# État de conservation des "Lagunes côtières" d'intérêt communautaire (UE 1150\*) : Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000

Annexe façade méditerranéenne

# **CLASSEUR TECHNIQUE**













# Note préalable

Ce classeur technique est une annexe, pour la façade méditerranéenne, du document référencé ci-après :

<u>LEPAREUR F., BERTRAND S., MORIN E., LE FLOC'H M., BARRE N., GARRIDO M., RIERA L., MAUCLERT V., 2018. État de conservation des "Lagunes côtières" d'intérêt communautaire (UE 1150\*). Méthode d'évaluation à l'échelle du site - Guide d'application (Version 2). Rapport UMS PatriNat - Muséum national d'Histoire naturelle, Pôle-relais lagunes méditerranéennes, 81p.</u>







Ce classeur a été réalisé dans le cadre du Life 016 IPE FR001 Marha coordonné par l'OFB avec 13 autres partenaires.

### www.life-marha.fr

Ce document ne reflète que l'opinion des auteurs, la Commission européenne n'est pas responsable de toute utilisation qui pourrait être faite des informations qu'il contient.

### Remerciements

Ce classeur technique a été réalisé dans le cadre du Life Marha (Marine Habitats) avec l'expertise de l'UMS PatriNat, sous la coordination rédactionnelle des 3 structures porteuses du Pôle-relais lagunes méditerranéennes : la Tour du Valat, le Conservatoire d'espaces naturels d'Occitanie et l'Office de l'Environnement de la Corse.

Les fiches techniques ayant été enrichies de propos d'experts thématiques et parfois rédigées avec leur concours, nous les remercions pour leurs contributions scientifique et technique (par ordre alphabétique): Frédéric Andrieu (CBN Med), Doriane Blottière (IUCN), Cyril Cottaz (CBN Med), Valérie Dérolez (Ifremer), Brian Four (Université de Corse), Patrick Grillas (Tour du Valat), Nathalie Mallet (Ifremer), Jean-Baptiste Mouronval (SMCG), Dominique Munaron (Ifremer) et Vincent Ouisse (Ifremer), Vanina Pasqualini (Université de Corse), Carole Piazza (CBNC) et Yohan Petit (CBNC).

En retour des expériences de première mise en œuvre de la méthode d'évaluation et de ses indicateurs, nous remercions le Syndicat mixte des étangs littoraux SIEL et le syndicat mixte RIVAGE, d'avoir partagé leurs réflexions et les outils pratiques qu'ils ont créés lors de la prise en main de la méthode.

Nous remercions également les responsables de la coordination et de la communication du Life Marha à l'Office Français de la Biodiversité pour leur appui indispensable dans la production de ce classeur, et en particulier Yann Souche, infographiste du Life Marha, concepteur de la charte graphique de cet outil et de son édition graphique.

Enfin, nous remercions les personnes qui ont partagé des illustrations ainsi que leurs auteurs respectifs.

L'équipe du Pôle-relais lagunes méditerranéennes www.pole-lagunes.org

Crédits photographiques de la page de couverture : N. Barré (CEN Occitanie), S. Baudouin (SMCG), O. Bonnenfant (OEC), Collectivité de Corse, M. Garrido (OEC), A.Touzet (Corse Images Sous-Marines).

### Pourquoi un classeur technique en accompagnement du guide de la méthode nationale d'évaluation de l'état de conservation des lagunes côtières méditerranéennes ?

Les indicateurs de cette méthode d'évaluation nécessitent un certain niveau d'expertise pour leur application sur un site. Les retours d'expérience sur le test de la méthode ont conduit à la mise en place de **fiches techniques pour chaque indicateur**, permettant ainsi de **standardiser leur évaluation**, **faciliter la prise en main des protocoles et de comprendre les critères de notation** attribués à chaque indicateur évalué. En complément du guide d'application de la méthode d'évaluation, il s'est avéré nécessaire d'apporter des précisions sur la provenance des protocoles et des notations de chaque indicateur, en particulier pour celles qui émanent des campagnes de suivis des Masses d'Eau de Transition (MET) au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

Ce classeur technique, annexe du guide d'application de la méthode d'évaluation, est à destination de tout opérateur susceptible d'évaluer l'état de conservation de l'habitat lagune côtière, dont les techniciens de gestion des lagunes des sites Natura 2000. C'est un outil technique qui s'efforce d'être opérationnel et pragmatique.

Les **fiches descriptives des 12 indicateurs** reprennent des informations clefs fournies dans la première version de la méthodologie. Ces informations ont été mises à jour grâce à la contribution d'experts scientifiques et à une recherche de la bibliographie scientifique associée à ces méthodes. Ces informations ont été enrichies d'exemples de valorisation des résultats. A noter que l'indicateur l02 "Macrophytes" est décliné en 3 fiches différentes selon le type de lagune : permanente marinisée ou poly-euhaline (l02a), permanente peu salée ou oligo-mésohaline (l02b) et temporaire (l02c).

### Intégration des résultats de plusieurs indicateurs de la DCE.

Plusieurs indicateurs mis en place pour les suivis de la DCE sur les MET, définissant soit l'état chimique (indicateurs : 110 "Colonne d'eau", 112 "Sédiment", 111 "Contaminants chimiques") soit l'état écologique des lagunes (indicateurs : 101 "Surface d'herbiers", 102a,b "Macrophytes pour les lagunes permanentes marinisées et pour les lagunes permanentes peu salées", 105 "Invertébrés benthiques"), sont repris dans ce classeur en indiquant le type de lagune concerné. Les résultats obtenus lors des dernières campagnes de suivi (DCE et autres programmes de surveillance des MET), serviront alors directement à l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat lagunes côtières. Ces informations sont précisées dans les fiches des indicateurs concernés.

D'autre part, il est précisé sur les fiches indicateurs d'évaluation de la "Connectivité à la mer" (107), de la "Nature des berges" (108) et du "Fonctionnement hydrologique" (109), des éléments qui peuvent également être repris de l'étude portant sur l'hydromorphologie des Masses d'Eau de Transition de la DCE (Stroffek & Giraud, 2016b).

### Principales pièces constitutives du classeur

Ce classeur rassemble plusieurs parties aidant à l'organisation et la mise en œuvre de l'évaluation.

### PARTIE 1 - Fiche descriptive de l'habitat 1150\* "Lagunes côtières" pour la façade méditerranéenne.

Elle présente la définition de l'habitat lagunaire et pose le cadre et les attentes de l'évaluation de l'état de conservation et de son rapportage à l'échelle nationale et européenne. Cette note de **synthèse descriptive de l'habitat lagune méditerranéenne** présente les types de lagunes auxquels s'applique l'évaluation. Les caractéristiques biotiques et abiotiques de l'habitat lagune côtière sont expliquées permettant ainsi d'en faciliter l'identification et d'en déterminer ses limites sur le terrain. La terminologie employée pour définir l'habitat lagunaire et ses critères d'évaluation se retrouvent ainsi dans les fiches. A noter qu'un glossaire a également été mis à disposition dans ce classeur pour définir les termes techniques employés dans les protocoles.

La pièce d'eau (PE) du site est utilisée comme une entité hydraulique intégrée au complexe lagunaire. Il peut s'agir de la lagune permanente principale, comme d'une zone humide de plus petite taille comportant l'habitat "lagunes côtières" 1150\*.

L'objectif de rapportage de l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat est présenté ainsi qu'un rappel du contexte évolutif de l'habitat "lagunes côtières" avec ses différentes pressions anthropiques directes et indirectes. Il est souligné que l'évaluation fournit un argumentaire permettant d'appuyer des actions à porter à l'échelle locale et à l'échelle du bassin versant des lagunes méditerranéennes.

### Rapportage DCE (Directive Cadre sur l'Eau) et lien avec la DHFF (Directive Habitat Faune Flore).

Une obligation de rapportage au niveau européen est imposée par la directive cadre sur l'eau (DCE) à tous les États membres, au regard de l'objectif fixé de rétablir - ou de maintenir lorsque c'est déjà le cas - le bon état des milieux aquatiques. Ils doivent justifier les adaptations prévues et les résultats atteints. Les informations relatives au bassin sont transmises au ministère chargé de l'écologie et du développement durable.

La DCE définit le "bon état" d'une masse d'eau de transition lorsque l'état écologique et l'état chimique de celle-ci sont "bons" à minima.

Le "bon état" écologique <u>des masses d'eau de transition</u> qualifié dans le cadre de la DCE est nécessaire mais non suffisant pour que l'habitat de cette même masse d'eau soit qualifié d'un état de conservation de niveau favorable par la DHFF, d'autres indicateurs entrant en jeu dans le rapportage de l'évaluation de l'état de conservation.

De plus, les informations recueillies par le suivi régulier des indicateurs de la DCE sont utiles à la surveillance de l'état de conservation des habitats aquatiques et humides, notamment en ce qui concerne les paramètres "structures et fonctions".



L'utilisation des résultats des indicateurs suivis dans le cadre de la DCE pour les lagunes permanentes "masses d'eaux de transition" est nécessaire :

- pour les lagunes suivies par la DCE, ces données peuvent être obtenues sur le site de Quadrige ou en contactant l'Ifremer;
- et pour les lagunes non suivies par la DCE, les données doivent être produites selon les protocoles et les calculs de la DCE.

En revanche les lagunes temporaires ne sont pas prises en compte par la DCE, alors que la DHFF considère l'habitat "lagunes côtières" <u>sur l'ensemble des pièces d'eau (PE) d'un site Natura 2000</u>. Des données existent partiellement sur le fonctionnement hydromorphologique de ces lagunes et leur biologie, ce qui implique de les produire suivant les protocoles définis dans la méthode de l'évaluation de l'état de conservation des "laqunes côtières".

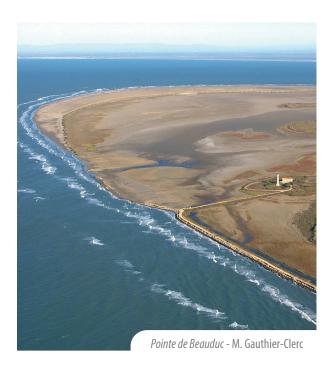
### PARTIE 2 - Préparer son évaluation de l'habitat lagunes méditerranéennes 1150-2.

### Éléments de mise en œuvre par indicateurs, chronologie et coût de mise en œuvre.

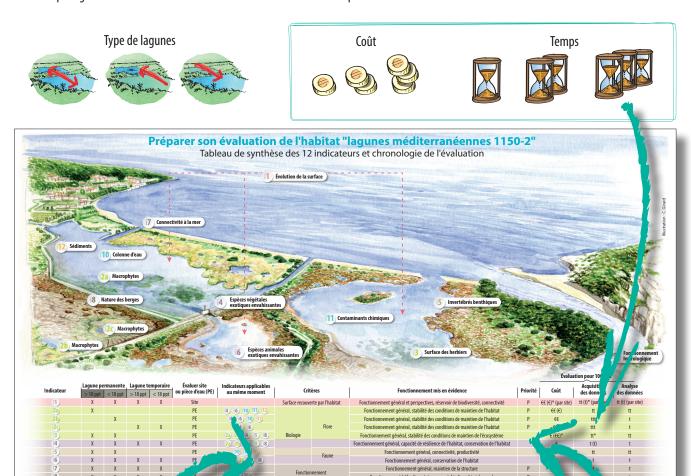
La préparation de l'évaluation sur un site nécessite de prendre du temps pour la planification des tâches et prévoir en conséquence le temps de mise en œuvre et son financement. Pour ce préalable, un tableau rassemblant les indicateurs de la méthode est intégré au classeur, et précise le type de lagune concerné par indicateur et des fourchettes estimatives de temps et de coûts dédiés pour leur évaluation. Ce tableau est, entre autres, accompagné d'une frise chronologique pour repérer les périodes d'application des indicateurs (cf. document A3 en partie 2). Les mêmes éléments pratiques c'est-à-dire (i) le type de lagune concernée, (ii) le coût et (iii) le temps sont également intégrés dans chacune des fiches techniques sous forme de pictogrammes.

À noter que les estimations de coûts ont été produites sur la base de devis reçus et pour les durées estimées sur la base des retours d'expérience propres à l'utilisation des indicateurs.

Dans le cas où les structures opératrices du site Natura 2000 n'ont pas les moyens ou l'expertise nécessaires à l'évaluation de certains indicateurs, ils pourront se concentrer sur les 7 indicateurs indiqués comme "Prioritaires".



Liste des pictogrammes rencontrés sur le document A3 et les fiches techniques :



Indicateurs liés:

i4 i6 i10 i11 i12

Les indicateurs liés sont ceux précisés dans le tableau et applicables sur le terrain au même moment que l'indicateur ciblé dans la fiche. **Cela aide à optimiser le temps et parfois les coûts de mise en œuvre.**  Tous les 6 ans Fin mai à fin juin

Des renseignements sur la périodicité de mise en œuvre de l'indicateur PRIORITAIRE

Les indicateurs prioritaires sont ceux indispensables à l'évaluation pour l'obtention de la note finale à l'échelle du site.

### PARTIE 3 - Fiches techniques Indicateurs de l'évaluation.

### Chaque fiche présente :

- l'objectif de l'indicateur, un rappel des critères d'évaluation, ainsi que des indications pratiques pour sa mise en œuvre. Ces précisions sont données en haut de la fiche (caractère prioritaire de l'indicateur, périodicité de l'évaluation, indicateurs liés applicables sur le terrain au même moment de l'année) et avec des pictogrammes signalant le type de lagune concerné, le coût et le temps dédié à cette application;
- **le protocole de mesure** de l'indicateur, avec ses précisions sur l'échantillonnage et le matériel nécessaire. Pour l'évaluation des indicateurs faune ou flore, les listes d'espèces auxquelles se référer sont également données ;
- la notation de l'indicateur avec ses modalités ;
- et des fiches d'évaluation "terrain" sont insérées en annexes de certaines fiches (Indicateurs macrophytes 102a, 102b et 102c). Ces documents sont également disponibles au format numérique transmis avec ce classeur.

Les informations descriptives de chaque fiche sont présentées de manière synthétique. Selon les besoins de l'opérateur de l'évaluation, des références bibliographiques sont précisées dans chaque fiche et renvoyées à la dernière partie du classeur pour obtenir plus de détails.





## **Sommaire**

**PARTIE 1 PARTIE 2 PARTIE 3** Fiches techniques des indicateurs de la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "Lagunes côtières" (UE 1150\*) . . . . . 19 





### Fiche descriptive de l'habitat d'intérêt communautaire 1150\* "Lagunes côtières" pour la façade méditerranéenne

### I. QU'EST-CE QU'UNE "LAGUNE CÔTIÈRE"?

Nées de phénomènes géologiques variés à l'interface terre-mer, les lagunes offrent une grande diversité de milieux et un fort contraste paysager. Définir ou catégoriser les lagunes selon leurs caractéristiques physico-chimiques, biologiques et leur fonctionnement hydromorphologique n'est pas chose aisée tant la diversité est grande. D'autre part, il existe plusieurs classifications de ces zones humides et typologies de leurs habitats associés, pouvant être de portées nationales, européennes ou internationales. L'utilisation de chacune de ces typologies et classifications est motivée par les objectifs suivis et en particulier selon l'échelle de travail définie.

Définition officielle d'une "lagune côtière" issue du manuel d'interprétation des habitats de l'Union Européenne (Commission Européenne, 2013) « Les lagunes sont des étendues d'eau salée côtières peu profondes, de salinité et de volume d'eau variables, totalement ou partiellement séparées de la mer par des bancs de sable ou des galets, ou, moins fréquemment, par des rochers. La salinité peut varier de l'eau saumâtre à l'hypersalinité en fonction des précipitations, de l'évaporation et par l'ajout d'eau de mer provenant des tempêtes, de l'inondation temporaire de la mer en hiver ou de l'échange des marées. Avec ou sans végétation de *Ruppietea maritimae, Potametea, Zosteretea* ou *Charetea* (CORINE 91 : 23.21 ou 23.22).

Les bassins salés et les étangs salés peuvent également être considérés comme des lagunes, à condition qu'ils aient leur origine dans une ancienne lagune naturelle transformée ou dans un marais salé, et qu'ils soient caractérisés par un impact mineur de l'exploitation ».

Les "lagunes côtières" (Code UE: 1150\*) sont désignées comme d'intérêt communautaire prioritaire par la Directive 92/43/CEE dite "Directive Habitats Faune Flore" (DHFF). Celle-ci liste les habitats d'intérêt communautaire à l'annexe I et leur description est présentée dans le manuel d'interprétation des habitats de l'Union Européenne dont plusieurs versions ont été éditées, la plus récente étant EUR 28 (Communauté Européenne, 2013). La France a précisé la description des habitats du manuel européen par la rédaction des Cahiers d'habitats dont le tome 2 présente l'habitat 1150\* "Lagunes côtières" (Bensettiti et al., 2004). Pour les lagunes côtières, deux sous-types de l'habitat 1150\* y sont distingués :

- les lagunes en mer à marées (façade atlantique ; code 1150\*-1),
- et les lagunes méditerranéennes (code 1150\*-2).

Cependant, c'est actuellement le référentiel national des habitats marins benthiques et sa correspondance avec le manuel d'interprétation des habitats qui permettent de mieux définir et décrire les habitats élémentaires (<a href="https://inpn.mnhn.fr/programme/referentiel-habitats/referentiels-habitats-ou-vegetations">https://inpn.mnhn.fr/programme/referentiel-habitats/referentiels-habitats-ou-vegetations</a>). Ainsi, d'une manière plus rigoureuse, les lagunes méditerranéennes sont définies comme un complexe d'habitats élémentaires. Ces outils (manuel d'interprétation des habitats, cahiers d'habitats et référentiel national) permettent de décrire et de définir les habitats présents au sein d'une zone.

La DHFF impose à chaque état membre **d'évaluer dans les sites du réseau Natura 2000 présents sur son territoire, l'état de conservation des habitats naturels et semi-naturels et des espèces d'intérêt communautaire** pour lesquels les sites ont été désignés. Au-delà de la définition de ces habitats d'intérêt communautaire comme vu au paragraphe précédent, il s'est avéré nécessaire de proposer pour les lagunes méditerranéennes de nouveaux "sous-types" d'habitats différents de ceux décrits plus précisément pour la définition de l'habitat lagunaire. Ces nouveaux sous-types, ou "boites", d'habitats sont alors considérées comme des cibles opérationnelles pour le gestionnaire pour la mise en œuvre de la méthode d'évaluation de l'état de conservation (e.g. mise en place du protocole d'échantillonnage, choix des critères et des indicateurs à relever).



Ainsi pour la méthode d'évaluation de l'état de conservation à l'échelle du site Natura 2000 (Lepareur *et al.*, 2019), nous avons donc retenu pour les "lagunes méditerranéennes" une typologie opérationnelle scindant cet habitat sur les bases : (i) de son **fonctionnement hydrologique** (caractère permanent ou temporaire) et (ii) de son **niveau de salinité** (supérieure ou inférieure à 18 ppt). En effet, pour la façade méditerranéenne, différents auteurs (Barnes, 1980 ; Guelorget & Perthuisot, 1983 ; Kjerfve, 1994 ; McLusky & Elliott, 2007 ; Tagliapietra *et al.*, 2009 ; Newton *et al.*, 2014 ; liste non exhaustive) ont proposé une définition d'une lagune méditerranéenne. L'ensemble de cette bibliographie permet de distinguer trois grands types de milieu lagunaire : (i) **les lagunes permanentes poly-euhalines** dont la salinité est proche du milieu marin, et qui ne s'assèchent pas selon une dynamique saisonnière, (ii) **les lagunes permanentes oligo-mésohalines**, dont la salinité n'excède rarement 18 ppt et dont l'assèchement est exceptionnel et enfin (iii) les **lagunes temporaires**. Leur fonctionnement hydrologique est dépendant des apports marins, d'eau douce (e.g. cours d'eau, pluviaux, ruissellement) ou des lagunes périphériques. La phase d'assec des lagunes temporaires en période estivale peut être plus ou moins lonque (entre 1 à 6 mois).



### Les types d'habitats exclus (Papuga & Klesczewski, 2012).

Il est nécessaire de distinguer les lagunes des autres habitats pouvant présenter des similitudes, notamment au niveau des biocénoses. Les lagunes ne doivent pas être confondues avec :

- les habitats de la série 1160-3, notamment les sables vaseux de mode calme, à salinité égale (ou très proche) à celle de la mer et situés dans des criques plus ouvertes,
- les sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes **1130-2**, présentant une salinité stratifiée (faible en surface, forte en profondeur), caractérisé par la coexistence de deux masses d'eau constamment renouvelées,
- et les lagunes à activité salicole dont l'impact est caractérisé comme "non mineur", c'est-à-dire les tables salantes en activité.

### II. CARACTÉRISTIQUES ABIOTIQUES ET BIOTIQUES DÉFINISSANT L'HABITAT

Dans cette partie, nous nous attacherons à détailler l'habitat "Lagunes côtières" (1150\*) pour la façade méditerranéenne ainsi que ses limites afin de proposer une description regroupant, au mieux, les caractéristiques lagunaires suivant strictement le canevas européen.

#### Géomorphologie

Depuis 1845 (de Beaumont, 1845), de nombreuses hypothèses ont été avancées sur la genèse des lagunes. Schwartz (1971) distingue: les lagunes de submersion, les lagunes d'origine sédimentaire et les lagunes tectoniques. Les lagunes de submersion sont rares. Leurs cordons littoraux sont souvent rocheux et non érodés par la transgression marine. Des travaux plus récents ont permis de préciser le contexte géologique des lagunes (Nichols & Allen, 1981; Guelorget & Perthuisot, 1983; Bird, 1994; Kjerfve, 1994). Deux types de lagunes s'opposent:

- les lagunes dynamiques, édifiées le long des littoraux meubles appelées : lagune sédimentaire ou lagune "sensu stricto" (Guelorget & Perthuisot, 1983);
- et les lagunes inscrites dans un substrat dur appelées : lagune tectonique ou "Bahira" (Guelorget & Perthuisot, 1983).

Au niveau de la **façade méditerranéenne française**, la plupart des lagunes ont une origine sédimentaire et se sont formées durant la transgression marine Holocène. Elles sont généralement de faible profondeur (excédant rarement 2 m) et le lido est formé d'alluvions (sable marin ; e.g. Biguglia, étangs palavasiens, étang de La Palme). Certaines lagunes ont une origine tectonique (e.g. Urbinu, Thau, Bages-Sigean). L'effondrement des terrains côtiers envahis par la mer lors de la transgression marine a permis la formation de ces lagunes dont la profondeur est généralement plus importante (jusqu'à ± 10 m).

Les connaissances liées à la formation géologique des lagunes côtières et à leur fonctionnement permettent de préciser cette typologie basée sur des critères non biologiques. Nichols & Allen (1981) ont proposé une classification fonctionnelle des lagunes sédimentaires relative à la connectivité à la mer ou à leur degré de confinement : les lagunes ouvertes, semi-fermées et fermées. Barnes (1980), Nichols & Allen (1981), Kjerfve (1989) décrivent également **les lagunes de type estuarien** (e.g. Balistra, Sperone). L'opposition du lido aux petits fleuves côtiers dont le débit est peu important, notamment à l'étiage, a permis la formation d'étangs étroits et encaissés. Les environnements deltaïques sont également des milieux propices à la formation de **lagunes dites deltaïques** (e.g. Delta de l'Osu, Delta Camarguais). L'apport important d'alluvions dans les golfes peu profonds a permis l'installation de petits étangs aux embouchures des fleuves. Parmi ces lagunes deltaïques, les plus littorales sont protégées par des flèches littorales dont les formes assez labiles et fragiles (McBride *et al.*, 2013).



#### Caractéristiques physico-chimiques

L'eau est présente dans ces zones humides littorales de manière permanente ou temporaire. Les lagunes d'origine sédimentaire se chargent en sel par le biais de leur communication avec la mer (grau ou passe), par infiltration d'eau marine à travers le lido (Tamborski *et al.*, 2019) et/ou par évaporation. Les phénomènes de dessalure sont dus généralement aux apports dulçaquicoles du bassin versant et/ou de la nappe phréatique. Ces phénomènes de dessalure sont d'autant plus importants lorsque le ratio surface bassin versant/surface lagune est grand, lorsque les bassins versants sont montagneux (en particulier pour la Corse) et que les épisodes pluvieux sont intenses. Un facteur important de l'hydrologie des lagunes réside dans leur communication avec la mer. En Corse, la plupart des lagunes côtières possèdent une communication naturelle qui peut être permanente ou temporaire (comblé par l'accumulation naturelle de sédiments sableux), à l'inverse de la façade continentale française où quelques lagunes seulement ont gardé un grau naturel (étang de La Palme, étang de l'Ayrolle, étang de Pissevaches, étangs de la Grande Maïre et de la Riviérette, étangs de Villepey). Ces communications naturelles font parfois l'objet d'un entretien par les exploitants ou gestionnaires du site concerné. Ce phénomène intermittent induit un fonctionnement écologique saisonnier marqué.

Le paramètre essentiel pour la description de ces eaux est la salinité. Les apports en eau douce et le caractère temporaire ou permanent des échanges avec le milieu marin, confèrent aux eaux lagunaires une salinité variable allant de 0 à plus de 38 ppt¹ (Tournoud *et al.*, 2001).



Classification des lagunes en fonction de la salinité.

Cependant, l'évaporation peut provoquer sur des lagunes confinées et très peu profondes une augmentation de la salinité jusqu'à des valeurs bien supérieures à celles du milieu marin (> à 80 ppt). De plus, contrairement à la mer qui présente une certaine stabilité chimique, les étangs alimentés par les eaux du bassin versant en période hivernale et automnale et qui sont soumis aux sécheresses estivales, présentent des **variations saisonnières importantes de nutriments, de salinité, de température et également un fonctionnement écologique marqué** (e.g. structure et fonctionnement des communautés biologiques). Ces variations sont moins importantes dans les étangs profonds (e.g. Diana, Leucate, Urbino, Thau).

