

# DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU BASSIN LOIRE-BRETAGNE

Étude préliminaire pour la mise à jour  
des données surfaciques relatives  
aux herbiers de zostères



Photo : Dugornay Olivier (2019) / Ifremer



## Fiche documentaire

<p><b>Titre du rapport :</b> Étude préliminaire pour la mise à jour des données surfaciques relatives aux herbiers de zostères.</p>	
<p><b>Référence interne :</b> ODE/UL/LER/MPL/22.16</p> <p><b>Diffusion :</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> libre (internet)</p> <p><input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : AAA/MM/JJ</p> <p><input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ</p>	<p><b>Date de publication :</b> Novembre 2022</p> <p><b>Version :</b> 1.0.0</p> <p><b>Référence de l’illustration de couverture :</b> Dugornay Olivier / 2019</p> <p><b>Langue(s) :</b> Française</p>
<p><b>Résumé/ Abstract :</b> Le bilan des données surfaciques est basé sur une collecte auprès de différents organismes. Une harmonisation des données cartographiques a été effectuée afin d’obtenir une valeur surfacique par masse d’eau, par année et par espèce de zostères. La configuration des herbiers de chaque masse d’eau a été établie selon différents paramètres. Elle permet de faire une proposition des supports et méthodes de numérisation les plus adaptés, à l’heure actuelle, pour le suivi surfacique des herbiers - dans le bassin Loire-Bretagne. Ce dernier a lieu tous les 6 ans dans le cadre de la Directive Cadre sur l’Eau.</p>	
<p><b>Mots-clés/ Key words :</b> Directive Cadre sur l’Eau – Directive Habitats Faune Flore – Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin – herbiers de zostères – métrique extension – <i>Zostera noltei</i> – <i>Zostera marina</i> – imagerie hyperspectrale – imagerie multispectrale – imagerie acoustique – classification automatique, photo-interprétation</p>	
<p><b>Comment citer ce document :</b> Campana Marina, Bizzozero Lucie, Bajjouk Touria, Rollet Claire, Lissardy Muriel (2022). <b>Étude préliminaire pour la mise à jour des données surfaciques relatives aux herbiers de zostères.</b> RST/LER/MPL/22.16.</p>	

Commanditaire du rapport : Agence de l'Eau Loire-Bretagne

Financé par



Nom / référence du contrat : convention AELB Ifremer 20/1000935

Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX)

Rapport définitif (réf. interne du rapport intermédiaire : R.DEP/UNIT/LABO AN-  
NUM/ID ARCHIMER)

Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) :  
Programme de surveillance RCS DCE Loire-Bretagne

Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Campana Marina / Marina.Campana@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LER MPL
Bizzozero Lucie / Lucie.Bizzozero@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LER MPL
Bajjouk Touria / Touria.Bajjouk@ifremer.fr	Ifremer/ODE/DYNECO/LEBCO
Rollet Claire / Claire.Rollet@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LER BN
Lissardy Muriel / Muriel.Lissardy@ifremer.fr	Ifremer/ODE/UL/LER AR

Destinataire : AELB

Validé par : Bizzozero Lucie, Bajjouk Touria, Rollet Claire, Lissardy Muriel

Relecture par Françoise Bonneau

*De nombreux acteurs ont contribué à la mise à jour des données surfaciques des herbiers dans le bassin Loire-Bretagne et aux réflexions autour des recommandations générales.*

*Nous les remercions pour leur participation active.*

**Agglomération de Saint Malo** : Morgane Perrette

**Conservatoire du littoral** : Hervé Niel, Morgan Grivaud

**Ifremer** : Mireille Fortune, Erwann Quimbert, Aurore Lejolivet, Anne Schmitt, Isabelle Auby

**Muséum National d’Histoire Naturelle – PatriNat** : Anne-Laure Janson

**Office Français de la Biodiversité** : Sophie Beauvais, Guillaume Paquignon, Aurélien Schmitt, Élodie Giacomini

**Parc Naturel Marin d’Iroise** : Anna Capietto

**Parc Naturel Marin de l’Estuaire de la Gironde et de la Mer des Pertuis** : Aurélie Dessier

**Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan** : Thomas Cosson

#### **Schéma d’Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)**

**Sage Arguenon - Baie de la Fresnaye** : Tom Bourru

**Sage Baie de Bourgneuf et Marais breton** : Julie Ayçaguer

**Sage Baie de Douarnenez** : Alida Boishus

**Sage Couesnon** : Sylvie le Roy

**Sage Golfe du Morbihan & Ria d’Etel** : Béatrice Nivoy

**Sage Ouest-Cornouaille** : Tifenn Neveu

**Sage Vilaine** : Aurore Lebreton

**Sage Vie et Jaunay** : Anne Papin

#### **Universités**

**Institut Universitaire Européen de la Mer - Université de Bretagne Occidentale** : Jacques Grall

**Sorbonne Université – Station Biologique de Roscoff** : Caroline Broudin

**Université de La Rochelle** : Fabien Aubert, Pierre-Guy Sauriau

**Université de Nantes** : Pierre Gernez, Laurent Barillé



## Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Écologie et importance des zostères.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Les herbiers de zostères et les suivis européens.....</b>	<b>3</b>
2.1 Données surfaciques et directives européennes : quels besoins ?.....	3
2.1.1 La DCSMM .....	3
2.1.1.1 Objectif et principe .....	3
2.1.1.2 Évaluation du bon état écologique des herbiers marins.....	3
2.1.1.3 Extension des herbiers .....	3
2.1.2 La DHFF .....	4
2.1.2.1 Objectif et principe .....	4
2.1.2.2 Évaluation de l'état de conservation des herbiers .....	4
2.1.2.3 Extension des herbiers .....	5
2.1.3 La DCE .....	5
2.1.3.1 Objectif et principe .....	5
2.1.3.2 Évaluation de l'élément de qualité « Angiospermes ».....	6
2.1.3.3 Extension des herbiers .....	6
2.2 Suivi DCE dans le bassin Loire-Bretagne : programmation 2020 .....	7
<b>3 Rappel des principaux supports et méthodes utilisés pour la cartographie des herbiers....</b>	<b>9</b>
3.1 Schéma simplifié du processus de cartographie .....	9
3.2 Supports de numérisation disponibles.....	9
3.2.1 Image hyperspectrale .....	9
3.2.2 Image multispectrale.....	10
3.2.2.1 Plateforme satellite .....	10
3.2.2.2 Plateforme avion .....	11
3.2.2.3 Plateforme drone .....	12
3.2.3 Image acoustique .....	13
3.3 Méthodes de numérisation .....	13
3.3.1 Classification automatique .....	13
3.3.2 Photo-interprétation .....	14
3.4 Vérité terrain .....	14
<b>4 Éléments de cadrage pour la mise à jour de la cartographie des herbiers .....</b>	<b>15</b>
4.1 Synthèse des données disponibles.....	15
4.1.1 Collecte des données cartographiques et métadonnées associées.....	15

4.1.2	Bilan des supports et méthodes de numérisation utilisés en Loire-Bretagne .....	16
4.1.3	Harmonisation de l'information attributaire .....	16
4.2	Configuration des herbiers au sein des masses d'eau Loire-Bretagne .....	18
4.2.1	Superficie des herbiers par ME .....	18
4.2.2	Présence des espèces et leur répartition intertidale vs subtidale .....	18
4.2.3	Caractérisation de la nature du fond .....	18
4.2.3.1	Données utilisées .....	18
4.2.3.2	Méthode .....	18
4.2.4	Fiches informatives par masse d'eau .....	19
4.3	Recommandations pour une stratégie de suivi surfacique en Loire-Bretagne .....	46
4.3.1	Comparaison des supports optiques .....	46
4.3.1.1	Imagerie hyperspectrale .....	46
4.3.1.2	Imagerie multispectrale .....	46
4.3.2	Le support de numérisation .....	47
4.3.2.1	Herbiers en zone intertidale et très petits fonds (< 2 m) .....	48
4.3.2.2	Herbiers entre 2 et 5 mètres de fond .....	48
4.3.2.3	Herbiers entre 5 et 10 mètres de fond .....	49
4.3.3	La méthode de numérisation .....	49
4.3.4	Importance de la validation terrain .....	50
4.3.5	Perspectives .....	51

## Liste des sigles et abréviations

**BEE** : Bon État Écologique

**CEVA** : Centre d'Étude et de Valorisation des Algues

**CNES** : Centre National d'Études Spatiales

**DCE** : Directive Cadre sur l'Eau

**DCSMM** : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin

**DHFF** : Directive Habitats Faune Flore

**DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

**ESA** : Agence Spatiale Européenne

**MEC** : Masse d'Eau Côtière

**MET** : Masse d'Eau de Transition

**NASA** : National Aeronautics and Space Administration

**OFB** : Office Français de la Biodiversité

**PIR** : Proche Infra Rouge

**PNRGM** : Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan

**R&D** : Recherche et Développement

**RCS** : Réseau de Contrôle de Surveillance

**RVB** : Rouge, Vert et Bleu

**SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

**SHOM** : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

**SIG** : Système d'Information Géographique

**SPN** : Service Patrimoine Naturel



## Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE (DCE) établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixe des objectifs environnementaux portant notamment sur l'atteinte d'un bon état écologique et chimique des masses d'eau souterraine et de surface.

Les masses d'eau de surface incluent les eaux côtières (MEC) et de transition (MET). Celles-ci sont des unités cohérentes définies à partir de critères hydrodynamiques (courant, marnage, stratification, profondeur...) et sédimentologiques (sable, vase, roche...) exerçant une influence avérée sur la biologie.

Le bassin Loire-Bretagne est un des six bassins hydrographiques français et s'étend du Mont Saint Michel à la Rochelle. Il regroupe 39 masses d'eau côtières (MEC) et 30 masses d'eau de transition (MET).

De manière à « dresser un tableau cohérent et complet de l'état des eaux au sein de chaque bassin hydrographique », la DCE met en œuvre un programme de surveillance des masses d'eau sur une durée de 6 ans (2016-2021 puis 2022-2027). Il est composé de 4 types de contrôle dont le contrôle de surveillance, qui ne s'exerce pas sur toutes les masses d'eau d'un bassin, mais sur un nombre suffisant de masses d'eau représentatives des différentes typologies afin de permettre une évaluation générale de l'état écologique et chimique des eaux à l'échelle du bassin hydrographique. L'état chimique et l'état écologique de chaque masse d'eau RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance) sont évalués à partir de différents éléments de qualité biologiques, chimiques et hydromorphologiques. Ce sont 25 MEC et 16 MET qui ont été retenues pour le RCS dans le bassin Loire-Bretagne et dont le suivi a démarré en 2007 (Bizzozero, 2020).

L'un des paramètres biologiques suivi dans ces masses d'eau RCS est l'élément de qualité « Angiospermes » qui se base sur 3 métriques : la composition taxinomique, l'extension spatiale et l'abondance. Dans ce bassin, deux espèces de zostères sont considérées : *Zostera marina*, présente plutôt sur la partie subtidale du littoral mais pouvant avoir des franges émergées aux basses mers de vives eaux, et *Zostera noltei*, située plutôt sur la partie intertidale. La Directive Habitat Faune Flore 92/43/CEE (DHFF) et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin 2008/56/CE (DCSMM) ont aussi la charge du suivi de ces herbiers pour évaluer, respectivement, leur état de conservation et leur état écologique.

Ce document est une étude préliminaire à la mise à jour des données surfaciques relatives aux herbiers de zostères du bassin Loire-Bretagne suivis dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau. L'objectif de cette étude est de fournir des éléments de cadrage pour la mise à jour des données surfaciques de ces herbiers, en tenant compte des besoins des autres directives DHFF et DCSMM.

En premier lieu, ce document présente succinctement le suivi des herbiers dans le cadre des trois directives européennes (DCSMM, DHFF et DCE) et les besoins convergents de ces directives en termes de suivi surfacique des herbiers de zostères. Il rappelle ensuite les différents supports et méthodes de numérisations pouvant être utilisés pour leur cartographie. Enfin, la synthèse des données surfaciques disponibles dans le bassin et la caractérisation des différents herbiers suivis dans le cadre de la DCE, ont permis de formuler des recommandations pour mettre à jour les données surfaciques des herbiers suivis dans le cadre de la DCE dans le bassin Loire-Bretagne.

## 1 Écologie et importance des zostères

Les herbiers de phanérogames (plantes à fleurs) marines, et parmi lesquelles les zostères, sont des habitats particuliers reconnus pour leur forte importance écologique en (i) favorisant la diversité et l'abondance de la faune et la flore aquatiques, (ii) en constituant une zone de nurserie et de reproduction et (iii) en fournissant une ressource nutritionnelle à plusieurs espèces de poissons, crustacés et oiseaux dont certaines bénéficient d'un statut de protection. Ils jouent également un rôle important dans le stockage du carbone et dans le cycle des nutriments, en accumulant l'azote et le phosphore du milieu. Ils participent par ailleurs à la stabilisation des substrats en réduisant les contraintes hydrodynamiques sur ces derniers (Moore *et al.*, 2007 ; Hily et Bajjouk, 2010).

Les herbiers de zostères bénéficient de statuts de protection en tant qu'« habitats » et « habitats d'espèces » (Directive Habitat 92/43, Loi Littoral 86-2) et sont répertoriés par OSPAR (2004) parmi les habitats menacés.

Comme la plupart des plantes à fleurs terrestres, les zostères connaissent un développement saisonnier en lien avec leur capacité de photosynthèse. Leur croissance est en effet stimulée au printemps sous l'influence de la lumière et de la température. En été, les conditions hydrologiques plus calmes, l'augmentation de la température et du taux d'ensoleillement favorisent la croissance des feuilles. À l'inverse, la baisse des températures et les premières tempêtes en automne entraînent une chute importante des feuilles.

Les herbiers sont par ailleurs soumis à de nombreuses pressions naturelles et anthropiques et s'avèrent être de bons indicateurs biologiques des changements de conditions liés à ces pressions et s'exerçant sur les écosystèmes à plusieurs échelles : locale (pêche à pied, activités nautiques...), régionale (eutrophisation) et globale (changement climatique). Une importante réduction de l'emprise surfacique de cet habitat peut entraîner des conséquences néfastes sur l'écosystème : réduction de la biodiversité des macrofaunes invertébrés benthiques et vagiles, perte d'attrait du milieu pour la reproduction selon certaines espèces et altération du rôle fondamental de nurserie et nourricerie pour différentes espèces de poissons (Krause-Jensen *et al.*, 2008).

Deux espèces de zostères se rencontrent le long des côtes françaises et plus particulièrement sur les estrans et les petits fonds côtiers et lagunaires : la zostère marine (*Zostera marina*) et la zostère naine (*Zostera noltei*). *Zostera marina*, la plus grande (feuilles pouvant atteindre 120 cm de long), se retrouve plutôt dans la zone infralittorale jusqu'à des profondeurs de 3-4 mètres et exceptionnellement 10 m tandis que *Zostera noltei* se développe plutôt en zone intertidale. Visuellement, *Zostera noltei* est plus petite (feuilles pouvant atteindre 25 cm de long) et présente des extrémités entaillées au bout de ses feuilles, contrairement à *Zostera marina* dont celles-ci sont arrondies (Figure 1).



Figure 1 : *Zostera noltei* en zone intertidale (gauche) et *Zostera marina* en zone subtidale (droite)

©Dugornay Olivier (2019) Ifremer

## 2 Les herbiers de zostères et les suivis européens

### 2.1 Données surfaciques et directives européennes : quels besoins ?

#### 2.1.1 La DCSMM

##### 2.1.1.1 Objectif et principe

La Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin 2008/56/CE (DCSMM) établit un cadre d'action communautaire et recommande aux États membres une approche de gestion des milieux marins fondée sur la notion d'écosystème. Le **Bon État Écologique** (BEE) est qualifié par 11 descripteurs couvrant l'ensemble des composantes biologiques et des pressions pesant sur les écosystèmes marins.

Les habitats benthiques (HB) constituent une composante du **Descripteur 1 – Biodiversité de la DCSMM** (Robert *et al.*, 2021). Pour ce descripteur, le BEE est considéré atteint lorsque : « la diversité biologique est conservée. La qualité des habitats et leur nombre, ainsi que la distribution et l'abondance des espèces sont adaptées aux conditions physiographiques, géographiques et climatiques existantes » (Annexe 1 : DCSMM : Éléments de cadrage du Bon État Écologique (BEE) des habitats benthiques (HB)).

Deux catégories d'habitats sont les éléments constitutifs des critères D6C4 et D6C5 : Les grands types d'habitats benthiques (Annexe 1) et les « Autres types d'habitats ». Les herbiers de zostères font partis de cette dernière catégorie pour laquelle une évaluation est proposée dans le cadre de la DCSMM.

##### 2.1.1.2 Évaluation du bon état écologique des herbiers marins

Les herbiers de zostères font l'objet actuellement de l'évaluation du cycle 3 de la DCSMM (2024), de manière qualitative en raison de l'absence de standard méthodologique accepté au titre de la DCSMM (Boyé *et al.*, 2022). Cette évaluation qualitative s'inspire du cadrage d'évaluation de la DHFF et permet ainsi de mobiliser des données complémentaires et des indicateurs en cours de développement tout en assurant une certaine cohérence entre les deux directives.

##### 2.1.1.3 Extension des herbiers

Pour l'atteinte du Bon État Écologique, la composante de biodiversité « Habitat benthique » repose sur deux critères primaires (Décision 2017/848/UE, version révisée) :

- **Critère primaire D6C4** : « L'étendue de la perte du type d'habitat résultant de pressions anthropiques ne dépasse pas une proportion donnée de l'étendue naturelle du type d'habitat dans la zone d'évaluation »
- **Critère primaire D6C5** : « L'étendue des effets néfastes liés aux pressions anthropiques sur l'état du type d'habitat, notamment l'altération de sa structure biotique et abiotique et de ses fonctions (par exemple, composition en espèces caractéristiques et abondance relative de celles-ci, absence d'espèces particulièrement sensibles ou fragiles ou d'espèces assurant une fonction clé, structure par taille des espèces), ne dépasse pas une proportion donnée de l'étendue naturelle du type d'habitat dans la zone d'évaluation. »

Au vu de la définition des critères, les données surfaciques sont nécessaires pour évaluer ces critères.

Sans y répondre complètement, la métrique « extension » de l'indicateur DCE « Angiospermes » pourrait alimenter les indicateurs d'Objectifs Environnementaux (OE) de la DCSMM nécessitant des données surfaciques des herbiers de phanérogames (Robert *et al.*, 2021) comme :

- D01-HB-OE05 : « Éviter la perturbation physique des herbiers de zostères (par les mouillages, engins de pêche de fond et pêche à pied) » (-ind1 et 3) ;
- D06-OE02 : « Réduire les perturbations et les pertes physiques des habitats génériques et particuliers liées aux ouvrages, activités et usages maritimes » (-ind1, 2 et 4).

## 2.1.2 La DHFF

### 2.1.2.1 Objectif et principe

La Directive Habitats Faune Flore 92/43/CEE (DHFF) est une mesure prise afin de promouvoir la protection et la gestion des espaces naturels à valeur patrimoniale, que comportent les États membres, dans le respect des exigences économiques, sociales et culturelles. Elle s'appuie sur la désignation des zones spéciales de conservation par les États membres.

L'article 17 de la DHFF prévoit que les États membres réalisent et transmettent tous les six ans une évaluation de l'état de conservation des espèces et habitats visés par cette directive. En France, ce sont plus de 300 espèces et 130 habitats à la fois en milieu terrestre et marin, qui sont évalués dans chaque région biogéographique (obligation communautaire) : quatre régions terrestres et deux marines. Le rapportage est confié à PatriNat (anciennement Service du Patrimoine Naturel (SPN) du Muséum National d'Histoire Naturelle) en partenariat avec de nombreuses structures.

Une évaluation a également lieu à l'échelle des sites du réseau Natura 2000 (obligation nationale) comportant deux types de sites :

- les zones spéciales de conservation (ZSC), définies par la DHFF,
- les zones de protection spéciale (ZPS), définies par la Directive Oiseaux 79/409/CEE.

L'évaluation de cet état de conservation, réitérée tous les six ans, inclut des éléments de diagnostics basés sur l'état présent, mais considère aussi les perspectives et évolutions futures de cet état en fonction des menaces prévisibles et évaluables. La méthode est commune à l'ensemble des États membres de l'Union européenne et repose sur un protocole et des critères utilisés pour l'évaluation de cet état de conservation selon quatre catégories : favorable (FV), défavorable inadéquat (U1), défavorable mauvais (U2) et inconnu (XX).

### 2.1.2.2 Évaluation de l'état de conservation des herbiers

Au titre de la DHFF, l'état des herbiers contribue à l'évaluation de l'état de conservation de plusieurs habitats d'intérêt communautaire, mais ne sont pas soumis à une évaluation ciblée.

L'état de conservation favorable constitue l'objectif global à atteindre et à maintenir pour tous les types d'habitats et pour les espèces d'intérêt communautaire. Il peut être décrit comme une situation où un type d'habitat (herbier) prospère (aspects qualitatifs et quantitatifs), lorsque les perspectives quant à sa structure et ses fonctions sont favorables et où les conditions géo-climatiques pour ce type d'habitat (herbiers) sont propices.

L'évaluation de l'état de conservation des herbiers repose en grande partie sur des données surfaciques à propos de leur aire de répartition naturelle (surface, tendance, aire de référence

favorable), la surface occupée (taille, tendance et surface de référence favorable) et leurs structures et fonctionnement (état de conservation des espèces typiques).

### 2.1.2.3 Extension des herbiers

À l'échelle biogéographique, comme à l'échelle des sites N2000, le critère « évolution des surfaces d'habitat » entre dans le calcul des paramètres de l'évaluation (Figure 2).

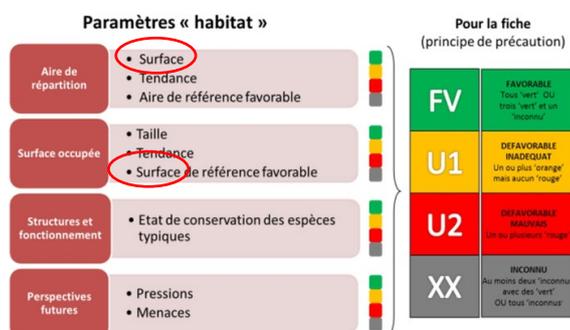


Figure 2 : Critères et paramètres d'évaluation de l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire (INPN, MNHN)

## 2.1.3 La DCE

### 2.1.3.1 Objectif et principe

Pour faciliter la mise en œuvre des suivis réalisés dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE (DCE), un découpage des eaux en unités géographiques homogènes dénommées masses d'eau a été défini. Ces masses d'eau représentent les unités de classification et de gestion de la DCE. Elles sont regroupées par bassin hydrographique.

En zone littorale, deux groupes de masses d'eau sont distingués :

- les **masses d'eau côtières** (MEC) : eau de surface comprise entre la ligne de base à terre (correspondant à la laisse de basse mer) et une distance d'un mille marin vers le large,
- les **masses d'eau de transition** (MET) : eau de surface située à proximité des 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.

Les éléments de qualité, suivis dans le cadre de la DCE au titre du contrôle de surveillance, sont les suivants :

- les éléments de qualité physico-chimique : température, turbidité, oxygène dissous au fond, nutriments et polluants spécifiques de l'état écologique (liste non définie à ce jour dans les eaux littorales de métropole),
- les éléments de qualité chimique : substances de l'état chimique,
- les éléments de qualité biologique portant sur :
  - le phytoplancton : biomasse, abondance, composition taxonomique (en cours de développement),
  - les invertébrés benthiques de substrat meuble en zone intertidale et subtidale,
  - les macro-algues : en zone intertidale et subtidale et bloom de macro-algues opportunistes,
  - les angiospermes (herbiers de *Zostera marina* et *Zostera noltei*),
  - les poissons dans les eaux de transition.

Parmi les différents indicateurs de l'élément de qualité biologique « Macrophyte », se trouve celui des « Angiospermes » (ou phanérogames marines) faisant référence aux herbiers de zostères suivis dans le cadre de la DCE pour les MEC et les MET.

### 2.1.3.2 Évaluation de l'élément de qualité « Angiospermes »

L'indicateur « Angiospermes » des côtes françaises de Manche-Atlantique a été publié en 2010 (Auby *et al.*, 2010) et intercalibré avec les indicateurs développés par d'autres États membres au sein du North East Atlantic Geographical Intercalibration Group (NEA GIG, Neto et Salas Herrero, 2018).

