



HAL
open science

Etude de faisabilité pour la Liste Rouge des Ecosystèmes des herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine

Marielle Dumestre, Anne-Laure Janson, Thibaut de Bettignies

► To cite this version:

Marielle Dumestre, Anne-Laure Janson, Thibaut de Bettignies. Etude de faisabilité pour la Liste Rouge des Ecosystèmes des herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN). 2022, 45 p. + 11 p. d'annexes. mnhn-04135666

HAL Id: mnhn-04135666

<https://mnhn.hal.science/mnhn-04135666>

Submitted on 21 Jun 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Etude de faisabilité
pour la Liste Rouge des Ecosystèmes
des herbiers de phanérogames marines
de France métropolitaine**

Marielle Dumestre, Anne-Laure Janson, Thibaut de Bettignies



Mai 2022

PATRINAT

Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel

Un service commun de
l'Office français de la biodiversité,
du Centre national de la recherche scientifique
et du Muséum national d'Histoire naturelle



www.ofb.gouv.fr



www.cnrs.fr



www.mnhn.fr

Nom du Projet : Liste rouge des écosystèmes des herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine.

Chefs de projet : Anne-Laure Janson (PatriNat) et Thibaut de Bettignies (PatriNat, LEFE).

Chargée de mission : Marielle Dumestre (PatriNat).

Experts mobilisés : Adelaïde Aschenbroich, Fabien Aubert, Isabelle Auby, Aurélien Boyé, Julie Deter, Benoît Dumeau, Thomas Fauvel, Marie Garrido, Jacques Grall, Vincent Ouisse, Vanina Pasqualini, Christine Pergent-Martini, Gérard Pergent, Claire Rollet, Sandrine Ruitton, Pierre-Guy Sauriau, Alix Sauve, Anne Souquière.

Référence du rapport : Dumestre M., Janson A.-L., de Bettignies T. (2022) Etude de faisabilité pour la Liste Rouge des Ecosystèmes des herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine. Rapport PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), 41 pp. + annexes.

Photographie de couverture : Herbière à *Posidonia oceanica* du Cap Corse © Thibaut de Bettignies (PatriNat, LEFE).

PatriNat

Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel



Depuis janvier 2017, PatriNat assure des missions d'expertise et de gestion des connaissances pour ses trois tutelles, que sont l'Office français de la biodiversité (OFB), le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), et le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN).

Son objectif est de fournir une expertise fondée, d'une part, sur la collecte et l'analyse de données de la biodiversité marine et terrestre et de la géodiversité présentes sur le territoire français, en métropole comme en outre-mer, et, d'autre part, sur la maîtrise et l'apport de nouvelles connaissances en écologie, sciences de l'évolution et anthropologie. Cette expertise, établie sur une approche scientifique, doit contribuer à faire émerger les questions et à proposer les réponses permettant d'améliorer les politiques publiques portant sur la biodiversité, la géodiversité et leurs relations avec les sociétés et les humains.

En savoir plus : patrinat.fr

Co-directeurs :

Laurent PONCET et Julien TOUROULT

Inventaire national du patrimoine naturel



Porté par PatriNat, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature, en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. L'INPN est un dispositif clé du Système d'information de l'inventaire du patrimoine naturel (SINP) et de l'Observatoire national de la biodiversité (ONB).

Afin de gérer cette importante source d'informations, le MNHN a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses, quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de consolider des informations qui étaient jusqu'à présent dispersées. Il concerne la métropole et l'outre-mer, aussi bien sur la partie terrestre que marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance naturaliste, l'expertise, la recherche en macroécologie et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : inpn.mnhn.fr

SOMMAIRE

1	PREAMBULE.....	1
1.1	Objectifs de l'étude	3
2	MÉTHODES - sollicitation de l'expertise	3
3	CHOIX DES ÉCOSYSTÈMES À ÉVALUER.....	4
3.1	Cadre d'évaluation des herbiers marins	5
3.2	Présentation des typologies nationales et propositions des types d'écosystème à évaluer	10
3.2.1	Secteur Méditerranée.....	14
3.2.2	Secteur Atlantique, Manche et mer du Nord.....	16
3.3	Description des types d'écosystème à évaluer	17
4	DONNÉES MOBILISABLES ET ADÉQUATION AVEC LES CRITÈRES D'ÉVALUATION	21
4.1	Principes généraux des critères d'évaluation	21
4.2	Recommandations pour l'évaluation du critère B	23
4.3	Recommandations pour l'évaluation du critère A	25
4.4	Recommandations pour l'évaluation des critères C et D	28
5	DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS	31
	Bibliographie	32
	Annexe 1. Résumé des critères d'évaluation	
	Annexe 2. Résultats du questionnaire	
	Annexe 3. Typologie EUNIS-Correspondances	
	Annexe 4. Exemples de modèles conceptuels	

1 PREAMBULE

La Liste Rouge des Ecosystèmes de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) a été développée afin de pouvoir évaluer le risque d'effondrement des écosystèmes selon des catégories définies par un cadre méthodologique standardisé (Keith *et al.*, 2013 ; Bland *et al.*, 2016) (Fig. 1). Déclinées à différentes échelles spatiales (mondiales, régionales ou nationales), les « Listes Rouges des Ecosystèmes », ou LRE, apportent un diagnostic documenté et scientifiquement rigoureux ; elles peuvent ainsi faciliter la mise en place de stratégies de conservation (Alaniz *et al.*, 2019 ; Bland *et al.*, 2019).

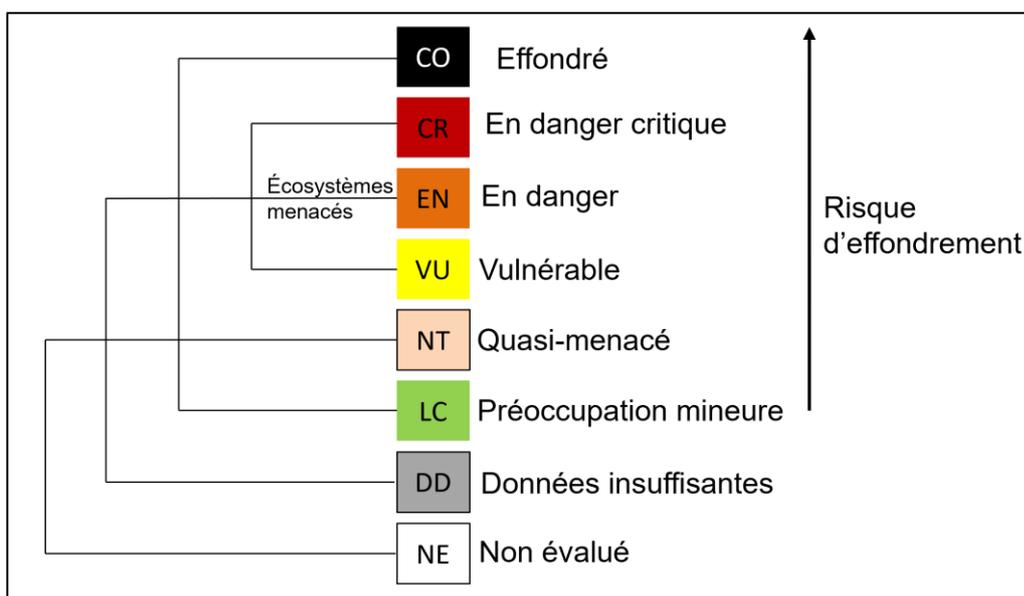


Figure 1. Système de catégories de risques d'effondrement de la LRE de l'UICN (extrait de Bland *et al.*, 2016).

Basée sur les mécanismes d'effondrement d'écosystème et les symptômes du risque d'effondrement (Fig. 2), la méthodologie de la Liste Rouge des Ecosystèmes de l'UICN comprend cinq critères d'évaluation du risque d'effondrement des écosystèmes (Keith *et al.*, 2013 ; Bland *et al.*, 2016), à savoir :

- A. Réduction de la distribution spatiale ;
- B. Distribution spatiale restreinte ;
- C. Dégradation de l'environnement abiotique ;
- D. Perturbation des interactions biotiques ;
- E. Analyse quantitative estimant la probabilité d'effondrement de l'écosystème.

Un type d'écosystème soumis à évaluation doit être examiné au regard de tous les critères pour lesquels les données sont disponibles. Pour chaque critère, des seuils quantitatifs et qualitatifs permettent d'inscrire l'écosystème dans les catégories de menace UICN (voir fiche synthétique d'évaluation en Annexe 1). L'état de menace global du type d'écosystème correspond au niveau de risque le plus élevé atteint par n'importe lequel des critères.

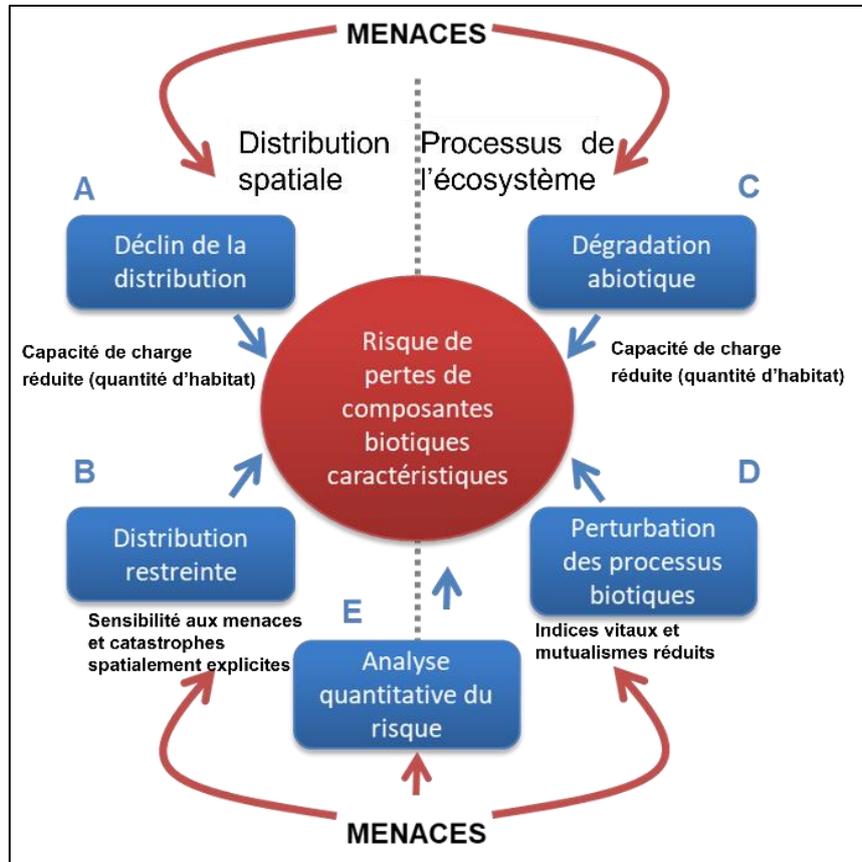


Figure 2. Mécanismes d'effondrement de l'écosystème et symptômes du risque d'effondrement (simplifié à partir de Bland et al., 2016).

A l'échelle nationale, le Comité français de l'UICN et PatriNat (OFB-CNRS-MNHN) se sont associés pour la mise en œuvre des LRE en France, selon les catégories et critères de l'UICN. La démarche d'évaluation est collégiale et s'appuie sur la participation de nombreux experts. A ce jour, en plus de quelques études de cas : des forêts de métropole (UICN, 2014) et des zones humides (Carré *et al.*, 2012), trois chapitres ont été finalisés :

- un chapitre « Littoraux méditerranéens Vol 1 : Dunes côtières et rivages sableux » (Comité français de l'UICN, 2020) et un chapitre « Forêts méditerranéennes » (UICN France, 2018), en Métropole ;
- un chapitre « Mangroves de Mayotte » (UICN, 2017), en Outre-Mer.

Une évaluation de l'état écologique et du risque de dégradation des herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine est aujourd'hui envisagée. Ces habitats marins ont été priorités d'après leurs états de conservation évalués comme « préoccupants » et un niveau avancé de connaissances scientifiques suffisant pour permettre d'objectiver au maximum les critères d'évaluation (Orth *et al.*, 2006 ; Le Diréach & Boudouresque, 2013 ; De Los Santos *et al.*, 2019). Les herbiers sont principalement menacés par la destruction physique (développement d'infrastructures côtières, ancrage), la dégradation de la qualité de l'eau (sédimentation et eutrophisation) et le changement climatique (Orth *et al.*, 2006 ; De Los Santos *et al.*, 2019 ; Durreau *et al.*, 2021). Pour cette Liste rouge nationale des phanérogames marines, la zone d'évaluation en France métropolitaine inclut le secteur de l'Atlantique, Manche et mer du Nord, et le secteur de la Méditerranée.

A l'échelle mondiale, plus de 58% des herbiers marins ont été évalués « en déclin » selon la revue de Waycott *et al.* (2009), même si de grandes disparités régionales existent. A l'échelle européenne, les herbiers marins ont déjà fait partie des habitats évalués de façon systématique dans la Liste Rouge des Ecosystèmes marins d'Europe (Gubbay

& Sanders, 2016). Selon les résultats de cette LRE à l'échelle européenne, les herbiers de posidonie de Méditerranée et les herbiers de l'infralittoral de la côte Atlantique nord-est (excluant la Macaronésie) sont menacés, classés respectivement en catégorie vulnérable « VU » et en danger critique « CR ». Les deux autres habitats évalués par Gubbay & Sanders (2016) et présents sur les côtes françaises métropolitaines sont les herbiers sur sédiments intertidaux classés en quasi-menacés « NT » (façade Atlantique nord-est), et les herbiers méditerranéens constitués d'autres espèces que la posidonie classés en préoccupation mineure « LC ». Cependant, au vu des disparités du statut écologique des herbiers en Europe (De Los Santos *et al.*, 2014), les résultats de cette étude ne sont pas forcément représentatifs des conditions des herbiers marins à l'échelle des côtes françaises métropolitaines. De plus, les types d'écosystème évalués sont peu détaillés (niveau EUNIS 4¹) et ne distinguent pas forcément les sous-habitats, *i.e.* les herbiers en fonction des espèces ingénieurs qui les constituent ou en fonction de leur contexte : mer ouverte/lagunes (Gubbay & Sanders, 2016).

Avant de pouvoir initier ce nouveau chapitre national marin de LRE sur les herbiers, un travail préliminaire est essentiel pour s'assurer de la faisabilité de cette évaluation. Cette étude de faisabilité s'appuie sur un bilan de l'existant pour définir un cadre d'évaluation cohérent, proposer les types d'écosystème à évaluer et estimer la pertinence des données existantes pour l'application de la méthodologie UICN.

1.1 Objectifs de l'étude

Cette étude de faisabilité pour une évaluation Liste Rouge des Ecosystèmes des herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine a pour but de/d' :

- 1) définir le cadre d'évaluation des herbiers à évaluer, en s'appuyant sur une synthèse bibliographique des différentes caractéristiques des espèces ingénieurs qui constituent ces écosystèmes ;
- 2) déterminer les types d'écosystème, *i.e.* unités d'habitats² à évaluer : pour cela, une synthèse des typologies d'habitats a été réalisée et soumise à consultation auprès des experts de ces habitats sur les deux façades ; la synthèse des avis collectés a permis de proposer un certain nombre de types d'écosystème à évaluer ;
- 3) identifier les sources de données et les programmes ressources afin de dresser une première appréciation de leur pertinence pour répondre aux critères d'application, principalement les critères A et B.

2 MÉTHODES - sollicitation de l'expertise

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, une demande a été adressée aux experts pour recueillir leur avis sur la détermination des types d'écosystème à évaluer et sur les sources de données existantes.

Dans un premier temps, un appel à contribution au réseau RT-HABENT (Réseau thématique de l'OFB sur les habitats benthiques incluant plus d'une cinquantaine d'agents de l'OFB) a été lancé pour recenser les données existantes sur les herbiers et pour identifier les personnes travaillant sur les herbiers, incluant scientifiques et gestionnaires. Une fois la liste des experts consolidée, une sollicitation d'expertise a été transmise à 50 experts³ sur la typologie des types d'écosystème à évaluer et le recensement des données existantes. Deux formats de document ont été

¹ Les niveaux de la classification des habitats européens (EUNIS : European Nature Information System) vont de 1 à 6 avec le niveau 6 le plus détaillé (<https://eunis.eea.europa.eu/habitats-code-browser.jsp>).

² « Habitat : se dit d'un environnement particulier qui peut être distingué par ses facteurs abiotiques et ses caractéristiques biologiques, fonctionnant à des échelles spatiales et temporelles spécifiques mais dynamiques, dans un espace géographique reconnaissable (d'après Yapp, 1922) » extrait de Clair *et al.* (2019).

³ La sollicitation a été initiée au 09/12/2021, avec une relance le 05/01/2022 et un retour attendu pour le 17/01/2022.

transmis aux experts pour faciliter leurs retours, à savoir un questionnaire en ligne et un tableur excel pré-rempli. Le questionnaire en ligne a permis de recueillir leurs avis sur un scénario d'unités et/ou de sous-unités à évaluer en fonction de leur connaissance des données existantes. Le tableau à compléter a permis de cataloguer les sources de données existantes et leurs caractéristiques.

Un tiers des personnes a répondu au questionnaire sur les typologies des écosystèmes à évaluer (Tableau 1, Annexe 2). Comme la majorité des personnes consultées sont spécialistes d'un des deux secteurs géographiques considérés (Atlantique, Manche et mer du Nord ou Méditerranée), ils ont répondu généralement à la section du questionnaire concernant leur secteur géographique d'expertise. Pour les deux secteurs, le questionnaire a été complété par des personnes avec un niveau élevé d'expertise sur les différents habitats concernés (herbiers à zostères, à posidonie ou autres espèces, notamment en milieu lagunaire).

Comme cette consultation sur la typologie était couplée à une demande d'information sur les données existantes pour une évaluation LRE, plus d'une dizaine de personnes ont apporté des précisions sur les données mobilisables sans forcément répondre au questionnaire sur les typologies des écosystèmes à évaluer. Au total, presque la moitié des experts contactés a ainsi répondu à la sollicitation. Les résultats de la consultation sont intégrés dans la suite de ce document et résumés dans l'Annexe 2.

Tableau 1. Statistiques de la consultation (Abréviations : Nb. Pers. Nombre de personnes ; ATL : secteur Atlantique, Manche et mer du Nord ; MED : secteur de la Méditerranée), le nombre indiqué entre parenthèse indique un participant ayant une expertise sur les deux secteurs géographiques.

Statuts	Spécialité	Nb. Pers. sollicitées		Nb. Pers. ayant répondu au questionnaire		Nb. Pers. ayant envoyé des commentaires	
		ATL	MED	ATL	MED	ATL	MED
Chercheur		12	11	6 (+1)	4 (+1)	5	3
Gestionnaire d'espaces naturels		2	6			1	1
Agent de l'OFB		5	2	1		1	
Indépendant – Bureau d'étude			5		1		
Personnel en charge de projet ou d'évaluation sur les habitats		6	1	2	1		1
TOTAL		25	25	10	7	7	5

3 CHOIX DES ÉCOSYSTÈMES À ÉVALUER

La première étape d'une évaluation Liste Rouge des Ecosystèmes (LRE) consiste à définir et décrire les types d'écosystème à évaluer. La définition des types d'écosystème est une étape clé du processus d'évaluation et repose sur une combinaison d'expertises, une prise en compte de l'écologie fonctionnelle et de la disponibilité de données pour pouvoir déterminer la résolution typologique de l'unité d'écosystème à évaluer (Bland *et al.*, 2016). Par exemple, une plus grande quantité de types d'écosystème divisés de façon plus fine pour une région donnée pourra être définie dans une LRE nationale par rapport aux évaluations LRE à l'échelle européenne ou mondiale.

Pour définir et décrire les types d'écosystème à évaluer, un scénario « typologique » ainsi qu'un questionnaire ont été soumis à consultation des experts afin de recueillir leurs avis (Annexe 2). Cette proposition d'unités d'écosystème à évaluer repose sur (i) une présentation des principales espèces ingénieurs des herbiers « marins » pour définir le cadre de l'évaluation et (ii) un bilan sur la diversité des herbiers selon les typologies nationales des habitats marins. **En prenant en compte les retours des experts, une déclinaison des types d'écosystème à évaluer,**

cohérente avec les typologies nationales et l'écologie des espèces ingénieurs de l'écosystème, est proposée ci-dessous au regard de son opérationnalité avec une évaluation LRE.

3.1 Cadre d'évaluation des herbiers marins

Les herbiers de phanérogames marines sont des prairies ou pelouses sous-marines constituées d'espèces d'angiospermes adaptées au milieu marin. Selon la définition d'Arber (1920), les phanérogames dites « marines » correspondent aux angiospermes ayant les propriétés suivantes :

- 1) la capacité à passer la totalité de leur cycle vital en milieu halin ;
- 2) une croissance possible en étant totalement immergée ;
- 3) un système racinaire leur permettant de s'ancrer dans le sédiment ;
- 4) une pollinisation en milieu marin.

Les phanérogames marines *sensu stricto* correspondent à un groupe paraphylétique incluant les espèces d'angiospermes qui se retrouvent exclusivement en milieu marin (den Hartog & Kuo, 2006). Les familles des Zosteraceae, des Cymodoceaceae et des Posidoniaceae sont entièrement constituées de phanérogames marines, ainsi que certains genres de la famille des Hydrocharitaceae dont *Halophila*. Cinq espèces de phanérogames marines *sensu stricto* se développent sur les côtes de France métropolitaine : *Posidonia oceanica*, *Zostera marina*, *Zostera noltei*, *Cymodocea nodosa* et l'espèce invasive *Halophila stipulacea*, répertoriée pour la première fois en France (Cannes) par Thibaut *et al.* (2022). Parmi ces espèces, toutes peuvent se retrouver en milieu saumâtre à l'exception de *Posidonia oceanica*. D'autres phanérogames aquatiques répondent à ces critères (Arber, 1920) ; bien qu'ayant des possibilités d'extension vers des milieux dulcicoles, elles sont rattachées à un groupe « eurysalin » avec des affinités pour certains sels, *e.g.* NaCl, Na²SO₄, MgSO₄ (den Hartog, 1967 ; den Hartog & Kuo, 2006). Parmi elles, les espèces de la famille des Ruppiaceae se retrouvent dans des milieux poïkilohalins⁴ (eaux saumâtres et/ou hypersalines) où elles peuvent devenir dominantes (den Hartog, 1967 ; Short *et al.*, 2011). C'est aussi le cas du potamot pectiné *Stuckenia pectinata* qui définit la biocénose d'habitat considéré comme « marin » selon Michez *et al.* (2014 ; 2019). Pour autant, *S. pectinata* est rarement considérée comme une phanérogame marine (Spalding *et al.*, 2003), contrairement aux espèces de *Ruppia* qui sont généralement incluses d'après leur capacité à se développer également en milieu marin.

Pour rester dans le cadre de la définition des phanérogames marines *sensu stricto*, nous proposons de considérer **uniquement les espèces se développant dans des gammes de salinités supérieures à 10**, incluant les espèces de phanérogames strictement marines et poïkilohalines (Fig. 3). Etant non-indigène, la phanérogame invasive *H. stipulacea*, observée récemment sur une superficie de 16,5 hectares (Thibaut *et al.*, 2022), ne sera pas prise en compte dans cette évaluation LRE des herbiers marins car elle témoigne d'un habitat dégradé (Bland *et al.*, 2017).

En cohérence avec l'expertise mobilisée, nous proposons ainsi d'évaluer les écosystèmes d'herbiers composés des **six espèces ingénieurs suivantes : *Posidonia oceanica*, *Zostera marina*, *Zostera noltei*, *Cymodocea nodosa*, *Ruppia maritima* et *Ruppia cirrhosa***⁵ (Tableau 2). Sur 16 experts ayant formulé un avis, 15 valident cette proposition (Annexe 2). Ces phanérogames marines forment un paysage marin très caractéristique d'herbiers distribués en prairies et pouvant couvrir des superficies de quelques dizaines de mètres carrés à plusieurs dizaines d'hectares.

⁴ Un milieu poïkilohalin subit des variations de salinité et inclut des eaux saumâtres (avec une salinité de 0,2 à 30) et hypersalines (avec une salinité supérieure à 40) (Aguesse 1957 ; Fig. 3).

⁵ De grandes incertitudes sont associées à la détermination de cette espèce (Ito *et al.*, 2017 ; den Hartog & Triest, 2020). Dans ce document, nous utilisons le nom de *Ruppia cirrhosa* qui est le nom valide (synonyme de *R. spiralis*) dans la version actuelle (v14.0) du référentiel taxonomique national TAXREF (Gargominy *et al.*, 2020) selon Tison & de Foucault (2014).

