

Marché relatif à la prestation
« Cartographie des herbiers de zostères »
dans le cadre de la surveillance de la
Directive Cadre sur l'Eau (DCE)
« Angiospermes »

N°261000178

Bassin Loire-Bretagne

Masses d'eau visées

GC53 – « Pertuis breton » & GT30 – « Estuaire du Lay »

Bassin Adour-Garonne

Masses d'eau visées

FC02 – « Pertuis charentais » & FT09 – « Estuaire Gironde aval »

CAHIER DES CHARGES TECHNIQUES PARTICULIÈRES – CCTP

Table des matières

1.	Contexte	4
2.	Objet du marché.....	5
3.	Contenu de la prestation.....	7
3.1.	Référentiels méthodologiques	7
3.2.	Données cartographiques historiques	7
3.3.	Identification de l'ensemble des secteurs connus et potentiellement favorables à la présence d'herbiers.....	7
4.	Acquisition et traitement de nouvelles données	8
4.1.	Cas de l'utilisation d'images multispectrales Pléiade	9
4.2.	Cas d'une acquisition de données acoustiques adaptée aux herbiers en zone subtidale	9
4.3.	Cas d'une acquisition complémentaire de données optiques par avion ou drone – capteur multispectral.....	10
5.	Mesures in situ	10
5.1.	Vérité terrain	10
5.2.	Évaluation du taux de recouvrement des zostères	11
5.3.	Autres observations ponctuelles à renseigner	11
6.	Évaluation de la qualité de la cartographie.....	12
7.	Cartographie des herbiers	12
7.1.	Échelle et géoréférencement de la cartographie.....	12
7.2.	Logiciel de cartographie	12
7.3.	Cartographie des herbiers	13
7.4.	Cartographie des observations in situ	13
7.5.	Évolution spatio-temporelle des herbiers.....	14
8.	Suivi de la prestation	14
9.	Planning prévisionnel et livrables associés	15
9.1.	Planning prévisionnel	15
9.2.	Contenu des livrables finaux	15
9.3.	Données cartographiques	15
9.4.	Nomenclature des fichiers rendus	16
9.5.	Structuration des données et métadonnées.....	16
9.6.	Liste des attendus cartographiques et données associées	17
9.7.	Rapport final.....	18
10.	Communication	18
11.	Autorisations administratives éventuelles.....	19
12.	Conditions de sécurité.....	19
13.	Contacts.....	19
	Bibliographie	20

Annexe 1 – Recommandations relatives au support de numérisation	22
Annexe 2 – Fiche d’aide – estimation visuelle recouvrement	25
Annexe 3 – Table attributaire de la couche cartographique ‘Herbiers’	26
Annexe 4 – Table attributaire observations <i>in situ</i> – Vérité terrain.....	28
Annexe 5 – Métadonnées	30
Annexe 6 – Conditions d’utilisation des images Pléiades	31

1. Contexte

L'institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, désigné dans la suite par « Ifremer », a parmi ses missions l'appui aux politiques publiques en matière d'acquisition de connaissances et d'expertise pour aider à la mise en place des mesures de gestion du patrimoine naturel marin et de ses usages.

C'est ainsi que les herbiers de zostères sont évalués en tant que bioindicateurs de la qualité des masses d'eau par le biais de l'indicateur DCE « Angiospermes » (Auby *et al.*, 2010). Cet indicateur est mis en œuvre sur une sélection de masses d'eau définies dans le cadre du contrôle de surveillance DCE « Angiospermes » à l'échelle des façades Manche et Atlantique.

Il considère, à l'échelle d'une masse d'eau (ME), conjointement les deux espèces (*Zostera marina* et *Zostera noltii*¹) et se calcule sur trois métriques : (i) la composition taxonomique basée sur la présence de *Z. marina* et/ou *Z. noltii* dans la masse d'eau, (ii) l'abondance basée sur la densité des pieds (*Z. marina*) ou le taux de recouvrement des feuilles (*Z. noltii*), (iii) l'extension de l'herbier basée sur l'évolution de la surface occupée par les espèces de zostère présentes dans la masse d'eau par rapport à l'extension maximale observée. L'indicateur final « Angiospermes », qui intègre les résultats de ces trois métriques, permet de caractériser l'état d'une masse d'eau et son évolution en fonction des années.

Les valeurs d'abondance sont acquises selon le protocole de suivi stationnel des herbiers de zostères mis en œuvre tous les ans à l'échelle des masses d'eau sélectionnées dans le cadre du contrôle de surveillance (RCS) DCE « Angiospermes » (Auby *et al.*, 2018 ; Rollet et Bernard, 2024). Les valeurs d'extension sont quant à elles acquises à l'issue de campagnes de cartographies des herbiers de zostères pour le suivi surfacique. Dans le cadre de la DCE, les données surfaciques doivent être actualisées au minimum tous les 6 ans, soit une fois par plan de gestion.

La coordination de ces suivis (stationnel et surfacique) est réalisée par l'Ifremer. C'est dans ce cadre que l'Ifremer sous-traite la cartographie des herbiers de zostères, afin d'actualiser les données surfaciques des masses d'eau surveillées.

Le présent marché s'inscrit d'une part **(1)** au sein de la convention RCS (Réseau de contrôle de surveillance) DCE 2027 en cours d'élaboration avec l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, et d'autre part **(2)** au sein du contrat spécifique d'application 2025-2028 signée avec l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

¹ Il est à noter que le nom scientifique accepté des zostères naines fluctue régulièrement depuis quelques années au gré de décisions parfois unilatérales des éditeurs taxonomiques en charges des principales bases de données taxonomiques de référence (WORMS, ALGAEBASE, POWO, IPNI). Elles ont ainsi été renommées comme *Nanozostera noltei* ((Hornemann) Tomlinson & Posluszny, 2001) en référence à une récente révision taxonomique des Zosteraceae à l'échelle mondiale sur des bases morphologiques et génétiques (Sullivan et Short, 2023), et sont depuis alternativement identifiées comme *Zostera noltii*, *Zostera noltei* ou *Nanozostera noltii*. Dans le cadre de la DCE, le choix a été fait de garder le nom *Zostera noltii* dans l'attente d'un nom accepté plus stable dans le temps (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=495082>). Ce nom correspond sans ambiguïté aux synonymes *Zostera noltei* ou *Nanozostera noltei*, utilisés dans les précédents rapports.

2. Objet du marché

Sous la responsabilité de l'Ifremer, la présente prestation s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la métrique « extension » des herbiers de zostères (*Zostera noltii* et *Zostera marina*), à l'échelle des masses d'eau du réseau de contrôle de surveillance (RCS) : **GC53 – « Pertuis Breton »** et **GT30 – « Estuaire du Lay »** sur le **bassin Loire-Bretagne** et **FC02 – « Pertuis charentais »** et **FT09 – « Estuaire Gironde aval »** sur le **bassin Adour-Garonne**. Cette évaluation sera réalisée à partir d'images satellites couplée à une campagne de terrain afin de constituer une cartographie actualisée des herbiers de zostères au sein de ces ME en 2027.

La figure 1 permet de positionner les masses d'eau RCS suivies pour la DCE « Angiospermes » en continuité sur la Côte atlantique et au sein du Parc Naturel Marin Estuaire de Gironde Mer des Pertuis (PNMEGMP).

Le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) précise les différents points attendus dans le cadre de cette prestation :

- Identification de l'ensemble des secteurs connus et potentiellement favorables à la présence d'herbiers nécessitant l'actualisation de la cartographie des herbiers à *Z. noltii* et à *Z. marina* sur la base des données bibliographiques existantes et le dire d'expert des acteurs locaux ;
- Proposition d'une méthodologie de cartographie adaptée au(x) site(s) ;
- Mise en œuvre de campagnes de vérité terrain permettant de valider et/ou qualifier les données ;
- Évaluation de l'évolution spatio-temporelle des herbiers ;
- Recensement des pressions anthropiques dans les sites d'étude susceptibles d'avoir un impact sur les herbiers.

Au vu de la technicité, de la standardisation des méthodes et de la synchronicité indispensable des actions de terrain avec la période de développement maximal des herbiers, il est essentiel que la phase d'interprétation des données de références ou supports optiques (imageries multispectrale ou acoustique), les vérités terrain associées et la réalisation de la cartographie soient réalisées conjointement et ne puissent être dissociées. De ce fait, toutes ces étapes doivent être idéalement réalisées par la même structure opératrice ou si plusieurs structures devaient contribuer, alors il sera nécessaire de désigner l'une d'elles comme responsable de la coordination et de la livraison de la cartographie finale.

Période à retenir pour l'acquisition des données du support de référence, l'acquisition des données pour la calibration et pour les campagnes de vérité terrain : de début juin à fin septembre-début octobre, période optimale durant laquelle le développement des herbiers est maximal – *une extension de cette période jusqu'à fin octobre pourra être accordée aux campagnes de vérité terrain à condition de justification (contraintes liées au coefficient de marée / à la météo).*

Le contenu attendu de la prestation est décrit ci-après. La méthodologie proposée par le prestataire doit être adaptée aux caractéristiques des herbiers.

L'Ifremer s'engage à garder confidentiel l'ensemble des informations contenues dans les documents fournis par les postulants en réponse au présent appel d'offre.