Le suivi des angiospermes s'appuie dans le cadre de la DCE sur un suivi stationnel annuel (Auby *et al.*, 2018) et un suivi surfacique prévu une fois par plan de gestion. Le suivi stationnel est effectué depuis 2006 (pour *Zostera noltei*) et 2007 (pour *Zostera marina*).

En Loire-Bretagne, l'indicateur s'appuie sur le suivi de deux espèces *Zostera marina* et *Zostera noltei* et est composé de trois métriques :

- 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,
- l'abondance : augmentation ou réduction de la densité ou du recouvrement par rapport à un état de référence, pour lesquelles sont calculés des EQR (Ratios de Qualité Écologique).

Un « Ecological Quality Ratio » (EQR) est attribué par métrique pour chaque espèce selon des grilles de correspondance définies. L'indicateur « Angiospermes » est calculé en moyennant les EQR obtenus pour les trois métriques et est confronté aux seuils définis pour la qualification du « statut écologique » (Tableau 1) (Auby *et al.*, 2018).

Tableau 1 : Grille d'évaluation du statut écologique selon l'EQR calculé

Statut écologique	EQR « angiospermes »
Très bon état	0,8–1,0
Bon état	0,65–0,79
Etat moyen	0,40–0,64
Etat médiocre	0,20–0,39
Mauvais état	0,0–0,19

### 2.1.3.3 Extension des herbiers

Le suivi surfacique des herbiers doit être effectué une fois par plan de gestion, soit tous les 6 ans, contrairement aux deux autres métriques dont le suivi est annuel. La valeur de l'indice « extension » est évaluée à partir du rapport entre la surface d'herbier mesurée et la valeur de référence (Tableau 2).

**Tableau 2 : Niveaux de perturbation évalués selon le pourcentage de perte par rapport aux conditions de référence**

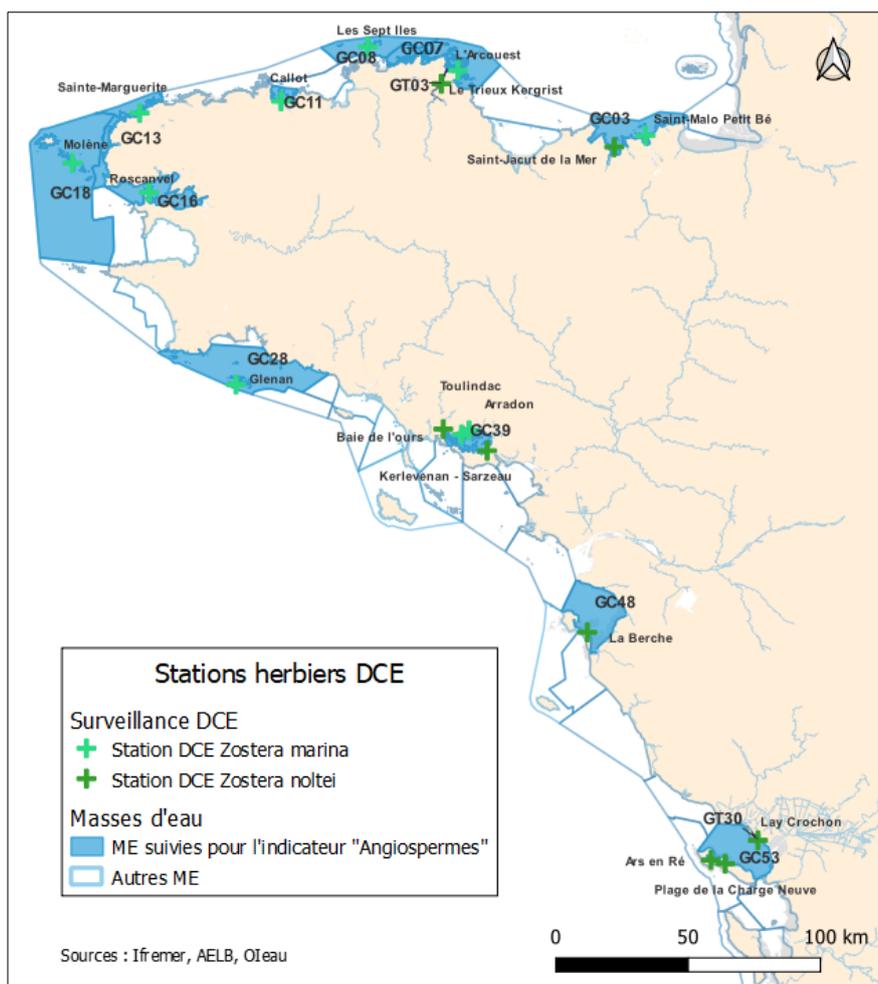
Perturbation	Modification de l'extension par rapport aux conditions de référence et EQR
Amélioration ou pas de modification visible	0% perte = 1,0, 1% perte = 0,98, 2% perte = 0,96... 10% perte = 0,80
Faibles signes de perturbation	11% perte = 0,78, 12% perte = 0,76, 13% perte = 0,74... 17% perte = 0,66
Altérations modérées	18% perte = 0,64, 22% perte = 0,58, ... 30% perte = 0,50
Altérations majeures	31% perte = 0,49, 32% perte = 0,48, ... 50% perte = 0,30
Altérations sévères	51% perte = 0,295, 52% perte = 0,290, ... 100% perte = 0,00

Les herbiers de zostères diffèrent en termes d'extension, de densité et de composition et ceci dépendamment de facteurs géographiques, édaphiques, bathymétriques et hydrodynamiques propres à chaque masse d'eau. Les valeurs de référence sont donc spécifiques à chacune des masses d'eau et correspondent au meilleur état possible des herbiers sur la période pendant laquelle on dispose d'information à propos de leur état. La définition de la valeur de référence est un point délicat pour cet indicateur car on ne dispose pas toujours de données historiques pour les trois métriques et l'historique de suivi est variable selon les masses d'eau. Pour chacune des métriques, il est convenu que la référence historique choisie soit la valeur la plus élevée recensée après la période d'épidémie « wasting disease » des années 1930 ayant décimé *Zostera marina*.

Il est important d'être attentif au niveau de confiance accordé à cet indicateur et particulièrement aux valeurs de référence, car elles peuvent changer au cours du temps.

## 2.2 Suivi DCE dans le bassin Loire-Bretagne : programmation 2020

L'herbier de *Zostera marina* est surveillé dans neuf masses d'eau côtière à raison d'une station par masse d'eau, sauf pour la GC39 « Golfe du Morbihan » qui contient deux stations de suivi. L'herbier de *Zostera noltei* est surveillé dans quatre masses d'eau côtière et deux masses d'eau de transition à raison d'une station par masse d'eau, sauf dans la GC53 « Pertuis Breton » et la GC39 « Golfe du Morbihan » qui contiennent deux stations de suivi (Figure 3).



Numéro ME	Nom ME
FRGC03	Rance-Fresnaye
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec
FRGC08	Perros-Guirec (large)
FRGC11	Baie de Morlaix
FRGC13	Les Abers (large)
FRGC16	Rade de Brest
FRGC18	Iroise (large)
FRGC28	Concarneau (large)
FRGC39	Golfe du Morbihan
FRGC48	Baie de Bourgneuf
FRGC53	Pertuis breton
FRGT03	Le Trieux
FRGT30	Le Lay

Figure 3 : Stations herbiers DCE dans les 13 masses d'eau RCS Loire-Bretagne

En 2022, les suivis stationnels de *Zostera noltei* ont été assurés par les Laboratoires Environnement Ressources de l'Ifremer, l'équipe de l'ADERA-Cohabys et par l'équipe du Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan (PNRGM). Tous les suivis stationnels des herbiers de *Zostera marina* ont été réalisés par l'équipe de l'Université Bretagne Occidentale (observatoire de l'IUEM).

Les données surfaciques utilisées en Loire-Bretagne pour renseigner la métrique « extension » sont anciennes. La période d'acquisition pour le calcul de l'indicateur pour la période 2015-2020 varie entre 2002 et 2020 à l'échelle du bassin. Il existe donc un réel besoin de mise à jour des données surfaciques afin de renseigner l'état écologique tel qu'exigé par les différentes directives. De plus, les méthodes d'acquisition de données utilisées jusqu'à présent sont hétérogènes, rendant difficile la comparaison interannuelle et inter-sites.

### 3 Rappel des principaux supports et méthodes utilisés pour la cartographie des herbiers

#### 3.1 Schéma simplifié du processus de cartographie

Dans la suite du document, des termes spécifiques sont utilisés pour désigner les différents outils/processus permettant d'aboutir à la cartographie finale. Les **plateformes** se réfèrent aux engins (satellite, avion, drone, bateau) sur lesquels peuvent être disposés différents types de **capteurs** (hyperspectraux, multispectraux, acoustiques) permettant l'acquisition du **support de numérisation**. La **méthode de numérisation** (photo-interprétation, classification automatique) appliquée à ce support permet d'obtenir la cartographie finale. Enfin, la **vérité terrain** est indispensable pour l'entraînement de l'algorithme (dans le cas d'une classification automatique) mais aussi pour valider la cartographie issue de la numérisation (Figure 4).

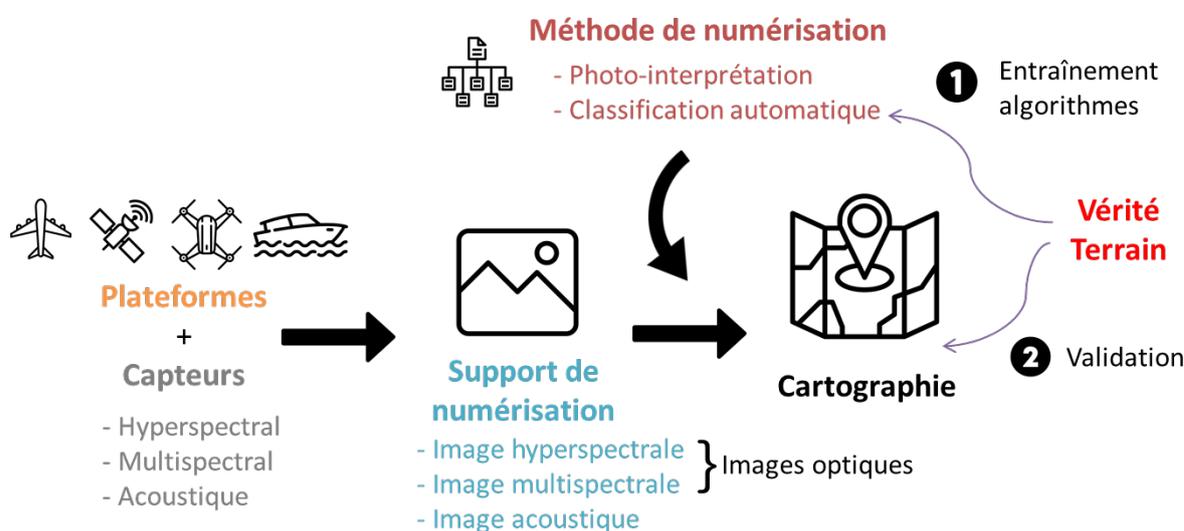


Figure 4 : Schéma simplifié du processus de cartographie, de l'acquisition des données à la cartographie finale

#### 3.2 Supports de numérisation disponibles

##### 3.2.1 Image hyperspectrale

L'imagerie hyperspectrale permet d'obtenir une image, dans le domaine du visible à l'infrarouge (IR), par des enregistrements simultanés dans plusieurs centaines (voire des milliers) de bandes spectrales étroites (< 10 nm) et rapprochées (spectre continu). Ce type d'image offre un très grand nombre d'informations avec un niveau d'information plus riche qu'avec du multispectral. En fonction de la turbidité de l'eau, ce type d'imagerie peut être en mesure de capter des informations jusqu'à une profondeur d'environ 10 m selon la clarté de l'eau (Bajjouk *et al.*, 2019). Les capteurs pouvant fournir ce type d'images peuvent être disposés sur des avions, des drones ou des satellites (Figure 5) ou encore sous forme de capteurs déployables *in situ*.

Ce type d'imagerie permet de caractériser avec plus de précision les objets d'une scène en permettant, selon leur composition chimique, la reconnaissance des propriétés spécifiques de leurs signatures spectrales telles que la position des pics d'absorption. Leur amplitude peut

également renseigner sur la quantité (ou la concentration) des constituants. Enfin, la forme générale du spectre peut fournir des indications sur les propriétés physiques de la surface (granulométrie, rugosité, humidité, etc.).

L'imagerie hyperspectrale permet ainsi d'améliorer considérablement la capacité à discriminer et classer les objets d'une scène et permet d'augmenter le nombre de classe dans la nomenclature.

Une scène acquise en mode hyperspectral permettra donc d'effectuer une analyse approfondie.

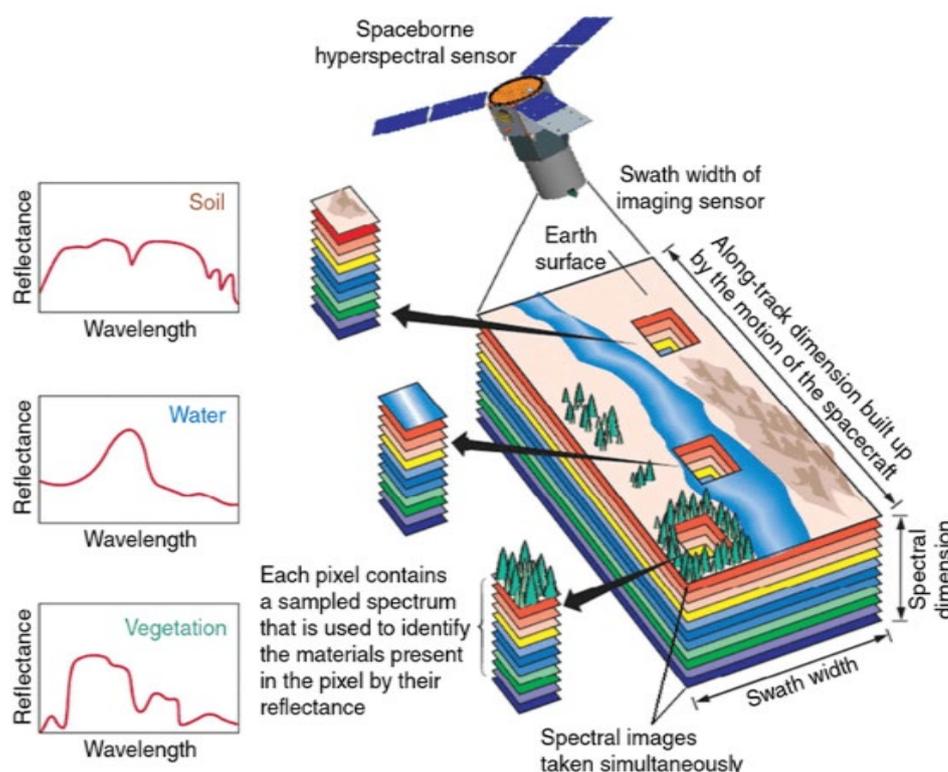


Figure 5 : Schéma d'acquisition d'images hyperspectrales du sol, de la végétation et de l'eau par satellite (Khan *et al.*, 2018)

### 3.2.2 Image multispectrale

Les images multispectrales sont obtenues par des enregistrements simultanés sur plusieurs bandes spectrales de longueurs d'onde différentes et n'étant pas nécessairement limitrophes. Ces images sont issues de capteurs multispectraux pouvant être disposés sur des drones, des avions et des satellites (Bajjouk *et al.*, 2019).

#### 3.2.2.1 Plateforme satellite

Plusieurs capteurs multispectraux disposés sur des satellites ont été utilisés dans le monde pour la cartographie de zostères : Sentinel-2 et Worldview-3 en Australie (Kovacs *et al.*, 2018), Spot 6&7 au Canada (Wilson *et al.*, 2019), puis Doves, Pléiades (Curti *et al.*, 2021) et Sentinel-2 (Zoffoli *et al.*, 2020 et 2021) sur les côtes atlantiques françaises (Tableau 3).

Les satellites Worldview-2 et 3 (NASA) proposent des images multispectrales sur 8 bandes de très haute résolution (31 ou 46 cm) au prix de 26,5 €/km<sup>2</sup> (en moyenne) pour l'acquisition de nouvelles images.

Malgré une meilleure résolution spatiale en mode panchromatique (31-46 cm), et spectrale en mode multispectral (1,24-1,84 m) par rapport aux autres satellites, l'algorithme permettant de fusionner ces images est encore à l'étude.

Les satellites Pléiades (CNES) proposent des images multispectrales sur 4 bandes avec une résolution spatiale de 2 m (en multispectral) ou 0,5 m en pansharpened (produit fusionné avec le mode panchromatique). L'acquisition de ces images est gratuite (avec un quota) pour les institutionnels et peut être programmée (date, conditions requises) en faisant la demande au CNES. Les satellites Spot 6&7 (CNES) proposent des images multispectrales sur 4 bandes avec une résolution spatiale de 6 m ou 1,5 m (produit fusionné) à 4,77 €/km<sup>2</sup>.

Les satellites Dove (Planet Labs) proposent des images multispectrales sur 4 à 5 bandes et d'une résolution spatiale de 3 m à 1,81 €/km<sup>2</sup>.

Enfin, les satellites Sentinel-2 (ESA) proposent des images multispectrales à différentes résolutions spatiales (**10, 20, 60 m** selon les bandes). 4 bandes spectrales sont disponibles pour la résolution de 10 m. L'accès à ces images est gratuit sur le site de Copernicus.

**Tableau 3 : Récapitulatif non exhaustif des capteurs utilisés pour la cartographie des zostères dans le monde (PIR = Proche Infra Rouge)**

	Worldview-3	Worldview-2	Pléiades	Spot 6&7	Planet (DOVEs)	Sentinel 2		
<b>Panchromatique</b>	0,31 m	0,46 m	50 cm 1 bande (noir et blanc)	1,5 m	x	x		
<b>Multispectral</b>	1,24 m 8 bandes	1,84 m 8 bandes	2 m 4 bandes (B, V, R, PIR)	6 m 4 bandes (B, V, R, PIR)	3 m 4 à 5 bandes	10 m 4 bandes	20 m 6 bandes	60 m 3 bandes
<b>Pansharpened</b>	Études en cours		Produit fusionné 0,5 m 4 bandes	Produit fusionné 1,5 m 4 bandes	x	x		
<b>Revisite</b>	≈ 1 jour		1 jour	1-3 jours	1 jour	5 jours		
<b>Heure de passage</b>	13h30 à l'équateur		10h30 (FR)	Entre 10h et 11h (FR)		Entre 11h et 11h30 (FR)		
<b>Accessibilité</b>	16,5 €/km <sup>2</sup> en moyenne pour les archives et 26,5 €/km <sup>2</sup> en moyenne pour de nouvelles images		Gratuit pour les institutionnels	4,77 €/km <sup>2</sup>	1,81 €/km <sup>2</sup>	Gratuit sur Copernicus		
<b>Sources</b>	<a href="https://www.esa.int/">https://www.esa.int/</a>					<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>		

### 3.2.2.2 Plateforme avion

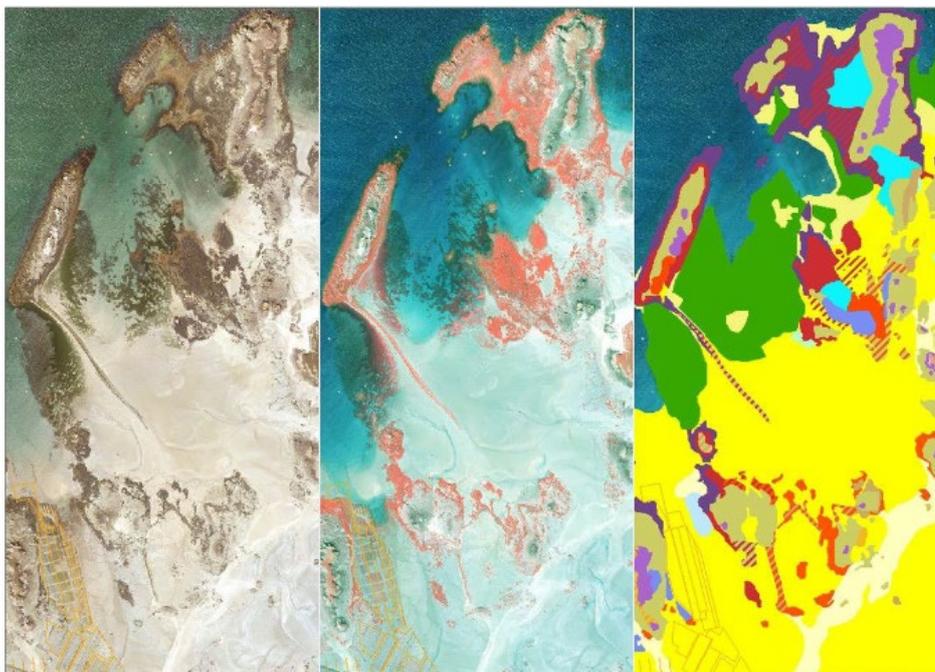
Le Ministère en charge de l'environnement finance la production des Ortholittorales (actuellement V3), disponibles sous formes de mosaïques géoréférencées gratuitement en RVB (Rouge, Vert, Bleu) et PIR (proche infra-rouge) à la résolution spatiale de 50 cm (Figure 6) (Cerema, 2018).

Les spécificités techniques des Ortholittorales sont les suivantes :

- une acquisition à marée basse en période de grande marée (hauteur d'eau < 1 m),

- une couverture nuageuse nulle,
- une résolution spatiale d'au moins 0,5 m,
- une version en vraies couleurs et une version en infra-rouge couleur,
- une acquisition des images entre fin mars et octobre (en raison de la présence des grandes marées d'équinoxe et de l'angle solaire de 20°) sur un délai le plus court possible.

Elles offrent également la possibilité d'automatiser le traitement de l'image dans les secteurs sans discontinuités radiométriques.



**Figure 6 : Cartographie des habitats benthiques (à droite) avec les algues et zostères (en rouge) sur un secteur de l'archipel des Ebihens (22) à partir de l'Ortholittorale V2 comme support de référence en RVB (à gauche) et en IRC (au centre) (extrait de Cerema, 2018)**

### 3.2.2.3 Plateforme drone

Les drones aériens peuvent être très utiles pour l'acquisition de données surfaciques et des vérités terrain. Il est également possible de générer des orthomosaïques seulement si les conditions météorologiques sont bonnes (pas de vent, ni de pluie), mais la surface couverte lors d'une seule marée peut ne pas être suffisamment importante (de l'ordre de 10 à 12 ha) (Rigouin *et al.*, 2022). La précision et la qualité de l'image dépendent du recouvrement de chaque photo prise. Ce recouvrement se fait lors du passage du drone qui suit un chemin de façon que les photos prises aient une zone commune (70 à 80 % en général) pour pouvoir ensuite trouver des correspondances et assembler toutes les images en une seule. Plus le recouvrement est grand et la hauteur de vol basse, plus l'image est de qualité et précise (de l'ordre du centimètre) et plus le temps d'acquisition est long car le nombre d'aller et retour est important.

Les drones peuvent avoir différents capteurs (RVB, IR, multi ou hyperspectral, Lidar, etc.). La durée d'une batterie est d'environ 20 min de vol et sa mise en œuvre est assez simple et peu coûteuse. Les images multi-spectrales issues des drones sont analysées par leur texture, et chacune d'entre elles est ensuite utilisée comme une bande spectrale par l'algorithme (Rigouin *et al.*, 2021).

### 3.2.3 Image acoustique

Les images acoustiques peuvent être obtenues à partir de sonar à balayage latéral utilisant les propriétés de rétrodiffusion acoustique des fonds marins (Bajjouk *et al.*, 2019 ; Noel *et al.*, 2017). Le sonar émet une onde acoustique brève se déplaçant dans l'eau et atteignant le fond et dont les échos sont enregistrés et juxtaposés ligne après ligne afin de former l'image (sonogramme) représentant la nature du substrat (Figure 7).