Elles sont considérées comme des espèces ingénieurs (de l'écosystème), *i.e.* elles modifient le biotope et la biocénose du milieu où elles se développent (Jones *et al.*, 1994). Par exemple, le développement d'un herbier est associé à une modification pérenne de l'hydrodynamisme et de la dynamique sédimentaire, pouvant entraîner des modifications d'ordre biotique, telles qu'une augmentation de la biodiversité marine associée (Abdelrhman, 2003 ; Folkard, 2005 ; Bos *et al.*, 2007). Les herbiers de phanérogames marines ont des rôles fonctionnels importants pour la biocénose associée ; ce sont des supports de vie (notamment sur les rhizomes et les feuilles), des zones de protection, d'alimentation, de reproduction et de nurseries (Duarte, 2000 ; Heck *et al.*, 2003 ; Duffy, 2006). Ils jouent un rôle important dans le cycle du carbone en milieu côtier (Ouisse *et al.*, 2010 ; 2011). Selon les espèces et les conditions environnementales, les densités des herbiers varient de quelques dizaines à plus d'un millier de pieds par m², *e.g.* pour *Zostera marina* (La Rivière *et al.*, 2022) et *Posidonia oceanica* (Pergent-Martini & Pergent, 2009).

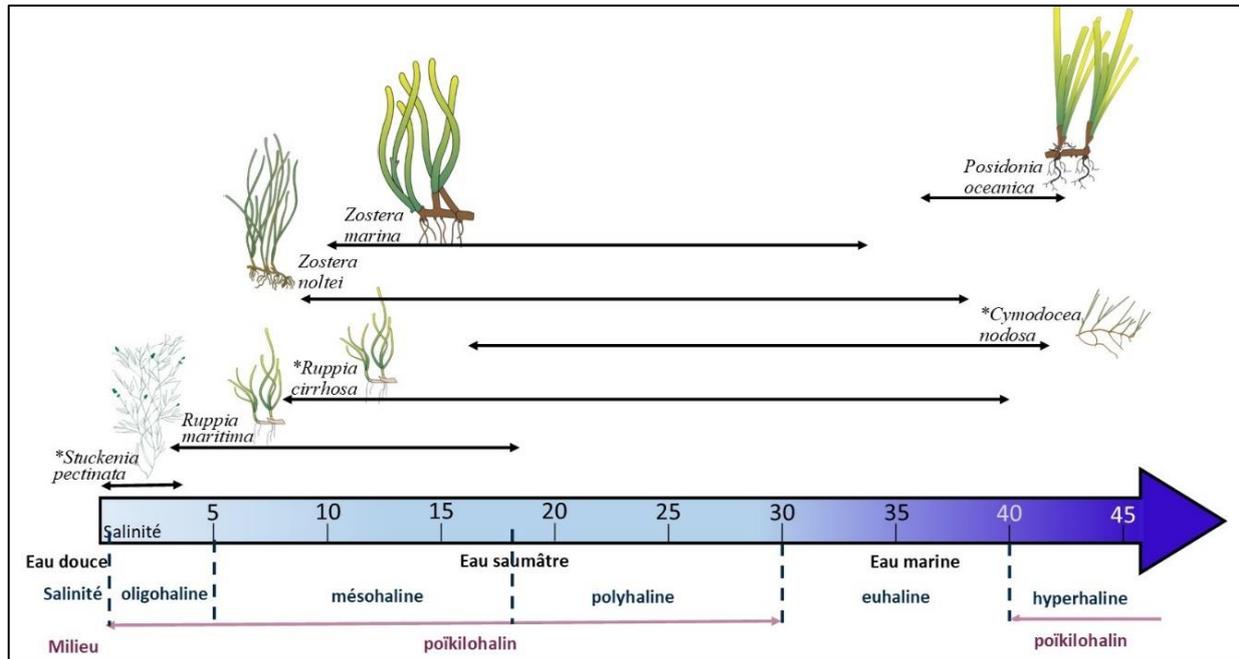


Figure 3. Espèces de phanérogames classées selon leurs gammes de salinité ou (*) leur optimum de salinité pour *S. pectinata* et *R. cirrhosa* (Verhoeven, 1980) et *C. nodosa* (Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso, 2006). Illustration des espèces de phanérogames provenant d'Integration and Application Network⁶.

⁶ <https://ian.umces.edu/media-library/>

Tableau 2. Herbiers marins et caractéristiques des phanérogames marines à prendre en compte dans l'évaluation LRE.

Espèce	<i>Posidonia oceanica</i>	<i>Cymodocea nodosa</i>
Nom, Auteur	<i>Posidonia oceanica</i> (L.) Delile, 1813	<i>Cymodocea nodosa</i> (Ucria) Asch., 1869
Secteur	Méditerranée (endémique)	Méditerranée
Précision géographique	Distribution limitée sur la côte de Méditerranée continentale : peu d'herbiers en Occitanie (2 km ²) et ils s'étendent en un liseré quasi-continu sur la côte de Provence-Alpes-Côte d'Azur (255 km ²). Plus des 2/3 de la surface des herbiers à <i>P. oceanica</i> se retrouvent en Corse (624 km ²), où ils sont particulièrement abondants sur la côte orientale (Sartoretto & Baucour, 2012). Ces herbiers ont la particularité de pouvoir également se développer sur des substrats rocheux (Badalamenti <i>et al.</i> , 2015).	L'herbier à <i>C. nodosa</i> se développe en milieu abrité, la plupart du temps entre la côte et les herbiers à posidonie mais aussi sur les mattes mortes de posidonie ; de façon marginale, des petites taches de <i>C. nodosa</i> ont été observées après la limite inférieure les herbiers de posidonie (Pergent-Martini & Le Ravallec, 2007 ; Michez <i>et al.</i> , 2014). Des herbiers à <i>C. nodosa</i> se retrouvent à de faibles profondeurs dans les lagunes côtières principalement en Corse mais également dans l'Etang de Thau (Garrido <i>et al.</i> , 2013 ; Fréjefond <i>et al.</i> , 2021b).
Distribution bathymétrique	Infralittoral : de la surface jusqu'à 40/45 m de profondeur.	Infralittoral : - En mer ouverte : de 2 m jusqu'à 25 m de profondeur, et nouvellement répertoriée en dessous des herbiers de posidonie à des profondeurs inférieures à 35 m (Valette-Sansevin <i>et al.</i> , 2019 ; Fréjefond <i>et al.</i> , 2021a). - En lagunes côtières : de la surface jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur (Fréjefond <i>et al.</i> , 2021b).
Salinité	Espèce sténohaline ⁷ sensible à la dessalure (minimum 36) et pouvant se retrouver occasionnellement dans des eaux hypersalines (43) en milieu lagunaire (Pergent, 2016).	Espèce euryhaline ⁸ , la salinité optimale pour son développement est entre 16 et 41 (Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso, 2006).
Caractéristiques morphologiques	Faisceau de 5 à 8 feuilles rubanées Longueur des feuilles : 20 à 150 cm Largeur des feuilles : 9 à 12 mm Rhizome imputrescible et rampant de 1-2 cm d'épaisseur avec les écailles	Faisceau de 2 à 5 feuilles linéaires Longueur des feuilles : 10 à 30 cm Largeur des feuilles : 2 à 4 mm Apex dentelé Rhizome rougeâtre rampant et noueux

⁷ Une espèce sténohaline tolère très peu de variations de la salinité et vit dans des milieux où la salinité est constante.

⁸ Une espèce euryhaline tolère de larges variations de salinité.

Espèce	<i>Zostera marina</i>		<i>Zostera noltei</i>	
Nom, Auteur	<i>Zostera marina</i> L., 1753		<i>Zostera noltei</i> Hornem., 1832	
Secteur	Atlantique, Manche et mer du Nord	Méditerranée	Atlantique, Manche et mer du Nord	Méditerranée
Précision géographique	Des herbiers ont été recensés sur plus de 200 sites du cap de la Hague au lac d'Hossegor (Tullrot, 2009 ; Hily & Kerninon, 2012). De nombreux herbiers à <i>Z. marina</i> (de 100 m ² à 10 ha) se retrouvent dans des baies abritées (Rade de Brest, Baie de Morlaix, Golfe du Morbihan, Bassin d'Arcachon), autour d'archipels (Glénan, mer d'Iroise) et dans les embouchures d'estuaires (Aber Benoit, Aber-Wrac'h) (Hily <i>et al.</i> , 2003 ; Tullrot, 2009). Deux formes phénotypiques se retrouvent sur la zone du médiolittoral (voir Boyé <i>et al.</i> , 2021).	En Méditerranée, les herbiers sont surtout présents dans quelques lagunes côtières (<i>e.g.</i> Étang de Salses-Leucate, Bages-Sigean, Ayrolle, Thau) et très rarement en mer ouverte dans des baies très abritées : Golfe de Fos, rade de Toulon (Pergent-Martini & Le Ravallec, 2007 ; Fréjefond <i>et al.</i> , 2021e). <i>Z. marina</i> est souvent associée à <i>Zostera noltei</i> ou <i>Cymodocea nodosa</i> avec lesquelles elle peut constituer des herbiers mixtes (Pasqualini <i>et al.</i> , 2006 ; IFREMER, 2014).	Des petits herbiers se retrouvent sur des zones très abritées et souvent à proximité d'estuaires (Tullrot, 2009). Les herbiers à <i>Z. noltei</i> sont dominants sur les vasières de la région de Marennes-Oléron et du bassin d'Arcachon (Tullrot, 2009).	Occasionnellement en mer ouverte, des herbiers à <i>Z. noltei</i> monospécifiques ou mixtes, mais cette espèce est majoritairement inféodée aux environnements poikilohalins comme les lagunes côtières et les estuaires (Pergent-Martini & Le Ravallec, 2007).
Distribution bathymétrique	Médiolittoral - infralittoral : de la partie inférieure du médiolittoral jusqu'à 3-4 m de profondeur (Hily <i>et al.</i> , 2003 ; Boyé <i>et al.</i> , 2021).	Infralittoral : de la surface jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur en Méditerranée (Pergent-Martini & Le Ravallec, 2007).	Médiolittoral : sur la partie supérieure du médiolittoral avec un taux d'émersion de 40 à 70%, exceptionnellement jusqu'à 4 m de profondeur (Hily <i>et al.</i> , 2003 ; La Rivière <i>et al.</i> , 2022).	Infralittoral : de la surface jusqu'à quelques mètres de profondeur (Fréjefond <i>et al.</i> , 2021d).
Salinité	Espèce euryhaline, la salinité optimale pour son développement est comprise entre 10 et 25, pouvant aller jusqu'à 34 (Fréjefond <i>et al.</i> , 2021e).		Espèce euryhaline, présente dans des eaux avec des salinités moyennes de 9 à 38 (Pasqualini, 2021).	Espèce euryhaline, présente dans des eaux avec des salinités moyennes comprises entre 15 et 35 (Fréjefond <i>et al.</i> , 2021d).
Caractéristiques morphologiques	Faisceau de 3 à 8 feuilles rubanées, engainantes Longueur : jusqu'à plus de 120 cm Largeur : 2 mm à 7 mm Rhizome jaune brun de 2 à 5 mm d'épaisseur		Faisceau de 3 à 5 feuilles rubanées, engainantes Longueur : 10 à 25 cm (jusqu'à 45 cm dans les lagunes turbides) Largeur : 1 à 5 mm Apex en forme d'oreillette Rhizome jaune brun de 1 à 2 mm d'épaisseur	

Espèce	<i>Ruppia maritima</i>		<i>Ruppia cirrhosa</i>
Nom, Auteur	<i>Ruppia maritima</i> L., 1753		<i>Ruppia cirrhosa</i> (Petagna) Grande, 1918
Secteur	Atlantique, Manche et mer du Nord	Méditerranée	Méditerranée
Précision géographique	En Atlantique, Manche et mer du Nord, il existe peu d'information sur la présence d'herbier à <i>R. maritima</i> : - rare dans le Nord-Pas de Calais (Catteau <i>et al.</i> , 2009) ; - dans les filandres, mares et lagunes côtières associés aux estuaires (La Rance, La Seine, ceux du Pays de la Loire) ; - dans les lagunes en mer à marée du Golfe du Morbihan (La Rivière <i>et al.</i> , 2022).	En Méditerranée, les herbiers à <i>R. maritima</i> se retrouvent dans les lagunes côtières et l'espèce devient dominante dans les milieux confinés par rapport aux <i>Zostera spp.</i> (Bournérias <i>et al.</i> , 1992).	<i>R. cirrhosa</i> forme des herbiers dans les lagunes côtières et devient dominante dans les milieux confinés par rapport aux <i>Zostera spp.</i> (Bournérias <i>et al.</i> , 1992).
Distribution bathymétrique	Infralittoral : de la surface jusqu'à quelques mètres de profondeur (Michez <i>et al.</i> 2021).		Infralittoral : de la surface jusqu'à quelques mètres de profondeur (Michez <i>et al.</i> , 2021).
Salinité	Espèce euryhaline, présente dans des eaux avec des salinités moyennes comprises entre 2 et 18 (Verhoeven, 1975).		Espèce euryhaline, présente dans des eaux avec des salinités variables comprises entre 2 et 40 (Verhoeven, 1975 ; Oheix <i>et al.</i> , 2015).
Caractéristiques morphologiques	Feuilles linéaires et filiformes Longueur : 1 à 2 m Largeur : 1 à 2 mm Rhizome avec racines fortes		Feuilles linéaires et filiformes Longueur : 1 à 2 m Largeur : 1 à 3 mm Rhizome avec racines fortes

Ces six espèces ingénieuses ont déjà fait l'objet d'évaluation de Listes rouges des espèces à différentes échelles spatiales d'évaluation : nationale et régionale (Tableau 3). Cependant, la méthodologie des Listes rouges des espèces diffère de celles des LRE, ces dernières intégrant les processus écosystémiques en s'appuyant notamment sur les évolutions de dégradations d'origine abiotique ou biotique (critères C et D). Bien que le critère A corresponde à l'étude de l'évolution de la répartition géographique, la période d'évaluation utilisée dans la méthodologie de la Liste rouge des écosystèmes est fixée à 50 ans (Bland *et al.*, 2016) alors que dans la Liste rouge des espèces, il s'agit de la plus longue des durées suivantes : 10 ans ou trois temps de génération (UICN France, 2018). Le temps de génération est égal ou inférieur à 3 ans pour toutes les phanérogames marines sauf pour *Posidonia oceanica* avec 35 ans (Pergent *et al.*, 2018).

Tableau 3. Catégories de menaces des évaluations Liste rouge des espèces de phanérogames marines en France.

Évaluation		<i>Zostera marina</i>	<i>Zostera noltei</i>	<i>Ruppia maritima</i>	<i>Ruppia cirrhosa</i>	<i>Posidonia oceanica</i>	<i>Cymodocea nodosa</i>
Liste rouge nationale	de France métropolitaine (2019)	LC	LC	LC	LC	LC	LC
Inventaire de la flore vasculaire*	du Nord-Pas-de-Calais (2016)			VU	VU		
	de la Picardie (2012)			CR	CR		
Liste rouge régionale	de Haute-Normandie (2015)	RE		VU	VU		
	de Basse-Normandie (2015)	VU	VU	VU	RE		
	de Bretagne (2015)	LC	NT	LC	VU		
	des Pays de la Loire (2015)	VU	DD	LC	LC		
	de Poitou-Charentes (2018)	CR	EN	DD	DD		
	d'Aquitaine (2018)	EN	VU	LC	VU		
	de Provence-Alpes-Côte d'Azur (2015)	CR	EN			EN	
de Corse (2015)	DD	DD	DD	LC	LC	LC	

*Selon la méthodologie des Listes rouges.

3.2 Présentation des typologies nationales et propositions des types d'écosystème à évaluer

La typologie UICN des écosystèmes est un système de classification des habitats qui a été développé récemment et classe les écosystèmes selon trois niveaux : règne, biome, groupe fonctionnel (Keith *et al.*, 2020). Ce système regroupe tous les herbiers de la zone marine dans le même groupe fonctionnel : M1.1 Seagrass meadows⁹, sans distinguer l'identité de la phanérogame constitutive de l'herbier (*i.e.* niveau spécifique) (Keith *et al.*, 2020). Bien que cette typologie ait été utilisée par Bonifacio & Pisanu (2013) pour évaluer la communauté des herbiers marins dans le cadre d'une évaluation systématique de Liste rouge régionale des écosystèmes en Australie du Sud, il est recommandé d'utiliser des unités plus précises pour des LRE régionales ou nationales plus spécifiques (Bland *et al.*, 2017) comme dans le cadre de ce projet.

⁹ <https://global-ecosystems.org/explore/groups/M1.1>

Deux typologies nationales recensent les différents types d'herbiers marins des côtes françaises métropolitaines selon deux secteurs biogéographiques (Tableaux 4 et 5) :

- la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée (Michez *et al.*, 2014) ;
- la typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la mer du Nord et de l'Atlantique (Michez *et al.*, 2019).

L'utilisation de ces typologies apparaît pertinente pour identifier les types d'écosystème d'herbiers constitués des six espèces ingénieurs retenues pour la LRE (*Posidonia oceanica*, *Zostera marina*, *Zostera noltei*, *Cymodocea nodosa*, *Ruppia maritima* et *Ruppia cirrhosa*). **De fait, ces typologies étant organisées par secteur géographique, cette distinction entre les deux secteurs, Méditerranée vs. Atlantique, Manche et mer du Nord, représente le premier niveau de dichotomie dans l'identification des types d'écosystème à évaluer. Faire une évaluation en distinguant les deux secteurs de France métropolitaine est cohérent avec la distribution géographique des différentes espèces selon les secteurs et les disparités écologiques des phanérogames marines communes à ces deux secteurs** (Tableau 2). Par exemple, les herbiers à *Z. noltei* se retrouvent uniquement en milieu médiolittoral dans le secteur Atlantique, Manche et mer du Nord alors qu'ils sont uniquement présents dans le milieu infralittoral (lagunaire ou sur des substrats de sables vaseux superficiels) en Méditerranée (Tableaux 4 et 5). Ce niveau de dichotomie a été approuvé majoritairement par les experts consultés : sur 16 experts ayant formulé un avis, 13 valident cette proposition (Annexe 2).

Tableau 4. Classification d'habitats en Méditerranée en relation avec les herbiers sous leur forme vivante (en vert) ou morte/détritique (en gris) d'après la typologie nationale des biocénoses benthiques de Méditerranée (Michez et al., 2014).

I. - SUPRALITTORAL
I.2. - Sables
I.2.1. - Biocénose des sables supralittoraux
I.2.1.d. - Faciès des phanérogames échouées (partie supérieure)
II. - MÉDIOLITTORAL
II.3. - Cailloutis et galets
II.3.1. - Biocénose du détritique médiolittoral (DM)
II.3.1.a. - Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes
III. - INFRALITTORAL
III.5. - Herbier à <i>Posidonia oceanica</i>
III.5.1. - Biocénose de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>
III.5.1.a. - Récif barrière, herbier tigré, atoll
III.5.1.b. - Association de la matre morte de <i>Posidonia oceanica</i>
III.5.1.c. - Association de la matre morte de <i>Posidonia oceanica</i> à <i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Penicillus capitatus</i>
III.1. - Vases, vases sableuses, sables, graviers et roches en milieu euryhalin et eurytherme
III.1.1. - Biocénose lagunaire euryhaline et eurytherme (LEE)
III.1.1.b. - Association à <i>Ruppia spiralis</i> (Syn. <i>Ruppia cirrhosa</i>) et/ou <i>Ruppia maritima</i>
III.1.1.c. - Association à <i>Zostera noltei</i>
III.1.1.d. - Association à <i>Zostera marina</i>
III.1.1.e. - Association à <i>Cymodocea nodosa</i>
III.2. - Sables fins plus ou moins envasés en mer ouverte
III.2.2. - Biocénose des sables fins bien calibrés (SFBC)
III.2.2.a. - Association à <i>Cymodocea nodosa</i> sur SFBC
III.2.3. - Biocénose des sables vaseux superficiels de mode calme (SVMC)
III.2.3.a. - Association à <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Zostera noltei</i> , <i>Caulerpa prolifera</i> et <i>Caulerpa ollivieri</i>

Tableau 5. Classification d'habitats en Atlantique, Manche et mer du Nord en relation avec les herbiers sous leur forme vivante (en vert) suivant la typologie nationale des habitats marins benthiques de la Manche, de la mer du Nord et de l'Atlantique (Michez et al., 2019).

A. - SUPRALITTORAL ET MÉDIOLITTORAL

A3 - Sédiments grossiers du supralittoral et du médiolittoral

A3-4 - Herbiers à *Zostera marina* sur sédiments grossiers médiolittoraux

A5 - Sables du supralittoral et du médiolittoral

A5-6 - Herbiers à *Zostera noltei* sur sables médiolittoraux

A5-6.1 - Herbiers à *Zostera noltei* sur sables médiolittoraux en condition euhaline

A5-6.2 - Herbiers à *Zostera noltei* sur sables médiolittoraux en milieu à salinité variable

A5-7 - Herbiers à *Zostera marina* sur sables médiolittoraux

A6 - Vases du supralittoral et du médiolittoral

A6-4 - Herbiers à *Zostera noltei* sur vases médiolittorales

A6-4.1 - Herbiers à *Zostera noltei* sur vases médiolittorales en condition euhaline

A6-4.2 - Herbiers à *Zostera noltei* sur vases médiolittorales en milieu à salinité variable

B. - INFRALITTORAL

B4 - Sédiments hétérogènes infralittoraux

B4-4 - Herbiers à *Zostera marina* sur sédiments hétérogènes infralittoraux

B5 - Sables infralittoraux

B5-5 - Herbiers à *Zostera marina* sur sables infralittoraux

B5-5.1 - Herbiers à *Zostera marina* sur sables infralittoraux en condition euhaline

B5-5.2 - Herbiers à *Zostera marina* sur sables infralittoraux en milieu à salinité variable

B5-6 - Herbiers à *Ruppia maritima* sur sables infralittoraux

B5-6.1 - Herbiers à *Ruppia maritima* sur sables infralittoraux en condition euhaline

B5-6.2 - Herbiers à *Ruppia maritima* sur sables infralittoraux en milieu à salinité variable

3.2.1 Secteur Méditerranée

Les habitats correspondant aux herbiers marins en Méditerranée (Tableau 4) incluent ceux constitués par les phanérogames marines sous leur forme vivante mais aussi sous leur forme morte/détritique (e.g., mattes mortes de posidonies¹⁰, échouages de débris de phanérogames marines dénommés « banquettes »). D'un côté, seuls les habitats composés de biocénoses vivantes ont été évalués dans la Liste rouge des écosystèmes marins d'Europe (Gubbay & Sanders, 2016). D'un autre, ces habitats composés de matières en décomposition tels que les laisses de mer formées par des débris de *Z. marina* (R5.03 Drift lines with *Zostera marina*) ont été évalués¹¹ dans l'approche systématique utilisée pour élaborer les Listes rouges nationales des écosystèmes de Finlande (Kontula & Raunio, 2019).

Dans le questionnaire, les experts reconnaissent l'importance écologique de ces habitats sous forme morte/détritique, la majorité d'entre eux s'étant positionnée en faveur de la prise en compte de ces habitats, avec une insistance particulière pour une évaluation des mattes mortes (7 réponses en ce sens sur 10 experts ayant répondu, Annexe 2). Bien qu'elles correspondent à un état sénescence des herbiers de posidonie, l'écosystème formé par la matte morte peut persister dans l'environnement pendant des millénaires en raison de sa nature imputrescible (Monnier *et al.*, 2020). La matte morte possède un rôle fonctionnel essentiel dans la stabilisation du sédiment côtier, elle abrite une forte biodiversité, et représente un stockage de carbone important dans le milieu marin (Boudouresque *et al.*, 2016 ; Monnier *et al.*, 2020). Bien que les banquettes de feuilles de posidonie et d'autres macrophytes ainsi que les laisses de mer possèdent également un rôle écologique important (Boudouresque *et al.*, 2016 ; Vacchi *et al.*, 2017), ces habitats ont déjà été évalués dans la LRE nationale « Littoraux méditerranéens Vol 1 : Dunes côtières et rivages sableux » sous l'unité « Laisses de mer végétalisées des plages sableuses » classée comme Vulnérable (Comité français de l'UICN, 2020). Aussi, dans le cadre de cette note de faisabilité, nous écartons les faciès des phanérogames échouées et ceux des banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* et autres macrophytes, et **nous proposons la matte morte de posidonie comme un type d'écosystème à évaluer.**

En Méditerranée française, les herbiers à *P. oceanica* représentent la majeure partie des herbiers marins au regard de leur superficie, avec des estimations surfaciques d'environ 87 600 ha, dont la majeure partie est localisée en Corse (Valette *et al.*, 2019 ; Pergent-Martini *et al.*, 2021). Au sein des herbiers, des formations récifales spécifiques ou écomorphoses se développent à de faibles profondeurs en milieu très abrité (Pergent, 2016) :

- le récif (frangeant, barrière ou plateforme), qui se caractérise par un surdéveloppement de la matte entraînant une surélévation conséquente du substrat sous-jacent, pouvant laisser émerger des feuilles en surface (Boudouresque *et al.*, 2006 ; Bonhomme *et al.*, 2015 ; Pergent, 2016 ; Rouanet *et al.*, 2021) ;
- l'herbier tigré, qui se présente sous la forme « de rubans assez étroits qui se développent entre 0,5 et 3 m de profondeur sur matte », comme dans le Golfe de Porto-Vecchio (Pergent *et al.*, 2010 ; Pergent, 2016 ; Rouanet *et al.*, 2021) ;
- l'atoll, qui se présente sous la « forme d'une couronne dont le centre est occupé par de la matte morte » (Pergent, 2016 ; Rouanet *et al.*, 2021).

