

**DEMANDE D'AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT
D'ESPÈCES EN ZONE CŒUR DU PARC NATIONAL DES CALANQUES
À DES FINS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE OU TECHNIQUE**

1. Résumé synthétique du projet

Ce projet vise à réaliser 12 carottages dans la matre de *Posidonia oceanica* (L.) Delile du Parc national des Calanques, dans l'objectif d'évaluer l'épaisseur, la densité et le stock de carbone séquestré dans la matre. Ces carottages seront effectués dans quatre secteurs du Parc national des Calanques : La côte Ouest de Pomègues de l'île du Frioul, la calanque de Sormiou, la calanque de Morgiou et la baie de la Ciotat. Trois carottages seront effectués par secteurs sur 5m, 11m et 22m de profondeur. Les herbiers de posidonies étant considérés comme d'important puits de carbone bleu, ce projet s'inscrit dans le cadre de la labellisation bas carbone Herbiers de Posidonie qui nécessite des informations sur la quantité de carbone stocké par la matre de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. L'objectif de cette étude est donc double : dans un premier temps, il nous permettra d'élargir nos connaissances sur l'état de l'herbier de posidonies au sein du Parc national notamment sur sa capacité de séquestration des émissions de CO₂. Dans un second temps, cette labellisation permettra de financer la mise en œuvre de Zones de Mouillages et d'Équipements Légers (ZMEL) permettant de protéger les herbiers de posidonie de l'arrachage causé par le mouillage libre des navires sur cet habitat essentiel.

2. Contexte du projet

Ce projet d'étude s'inscrit dans une initiative plus large du Schéma Global d'Organisation des Mouillages (SGOM) visant à créer des Zones de Mouillages et d'Équipements Légers (ZMEL). Ces futures infrastructures visent à réduire la pression d'ancrage sur les herbiers posidonies et à réguler la fréquentation au sein du Parc national.

Les mesures validées dans le cadre du SGOM identifient 7 zones justifiant une organisation du mouillage par la mise en place d'une ZMEL sur le territoire du Parc national des Calanques :

- La baie de la Ciotat
- Saint-Cyr-sur-Mer
- L'île verte
- Les calanques de Morgiou, Sugiton et Pierres-tombées
- La calanque de Sormiou
- La calanque de Marseilleveyre
- La côte ouest de Pomègues au Frioul

Elles correspondent à des zones largement couvertes par des herbiers de posidonie fortement fréquentées et donc impactées par le mouillage des navires de plaisance.

Par ailleurs, l'installation de ZMEL au sein du Parc national constitue un cas pilote pour développer la méthode de Labellisation Bas Carbone des Herbiers de Posidonies. Ce projet s'inscrit dans un contexte de changement climatique où la préservation des puits de carbone bleu est essentielle et s'intéresse à la plus-value des actions envisagées en termes de carbone stocké et préservé (dans la matre morte ou vivante des herbiers de posidonie).

Ainsi, cette démarche vise à répondre à plusieurs objectifs essentiels. Tout d'abord, il s'agit de mieux comprendre la capacité des herbiers de posidonies à séquestrer le carbone organique et inorganique, contribuant ainsi à la régulation climatique et à la lutte contre le changement climatique. En évaluant précisément le stock de carbone dans la matre, cette étude permettra d'obtenir des données scientifiques

cruciales pour orienter les politiques de conservation et de gestion des écosystèmes marins comme la mise en œuvre des futures ZMEL par exemple.

En outre, cette étude est permise par le financement de la DREAL de la région PACA en tant que suivi Natura 2000 mer. Ce financement à hauteur de 125 000 € permet de financer deux études : une première étude portant sur le recensement des macro-déchets au sein du Parc national ainsi qu'une seconde, faisant l'objet de cette demande, comprenant l'évaluation de l'épaisseur de la matrice morte et vivante de l'herbier et du stock de carbone séquestré dans la matrice ainsi que la réactualisation des limites de l'herbier de *Posidonia oceanica*.