Ce marché concerne le suivi DCE à réaliser en 2027.

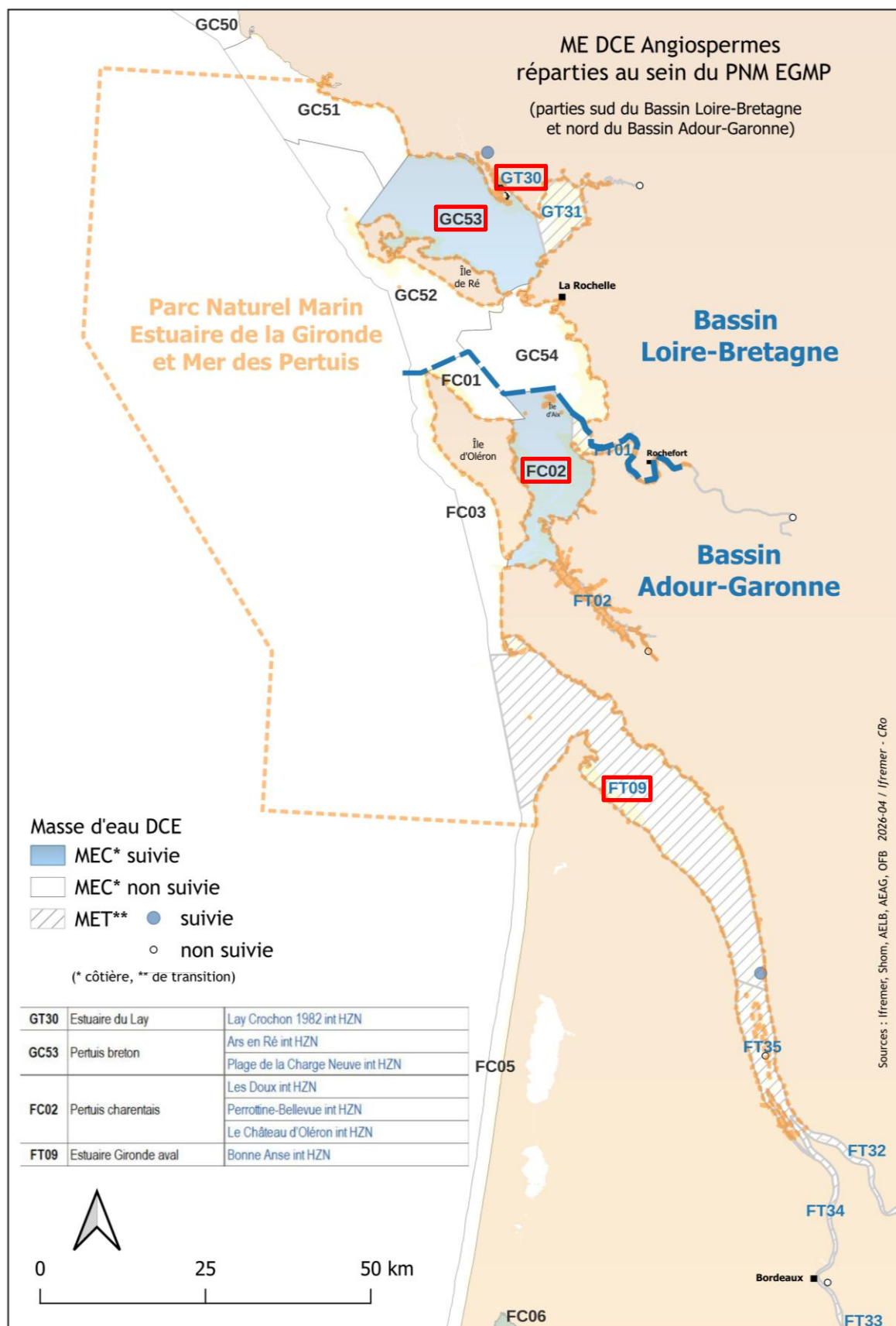


Figure 1 : Localisation des ME RCS (encadré rouge) : GC53 – « Pertuis breton », GT30– « Estuaire du Lay », FC02 – « Pertuis charentais » et FT09 – « Estuaire Gironde aval » et répartition de celles-ci au sein du PNMEGMP

3. Contenu de la prestation

3.1. Référentiels méthodologiques

Une attention toute particulière sera apportée à l'usage de méthodes de prospection éprouvées et aisément reproductibles permettant le suivi comparatif à long terme, et de techniques homogènes de prospection et d'analyse de manière à permettre la comparaison pertinente entre les différents sites.

Plusieurs références techniques pour la réalisation des cartographies des habitats benthiques marins sont aujourd'hui disponibles. Le guide méthodologique ou '**Cahier des charges pour la cartographie d'habitats des sites Natura 2000 littoraux**' réalisé par l'Ifremer pour la DIREN Bretagne (**Bajjouk, 2009**), les **recommandations méthodologiques** spécifiques à la '**Cartographie des herbiers de zostères**' rédigées dans le cadre de la convention Ifremer-AQUAREF-AFB 2016-2018 (**Bajjouk et al., 2019**), et plus récemment, l'exercice d'inventaire des cartographies des herbiers de zostères existantes réalisé par l'Ifremer pour l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (**Campana et al., 2022**) sont autant de références destinées aux gestionnaires et aux opérateurs en charge de l'actualisation des cartographies des herbiers de zostères et de l'évaluation de leur évolution spatio-temporelle.

Ces référentiels méthodologiques sont préconisés dans le cadre du présent cahier des charges afin de s'assurer d'une collecte standardisée des données surfaciques relatives aux herbiers de zostères (*Z. noltii* et *Z. marina*).

Les liens de téléchargement pour ces référentiels sont précisés à la section Bibliographie.

3.2. Données cartographiques historiques

La dernière cartographie des herbiers à *Zostera noltii*, réalisée à l'échelle de ce périmètre, date de 2020-2021, dans le cadre du projet de cartographie des habitats benthiques côtiers (CartoHECo). Ce projet inscrit au programme Life MarHa était un projet de recherche et développement coordonné par le Parc Naturel Marin Estuaire de Gironde et Mer des Pertuis (PNMEGMP) et mené par le bureau d'étude I-Sea (Curti et Beguet, 2021). Noter que la ME GC54 – « La Rochelle » ne fait pas partie des ME RCS suivies pour la DCE « Angiospermes » (figure1) bien que la présence d'herbiers y soit connue et y est déjà été cartographiée en 2020.

Cette cartographie est présentée au catalogue des données de l'OFB :

<https://data.ofb.fr/catalogue/Donnees-geographiques-OFB/fre/catalog.search#/metadata/46d16879-ce26-4ca4-affc-e8c38c9f000e>

Les données cartographiques associées (au format SIG) ont été intégrées à la couche de synthèse produite par l'OFB : `eco_met_herbier_zostere_2022_ofb_pol_2154.shp`

Toutes les données cartographiques historiques disponibles devront être répertoriées et utilisées pour le volet suivi de l'évolution des herbiers.

3.3. Identification de l'ensemble des secteurs connus et potentiellement favorables à la présence d'herbiers

Le prestataire prospectera, au sein des ME RCS, l'ensemble des zones pour lesquelles la présence d'herbiers est connue et celles potentiellement favorables à leur développement. Pour cela, il s'appuiera sur les données bibliographiques existantes, les images aériennes et/ou satellites disponibles (orthophotos, images Pléiades, ...) et le dire d'experts et d'acteurs locaux. La mise à jour

cartographique se voulant exhaustive, c'est sur cette base qu'il s'appuiera pour définir son plan d'échantillonnage pour l'acquisition des nouvelles données (données support et vérité terrain).

La présence d'herbiers à *Zostera marina* est connue autour de l'Île de Ré, au niveau de zones ostréicoles (Sauriau, 2024 ; Aubert *et al.*, 2025). Ces herbiers très peu étendus devront être localisés et cartographiés.

4. Acquisition et traitement de nouvelles données

L'inventaire cartographique des herbiers de zostères est réalisé en s'appuyant sur des techniques de télédétection. Tant pour l'acquisition des données de référence que pour le traitement des données elles-mêmes les technologies ont énormément évolué depuis une dizaine d'année. Les photographies aériennes et les ortholittorales constituaient le support principal de numérisation pour la cartographie des herbiers de zostères par photo-interprétation jusqu'en 2016. La plateforme satellite a pris le dessus et l'imagerie multispectrale proposée par Pléiades est à présent la plus utilisée comme support de numérisation optique (Campana *et al.*, 2022). Cette imagerie grâce une couverture large des sites devient le support de numérisation le plus accessible avec un quota de gratuité pour les projets publics. Elle permet la classification automatique assurant la qualité et la précision des produits cartographiques. Enfin, l'imagerie acoustique (Sonar) reste la seule solution lorsque la hauteur d'eau est trop importante pour une observation aérienne ou encore en cas de forte turbidité (Bajjouk *et al.*, 2019).

Le choix de la méthode dépendra de la configuration des herbiers de zostères. Campana *et al.* (2022) proposent ainsi une hiérarchisation des supports de numérisation en fonction de la configuration des herbiers, notamment de leur positionnement en zone intertidale ou subtidale et de leur étendue (voir Annexe 1).