Du fait de la rareté de ces écomorphoses, ces formations récifales sont considérées comme des « monuments naturels d'intérêt patrimonial » afin de promouvoir leur conservation (Rouanet *et al.*, 2019). Un total de 62

¹⁰ La matte morte, thanatocénose de l'herbier, est la structure formée et laissée après la régression des posidonies ; il s'agit d'un ensemble « constitué par les rhizomes, les écailles (anciennes bases foliaires persistantes), les racines et par le sédiment qui remplit les interstices » (La Rivière *et al.*, 2021).

¹¹ L'habitat des laisses de mer formées des débris de *Z. marina* (R5.03 Drift lines with *Zostera marina*) est classé dans la catégorie en danger « EN » en Finlande (Kontula & Raunio, 2019).

occurrences d'écomorphoses a été inventorié et cartographié sur la côte méditerranéenne : 18 sur la côte continentale et 44 en Corse ; 13 autres sont rapportées détruites ou disparues (Rouanet *et al.*, 2019). Dans la Liste Rouge des Ecosystèmes marins d'Europe, les habitats A5.5351 -Ecomorphose de l'herbier tigré de *Posidonia oceanica* et A5.5352 - Ecomorphose du récif barrière de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Classification EUNIS) n'ont pas été évalués à cette échelle typologique mais intégrés à l'unité moins détaillée A5.535 - Herbiers de *Posidonia* (Gubbay & Sanders, 2016). En accord avec les experts consultés qui se sont prononcés de façon favorable (5 sur 6, Annexe 2), **l'évaluation de ces « formations récifales » est donc proposée dans cette LRE, indépendamment des herbiers à posidonie et de la matte morte de posidonies.**

A l'exception de *P. oceanica*, les autres espèces constitutives d'herbiers se retrouvent de façon majoritaire dans les milieux plus ou moins fermés comme les lagunes côtières¹² caractéristiques de la côte méditerranéenne. On distingue différents types de lagunes méditerranéennes en fonction des variations de salinités : lagunes oligo/mésahalines ou poly/euhalines, ces dernières étant plus communes (Lepareur *et al.*, 2013 ; Menu *et al.*, 2019 ; Fig. 2). **Nous proposons de prendre en compte cette particularité en utilisant la dichotomie entre mer ouverte/lagune** ce qui correspond dans la typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée aux différentes variations de salinité : milieux euhalin/euryhalin¹³ (Michez *et al.*, 2014). Les experts ($n=7$) étaient tous d'accord pour conserver cette dichotomie (Annexe 2).

Pour les herbiers à *Cymodocea nodosa*, cette dichotomie est essentielle car cette phanérogame se retrouve en milieu euhalin (mer ouverte) et euryhalin (lagunes) (Fréjefond *et al.*, 2021a, b, c). Pour le milieu euhalin, une distinction est faite au niveau du substrat : sables fins bien calibrés, sables vaseux superficiels de mode calme (SVMC) et en association avec mattes mortes de *P. oceanica*. Comme ces propriétés sédimentaires ne sont probablement pas décrites dans les données relatives aux herbiers à *C. nodosa*, cette distinction paraît un peu trop précise pour définir des sous-unités à évaluer. Sur le substrat SVMC, *C. nodosa* peut se retrouver en association avec des macroalgues du genre *Caulerpa* et d'autres phanérogames comme *Z. noltei*, cette dernière étant présente dans les zones où le dépôt de matériel fin est actif (Fréjefond *et al.*, 2021c). Bien que rare, cette association est rapportée comme présente dans les Alpes Maritimes et ponctuellement dans le Golfe de Porto-Vecchio en Corse (Pergent G., com. pers., 2022). Sous réserve de disposer de données associées, **deux types d'écosystèmes à évaluer sont donc proposés : les herbiers mixtes en mer ouverte et l'unité spécifique aux « herbiers à *C. nodosa* » sans considération de la nature sédimentaire en mer ouverte.**

Pour le milieu euryhalin/lagunaire, les herbiers constitués distinctement par *C. nodosa*, *Z. noltei*, *Z. marina* et *Ruppia* spp. sont proposés comme types d'écosystème pour cette évaluation. Cependant, s'il n'est pas possible de distinguer les herbiers monospécifiques et de trouver des données associées, une ou plusieurs unités plus larges (e.g., « herbiers mixtes en milieu lagunaire ») pourraient être proposées selon la propension des espèces à former des herbiers mixtes¹⁴.

Étant donné les difficultés et confusions d'identification au sein du genre *Ruppia* (Ito *et al.*, 2017 ; den Hartog & Triest, 2020), **les espèces de ce même genre ne seront pas distinguées**, en accord avec les experts (Annexe 2). En termes d'écosystème, cela est cohérent avec l'existence de leur association en herbier mixte ainsi que d'hybridation entre les deux espèces de *Ruppia* sur la façade méditerranéenne (Mannino *et al.*, 2015 ; Triest & Tim, 2015 ; Beirinckx *et al.*, 2020).

¹² Une lagune côtière est définie comme une unité géomorphologique à l'interface entre les écosystèmes marins et continentaux, généralement peu profonde et séparée de la mer par un cordon littoral appelé « lido » (dans Menu *et al.*, 2019, p. 13).

¹³ Si cette dichotomie euhalin/euryhalin est finalement utilisée pour définir les écosystèmes d'herbiers du secteur Atlantique, Manche et mer du Nord, il faudra alors la privilégier pour la Méditerranée au lieu de la distinction : mer/lagune.

¹⁴ Cette propension à former des herbiers mixtes pourrait également être corrélée à la salinité des lagunes.

3.2.2 Secteur Atlantique, Manche et mer du Nord

Pour les habitats relatifs aux herbiers marins de la typologie Atlantique, Manche et mer du Nord (Tableau 5), les différents habitats caractérisés par *Zostera marina*, *Z. noltei* et *Ruppia maritima* se distinguent en fonction des étages bathymétriques (A-Médiolittoral, B-Infralittoral), des substrats (3-Sédiments grossiers, 4-Sédiments hétérogènes, 5-Sables, 6-Vases) et des variations de salinité (en condition euhaline et en milieu à salinité variable). **A l'exception de l'étagement et de l'espèce ingénieur constitutive de l'herbier, sans collecte exhaustive et examen approfondi des données (quantité et qualité), nous ne sommes pas en mesure, au stade de cette note de faisabilité, de savoir si une analyse robuste serait réalisable suivant ces distinctions de substrat et de salinité.**

La proposition de dichotomie des types d'écosystème à évaluer en fonction de l'étagement bathymétrique concerne uniquement les herbiers formés par *Z. marina*. Si les herbiers à *Z. noltei* ne se distribuent qu'en zone médiolittorale, les herbiers à *Z. marina* colonisent quant à eux les étages médiolittoral et infralittoral. Il serait ainsi pertinent de distinguer ces deux étages bathymétriques pour l'identification des unités de *Z. marina* à évaluer. Ce point a fait l'objet d'un questionnement adressé aux experts mobilisés (section 3 du questionnaire, Annexe 2) mais aucun consensus dans les réponses fournies ne permet de statuer de cette pertinence. Cette absence de consensus n'a pas nécessairement son origine dans des avis contradictoires d'experts mais provient plus probablement de l'inadéquation de la question adressée. Alors que nous cherchions à savoir s'il était plus pertinent d'évaluer à l'échelle de l'Atlantique, Manche et mer du Nord les herbiers à *Z. marina* suivant leur étagement (*i.e.*, médiolittoral vs infralittoral), nous avons malencontreusement orienté les réflexions vers les deux formes phénotypiques de *Z. marina* coexistant dans l'étage médiolittoral¹⁵ (Boyé *et al.*, 2021). Aussi, considérant que (i) ces deux étages sont caractérisés par des conditions environnementales différentes et soumis à des pressions anthropiques de différentes natures, et que (ii) ce travail vise à établir la faisabilité d'une évaluation des risques d'effondrement des herbiers de phanérogames marines, **nous proposons de conserver cette dichotomie en fonction de l'étagement : médiolittoral/infralittoral, sous réserve de données disponibles.** Nous conseillons toutefois, si l'évaluation LRE herbiers de phanérogames marines est mise en œuvre, de solliciter de nouveau les experts autour de la dichotomie médiolittoral/infralittoral.

Pour la distinction des écosystèmes en fonction des substrats, la réponse des experts scientifiques était mitigée (section 3, Annexe 2). Toutefois ces précisions sont peu renseignées dans la bibliographie (voire même dans les données) et des confusions sont probables, *e.g.* entre les vases sableuses et les sables envasés (La Rivière *et al.*, 2022). **Pour le moment, nous proposons de ne pas considérer cette distinction mais si des données pertinentes étaient collectées, alors des sous-unités en fonction des substrats pourraient être créées *a posteriori*.**

Alors que pour la Méditerranée, la distinction du milieu euhalin/euryhalin se retrouve au niveau géographique avec l'existence de lagunes côtières relativement cloisonnées et identifiées (Menu *et al.*, 2019), ce n'est pas le cas dans le secteur Atlantique, Manche et mer du Nord où le milieu euryhalin se retrouve dans des milieux influencés par l'eau douce tels que les estuaires, les exutoires et les lagunes. Seuls quatre sites de masses d'eau de transition (Estuaire de la Bidassoa, Estuaire du Lay, Le Trieux, Baie des Veys) avec des herbiers à *Z. noltei* sont échantillonnés dans le cadre des suivis d'angiospermes pour la mise en œuvre de la DCE¹⁶ (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2018). Aucun consensus n'a été atteint et les retours des experts restaient indécis au sujet de conserver cette dichotomie (section 3, Annexe 2). **Tout comme la distinction en fonction des substrats, nous proposons pour le moment de ne pas considérer la salinité pour distinguer les types d'écosystème à évaluer.**

¹⁵ Sur la zone médiolittorale, deux formes phénotypiques se retrouvent : l'une typique du médiolittoral avec des feuilles plus étroites et courtes et l'autre avec des feuilles plus larges et longues qui est caractéristique de l'infralittoral (Boyé *et al.*, 2021). Ces deux phénotypes peuvent s'y succéder avec des variabilités temporelles et spatiales (Boyé *et al.*, 2021).

¹⁶ La Directive Cadre sur l'eau (DCE) 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 définit, pour les états membres, un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au niveau européen.

3.3 Description des types d'écosystème à évaluer

Après le bilan effectué ci-dessus, nous proposons 13 types d'écosystème à évaluer et leurs correspondances avec la typologie EUNIS (version 2012)¹⁷ (Tableau 6, Annexe 3). Pour distinguer ces différents écosystèmes, un arbre de décision s'appuie sur les caractéristiques suivantes (Fig. 4) :

- 1) secteur géographique ;
- 2) espèces constitutives de l'herbier ;
- 3a) milieu mer ouverte/lagune pour le secteur méditerranéen ;
- 3b) étagement médiolittoral/infralittoral pour le secteur de l'Atlantique, Manche et mer du Nord.

De façon précautionneuse, les écosystèmes du secteur de l'Atlantique, Manche et mer du Nord ont été définis de façon moins détaillée ; si des distinctions (telles que le substrat et/ou des variations de salinité) étaient possibles en fonction des données récoltées au cours du processus d'évaluation, il pourrait être envisagé d'étudier les niveaux plus fins de classification de ces écosystèmes. La proposition des types d'écosystème à évaluer est une première base pour initier le traitement des données récoltées.

La description exhaustive des écosystèmes à évaluer reste un travail à réaliser et requiert un certain nombre d'informations complémentaires (voir Bland *et al.*, 2016, p. 40), à savoir : classification, distribution spatiale, biote indigène caractéristique¹⁸, environnement abiotique, processus et interactions, menaces, définition du ou des états effondrés. Une partie des descriptions pourra s'appuyer sur les fiches descriptives des habitats marins détaillés dans les typologies nationales d'habitats benthiques, réalisées en 2021 pour la Méditerranée (La Rivière *et al.*, 2021) et en 2022 pour la Manche, la mer du Nord et l'Atlantique (La Rivière *et al.*, 2022). D'autres compléments de synthèse pourront être utiles comme la description générale du biote indigène et des menaces résumée dans la revue de Short *et al.* (2007), ou pour les herbiers à *P. oceanica* dans Abadie *et al.* (2018).

Pour faciliter l'évaluation des écosystèmes, les modèles conceptuels sont recommandés (Bland *et al.*, 2016) afin de (i) schématiser les informations telles que les processus et interactions entre compartiments fonctionnels, les menaces ou (ii) d'affiner la définition d'« effondrement ». Concernant les herbiers (voir Annexe 4), un modèle conceptuel a été créé lors de l'évaluation Liste Rouge mondiale de cet écosystème (Bishop *et al.*, 2020), mais aussi pour les herbiers des lagunes méditerranéennes (Le Fur, 2018 ; De Wit *et al.*, 2020). D'autres modèles conceptuels ont été développés spécifiquement pour les herbiers à *P. oceanica*, mettant en valeur leur fonctionnalité intrinsèque (Personnic *et al.*, 2014) ou l'influence de facteurs anthropiques et naturels (Houngnandan, 2020), voire plus particulièrement l'effet de l'acidification des eaux marines (Vacchi *et al.*, 2017).

¹⁷ La typologie EUNIS des habitats marins a été actualisée en 2019 mais la traduction et les correspondances avec le référentiel national HABREF 6 n'ont pas été mises à jour car les correspondances entre les versions 2012 et 2019 ne sont pas officiellement actualisées. Néanmoins, un travail de correspondance a été réalisé entre les deux versions d'EUNIS (Annexe 3) ; il n'est présenté qu'à valeur informative et ne peut être exploité que dans le cadre de cette note de faisabilité LRE Herbiers de phanérogames marines métropolitaines.

¹⁸ « Le biote caractéristique indigène inclut les gènes, populations, espèces, assemblages d'espèces et les interactions clés qui : (i) distinguent du point de vue de la composition un écosystème de l'autre (composants diagnostic) ; et (ii) jouent un rôle central en tant que facteurs de la dynamique et des fonctions de l'écosystème : ingénieurs d'écosystème, dominants trophiques ou structurels ou éléments fonctionnellement uniques (composants fonctionnels) » de Bland *et al.* (2016, p. 42).

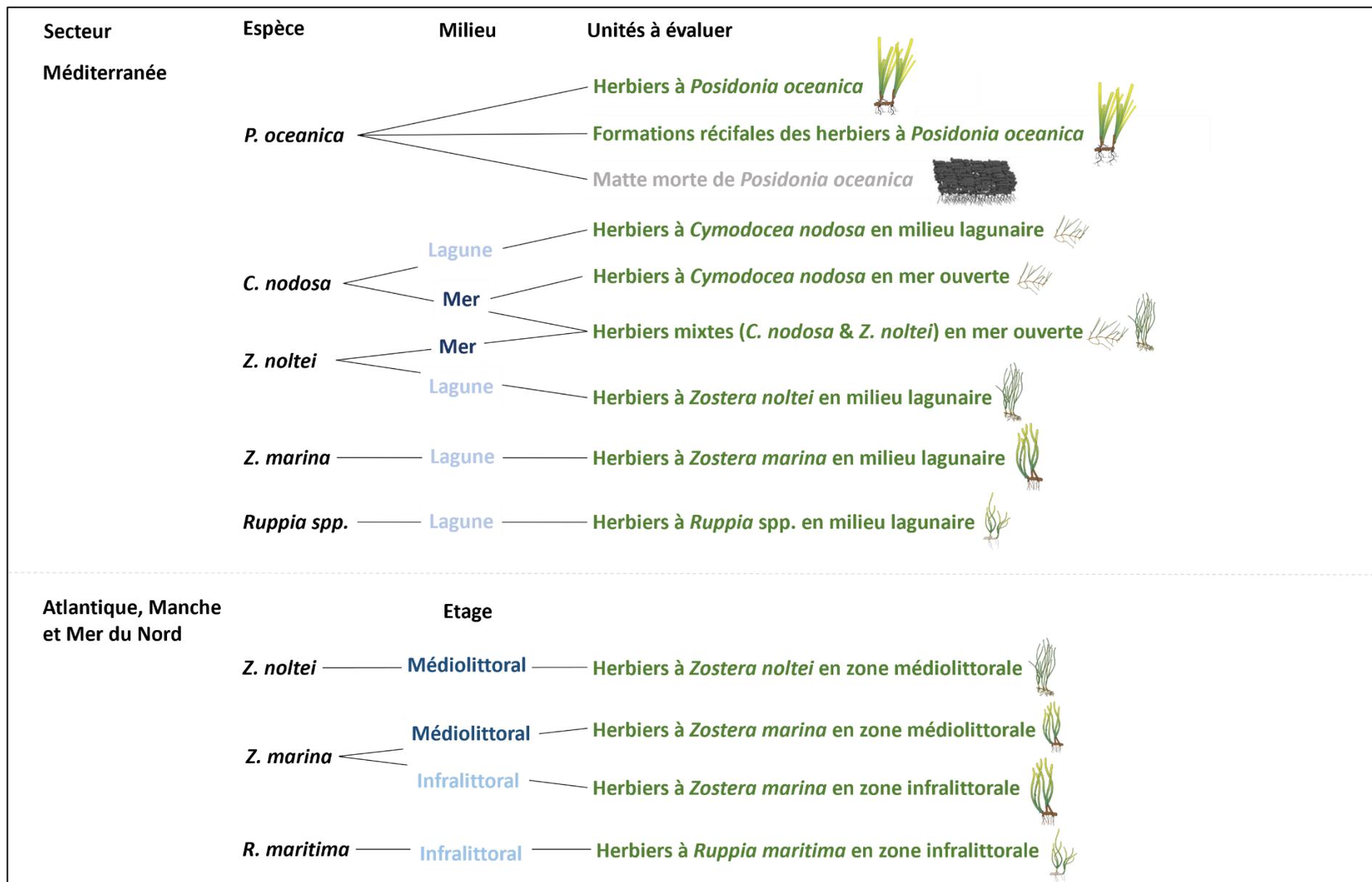


Figure 4. Liste des écosystèmes proposés pour l'évaluation des herbiers de phanérogames marines ; en vert, les biocénoses vivantes et en gris, la thanatocénose.

Tableau 6. Types d'écosystème à évaluer ainsi que les correspondances proposées avec les typologies nationales des habitats marins (Michez et al., 2014, 2019) et d'EUNIS version 2012¹⁹ (Bajjouk et al., 2015a, b). Type de correspondances : = Strictement équivalent ; < Habitat en sortie contient l'autre ; > Habitat en entrée contient l'autre ; # Chevauchement spécial.

Ecosystèmes à évaluer		Correspondance - typologies françaises d'habitats marins	Correspondance - typologie EUNIS (version 2012)	
Méditerranée	Herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	III.5.1. Biocénose de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	=	A5.535 Herbiers de <i>Posidonia oceanica</i>
	Formations récifales des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	III.5.1.a. Récif barrière, herbier tigré, atoll	>	A5.5351 Ecomorphose de l'herbier tigré de <i>Posidonia oceanica</i>
			>	A5.5352 Ecomorphose du récif barrière de l'herbier de <i>Posidonia oceanica</i>
	Matte morte de <i>Posidonia oceanica</i>	III.5.1.b. Association de la matte morte de <i>Posidonia oceanica</i>	=	A5.5353 Faciès de mattes mortes de <i>Posidonia oceanica</i> sans épiflore importante
		III.5.1.c. Association de la matte morte de <i>Posidonia oceanica</i> à <i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Penicillus capitatus</i>	=	A5.5354 Association à <i>Caulerpa prolifera</i> sur l'herbier de <i>Posidonia</i>
	Herbiers à <i>Cymodocea nodosa</i> en mer ouverte	III.2.2.a. Association à <i>Cymodocea nodosa</i> sur sables fins bien calibrés	=	A5.53131 Association à <i>Cymodocea nodosa</i> sur sables fins bien calibrés
		III.5.1.c. Association de la matte morte de <i>Posidonia oceanica</i> à <i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Penicillus capitatus</i>	=	A5.5354 Association à <i>Caulerpa prolifera</i> sur l'herbier de <i>Posidonia</i>
	Herbiers mixtes (<i>C. nodosa</i> & <i>Z. noltei</i>) en mer ouverte	III.2.3.a. Association à <i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Zostera noltei</i> , <i>Caulerpa prolifera</i> et <i>Caulerpa ollivieri</i>	>	A5.53132 Association à <i>Cymodocea nodosa</i> sur sables vaseux superficiels de mode calme
			>	A5.53322 Association à <i>Zostera noltei</i> sur sables vaseux superficiels de mode calme
	Herbiers à <i>Cymodocea nodosa</i> en milieu lagunaire	III.1.1.e. Association à <i>Cymodocea nodosa</i>	<	A5.5313 Herbiers de <i>Cymodocea</i> de Méditerranée
Herbiers à <i>Zostera noltei</i> en milieu lagunaire	III.1.1.c. Association à <i>Zostera noltei</i>	=	A5.53321 Association à <i>Zostera noltei</i> en milieu euryhalin et eurytherme	
Herbiers à <i>Zostera marina</i> en milieu lagunaire	III.1.1.d. Association à <i>Zostera marina</i>	=	A5.5333 Association à <i>Zostera marina</i> en milieu euryhalin et eurytherme	
Herbiers à <i>Ruppia</i> spp. en milieu lagunaire	III.1.1.b. Association à <i>Ruppia spiralis</i> (Syn. <i>Ruppia cirrhosa</i>) et/ou <i>Ruppia maritima</i>	#	A5.5342 Biocénoses mésogéennes à <i>Ruppia</i>	

¹⁹ Les correspondances entre la version 2012 et 2019 de la typologie EUNIS sont en Annexe 3 à titre indicatif (European Environment Agency, 2022).

Atlantique, Manche et mer du Nord	Herbiers à <i>Zostera noltei</i> en zone médiolittorale	A6-4	Herbiers à <i>Zostera noltei</i> sur vases médiolittorales	< A2.611	Herbiers de <i>Zostera noltei</i> ou <i>Zostera marina</i> var. <i>angustifolia</i> (anciennement <i>Zostera angustifolia</i>) sur les rivages atlantiques du continent
		A6-4.1	Herbiers à <i>Zostera noltei</i> sur vases médiolittorales en condition euhaline		
		A6-4.2	Herbiers à <i>Zostera noltei</i> sur vases médiolittorales en milieu à salinité variable		
		A5-6	Herbiers à <i>Zostera noltei</i> sur sables médiolittoraux	< A2.6111	Herbiers de <i>Zostera noltei</i> des sables vaseux intertidaux
		A5-6.1	Herbiers à <i>Zostera noltei</i> sur sables médiolittoraux en condition euhaline		
		A5-6.2	Herbiers à <i>Zostera noltei</i> sur sables médiolittoraux en milieu à salinité variable		
	Herbiers à <i>Zostera marina</i> en zone médiolittorale	A3-4	Herbiers à <i>Zostera marina</i> sur sédiments grossiers médiolittoraux	< A2.61	Herbiers de phanérogames marines sur sédiments intertidaux
		A5-7	Herbiers à <i>Zostera marina</i> sur sables médiolittoraux	< A2.61	Herbiers de phanérogames marines sur sédiments intertidaux
	Herbiers à <i>Zostera marina</i> en zone infralittorale	B4-4	Herbiers à <i>Zostera marina</i> sur sédiments hétérogènes infralittoraux	< A5.533	Herbiers de <i>Zostera</i> dans des sédiments infralittoraux en milieu marin
		B5-5	Herbiers à <i>Zostera marina</i> sur sables infralittoraux	< A5.53	Herbiers de Phanérogames marines subtidaux
		B5-5.1	Herbiers à <i>Zostera marina</i> sur sables infralittoraux en condition euhaline	# A5.5331	Herbiers de <i>Zostera marina</i> / <i>Z. marina</i> var. <i>angustifolia</i> (anciennement <i>Zostera angustifolia</i>) sur sable propre ou vaseux de la partie inférieure des rivages ou de l'infralittoral
		B5-5.2	Herbiers à <i>Zostera marina</i> sur sables infralittoraux en milieu à salinité variable	< A5.53	Herbiers de phanérogames marines subtidaux
	Herbiers à <i>Ruppia maritima</i> en zone infralittorale	B5-6	Herbiers à <i>Ruppia maritima</i> sur sables infralittoraux	< A5.534	Biocénoses à <i>Ruppia</i> et <i>Zannichellia</i>
		B5-6.1	Herbiers à <i>Ruppia maritima</i> sur sables infralittoraux en condition euhaline	< A5.5341	Biocénoses à <i>Ruppia</i> et <i>Zannichellia</i> sur les côtes médio-européennes
		B5-6.2	Herbiers à <i>Ruppia maritima</i> sur sables infralittoraux en milieu à salinité variable	= A5.5343	<i>Ruppia maritima</i> dans du sable vaseux infralittoral en milieu à salinité réduite

4 DONNÉES MOBILISABLES ET ADÉQUATION AVEC LES CRITÈRES D'ÉVALUATION

Après un appel à contribution au RT-HABENT (Réseau thématique de l'OFB sur les habitats benthiques) et aux experts lors de la consultation sur les typologies d'écosystèmes à évaluer, plusieurs sources de données ont été identifiées, qu'il s'agisse de données surfaciques voire cartographiques (ponctuelles ou témoignant d'une évolution), de données stationnelles, de suivis temporels, d'indicateurs ou de synthèses publiées.

