



STARESO
Station de Recherches Sous-Marines
et Océanographiques

Station STARESO
Pte de la Revellata – BP 33 – 20260 Calvi
(Corse) - FRANCE
Tel : +00 33 (0)6 86 22 32 61
Email : basemarine@stareso.com
Site web : www.stareso.com

Novembre 2021

Etude du milieu marin dans le cadre du suivi de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Cargèse

Commune de Cargèse



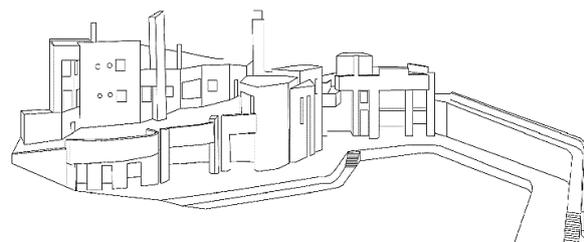
Rapport final
E04-21



Carghjese
— CASA CUMUNA —



E04-21 Etude du milieu marin dans le cadre du suivi de l'émissaire en mer de
la station d'épuration de Cargèse



Etude du milieu marin dans le cadre du suivi de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Cargèse

Etude commandée par :
La commune de Cargèse

Le groupement STARESO s'articule de la manière suivante :

Directeur de station :

P. Lejeune – p.lejeune@stareso.com

Directeur scientifique :

M. Marengo – michel.marengo@stareso.com

Réalisation (Rédaction et cartographie) :

Q. Fontaine – quentin.fontaine@stareso.com

Biologistes et plongeurs (Classe IIB) :

A. Donnay – annick.donnay@stareso.com

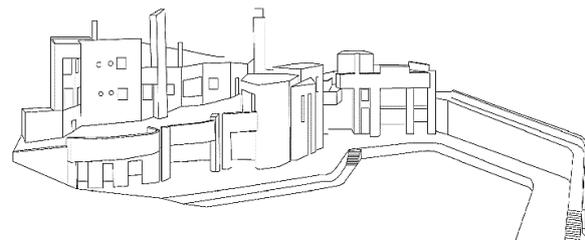
Q. Fontaine – quentin.fontaine@stareso.com

L. Fullgrabe – lovina.fullgrabe@stareso.com

M. Patrissi – michela.patrissi@stareso.com

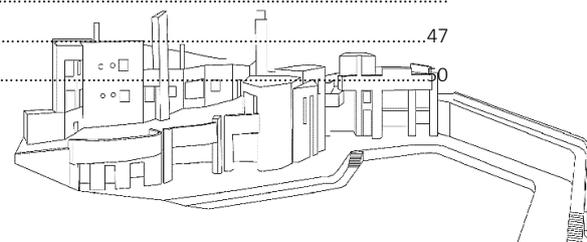
Cette étude doit être citée sous la forme :

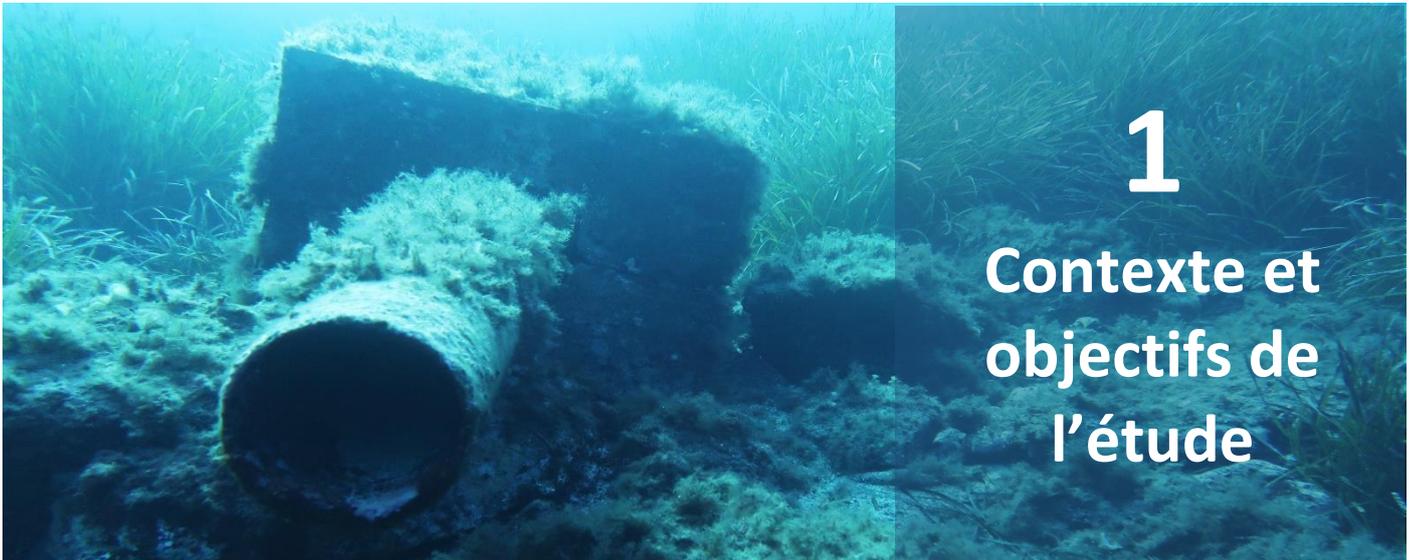
Fontaine Q., Fullgrabe L., Patrissi M., Donnay A., & M. Marengo (2021). Etude du milieu marin dans le cadre du suivi de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Cargèse. Contrat STARESO/Mairie de Cargèse. E04-21 : 51pp