Afin d'homogénéiser au mieux la méthode d'acquisition des données « support » à l'échelle des bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne dans le cadre des suivis DCE, l'imagerie multispectrale proposée par Pléiades est à prioriser.

En revanche sur les secteurs où les images Pléiades ne sont pas disponibles ou exploitables, l'acquisition des données « support » peut être complétée à partir :

- de survols aéroportés équipés d'un capteur multispectral (plate-forme avion ou drone).
- de relevés réalisés à l'aide de capteur acoustique, en zone subtidale si l'acquisition d'image multispectrale n'est pas possible (zone trop turbide ou herbier trop profond).

Le prestataire devra justifier le choix de la (ou des) méthode(s) d'acquisition des nouvelles données et la stratégie d'échantillonnage adaptée aux différents secteurs du territoire d'étude. L'objectif étant d'avoir une cartographie des herbiers de zostères avec un haut indice de confiance à partir de méthodes les plus comparables possible à l'échelle des façades Manche et Atlantique.

Les imageries utilisées comme support à la nouvelle cartographie des herbiers doivent avoir été **acquises à basse mer et à la période de développement maximal des herbiers, soit entre début juin et fin septembre**. Une extension de cette période jusqu'à fin octobre pourra être accordée aux campagnes de vérité terrain à condition de justification (contraintes liées au coefficient de marée / à la météo).

Le prestataire devra démontrer des compétences et une expérience avérée dans ce type d'analyse.

4.1. Cas de l'utilisation d'images multispectrales Pléiade

Le prestataire précisera :

- le type de données utilisées (Pléiades) ;
- la date du support de référence, sa résolution spatiale, le nombre de canaux disponibles au traitement (RVB, PIR) ... ;
- l'heure de prise de vue afin de calculer la hauteur d'eau au moment de l'acquisition ;
- le type du (ou des) traitement(s) appliqué(s) à l'image (conversion des canaux, NDVI, bathymétrie, rugosité et pente, ...) ainsi que les logiciels, leur paramétrage et les algorithmes utilisés ;
- la méthode de numérisation (classification automatique ou semi-automatique, base d'apprentissage à partir des connaissances disponibles, croisement de supports de référence, ...).

Le prestataire sera en charge de passer la commande des images Pléiade pour le compte de l'Ifremer via la plateforme « DATATERRA DINAMIS » (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire). Avant le passage de la commande, le prestataire s'engagera par écrit à respecter les conditions d'utilisation de la plateforme « DATATERRA DINAMIS » (<https://dinamis.data-terra.org/>) (extrait en annexe 6).

Le prestataire devra soumettre à l'Ifremer les dates et créneaux horaires identifiés pour la commande des images Pléiades afin de s'assurer que ceux-ci soient en adéquation avec la période et le niveau de marée définis dans ce CCTP.

À la réception de l'image Pléiade, il faudra évaluer sa qualité et surtout s'assurer que celle-ci soit exploitable pour les besoins de cette prestation. Une attention particulière doit être portée à l'absence de réflexions spéculaires, à la faible agitation de la surface de l'eau ou encore à l'absence de nuages.

4.2. Cas d'une acquisition de données acoustiques adaptée aux herbiers en zone subtidale

Pour l'utilisation des données acoustiques, **le prestataire justifiera notamment l'intérêt technique de cette méthode considérant les caractéristiques environnementales du site d'étude** (turbidité de l'eau et bathymétrie du site).

Le prestataire précisera :

- le système acoustique mis en œuvre, fréquence d'acquisition en kHz, vitesse du navire ;
- le positionnement GPS (et si nécessaire, l'ajustement réalisé lorsque le système est tracté en mode déporté par rapport au navire) ;
- les dates et heures associées afin de calculer la hauteur d'eau au moment de l'acquisition* ;
- la bathymétrie, si le système acoustique permet l'acquisition simultanée des profondeurs, si non la gamme de profondeurs prospectée ;
- les plans et profils d'acquisition (tracés géoréférencés reportés sur la cartographie du site)* ;
- les points d'observations (vidéo sous-marine ou plongée) ou prélèvements (bennes, carottes, à main) nécessaires à la calibration de l'interprétation des images acoustiques ;
- la démonstration de l'interprétation des images acoustiques avec les points de calibration ;
- la mosaïque des images acquises ;
- la méthode de numérisation.

**Points qui devront au préalable de l'acquisition être validés par les référents scientifiques et techniques Ifremer.*

4.3. Cas d'une acquisition complémentaire de données optiques par avion ou drone – capteur multispectral

Le prestataire qui souhaiterait proposer une campagne d'acquisition de photographies par avion ou drone à l'aide d'un capteur multispectral sur certains secteurs **devra justifier son choix et démontrer que l'utilisation des images multispectrales gratuites Pléiades n'est pas possible.**

Le prestataire précisera :

- le système drone et capteurs mis en œuvre (spécificités, résolution spatiale, nombre de canaux disponibles au traitement (RVB, PIR), ...) ;
- les autorisations de vols lorsque nécessaires selon la réglementation officielle (voir la documentation sur Service-Public.fr) et selon les spécificités locales (proximité d'un aéroport ou terrain militaire, ...) ;
- le plan de vol, la hauteur de vol, la résolution au sol* ;
- l'heure de prise de vue afin de calculer la hauteur d'eau au moment de l'acquisition* ;
- les points d'observations ou prélèvements nécessaires à la calibration de l'interprétation de l'orthophotographie produite ;
- le type du (ou des) traitement(s) appliqué(s) à l'image ainsi que les logiciels, leur paramétrage et les algorithmes utilisés ;
- la méthode de numérisation*.

**Points qui devront au préalable de l'acquisition être validés par les référents scientifiques et techniques Ifremer.*

5. Mesures in situ

5.1. Vérité terrain

L'acquisition de données de « vérité terrain » est indispensable à la validation de la cartographie dès lors que l'on utilise de l'imagerie comme support de référence. La « vérité terrain », son maillage et les éléments justifiant celle-ci (positionnement précis et commentaires associés) sont primordiaux.

Cette vérité terrain a trois usages :

1. la **calibration des algorithmes** utilisés lors du traitement du support de référence (imageries optiques, données acoustiques). Dans le cadre de la production d'une cartographie par classification automatique ou semi-automatique à partir d'imageries multispectrale ou acoustique, la base d'apprentissage se fera à partir de données acquises *in situ* (calibration des valeurs spectrales de pixels, ...). Une attention particulière sera apportée à la synchronicité des données de l'imagerie avec celles du terrain ;
2. la **consolidation de l'expertise** de l'opérateur dans le cas d'une photo-interprétation manuelle (compréhension du secteur et des variations des teintes en fonction des habitats, ...) ;
3. la **validation de la cartographie des herbiers** quant à la précision spatiale (contours des enveloppes d'herbiers et leurs dynamiques), la qualification des espèces par polygone, ainsi que les valeurs de recouvrement en zostères (observées ou interprétées) par polygone.

5.2. Évaluation du taux de recouvrement des zostères

Pour le suivi stationnel mis en œuvre pour le calcul de l'indicateur DCE « Angiospermes », la mesure d'abondance des zostères se fait *in situ* et correspond soit à la densité des pieds au m² pour *Zostera marina*, soit au taux de recouvrement des feuilles dans des quadrats de 50x50cm pour *Zostera noltii*, selon les méthodes décrites dans Auby *et al.* (2018). En 2022, une fiche d'aide à l'estimation visuelle a été produite pour accompagner les opérateurs sur le terrain (Spitéri *et al.*, 2022).

Les valeurs de recouvrement estimées vont de l'absence d'herbier (0) au recouvrement total (100%) en passant par les classes de 1 à 25% (faible), de 26 à 50% (moyen), de 51 à 75% (fort) et de 76 à 99% (très fort) (Tableau 1).

Tableau 1 : Classes de recouvrement et médianes associées (extrait de Auby *et al.*, 2018)

Classe de taux de recouvrement (%)	0	1-25	26-50	51-75	76-99	100
Valeur de médiane associée	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1

Dans le cadre de cette approche cartographique, **le taux de recouvrement en zostères devra être renseigné pour chaque polygone quel que soit l'espèce**. Afin d'harmoniser cette information, il est recommandé d'utiliser cette fiche d'aide à l'estimation visuelle présentée en annexe 2 - fiche initialement produite pour le suivi stationnel des herbiers à *Zostera noltii* et pouvant ici être utilisée pour l'évaluation du taux de recouvrement des herbiers à *Zostera marina*.

Le prestataire proposera un plan d'échantillonnage de vérité terrain basé sur un maillage relativement précis en fonction de la typologie des herbiers présents sur le site. Ce plan d'échantillonnage s'appuiera sur l'interprétation des supports de référence (imageries optique ou acoustique). De même, il peut être utile de procéder à un échantillonnage des herbiers en fonction de la bathymétrie car des paramètres peuvent évoluer de manière significative en fonction de la profondeur.