Les sources de données pertinentes (liste non exhaustive) sont présentées ci-dessous au regard de leur utilisation pour les différents critères d'évaluation UICN des LRE (Tableaux 7 à 9). Elles concernent principalement les critères A et B car les autres critères (C, D, et E) s'appuient notamment sur la description des écosystèmes voire des processus fonctionnels, des menaces et de leurs impacts ; cette étape préalable ne fait pas partie de cette note de faisabilité. Cependant, une partie des données identifiées pourra vraisemblablement répondre aux critères C et D.

4.1 Principes généraux des critères d'évaluation

Le processus d'évaluation de la méthodologie des LRE de l'UICN nécessite de compléter plusieurs étapes avant d'utiliser les cinq critères d'évaluation du risque d'effondrement pour chaque écosystème (Fig. 5).

Pour les critères A et B, les données concernant la distribution spatiale et surfacique des écosystèmes à évaluer seront à la base de l'évaluation. Comme le critère B s'appuie sur la cartographie la plus actualisée des écosystèmes, il sera discuté en premier par rapport au critère A qui nécessite la compréhension de l'évolution de la distribution spatiale selon différentes échelles temporelles (Fig. 5).

Pour les critères C et D, l'évolution de dégradations d'origine respectivement abiotique ou biotique est évaluée afin de décrire un déclin fonctionnel de l'écosystème selon différentes échelles temporelles (Fig. 5). L'évaluation des critères C et D représente un travail conséquent en plusieurs étapes selon Bland *et al.* (2016, p. 80, 85) car « les évaluateurs doivent documenter :

- (i) la sélection de la variable biotique par rapport au modèle conceptuel de la dynamique de l'écosystème ;
- (ii) la détermination d'un seuil borné d'effondrement pour la variable ;
- (iii) le calcul de la sévérité relative²⁰ ;
- (iv) l'estimation de l'étendue de la perturbation ;
- (v) les hypothèses et analyses de sensibilité adaptées (quant à la définition de l'effondrement et la forme supposée du déclin) ;
- (vi) les catégories finales de risque et les limites plausibles. »

Le critère E requiert pour sa part des modélisations capables d'estimer la probabilité d'effondrement des types d'écosystème. N'ayant pas été renseigné dans les chapitres LRE nationaux précédent, le critère E nécessite un grand nombre de données et une compréhension précise des processus d'effondrement (Fig. 5). Aucune recommandation n'est réalisée pour ce critère dans cette note de faisabilité.

²⁰ « La sévérité relative décrit le changement proportionnel observé dans une variable environnementale graduée entre deux valeurs : le premier décrivant l'état initial de l'écosystème (0%), le deuxième décrivant l'état d'effondrement (100%). *Sévérité relative (%) = (Déclin observé ou estimé / Déclin maximal) × 100* » de Bland *et al.* (2016, p. 76).

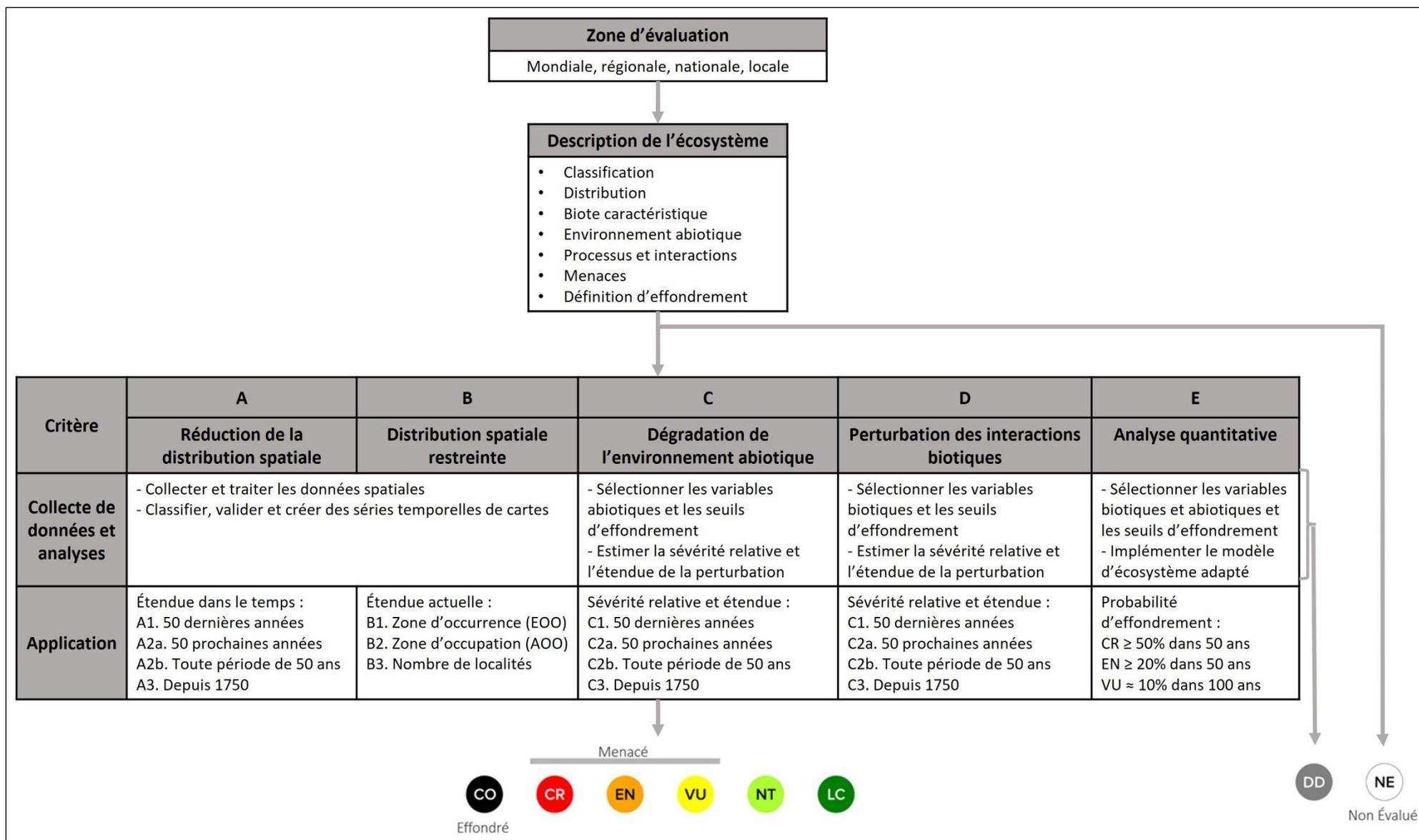


Figure 5. Procédure pour évaluer le risque d'effondrement d'un type d'écosystème (extrait de Bland et al., 2016, p. 38).

4.2 Recommandations pour l'évaluation du critère B

Le critère B repose sur l'hypothèse qu'un écosystème de taille restreinte et localisé sera plus susceptible de s'effondrer face à des menaces localisées ou globales, qu'un écosystème avec une surface élevée et largement distribué. La cartographie des écosystèmes est essentielle pour évaluer les deux indices utilisés pour ce critère ; ces indices, qui sont des sous-critères du critère B, incluent :

- la zone d'occurrence (EOO : Extent of occurrence) qui correspond à l'étendue du plus petit polygone convexe (km²) englobant toutes les occurrences de l'écosystème ;
- la zone d'occupation (AOO : Area of occupancy) qui correspond au nombre de mailles de 10 x 10 km occupé par l'écosystème.

Une fois les types d'écosystème cartographiés, ces indices peuvent être calculés avec le package R 'redlist' (Lee *et al.*, 2019).

D'autres informations qualitatives sur l'orientation des tendances actuelles et une compréhension des menaces qui agissent sur l'écosystème sont nécessaires pour valider les sous-critères du critère B pour les écosystèmes dont l'EOO et/ou l'AOO sont restreintes (Annexe 1). Ces informations pourront être étayées au regard d'une recherche bibliographique ou du dire d'experts.

Afin de produire les cartographies récentes des types d'écosystème à évaluer, plusieurs sources de données qui renseignent la distribution des herbiers marins ont été identifiées (Tableau 7) et les sources les plus importantes sont détaillées dans le rapport de Schmitt (2019). Un certain nombre de données de cartographies globales et récentes concernent les herbiers formés par les zostères (*Z. marina* et *Z. noltei*) et la posidonie (*P. oceanica*) (Tableau 7). Une synthèse cartographique des habitats benthiques - typologie EUNIS - a également été créée lors du projet CarpeDiem de l'OFB en 2018 (Quemmerais-Amice, 2019 ; 2020) et pourrait être mobilisée selon les correspondances avec les types d'écosystème à évaluer (Tableau 6). Pour les herbiers formés par les autres espèces, en plus d'avoir des cartographies à des échelles plus localisées, l'utilisation des données d'occurrence issues du SINP apporterait des précisions pour les calculs des EOO et AOO. Par exemple, comme il n'existe pas de synthèse cartographique de la distribution des herbiers de *Ruppia maritima* dans le secteur Atlantique, Manche et mer du Nord, l'utilisation des données d'occurrence « espèces » dans le SINP pourrait servir de base pour mobiliser une expertise collégiale et locale afin de déterminer plus précisément la distribution des herbiers associés. Pour les types d'écosystèmes concernant les herbiers monospécifiques, il serait également pertinent de se rapporter aux cartes utilisées pour évaluer le critère B (Répartition géographique) et D (Population très restreinte) des Listes rouges espèces des phanérogames marines. En recoupant les données disponibles, **une estimation robuste et récente de la distribution spatiale pourrait être obtenue pour chaque type d'écosystème.**

Tableau 7. Projets / Sources de données pertinentes pour cartographier les distributions spatiales des écosystèmes en fonction des espèces constitutives d'herbiers ; en gras sont indiquées les sources cartographiques globales et récentes. Abréviations : DFM MED : délégation de façade maritime Méditerranée (de l'OFB) ; OFB : Office français de la biodiversité ; ND : Non disponible ; IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer ; PNM CCA : Parc naturel marin du cap Corse et de l'Agriate ; PNM EGMP : Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis ; PNMI : Parc naturel marin d'Iroise ; PNM GL : Parc naturel marin du golfe du Lion.

Secteur	Espèce	Projet	Date	Structure
ATL & MED	Toutes sauf <i>Ruppia</i> spp.	Projet CarpeDiem - Cartographie multisource des habitats benthiques - typologie EUNIS -	2016-2018	OFB (Quemmerais-Amice 2020)
MED	<i>P. oceanica</i>	OFB -Cartographie des herbiers de posidonie	2021	OFB- basé sur Telesca <i>et al.</i> (2015)
MED	Toutes (et matie)	DONIA : Cartographie des habitats benthiques	2013- aujourd'hui	Andromède Océanologie
MED	Toutes sauf <i>P. oceanica</i>	CHAMILA : Cartographie des habitats en milieu lagunaire méditerranéen	2019	IFREMER (Menu <i>et al.</i> , 2019)
MED	<i>P. oceanica</i>	SURFSTAT : réseau d'analyse surfacique des habitats marins	2013- aujourd'hui	Andromède Océanologie
MED	<i>P. oceanica</i> , formation récifale	CANOPé : Cartographie, fonctionnalités de nurserie et de protection contre l'érosion côtière des récifs de posidonie, vulnérabilité face aux changements globaux	2017-2020	GIS Posidonie (Rouanet <i>et al.</i> , 2021)
MED	Toutes	Cartographie habitat benthique corse	Récent	Université de Corse (Valette-Sansevin <i>et al.</i> , 2019)
MED	<i>P. oceanica</i> , <i>C. nodosa</i>	Projet EUSeaMap : cartographie des grands types d'habitats benthiques (Classification EUNIS)	2010-2019	Consortium EMODnet Seabed Habitats (Hamdi <i>et al.</i> , 2010)
MED	<i>P. oceanica</i>	Cartographies de posidonie (cantonement de pêche de Saint-Florent)	ND	PNM CCA
MED	<i>C. nodosa</i>	Cartographies de Cymodocée	ND	PNM CCA
MED	<i>P. oceanica</i>	Cartographie de toute la côte rocheuse (Argelès-Cerbère)	2003-2021	PNM GL
MED	<i>C. nodosa</i>	Barcarès : cartographie globale et suivi état, mesure compensatoire raccordement éolien	2021	PNM GL
MED	<i>P. oceanica</i>	Cartographie Corse : Nord et Est	2012-2019	Université de Corse
MED	<i>P. oceanica</i>	Suivi du site N2000 Posidonie de la côte palavasienne	2021-2022	DFM MED
MED	ND	Périmètre côtier du Contrat Métropolitain de la Rade de Toulon	En cours	DFM MED
MED	<i>Z. noltei</i> <i>Z. marina</i>	LIFE Mahra – Cartographie des herbiers dans l'étang de Thau	A venir	Ifremer/OFB
MED	<i>Z. noltei</i> <i>Z. marina</i>	NATURA 200 – Cartographie des herbiers de l'étang de Thau	2009-2016	SMBT
MED	Zostères & <i>C. nodosa</i>	Cartographie Camargue : Anse de Carteau et Beauduc	2020-2021	DFM MED
MED	Toutes	SINP	1806-2022	PatriNat
ATL	<i>Z. marina</i>	LIFE Mahra - Cartographie des herbiers de zostères marines	2020	OFB
ATL	<i>Z. noltei</i>	LIFE Mahra - Cartographie des herbiers de zostères naines	2020	OFB
ATL	Toutes	Cartographies dans les sites Natura 2000	2017-2022	OFB
ATL	<i>Z. noltei</i>	CartoHECo : Cartographie des Habitats benthiques Côtiers du PNM EGMP (Curti & Beguet 2021)	2019-2021	PNM EGMP
ATL	<i>Z. noltei</i>	DYNAREST- Etude de la dynamique de restauration passive d'un herbier de <i>Z. noltei</i>	2019-2022	PNM EGMP
ATL	<i>Z. marina</i>	Cartographie de la Chaussée de Sein incluant les herbiers	2021-2022	PNMI
ATL	<i>Z. marina</i>	Cartographie de Ouessant incluant les herbiers	2022	PNMI
ATL	<i>Z. marina</i>	Mise à jour de la cartographie des herbiers du PNMI non couverts par les travaux à Sein et à Ouessant	en projet 2022	PNMI
ATL	Toutes	SINP	1820-2022	PatriNat

4.3 Recommandations pour l'évaluation du critère A

Le critère A s'appuie sur la détermination d'un déclin de la distribution spatiale des écosystèmes à différentes échelles temporelles sur 50 ans *a minima* selon les sous-critères suivants (Bland *et al.*, 2016) :

- A1. Passé récent (sur les 50 dernières années) ;
- A2a. Futur (sur les 50 prochaines années) ;
- A2b. Toute période de 50 ans comprenant le passé ;
- A3. Historique : depuis 1750.

Il s'accommode *a minima* de deux points d'évolution à 20 ans d'écart quand il est possible d'étayer une extrapolation sur 50 ans avec une documentation pertinente.

Certains suivis peuvent être utilisés pour estimer des évolutions de surface d'herbiers, mais les données sont limitées autant dans l'espace que dans le temps (Tableau 8). Il faut noter la prise en compte des biais méthodologiques (*e.g.*, Bajjouk *et al.*, 2019) qui doivent être identifiés et estimés afin d'obtenir des évolutions surfaciques pertinentes. **A priori, le critère A ne pourra être renseigné que pour un nombre restreint de types d'écosystème à évaluer.** L'évolution surfacique reste un descripteur très discuté, voire discutable, car il est fonction de la précision des cartes antérieures qui constituent l'état de référence (Pergent-Martini *et al.*, 2017).

Pour les posidonies en Méditerranée, le programme SURFSTAT est un réseau d'analyse surfacique des habitats marins et représente sous format cartographique un indice de régression²¹ de l'herbier à posidonie sur tout le linéaire méditerranéen, Corse incluse (Andromède Océanologie & Agence de l'eau RMC, 2020 ; Holon *et al.*, 2014). Cet indice de régression doit toutefois être utilisé avec prudence car la matre morte peut témoigner de déclin dont l'ancienneté dépasse les périodes prises en compte dans le critère A, *e.g.* de plus de 1000 ans AP (Astruch *et al.*, 2017). De plus, la dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure (limite la plus profonde) peut être utilisée en se basant sur les données collectées par le GIS-Posidonie (Pergent *et al.*, 2015) et dans le cadre du programme TEMPO (Andromède Océanologie & Agence de l'eau RMC, 2020).

Pour les zostères du secteur Atlantique, Manche et mer du Nord, des estimations historiques de surface provenant de la littérature sont regroupées par masse d'eau dans le cadre des suivis surfaciques des angiospermes pour la mise en œuvre de la DCE (DCE-angiospermes).

De façon plus ponctuelle, il serait envisageable de créer une mosaïque de cartographies plus anciennes (Tableau 8) et de la comparer à la cartographie actuelle des distributions spatiales des différents types d'écosystème à évaluer (créées pour renseigner le critère B). Des données d'évolution surfacique d'herbiers ont été par exemple extraites de références anciennes dans la synthèse de De Los Santos *et al.* (2019) pour 25 sites ou de Marbà *et al.* (2014, n = 11 sites pour *P. oceanica*), sur de courtes échelles temporelles (moins d'une dizaine d'année).

Toutefois, **exploiter des cartographies réalisées à différentes dates est souvent délicat en raison du changement de méthodologie d'acquisition des données** (Pergent-Martini *et al.*, 2017). Lors d'une tentative d'estimation d'évolution des surfaces des herbiers à *P. oceanica* en Corse, Valette-Sansevin *et al.* (2019) ont ainsi recommandé de travailler sur les images originales, tout en précisant que ce travail de comparaison était conséquent. L'utilisation et la catégorisation des données selon des degrés d'incertitude pourraient aider à déterminer les évolutions de distribution des types d'écosystème à évaluer (voir méthodes : Valette-Sansevin *et al.*, 2019 ; Green *et al.*, 2021).

²¹ Indice de régression = surface matre morte / (surface matre morte + surface herbier).

Tableau 8. Sources de données pertinentes pour estimer l'évolution de la distribution spatiale des écosystèmes ; ND : non disponible.

Secteur	Espèce	Nom de la série de données / projet	Période couverte	Localisation site	Description
ATL	<i>Z. marina</i> , <i>Z. noltei</i>	DCE-Angiosperme / <i>Z. noltei</i> DCE-Angiosperme / <i>Z. marina</i>	2007- aujourd'hui	Nouvelle-Aquitaine, Bretagne, Manche	Synthèse bibliographique des surfaces d'herbier à zostères
ATL	<i>Z. marina</i> , <i>Z. noltei</i>	Atlas des herbiers de zostères de la région Bretagne	2008	Bretagne	Les herbiers à zostères de la région Bretagne - Inventaire 2007 des sites - Produit numérique REBENT multi-sources Ifremer-CNRS-CEVA, 2007 (Rollet & Corbeau, 2008 cité dans Fortune & Bizzozero, 2021).
ATL	<i>Z. noltei</i>	Projet CoEHCo : Connaissance et Évaluation de l'état des Habitats benthiques Côtiers	2019-2021	PNM EGMP	Suivis des herbiers à <i>Z. noltei</i> dans le parc - évolution des cœurs d'herbiers.
ATL	<i>Z. marina</i>	Cartographie des herbiers infralittoraux de <i>Zostera marina</i> du Bassin d'Arcachon	1988-2008- 2016	Bassin d'Arcachon	Evolution temporelle de la surface occupée par les herbiers à <i>Z. marina</i> depuis les trente dernières années, en s'appuyant sur les données de 1988 (sonar acoustique), de 2008 et 2016 (méthode DIVA : Détection & Inspection Verticale Acoustique) (Dalloyau <i>et al.</i> , 2009 ; Trut <i>et al.</i> , 2018).
ATL	<i>Z. marina</i> , <i>Z. noltei</i>	Evolution surfacique des herbiers de zostères du Bassin d'Arcachon	1988-2008	Bassin d'Arcachon	Evolution temporelle de la surface occupée par les herbiers à <i>Z. noltei</i> en s'appuyant sur les données de 1988 (sonar acoustique) et de 2008 (méthode DIVA : Détection & Inspection Verticale Acoustique) (Dalloyau <i>et al.</i> , 2009 ; Plus <i>et al.</i> , 2010).
ATL	<i>Z. marina</i> , <i>Z. noltei</i>	VALMER : Valuing ecosystem services in the Western Channel	2015-2015	Golfe du Morbihan	Evolution temporelle de la surface occupée par les herbiers à zostères entre 1960-2000 dans le Golfe du Morbihan (Urien <i>et al.</i> , 2015).
ATL	<i>Z. marina</i> , <i>Z. noltei</i>	HEIMa : Habitats, Espèces et Interactions Marines	2012-2016	Archipel de Chausey	Cartographie des assemblages morpho-sédimentaires et du peuplement benthique, suivi de l'évolution des herbiers à zostères, étude de l'impact de la fragmentation de ces herbiers sur leurs fonctions écologiques et leur niveau de biodiversité.
ATL	<i>Z. noltei</i>	CartoHECo : Cartographie des Habitats bEnthiques Cotiers du PNM EGMP	2000-2018- 2020	PNM EGMP	Analyse historique de l'évolution surfacique des herbiers à <i>Z. noltei</i> avec une analyse comparative de l'ensemble des cartographies d'herbiers sous SIG (Curti & Beguet, 2020).
ATL	<i>Z. marina</i> , <i>Z. noltei</i>	Cartographie des herbiers de zostères du lac d'Hossegor	2004-2008- 2013-2021	Lac d'Hossegor	Analyse historique de l'évolution des herbiers à zostères dans le lac d'Hossegor (Trut <i>et al.</i> , 2014 ; Rigouin <i>et al.</i> , 2022).
ATL- MED	<i>Z. marina</i> , <i>Z. noltei</i> , <i>P. oceanica</i>	De los Santos <i>et al.</i> (2019)	ND	Plusieurs sites	Synthèse bibliographique d'évolution de surface d'herbiers.
MED	<i>P. oceanica</i>	DCE-Posidonie		Méditerranée	Métriques pouvant être intéressantes pour déduire une évolution de la distribution spatiale : - Métrique 1. Limite inférieure de l'herbier (m) (<i>in situ</i>) ; - Métrique 2. Type de limite inférieure (franche, progressive, régressive) (Gobert <i>et al.</i> , 2009).