3. Définition des espèces déclenchant la dérogation

La Posidonie, ou *Posidonia oceanica* (L.) Delile, représente une espèce phanérogame endémique de la mer Méditerranée, formant de vastes prairies sous-marines. Cette plante angiosperme se compose de faisceaux de feuilles, de racines et de rhizomes, ces derniers étant des tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment. L'ensemble de ces éléments constitue ce que l'on appelle la "matrice", comprenant les rhizomes, les écailles (gainés des feuilles caduques), les racines, et le sédiment remplissant les interstices.

Particulièrement remarquable, la matrice de Posidonie conserve sa structure et ses composants pendant de longues périodes, souvent plusieurs siècles voire millénaires, en raison de la faible décomposition des parties non foliaires de la plante. Cette capacité de conservation exceptionnelle confère à la matrice un rôle essentiel à la fois dans l'ancrage des herbiers et dans la stabilisation des fonds marins, tout en jouant un rôle crucial dans la séquestration du carbone (Boudouresque et al., 2006).

Des recherches récentes ont souligné l'importance de la matrice dans la séquestration du carbone, faisant de ces prairies sous-marines des acteurs majeurs dans la lutte contre le changement climatique (Monnier et al., 2020; Pergent et al., 2021; Monnier et al., 2021; Howard et al., 2022). Ainsi, la conservation et la préservation des herbiers de Posidonie, et notamment de leur matrice, revêtent une importance capitale pour la biodiversité marine et la stabilité des écosystèmes côtiers.

Dans la lutte contre les dérèglements climatiques, les herbiers de posidonies se révèlent être des acteurs essentiels en tant que puits de carbone, permettant d'absorber et de stocker les émissions de gaz à effet de serre telles que le dioxyde de carbone (CO₂). Ces écosystèmes marins, reconnus comme des écosystèmes à Carbone Bleu, jouent un rôle crucial dans la régulation du climat en fixant d'importantes quantités de carbone, en particulier dans leurs sédiments, et notamment au sein de la matrice de l'herbier (Monnier et al., 2020).

Des recherches récentes ont mis en évidence que les herbiers de posidonies présentent une capacité de séquestration remarquable, variant entre 278 et 327 tonnes de carbone par hectare et par an, comprenant à la fois du carbone organique (C_{org}) et inorganique (C_{inorg}) (Pergent-Martini et al., 2021; Monnier et al., 2020). Cette capacité de stockage de carbone en fait des éléments cruciaux dans la lutte contre le réchauffement climatique.

De plus, la matrice des herbiers de posidonies revêt une importance significative en tant qu'archive biologique, offrant des informations précieuses pour comprendre les changements paléo-climatiques et paléo-écologiques qui ont affecté les milieux côtiers au fil du temps (Monnier et al., 2020). En tant que témoins historiques des conditions environnementales passées, ces herbiers jouent un rôle crucial dans l'étude et la compréhension de l'évolution des écosystèmes côtiers et de leur réponse aux changements environnementaux.

Ainsi, les herbiers de posidonies ne se limitent pas seulement à fournir des services écosystémiques contemporains, mais ils représentent également des archives naturelles précieuses, contribuant ainsi à la préservation de la biodiversité marine et à la lutte contre les impacts du changement climatique.

4. Présentation du projet, finalité et objectifs

a. Objectif du projet

L'objectif principal de cette étude est de fournir une évaluation précise de l'épaisseur, de la densité de la matrice ainsi que du stock de carbone organique et inorganique séquestré dans la matrice des herbiers de posidonies dans les secteurs identifiés pour l'implantation de futures Zones de Mouillages et d'Équipements Légers, à savoir : le Frioul (côte Ouest de Pomègues), la calanque de Sormiou, la calanque de Morgiou et la baie de la Ciotat. Cette évaluation permettra d'améliorer les connaissances et de comprendre la structure et la santé des herbiers dans ces zones, ainsi que de déterminer les limites spatiales de ces habitats marins cruciaux.

b. Protocole et méthode : nature des prélèvements, matériels utilisés, durée globale du projet, nombre et dates des campagnes d'échantillonnage

Étape 1 – Évaluation de l'épaisseur de matrice via un sondeur à sédiment

La mesure de l'épaisseur de matrice reprend les techniques décrites dans l'article : « A multi-approach inventory of the blue carbon stocks of *Posidonia oceanica* seagrass meadows: large scale application in Calvi bay (Corsica, NW Mediterranean) ». On notera que Christophe VIALA (président de Seaviews, le prestataire de cette étude) est coauteur de cet article, et qu'il était responsable de la partie acoustique des mesures effectuées.