Selon la configuration des secteurs à explorer, ces points d'observations (rattachés à des coordonnées géographiques précises) renseigneront le taux de recouvrement en zostères selon les 5 classes définies sur la fiche d'aide à l'évaluation du taux de recouvrement présentée sur le Tableau 1 (hors celle d'absence d'herbier). La valeur du taux de recouvrement sera ensuite extrapolée au polygone dans lequel le point d'observation est inclus.

5.3. Autres observations ponctuelles à renseigner

De manière qualitative ou quantitative, le **prestataire devra renseigner** de manière ponctuelle :

- **l'état des feuilles** (entières, déchirées, broutées ou traces de maladie (Wasting disease) ;
- **la présence/absence d'impacts** pouvant être attribués à des activités humaines (trace/sillon d'abrasion, déchet, algues vertes opportunistes...) en appui aux observations d'impacts réalisées à partir des supports de référence (imageries).

6. Évaluation de la qualité de la cartographie

La qualité de la carte est évaluée sur le critère d'exactitude qui mesure le pourcentage de pixels correctement classifiés sur le jeu de données de validation (issu de données d'observations *in situ*). Elle est obtenue par une matrice de $N \times N$, dite matrice de confusion, où N est le nombre de classes (tableau 2).

Tableau 2 : Exemple de matrice de confusion pour l'évaluation de la qualité de la carte de distribution des herbiers

		Image classifiée	
		Herbier	Non herbier
Terrain	Herbier	A Vraie présence	B Fausse Absence
	Non herbier	C Fausse Présence	D Vraie absence
Exactitude de la carte (%) = $[(A+D) / (A+B+C+D)] * 100$			

La production d'une matrice de confusion pour l'évaluation de la qualité de la carte de distribution des herbiers est indispensable (Bajjouk *et al.*, 2019, p.59).

Le prestataire précisera dans son mémoire technique sa méthodologie pour produire cette matrice de confusion.

7. Cartographie des herbiers

Le prestataire produira la cartographie des herbiers de zostères des sites visés par cette prestation.

7.1. Échelle et géoréférencement de la cartographie

L'échelle principale de restitution sera de 1:5000 ce qui signifie que la numérisation devrait être réalisée au 1:2500. Toutefois, alors que le consensus actuel suggère de ne pas interpréter d'unités d'habitats inférieures à 25 m², les herbiers de zostères ont une valeur patrimoniale telle qu'ils doivent être inventoriés avec précision. Une échelle de numérisation de 1:1000 est par conséquent préférable car cela permettra si nécessaire une restitution au 1:2000 (Bajjouk, 2009).

Tous les rendus cartographiques seront produits en RGF93, système de référence légal avec comme projection associée le Lambert 93 (Code EPSG : 2154).

Le positionnement devra être d'ordre métrique (dans tous les cas, précision inférieure à 10 m). Il sera apprécié, pour le géoréférencement des petites tâches d'herbiers, ou dans le cas de la définition de la limite d'habitat, d'avoir accès à un géoréférencement plus précis (de l'ordre du mètre).

7.2. Logiciel de cartographie

Afin de réaliser la cartographie des herbiers, il est préconisé d'utiliser le **logiciel de cartographie QGIS**. Ce logiciel open-source offre des outils et des fonctions pour stocker, analyser et visualiser les données géographiques. Il fournit pour chaque couche d'information un fichier au format 'shapefile' (.shp) (= fichier de forme constitué d'un ensemble de fichiers reliés entre eux et portant sur une même classe d'entités). Les fichiers de style.qml^{©QGIS} permettant de conserver les paramètres de représentation d'une couche géographique seront à préciser.

7.3. Cartographie des herbiers

Pour les herbiers dont les données surfaciques sont actualisées, le prestataire produira une carte par masse d'eau.

La liste des métriques ou attributs à renseigner *a minima* pour la **table attributaire associée à la couche cartographique des herbiers** s'appuie sur les travaux de Campana *et al.* (2022) auxquels sont **ajouter plusieurs champs** afin de s'assurer de la complétude des informations indispensables à son exploitation cartographique dans le cadre de cette prestation (**Annexe 3** : Tableau 5 adapté, extrait de Campana et al., 2022). Le champ [Com_gen] de la table attributaire associée permet de renseigner en texte libre toutes autres informations utiles à la compréhension globale de l'état des herbiers.

Une analyse de fiabilité des données acquises (au niveau de chaque polygone) devra être proposée sous la forme d'un **indice de confiance (IC)** :

IC = 1 ==> **Faible** : pas de point de validation et photointerprétation incertaine ;

IC = 2 ==> **Bon** : pas de point de validation et photointerprétation fiable, ou point de validation et photointerprétation incertaine ;

IC = 3 ==> **Fort** : point de validation et photointerprétation fiable.

Tous les polygones 'herbiers' devront être renseignés concernant les éléments suivants :

Espèce de zostère (*Zostera noltii* / *Zostera marina* / *Zostera sp.*)

Espèce dominante si herbier mixte ou en mélange avec un autre habitat (maërl) ou avec des macroalgues.

Enveloppe surfacique (en m² ou/et en ha)

Détourage des différentes zones d'herbiers selon leur recouvrement - les valeurs brutes sont demandées

Indice de confiance attribué à la qualification du polygone

7.4. Cartographie des observations in situ

Le travail de vérité terrain qui permet de renseigner ponctuellement les stations d'observations devra faire l'objet d'une couche SIG, laquelle renseignera les photographies, les vidéos, les prélèvements effectués (le cas échéant), le type de sédiment, les pressions visibles, et surtout l'abondance des herbiers, soit le taux de recouvrement du sédiment par les feuilles de zostères quelle que soit l'espèce et le niveau d'exondation (en intertidal ou subtidal). Ponctuellement, il sera possible d'y renseigner lorsque celles-ci auront été mesurées la densité des zostères marines (par pieds au m²) et la fragmentation de l'herbier (évaluée selon la méthode LIT).

La nomenclature des métriques ou attributs à renseigner pour la table attributaire associée à la couche d'observation in situ est présentée en **Annexe 4** (Tableau 15 de Bajjouk *et al.*, 2019).

Les informations acquises lors de l'échantillonnage *in situ* pourront être intégrées à la couche cartographique des herbiers afin de renseigner le plus justement possible chaque polygone selon les typologies définies (taux de recouvrement, densité, fragmentation (optionnel) et utiles à une représentation et compréhension globale de l'état des herbiers. Le champ [COMMENT] de la table attributaire associée permet de renseigner en texte libre toutes les informations pertinentes.

Tous les points d'observation -Vérité terrain- devront être renseignés concernant les éléments suivants :

Taux de recouvrement pour les deux espèces

Signes de la maladie du dépérissement (Wasting disease) pour *Z. marina* ;

État des feuilles (entières, déchirées, broutées)

Présence/absence d'impacts pouvant être attribués à des activités humaines (trace/sillon d'abrasion, déchet, algues vertes opportunistes...).

7.5. Évolution spatio-temporelle des herbiers

Le traitement des données devra assurer l'évaluation de l'évolution des surfaces d'herbiers de zostères en comparant la nouvelle cartographie produite (2027) avec les données cartographiques historiques disponibles (2020) sur le secteur d'étude (Section 3.2).

Le prestataire devra être attentif au fait que selon les méthodes de cartographie mises en œuvre la précision des données peut différer. De fait, certaines données cartographiques historiques renseignent seulement les enveloppes externes des herbiers (photointerprétation manuelle) alors que les nouvelles méthodologies par classification automatique permettent une cartographie beaucoup plus précise détournant les pixels de végétation. Ces deux types de données seront difficilement comparables.

Il expliquera, dans la mesure du possible, les biais d'évaluation des tendances surfaciques liés aux changements de protocoles dans le temps.

L'Ifremer fournira les couches cartographiques (format .shp et rapport d'étude associé si disponible) des données historiques en sa possession. Le prestataire pourra compléter ces données si besoin.

8. Suivi de la prestation

Des réunions de suivi technique et de validation des travaux devront être organisées lors de la prestation avec *a minima* :

- une réunion de lancement à planifier avant le début des campagnes de terrain afin de valider/consolider la méthodologie proposée par le prestataire,
- une réunion d'avancement du projet en cours de prestation – à voir après réception d'un rapport intermédiaire confirmant la réalisation des campagnes de terrain et le choix du support de référence,
- une réunion préalable à la clôture officielle du projet après la restitution de l'ensemble des données et du rapport final de l'étude pour validation et temps de correction si nécessaire,
- une réunion de restitution en fin de projet.

À tout moment, le prestataire pourra solliciter l'Ifremer pour des réunions additionnelles, s'il le juge nécessaire pour le bon déroulement du projet.

L'Ifremer se réserve le droit d'accompagner le prestataire sur le terrain pour s'assurer que l'ensemble des missions soit réalisé conformément au protocole, ainsi qu'au cahier des charges. L'Ifremer pourra de son côté demander la mise en place de réunions supplémentaires.