MED	Spp. Lagunes	DCE-Macrophytes / LAGMED : Suivi de la qualité des eaux lagunaires en Méditerrané française	2006- Aujourd'hui	Méditerranée - lagunes	Métriques de recouvrement pouvant être intéressantes pour déduire une évolution de la distribution spatiale des phanérogames marines en milieu lagunaire (Sanchez & Grillas, 2012).
MED	Spp. Lagunes	DCE Lagunes	2001-2021	Méditerranée - lagunes	Recouvrement stationnel par espèce au sein de chaque lagune poly-euhalin (Les données sont disponibles dans Quadrige2).
MED	<i>P. oceanica</i>	SURFSTAT : réseau d'analyse surfacique des habitats marins	2013- Aujourd'hui	Méditerranée	Carte de l'évolution globale de l'herbier à posidonie, <i>i.e.</i> une représentation cartographique (selon une grille de pixels de 20 x 20 mètres) de l'indice de régression de l'herbier.
MED	<i>P. oceanica</i>	TEMPO : réseau de surveillance des herbiers à posidonie	2011- Aujourd'hui	Méditerranée	Cartographie de régression de posidonie, dynamique évolutive des herbiers à <i>P. oceanica</i> en limite inférieure (60 sites échantillonnés tous les 3 ans).
MED	<i>P. oceanica</i>	Réseau de Surveillance Posidonies Corse	2004-2014	Corse	Evolution de la limite inférieure des herbiers (Pergent <i>et al.</i> , 2015 ; Pergent <i>et al.</i> , 2019).
MED	<i>P. oceanica</i>	Marbà <i>et al.</i> (2013b). <i>Posidonia oceanica</i> changes in the Mediterranean Sea	1842-2009	Méditerranée	Synthèse bibliographique de surface d'herbiers à <i>P. oceanica</i> , limites des profondeurs inférieures et supérieures, recouvrement et densité --> taux de changements ; 150 sites depuis 1994 (Marbà <i>et al.</i> , 2014). http://digital.csic.es/handle/10261/88165
MED	<i>P. oceanica</i>	Evolution des herbiers de région PACA	2006-2011-2018 / 1920-2012	PACA	Evolution des herbiers de la région PACA en fonction de la pression des ancrages (Holon <i>et al.</i> , 2019) et évolution historique de 1920 à 2012 (Holon <i>et al.</i> , 2015a).
MED	<i>P. oceanica</i> , <i>C. nodosa</i>	CARTographie des HABitats Marins Benthiques : de l'Acquisition à la Restitution (CARHAMBAR) : herbiers des baies de Sanary-sur-Mer et Bandol (Var, France)	1980-2008	Var	Evolution de la surface des herbiers des baies de Sanary-sur-Mer et Bandol (Reveret <i>et al.</i> , 2009).
MED	Spp. Lagune	Etang de Thau : évolution de la dominance des macrophytes	1970-2020	Etang de Thau	Evolution des phanérogames marines (pas au niveau spécifique) (Derolez <i>et al.</i> , 2020).
MED	<i>C. nodosa</i>	Cartographie de l'évolution de l'herbier à <i>C. nodosa</i> dans la lagune d'Urbino	1973, 1979, 1990, 1994, 1996, 1999 à 2011	Lagune d'Urbino	Evolution de la surface des herbiers de 1973 à 2011 (Garrido <i>et al.</i> , 2013).
MED	Spp. Lagune	Suivi des herbiers sur la lagune de Biguglia	2010	Lagune de Biguglia	Evolution de l'abondance relative des herbiers de 1970 à 2020 (Pasqualini <i>et al.</i> , 2017, 2020).
MED	<i>Z. noltei</i> , <i>R. cirrhosa</i>	Cartographie des herbiers	2007	Lagune de Palo	Cartographie des herbiers de la lagune de Palo (Pasqualini, 1997).

4.4 Recommandations pour l'évaluation des critères C et D

Plusieurs facteurs abiotiques et biotiques peuvent définir l'état de l'écosystème et impacter cet état de façon synergique (Cognat *et al.*, 2017 ; Holon *et al.*, 2018 ; Mancini *et al.*, 2020). Cependant, la méthodologie UICN des LRE recommande de caractériser et quantifier l'évolution de variables abiotiques et biotiques indépendamment les unes des autres pour évaluer les critères C et D. **L'utilisation de modèles conceptuels est conseillée pour sélectionner les variables pertinentes** (Bland *et al.*, 2016). Sans avoir déterminé les modèles conceptuels des types d'écosystème à évaluer, il est difficile d'identifier les données mobilisables pertinentes pour ces critères.

Nous proposons ici une liste non exhaustive de variables abiotiques et biotiques (Tableaux 9 et 10) pour lesquelles il serait pertinent d'étudier leur évolution et, en cas de changement conséquent selon une ou plusieurs échelles de temps, de déterminer les seuils de sévérité relative et estimer l'étendue de leur impact sur le type d'écosystème concerné. Cette liste s'appuie sur des travaux d'évaluation de la sensibilité²² des habitats au regard des pressions de d'Avack *et al.* (2014) et de La Rivière *et al.* (2016, 2017). Alors que d'Avack *et al.* (2014) ont identifié des pressions d'origine anthropique et évalué la sensibilité des différents herbiers de la côte Atlantique (typologie EUNIS) ; La Rivière *et al.* (2016, 2017) ont réalisé une matrice de sensibilité des habitats benthiques des secteurs métropolitains, incluant les herbiers, au regard des pressions physiques. **L'utilisation de matrices de sensibilité types d'écosystème/pressions semble pertinente pour sélectionner les variables biotiques et abiotiques adéquates pour évaluer les critères C et D** (d'Avack *et al.*, 2014 ; La Rivière *et al.*, 2016, 2017). L'étude de modélisation des niches écologiques d'espèces constitutives d'herbier peut également aider à la sélection de variables (*e.g.* Chefaoui *et al.*, 2016 ; Mouillard, 2020). De même, pour le calcul d'un indicateur basé sur une approche écosystémique (Ecosystem-Based Quality Index ou EBQI – indice de qualité basé sur l'écosystème), une pondération caractérise chaque compartiment du modèle conceptuel en fonction de son importance dans le fonctionnement de l'écosystème (Ruitton *et al.*, 2017).

Les indices créés dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE décrivant l'évolution de la qualité de l'habitat (DCE-angiospermes & DCE-macrophytes) ou de l'état écologique des masses d'eau (Gobert *et al.*, 2009 ; Auby *et al.*, 2010) reposent sur le suivi de plusieurs variables ; ces variables, analysées indépendamment les unes des autres, pourraient être pertinentes pour les critères C et D (voir le guide du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2018 ; Tableau 9).

La définition des seuils d'effondrement peut s'appuyer sur les seuils bornés « Pressure benchmark » de la revue de d'Avack *et al.* (2014) mais également sur les seuils déterminés sur des échelles qualitatives (définissant le mauvais et bon état) pour des métriques mesurées dans l'élaboration d'indices tels que ceux utilisés dans cadre de la mise en œuvre de la DCE (voir fiches des indicateurs dans Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2018) ou d'autres : BIPo, PREI, EQBI (Gobert *et al.*, 2009 ; Lopez y Royo *et al.*, 2010 ; Ruitton *et al.*, 2017).

Pour la Méditerranée, une cartographie des impacts anthropiques a été créée par Andromède Océanologie (Holon *et al.*, 2015b, 2018) et pourrait servir de base pour définir l'étendue des pressions, cependant pour évaluer leur évolution, d'autres informations seront nécessaires.

Alors que les variables abiotiques proposées correspondent à des métriques dont l'évolution peut impacter les différents types d'écosystème, les variables biotiques reposent sur des métriques caractérisant les espèces ingénieurs constitutives d'herbiers ou d'espèces caractéristiques (Fig. 6) qui participent activement au fonctionnement des herbiers (Tableaux 9 et 10).

²² La sensibilité s'appuie sur les concepts de résistance et résilience (La Rivière *et al.* 2015).

Tableau 9. Liste non exhaustive de variables abiotiques proposées pour renseigner le critère C, modifié d'Avack et al. (2014) et de La Rivière et al. (2016 ; 2017).

Perturbations	Variables/proxy	Descriptions	Source de données potentielles
Changement hydrologique	Température de l'eau	La température de l'eau peut affecter la croissance des phanérogames marines (Mayot <i>et al.</i> , 2005 ; Cognat <i>et al.</i> , 2017) mais cela dépend de la sensibilité des espèces ; par exemple : <i>C. nodosa</i> est plutôt une espèce à affinité chaude et <i>Z. marina</i> une espèce à affinité froide (Pasqualini, 2021). Pour <i>P. oceanica</i> , une augmentation de température de l'eau pourrait favoriser l'herbivorie de cette phanérogame avec une augmentation de sa palatabilité et une croissance larvaire légèrement réduite de son principal herbivore <i>Sarpa salpa</i> (Buñuel <i>et al.</i> , 2021).	DCE (Daniel & Soudant 2018a), modèles plus globaux de température d'eaux de surface côtières (voir Lima & Wetthey, 2012).
	Salinité	Les variations de salinité sont à même d'affecter les herbiers formés par les espèces de phanérogames sténohalines (voir Fig 3. & Tableau 2 ; Pasqualini <i>et al.</i> , 1999 ; Touchette, 2007), particulièrement dans les milieux lagunaires (Le Fur <i>et al.</i> , 2017 ; Pasqualini <i>et al.</i> , 2017).	DCE (réseau national et régionaux : REPHY, SRN), réseaux de suivis des eaux lagunaire (RSL, OBSLAG).
	Hydrodynamisme	Un changement de l'hydrodynamisme, de la vitesse des courants de marée ou de l'exposition aux vagues, peut affecter les herbiers, en induisant une perturbation du cycle d'engraissement-érosion de l'herbier et donc une modification notable de l'habitat (Cognat, 2019).	Par ex. méthodes de Guillou <i>et al.</i> , (2018)
Qualité de l'eau	Turbidité	La modification de la charge en particules qui peut être mesurée par la turbidité, induira une réduction de la quantité de lumière disponible pour l'activité photosynthétique de l'herbier ce qui aura un effet sur sa productivité, voir son maintien (Ralph <i>et al.</i> , 2006).	DCE (Daniel & Soudant, 2018b)
	Nutriments	Un apport en nutriments comme l'azote (voir Bonifacio & Pisanu, 2013) peut engendrer une augmentation de la biomasse des macroalgues et des microalgues épiphytes ou du phytoplancton, ce qui peut affecter l'activité photosynthétique des phanérogames (Ralph <i>et al.</i> , 2006 ; Burkholder <i>et al.</i> , 2007). C'est particulièrement le cas dans les lagunes de Méditerranée (Le Fur <i>et al.</i> , 2019 ; De Wit <i>et al.</i> , 2020).	DCE (Daniel <i>et al.</i> , 2018) Rapport OBSLAG sur les lagunes méditerranéennes (Derolez <i>et al.</i> , 2021)
Perturbation physique, Simplification structurelle des écosystèmes marins benthiques	Ancrage/Mouillage des bateaux	L'impact direct des bateaux est non négligeable sur les herbiers vivants et la matrice morte en termes de destruction directe et de fragmentation (Abadie <i>et al.</i> , 2016 ; Deter <i>et al.</i> , 2017 ; Holon <i>et al.</i> , 2019 ; Ouisse <i>et al.</i> , 2020).	Programme GIREPAM (Dapuzo <i>et al.</i> , 2020)
	Aménagement et anthropisation du milieu littoral	L'anthropisation du milieu littoral est un des facteurs les plus importants des déclins des herbiers, notamment par la destruction directe ou indirecte (changement de la dynamique sédimentaire) de l'habitat en lien avec le développement d'infrastructures tels que les ports, les digues, etc. (Holon <i>et al.</i> , 2015b).	Par ex. programme MEDAM Côtes Méditerranéennes françaises Inventaire et impact des AMénagements gagnés sur le domaine marin.

Tableau 10. Liste non exhaustive de variables biotiques proposées pour renseigner le critère D, modifié de d'Avack et al. (2014).

Perturbations	Variables/proxy	Descriptions	Source de données potentielles
Présence d'espèces clés	Des espèces ingénieurs de phanérogames marines : densité, biométrie foliaire, biomasse, état feuilles	La vitalité, l'état écologique des herbiers peut se mesurer au travers des variables descriptives de l'état des espèces constitutives d'herbiers : densité, biométrie foliaire, biomasse, état feuilles, caractérisation des épiphytes (Pergent-Martini et al., 2005 ; Gobert et al., 2009 ; Auby et al., 2018 ; Andromède Océanologie, 2020). Les évolutions de certaines de ces variables sont estimées pour les sites français dans la synthèse de De los Santos et al. (2019).	DCE (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2018)
	D'espèces de compartiments fonctionnels importants : richesse spécifique, abondances ou biomasse	Alors que pour les herbiers à posidonie, les compartiments fonctionnels les plus importants en dehors de celui constitué par <i>Posidonia oceanica</i> correspondent aux poissons piscivores, puis aux macro-herbivores ainsi que les poissons prédateurs et céphalopodes (Personnic et al., 2014 ; Ruitton et al., 2017), les oiseaux jouent un rôle important d'herbivores des herbiers de zostères (Valentine & Duffy, 2007).	Par ex. la liste des principales espèces présentes dans les herbiers à posidonie en fonction de leur compartiment trophique est disponible dans Ruitton et al. (2017) ; liste des herbivores importants dans Valentine & Duffy (2007).
Introduction/présence d'espèce pathogène	Protozoaire <i>Labyrinthula zosterae</i> : degré d'atteinte par la « maladie du dépérissement »	La maladie « Wasting disease » générée par l'infestation d'un protozoaire <i>Labyrinthula zosterae</i> a particulièrement décimé le herbiers de <i>Zostera marina</i> , notamment dans les années 1930 (Godet et al., 2008). La maladie du dépérissement est aujourd'hui suivie dans le protocole de la mise en œuvre de la DCE sur le secteur de l'Atlantique, Manche et mer du Nord (Auby et al., 2018).	DCE (Auby et al., 2018)

5 DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

Au regard de cette étude de faisabilité, une évaluation Liste Rouge des Ecosystèmes des phanérogames marines de France métropolitaine est aujourd'hui envisageable. Les éléments proposés dans cette étude permettent d'établir un cadrage cohérent en lien avec les données mobilisables. Ce type d'évaluation LRE permettra de valoriser les données récoltées et d'établir un outil d'aide à la décision et à l'action pour les acteurs de l'environnement, complémentaire aux stratégies de conservation déjà en place.

Treize types d'écosystèmes (*a minima*) ont été proposés à l'évaluation et pourront être utilisés comme base pour mobiliser les données nécessaires à l'évaluation. Si la précision des données collectées le permet, il pourrait être envisageable de redéfinir *a posteriori* certaines sous-unités, notamment pour le secteur de l'Atlantique, Manche et mer du Nord en considérant la distinction milieu euhalin/euryhalin et/ou la nature du substrat.

Au vu de la consultation menée, un certain nombre de données existantes pourraient être utilisées pour répondre aux critères de l'évaluation LRE. Cependant, toutes ces données ne sont pas forcément mobilisables dans leur qualité originelle. Il faudra alors revoir la précision et les incertitudes associées à des données de synthèse. La méthodologie permet de s'appuyer sur du dire d'experts, pour combler les lacunes lorsque les données quantitatives pertinentes sont manquantes. Tous les critères ne pourront pas être renseignés pour tous les types d'écosystème à évaluer, notamment le critère E qui nécessite de s'appuyer sur de robustes modélisations du risque d'effondrement.

La majorité des données présentées dans cette note de faisabilité est appropriée pour renseigner les critères A et B, en identifiant des sources pour cartographier la surface ou l'évolution surfacique des différents types d'herbiers. Bien que des sources potentielles de données soient proposées pour renseigner les critères C et D, le travail sur la description de chaque type d'écosystème et de leur fonctionnement doit être développé pour pouvoir sélectionner les variables les plus pertinentes.

L'évaluation LRE nécessite la mise en place d'un comité de pilotage (incluant des membres du Comité français de l'UICN et de PatriNat) et d'un comité technique d'experts. La constitution d'un comité technique devra s'efforcer d'intégrer des experts scientifiques familiers avec les données de suivis des herbiers, afin de pouvoir valider l'utilisation raisonnée de celles-ci dans le cadre de cette évaluation LRE.

La suite du processus de l'évaluation LRE des phanérogames marines de France métropolitaine nécessitera un travail de descriptions des écosystèmes, de collecte et d'analyse des données mobilisables pour caractériser les différents critères d'évaluation.

Bibliographie

- Abadie, A., Lejeune, P., Pergent, G. & Gobert, S. (2016) From mechanical to chemical impact of anchoring in seagrasses: the premises of anthropogenic patch generation in *Posidonia oceanica* meadows. *Marine Pollution Bulletin*, 109: 61–71.
- Abadie, A., Pace, M., Gobert, S. & Borg, J.A. (2018) Seascape ecology in *Posidonia oceanica* seagrass meadows: Linking structure and ecological processes for management. *Ecological Indicators*, 87: 1–13.
- Abdelrhman, M.A. (2003) Effect of eelgrass *Zostera marina* canopies on flow and transport. *Marine Ecology Progress Series*, 248: 67–83.
- Aguesse, P. (1957) La classification des eaux poikilohalines, sa difficulté en Camargue, nouvelle tentative de classification. *Vie et Milieu*, 341–365.
- Alaniz, A.J., Pérez-Quezada, J.F., Galleguillos, M., Vásquez, A.E. & Keith, D.A. (2019) Operationalizing the IUCN Red List of Ecosystems in public policy. *Conservation Letters*, 12: e12665.
- Andromède Océanologie & Agence de l'eau RMC (2020) Atlas de synthèse – Année 2020. Surveillance biologique et qualité des eaux de Méditerranée. Edition Andromède Océanologie & Agence de l'eau RMC, 120 pp.
- Arber, A. (1920). *Water Plants. A study of aquatic angiosperms*. Cambridge University Press, Cambridge, 460 pp.
- Astruch, P., Goujard, A., Rouanet, E., Bonhomme, D., Bonhomme, P., Pergent, G. & Boudouresque, C. (2017) Global change and the lower limit of the *Posidonia oceanica* meadow: a complex combination of natural and human-induced recent and ancient phenomena. Interdisciplinary symposium – Tracks Global Change, 5-7th of July 2017, Corte: 1-4.
- Auby, I., Oger-Jeanneret, Sauriau P.-G., Hily C. & Barillé, L. (2010) Angiospermes des côtes françaises Manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité. Rapport Ifremer/RST/LER/MPL/10-15, 63 pp. + annexes.
- Auby, I., Oger-Jeanneret, H., Gouillieux, B., Grall, J., Janson, A.-L., Maguer, M., Rigouin, L., Sauriau, P.-G. & Trut, G. (2018) Protocoles de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). *Zostera marina - Zostera noltei*. Rapport Ifremer/ODE/UL/LER/AR/18.017, 63 pp.
- d'Avack, E.A.S., Tillin, H.M., Jackson, E.L. & Tyler-Walters, H. (2014) Assessing the sensitivity of seagrass bed biotopes to pressures associated with marine activities. *JNCC Report*, N°505, 83 pp.
- Badalamenti, F., Alagna, A. & Fici, S. (2015) Evidences of adaptive traits to rocky substrates undermine paradigm of habitat preference of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Scientific Reports*, 5: 8804.
- Bajjouk, T., Cordier, C., Auby, I., Liabot, P.-O., Kerninon, F., Le Bouffant, N., Trut, G. & Oger-Jeanneret, H. (2019) Cartographie des Herbiers de zostères. Guide technique. Convention Ifremer-AQUAREF Thème Formation et outils 2016-2018. Edition IFREMER. REF. DYNECO/LEBCO/19-01/TB, 105 pp.
- Bajjouk, T., Guillaumont, B., Michez, N., Thouin, B., Croguennec, C., Populus, J., Louvel-Glaser, J., Gaudillat, V., Chevalier, C. & Tourolle, J. (2015a) Classification EUNIS, Système d'information européen sur la nature : Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranée. Vol. 2. Habitats subtidaux & complexes d'habitats. IFREMER/DYNECO/AG/15-02/TB2, 330 pp. + annexes.
- Bajjouk, T., Guillaumont, B., Michez, N., Thouin, B., Croguennec, C., Populus, J., Louvel-Glaser, J., Gaudillat, V., Chevalier, C., Tourolle, J. & Hamon (2015b) Classification EUNIS, Système d'information européen sur la nature : Traduction française des habitats benthiques des Régions Atlantique et Méditerranée. Vol. 1. Habitats Littoraux. IFREMER/DYNECO/AG/15-02/TB1, 224 pp. + annexes.
- Beirinckx, L., Vanschoenwinkel, B. & Triest, L. (2020) Hidden hybridization and habitat differentiation in a mediterranean macrophyte, the euryhaline genus *Ruppia*. *Frontiers in Plant Science*, 11: 830.
- Bishop, M., Altieri, A., Porter, S.N. & Orth, R.J. (2020) M1.1 Seagrass meadows. *In*: D.A. Keith, J.R. Ferrer-Paris, E. Nicholson, & R. Kingsford (eds.) *IUCN Global Ecosystem Typology 2.0. Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups*. Gland, Switzerland: IUCN, 132 pp.
- Bland, L.M., Keith, D.A., Miller, R.M., Murray, N.J. & Rodríguez, J.P. (2017) Guidelines for the application of IUCN Red List of Ecosystems categories and criteria, Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN. ix + 94 pp.

- Bland, L.M., Keith, D.A., Miller, R.M., Murray, N.J. & Rodríguez, J.P. (2016) Lignes directrices pour l'application des critères et catégories de la Liste Rouge des Écosystèmes de l'UICN. Union internationale pour la conservation de la nature Version 1.0. Gland, Suisse: IUCN. ix + 114 pp. Originellement publié en tant que Guidelines for the application of IUCN Red List of Ecosystems Categories and Criteria, Version 1.0 (Gland, Suisse: IUCN, 2016).
- Bland, L.M., Nicholson, E., Miller, R.M., Andrade, A., Carré, A., Etter, A., Ferrer-Paris, J.R., Herrera, B., Kontula, T., Lindgaard, A., Pliscoff, P., Skowno, A., Valderrábano, M., Zager, I. & Keith, D.A. (2019) Impacts of the IUCN Red List of Ecosystems on conservation policy and practice. *Conservation Letters*, 12: e12666.
- Bonhomme, D., Boudouresque, C.F., Astruch, P., Bonhomme, J., Bonhomme, P., Goujard, A. & Thibaut, T. (2015) Typology of the reef formations of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, and the discovery of extensive reefs in the Gulf of Hyères (Provence, Mediterranean). *Scientific Report Port-Cros National Park*, 29: 41–73.
- Bonifacio, R. & Pisanu, P. (2013) Appendix S2. Seagrass community of South Australia. *In*: Keith, D.A., Rodríguez, J.P., Rodríguez-Clark, K.M., Nicholson, E., Aapala, K., Alonso, A., Asmussen, M., Bachman, S., Basset, A., Barrow, E.G., Benson, J.S., Bishop, M.J., Bonifacio, R., Brooks, T.M., Burgman, M.A., Comer, P., Comín, F.A., Essl, F., Faber-Langendoen, D., Fairweather, P.G., Holdaway, R.J., Jennings, M., Kingsford, R.T., Lester, R.E., Nally, R.M., McCarthy, M.A., Moat, J., Oliveira-Miranda, M.A., Pisanu, P., Poulin, B., Regan, T.J., Riecken, U., Spalding, M.D. & Zambrano-Martínez, S. (2013) Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. *PLOS ONE*, 8: e62111.
- Bos, A.R., Bouma, T.J., de Kort, G.L.J. & van Katwijk, M.M. (2007) Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: sediment accretion and modification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74: 344–348.
- Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S. & Tunesi, L. (2006) Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. Ramoge. RAMOGE pub., 202 pp.
- Boudouresque, C.F., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2016) The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia*, 781: 25–42.
- Bournérias, M., Pomerol, C. & Turquier, Y. (1992) Guides naturalistes des côtes de France (9) : La Méditerranée de Marseille à Banyuls : Languedoc-Roussillon. Delachaux & Niestlé, 313 pp.
- Boyé, A., Gauthier, O., Becheler, R., Le Garrec, V., Hily, C., Maguer, M. & Grall, J. (2021) Drivers and limits of phenotypic responses in vulnerable seagrass populations: *Zostera marina* in the intertidal. *Journal of Ecology*, 110(1): 1–18.
- Buñuel, X., Alcoverro, T., Romero, J., Arthur, R., Ruiz, J.M., Pérez, M., Ontoria, Y., Raventós, N., Macpherson, E., Torrado, H. & Pagès, J.F. (2021) Warming intensifies the interaction between the temperate seagrass *Posidonia oceanica* and its dominant fish herbivore *Sarpa salpa*. *Marine Environmental Research*, 165: 105237.
- Burkholder, J.M., Tomasko, D.A. & Touchette, B.W. (2007) Seagrasses and eutrophication. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350: 46–72.
- Carré, A., Poulin, B. & Peguin, M. (2012). Liste Rouge des Écosystèmes de l'UICN. Exercice d'application sur quelques écosystèmes de Zones Humides de France métropolitaine. 82 pp.
- Catteau, E., Duhamel, F., Baliga, M.F., Basso, F., Bedouet, F., Cornier, T., Mullie, B., Mora, F., Toussaint, B. & Valentin, B. (2009). Guide des végétations des zones humides de la région Nord-Pas de Calais. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul. Bailleul, 632 pp.
- Chefaoui, R.M., Assis, J., Duarte, C.M. & Serrão, E.A. (2016) Large-scale prediction of seagrass distribution integrating landscape metrics and environmental factors: the case of *Cymodocea nodosa* (Mediterranean–Atlantic). *Estuaries and Coasts*, 39: 123–137.
- Clair, M., Gaudillat, V., Michez, N. & Poncet, R. (2019) HABREF v5.01, référentiel des typologies d'habitats et de végétation pour la France. Guide méthodologique. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris. Rapport UMS PatriNat (AFB-CNRS-MNHN), 95 pp.

