

Ifremer – Département Océanographie et Dynamique des Écosystèmes Laboratoire Environnement Ressources d'Arcachon

Loïc RIGOUIN, Gilles TRUT, Muriel LISSARDY, Florian GANTHY, Arnaud LEPEVEDIC

Association LAMINAK

Stéphane CONNOLE

Février 2022 - ODE/LITTORAL/LERAR/22.02

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









Fiche documentaire

Titre du rapport : Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières Cartographie des herbiers à <i>Zostera noltei</i> et <i>Zostera marina</i> du Lac d'Hossegor MEC FRFC09 - Année 2021			
Référence interne : ODE/LITTORAL/LERAR/22.02	Date de publication : Février 2022		
Diffusion : ☑ libre (internet)	Langue(s) : Français		
restreinte (intranet)			
interdite (confidentielle)			
Résumé: En 2021, les herbiers de zostères (<i>Zostera marina</i> et <i>Zostera noltei</i>) du Lac d'Hossegor ont été cartographiés en utilisant différentes méthodes de mesure et de validation. Leurs emprises ont été calculées et comparées à celles des années 2008 et 2013. Au fil du temps, ces herbiers se sont considérablement étendus dans le Lac, atteignant en 2021 leurs plus grandes emprises connues: 8,40 ha pour <i>Zostera marina</i> , 1,91 ha pour <i>Zostera noltei</i> . Abstract: In 2021, the eelgrass beds (<i>Zostera marina</i> and <i>Zostera noltei</i>) of Lake Hossegor were mapped using different measurement and validation methods. Their areas were calculated and compared to those of 2008 and 2013. Over time, these meadows have expanded considerably in the lake, reaching their largest known area in 2021: 8.40 ha for <i>Zostera marina</i> , 1.91 ha for <i>Zostera noltei</i> .			
Mots-clés/ Keywords : Directive Cadre sur l'Eau, herbiers de zostères, cartographie, Lac d'Hossegor.			
Comment citer ce document : Loïc RIGOUIN, Gilles TRUT, Muriel LISSARDY, Florian GANTHY, Arnaud LEPEVEDIC, Stéphane CONNOLE (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. Rapport ODE/LITTORAL/LERAR/22.02.			
Disponibilité des données de la recherche : Oui			



Commanditaire du rapport : Agence de l'Eau Adour-Garonne			
Nom / référence du contrat : 20/1000936 Rapport intermédiaire Rapport définitif			
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit : P305-0008-11 AEAG Benthos			
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire		
Rigouin Loïc / loic.rigouin@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LERAR		
Trut Gilles / gilles.trut@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LERAR		
Lissardy Muriel / muriel.lissardy@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LERAR		
Ganthy Florian / florian.ganthy@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LERAR		
Lepevedic Arnaud / Arnaud.Le.Pevedic@partenaire-exterieur.ifremer.fr	Université de Bordeaux		
Connole Stéphane / laminisa@hotmail.fr	Association LAMINAK – Protection de l'environnement		
Destinataire : AEAG			
Relu par : Isabelle Auby (LERAR), Claire Rollet (LERBN)			



Table des matières

1	Intro	oduction	7
2	Cadı	e et contexte de l'étude	8
	2.1	L'approche « zones homogènes de la DCE »	8
	2.2	Le site d'étude : Le lac marin d'Hossegor	9
	2.3	Rappel sur les zostères	9
3	Mat	ériel et méthodes	11
	3.1	Élaboration des cartes	11
	3.2	Acquisition de données terrain	11
	3.2.2	Cartes de 2008 et 2013	11
	3.2.2	2 Carte de 2021	13
4	Résu	ıltats	18
	4.1	Carte de 2008	18
	4.2	Carte de 2013	19
	4.3	Carte de 2021	20
	4.4	Évolution des surfaces d'herbier entre 2008 et 2013	24
	4.5	Évolution des surfaces d'herbier entre 2013 et 2021	26
	4.6	Bilan de l'évolution des surfaces d'herbier entre 2008 et 2021	28
5	-	lité écologique de la masse d'eau « Lac d'Hossegor » vis-à-vis de l'indicateur	
«	angiosp	permes »	28
	5.1	Composition taxinomique	28
	5.2	Extension	29
	5.3	Abondance	30
	5.4	Qualité écologique de la masse d'eau FRFC09 pour les angiospermes	31
6	Con	clusion	32
7	Bibli	ographio .	2/



1 Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE établit un nouveau cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixe comme objectif général pour les Etats Membres, l'atteinte d'un bon état écologique et chimique des eaux souterraines et de surface, ces dernières incluant les eaux côtières et de transition.

Pour faciliter la mise en œuvre des suivis réalisés dans le cadre de cette directive, un découpage des eaux en unités géographiques homogènes dénommées Masses d'Eau (ME) a été défini. La masse d'eau représente l'unité de classification et de gestion de la DCE et se trouve rattachée à un bassin hydro géographique (Agence de Bassin). Ainsi, un réseau de sites pérennes, réparti sur l'ensemble du territoire national a été mis en place, de façon à disposer d'un suivi des eaux littorales effectif sur le long terme.

Afin d'évaluer **l'état écologique** d'une Masse d'Eau, la DCE introduit la notion d'écart par rapport à une situation de référence.

Les valeurs de référence, que l'on peut considérer comme niveau étalon du très bon état écologique, doivent être établies par type de Masse d'Eau et par élément de qualité biologique : macroinvertébrés, phytoplancton, **macrophytes (dont macroalgues et herbiers à angiospermes)**¹. Pour ce dernier compartiment, deux types d'actions sont menés pour en caractériser la qualité : un suivi stationnel (chaque année) et un suivi surfacique (tous les 6 ans).

La masse d'eau « Lac d'Hossegor » du type « C9 - Lac marin », (FRFC09), dans les Landes abrite des herbiers de zostères : *Zostera noltei* - Zostère naine et *Zostera marina* – Zostère marine.

À ce titre, depuis 2007, l'herbier à *Zostera noltei* y fait l'objet d'un **suivi stationnel** annuel, visant à caractériser l'abondance des zostères. Les résultats acquis sont présentés dans les rapports publiés annuellement (Auby *et al.*, 2021 a pour le dernier).

Le **suivi surfacique** des herbiers du lac a débuté en 2004, avec une première carte au 1/85 000 établie par le syndicat mixte de rivière Bourret-Boudigau, mais dont la fiabilité est difficile à estimer du fait qu'elle n'est pas assortie de métadonnées. Par la suite, en 2008 et 2013, de nouvelles cartes d'herbiers ont été réalisées par l'Ifremer et ont fait l'objet de rapports traitant de l'évolution des emprises au cours du temps (Trut *et al.*, 2009, 2014).

Le présent rapport concerne l'actualisation réalisée en 2021 des emprises des deux espèces de zostères dans le Lac d'Hossegor. Dans ce document, nous avons décrit, à partir d'une analyse spatiale, les évolutions de ces emprises, en comparant les trois cartographies les plus récentes (2008, 2013 et 2021). Compte tenu des incertitudes portant sur la fiabilité de la carte de 2004, l'évolution des surfaces d'herbiers entre 2004 et 2021 ne sera pas traitée ici. Néanmoins, les variations d'emprise entre 2004 et 2008 et 2004 et 2013 ont été traitées et commentées dans le rapport présentant la carte établie en 2013 (Trut *et al.*, 2014).



¹ et poissons, uniquement dans les masses d'eau de transition.