9. Planning prévisionnel et livrables associés

9.1. Planning prévisionnel

➤ **Phase préparatoire : février et avril 2027**

- Réunion de lancement
- Définition et validation du plan d'échantillonnage
- Échanges avec experts Ifremer
- Présentation de la méthode retenue

➤ **Phase d'acquisition des données et Vérité terrain : de début juin à fin septembre 2027**

- Acquisition des données surfaciques : période à préciser par le prestataire
- Vérité terrain : période à préciser par le prestataire

➤ **Phase finale : novembre 2027–mars 2028**

- Présentation des résultats et version provisoire du rapport : à préciser par le prestataire. Au plus tard, le rapport devra être transmis avant la fin de l'année 2027.
- Transmission et validation du rapport final : février-mars 2028
- Réunion de restitution : mars 2028

9.2. Contenu des livrables finaux

Plusieurs livrables sont attendus dans le cadre de cette prestation et seront fournis à l'Ifremer :

- les données acquises spécifiquement (avec leurs métadonnées) ;
- les données cartographiques au format SIG (tables attributaires complétées avec leurs métadonnées) :
 - Cartographie des herbiers,
 - Observations de terrain ou vérité terrain à l'usage de la calibration des traitements et de la qualification de la cartographie elle-même (avec photos et vidéos associées) ;
- un rapport final présentant la méthodologie du suivi, les résultats obtenus et les limites rencontrées.

Des précisions sur le contenu de ces deux catégories de livrable sont apportées ci-après :

9.3. Données cartographiques

Les données cartographiques seront fournies **par masse d'eau**.

Les opérations de géo-traitement et numérisation des données auront été effectuées sous le logiciel QGIS ou logiciels compatibles à la production de fichiers 'shapefile'. Tout traitement de données géographiques réalisé à l'aide d'autre logiciel devra être expliqué et documenté.

Toutes les données géographiques et les rendus cartographiques seront produits en RGF93, système de référence légal avec comme projection associée le Lambert 93 (Code EPSG : 2154).

Les données acoustiques brutes et les couches d'observation *in situ* acquises à l'aide de GPS (sur le terrain) seront quant à elles fournies avec le système de projection natif du GPS, à savoir le WGS84.

Les données géographiques acquises ou produites lors de l'inventaire cartographique concernent, selon les cas de mode d'acquisition (présentés à la section 4) :

1. les données optiques et/ou acoustiques brutes et les données de navigation associées* ;

2. les données optiques et/ou acoustiques prétraitées* ;
3. les mosaïques d'images optiques et/ou acoustiques* ;
4. la couche de cartographie des herbiers ;
5. les couches de données d'observation *in situ* (taux de recouvrement, fragmentation et radiales vidéo) ;
6. l'intégralité des fichiers relatifs aux observations *in situ* : photos, vidéos, etc. ;
7. les métadonnées spécifiques à chaque couche cartographique produite.

**Les données devront être fournies dans des formats compatibles à nos outils pour stockage. Le prestataire fournira également les rapports techniques de réalisation des levés optiques et acoustiques.*

9.4. Nomenclature des fichiers rendus

Pour tous les fichiers issus de la prestation, il est recommandé d'utiliser une nomenclature permettant d'identifier le site concerné, l'année d'acquisition des données, l'objet principal de la couche et la version du fichier.

Exemple : **GC53_2027_Herbiers_Extension_V1.shp**

Où : **GC53** correspond au site d'étude = ici, code de la masse d'eau ;
2027 correspond à l'année de production finale de la donnée (cartographie)
ou à l'année d'acquisition de la donnée de référence qui peut être
antérieure (vérité terrain-VT ou imagerie support) ;
Herbiers_Extension ou **Herbiers_VT** correspond à l'objet de la couche
V1 correspond à la version du fichier.

Ces mêmes règles de nomenclature seront utilisées pour les fichiers photos et vidéo, incluant ici les codes-points de chaque Vérité terrain.

9.5. Structuration des données et métadonnées

La directive INSPIRE impose la mise à disposition des données géographiques publiques, notamment celles liées à l'environnement et donc celles produites dans le cadre de la DCE.

Ainsi, la structuration des données cartographiques est essentielle et indispensable. Les données sont documentées, renseignées et organisées de façon spécifique afin de pouvoir être partager et réutilisées selon les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Les tables attributaires associées à chaque couche cartographique produite doivent être complétées selon les structures décrites en Annexe 3 et Annexe 4.

Les métadonnées, quant à elles, assurent l'accessibilité et la compréhension du jeu de données. Elles renseignent le contexte de création de la couche (généalogie de la couche) selon des règles standardisées afin de garantir leur interopérabilité, leur accès et partage. Y sont renseignées les informations telles que son producteur, son contenu, sa qualité, sa disponibilité, etc ...).

La table attributaire et les métadonnées sont complémentaires, nécessaires et indispensables pour répondre aux exigences INSPIRE et FAIR.

Il est demandé au prestataire de rédiger, **pour l'ensemble des couches nouvellement produites**, des fiches de métadonnées associées. De même, **quel que soit le support de référence utilisé** pour la réalisation de la nouvelle cartographie des herbiers, celui-ci possède des spécificités propres qu'il sera indispensable de renseigner par des métadonnées.

Une structure contenant le minimum d'informations requises est proposée en Annexe 5 (Tableau 17 de Bajjouk et al., 2019). Elle tient compte des standards internationaux dans le domaine de

l'information géographique utilisés et du système de bancarisation prévu pour la gestion des données surfaciques relatives aux herbiers (Bajjouk et al., 2019).

Si nécessaire, le format de la fiche de métadonnées pourra être validé en amont avec l'Ifremer avant d'être complété.

9.6. Liste des attendus cartographiques et données associées

Ci-dessous :

- le terme « **données actuelles** » se réfère aux données acquises dans le cadre de cette prestation
- le terme « **données historiques** » se réfère à des données qui ont été produites avant cette prestation

Tableau 3 : Liste des données géoréférencées

TYPE DE DOCUMENT	Format Numérique
Couche SIG 'herbiers actuels' (polygones) correspondant aux contours d'herbiers issues de la prestation. La table attributaire associée sera renseignée selon les informations définies en Annexe 3 + la densité/recouvrement et la fragmentation (si mesurée)	*.shp
Emprise des données historiques disponibles et niveau de confiance alloué (si acquisition de données complémentaires non fournies par Ifremer)	*.shp
Couches SIG (point, ligne, polygone) des points d'observation (quadrats, transects...) sur le terrain (données actuelles)	*.shp
• Nom des fichiers associés (photos, vidéos)	*.jpeg et format compatible vidéo
• Points de localisation sur les herbiers des photos/vidéo permettant d'estimer le recouvrement	*.shp
• Table attributaire renseignant les métriques acquises lors de la vérité terrain. (Espèce, enveloppe, recouvrement, densité, ..., état feuille, présence impact)	Intégrée dans *.dbf lié au *.shp
• Plans d'échantillonnages planifiés/réalisés	*.shp
Couches SIG « usages »	*.shp
Données de référence et données physiques existantes utilisées comme référence (imagerie, trait de côte, MNT, hyperspectrale, données acoustiques)	Format source SIG
Données acoustiques acquises (brutes et interprétées)	Format source SIG
Création des métadonnées au format Inspire (Géosource)	*.doc et/ou *.xls
Projets cartographiques (selon le logiciel employé QGIS ou ArcGIS) et symbologies associées avec notice de mise en page si possible	*.qgz ou/et *.mxd *.qml ou/et *.lyr
Carte avec indice de confiance des résultats par polygones ou pixels (données actuelles)	*.shp

Un indice de confiance devra être renseigné dans chaque table attributaire des données livrées. La méthode pour attribuer cet indice de confiance devra être détaillée dans le rapport d'étude.

La légende des cartes contiendra à minima : *Z. noltii*, *Z. marina*.

La légende des cartes d'estimation de la densité en zostères indiquera les classes de densité pertinentes.

Toutes les images et les vidéos des observations de terrain seront fournies. Les images seront fournies en JPEG ou TIFF (> 300 dpi) et les vidéos en MOV ou MPEG (min HD ou full HD).

9.7. Rapport final

TYPE DE DOCUMENT
Le rapport comprendra <i>a minima</i> les volets suivants : ➤ Description détaillée du site d'étude (bathymétrie, turbidité, couverture des sites - zones intertidale/ subtidale, granulométrie, ...) ➤ Méthodologie : dans un souci de rigueur et de reproductibilité des protocoles, le prestataire devra décrire explicitement les méthodes utilisées et justifier ses choix : ○ de méthodologie pour définir l'enveloppe surfacique : support, capteur, méthode et classification et algorithme (le cas échéant) ○ des protocoles utilisés pour la vérité terrain : techniques d'échantillonnage, échelles de travail, nombre de relevés effectués sur le terrain, géolocalisation des relevés et dates de prospection, difficultés rencontrées (conditions météorologiques, secteurs inaccessibles, etc.) ➤ Résultats et interprétation : ○ Cartes (voir ci-dessous) ○ Évolution des enveloppes d'herbiers du site (données historiques et actualisation) ○ Validation des résultats : vérités terrain et matrice de confusion ○ Indice de confiance spatialisé des « données actuelles » acquises (échelle par polygone/pixel si possible) ➤ Photos illustrant le site, l'herbier ou les herbiers et la phase de vérité terrain ➤ Métadonnées (selon le format transmis Annexe 5)
Cartes des herbiers sur l'ensemble du site : enveloppe, recouvrement, fragmentation si évaluée
Cartes d'évolution des enveloppes des herbiers sur l'ensemble du site (croisement des données historiques avec la mise à jour réalisée)
Carte indice de confiance « données actuelles »
Cartes des positionnements des observations issues de la phase vérité terrain
Cartes représentant la couverture des images satellites, ortholittorales, ... utilisées comme support de référence

Tous les livrables seront envoyés en version provisoire à l'Ifremer pour validation avant la production d'une version définitive incluant d'éventuelles remarques ou commentaires. L'intégralité des données produites dans le cadre de l'étude (données brutes, analyses, rapports, images) sera fournie au format numérique.

