

Marché relatif à la prestation
« Cartographie des herbiers de
Nanozostera noltei du bassin
d'Arcachon par imagerie
hyperspectrale »
dans le cadre de la surveillance de la
Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

Bassin Adour-Garonne
Masses d'eau visée
FRFC06 – « Arcachon amont »

CAHIER DES CHARGES TECHNIQUES PARTICULIÈRES – CCTP

Table des matières

1. Contexte	3
2. Objet du marché.....	3
2.1. Définition	3
2.2. Description de l'exécution	4
3. Spécifications des acquisitions aériennes	5
3.1. Spécifications générales	5
3.1.1. Dates d'acquisitions.....	5
3.1.2. Caractéristiques techniques	5
3.1.3. Exigences générales.....	6
3.2. Livrables relatifs à la réalisation des levés	7
4. Spécifications des mesures in situ.....	7
4.1. Exigences générales.....	7
4.2. Livable relatifs aux données <i>in situ</i>	7
5. Spécifications du traitement des images	8
5.1. Spécifications générales	8
5.1.1 Caractéristiques techniques	8
5.1.2. Exigences pour le traitement	8
5.2. Livrables relatifs aux produits	8
6. Post-traitement des données et production cartographique	8
7. Management	9
7.1. Rapportage	9
7.2. Réunions.....	9
7.3. Assurance qualité	10
8. Récapitulatif des fournitures.....	10
9. Propriété intellectuelle.....	11
10. Communication	11
11. Critères du choix du titulaire	Erreur ! Signet non défini.
Bibliographie	Erreur ! Signet non défini.

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 les masses d'eau des façades Manche et Atlantique dans lesquelles la présence des herbiers de zostères est connue.

Il considère, à l'échelle d'une masse d'eau, conjointement les deux espèces (*Zostera marina* et *Nanozostera noltei*¹) et se calcule sur trois métriques :

- (i) la composition taxonomique basée sur la présence de *Z. marina* et/ou *N. noltei* dans la masse d'eau,
- (ii) l'abondance basée sur la densité des pieds (*Z. marina*) ou le taux de recouvrement des feuilles (*N. noltei*)
- (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 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.

La coordination de ces suivis (stationnel et surfacique) est réalisée par l'Ifremer. C'est dans ce cadre que l'Ifremer délègue une partie des opérations pour la réalisation de la cartographie des herbiers de *Nanozostera noltei* du bassin d'Arcachon, afin d'actualiser les données surfaciques acquises en 2019.

La présente prestation s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la métrique « extension » des « Herbier de zostères naines » à l'échelle du Bassin d'Arcachon et sera réalisée par des levés aéroportés pour l'acquisition de données hyperspectrales couplée à une campagne de terrain afin de constituer une cartographie actualisée des herbiers de zostères naines du Bassin d'Arcachon en 2025.

2. Objet du marché

2.1. Définition

Le présent marché a pour objet la mise à jour, sous la responsabilité de l'Ifremer, de la cartographie des herbiers de zostères naines (*Nanozostera noltei*), dans le cadre du contrat spécifique d'application 2025-2028 signée avec l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) spécifie la prestation d'acquisition d'imagerie hyperspectrale aéroportée, l'acquisition de mesures radiométriques in-situ, et les post-traitements de ces données sur le site d'étude du Bassin d'Arcachon. Il décrit l'ensemble des travaux à réaliser ainsi que les niveaux d'exigence à satisfaire par le titulaire.

La zone à lever est représentée sur la figure 1.

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.

¹ L'identification des zostères naines comme *Nanozostera noltei* ((Hornemann) Tomlinson & Posluszny, 2001) fait référence à une récente révision taxonomique des Zosteraceae à l'échelle mondiale sur des bases morphologiques et génétiques (Sullivan et Short, 2023). Ce nom, accepté par les autorités taxonomiques, correspond sans ambiguïté à l'ancien nom *Zostera noltei*, utilisé dans les documents antérieurs à 2024 (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=66949>)

La Figure 1 présente l'emprise d'intérêt que le prestataire va devoir prendre en compte de manière exhaustive pour le levé aéroporté. Cette emprise couvre l'intégralité de la zone intertidale comprise dans le Bassin d'Arcachon et représente une surface au sol d'environ 200 Km². Cette emprise sera transmise au postulant sur demande.