2 Cadre et contexte de l'étude

2.1 L'approche « zones homogènes de la DCE »

Au sens de la Directive cadre sur l'Eau, une « Masse d'Eau » est définie comme une entité fonctionnelle et homogène des points de vue physique (hydrodynamique, nature du substrat marin) et biologique (faune et flore). La délimitation des Masses d'Eau consiste donc à scinder le domaine d'étude en unités géographiques cohérentes dont les caractéristiques sont identiques ou très proches. Pour les habitats marins, deux groupes de Masses d'Eau ont été distingués :

- Les Masses d'Eau Côtières (MEC) regroupent les habitats littoraux compris entre la ligne de base à terre servant pour la délimitation des eaux territoriales et sa projection à un mille marin vers le large.
- Les Masses d'Eau de Transition (MET) englobent les habitats présents aux embouchures des rivières et des fleuves qui sont partiellement salins en raison de leur proximité des eaux côtières mais qui restent fondamentalement influencés par des courants d'eau douce.

La Masse d'Eau Côtière « Lac d'Hossegor » englobe le lac lui-même ainsi que le chenal d'amenée à la mer (Figure 1).

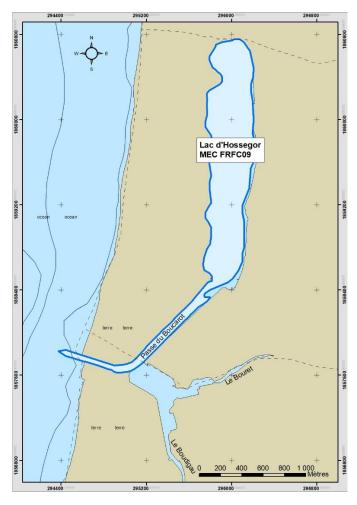


Figure 1 : Limite géographique de la MEC « Lac d'Hossegor » (FRFC09)





2.2 Le site d'étude : Le lac marin d'Hossegor

Le Lac d'Hossegor (Figure 1) est une lagune arrière dunaire de forme allongée, parallèle au linéaire côtier, située sur le littoral aquitain en bordure du Golfe de Gascogne par 43°40 N de latitude et 1°25 W de longitude. Il s'agit d'une trace de l'ancien lit de l'Adour. D'une longueur de 2 km et d'une largeur 0,35 km (en moyenne), sa superficie avoisine 90 Ha.

Il est intégré dans un complexe hydrologique qui comprend, au sud-est, la rivière du Bourret, et au sud, la rivière du Boudigau. Ces trois entités sont reliées à l'océan par la passe du Boucarot.

Cette configuration confère au Lac d'Hossegor un caractère de lagune salée à saumâtre soumise à de fortes variations de température et de salinité (effet marqué des épisodes pluvieux, par ruissellement sur les rives, apports par les cours d'eau ou *via* les nappes phréatiques). En dépit de sa faible profondeur (de -1,5 m à + 0,5 m par rapport au 0 marin), on y observe une légère stratification thermique (eaux du fond moins froides qu'en surface en hiver et moins chaudes en été) et haline. On observe dans le lac des pics de turbidité liés aux dessalures automnales et hivernales. Les teneurs hivernales en nutriments (notamment ammonium et nitrate) y sont assez élevées (Auby *et al.*, 2021 b).

Le Lac d'Hossegor est alimenté par des apports d'eau de mer (à chaque marée) mélangés à ceux des deux rivières. Toutefois, le renouvellement de la masse d'eau est limité par la présence d'un seuil.

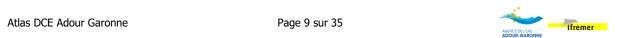
En partie à cause de ce confinement, cette masse d'eau est régulièrement soumise à des proliférations de macroalgues opportunistes, telles que les ulves, les monostromes et les entéromorphes.

Ses estrans sableux à sablo-vaseux sont colonisés, sur les parties hautes, par les plantes du schorre (spartines notamment) et par *Zostera noltei* dans certaines parties basses. Par ailleurs, *Zostera marina* colonise l'étage subtidal.

Le lac abrite quelques exploitations ostréicoles et il est, à ce titre, suivi depuis de nombreuses années dans le cadre des réseaux Ifremer de surveillance relatifs à la contamination microbiologique (REMI), la contamination chimique (ROCCH) et le phytoplancton (REPHY). De plus, outre les études consacrées aux zostères, cette masse d'eau DCE fait l'objet depuis 2007, année de mise en place de la Directive Cadre sur l'Eau, de suivis annuels consacrés aux caractéristiques hydrologiques (Ifremer) et aux macroalgues opportunistes (Université de Bordeaux) et, tous les trois ans, à la faune benthique invertébrée (Université de Bordeaux). Tous les résultats de ces suivis sont consultables sur la base bibliographique Archimer (https://archimer.ifremer.fr).

2.3 Rappel sur les zostères

Les zostères sont des phanérogames angiospermes marines qui se développent sur les sédiments sableux et sablo-vaseux des côtes de la Manche et de l'Atlantique, et dans les lagunes méditerranéennes. Elles forment des herbiers parfois denses, comparables aux prairies terrestres. Ces herbiers peuvent être constitués de deux espèces différentes (Figures 2 et 3) : la zostère marine (*Zostera marina*), la plus grande, se développe principalement en





zone subtidale peu profonde (forme magnozostéride, dont les feuilles peuvent atteindre 120 cm de long pour une largeur de 4 à 12 mm) ainsi qu'en limite inférieure d'estran (forme parvozostéride, à feuilles plus courtes et plus étroites). La zostère naine (*Zostera noltei*), de taille inférieure (les feuilles peuvent atteindre 25 cm de long pour une largeur de 1 à 5 mm), se rencontre surtout dans la zone intertidale.



Figure 2 : Herbier de zostères marines

Zostera marina



Figure 3 : Herbier de zostères naines Zostera noltei

Les herbiers de zostères présentent un fort intérêt écologique, patrimonial et économique, en constituant des écosystèmes remarquables (Larkum *et al.*, 2006). Ces herbiers abritent une biodiversité importante, et jouent un rôle majeur dans la reproduction et l'alimentation d'un grand nombre d'espèces (poissons, crustacés, oiseaux) dont certaines (avifaune migratrice) bénéficient d'un statut de protection.

Les herbiers contribuent en outre à la stabilisation du substrat en piégeant les particules sédimentaires par la réduction des contraintes sur le fond et en modifiant les paramètres d'érodabilité des sédiments colonisés.

Les herbiers de zostères bénéficient de statuts de protection en tant qu'habitats (Loi Littoral 86-2) et habitats menacés (Directive Habitat 92/43). Ils sont aussi répertoriés par OSPAR parmi la liste des espèces et habitats menacés et/ou en déclin (2004). En outre, les phanérogames angiospermes bénéficient d'un statut d'espèces végétales protégées en région Aquitaine depuis 2002².

Les herbiers sont d'excellents indicateurs biologiques des pressions s'exerçant sur l'écosystème, depuis l'échelle locale jusqu'à l'échelle globale (pêche à pied, activités nautiques, broutage par l'avifaune, eutrophisation, changement climatique, ...).



² https://sbocc.fr/wp-content/uploads/2020/06/Aguitaine.pdf



3 Matériel et méthodes

3.1 Élaboration des cartes

Les analyses spatiales relatives à la cartographie *stricto sensu* des herbiers ont été réalisées par géotraitement à l'aide du logiciel SIG ArcGis.

Les rendus cartographiques sont fournis en Lambert 93, dans le référentiel géographique RGF93. Le cas échéant, certaines données ont été exploitées dans le système Datum GCS WGS84 (méridien d'origine : Greenwich) en degrés minutes décimales, mais projetées par la suite en Lambert 93.

3.2 Acquisition de données terrain

Les méthodes utilisées pour cartographier les herbiers du lac d'Hossegor aux différentes dates sont conformes aux préconisations qui figurent dans le guide technique de cartographie des herbiers de zostères (Bajjouk *et al.*, 2019).

3.2.1 Cartes de 2008 et 2013

Lors des campagnes cartographiques de 2008 et de 2013, l'emprise des deux espèces a exclusivement été cartographiée en utilisant la méthode décrite ci-dessous.