### **Compartiment biotique**

La végétation des lagunes est étroitement dépendante des caractéristiques hydrologiques (e.g. milieu saumâtre ou dulçaquicole) et pédologiques (e.g. sable, limon) qui résultent de l'affrontement des deux influences antagonistes de la mer et du bassin versant, mais également de la pénétration de la lumière (du fait de la turbidité et de la bathymétrie du plan d'eau). La combinaison de ces facteurs conditionne la répartition spatiale et temporelle des groupements végétaux entre eux, le plus souvent en jouant un rôle de facteur limitant.

La végétation est donc un excellent indicateur des conditions hydrologiques (salinité, submersion) saisonnières. Ainsi sur une surface restreinte, nous pouvons distinguer des plantes :

- xérophytes (supportant la sécheresse et nécessaires au maintien des dunes sableuses). Concernant les espèces assez éloignées du plan d'eau et situées sur la dune, nous pouvons retrouver Ammophila arenaria arundinacea (bon indicateur de l'état de conservation du milieu) et pour des espèces plus proches du plan d'eau Elytrigia atherica;
- mésophiles (vivant dans des conditions moyennes de valeur d'un facteur écologique, notamment d'humidité, de température, de richesse du sol). Nous pouvons les rencontrer dans les parties hautes des marais, dans les prairies plus ou moins humides d'arrière-dune ou en période de sécheresse aux abords des lagunes temporaires (e.g. Scirpoides holoschoenus);
- hygrophiles (ayant besoin d'un sol gorgé d'eau ou recouvert d'une mince couche aqueuse ; e.g. *Phragmites australis, Typha ssp., Bolboschoenus ssp.*);
- hydrophiles (vivant immergées dans l'eau ; e.g. *Ruppia cirrhosa, Zostera noltei, Potamogeton pectinatus, Gracilaria spp., Lamprothamnium spp., Ulva spp.*).



Concernant la végétation immergée, elle est directement liée à la salinité des eaux. Dans les étangs à affinités d'eau douce (limniques) et le long des arrivées d'eau douce se développe une végétation dulçaquicole (e.g. *Stuckenia pectinata, Myriophillum spicatum, Najas marina*; Handley & Davy, 2002). Lorsque l'influence des eaux saumâtres se fait sentir une dominance de *Stuckenia pectinata* est observée. Les phanérogames dominantes dans les lagunes de grandes surfaces et lorsque la salinité est proche du milieu marin, sont *Ruppia cirrhosa* et *Zostera noltei* (Verhoeven, 1979; Menéndez, 2002; Pasqualini *et al.*, 2017). Si les surfaces en eau sont relativement faibles et les écarts des conditions de milieu plus accentués le faciès à *Ruppia maritima* est souvent décrit (Bensettiti *et al.*, 2004). Dans les étangs poly-euhalins, *Zostera noltei* est observée, accompagnée bien souvent d'algues rouges et d'algues vertes (en faible quantité dans les lagunes ayant un bon état trophique). Dans les zones les plus proches de la mer ou dans les lagunes ayant une faible variation saisonnière de la salinité, les herbiers de *Zostera marina* et *Cymodocea nodosa* sont signalés. Ils font la transition avec le milieu lagunaire et les herbiers marins (*Posidonia oceanica*). La distribution des macrophytes a été étudiée dans différentes lagunes et des groupes d'espèces ont été définis permettant de classer l'état trophique du milieu (Sánchez & Grillas, 2014; Le Fur *et al.*, 2017). Par exemple, la présence importante d'*Ulva spp.* (macroalque opportuniste) est un marqueur d'eutrophisation.

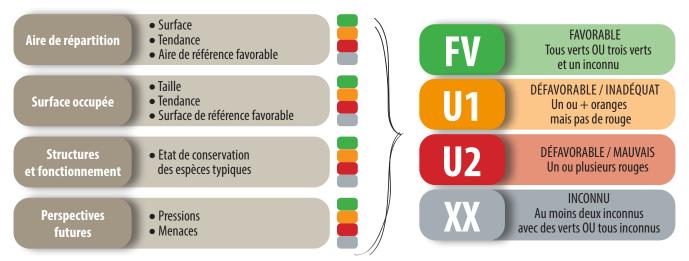
¹ La salinité est la quantité de sel dissout par kilo d'eau de mer. Elle s'exprime en grammes de sel par kilogramme d'eau [g/kg] ou en ppt (Part Per Thousand ou ‰) ou en PSU (Practical Salinity Unit).

#### III. ÉTAT DE CONSERVATION DE L'HABITAT 1150

### Évaluation et rapportage européen

La méthode d'évaluation et le format de rapportage ont été convenus par le comité "Habitats" en mars 2005 (*European Commission*, 2005). Ils sont effectués à différentes échelles (Bensettiti *et al.*, 2004, 2012 ; Klesczewski *et al.*, 2010). L'évaluation de l'état de conservation (EC) se fait à deux échelles : l'échelle biogéographique et à l'échelle du site Natura 2000.

L'évaluation de l'EC à l'échelle biogéographique d'une espèce ou d'un habitat (cf. Figure ci-dessous) inclut des éléments de diagnostic basés sur l'état présent (3 paramètres) et elle considère également les perspectives et évolutions futures de cet état, basées sur des menaces prévisibles et évaluables (1 paramètre). Ces 4 paramètres sont évalués indépendamment puis permettent de conclure sur l'évaluation globale de l'habitat selon un principe de précaution. 4 catégories de résultats sont définies pour l'évaluation de ces paramètres ainsi que pour l'évaluation globale : favorable (FV), défavorable inadéquat (U1), défavorable mauvais (U2) ou inconnu (XX).



Présentation schématique de la méthode d'évaluation de l'état de conservation des espèces et des habitats.

La méthode d'évaluation de l'EC (Fig.1) à l'échelle du site est un outil d'aide à la gestion. En effet, elle permet d'évaluer plus finement les composantes de l'habitat et ainsi permettre de fixer des objectifs de conservation dans le site. La perspective de lier l'état de conservation avec les mesures de gestions effectives sur le terrain mène également à une approche d'évaluation plus fine encore (Klesczewski, 2007). Cette démarche permet notamment de relever les facteurs dégradant de manière précise. À ce titre l'évaluation fait partie du document d'objectifs du site (DOCOB) et contribue aux évaluations périodiques au niveau biogéographique.

Le rapportage, c'est-à-dire la communication des résultats de l'évaluation de l'état de conservation se fait également à deux échelles :

- à l'échelle biogéographique à travers l'article 17 de la DHFF, tous les 6 ans. Les résultats transmis par les différents Etats membres vont permettre à la Commission européenne de disposer d'évaluations au niveau des régions biogéographiques. Cela constitue des macro-indicateurs à l'échelle européenne;
- et à l'échelle du site Natura 2000, à travers le Formulaire Standard de Données (FSD) de chaque site Natura 2000, tous les ans.

### Menaces et pressions influençant l'état de conservation de l'habitat

Comme toutes les zones humides littorales, l'habitat **lagunes méditerranéennes** est menacé. Il est vulnérable face aux fortes pressions anthropiques (agricoles, touristiques, industrielles, urbaines) et au changement climatique. En raison de leur confinement et des apports du bassin versant, les laqunes méditerranéennes sont naturellement riches en éléments nutritifs.

Sous l'action de l'homme, cette qualité intrinsèque est peu à peu devenue une faiblesse. En effet, l'augmentation des activités anthropiques sur les bassins versants a engendré une diversification des sources de pollution (urbaines, agricoles et industrielles) et plus généralement une augmentation des apports en nutriments et contaminants chimiques au sein des milieux côtiers (Cloern, 2001). **L'eutrophisation** des écosystèmes côtiers est un phénomène global, provoquant un déséquilibre du milieu et une dégradation de l'ensemble des services écosystémiques (Cloern, 2001 ; de Jonge *et al.*, 2002 ; Rabalais *et al.*, 2009 ; Kermagoret *et al.*, 2019) : avec des impacts biologiques et écologiques (e.g. qualité de l'eau, mortalité, destruction d'herbiers aquatiques, invasion biologique) mais aussi économiques (e.g. perte de production conchylicole) et touristiques (nuisances olfactives). **L'eutrophisation est la cause majeure de dégradation des lagunes méditerranéennes.** Cependant, nous pouvons constater à l'échelle des lagunes méditerranéennes françaises suivies, une tendance actuelle à la régression de l'eutrophisation, grâce à une meilleure épuration des effluents et une meilleure prise en compte de l'hydrologie (Dérolez *et al.*, 2020 ; Leruste *et al.*, in progress).

Les principaux impacts attendus du changement climatique sur la surface, la structure et le fonctionnement de cet habitat sont liés à une augmentation de la température, du niveau général de la mer Méditerranée (Gualdi *et al.*, 2013) et à un dérèglement du cycle hydrologique des lagunes avec une diminution importante des quantités annuelles des précipitations et une augmentation de la fréquence des événements extrêmes (e.g. sécheresse, inondation). Sous les effets du changement climatique, les eaux souterraines sont amenées à devenir une composante importante du maintien de la biodiversité des lagunes (e.g. risque d'intrusion saline dans les eaux souterraines proches du milieu côtier ; Datry *et al.*, 2007, 2012; Erostate *et al.*, 2020). Ces principaux facteurs peuvent agir en synergie avec des pressions anthropiques présentes sur le bassin versant et peuvent menacer gravement l'habitat.

# En quoi l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "lagunes méditerranéennes" permettra de limiter les impacts des pressions ?

Une prise de conscience grandissante de la nécessité de protéger ces milieux a été observée depuis plus de trente ans. C'est sans doute ce qui a permis de noter une "amélioration" de l'état de conservation des lagunes méditerranéennes à l'échelle biogéographique (cf. résultats DHFF pour 2019). L'atteinte des objectifs fixés par le texte de la DHFF est difficile et couronnée de progrès lents. En effet, il a été observé que la restauration des milieux lagunaires implique des processus différents et généralement plus longs que les mécanismes rapides de dégradation. Cette hystérésis s'explique en partie par le fait que face à des changements environnementaux graduels, les écosystèmes basculent vers des états stables alternatifs (Scheffer & Van Nes, 2007; Duarte et al., 2015).

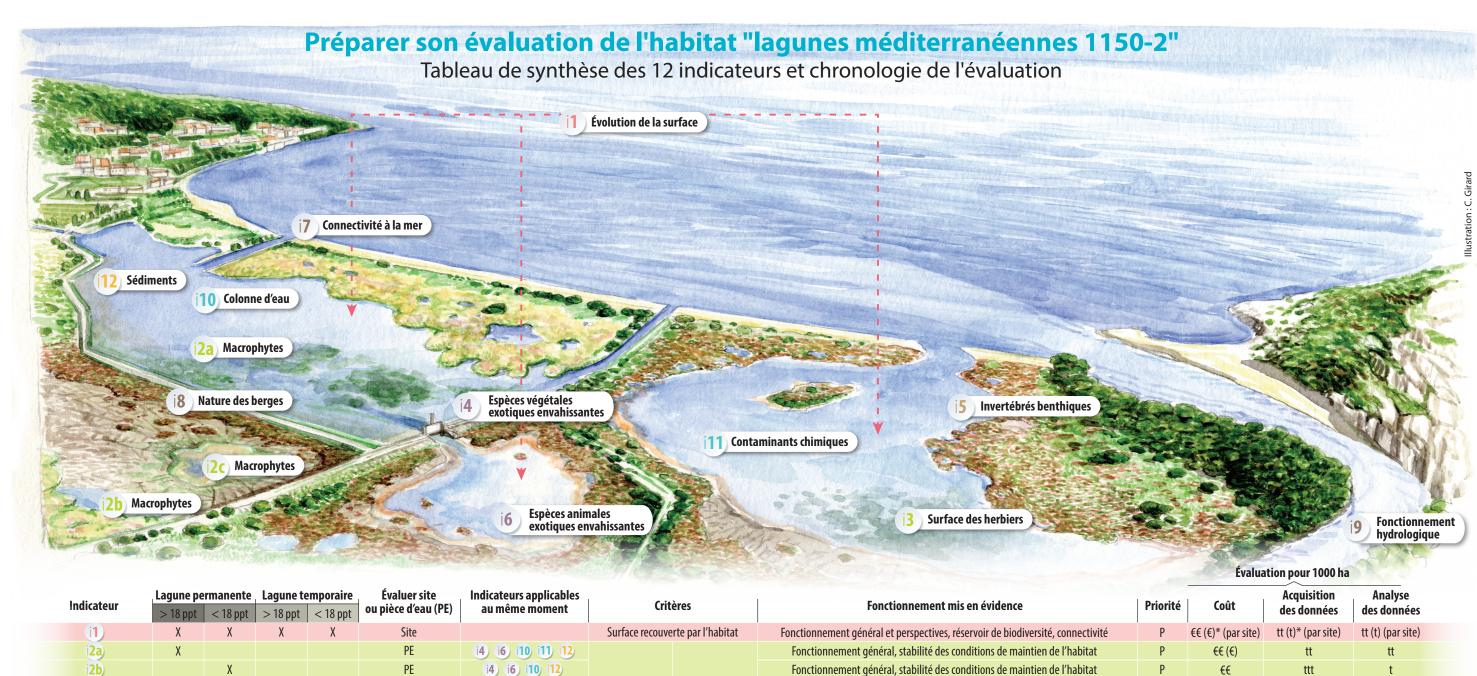
Protéger les lagunes est primordial tant elles ont de rôles importants et essentiels pour l'avenir des zones littorales. À titre d'exemple, conserver cet habitat peut être une mesure d'adaptation au changement climatique puisque cela permet de réduire la vulnérabilité des populations littorales aux impacts de ces aléas. Ces milieux sont des remparts naturels pour lutter contre la submersion marine et continentale (crue).

Selon le troisième rapportage (2019), les "lagunes côtières" pour la région biogéographique méditerranéenne (code UE: 1150\*-2) ont été classées en 2019 comme ayant un "état de conservation défavorable-inadéquat (pour un paramètre, ou globalement)" avec cependant une "tendance à l'amélioration de l'état de conservation entre les 2 rapportages".

L'état de conservation de cet habitat n'étant à ce jour pas ou très peu évalué à l'échelle du site, l'objectivité de l'évaluation à l'échelle biogéographique dépend des personnes référentes, de leur capacité à généraliser à l'ensemble des systèmes lagunaires des connaissances, pour ne pas dire "leur connaissance" de ces milieux (e.g. observation, projet de recherche propre, littérature). **Ces connaissances sont d'ailleurs bien souvent parcellaires et inexistantes sur l'ensemble des milieux lagunaires concernés**. Pour l'habitat "lagunes méditerranéennes" nous avons, et continuons d'acquérir, des connaissances sur les compartiments biologiques, le fonctionnement hydrologique et la qualité physico-chimique des lagunes permanentes et plus spécifiquement celles classées par la France dans la catégorie "eaux de transition" dans le cadre de la Directive cadre sur l'eau (DCE). En revanche, nous n'avons que peu, voire pas du tout, de connaissances sur la surface couverte par les lagunes temporaires et leur fonctionnement.

Effectuer l'évaluation d'un site Natura 2000 tous les 6 ans permet d'assurer un suivi à pas de temps régulier selon les critères fournis. En effet, il sera possible de lier, d'une part, l'état de conservation de cet habitat, tout ou partiellement, avec les mesures de gestions effectives, en intégrant d'autre part la contribution des actions de gestion menée à l'échelle du bassin versant. Les résultats pourront également être des outils d'aide à la décision et appuyer une priorisation des actions de gestion à la faveur de l'habitat et des espèces qu'il abrite.





lu di satanu	Lagune permanente		Lagune to	emporaire	Évaluer site	Indicateurs applicables	Cuit	41	For attenue and misses fortilles as	Priorité	C-A+	Acquisition	Analyse
Indicateur	> 18 ppt	< 18 ppt	> 18 ppt	< 18 ppt	ou pièce d'eau (PE)	au même moment	Crit	tères	Fonctionnement mis en évidence		Coût	des données	des données
<b>i1</b>	Χ	Χ	Χ	Χ	Site		Surface recouv	erte par l'habitat	Fonctionnement général et perspectives, réservoir de biodiversité, connectivité	Р	€€ (€)* (par site)	tt (t)* (par site)	tt (t) (par site)
i2a	Х				PE	i4 i6 i10 i11 i12			Fonctionnement général, stabilité des conditions de maintien de l'habitat	Р	€€ (€)	tt	tt
i <mark>2b</mark>		Χ			PE	i4 i6 i10 i12			Fonctionnement général, stabilité des conditions de maintien de l'habitat	Р	€€	ttt	t
i2c			Χ	Χ	PE	i4 i6		Flore	Fonctionnement général, stabilité des conditions de maintien de l'habitat	Р	€€€	ttt	t
<b>i3</b>	Х	Χ			PE	i2a i2b i4 i5 i8	Biologie		Fonctionnement général, stabilité des conditions de maintien de l'écosystème		€ (€€)*	tt*	tt
<b>i4</b>	Χ	Χ	Χ	Χ	PE	i2a i2b i2c i3 i8			Fonctionnement général, capacité de résilience de l'habitat, conservation de l'habitat		€	t (t)	t
i <b>5</b>	Х	Χ			PE	10 11 12		Faune	Fonctionnement général, connectivité, productivité		€€**	tt	tt
i6	Х	Χ	Χ	Х	PE	i2a i2b i2c i8		ruunc	Fonctionnement général, conservation de l'habitat		€	t	t
i <b>7</b>	Х	Χ	Χ	Χ	PE		Fonction	nnement	Fonctionnement général, maintien de la structure	P	€	t	t
i <b>8</b>	Х	Χ	Х	Χ	PE	i4 i6		rphologique	Fonctionnement (rôle alimentaire, support, biodiversité, échanges)	P	€	tt	t
i <b>9</b>	Х	Χ	Х	Χ	PE		nyuro moi	ipilologique	Fonctionnement général	Р	€	t	t
(10)	Χ	Χ			PE	i11 i12	Qualité	Colonne d'eau	Fonctionnement, risques d'atteintes sur les organismes	Р	€€	t	t
(11)	Х				PE	i2a i3	physico-	colollile d'édu	Risques éco-toxicologiques		€€€	tt (<3h/campagne)	t
i <b>12</b>	Χ	X			PE	10 11	chimique	Sédiment	Fonctionnement, risques d'atteintes sur les organismes	Р	€€	tt (<2h/campagne)	t

<sup>\*:</sup> le coût et le temps augmentent suivant le besoin d'une cartographie initiale | \*\*: variable suivant le niveau d'expertise requis | Temps annuel : t : < ou = à 2h ; tt : entre 2h et 2jrs ; ttt : > à 2jrs ; Coût annuel : € : < 500€ ttc ; €€ : entre 500€ ttc ; €€€ : > 5000€ ttc



# Préparer son évaluation de l'habitat "lagunes méditerranéennes 1150-2"

Tableau de synthèse des 12 indicateurs et chronologie de l'évaluation



























Crédits: M. Foulquié, N. Barré (CEN Occitanie), M. Diaraison (ADENA), O. Bonnenfant (OEC), M. Garrido (OEC), E. Volto/DREAL, S. Befeld, CISM.

En retour du test de la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat lagunes côtières (Barré N. et al., 2018), des conseils et des outils ont été rapportés à la faveur d'une optimisation du temps dédié à l'évaluation. Ci-après, en aide à la préparation de l'échantil-lonnage des pièces d'eau et à l'utilisation des données brutes, vous trouverez des informations relatives à ces outils pour certains indicateurs (liste non exhaustive car évolutive).

Retrouver tous les outils (tableaux Excel, fiches terrains pour les relevés, tutoriels) dans la boîte à outils EC lagunes.

La boîte à outils contient :

- un tutoriel en aide à la cartographie d'habitats naturels sous QGis utilisant Géoclassifier,
- un tutoriel permettant de cartographier les pièces d'eau avec l'habitat 1150-2 et l'état des berges,
- un tutoriel pour faciliter la création d'une cartographie des stations à échantillonner pour les macrophytes en lagunes temporaires (Schoen, 2015),
- un tableau récapitulant l'ensemble des résultats bruts,
- un tableau permettant d'automatiser le calcul de la note globale par pièce d'eau et sur l'ensemble du site,
- un tableau prototypes de saisie des données macrophytes.

#### 1/ CARTOGRAPHIE DE LA SURFACE DE L'HABITAT (101)

- Appui à la cartographie des habitats naturels d'intérêt communautaire: un tutoriel a été réalisé par la Tour du Valat en 2020 pour exploiter une méthode dite de segmentation des habitats sous les logiciels QGis et Geoclassifier. L'objectif est d'aider à l'obtention d'une cartographie plus fine des habitats par une méthode mêlant segmentation semi-automatique des images, photo-interprétation et relevés phytosociologiques localisés. Il est important de bien connaître sur le terrain, les limites entre les zones de transition mixant plusieurs habitats et des zones où un habitat principal est identifié et classable selon les typologies existantes. Cette méthode permet d'optimiser le temps de travail dédié à cette cartographie en regard d'une précision des contours cartographiés plus importante que dans les méthodes entièrement manuelles.
- Évolution des surfaces et intégrité des berges : un tutoriel de cartographie a été réalisé par le SIEL en 2015, pour définir les surfaces et l'état des berges des pièces d'eau (habitat "laqune côtière méditerranéenne" 1150-2) intégrées au DOCOB.

Conseils et préconisation concernant la présence d'îlots: si 3 îlots sont présents sur la pièce d'eau (PE), le polygone ne doit pas les contenir. Lors de la cartographie de l'habitat, il est préférable d'intégrer la surface de l'habitat occupé par ces îlots, hauteur, submersibilité, nature du substrat, mobilité de la structure, permettant alors d'évaluer le risque de perte.

### 2/CARTOGRAPHIE DES POINTS ALÉATOIRES D'ÉCHANTILLONNAGE DES MACROPHYTES EN LAGUNE TEMPORAIRE (102c)

Suite à la cartographie des pièces d'eau de l'habitat 1150-2, il est conseillé d'utiliser un tutoriel réalisé par le SIEL (2015) permettant de définir les stations à échantillonner dans les pièces d'eau pour l'indicateur macrophytes.

Les classes de superficie sont basées sur celles donnant le nombre de placettes à effectuer (indiquées dans la fiche indicateur macrophytes en lagunes temporaires l02c). Il est nécessaire de prendre en compte l'accessibilité des sites dans l'évaluation du temps de mise en œuvre. Le temps des relevés est extrêmement variable selon la présence ou non de macrophytes.

Il est conseillé de préparer le tableau Excel lié à l'échantillonnage (cf. boîte à outils) pour faciliter la saisie de vos données à partir de vos fiches d'évaluation terrain.

### 3/ SURFACE D'HERBIER (103)

La date d'acquisition des données sur le terrain peut influer sur l'interprétation des résultats, ce qui implique de convenir d'une date en suivant les conditions météorologiques des semaines précédentes. Il est intéressant de noter qu'après avoir effectué une cartographie initiale complète des pièces d'eau, les suivis annuels se font sur certaines des "zones à enjeux" identifiées, dans lesquelles des transects permanents sont installés afin de déterminer l'évolution des limites des herbiers en fonction de facteurs anthropiques ou naturels. La caractérisation des herbiers de Magnoliophytes marines peut participer à la surveillance globale de la qualité des eaux lagunaires, mise en œuvre dans le cadre de la DCE. Maintenir cette surveillance en parallèle au suivi DCE, permettrait de déceler toute anomalie au sein de l'herbier et de mettre en place des mesures de gestion adéquates.

### 4/ ESPÈCES ANIMALES EXOTIQUES ENVAHISSANTES (106)

**Précision concernant le recouvrement du cascail :** il est possible de faire un recensement des récifs formés par le cascail via analyse de photographies aériennes. Si cette technique est impossible à réaliser en raison d'une turbidité trop importante, il est possible de réaliser des transects rectilignes de 4m de large, chacun espacé de 100m environ en utilisant une embarcation légère et un GPS (Pichon, 2018).



### Surface de l'habitat

Toutes les lagunes Coût

**Coût** moyen une première cartographie

**Temps** variable

La surface couverte par l'habitat est un indicateur essentiel dans l'évaluation de l'état de conservation au titre de la DHFF (Viry, 2013). Les lagunes sont soumises à de fortes variations environnementales saisonnières (e.g. durée et période d'exondation en fonction de la profondeur de ces milieux). **L'objectif de cet indicateur** est de pouvoir évaluer la surface au travers d'une tendance et non de la chiffrer à un instant *t*.

Deux situations sont à distinguer :

- les pertes d'origine anthropique, correspondant aux remblais ou aux drainages;
- et les pertes d'origine naturelle, correspondant aux dynamiques naturelles qui peuvent favoriser une extension des écosystèmes adjacents.

Une marge de variation est intégrée à la méthode afin de prendre en compte ces changements naturels.



# INDICATI

### **INDICATIONS PRATIQUES**

- Coûts et temps : si la cartographie existe déjà, le coût et le temps impliqués sont faibles. Cependant, s'il s'agit de la réalisation d'une première cartographie du site, les coûts sont plus élevés (30 000€, source : Syndicat mixte des étangs littoraux) et il faudra y passer plus de temps.
- Pour diminuer le coût lié à l'achat de photographies aériennes ou d'images satellite, prendre les contraintes les plus restrictives pour l'achat d'une seule image servant aux 2 indicateurs 101 "surface de l'habitat" et 103 "surface de l'herbier".
- Un suivi additionnel (tous les 2-3 ans) permet d'obtenir des données intéressantes afin d'observer des tendances et des variations fines de la surface de l'habitat (e.g. perte d'habitat). Cette périodicité est d'autant plus importante pour les lagunes temporaires dont la surface va être fortement impactée par l'avancée de l'assec.

# PROTOCOLE

L'échantillonnage se fait de manière systématique sur toutes les pièces d'eau du site.

L'évaluation de la perte de surface est réalisée en comparant une surface observée à une surface de référence. Cette référence est définie par la surface identifiée dans le DOCOB, ou si ce n'est pas satisfaisant, par la surface fixée lors de la première évaluation de l'état de conservation, qui doit tenir compte de la surface totale de l'habitat.