La mesure de l'épaisseur de la matrice des herbiers de posidonie repose sur l'utilisation d'un sondeur acoustique monofaisceau à basse fréquence aussi appelé sondeur de sédiments. Les basses fréquences d'émission, comprises entre 5 000 et 15 000 Hz, permettent aux ondes acoustiques de pénétrer dans le sédiment sur plusieurs mètres de profondeur.

Ce système permet de générer des sonogrammes du substrat marin (image acoustique du sol) sur lequel plusieurs éléments sont visibles :

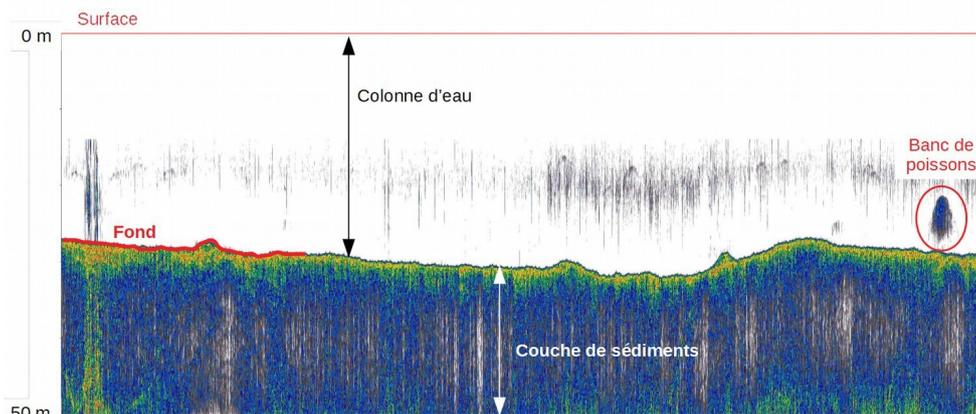


Figure 1 : Exemple de sonogramme obtenu pendant cette étude avec le sondeur Echoes 10000 d'iXblue.

Le sondeur à sédiment étant un équipement acoustique monofaisceau, et ne disposant donc pas d'une large fauchée, il est nécessaire de réaliser l'acquisition des données sous la forme de transects de mesure espacés. Les données sont ensuite analysées grâce à un algorithme de traitement spécifiquement développé par Seaviews pour la détection des épaisseurs de matrice. À partir des valeurs d'épaisseur de matrice obtenues pour chaque ligne de mesure, les données sont interpolées afin de générer un modèle numérique de terrain (MNT). Cette spatialisation des données, après analyse du contenu de carottes de matrice, permettra d'obtenir une première estimation de la quantité de carbone stockée par les herbiers de posidonies dans chacune des différentes zones. Une estimation qui sera, par la suite, vérifiée par des carottages.

C. Baie de la Ciotat



Figure 2 : Transects d'acquisition de la Baie de La Ciotat

Pour la baie de la Ciotat, les transects seront séparés de 250 m et globalement parallèle aux isobathes. Ainsi, il sera plus simple de diminuer la durée des impulsions sur petits fonds. Le linéaire total est de 60 km. La durée de l'échantillonnage est de 1 jour.

d. Calanque de Morgiou



Figure 3 : Transects d'acquisition du sondeur à sédiment pour la calanque de Morgiou et Sugiton

En bleu ciel, les lignes proposées ont une profondeur supérieure à 12 m, elles seront donc mesurées avec une impulsion de durée 12 à 15 ms. L'espacement des transects est estimé 100 m.