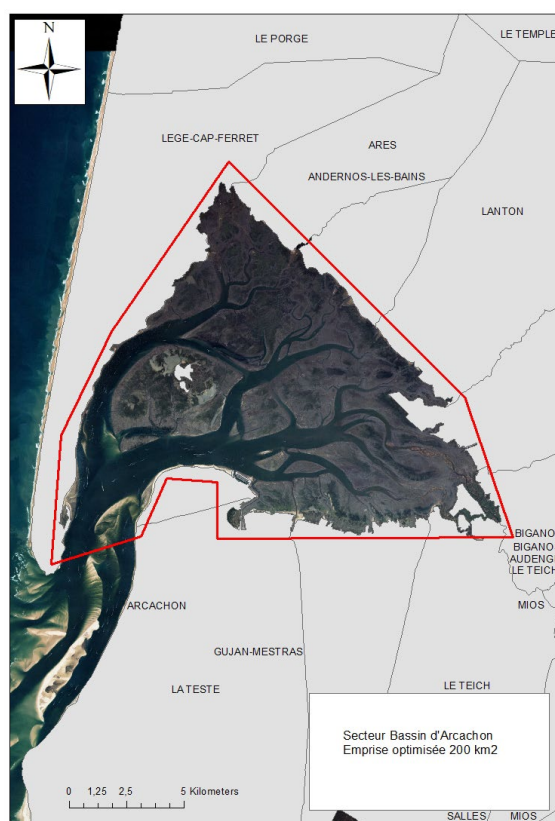


Figure 1 : Localisation de la zone d'intérêt visée par ce marché

2.2. Description de l'exécution

Le marché se compose de plusieurs tâches permettant la réalisation de la cartographie des herbiers à *Nanozostera noltei* du Bassin d'Arcachon :

- **Tâche 1 :** Acquisition d'images hyperspectrales aéroportées de la zone d'intérêt (Figure 1) avec une résolution de 1 mètre.pixel¹.
- **Tâche 2 :** Prétraitement des données issues de l'exécution de l'étape 1, incluant les corrections géométriques et radiométriques, et aboutissant à la production d'images en réflectance, soit au niveau du sol, soit de la surface de l'eau.
- **Tâche 3 :** Acquisition in-situ des mesures radiométriques, lors du levé aéroporté, prenant en compte la diversité des faciès en présence sur le Bassin d'Arcachon.
- **Tâches 4 :** Traitement des données aériennes et *in-situ* pour l'élaboration des cartes d'abondance et de distribution des herbiers à *Nanozostera noltei*.

Il est précisé que l'exécution de ce marché ne pourra pas être découpée en plusieurs lots, en raison de l'indivisibilité des prestations nécessaires à la réalisation de la cartographie des herbiers de *Nanozostera noltei*. Toutefois, la sous-traitance est autorisée dans les conditions définies par le code des marchés publics, sous réserve de l'accord préalable du maître d'ouvrage.

3. Spécifications des acquisitions aériennes

3.1. Spécifications générales

3.1.1. Dates d'acquisitions

Le titulaire s'engage à réaliser l'acquisition des images aériennes ainsi que les mesures in-situ de radiométrie pendant les basses mers caractérisées par un coefficient de marée supérieur ou égal à 90, et ce au cours du mois de septembre 2025. Toute demande de report devra être validée par le maître d'ouvrage et ne pourra être motivée que par des raisons météorologiques ou une erreur technique du prestataire. En cas d'acceptation du report, la nouvelle campagne d'acquisition devra impérativement être reprogrammée au cours de la saison estivale 2026, soit entre les mois de juin et septembre, dans le strict respect des spécifications techniques et exigences décrites dans le présent cahier des charges

Exigence 1 : Pour permettre à l'Ifremer la mise en place de la logistique nécessaire à l'acquisition simultanée de données in situ dont il a la charge, le titulaire informe l'Ifremer, pour chaque créneau potentiel, de sa décision d'engager un levé avant que celui-ci ne soit effectif. L'Ifremer n'est pas tenu d'accepter des images issues d'une acquisition pour laquelle il n'aurait pas été informé au préalable et sans son accord.