L'évolution de la surface doit être mesurée par combinaison d'un Système d'Information Géographique (SIG) et de **vérifications terrain**. Les données SIG peuvent être obtenues gratuitement (e.g. BD Topo de l'IGN, Géoportail). **Une résolution de 30 m minimum est conseillée (les images obtenues par Spot ou Landsat auront généralement une résolution minimale de 10 à 30 m).** 

**Pour les habitats en polygones isolés,** l'évaluation de la surface couverte peut se faire via :

- l'utilisation d'un logiciel SIG (e.g. étude d'orthophotographies, de photos aériennes) pour les polygones dont le diamètre ou la longueur sont supérieurs à 30 m. Si le site contient plusieurs plans d'eau isolés, la surface de l'habitat correspondra à la somme des surfaces;
- et le passage de terrain au moment du pic de végétation (généralement à la fin du printemps) et mesure au triple décamètre des dimensions de l'habitat pour les polygones dont le diamètre ou la longueur sont inférieurs à 30 m ou si l'habitat n'est présent que de façon ponctuelle.



Pour les polygones connectés en réseau (nombreuses pièces d'eau proches), la surface évaluée sera la surface du polygone convexe à l'ensemble des polygones contenus dans le réseau (Mistarz, 2016). En plus des mesures de l'évolution de la surface, l'indicateur doit être contextualisé. Les causes de la régression sont donc à renseigner; cette dernière peut être d'origine naturelle (évolution vers un autre habitat) ou être due à une destruction de l'habitat (Charles & Viry, 2015).

À noter qu'une méthode semi-automatique de cartographie sollicitant des outils récents de la segmentation est présentée en tutoriel dans ce classeur (cf. partie analyse et valorisation des résultats). Ces techniques permettent d'atteindre des résultats de délimitation des habitats naturels plus fins, et permettent de suivre plus efficacement les secteurs à enjeux au fil du temps.

# NOTE DE L'INDICATEUR

Pour cet indicateur, il n'y a pas de note numérique mais seulement une description de l'état de conservation par rapport aux pertes de surface observées :

Modalité	État
Surface stable ou en progression	Bon
Perte de surface d'origine naturelle	Bon, à surveiller
Perte de surface d'origine anthropique	À surveiller



Des îlots à laro-limicoles peuvent être aménagés ou se former naturellement au sein d'une lagune amenant donc à une perte de surface de l'habitat initial. Cependant, plusieurs cas sont à distinguer :

- l'îlot est de faible surface comparé à la pièce d'eau, il est d'origine naturelle ou a été placé en prenant en compte son hydromorphologie. Sa structure est composée de matériaux sédimentaires issus de la pièce d'eau. Dans ce cas, l'îlot peut être considéré comme une composante bénéfique qui sera de plus liée au fonctionnement de référence de l'habitat lors d'intrusions marines ou de crues. Ces pertes ne seront alors pas considérées dans l'évaluation de cet indicateur;
- l'îlot provient d'un aménagement anthropique, sa surface est importante comparée à la pièce d'eau et ne prend pas en compte son fonctionnement hydromorphologique (e.g. positionnement face au courant, dans la zone la plus profonde). Il est composé de matériaux exogènes et a une hauteur non submersible naturellement, imposant donc une gestion hydraulique interventionniste au profit d'espèces et non de l'habitat lagunaire. L'îlot rend alors la pièce d'eau plus vulnérable au comblement sur le long terme et aura un impact globalement négatif pour l'habitat. Dans ce cas, les pertes de surface dues à cet îlot seront intégrées dans les pertes surfaciques d'origine anthropique.

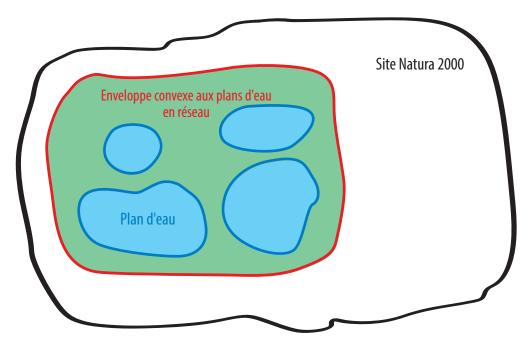


Schéma d'approche en réseau de polygones (ou plan d'eau) à l'échelle du site Natura 2000







#### **AVERTISSEMENT**

Une étude caractérisant les macrophytes des lagunes permanentes suivies dans le cadre de la DCE a été réalisée en 2015 (Giraud & Stroffek., 2016b). Les descripteurs retenus à minima dans cette étude sont suivis une fois par plan de gestion. L'évaluateur pourra s'appuyer sur les données acquises dans le cadre de ce suivi pour décrire le compartiment "macrophytes".

Source : Réseau de Suivi Lagunaire, Lauret et al., 2011. Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon. La méthode relative à cet indicateur a été développée par l'Ifremer, elle est directement issue des démarches mises en place par la Directive Cadre sur l'Eau (Campagne de surveillance DCE 2015 en Méditerranée française) et intègre les changements de l'arrêté\*.

Les phénomènes d'eutrophisation sont souvent accompagnés d'un déclin des phanérogames, au profit d'une prolifération de macroalques opportunistes et/ou de phytoplancton\*\*. L'eutrophisation résulte de l'apport excessif dans la pièce d'eau d'éléments nutritifs azotés ou phosphatés (Le Fur, 2018). Il apparaît donc nécessaire d'évaluer ces éléments nutritifs pour déterminer l'état de conservation des lagunes, en regard d'autres facteurs pouvant affecter la présence des macrophytes, comme par exemple la turbidité de l'eau qui joue sur la pénétration de la lumière dans l'eau.

L'objectif de cet indicateur est de caractériser les communautés macrophytiques des laqunes au travers :

- de l'analyse de la structure du peuplement végétal (abondance, composition et diversité floristique), qui renseigne sur le fonctionnement de la
- et de la persistance dans le temps des espèces caractéristiques de l'habitat. Sur le long terme la mesure de cet indicateur pourra permettre également d'avoir une vision sur la trajectoire écologique de la lagune (Pasqualini *et* al., 2017).

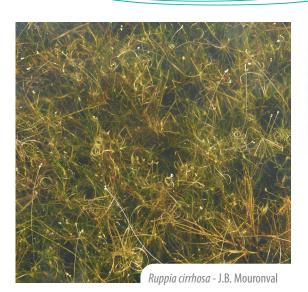
## ATTENTION

L'hydrologie de l'année est importante à considérer avant la mise en place de cette évaluation. En effet, ce facteur peut considérablement impacter la présence/absence des macrophytes et constituer un biais non-négligeable pour l'interprétation des résultats. Pour cela, on pourra étudier les conditions climatiques de l'année en cours et les comparer aux moyennes afin d'établir s'il s'agit d'une année représentative des conditions hydrologiques "normales".

> Les lagunes marinisées font référence aux lagunes polyhalines (salinité: 18-30 ppt) et euhalines (salinité: 30-40 ppt)



ON CONSIDÈRE ICI LES LAGUNES **DONT LA SALINITÉ EST SUPÉRIEURE À 18 ppt** 



### INDICATIONS PRATIQUES

- Coût et temps : les relevés de terrain peuvent être très chronophages. La durée dépendra de la présence ou non de macrophytes, la surface à couvrir et la navigabilité de la pièce d'eau (pour les grandes masses d'eau). Il faut, de plus, compter du temps pour le traitement des données (2-3 jours).
- Pour les lagunes suivies par la DCE, les données relatives à cet indicateur peuvent être obtenues en contactant l'Ifremer.
- \* L'arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-18 du code de l'environnement.
- \*\* Les macrophytes intégrent les macroalques et les phanérogames (herbiers de zostères). Ces dernières sont considérées pour la plupart (Zostères, Ruppia et Cymodocées) comme des espèces de référence, c'est-à-dire caractéristiques d'un milieu lagunaire en bon état.

# ROTOCOLE

Un réseau de stations d'échantillonnage est établi sur le principe d'un maillage régulier, à raison de :

- 1 point tous les 100 ha pour les lagunes de plus de 1 000 ha,
- 1 point tous les 50 ha pour les lagunes entre 100 et 1 000 ha,
- pour les lagunes de moins de 50 ha, il est recommandé de faire une mesure centrale et d'y ajouter une ou plusieurs mesure(s) périphérique(s) pour plus de représentativité (hors protocole DCE).



Transect, étang d'Urbino - M. Garrido

Les campagnes de prélèvement se déroulent lors de la période de pic d'abondance maximale (fin mai à fin juin) et avant les mortalités estivales (Circulaire DCE 2007/20). Les points dont la profondeur est supérieure à 6 m (réputés sans herbiers) doivent être replacés dans une zone de moindre profondeur. Si toutes les lagunes ne peuvent être suivies la même année pour des raisons de logistique, une rotation est opérée. Ce pas de temps entre plusieurs sessions sera donc à repréciser dans les rapports issus de l'évaluation (fiches FSD¹, DOCOB). Un plan d'échantillonnage aléatoire représentatif de l'intégralité du site est nécessaire pour les sites de plus de 100 pièces d'eau.

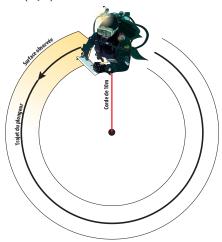
Cet indicateur "macrophytes" est donné sous forme d'un EQRMAC (pour "Ecological quality ratio" ou ratio de qualité écologique, MAC pour macrophytes)<sup>2</sup> qui résulte de la combinaison de deux ratios, un d'abondance (EQRA) et l'autre de composition (EQRC).

#### **1 SUR LE TERRAIN**

L'observation des macrophytes est réalisée depuis la surface pour les zones peu profondes (à pied ou depuis un bateau) et grâce à une lunette de calfat ou si possible en plongée pour les zones les plus profondes. La trajectoire suit un cercle autour du bateau, déterminé par une corde de 10 m fixée au mouillage du bateau. Avec une visibilité d'un mètre de chaque côté du parcours, cela représente une surface observée d'environ 120 m² (Fig. 1). Il est souhaitable que cette étape soit réalisée par deux observateurs différents, afin de pouvoir comparer les résultats. Un exemple de fiche est fourni en annexe 1 afin de faciliter les prises de notes sur le terrain.

Les trois métriques relevées sont :

- la richesse spécifique (RS) qui représente le nombre d'espèces présentes,
- le pourcentage de recouvrement relatif par les espèces de référence (RR; NB: cette métrique ne peut être utilisée que lorsque le taux de recouvrement total des végétaux de la station est supérieur à 5%),
- le pourcentage de recouvrement végétal total (RT), qui renseigne sur l'abondance des macrophytes.



Représentation de la zone d'observation. (Source : Réseau de Suivi Lagunaire, 2011).

Les espèces de référence sont les macroalques et les angiospermes présentes en conditions de référence et qui régressent avec l'eutrophisation. Leur liste est indiquée ci-dessous :

Phylum	Espèce	Phylum	Espèce	Phylum	Espèce
Charophytes	Acetabularia acetabulum	Rhodophytes	Antithamnion cruciatum	Rhodophytes	Osmundea pinnatifida
	Bryopsis hypnoides		Centroceras clavulatum		Carradoriella elongata
	Bryopsis plumosa		Ceramium ciliatum		Polysiphonia mottei
	Lamprothamnium papulosum		Ceramium diaphanum		Polysiphonia opaca
	Valonia aegagropila		Ceramium tenerrimum		Polysiphonia sertularioides
	Valonia utricularis		Chondracanthus acicularis		Pterosiphonia parasitica
Ochrophytes	Cladostephus spongiosus		Chondria dasyphylla		Xiphosiphonia pennata
	Cystoseira compressa		Chylocladia verticillata		Pterothamnion plumula
	Dictyota dichotoma		Gelidium crinale		Spyridia filamentosa
	Treptacantha barbata		Gymnogongrus griffithsiae		
Trachéophytes	Cymodocea nodosa		Hypnea valentiae		
	Ruppia cirrhosa		Laurencia microcladia		
	Ruppia maritima		Laurencia obtusa		
	Zostera marina		Lomentaria clavellosa		
	Zostera noltei		Nitophyllum punctatum		

Deux quides d'identification sont particulièrement conseillés dans le cadre de ce suivi :

- quide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon, 2011. Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Région LR;
- quide des Characées de France méditerranéenne, 2016. ONCFS.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Formulaire Standard des Données

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>L'EQR (Ecological quality ratio), ou écart à la référence, est le rapport entre un état observé et l'état que "devrait" avoir le milieu en l'absence de perturbation anthropique. L'EQR est calculé sur la base d'indices, son résultat est un ratio sur une échelle de 0 (état dégradé) à 1(état de référence). (Source : site Internet INRAE).

### 2 VALEUR DE RÉFÉRENCE

Pour chacune des 3 métriques, les valeurs de référence ont été définies à dire d'expert et avec des données de lagunes "de référence" caractérisées par l'absence de pressions anthropiques significatives et où les apports en eau douce sont peu chargés en nutriments.

- métrique 1 : RS > 3,
- métrique 2 : RR = 100%,
- métrique 3 : RT = 100%.

Cela correspond à une couverture végétale de 100%, composée d'un peuplement d'espèces de référence. Dans les conditions de référence, les EQR composition, abondance et macrophytes sont égaux à 1. Les seuils des classes sont ensuite définis à dire d'expert et les EQR correspondants sont définis par des classes d'amplitude égale (pas de 0,2), cf. ci-dessous pour l'EQRC.

#### 3 CALCUL DE L'EOR DE COMPOSITION (EORC)

Il prend en compte le pourcentage relatif de recouvrement des espèces de référence (RR), croisé avec la richesse spécifique (RS). Ce pourcentage est calculé pour l'ensemble des stations qui ont un recouvrement végétal total (RT) **supérieur ou égal à 5%**. Afin de définir un EQRC, il a été défini un pas de valeur de 0,2 afin de couvrir les cing classes de qualités imposées par la DCE.

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
EQRC	[1-0,8]	]0,8 - 0,6]	]0,6 - 0,4]	]0,4 - 0,2]	]0,2 – 0]

Pour calculer la valeur de l'EQRC, on utilise les critères d'encadrement des classes de qualité définies ci-dessus.

Recouvrement végétal total (RT)	Recouvrement relatif des espèces de référence (RR)	Richesse spécifique (RS)	EQRc
RT < 0,05			Non-défini
	RR ≥ 0,5		0,8 RR + 0,2
	$0.05 \le RR < 0.5$		0,444 RR + 0,378
RT ≥ 0,05	0 < RR < 0,05		0,4 RR + 0,2
	DD 0	RS ≥ 3	0,2
	RR = 0	RS < 3	0,1

Les pourcentages des métriques 2 et 3 sont ici transformés en nombres décimaux. Le résultat de l'EQRc est arrondi à la deuxième décimale.

La formule de l'EQRc sous tableau excel est la suivante : =SI(RT<0,05;"nd";ARRONDI(SI(ET(RS<3;RR=0);0,1;SI(ET(OU(RS>3;RS=3);RR=0);0,2;SI(RR<0,05;0,4\*RR+0,2;SI(ET(OU(RR>0,05;RR=0,05);RR<0,5);0,444\*RR+0,378;0,8\*RR+0,2)));2))

### 4 CALCUL DE L'EOR D'ABONDANCE (EORA)

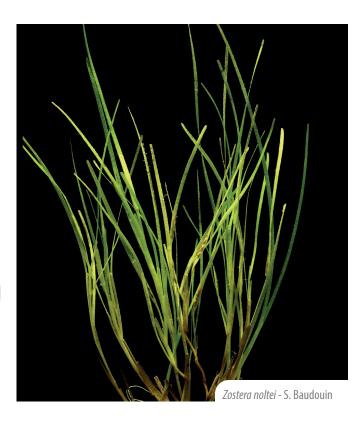
Le paramètre utilisé pour le calcul de l'indice d'abondance est le taux de recouvrement végétal total (RT) qui s'applique à l'ensemble des stations d'échantillonnage, avec une valeur comprise entre 0 et 1 (0 à 100% de recouvrement végétal).

Recouvrement végétal total (RT)	EQRA
0,25 ≤ RT < 1	0,8 RT + 0,2
0,05 ≤ RT < 0,25	RT + 0,15
RT < 0,05	4 RT

Les pourcentages de la métrique 3 sont ici transformés en nombres décimaux.

L'EORA est arrondi à la seconde décimale

La formule sous tableau Excel est la suivante : =ARRONDI(SI(RV<0,05;RV\*4; SI(ET(OU(RV>0;5;RV=0,05);RV<0,25);RV+0,15;RV\*0,8+0,2));2)



#### **5 CALCUL DE L'EOR MACROPHYTES**

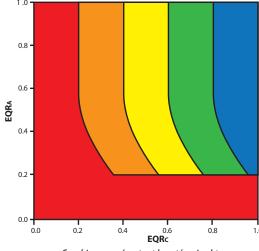
L'EQRMAC (également appelé indicateur EXCLAME) résulte de la combinaison des EQR composition et abondance. Il est basé sur le principe suivant : c'est la présence des espèces de référence, donc la composition, qui va définir en premier lieu la qualité de la masse d'eau et qui sera d'autant plus fortement déclassée que l'abondance ne sera pas satisfaisante (à partir de EQRA < 0,6, soit à partir de la classe de qualité "moyenne"). Le principe de déclassement de l'indice de composition par l'indice d'abondance fonctionne selon le tableau ci-dessous.

EQRC	EQRA	EQRMAC
Non défini		EQRA / 2
Défini	EQRA ≥ 0,6	EQRC
	$(0.6 - EQRA)^2 > EQRC$	0,05
	Sinon	EQRC — (0,6 —EQRA) <sup>2</sup>

La valeur obtenue de l'EQRMAC est arrondie à la seconde décimale.

La formule de l'EQRMAC sous tableau Excel est la suivante : = $ARRONDI(SI(EQRC="nd";EQRA/2;SI(OU(EQRA>0,6;EQRA=0,6);EQRC;SI(OU((0,6-EQRA)^2>EQRC;(0,6-EQRA)^2=EQRC);0,05;E-QRC-(0,6-EQRA)^2)));2)$ 

Le graphique ci-dessous peut également permettre de retrouver l'EQRMAC (moins précis) :



Graphique représentant la catégorie obtenue à partir des EQRC et EQRA

# NOTE DE L'INDICATEUR

L'intégration de cet indicateur, développé dans le cadre de la DCE, dans la méthode calibrée pour répondre aux objectifs Natura 2000 se fait en combinant les classes de EQRMAC avec les modalités/notes nécessaires à la présente méthode.

Modalité	Note
Indice EQRMAC ≥ 0,8	0
Indice EQRMAC < 0,8 et ≥ 0,6	-10
Indice EQRMAC < 0,6 et ≥ 0,4	-20
Indice EQRMAC < 0,4 et ≥ 0,2	-30
Indice EQRMAC < 0,2	-40



### PRÉCISIONS

- Quand le recouvrement végétal total est inférieur à 5%, on considère que l'on ne peut pas faire le diagnostic de la composition du peuplement, celui-ci étant trop réduit pour être représentatif.
- Ces formules de calcul peuvent être appliquées soit au niveau d'une station soit au niveau d'une masse d'eau ou d'une lagune. Dans ces derniers cas, ce sont les valeurs moyennes sur l'ensemble des stations des paramètres caractérisant les peuplements (RT, RR et RS) qui sont utilisées. Pour la richesse spécifique, en cas de calcul de moyenne pour une lagune ou une masse d'eau, la valeur retenue est l'arrondi à l'entier le plus proche.
- Un outil de calcul automatisé des EQR est fourni en complément de cette fiche indicateur (cf. annexe 2).



### ANNEXE 1 FICHE D'ÉVALUATION

# Macrophytes en lagunes permanentes marinisées salinité > 18 ppt

N° DE STATION					DATE ET HEURE				BSERVATEUR	VISIBILITÉ	_ ,	PROF. MOYENNE
			S 200				A 100	(0)				
	RECOU	VREME	NT DE	LA STA	TION (F	RT)			Homogène	Hétérogène		
	0	< 10%	25%	33%	50%	66%	75%	100%	Observations			

RR =

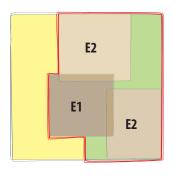
### RECOUVREMENT RELATIF DES ESPÈCES DE RÉFÉRENCE (RR)

Espèces de la liste ci-contre	% du RT
E1	
E2	
E3	
E4	
E5	
E6	
E7	
E8	
E9	
E10	

Antithamnion cruciatum Bryopsis hypnoides Bryopsis plumosa Carradoriella elongata Centroceras clavulatum Ceramium ciliatum Ceramium diaphanum Ceramium tenerrimum Chondracanthus acicularis Chondria dasyphylla Chylocladia verticillata Cladostephus spongiosus Cymodocea nodosa Cystoseira compressa Dictyota dichotoma Gelidium crinale

Acetabularia acetabulum

Laurencia microcladia Laurencia obtusa Lomentaria clavellosa Nitophyllum punctatum Osmundea pinnatifida Polysiphonia mottei Polysiphonia opaca Polysiphonia sertularioides Pterosiphonia parasitica Pterothamnion plumula Ruppia cirrhosa Ruppia maritima Spyridia filamentosa Treptacantha barbata Valonia aegagropila Valonia utricularis Xiphosiphonia pennata Zostera marina Zostera noltei



Surface sans macrophyte

Autre macrophyte qui n'est pas dans la liste de référence

Gymnogongrus griffithsiae

Lamprothamnium papulosum

Hypnea valentiae

Recouvrement total (RT) = 66 %

(occupé par toutes les espèces E1 + E2 + les autres macrophytes)

Recouvrement relatif d'espèces de référence RR (%):

E1 = 25 %

E2 = 50 %

Richesse spécifique (RS) = 2











# **PRÉSENTATION DE L'OUTIL EXCEL POUR LE CALCUL DE L'EQRMAC** les espèces de référence sont ici exprimées en pourcentage du RT

Exemples:

Date	01/07/2021	01/07/2021	01/07/2021	entrez la date
Nom de la PE (pièce d'eau)	GP A	GP B	GP B	entrez la date
Numéro de relevé	1	1	7	entrez le nom de la piece d'edd entrez le numéro de la zone de relevé
Salinité	23	22	25	entrez la salinité mesurée (facultatif)
Acetabularia acetabulum	0	0	0	entrez la summe mesaree (lacaitatii)
Antithamnion cruciatum	0	3	0	
Bryopsis hypnoides	0	0	0	
Bryopsis plumosa	0	0	0	
Carradoriella elongata	0	0	24	
Centroceras clavulatum	0	0	0	
Ceramium ciliatum	0	0	0	
Ceramium diaphanum	0	0	0	
Ceramium tenerrimum	0	0	0	
Chondracanthus acicularis	0	0	0	
Chondria dasyphylla	0	0	0	<u> </u>
Chylocladia verticillata	0	0	0	
Cladostephus spongiosus	0	0	0	
Cymodocea nodosa	0	0	0	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	0	0	0	
Cystoseira compressa				
Dictyota dichotoma Gelidium crinale	0	0	0	
	0	0	0	Documento voletife
Gymnogongrus griffithsiae	0	10	0	Recouvrements relatifs
Hypnea valentiae	0	0	0	₩ de chaque espèce / <b>—</b>
Lamprothamnium papulosum	0	0	0	de référence
Laurencia microcladia	0	0	0	ue reference
Laurencia obtusa	0	0	0	
Lomentaria clavellosa	0	15	0	
Nitophyllum punctatum	0	0	0	
Osmundea pinnatifida	2	0	0	
Polysiphonia mottei	0	0	0	
Polysiphonia opaca	0	0	0	
Polysiphonia sertularioides	0	0	0	
Pterosiphonia parasitica	0	0	12	
Pterothamnion plumula	0	0	0	
Ruppia cirrhosa	0	0	0	
Ruppia maritima	0	0	0	
Spyridia filamentosa	0	0	0	
Treptacantha barbata	0	0	0	
Valonia aegagropila	0	0	0	
Valonia utricularis	0	0	0	
Xiphosiphonia pennata	0	0	0	
Zostera marina	0	0	0	<b>9</b>
Zostera noltei	0	0	0	<u> </u>
Recouvrement spécifique (RS)	1	3	2	
Recouvrement total (RT)	0,04	0,3	0,6	Calcul automatisé
Recouvrement relatif (RR)	0,02	0,28	0,36	de RS, RR et des EQR
EQR(c)	nd	0,5	0,54	
EQR(A)	0,16	0,44	0,68	
EQR(MAC)	0,08	0,47	0,53	0,05

# en lagunes permanentes peu salées

#### **AVERTISSEMENT**

Pour les masses d'eau lagunaires oligo et mésohalines suivies dans le cadre de la DCE, des classes sont attribuées pour qualifier l'état de la masse d'eau pour le compartiment des macrophytes. Celles-ci seront reprises directement pour noter l'indicateur I02b des lagunes suivies par ces programmes de surveillance.

Source : Sánchez et al., 2017. Adaptation des grilles DCE de qualité nutriments, du phytoplancton (abondance et biomasse) et des macrophytes, pour les lagunes oligo et mésohalines. Rapport d'étude Tour du Valat/ONEMA/Agence de l'Eau RM, 65p.

L'objectif de cet indicateur est de caractériser les communautés de macrophytes des lagunes oligo-mésohalines (salinité entre 0,5 et 18 ppt) au travers de :

- l'analyse de la structure du peuplement végétal (abondance, composition et diversité de la flore), qui renseigne sur le fonctionnement de la masse d'eau,
- et de la persistance dans le temps des espèces caractéristiques de l'habitat.

### Cet indicateur ne s'applique pas si le recouvrement végétal total de la lagune est inférieur à 5%.

L'indicateur macrophyte des lagunes oligo-mésohalines de la DCE a fait l'objet d'une première proposition de métrique en 2014 (Sánchez & Grillas, 2014), révisée en 2017 (Sánchez *et al.*, 2017). Les communautés macrophytiques (abondance et composition) sont fortement influencées par la disponibilité de la lumière dans l'eau. Ce paramètre est par conséquent pris en compte dans la méthode grâce à une quantification des matières minérales en suspension (MES minérales) qui ne résultent pas de l'eutrophisation.