10. Communication

La présente prestation s'inscrit d'une part au sein de la convention RCS (Réseau de contrôle de surveillance) DCE 2027 en cours d'élaboration avec l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, et d'autre part au sein du contrat spécifique d'application 2025-2028 signée avec l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Sur toute la durée de la prestation, le titulaire ne doit en aucun cas être à l'initiative de communication vers la presse sans être autorisé par l'Ifremer. C'est l'Ifremer qui est en charge de définir le cadre de communication dans le respect des règles établies par lesdites conventions.

11. Autorisations administratives éventuelles

Pour l'acquisition de nouvelles données, imageries ou « vérité terrain », le prestataire doit, si nécessaire, disposer des autorisations administratives adéquates précisément prévues pour chaque secteur à prospecter. Sur demande d'Ifremer, le prestataire doit pouvoir présenter ces attestations.

12. Conditions de sécurité

Le prestataire devra établir un plan de prévention des risques, intégrant les risques spécifiques en lien avec les différentes missions du CCTP. S'il est connu par le prestataire, il pourra être présenté lors du dépôt de l'offre. Sinon, il pourra être fourni avant les premières campagnes de terrain.

13. Contacts

Durant la publication du marché, **toutes les questions doivent être posées via la plateforme PLACE.**

Après l'attribution du marché et durant le déroulé de la prestation, plusieurs personnes pourront être contactées selon les sujets scientifiques et techniques :

Claire ROLLET, Co-Responsable Manche-Atlantique du Suivi DCE Angiospermes (parties scientifique et technique) : claire.rollet@ifremer.fr

Guillaume BERNARD, Co-Responsable Manche-Atlantique du Suivi DCE Angiospermes (parties scientifique et technique) : guillaume.bernard@ifremer.fr

Audrey Bruneau, Coordinatrice DCE Agence de l'eau Loire-Bretagne (partie technique) : audrey.bruneau@ifremer.fr

Laure Gouriou, Coordinatrice DCE Agence de l'eau Adour-Garonne (partie technique) : laure.gouriou@ifremer.fr

Julie Gazeilles, Responsable administrative (partie administrative) : julie.gazeilles@ifremer.fr

Aurélien Vérité, Acheteur en charge de la gestion du marché : aurelien.verite@ifremer.fr

Bibliographie

- Aubert F., Toribio E., Pineau P. (2025). Contrôle de surveillance DCE 2024 des masses d'eau côtière « FRGC53 - Pertuis Breton » et « FRGC48 - Baie de Bourgneuf » et de la masse d'eau de transition « FRGT30 - Estuaire du Lay » pour les herbiers de *Zostera noltei* Hornemann : rapport final. <https://archimer.ifremer.fr/doc/01074/118512/>
- Auby I., Oger-Jeanneret H., Sauriau P.-G., Hily C., Barillé L. (2010). Angiospermes des côtes françaises Manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité. Rapport Ifremer, Ifremer, Arcachon, 72 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14358/>
- Angiospermes des côtes françaises Manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité.
- 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, 42 p. + annexes <https://archimer.ifremer.fr/doc/00471/58250/>
- Bajjouk T. (2009). **Soutien aux actions Natura2000 de la région Bretagne – Cahier des charges pour la cartographie d'habitats des sites Natura2000 littoraux : Guide méthodologique.** Réf. RST/IFREMER/DYNECO/AG/09-01/TB/NATURA2000.107p + annexes. https://www.natura2000.fr/sites/default/files/mer/NATURA_CDC_014_Adaptation_CDC_Sites_Littoraux_V1r1comp72dpi.pdf
- 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.** Réf. Convention Ifremer-AQUAREF Thème Formation et outils 2016-2018. DYNECO/LEBCO/19-01/TB. 105 p.. Ifremer. <https://doi.org/10.13155/62528>
- Campana M., Bizzozero L., Bajjouk T., Rollet C., Lissardy M. (2022). Directive Cadre sur l'Eau. Bassin Loire-Bretagne. **Étude préliminaire pour la mise à jour des données surfaciques relatives aux herbiers de zostères.** ODE/UL/LER/MPL/22.16 <https://archimer.ifremer.fr/doc/00812/92418/98573.pdf> → Voir Section 3 du rapport
- 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.
- 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 2 – Rapport final – Analyse historique des herbiers de zostère naine à l'échelle du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, Contrat de Recherche & Développement, OFB / i-Sea, 118 p.
- Rollet Claire, Bernard Guillaume, (coord.) (2024). Classement des masses d'eau du littoral Manche-Atlantique sur la base de l'indicateur DCE « Angiospermes » (2018-2023). Ref. Ifremer/ODE/COAST/LERBN-24-007. 82p.. Ifremer. <https://doi.org/10.13155/103107>
- Sauriau P.-G. (2024). La zostère marine *Zostera marina* (Linnaeus 1753) des îles et littoraux des Pertuis Charentais : analyse historique 1820-2023. Ann.Soc.Sci.nat. Charente-Maritime, 2024, 11 (6) : 593-623

Spitéri M., Rollet C., Auby I., 2022. Contribution à la consolidation du protocole DCE pour le suivi de l'état écologique des herbiers à *Zostera noltei*. Création de schémas de pourcentage de recouvrement comme aide à l'évaluation de l'abondance des plantes. Rapport AQUAREF 2022 – 20 p. + Annexes. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00785/89711/>

Annexe 1 – Recommandations relatives au support de numérisation

Extrait du rapport Campana *et al.* (2022) pages 47-49

<https://archimer.ifremer.fr/doc/00812/92418/>

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).

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 km²) : un capteur multispectral disposé sur un drone,
- grands herbiers (> 5 km²) : 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 km²), 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).

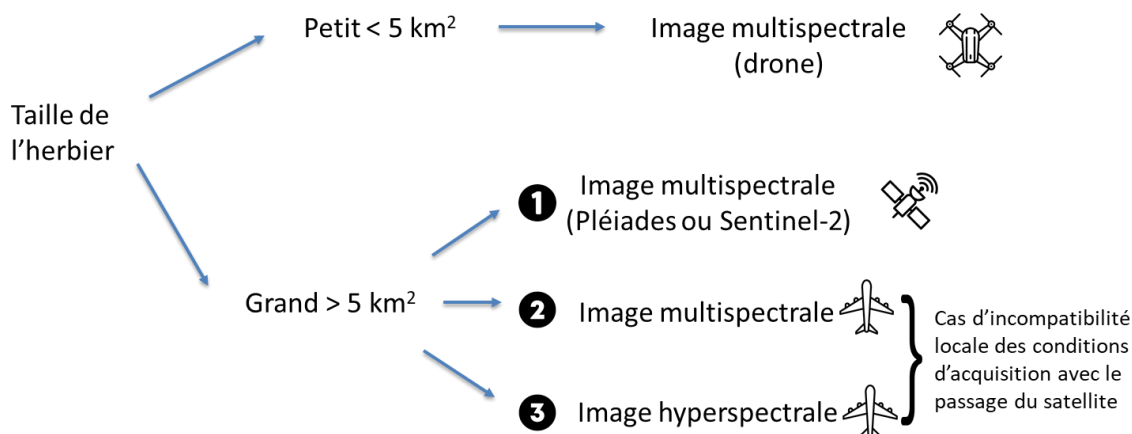


Figure 9 : Recommandations de stratégie de suivi surfacique en zone intertidale et en petits fonds (< 2 m de profondeur), selon la taille de l'herbier

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 prospector, 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 multispectrale ou hyperspectrale 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.

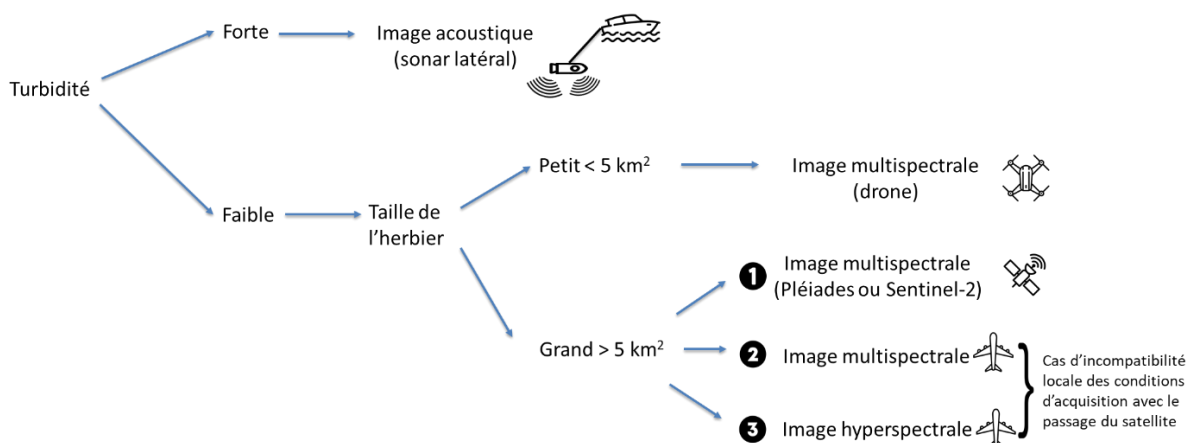


Figure 10 : Recommandations de stratégie de suivi surfacique en zone subtidale entre 2 m et 5 m de profondeur selon la turbidité

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.