En bleu foncé et violet, les lignes correspondant à des profondeurs comprises entre 5m et 12 m, elles seront donc mesurées avec une impulsion de durée 5 ms. L'espacement des transects est estimé inférieur à 100 m. Enfin, le linéaire à lever est de 12 km ce qui équivaut à environ 2 h de suivi une fois le transit, le démarrage et le paramétrage du logiciel d'acquisition effectué.

e. Calanque de Sormiou



Figure 4 : Transects d'acquisition du sondeur à sédiment pour la calanque de Morgiou et Sugiton

Les lignes bleu ciel sont espacées de 100 m. La ligne violette correspondant aux petits fonds correspondant à un espacement inférieur à 100m.

Le linéaire à lever est de 6 km. Soit 1 h, une fois le transit, le démarrage et le paramétrage du logiciel d'acquisition effectué. Par ailleurs, ce levé serait probablement effectué le même jour que celui de la calanque de Morgiou et Sugiton.

f. Côte Ouest de Pomègues

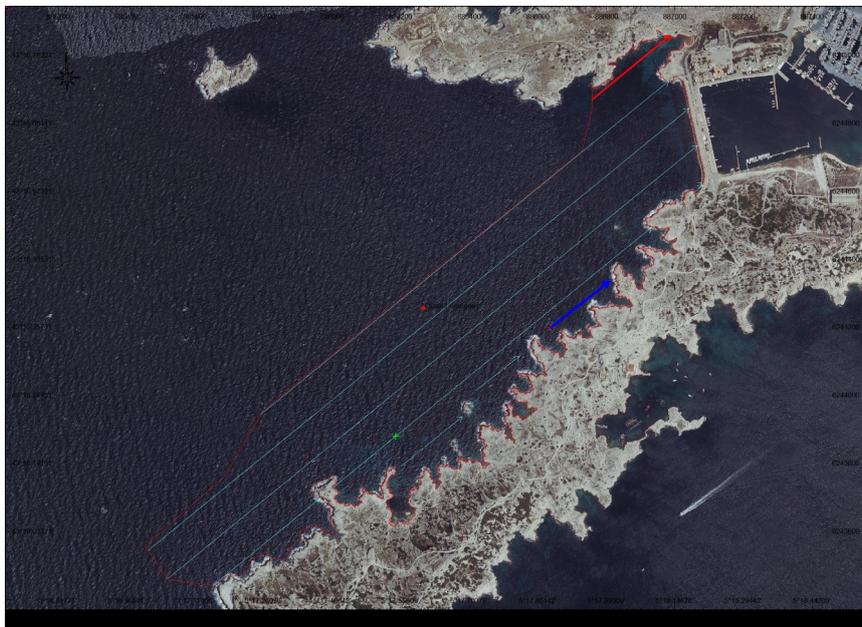


Figure 5 : Transects d'acquisition du sondeur à sédiment pour la côte ouest de Pomègues sur l'île du Frioul

Les lignes bleu ciel, sont espacées de 100 m. Le linéaire à lever est de 9 km. Soit 1 h30, une fois le transit, le démarrage et le paramétrage du logiciel d'acquisition effectué.

	Linéaire totale	Distance des transects	Temps de l'échantillonnage	Surface d'investigation
Côte Ouest de Pomègues - île du Frioul	9 km	100 m	1 h 30	75 ha
Calanque de Sormiou	6 km	≤100 m	1 h	28 ha
Calanque de Morgiou	12 km	≤100 m	2 h	65 ha
Baie de la Ciotat	60 km	250 m	2 jours	1 199 ha

Tableau 1 : Détail des acquisitions de sondeur à sédiment

Etape 2 – Vérité terrain et carottages

Les carottages ont pour but de compléter le sondeur à sédiment et de réaliser une vérité terrain des données obtenues. Ainsi, nous choisirons des zones où l'épaisseur a été détectée inférieure à 2m au sondeur à sédiment pour effectuer les carottages. Celles-ci permettront de vérifier en prenant en compte les calculs de compression que le sondeur à sédiment indique bien la hauteur de matre réelle. Les mesures de Carbone organique et inorganique seront effectuées afin de donner une estimation de la quantité stockée au sein des carottes en se basant sur le protocole de carottage de (Howard et al., 2014)

Il a été choisi d'effectuer 12 carottages au total soit 3 carottages par sites à 5 m, 11 m et 22 m de profondeur. Sur chaque carotte, 16 analyses seront effectuées.