L'acquisition de terrain repose sur la numérisation exhaustive des limites d'herbier à l'aide d'un DGPS (geoXT © Trimble 2005) par cheminement pédestre sur l'estran pour les zones intertidales (Figure 4) et, dans les zones subtidales, en tirant, à pied ou en nageant, un engin flottant léger sur lequel est fixé le DGPS (Figure 5).



Figure 4 : Contourage direct par cheminement sur les limites des herbiers de *Zostera noltei* à l'aide d'un DGPS Trimble.







Figure 5 : Contourage direct par cheminement aux limites des herbiers de *Zostera noltei* à l'aide d'un DGPS Trimble : embarcation légère au premier plan et plongeur en arrière-plan

Le DGPS sub-métrique utilisé permet d'obtenir des relevés de terrain qui sont par la suite ajustés, en post-traitement, à l'aide d'un référentiel de balises fixes, afin de réduire la marge d'erreur potentielle (*i.e.* Differential) et d'obtenir une précision comprise entre 0,30 m et 1 m (Figure 6).

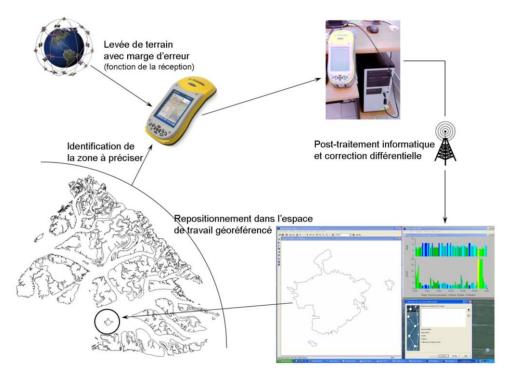


Figure 6 : Processus d'acquisition numérique de terrain par DGPS et post-traitement

Le DGPS permet de définir un carnet de terrain qui comporte pour chaque classe d'objet à créer (point, ligne, polygone) un certain nombre d'attributs prédéfinis (recouvrement, fragmentation,...). Sur le terrain, ces attributs doivent être renseignés avant de démarrer l'acquisition des positions géographiques de l'objet. Les données ainsi collectées, sont





transférées sur ordinateur et post-traitées à l'aide du logiciel GPS Pathfinder 5.3 © sous environnement Windows ©. Elles sont ensuite directement exportées en fichiers de forme pour un géoréférencement sous ArcGis. À chaque entité géographique créée sur le terrain (point, ligne, polygone) sont associés les attributs renseignés.

Ces données peuvent ainsi être assorties d'un indice de confiance maximal.

• Pour Zostera noltei, la caractérisation du taux de recouvrement des herbiers a été établie selon la nomenclature adaptée de Alloncle et al. (2005) et de Jong (2004) en prenant en compte le taux de recouvrement (faible - <25%; moyen – compris entre 25 et 75%; fort - >75 %) et la fragmentation (homogène ou hétérogène).

Chaque polygone est renseigné dans une table attributaire associée. Celle-ci précise la date, le site, la méthode employée pour créer le polygone (numérisation sur ortho-image ou contourage GPS sur le terrain), l'auteur à l'origine de la numérisation, la validation ou non du contour sur le terrain, et le taux de recouvrement estimé.

• Pour Zostera marina, le taux de recouvrement n'a pas été déterminé avec précision mais estimé visuellement par les opérateurs.

Comme pour *Zostera noltei* et compte tenu de la faible superficie à prospecter ainsi que de la faible profondeur du lac à basse mer de vives eaux, il n'a pas été nécessaire de recourir à l'utilisation d'une orthophotographie.

3.2.2 Carte de 2021

Les cartes établies en 2021 ont été réalisées en utilisant non seulement les méthodes de contourage direct précédemment décrites (campagnes cartographiques 2008 et 2013) mais également, pour *Zostera marina*, l'acquisition par drone d'images aériennes. La transparence de l'eau (très faible profondeur du lac, turbidité quasi-nulle) permet la délimitation des herbiers toujours submergés. Enfin, l'acquisition de vidéos subaquatiques à des fins de validation terrain a permis de compléter les observations.

• Pour *Zostera noltei*, l'acquisition des limites des herbiers a été opérée les 7, 8 et 9 septembre 2021 lors de marées de vives eaux par contourage direct sur l'estran.

Comme en 2013, la caractérisation du taux de recouvrement des herbiers a été établie selon la nomenclature reposant sur le pourcentage de recouvrement foliaire des plantes.

• Pour Zostera marina, l'acquisition des limites des herbiers a été effectuée aux mêmes dates (7, 8 et 9 septembre 2021). L'emprise des herbiers de zostères marines a été obtenue en associant les limites issues du contourage direct (cheminement réalisé en nageant le long des limites hautes et basses en tirant un engin flottant léger sur lequel est fixé le DGPS) (Figure 7) et les limites photo-interprétées et numérisées directement sur une ortho-mosaïque géoréférencée de la zone du lac où se trouvent les herbiers subtidaux (Figure 8).







Figure 7 : Acquisition des limites de *Zostera marina* en nageant le long des limites hautes et basses avec un engin flottant léger sur lequel est fixé un DGPS, en 2021.

Les images constituant **l'ortho-mosaïque** ont été obtenues à l'aide d'un drone DJI Phantom4 RTK et sont de résolution centimétrique. Cette résolution élevée permet de distinguer sans ambiguïté les différents « objets » présents dans la scène et donc de numériser à fine échelle (1/100^{eme}) les herbiers de zostères marines. Il a été possible de cartographier des patchs d'herbier d'un diamètre inférieur à 2 mètres tandis qu'ils n'avaient pas été pris en compte par les plongeurs du fait d'un champ de vision réduit sous l'eau.

Comme pour les cartes précédentes, le taux de recouvrement des zostères marines n'a pas été déterminé précisément.





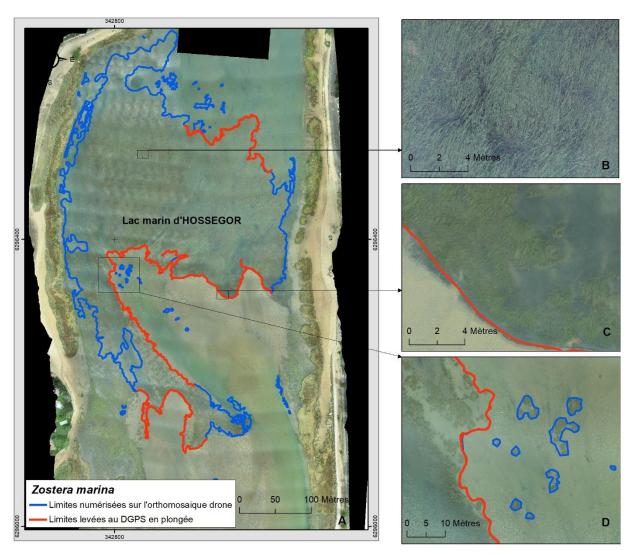


Figure 8: Exemple de limites levées par contourage direct et numérisées sur l'ortho-mosaïque. (A) Vue d'ensemble de l'herbier de zostères marines du lac d'Hossegor ; en rouge les limites levées par les plongeurs et en bleu les limites numérisées sur l'ortho-mosaïque obtenue à l'aide du drone (fond de plan). (B) Zoom sur un herbier dense avec les feuilles visibles en surface. (C) Limites levées au DGPS superposées à l'image obtenue à l'aide du drone. (D) Limites levées au DGPS en rouge et en bleu patchs d'herbier ajoutés par numérisation.

Enfin, une étape supplémentaire de validation terrain a été mise en œuvre en 2021.

Pour cela, une série de transects (Figure 9) a été réalisée les 13 et 14 septembre à marée haute à l'aide d'un semi rigide à motorisation électrique auxiliaire appartenant à l'association LAMINAK, équipé d'un système de positionnement DGPS (Trimble) couplé à un PC avec logiciel ARCGIS et d'un « poisson » tracté muni d'une caméra vidéo sous-marine de type Gopro (Figure 10).