- Cognat, M. (2019) Rôles des facteurs environnementaux et des interactions biomorphodynamiques sur l'évolution spatio-temporelle des herbiers de zostères dans une lagune mésotidale. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 228 pp. + Annexes.
- Cognat, M., Auby, I., Barraquand, F., Rigouin, L., Sottolichio, A. & Ganthy, F. (2017) Facteurs environnementaux contrôlant la croissance des herbiers de *Zostera noltei* dans un contexte de fort déclin (Bassin d'Arcachon, FRANCE). Colloque EVOLECO - EVOLution à Long terme des Ecosystèmes COTiers : Vers une mise en évidence des forçages et des processus associés. 5-7 décembre 2017, Pessac.
- Comité français de l'UICN (2020) La Liste Rouge des Écosystèmes en France - Chapitre littoraux méditerranéens de France métropolitaine, Vol 1 : dunes côtières et rivages sableux. Paris, France. Rapport technique, 181 pp.
- Curti, C. & Beguet, B. (2020) Cartographie des habitats littoraux du Parc Naturel Marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (CartoHECo) - Volet 2 – Rapport final – Analyse historique des herbiers de zostère naine à l'échelle du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. Contrat de Recherche & Développement, OFB / i-Sea, 118 pp.
- Curti, C. & Beguet, B. (2021) Cartographie des habitats littoraux du Parc Naturel Marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (CartoHECo) - Volet 1 – Rapport final – Cartographie 2020 : herbiers de zostères naines, champs de macroalgues intertidaux et prés salés. Contrat de Recherche & Développement, OFB / i-Sea, 82 pp.
- Dalloyau, S., Trut, G., Plus, M., Auby, I. & Emery, E. (2009) Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières : Cartographie des herbiers de *Zostera noltei* et *Zostera marina* du Bassin d'Arcachon. Laboratoire Environnement Ressources d'Arcachon, IFREMER, Agence de l'Eau Adour – Garonne, RST /LER/AR/09-003, 52 pp.
- Daniel, A., Derolez, V. & Soudant, D. (2018) Indicateur Nutriments. In : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018) Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE. Rapport MTES/DGALN/DEB/ELM3, Ifremer, AFB, 48 pp. + annexes.
- Daniel, A. & Soudant, D. (2018a) Indicateur Température. In : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018) Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE. Rapport MTES/DGALN/DEB/ELM3, Ifremer, AFB, 48 pp. + annexes.
- Daniel, A. & Soudant, D. (2018b) Indicateur Transparence. In : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018) Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE. Rapport MTES/DGALN/DEB/ELM3, Ifremer, AFB, 48 pp. + annexes.
- Dapueto, G., Massa, F., Pergent-Martini, C., Povero, P., Rigo, I., Vassallo, P., Venturini, S. & Paoli, C. (2022) Sustainable management accounting model of recreational boating anchoring in Marine Protected Areas. *Journal of Cleaner Production*, 342: 130905.
- De Los Santos, C., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Marba, N., Duarte, C., Katwijk, M., Pérez, M., Romero, J., Sánchez Lizaso, J., Roca, G., Jankowska, E., Pérez-Lloréns, J., Fournier, J., Montefalcone, M., Pergent, G., Ruiz Fernandez, J., Cabaço, S., Cook, K., Wilkes, R. & Santos, R. (2019) Recent trend reversal for declining European seagrass meadows. *Nature Communications*, 10: 3356.
- De Los Santos, C.B., Sigurðardóttir, R., Cunha, A., Cook, K., Wiktor, J.M., Tatarek, A. & Santos, R. (2014) A survey-based assessment of seagrass status, management and legislation in Europe. *Frontiers in Marine Science International Meeting on Marine Research*, Peniche, Portugal, July 2014.
- De Wit, R., Leruste, A., Le Fur, I., Sy, M.M., Bec, B., Ouisse, V., Derolez, V. & Rey-Valette, H. (2020) A multidisciplinary approach for restoration ecology of shallow coastal lagoons, a case study in South France. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8: 108.
- 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.
- Deter, J., Lozupone, X., Inacio, A., Boissery, P. & Holon, F. (2017) Boat anchoring pressure on coastal seabed: quantification and bias estimation using AIS data. *Marine Pollution Bulletin*, 123: 175–181.
- Duarte, C.M. (2000) Marine biodiversity and ecosystem services: an elusive link. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250: 117–131.

- Duffy, J.E. (2006) Biodiversity and the functioning of seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 311: 233–250.
- Durreau, A., Soissons, L. & Ouisse, V. (2021) Effet des épisodes extrêmes en milieu méditerranéen stressé. Phase 1 : étude bibliographique. R.ODE/UL/LERLR 21-22.
- European Environment Agency (2022) EUNIS habitat classification — European Environment Agency. Available from: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification-1> (January 4, 2022).
- Fernández-Torquemada, Y. & Sánchez-Lizaso, J.L. (2006) Effects of salinity on growth and survival of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson and *Zostera noltii* Hornemann. *Biologia Marina Mediterranea*, 16: 46–47.
- Folkard, A.M. (2005) Hydrodynamics of model *Posidonia oceanica* patches in shallow water. *Limnology and Oceanography*, 50: 1592–1600.
- Fortune, M. & Bizzozero, L. (2021) Atlas DCE Loire - Bretagne. Tome 6 : Herbiers. Etat des Lieux 2019 – Données 2012-2017. ODE/UL/LER MPL/21.06. Convention Ifremer/AELB 180505801.
- Fréjefond, C., Bellan, G., Abadie, A. & Pelaprat, C. (2021a) III.2.1.a. Association à *Cymodocea nodosa* sur SFBC. Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. *In: La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleszczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat ed., Paris : pp. 217–222.*
- Fréjefond, C., Cimiterra, N., Grillas, P. & Ouisse, V. (2021b) III.1.1.e. Association à *Cymodocea nodosa*. *In: La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleszczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris : pp. 163–166.*
- Fréjefond, C., Michez, N., Abadie, A. & Pelaprat, C. (2021c) III.2.3.a. Association à *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltei*, *Caulerpa prolifera* et *Caulerpa ollivieri*. *In: La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleszczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris : pp. 227–230.*
- Fréjefond, C., Michez, N., Cimiterra, N., Derolez, V., Grillas, P. & Ouisse, V. (2021d) III.1.1.c. Association à *Zostera noltei*. *In: La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleszczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris : pp. 154–158.*
- Fréjefond, C., Michez, N., Cimiterra, N., Grillas, P. & Ouisse, V. (2021e) III.1.1.d. Association à *Zostera marina*. *In: La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleszczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris : pp. 159–162.*
- Gargominy, O., Terceirie, S., Régnier, C., Dupont, P., Daszkiewicz, P., Léotard, G., Antonetti, P., Ramage, T., Vandell, E. & Petitteville, M. (2020) TAXREF v14. 0, référentiel taxonomique pour la France. UMS PatriNat, Muséum national d’Histoire naturelle, Paris.
- Garrido, M., Lafabrie, C., Torre, F., Fernandez, C. & Pasqualini, V. (2013) Resilience and stability of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows over the last four decades in a Mediterranean lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130: 89–98.

- Gobert, S., Sartoretto, S., Rico-Raimondino, V., Andral, B., Chery, A., Lejeune, P. & Boissery, P. (2009) Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 1727–1733.
- Godet, L., Fournier, J., Katwijk, M.M. van, Olivier, F., Mao, P.L. & Retière, C. (2008) Before and after wasting disease in common eelgrass *Zostera marina* along the French Atlantic coasts: a general overview and first accurate mapping. *Diseases of Aquatic Organisms*, 79: 249–255.
- Green, A., Unsworth, R., Chadwick, M. & Jones, P. (2021) Historical Analysis Exposes Catastrophic Seagrass Loss for the United Kingdom. *Frontiers in Plant Science*, 12: 629962.
- Gubbay, S. & Sanders, N. (2016) European Red List of Habitats : Part 1. Marine habitats. Publications Office of the European Union, 46 pp.
- Guillou, N., Neill, S.P. & Robins, P.E. (2018) Characterising the tidal stream power resource around France using a high-resolution harmonic database. *Renewable Energy*, 123: 706–718.
- Hamdi, A., Vasquez, M. & Populus, J. (2010) Cartographie des habitats physiques Eunis - Côtes de France. Convention Ifremer/AAMP n° 09/1217764/FY, 110 pp.
- den Hartog, C. (1967) The structural aspect in the ecology of sea-grass communities. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 15: 648–659.
- den Hartog, C. & Kuo, J. (2006) Taxonomy and Biogeography of Seagrasses. *In*: A.W.D. Larkum & C.M. Duarte (eds.) *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 1–23.
- den Hartog, C. & Triest, L. (2020) A profound view and discourse on the typification and status of three confused taxa: *Ruppia maritima*, *R. spiralis* and *R. cirrhosa*. *Botanica Marina*, 63: 229–239.
- Heck, K.L., Hays, G. & Orth, R.J. (2003) Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, 253: 123–136.
- Hily, C., van Katwijk, M.M. & den Hartog, C. (2003) The seagrasses of Western Europe. *In*: E.P. Green & F.T. Short (eds.) *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press, Berkeley, USA., pp. 38–47.
- Hily, C. & Kerninon, F. (2012) Habitats particuliers de l'infra littoral. Sous-région marine Mers celtiques. Evaluation initiale DCSMM. Rapport IUEM, AAMP, Ifremer, 9 pp.
- Holon, F., Gwenaelle, D., Boissery, P. & Deter, J. (2014) MEDTRIX: a cartographic database for marine ecology and anthropogenic pressures along the mediterranean coast. CAR/ASP symposium on the Mediterranean key habitats, October 2014, Portoroz, Slovenia.
- Holon, F., Boissery, P., Guilbert, A., Freschet, E. & Deter, J. (2015a) The impact of 85 years of coastal development on shallow seagrass beds (*Posidonia oceanica* L.(Delile)) in South Eastern France: a slow but steady loss without recovery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165: 204–212.
- Holon, F., Mouquet, N., Boissery, P., Bouchouca, M., Delaruelle, G., Tribot, A.-S. & Deter, J. (2015b) Fine-scale cartography of human impacts along French Mediterranean coasts: a relevant map for the management of marine ecosystems. *PLoS One*, 10: e0135473.
- Holon, F., Marre, G., Parravicini, V., Mouquet, N., Bockel, T., Descamp, P., Tribot, A.-S., Boissery, P. & Deter, J. (2018) A predictive model based on multiple coastal anthropogenic pressures explains the degradation status of a marine ecosystem: implications for management and conservation. *Biological Conservation*, 222: 125–135.
- Holon, F., Delaruelle, G., Boissery, P., Bockel, T., Descamp, P. & Ballesta, L. (2019) Cahier MEDTRIX spécial Posidonie et impacts des ancrages des navires de plaisance.
- Houngnandan, F. (2020) Impact des pressions anthropiques et de l'environnement sur les herbiers de *Posidonia oceanica* en Méditerranée française. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 194 pp. + annexes.
- IFREMER (2014) Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon. Bilan des résultats 2013 . RST/LER/LR/14.07.
- Ito, Y., Ohi-Toma, T., Nepi, C., Santangelo, A., Stinca, A., Tanaka, N. & Murata, J. (2017) Towards a better understanding of the *Ruppia maritima* complex (Ruppiaceae): notes on the correct application and typification of the names *R. cirrhosa* and *R. spiralis*. *Taxon*, 66: 167–171.
- Jones, C.G., Lawton, J.H. & Shachak, M. (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69: 373–386.
- Keith, D. A., Ferrer-Paris, J. R., Nicholson, E., & Kingsford, R. (2020) IUCN Global Ecosystem Typology 2.0 Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups. IUCN.

- Keith, D.A., Rodríguez, J.P., Rodríguez-Clark, K.M., Nicholson, E., Aapala, K., Alonso, A., Asmussen, M., Bachman, S., Basset, A., Barrow, E.G., Benson, J.S., Bishop, M.J., Bonifacio, R., Brooks, T.M., Burgman, M.A., Comer, P., Comín, F.A., Essl, F., Faber-Langendoen, D., Fairweather, P.G., Holdaway, R.J., Jennings, M., Kingsford, R.T., Lester, R.E., Nally, R.M., McCarthy, M.A., Moat, J., Oliveira-Miranda, M.A., Pisanu, P., Poulin, B., Regan, T.J., Riecken, U., Spalding, M.D. & Zambrano-Martínez, S. (2013) Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. PLOS ONE, 8: e62111.
- Kontula, T. & Raunio, A. (2019) Threatened habitat types in Finland 2018. Finnish Environment Institute and Ministry of the Environment, Helsinki. The Finnish Environment. Red List of habitats – results and basis for assessment, 254 pp.
- La Rivière, M., Aish, A., Auby, I., Ar Gall, E., Dauvin, J.-C., de Bettignies, T., Derrien-Courtel, S., Dubois, S., Gauthier, O., Grall, J., Janson, A.-L. & Thiébaud, E. (2017) Evaluation de la sensibilité des habitats élémentaires (DHFF) d'Atlantique, de Manche et de mer du Nord aux pressions physiques. Rapport SPN 2017-4. MNHN. Paris, 93 pp.
- La Rivière, M., Aish, A., Gauthier, O., Grall, J., Guérin, L., Janson, A.-L., Labrune, C., Thibaut, T. & Thiébaud, E. (2015) Méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques aux pressions anthropiques. Rapport SPN 2015-69. MNHN. Paris, 52 pp.
- La Rivière, M., Delavenne, J., Janson, A.-L., de Bettignies, T. & experts (2022) Fiches descriptives des habitats marins benthiques de la Manche, de la mer du Nord et de l'Atlantique. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), Paris.
- La Rivière, M., Michez, M., Aish, A., Bellan-Santini, D., Bellan, G., Chevaldonne, P., Dauvin, J.C., Derrien-Courtel, S., Grall, J. & Guérin, L. (2016) Evaluation de la sensibilité des habitats benthiques de Méditerranée aux pressions physiques. Rapport SPN 2015-70. MNHN. Paris, 101 pp.
- La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris, 660 pp.
- Le Diréach, L. & Boudouresque, C.F. (2013) GIS Posidonie : Plus de 30 ans au service de la protection et de la gestion du milieu marin. GIS Publication, Marseille, 184 pp.
- Le Fur, I. (2018) Rôle des macrophytes dans la restauration des milieux lagunaires : successions écologiques. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 190 pp. + annexes.
- Le Fur, I., de Wit, R., Plus, M., Oheix, J., Derolez, V., Simier, M., Malet, N. & Ouisse, V. (2019) Re-oligotrophication trajectories of macrophyte assemblages in Mediterranean coastal lagoons based on 17-year time-series. Marine Ecology Progress Series, 608: 13–32.
- 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.
- Lee, C.K., Keith, D.A., Nicholson, E. & Murray, N.J. (2019) Redlistr: tools for the IUCN Red Lists of ecosystems and threatened species in R. Ecography, 42: 1050–1055.
- 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 Natura 2000 - Guide d'application Version 1. Rapport SPN 2013/14, 107 pp.
- Lima, F.P. & Wethey, D.S. (2012) Three decades of high-resolution coastal sea surface temperatures reveal more than warming. Nature Communications, 3: 704.
- Lopez y Royo, C.L., Casazza, G., Pergent-Martini, C. & Pergent, G. (2010) A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. Ecological Indicators, 10: 380–389.
- Oheix, J., Ouisse, V., Munaron J., Le Fur, I. & Derolez V. (2015) Etude de *Ruppia cirrhosa* dans la lagune de Canet-St-Nazaire. RST.ODE/UL/LER/LR/15-29.
- Ouisse, V., Marchand-Jouravleff, I., Fiandrino, A., Feunteun, E. & Ysnel, F. (2020) Swinging boat moorings: Spatial heterogeneous damage to eelgrass beds in a tidal ecosystem. Estuarine Coastal and Shelf Science, 235: 106581.

- Ouisse, V., Migne, A. & Davoult, D. (2011) Community-level carbon flux variability over a tidal cycle in *Zostera marina* and *Z. noltii* beds. *Marine Ecology Progress Series*, 437: 79–87.
- Ouisse, V., Migne, A. & Davoult D. (2010) Seasonal variations of community production, respiration and biomass of different primary producers in an intertidal *Zostera noltii* bed (Western English Channel, France). *Hydrobiologia*, 649(1): 3–11.
- Mancini, I., Rigo, I., Oprandi, A., Montefalcone, M., Morri, C., Peirano, A., Vassallo, P., Paoli, C. & Bianchi, C.N. (2020) What biotic indices tell us about ecosystem change: Lessons from the seagrass *Posidonia oceanica*. GECOMARS : International workshop on ecosystem-based management, 4-5 February 2020, Marseille, France. *Vie et Milieu/Life & Environment*, 70 (3-4): 55–61.
- Mannino, A.M., Menéndez, M., Obrador, B., Sfriso, A. & Triest, L. (2015) The genus *Ruppia* L. (Ruppiaceae) in the Mediterranean region: an overview. *Aquatic Botany*, 124: 1–9.
- Marbà, N., Díaz-Almela, E. & Duarte, C.M. (2014) Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation*, 176: 183–190.
- Mayot, N., Boudouresque, C.F. & Leriche, A. (2005) Unexpected response of the seagrass *Posidonia oceanica* to a warm-water episode in the North Western Mediterranean Sea. *Comptes Rendus Biologies*, 328: 291–296.
- Menu, M., Vaz, S., Bajjouk, T., Derolez, V., Fiandrino, A., Giraud, A., Grillas, P. & Ouisse, V. (2019) Rapport final du projet CHAMILA (Cartographie des habitats en milieu lagunaire méditerranéen). Ifremer, 78 pp.
- Michez, N., Fourt, M., Aish, A., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Marie-claire, F., Goujard, A., Harmelin, J.-G., Labrune, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Vacelet, J. & Verlaque, M. (2014) Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée Version 2. Rapport SPN 2014 - 33, MNHN, Paris, 26 pp.
- Michez, N., Thiébaud, É., Dubois, S., Le Gall, L., Dauvin, J.-C., Andersen, A., Baffreau, A., Bajjouk, T., Blanchet, H., de Bettignies T., de Casamajor M.-N., Derrien-Courtel S., Houbin, C., Janson, A.-L., La Rivière, M., Lévêque, L., Menot, L., Sauriau, P.-G., Simon, N. & Viard, F. (2019) Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la mer du Nord et de l'Atlantique Version 3. UMS PatriNat, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 52 pp.
- Michez, N., Cimiterra, N., Derolez, V., Grillas, P. & Ouisse, V. (2021) III.1.1.b. Association à *Ruppia spiralis* (Syn. *Ruppia cirrhosa*) et/ou *Ruppia maritima*. In: La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleszczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat éd., Paris : pp. 151–154.
- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018) Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE. Rapport MTES/DGALN/DEB/ELM3, Ifremer, AFB, 275 pp.
- Monnier, B., Pergent, G., Valette-Sansevin, A., Boudouresque, C.F., Mateo, M. & Pergent-Martini, C. (2020) The *Posidonia oceanica* matte: a unique coastal carbon sink for climate change mitigation and implications for management. GECOMARS : International workshop on ecosystem-based management, 4-5 February 2020, Marseille, France. *Vie et Milieu/Life & Environment*, 70 (3-4): 17–24.
- Mouillard, R. (2020) Modélisation statistique de la distribution spatiale des espèces *Zostera marina* et *Zostera noltii* à l'échelle de la façade Manche-Atlantique. Mémoire de fin d'étude pour le diplôme d'ingénieur de l'Institut national supérieur des sciences agronomiques, de l'alimentation et de l'environnement (AgroSup Dijon), 35 pp.
- Orth, R.J., Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, A.R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Olyarnik, S., Short, F.T., Waycott, M. & Williams, S.L. (2006) A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience*, 56: 987–996.
- Pasqualini, V. (1997) Caractérisation des peuplements et types de fonds le long du littoral corse (Méditerranée, France). Thèse de Doctorat, Corte, 165 pp.
- Pasqualini, V. (2021) Magnoliophytes des lagunes méditerranéennes. Formation Life-Mahra dédiée aux macrophytes en milieux lagunaires.

- Pasqualini, V., Derolez, V., Garrido, M., Orsoni, V., Baldi, Y., Etourneau, S., Leoni, V., Rébillout, P., Laugier, T. & Souchu, P. (2017) Spatiotemporal dynamics of submerged macrophyte status and watershed exploitation in a Mediterranean coastal lagoon: Understanding critical factors in ecosystem degradation and restoration. *Ecological Engineering*, 102: 1–14.
- Pasqualini, V., Erostate, M., Emilie, G., Garrido, M., Huneau, F. & Robert, S. (2020) An ecosystem-based approach to study the Biguglia lagoon socio-ecosystem (Mediterranean Sea). *GECOMARS : International workshop on ecosystem-based management*, 4-5 February 2020, Marseille, France. *Vie et Milieu / Life & Environment*, 70 (3-4): 121–128.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Fernandez, C., Ferrat, L., Tomaszewski, J. & Pergent, G. (2006) Wetland monitoring: Aquatic plant changes in two Corsican coastal lagoons (Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16: 43–60.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C. & Pergent, G. (1999) Environmental impact identification along the Corsican coast (Mediterranean Sea) using image processing. *Aquatic Botany*, 65: 311–320.
- Pergent, G. (2016) III.5.1. Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*. In: La Rivière, M., Michez, N., Delavenne, J., Andres, S., Frejefond, C., Janson, A.-L., Abadie, A., Amouroux, J.-M., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevalloné, P., Cimiterra, N., Derolez, V., Fernez, T., Frisoni, G.-F., Grillas, P., Hamelin, J.-G., Jordana, E., Kleszczewski, M., Labrune, C., Mouronval, J.-B., Ouisse, V., Palomba, L., Pasqualini, V., Pelaprat, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Thibaut, T. & Verlaque, M. (2021) Fiches descriptives des biocénoses benthiques de Méditerranée. UMS PatriNat ed., Paris : pp. 273–278.
- Pergent, G., Barralon, E. & Pergent-Martini, C. (2019) Regression of *Posidonia oceanica* lower limit: a consequence of climate change? 6th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation (Antalya, Turkey, 14-15 January 2019), pp. 80-85.
- Pergent, G., Gerakaris, V., Sghaier, Y.R., Zakhama-Sraier, R., Fernández Torquemada, Y. & Pergent-Martini, C. (2016). *Posidonia oceanica* (errata version published in 2018). The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T153534A135156882.
- Pergent, G., Pergent-Martini, C., Bein, A., Dedeken, M., Oberti, P., Orsini, A., Santucci, J.-F. & Short, F. (2015) Dynamic of *Posidonia oceanica* seagrass meadows in the northwestern Mediterranean: could climate change be to blame? *Comptes Rendus Biologies*, 338: 484–493.
- Pergent, G., Calvo, S., Cancemi, G., Djellouli, A., de la Grandrive, R.D., Langar, H., Pergent-Martini, C. & Tomasello, A. (2010) Nouvelles connaissances sur les herbiers tigrés de Méditerranée. 4th Mediterranean symposium on marine vegetation. UNEP-MAP-RAC/SPA, pp. 95–98.
- Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V., Ardizzone, G.D., Balestri, E., Bedini, R., Belluscio, A., Belsher, T., Borg, J., Boudouresque, C.F., Boumaza, S., Bouquegneau, J.M., Buia, M.C., Calvo, S., Cebrian, J., Charbonnel, E., Cinelli, F., Cossu, A., Di Maida, G., Dural, B., Francour, P., Gobert, S., Lepoint, G., Meinesz, A., Molenaar, H., Mansour, H.M., Panayotidis, P., Peirano, A., Pergent, G., Piazzini, L., Pirrotta, M., Relini, G., Romero, J., Sanchez-Lizaso, J.L., Semroud, R., Shembri, P., Shili, A., Tomasello, A. & Velimirov, B. (2005) Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows : use and application. *Ecological Indicators*, 5: 213–230.
- Pergent-Martini, C. & Le Ravallec, C. (2007) Lignes directrices pour les études d'impacts sur les herbiers marins. PNUE-PAM-CAR/ASP, Tunis: pp. 1–54.
- Pergent-Martini, C. & Pergent, G. (2009) Propositions de lignes directrices pour la standardisation des méthodes de cartographie et de surveillance des magnoliophytes marines en Méditerranée. PNUE-PAM-CAR/ASP.
- Pergent-Martini, C., Valette, A., Damier, E. & Pergent G., 2017. L'évaluation surfacique des habitats est-elle un indicateur fiable de la dynamique spatio-temporelle en milieu marin ? Carhamb'ar « Cartographie des habitats marins benthiques : de l'acquisition à la restitution ». Ifremer-AFB Edit., Brest, 14 – 16 Mars 2017, Actes de colloque : 98–101.
- Pergent-Martini, C., Pergent, G., Monnier, B., Boudouresque, C.F., Mori, C. & Valette-Sansevin, A. (2021) Contribution of *Posidonia oceanica* meadows in the context of climate change mitigation in the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 172 pp.
- Personnic, S., Boudouresque, C.F., Astruch, P., Ballesteros, E., Blouet, S., Bellan-Santini, D., Bonhomme, P., Thibault-Botha, D., Feunteun, E., Harmelin-Vivien, M., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Pastor, J., Poggiale, J.-C.,