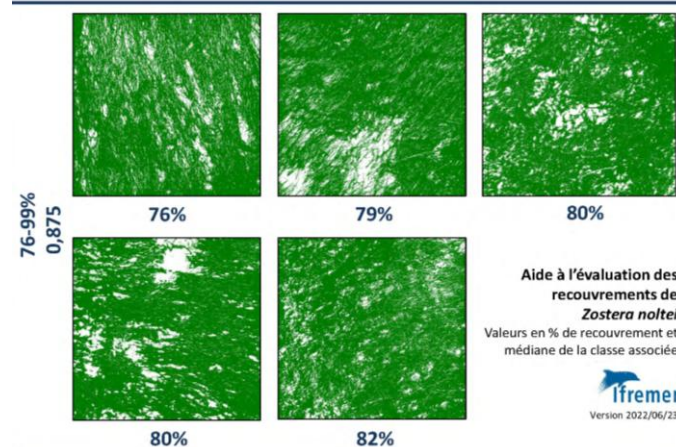
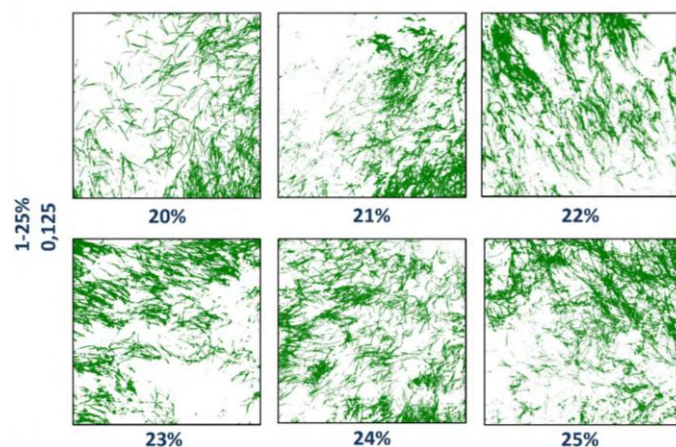


Figure 11 : Recommandations de stratégie de suivi surfacique en zone subtidale entre 5 m et 10 m de profondeur

Annexe 2 – Fiche d'aide – estimation visuelle recouvrement

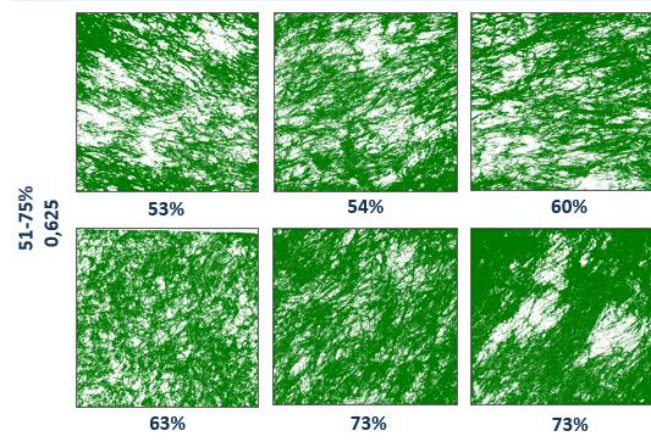
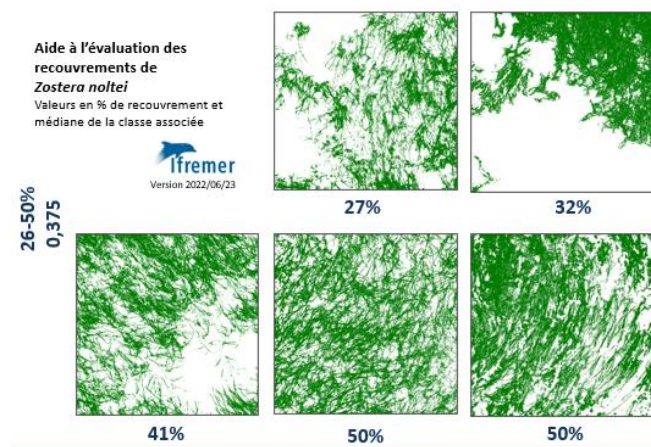
Pour faciliter l'estimation visuelle du taux de recouvrement du sédiment par les feuilles de zostères sur le terrain, une fiche d'aide a été produite (Spitéri *et al.*, 2022).

1-25% : Herbiers discontinus et très souvent hétérogènes avec des taches disséminées ou des pieds dispersés en faible densité



> 75% : Herbiers continus et homogènes présentant une forte couverture foliaire

26-50% ou 51-75% : Herbiers discontinus, présentant une alternance de taches recouvertes et de zones de substrat nu.



Annexe 3 – Table attributaire de la couche cartographique ‘Herbiers’

adapté du rapport Campana *et al.* (2022) page 17 <https://archimer.ifremer.fr/doc/00812/92418/>

Tableau 5 : Table attributaire des couches de cartographie des herbiers de zostères (2 pages)

(les champs marqués par * sont obligatoires, ** obligatoires pour imagerie)

Champ	Format	Description	Typologie
ID	Numérique (entier)	Identifiant unique du polygone Séquence numérique automatique (interne au SIG)	
Code_ME*	Texte	Code de la Masse d'Eau	
Nom_ME*	Texte	Nom de la Masse d'Eau	
Code_Site*	Texte	Code du site Natura2000	
Nom_site*	Texte	Nom du site Natura 2000 ou appellation locale	
Programme	Texte	Programme ou projet dans le cadre duquel la cartographie des herbiers a été élaborée. Y renseigner la référence du rapport associé	
Espec*	Texte	Espèce de zostère cartographiée	<i>Zostera marina</i> <i>Zostera noltii</i> <i>Zostera sp.</i>
Com_Esp	Texte	Commentaire libre relatif au champ Espèce Renseigner l'espèce dominante, le cas échéant, lorsque les deux espèces sont présentes ou en mélange avec un autre habitat (maërl) ou avec des macroalgues	
Substrat	Texte	Type de sédiment À renseigner selon l'information disponible	Sable fin / Sable grossier / Vase / Sable hétérogène envasé ...
Supp_num*	Texte	Support de numérisation (Image de référence ou Vérité Terrain)	Image hyperspectrale Image multispectrale Image acoustique Photographie aérienne Orthophotographie Relevés GPS/DGPS
Date_supp*	Texte	Date du support de numérisation (jj/mm/aaaa)	jj/mm/aaaa
Capteur**	Texte	Nom du capteur utilisé	Pléiades / Planet / WorldView-1/-2 / Sentinel 2 Modèle capteur multispectral 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 lorsque 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	Identification de l'auteur/opérateur /\n Initiales du prénom et du nom (RGPD)	P. N.
Org_aut*	Texte	Organisme/ bureau d'étude (BE) d'appartenance de l'auteur du polygone	Ifremer / MNHN / ... 'Nom du BE'
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
Method_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	Identification de l'auteur/Validation /\n Initiales du prénom et du nom (RGPD)	P. N.
Org_val*	Texte	Nom de l'organisme/bureau d'étude (BE) d'appartenance de l'auteur de la validation	Ifremer / MNHN / ... 'Nom du BE'
Surf_m²*	Numérique (décimal)	Surface du polygone (en m²) (calcul automatique – géométrie SIG)	
Surf_ha	Numérique (décimal)	Surface du polygone (en hectares) (peut être convertie a posteriori)	
Org_prod	Texte	Organisme producteur de la couche de synthèse (peut être renseigné à postériori)	Ifremer OFB...
Date_dif	Texte	Date de diffusion de la couche (mm/aaaa) (peut être renseignée a posteriori)	11/2022
Recouvr*	Texte	Taux de recouvrement (%) des feuilles sur le fond évalué ponctuellement (en lien avec la couche vérité terrain VT) ou par photointerprétation puis extrapolée au polygone	0 1-25 26-50 51-75 76-99 100
Fragmen	Texte	Rapport entre la surface végétalisée et l'enveloppe de l'Herbier	0 1-25 26-50 51-75 76-99 100
IC*		Indice de confiance IC = 1 : FAIBLE - pas de point de validation et photointerprétation incertaine IC = 2 : BON - pas de point de validation et photointerprétation fiable, ou point de validation et photointerprétation incertaine IC = 3 : FORT - point de validation et photointerprétation fiable.	1 2 3
Comment	Texte	Commentaire libre (facultatif) dans lequel faire figurer toute autre information n'ayant pas pu être saisie dans un des champs prédéfinis mais d'intérêt pour la compréhension de la donnée	