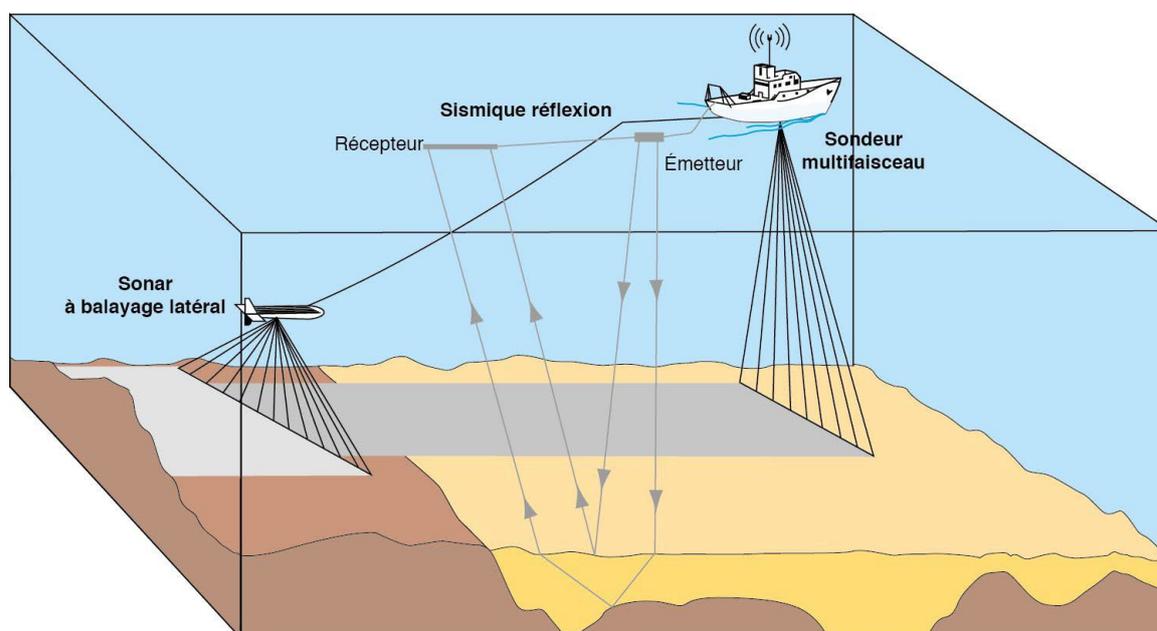


Figure 7 : Principe du sonar à balayage latéral (Ifremer)

Cette image est codée en 256 niveaux de gris selon deux facteurs : les propriétés du sédiment (qui déterminent la réflectivité) et l'allure du fond (topographie).

Ce type de support est recommandé pour la cartographie des herbiers profonds ou lorsque la turbidité est assez importante.

## 3.3 Méthodes de numérisation

### 3.3.1 Classification automatique

La classification automatique est un procédé algorithmique visant à segmenter l'ensemble d'une image en plusieurs familles de pixels ayant des propriétés communes (similarité spectrale et/ou spatiale), identifiant ainsi une ou plusieurs zones présentant des caractéristiques biophysiques ou contextuelles propres (Congedo L., 2021).

Deux approches sont généralement possibles : la classification supervisée et la non supervisée.

La classification supervisée, la plus utilisée, consiste en l'identification, par l'analyste, d'échantillons assez homogènes de l'image et représentatifs de différents types de surfaces (cultures, forêts, ...) sous forme de classes d'information. Ces échantillons servent de base à l'algorithme qui va identifier la signature spectrale de chaque classe d'information et ensuite associer chaque pixel de l'image à la classe avec laquelle il est le plus proche. Il s'agit donc d'abord d'une identification des classes d'information, utilisées ensuite pour définir les classes spectrales qui les représentent.

A *contrario*, les algorithmes de classification non supervisée segmentent l'image, sans connaissance a priori, en classes de caractéristiques spectrales homogènes et dont le nombre est spécifié par l'utilisateur. Il s'agit d'un processus itératif permettant de regrouper ou séparer les pixels de l'image selon des paramètres relatifs à la distance entre les classes et la variance à l'intérieur d'une même classe. Les différentes classes ainsi créées sont par la suite associées à des classes d'information.

La classification automatique est également utilisée sur les images acoustiques.

### 3.3.2 Photo-interprétation

La photo-interprétation est l'interprétation visuelle d'une photographie aérienne effectuée par un(e) analyste dans le but d'identifier des points, lignes ou surfaces (ici surfaces d'herbiers).

D'abord très utilisée sur les photographies aériennes et pour les images acoustiques, cette méthode est aussi utilisable sur les images satellite multispectrales.

Différentes techniques existent, mais l'interprétation est soumise à la subjectivité de l'œil humain et les résultats peuvent donc différer selon l'opérateur (Bajjouk *et al.*, 2019). De plus, la qualité de la cartographie dépend également de la qualité radiométrique du support utilisé.

## 3.4 Vérité terrain

Quels que soient le support et la méthode de numérisation utilisés, la vérité terrain (données *in situ*) est indispensable dans le processus d'inventaire cartographique puisqu'elle permet la calibration des traitements appliquées (algorithmes, méthode de classification, etc...) sur le support de numérisation, mais aussi la validation de la cartographie en évaluant la précision des résultats de la classification.

S'agissant des herbiers marins, plusieurs outils peuvent être utilisés pour collecter des données de vérité terrain:

- sur l'estran : prélèvements ou mesures sur quadrats, relevés GPS/dGPS,
- en mer : lunette de Calfat, plongée, vidéo tractée ou photo sous-marine, relevés GPS/dGPS (GPS différentiel),
- en observations aéroportées : vol de drone à très basse altitude pour permettre la reconnaissance des espèces.

## 4 Éléments de cadrage pour la mise à jour de la cartographie des herbiers

### 4.1 Synthèse des données disponibles

#### 4.1.1 Collecte des données cartographiques et métadonnées associées

Afin de collecter les données disponibles, 47 personnes réparties dans 36 structures différentes ont été contactées.

La collecte des données (shapes, métadonnées et rapports associés) a été réalisée auprès de l'OFB<sup>1</sup> (géomaticiens, AMPs) et différents acteurs locaux : 26 SAGE<sup>2</sup>, trois Universités (Nantes, La Rochelle, Brest), une agglomération (Saint-Malo), le conservatoire du littoral, deux DREAL<sup>3</sup> (Bretagne et Pays de la Loire), un bureau d'étude (I Sea), le CEVA<sup>4</sup>, ainsi qu'auprès de laboratoires de l'Ifremer. Le travail de compilation cartographique réalisé par Aurélien Schmitt (OFB) sur les habitats particuliers dans la cadre du projet Marha (MarineHabitats) piloté par l'OFB a largement alimenté cette collecte de données.

Cette collecte permet (i) de dresser un état des lieux des suivis effectués sur les différents herbiers de zostères de chacune des masses d'eau sur les vingt dernières années et (ii) de comparer les différentes méthodologies utilisées. Elle a également permis de rassembler les données surfaciques les plus récentes pour 11 masses d'eau (sur 13). Les données devront être validées pour être utilisées pour le calcul de l'indicateur « Angiospermes ».

**Tableau 4 : Bilan des données disponibles à l'échelle du bassin Loire-Bretagne**

Nombre de Masses d'Eau RCS	Nombre ME suivies pour indicateur Angiospermes	Nombre de ME avec données disponibles	Nombre de ME RCS suivies dont actualisation DCE
25 MEC	11	22/25	9/11
16 MET	1 + 1 non RCS	11/16 + 1 non RCS	2/2

Au vu des données les plus récentes, un bilan du suivi pour chacune des espèces de zostères a été dressé dans les masses d'eau RCS (annexe 2). Ce bilan nous a permis d'identifier les herbiers non suivis à ce jour.

Pour *Zostera marina*, neuf masses d'eau RCS sont suivies par au moins une station DCE pour l'indicateur « Angiospermes » sur 24 masses d'eau RCS où *Z. marina* est présente.

Pour *Zostera noltei*, six masses d'eau RCS sont suivies par au moins une station DCE HZN pour l'indicateur « Angiospermes » sur 25 masses d'eau RCS où *Z. noltei* est présente.

Le bilan détaillé des données récoltées par masse d'eau et par espèce est présenté en annexe 2.

<sup>1</sup> : Office Français de la Biodiversité

<sup>2</sup> : Schéma d'aménagement et de gestion des eaux

<sup>3</sup> : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

<sup>4</sup> : Centre d'Étude et de Valorisation des Algues

#### 4.1.2 Bilan des supports et méthodes de numérisation utilisés en Loire-Bretagne

À l'exception du suivi de la Baie de Bourgneuf pour lequel les images satellite disponibles depuis 1985 ont été exploitées (Zoffoli *et al.*, 2021), les photographies aériennes et les ortholittorales constituent le support de numérisation optique exclusivement utilisé pour la cartographie des herbiers de zostères jusqu'en 2016. À cette période, une réelle transition est observée pour la plateforme et le support de numérisation optique utilisés. La plateforme satellite prend le dessus sur celle de l'avion et l'imagerie proposée par Pléiades est la plus utilisée comme support de numérisation optique dans le bassin Loire-Bretagne. Huit études sur neuf, menées par des bureaux d'études, ont en effet utilisé les images multispectrales acquises par satellite comme support de numérisation. Parmi ces huit études, sept utilisent l'imagerie Pléiades.

De même, la méthode de numérisation évolue au cours du temps. D'abord exclusivement basée sur de la photo-interprétation à partir d'images optiques, la classification automatique est de plus en plus utilisée. Depuis 2016, l'usage unique de la photo-interprétation (cinq au total) a diminué passant de quatre études en 2016 à une étude en 2021. L'usage de la classification automatique seule (cinq au total) a connu une nette augmentation passant d'une étude en 2016 à trois études en 2021. Enfin, l'usage complémentaire entre ces deux méthodes de numérisation est utilisé également dans cinq études entre 2016 et 2022 de manière assez stable.

Finalement, ces six dernières années marquent un tournant pour la cartographie des herbiers de zostères dans le bassin Loire-Bretagne, non seulement sur le support optique mais aussi sur la méthode de numérisation utilisée. Depuis, l'imagerie Pléiades et la classification automatique ont pris le pas sur les autres supports optiques et méthodes de numérisation.

#### 4.1.3 Harmonisation de l'information attributaire

Afin d'intégrer les données récoltées (couches SIG au format shape) dans une base de données qui puisse être partagée, un travail d'harmonisation des tables attributaires a été nécessaire. Ainsi, sur la base des travaux de compilation des données cartographiques d'habitats menés par l'OFB (A. Schmitt, communication personnelle) et des recommandations de bancarisation issues du guide de cartographie des herbiers de zostères (Bajjouk *et al.*, 2019), un modèle de table attributaire a été défini (Tableau 5). En complément des métadonnées et des rapports associés, lorsque ceux-ci sont disponibles, cette table attributaire comprend les principales informations assurant une meilleure appropriation et utilisation des données.

L'ensemble des couches SIG collectées est archivé selon une nomenclature permettant d'identifier l'année, ou les années, d'acquisition (AAAA), la masse d'eau DCE concernée (Code de la ME), l'organisme auteur (producteur de la donnée), la projection géographique de la donnée SIG (ex : 2009\_GC03\_Ifremer\_I93.shp ; 2020\_GC34\_Biolittoral\_I93.shp ; 2018-2020\_GC16\_TBM\_I93.shp).

Il est recommandé de suivre ces propositions pour bancariser les futures données surfaciques qui seront acquises sur le bassin Loire-Bretagne.

Il reste à définir une solution pour une bancarisation pérenne et partagée entre l'ensemble des acteurs intéressés par ces données surfaciques.

Tableau 5 : Table attributaire des couches de cartographie des herbiers

Champ	Format	Description	Typologie
ID	Numérique (entier)	Identifiant du polygone	
Code_ME	Texte	Code de la Masse d'Eau	
Nom_ME	Texte	Nom de la Masse d'Eau	
Nom_site	Texte	Nom du site ou appellation locale	
Programme	Texte	Programme ou projet dans le cadre duquel la cartographie des herbiers a été élaborée	
Espec	Texte	Espèce de zostère cartographiée	<i>Zostera noltei</i> / <i>Zostera marina</i> / <i>Zostera sp.</i>
Substrat	Texte	Type de sédiment	à renseigner selon l'information disponible
Support	Texte	Support de numérisation	Image hyperspectrale Image multispectrale Image acoustique Photographie aérienne Orthophotographie Relevés GPS/DGPS
Date_supp	Date	Date du support de numérisation	jj/mm/aaaa
Capteur	Texte	Nom du capteur utilisé	Pléiades Planet WorldView-1/-2 Sentinel 2 Nom modèle capteur multi spectral Sonar latéral
Res_spatia	Texte	Résolution spatiale	Taille du pixel et son unité (ex. 0,5 m)
Nb_bandes	Texte	Nombre de bandes spectrales	Nombre de bandes qui constitue le support de cartographie (ex. 4 bandes s'il s'agit d'une image satellite Pléiades ; RVB et/ou IR s'il s'agit d'une Orthophoto)
Method_num	Texte	Méthode de numérisation	Classification automatique Photo-interprétation Contour GPS/DGPS
Ech_num	Texte	Échelle de numérisation dans le cas où la délimitation est faite par photo-interprétation	à renseigner quand information disponible
Com_num	Texte	Commentaires divers sur la numérisation du polygone	
Nom_aut	Texte	Prénom et Nom de l'auteur du polygone	
Org_aut	Texte	Organisme de l'auteur du polygone	
Validation	Texte	Précise si oui ou non le polygone a été validé	OUI/NON
Date_val	Texte	Date de validation (jj/mm/aaaa)	jj/mm/aaaa
Methode_val	Texte	Précise la méthode utilisée pour la validation	Observations terrain (drones, plongée, lunette de Calfat, vidéos, photos, relevés GPS/DGPS) Croisement d'informations Dire d'experts
Com_val	Texte	Commentaires divers sur la validation	
Nom_val	Texte	Prénom et Nom du valideur du polygone	
Org_val	Texte	Organisme du valideur du polygone	
Surf_m2	Numérique (décimal)	Surface du polygone (en m2)	
Surf_ha	Numérique (décimal)	Surface du polygone (en hectares)	
Org_prod	Texte	Organisme producteur de la couche de synthèse	Ifremer
Date_diff	Texte	Date de diffusion de la couche	11/2022

## 4.2 Configuration des herbiers au sein des masses d'eau Loire-Bretagne

### 4.2.1 Superficie des herbiers par ME

La superficie des herbiers pour chaque espèce est l'une des métriques utilisées par masse d'eau pour l'indicateur DCE « Angiospermes ». Celle-ci est évaluée à partir des couches cartographiques disponibles les plus récentes. Les métadonnées (rapport et informations attributaires associées) doivent être évaluées avec attention avant leur intégration dans le calcul de l'indicateur.

En cas de discordance entre les données des couches cartographiques et du rapport d'étude correspondant, la valeur du rapport a été utilisée. La source utilisée pour chaque masse d'eau est précisée dans les fiches masses d'eau ainsi qu'en Annexe 2.

### 4.2.2 Présence des espèces et leur répartition intertidale vs subtidale

La répartition (en %) de chaque espèce sur la zone intertidale et subtidale a été calculée à partir de la couche cartographique « estran » de référence du SHOM. Cette zone est délimitée par le trait de côte et le zéro hydrographique du SHOM (référéncée verticalement aux plus basses mers astronomiques) qui marque la transition vers la zone subtidale.

### 4.2.3 Caractérisation de la nature du fond

#### 4.2.3.1 Données utilisées

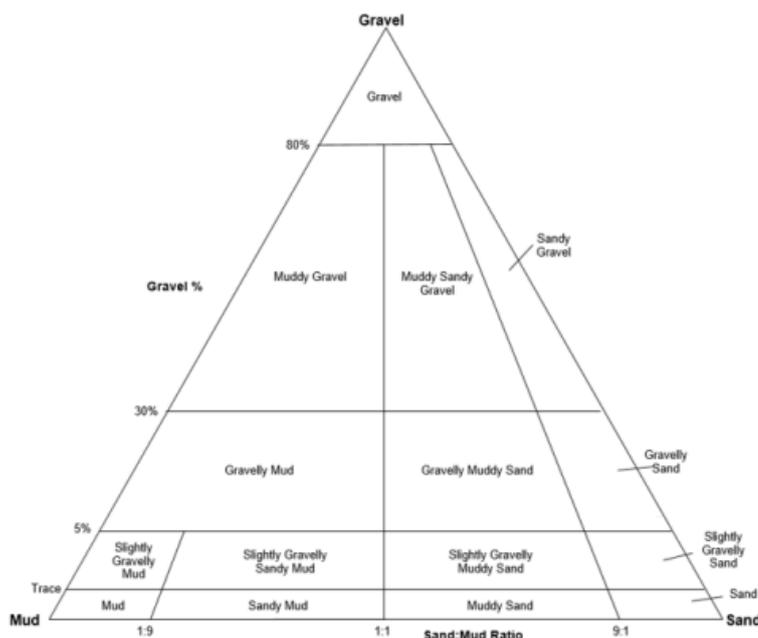
Dans le cadre du suivi DCE stationnel Herbiers, le type de sédiment est déterminé pour chaque station. Il est ainsi possible d'extraire de Quadrige<sup>5</sup> les données granulométriques acquises lors des suivis stationnels annuels. Les données inscrites dans les fiches masses d'eau s'appuient sur les données acquises en 2021.

#### 4.2.3.2 Méthode

L'analyse des résultats granulométriques s'appuie sur la procédure du programme Gradistat (Blott *et al.*, 2001) permettant d'obtenir un diagramme ternaire avec les proportions de graviers, sables et vases pour la classification texturale du sédiment selon Folk *et al.*, 1970 (Figure 8).

---

<sup>5</sup> Système d'information de référence pour les eaux littorales



*G : graviers ; sG : graviers ensablés ; gS : sables graveleux ; (g)S : sables légèrement graveleux ; S : sables ; msG : graviers vaso-sableux ; gmS : sables gravelo-vaseux ; (g)mS : sables vaseux légèrement graveleux ; mS : sables vaseux ; mG : graviers vaseux ; gM : vase graveleuse ; (g)SM : vase sableuse légèrement graveleuse ; sM : vase sableuse ; (g)M : vase légèrement graveleuse ; M : vase*

**Figure 8 : Diagramme ternaire des proportions de graviers, sables et vases (Gradistat, Blott *et al.*, 2001)**

Même si ce critère n'est pas pris en compte dans le choix du support, il peut permettre de communiquer des informations ou alerter sur la praticabilité des secteurs par les opérateurs terrain (substrat sableux ou vaseux par exemple).

#### 4.2.4 Fiches informatives par masse d'eau

Des fiches informatives sur les dernières données surfaciques des herbiers de zostères acquises à l'échelle des masses d'eau RCS suivies pour l'indicateur « Angiospermes » par la DCE dans le bassin Loire-Bretagne ont été produites (ci-après).

Les caractéristiques de chaque masse d'eau sont d'abord présentées : type de masse d'eau, superficie, marnage et port de référence. Une carte représentant les dernières données surfaciques acquises (avec les références du rapport associé) à l'échelle de chaque masse d'eau a été établie en montrant la répartition des herbiers sur l'estran et selon la bathymétrie. Les stations de suivis stationnels des herbiers suivis dans le cadre de la DCE sont également présentées.

Les Aires Marines Protégées (AMPs) concernées par la présence d'herbiers de zostères sont listées.

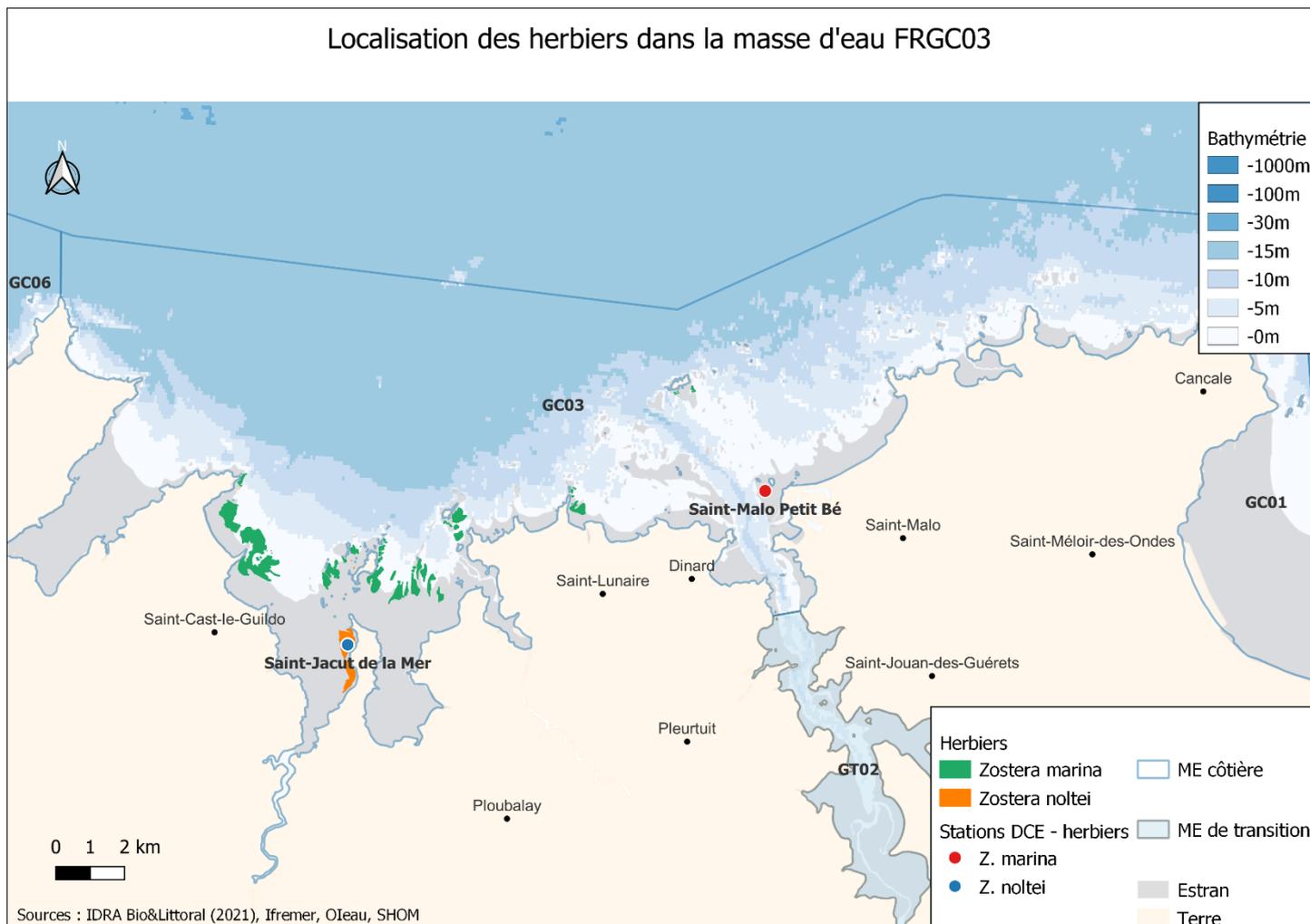
Enfin, un bilan des suivis surfaciques à l'échelle de chaque masse d'eau est établi pour chacune des espèces. Les suivis surfaciques ponctuels sur quelques herbiers sont présentés en informations complémentaires.

## FRGC03 – Rance-Fresnaye

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC03

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 22 500 ha  
 Type C 10 – Côte sableuse légèrement stratifiée  
 Marnage - 10,70 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Saint-Malo

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC03



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Saint-Jacut de la Mer	022-P-025	<i>Zostera noltei</i>	Sables graveleux-vaseux
Saint-Malo Petit Bé	021-S-084	<i>Zostera marina</i>	Sables légèrement graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Baie de Lancieux, Baie de l'Arguenon, Archipel de Saint Malo et Dinard (ZSC) ; Côte de Cancale à Paramé (ZSC) ; Cap d'Erquy – Cap Fréhel (ZSC).