Sommaire

Contexte et objectifs de l'étude.....	4
Contexte de l'étude.....	4
Objectifs de l'étude.....	5
Site d'étude.....	6
Localisation de la zone d'étude.....	6
Méthodologie.....	7
Elaboration d'une cartographie fine des biocénoses marines et d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) bathymétrique.....	7
Analyse de la qualité et caractérisation des sédiments	10
Protocole d'échantillonnage et éléments analysés.....	10
Cadre réglementaire et interprétation des résultats.....	10
Analyse de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie.....	11
Inspection de la canalisation.....	13
Plan de prospection et stratégie d'échantillonnage.....	15
Résultats.....	16
Analyse de la qualité et caractérisation des sédiments	16
Granulométrie.....	16
Physico-chimie.....	23
Eléments azotés, phosphorés et carbonatés.....	23
Phosphore total (P).....	23
Matière Organique (MO).....	23
Carbone Organique Total (COT).....	23
Azote total (NT).....	23
Eléments traces et contaminants.....	25
Eléments traces.....	25
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).....	25
Polychlorobiphényles (PCB).....	25
Organo-stanniques (TBT, DBT, MBT).....	25
Conclusion.....	25
Analyse de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie.....	28
Paramètres structurels.....	30
Taux de recouvrement (%).....	30
Densité (nb Faisceaux/m ²).....	30
Colonisation (% faisceaux plagiotropes)	31
Compacité de la matre (profondeur d'enfouissement du compacteur en cm).....	31
Paramètres phénologiques.....	36
Croissance foliaire.....	36
Dynamique foliaire.....	36
Surface foliaire	36
Rapport biomasse des épiphytes/biomasse foliaire.....	36
Broutage et/ou hydrodynamisme.....	36
Localisation de l'herbier de Posidonie.....	36
Au sein de la zone d'étude.....	36
En contact avec l'émissaire.....	36
Conclusion.....	37
Inspection de la canalisation.....	38
Conclusion.....	42
Préconisations et recommandations.....	47
Bibliographie.....	47
Annexes.....	50





1. Contexte de l'étude

La Corse étant caractérisée par l'absence d'industrie et une agriculture faiblement représentée, les rejets urbains des stations d'épuration (STEP) corses constituent l'une des principales sources de pollution tellurique du littoral insulaire, notamment en période de forte fréquentation estivale.

4

Ainsi, en conformité avec :

- la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil De l'Union Européenne ;
- l'arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface ;
- l'arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux ;

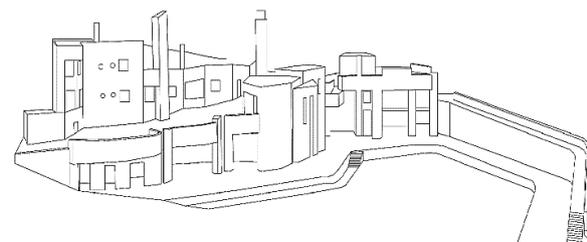
toutes les STEP doivent faire l'objet de suivis environnementaux réguliers sur le long terme. Ces suivis, à travers l'analyse de certains paramètres écologiques, ont permis, permettent et permettront d'apprécier les améliorations ou d'identifier d'éventuels dysfonctionnements et

d'anticiper tout risque de dégradation de l'environnement au niveau des émissaires en mer.

Par ailleurs, de nombreuses études ont d'ores et déjà mis en évidence l'impact des rejets de stations d'épuration en mer sur le milieu marin. En effet, l'ensemble des compartiments et des écosystèmes marins sont influencés et répondent de manière particulière aux forçages d'origine climatique mais également aux pressions d'origines anthropiques.

Afin de répondre aux objectifs de l'arrêté n°06-0170 portant sur le renouvellement d'autorisation de rejet par l'émissaire en mer de la station d'épuration de la commune de Cargèse, un suivi du milieu marin a été exigé de la part des services de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer de Corse-du-Sud (DDTM 2A) dans le cadre de leurs missions de suivi et de contrôle des installations d'assainissement collectif.

C'est pour cette raison que la mairie de Cargèse a sollicité la STARESO pour la réalisation d'une étude du milieu marin au niveau de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Cargèse.