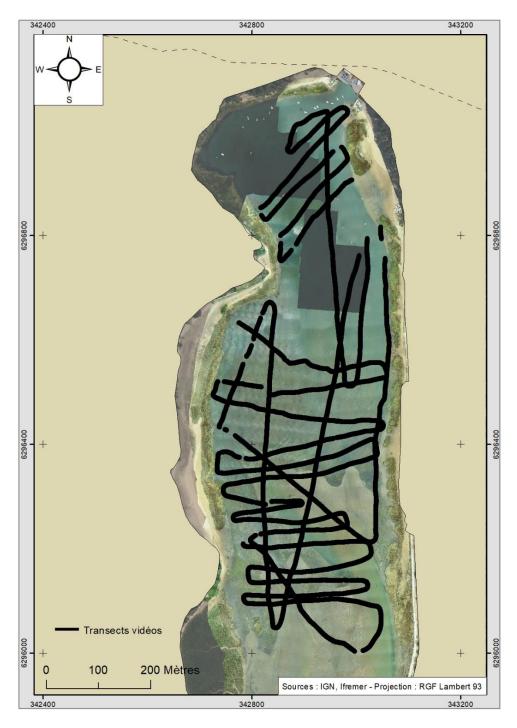


Figure 9 : Transects vidéo effectués les 13 et 14 septembre 2021.







Figure 10: Moyens utilisés pour opérer les transects vidéo des 13 et 14 septembre 2021.

(A) « poisson » tracté muni d'une caméra vidéo sous-marine de type Gopro. (B) PC avec logiciel ARCGIS couplé au système de positionnement. (C) semi rigide à motorisation électrique auxiliaire équipé d'un système de positionnement DGPS (Trimble).

Cette étape de validation a été menée afin d'établir de façon robuste la fiabilité de la carte d'emprise des herbiers infralittoraux à *Zostera marina*.

Les herbiers intertidaux de *Zostera noltei* ont été délimités de façon exhaustive par contourage direct : on peut donc attribuer une fiabilité maximale à leur emprise.

Il faut noter que lors de la réalisation de ces transects vidéo, certains des herbiers de *Zostera noltei* déjà cartographiés par contourage direct ont été observés ; ces données, bien que sporadiques, sont tout de même présentées dans le chapitre suivant.





4 Résultats

4.1 Carte de 2008

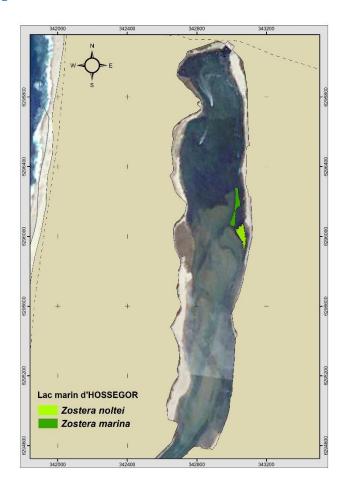


Figure 11 : Carte des herbiers à *Zostera noltei* et *Zostera marina* établie en 2008. Superposition avec l'image Google Earth de 2007.

En 2008, les herbiers de zostères n'ont été observés que dans la partie médiane de la rive orientale du lac (Figure 11).

- Les herbiers infralittoraux à *Zostera marina*, d'un seul tenant, occupaient 0,47 ha. Le taux de recouvrement de ces herbiers n'avait pas été déterminé précisément, mais les opérateurs de terrain l'avaient qualifié d' « homogène clairsemé ».
- Les herbiers intertidaux à *Zostera noltei*, en mélange avec la forme parvozostéride de *Zostera marina* (dans les parties basses), recouvraient une surface de 0,46 ha. Leur recouvrement était relativement homogène et compris entre 25 et 75 %. On observait dans cet herbier la présence d'algues vertes (ulves) et rouges (gracilaires) en quantité assez importante.

ASENCE DE LEAU
ADOUR-GARONNE



4.2 Carte de 2013

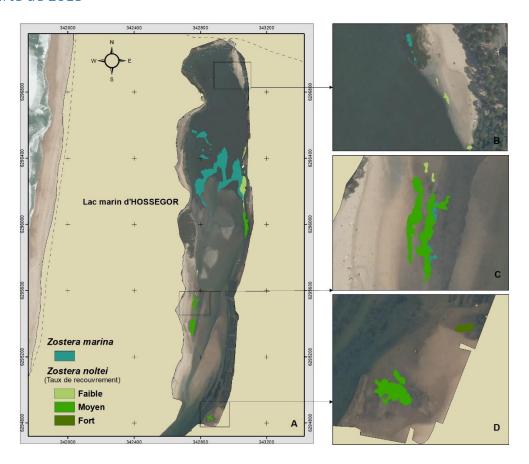


Figure 12 : (**A**) Carte des herbiers à *Zostera noltei* assortis de leurs taux de recouvrement et à *Zostera marina* établie en 2013. Zooms sur les petits herbiers (**B**) Nord, (**C**) centre ouest et (**D**) Sud. Superposition avec l'ortho-photographie littorale de 2012.

En 2013, les herbiers de zostères ont été observés à la fois sur les rives orientale et occidentale du lac (Figure 12A).

- Les herbiers infralittoraux à *Zostera marina*, localisés dans la partie nord du lac en limite nord des bancs de sables occupaient à cette date 3,29 ha. Le taux de recouvrement de ces herbiers n'avait pas été déterminé précisément, mais les opérateurs de terrain l'avaient en majorité qualifié de moyen, homogène ou hétérogène. Cinq petites tâches de zostères marines (100 m²), présentant un taux de recouvrement très faible, avaient été cartographiées dans la partie basse du nouvel herbier de zostères naines de la rive occidentale (Figure 12C).
- Les herbiers intertidaux à *Zostera noltei*, en mélange avec la forme parvozostéride de *Zostera marina* (dans les parties basses), recouvraient une surface de 1,19 ha. La plus grande part de ces herbiers intertidaux (62%) présentait un recouvrement moyen (compris entre 25 et 75%), tandis que 37% des herbiers étaient affectés d'un recouvrement faible (10 à 25 %). Les 2 % restants présentaient des taux de recouvrement très forts ou très faibles.

Comme en 2008, on observait dans ces herbiers la présence d'algues vertes (ulves) et rouges (gracilaires) en quantité assez importante.





4.3 Carte de 2021

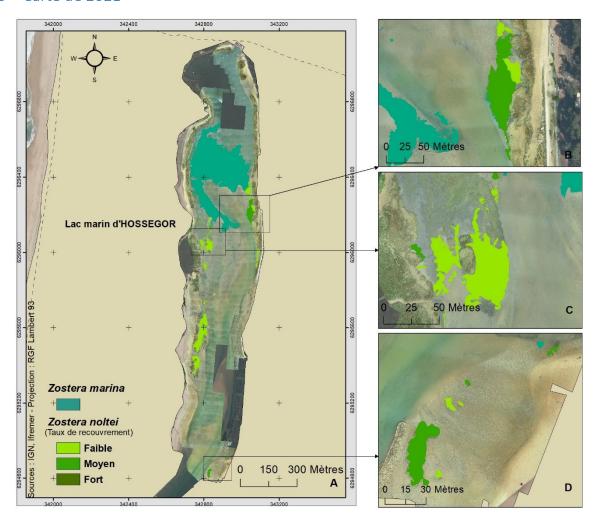


Figure 13: (**A**) Carte des herbiers à *Zostera noltei* assortis de leur taux de recouvrement et à *Zostera marina* établie en 2021. Zoom sur (**B**) l'herbier suivi dans le cadre de la DCE, (**C**) les petits herbiers centre ouest et (**D**) les petits herbiers sud.