# INDICATIONS PRATIQUES

- Temps et coûts: les relevés de terrain et la détermination des espèces sous loupe binoculaire peuvent être chronophages selon la présence ou non de macrophytes, la surface à couvrir et la navigabilité de la pièce d'eau. Il faut, de plus, compter du temps pour le traitement des données (2-3 jours). L'obtention de la valeur de la MES minérale à chaque station nécessite une prestation externe (prévoir entre 7 et 10 euros TTC par échantillon à analyser).
- Deux quides d'identification sont particulièrement conseillés dans le cadre de ce suivi :
  - guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon, 2011. Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Région LR;
  - quide des Characées de France méditerranéenne, 2016. ONCFS.



### **ATTENTION**

L'année de suivi est importante à considérer avant la mise en place de cette évaluation. En effet, l'hydrologie peut considérablement impacter la présence/absence des macrophytes et constituer un biais non-négligeable pour l'interprétation des résultats. Pour cela, on pourra étudier les conditions climatiques pour viser une année représentative des conditions hydrologiques "normales", en comparant, a minima, les moyennes de pluviométrie de l'année (des mois de septembre à mai précédents) aux moyennes globales.



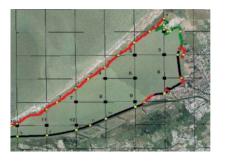
Colmet-Daâge et al., 2019.

Changement climatique et données météorologiques infra-régionales en Méditerranée occidentale. Intégration des connaissances pour les projets "eaux de transition en Méditerranée"



L'échantillonnage recommandé correspond à celui de l'indicateur "macrophytes" des lagunes poly-euhalines dont la salinité est supérieure à 18 ppt.

- Un réseau de station d'échantillonnage est établi sur le principe d'un maillage régulier (Figure ci-contre). Le plan d'échantillonnage recommandé est le suivant :
  - 1 point tous les 100 ha pour les lagunes de plus de 1 000 ha,
  - 1 point tous les 50 ha pour les lagunes entre 100 et 1 000 ha,
  - et pour les lagunes de moins de 50 ha, il est recommandé de faire une mesure centrale et d'y ajouter une ou plusieurs mesure(s) périphérique(s) pour plus de représentativité (hors protocole DCE).



Exemple d'application de la grille sur l'étang de Bolmon (600 ha, in Grillas & David, 2010). 12 stations : 1 station pour 50 ha.

- Les peuplements de macrophytes seront mesurés entre mi-juin et fin juillet, qui correspond à la phase d'abondance maximale précédant d'éventuelles mortalités estivales.
- Si toutes les lagunes ne peuvent être suivies la même année pour des raisons de logistique, une rotation est opérée.

Les différentes mesures effectuées sont :

Métrique 1. Recouvrement cumulé des espèces des groupes 1, 2 et 3 (cf. Tableau ci-dessous) et recouvrement cumulé des espèces des groupes 4 et 5. La métrique de l'indicateur macrophytes est basée sur un groupement des espèces potentiellement présentes dans ce type de lagunes. La constitution de ces groupes a été effectuée par Sánchez & Grillas (2012) et définis en fonction de la valeur indicatrice de chaque espèce. Les groupes reflètent un gradient de tolérance croissante à la dégradation du milieu, du premier groupe vers le cinquième :

- groupes 1, 2, 3 : ces espèces sont peu tolérantes à la turbidité et à un niveau trophique élevé du milieu, ne sont pas capables de survivre à une dégradation continue et poussée de leur habitat ;
- groupes 4 et 5 : ces espèces sont tolérantes à l'eutrophisation du milieu et aux eaux turbides.

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Zostera noltei	Ruppia cirrhosa	Stuckenia pectinata	Ceratophyllum demersum	Monostroma sp.
Chara galioides		Potamogeton crispus	Chaetomorpha sp.	Ulva sp.
Chara tormentosa		Myriophyllum spicatum		Cladophora sp.
Chara hispida		Najas marina		
Chara globularis		Ceramium sp.		
Lamprothamnium		gracilaria sp.		

Groupe d'espèces de référence selon leur valeur indicatrice pour les lagunes permanentes oligo et mésohalines.

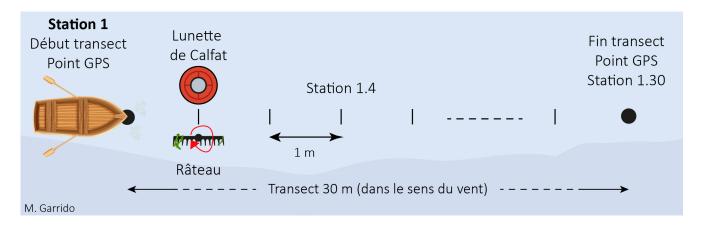
Tracheophytes, 
 Charophytes, 
 Rhodophytes, 
 Chlorophytes

**Métrique 2. Recouvrement total de** *Stuckenia pectinata*. Ce seuil est donné selon un avis d'expert, considérant que si *Stuckenia pectinata* est une espèce abondante dans les lagunes peu salées, une forte dominance (très fort recouvrement) indique une perturbation du peuplement de macrophytes par l'eutrophisation.



Métrique 3. Mesure du taux de matière minérale en suspension (MES minérales). Sur la station un échantillon d'eau d'environ 100 ml est prélevé (il est possible de le prévoir en même temps que les relevés des indicateurs I10 "Colonne d'eau", I12 "Sédiments" ou I11 "Contaminants chimiques"). L'obtention et l'analyse de la MES minérale après calcination des échantillons filtrées est à prévoir en prestation externe. Néanmoins il est possible de prévoir de filtrer l'échantillon d'eau avec des filtres en fibre de verre de type Whatman GFC de 47mm qui auront été préalablement pesés.

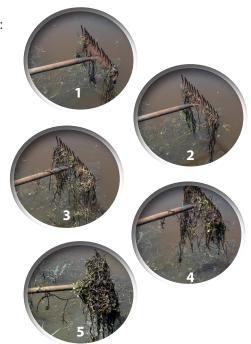
L'observation des macrophytes est effectuée à l'aide d'un râteau depuis un bateau/kayak (Grillas & David, 2010). Dans chaque station, un point fixe est déterminé aléatoirement et les mesures s'effectuent à partir de ce point, sur un transect de 30 m dans une direction choisie (préférentiellement dans le sens du vent pour faciliter la manœuvre). Les relevés de macrophytes sont alors réalisés tous les 1 m le long du transect (cf. Figure ci-dessous). La manipulation du râteau comporte au moins un tour complet sur lui-même au contact du fond. Le point de départ et d'arrivée de chacun des transects fait l'objet d'un relevé GPS.





L'abondance des taxons récoltés est évaluée pour chaque espèce selon un coefficient de 1 à 5 :

	Code	Pourcentage de recouvrement
	1	Quelques fragments (surface < 5%)
	2	Fragments fréquents (5% < surface < 25 %)
	3	Fragments sur l'ensemble (25% < surface < 50%)
Méthode d'évaluation de l'abondance	4	Taxon abondant (50% < surface < 75%)
relative des espèces récoltées au râteau (Photos du râteau :	5	Taxon sur tout l'appareil (surface > 75%)
K. Lombardini).	Х	Présence à proximité du point de prélèvement



Un recouvrement par espèce et par groupe est calculé. Il s'agit de la somme des coefficients d'abondance par points de mesure, divisé par la valeur maximale possible sur le transect (Exemple 5 x 30 points d'échantillonnage = 150). Un recouvrement de 100% pour une espèce se traduit par l'attribution d'un coefficient de 5 pour les 30 points d'échantillonnage au sein d'une placette. Les recouvrements par groupes (recouvrements d'espèces cumulés) peuvent donc dépasser 100% et sont donc ramenés à cette valeur maximum.

# NOTE DE L'INDICATEUR

Les métriques précisent le recouvrement végétal (RV) cumulé des espèces des groupes cités précédemment. La prise de décision quant à la note de l'indicateur se fait suivant le tableau ci-dessous. Les valeurs de référence de la métrique 1 sont : RV (G1+2+3)> 80%, et RV (G4+5)<30%, pour la métrique 2 c'est le recouvrement total de *Stuckenia pectinata*<65%.

Métrique RV (G1+2+3)	MES minérales	Métrique RV S. pectinata	Métrique RV (G4+5)	Classe	Note
		[0 (50/]	[0-30%]	Très bon	0
[1000/ 000/]		[0-65%]	]30%-100%]	Bon	-10
[100%-80%]	-	1650/ 1000/1	[0-30%]	Moyen	-20
		]65%-100%]	]30%-100%]	Médiocre	-30
		[0.650/]	[0-30%]	Bon	-10
1000/ 500/1	-	[0-65%]	]30%-100%]	Moyen	-20
]80%-50%]		1650/ 1000/1	[0-30%]	Moyen	-20
		]65%-100%]	]30%-100%]	Médiocre	-30
1500/ 200/1			[0-30%]	Bon	-10
]50%-20%]	-	-	]30%-100%]	Moyen	-20
	> 10 ma/l		[0-30%]	Bon	-10
1200/ 50/1	≥ 10 mg/l	-	]30%-100%]	Moyen	-20
]20%-5%]	< 10 mg/l		[0-30%]	Médiocre	-30
	< 10 mg/l	-	]30%-100%]	Mauvais	-40
]5%-0]	-	-	-	NA	NA



### FICHE D'ÉVALUATION

# Macrophytes en lagunes permanentes peu salées salinité < 18 ppt

<b>N° DE STATION</b>	DATE ET HEURE	<b>OBSERVATEUR</b>	VISIBILITÉ	PROF. MOYENNE	COORDONNÉES
	Début :		Secchi (cm) :	Salinité : Conductivité : Température :	Début:X: Y: Fin:X: Y:

Code	% de recouvrement sur le râteau							
1	Quelques fragments	(surface < 5%)						
2	Fragments fréquents	(5% < surface < 25%)						
3	Fragments sur l'ensemble	(25% < surface < 50%)						
4	Taxon abondant	(50% < surface < 75%)						
5	Taxon sur tout l'appareil	(surface > 75%)						
Х	Présence à proximité du point de prélèvement							

### Indiquer la classe de recouvrement (1 à 5) dans chaque colonne de sous-station

iroupe   Espèces   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11   12   13   14   15   16   17   18   19   20   21   22   23   24   25   26   27   28   29   30																														
Espèces	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Zostera noltei																														
Chara galioides																														
Chara tormentosa																														
Chara hispida																														
Chara globularis																														
Lamprothamnium																														
Ruppia cirrhosa																														
Stuckenia pectinata																														
Potamogeton crispus																														
Myriophyllum spicatum																														
Najas marina																														
Ceramium sp.																														
Gracilaria sp.																														
Ceratophyllum demersum																														
Chaetomorpha sp.																														
Monostrioma sp.																														
Ulva sp.																														
Cladophora sp.																														
	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei  Chara galioides  Chara tormentosa  Chara hispida  Chara globularis  Lamprothamnium  Ruppia cirrhosa  Stuckenia pectinata  Potamogeton crispus  Myriophyllum spicatum  Najas marina  Ceramium sp.  Gracilaria sp.  Ceratophyllum demersum  Chaetomorpha sp.  Monostrioma sp.  Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei  Chara galioides  Chara tormentosa  Chara hispida  Chara globularis  Lamprothamnium  Ruppia cirrhosa  Stuckenia pectinata  Potamogeton crispus  Myriophyllum spicatum  Najas marina  Ceramium sp.  Gracilaria sp.  Ceratophyllum demersum  Chaetomorpha sp.  Monostrioma sp.  Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei  Chara galioides  Chara tormentosa  Chara hispida  Chara globularis  Lamprothamnium  Ruppia cirrhosa  Stuckenia pectinata  Potamogeton crispus  Myriophyllum spicatum  Najas marina  Ceramium sp.  Gracilaria sp.  Ceratophyllum demersum  Chaetomorpha sp.  Monostrioma sp.  Ulva sp.	Zostera noltei  Chara galioides  Chara tormentosa  Chara hispida  Chara globularis  Lamprothamnium  Ruppia cirrhosa  Stuckenia pectinata  Potamogeton crispus  Myriophyllum spicatum  Najas marina  Ceramium sp.  Gracilaria sp.  Ceratophyllum demersum  Chaetomorpha sp.  Monostrioma sp.  Ulva sp.	Zostera noltei  Chara galioides  Chara tormentosa  Chara hispida  Chara globularis  Lamprothamnium  Ruppia cirrhosa  Stuckenia pectinata  Potamogeton crispus  Myriophyllum spicatum  Najas marina  Ceramium sp.  Gracilaria sp.  Ceratophyllum demersum  Chaetomorpha sp.  Monostrioma sp.  Ulva sp.	Zostera noltei  Chara galioides  Chara tormentosa  Chara hispida  Chara globularis  Lamprothamnium  Ruppia cirrhosa  Stuckenia pectinata  Potamogeton crispus  Myriophyllum spicatum  Najas marina  Ceramium sp.  Gracilaria sp.  Ceratophyllum demersum  Chaetomorpha sp.  Monostrioma sp.  Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Ulva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.	Zostera noltei Chara galioides Chara tormentosa Chara hispida Chara globularis Lamprothamnium Ruppia cirrhosa Stuckenia pectinata Potamogeton crispus Myriophyllum spicatum Najas marina Ceramium sp. Gracilaria sp. Ceratophyllum demersum Chaetomorpha sp. Monostrioma sp. Uliva sp.

Groupes d'espèces de référence pour les lagunes oligo et mésohaline : ● Tracheophytes, ● Charophytes, ● Rhodophytes, ● Chlorophytes

Notes:	











L'objectif de l'indicateur "macrophytes" est de caractériser les communautés de macrophytes des lagunes au travers :

- de l'analyse de la structure du peuplement végétal (abondance, composition et diversité de la flore), qui renseigne sur le fonctionnement de la masse d'eau,
- et de la persistance dans le temps des espèces caractéristiques de l'habitat.

L'indicateur "macrophytes" 102c prend en considération le recouvrement d'espèces floristiques de référence et celles indicatrices d'une dégradation sur les lagunes temporaires de salinité inférieure ou supérieure à 18 ppt.

Cet indicateur ne s'applique pas dans le cas d'une flore nulle ou quasi-nulle (<1% de recouvrement).



Pour les lagunes temporaires, il est important de cibler une année hydrologique représentative, ce facteur influençant grandement le développement de la végétation. Il est possible, en observant les précipitations hivernales de septembre à mai, de déterminer s'il s'agit d'une année "extrême" ou pas.



Changement climatique et données météorologiques infra-régionales en Méditerranée occidentale.
Intégration des connaissances pour les projets
"eaux de transition en Méditerranée"

Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes Laboratoire Environnement Ressource Provence Azur Corse Auteurs : Colmet-Daâge R., Malet N., Dufresne C. 2019

### INDICATIONS PRATIQUES

- Coût et temps: les relevés de terrain et la détermination des espèces sous loupe binoculaire peuvent être très chronophages.
  La durée variera en fonction de la présence ou non de macrophytes, la surface à couvrir et la navigabilité de la pièce d'eau (pour les grandes masses d'eau). Il faut, de plus, compter du temps pour le traitement des données (2-3 jours).
- À noter que la fréquence de relevé permet d'obtenir également des données intéressantes pour observer des débuts de tendances et des variations fines de la composition en macrophytes.
- Un suivi additionnel tous les 2-3 ans peut être mis en place par le gestionnaire.





Pour l'échantillonnage à pied il est conseillé de progresser dans le sens contraire du vent pour limiter la turbidité liée au passage de l'observateur, ou bien de multiplier les placettes de taille plus petite autour d'un point d'observation.

#### Périodicité

Suivi à effectuer à la même période de l'année. Idéalement 3 passages durant le printemps (entre avril - mai et juin)

Sinon, veille régulière du gestionnaire lors des passages sur site et à une période de développement maximal des cortèges

### Échantillonnage systématique

Pour chaque placette,

- 1. Évaluer le recouvrement total
- 2. Dresser la liste des espèces hydrophytes enracinées et des macroalques avec leur recouvrement respectif.
- Si trop de pièces d'eau, prévoir un échantillonnage aléatoire (e.g. cas des salins) tenant compte de la variabilité du milieu.

Stratégie d'échantillonnage choisie par l'évaluateur.

L'évaluation du cortège floristique se fait par plusieurs relevés par pièce d'eau (cercles de 2 m de diamètre). La pression d'échantillonnage par pièce d'eau est définie en fonction de la surface de la lagune :

Fourchette de surface (ha)	Nombre de placettes
<0,12	2
0,12 <x<0,34< td=""><td>3</td></x<0,34<>	3
0,34 <x<0,57< td=""><td>4</td></x<0,57<>	4
0,57 <x<0,82< td=""><td>5</td></x<0,82<>	5
0,82 <x<1,1< td=""><td>6</td></x<1,1<>	6
1,1 <x<1,42< td=""><td>7</td></x<1,42<>	7
1,42 <x<1,78< td=""><td>8</td></x<1,78<>	8
1,78 <x<2,22< td=""><td>9</td></x<2,22<>	9
2,22 <x<2,8< td=""><td>10</td></x<2,8<>	10
2,8 <x<3,75< td=""><td>11</td></x<3,75<>	11
>3,75	12

Les placettes sont ensuite réparties sur une grille, avec la possibilité de replacer 1/3 dans des zones d'herbiers si aucune placette n'inventorie une végétation. Ce plan d'échantillonnage a été déterminé par un comité d'experts lors de la première version de cette méthodologie (Lepareur *et al.*, 2013 ; Boj, 2015 ). Deux groupes floristiques ont été constitués pour chacun des sous-types de lagunes temporaires définies (flore de référence et flore indicatrice d'une dégradation) ainsi que la salinité de la lagune qui est à considérer (salinité inférieure ou supérieure à 18 ppt), les listes étant différentes selon le cas :

Nombre de placettes à évaluer.

	LAGUNE TE	MPORAIRE
	Peu salée (< 18 ppt)	Salée (>18 ppt)
	Ruppia maritima	Ruppia maritima
	Ruppia cirrhosa	Ruppia cirrhosa
	Althenia filiformis gr.	Althenia filiformis gr.
	Ranunculus peltatus / baudotii	Tolypella hispanica / salina
Espèces	Tolypella glomerata	Lamprothamnium papulosum
de référence	Chara aspera	Chara baltica
	Chara baltica	Chara galioides
	Chara galioides	Chara canescens
	Chara canescens	Riella helicophylla
	Riella notarisii	Algues rhodophytes (Polysiphonia)
	Algues rhodophytes (Polysiphonia)	
	Stuckenia pectina (A, S)	Stuckenia pectina (A, S)
	Zannichellia spp. (A, S)	Zannichellia spp. (A, S)
	Myriophyllum spp. (A, E, S)	Ranunculus spp. (A)
	Ceratophyllum spp. (A, E, S)	Monostroma spp. (E)
Espèces	Monostroma spp. (E)	Ulva spp. (E)
indicatrices	Ulva spp. (E)	Enteromorpha spp. (E)
d'une dégradation	Enteromorpha spp. (E)	Chaetomorpha spp. (E)
	Chaetomorpha spp. (E)	Cladophora spp. (E)
	Cladophora spp. (E)	
	Chara vulgaris (A)	
	Chara globularis (A)	

Ranunculus peltatus - R. Paradis

Liste des espèces floristiques de référence et indicatrices d'une dégradation en fonction de la salinité de la lagune temporaire. Pour chaque espèce indicatrice d'une dégradation, le type de dégradation dont elle témoigne est précisé entre parenthèses.

A: adoucissement

S: manque d'assec E: eutrophisation

(Com. pers. Mouronval, Grillas & Sánchez, 2016).

Trachéophytes, ○ Charophytes , ○ Chlorophytes ○ Bryophytes

Deux guides d'identification sont particulièrement conseillés dans le cadre de ce suivi :

- guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon, 2011. Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Région LR;
- quide des Characées de France méditerranéenne, 2016. ONCFS.

# NOTE DE L'INDICATEUR

Les moyennes de recouvrement cumulées en espèces de référence (RR) et indicatrices de dégradation (RD) sont calculées par rapport à la surface de la pièce d'eau à partir des recouvrements par placette. Les moyennes obtenues sont mises en regard de la grille ci-dessous pour déterminer la note de l'indicateur.

Modalité	Note	
Flore indicatrice d'une dégradation (RD)	Flore de référence (RR)	
RD ≤ 1 %	-	0
1 % < RD ≤ 10%	RR ≥ 30 %	-10
I %0 < KD ≤ 10%	RR < 30%	-20
DD > 100/	RR ≥ 30 %	-30
RD > 10%	RR < 30%	-40



Certaines espèces de référence présenteront un recouvrement faible même lorsque les conditions du milieu sont idéales. Ainsi, si les seules espèces de référence présentes sont les *Tolypella spp.*, mais qu'elles recouvrent moins de 30 % de la pièce d'eau, cela n'indique pas forcément de dégradation. Dans ce cas, à partir d'un recouvrement supérieur à 1%, il sera possible de relever la note d'un niveau (+10).

## FICHE D'ÉVALUATION

# Macrophytes en lagunes temporaires peu salées salinité < 18 ppt

N° DE STATION DATE ET HEURE							01	BSERVATEUR	VISIBILITÉ		PROF. MOYENNE
		- W								0	
RECOUVREMENT DE LA STATION (RT)								Homogène	Hétérogène		
0	< 10%	25%	33%	50%	66%	75%	100%	Observations			

0	% du RT
E1	
E2	
E3	
E4	
E5	
E6	
E7	
E8	
E9	
E10	
E11	
E12	

Ruppia m	aritima		
Ruppia cir	rhosa		
Althenia f	liformis gr.		
Ranunculi	ıs peltatus /	bandotii	
Tolypella	lomerata		
Chara asp	era		
Chara balt	rica		
Chara gali	oides		
Chara can	escens		
Riella note	ırisii		
Algues rho	dophytes (F	olysiphonia)	
	-		
_			
	RR =		

RECOUVREMENT ESPÈCES INDICATRICES D'UNE DÉGRADATION (RD)							
Stuckenia pectina							
Zannichellia spp.							
Myriophyllum spp.							
Ceratophyllum spp.							
Monostroma spp.							
Ulva spp.							
Enteromorpha spp.							
Chaetomorpha spp.							
Cladophora spp.							
Chara vulgaris							
Chara globularis							
RD =							

Notes:	***************************************	 						
•••••	***************************************	 	 	 			 	 











## FICHE D'ÉVALUATION



# Macrophytes i2c en lagunes temporaires salées salinité > 18 ppt

	N° DE STATION DATE ET HEURE			RE	01	BSERVATEUR	VISIBILITÉ	PROF. MOYENNE			
L											
		2 80	- /	10 to A 10				Opt 1	-		
RE	RECOUVREMENT DE LA STATION (RT)								Homogène	Hétérogène	
	0	< 10%	25%	33%	50%	66%	75%	100%	Observations		

0	% du RT
E1	
E2	
E3	
E4	
E5	
E6	
E7	
E8	
E9	
E10	
E11	
E12	

RECOUVREMENT DES ESPÈCES DE RÉFÉRENCE (RR)							
Ruppia maritima							
Ruppia cirrhosa							
Althenia filiformis gr.							
Tolypella glomerata							
Lamprothamnium papulosum							
Chara aspera							
Chara baltica							
Chara galioides							
Chara canescens							
Riella notarisii							
Algues rhodophytes (Polysiphonia)							
RR =							

D'UNE DÉGRADATION D'UNE DÉGRADATION DE L'UNE DÉGRADATION DE L'UNE DÉGRADATION DE L'UNE DÉGRADATION DE L'UNE DE	UN (KU)
Zannichellia spp.	
Ranunculus spp.	
Monostroma spp.	
Ulva spp.	
Enteromorpha spp.	
Chaetomorpha spp.	
Cladophora spp.	
	7
RD =	7

Notes:	 	 	 	 











L'objectif de cet indicateur est de formaliser un indice traduisant le développement de l'herbier de Magnoliophytes marines en lien avec son niveau optimal (Papuga, 2012). En effet, s'il est impossible de mesurer le taux de développement de l'herbier nécessaire au maintien de l'écosystème sur le long terme, il est possible de construire une carte de colonisation potentielle en l'absence d'impact humain.

Cette méthode de caractérisation des Magnoliophytes marines fait référence à celle utilisée pour les zostères sur la côte Atlantique française, selon un protocole compatible avec la DCE (Ifremer, 2005a; Ifremer, 2005b).





## **INDICATIONS PRATIQUES**

- Temps et coûts: le coût et le temps à consacrer à la réalisation de la cartographie initiale sont élevés. Dans le cas contraire, un suivi annuel coûtera entre 2 000 et 8 000€ pour un rapport de résultats plus complet (Source : SEANEO, 2016). L'utilisation de photographies aériennes augmente ces coûts: 1 200€ pour 1 000 ha (prises et traitements photos; coût estimatif). Un à deux jours de terrain ainsi que quelques jours d'analyses sont nécessaires pour cet indicateur.
- Pour diminuer le coût lié à l'achat de photographies aériennes ou d'images satellite, prendre les contraintes les plus restrictives pour l'achat d'une seule image servant à la fois à l'indicateur IO1 "surface de l'habitat" et IO3 "surface de l'herbier".
- Un suivi régulier tous les 3 ans permet d'obtenir des données intéressantes afin d'observer des tendances et des variations fines et la mise en place de mesures de gestion adéquates.



## **PROTOCOLE**

## L'intégralité de la lagune est analysée pour cet indicateur.

Cet indicateur est basé sur la création de **deux cartes** par pièce d'eau :

une carte de la surface colonisée par l'herbier est créée par des relevés de terrain (à l'appui d'images issues de photos aériennes ou de prospection en plongée, à pied ou en kayak). Afin de lisser les contours de façon homogène, une carte de la surface concernée (enveloppe globale) par l'herbier est réalisée. Le contour de chaque tâche est redessiné avec une précision fixe (les zones dépourvues d'herbier sont cartographiées "sans herbier" à partir d'une taille équivalente à un cercle de diamètre 20 m ; deux herbiers sont considérés comme distincts dès lors qu'ils sont séparés par une bande de 20 m ayant un recouvrement en phanérogames nul ou inférieur à 5%);

Une vérification de terrain est à réaliser (pointage GPS) pour la photo-interprétation

une carte de la surface potentielle, adaptée à chaque situation locale. Pour cela, il est nécessaire de soustraire à la surface totale de la lagune des "filtres" correspondant à des zones dépourvues d'herbier, afin de délimiter une zone constituant une référence de développement potentiel.