Secteurs	Longitude	Latitude	Profondeur du carottage (mètre)
Côte Ouest de Pomègues - île du Frioul	5,29237418	43,268315	5
	5,29272058	43,269028	11
	5,29425562	43,272317	22
Calanque de Sormiou	5,42225649	43,209685	5
	5,42394219	43,208853	11
	5,42769153	43,206966	22
Calanque de Morgiou	5,44549834	43,211578	5
	5,44775069	43,210066	11
	5,45215520	43,207562	22
Baie de la Ciotat	5,63346882	43,186573	5
	5,63429628	43,183990	11
	5,63563739	43,179762	22

Tableau 2 : Localisation et description des points de carottages

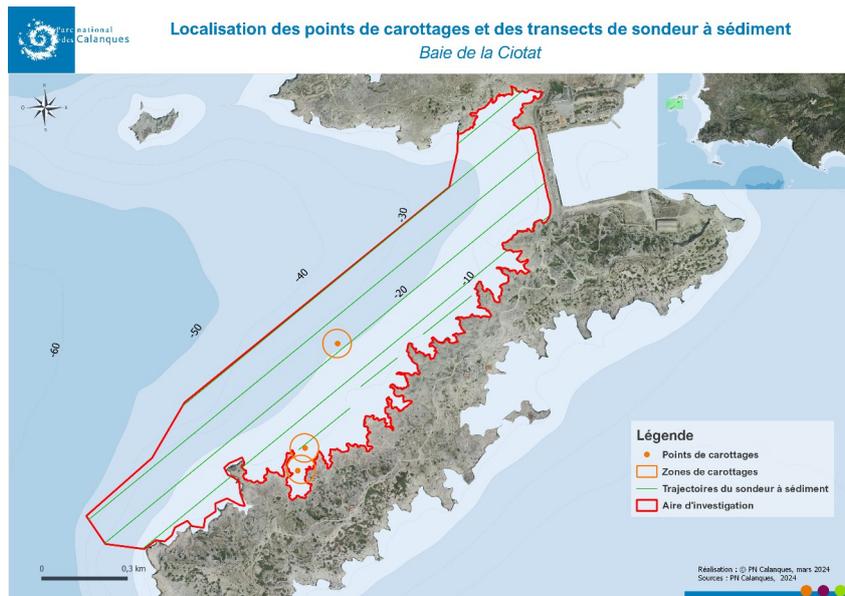


Figure 6 : Localisation des points de carottages et des transects de sondeur à sédiment à la côte ouest de Pomègues sur l'île du Frioul

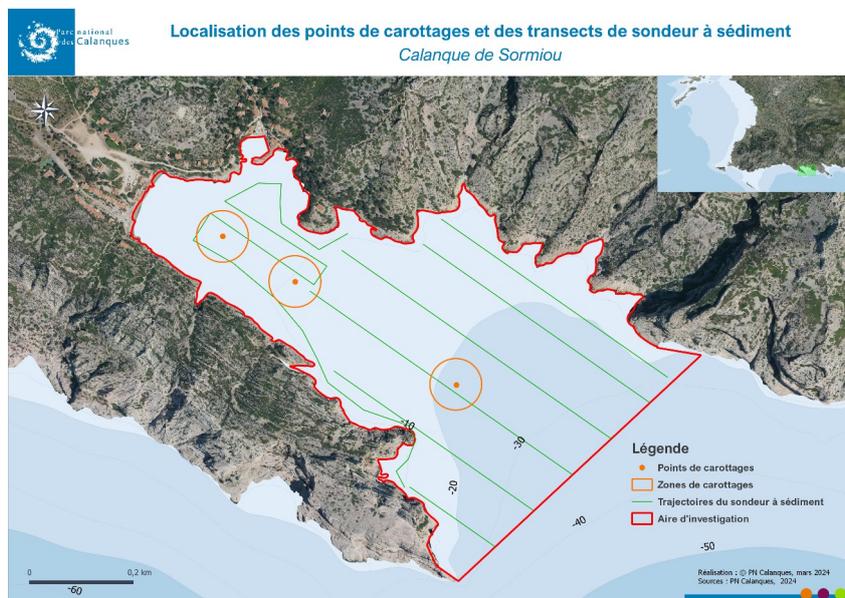


Figure 7 : Localisation des points de carottages et des transects de sondeur à sédiment dans la calanque de Sormiou