En 2021, comme en 2013, les herbiers de zostères des deux espèces ont été observés à la fois sur les rives orientale et occidentale du lac (Figure 13A).

- Les herbiers infralittoraux à *Zostera marina*, localisés dans la partie nord du lac sont en forte extension : ils occupent aujourd'hui 8,40 ha. Le taux de recouvrement de ces herbiers est qualifié par les opérateurs de terrain de moyen à fort, homogène ou hétérogène.
- Les herbiers intertidaux à *Zostera noltei*, en mélange avec la forme parvozostéride de *Zostera marina* (dans les parties basses), recouvrent actuellement une surface de 1,91 ha. La plus grande part de ces herbiers intertidaux présente un recouvrement moyen à faible compris le plus souvent entre 15 et 50% de recouvrement, avec une répartition plutôt hétérogène.

Comme en 2013 et en 2008, on observe dans cet herbier la présence d'algues vertes (ulves) et rouges (gracilaires) en quantité assez importante.





Étape de validation terrain

En 2021, le travail complémentaire mené pour estimer la fiabilité de la cartographie des herbiers infralittoraux à *Zostera marina* a permis d'acquérir 4h30 de vidéo soit plus de 16000 images interprétables, géoréférencées et datées. Comme évoqué précédemment, une partie de ces images a également permis de valider certains herbiers à *Zostera noltei*.

En premier lieu, on peut en conclure que le dispositif mis en œuvre dans le cadre de cette validation est adéquat et permet d'acquérir des images subaquatiques d'une qualité suffisante pour renseigner la nature des peuplements végétaux qui se développent sur les fonds du lac (Figure 14), et ce avec une bonne précision spatiale.



Figure 14 : Exemples d'images sous-marines acquises lors des transects vidéo. (**A**) Herbiers de zostères marines en forte densité ; (**B**) Herbiers de zostères marines en faible densité et avec un tapis de macroalgues vertes ; (**C**) Herbier de zostères naines avec une densité moyenne ; (**D**) Herbier de zostères naines et marines en mélange.

Les vidéos acquises ont été visionnées et interprétées dans le but d'établir, pour chaque image géoréférencée qui les composent, si des zostères sont ou non présentes. Chaque image a ainsi été caractérisée avec un de ces trois statuts : absence de zostères, présence de Zostera marina et présence de Zostera noltei.

Ce jeu de données a ensuite été confronté aux cartes d'emprise spatiale des herbiers de zostères établies par contourage direct et imagerie acquise par drone, de manière à valider les cartes d'emprise et d'en évaluer la fiabilité (Figure 15).



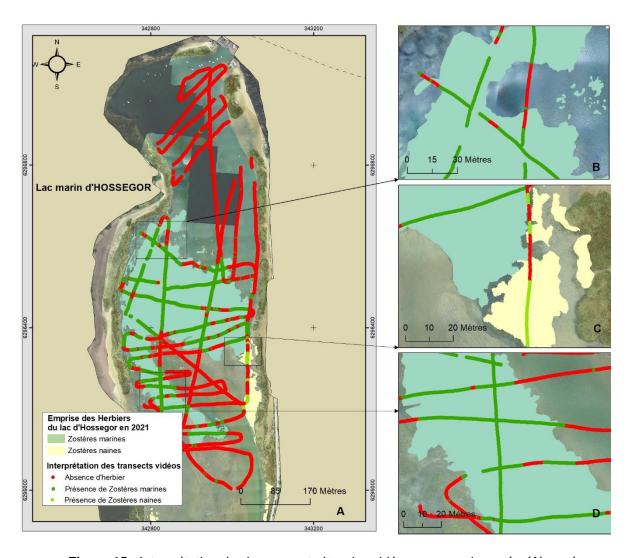


Figure 15 : Interprétation des images extraites des vidéos sous-marines géoréférencées.

Pour chaque coordonnée associée à une image interprétable, une analyse spatiale de superposition aux emprises des deux espèces de zostères a ensuite été mise en œuvre.

Dans un premier temps, cette analyse de superposition a été réalisée en considérant les coordonnées exactes des points correspondant aux images. Dans un second temps, afin de prendre en compte dans l'interprétation le champ de vision de la caméra Gopro qui correspond à une focale « grand angle » et la précision du positionnement DGPS, l'analyse a été conduite en appliquant une distance de recherche (« buffer ») de 2 mètres autour des coordonnées des images. Seuls les résultats obtenus en utilisant cette seconde démarche sont présentés ici. Il faut noter que l'application de ce « buffer » ne modifie que les indices de confiance associés à la détection des zostères naines passant de 75 % à 82 % et celui associé à l'absence de zostères passant de 93 % à 97 %.

Cette analyse spatiale permet de calculer le nombre de points GPS (images géoréférencées et interprétées) contenus ou non dans les emprises spatiales (buffer de 2m) et d'établir une matrice de confusion.





Ces matrices sont présentées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1: Matrice de confusion mettant en relation les données d'emprises et les images vidéo (avec buffer de 2 mètres autour de leurs coordonnées) pour *Zostera marina* et *Zostera noltei* (nombre de points).

Emprises Interprétation vidéo	Absence de zostères	Zostera marina	Zostera noltei	Total
Classe absence	9566	827	71	10464
Classe Zostera marina	193	4982	3	5178
Classe Zostera noltei	120	15	347	482
Total	9879	5824	421	16124

Tableau 2 : Matrice de confusion mettant en relation les données d'emprises et les images vidéo (avec buffer de 2 mètres autour de leurs coordonnées) pour *Zostera marina* et *Zostera noltei* (pourcentage).

Emprises Interprétation vidéo	Absence de zostères	Zostera marina	Zostera noltei	Total
Classe absence	97 %	14 %	17 %	128 %
Classe Zostera marina	2 %	86 %	1 %	89 %
Classe Zostera noltei	1 %	0 %	82 %	83 %
Total	100 %	100 %	100 %	300 %

Ces résultats indiquent une excellente fiabilité des cartes d'emprise, aussi bien pour les herbiers de *Zostera marina* (86 %) que pour les herbiers de *Zostera noltei* (82%), même s'il est délicat, en raison du sous-échantillonnage vidéo de ces dernières, d'en tirer des conclusions applicables à l'ensemble du lac. Toutefois, il faut rappeler que la totalité des herbiers intertidaux a été contourée par cheminement pédestre sur l'estran directement avec un DGPS, ce qui confère à l'emprise mesurée un haut niveau de fiabilité.

Pour ces raisons, on peut considérer que la carte des herbiers du lac établie en 2021 peut être associée à un niveau de confiance très élevé.





4.4 Évolution des surfaces d'herbier entre 2008 et 2013

• Les herbiers subtidaux à *Zostera marina* ont fortement progressé entre 2008 et 2013 (Figure 16). Entre ces deux années, l'emprise maximale de ces herbiers est passée de 0,47 ha en 2008 à 3,29 ha en 2013 soit un **accroissement de 600 %**.

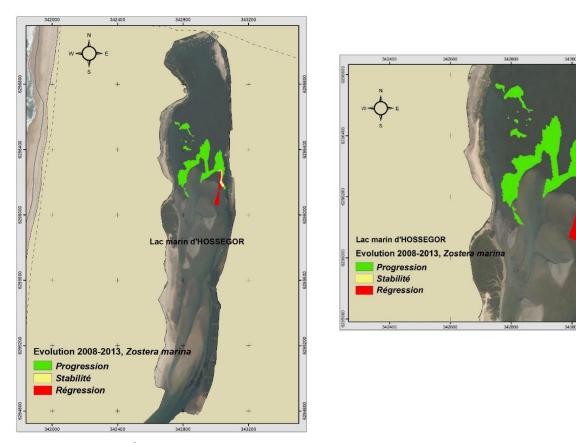
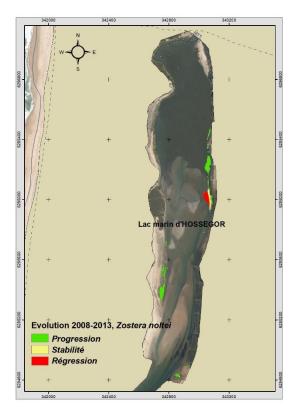


Figure 16 : Évolution de la surface de l'herbier de *Zostera marina* entre 2008 et 2013. Superposition avec l'ortho-photographie littorale de 2012.