Le filtre de la profondeur : le développement des herbiers étant limité par la pénétration de la lumière (zone euphotique), il convient de procéder tout d'abord à une délimitation des zones pouvant les accueillir. Les lagunes de petite taille ou de faible profondeur seront alors considérées intégralement tandis que pour les lagunes plus grandes et profondes, seul le littoral et les zones de haut-fond seront pris en compte. Cette délimitation peut se faire grâce à des images aériennes ou satellites ou grâce à une étude de la topo-bathymétrie de la lagune.



Le filtre historique: des cartographies historiques des herbiers peuvent apporter des éléments sur la répartition des phanérogames à l'échelle d'une pièce d'eau. Des zones naturellement dépourvues d'herbiers peuvent ainsi être exclues de la cartographie potentielle (e.g. berge battue par le vent). Il convient cependant de manier ces données avec précaution, en raison de la fréquente imprécision de ces cartes.

Le filtre du substrat : certains substrats ne permettent pas l'installation et le développement d'un herbier (e.g. rochers).

Le filtre de stochasticité: certaines zones peuvent être naturellement soumises à de très fortes variations inter-annuelles du développement des herbiers, causées par des variables environnementales (e.g. vent, ensoleillement) indépendantes des pressions humaines. Il convient alors à l'expert de ne pas prendre en compte ces zones, puisque l'interprétation des résultats ne traduirait pas une modification de l'état de conservation de la lagune, mais un aléa climatique.

Ces filtres se superposent afin de former une zone dépourvue d'herbier, qui par contraste va délimiter la surface potentielle de développement de l'herbier.

# NOTE DE L'INDICATEUR

Les deux cartes obtenues permettent de calculer un rapport donnant un indice de développement de l'herbier par rapport à son potentiel :

surface concernée par les herbiers surface potentielle colonisée par les herbiers

Ce résultat est replacé dans la grille ci-dessous pour obtenir la note correspondante :

	Modalités	Note
Rapport ≥ 0,7	[l'herbier est développé à plus de 70% de son potentiel]	0
0,7< Rapport> 0,4	[l'herbier est développé à plus de 40% de son potentiel]	-20
Rapport ≤ 0,4	[l'herbier est développé à moins de 40% de son potentiel]	-40

## INDICATIONS SUR LES MOYENS TECHNIQUES POUVANT ÊTRE UTILISÉS:

- La prospection de terrain à pied ou en kayak, à l'aide d'une lunette de Calfat et d'un GPS, permet de détourer le contour des herbiers d'une manière simple et précise. La précision est fonction de l'effort d'échantillonnage mis en place.
- Les images satellites Sentinel de résolution 10-20 cm (cf. travail sur l'étang du Bagnas) pour des grandes lagunes (voir un spécialiste).
- L'utilisation d'un drone ou d'un autogire doté d'un appareil photo permet d'apporter une résolution ainsi qu'une géolocalisation précises. Néanmoins la réglementation sur l'utilisation des drones est contraignante dans les espaces naturels protégés.
- La photo aérienne par avion : un transect est suivi par un avion qui prend des photos, qui seront ensuite géolocalisées. La précision de résolution est légèrement inférieure à la méthode précédente, mais la géolocalisation est très précise. Les herbiers peuvent ainsi être détourés avec une précision de l'ordre de 30 à 50 cm.
- L'imagerie hyperspectrale aéroportée (cf. travaux sur l'étang de Berre en 2017-2018 ).

NB sur le type d'herbier - Les distinctions entre les herbiers de zostères (*Zostera spp.*) et de ruppies spiralées (*Ruppia cirrhosa*) ne sont généralement pas possibles. Trop peu d'éléments concernant leur écologie sont connus. Cependant, certaines méthodes permettent de distinguer les herbiers monospécifiques des herbiers plurispécifiques, ainsi que les espèces de phanérogames des macroalgues.



**L'objectif de cet indicateur** est d'évaluer la distribution surfacique d'EVEE de chaque pièce d'eau considérée et du linéaire de berge correspondant. Cela permet une détection précoce du développement de certaines EVEE pouvant faciliter la mise en place d'une gestion préventive plutôt que restauratrice.



- Coûts faibles grâce à la combinaison des relevés nécessaires pour la réalisation d'autres indicateurs (cf. Indicateurs i02 "Macrophytes", i03 "surface herbiers", i08 "nature des berges"). Une certaine expertise est cependant nécessaire (reconnaissance des EVEE), ce qui pourra éventuellement augmenter les coûts et demander un temps de préparation important.
- Le protocole offre une flexibilité au gestionnaire qui peut rajouter des espèces ayant des impacts sur la structure ou le fonctionnement du site selon son expérience et la connaissance de son site. Cette approche a l'avantage d'inclure tous les types biologiques, notamment les hydrophytes flottantes ou les algues invasives, qui ne sont pas relevées par ailleurs. NB: pour ces dernières espèces, l'aide d'un spécialiste est souhaitée.



Cet indicateur est basé sur un suivi du recouvrement des espèces exotiques envahissantes dans l'intégralité de la pièce d'eau. Afin de cibler au mieux le développement de ces espèces, deux métriques sont à mesurer :

- la surface de la pièce d'eau colonisée par des végétaux exotiques envahissants. L'échantillonnage et le protocole suivront ceux décrits pour l'indicateur "Macrophytes" (lagunes permanentes, Fiche indicateur 102a);
- et le linéaire de berges colonisées. Le protocole de l'indicateur "Nature des berges" (Fiche indicateur 108) pourra être suivi et impliquera une prospection à pied sur le terrain le long des berges des lagunes, accompagnée d'un pointage GPS et d'un traitement des données par SIG pour une meilleure valorisation des résultats.

Pour les grandes surfaces, un échantillonnage stratifié et représentatif de l'intégralité de la lagune pourra être mis en place par le gestionnaire.

Une liste d'espèces non indigènes présentes dans les lagunes et/ou autour, a été produite (Tableau ci-dessous). Dans cette liste sont distinguées les lagunes salées (>18 ppt) et les lagunes peu salées (<18 ppt). La liste regroupe les espèces classées selon la liste du Conservatoire Botanique National (CBN) Méditerranéen (2014) et du programme régional du CBN de Corse (2019). Entre parenthèses se trouve à titre indicatif, lorsqu'elle est connue, la salinité maximale que tolère l'EVEE.

	Nom	Nom	Statut	Statut *	Statut **
	du taxon	vernaculaire	<b>Occitanie</b>	PACA (Med)	Corse
	Baccharis halimifolia	Séneçon en arbre	Émergente	Majeure	Alerte
	Amorpha fruticosa	Indigo du Bush, Amorphe buissonnante	Émergente	Majeure	Prévention
	Paspalum distichum	Paspale à deux épis	Majeure	Majeure	Majeure
ppt	Symphyotrichum novi-belgii	Aster à feuilles de Saule	Émergente	Majeure	Prévention
18 г	Alternanthera philoxeroides (18 ppt)	Herbe à alligator	Absente	Émergente	Prévention
ν.	Lemna minuta (12 ppt)	Lentille d'eau minuscule	Émergente	Émergente	Alerte
alée	Hydrocotyle ranunculoides (7 ppt)	Hydrocotyle fausse renoncule		Prévention	Prévention
S n	Ludwigia grandiflora (6 ppt)	Jussie à grandes fleurs	Émergente	Émergente	Prévention
-agunes peu salées	Ludwigia peploides (6 ppt)	Jussie rampante	Majeure	Majeure	Émergente
nue	Myriophyllum aquaticum (8 ppt)	Myriophylle aquatique	Émergente	Émergente	Alerte
Lag	Azolla filiculoides (10 ppt)	Fougère d'eau	Émergente	Modérée	Émergente
	Heteranthera limosa	Hétéranthère des marais	Alerte	Émergente	Prévention
	Heteranthera reniformis	Hétéranthère réniforme	Alerte	Émergente	Prévention
	Ammannia coccinea (5 ppt)	Ammannia écarlate	Alerte	Alerte	

	Nom	Nom	Statut	Statut *	Statut **
	du taxon	vernaculaire	<b>Occitanie</b>	PACA (Med)	Corse
	Sargassum muticum	Sargasse japonaise			
	Melanothamnus harveyi	Polysiphonie de Harvey			
3 ppt	Colpomenia peregrina	Voleuse d'huîtres			
> 18	Baccharis halimifolia	Séneçon en arbre	Émergente	Majeure	Alerte
es	Amorpha fruticosa	Indigo du Bush, Amorphe buissonnante	Émergente	Majeure	Prévention
salées	Symphyotrichum x salignum	Aster à feuilles de saule	Émergente	Majeure	Prévention
nes	Caulerpa taxifolia	Caulerpe à feuilles d'if			
Lagunes	Valonia aegagropila	Valonie en pelote			
	Codium fragile	Algue chou-fleur			
	Caulerpa cylindracea	Caulerpe raisin			

Liste d'espèces végétales non indigènes présentes dans les lagunes et à proximité.

\*Liste\_EVEE\_PACA\_CBNA\_CBNMed\_2020:invmed.fr \*\*Liste\_EVEE\_CBN de Corse\_2019

NB: Les anciens statuts en Languedoc-Roussillon étaient basés sur une distinction entre les espèces de la liste noire (celles dont le risque est fort) et les espèces de la liste grise (présentant un risque fort dans un pays proche). Ces statuts ont été retranscrits en utilisant les statuts PACA, reposant sur les mêmes critères. Un travail d'élaboration d'une liste complète est en cours de finalisation.

La distinction entre liste noire et grise mentionnée dans le quide méthodologique n'est plus mentionnée dans ces fiches techniques.

## Outils de veille réglementaire et sources de données sur les EEE :

# INVMed www.invmed.fr

Actualité sur les EEE, réglementation, supports de communication, agenda des acteurs et préconisations de gestion, retours d'expériences en région.

- le site d'InvMed (Espèces Végétales Exotiques Envahissantes Alpes-Méditerranée) est l'outil de diffusion des informations collectées par le Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles CBN Med. Pour chaque espèce, le statut (Prévention, Émergente, Modérée, Majeure, Alerte...) est donné pour les régions PACA et Languedoc-Roussillon. Site: <a href="http://www.invmed.fr/">http://www.invmed.fr/</a>
- **Cet outil fournit la liste à jour des EVEE et EVEpotE (potentiellement envahissants)** (Terrin *et al.*, 2014).
- Une nouvelle réglementation, traduction en droit français de la réglementation européenne, est entrée en vigueur en France en 2018 pour limiter les effets négatifs de ces espèces. Elle définit une première liste de 49 espèces dont 23 espèces végétales. Cette liste est évolutive au gré des menaces identifiées pour l'Europe et notamment la France. Pour vous tenir informé de l'ajout de nouvelles espèces, consultez régulièrement la page dédiée du site du ministère de la Transition écologique et solidaire: <a href="https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/especes-exotiques-envahissantes">https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/especes-exotiques-envahissantes</a>

Vous cherchez de l'aide pour faire face aux EEE, consultez le **CENTRE DE RESSOURCES** www.especes-exotiques-envahissantes.fr

Contact : contact@cdr-eee.fr

# NOTE DE L'INDICATEUR

La note s'obtient à partir du rapport entre la surface totale colonisée et la surface totale de la pièce d'eau évaluée, ainsi que le rapport entre le linéaire de berges colonisées et le linéaire total de la pièce d'eau. Le pourcentage obtenu sera ensuite confronté aux seuils indiqués dans la grille ci-dessous pour obtenir une note :

Modalités	Note
Moins de 1 % inclus du linéaire de berge ou de la surface est colonisé(e)	0
par une espèce végétale exotique envahissante	0
Entre 1 et 10 % inclus du linéaire de berge ou de la surface colonisé(e)	г
par une espèce végétale exotique envahissante	-5
Plus de 10 % du linéaire de berge ou de la surface est colonisé(e)	10
par une espèce végétale exotique envahissante	-10

Avertissement : un suivi annuel est réalisé sur toutes les lagunes poly- et eu-halines (salinité ≥ 18 ppt) dans le cadre de la DCE. Un contrôle opérationnel est réalisé tous les 3 ans sur ces mêmes lagunes (cf. tableau en annexe). Les classes de valeur attribuées pour l'indice invertébrés benthiques seront reprises dans la note de l'indicateur "Invertébrés benthiques".

**L'objectif de cet indicateur** est de permettre une évaluation représentative des communautés d'invertébrés benthiques afin de pouvoir identifier les potentielles sources de perturbation de la lagune. Il est à noter que cet indice présente des limites lorsqu'il est appliqué aux secteurs de salinité faible. L'indicateur Invertébrés benthiques s'appuie sur l'indice M-AMBI. L'indice M-AMBI a été développé afin de caractériser l'enrichissement du substrat en lien avec les communautés d'invertébrés benthiques présentes (Muxika *et al.*, 2005 ; Forchino *et al.*, 2011).

**Note importante:** pour les lagunes ne bénéficiant pas du suivi DCE, la mise en place de relevés à l'échelle locale est complexe. L'outil ne s'applique qu'aux substrats meubles des lagunes poly-eu-halines, échantillonnés en zone centrale de la lagune. L'échantillonnage nécessaire au calcul de l'indice M-AMBI peut se révéler complexe à mettre en place sans expérience préalable. Ces relevés nécessitent un matériel spécifique (Ifremer, 2010) et l'assistance d'un expert pour l'identification des espèces. De plus le calcul de l'indice M-AMBI nécessite une mutualisation de toutes les données de la façade pour que celui-ci soit pertinent. Même si un échantillonnage à l'échelle locale était effectué, les données brutes devraient donc ensuite être transmises à une structure ayant la compétence pour le traitement des données.

# INDICATIONS PRATIQUES

- Temps et coûts: l'expertise nécessaire à l'identification des espèces benthiques est indispensable et représente un coût non négligeable. L'identification par une personne néophyte est très chronophage et complexe.
- Borja & Muxika (2005) donnent des recommandations pour l'utilisation de l'AMBI (qui entre dans le calcul de l'indice M-AMBI) et précisent que
  dans les situations où peu de taxa sont présents, ainsi que dans des systèmes à faible salinité ou ayant un état perturbé naturel, l'outil risque
  d'être moins robuste. Dans des milieux lagunaires, les résultats de l'AMBI et du M-AMBI doivent être interprétés avec précaution et toujours en
  association avec d'autres informations.
- Un outil développé par AZTI Tecnalia (un centre d'expertise technologique) propose un outil de calcul du M-AMBI, facilitant grandement l'application de ce protocole. Il propose de plus une liste actualisée (2017) des espèces et de leur pollu-sensibilité. Le logiciel est téléchargeable sur le lien suivant : <a href="http://ambi.azti.es/ambi/">http://ambi.azti.es/ambi/</a>.
- Précisions sur les données existantes: données historiques (1998-2015) intégrées par Ifremer. Données bancarisées dans Quadrige depuis 1998.
- En cas de réalisation des prélèvements sur les lagunes temporaires, il est recommandé d'effectuer les prélèvements avant que le niveau d'eau dans la lagune soit trop bas.



## Le protocole est issu directement de Andral & Sargian (2010).

Cet indicateur doit être relevé en même temps que l'indicateur 102a, b, c "Macrophytes" pour tenir compte des paramètres comme la couverture végétale qui peuvent influencer la distribution de la macrofaune benthique.

Pour le suivi de la macrofaune benthique dans les lagunes méditerranéennes, 1 à 3 stations centrales sont échantillonnées sur chaque lagune. Pour chaque station, 3 sous-stations sont réalisées, espacées d'une dizaine de mètres, pour une meilleure représentativité de la zone prospectée. Chaque sous-station se compose de quatre réplicats, séparés de quelques mètres l'un de l'autre. Le prélèvement d'un réplicat est réalisé à l'aide d'une benne Eckman-Birge d'une surface de 0,0225 m². Chaque sous-station (4 réplicats) correspond ainsi à 0.09m² de sédiment prélevé. La surface totale échantillonnée est donc de 0,27 m² par station (Andral & Sargian, 2010). Une benne supplémentaire est prélevée pour les analyses de teneur en matière organique et de granulométrie. NB: dans le cadre de la DCE, l'échantillonnage doit se faire dans une zone "nue".

Alternativement, pour les lagunes peu profondes, un carottier à main en PVC de 20cm de diamètre (40 cm de hauteur) pourra être utilisé (couramment utilisé pour les lagunes suivies dans le cadre de la DCE).

L'opération est répétée tous les **2 à 3 ans**, de préférence entre **mai et juin** (Guillaumont & Gauthier, 2005). Les prélèvements seront effectués de préférence avant les mortalités estivales et en évitant la période hivernale.

Les échantillons prélevés sont tamisés sur un tamis de vide de maille de 1 mm. Le refus du tamis contenant la faune benthique mélangée à des particules grossières, des débris coquilliers et autres fragments, est conditionné dans des flacons avec une solution aqueuse de formaldéhyde à 4%.

Les échantillons faunistiques sont dénombrés et déterminés sous la loupe binoculaire jusqu'au niveau spécifique en suivant la nomenclature de l'European Register of Marine Species' nomenclature (ERMS; Andral & Sargian, 2010). Pour faciliter le tri sous loupe binoculaire, quelques gouttes de rose de Bengale peuvent être employées.



Meiofaune benthique sous loupe T. Boyer

## Pour chaque espèce sont calculées l'abondance et la biomasse. Pour chaque échantillon, sont déterminées :

- la richesse spécifique : le nombre d'espèces différentes présentes dans l'échantillon ;
- la densité : le nombre d'individus sur une surface donnée ;
- la biomasse : évaluer la biomasse par taxon trouvé . Si l'échantillon comporte plus de 20 individus, évaluer la masse sèche d'un sous-échantillon de 20 individus.

À partir de ces données, il est possible de calculer plusieurs indices qui entrent dans le calcul de l'indice M-AMBI. Ainsi, l'équilibre écologique du peuplement d'un écosystème est apprécié par le calcul de l'indice de Shannon-Weaver (H')

## INDICE DE SHANNON-WEAVER (H')

L'indice de Shannon-Weaver (H') est un indice de diversité qui prend en compte à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative de chaque espèce :

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln p_i$$

S : nombre total d'espèces ; p : proportion de l'espèce i (abondance de l'espèce i / abondance totale des espèces)

Cet indice est maximal (H'max) lorsque les espèces ont des abondances identiques et il tend vers 0 lorsqu'une espèce domine le peuplement. Cet indice est relativement sensible aux espèces de moyenne dominance mais insensible à la richesse spécifique donc très utile pour comparer les dominances potentielles entre échantillons. Ce résultat qui est souvent peu parlant, doit être rapporté à l'indice maximal théorique du peuplement (H'max) ou accompagné de l'indice d'équitabilité de Piélou (J'=H'/H'max).

L'indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces soit pi = 1).

H' sera le plus important pour des peuplements à richesse spécifique élevée avec une répartition équitable des espèces. Les valeurs les plus basses apparaissent pour les peuplements dominés par une seule espèce ou par un petit nombre d'espèces. Comparativement à la répartition des abondances, la richesse spécifique n'a qu'une influence secondaire sur le résultat.

L'indice AMBI permet une approche fonctionnelle sur la polluo-sensibilité des espèces.

## **AZTI MARINE BIOTIC INDICE (AMBI)**

L'AMBI (Borja et al. 2000), appelé aussi coefficient benthique (CB) est basé sur les successions écologiques (Pearson & Rosenberg, 1978). Les groupes écologiques, au nombre de 5 (GI, GII, GII, GIV et GV), sont basés sur la polluo-sensibilité des espèces :

$$AMBI = [(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)] / 100$$

Avec %GI, %GII, %GIV et %GV, les abondances relatives des différents groupes trophiques par rapport à l'abondance totale.

Le groupe I comprend les espèces les plus sensibles à l'hypertrophisation jusqu'au groupe V qui englobe les espèces opportunistes des sédiments réduits. Cet indice est lui aussi sensible à l'effort d'échantillonnage, un trop petit nombre de données donneront la même valeur moyenne mais avec un fort écart-type. Il présente l'avantage d'être applicable à tous les milieux puisque basé sur une liste unique d'espèces.

La liste des espèces et de leur catégorie de pollu-sensibilité peut être trouvée dans Borja et al. (2000).

On peut noter que dans cette même publication, l'auteur suggère la mise en place d'une liste propre à la côte méditerranéenne pour plus de précision.

Enfin, le M-AMBI est calculé à partir de ces différents indices. Outre sa sensibilité à l'enrichissement organique des sédiments, cet indice répond aussi à l'eutrophisation (teneurs des eaux en azote et en chlorophylle a et variations en oxygène dissous). Cet indice peut en outre être sensible à d'autres types de perturbations telles que des pollutions chimiques humaines ou des perturbations physiques du milieu.

## M-AMBI

Le M-AMBI a été mis au point par l'équipe de l'AZTI pour permettre de compléter les résultats obtenus avec l'AMBI. Le calcul de cet indice est dérivé, par analyse factorielle, de l'AMBI, de la richesse spécifique et de l'indice de Shannon (Muxika et al. 2007) sur un ensemble de stations (1 à 3 stations par lagune). Pour ce calcul, il est nécessaire de **définir des stations théoriques ou réelles, considérées comme "station de référence haute" et "station de référence basse"**. La station de référence haute est une station théorique qui prend comme valeur la meilleure de chaque indice de l'ensemble des résultats obtenus lors des campagnes DCE sur les lagunes¹. La station de référence basse est aussi une station théorique correspondant aux pires résultats possibles.

Cependant, il faut faire attention à l'interprétation des résultats donnés par le M-AMBI. Si les valeurs des stations de référence haute et basse sont modifiées, alors les résultats du M-AMBI vont varier. Ces résultats doivent être interprétés pour un "pool" de stations données. Pour comparer des stations entre elles, elles doivent avoir été calculées avec les mêmes "station de référence haute" et "station de référence basse". Les 5 classes de qualité sont définies sur la différence entre ces deux stations.



L'intégration de l'indice M-AMBI se fait directement en reliant la classe de l'indice à la note (ci-dessous).

Modalités	Note
Note M AMBI ≥0,8	0
Note M AMBI <0,8 et ≥0,63	-10
Note M AMBI <0,63 et ≥0,4	-20
Note M AMBI <0,4 et ≥0,2	-30
Note M AMBI <0,2	-40

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Deux lagunes : Thau (FRDT10) et Leucate (FRDT02) correspondent à ces définitions ; les meilleures valeurs de chacune des 3 métriques observées sont sélectionnées comme valeurs "de référence".

## ANNEXE

Le jeu de données utilisé dans le cadre de l'exercice d'intercalibration comprend 24 stations en lagunes poly-euhalines (21 stations en lagunes poly-euhalines "restricted": Bages-Sigean, Berre, Diane, Gruissan, La Palme, Salses-Leucate, Or, Palo, Pierre-Blanche, Ponant, Prévost, Thau, Urbino, Vaïne, Vic; 3 stations en lagunes poly-euhalines "choked": Canet, Biguglia et Méjean-Ouest). Aujourd'hui, un total de 20 stations sont suivies sur 13 masses d'eau:

Code Masse eau	Nom Masse eau	Nombre de stations
FRDT01	Étang de Canet	1
FRDT02	Étang de Salses-Leucate	2
FRDT03	Étang de La Palme	1
FRDT04	Complexe du Narbonnais Bages-Sigean	2
FRDT10	Étang de Thau	2
FRDT11a	Étang de l'Or	2
FRDT11b	Étangs Palavasiens Est	2
FRDT11c	Étangs Palavasiens Ouest	2
FRDT14a	Camargue Complexe Vaccarès	1
FRDT15a	Grand étang de Berre	1
FRDT15b	Étang de Berre Vaïne	1
FRET01	Étang de Biguglia	2
FRET04	Étang de Palu	1

# **L'objectif de cet indicateur** est d'évaluer une dégradation de l'habitat liée à la présence d'espèces animales exotiques envahissantes. Effectuer une veille régulière sur le site permet une détection précoce des espèces ayant des impacts sur la structure et/ou le fonctionnement de l'habitat lagunaire pouvant faciliter la mise en place d'une

La principale espèce à surveiller est *Ficopomatus enigmaticus*, communément appelé Cascail. Le Cascail est un annélide polychète tubicole et benthique sûrement introduit en Méditerranée via les coques de bateaux en provenance d'Australie. Cette espèce qualifiée de bio-constructrice modifie son écosystème en formant des récifs de tubes calcaires, ces formations pouvant alors entraver le fonctionnement hydrologique des lagunes.

On pourra retrouver le ver Cascail dans les lagunes dont la salinité est comprise entre 1,5 et 50 ppt (Dixon, 1981).

Les surfaces et les densités de Cascail sont recensées, afin d'évaluer spatialement le niveau de développement.





## **INDICATIONS PRATIQUES**

- Temps et coûts: ils sont faibles grâce à la combinaison des relevés à ceux nécessaires pour les indicateurs i02 "Macrophytes" et i08 "Nature des berges".
- Les stratégies existantes sur les 3 régions :

gestion préventive plutôt que restauratrice.

- en PACA, aucune stratégie n'existe pour la gestion des espèces animales exotiques envahissantes (EAEE). La liste de ces espèces de la stratégie faune PACA ne concerne que les espèces pour lesquelles l'OFB, rédacteur de cette liste, est compétent, c'est-à-dire les oiseaux et les mammifères. Elle donne une base des EAEE présentes en PACA et un état des lieux de leurs impacts connus;
- en Occitanie, en 2014, la DREAL a lancé une stratégie régionale relative aux espèces exotiques envahissantes (EEE);
- en Corse, l'OEC rédige actuellement une stratégie régionale relative aux EEE (EVEE et EAEE).