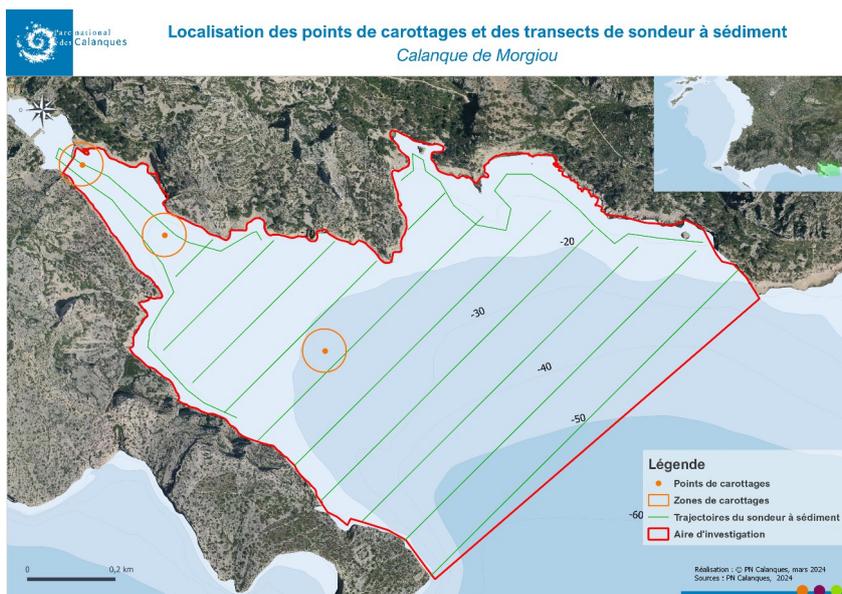


Figure 8 : Localisation des points de carottages et des transects de sondeur à sédiment dans la calanque de Morgiou

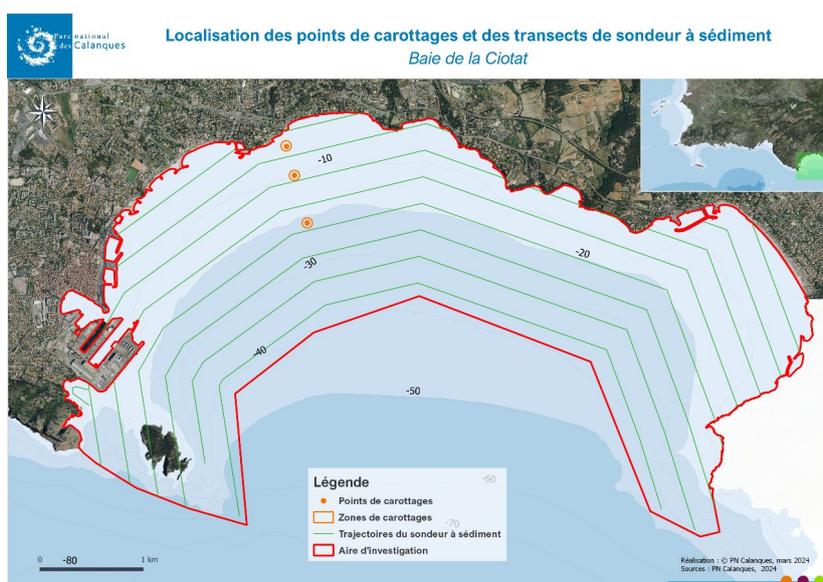


Figure 9 : Localisation des points de carottages et des transects de sondeur à sédiment dans la Baie de la Ciotat

Méthode :

La technique utilisée pour réaliser les carottages est manuelle, et faite par deux plongeurs titulaires du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie (CAH) mention B avec le matériel suivant :

- Un tube PVC (haute pression car plus résistant) d'une longueur supérieure à 2 mètres pour obtenir une carotte de 2m maximum, et d'un diamètre extérieur de 80mm afin de limiter l'impact environnemental et faciliter le carottage dans la matte,
- Une masse,
- Un tube acier : disposer sur la partie haute du tube PVC, protégeant ainsi ce dernier des coups de masse,
- Deux poignées disposer sur la partie haute des tubes afin de pouvoir ressortir la carotte de la matte.