- Renaud, F., Thibaut, T. & Ruitton, S. (2014) An Ecosystem-Based Approach to Assess the Status of a Mediterranean Ecosystem, the *Posidonia oceanica* Seagrass Meadow. PLOS ONE, 9: e98994.
- Plus, M., Dalloyau, S., Trut, G., Auby, I., De Montaudouin, X., Emery, É., Claire, N. & Christophe, V. (2010) Long-term evolution (1988–2008) of *Zostera* spp. meadows in Arcachon Bay (Bay of Biscay). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 87: 357–366.
- Quemmerais-Amice, F. (2019) Fiche de présentation de la cartographie de synthèse des habitats benthiques produite dans le cadre du projet Carpediem, V.1. Rapport AFB, 18 pp.
- Quemmerais-Amice, F. (2020) Cartographie (polygones sources) multisource des habitats benthiques de France métropolitaine, typologie EUNIS. Office Français de la Biodiversité.
- Ralph, P.J., Tomasko, D., Moore, K., Seddon, S. & Macinnis-Ng, C.M.O. (2006) Human impacts on seagrasses: eutrophication, sedimentation, and contamination. In: A.W.D. Larkum, R.J. Orth, & C.M. Duarte (eds.) Seagrasses: biology, ecology and conservation. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 567–593.
- Reveret, C., Ravilly, M., Delord, E., Bergeron, J.-D., Legras, R. & Jestin, A. (2009) Cartographie de la nature des fonds et des herbiers des baies de Sanary-sur-Mer et Bandol (Var), France. Colloque CARHAMBAR, 3-5 février 2009, Brest, France.
- Rigouin, L., Trut, G., Lissardy, M., Ganthy, F., Lepevedic, A. & Connole, S. (2022) Caractérisation de la qualité biologique des Masses d’Eau Côtières. Cartographie des herbiers à *Zostera noltei* et *Zostera marina* du Lac d’Hossegor (MEC FRFC09)-Année 2021. Laboratoire Environnement Ressources d’Arcachon, IFREMER, Agence de l’Eau Adour – Garonne, Association Laminak, ODE/LITTORAL.LERAR/22.02, 35 pp.
- Rollet, C. & Corbeau, C. (2008) Atlas des herbiers de zostères de la région Bretagne - Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT, 45 cartes + annexes.
- Rouanet, E., Goujard, A., Barralon, E., Boudouresque, C., Boursault, M., Boussard, A., Larroudé, P., Meulé, S., Paquier, A.-É. & Pergent-Martini, C. (2019) Inventory and mapping of *Posidonia oceanica* reefs of the French Mediterranean coast. In: H. Langar & A. Ouerghi (eds.) Proceedings of the 6th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation, Antalya, Turkey, 14-15 January 2019. SPA/RAC publ., Tunis, pp. 129–130.
- Rouanet, E., Schohn, T., Pergent, G., Boursault, M., Boussard, A., Barralon, E., Belloni, B., Le Diréach, L., Boudouresque, C.F., Meulé, S., Paquier, A.E., Larroudé, P., Monnier, B., Labbé, M., Da Cunha, K., Pibot, A. & Verneyre, L. (2021) Atlas des formations récifales à *Posidonia oceanica* en Méditerranée française. Élodie Rouanet, Thomas Schohn, Gérard Pergent (GIS Posidonie), Charles-François Boudouresque edit., GIS Posidonie pub : 75 pp.
- Ruitton, S., Boudouresque, C., Thibaut, T., Rastorgueff, P.-A., Personnic, S., Boissery, P. & Daniel, B. (2017) Guide méthodologique pour l’évaluation écosystémique des habitats marins. M I O publ., 161 pp.
- Sanchez, A. (2012) Indicateur macrophytes dans les lagunes oligo-halines et mésohalines. Rapport de stage de master professionnel Sciences de l’Environnement Terrestre, Spécialité Gestion des Eaux et des Milieux Aquatiques (GEMA) parcours Zones Humides Méditerranéennes (ZHM). Université Aix-Marseille, Tour du valat, 50 pp. + annexes.
- Sartoretto, S. & Baucour, C. (2012) Habitats particuliers de l’infra littoral : herbier à *Posidonia oceanica*. Sous-région marine Méditerranée occidentale. Evaluation initiale DCSMM. Rapport Ifremer, Université de Corse, AAMP, 10 pp. + annexe.
- Schmitt, A. (2019) Plan de gestion des données d’habitats marins benthiques. Rapport AFB du projet Life Marha. LIFE16 IPE FRO01, 49 pp.
- Short, F., Carruthers, T., Dennison, W. & Waycott, M. (2007) Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 350: 3–20.
- Short, F.T., Polidoro, B., Livingstone, S.R., Carpenter, K.E., Bandeira, S., Bujang, J.S., Calumpong, H.P., Carruthers, T.J.B., Coles, R.G., Dennison, W.C., Erftemeijer, P.L.A., Fortes, M.D., Freeman, A.S., Jagtap, T.G., Kamal, A.H.M., Kendrick, G.A., Judson Kenworthy, W., La Nafie, Y.A., Nasution, I.M., Orth, R.J., Prathep, A., Sanciangco, J.C., Tussenbroek, B. van, Vergara, S.G., Waycott, M. & Zieman, J.C. (2011) Extinction risk assessment of the world’s seagrass species. Biological Conservation, 144: 1961–1971.

- Spalding, M., Taylor, M., Ravilious, C., Short, F.T. & Green, E.P. (2003) The distribution and status of seagrasses. *In*: E.P. Green & F.T. Short (eds.) *World atlas of seagrasses*. University of California Press, Berkeley, USA., pp. 5–27.
- Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E.T., Frascchetti, S., Gristina, M., Knittweis, L., Martin, C.S., Pergent, G., Alagna, A., Badalamenti, F., Garofalo, G., Gerakaris, V., Louise Pace, M., Pergent-Martini, C. & Salomidi, M. (2015) Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, 5: 12505.
- Thibaut, T., Blanfuné, A., Boudouresque, C.F., Holon, F., Agel, N., Descamps, P., Deter, J., Pavy, T., Delaruelle, G. & Verlaque, M. (2022) Distribution of the seagrass *Halophila stipulacea*: a big jump to the northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Botany*, 176: 103465.
- Tison, J.M. & de Foucault, B. (2014) *Flora Gallica : Flore de France*. Biotope Éditions. Mèze, 1196 pp.
- Touchette, B.W. (2007) Seagrass-salinity interactions: Physiological mechanisms used by submersed marine angiosperms for a life at sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350: 194–215.
- Triest, L. & Tim, S. (2015) Strong bottlenecks, inbreeding and multiple hybridization of threatened European *Ruppia maritima* populations. *Aquatic Botany*, 125: 31–43.
- Trut, G., Auby, I., Rigouin, L., Oger-Jeanneret, H., Ganthy, F., Cognat, M., Noel, C., Marchetti, S. & Bauer, E. (2018) Directive Cadre sur l’Eau : cartographie des herbiers de *Zostera marina* du Bassin d’Arcachon. Rapport Laboratoire Environnement Ressource d’Arcachon, Agence de l’Eau Adour-Garonne, ODE/UL/LER/AR/18.008, 55 pp.
- Trut, G., Rigouin, L., Auby, I., Ganthy, F., Oger-Jeanneret, H. & Gouilleux, B. (2014) Caractérisation de la qualité biologique des Masses d’Eau Côtières. Cartographie des herbiers à *Zostera noltei* et *Zostera marina* du Lac d’Hossegor. MEC FRFC09-année 2013. Rapport Laboratoire Environnement Ressource d’Arcachon, Agence de l’Eau Adour-Garonne, RST/LER/AR/14.006, 26 pp.
- Tullrot, A. (2009) Background document for *Zostera* beds, seagrass beds. *OSPAR Commission, Biodiversity Series*.
- UICN (2014) La Liste rouge des écosystèmes en France – Habitats forestiers de France métropolitaine, Recueil des études de cas, Paris, France, 89 pp.
- UICN (2017) *Lignes directrices pour l’utilisation des Catégories et Critères de la Liste rouge de l’UICN. Version 13*. Sous-comité des normes et des pétitions de l’UICN. Elaborées par le Sous-comité des normes et des pétitions, 121 pp.
- UICN France (2018) La Liste Rouge des Écosystèmes en France – Chapitre Forêts méditerranéennes de France métropolitaine. Paris, France, 28 pp.
- UICN France (2018) Guide pratique pour la réalisation de Listes rouges régionales des espèces menacées- Méthodologie de l’UICN & démarche d’élaboration. Paris, France, 60 pp.
- Urien, M., Ballé-Béganton, J., Herry, J., Philippe, M., Pasco, R., Angst, B., Bailly, D. & Massé, M. (2015) Des habitats en mouvement, les herbiers de zostères du golfe du Morbihan. Projet Interreg IVA Manche VALMER, 6 pp.
- Vacchi, M., De Falco, G., Simeone, S., Montefalcone, M., Morri, C., Ferrari, M. & Bianchi, C.N. (2017) Biogeomorphology of the Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42: 42–54.
- Valentine, J.F. & Duffy, J.E. (2007) The central role of grazing in seagrass ecology. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, pp. 463–501.
- Valette-Sansevin, A., Pergent, G., Buron, K., Pergent-Martini, C. & Damier, E. (2019) Continuous mapping of benthic habitats along the coast of Corsica: a tool for the inventory and monitoring of blue carbon ecosystems. *Mediterranean Marine Science*, 20: 585–593.
- Verhoeven, J.T.A. (1975) *Ruppia*-communities in the camargue, France. Distribution and structure in relation to salinity and salinity fluctuations. *Aquatic Botany*, 1: 217–241.
- Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck, K.L. & Hughes, A.R. (2009) Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106: 12377–12381.
- Yapp, R.H. (1922) The concept of habitat. *Journal of Ecology*, 10: 1–17.

Annexe 1. Résumé des critères d'évaluation

Summary of the five criteria (A-E) used to evaluate the risk status of an ecosystem, based on Version 2.2 of the IUCN Red List of Ecosystems Categories and Criteria.

For details on definitions and methods for assessing the categories and criteria described below, please refer to Bland et al. (2017)¹ (available at: <https://iucnrle.org/resources/key-documents>).

A. Reduction in geographic distribution over ANY of the following time periods:		CR	EN	VU
A1	Past (over the past 50 years)	≥ 80%	≥ 50%	≥ 30%
A2a	Future (over the next 50 years)	≥ 80%	≥ 50%	≥ 30%
A2b	Any 50 year period (including the past, present and future)	≥ 80%	≥ 50%	≥ 30%
A3	Historical (since approximately 1750)	≥ 90%	≥ 70%	≥ 50%

B. Restricted geographic distribution indicated by ANY OF B1, B2 or B3:		CR	EN	VU
B1	Extent of a minimum convex polygon (km ²) enclosing all occurrences (extent of occurrence, EOO) is no larger than: AND at least one of the following (a-c): (a) An observed or inferred continuing decline in ANY of: i. a measure of spatial extent appropriate to the ecosystem; OR ii. a measure of environmental quality appropriate to characteristic biota of the ecosystem; OR iii. a measure of disruption to biotic interactions appropriate to the characteristic biota of the ecosystem (b) Observed or inferred threatening processes that are likely to cause continuing declines in geographic distribution, environmental quality or biotic interactions within the next 20 years. (c) Ecosystem exists at:	≤ 2,000 km ² 1 threat-defined location	≤ 20,000 km ² ≤ 5 threat-defined locations	≤ 50,000 km ² ≤ 10 threat-defined locations
B2	The number of 10 × 10 km grid cells occupied (area of occupancy, AOO) is no more than: AND at least one of a-c above (same as for B1).	≤ 2	≤ 20	≤ 50
B3	The number of threat-defined locations is very small (generally fewer than 5) AND prone to the effects of human activities or stochastic events within a very short time period in an uncertain future, and thus capable of Collapse or becoming Critically Endangered (CR) within a very short time period (B3 can only lead to a listing as VU).			VU

IUCN threat categories:

CR: Critically Endangered, **EN:** Endangered, **VU:** Vulnerable.

1. Bland, L.M., Keith, D.A., Miller R.M., Murray, N.J & Rodriguez JP. (eds.) 2017. Guidelines for the application of the IUCN Red List of Ecosystems Categories and Criteria. Version 1.1. Gland Switzerland : IUCN. ix +99p.

C. Environmental degradation over ANY of the following time periods:		Relative severity (%)			
		Extent (%)	≥ 80	≥ 50	≥ 30
C1	The past 50 years, based on change in an <u>abiotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table:	≥ 80	CR	EN	VU
		≥ 50	EN	VU	
		≥ 30	VU		
C2	C2a. The next 50 years, based on change in an <u>abiotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table; OR C2b. Any 50-year period including the past, present and future, based on change in an <u>abiotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table:	Extent (%)	≥ 80	≥ 50	≥ 30
		≥ 80	CR	EN	VU
		≥ 50	EN	VU	
		≥ 30	VU		
C3	Since 1750 based on change in an <u>abiotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table:	Extent (%)	≥ 90	≥ 70	≥ 50
		≥ 90	CR	EN	VU
		≥ 70	EN	VU	
		≥ 50	VU		

D. Disruption of biotic processes or interactions over ANY of the following time periods:		Relative severity (%)			
		Extent (%)	≥ 80	≥ 50	≥ 30
D1	The past 50 years based on change in a <u>biotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table:	≥ 80	CR	EN	VU
		≥ 50	EN	VU	
		≥ 30	VU		
D2	D2a. The next 50 years, based on change in a <u>biotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table; OR D2b. Any 50-year period including the past, present and future, based on change in a <u>biotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table:	Extent (%)	≥ 80	≥ 50	≥ 30
		≥ 80	CR	EN	VU
		≥ 50	EN	VU	
		≥ 30	VU		
D3	Since 1750, based on change in a <u>biotic</u> variable affecting a fraction of the extent of the ecosystem and with relative severity, as indicated by the following table:	Extent (%)	≥ 90	≥ 70	≥ 50
		≥ 90	CR	EN	VU
		≥ 70	EN	VU	
		≥ 50	VU		

E. Quantitative analysis that estimates the probability of ecosystem collapse to be:	
CR	≥ 50% within 50 years
EN	≥ 20% within 50 years
VU	≥ 10% within 100 years

Annexe 2. Résultats du questionnaire

Questionnaire sur les propositions de types d'écosystèmes à évaluer (réalisé avec Google Form), envoyé en consultation aux experts le 10/12/2021 avec une relance le 5/01/2021 pour une finalisation de cette consultation fixée au 17/01/2022. Les réponses des experts sont synthétisées pour chaque question.

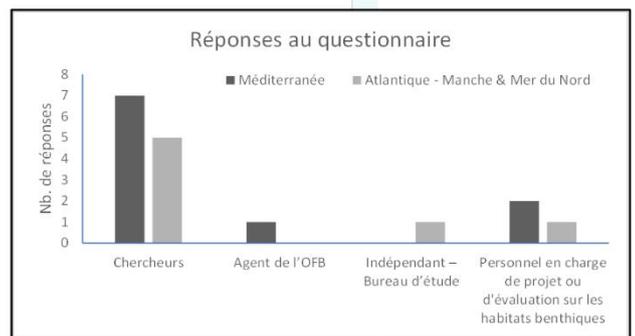
Section 1 of 5

Consultation - Proposition d'unités typologiques à évaluer pour une Liste Rouge des Ecosystèmes sur les herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine

UMS 2006 Patrimoine Naturel
Muséum national d'Histoire naturelle
CP41, 36 rue Geoffroy Saint-Hilaire 75005 Paris

Email *

Valid email



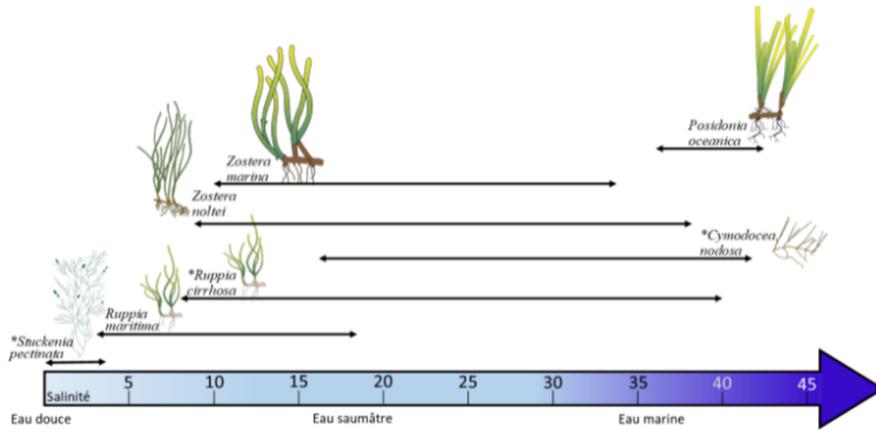
Bonjour, en complément du document de travail fourni dans le mail et expliquant la démarche pour l'identification des unités typologique à évaluer, vous trouverez ci-dessous un questionnaire qui permettra de définir de façon collégiale les unités typologiques à définir pour l'évaluation LRE des herbiers marins.

Dans le cadre du projet de Liste Rouge des Ecosystèmes, les unités d'habitats à évaluer doivent être pertinentes au regard de l'écologie des espèces ingénieurs et des pressions qui s'exercent sur les herbiers marins, ainsi qu'en adéquation avec les données mobilisables. Le découpage proposé aujourd'hui reste proche des habitats définis dans les typologies nationales et inclut peu de regroupement d'habitats (Figure 1).

Figure 1. Proposition d'unités typologiques d'habitat pour l'évaluation des herbiers de phanérogames marines incluant les dichotomies suivantes : secteurs, espèces, étages et milieux en fonction de la salinité.

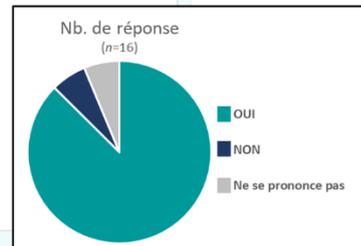


A. Figure 2. Espèces de phanérogames classées selon leurs gammes de salinité ou * leur optimum de salinité pour *S. pectinata* & *R. cirrhosa* (Verhoeven 1980) et *C. nodosa* (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2006). Illustration des espèces de phanérogames provenant d'Integration and Application Network (ian.umces.edu/media-library).



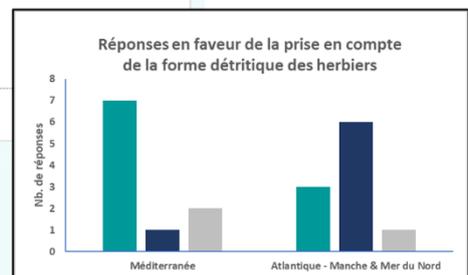
A. Pour les espèces ingénieurs formant les herbiers marins de France métropolitaine, nous proposons de prendre en compte les espèces indigènes de magnoliophytes marines sensu stricto (*P. oceanica*, *C. nodosa*, *Z. marina*, *Z. noltei*) et poikilohalines (*R. maritima* et *R. cirrhosa*). Les espèces qui peuvent constituer les biocénoses d'habitat marins et se retrouvent en eau douce en sont donc exclues, par exemple *Stuckenia pectinata*. Cela vous semble-t-il pertinent pour une LRE des herbiers marins ?

- Oui
- Non
- Ne se prononce pas



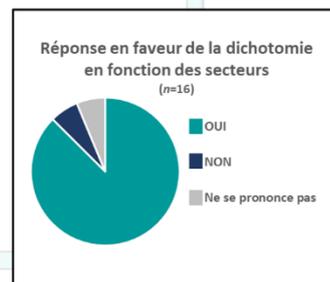
B. Pour le moment, nous avons décidé de ne nous intéresser qu'aux unités d'habitats formés par la biocénose vivante de l'herbier. Pensez-vous que, dans le cadre d'une évaluation systématique des herbiers, il serait pertinent de prendre en compte les habitats formés par la matière détritque des herbiers, tels que les laisses de mer ou les banquettes de *Posidonia* ?

Long answer text



C. Au vu des disparités écologiques des phanérogames marines communes aux deux écorégions (Atlantique - Manche - Mer du Nord & Méditerranée), pensez-vous que la dichotomie basée sur ces secteurs est à conserver ?

- Oui
- Non
- Ne se prononce pas



En fonction de votre expertise, veuillez remplir la ou les sections du questionnaire qui vous concernent : Méditerranée et/ou Atlantique-Manche-Mer du Nord.

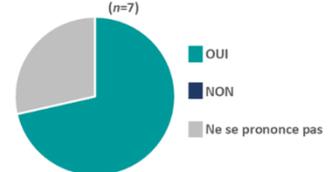
Secteur de la Méditerranée

Le secteur inclut la côte du continent et de la Corse et concernerait les herbiers formés par les phanérogames marines suivantes : *P. oceanica*, *C. nodosa*, *Z. marina*, *Z. noltei*, *R. maritima* et *R. cirrhosa*.

1. Concernant les herbiers de Posidonie, vous semble-t-il pertinent d'évaluer les formations récifales (récif barrière, plateforme, herbier tigré, atoll) en parallèle de l'évaluation des biocénoses de l'herbier à *P. oceanica* (en tenant compte notamment des données potentiellement disponibles) ?

Long answer text

Réponse en faveur d'une évaluation indépendante des formations récifales (n=7)



2. A l'exception de *P. oceanica*, les autres espèces d'herbiers se retrouvent de façon majoritaire dans les milieux plus ou moins fermés, comme les lagunes côtières caractéristiques de la côte continentale méditerranéenne. Nous proposons de prendre en compte cette particularité en utilisant la dichotomie entre différentes variations de salinité (milieu euhalin/euryhalin). Cela vous-semble-t-il cohérent ?

Long answer text

Tous les commentaires (n=7) sont en faveur de la distinction entre milieu euhalin/euryhalin.

3. Pour les herbiers formés par *C. nodosa* en mer ouverte (milieu euhalin), des associations avec *Z. noltei* sont parfois rapportées. Est-il pertinent de séparer cette association avec l'unité "Herbier mixte" de l'unité "Herbier monospécifique de *C. nodosa*" ?

Long answer text

Les commentaires (n=7) sont plutôt en faveur de la prise en compte (voire *a posteriori* en fonction des données) des herbiers mixtes formés par *C. nodosa* & *Z. noltei*, mais précisent qu'ils sont très rares.

4. Etant donné les difficultés et confusions d'identification ainsi que des phénomènes d'hybridation au sein du genre *Ruppia* (den Hartog and Triest, 2020; Ito et al., 2017; Triest and Tim, 2015), nous proposons de ne pas distinguer les espèces du genre *Ruppia* (e.g., l'évaluation ne serait alors pas réalisée à l'échelle de l'espèce mais à celle du genre). Etes-vous d'accord ?

- Oui
- Non
- Ne se prononce pas

Réponse pour ne pas distinguer les espèces de *Ruppia* (n=8)



5. Pour le milieu euryhalin, les herbiers constitués distinctement par *C. nodosa*, *Z. noltei*, *Z. marina* et *Ruppia* spp. sont proposés comme unités d'évaluation. Est-il possible de distinguer les herbiers monospécifiques et de trouver des données associées, ou faudrait-il plutôt orienter l'évaluation d'une seule unité plus large "herbiers mixtes" qui regrouperait plusieurs ou toutes les espèces ?

Long answer text

Les commentaires (n=7) sont plutôt en faveur de la prise en compte d'herbiers monospécifiques car les données existantes précisent souvent les dominances d'espèces.