La superposition de la carte de 2013 avec l'ortho-photographie littorale de 2012 montre que les nouveaux herbiers de *Zostera marina* se sont développés au nord des bancs de sable dans la partie du lac à la fois assez profonde et morphologiquement stable. La partie sud de l'herbier de 2008, parallèle à la rive orientale, a disparu, sans doute en raison des modifications bathymétriques liées à l'intrusion des bancs de sable sur son ancienne emprise. On ne note aucun développement des herbiers subtidaux sur la moitié sud du lac, sans doute parce que les bancs de sable sont très mobiles dans ce secteur.



• Les herbiers intertidaux à Zostera noltei ont également fortement progressé entre 2008 et 2013. Leur emprise maximale est passée de 0,46 ha en 2008 à 1,19 ha en 2013 soit un accroissement de 150 % (Figure 17).



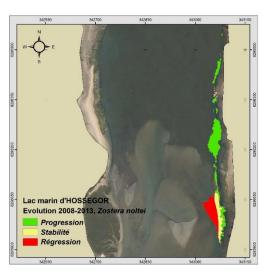


Figure 17 : Évolution de la surface de l'herbier de *Zostera noltei* entre 2008 et 2013. Superposition avec l'ortho-photographie littorale de 2012.

Cette évolution résulte de deux phénomènes antagonistes. En effet, comme pour les zostères marines, on observe, pour cette espèce, une importante régression de la partie sud des herbiers de la rive orientale, liée à l'érosion de cet estran suite au déplacement vers l'est du chenal de flot qui alimente la partie nord du lac (Figure 17). Par contre, pendant le même temps, les herbiers intertidaux ont fortement progressé vers le nord du Lac. Ces observations confirment le rôle fondamental des modifications hydrodynamiques et morphologiques dans le déplacement des herbiers du lac d'Hossegor.

Par ailleurs, un nouvel herbier s'est développé sur la rive occidentale du lac (Figure 17). Les 3 tâches principales qui le constituent occupent 0,41 ha soit 35 % de l'emprise totale de *Zostera noltei* sur le lac d'Hossegor en 2013. Les opérateurs de terrain ont qualifié la fragmentation et le recouvrement de cet herbier en « hétérogène / moyen ».

Enfin, deux petits herbiers sont apparus sur la plage située au sud de la côte orientale du lac.



4.5 Évolution des surfaces d'herbier entre 2013 et 2021

• Les herbiers subtidaux à *Zostera marina* ont encore très fortement progressé entre 2013 et 2021. Au cours des 8 dernières années, l'emprise maximale de ces herbiers est passée de 3,29 ha en 2013 à 8,40 ha en 2021 soit un accroissement de 255 % (Figure 18).

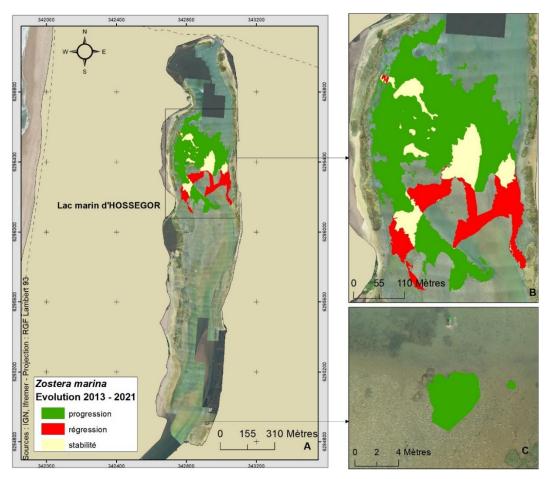


Figure 18 : Évolution spatiale de l'herbier de *Zostera marina* entre 2013 et 2021. Superposition avec l'ortho-photographie drone 2021 Ifremer.

Comme constaté en observant l'évolution de l'emprise des herbiers au cours de la période précédente (2008-2013), il apparait que la dynamique des herbiers de zostères marines dans le lac d'Hossegor est en grande partie déterminée par l'évolution morpho-sédimentaire et hydrodynamique du lac. En effet, depuis 2013, l'emplacement des chenaux principaux a totalement changé et la modification des contraintes hydrodynamiques a entrainé une migration des bancs de sable qui entourent ces chenaux. Ces mouvements de sable ont d'une part recouvert une partie de l'herbier présent en 2013 (zone rouge de la Figure 18B) et d'autre part permis la création de zones plus abritées où l'herbier s'est largement développé. Ainsi, la progression de l'emprise des zostères marines dans le lac concerne surtout les parties nord et nord-ouest morphologiquement plus stables et moins exposées aux mouvements des bancs de sable que la zone sud dans laquelle les sédiments sont très mobiles.

Par ailleurs, l'apparition d'un patch de zostères marines de quelques mètres carrés est observée dans la partie sud-est du lac (Figure 18C).





• Les herbiers intertidaux à *Zostera noltei* ont également fortement progressé entre 2013 et 2021. Leur emprise maximale est passée de 1,19 ha en 2013 à 1,91 ha en 2021 soit un accroissement de 160 % (Figure 19).

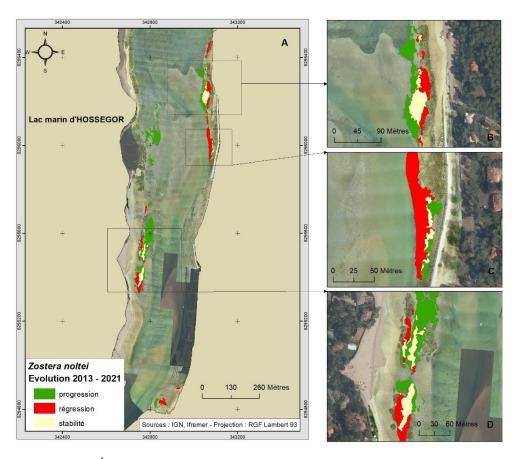


Figure 19 : (**A**) Évolution de la surface de l'herbier de *Zostera noltei* entre 2013 et 2021. (**B**) zoom sur l'herbier suivi dans le cadre de la DCE ; (**C**) zoom sur l'herbier central de la rive est ; (**D**) zoom sur l'herbier central de la rive ouest.

Comme pour les zostères marines, l'emprise des herbiers de zostères naines s'est fortement modifiée entre 2013 et 2021, en relation avec les modifications des conditions bathymétriques et hydrodynamiques (Figure 19).

Peu de zones sont restées stables entre les deux dates. Sur la rive orientale, les herbiers ont régressé au sud et se sont fortement étendus vers le nord. La forte régression du sud correspond aux effets du déplacement vers l'Est du chenal de flot qui alimente la partie nord du lac, phénomène déjà amorcé en 2013 (Figure 19C). On observe également une forte progression vers le nord des herbiers de la bordure ouest du lac. Enfin, les petites taches de zostères situées au sud du plan d'eau ont disparu mais un nouvel herbier s'est développé sur la partie ouest de cet estran.





4.6 Bilan de l'évolution des surfaces d'herbier entre 2008 et 2021

Globalement, les cartographies réalisées depuis 2008 montrent que les herbiers de zostères du lac d'Hossegor présentent une importante dynamique spatiale, avec pour les deux espèces une tendance nette à l'augmentation des emprises au cours du temps :

- La surface colonisée par **Zostera marina** est passée de 0,47 ha en 2008 à 8,40 ha en 2021 soit une **augmentation de 1787** % **en 13 ans.**
- La surface colonisée par **Zostera noltei** est passée de 0,46 ha en 2008 à 1,91 ha en 2021 soit une **augmentation de 415 % en 13 ans**.