## FRGC03 – Rance-Fresnaye

Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC03 :

### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2002	38,6 ha <sup>1</sup>		
<b>2002-2006</b>	<b>57 ha <sup>2</sup></b>		
2019	38,4 ha <sup>3</sup>	100 %	0 %

### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2002	234,9 ha <sup>1</sup>		
<b>2003-2007</b>	<b>284 ha <sup>2</sup></b>		
2017	107,4 ha <sup>4</sup>		
2019	225 ha <sup>3</sup>	41 %	59 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi de l'herbier à *Z. marina* de la pointe de La Varde en 2021 (0,4 ha) <sup>5</sup>

### Sources :

<sup>1</sup>: Couches SIG Rebent

<sup>2</sup>: Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

<sup>3</sup>: Idrabio & littoral (2021). Réalisation de l'inventaire et de la cartographie des habitats naturels et des espèces végétales sur la ZSC FR530012 "Baie de Lancieux, Baie de l'Arguenon, archipel de Saint-Malo et Dinard "Partie Marine" (V1), 143 p.

<sup>4</sup>: TBM (2018). Réalisation de l'inventaire et de la cartographie des habitats naturels et des espèces végétales sur une partie du SIC FR 5300011 cap d'Erquy – cap Frehel, 152 p.

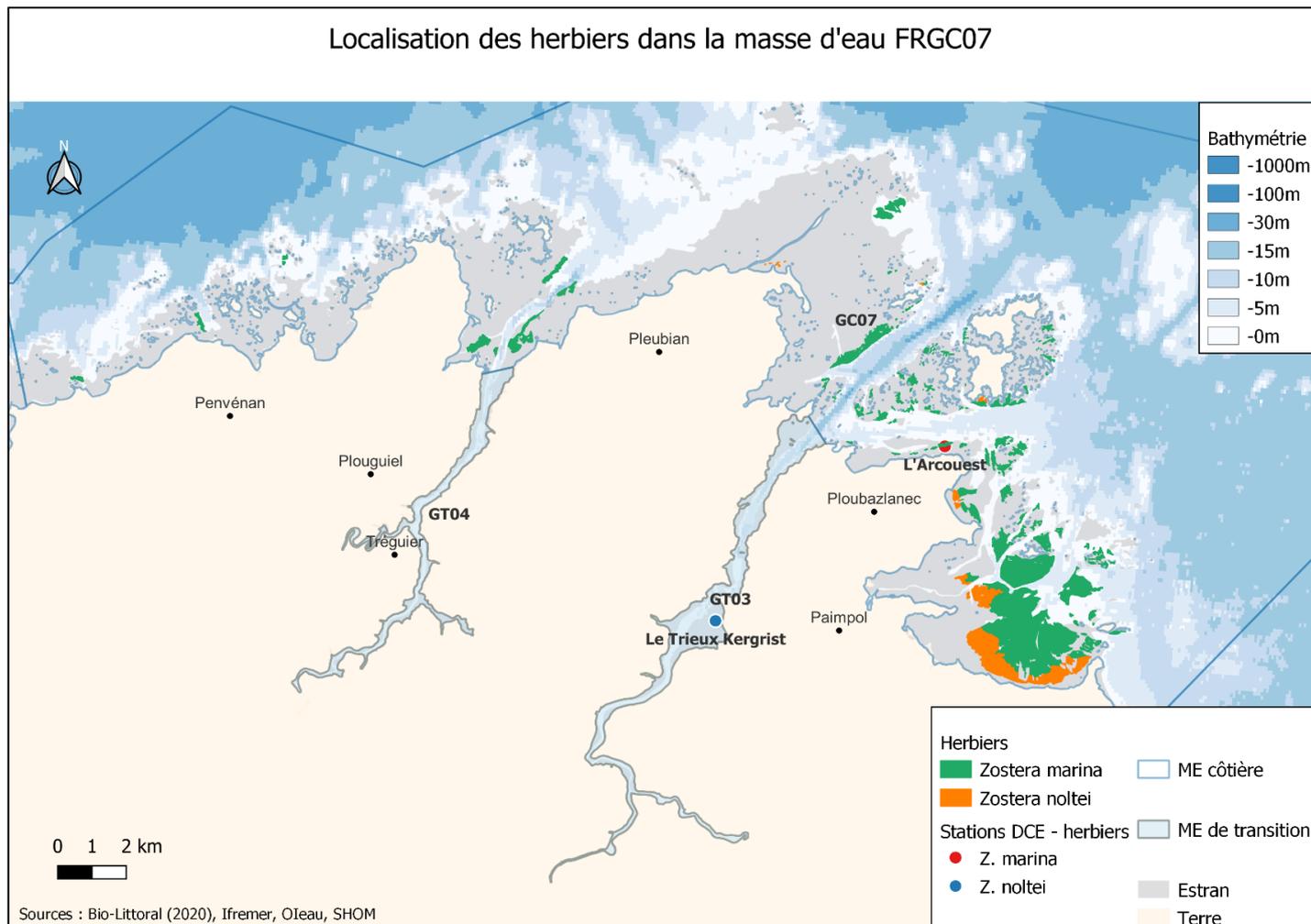
<sup>5</sup>: Planète Mer et EPHE-GEL (2021). Rapport en cours

## FRGC07 – Paimpol – Perros-Guirec

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC07

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 37 200 ha  
 Type C 1 – Côte rocheuse, méso à macrotidale, peu profonde  
 Marnage – 9,45 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Paimpol

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC07



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
L'Arcouest	027-S-050	<i>Zostera marina</i>	Sables graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Trégor Goëlo (ZSC)

## FRGC07 – Paimpol – Perros-Guirec

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC07 :

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2003-2007	157 ha <sup>1</sup>		
2007	274,7 ha <sup>2</sup>		
2019	226 ha <sup>3</sup>	99 %	1 %

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
<b>2003-2007</b>	<b>672 ha<sup>1</sup></b>		
2007	466 ha <sup>2</sup>		
2019	937 ha <sup>3</sup>	67 %	33 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi d'herbiers à *Z. noltei* en 2003 par TBM (9,8 ha)<sup>2</sup> et d'un autre en 2013 par Bio-Littoral (3,2 ha)<sup>3</sup> ; suivi d'herbiers à *Z. marina* en 2003 par TBM (51,6 ha)<sup>2</sup>, en 2013 par Bio-Littoral (32,9 ha)<sup>3</sup>

#### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

<sup>2</sup> : Couches SIG, TBM

<sup>3</sup> : Bio-Littoral (2020). Cartographie des herbiers de zostères du site Natura 2000 : Trégor Goëlo, Rapport final, 77 p.

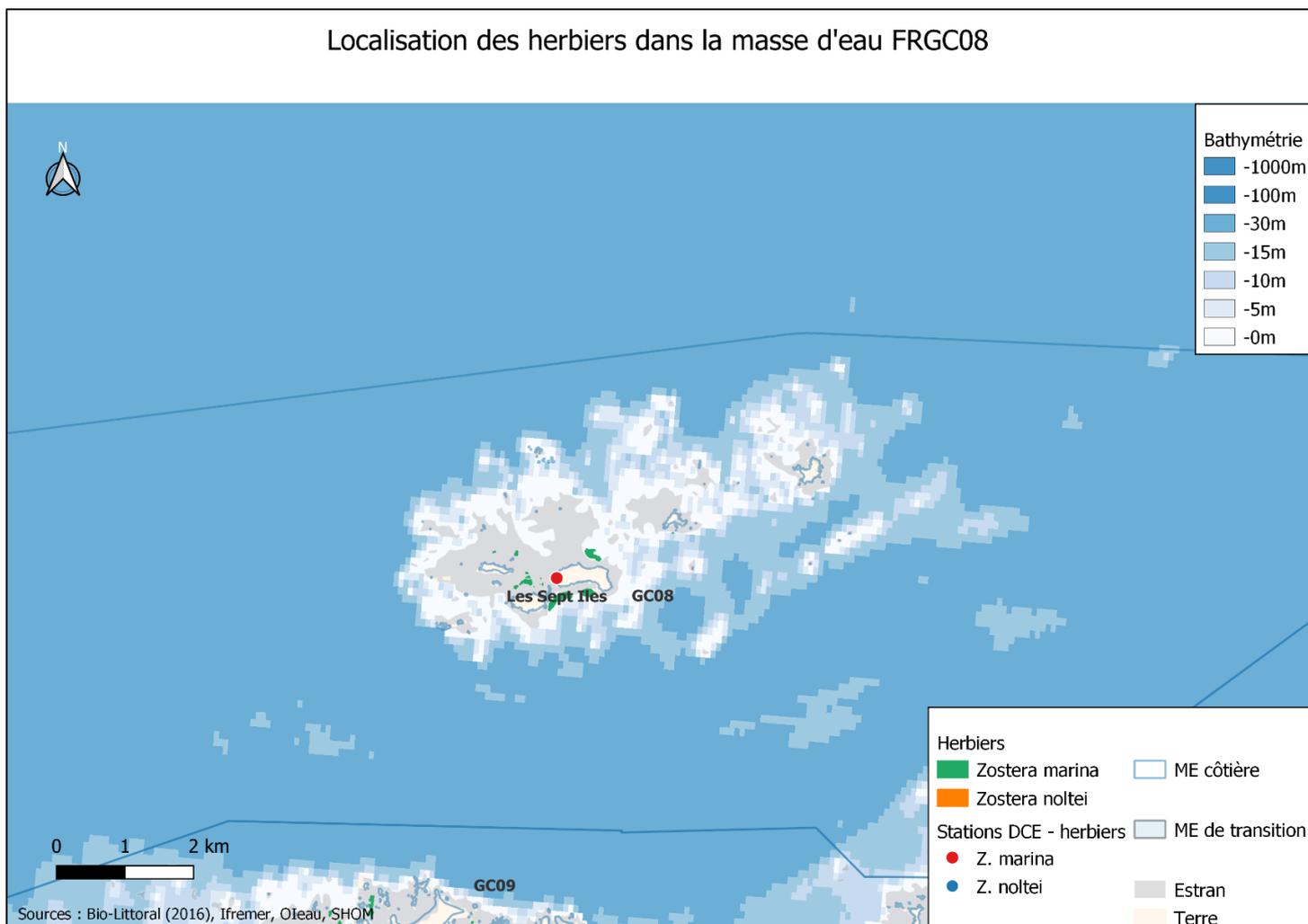
## FRGC08 – Perros-Guirec (large)

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC08

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 21 900 ha  
 Type C 15 – Côte rocheuse macrotidale profonde  
 Marnage – 7,95 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Ploumanac'h

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC08

Localisation des herbiers dans la masse d'eau FRGC08



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Les Sept Iles	031-S-009	<i>Zostera marina</i>	Graviers ensablés

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Côte de granit rose - Sept-Iles (ZSC)

## FRGC08 – Perros-Guirec (large)

Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC08 :

### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
Donnée non disponible			

### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2007	9 ha <sup>1</sup>		
<b>2013</b>	<b>2,3 ha<sup>2</sup></b>	62 %	38 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

#### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

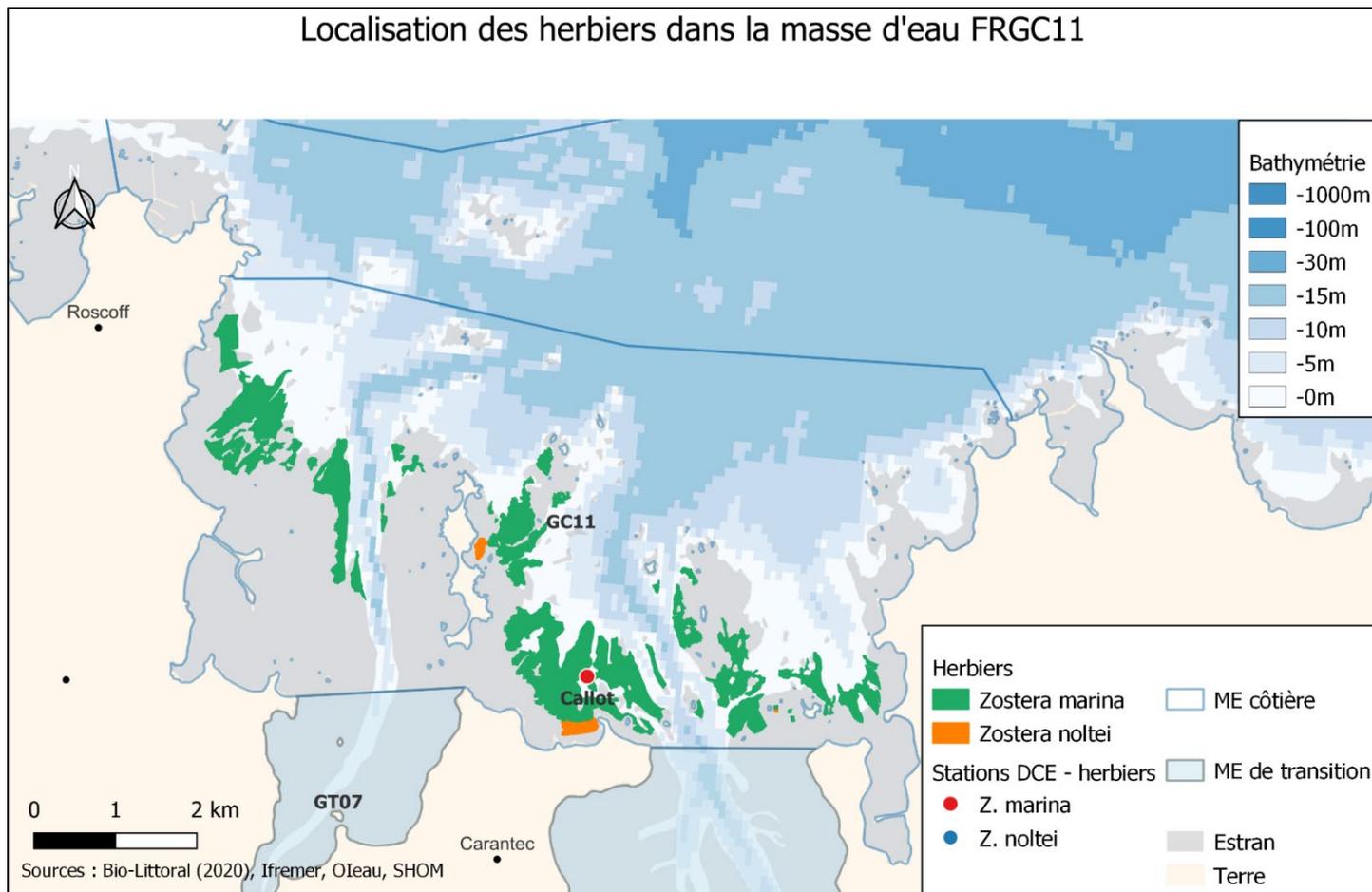
<sup>2</sup> : Harin N., Barillé A-L, Truhaus N., Oriot M., 2016 -Caractérisation des herbiers de zostères et de leur évolution sur les secteurs : Côte de granit rose – Sept-Iles, Archipel des Glénan et Roches de Penmarc'h. Rapport Bio-Littoral pour AAMP marché 2015-37, 84 p.

## FRGC11 – Baie de Morlaix

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC11

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 4500 ha  
 Type C 11 – Côte principalement sableuse macrotidale  
 Marnage – 7,6 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Roscoff

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC11



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Callot	033-S-049	<i>Zostera marina</i>	Sables graveleux-vaseux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Baie de Morlaix (ZSC)

## FRGC11 – Baie de Morlaix

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC11 :

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2002	6,3 ha <sup>1</sup>		
2004-2007	6 ha <sup>2</sup>		
2008	1 ha <sup>3</sup>		
2019	10 ha <sup>4</sup>	100 %	0 %

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2002	288,3 ha <sup>1</sup>		
<b>2004-2007</b>	<b>234 ha <sup>2</sup></b>		
2005	186 ha <sup>5</sup>		
2008	198,8 ha <sup>3</sup>		
2011	171,8 ha <sup>6</sup>		
2019	386,7 ha <sup>4</sup>	45 %	55 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi d'un herbier à *Z. marina* en 2011 par Ifremer (11,7 ha)<sup>7</sup>

#### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

<sup>2</sup> : Alloncle N. (2005). Evolution récente des herbiers de *Zostera marina* en Bretagne, Approche Géomatique. Université de Perpignan, Master "Environnement et Développement durable, Biodiversité et Gestion des Ressources vivantes", LEMAR, CNRS/UBO UMR 6539. 39p. + annexe.

<sup>3</sup> : couches SIG, LEMAR

<sup>4</sup> : Bio-Littoral (2020). Cartographie des herbiers de zostères du site Natura 2000 : Baie de Morlaix, 82 p.

<sup>5</sup> : couches SIG, TBM

<sup>6</sup> : Hocer (2012). Inventaire cartographique des habitats marins du site Natura 2000 Baie de Morlaix FR5300015, 114 p.

<sup>7</sup> : Couches SIG Ifremer

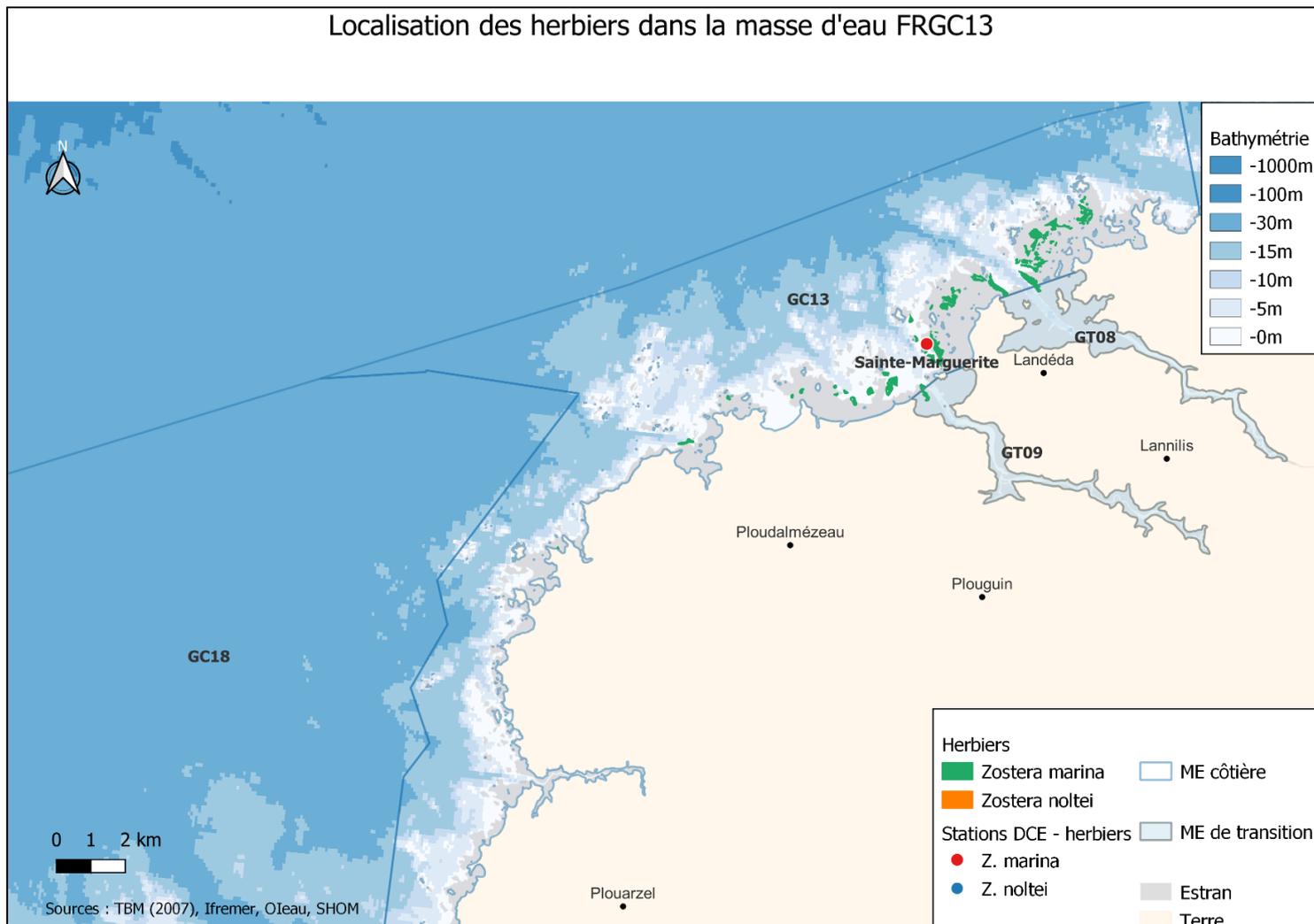
## FRGC13 – Les Abers (large)

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC13

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 18 600 ha  
 Type C 1 – Côte rocheuse, méso à macrotidale, peu profonde  
 Marnage – 6,75 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Aber-Wrac'h

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC13

Localisation des herbiers dans la masse d'eau FRGC13



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Sainte Marguerite	037-S-081	<i>Zostera marina</i>	Sables

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Abers - Côte des légendes (ZSC)

## FRGC13 – Les Abers (large)

Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC13 :

### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	4 ha <sup>1</sup>	100 %	0 %

### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	194 ha <sup>1</sup>		
2007	146 ha <sup>2</sup>		
2011	222,3 ha <sup>3</sup>	60 %	40 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi d'herbiers à *Z. marina* en 2004 par TBM (13,1 ha)<sup>4</sup>, en 2005 par TBM (8,8 ha)<sup>4</sup> et en 2009-2010 par l'IUEM (51,2 ha)<sup>5</sup>

### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

<sup>2</sup> : Couches SIG, TBM

<sup>3</sup> : Hocer (2012). Inventaire cartographique des habitats marins du site Natura 2000 Abers Côtes des Légendes FR5300017, 104 p.

<sup>4</sup> : Couches SIG TBM

<sup>5</sup> : Couches SIG IUEM

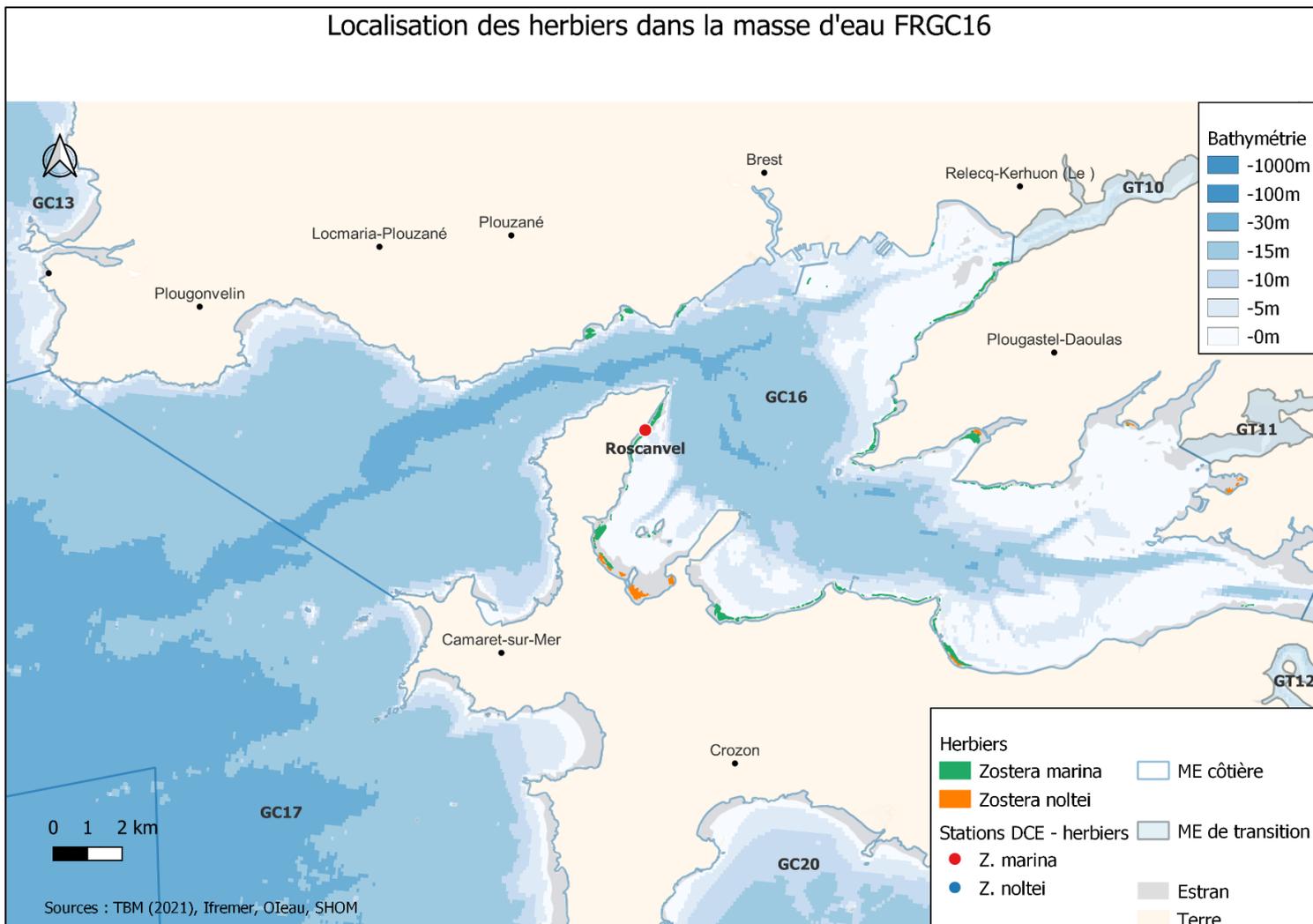
## FRGC16 – Rade de Brest

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC16

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 27 200 ha  
 Type C 12 – Côte rocheuse vaseuse abritée  
 Marnage – 5,9 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Brest

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC16

Localisation des herbiers dans la masse d'eau FRGC16



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Roscanvel	039-S-209	<i>Zostera marina</i>	Sables gravelo-vaseux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Rade de Brest (ZSC) ; Presqu'île de Crozon (ZSC)

## FRGC16 – Rade de Brest

Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC16 :

### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	17 ha <sup>1</sup>		
2018-2020	21,9 ha <sup>2</sup>	100 %	0 %

### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	64 ha <sup>1</sup>		
2007	11,3 ha <sup>2</sup>		
2009	38,2 ha <sup>2</sup>		
2010	2,6 ha <sup>2</sup>		
2018-2020	96,6 ha <sup>3</sup>	67 %	33 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi d'un herbier à *Z. marina* en 2018-2021 par Bio-Littoral (0,1 ha)<sup>4</sup>

#### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

<sup>2</sup> : Couches SIG IUEM.