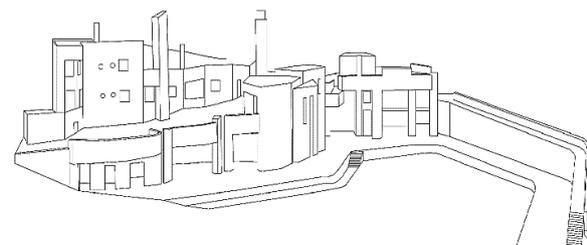


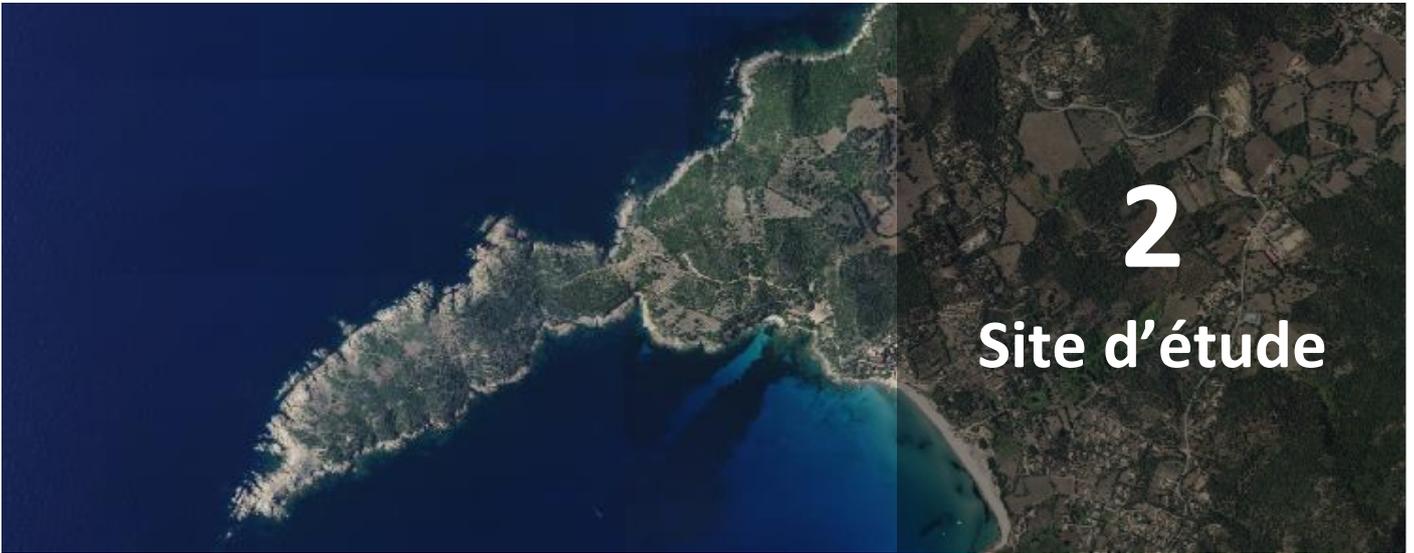
2. Objectifs de l'étude

Afin de répondre aux attentes de la DDTM et de l'arrêté n°06-0170 ont ainsi été réalisées au niveau et autour de l'émissaire :

- une analyse de la qualité des sédiments ;
- une analyse de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie ;
- une inspection de la canalisation.

Ce document correspond donc à la proposition technique et financière de la STARESO pour la réalisation d'une étude du milieu marin dans le cadre du suivi de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Cargèse.





1. Localisation de la zone d'étude

La commune de Cargèse est située sur la côte ouest de la Corse dans le département de Corse-du-Sud.

Le rejet en mer de l'émissaire de la station d'épuration qui traite les eaux de la commune se situe au cœur du golfe de Chiuni sur le territoire marin de la commune à l'est de la pointe d'Omigna et au sein de sites Natura 2000 en mer :

- FR9402018, Cap rossu, Scandola, Pointe de la Revellata, Canyon de Calvi (Directive Habitat/Faune/Flore) ;

- FR9412010, Capu Rossu, Scandola, Revellata, calvi (Directive Oiseaux).

Le débouché final où s'écoulent les eaux traitées est théoriquement situé à 300 m de la côte à une profondeur de 23 m.

La carte suivante (Fig. 1) illustre la localisation du rejet en mer de l'émissaire ainsi que la nature des fonds avoisinants.