Dans un délai de 2 jours après la réalisation de la campagne, le titulaire informe l'Ifremer de la réalisation du levé et confirme le respect du plan de vol établi.

3.1.2. Caractéristiques techniques

Les images hyperspectrales acquises présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Résolution spectrale entre 4 et 5 nm
- ✓ Gamme spectrale échantillonnée incluant au minimum les longueurs d'onde comprises entre 400 et 950 nm
- ✓ Défaut de verticalité de l'angle de visée inférieur à 5°
- ✓ Angle de visée < 20°
- ✓ Recouvrement latéral entre les lignes de vol de 20 % au minimum
- ✓ Couverture nuageuse 0% sur l'emprise d'intérêt
- ✓ Ombre des nuages 0% sur l'emprise d'intérêt
- ✓ Absence de saturation de l'information radiométrique
- ✓ Résolution nominale au sol du pixel de 1m (maximum 1,1m)

3.1.3. Exigences générales

Exigence 2 : Le postulant et l'Ifremer s'engagent à être disponibles et opérationnels sur l'ensemble des créneaux potentiels mentionnés dans le présent CCTP.

Seules les conditions météorologiques favorables et permettant de répondre aux exigences de qualité des images conditionneront le déclenchement des acquisitions prévues.

Exigence 3 : Le postulant s'engage à ce que les conditions météorologiques soient optimales, notamment en ce qui concerne la présence de nuages sur et aux abords de la zone d'intérêt. L'échelle des octas pourra être utilisée pour caractériser la nébulosité aux abords de la zone d'étude durant le vol et ne devra pas être supérieur à 1.

Exigence 4 : Le postulant indique dans sa proposition les moyens qu'il mettra en œuvre pour estimer le rapport signal/bruit (SNR) des images qu'il sera en mesure de produire.

Exigence 5 : Le postulant indique dans sa proposition les moyens qu'il mettra en œuvre pour prendre en compte et corriger les variations d'éclairement tout au long du survol entre lignes de vol.

Exigence 6 : Le postulant doit indiquer dans sa proposition les moyens qu'il mettra en œuvre pour veiller à limiter au maximum les réflexions spéculaires et l'agitation de la surface de l'eau lors des acquisitions conformément aux exigences définies dans le cahier des charges.

Exigence 7 : Le titulaire s'engage à fournir préalablement à Ifremer un plan de vol détaillé (Les dates et créneaux horaires prévus pour le survol, le positionnement et la direction des lignes de vol, les positions des cibles de référence au sol, l'indice de nébulosité, ...). Une validation de ce plan de vol par le référent Ifremer est impérative avant la réalisation des acquisitions aériennes par le titulaire.

Exigence 8 : Le postulant doit préciser dans sa proposition les moyens qu'il mettra en œuvre pour assurer le contrôle qualité des données produites.

Exigence 9 : Le titulaire s'engage à respecter l'ensemble des réglementations applicables à la réalisation du projet.

Exigence 10 : Le titulaire s'engage à produire des images couvrant de manière exhaustive l'emprise retenue pour l'exécution du projet.

Exigence 11 : En cas de non-atteinte de la qualité d'image attendue pour la zone donnée, le titulaire s'engage à effectuer une nouvelle acquisition sur la zone concernée et cela, sans frais supplémentaires pour l'Ifremer. Le nouveau créneau proposé devra être validé préalablement par le maître d'ouvrage.