## **PROTOCOLE**

La méthode est basée sur un suivi par pièce d'eau (PE) dans son intégralité. Les relevés doivent se faire entre avril et août, période à laquelle la plupart des EAEE sont à leur maximum de développement.

On distinguera les espèces nécessitant une surveillance mais n'étant pas prises en compte dans cette méthodologie d'évaluation, *Callinectes sapidus* (Crabe bleu), *Myocastor coypus* (Ragondin), *Mnemiopsis leidyi* (Cténaire) et *Procambarus clarkii* (Écrevisse de Louisiane) des espèces pour lesquelles l'indicateur s'applique *Ficopomatus enigmaticus* (Cascail).



## 1 CASCAIL

À ce jour, l'espèce *Ficopomatus enigmaticus* constitue la préoccupation majeure. Les surfaces et les densités des massifs par pièce d'eau, l'importance de la localisation et leur impact sur le fonctionnement de l'écosystème participent au choix d'une des trois situations décrites dans le tableau ci-dessous qui permet d'attribuer la note de l'indicateur. Il convient de justifier et de conserver les explications relatives à la décision.

Cela peut passer par une phase d'interprétation d'images aériennes. En effet, les formations construites par le ver Cascail sont, à partir d'une certaine taille, facilement visibles sur des images satellite (résolution minimale requise 10 cm). Ces observations peuvent être complétées par des vérifications de terrain pour plus de précision, que ce soit à pied, en kayak ou lors d'une prospection sous-marine (e.g. lors des relevés de macrophytes). L'importance de la localisation des massifs et leur impact sur le fonctionnement de l'écosystème participent au choix de la notation associée.

## 2 **AUTRES ESPÈCES**

- L'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) peut elle aussi représenter une menace écologique en modifiant la structure de l'écosystème par la réduction des macrophytes, la prédation d'autres espèces, ou encore par la modification des facteurs physico-chimiques. Elle est surtout présente dans les lagunes peu salées (salinité < 10 ppt) et pourra être trouvée à la fois dans les lagunes temporaires et permanentes (Meineri *et al.*, 2014).
- Le ragondin (Myocastor coypus) est responsable de nombreuses dégradations des infrastructures hydrauliques (canaux, berges et digues) mais aussi du milieu naturel local (zones importantes d'un point de vue floristique et faunistique). Enfin, il représente un risque sanitaire non négligeable, car ils sont vecteurs de maladies. La gestion de la prolifération du ragondin passe par la mise en place de piégeages ou de tirs de régulation.
- Le crabe bleu (Callinectes sapidus) voyagerait dans les ballasts de bateaux à l'état de larves ou de juvéniles. Cette espèce apparaît près des grands ports et se développe plutôt dans les lagunes permanentes et dans les milieux influencés par des arrivées d'eau douce (grands estuaires). L'impact de cette espèce sur le milieu marin – dû à son mode de nutrition omnivore et à une reproduction particulièrement efficace – peut être important.









et vers le Centre de ressources EEE <a href="http://especes-exotiques-envahissantes.fr/">http://especes-exotiques-envahissantes.fr/</a>





# NOTE DE L'INDICATEUR

Pour cet indicateur la note s'obtient à partir de la présence/absence du Cascail uniquement, de son étendue et de son impact sur le fonctionnement de la lagune.

Modalités	Note
Le Cascail est absent ou très rare sur la pièce d'eau.	
Les espèces nécessitant une surveillance mais n'étant pas prises en compte	0
dans cette méthodologie d'évaluation font l'objet d'une surveillance régulière.	
La présence de Cascail est avérée, mais son impact s'avère peu significatif	
sur le fonctionnement de l'écosystème.	0
Les espèces pour lesquelles l'indicateur s'applique sont présentes	(suivi recommandé)
et ne font pas l'objet d'une surveillance.	
Le Cascail est bien représenté sur la pièce d'eau et son développement	10
perturbe le fonctionnement de l'écosystème.	-10

Une étude caractérisant l'hydromorphologie des lagunes permanentes suivies dans le cadre de la DCE a été réalisée en 2015 (Giraud & Stroffek, 2016). Les descripteurs retenus à minima dans cette étude sont suivis une fois par plan de gestion, soit tous les 6 ans. La métrique "Communication avec la mer" décrite dans ce cadre et appliquée en routine sur les lagunes permanentes, pourra être utilisée directement par l'évaluateur lors de la notation.

**L'objectif de cet indicateur** est de caractériser l'état de conservation de la liaison à la mer des lagunes à travers son degré d'artificialisation et son fonctionnement.

Le lien avec la mer constitue un élément fondamental du fonctionnement d'une lagune. La circulation hydrologique permet à la fois le renouvellement des eaux et constitue également des entrées pour le déplacement des poissons (notamment des migrateurs) et la propagation des invertébrés. Selon les lagunes, les caractéristiques de la communication avec la mer ainsi que de la connectivité entre la lagune et ses pièces d'eau adjacentes pourront varier (e.g. débits, section des graus, présence d'obstacles sur les graus).

- La fréquence de ces communications, qui détermine la qualité temporaire ou permanente de la lagune, seront également essentielles à prendre en compte avant l'évaluation.
- La définition du fonctionnement de référence d'un grau va permettre de comparer le fonctionnement actuel avec une référence historique.

Sur le long terme la mesure de cet indicateur pourra permettre également d'avoir une vision sur la trajectoire écologique de la lagune (Pasqualini *et al.*, 2017).



## INDICATIONS PRATIQUES

- Temps et coûts : ils sont faibles. En effet, une fois l'acquisition de cartes récentes, l'analyse par SIG est rapide et ne nécessite pas de terrain.
- Il faut définir au préalable si le grau est temporaire (se ferme et s'ouvre au rythme des crues et entrées maritimes) ou permanent. Il convient de faire appel à des documents historiques, couplés à une connaissance détaillée du contexte local actuel.
- En plus de l'évaluation de cet indicateur, une veille concernant les aménagements doit être menée afin d'anticiper les potentiels changements de la connectivité à la mer.

**Un grau** historiquement permanent qui se comble, en raison d'une modification du bassin versant, ne doit pas être considéré comme un grau temporaire mais comme un grau permanent nécessitant une intervention humaine pour garder un flux d'eau.



## **PROTOCOLE**

Il est nécessaire d'échantillonner de manière exhaustive les graus de toutes les pièces d'eau (PE) du site. L'indicateur i07 "Connectivité à la mer" n'étant pas amené à évoluer rapidement, sa mesure peut suivre la fréquence du suivi DCE (tous les 6 ans). D'autre part, étant donné la variabilité saisonnière de la connexion à la mer, ces mesures doivent être effectuées à la même période de l'année afin d'obtenir des résultats cohérents.

Pour chaque lagune, la liaison à la mer est expertisée sous deux angles :

- l'état de la structure : l'attention est portée sur la nature des berges, le degré d'artificialisation ;
- et le **fonctionnement** de la liaison.

Ce suivi se fait sur le terrain et/ou avec l'appui d'orthophotographies. Il consiste à relever toute construction humaine apparue depuis le dernier suivi, de vérifier la non-obstruction du grau et l'autonomie du fonctionnement de la liaison à la mer. Dans le cas des lagunes indirectement connectées à la mer (par le biais d'autres lagunes), l'intégralité des connexions jusqu'à la mer devront être prises en compte lors de l'évaluation.



La note finale s'obtient en faisant la somme de la note relative à l'état de la connection et la note relative à son fonctionnement.

Modalités	Note	
Grau naturel : la connectivité à la mer n'est pas contrainte par des constructions humaines (e.g. béton, enrochement, digues, barrages). OU connectivité indirecte à la mer, naturelle, par le biais d'autres lagunes.	0	Grau de Biquqlia - M. Garrido
<b>Grau artificiel</b> : la liaison à la mer existe, mais elle est contrainte par des constructions humaines (e.g. béton, enrochement, digues, barrages, pont).	-7	Grau de Salses-Leucate - SMNLR
<b>Connectivité à la mer indirecte artificialisée</b> par le biais d'un canal ou d'une buse.	-10	Étang des Aresquiers - SMNLR
<b>Le grau est obstrué</b> par différents éléments (e.g. remblais, digue en rochers).	-15	Parking de Piemanson, grau fermé par des travaux d'ingénierie au XIX <sup>eme</sup> siècle pour faciliter la navigation dans le fleuve Rhône - M. Vialet / PNRC
La connectivité à la mer se maintient de manière naturelle, sans intervention anthropique ou ne nécessite pas de dragage récurrent.	0	Grau de la Franqui - SMNLR
Les dynamiques sédimentaires sont contraintes et nécessitent une intervention anthropique : la connectivité à la mer ne fonctionne plus de manière autonome.	-7	Étang d'Urbino - M. Garrido
La connectivité à la mer est insignifiante ou n'existe plus ; il existe des barrières qui limitent les migrations (e.g. filets) ; rythme des ouvertures/fermetures est contraint par des activités économiques ou touristiques qui ne tiennent pas compte du fonctionnement naturel de la lagune. La connectivité aux zones périphériques de la lagune nécessite des interventions fréquentes ou a été rompue.	-15	Étang de Santa-Giulia - M. Garrido
	Grau naturel:  la connectivité à la mer n'est pas contrainte par des constructions humaines (e.g. béton, enrochement, digues, barrages).  OU connectivité indirecte à la mer, naturelle, par le biais d'autres lagunes.  Grau artificiel:  la liaison à la mer existe, mais elle est contrainte par des constructions humaines (e.g. béton, enrochement, digues, barrages, pont).  Connectivité à la mer indirecte artificialisée par le biais d'un canal ou d'une buse.  Le grau est obstrué par différents éléments (e.g. remblais, digue en rochers).  La connectivité à la mer se maintient de manière naturelle, sans intervention anthropique ou ne nécessite pas de dragage récurrent.  Les dynamiques sédimentaires sont contraintes et nécessitent une intervention anthropique : la connectivité à la mer ne fonctionne plus de manière autonome.  La connectivité à la mer ne fonctionne plus de manière autonome.	Grau naturel: la connectivité à la mer n'est pas contrainte par des constructions humaines (e.g., béton, enrochement, digues, barrages). OU  connectivité indirecte à la mer, naturelle, par le biais d'autres lagunes.  Grau artificiel: la liaison à la mer existe, mais elle est contrainte par des constructions humaines (e.g. béton, enrochement, digues, barrages, pont).  Connectivité à la mer indirecte artificialisée par le biais d'un canal ou d'une buse.  -10  Le grau est obstrué par différents éléments (e.g. remblais, digue en rochers).  -15  La connectivité à la mer sintervention anthropique ou ne nécessite pas de dragage récurrent.  Les dynamiques sédimentaires sont contraintes et nécessitent une intervention anthropique: la connectivité à la mer ne fonctionne plus de manière autonome.  La connectivité à la mer est insignifiante ou n'existe plus; il existe des barrières qui limitent les migrations (e.g., filets); rythme des ouvertures/fermetures est contraint par des activités économiques ou touristiques qui ne tiennent pas compte du fonctionnement naturel de la lagune. La connectivité aux zones périphériques de la lagune nécessite des interventions fréquentes ou a été rompue.

Une étude caractérisant l'hydromorphologie des lagunes permanentes suivies dans le cadre de la DCE a été réalisée en 2015 (Giraud & Stroffek, 2016). Les descripteurs retenus à minima dans cette étude sont suivis une fois par plan de gestion, soit tous les 6 ans. Pour considérer le degré d'artificialisation des berges de l'habitat 1150-2, l'évaluateur pourra ainsi s'appuyer sur les données acquises en routine sur les lagunes permanentes pour le descripteur "Nature des berges" (observation terrain et SIG).

**L'objectif de cet indicateur** est d'évaluer le niveau d'atteinte porté à l'habitat lagune côtière par des aménagements. Pour cela il est important de qualifier l'ensemble du linéaire de berge afin de déterminer la part détériorée. On regardera pour cela le degré d'artificialisation et la pente des berges.



Temps et coûts : les coûts sont relativement faibles pour la mesure de l'indicateur. Les cartes ne nécessitant pas de photographies à très hautes résolutions, ces dernières peuvent être acquises gratuitement. Le temps de relevé sur un site dépendra du temps d'analyse cartographique et des vérifications nécessaires sur le terrain, donc du caractère morcelé de celui-ci et de l'accessibilité aux berges.

À noter que ce paramètre n'est pas amené à évoluer rapidement, mais une veille portant sur le développement de projets d'aménagements devrait être menée en continu afin d'anticiper d'éventuels changements de la nature des berges et d'en faciliter le prochain suivi.



Pour cet indicateur, le principe est de relever sur tout le linéaire de berges de la pièce d'eau (PE), le type de berge sur 5 m au-delà du niveau d'eau "maximum normal". Ne devront pas être pris en compte dans l'évaluation de cet indicateur :

- l'artificialisation des graus, car elle est déjà incluse dans l'indicateur i07 "Connectivité à la mer";
- et le linéaire des pontons dans le cas d'un port ou d'une marina.

Il est préalablement conseillé de réaliser une première analyse d'orthophotographies grâce à un logiciel de cartographie SIG afin de différencier et de cartographier les zones de berges fortement artificialisées et des zones à vérifier sur le terrain. Les zones à vérifier sur le linéaire de berges devront ensuite être prospectées à pied, en voiture ou en kayak, et les différents types de berges délimités grâce à l'utilisation d'un GPS.

## **CATÉGORIES DE BERGES ÉVALUÉES**

- berges naturelles, ce sont des transitions non modifiées entre la lagune et l'écosystème adjacent (e.g. sansouire, roselière, falaise) ou "renaturées", ce sont des berges ayant subi une artificialisation par le passé mais ayant depuis retrouvé leur fonctionnalité d'écotone, c'est-àdire ayant retrouvé une pente et une végétation compatible avec cette fonction;
- berges artificielles verticales ou enrochées, ce sont les atteintes les plus lourdes que peuvent subir les berges. Elles regroupent les digues en béton, les constructions verticales constituées de débris ou autres matériaux peu propices à la renaturation (e.g. pneus, palplanches), les enrochements, etc.





Pente de la berge	Substrat et végétation	Catégorie	
Presque nulle	Substrat meuble généralement sableux, nu ou avec végétation halophile	Catánavia 1 . havnas natuvallas	
	Substrat meuble et végétation halophile continue ou éboulis naturels	Catégorie <b>1</b> : berges naturelles ou renaturées	
	à flanc de colline	ou renaturees	
	Substrat meuble (parfois avec restes d'enrochements anciens)		
Intermédiaire : ± 45°	avec végétation d'espèces halophiles en cours de développement	Catégorie 2 : berges en renaturation	
intermediaire: ± 45	ou végétation continue mais artificialisation en arrière trop proche	ou peu artificialisées	
	(route, mur,)		
	Enrochée (à l'exception des éboulis naturels à flanc de colline),		
	ou substrat meuble à nu	6.44	
Vauti aala	Quels que soient le substrat ou la végétation (à l'exception des falaises	Catégorie <b>3</b> : berges artificialisées	
Verticale	naturelles qui rentrent dans la catégorie 1)		

# NOTE DE L'INDICATEUR

Modalités	Note
Plus de 85% des berges sont naturelles ou renaturées (catégorie 1),	
et moins de 10% des berges sont figées par des rochers ou des constructions verticales	0
(catégorie 3)	
Entre 70% et 85% des berges sont naturelles ou renaturées (catégorie 1),	
<u>ou</u> entre 10% et 20% des berges sont figées par des rochers ou des constructions verticales	-20
(catégorie 3)	
Moins de 70% de berges sont naturelles ou renaturées (catégorie 1),	
ou plus de 20% des berges sont figées par des rochers ou des constructions verticales	-40
(catégorie 3).	

# EXEMPLES DE CATÉGORISATION DE LA NATURE DES BERGES

Photos: CEN LR



Berge de catégorie 1 au Gourg de Maldormir.



Berge de catégorie 2 (digue en cours de revégétalisation) à l'étang de Bolmon.



Berge de catégorie 1 (éboulement naturel à flanc de colline) à l'étang du Doul.



Berge de catégorie 2 (état correct mais artificialisation trop proche en arrière) au Gourg de Maldormir.



Berge de catégorie 3 (enrochement) à l'étang de Berre.



Berge de catégorie 3 (artificielle et verticale) à l'étang de Berre.

# **Fonctionnement** hydrologique



## **AVERTISSEMENT**

Une étude caractérisant l'hydromorphologie des lagunes permanentes suivies dans le cadre de la DCE a été réalisée en 2015 (Giraud & Stroffek, 2016). Les descripteurs retenus à minima dans cette étude sont suivis en routine une fois par plan de gestion, soit tous les 6 ans. L'évaluateur pourra s'appuyer sur les données acquises dans le cadre de ce suivi pour décrire la gestion des niveaux d'eau (naturelle ou artificielle).

L'objectif de cet indicateur est de déterminer si la pièce d'eau (PE) suit un fonctionnement hydrologique normal par rapport à son fonctionnement de référence.

L'intégrité hydrologique des lagunes constitue un élément fondamental conditionnant le bon fonctionnement de l'écosystème. Cela est particulièrement vrai pour les lagunes temporaires, dont la spécificité tient dans cet aspect temporaire. Ainsi, de nombreuses espèces dépendent des assecs de ces milieux, et ne peuvent se développer si cette spécificité disparaît.

RÉFÉRENCE: avant d'envisager l'application de cet indicateur, il est très important de cibler le "fonctionnement hydrologique normal" de la lagune : cet élément doit permettre de définir objectivement le mode de fonctionnement d'une lagune. Les références historiques (écrits, connaissances humaines historiques, expérience du gestionnaire, etc.) permettront de différencier un fonctionnement temporaire ou permanent des pièces d'eau considérées pour l'évaluation.



## **INDICATIONS PRATIQUES**

- Une veille portant sur le développement de projets d'aménagements devrait être menée en continu, afin d'anticiper d'éventuelles altérations du fonctionnement hydrologique des pièces d'eau évaluées et d'en faciliter le suivi à venir.
- Le suivi des métriques salinité et hauteur d'eau peuvent en particulier aider à déterminer les causes d'une perturbation du fonctionnement hydrologique.



Ce protocole a été élaboré dans le cadre de cette méthode d'évaluation de l'état de conservation des lagunes (Lepareur et al., 2013) et est compatible avec les indicateurs élaborés pour les masses d'eau permanentes de la DCE dans le cadre des travaux du SDAGE (Giraud & Stroffek, 2016a ; Giraud & Stroffek, 2016b).

Pour les lagunes permanentes, l'évaluateur peut s'appuyer sur les données de suivi du marnage des masses d'eau lagunaires DCE. Au-delà de ce suivi, il sera nécessaire d'évaluer l'indicateur si des changements sont apparus dans l'hydrologie de la ou des pièces d'eau considérées sur le site.



Selon les différents types de lagunes, les dysfonctionnements et perturbations seront d'origines variables :

Type de lagune	Temporaires	Permanentes (> 18 ppt)	Permanentes (< 18 ppt)
Perturbations	Mise en eau (douce ou salée) forcée  Manque d'apport d'eau douce d'origine anthropique conduisant à un assèchement trop précoce des pièces d'eau  Maintien en eau permanente  Salinité trop élevée à certaines périodes	Dérèglement de l'hydrologie par un apport massif d'eau douce du bassin versant (été) ou d'origine marine (salins)	Dérèglement de l'hydrologie par un manque (ou un excès : drainage) d'apport d'eau douce (prélèvements en amont ou connexions au bassin versant rompues)

# NOTE DE L'INDICATEUR

Une fois le fonctionnement hydrologique déterminé et l'absence/présence d'une perturbation définie telle que dans le tableau précédent, il suffit d'attribuer la note de l'indicateur suivant la grille ci-dessous :

Modalités	
Fonctionnement hydrologique naturel ou assimilé	0
Fonctionnement hydrologique non naturel	-60

Pour les masses d'eau lagunaires suivies dans le cadre de la DCE et du projet OBSLAG, des classes sont attribuées pour qualifier l'état physico-chimique de l'eau. Celles-ci seront reprises directement pour noter l'indicateur "Colonne d'eau" des lagunes suivies par ces programmes de surveillance.

L'objectif de cet indicateur est de donner une évaluation de la qualité de l'eau des lagunes, qui conditionne en grande partie le développement des biocénoses présentes. Ainsi, les substances dissoutes et en suspension dans l'eau vont constituer des apports nutritifs pour différents organismes. Ceux-ci vont également influencer la turbidité de l'eau, élément essentiel pour la diffusion de la lumière et par conséquent le développement de la flore.

L'arrêté du 27 juillet 2015 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique de la DCE, préconise le suivi de 4 paramètres physico-chimiques (contre 11 auparavant) : la concentration en phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3</sup>), la concentration en azote inorganique dissous (NID), la concentration en azote total (NT) et la concentration en phosphore total (PT).

# INDICATIONS PRATIQUES

Temps et coûts : les coûts sont relativement élevés en raison du coût des analyses en laboratoire. Il faut compter en moyenne 148 € par échantillon (gamme de 44 à 168,5 € selon 8 devis fournis en 2014). Le temps dédié à la sélection et à l'échantillonnage des points de prélèvement est relativement modeste (inférieur à 2h par PE). Cela dépend du nombre de pièces d'eau permanentes à évaluer pour cet indicateur.

Le temps des relevés terrain (peu chronophage) et les frais engendrés par les analyses en laboratoire peuvent être réduits en regroupant les mesures des indicateurs i12 "Sédiments" et i11 "Contaminants chimiques".

Le positionnement des points de prélèvement sous SIG, ainsi que leur contrôle par un expert est à prévoir.

# PROTOCOLE

Dans le cas d'une pièce d'eau non suivie dans le cadre de la DCE, l'évaluation de cet indicateur devra être faite selon le même protocole que celui proposé par l'Ifremer pour une homogénéité des résultats (Witkowski et al., 2017).

La mesure se fait à un point de chaque pièce d'eau, en sub-surface (entre 0 et 1 m) ou à mi-profondeur pour les lagunes de profondeur inférieure à 3 m.



## **SUR LE TERRAIN**

- Chaque flacon est rincé **trois fois** avec l'eau du prélèvement.
- Le prélèvement d'eau est effectué par remplissage de flacons en polypropylène de contenance 1 litre ou à l'aide d'une bouteille de prélèvement de type Hydrobios (remplissage de plusieurs flacons de contenance 100 ml).
- Les pré-filtrations à travers un filtre Nylon de porosité nominale 20 μm sont nécessaires aux analyses des formes inorganiques des nutriments (NID) et effectuées sur place.
- La conservation et le pré-traitement des échantillons s'effectuent à basse température et à l'abri de la lumière.

## **EN LABORATOIRE**

- Les échantillons destinés aux analyses des formes totales de l'azote et du phosphore sont filtrés en laboratoire.
- Pour chaque variable, la valeur la plus élevée des trois mesures effectuées au cours de l'été est utilisée pour la notation.
- Ensuite, les échantillons sont congelés dans l'attente des analyses chimiques, permettant de ralentir au maximum les cinétiques de réactions jusqu'à analyse.

# NOTE DE L'INDICATEUR

Classification selon la grille de diagnostic DCE de l'état physico-chimique des masses d'eau lagunaires.

	Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
PO <sub>4</sub> -3 (μM/l)		0.3		1		1.5		4	
NID (μM/I)		2		6		10		20	
NT (µM/I)		50		75		100		120	
PT (μM/l)		2		3		4		5	

PO. 3: concentration en phosphates; NID: concentration en azote inorganique dissous; NT: concentration en azote total; PT: concentration en phosphore total

Pour chaque paramètre, une agrégation spatiale et temporelle des données est réalisée, puis une agrégation des 4 paramètres est effectuée pour obtenir l'état physico-chimique de la masse d'eau :

- Agrégation des paramètres: l'état physico-chimique de la masse d'eau est obtenu en sélectionnant la note la plus déclassante des 4 paramètres de la grille.
- Agrégation spatiale: dans le cas des masses d'eau suivies sur plusieurs stations, les données de chaque paramètre sont agrégées en prenant chaque mois la moyenne des valeurs acquises sur les différentes stations de la masse d'eau.
- Agrégation temporelle: afin de prendre en compte la variabilité interannuelle des paramètres physico-chimiques, une agrégation temporelle des données est effectuée. La donnée prise en compte pour chacun des paramètres correspond à la valeur du percentile 90<sup>(1)</sup> (P90: formule en Annexe 2 de Dérolez et al., 2015) calculé à partir des valeurs moyennes de chaque mois, sur une période de 6 étés consécutifs (durée des plans de gestion DCE).

L'état de chaque paramètre mesuré pour la physico-chimie de l'eau est défini par la valeur, strictement supérieure à la limite inférieure du seuil et inférieure ou égale à la limite supérieure du seuil.

Modalité (classe de l'indicateur DCE)	Note
Très bon état de la colonne d'eau	0
Bon état de la colonne d'eau	-5
État moyen de la colonne d'eau	-15
État médiocre de la colonne d'eau	-20
Mauvais état de la colonne d'eau	-30

La classe obtenue pour l'indicateur DCE est à mettre en relation avec la note ci-contre.

<sup>(1)</sup> Au contraire de la valeur maximale, le percentile 90 (P90) permet d'ôter du jeu de données les valeurs extrêmes qui pourraient être dues à des dégradations très ponctuelles.

Pour les masses d'eau suivies dans le cadre de la DCE et du projet OBSLAG, des classes sont attribuées pour qualifier l'état physico-chimique de l'eau. Celles-ci seront reprises directement pour noter l'indicateur "Contaminants chimiques" de ces mêmes lagunes.

L'état chimique d'une masse d'eau est destiné à vérifier le respect des normes de qualité environnementale (NQE) fixées par la directive 2008/105/CE du Parlement Européen, mis à jour par l'arrêté du 27 juin 2015.

L'objectif de cet indicateur est d'évaluer l'état chimique de chaque lagune vis-à-vis de 45 substances prioritaires et dangereuses (Annexe 1)<sup>1</sup>, amenant à une distinction entre deux classes d'état chimique : bon ou mauvais. Le suivi se fait dans deux compartiments : l'eau et le biote.