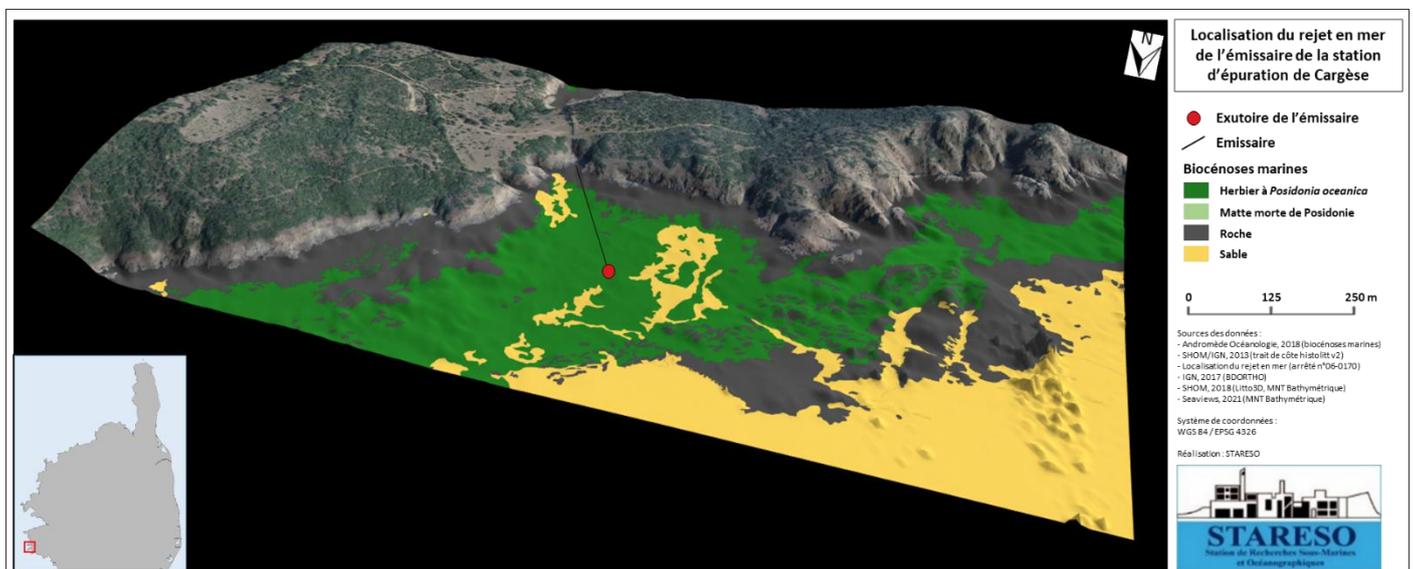
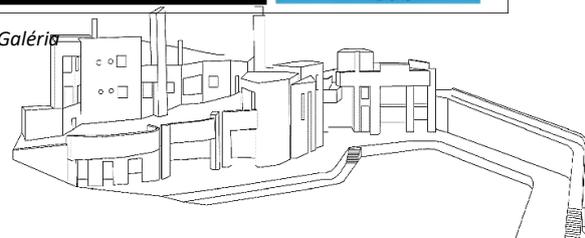
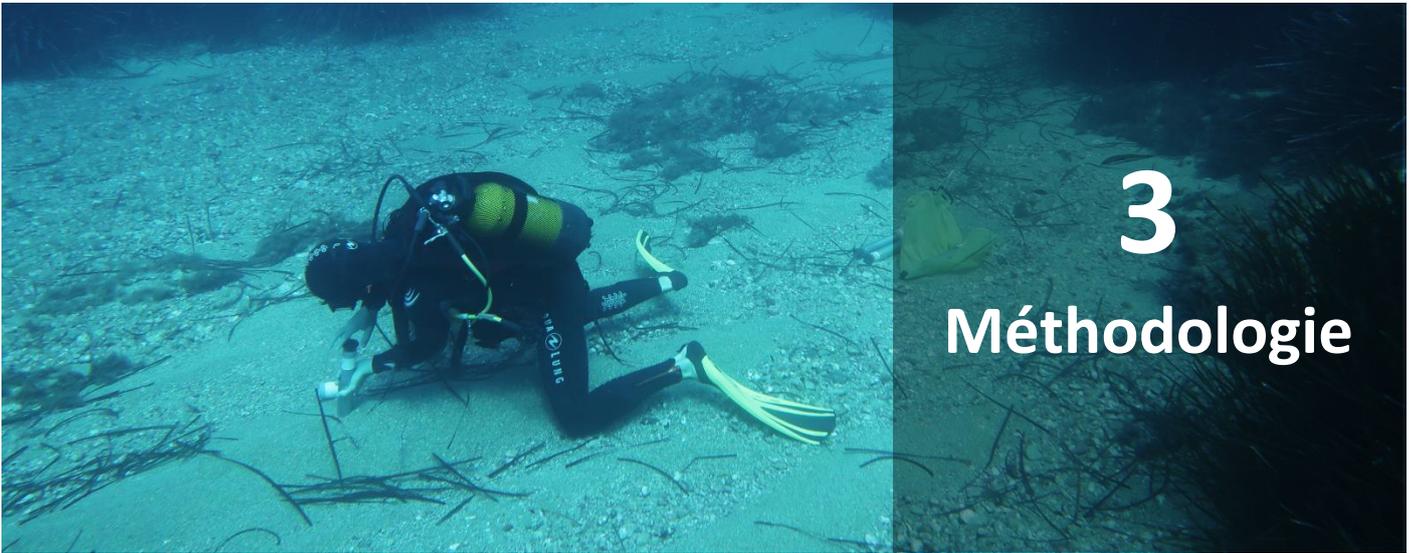


Figure 1 : Carte illustrant la localisation de la zone d'étude et la nature des fonds au sein de la baie de Galérie





1. Elaboration d'une cartographie fine des biocénoses marines et d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) bathymétrique

La stratégie de prospection de STARESO a notamment été planifiée sur base des informations transmises par la municipalité de Cargèse (position théorique du rejet de l'émissaire de la STEP, l'arrêté n°06-0170). De plus, la cartographie existante «Biocénoses _ Andromède _ 2018 _ FREC4ac » contenant à la fois des données acquises lors de campagnes réalisées à l'échelle de la façade méditerranéenne en décembre 2014 et mai 2018, il a été décidé, face à l'enjeu et la nécessité d'évaluation des impacts du projet, de localiser très précisément les divers écosystèmes marins locaux grâce à une actualisation de la cartographie existante. Une cartographie fine des habitats marins a donc été réalisée par la société Seaviews (société ayant pour vocation le développement et la mise en oeuvre de moyens d'observation en milieu marin) à la demande de STARESO pour la commune de Cargèse. Cette cartographie a été réalisée par acoustique sous-marine grâce à l'emploi d'un sondeur multifaisceaux permettant d'acquérir de la donnée bathymétrique (obtention d'un Modèle Numérique de Terrain 3D – MNT) (Fig.