5 Qualité écologique de la masse d'eau « Lac d'Hossegor » vis-à-vis de l'indicateur « angiospermes »

Outre leur intérêt intrinsèque relatif à la connaissance des habitats benthiques du Lac d'Hossegor, les résultats présentés dans ce rapport permettent d'actualiser la valeur atteinte par l'indicateur « angiospermes » dans cette masse d'eau.

Trois métriques sont prises en compte pour le calcul de cet indicateur : la composition taxinomique (stabilité ou disparition d'espèces de zostères par rapport à un état de référence), l'extension (augmentation ou réduction de la surface des herbiers par rapport à un état de référence) et l'abondance (augmentation ou réduction de la densité ou du recouvrement par rapport à un état de référence). L'indicateur final est calculé en moyennant les résultats des Ratio de Qualité Écologique (RQE) de ces trois indices (Auby et al., 2018).

Les résultats de l'indicateur « angiospermes » correspondant à l'année 2021 sont présentés ici.

5.1 Composition taxinomique

On dispose de sources de données fiables sur la présence des deux espèces de zostères dans cette masse d'eau depuis le milieu des années 1960.

En effet, durant cette période, une exploration botanique du lac très complète a été réalisée, dans laquelle ont été répertoriés les peuplements de macroalgues et les plantes du schorre, et qui ne fait pas état de la présence de zostères (Dulau, 1967).

D'après un ostréiculteur d'Hossegor, les zostères seraient apparues au début des années 1970, peut-être à la faveur de transport de graines sous les pattes d'oiseaux.

À l'heure actuelle, les deux espèces sont toujours présentes, d'un côté la forme magnozostéride (grande forme) de *Zostera marina* qui est subtidale, et, dans l'étage intertidal, on observe un mélange entre la forme parvozostéride (petite forme) de *Zostera marina* et *Zostera noltei*.

Le calcul de RQE pour la métrique « composition taxinomique » a été réalisé selon la grille présentée dans le tableau 3. La valeur du RQE pour 2021 y est reportée.





Tableau 3 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « composition taxinomique ». Valeur du RQE en 2021

Changement de la composition taxonomique par rapport aux conditions de référence et RQE	RQE 2021
Espèces apparues ou aucune espèce disparue (1)	1
Disparition de Zostera marina (0,7)	
Disparition de Zostera noltei (0,5)	
Perte des deux espèces (0)	

5.2 Extension

Les données relatives à la métrique « extension » des herbiers aux différentes dates de suivi sont présentées sur le tableau 4. Les résultats montrent un fort accroissement de l'extension des deux espèces entre 2008 et 2013, puis entre 2013 et 2021, cette dernière année s'avérant celle pendant laquelle les deux espèces présentent la plus grande extension connue.

Tableau 4 : Évolution de l'extension des herbiers de zostères de la masse d'eau « Lac d'Hossegor » au cours du temps (en gras, valeurs maximales observées depuis le début du suivi et qui servent de valeurs de référence pour le calcul du RQE).

	Z. marina subtidale	Z. noltei et Z. marina intertidale
2004	2,3 ha	0,33 ha
2008	0,47 ha	0,46 ha
2013	3,29 ha	1,19 ha
2021	8,40 ha	1,91 ha
Évolution par rapport à la plus	Valeur 2021 =	Valeur 2021 =
grande extension connue*	valeur de référence	valeur de référence

Les calculs de RQE pour la métrique « extension » ont été réalisés sur la base de la grille présentée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « extension ». Valeur du RQE en 2021.

Modification de l'extension par rapport aux conditions de référence et RQE	Zostera noltei RQE 2021	Zostera marina RQE 2021	Zostera spp * RQE 2021
0% perte = 1,0, 1% perte = 0,98, 2% perte = 0,96 10% perte = 0,80	1	1	1
11% perte = 0,78, 12% perte = 0,76, 13% perte = 0,74 17% perte = 0,66			
18% perte = 0,64, 19% perte = 0,62, 30% perte = 0,50			
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, 50% perte = 0,30			
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, 100% perte = 0,00			

^{*} Le RQE pour l'ensemble des herbiers de zostères (Zostera spp.) est calculé en moyennant les RQE calculés pour les deux espèces.

Atlas DCE Adour Garonne Page 29 sur 35



5.3 Abondance

NB : Les herbiers subtidaux de Zostera marina de cette masse d'eau ne font pas l'objet d'un suivi des densités.

Les données relatives à l'abondance des zostères naines, estimées depuis 2012 dans le cadre des suivis DCE en termes de taux de recouvrement, sont présentées dans le tableau 6.

En fonction des années, ces taux de recouvrements montrent une forte variabilité, ce qui peut parfois être mise en relation avec l'intensité des pressions anthropiques (traces de pêche à pied), ou avec les biomasses d'algues opportunistes observées au printemps et en été, lesquelles peuvent certaines années s'avérer très abondantes et constituer de véritables banquettes sur les herbiers. Après avoir atteint de très faibles valeurs en 2018 et 2019, les taux de recouvrement des zostères naines ont plutôt eu tendance à augmenter.

Tableau 6 : Évolution des abondances (recouvrements) des zostères naines de la masse d'eau « Lac d'Hossegor » au cours du temps (en gras, valeur maximale observée servant de valeur de référence pour le calcul du RQE)

Année	Recouvrement moyen sur la station Hossegor int HZN (%)
2007	40
2008	80
2009	100
2012	59
2013	59
2014	70
2015	44
2016	46
2017	65
2018	26
2019	17
2020	39
2021	48
Évolution par rapport à l'abondance maximale	- 52 %

Le calcul de RQE pour la métrique « abondance » a été réalisé sur la base de la grille présentée dans le tableau 7. La valeur du RQE pour cette métrique en 2021 y est reportée.





Tableau 7 : Grille de correspondance entre les changements observés et la valeur du RQE pour la métrique « abondance ». Valeur du RQE en 2021.

Modification des abondances par rapport aux conditions de référence et RQE	Zostera noltei RQE 2021
0% perte = 1,0, 1% perte = 0,98, 2% perte = 0,96 10% perte = 0,80	
11% perte = 0,78, 12% perte = 0,76, 13% perte = 0,74 17% perte = 0,66	
18% perte = 0,64, 19% perte = 0,62, 30% perte = 0,50	
31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, 50% perte = 0,30	
51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290,100% perte = 0,00	0,29

5.4 Qualité écologique de la masse d'eau FRFC09 pour les angiospermes

Le RQE de l'indicateur « angiosperme » est calculé en moyennant les RQE des trois métriques retenues. À partir de ce RQE, le classement de la masse d'eau pour cet indicateur est calculé selon les équivalences définies dans le tableau 8.

Tableau 8 : Grille de classement pour l'élément de qualité « angiospermes »

Statut écologique	RQE « angiospermes »	
Très bon état	0,80–1,0	
Bon état	0,65-0,79	
Etat moyen	0,40-0,64	
Etat médiocre	0,20-0,39	
Mauvais état	0,0-0,19	

Pour la masse d'eau « Lac d'Hossegor », l'indicateur « angiosperme » indique un bon état en 2021 (tableau 9). Depuis quelques années, cette qualité oscille entre le bon et le très bon état au gré des variations interannuelles des abondances et de l'évolution des emprises (Figure 20).