<sup>3</sup> : TBM (2021). Réalisation d'une cartographie des herbiers zostères dans la rade de Brest, 196 p.

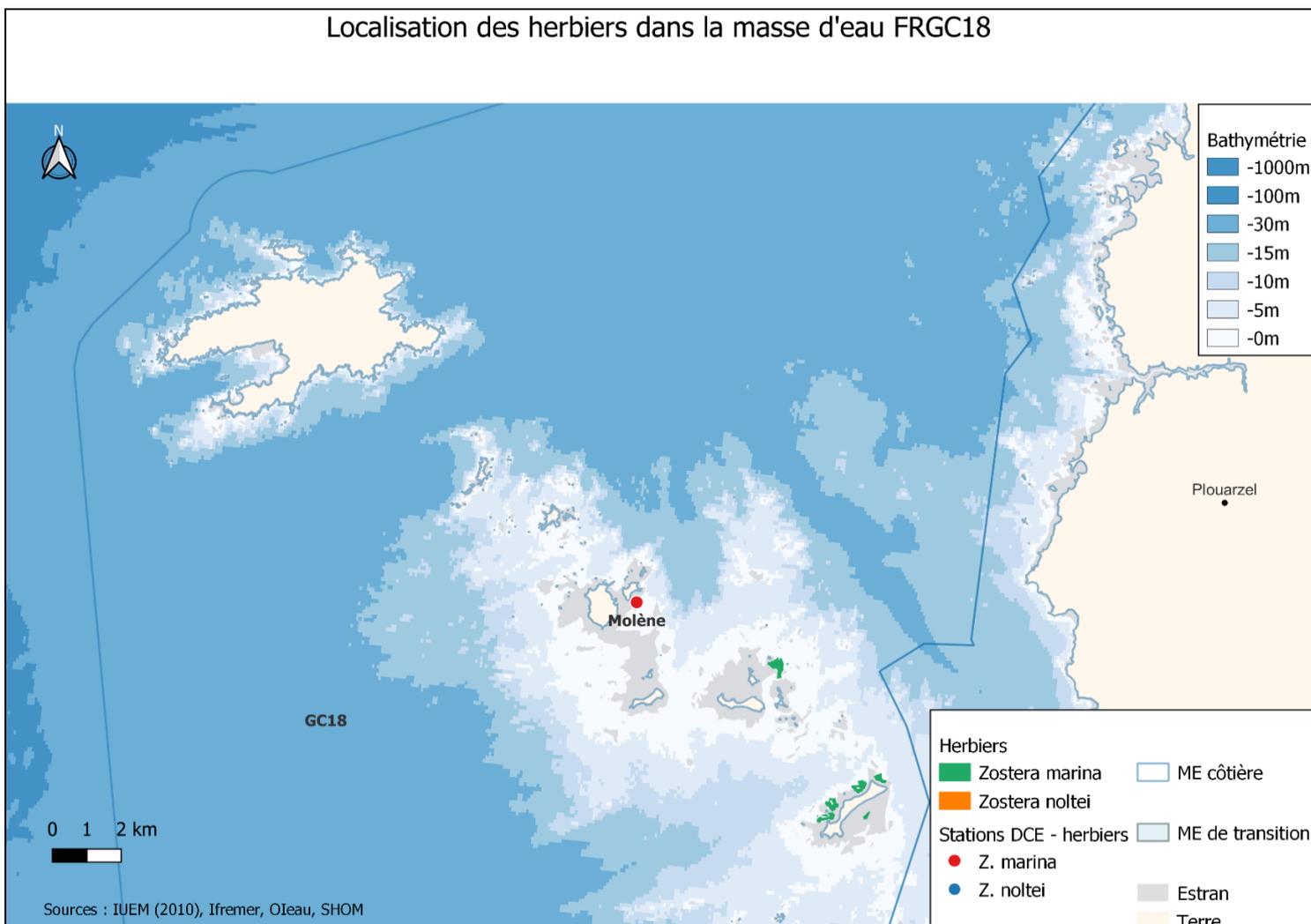
<sup>4</sup> : Bio-Littoral (2021). Cartographie du Maërl et des *Zostera marina* dans le port de Roscanvel, 36 p.

## FRGC18 – Iroise (large)

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC18

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 132 000 ha  
 Type C 2 – Masse d'eau au large, rocheuse et profonde  
 Marnage – 6,05 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Ile Molène

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC18



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Molène	037-S-082	<i>Zostera marina</i>	Sables légèrement graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Ouessant- Molène (ZSC)

## FRGC18 – Iroise (large)

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC18

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
Donnée non disponible			

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	23,8 ha <sup>1</sup>		
2005	26,3 ha <sup>2</sup>		
<b>2010</b>	<b>63,6 ha<sup>3</sup></b>	45 %	55 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi d'un herbier à *Z. marina* en 2017 par le Parc Naturel Marin d'Iroise (0,05 ha).

#### Sources :

<sup>1</sup> : Couches SIG IUEM

<sup>2</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

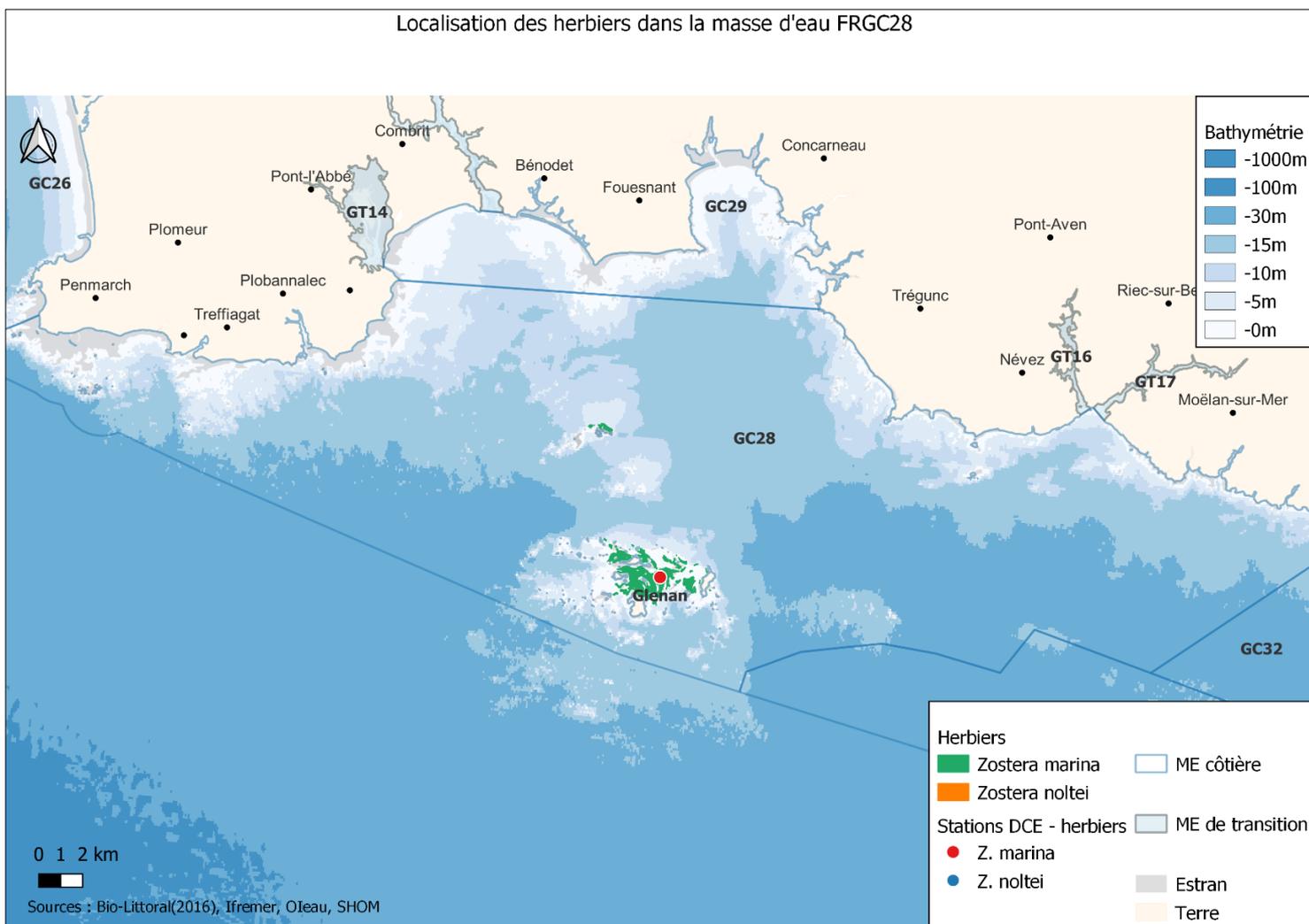
<sup>3</sup> : Lejart M., Larzillière, A., Hily C. (2010). Données collectées par : PNMI/AAMP, IUEM/UBO in « Cartographie et la caractérisation des herbiers et des champs de blocs du Parc naturel marin d'Iroise », 165 p.

## FRGC28 – Concarneau (large)

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC28

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 62 600 ha  
 Type C 14 – Côte rocheuse mésotidale peu profonde  
 Marnage – 4,25 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Penfret – îles Gléan

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC28



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Gléan	043-S-027	<i>Zostera marina</i>	Sables graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Archipel des Gléan (ZSC) ; Roches de Penmarc'h (ZSC)

## FRGC28 – Concarneau (large)

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC28

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
Donnée non disponible			

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	303,3 ha <sup>1</sup>		
<b>2016</b>	<b>316,6 ha<sup>2</sup></b>	16 %	84 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi en 2009 par l'Ifremer (37,9 ha) ; suivi en 2010-2011 par Hocer (48,6 ha)<sup>3</sup> ; suivi en 2011 par Hocer (66,5 ha)<sup>4</sup>

#### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

<sup>2</sup> : Harin N., Barillé A-L, Truhaus N., Oriot M., 2016 - Caractérisation des herbiers de zostères et de leur évolution sur les secteurs : Côte de granit rose – Sept-Iles, Archipel des Glénan et Roches de Penmarc'h. Rapport Bio-Littoral pour AAMP marché 2015-37, 84p.

<sup>3</sup> Hocer (2012). Inventaire cartographique des habitats marins du site Natura 2000 Archipel des Glénan FR5300023, 125 p.

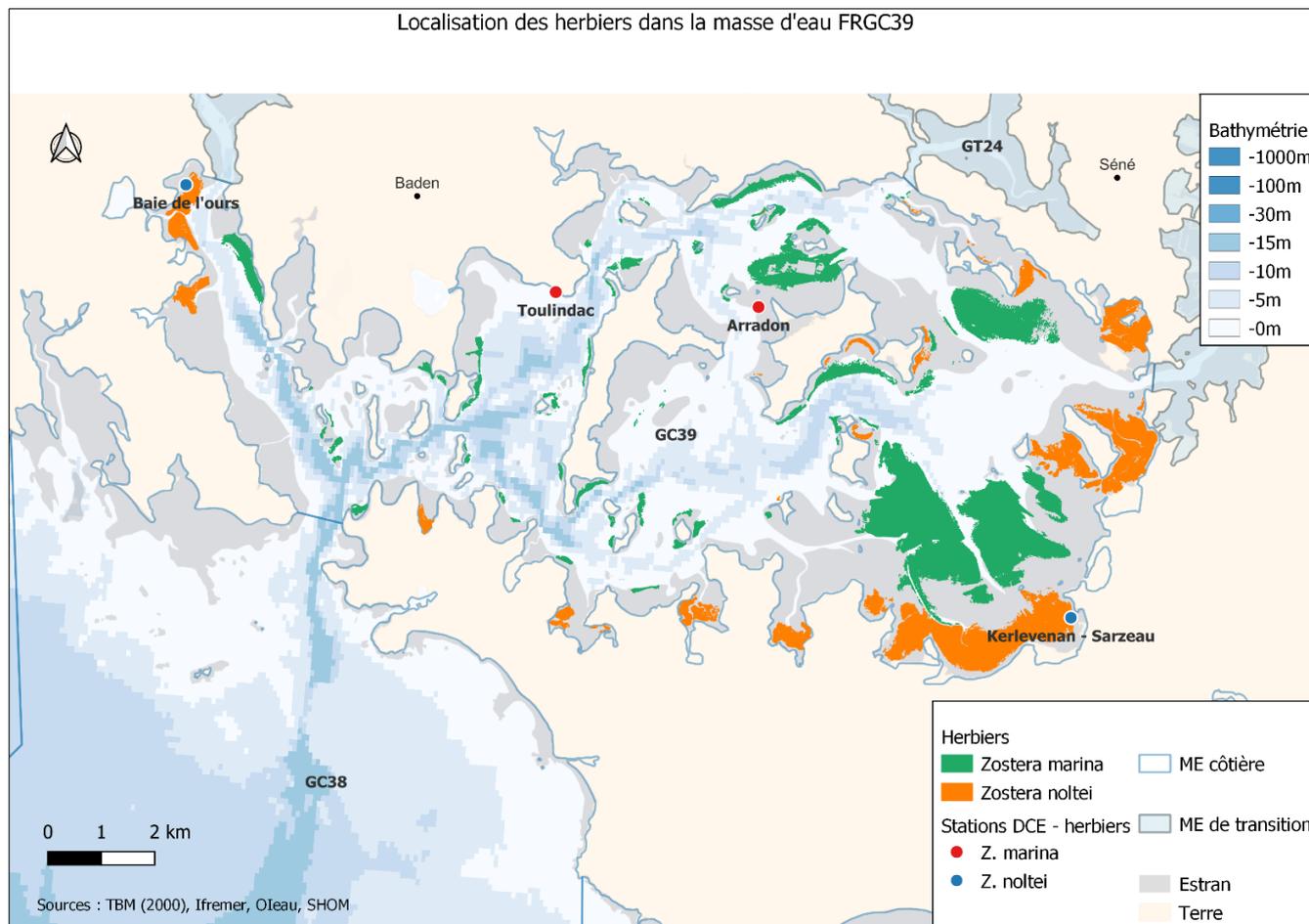
<sup>4</sup> Doré A., 2012. Cartographie et évaluation de l'état de conservation des habitats benthiques du site Natura 2000 des Roches de Penmarc'h - Volet biologique. Rapport SPN 2012/ 35, MNHN, Paris, 102 p.

## FRGC39 – Golfe du Morbihan

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC39

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 10 400 ha  
 Type C 12 – Côte vaseuse abritée  
 Marnage – 5,05 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Port Navalo

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC39



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Arradon	061-S-093	<i>Zostera marina</i>	Sables vaseux légèrement graveleux
Toulindac	061-P-106	<i>Zostera marina</i>	Sables graveleux
Kerlevenan - Sarzeau	061-P-072	<i>Zostera noltei</i>	Sables graveleux-vaseux
Baie de l'ours	060-P-049	<i>Zostera noltei</i>	Sables vaseux légèrement graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Golfe du Morbihan, côte ouest du Rhuys (ZSC)

## FRGC39 – Golfe du Morbihan

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC39

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	113,2 ha <sup>1</sup>		
2000	478,4 ha <sup>2</sup>		
2002	691,6 ha <sup>3</sup>		
2004 - 2005	533,3 ha <sup>1</sup>		
<b>2002 - 2007</b>	<b>723 ha<sup>1</sup></b>	100 %	0 %

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	792,2 ha <sup>2</sup>		
2002	987,6 ha <sup>3</sup>		
<b>2002-2007</b>	<b>1078 ha<sup>1</sup></b>	37 %	63 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi de *Z. noltei* à l'île d'Ilur en 2015 (3,9 ha)<sup>4</sup>, l'île d'Arz en 2018 (7,3 ha)<sup>5</sup>, en 2019 près de Crac'h (55,5 ha)<sup>6</sup> et près d'Arzon en 2019 (0,1 ha)<sup>8</sup> ; suivi de *Z. marina* à l'île d'Ilur en 2015 (1,3 ha)<sup>4</sup>, à Arradon en 2017 (0,6 ha)<sup>7</sup>, à l'île d'Arz en 2018 (2 ha)<sup>5</sup> et près d'Arzon en 2019 (7,3 ha)<sup>8</sup>

#### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p.

<sup>2</sup> : Couches SIG TBM (2000)

<sup>3</sup> : Couches SIG TBM (2002)

<sup>4</sup> : Couches SIG PNRGM (2015)

<sup>5</sup> : Etudes préalables pour un contrat Natura 2000 marin portant sur la mise en place de mouillages à moindres impacts.

<sup>6</sup> : COSSON, T., 2019. Surveillance DCE de la masse d'eau côtière « FR GC 39 Golfe du Morbihan » pour les herbiers de *Zostera noltei* - point de suivi stationnel complémentaire - 2019. PNRGM. 27 p.

<sup>7</sup> : ECB expertise sous-marine (2017) mise en place de mouillages innovants - Phase 1 Repérage de la présence conjointe d'herbiers à *Zostera marina* et de zones de mouillages. PNRGM. 30p. + annexes.

<sup>8</sup> : Couches SIG Mairie d'Arzon (2019)

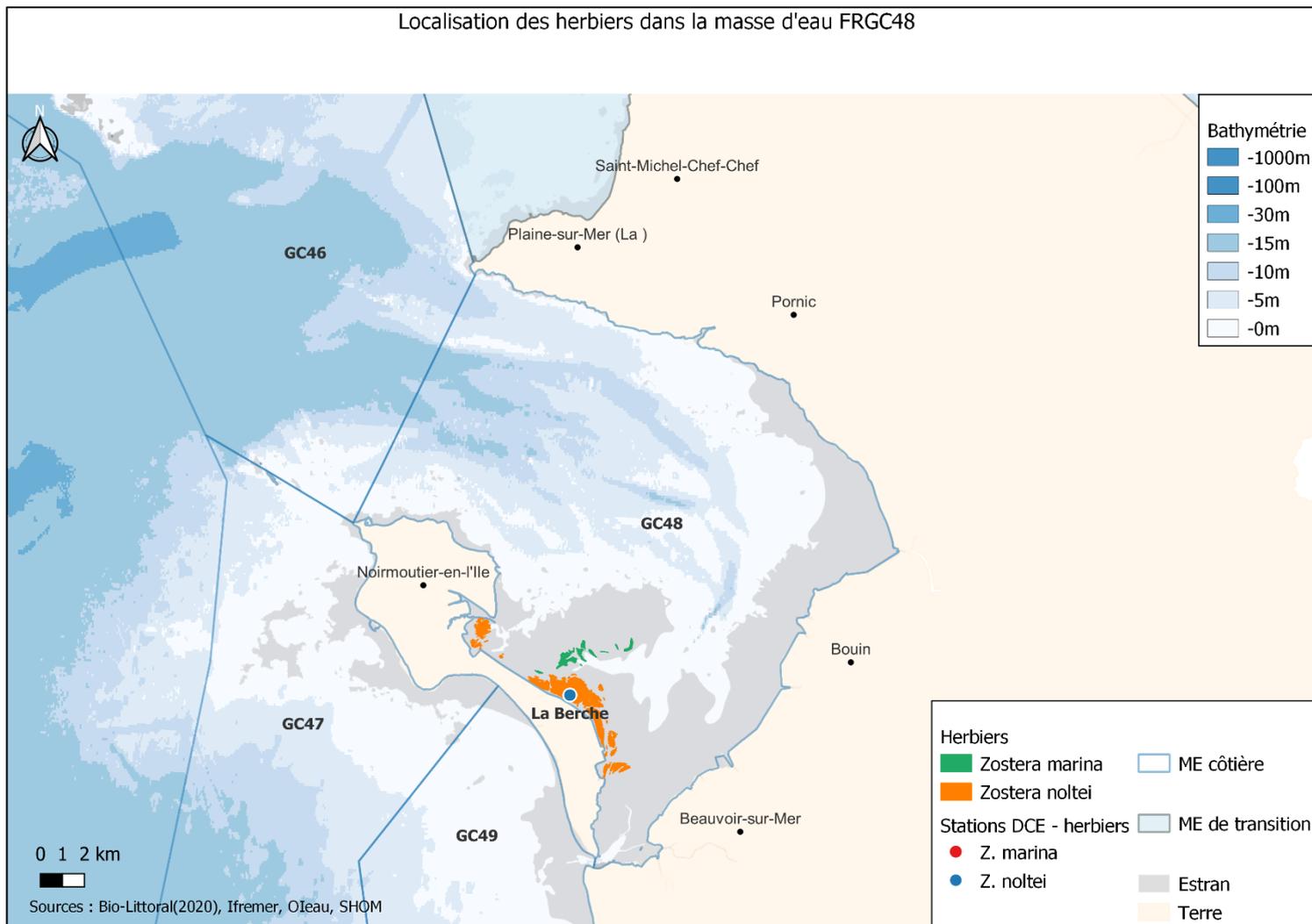
## FRGC48 – Baie de Bourgneuf

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC48

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 33 600 ha  
 Type C 3 – Côte vaseuse modérément exposée  
 Marnage – 4,8 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : L'Herbaudière (Noirmoutier)

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC48

Localisation des herbiers dans la masse d'eau FRGC48



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
La Berche	071-P-091	<i>Zostera noltei</i>	Sables vaseux légèrement graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Marais Breton, baie de Bourgneuf, île de Noirmoutier et forêt de Monts (ZSC)

## FRGC48 – Baie de Bourgneuf

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC48

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2001	578,7 ha <sup>1</sup>		
2002	769,0 ha <sup>1</sup>		
2003	415,8 ha <sup>1</sup>		
2004	432,7 ha <sup>1</sup>		
2005	614,8 ha <sup>1</sup>		
2006	476,4 ha <sup>1</sup>		
2008	305,3 ha <sup>1</sup>		
2009	307,5 ha <sup>1</sup>		
<b>2009</b>	<b>452 ha<sup>2</sup></b>		
2010	320,3 ha <sup>1</sup>		
2011	419,1 ha <sup>1</sup>		
2012	469,2 ha <sup>1</sup>		
2013	712,0 ha <sup>1</sup>		
2015	374,0 ha <sup>1</sup>		
2016	455,7 ha <sup>1</sup>		
2017	583,3 ha <sup>1</sup>		
2018	523,2 ha <sup>1</sup>		
2019	546,6 ha <sup>1</sup>		
2020	582,7 ha <sup>1</sup>		
2020	297,7 ha <sup>2</sup>	100 %	0%

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2020	49,7 ha <sup>2</sup>	98 %	2 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

#### Sources :

<sup>1</sup> : Zoffoli, M. L., Gernez, P., Godet, L., Peters, S., Oiry, S., & Barillé, L. (2021). Decadal increase in the ecological status of a North-Atlantic intertidal seagrass meadow observed with multi-mission satellite time-series. *Ecological Indicators*, 130, 108033.