4) et de classer la nature des fonds (Fig. 6) au sein d'une large zone (environ 14 ha) prédéfinie de 1 à 28 m de profondeur de part et d'autre et dans le prolongement de l'émissaire.

Plus concrètement, la position du navire est calculée dynamiquement avec une précision centimétrique grâce à une transmission internet entre un GNSS (Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites) installé sur terre (base dont la position est mesurée avec une précision inférieure au cm) et un GNSS mobile installé sur le bateau. Ce dernier avance en suivant des trajectoires parallèles au sein de la zone d'étude prédéfinie. Le sondeur multifaisceaux relié à la centrale d'attitude et au GNSS mobile prend 256 points constituant la fauchée dont la largeur est environ égale à 8 fois la hauteur de la colonne d'eau, et ce, à une très haute fréquence qui dépend de la profondeur du site (Fig. 2 et 3). L'ensemble de ces mesures sont traitées et permettent d'acquérir un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de précision centimétrique (Fig. 4).



Figure 2 : Embarcation et matériel de la société Seaviews utilisé pour la cartographie fine des habitats marins

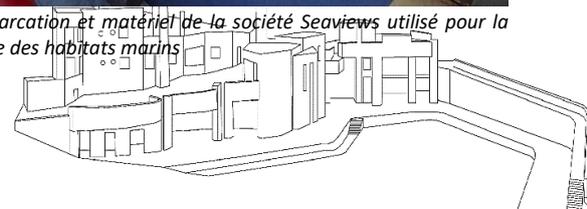




Figure 3 : Matériel de la société Seaviews utilisé pour la cartographie fine des habitats marins

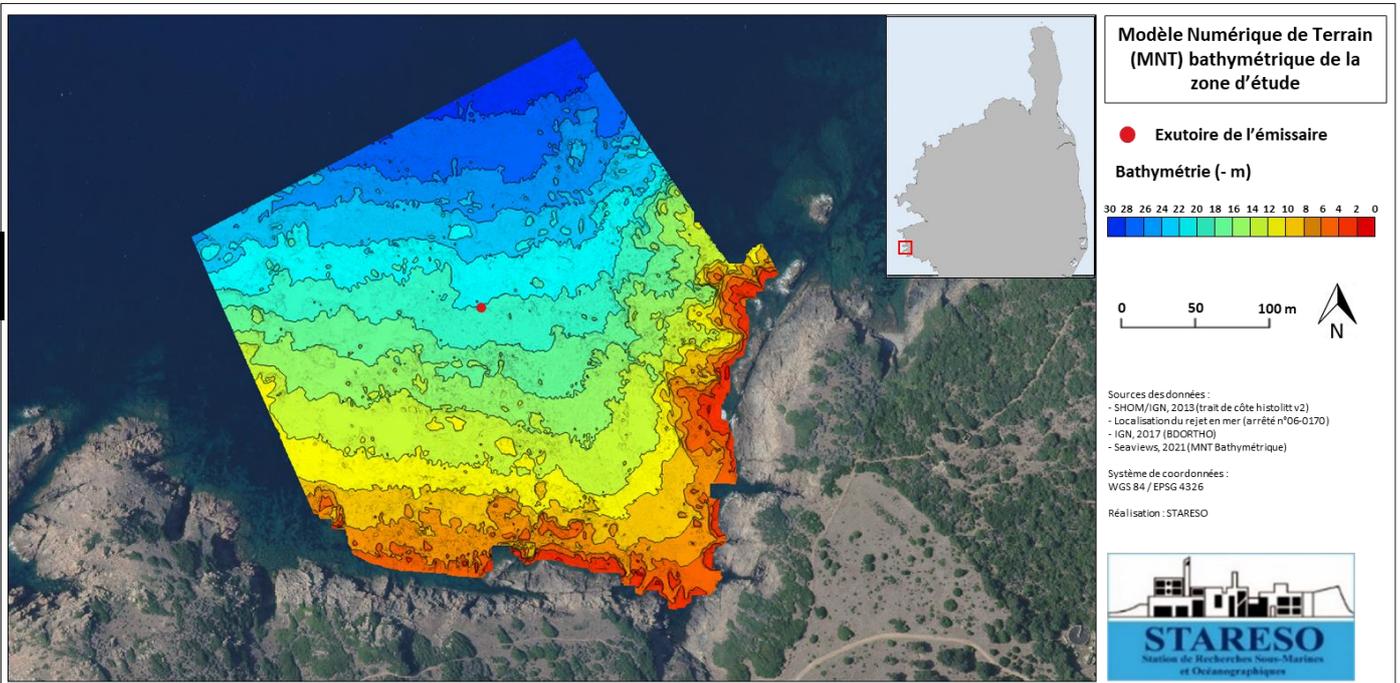
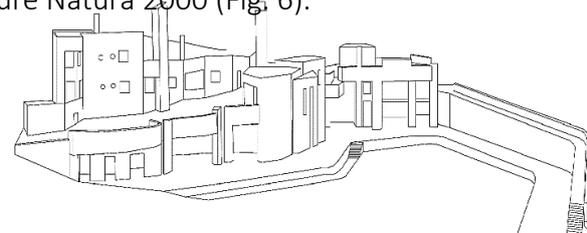