Figure 10 : Plongeur enfonçant le tube PVC à l'aide d'une masse

Le tube PVC est présenté à la verticale sur le point de carottage définie en amont. Par la suite, le plongeur CAH2B muni de la masse viendra taper sur la partie métallique du tube maintenu verticalement par le deuxième plongeur CAH2B. Le tube PVC va donc rentrer progressivement dans la matte, sans altérer la qualité de l'herbier de posidonie autour du point de prélèvement. Une fois le tube enfoncé au maximum, les plongeurs vont « dévisser » l'ensemble grâce aux poignées. Délicatement, l'extrémité du tube est obstruée afin de ne pas perdre la carotte contenue dans le tube. Enfin, l'ensemble est remonté à la surface afin de conditionner le carottage dans des glacières permettant leur conservation.

Cette méthode de carottage permet de réduire l'impact environnemental du prélèvement car la zone impactée ne représente que le point de carottage d'un diamètre de 80 millimètres (soit une surface impactée de 0.02m² pour un volume maximum de 10L de matière par carottage). Par ailleurs, il s'agit de la méthode de carottage la moins onéreuse.

Etape 3 - Analyse sédimentaire et évaluation du stock de carbone des carottes

Les analyses seront réalisées par l'Université de Corse Pascal Paoli, suivant le protocole suivant :

Référence	Intervalle	Epaisseur (cm)
Echantillon 1	0-5	5
Echantillon 2	05-10	5
Echantillon 3	10-15	5
Echantillon 4	15-20	5
Echantillon 5	20-25	5
Echantillon 6	25-30	5
Echantillon 7	30-35	5
Echantillon 8	35-40	5
Echantillon 9	40-45	5
Echantillon 10	45-50	5
Echantillon 11	50-75	25
Echantillon 12	75-100	25
Echantillon 13	100-125	25
Echantillon 14	125-150	25
Echantillon 15	150-175	25
Echantillon 16	175-200	25

Tableau 3 : Analyses des échantillons

Pour chaque échantillon, il sera analysé :

- la densité de la matre
- le %C_aCO₃ (%Carbone inorganique)
- le %Matière organique (MO) par perte au feu
- le %C_{org} (carbone organique par analyse élémentaire)

Etape 1 : Prétraitement et mesure des carbonates du calcium (%C_aCO₃) :

- Séchage à l'étuve (70°C/ 24-48h)
- Pesée des échantillons avant-après étuve
- Détermination de la densité de la matre (DBD, g cm⁻³)
- Broyage de la matre (<0,5 mm)
- Acidification des échantillons avec de l'acide chlorydrique HCL 1M
- Pesée des échantillons avant-après étuve

Etape 2 : Analyse élémentaire (%C et %N)

- Séchage à l'étuve (70°C/ 24-48h)
- Pesée des échantillons avant-après étuve
- Encapsulation des échantillons dans une capsule d'étain
- Analyse des échantillons

g. Calendrier du projet

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Sondeur à sédiment		5 jours				
Carottage & Analyse des carottages				12 jours		

5. Informations générales

a. Présentation du demandeur

L'opérateur et/ou le maître d'œuvre de cette étude est l'entreprise Seaviews sous l'égide du Parc national des Calanques. Elle sera chargée de réaliser les acquisitions de sondeur à sédiment, les manipulations sous-marines et le prélèvement des carottages, en étroite collaboration avec l'Université de Corse Pascal Paoli, chargée d'analyser les carottes prélevées.