Secteur de l'Atlantique - Manche - Mer du nord

Le secteur concernerait les herbiers formés par les phanérogames marines suivantes : *Z. marina*, *Z. noltei* et *R. maritima*.

1. Dans le découpage des unités à évaluer pour ce secteur, nous avons décidé de ne pas tenir compte des distinctions en fonction des substrats (sédiments grossiers ou hétérogènes, sables, vases) car ces précisions semblent peu renseignées dans la bibliographie (voire dans les données) et des confusions sont probables, par exemple entre les vases sableuses et les sables envasés. Etes-vous d'accord ?

- Oui
- Non
- Ne se prononce pas

Réponse en accord pour ignorer la dichotomie en fonction des substrats (n=10)

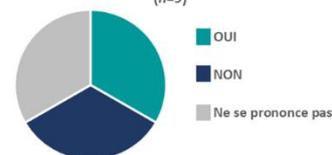


2. La dichotomie par étages ne concerne que la zostère marine et semble intéressante pour en distinguer ses deux écotypes : la forme parvozostérique du médiolittoral de la forme magnozostérique de l'infralittoral. Cependant, du point de vue écologique ou au regard des précisions dans la bibliographie et dans les données (surfaiques ou stationnelles), vous-semble-t-il pertinent de conserver ces deux unités à évaluer distinctement ?

Long answer text

Les avis divergeaient sur la pertinence de conserver cette dichotomie de l'étagement. De plus, la question était ciblée sur la pertinence pour distinguer la forme parvozostérique en médiolittoral de la forme magnozostérique en infralittoral. Cependant, la récente publication de Boyé *et al.* (2021) montre qu'il n'y a pas de claire distinction phénotypique entre les zostères marines du milieu infralittoral et celles du médiolittoral, les deux formes phénotypiques se retrouvent et peuvent se succéder en zone médiolittorale, avec des disparités temporelles et spatiales.

Réponse pour la pertinence de conserver la dichotomie de l'étagement (n=9)



3. Est-il pertinent de conserver les distinctions en fonction de la salinité qui différencie le milieu marin des milieux influencés par l'eau douce tels que les estuaires et les lagunes ? Alors que pour la Méditerranée, cette distinction se retrouve au niveau géographique avec l'existence de lagunes côtières relativement cloisonnées et identifiées (Menu *et al.*, 2019), il faut se demander pour le secteur Atlantique - Manche - Mer du nord (i) si cela a un sens au regard de l'écologie des espèces et des pressions qui s'exercent sur les herbiers, (ii) si la délimitation géographique et les données associées sont disponibles et permettent de distinguer ces unités en fonction de la salinité (euhalin et à salinité variable).

Long answer text

Réponse en faveur de la dichotomie en fonction de la salinité (n=10)



Propositions des unités à évaluer



Avez-vous d'autres remarques concernant les unités à évaluer ?

Long answer text

Experts évaluateurs



Description (optional)

Seriez-vous intéressé pour intervenir en tant qu'expert lors des réunions de validations des évaluations LRE en 2022 ?

- Oui
- Non

Merci de votre participation et de vos commentaires ! Nous restons à votre disposition pour toute information complémentaire, au +33 (0)6 95 43 05 65 ou à l'un des email suivants : anne-laure.janson@mnhn.fr ; thibaut.de-bettignies@mnhn.fr ; marielle.dumestre@gmail.com.

Références :

- den Hartog, C., 1967. The structural aspect in the ecology of sea-grass communities. *Helgoländer Wiss. Meeresunters.* 15, 648–659.
- den Hartog, C., Triest, L., 2020. A profound view and discourse on the typification and status of three confused taxa: *Ruppia maritima*, *R. spiralis* and *R. cirrhosa*. *Bot. Mar.* 63, 229–239.
- Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J.L., 2006. Effects of salinity on growth and survival of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson and *Zostera noltii* Hornemann. *Biol. Mar. Mediterr.* 16, 46–47.
- Ito, Y., Ohi-Toma, T., Nepi, C., Santangelo, A., Stinca, A., Tanaka, N., Murata, J., 2017. Towards a better understanding of the *Ruppia maritima* complex (Ruppiaceae): notes on the correct application and typification of the names *R. cirrhosa* and *R. spiralis*. *Taxon* 66, 167–171.
- Menu, M., Vaz, S., Bajjouk, T., Derolez, V., Fiandrino, A., Giraud, A., Grillas, P., Ouisse, V., 2019. Rapport final du projet CHAMILA (Cartographie des habitats en milieu lagunaire méditerranéen).
- Michez, N., Fourt, M., Aish, A., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., Marie-claire, F., Goujard, A., Harmelin, J.-G., Labrune, C., Pergent, G., Sartoretto, S., Vacelet, J., Verlaque, M., 2014. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée Version 2 (Rapport SPN 2014 - 33). MNHN, Paris.
- Michez, N., Thiébaud, É., Dubois, S., Le Gall, L., Dauvin, J.-C., Andersen, A., Baffreau, A., Bajjouk, T., Blanchet, H., Houbin, C., 2019. Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique Version 3. UMS PatriNat, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Triest, L., Tim, S., 2015. Strong bottlenecks, inbreeding and multiple hybridization of threatened European *Ruppia maritima* populations. *Aquat. Bot.* 125, 31–43.
- Verhoeven, J.T.A., 1980. The ecology of *Ruppia*-dominated communities in Western Europe. II. Synecological classification. Structure and dynamics of the macroflora and macrofauna communities. *Aquat. Bot.* 8, 1–85.

Annexe 3. Typologie EUNIS-Correspondances

Correspondances entre les versions 2012 et 2019 de la typologie EUNIS, sous réserve d'actualisation comme indiqué dans European Environment Agency (2022). Type de correspondances : = Strictement équivalent ; < Habitat en sortie contient l'autre ; > Habitat en entrée contient l'autre ; # Chevauchement spécial.

Typologie EUNIS (version 2012)		Correspondance - typologie EUNIS (version 2019)	
A2.61	Herbiers de phanérogames marines sur sédiments intertidaux	= MA522	Seagrass beds on Atlantic littoral sand
		= MA623	Seagrass beds on Atlantic littoral mud
A2.611	Herbiers de <i>Zostera noltei</i> ou <i>Zostera marina</i> var. <i>angustifolia</i> (anciennement <i>Zostera angustifolia</i>) sur les rivages atlantiques du continent	= MA5221	<i>Zostera noltii</i> or <i>Zostera angustifolia</i> meadows on Atlantic littoral sand
A2.6111	Herbiers de <i>Zostera noltei</i> des sables vaseux intertidaux	= MA5222	<i>Zostera noltii</i> beds on Atlantic littoral sand
		= MA6231	<i>Zostera noltii</i> beds on Atlantic littoral mud
A5.53	Herbiers de Phanérogames marines subtidales		
A5.5313	Herbiers de <i>Cymodocea</i> de Méditerranée	# MB5534	Association with <i>Cymodocea nodosa</i> on superficial muddy sands in sheltered waters
		# MB5521	Association with <i>Cymodocea nodosa</i> on well sorted fine sands
A5.53131	Association à <i>Cymodocea nodosa</i> sur sables fins bien calibrés	= MB5521	Association with <i>Cymodocea nodosa</i> on well sorted fine sands
A5.53132	Association à <i>Cymodocea nodosa</i> sur sables vaseux superficiels de mode calme	= MB5534	Association with <i>Cymodocea nodosa</i> on superficial muddy sands in sheltered waters
A5.533	Herbiers de <i>Zostera</i> dans des sédiments infralittoraux en milieu marin	> MB5223	<i>Zostera marina/angustifolia</i> beds on Atlantic infralittoral clean or muddy sand
A5.5331	Herbiers de <i>Zostera marina/Z. marina</i> var. <i>angustifolia</i> (anciennement <i>Zostera angustifolia</i>) sur sable propre ou vaseux de la partie inférieure des rivages ou de l'infralittoral	= MB5223	<i>Zostera marina/angustifolia</i> beds on Atlantic infralittoral clean or muddy sand
A5.53321	Association à <i>Zostera noltei</i> en milieu euryhalin et eurytherme	= MB5544	Association with <i>Zostera noltii</i> in euryhaline and eurythermal environment on sand
		> MB6524	Association with <i>Zostera noltei</i>
A5.53322	Association à <i>Zostera noltei</i> sur sables vaseux superficiels de mode calme	= MB5535	Association with <i>Zostera noltei</i> on superficial muddy sands in sheltered waters
A5.5333	Association à <i>Zostera marina</i> en milieu euryhalin et eurytherme	= MB6525	Association with <i>Zostera marina</i>
A5.5333	Association à <i>Zostera marina</i> en milieu euryhalin et eurytherme	> MB5545	Association with <i>Zostera marina</i> in euryhaline and eurythermal environment
A5.534	Biocénoses à <i>Ruppia</i> et <i>Zannichellia</i>	> MA5224	<i>Ruppia maritima</i> on Atlantic littoral sand
A5.5341	Biocénoses à <i>Ruppia</i> et <i>Zannichellia</i> sur les côtes médio-européennes	# MB5224	<i>Ruppia maritima</i> in reduced salinity Atlantic infralittoral muddy sand
		# MA5224	<i>Ruppia maritima</i> on Atlantic littoral sand
A5.5342	Biocénoses mésogéennes à <i>Ruppia</i>	> MB6521	Association with <i>Ruppia cirrhosa</i> and/or <i>Ruppia maritima</i> on mud
A5.5343	<i>Ruppia maritima</i> dans du sable vaseux infralittoral en milieu à salinité réduite	= MB5224	<i>Ruppia maritima</i> in reduced salinity Atlantic infralittoral muddy sand
A5.535	Herbiers de <i>Posidonia oceanica</i>	= MB252	Biocenosis of <i>Posidonia oceanica</i>
A5.5351	Ecomorphose de l'herbier tigré de <i>Posidonia oceanica</i>	= MB2521	Ecomorphosis of striped <i>Posidonia oceanica</i> meadows
A5.5352	Ecomorphose du récif barrière de l'herbier de <i>Posidonia oceanica</i>	= MB2522	Ecomorphosis of "barrier-reef" <i>Posidonia oceanica</i> meadows
A5.5353	Faciès de mattes mortes de <i>Posidonia oceanica</i> sans épiflore importante	= MB2523	Facies of dead "mattes" of <i>Posidonia oceanica</i> without much epiflora
A5.5354	Association à <i>Caulerpa prolifera</i> sur l'herbier de <i>Posidonia</i>	= MB2524	Association with <i>Caulerpa prolifera</i> on <i>Posidonia</i> beds

Annexe 4. Exemples de modèles conceptuels

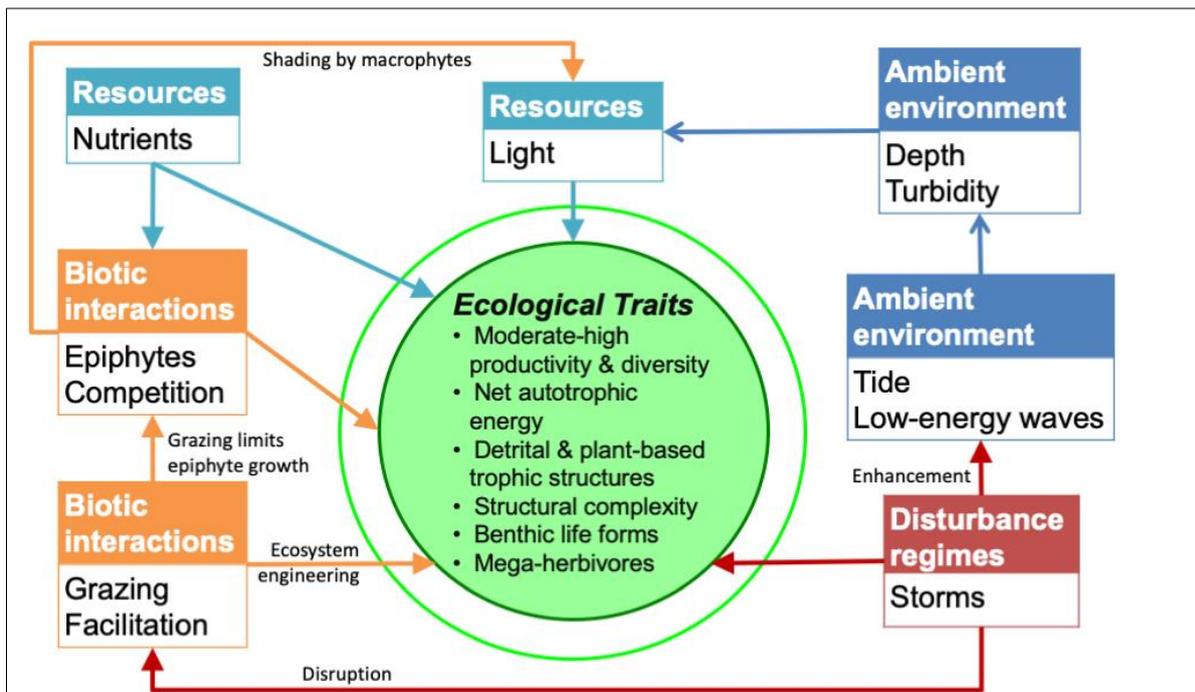


Figure A. Modèle conceptuel des facteurs écologiques sur les traits fonctionnels des herbiers de phanérogames marines (extrait de Bishop et al., 2020).

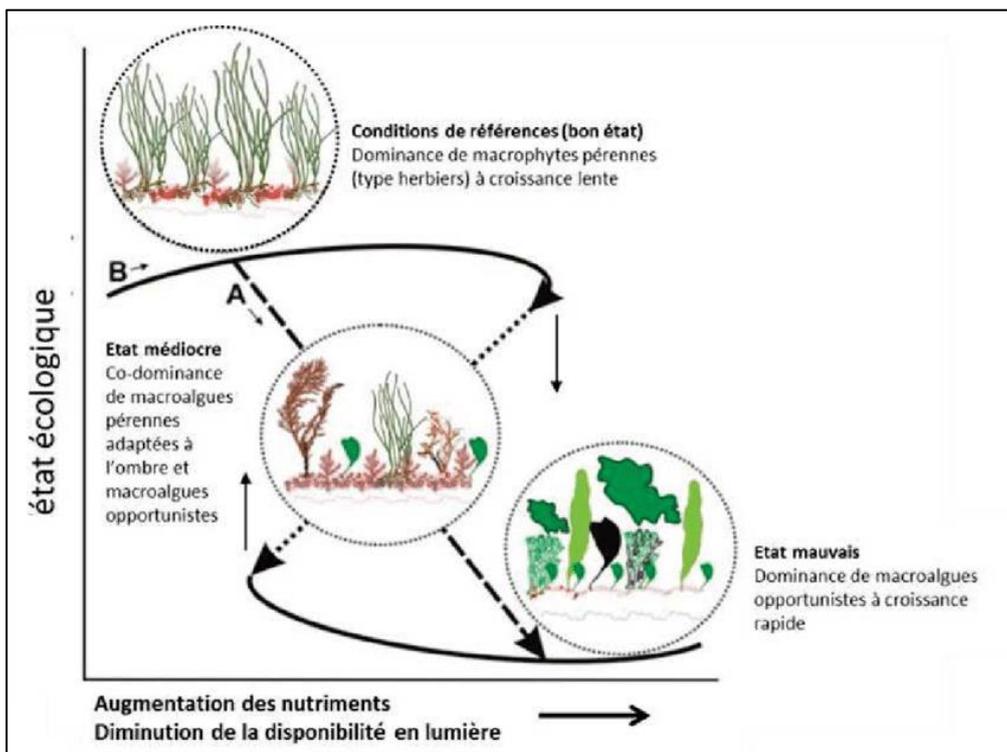


Figure B. Modèle conceptuel du fonctionnement de deux états stables alternatifs des macrophytes marines benthiques selon le gradient d'eutrophisation dans les lagunes. (A) changement de la végétation continu et graduel en réponse à l'augmentation des nutriments (B) changement discontinu : l'état du système varie peu jusqu'à atteinte d'une valeur seuil (extrait de Le Fur, 2018).

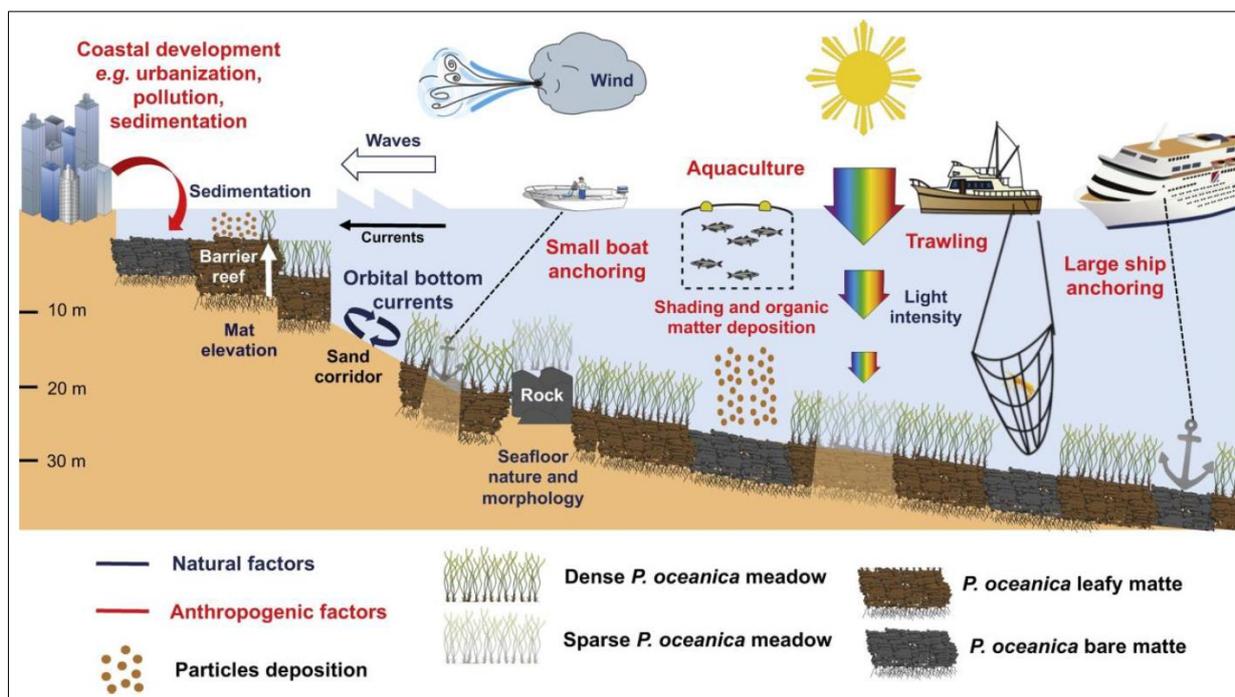


Figure C. Modèle conceptuel des facteurs naturels et anthropologiques qui influencent les paysages d'herbiers de *P. oceanica* (extrait de Hounghanan, 2020).

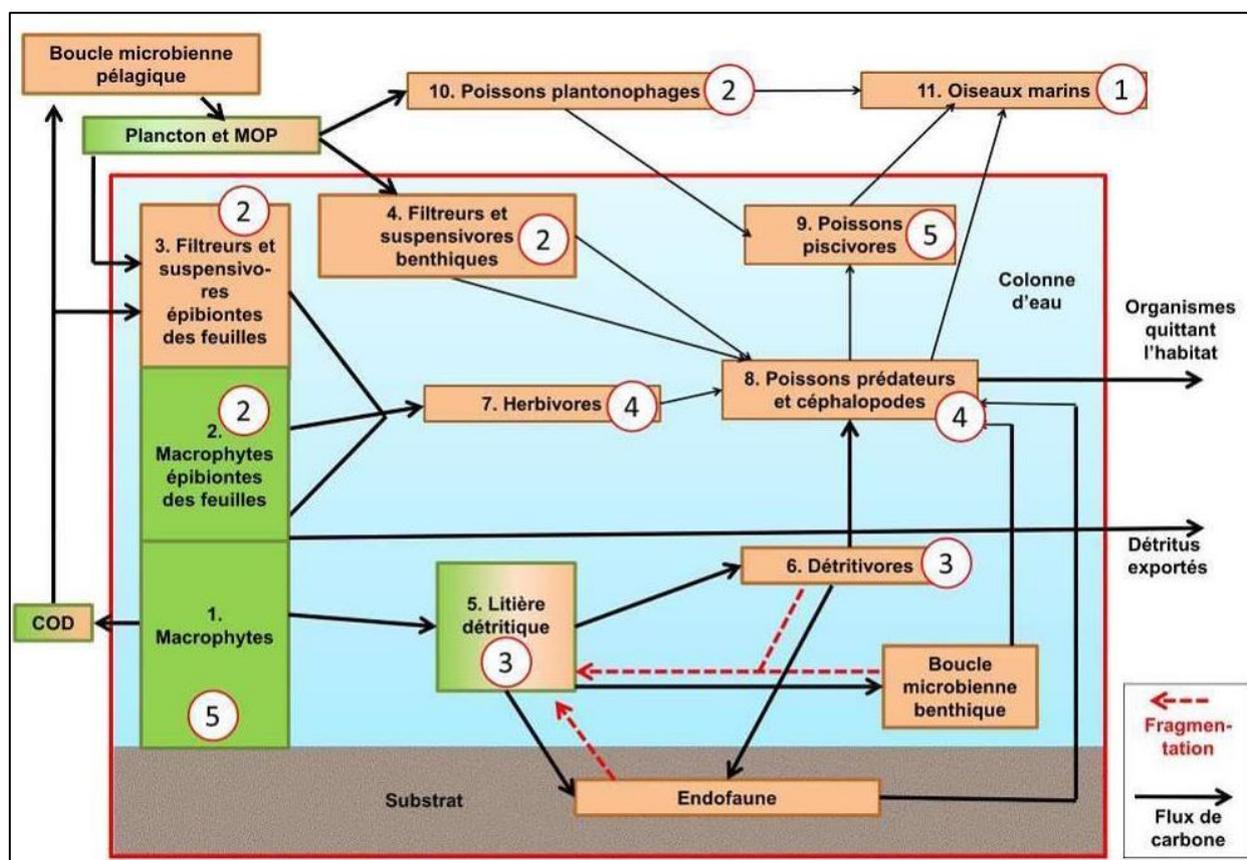


Figure D. Modèle conceptuel de fonctionnement d'un écosystème théorique d'herbier de posidonie avec pondération des compartiments fonctionnels. Les chiffres entourés de rouge représentent le poids (W) des compartiments fonctionnels, de 1 à 5, définis selon le dire d'experts (extrait de Ruitton et al., 2017).

RÉSUMÉ

La Liste Rouge des Ecosystèmes (LRE) de l'Union International pour la Conservation de la Nature (UICN) a été développée afin de pouvoir évaluer le risque d'effondrement des écosystèmes. Avant de pouvoir initier un nouveau chapitre national marin de LRE portant sur les herbiers de phanérogames marines de France métropolitaine, un travail préliminaire est essentiel pour s'assurer de la faisabilité d'une possible évaluation. Cette étude de faisabilité s'appuie sur un bilan de l'existant pour définir un cadre d'évaluation cohérent, proposer les types d'écosystème à évaluer et estimer la pertinence des données existantes pour l'application de la méthodologie d'évaluation UICN.

Après consultation des experts, six espèces de phanérogames sont considérées comme constitutives d'herbiers dit « marins » et treize types d'écosystème (en cohérence avec les typologies nationales d'habitats) sont proposés à l'évaluation LRE. Les types d'écosystème se différencient selon le secteur géographique, les espèces constitutives et le milieu mer ouverte/lagunes pour le secteur Méditerranéen ou l'étagement médio-/infralittoral pour le secteur de l'Atlantique, Manche et mer du Nord. Les données cartographiques existantes semblent suffisantes pour initier l'évaluation LRE. Plusieurs sources de données ont été identifiées pour renseigner les critères A et B pour la majorité des types d'écosystème. Des pistes de travail sont proposées pour les critères C et D.

Au vu de cette note de faisabilité, nous recommandons de mener les travaux d'évaluation LRE des phanérogames marines de France métropolitaine. En termes de synthèse de connaissances et de valorisation des données existantes, c'est une opportunité unique d'initier ce chapitre de LRE nationale sur ces habitats marins à fort enjeux de conservation.

Cette future évaluation constituera ainsi un outil d'aide à la décision et à l'action pour les acteurs de l'environnement, complémentaire aux stratégies de conservation déjà en place.



PatriNat (OFB-CNRS-MNHN)

Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel

Muséum national d'Histoire naturelle

CP41 – 36 rue Geoffroy Saint-Hilaire

75005 Paris

www.patrinat.fr