Figure 4 : Modèle Numérique de Terrain (MNT) bathymétrique des fonds marins au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse créé grâce à l'emploi d'un sondeur multifaisceaux (Seaviews, 2021)

La classification de la nature des fonds est ensuite réalisée grâce au traitement d'informations de différentes natures fournies par les capteurs acoustiques (temps de retour, amplitude du signal réfléchi, déformation du signal réfléchi, déformations des structures bathymétriques au voisinage d'un écho). La méthode BATCLAS (Bathymetric Automated Treatment for Classification of the Seafloor) a été utilisée pour classier la nature des fonds de cette

zone d'étude. Cette méthode présente l'avantage de quantifier et de mesurer de manière extrêmement précise les défauts de planéité du fond de l'ordre de quelques centimètres.

Ces données ont permis de construire une couche SIG de type vecteur dont chaque polygone s'est vu attribuer un habitat nommé selon la nomenclature Natura 2000 (Fig. 6).



Des vérités terrains ont ensuite été réalisées grâce à des observations par un nageur de surface (avec photos et vidéos et bouée géoréférencée) pour vérifier l'exactitude des informations acquises par acoustique (Fig. 5).



Figure 5 : Vérités terrain par un nageur de surface

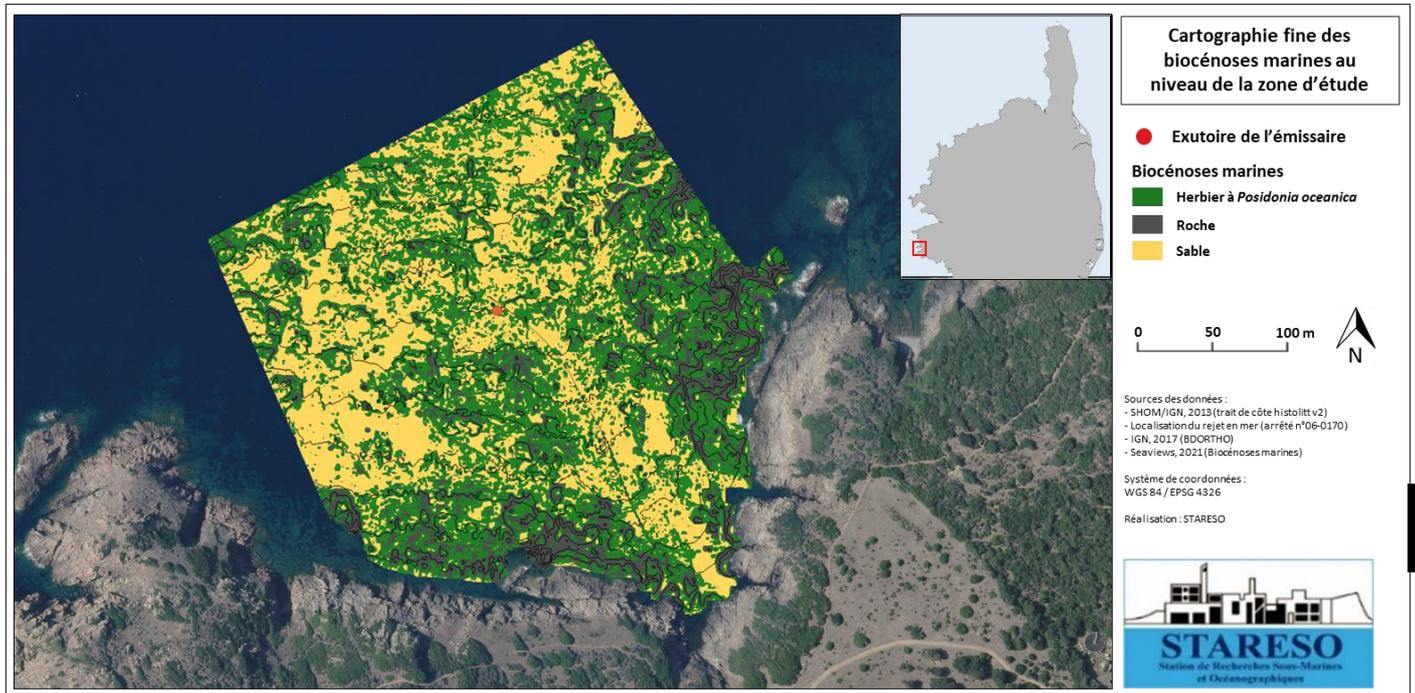
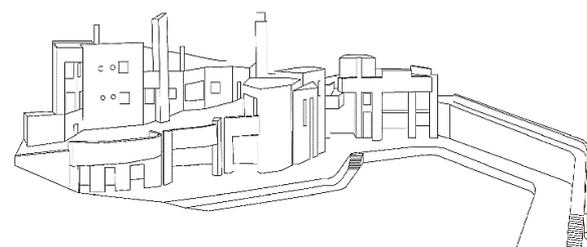