<sup>2</sup> : Bio-Littoral (2021). Cartographie des habitats benthiques des sites Natura 2000 : Marais salants de Guérande, Traict du Croisic et dunes de Pen Bron (fr5200627) Marais du Mes, Baie et dunes de Pont-Mahe et étang de Pont-de-fer (fr5200626) Marais breton, Baie de bourgneuf, ile de Noirmoutier et foret de Monts (fr5200653), 56 p.

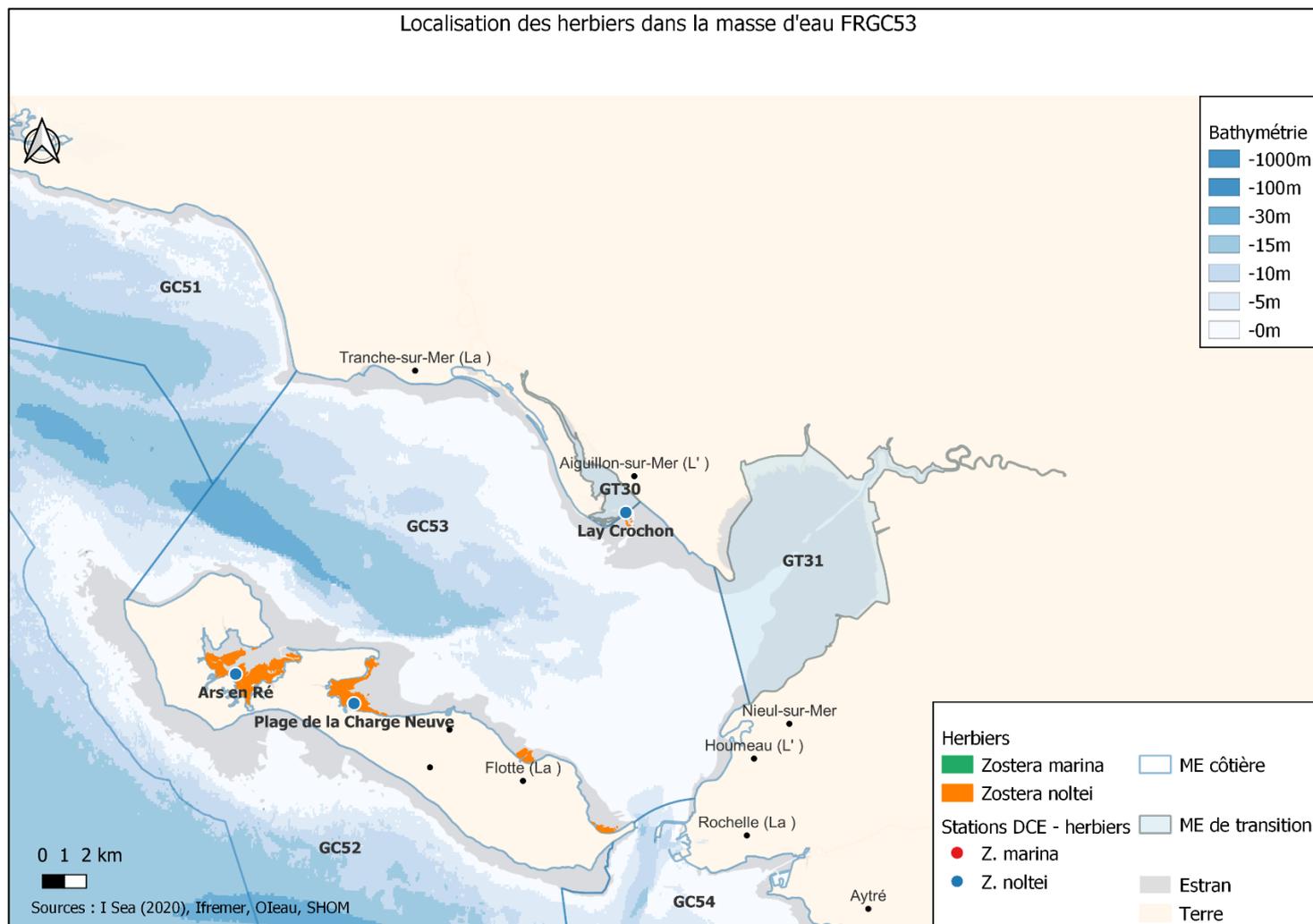
## FRGC53 – Pertuis breton

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGC53

Masse d'eau côtière (MEC) - Superficie 32 500 ha  
 Type C 3 – Côte vaseuse modérément exposée  
 Marnage – 5,05 m (Coef. 95, SHOM)  
 Port de référence : Saint Martin (Ile de Ré)

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGC53

Localisation des herbiers dans la masse d'eau FRGC53



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Ars en Ré	076-P-075	<i>Zostera noltei</i>	Sables vaseux légèrement graveleux
Plage de la Charge Neuve	076-P-058	<i>Zostera noltei</i>	Sables vaseux légèrement graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Ile de Ré : Fier d'Ars (ZSC) ; Pertuis charentais (ZSC)

## FRGC53 – Pertuis breton

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGC53

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2000	650,4 ha <sup>1</sup>		
<b>2014</b>	<b>566 ha <sup>2</sup></b>		
2020	485 ha <sup>3</sup>	100 %	0 %

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
Donnée non disponible			

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

*Informations complémentaires* : suivi d'un seul herbier de *Z. marina* en 2015 (0,005 ha)<sup>4</sup>

#### Sources :

<sup>1</sup> : Couches SIG CNRS

<sup>2</sup> : Sauriau P.-G., Aubert F., Duvar A., Pineau P., Lachaussée N. (2015). Contrôle de surveillance DCE 2014 de la masse d'eau côtière FRGC53 Pertuis Breton et de la masse d'eau de transition FRGT30 Estuaire du Lay. Rapport final : partie 2 : suivis stationnels et surfaciques des herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. CNRS - Ifremer - Agence de l'Eau Adour Garonne, La Rochelle, Contrat de prestations Ifremer 2014 n° 5 50528230: 62 p.

<sup>3</sup> : 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 p.

<sup>4</sup> : Sauriau P.-G., Aubert F., Pineau P., Plumejeaud-Perreau C. (2016). Contrôle de surveillance DCE 2015 de la masse d'eau côtière FRGC53 Pertuis Breton et de la masse d'eau de transition FRGT30 estuaire du Lay. Rapport final : suivis stationnels des herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. CNRS - Ifremer - Agence de l'Eau Adour Garonne, La Rochelle, Contrat de prestations Ifremer 2015 5 5052 8224, 76 p.

## FRGT03 – Le Trieux

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGT03

Masse d'eau de transition (MET) - Superficie 800 ha

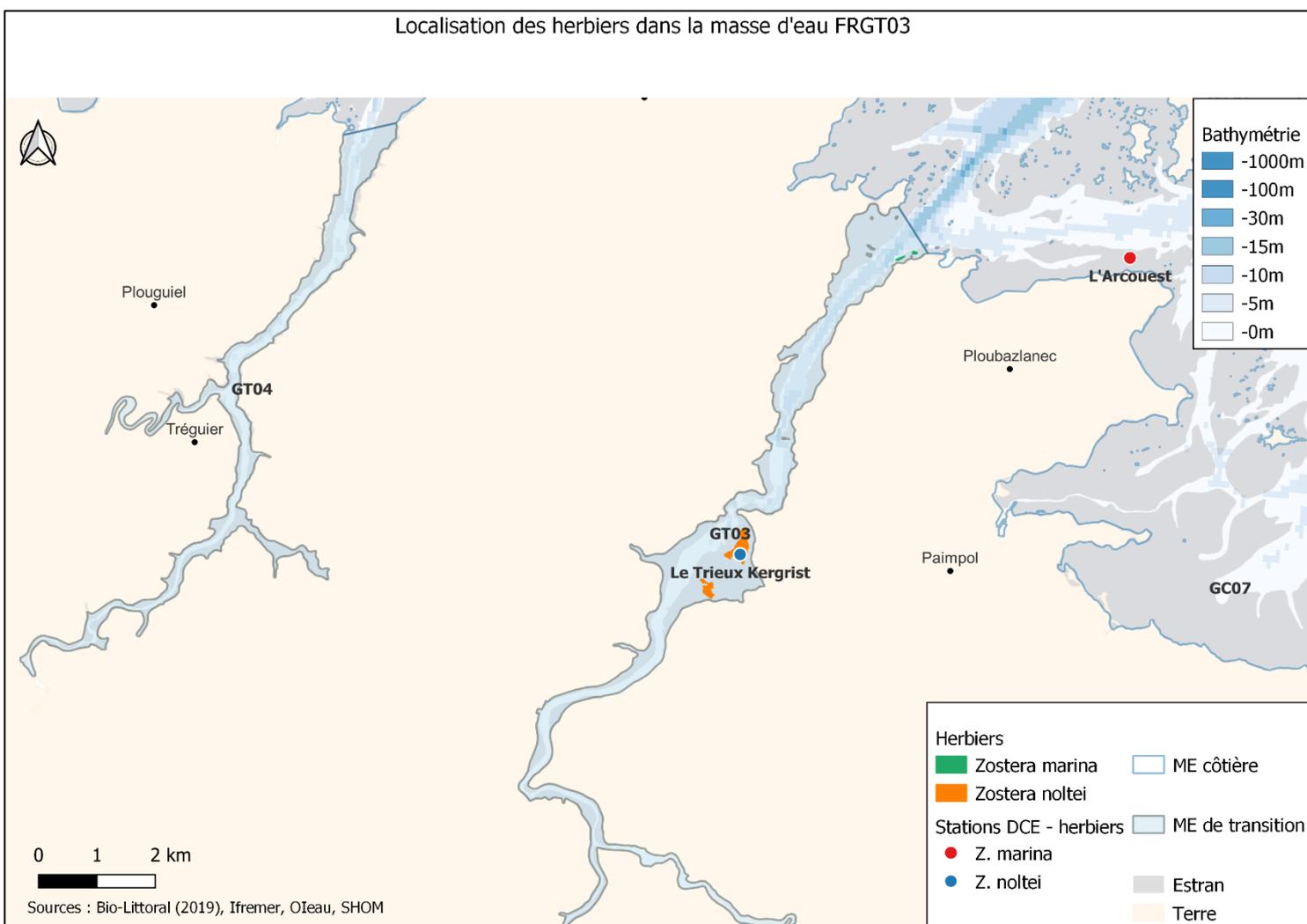
Type T 1 – Petit estuaire à grande zone intertidale, méso à polyhalin, faiblement à moyennement turbide

Marnage – 9,45 m (Coef. 95, SHOM)

Port de référence : Paimpol

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGT03

Localisation des herbiers dans la masse d'eau FRGT03



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Le Trieux Kergrist	027-P-053	<i>Zostera noltei</i>	Sables vaseux légèrement graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Trégor Goëlo (ZSC)

## FRGT03 – Le Trieux

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGT03

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2002	23,6 ha <sup>1</sup>		
<b>2004</b>	<b>23,7 ha <sup>2</sup></b>		
2019	485 ha <sup>3</sup>	99 %	1 %

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2002	1,7 ha <sup>1</sup>	91 %	9 %

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

#### Sources :

<sup>1</sup> : Corbeau C. et Rollet C. (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p. Toute la masse d'eau est prise en compte.

<sup>2</sup> : Gerla D. (2006). Inventaire des herbiers de zostères Baie de Saint-Malo / Rance Haut estuaire du Trieux. Rapport Ifremer RST.DOP-LER/SM/06.004, 41 p.

<sup>3</sup> : Bio-Littoral (2020). Cartographie des herbiers de zostères du site Natura 2000 : Trégor Goëlo, Rapport final, 77p.

## FRGT30 – Le Lay

### Caractéristiques de la masse d'eau FRGT30

Masse d'eau de transition (MET) - Superficie 750 ha

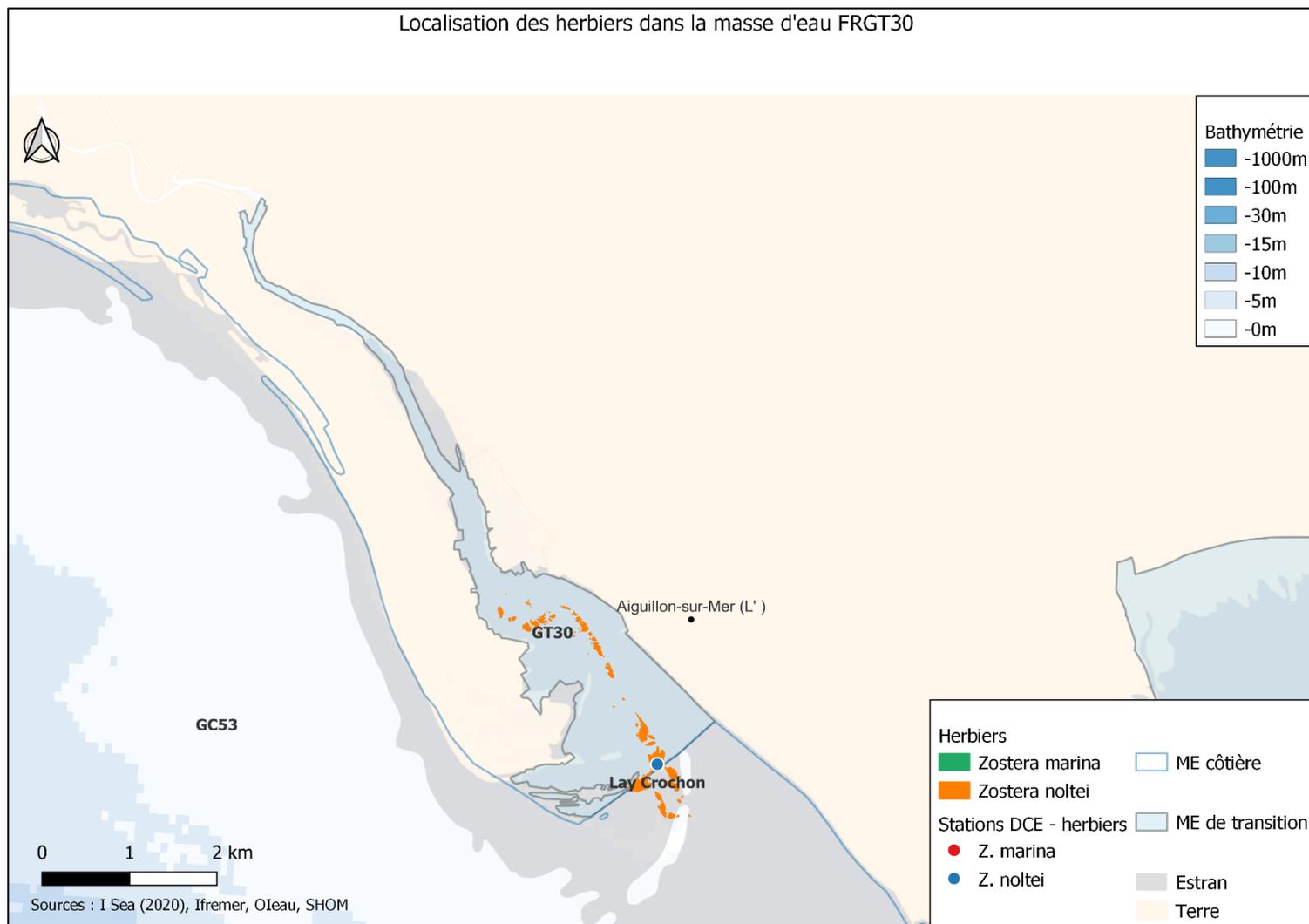
Type T 8 – Petit estuaire à petite zone intertidale et à turbidité moyenne à forte

Marnage – 5,05 m (Coef. 95, SHOM)

Port de référence : Saint Martin (île de Ré)

### Suivi des herbiers de zostères de la masse d'eau FRGT30

Localisation des herbiers dans la masse d'eau FRGT30



Nom station DCE	Numéro station	Espèce	Type de sédiments
Lay Crochon	076-P-073	<i>Zostera noltei</i>	Sables vaseux légèrement graveleux

### AMPs concernées par la présence d'herbiers de zostère

Marais Poitevin (ZSC)

## FRGT30 – Le Lay

### Suivi de la métrique « extension » dans la masse d'eau FRGT30

#### *Zostera noltei*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
2014	17,8 ha <sup>1</sup>		
2020	12,4 ha <sup>2</sup>	100 %	0 %

#### *Zostera marina*

Année du support	Surface	Surface intertidale*	Surface subtidale*
Donnée non disponible			

\* : pour les dernières données surfaciques si disponibles

**Gras** : Valeur utilisée pour le calcul de l'indicateur Angiospermes données 2015-2020

#### Sources :

<sup>1</sup> : Sauriau P.-G., Aubert F., Duvard A., Pineau P., Lachaussée N. (2015). Contrôle de surveillance DCE 2014 de la masse d'eau côtière FRGC53 Pertuis Breton et de la masse d'eau de transition FRGT30 Estuaire du Lay. Rapport final : partie 2 : suivis stationnels et surfaciques des herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. CNRS - Ifremer - Agence de l'Eau Adour Garonne, La Rochelle, Contrat de prestations Ifremer 2014 n° 5 50528230: 62 p.

<sup>2</sup> : 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 p.

## 4.3 Recommandations pour une stratégie de suivi surfacique en Loire-Bretagne

### 4.3.1 Comparaison des supports optiques

#### 4.3.1.1 Imagerie hyperspectrale

L'imagerie hyperspectrale est, parmi les images optiques, celle qui semble donner les meilleurs résultats de détection et de discrimination des herbiers de zostères (Bajjouk *et al.*, 2019). Cependant, l'acquisition de ce type d'image est soumise à de fortes contraintes météorologiques (absence totale de nuage durant la totalité du survol combinée à des forts coefficients de marée). De plus, le coût d'acquisition significativement important (environ 10 fois plus élevé que celui d'une image satellite), le volume de données (lié à la haute résolution spectrale et spatiale) ainsi que la complexité des traitements et d'analyse représentent aujourd'hui un frein pour leur utilisation systématique dans un cadre opérationnel.

Pour toutes ces raisons, l'imagerie hyperspectrale demeure rarement utilisée pour la réalisation de cartographies d'habitats dans le cadre d'une surveillance opérationnelle telle que celle demandée par la DCE.

#### 4.3.1.2 Imagerie multispectrale

À ce jour, deux satellites à haute/très haute résolution, dont les images sont facilement accessibles en termes de coût (gratuit) et de diffusion sur le territoire français, peuvent être d'intérêt pour le suivi spatio-temporel des herbiers. Il s'agit des satellites Pléiades et Sentinel-2.

L'imagerie Pléiades semble être le meilleur compromis entre la qualité de la résolution spatiale, la qualité de la résolution spectrale et le coût. Des éléments sont cependant à considérer pour disposer d'images de qualité géométrique et radiométrique optimales en vue de leur utilisation comme support de cartographie :

- privilégier une programmation de scènes qui permet des acquisitions à basse mer et sur une période de développement maximal des herbiers,
- tenir compte des contraintes techniques liées à l'acquisition et notamment l'angle de vue qui peut aller jusqu'à 30°. En effet, dans l'idéal un faible angle de prise de vue (0 à 10° idéalement) est fortement souhaité sachant qu'il est de 0° seulement une fois tous les 26 jours pour Pléiades,
- s'assurer de la qualité des corrections atmosphériques. Depuis peu, le logiciel Acolite propose une correction atmosphérique adaptée aux images à très haute résolution comme Pléiades, SPOT 6&7 et Worldwiew-2. Ce logiciel, initialement destiné aux traitements des images Landsat et Sentinel-2, permet une bonne correction atmosphérique. Cependant, pour Pléiades, seule les images brutes multispectrales avec une résolution de 2 m peuvent être traitées à ce jour (Bio-Littoral, 2022).

S'agissant des images Sentinel-2, leurs grands avantages sont une acquisition gratuite tous les 5 jours, avec toujours le même angle de vue, et une méthode de correction atmosphérique fiable. Cependant, la résolution spatiale proposée actuellement par ce satellite est dans le meilleur des cas de 10 m pour quatre de ses bandes spectrales du VNIR. Cette résolution peut être suffisante pour évaluer, dans le cadre de la DCE, la tendance d'évolution spatio-temporelle de certains herbiers de grande taille et homogènes. Cependant, cette résolution spatiale demeure aujourd'hui insuffisante pour prendre en considération tous les herbiers présents au sein d'une masse d'eau, quelles que soient leurs tailles et leurs hétérogénéités spatiales. Cette résolution

présente également une limite pour étudier la fragmentation de l'herbier, paramètre d'intérêt pour les directives DCSMM et la DHFF.

Ainsi, du fait du plus grand nombre de retours d'expérience en Loire-Bretagne et en prenant en compte le contexte inter-directives, l'utilisation des images Pléiades est, à ce jour, la préconisation première en termes d'image satellite. Il est important de noter que ces considérations peuvent être amenées à évoluer si les images Sentinel-2 proposent à l'avenir une meilleure résolution spatiale permettant l'étude de la fragmentation des herbiers. Sentinel-2 fait partie en effet d'un programme R&D à long terme, il est possible qu'à l'avenir une meilleure résolution spatiale soit disponible.

Concernant les campagnes aéroportées proposant des images multispectrales, les ortholittorales ont des spécificités parfaitement adaptées aux projets de cartographie sur les zones intertidales : résolution de 50 cm, axes de vols adaptés à l'orientation des côtes, dates et heures de vols prédéfinies en fonction des conditions de marée (coef. 95 avec hauteur d'eau d'1 m), acquisition sur une bande de 6 km de large permettant de couvrir les estrans, les estuaires, les abers et les limites de salure des eaux. De plus, elles constituent un référentiel géométrique en terme géographique par le système de projection choisi et en terme thématique de visualisation et de délimitation du trait de côte, limites structurantes d'habitats. Des pistes d'améliorations nécessaires ont été soulevées par une étude de faisabilité effectuée par le Cerema (2018) sur la qualité radiométrique et la fréquence de mise à jour. En effet, la présence de fortes discontinuités radiométriques entre les clichés limite l'exploitation des ortholittorales de manière automatique par l'application d'algorithmes de traitement d'images. Par ailleurs, la mise à jour actuelle (environ tous les 10 ans) ne convient pas à la majorité des organismes utilisant ce support. Une mise à jour tous les cinq ans est requise, si l'utilisation de ce support est choisie.

A noter que si tous les supports optiques peuvent avoir leurs avantages pour une utilisation du suivi de la dynamique spatio-temporelle des herbiers intertidaux, ils n'ont pas la même performance quand il s'agit d'herbiers subtidaux. Les travaux de comparaison de capteurs menés dans le Golfe du Morbihan (Bajjouk *et al.*, 2019) ont montré que c'est l'imagerie hyperspectrale, parmi les supports optiques, qui semble être la plus performante pour détecter et discriminer les deux espèces de zostères.

#### 4.3.2 Le support de numérisation

Compte tenu des avancées actuelles et futures sur les capteurs satellites, les ortholittorales et les traitements par classification automatique, il n'est pas possible de retenir un seul support ou une unique méthode spécifique au détriment des autres. Sur la base des techniques disponibles et les expérimentations réalisées à ce jour en Loire-Bretagne, il est proposé une hiérarchisation des supports de numérisation en fonction de la configuration de l'herbier, notamment de son positionnement en zone intertidale ou subtidale et de son étendue.

À noter que les conditions optimales d'acquisition des supports de numérisation optiques sont les suivantes :

- basse mer de vive eau moyenne (coefficient de marée > 90 minimum, idéalement > 95),
- absence de nuage,
- faible angle de prise de vue, 0 à 10° idéalement (pour les images satellites).