Exigence 12 : Le titulaire dispose en interne, ou par voie de sous-traitance, de toutes les compétences nécessaires à la réalisation de la prestation. Le titulaire prend connaissance, respecte et applique les règles définies dans le présent document. Toute dérogation à ces règles doit être préalablement approuvée par l'Ifremer.

Exigence 13 : Le titulaire garantit la mobilisation des moyens nécessaires à la réalisation du projet pour l'ensemble des créneaux d'acquisition potentiels. Toute dérogation à ces règles doit être soumise à l'approbation de l'Ifremer.

Exigence 14 : Le titulaire est responsable de l'obtention des autorisations de vols ou d'accès à l'estran lorsqu'elles sont nécessaires. Si besoin, l'Ifremer apportera son soutien dans les demandes.

Exigence 15 : Le titulaire procède un contrôle qualité des données acquises lors de la campagne préalablement à leur livraison à l'Ifremer.

3.2. Livrables relatifs à la réalisation des levés

Au moins deux semaines avant le début de la campagne, le titulaire transmet à l'Ifremer :

- ✓ Les plans de vol préparatoires au format vecteur (ESRI shapefile), dans le système de référence RGF93 (EPSG:2154), tenant compte des contraintes décrites dans le présent cahier des charges,
- ✓ Le planning prévisionnel des vols, en tenant compte des éléments fournis, avec la précision que ce planning pourrait être modifié en fonction des contraintes météorologiques rencontrées.
- ✓ Une copie des autorisations de survol ou d'accès au site si elles s'avèrent nécessaires.

Dans un délai de deux mois après la réalisation de la campagne, le titulaire transmet à l'Ifremer :

- ✓ Un rapport détaillé des acquisitions et des contrôles qualité réalisés (respect du plan de vol, conditions météorologiques, fonctionnement des instruments, difficultés rencontrées, etc.).
- ✓ L'ensemble des mesures liées à l'acquisition des images horodatées en temps UTC :
 - Données de positionnements : GPS et inertielles
 - Angles d'incidence au sol et azimut
 - Configuration du capteur hyperspectral : taille du capteur, taille du pixel, distance focale, longueurs d'ondes échantillonnées
 - Modèle géométrique du capteur
 - Angle de visée pour chaque pixel
 - Météorologie : éclaircissement, visibilité, vapeur d'eau, aérosols, nébulosité, etc.
 - Librairie spectrale des cibles de référence

4. Spécifications des mesures in situ

Dans un délai de 2 jours après la réalisation de la campagne de mesures radiométriques, le titulaire informe l'Ifremer du respect du protocole d'observation établi, en fournissant les éléments nécessaires à la vérification.

4.1. Exigences générales

Exigence 16 : Si le titulaire le prévoit, il expose dans sa proposition la stratégie d'acquisition ainsi que le protocole détaillé des observations à réaliser sur site en vue de permettre les traitements post-acquisitions.

4.2. Livrable relatifs aux données *in situ*

Dans un délai de deux mois après la réalisation de la campagne, le titulaire transmet à l'Ifremer l'ensemble des données d'observation acquises sur le site (telles qu'une librairie spectrale dans un format préalablement défini avec le maître d'ouvrage).

5. Spécifications du Pré-traitement des images

5.1. Spécifications générales

5.1.1 Caractéristiques techniques

Le titulaire produit (Cf. point 8.) :

- le jeu de données correspondant aux lignes de vol en luminance au capteur.
- le jeu de données (lignes de vol) correspondant aux lignes de vol géoréférencées, orthorectifiées et converties en réflectance au niveau du sol et de la surface de l'eau.
- une mosaïque découpée en tuiles pour chaque site survolé, basée sur les lignes de vol géoréférencées, orthorectifiées et en réflectance au niveau du sol et de la surface de l'eau. Le postulant tiendra compte des éventuels écarts radiométriques présents entre lignes de vol contiguës pour gérer l'ordre de superposition afin d'optimiser la qualité radiométrique de la mosaïque. La taille des tuiles est à définir en concertation avec l'Ifremer.
- toutes les données produites seront horodatées en temps UTC et au format ENVI.
- l'ensemble des données géoréférencées sera dans le système de référence RGF93 (EPSG :2154).