Seaviews est une société créée en 2015 par Christophe Viala (Président) ayant pour vocation de réaliser des mesures hydrographiques et plus particulièrement des levés acoustiques à l'aide des différents types de Sondeurs.

Christophe VIALA (président de Seaviews) a passé un doctorat sur des sujets d'étude proposés par le SHOM dans le but d'améliorer le traitement des données acoustiques issues des sondeurs militaires. Afin de veiller au bon déroulement de cette étude, Seaviews met à disposition une équipe de professionnels expérimentée regroupant une grande variété de compétences dans le domaine de l'hydrographie et de la mesure bathymétrique.

L'université de Corse Pascal Paoli est précurseur dans la recherche sur les questions relatives au stock de carbone des herbiers de posidonies. Briac Monnier, maître de conférence de l'université de Corse Pascal Paoli et docteur au CNRS au laboratoire des Sciences pour l'Environnement, sera la personne en charge des analyses sédimentaires. Pionnier dans la pratique puisqu'il est l'auteur de la récente étude qui a permis d'estimer le stock de CO₂ que peut séquestrer la matre des herbiers de posidonies sur la côte Corse. La méthode employée dans le cadre de notre étude est identique à cette précédente étude (Monnier et al. 2022).

Pour rappel, ce projet s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre du Schéma Global d'Organisation des mouillages qui implique la mise en place de ZMEL. Ce projet a pour objectif majeur de préserver les habitats d'herbiers de posidonie des ancrages. Le maître d'ouvrage du projet d'étude est le Parc national des Calanques, un établissement public ayant pour objectif la protection de son espace naturel et patrimoine culturel exceptionnel selon la loi n°60-708 du 22 juillet 1960.

Bibliographie

Bockel, Thomas, Guilhem Marre, Gwenaëlle Delaruelle, Florian Holon, Pierre Boissery, Agathe Blandin, Nicolas Mouquet, et Julie Deter. 2023. « Anchoring Pressure and the Effectiveness of New Management Measures Quantified Using AIS Data and a Mobile Application ». *Marine Pollution Bulletin* 195 (octobre): 115511. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115511>.

Boudouresque, Charles François. *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. 13-Marseille: GIS Posidonie, 2006.

Mancini, Gianluca, Gianluca Mastrantonio, Alessio Pollice, Giovanna Jona Lasinio, Andrea Belluscio, Edoardo Casoli, Daniela Silvia Pace, Giandomenico Ardizzone, et Daniele Ventura. 2023. « Detecting Trends in Seagrass Cover through Aerial Imagery Interpretation: Historical Dynamics of a Posidonia Oceanica Meadow Subjected to Anthropogenic Disturbance ». *Ecological Indicators* 150 (juin): 110209. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110209>.

Monnier, B, G Pergent, A Valette-Sansevin, A Mateo, et C Pergent-Martini. 2020. « THE POSIDONIA OCEANICA MATTE: A UNIQUE COASTAL CARBON SINK FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION AND IMPLICATIONS FOR MANAGEMENT ». *Vie Milieu*.

Monnier, Briac, Gérard Pergent, Miguel Ángel Mateo, Ramon Carbonell, Philippe Clabaut, et Christine Pergent-Martini. 2021. « Sizing the Carbon Sink Associated with Posidonia Oceanica Seagrass Meadows Using Very High-Resolution Seismic Reflection Imaging ». *Marine Environmental Research* 170 (août): 105415. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105415>.

Monnier, Briac, Gérard Pergent, Miguel Ángel Mateo, Philippe Clabaut, et Christine Pergent-Martini. 2022. « Quantification of Blue Carbon Stocks Associated with Posidonia Oceanica Seagrass Meadows in Corsica (NW Mediterranean) ». *Science of The Total Environment* 838 (septembre): 155864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155864>.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (eds.) (2014). Coastal blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.

Pergent-Martini, Christine, Gérard Pergent, Briac Monnier, Charles-François Boudouresque, Christophe Mori, et Audrey Valette-Sansevin. 2021. « Contribution of Posidonia Oceanica Meadows in the Context of Climate Change Mitigation in the Mediterranean Sea ». *Marine Environmental Research* 165 (mars): 105236. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105236>.