Figure 6 : Carte de biocénoses marines au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse créé grâce à l'emploi d'un sondeur multifaisceaux

Dans un souci d'exactitude et d'optimisation des prospections sous-marines, la définition de la localisation des stations d'étude pour l'analyse de la qualité des sédiments et de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie a été faite sur base de cette cartographie fine et actualisée des habitats marins et de ce MNT bathymétrique (Fig. 16).



2. Analyse de la qualité et caractérisation des sédiments

Afin de répondre au 1^{er} objectif du protocole de la DDTM concernant le suivi environnemental des stations d'épuration, une analyse de la qualité et une caractérisation des sédiments a été réalisée par STARESO.

2.1. Protocole d'échantillonnage et éléments analysés

Afin de caractériser les sédiments présents au niveau et autour du rejet théorique de l'émissaire de la STEP de Cargèse, la STARESO a effectué, le 31 août et le 1^{er} septembre 2021, des prélèvements de sédiments marins à l'aide de carottes manuelles au niveau de 7 stations (Fig. 7 et 16) localisées grâce à la cartographie fine des habitats.

Initialement, la STARESO avait proposé d'analyser la qualité des sédiments au niveau de 6 stations situées autour de la position théorique du point de rejet. Néanmoins, en raison de plusieurs dysfonctionnements identifiés en plongée, le rejet ne s'effectue pas à l'endroit prévu. Une station d'échantillonnage supplémentaire a ainsi été rajoutée au niveau du point de rejet anormal et gracieusement considérée dans les analyses développées ultérieurement.

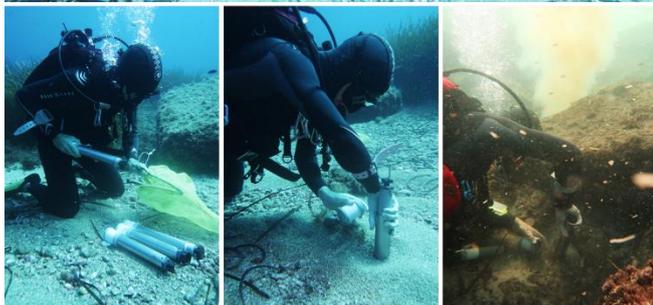


Figure 7 : Plongeur de STARESO en train de faire des prélèvements de sédiments à l'aide de carottes manuelles

Au total, 28 carottes de sédiments ont été prélevées, soit 4 carottes par station. A chaque station, 2 carottes ont servi à constituer l'échantillon traité et les 2 autres ont constitué un échantillon de secours soigneusement conservé au congélateur au laboratoire de STARESO.

Les 7 échantillons (1 par station) ont été congelés, conservés selon les normes en vigueur (NF EN ISO 5667-3 : février 1996), puis envoyés pour analyse à la société INOVALYS (1-1827 Nantes – Laboratoire certifié COFRAC) avec laquelle la STARESO à l'habitude de travailler.

Les dosages effectués ont été les suivants :

Physico-chimie :

- Azote total
- Phosphore total
- Carbone Organique Total COT
- Granulométrie
- Matière sèche (MS)
- Matières Minérales Totales
- Perte au feu (Matières Organique (MO))

Éléments traces (Métaux lourds) :

- Aluminium (Al)
- Arsenic (As)
- Cadmium (Cd)
- Chrome (Cr)
- Cuivre (Cu)
- Fer (Fe)
- Mercure (Hg)
- Nickel (Ni)
- Plomb (Pb)
- Zinc (Zn)

Micropolluants organiques :

- PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180, 194)
- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAP)
- TBT, DBT, MBT

2.2. Cadre réglementaire et interprétation des résultats

Les résultats des analyses seront interprétés au regard des seuils réglementaires en vigueur en termes de risques et de contamination :

- **arrêtés interministériels du 30 juin 2020 modifiant l'arrêté du 9 août 2006, du 23 décembre 2009 et du 28 février 2013** »



relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins ou estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du Code de l'Environnement»).

- **l'arrêté du 27 octobre 2011 portant modalités d'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques au titre du code de l'environnement** ;
- **la circulaire n°2000-62 et l'arrêté associé du 14 juin 2000 « relatifs aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaires »** qui explicitent les conditions d'utilisation des niveaux de référence ;
- **la norme NF EN ISO 5667 « relative à l'échantillonnage pour les contrôles de qualité de l'eau »**. La **partie 19** donne les **lignes directrices pour l'échantillonnage des sédiments en milieu marin concernant l'identification, la traçabilité et le transport des échantillons (juin 2004)**. La **partie 12** donne les **recommandations concernant l'échantillonnage des sédiments dans les rivières, les lacs et les estuaires (juillet 2017)**. La **partie 15** donne les **lignes directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments (Octobre 2009)**;
- **la norme européenne NF EN ISO/CEI 17025 « relative aux exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais »** (septembre 2005).