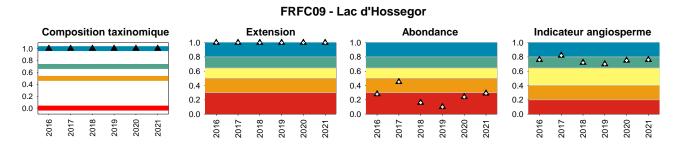


Figure 20 : Évolution temporelle du RQE des 3 métriques et de l'indicateur « angiospermes »





Tableau 9 : Résultats pour l'élément de qualité « angiospermes » en 2021 dans la masse d'eau « Lac d'Hossegor »

Lac	Indices			Indicateur
d'Hossegor	Composition	Extension	Abondance	Angiosperme
RQE	1	Zostera noltei : 1 Zostera marina : 1 Zostères : 1	Zostera noltei : 0,29	0,76
État				Bon état

6 Conclusion

Les zostères (*Zostera marina*, en zone subtidale - *Zostera marina* et *Zostera noltei* en zone intertidale) colonisent le Lac d'Hossegor depuis une cinquantaine d'année (apparition postérieure à 1970). Les suivis surfaciques et stationnels de ces populations ont été entrepris à partir de 2007 dans le cadre de la DCE. Cette masse d'eau fait également l'objet d'un suivi d'autres compartiments biologiques tels que les macroalgues opportunistes et la macrofaune invertébrée.

Ces herbiers présentent une extension variable au cours du temps. L'emprise des deux espèces a fortement progressé depuis 2008 :

- Zostera marina: de 0,47 ha en 2008 à 8,40 ha en 2021 (soit +1787 %)
- Zostera noltei: de 0,46 ha en 2008 à 1,91 ha en 2021 (soit +415 %)

La cartographie de 2021 montre une emprise des herbiers à angiospermes jamais observée jusqu'à ce jour. Elle sera dorénavant retenue comme « état de référence » pour le calcul de l'indice d'extension utilisé dans le cadre de la surveillance DCE.

Le dragage opéré dans le lac en 2018, destiné à y améliorer la navigabilité³, n'a donc pas affecté l'emprise totale des zostères, bien qu'une migration vers le nord de la position des herbiers ait été observée, probablement en relation avec les modifications hydrosédimentaires induites, au moins en partie, par ces travaux.

L'abondance (pourcentage de recouvrement) des zostères naines de la station suivie dans le cadre de la DCE varie également au cours du temps et présente des valeurs relativement faibles depuis quelques années (Auby et al., 2021a). Comme la plupart des zones intertidales du lac, l'herbier de cette station est régulièrement affecté par d'importants dépôts de macroalgues (ulves et gracilaires) qui peuvent impacter négativement la vitalité des zostères. En effet, de tous les herbiers suivis en Adour-Garonne, celui du Lac d'Hossegor est celui qui présente les plus fortes biomasses de macroalgues opportunistes. Cette masse d'eau est d'ailleurs régulièrement classée, depuis 2016, en « état moyen » vis-à-vis de l'indicateur « macroalgues opportunistes » (Landreau et al., 2021).



³ https://www.cc-macs.org/lac-marin/desensablement-du-lac.html



Il faut toutefois relativiser l'impact de ces macroalgues sur les herbiers dans la mesure où si elles sont effectivement déposées sur les herbiers à marée basse, elles n'y sont plus visibles à marée haute (comme observé à l'aide de la caméra tractée) indiquant qu'elles se déplacent au gré des courants de marée.

Enfin, les herbiers intertidaux du lac font l'objet d'une pression de pêche de loisir qui n'est pas négligeable. En effet, au cours des différents suivis réalisés sur le lac, il a fréquemment été observé des pêcheurs d'appâts et/ou des traces de leur activité.

En dépit du caractère fortement anthropisé de cette masse d'eau et des nombreuses pressions qui s'y exercent, les herbiers de zostères du Lac d'Hossegor présentent un bon état écologique au sens de la DCE. Comme l'indiquent les travaux menés par de Casamajor et D'Hondt (2018) pour l'évaluation de la biodiversité et les suivis réguliers de la faune invertébrée (Humbert et al., 2020), cette masse d'eau abrite une forte biodiversité, certainement favorisée par la présence des herbiers de zostères.





7 Bibliographie

NB : Tous les rapports liés à la DCE sont téléchargeables sur la base bibliographique Archimer - http://archimer.ifremer.fr/

Alloncle N., Guillaumont L., Levêque L. (2005). Cartographie des herbiers de zostères. http://www.rebent.org//medias/documents/www/contenu/documents/FT14_Alloncle_Rebent_Cartographie Herbiers 2005.pdf.

Auby I., d'Amico F., Meteigner C., Perriere-Rumebe M., Tournaire M-P, Rigouin L., Gouriou L., Lissardy M., Sanchez F., de Casamajor M-N., Morandeau G., Ganthy F., Trut G., Trut F., Caill-Milly N., Antajan E., Guesdon S., Piraud A., Gueux A., Deborde J., Chabirand J-M., Grizon J., Seugnet J-L., Geairon P., Le Fur I., Bruneau A., Soudant D., Gautier E., Michel V., Dupin M. (2021b). DCE Bassin Adour-Garonne: hydrologie et phytoplancton – Résultats 2015-2020. ODE/LITTORAL/LERAR/21.017, 103 p.

Auby I., Oger-Jeanneret H., Gouillieux B., Grall J., Janson A.-L., Maguer M., Rigouin L., Rollet C., 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. Version 3. ODE/UL/LER/AR/18.017, 73 p.

Auby I., Oger-Jeanneret H., 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, 72 p + annexes.

Auby I., Trut G., Morandeau G., Aubert F. (2021a). Suivi stationnel (2007-2020) de l'herbier de zostères naines (Zostera noltei) et calcul de l'indicateur DCE « Angiospermes » (2020) dans la masse d'eau côtière FRFC09 – Lac d'Hossegor. RST/LER/AR/20.012, 29 p.

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. DYNECO/LEBCO/19-01/TB, 137 p.

de Casamajor, M.-N., d'Hondt, J.-L. (2018). Biodiversité des substrats durs du lac marin d'Hossegor. État des connaissances et nouvelles données. Bulletin de la Société Linnéenne de Bordeaux 153, nouv. série 46 (2-4), 323-340.

De Jong, D.J. (2004). Water Framework Directive: determination of the Reference condition and Potential-REF/Potential-GES and formulation of indices for plants in the coastal waters CW-NEA3 (K1), CW-NEA4 (K2), CW-NEA1 (K3), transitional waters, TW-NEA11 (O2), and large saline lakes, NEA26 (M32), in The Netherlands. Working document RIKZ/OS/2004, 832 p.

Dulau J. (1967). Étude écologique de la flore algale de Capbreton-Hossegor (Landes). Bull. Cent. Etud. Rech. Sci., Biarritz, -(4), 769-875.

Humbert S., Gouillieux B., Blanchet H., Bujan S., Devaux L. (2020). Contrôle de surveillance 2019. Échantillonnage DCE des Masses d'Eau Côtières du district hydrographique Adour-Garonne pour le paramètre « faune invertébrée benthique ». Rapport d'étude UMR EPOC/Plateforme Biodiversité. Ifremer 19/1000 153, AST 2018 603, 73 p.

Landreau A., Maneux E., Humbert S., Romero A., Gouillieux B., Latry L., Bujan V., Blanchet H., Bujan S., Devaux L. (2021). Contrôle de surveillance 2020. Évaluation de l'amplitude des blooms de macroalgues opportunistes dans la masse d'eau « Lac d'Hossegor ». Rapport final GEO-Transfert/ADERA, 44 p.

Atlas DCE Adour Garonne Page 34 sur 35



- Larkum, A., Orth, W.D., Robert J., Duarte, F., Carlos, M. (2006). Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. 1st ed. 2nd printing, 2007, 691 p.
- **Trut G., Dalloyau S., Auby I.** (2009). Caractérisation de la qualité biologique des Masses d'Eau Côtières : Cartographie des herbiers à *Zostera noltii* et *Zostera marina* du Lac d'Hossegor. MEC FRFC09. RST/LER/AR/09-008, 21 p.
- 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. RST/LER/AR/14.006, 32 p.