5.1.2. Exigences pour le traitement

Exigence 17 : Le postulant détaille dans sa proposition les moyens qu'il met en œuvre pour estimer la précision du géoréférencement des images. Il précise également les méthodes qu'il utilise pour les convertir en luminance au capteur, les orthorectifier et les convertir en réflectance au niveau du sol ainsi qu'à la surface de l'eau.

Exigence 18 : Le postulant précise dans sa proposition les méthodes qu'il met en œuvre pour réaliser la mosaïque des données.

Exigence 19 : Le postulant précise dans sa proposition les moyens qu'il met en œuvre pour assurer le contrôle qualité des données.

Exigence 20 : Le titulaire procède à un contrôle qualité des données produites avant leur livraison.

5.2. Livrables relatifs aux produits

Dans un délai maximal de 6 mois après la réalisation de la campagne sur le site d'étude, le titulaire transmet à l'Ifremer l'ensemble des données produites. Le titulaire livre également un fichier texte permettant de comprendre la nomenclature et l'organisation des fichiers.

6. Traitements des données et production cartographique

Le postulant propose une méthode, en détaillant la chaîne de traitement utilisée, permettant d'établir une cartographie de la distribution et de l'abondance des herbiers de zostères naines du Bassin d'Arcachon à partir de l'image hyperspectrale calibrée et en précisant la nature des éventuelles mesures *in situ*.

Exigence 21 : Le postulant devra détailler dans sa proposition chaque étape intermédiaire de la chaîne de traitement et de post traitement et expliquer comment il utilisera les données *in-situ* afin d'améliorer la production des données d'abondance d'herbiers sur le site d'étude.

Exigence 22 : Le postulant devra détailler dans sa proposition les méthodes utilisées pour quantifier leur performance afin de discriminer les zostères naines des autres macrophytes présentes dans la zone d'étude. En

outre, le titulaire devra démontrer sa capacité à qualifier et identifier au mieux ces différentes formations coexistant avec les zostères naines.

Exigence 23 : Le postulant détaille dans sa proposition les moyens mis en œuvre pour assurer le contrôle de la qualité des données produites tout au long du déroulé de la chaîne de traitement utilisée.

7. Management

Soit T0 la date de commencement du projet après signature des différentes parties.

7.1. Rapportage

En plus des rapports sur les acquisitions réalisées, le titulaire transmet à l'Ifremer:

- à T0+3 mois : un rapport intermédiaire détaillant l'avancée des travaux (T0 étant la date d'acquisition des données aéroportées).
- à T0+6 mois : le rapport final de l'étude (T0 étant la date d'acquisition des données aéroportées).

L'ensemble des rapports est validé par l'Ifremer dans un délai de 1 mois à l'exception du rapport final de l'étude qui est validé dans un délai de 3 mois.

Exigence 24 : le rapport final doit contenir une description détaillée de la chaîne de prétraitement permettant de passer des données brutes aux données de réflectance de surface, à savoir : calibration radiométrique, orthorectification, corrections atmosphériques, correction de l'effet de la colonne d'eau si nécessaire et post traitements en précisant les bandes spectrales concernées et, si c'est le cas, toute valeur seuil utilisée lors de la chaîne de traitement.

7.2. Réunions

Afin de coordonner la réalisation de la prestation décrite par le présent document, un minimum de cinq réunions est à prévoir entre l'Ifremer et le titulaire :

- une réunion de lancement prévue avant le début de la campagne d'acquisition de données.
- une réunion de présentation de l'avancement du projet par le titulaire. Elle a lieu dans un délai d'un mois après la restitution du rapport intermédiaire.
- deux réunions intermédiaires à la demande du titulaire ou de l'Ifremer. Elles seront organisées en fonction des besoins de l'étude.
- une réunion préalable à la clôture officielle du projet après la restitution de l'ensemble des données et du rapport final de l'étude.