Annexe 4 – Table attributaire observations *in situ* – Vérité terrain

adapté de Bajjouk *et al.*, 2019, tableau 15 p.82 - <https://doi.org/10.13155/62528>

Tableau 15 : Attributs de la couche d'observation *in situ* (2 pages)
(les champs marqués par * sont obligatoires)

Champ	Format	Description	Typologie
ID*	Numérique	Identifiant unique du point Séquence numérique automatique (interne au SIG)	
CODE_ME*	Texte	Code de la Masse d'Eau	
NOM_ME*	Texte	Nom de la Masse d'Eau	
CODE_SITE	Texte	Code du site Natura2000	
NOM_SITE	Texte	Nom du site Natura2000	
STATION*	Texte	Identifiant unique de la station d'observation qui pourra être utilisé pour la codification des différents types d'observation	
COORD_X*	Numérique	Longitude en degrés décimaux (dd.ddddd) de la station d'observation – génération automatique par SIG	
COORD_Y*	Numérique	Latitude en degrés décimaux (dd.ddddd) de la station d'observation – génération automatique par SIG	
TYPE_OBS*	Texte	Précise le type d'observation : photo / quadrat / transect / vidéo / note (=commentaire général)	
PHOTO	Texte	Nom de la photo (Fichier *.jpg). Si plusieurs photos, séparer les noms de photos par un « / » (EX. STATION_Ph01.jpg/STATION_Ph02.jpg) (fournir toutes les photos renommées de façon à ce qu'elles soient associées aux stations). Indiquer la direction de la photo si photo de paysage	
QUADRAT	Texte	Code du quadrat associé à la station (la position du quadrat correspond à celle de la station) EX. Dénomination de la photo du/des quadrat/s : STATION_Q1_xx.jpg	à définir et renseigner
TRANSECT	Texte	Code du transect associé à la station Renseigner les coordonnées du début et fin transect (ou bien fournir une couche dédiée aux Transects et profils vidéo) EX. Dénomination du transect : STATION_T1	à définir et renseigner
VIDEO	Texte	Code du profil vidéo associé à la station Renseigner les coordonnées du début et fin transect (ou bien fournir une couche dédiée aux Transects et profils vidéo) EX. Dénomination de la vidéo : STATION_V1	à définir et renseigner
DATE_OBS*	Texte	Date de l'observation à fournir au format jj/mm/aaaa /!\ peut être directement récupérée du GPS	jj/mm/aaaa
HEURE_OBS	Texte	Heure de l'observation à fournir en hh:mm /!\ peut être directement récupérée du GPS	hh:mm
PROF_OBS	Numérique	Profondeur de l'observation (en m)	
NOM_OP*	Texte	Identification de l'auteur/opérateur /!\ Initiales du prénom et du nom (RGPD)	P. N.
ORG_OP*	Texte	Nom de l'organisme/bureau d'étude (BE) d'appartenance de l'opérateur sur le terrain	Ifremer / MNHN / ... 'Nom du BE'

PRES_HERB*	Texte	Indique la présence ou l'absence d'herbier à la surface de la canopée	OUI / NON
ESP_ZOS*	Texte	Indique le nom de l'espèce présente : <i>Zostera noltei</i> , <i>Zostera marina</i> ou <i>Zostera sp.</i> Séparer par un '/' si les espèces sont en mélange	<i>Zostera marina</i> <i>Zostera noltii</i> <i>Zostera sp.</i>
RECOUVR*	Texte	Indique le taux de recouvrement de l'herbier estimé en % (en référence à la fiche d'aide terrain par Spiteri <i>et al.</i> , 2022)	0 1-25 26-50 51-75 76-99 100
DENSITE	Texte	Indique la densité estimée (nombre d'individu/m²) à la station d'observation	
FRAGMEN	Texte	Indique l'indice de fragmentation estimé en % (sur le transect dédié)	0 1-25 26-50 51-75 76-99 100
PRES_WD	Texte	Indique la présence de la maladie Wasting Disease sur les feuilles d'herbier	OUI / NON
PRES_EPIPH	Texte	Indique la présence d'épiphytes	OUI / NON
PRES_ALG*	Texte	Indique la présence d'algues (R, V ou B) sur l'herbier	OUI / NON
TX_AR	Numérique	Indique le taux de recouvrement des algues rouges en %	
TX_AV	Numérique	Indique le taux de recouvrement des algues vertes en %	
TX_AB	Numérique	Indique le taux de recouvrement des algues brunes en %	
SUBSTRAT	Texte	Indique le type de substrat	Sable fin / Sable grossier / Vase / Sable hétérogène envasé ...
TX_VASE	Numérique	Indique le taux de recouvrement de la vase en %	
TX_SABLE	Numérique	Indique le taux de recouvrement du sable en %	
TX_SED_GRO	Numérique	Indique le taux de recouvrement du sédiment grossier en %	
FAUNE	Texte	Description générale de l'observation terrain concernant la faune présente	
FLORE	Texte	Description générale de l'observation terrain concernant la flore présente	
PRESSIONS	Texte	Description de l'observation terrain autre que la biocénose ou le substrat (ex. menaces, présence d'huîtres ou de moules, traces d'activités humaines, présence d'espèces non- indigènes, etc.)	
COMMENT	Texte	Commentaire (facultatif) dans lequel faire figurer toute autre information n'ayant pas pu être saisie dans un des champs prédéfinis mais d'intérêt pour la compréhension de la donnée	

Annexe 5 – Métadonnées

Extrait de Bajjouk et al., 2019, tableau 17 p.84 - <https://doi.org/10.13155/62528>

Tableau 17. Métadonnées recommandées pour la bancarisation des fichiers vecteurs	
Rubriques	Description
Contact métadonnées	Nom du contact référent Prénom du contact référent Organisme du contact référent Rôle du contact référent Courriel du contact référent
Contact(s) sur la donnée	Nom(s) du(es) contact(s) du(es) référent(s) sur la donnée Prénom(s) du(es) contact(s) du(es) référent(s) sur la donnée Organisme(s) du(es) contact(s) référent(s) Rôle(s) du(es) contact(s) du(es) référent(s) sur la donnée Courriel(s) du(es) contact(s) du(es) référent(s) sur la donnée
Titre	Titre de la donnée
Citation	Référence à employer pour citer la donnée
Résumé	Descriptif du cadre projet dans lequel s'inscrit la création du fichier Résumé des principales étapes ayant conduit à la création du fichier
Source des données	Citations des sources de la donnée
Informations complémentaires	Informations complémentaires éventuelles et description des champs de la table attributaire
Référence temporelle	Date de création du fichier Date de début d'acquisition de la donnée Date de fin d'acquisition de la donnée
Contraintes d'accès et d'utilisation	Limitation d'utilisation Contraintes d'accès Contraintes d'utilisation Autres contraintes (par exemple citation)
Mots clés	Mots clés liés par exemple à la localisation, nature et thème de la donnée
Système de coordonnées	Définition du système de coordonnées
Emprise géographique	Définition des limites géographiques des entités du fichier : 3. latitude nord 4. latitude sud 5. longitude est 6. longitude ouest
Type de géométrie des objets	Par exemple «Polygones»
Nombre d'entités de la couche	Par exemple, le nombre de polygones d'herbiers

Annexe 6 – Conditions d'utilisation des images Pléiades (extraits de la licence d'utilisation)

La licence d'utilisation des produits 'Pléiade' devra être connue et signée par le prestataire avant la commande.

Le prestataire sera en charge de passer la commande des images Pléiade pour le compte de l'Ifremer via la plateforme « DATATERRA DINAMIS » (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire). Avant le passage de la commande, le prestataire s'engagera par écrit à respecter les conditions d'utilisation de la plateforme « DATATERRA DINAMIS » (<https://dinamis.data-terra.org/>)

Extrait de l'article 2.1

Par la présente, AIRBUS DS concède à l'UTILISATEUR INSTITUTIONNEL AUTORISE une Licence, non-exclusive et non transférable, lui permettant : [...]

- i) de mettre à la disposition des contractants et/ou des consultants de l'UTILISATEUR INSTITUTIONNEL AUTORISE, le PRODUIT PROTEGE, que ceux-ci utiliseront exclusivement pour le compte de l'UTILISATEUR INSTITUTIONNEL AUTORISE dans le cadre de ses BESOINS PROPRES, et sous réserve que lesdits contractants, consultants se soient engagés par avance et par écrit auprès de l'UTILISATEUR INSTITUTIONNEL AUTORISE qui leur transfère le PRODUIT PROTEGE (I) à être tenus par les mêmes restrictions d'usage que l'UTILISATEUR INSTITUTIONNEL AUTORISE, et (II) à s'interdire de mettre à disposition à des tiers le PRODUIT PROTEGE obtenu de l'UTILISATEUR INSTITUTIONNEL AUTORISE.

Extrait de l'article 3.4

L'origine des PRODUITS PROTEGES doit être mentionnée dans toute publication faisant usage de ces données, ou tout support reproduisant des résultats obtenus à partir de ces données. A ce titre, la mention suivante "Pléiades ©^{CNES} (année de prise de vue), Distribution AIRBUS DS, tous droits réservés. Usage commercial interdit." devra être intégralement reproduite.