Les contaminants chimiques impactent l'état de conservation de la lagune en altérant potentiellement le développement des organismes. En milieu aquatique, la plupart des contaminants chimiques (métalliques, organiques hydrophiles et hydrophobes) sont présents à l'état de traces, il y a ceux recherchés dans la matrice "eau" (forme dissoute et/ou fraction particulaire) et ceux recherchés dans le biote (via les suivis sur les moules et concernant uniquement les substances hydrophobes de la liste DCE). Les contaminants présents dans les sédiments ne sont pas évalués dans l'indicateur. lci, pour l'indicateur "Contaminants chimiques", les mesures seront réalisées via l'utilisation des techniques d'échantillonnage intégratives (SBSE²) et intégratives et passives (DGT³, POCIS⁴). La partie "biote" n'est pas traitée ici.



## **INDICATIONS PRATIQUES**

- Coûts et temps: ils sont élevés en raison du coût des analyses en laboratoire et du nombre de pièce d'eau à évaluer. Pour chaque station, il est à prévoir 2 à 3 réplicats de chaque catégorie d'échantillonneur. Les échantillonneurs POCIS et DGT facilitent les relevés sans alourdir le coût (prix estimatif des consommables pour une campagne de prélèvement en un point en triplicat: 300€ (technique POCIS), 70€ (technique DGT).
   Pour les analyses sur une campagne, les prix estimatifs sont d'environ 1 150€ TTC (DGT), 5 000€ TTC (POCIS), et 900€ TTC (consommables et analyse SBSE; source Ifremer 2020).
- Le détail des différents échantillonneurs disponibles sur le marché est disponible dans le document de synthèse du projet PEPSLAG (Gonzales, 2017).
- La pose des échantillonneurs dans le milieu nécessite un temps de formation par un expert. L'analyse et interprétation des résultats nécessitent également l'appui d'un expert (l'Ifremer est la structure expérimentée sur les lagunes pour l'interprétation des données de suivi).



## **PROTOCOLE**

Les relevés dans le cadre du suivi **DCE** se font tous les **3 ans**, soit 2 fois par plan de gestion (6 ans). S'agissant d'un protocole complexe et coûteux, cette fréquence d'échantillonnage peut être appliquée pour un suivi hors-cadre DCE. Un suivi plus fréquent peut éventuellement être mis en place afin de révéler des variations plus fines de la qualité de l'eau, notamment dans le cas des contaminants dissous et hydrophiles.

**Nombre de stations :** Le protocole d'échantillonnage est différent selon la matrice de prélèvement (eau ou biote) et compte globalement une station par lagune étudiée, voire deux dans le cas des lagunes les plus vastes ou morphologiquement contrastées.

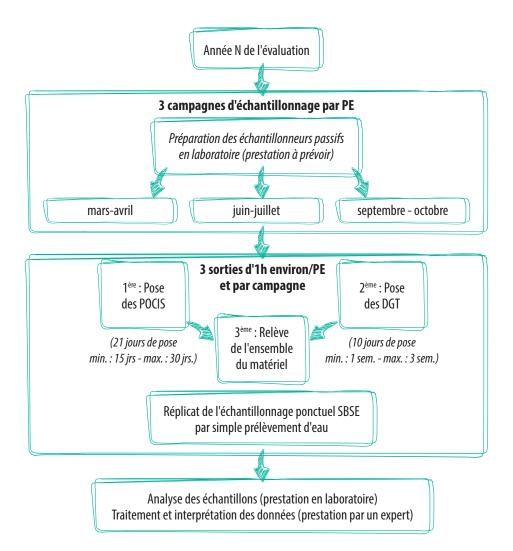
La pose des échantillonneurs implique qu'ils ne soient jamais en contact avec le sédiment, ni exondés. Pour les lagunes d'au moins 80 cm, ils sont mis en place dans la colonne d'eau en utilisant des structures fixes s'il en existe, sinon avec une bouée munie d'un lest. Pour les lagunes moins profondes (< 80 cm), il est possible de prévoir une petite structure en forme de table pour positionner à plat les échantillonneurs.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> À noter que dans les travaux de Munaron et al. (2017) 90 pesticides d'intérêt (dont certains prioritaires DCE) ont été choisis pour les lagunes grâce à la synthèse des données les plus récentes en matière de contamination (soit directement dans la lagune, soit sur les cours d'eau tributaires de lagunes), et au croisement de ces dernières avec les listes d'intérêt régional sur les bassins versants.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Utilisées pour mesurer les polluants organiques hydrophobes (HAP, PCB et OCP).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Diffusive Gradient in Thin films, utilisé pour les micropolluants métalliques.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Polar Organic Chemical Integrative Sampler, utilisé pour les micropolluants organiques hydrophiles (herbicides, fongicides, AKP).



Les 3 campagnes sont conseillées vis-à-vis des différents usages de pesticides dissous (hydrophiles) autour et dans les lagunes, et doivent prendre en compte la pluviométrie dans le positionnement temporel des POCIS à minima au cours de la période s'étalant de mai à septembre (Munaron *et al.*, 2017).

Pour les lagunes peu profondes, il est possible d'utiliser une embarcation légère de type canoë pour acheminer le matériel au point de la station de mesure. Pour les autres, il est nécessaire de disposer d'une embarcation motorisée.

Retrouver le détail du protocole dans Witkowski et al. (2017; partie méthodologie).

Le bon état chimique doit être établi dans chaque masse d'eau, sur la base de mesures dans le biote (moules encagées) et dans l'eau (échantillonneurs passifs), et ce pour les 45 substances prioritaires fournies en annexe (Witkowski *et al.*, 2017). En fonction de leur comportement (caractère hydrophile ou hydrophobe) certaines de ces substances sont recherchées sur l'une ou l'autre des matrices, rarement sur les deux.

Ce protocole a pour but de déterminer si certaines substances dépassent les NQE, définies comme "la concentration en un polluant ou un groupe de polluants dans l'eau, le sédiment ou le biote qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et l'environnement" (art.2 § 35 de la DCE).

## **BON ÉTAT CHIMIQUE**

<u>si</u> concentrations des substances mesurées < aux NQE

## **MAUVAIS ÉTAT CHIMIQUE**

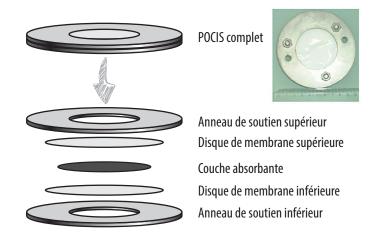
<u>si</u> une des concentrations des substances mesurées > ou = aux NQE



## NOTE SUR LES ÉCHANTILLONNEURS PASSIFS (EP)

L'utilisation d'échantillonneurs passifs pour le suivi des contaminants dans l'eau fait partie des recommandations techniques proposées par l'Ifremer et l'agence de l'eau RMC suite au suivi DCE de 2015 pour la recherche des substances hydrophiles.





Présentation d'un POCIS (Polar Organic Contaminant Integrative Sampler - Échantillonneurs passifs pour des polluants organiques polaires, in Munaron, 2012).

Ils permettent, pour certains composés, de les extraire et de les concentrer in situ réduisant ainsi une partie des difficultés, et du coût lié à l'analyse des contaminants à l'état de traces et facilitant ensuite leur détection analytique en laboratoire. Ces techniques permettent de perturber au minimum la spéciation des contaminants échantillonnés et présentent l'avantage de pouvoir être mises en œuvre rapidement.

De plus, l'utilisation d'échantillonneurs passifs permet de mesurer les concentrations de certains contaminants hydrophiles, peu ou pas bioaccumulables, présents dans la colonne d'eau.

# NOTE DE L'INDICATEUR

L'intégration de cet indicateur, utilisé dans le cadre de la DCE<sup>5</sup>, dans la méthode calibrée pour répondre aux objectifs Natura 2000 se fait directement en reliant la classe de l'indicateur à la note (ci-dessous).

Modalité	Note
Bon état [respect des NQE : zéro NQE dépassée]	0
Mauvais état [non-respect des NQE : une NQE dépassée ou plus]	-30

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Les données les plus récentes sont dans Munaron et al., 2019. OBSLAG - Volet Pesticides : Suivi 2017-2019 des lagunes méditerranéennes. Rapport Intermédiaire. ODE/UL/LER-LR/19-04. Rapport Final à paraître.

## Références du tableau en annexe (page suivante)

Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.

Source : tableau fixé en annexe 8 "ÉVALUATION DE L'ÉTAT CHIMIQUE DES EAUX" du JORF n°0199 du 30 août 2018, texte n° 14. ELI: https://www.leqifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/7/27/TREL1819388A/jo/texte

À noter: une liste de 90 pesticides (substances actives et leurs métabolites) d'intérêt pour les lagunes, a été définie à travers les travaux de Munaron et al., 2017 à partir du croisement des jeux de données venant des suivis de contaminants en lagunes (DCE notamment) et de leurs tributaires (données AERMC du réseau de bassin) avec des listes prioritaires régionales (liste "cours d'eau régionaux" de la CERPE, 2012 et liste issue de "l'étude du risque phytosanitaire en lagunes", Ifremer, 2010). Elle a vocation à servir de base aux futurs suivis qui seront réalisés sur les lagunes méditerranéennes françaises, en venant compléter le panel des substances prioritaires de la DCE et du diagnostic DCE.

Le détail de cette liste et le type d'échantillonneur qui permet de les suivre sont à la page 26 du rapport : https://archimer.ifremer.fr/doc/00379/49065/49513.pdf

## Annexe 1

# LISTE DES 45 SUBSTANCES TESTÉES ET LEURS NORMES DE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALES CORRESPONDANTES (DIRECTIVE 2008/105/CE) DU PARLEMENT EUROPÉEN, MIS À JOUR PAR L'ARRÊTÉ DU 27 JUILLET 2018

		NQE-MA <sup>(2)</sup>	NQE-CMA (4)	NQE Biote (12)	
Nº	Nom de la substance prioritaire	Eaux côtières et de transition	Eaux côtières et de transition	Biote (12)	
IN	•	[µg/l]	[µg/l]	[µg/ kg pf]	
(1)	Alashlara		<u></u>	ניא פייי יפיאי	
(1)	Anthore	0,3	0,7		
(2)	Anthracène Atrazine	0,1	0,1 2,0		
(4)	Benzène	8			
(5)	Diphényléthers bromés (5)	0	0,014	0,0085	
(6)	Cadmium et ses composés	0,2	≤ 0,45 (classe 1) 0,45 (classe 2)	0,0003	
(0)	(suivant les classes de dureté de l'eau) (6)	0,2	0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4)		
(61:)	T'(1   1   (7)	13	1,5 (classe 5)		
(6 bis)	Tétrachlorure de carbone <sup>(7)</sup> Chloroalcanes C10-13 <sup>(8)</sup>	12 0,4	sans objet	16600	
(7) (8)	Chlorfenvinphos	0,4	1,4 0,3	10000	
(9)	Chlorpyrifos (éthylchlorpyrifos)	0,1	0,5 0,1		
(9 bis)	Pesticides cyclodiènes : Aldrine (7) Dieldrine (7)	$\Sigma = 0.005$	sans objet		
(2 013)	Endrine (7) Isodrine (7)	2 — 0,003	sans objet		
(9 ter)	DDT total (7), (9)	0,025	sans objet		
	para-para-DDT (7)	0,01	sans objet		
(10)	1,2-dichloroéthane	10	sans objet		
(11)	Dichlorométhane	20	sans objet		
(12)	Di (2-ethylhexyle)-phthalate (DEHP)	1,3	sans objet	3200	
(13)	Diuron	0,2	1,8		
(14)	Endosulfan	0,0005	0,004		
(15)	Fluoranthène	0,0063	0,12	30	
(16)	Hexachlorobenzène		0,05	10	
(17)	Hexachlorobutadiène	0.000	0,6	55	
(18)	Hexachlorocyclohexane	0,002	0,02		
(19)	Isoproturon	0,3	1,0		
(20)	Plomb et ses composés	1,3	14	20	
(21) (22)	Mercure et ses composés Naphtalène	2	0,07 130	20	
(23)	Nickel et ses composés	2 8,6	34		
(24)	Nonylphénols (4-nonylphénol)	0,3	2,0		
(25)	Octylphénols (4-(1,1', 3,3'-tétraméthylbutylphénol)	0,01	sans objet		
(26)	Pentachlorobenzène	0,0007	sans objet	367	
(27)	Pentachlorophénol	0,4	1	301	
(28)	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (11)	sans objet	sans objet		
(==)	Benzo (a) pyrène	1,7 × 10-4	0,027	5	
	Benzo (b) fluoranthène	voir note 11	0,017	voir note 11	
	Benzo (k) fluoranthène	voir note 11	0,017	voir note 11	
	Benzo (g, h, i) perylène	voir note 11	8,2 × 10-4	voir note 11	
	Indeno (1,2,3-cd)pyrène	voir note <sup>11</sup>	sans objet	voir note 11	
(29)	Simazine	1	4		
(29 bis)	Tétrachloroéthylène (7)	10	sans objet		
	Trichloroethylène (7)	10	sans objet		
(30)	Composés du tributylétain (tributylétain-cation)	0,0002	0,0015		
(31)	Trichlorobenzène	0,4	sans objet		
(32)	Trichlorométhane Trifluraline	2,5	sans objet		
(33) (34)	Dicofol	0,03 3,2 × 10-5	sans objet sans objet <sup>(10)</sup>	33	
(35)	Acide perfluorooctanesulfonique et ses dérivés	3,2 × 10-3 1,3 × 10-4	7,2	9,1	
(33)	(perfluorooctanesulfonate PFOS)	1,3 \ 10-4	7,2	9,1	
(36)	Quinoxyfène	0,015	0,54		
(37)	Dioxinés et composés de type dioxine (15)		sans objet	Somme de PCDD + PCDF + PCB-TD 0,0065 μ g. kg-1 TEQ <sup>(14)</sup>	
(38)	Aclonifène	0,012	0,012		
(39)	Bifénox	0,0012	0,004		
(40)	Cybutryne	0,0025	0,016		
(41)	Cyperméthrine	8 × 10-6	6 × 10-5		
(42)	Dichlorvos	6×10-5	7 × 10-5		
(43)	Hexabromocyclododécane (HBCDD) (16)	0,0008	0,05	167	
(44)	Heptachlore et époxyde d'heptachlore	1×10-8	3×10-5	6,7 × 10-3	
(45)	Terbutryne	0,0065	0,034		

MA: moyenne annuelle. CMA: concentration maximale admissible.

Pour le détail des notes explicatives de 1 à 17 entre parenthèses, se référer à https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/7/27/TREL1819388A/jo/texte

Pour les masses d'eau lagunaires suivies dans le cadre de la DCE et du projet OBSLAG, des classes sont attribuées pour qualifier l'état physico-chimique du sédiment. Celles-ci pourront être reprises directement pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 1150\*-2 lorsqu'il s'agira de noter l'indicateur "Sédiments" sur les lagunes correspondant aux masses d'eau.

**L'objectif de cet indicateur** est de caractériser l'intégrité du substrat d'une lagune au travers des mesures de la matière organique, de l'azote et du phosphore contenus dans le sédiment. Le protocole retenu pour les lagunes permanentes est celui mis en place dans le cadre des suivis de la DCE, notamment pour les sites non suivis au titre de cette directive.

Le sédiment est un élément important du fonctionnement des lagunes et reflète la qualité chimique de la lagune. De par son caractère accumulateur, il conserve de nombreux éléments chimiques, qu'il s'agisse de polluants ou d'éléments azotés et phosphorés, responsables de l'eutrophisation des lagunes. Ses processus particuliers (accumulation et relargage) rendent ce compartiment complexe à intégrer dans une étude portant sur l'état de conservation, mais cela est cependant riche en informations.



# INDICATIONS PRATIQUES

Temps et coûts : les analyses en laboratoire sont en moyenne de 70 € par échantillon (gamme de 37,5 à 117,5 € selon 8 devis fournis en 2014). Les frais peuvent être réduits en regroupant les mesures des indicateurs I10 "Colonne d'eau" et I11 "Contaminants chimiques", et selon le nombre d'échantillons à analyser au total. La sélection des points de prélèvement et l'échantillonnage est inférieure à 2h par laqune.

# PROTOCOLE

## Pressions d'échantillonnage conseillées (ASCONIT, 2009)

1 point tous les 100 ha pour les lagunes > 1 000 ha 1 point tous les 50 ha pour les lagunes plus petites

## Repérage in situ des stations

Limite la variabilité liée à une imprécision sur la localisation des prélèvements

## Renouveler l'évaluation tous les 6 ans

À adapter suivant l'état de contamination du site de prélèvement : accident, événement ponctuel exceptionnel, cessation d'activité, *etc*.





A NOTER: Le positionnement des points de prélèvement sous SIG, ainsi que le contrôle de leur pertinence par un expert est à prévoir. L'opération est répétée tous les 6 ans dans le cadre du diagnostic complet des 17 masses d'eau suivies par la DCE et dans le cadre des campagnes ROCCH<sup>1</sup> "sédiment" conduites par l'Ifremer.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> La campagne ROCCHSED2017; quatrième campagne d'échantillonnage dans les lagunes méditerranéennes françaises, a permis la mesure de concentrations en éléments traces métalliques et en contaminants organiques (sur la base des listes des réglementations en vigueur). D'autre part, il a permis de fournir des éléments complémentaires de diagnostic de la qualité de 13 lagunes dans le cadre du SDAGE RMC en intégrant des mesures de matière organique, d'azote et de phosphore totaux dans les sédiments.

**Pour les lagunes temporaires,** sur lesquelles les relevés de la DCE ne sont pas appliqués mais où l'applicabilité de l'indicateur serait possible avec une pression d'échantillonnage adaptée, il serait préférable de prendre en compte l'unité hydrologique principale plutôt que la pièce d'eau.

Ce protocole a été développé dans cadre de la DCE (Souchu et al., 2000) et est utilisé par l'Ifremer (Andral, 2000).

Pour chaque station, on prélève (par plongée ou à pied selon la profondeur) 8 carottes de 8 cm de diamètre et de 20 centimètres de long. Les 5 premiers centimètres sont alors extraits à l'aide d'un piston, tamisés sur 2 mm, puis homogénéisés avant leur répartition dans des sacs prévus pour leur congélation (-20°C).

Des méthodes simplifiées pour prélever la couche superficielle de sédiment peuvent alternativement être utilisées : dans le cas d'une station à sec ou avec peu d'eau une truelle pourra être utilisée, tandis qu'un tube en PVC pourra servir au carottage dans les zones en eaux plus profondes.

Les échantillons devront ensuite être confiés à un laboratoire pour analyses.

## Pour chaque échantillon sont relevés :

- le taux de matière organique (en %),
- la concentration d'azote (en g/Kg de poids sec de sédiments),
- la concentration en phosphore (en mg/Kg de poids sec de sédiments).

# NOTE DE L'INDICATEUR

Une grille d'évaluation de l'état des sédiments lagunaires est proposée dans le cadre de la DCE à partir des concentrations précisées ci-dessous. Le paramètre déclassant donne son état au compartiment sédimentaire vis-à-vis de l'eutrophisation.

Cet indicateur étant relevé pour les masses d'eau suivies en routine dans le cadre de la DCE, la classe qui lui est attribuée donne une idée de la qualité des sédiments sur une partie du site évalué.

Matière organique	%		3.5		5.0		7.5		10.0	
Azote total	g/kg de PS	Très bon	1.0	Bon	2.0	Moyen	3.0	Médiocre	4.0	Mauvais
Phosphore total	mg/kg de PS		400		500		600		700	
Note		0		-5		-15		-20		-30

<sup>\*</sup>PS = poids sec

#### **SIGLES ET ABREVIATIONS**

**DOCOB**: Document d'objectifs

**EAEE:** Espèces Animales Exotiques Envahissantes **EVEE:** Espèces Végétales Exotiques Envahissantes **ERMS:** Registre Européen des Espèces Marines

OBSLAG: Observatoire des lagunes
RSL: Réseau de Suivi Lagunaire
DCE: Directive Cadre sur l'Eau
DHFF: Directive Habitat-Faune-Flore

**EC**: État de conservation

**FSD**: Formulaire Standard des Données **MES\***: Matière minérale en suspension **MET\***: Masses d'Eau de Transition

**MNHN :** Muséum National d'Histoire Naturelle **NQE :** Norme de Qualité Environnementale

**ROCCH**: Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du littoral

**SIG**: Système d'Information Géographique

SDAGE RMC: Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhône Méditerranée Corse

**Spot :** Satellite pour l'observation de la Terre

**UMS PatriNat :** Unité Mixte de Service Patrimoine Naturel

## **LEXIQUE**

**Azote inorganique dissous (NID):** correspond aux concentrations de toutes les formes d'azote dissous. Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), l'indicateur nutriments défini pour les eaux métropolitaines n'intègre que les concentrations d'azote inorganique dissous (soit la somme ammonium + nitrate + nitrite). Les nitrites se trouvent juste avant les nitrates dans le cycle de dégradation des matières organiques par les bactéries. Les nitrites sont très dangereux pour les poissons. L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates.

Benthique: qui qualifie l'interface eau-sédiment d'un écosystème aquatique, quelle qu'en soit la profondeur.

**Biocénose:** ensemble des organismes vivants (animaux et végétaux - dont microorganismes) qui occupent un écosystème. Ce groupement d'êtres vivants est caractérisé par une composition spécifique déterminée et par l'existence de phénomènes d'interdépendance. Il occupe un espace que l'on appelle biotope et constitue avec lui l'écosystème. Une biocénose se modifie au cours du temps (phase pionnière, phase intermédiaire et phase d'équilibre).

**Biote:** espace caractérisé par des facteurs climatiques, géographiques, physiques, morphologiques et géologiques, etc. en équilibre constant ou cyclique et occupé par des organismes qui vivent en association spécifique (biocénose). C'est la composante non vivante (abiotique) de l'écosystème. Biogéographique: qui désigne en biogéographie une zone géographique climatiquement et écologiquement relativement homogène du point de vue des formations végétales et des températures.

**Contaminant :** élément ou substance contenu dans l'environnement (e.g. air, eau, sédiments) en quantité anormale (= non naturelle). Ils proviennent soit de la pollution industrielle, soit de pratiques mal maîtrisées de l'agriculture, de la transformation des aliments et des substances naturelles. Les éléments-traces métalliques (e.g. Cadmium, chrome, cuivre, plomb, zinc, nickel, étain, mercure) sont présents naturellement, à l'état de traces, dans la croûte terrestre et les milieux naturels, mais sous certaines formes, ils peuvent être assimilés par les êtres vivants et avoir sur ceux-ci un impact toxique.

**DGT** (Diffusive Gradient in Thin films): échantillonneur passif utilisé pour les micropolluants métalliques.

**Écotone :** Zone de transition écologique entre différentes communautés, entre deux écosystèmes. La variation progressive ou irrégulière des paramètres hydrologiques, pédologiques, ou encore thermiques à la frontière des écosystèmes concernés engendre une mosaïque d'habitats avec une interpénétration des faunes et des flores de ces écosystèmes.

**Eutrophisation :** enrichissement des cours d'eau et des plans d'eau en éléments nutritifs, essentiellement le phosphore et l'azote qui constituent un véritable engrais pour les plantes aquatiques. L'eutrophisation se manifeste par la prolifération excessive des végétaux dont la décomposition provoque une diminution notable de la teneur en oxygène. Il s'en suit, entre autres, une diversité animale et végétale amoindrie et des usages perturbés (e.g. Alimentation en Eau Potable - AEP, loisirs).

**Fonctionnement hydromorphologique :** qui prend en compte deux éléments de qualité : les conditions morphologiques (profondeur, nature des fonds) et l'hydrodynamisme (renouvellement des masses d'eau, mélange et exposition à la houle).

**Fraction dissoute / fraction particulaire :** fraction dissoute correspond à la partie de l'échantillon qui traverse un filtre dont le seuil de coupure est à 0,4 ou 0,45 µm. La fraction particulaire est celle qui est retenue par ce filtre. Ce type de filtre laisse passer à la fois les éléments réellement dissous et les éléments colloïdaux. Ce seuil de coupure correspond approximativement à la taille des pores des membranes des cellules biologiques. Ceci signifie que les polluants qui traversent le filtre et que l'on retrouve dans la fraction dissoute ainsi définie sont facilement biodisponibles et sont donc susceptibles de provoquer des effets toxiques sur les organismes aquatiques exposés.

**Hystérésis :** propriété présentée par un système (ou un écosystème ; ici les lagunes) dont les propriétés à un instant t donné dépendent de toute son évolution antérieure et pas seulement des paramètres décrivant le système à cet instant..

**Imagerie hyperspectrale aéroportée :** également appelée spectro-imagerie, il s'agit de toute une série d'images de la même scène, mais prises dans plusieurs dizaines de longueurs d'onde — qui correspondent à autant de "couleurs". Une telle mesure fournit de nombreuses informations sur les propriétés physiques des objets observés. La spectro-imagerie aéroportée est ainsi d'une grande utilité pour l'étude et la surveillance de l'environnement.

**Indice M-AMBI:** indice marin multimétrique de la qualité écologique du benthos de substrat meuble. Désigné comme "AMBI modifié", il résulte d'une application de l'analyse factorielle à l'indice AMBI, la richesse spécifique (i.e. le nombre d'espèces) et l'indice de diversité de Shannon-Weaver.

Lagunes eu-halines: lagunes dont la salinité est supérieure à 30ppt. Au-delà de 38 ppt les lagunes sont décrites comme hyperhalines.

**Lagunes oligo-mésohalines :** lagunes dont la salinité est comprise entre 0,5 et 18 ppt.

**Lagunes poly-halines:** lagunes dont la salinité est comprise entre 18 et 30 ppt.

**Lunette de Calfat :** ou bathyscope, est une lunette sous-marine qui permet de faciliter les observations visuelles depuis la surface pour de très faibles profondeurs.

**Macrophytes :** ce sont des végétaux aquatiques photosynthétiques dont tout le cycle de vie, y compris la reproduction, se déroule dans l'eau. Les macrophytes regroupent les phanérogames et les macroalgues (macroalgues : visibles à l'œil nu, par opposition aux microalgues ou microphytes). Les Charophytes sont des macrophytes intermédiaires entre les phanérogames et les macroalgues.