#### 4.3.2.1 Herbiers en zone intertidale et très petits fonds (< 2 m)

En **zone intertidale et dans les très petits fonds (< 2 m sous le zéro hydrographique du SHOM)**, les images multispectrales sont le meilleur compromis en termes de rapport coût/précision/résolution/étendue spatiale et peuvent être acquises à partir de différentes plateformes selon la taille de l’herbier :

- petits herbiers (< 5 km<sup>2</sup>) : un capteur multispectral disposé sur un drone,
- grands herbiers (> 5 km<sup>2</sup>) : un capteur multispectral satellite (Pléiades ou Sentinel-2) ou levé aéroporté multispectral, voire hyperspectral si le budget le permet.

Dans le cas du suivi de grands herbiers (> 5 km<sup>2</sup>), les images Pléiades sont préconisées en premier lieu étant donné le plus grand nombre de retours d’expériences sur l’utilisation de ces images en Loire-Bretagne et du fait de sa résolution spatiale supérieure à celles de Sentinel-2 (malgré les avantages actuels de ces dernières). Les images Pléiades permettent une évaluation de la fragmentation et une meilleure utilisation de la photo-interprétation en complément de la classification automatique s’il en existe le besoin (§ 3.3.3). À ce jour, les images Sentinel-2 ne sont utilisables qu’en zone intertidale sur un herbier monospécifique.

Si les conditions optimales d’acquisitions ne sont pas toutes respectées simultanément pour l’acquisition des images satellites, il est possible de s’appuyer sur des images multispectrales ou hyperspectrales (selon le budget) acquises lors de campagnes aéroportées, à planifier de façon à garantir les conditions optimales requises pour leur acquisition (Figure 9).

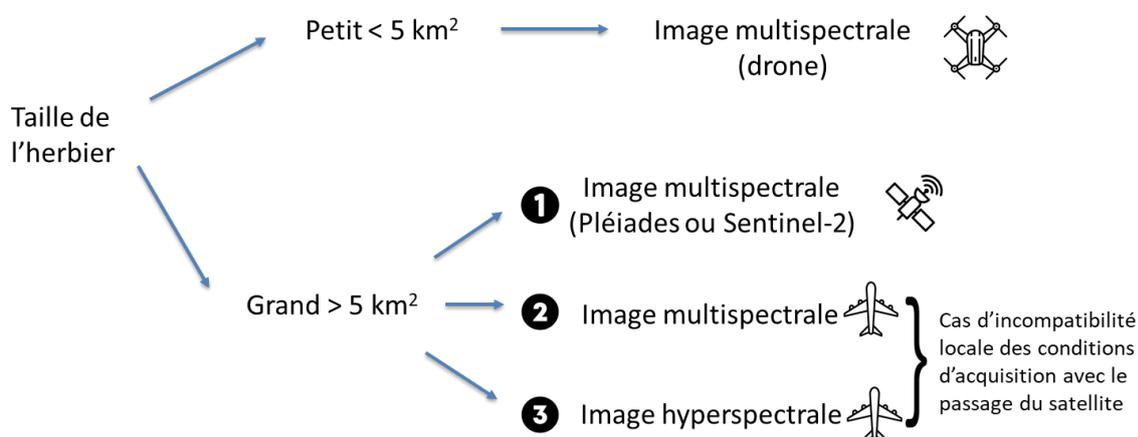
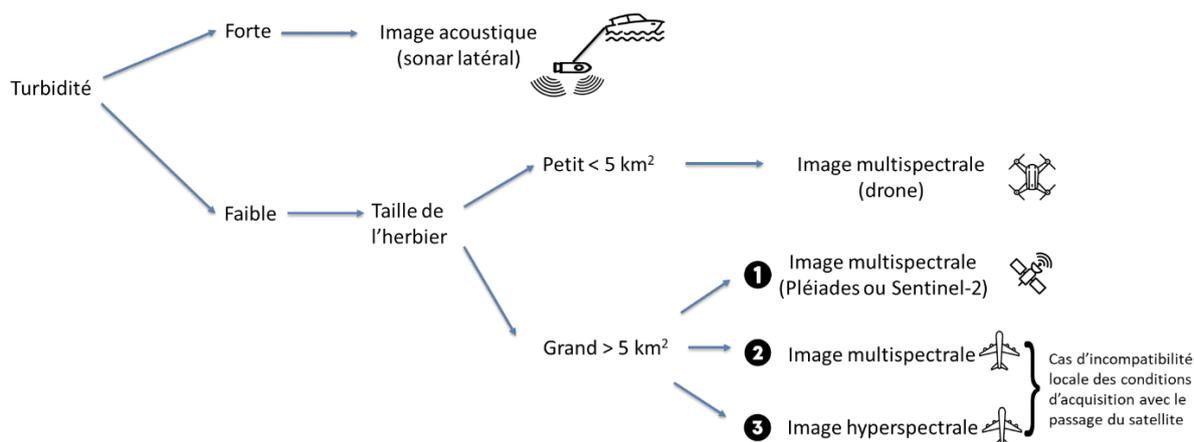


Figure 9 : Recommandations de stratégie de suivi surfacique en zone intertidale et en petits fonds (< 2 m de profondeur), selon la taille de l’herbier

#### 4.3.2.2 Herbiers entre 2 et 5 mètres de fond

**Entre 2 et 5 m de profondeur sous le zéro du SHOM**, si la turbidité est forte (transparence faible), l’acquisition d’image acoustique grâce au sonar à balayage latéral est préconisée en vérifiant l’accessibilité de la zone à prospecter, par rapport à la présence de roches ou à des installations de type conchylicole pouvant limiter le maniement du sonar.

Si la transparence de l’eau est suffisante, l’acquisition d’images multispectrales ou hyperspectrales est recommandée avec la plateforme adéquate selon la taille de l’herbier (Figure 10). Les traitements doivent cependant être adaptés pour traiter un signal spectral affecté par la hauteur de la colonne d’eau. Des approches telles que l’apprentissage profond (deep learning) ou encore l’inversion de modèle de transfert radiatif peuvent être envisagées. En cas de forte turbidité, l’utilisation de l’acoustique sous-marine sera la meilleure option.



**Figure 10 : Recommandations de stratégie de suivi surfacique en zone subtidale entre 2 m et 5 m de profondeur selon la turbidité**

#### 4.3.2.3 Herbiers entre 5 et 10 mètres de fond

Pour les profondeurs **entre 5 m et 10 m sous le zéro du SHOM**, les retours d'expérience nous incitent, pour les masses d'eau métropolitaines, à préconiser les outils acoustiques (Figure 11) qui garantissent une meilleure détection des herbiers profonds.



**Figure 11 : Recommandations de stratégie de suivi surfacique en zone subtidale entre 5 m et 10 m de profondeur**

#### 4.3.3 La méthode de numérisation

Par le passé, la photo-interprétation était majoritairement utilisée pour la cartographie des herbiers de zostères. Cependant, la classification automatique est de plus en plus utilisée pour la cartographie des zostères dans le bassin Loire-Bretagne. De plus, en prenant en compte les avantages et inconvénients des deux méthodes de numérisation, il apparaît nécessaire de prioriser la classification automatique afin d'assurer une meilleure reproductibilité des cartographies successives et permettre une comparaison dans le temps sans biais lié à l'interprétation de l'opérateur.

En plus de la reproductibilité, la classification automatique présente d'autres avantages dont notamment le gain de temps et l'évaluation de la fragmentation à l'échelle du pixel.

Les travaux en cours et à venir sur le traitement des images hyperspectrales ou multispectrales permettront probablement de faire évoluer les algorithmes utilisés dans le cadre de la classification automatique (Tableau 7).

Tableau 7 : Principes et avantages/inconvénients des deux méthodes de numérisation

	Photo-interprétation	Classification automatique
Principe	Digitalisation manuelle	Procédé algorithmique permettant de classer des pixels selon des propriétés communes  <b>Supervisée</b> (machine learning,...) / Non supervisée
Avantages / Inconvénients	<p> Résultats variables selon l'opérateur</p> <p> Peut être coûteuse selon le temps et la surface traitée</p> <p> Facilement mise en œuvre par des non-experts en traitement d'image</p>	<p> Gain de temps</p> <p> Meilleure reproductibilité</p> <p> Renseignement sur la fragmentation à l'échelle du pixel</p> <p> Plusieurs méthodes de classification possibles avec chacune ses atouts/inconvénients</p> <p> Variabilité des performances des algorithmes et fonction des sites d'études</p>

Cependant des **exigences** doivent être respectées pour l'utilisation de la classification automatique :

- la **vérité terrain** est indispensable afin **d'entraîner les algorithmes** et pour l'étape de **validation de la cartographie**,
- l'**estimation** de la précision de l'algorithme utilisé est **obligatoire**,
- en-deçà du **seuil de fiabilité** (qui doit encore faire l'objet de consensus de la communauté scientifique), le résultat final doit être vérifié (recours à l'avis d'experts scientifiques et/ou locaux) et le cas échéant corrigé par **photo-interprétation sur les zones présentant de grandes erreurs de détection**,
- une **traçabilité des polygones** (obtenus par classification automatique photo-interprétation) est requise lorsque ces deux méthodes sont co-utilisées.

#### 4.3.4 Importance de la validation terrain

La validation terrain est primordiale tant pour **entraîner l'algorithme** utilisé pour la classification automatique que pour **valider la cartographie** obtenue par cette dernière.

À l'étape d'acquisition des données du support (optique ou acoustique), il est essentiel d'acquérir de façon synchrone des données de terrain en vue de renseigner l'algorithme utilisé pour la classification automatique. Selon l'étendue de l'herbier et proportionnellement aux variations connues à l'échelle du secteur à couvrir ou de la masse d'eau, il est important d'échantillonner une large gamme de signatures spectrales et de niveaux d'hétérogénéité afin de (i) tenir compte de la variabilité spatiale au sein de la masse d'eau et (ii) permettre une validation robuste des résultats de classification. Des risques de confusions par les algorithmes de traitement automatiques sont possibles. Ils sont d'autant plus élevés si l'on observe sur le terrain la présence de macroalgues, d'épiphytes, de biofilms ou encore en cas de forte turbidité lorsqu'il s'agit d'herbiers subtidiaux. Ces confusions peuvent conduire à une surestimation ou une sous-estimation de la présence de l'herbier.

L'autre objectif important de l'observation sur le terrain (ou vérité terrain) est de renseigner le pourcentage de recouvrement, la densité et l'abondance de l'herbier. De même, des erreurs de détection sont souvent constatées pour des herbiers à faible taux de recouvrement quel que soit le capteur optique utilisé. Des relevés de parcours de limites d'herbiers, réalisés à l'aide d'un GPS différentiel (dGPS), peuvent également consolider le processus de validation à l'image (Rigouin et al., 2022).

Différentes méthodes sont possibles selon la configuration de l'herbier :

- en **zone intertidale et dans les très petits fonds (< 2 m)**, le contour dGPS (priorisé par rapport au GPS) est possible selon la praticabilité du terrain par les opérateurs et la taille de l'herbier (< 5 km<sup>2</sup>). En cas de difficulté d'accès ou pour augmenter l'effort d'échantillonnage, l'acquisition d'images multispectrales par drone à basse altitude est recommandée,
- en **zone subtidale (> 2 m)**, une stratégie d'échantillonnage avec des vidéos tractées peut être retenue. L'utilisation de photos, lunette de Calfat ou la plongée sous-marine peut également être choisie en relevant, simultanément aux observations, les coordonnées avec un dGPS.

Enfin, *a posteriori*, pour la validation de la cartographie finale, il est important de posséder un jeu de données de vérité terrain non utilisé pour entraîner les algorithmes de classification automatique.

#### 4.3.5 Perspectives

L'analyse spatiale interannuelle des herbiers de zostères porte actuellement sur des cartes établies à partir de supports de numérisation différents, ayant des résolutions variables et selon des méthodes différentes, autant d'éléments pouvant constituer des biais pour quantifier leur évolution spatio-temporelle.

L'étude menée ici montre combien il est nécessaire d'harmoniser au mieux le choix des supports de numérisation et des méthodes de cartographie pour la mise à jour à venir des données surfaciques des herbiers de zostères. Sachant qu'un algorithme de classification automatique n'a pas forcément les mêmes performances d'une masse d'eau à une autre (compte-tenu des spécificités de chacune d'elles) et qu'il existe une dynamique d'amélioration constante de la capacité des capteurs satellites et aéroportés ainsi que des algorithmes de traitement, il n'est pas possible de s'arrêter sur une stratégie précise à l'échelle de tout le bassin Loire-Bretagne.

Par ailleurs, la démarche de mutualisation des ressources dans le cadre des trois directives DCSMM-DCE-DHFF permettrait de renforcer le processus de mise à jour régulier pour l'ensemble des masses d'eau en mutualisant les efforts et notamment les coûts pour répondre aux objectifs communs. Une analyse de la cohérence des plans d'échantillonnage (répartition spatiale des stations, protocoles de collecte des données, formats de données) et des données collectées est ainsi recommandée.

Le bilan des données disponibles montre que tous les herbiers situés dans des masses d'eau RCS ne sont pas suivis. Il est suggéré de s'interroger sur la pertinence et la possibilité d'élargir le suivi stationnel des herbiers DCE à certains herbiers non suivis actuellement et situés en masses d'eau RCS.

Cette étude n'a pas pu traiter le sujet de la bancarisation des données surfaciques, qui reste une étape indispensable pour assurer la transparence des évaluations qui seront faites dans le cadre des directives européennes. La bancarisation doit également permettre de répondre à minima aux deux objectifs suivants : (i) garantir la sauvegarde fiable et pérenne des données et métadonnées associées, et (ii) assurer l'accessibilité de la donnée pour l'ensemble de la communauté scientifique et pour les gestionnaires. Cette bancarisation doit idéalement être réfléchi à l'échelle nationale et en interdirective. Elle rejoint des besoins identifiés pour d'autres habitats faisant l'objet d'une évaluation dans le cadre de la DCSMM et de la DHFF.

Cette étude sera poursuivie par la planification de la mise à jour des données surfaciques dans le bassin Loire-Bretagne.

## Bibliographie

**Alloncle N. (2005).** Évolution récente des herbiers de *Zostera marina* en Bretagne, Approche Géomatique. Université de Perpignan, Master « Environnement et Développement durable, Biodiversité et Gestion des Ressources vivantes », LEMAR, CNRS/UBO UMR 6539. 39p. + annexe.

**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. Rapport Ifremer ODE/UL/LER/AR/18.017, 73 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00471/58250/>

**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. 105 p. <https://doi.org/10.13155/62528>

**Bio-Littoral (2021).** Cartographie du Maërl et des *Zostera marina* dans le port de Roscanvel, 36p.

**Bio-Littoral (2020).** Cartographie des herbiers de zostères du site Natura 2000 : Trégor Goëlo, Rapport final, 77p.

**Bio-Littoral (2020).** Cartographie des herbiers de zostères du site Natura 2000 : Baie de Morlaix, 82 p.

**Bio-Littoral (2021).** Cartographie des habitats benthiques des sites Natura 2000 : Marais salants de Guérande, Traict du Croisic et dunes de Pen Bron (FR5200627) Marais du Mes, Baie et dunes de Pont-Mahe et étang de Pont-de-fer (FR5200626) Marais breton, Baie de Bourgneuf, ile de Noirmoutier et foret de Monts (FR5200653), 56 p.

**BLOTT S.J. et PYE K. (2001).** GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, vol. 26, no 11, p. 1237-124. <https://doi.org/10.1002/esp.261>

**Boyé A., Robert A., Beauvais S., Dedieu K., Janson A.-L. (2022).** Note technique. Définition des modalités de l'évaluation qualitative appliquée à certains habitats benthiques dans le cadre de l'évaluation DCSMM cycle 3. Thématique D1 - habitats benthiques. Rapport Ifremer, PatriNat, OFB, 11 p. + annexes. <https://doi.org/10.13155/90285>

**Cerema (2018).** Ortho littorale V3, Étude préalable pour un futur millésime, 64 p. <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/585255/ortho-littorale-v3-etude-prealable-pour-un-futur-millesime-avril-2018?lg=fr-FR>

**Colin A., Fablet R., Tandeo P., Husson R., Peureux C., Longépé N., Mouche A. (2022).** Semantic Segmentation of Metoceanic Processes Using SAR Observations and Deep Learning. *Remote Sensing*, 14(4), 851 (14p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.3390/rs14040851>

**Congedo L. (2021).** Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open-Source Software*, 6(64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

**Corbeau C. et Rollet C. (2008).** Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008, 64 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00765/87708/>

**Cosson, T. (2019).** Surveillance DCE de la masse d'eau côtière « FR GC 39 Golfe du Morbihan » pour les herbiers de *Zostera noltei* - point de suivi stationnel complémentaire - 2019. PNRGM. 27 p.

**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 p.

**Doré A. (2012).** Cartographie et évaluation de l'état de conservation des habitats benthiques du site Natura 2000 des Roches de Penmarc'h - Volet biologique. Rapport SPN 2012/ 35, MNHN, Paris, 102 pages.

**PNRGM (2017).** ECB expertise sous-marine mise en place de mouillages innovants - Phase 1 Repérage de la présence conjointe d'herbiers à *Zostera marina* et de zones de mouillages. 30p. + annexes

**Harin N., Barillé A-L, Truhaus N., Oriot M., (2016).** Caractérisation des herbiers de zostères et de leur évolution sur les secteurs : Côte de granit rose – Sept-Iles, Archipel des Glénan et Roches de Penmarc'h. Rapport Bio-Littoral pour AAMP marché 2015-37, 84p.

**Harin, N., Barillé, A. L., Oriot, M., Truhaus, N., Lerouxel, A., Gernez, P., & Rosa, P.** Cartographie d'un herbier de *Zostera marina* L. à l'aide de l'imagerie satellitale à haute résolution spatiale: cas de l'archipel des Glénan (Finistère, France). Comité d'organisation, 49.

**Hily, C., et T. Bajjouk (2010).** Fiche de synthèse Habitat n°5 "Herbiers", 13 p.

**Hocer (2012).** Inventaire cartographique des habitats marins du site Natura 2000 Archipel des Glénan FR5300023, 125 p.

**Hocer (2012).** Inventaire cartographique des habitats marins du site Natura 2000 Abers Côtes des Légendes FR5300017, 104p.

**Hocer (2012).** Inventaire cartographique des habitats marins du site Natura 2000 Baie de Morlaix FR5300015, 114 p.

**Gerla D. (2006).** Inventaire des herbiers de zostères Baie de Saint-Malo / Rance Haut estuaire du Trieux. Rapport Ifremer RST.DOP-LER/SM/06.004, 41 p.

**Idrabbio & littoral (2021).** Réalisation de l'inventaire et de la cartographie des habitats naturels et des espèces végétales sur la ZSC FR530012 "Baie de Lancieux, Baie de l'Arguenon, archipel de Saint-Malo et Dinard "Partie Marine" (V1), 143 p.

**Khan, M. J., Khan, H. S., Yousaf, A., Khurshid, K., & Abbas, A. (2018).** Modern trends in hyperspectral image analysis: A review. *IEEE Access*, 6, 14118-14129. [10.1109/ACCESS.2018.2812999](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2812999)

**Kovacs, E., Roelfsema, C., Lyons, M., Zhao, S., & Phinn, S. (2018).** Seagrass habitat mapping: how do Landsat 8 OLI, Sentinel-2, ZY-3A, and Worldview-3 perform? *Remote Sensing Letters*, 9(7), 686-695. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1468101>

**Krause-Jensen D, Carstensen J, Nielsen SL, Dalsgaard T, Christensen PB, Fossing H, Rasmussen MB (2011).** Sea bottom characteristics affect depth limits of eelgrass *Zostera marina*. *Mar Ecol Prog Ser* 425:91-102. <https://doi.org/10.3354/meps09026>

**Lafont V., Dehouck A., Curti C. (2014).** Cartographie de l'herbier à *Zostera noltei* de l'île de Ré – masse d'eau FRGC53 par télédétection spatiale. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00308/41941/>

**Lejart M., Larzillières, A., Hily C. (2010).** Données collectées par : PNMI/AAMP, IUEM/UBO in « Cartographie et la caractérisation des herbiers et des champs de blocs du Parc naturel marin d'Iroise », 165 p.

**Loubersac L., Lagarde S., Massenet J. (2018).** Surveiller la Mer depuis l'espace. Partie 1 : bases physiques. *Tai Kona*, (21), 16-34. Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00446/55758/>

**Moore, K.A., Short, F.T. (2007).** *Zostera: Biology, Ecology, and Management*. In: SEAGRASSES: BIOLOGY, ECOLOGY AND CONSERVATION. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2983-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2983-7_16)

**Noel Claire, Temmos J.M., Marchetti S., Bauer E., Coquet M., Trut Gilles, Rigouin Loic, Auby Isabelle, Blouet S., Dupuy De La Grandriviere R., Chere E. (2017).** Nouveaux outils de cartographie et de monitoring par fusion multicapteurs : Application aux zostères d'Arcachon et au coralligène de l'Aire Marine Protégée de la Côte Agathoise. CARHAMB'AR 2017 – Colloque national sur la cartographie des habitats marins benthiques. 14 au 16 mars 2017, Brest.

**Rigouin L., Lissardy M., Ganthy F., Auby I. (2021).** IDHEBARC 2020 : Bilan d'activité. Secteur de La Teste. ODE/LITTORAL/LER-AR/21.014. <https://doi.org/10.13155/83522>

**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. ODE/LITTORAL/LERAR/22.02. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00747/85921/>

**Robert A., Boyé A., Janson A.-L., Beauvais S., Dedieu K. (2021).** DCSMM - Descripteur n°1 - BIODIVERSITÉ Habitats benthiques. Note de l'équipe RT/RS D1 Habitats Benthiques. <https://doi.org/10.13155/84522>

**Rollet C. (2005).** Fiche outil – Projet REBENT, FT13-FO01-2005-01 : Les Orthophotographies littorales, 5 p.

**Sauriau P.-G., Aubert F., Pineau P., Plumejeaud-Perreau C. (2016).** Contrôle de surveillance DCE 2015 de la masse d'eau côtière FRGC53 Pertuis Breton et de la masse d'eau de transition FRGT30 estuaire du Lay. Rapport final : suivis stationnels des herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. CNRS - Ifremer - Agence de l'Eau Adour Garonne, La Rochelle, Contrat de prestations Ifremer 2015 5 5052 8224, 76 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00707/81914/>

**Sauriau P.-G., Aubert F., Duvard A., Pineau P., Lachaussée N. (2015).** Contrôle de surveillance DCE 2014 de la masse d'eau côtière FRGC53 Pertuis Breton et de la masse d'eau de transition FRGT30 Estuaire du Lay. Rapport final : partie 2 : suivis stationnels et surfaciques des herbiers de *Zostera (Zosterella) noltei*. CNRS - Ifremer - Agence de l'Eau Adour Garonne, La Rochelle, Contrat de prestations Ifremer 2014 n° 5 50528230: 62 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00308/41939/>

**TBM (2018).** Réalisation de l'inventaire et de la cartographie des habitats naturels et des espèces végétales sur une partie du SIC FR 5300011 cap d'Erquy – cap Frehel, 152 p.

**TBM (2021).** Réalisation d'une cartographie des herbiers zostères dans la rade de Brest, 196 p.

**Wilson, K. L., Skinner, M. A., & Lotze, H. K. (2019).** Eelgrass (*Zostera marina*) and benthic habitat mapping in Atlantic Canada using high-resolution SPOT 6/7 satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, 106292. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106292>

**Zoffoli, M. L., Gernez, P., Godet, L., Peters, S., Oiry, S., & Barillé, L. (2021).** Decadal increase in the ecological status of a North-Atlantic intertidal seagrass meadow observed with multi-mission satellite time-series. *Ecological Indicators*, 130, 108033. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108033>

**Zoffoli, M. L., Gernez, P., Rosa, P., Le Bris, A., Brando, V. E., Barillé, A. L., ... & Barillé, L. (2020).** Sentinel-2 remote sensing of *Zostera noltei*-dominated intertidal seagrass meadows. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112020. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112020>

## Glossaire

**Bande spectrale** : Ensemble de longueurs d'ondes couvrant une portion plus ou moins large du spectre électromagnétique. En télédétection, on parle par exemple de bandes RVB (« bande du rouge », du « vert », du « bleu »).

**Discontinuités radiométriques** : Variations radiométriques entre clichés (équilibrage des couleurs entre 2 clichés). Cela peut poser un problème lors de l'analyse d'une mosaïque constituée à partir de clichés présentant ce type de variation.