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

7.3. Assurance qualité

Dans son offre, le postulant présente :

- l'organisation de l'équipe projet en précisant le rôle des intervenants.
- les risques techniques et organisationnels identifiés et les réponses qu'il compte leur apporter.
- un calendrier prévisionnel des tâches à réaliser et des livrables à transmettre.

8. Récapitulatif des fournitures

Les fournitures attendues par l'Ifremer sont récapitulées dans le tableau suivant :

Code	Type	Description	Echéance
L1	Rapport	<ul style="list-style-type: none">- les plans de vol préparatoires au format vecteur (ESRI shapefile), dans le système de référence RGF93, tenant compte des contraintes décrites dans le présent cahier des charges,- le planning prévisionnel des vols compte tenu des éléments fournis, étant entendu que ce planning pourrait être modifié en fonction des contraintes météorologiques rencontrées.- une copie des autorisations de survol ou d'accès au site si elles s'avèrent nécessaires.	Au moins deux semaines avant le début de la campagne
L2	Rapport	- un rapport détaillé des acquisitions et des contrôles qualité réalisés (respect du plan de vol, conditions météorologiques, fonctionnement des instruments, difficultés rencontrées, etc.).	1 mois après la réalisation de la campagne d'acquisition
L3	Données	<ul style="list-style-type: none">- l'ensemble des mesures liées à l'acquisition des images horodatées en temps UTC :- données de positionnements : GPS et inertielles- angles d'incidence au sol et azimut- configuration du capteur hyperspectral : taille du capteur, taille du pixel, distance focale, longueurs d'ondes échantillonnées- modèle géométrique du capteur- angle de visée pour chaque pixel- météorologie : éclaircissement, visibilité, vapeur d'eau, aérosols, etc.	1 mois après la réalisation de la campagne d'acquisition
L4	Rapport	Un rapport intermédiaire détaillant l'avancée des travaux.	3 mois après le commencement du projet
L5	Données	- le jeu de données correspondant aux lignes de vol en luminance au capteur.	Dans un délai maximal de 6 mois après la réalisation de la campagne (T0)

		<ul style="list-style-type: none"> - le jeu de données (lignes de vol) correspondant aux lignes de vol géoréférencées, orthorectifiées et converties en réflectance au niveau du sol et de la surface de l'eau. - le jeu de données (ligne de vol) correspondant aux lignes de vol géoréférencées, orthorectifiées et converties en réflectance au niveau du sol et du fond incluant une correction des effets de la colonne d'eau (si l'option est retenue). - une mosaïque découpée en tuiles pour chaque site survolé, basée sur les lignes de vol géoréférencées, orthorectifiées et en réflectance au niveau du sol et de la surface de l'eau. La taille des tuiles est à définir en concertation avec l'Ifremer. Le postulant doit préciser la méthodologie employée pour tenir compte de la qualité radiométrique des lignes de vol pour définir l'ordre de superposition afin d'optimiser la qualité de la mosaïque - Une mosaïque découpée en tuiles pour chaque site des images corrigées des effets de la colonne d'eau (si l'option est retenue). La taille des tuiles est à définir en concertation avec l'Ifremer. - toutes les données produites sont horodatées en temps UTC et au format ENVI. - l'ensemble des données géoréférencées est dans le système de référence RGF93. 	
L6	Rapport	Le rapport final de l'étude.	Dans un délai maximal de 6 mois après la réalisation de la campagne (T0)

9. Propriété intellectuelle

Exigence 25 : L'Ifremer est propriétaire de l'ensemble des données acquises et produites par la présente prestation. Le titulaire ne peut en aucun cas utiliser ou diffuser les données sans accord préalable de l'Ifremer.

10. Communication

Exigence 26 : La présente prestation s'inscrit dans le cadre 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 ladite convention.