Masse d'eau de transition: partie distincte et significative des eaux de surface situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves, qui sont partiellement salines en raison de leur proximité des eaux côtières mais qui restent fondamentalement influencées par des courants d'eau douce, constituant le découpage élémentaire des milieux aquatiques destinée à être l'unité d'évaluation de la DCE. Correspondance rapportage DCE: cette entité correspond au concept de *Transitional Water Body (TWBODY)* de WISE.

**Marnage :** correspond à la différence entre les hauteurs d'une pleine mer et d'une basse mer consécutives. Ne pas confondre avec amplitude de la marée. Autrement dit, c'est la différence de hauteur d'eau, observée ou calculée, en un lieu et pour un jour donné entre le niveau de pleine mer et le niveau de basse mer.

Matrice d'un prélèvement (eau, sédiment, biote): elle désigne généralement la matière composée de cellules animales ou végétales (le tissu) mais aussi le compartiment constitutif d'un milieu (par exemple l'eau, le biote et le sédiment) dans lequel sera effectué un prélèvement pour évaluer la présence de certaines molécules voire d'en mesurer la concentration. Dans la surveillance des contaminants en lagune, le sédiment et le biote sont des matrices intégratives de contamination.

**Paramètre :** objet de la mesure (e.g. concentration en nutriments, salinité, température).

**Indicateur:** il s'agit de la combinaison d'une ou plusieurs métriques (et/ou indices) pour évaluer un élément de qualité suivant des règles définies.

**Métriques (ou indicateur) :** élément quantifiable dérivé d'une ou plusieurs mesures. Une métrique est utilisée pour suivre le statut d'un processus spécifique. Elle possède donc une nuance d'objectif ou de performance, ce qui n'est pas le cas de la mesure. Par exemple en biologie, la métrique sera une valeur d'une caractéristique du milieu sensible aux perturbations anthropiques ou du peuplement (e.g. le nombre d'espèces observées, la densité d'une espèce ou d'un groupe d'espèces, la structure en tailles d'une population) dès lors que cette caractéristique présente une évolution univoque sous l'effet des pressions anthropiques.

**Pédologique :** relatif à la pédologie, science ayant pour objet l'étude de la formation, de la structure et de l'évolution de sols.

**Percentile 90 (P90):** valeur statistique telle qu'elle permet le classement d'une valeur, ou d'un site, par rapport à une grille définie à l'avance. Le Percentile 90 est la valeur telle que 90 % des valeurs observées lui sont inférieures.

Phanérogames: plantes qui possèdent des racines, tiges et feuilles et dotées d'une reproduction sexuée par l'intermédiaire de leurs fleurs et graines.

**POCIS** (*Polar Organic Chemical Integrative Sampler*): échantillonneur passif qui ciblent les polluants polaires (composés ayant une affinité avec l'eau et qui se répandent par ce vecteur, par exemples: herbicides, fongicides, alkylphénols), utilisés pour surveiller la pollution des eaux superficielles ou souterraines.

**Renaturation:** le mot renaturation ou renaturalisation est associé à celui de réparation. Il désigne notamment les processus par lesquels les espèces vivantes recolonisent spontanément un milieu ayant subi des perturbations écologiques. Il désigne aussi les opérations d'aménagements et de gestion restauratoire puis conservatoire consistant à restaurer le "bon" état écologique et paysager de sites que l'on estime dégradés par les activités humaines, les événements naturels (glissements de terrains, inondations) ou par l'absence de certains animaux (e.g. grands ou petits herbivores, fouisseurs).

**Réplicat :** résultat d'une mesure qui a été dupliquée (reproduite) plusieurs fois sur un même échantillon. L'objectif de cette démarche est de valider la méthode de dosage ou bien d'évaluer les incertitudes de la mesure.

Taxon: groupe faunistique ou floristique correspondant à un niveau de détermination systématique donné: classe, ordre, genre, famille, espèce.

**Turbidité:** caractère d'une eau dont la transparence est limitée par la présence de matières solides en suspension entraînées par des courants et des tourbillons intenses.

**SBSE** (*Stir-bar sorptive extraction*): méthode d'échantillonnage intégrative utilisant un barreau magnétique recouvert d'un polymère pour extraire les molécules dissoutes de polluants organiques hydrophobes contenus dans l'eau, et détecter et quantifier ainsi (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), Polychlorobiphényles (PCB) et pesticides organochlorés (OCP)).

**Trajectoire écologique :** évolution du biotope et de la biocénose dans un écosystème au cours du temps. La trajectoire d'un écosystème intègre son histoire et en particulier les contraintes et les forçages anthropiques qu'il a subis.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDRAL B., 2000. Les guides méthodologiques du RLM Evaluation de la contamination chimique et radiologique du sédiment. Ifremer. RLM, 60 p. ANDRAL B., SARGIAN P., 2010. Directive Cadre Eau. District "Rhône et Côtiers méditerranéens". Contrôle de surveillance/opérationnel. Campagne DCE 2009, 82 p. + annexes.

ASCONIT, 2009. Caractérisation et évaluation des paramètres hydromorphologiques des lagunes du bassin Rhône - Méditerranée et Corse dans le cadre de la DCE. Agence de l'eau Rhône - Méditerranée et Corse, 242 p.

BARNES R.S.K., 1980. Coastal lagoons (Cambridge Studies in Modern Biology 1). Cambridge University Press, 106 p.

BARRÉ N., CAUCAT J., RIERA L., 2018. Retour d'expérience sur le test de la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat d'intérêt communautaire prioritaire 1150-2\* "Lagunes côtières méditerranéennes".

BENSETTITI F., BIORET F., ROLAND J., LACOSTE J.P., 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.

BENSETTITI F., COMBROUX I., DASZKIEWICZ P., 2006. Evaluation de l'état de conservation des habitats et des espèces d'intérêt communautaire 2006-2007. MNHN Service Patrimoine naturel, Paris, 59 p.

BENSETTITI F., PUISSAUVE R., LEPAREUR F., TOUROULT J., MACIEJEWSKI L., 2012. Evaluation de l'état de conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaire (DHFF article 17). Guide méthodologique, Version 1, Muséum national d'histoire naturelle, 77 p. + annexes.

BIRD E.C.F., 1994. Physical setting and geomorphology of coastal lagoons. In B. Kjerfve (ed.), Coastal Lagoon Processes. Oceanography Series, 60, 9-39. BOJ M., 2015. Test de la méthode d'évaluation de l'état de conservation des lagunes côtières Méditerranéennes à l'échelle du site Natura 2000 des étangs palavasiens - Suivi de l'indicateur "Macrophytes". Rapp. Stage Master 1. Université de Bordeaux, 16 p.

BORJA A., FRANCO J., PEREZ V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments. Marine Pollution Bulletin, 40, 1100–1114.

BORJA A., MUXIKA I., 2005. Guidelines for the use of AMBI (AZTI's marine biotic index) in the assessment of the benthic ecological quality. Marine Pollution Bulletin, 50, 787–789.

CARNINO N., 2009. État de conservation des habitats d'intérêt communautaire à l'échelle du site - Guide d'application de la méthode d'évaluation des habitats forestiers. Muséum national d'histoire naturelle / Office national des forêts, Paris, 23 p. + annexes.

CBN Méditerranéen de Porquerolles, 2018. Stratégie régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur relative aux plantes exotiques envahissantes-Guide méthodologique pour une déclinaison locale à l'attention des gestionnaires de sites. CBN Med., 95 p.

- CHARLES M., VIRY D., 2015. État de conservation des mares temporaires méditerranéennes (UE 3170\*), habitat d'intérêt communautaire. Méthode d'évaluation à l'échelle du site. Rapport d'étude. Version 1. Rapport SPN 2015-56. Service du Patrimoine Naturel/Muséum national d'Histoire naturelle, Office National de l'Eau et des Milieux Aguatiques, 64 p.
- CHAUVIN C., BERTRIN C., BOUTRY S., FERET T., LORIOT S., DUTARTRE A., 2014. Des méthodes basées sur les peuplements de macrophytes pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques. Sciences Eaux & Territoires, vol. 3 (numéro 15), 54-59.
- CLOERN J.E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series, 210, 223-253.
- COLMET-DAAGE R., MALET N., DUFRESNE C., 2019. Changement climatique et données météorologiques infra-régionales en méditerranée occidentale. Intégration des connaissances pour les projets "eaux de transition en Méditerranée". Rapp. IFREMER, ODE/UL/L ER-PAC/19-02, 51 p.
- DATRY T., LARNED S.T., SCARSBROOK M.R., 2007. Responses of hyporheic invertebrate assemblages to large-scale variation in flow permanence and surface-subsurface exchange. Freshwater Biology, 52, 1452-1462.
- DE BEAUMONT L.E., 1845. Leçons de géologie pratique Tome 1. Editions P. Bertrand, 558 p.
- DE JONGE V.N., ELLIOTT M., ORIVE E., 2002. Cause, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutro-phication. Hydrobiologia, 475/476, 1-19.
- DEROLEZ V., MALET N., FIANDRINO A., LAGARDE F., RICHARD M., OUISSE V., BEC B., ALIAUME C., 2020. Fifty years of ecological changes: Regime shifts and drivers in a coastal Mediterranean lagoon during oligotrophication. Science of the Total Environment, 732, 139292.
- DEROLEZ V., OHEIX J., OUISSE V., MUNARON D., FIANDRINO A., MESSIAEN G., HUBERT C., LAMOUREUX A., MALET N., FORTUNE M., BERARD L., MORTREUX S., GUILLOU J., 2015. Suivi estival des lagunes méditerranéennes françaises Bilan des résultats 2014. RST/LER/LR/15.17, 86 p.
- DIXON D.R., 1981. Reproductive biology of the Serpulid *Ficopomatus (Mercierella) enigmaticus* in the Thames Estuary, SE England. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 61, 805-815.
- DONALD H., 2017. Aquatic Dicotyledons of North America: Ecology, Life History, and Systematics, 1334 p.
- DORTEL F., LACROIX P., MAGNANON S., 2011. Plan de lutte contre l'Hydrocotyle fausse-renoncule (*Hydrocotyle ranunculoides* L.f.) en Région Pays de la Loire. Conservatoire botanique national de Brest, 85 p.
- DUARTE C.M., BORJA A., CARSTENSEN J., ELLIOTT M., KRAUSE-JENSEN D., MARBA N., 2015. Paradigms in the recovery of estuarine and coastal ecosystems. Estuaries Coasts, 38, 1202-1212.
- EROSTATE M., HUNEAU F., GAREL E., GHIOTTI S., VYSTAVNA Y., GARRIDO M., PASQUALINI V., 2020. Groundwater dependent ecosystems in coastal Mediterranean regions: Characterization, challenges and management for their protection. Water Research, 172, 115461.
- EUROPEAN COMMISSION, 2005. Assessment, monitoring and reporting of conservation status. Preparing the 2001-2006 report under Article 17 of the Habitats Directive (DocHab-04-03/03 rev.3). Note to the Habitats Committee, DG Environment, Brussels, 15 March 2005.
- EUROPEAN COMMISSION, 2013. Interpretation manual of European Union habitats. EUR 28. European Commission, DG Environment, 144 p.
- FORCHINO A., BORJA A., BRAMBILLA F., GERMAN RODRIGUEZ J., MUXIKA I., TEROVA G., SAROGLIA M., 2011. Evaluating the influence of off-shore cage aquaculture on the benthic ecosystemin Alghero Bay (Sardinia, Italy) using AMBI and M-AMBI. Ecological Indicators, 11, 1112–1122.
- GIRAUD A., STROFFEK S., 2016a. Connaissance des lagunes bilan et stratégie dans le cadre de la mise en œuvre du SDAGE 2016-2021. Rapport de l'Agence de l'Eau RMC, 31 p.
- GIRAUD A., STROFFEK S., 2016b. L'hydromorphologie des lagunes dans le contexte de la Directive Cadre sur l'Eau. Secrétariat technique du SDAGE. AE RM & C, Bassin Rhône-Méditerranée, 36 p.
- GONZALES J.L., 2017. Contribution à l'étude de la dynamique des contaminants chimiques et à la surveillance du milieu marin: apports de la modélisation et des techniques d'échantillonnage passif. HDR, Université de Toulon, 134 p.
- GRILLAS P., DAVID T., 2010. Étude pilote pour une évaluation de l'état des macrophytes des lagunes méditerranéennes oligo et méso-halines. Rapp. Tour du Valat/ONEMA/IFREMER, 64p.
- GRILLAS P., SANCHEZ E., 2016. Diaporama "Indicateurs Macrophytes dans les lagunes oligo et méso-halines."
- GROUHEL A., CHIFFOLEAU J.F., CROCHET S., OUISSE V., GALGANI F., MUNARON D., 2018. Contamination chimique des sédiments des lagunes méditerranéennes françaises Bilan de la Campagne ROCCHSED 2017. RST-RBE-BE-2018-01, 56 p.
- GUALDI S., SOMOT S., LI L., ARTALE V., ADANI M., BELLUCCI A., BRAUN A., CALMANTI S., CARILLO A., DELL'AQUILA A., DEQUE M., DUBOIS C., ELIZALDE A., HARZALLAH A., JACOB D., L'HEVEDER B., MAY W., ODDO P., RUTI P., SANNA A., SANNINO G., SCOCCIMARRO E., SEVAULT F., NAVARRA A., 2013. The CIRCE Simulations: Regional Climate Change Projections with Realistic Representation of the Mediterranean Sea. Bulletin of the American Meteorological Society, 94 (1), 65-81.
- GUELORGET O., PERTHUISOT J.P., 1983. Le domaine paralique : Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. Presse de l'Ecole Normale Supérieure, 4 (16), 136 p.
- GUILLAUMONT B., GAUTHIER E., 2005. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Recommandations pour le benthos marin. Rapp. Ifremer. V1 DYNECO/VIGIES 2005-0511, 28 p. + annexes.
- HANDLEY R.J., DAVY A.J., 2002. Seedling root establishment may limit *Najas marina* L. to sediments of low cohesive strength. Aquatic Botany, 73, 129–136.
- IFREMER, 2005a. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Recommandations concernant le benthos. Fiche technique n°6: Angiospermes —Herbiers à *Zostera marina*, 1-4.
- IFREMER, 2005b. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Recommandations concernant le benthos. Fiche technique n°7: Angiospermes —Herbiers à *Zostera noltii*, 1-4.

- IPARRAGUIRRE A., PRIETO A., VALLEJO A., MOEDERM., ZULOAGA O., ETXEBARRIA N., PASCHKE A., 2017. Tetraphasic polar organic chemical integrative sampler for the determination of a wide polarity range organic pollutants in water. The use of performance reference compounds and *in-situ* calibration. Talanta, Vol. 164, 314-322.
- KERMAGORET C., CLAUDET J., DEROLEZ V., NUGUES M.M., OUISSE V., QUILLIEN N., BAULAZ Y., LE MAO P., SCEMAMA P., VASCHALDE D., BAILLY D., MON-GRUEL R., 2019. How does eutrophication impact bundles of ecosystem services in multiple coastal habitats using state-and-transition models. Ocean and Coastal Management, 174, 144–153.
- KJERFVE B., 1994. Coastal Lagoon Processes. Elsevier, Oceanography Series: Amsterdam, 577 p.
- KLESCZEWSKI M., 2007. Elaboration de critères d'évaluation de l'état de conservation du Parc National des Cévennes. CEN L-R, Montpellier, 62 p. + annexes.
- KLESCZEWSKI M., BARRET J., BAUDOT C., FLEURY J., 2010. Évaluer l'état de conservation des habitats naturels à l'échelle du terrain : approches dans le Languedoc-Roussillon. Rev. For. Fr., 62 (3-4), 417-427.
- LAUGIER T., 1998. Ecologie de deux phanérogames marines sympatriques Zostera marina L. et Zostera noltii Hornem dans l'étang de Thau (Hérault, France). Thèse de l'Université de Montpellier II, 162 p.
- LAURET M., OHEIX J., DEROLEZ V., LAUGIER T., 2011. Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon. Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Région Languedoc-Roussillon, 148 p.
- LE FUR I., 2018. Rôle des macrophytes dans la restauration des milieux lagunaires : successions écologiques. Thèse Université de Montpellier III. École doctorale GAIA (N°584), Unité de recherche UMR 9190 MARBEC, 224 p.
- LE FUR I., DE WIT R., PLUS M., OHEIX J., SIMIER M., OUISSE V., 2017. Submerged benthic macrophytes in Mediterranean lagoons: distribution patterns in relation to water chemistry and depth. Hydrobiologia, 808, 175-200.
- LEPAREUR F., BERTRAND S., PAPUGA G., RICHEUX M., 2013. État de conservation de l'habitat 1150 "Lagunes côtières", Méthode d'évaluation à l'échelle du site. Guide d'application. V1, Rapp. SPN 2013-14, Muséum National d'Histoire Naturelle/Service du Patrimoine naturel, Pôle-relais lagunes méditerranéennes/CEN-LR, 107 p.
- MCBRIDE R.A., ANDERSON J.B., BUYNEVICH I.V., CLEARY W., FENSTER M.S., FITZGERALD D.M., HARRIS M.S., HEIN C.J., KLEIN A.H.F., LIU B., DE MENEZES J.T., PEJRUP M., RIGGS S.R., SHORT A.D., STONE G.W., WALLACE D.J., WANG P., 2013. Morphodynamics of Barrier Systems: A Synthesis. In D.J. Sherman (ed.), Treatise on Geomorphology. Coastal Geomorphology, Vol. 10, 174-244.
- MEINERI E., RODRIGUEZ-PEREZ H., HILAIRE S., MESLEARD F., 2014. Distribution and reproduction of *Procambarus clarkii* in relation to water management, salinity and habitat type in the Camargue. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Vol 24, (3), 312-323.
- MENENDEZ M., 2002. Net production of *Ruppia cirrhosa* in Ebro delta. Aquatic Botany, 73, 107–113.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015. Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-18 du code de l'environnement.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2013. Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales (eaux côtières et eaux de transition) en vue de la mise à jour des états des lieux. 128 p.
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2018. Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales (eaux côtières et eaux de transition) dans le cadre de la DCE. MTES/DGALN/DEB/ELM3, 277 p.
- MISTARZ M., 2016. État de conservation des habitats des eaux dormantes d'intérêt communautaire. Méthode d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000. Rapport préliminaire. Rapport SPN 2016-104, Service du Patrimoine Naturel/Muséum national d'Histoire naturelle, Office National de l'Eau et des Milieux Aguatiques, Paris, 76 p.
- MOURONVAL J.B., BAUDOUIN S., BOREL N., SOULIE-MÄRSCHE I., KLESCZEWSKI M., GRILLAS P., 2016. Guide des Characées de France méditerranéenne. ONCFS, 211 p.
- MUNARON D., 2012. Calibration d'échantillonneurs passifs (POCIS) pour le suivi des contaminants hydrophiles de l'annexe X de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). RST/LER/LR 12-01, 75 p.
- MUNARON D., HUBERT C., MORTREUX S., MESSIAEN G., LAGARDE F., DEROLEZ V., TAPIE N., BUDZINSKI H., LE ROUX G., GIRAUD A., 2017. Mise en place d'un indicateur d'évaluation du risque lié à la présence de pesticides en milieu lagunaire méditerranéen. RST.ODE/LER-LR/17-06, 99 p.
- MUXIDA I., BORJA A., BONNE W., 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. Ecological Indicators, 19-31.
- MUXIKA I., BORJA Á., BALD J., 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. Marine Pollution Bulletin, 55, 16–29.
- NEWTON A., ICELY J., CRISTINA S., BRITO A., CARDOSO A.C., COLIJN F., RIVA S.D., GERTZ F., HANSEN J.W., HOLMER M., IVANOVA K., LEPPÄKOSKI E., CANU D.M., MOCENNI C., MUDGE S., MURRAY N., PEJRUP M., RAZINKOVAS A., REIZOPOULOU S., PEREZ-RUZAFA A., SCHERNEWSKI G., SCHUBERT H., CARR L., SOLIDORO C., VIAROLI P.L., ZALDIVAR J.M., 2014. An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 140, 95-122.
- NICHOLS M.M., ALLEN G., 1981. Sedimentary processes in coastal lagoons. In: Coastal lagoon and research, present and future. UNESCO, Paris, 77-187. PAPUGA G., 2012. Mise au point d'un indicateur de l'état de conservation des lagunes côtières basé sur les herbiers. Rapp. Stage, Université de Montpellier 2, 27p. + annexes.
- PAPUGA G., KLESCZEWSKI M., 2012. Annexe 8 Contribution à la méthodologie d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat d'intérêt communautaire prioritaire "1150\*-2 Lagunes côtières méditerranéennes" à l'échelle du site Natura 2000 dans le cadre de la Directive Habitats Faune Flore: Typologie de l'Habitat "1150-2\* Lagunes méditerranéennes". CEN Languedoc-Roussillon, 22 p.

- PASQUALINI V., DEROLEZ V., GARRIDO M., ORSONI V., BALDI Y., ETOURNEAU S., LEONI V., REBILLOUT P., LAUGIER T., SOUCHU P., MALET N., 2017. Spatio-temporal dynamic of submerged macrophyte status and watershed exploitation in a Mediterranean coastal lagoon: Understanding critical factors in ecosystem degradation and restoration. Ecological Engineering, Vol. 12, 1-14.
- PEARSON T., ROSENBERG R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography and Marine Biology, 16, 229-311.
- PETIT Y., HUGOT L., 2019. Listes hiérarchisées des espèces végétales exotiques envahissantes et potentiellement envahissantes en Corse Cadre méthodologique Stratégie territoriale relative aux invasions biologiques végétales, Tome 1. Conservatoire botanique national de Corse / Office de l'environnement de la Corse. 29 p. + 1 Annexe.
- PICHON R., 2018. Cartographie de la présence de Ficopomatus enigmaticus (Fauvel, 1923) sur la partie sud de la lagune de Canet Saint-Nazaire et détermination de la faune associée. Rapport de stage de M1, Université de Perpignan.
- PRIEUR A., 2018. Plan d'actions sur les Espèces Exotiques Envahissantes dans la Réserve de Biosphère de Camarque, 54 p.
- RABALAIS N.N., TURNER R.E., DIAZ R.J., JUSTIC D., 2009. Global change and eutrophication of coastal waters. ICES Journal of Marine Science, 66, 1528–1537.
- SANCHEZ A.E., GRILLAS P., 2014. Mise au point d'un indicateur macrophytes DCE compatible pour les lagunes oligo et mesohalines. Rapport d'étude Tour du Valat/ONEMA/Agence de l'Eau RMC, 80 p.
- SANCHEZ A.E., GRILLAS P., DEROLEZ V., BEC B., GIRAUD A., 2017. Adaptation des grilles DCE de qualité nutriments, du phytoplancton (abondance et biomasse) et des macrophytes, pour les lagunes oligo et mésohalines. Rapport d'étude Tour du Valat/ONEMA/Agence de l'Eau RM, 65 p.
- SCHEFFER M., VAN NES E.H., 2007. Shallow lake theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. Hydrobiologia, 584, 455-466.
- SCHOEN N., 2015. Évaluation de l'état de conservation des lagunes méditerranéennes à l'échelle du site Natura 2000. Application aux étangs Palavasiens. Rapport de Master 1, Université Paul Sabatier (Toulouse).
- SCHWARTZ M.L., 1971. The Multiple Causality of Barrier Islands. Journal of Geology, 79, 91-94.
- SEANEO, 2016. Évaluation de l'état de conservation de l'habitat d'intérêt communautaire prioritaire "1150 Lagunes côtières à l'échelle du site Natura 2000" Indicateur : Caractérisation des herbiers de l'étang de Salses-Leucate. Syndicat Mixte RIVAGE Salses-Leucate.
- SOUCHU P., XIMENES M.C., LAURET M., VAQUER A., DUTRIEUX E., 2000. Mise à jour d'indicateurs du niveau d'eutrophisation des milieux lagunaires méditerranéens. AE RMC, 241 p.
- TAGLIAPIETRA D., SIGOVINI M., VOLPI GHIRARDINI A., 2009. A review of terms and definitions to categorise estuaries, lagoons and associated environments. Marine and Freshwater Research, 60, 497-509.
- TAMBORSKI J., VAN BEEK P., RODELLAS V., MONNIN C., BERGSMA E., STIEGLITZ T., HEILBRUN C., COCHRAN J.K., CHARBONNIER C., ANSCHUTZ P., BE-JANNIN S., BECK E., 2019. Temporal variability of lagoon—sea water exchange and seawater circulation through a Mediterranean barrier beach. Limnology and Oceanography, 1-22.
- TERRIN E., DIADEMA K., FORT N., 2014. Liste des espèces végétales exotiques envahissantes et potentiellement envahissantes de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles, 19 p.
- TOURNOUD M.G., CHEVEREAU G., SCERCI F., MAZOYER C., 2001. Guide méthodologique de gestion des lagunes méditerranéennes. 1 : Les eaux. Région Languedoc Roussillon Montpellier (FRA) ,188 p.
- VERHOEVEN J.T.A., 1979. The ecology of Ruppia-dominated communities in Western Europe: I. Distribution of Ruppia representatives in relation to their autecology. Aquatic Botany, 6, 197-268.
- VIRY D., 2013. État de conservation des habitats humides et aquatiques d'intérêt communautaire. Méthode d'évaluation à l'échelle du site. Rapport d'étude. Version 1. Rapport SPN 2013-12. Service du patrimoine naturel. Muséum national d'histoire naturelle/Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Paris, 83p.
- WITKOWSKI F., ANDRAL B., DEROLEZ V., TOMASINO C., 2017. Campagne de surveillance DCE 2015 en Méditerranée française. Districts "Rhône et côtiers Méditerranéens" et "Corse". Rapp. Ifremer n° 2014-2292, 79 p.

## Webographie

http://professionnels.ign.fr/bdtopo https://www.geoportail.gouv.fr/ https://archimer.ifremer.fr/