Exemple de discontinuités radiométriques en vue générale du Golfe du Morbihan  
(extrait de Rollet, 2005)

**Deep learning** : L'« apprentissage profond » est un type d'intelligence artificielle dérivé de l'apprentissage automatique (*machine learning*) en s'appuyant sur un réseau de neurones artificiels. Des algorithmes permettent la reconnaissance de modèles et la classification statistique à chaque couche neuronale au travers d'un processus d'autoapprentissage (Colin *et al.*, 2022).

**Estran** : Partie du littoral alternativement couverte et découverte par la mer. On parle aussi de zone de balancement de marées, zone des marées, ou zone intertidale.

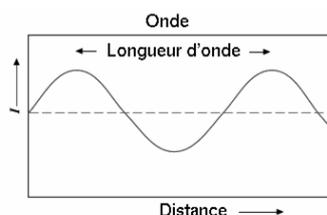
**Fiabilité** : Qualité d'une carte qui représente fidèlement la réalité. L'exactitude et la précision d'une carte sont deux aspects de sa fiabilité.

**Fréquence** : Nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de temps (en Hertz, Hz).

**Géoréférencement** : Alignement de données géographiques sur un système convenu de coordonnées, en vue de leur visualisation, de leur analyse et de leur interrogation dans un système de référence commun (Bajjouk *et al.*, 2019).

**Image panchromatique** : Image enregistrée en 255 niveaux de gris. Le rayonnement électromagnétique mesuré par le capteur se trouve dans un unique intervalle situé dans le domaine du visible, c'est-à-dire entre 400 et 700 nm. Ces images ont une faible résolution spectrale mais sont riches par leur résolution spatiale (Bajjouk *et al.*, 2019).

**Longueur d'onde** : Distance séparant deux maxima consécutifs de l'oscillation. Elle est aussi la distance parcourue par l'onde pendant une période d'oscillation (elle est inversement proportionnelle à la fréquence et s'exprime en mètre) (Loubersac *et al.*, 2018).



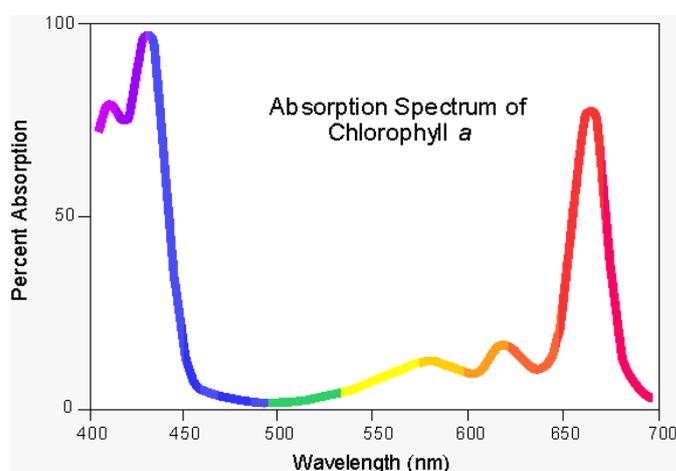
**NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index. Il s'agit d'un indice de végétation exploitant les canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR) d'une image. Soit  $R_i$  la réflectance d'un pixel donné dans le canal  $i$ ,  $NDVI = \frac{R(PIR) - R(R)}{R(PIR) + R(R)}$ . Cet indice est utilisé pour la caractérisation de la végétation par télédétection (Lafont *et al.*, 2014).

**Onde électromagnétique** : Les longueurs d'onde de la lumière visible font partie des ondes électromagnétiques et se situent entre 400 et 700 nm. Chaque couleur de la lumière visible est caractérisée par un intervalle de longueur d'onde. Le vert se situant près des 510 nm et le rouge autour des 650 nm par exemple (Loubersac *et al.*, 2018).

**Pansharpened** : Fusion entre l'image multispectrale et l'image panchromatique.

**Réflectance** : Proportion de lumière réfléchi par la surface d'un matériau. Le spectre de réflexion (fonction de la longueur d'onde) permet de caractériser la nature de la surface réfléchissant la lumière (Loubersac *et al.*, 2018).

**Spectre d'absorption** : Le spectre d'absorption est déterminé par la quantité de lumière absorbée par un composé, en fonction de la longueur d'onde. Le spectre peut posséder plusieurs pics d'absorptions étant caractéristiques d'un élément (Loubersac *et al.*, 2018).



Exemple de spectre d'absorption caractéristique de la Chlorophylle a

**Table attributaire** : Tableau contenant des données sur un ensemble de caractéristiques géographiques. Dans un SIG, une table d'attributs est souvent liée à une couche de données spatiales.

**Télédétection optique passive** : Observation d'ondes émises par un émetteur artificiel placé sur un satellite puis réfléchies par la surface de la Terre et enregistrées par un capteur également situé sur le satellite. Plusieurs domaines spectraux sont exploités : longueur d'onde du visible à l'infrarouge (Loubersac *et al.*, 2018).

## **ANNEXE 1 – DCSMM : Éléments de cadrage du Bon État Écologique (BEE) des habitats benthiques (HB) (extrait de Robert *et al.*, 2021)**

Les habitats benthiques constituent une composante du Descripteur 1 - Biodiversité de la DCSMM : « *La diversité biologique est conservée. La qualité des habitats et leur nombre, ainsi que la distribution et l'abondance des espèces sont adaptées aux conditions physiographiques, géographiques et climatiques existantes* » (Directive 2008/56/UE).

Dans sa version révisée, la Décision 2017/848/UE relative aux normes méthodologiques pour l'atteinte du Bon État Écologique (BEE) de la composante de biodiversité « Habitat benthiques » repose sur deux critères primaires :

- **Critère primaire D6C4** : « **L'étendue de la perte du type d'habitat résultant de pressions anthropiques ne dépasse pas une proportion donnée de l'étendue naturelle du type d'habitat** dans la zone d'évaluation » ;
- **Critère primaire D6C5** : « **L'étendue des effets néfastes liés aux pressions anthropiques sur l'état du type d'habitat**, notamment l'altération de sa structure biotique et abiotique et de ses fonctions (par exemple, composition en espèces caractéristiques et abondance relative de celles-ci, absence d'espèces particulièrement sensibles ou fragiles ou d'espèces assurant une fonction clé, structure par taille des espèces), **ne dépasse pas une proportion donnée de l'étendue naturelle du type d'habitat** dans la zone d'évaluation.

Les **grands types d'habitats benthiques sont les éléments constitutifs des critères D6C4 et D6C5 ; la Décision 2017/848/UE précise que d'autres types d'habitats peuvent également être considérés comme éléments constitutifs** (cf. précisions dans le dernier paragraphe de la section I.A). Le tableau 2 de l'annexe de la Décision révisée 2017/848/UE (Critères et normes méthodologiques d'évaluation de l'atteinte du bon état écologique) précise les 22 grands types d'habitats benthiques (Annexe 1, Tableau 1). Leur typologie (suivant le référentiel EUNIS v2019) au titre du Descripteur 1 se place à un niveau EUNIS 2, correspondant à la combinaison de la nature du fond marin (roches et récifs biogènes, vases, sables, sédiments grossiers, sédiments hétérogènes) et leur gradient d'éloignement à la côte (du médiolittoral au bathyal). Selon la sous-région marine (SRM) considérée, **entre 17 [SRM Manche-Mer du Nord (MMN)] et 22 grands types d'habitats [SRM Mers Celtiques (MC), Golfe de Gascogne (GdG), Méditerranée Occidentale (MO)] sont représentés dans les eaux marine de métropole française.**

**Le degré de réalisation du bon état écologique pour chaque zone** évaluée est exprimé de manière suivante (Décision révisée 2017/848/UE) :

- Pour le critère D6C4 : en étendue (km<sup>2</sup>) et proportion (%) d'habitats perdus vis-à-vis de l'étendue totale naturelle du grand type d'habitat et si celle-ci respecte ou non la valeur seuil fixée ;
- Pour le critère D6C5 : en étendue (km<sup>2</sup>) et proportion (%) d'habitats subissant des effets néfastes vis-à-vis de l'étendue totale naturelle du grand type d'habitat (cette étendue et cette proportion d'habitats subissant des effets néfastes incluent la part d'habitats perdus visés au critère D6C4) et si celle-ci respecte ou non la valeur seuil fixée.

**Tableau 1.** Grands types d'habitats benthiques, y compris leurs communautés biologiques associées (pertinentes pour les critères des Descripteurs 1 et 6), équivalent à un ou plusieurs types d'habitat figurant dans la classification EUNIS (décision 2017/848/UE).

Composante de l'écosystème	Grands types d'habitat (décision 2017/848/UE)	Codes d'habitat EUNIS correspondants (version 2016)
<b>HABITATS BENTHIQUES</b>	Roches et récifs biogènes intertidaux	MA1, MA2
	Sédiments intertidaux	MA3, MA4, MA5, MA6
	Roches et récifs biogènes infralittoraux	MB1, MB2
	Sédiments grossiers infralittoraux	MB3
	Sédiments hétérogènes infralittoraux	MB4
	Sables infralittoraux	MB5
	Vases infralittorales	MB6
	Roches et récifs biogènes circalittoraux côtiers	MC1, MC2
	Sédiments grossiers circalittoraux côtiers	MC3
	Sédiments hétérogènes circalittoraux côtiers	MC4
	Sables du circalittoral côtier	MC5
	Vases du circalittoral côtier	MC6
	Roches et récifs biogènes circalittoraux du large	MD1, MD2
	Sédiments grossiers circalittoraux du large	MD3
	Sédiments hétérogènes circalittoraux du large	MD4
	Sables circalittoraux du large	MD5
	Vases circalittorales du large	MD6
	Roches et récifs biogènes du bathyal supérieur	ME1, ME2
	Sédiments du bathyal supérieur	ME3, ME4, ME5, ME6
	Roches et récifs biogènes du bathyal inférieur	MF1, MF2
Sédiments du bathyal inférieur	MF3, MF4, MF5, MF6	
Zone abyssale	MG1, MG2, MG3, MG4, MG5, MG6	

L'évaluation du D1HB consiste, pour chaque SRM ou autre unité marine de rapportage (UMR), à fournir un état global de chaque grand type d'habitat à partir des résultats obtenus pour les critères D6C4 et D6C5 (et reposant eux-mêmes sur d'autres critères d'impact pris en compte par les descripteurs relatifs aux pressions, Annexe 1, Figure 1) et agrégés selon une méthode arrêtée au niveau de l'Union européenne. L'évaluation doit également lister les grands types d'habitats dont l'état écologique n'est pas évalué. Il s'agira également de déterminer le pourcentage d'habitats en bon état. La directive 2008/56/CE, impose également aux États membres d'exprimer tout changement d'état (amélioration, stabilisation ou détérioration) par rapport à l'évaluation précédente.

Le schéma du processus d'évaluation du D1-Habitats benthiques est rappelé dans la Figure 1. Pour plus de détails, l'équipe D1HB renvoie vers la note synthétique et la présentation réalisée au dernier Copil S&T dédié aux habitats benthiques (18 septembre 2020).

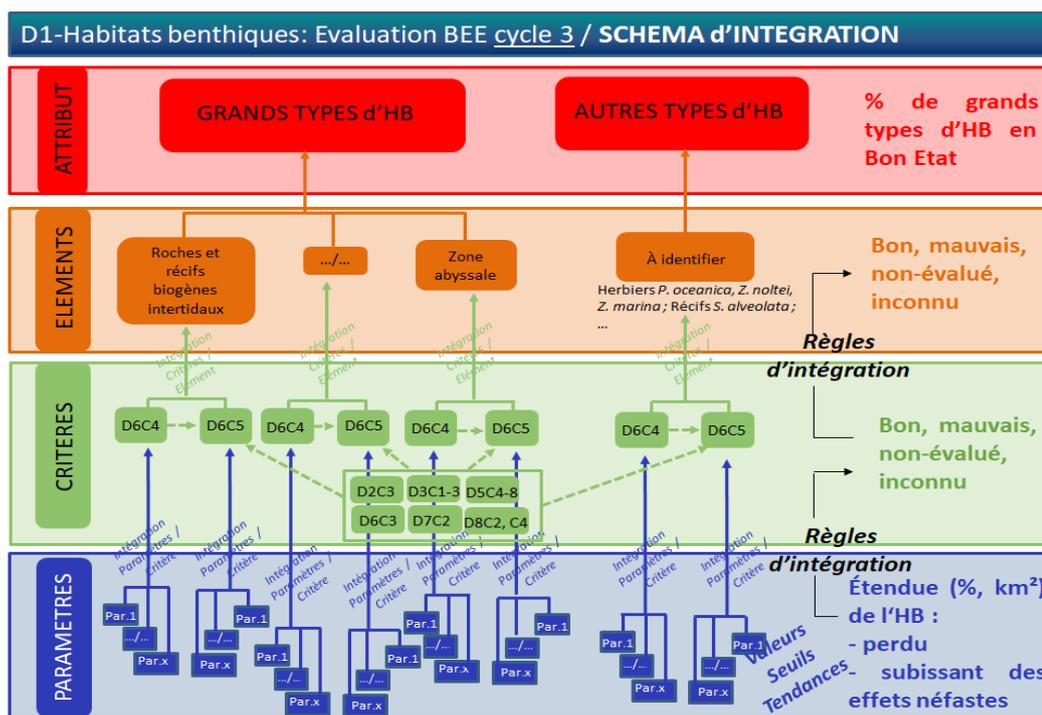


Figure 1. Niveaux d'évaluation, articulation entre attribut / éléments / critères / paramètres, et besoins d'intégration relatifs à l'évaluation du BEE au titre du descripteur D1-Habitats benthiques.

Suivant la Décision 2017/848/UE ainsi que les instructions des guidances Article 14 ([MSFD Articles 8, 9 and 10 \(2018\)](#), révision en 2022) et Article 8 (en cours de révision, adoption à l'automne 2021), les évaluations des grands types d'habitats définis au niveau 2 d'EUNIS (version 2019) peuvent être accompagnées en parallèle d'évaluations d'autres types d'habitats benthiques, définis à un niveau EUNIS plus précis (niveau 4, 5 ou 6 ; e.g., niveaux intégrant des caractéristiques biologiques servant à la discrimination des habitats entre eux). Si cette évaluation parallèle doit être justifiée, elle fournit néanmoins la possibilité aux États membres de souligner l'importance de ces habitats benthiques dans le contexte de leurs stratégies marines. Le groupe de travail européen TG SEABED (Technical Group Seabed), en charge de la révision de la Guidance Article 8, a fait la proposition que ces autres types d'habitats benthiques correspondent à un habitat benthique :

- i - listé à l'annexe I de la Directive Habitats Faune Flore (92/43/CE),
- ii - considéré dans les Conventions des Mers Régionales (inscrit à la liste des habitats menacés ou en déclin OSPAR, à la Liste Rouge des Écosystèmes de l'UICN par exemple),
- iii - défini selon les biocénoses/communautés (niveau 4, 5 ou 6 d'EUNIS),
- iv - sélectionné par l'État membre en raison de sa vulnérabilité (par exemple, habitat figurant sur la liste rouge nationale).

Les herbiers de *Zostera marina* et *Zostera noltei* font partie des « **Autres Types d'Habitats** » non évalués au cycle 2, car il n'y a à ce jour aucun indicateur adopté au titre de la DCSMM permettant de renseigner les critères D6C4 et D6C5. Ces herbiers font partie du grand type d'habitats « Sédiments intertidaux » et, pour *Zostera marina* seulement, des « Sables infralittoraux » (Annexe 1, Tableau 1). L'utilisation de l'indicateur DCE « Angiospermes » pour renseigner le critère D6C5 nécessite de savoir s'il constitue un proxy adéquat de la fonctionnalité de cet habitat (fonctions écologiques et faune associée) mais aussi s'il est en mesure d'appréhender les « effets néfastes » liées aux pressions anthropiques quelle qu'en soit la nature (pressions physiques d'abrasion notamment) (Robert *et al.*, 2021).

## ANNEXE 2 - Bilan détaillé des données récoltées par masse d'eau RCS et par espèce dans le bassin Loire-Bretagne

**Tableau 1 : Bilan des dernières données surfaciques disponibles pour *Zostera marina* dans les masses d'eau RCS en Loire-Bretagne**

Code masse d'eau	Nom masse d'eau	Surface de l'herbier (en ha)*	Stations de suivi (en gras)/commentaires	Source
FRGC01	Baie du Mont-Saint-Michel	3,2		Données SIG 2007 – EPHE, Rapport à récupérer
FRGC03	Rance-Fresnaye	225	<b>Saint-Malo Petit Bé int HZM (021-S-084)</b>	Données 2019 issues d'un rapport (IDRA Bio & Littoral, 2021), données SIG disponibles
FRGC05	Fond Baie de Saint-Brieuc	22,1		Données SIG 2002 – Ifremer (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec	937	<b>L'Arcouest HZM (027-S-050)</b>	Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, Tregor Goëlo, 2020), données SIG disponible
FRGC08	Perros-Guirec (large)	2,4	<b>Les Sept îles HZM (031-S-009)</b>	Données issues d'un rapport (Bio-littoral, Sept îles, 2016), couches SIG à récupérer
FRGC10	Baie de Lannion	2		Données SIG 2002 – Ifremer (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGC11	Baie de Morlaix	386,7	<b>Callot HZM (033-S-049)</b>	Données 2018 issues d'un rapport (Bio-littoral, Baie de Morlaix, 2020), données SIG disponibles
FRGC13	Les Abers (large)	222,3	<b>Sainte-Marguerite HZM (037-S-081)</b>	Données 2011 issues d'un rapport (Hocer, 2012, les Abers), couches SIG à récupérer
FRGC16	Rade de Brest	96,6	<b>Roscanvel HZM (039-S-209)</b>	Données 2018/2021 issues d'un rapport (TBM, 2021), données SIG disponibles
FRGC18	Iroise (large)	37,4	<b>Molène HZM (037-S-082)</b>	Données SIG 2010 – IUEM, rapport à récupérer
FRGC20	Baie de Douarnenez	<b>198,9</b>		Données SIG 2000 – Ifremer (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGC28	Concarneau (large)	316,6	<b>Glénan HZM (043-S-027)</b>	Données 2016 issues d'un rapport (Grall et al., 2017), données SIG disponibles
FRGC34	Lorient - Groix	44,9		Données 2010 issues d'un rapport (Hocer, Ile de Groix, 2012), couches SIG à récupérer
FRGC35	Baie d'Etel	0,5		Données 2020 issues d'un rapport (Bio-littoral, 2022), données SIG disponibles
FRGC36	Baie de Quiberon	31,06		Données 2020 issues d'un rapport (Bio-littoral, 2022), données SIG disponibles
FRGC39	Golfe du Morbihan	533,3	<b>Arradon HZM (061-S-093)</b> <b>Toulindac HZM (061-P-106)</b>	Données SIG 2004/2005 – Ifremer (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGC42	Belle Ile	5,8		Données SIG 2000 – Ifremer (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGC44	Baie de Vilaine (côte)	6,5		Données SIG 2000 – Ifremer (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGC47	Ile d'Yeu	<b>80,5</b>		Données SIG 2016 – TBM, rapport à récupérer
FRGC48	Baie de Bourgneuf	49,7		Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, 2021), données SIG disponibles
FRGC53	Pertuis breton	0,005		Données 2015 issues d'un rapport (Sauriau et al., 2016), couches SIG à récupérer
FRGT03	Le Trieux	1,7		Données SIG 2002 – Ifremer (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGT06	Rivière de Morlaix	51,7		Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, 2020), données SIG disponibles
FRGT08	L'Aber Wrac'h	29,5		Données SIG 2007 - TBM, rapport à récupérer

**Tableau 2 : Bilan des dernières données surfaciques disponibles pour *Zostera noltei* dans les masses d'eau RCS en Loire-Bretagne**

Code masse d'eau	Nom masse d'eau	Surface de l'herbier (en ha)*	Stations de suivi (en gras)/commentaires	Source
FRGC03	Rance-Fresnaye	38,5	<b>Saint-Jacut de la Mer int HZN (022-P-025)</b>	Données 2019 issues d'un rapport (IDRA Bio & Littoral, 2021), données SIG disponibles
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec	<b>226</b>		Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, Tregor Goëlo, 2020), données SIG disponible
FRGC10	Baie de Lannion	40,5	Suivi non pertinent : la prospection réalisée en août 2018 a conclu à la non-pertinence d'un suivi RCS ** (Foveau et al., 2018)	Données SIG 2002 – CEVA, 1 herbier à Saint Efflam, Rapport à récupérer
FRGC11	Baie de Morlaix	9,8		Données 2018 issues d'un rapport (Bio-littoral, Baie de Morlaix, 2020), données SIG disponibles
FRGC13	Les Abers (large)	0,7		Données SIG 2002-2005 (Corbeau et Rollet, 2007)
FRGC16	Rade de Brest	21,9		Données 2018/2021 issues d'un rapport (TBM, 2021), données SIG disponibles
FRGC34	Lorient - Groix	124,4	L'herbier est situé dans la petite mer de Gâvres. A noter une petite différence de surface entre Bio-littoral (2020) et TBM (2019)	Données 2020 (Bio-littoral, 2022), couches SIG petite mer de Gâvres TBM-2019 (135,2 ha) et Biolittoral-2020 (124,4 ha) à récupérer pour petite mer des Gâvres
FRGC36	Baie de Quiberon	127	Différence de surface entre Bio-littoral (2022) et CEVA (2000) car les données acquises par Biolittoral ne le sont que sur une partie de l'herbier.	Données SIG 2000-CEVA, rapport à récupérer (Bio-littoral, 2022), couches SIG Bio-littoral 2020 (56.2 ha) à récupérer
FRGC39	Golfe du Morbihan	478,4	<b>Kerlevenan - Sarzeau int HZN (061-P-072)</b> <b>Baie de l'ours int HZN (060-P-049)</b>	Données SIG 2000 – TBM, rapport à récupérer
FRGC44	Baie de Vilaine (côte)	70		Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, 2021), données SIG disponibles
FRGC45	Baie de Vilaine (large)	<b>219,8</b>	Herbier situé dans le Trait du Croisic Différence de surface importante entre la cartographie Natura 2000 (Ifremer/Dyneco Vigies, 2006) et la cartographies Bio-littoral (2021)	Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, 2021), données SIG disponibles Rapport cartographie Natura 2000 (Ifremer/Dyneco Vigies, 2006) à récupérer.
FRGC48	Baie de Bourgneuf	297,6	<b>La Berche int HZN (071-P-091)</b> Surface herbier passage du Gois : 29 Ha Ecart important entre la surface calculée à partir du SIG et la valeur du rapport associé (50ha).	Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, 2021), données SIG disponibles
FRGC53	Pertuis breton	485	<b>Plage de la Charge Neuve int HZN (076-P-058)</b> <b>Ars en Ré int HZN (076-P-075)</b>	Données 2020 issues d'un rapport (I Sea, 2021), données SIG disponibles
FRGT03	Le Trieux	15,1	<b>Le Trieux Kergrist HZN (027-P-053)</b>	Données 2019 issues d'un rapport (Bio-littoral, Tregor Goëlo, 2020), données SIG disponibles
FRGT06	Rivière de Morlaix	6		Données SIG 2004-2005 - CEVA, rapport à récupérer
FRGT08	L'Aber Wrac'h	0,2		Données SIG 2002 (Corbeau et Rollet, 2007), données SIG disponibles
FRGT10	L'Elorn	1,4		Données SIG 2000- CEVA, rapport à récupérer
FRGT14	Rivière de Pont-l'Abbe	22,2		Données SIG 2004-2005 CEVA, rapport à récupérer
FRGT15	L'Odet	2,2		Données SIG CEVA – date inconnue, rapport à récupérer
FRGT16	L'Aven	3,2		Données SIG 2000- CEVA, rapport à récupérer
FRGT17	Le Belon	1,4		Données SIG 2000- CEVA, rapport à récupérer
FRGT19	Le Scorff	0,2		Données SIG 2000- CEVA, rapport à récupérer
FRGT20	Le Blavet	15,63		Données 2019 issues d'un rapport (TBM, 2020), données SIG disponibles
FRGT27	La Vilaine	19,2		Données SIG 2008-TBM, rapport à récupérer
FRGT30	Le Lay (non-RCS)***	12,4	<b>Lay Crochon 1982 int HZN (076-P-073)</b>	Données 2020 issues d'un rapport (I Sea, 2021), données SIG disponibles