p.
- European Commission, 1999. Interpretation manual of European Union Habitats. EUR 15/2. 132p.
- European Commission, 2007a. Interpretation manual of European Union Habitats. EUR 27. 144p.
- European Commission, 2007b. Guidelines for the establishment of the Natura 2000 network in the marine environment. Application of the Habitats and Birds Directives. 112p.
- Fiandrino A., Ouisse V., Dumas F., Lagarde F., Pete R., Malet N., Le Noc S., de Wit R., 2017. Spatial patterns in coastal lagoons related to the hydrodynamics of seawater intrusion. *Marine Pollution Bulletin* 119, 132-144.
- Grillas P., David T, 2010. Etude pilote pour une évaluation de l'état des macrophytes des lagunes méditerranéennes oligo et méso-halines – Convention 2010 – Action 2. Onema, Ref. Convention Onema-Ifremer 2010, 66p.
- Gohin F., Loyer S., Lunven M., Labry C., Froidefond J.-M., Delmas D., Huret M., Herbland A., 2005. Satellite-derived parameters for biological modelling in coastal waters: Illustration over the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. *Remote Sensing of Environment*, 95: 29

- Guelorget, O., Pertuisot, J.P., 1984. Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralique. *Bulletin d'Ecologie* 15, 67–76.
- Ifremer 2000. Mise à jour d'indicateurs du niveau d'eutrophisation des milieux lagunaires méditerranéens – Tome 1, 224p
- Ifremer 2005. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon. Bilan des données 2004, 414p + annexes
- Ifremer 2014. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon. Bilan des résultats 2013. RST/ LER/LR/14.07. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00210/32154/>
- Lauret M., Oheix J., Derolez V., Laugier T., 2011. Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon. Réseau de Suivi Lagunaire (Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau RM&C, Région Languedoc-Roussillon), 77p..
- Le Fur, I., De Wit, R., Plus, M., Oheix, J., Simier, M., Ouisse, V., 2018. Submerged benthic macrophytes in Mediterranean lagoons: distribution patterns in relation to water chemistry and depth. *Hydrobiologia* 808, 175–200. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3421-y>
- López-Quilez A., Muñoz F., 2009. Geostatistical computing of acoustic maps in the presence of barriers. *Mathematical and Computer Modelling* 929-938. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.05.021>
- Lenfant P., Gudefin A., Fonbonne S., Jallouin G., Aronson J., Blin E., Lourie S. M., Boissery P., Loeuillard J.-L., Palmaro A., Herrouin G., Person J. (2015). Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes.
- Louvel J., Gaudillat V., Poncet L. (2013). EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce. MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 289p.
- MESH (2008). Guide de cartographie des habitats. RST-DYNECO/AG/07-20/JP. Ifremer centre de Brest, 342p.
- Michez N., Aish A., Amouroux J.-M., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Dirberg G., Fabri M.-C., Fernez T., Fourt M., Francour P., Frisoni G.-F., Goujard A., Harmelin J.-G., Jordana E., Kleszczewski M., Labrune C., Mouronval J.-B., Palomba L., Pérez T., Pergent G., Pergent-Martini C., Sartoretto S., Thibaut T., Vacelet J., Verlaque M., 2017. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée. SPN-MNHN / INPN, juillet 2017.
- Michez N., Aish A., Dirberg G., 2012. Typologie des habitats marins, Correspondances. Rapport SPN 2012 - 39, MNHN, Paris, 95 p.
- Moss D. (2005). How was EUNIS habitats constructed? How were the original divisions made and levels decided?
- Moss D. (2008). EUNIS habitat classification – a guide for users.
- Ouisse V, Perron C, Fiandrino A, Rochette S (2014) Rôle des macrophytes dans la restauration des milieux lagunaires: distribution spatiale de *Zostera noltei* (MARES1). 63p
- Ouisse V., Aliaume C., Amilhat E., Bouchoucha M., Bourjea J., Darnaude A., Derolez V., Faliex B., Giraud A., Grillas P., Kirchhofer D., Lenfant P., Miard T., Nicolas D., Pastor J., Rivoalan D., Simon G., Vaz S. (2017). Expertise collective « Habitats-Poissons » en lagune, 19p
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Fernandez C., Ferrat L., Tomaszewski J.E., Pergent G. (2006). Wetland monitoring : aquatic plant changes in two Corsica coastal lagoons (Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* 16, 43-60
- Pasqualini V., Derolez V., Garrido M., Orsoni V., Baldi Y., Etourneau S., Leoni V., Rébillout P., Laugier T., Souchu P., Malet, N. (2017). Spatiotemporal dynamics of submerged macrophyte status and watershed exploitation in a Mediterranean coastal lagoon : understanding critical factors in ecosystem degradation and restoration. 102, 1-14.
- Sanchez A-E., Grillas P. (2014). Inventaire et cartographie des habitats aquatiques d'intérêt communautaire dans le SIC « Petite Camargue » (FR 9101406). Tour du Valat, 130p

Venice System (1958). The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity. *Limnology and Oceanography* 3:346–347

11 Remerciements

L'ensemble de l'équipe du projet CHAMILA tient à remercier en particulier le Pôle Relais Lagune et les membres des différentes structures de gestion pour leur disponibilité, la mise à disposition de données et les échanges fructueux lors de la présentation des résultats.