3. Analyse de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie

Afin d'évaluer l'état de conservation et de vitalité de l'herbier de Posidonie autour de l'émissaire de la STEP de Calvi, les plongeurs biologistes de STARESO ont analysés au niveau de 4 stations géolocalisées (Fig. 16) :

- ses paramètres structurels grâce :
 - o à une estimation du taux de recouvrement au sein de 10 quadrats de 40 x 40 cm ;
 - o à 10 mesures de densité de faisceaux (Giraud, 1977) à l'aide d'un quadrat de 40 x 40 cm. La densité correspond au nombre de faisceaux par unité de surface, ici rapporté au m² (Fig. 8);
 - o à 15 mesures de compacité de la matte morte à l'aide d'un pénétromètre (Francour et al., 1999) (Fig. 9) ;

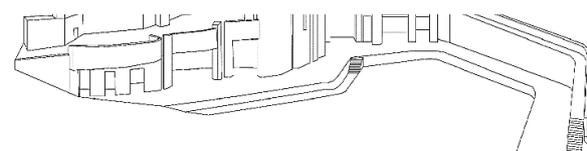
11



Figure 8 : Plongeur de STARESO en train de faire une mesure de densité de faisceaux de Posidonie



Figure 9 : Plongeur de STARESO en train de faire une mesure de compacité de la matte de Posidonie



- o au calcul des proportions de faisceaux orthotropes et plagiotropes, ces derniers étant, représentatifs de la capacité de l'herbier à coloniser le milieu horizontalement.

L'étude des paramètres structurels de l'herbier de Posidonie a été directement faite *in situ* par les plongeurs biologistes de STARESO.

- ses paramètres fonctionnels sur 10 faisceaux par station :
 - o biométrie (nombre moyen de feuilles par faisceaux, longueur et largeur moyenne des feuilles par catégories (Giraud, 1979) (Fig. 10 et 11), surface foliaire par faisceau et par m² de sédiments=LAI,);
 - o biomasse épiphytaire (ratio E/F= (poids sec des épiphytes)/(poids sec des feuilles)) (Fig. 12) ;
 - o coefficient (A). Ce coefficient correspond au pourcentage de feuilles dont l'apex est altéré soit par une consommation directe des herbivores, soit par l'occurrence d'un hydrodynamisme relativement important (Boudouresque & Meinesz, 1982 ; Dutrieux et al., 2006).

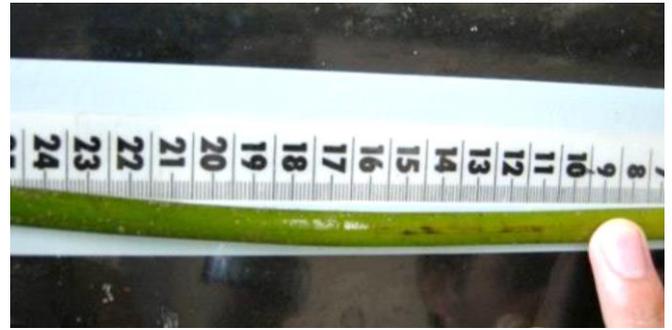


Figure 11 : Mesure de la longueur d'une feuille de Posidonie à l'aide d'un support gradué



Figure 12 : Grattage des épiphytes d'une feuille de Posidonie et respect de l'ordre d'insertion des feuilles au sein d'un même faisceau

L'analyse des paramètres fonctionnels (ou phénologiques) a été réalisée en laboratoire à STARESO et a nécessité le prélèvement préalable de faisceaux de Posidonie.

Afin d'effectuer l'analyse des paramètres fonctionnels de l'herbier, une demande de prélèvement d'espèce protégée avait été réalisée préalablement aux missions terrains auprès des services de l'Etat compétents (DREAL Corse).

Une fois l'autorisation obtenue, les faisceaux ont été prélevés de manière aléatoire et relativement homogène au niveau de chaque station selon une méthode d'échantillonnage non destructrice. Cette méthode, appelée « Non Destructive Shoot Method : NDSM » (Gobert et al., 2020) consiste à couper les feuilles d'un même faisceau avec une paire de ciseaux juste au-dessus du méristème (écaille visible à l'extérieur du faisceau) et à maintenir l'ordre d'insertion grâce à un clip de fermeture (style Bevara Ikea) (Gobert et



A : Feuilles adultes :

Longueur supérieure à 5 cm et présence d'une ligule

B : Feuilles intermédiaires :

Longueur supérieure à 5 cm

C : Feuilles juvéniles :

Longueur inférieure à 5 cm

Figure 10 : Catégories de feuilles observées sur un faisceau de Posidonie



al. 2012 ; De los santos et al, 2016) (Fig. 13). Une fois sur le bateau, les faisceaux seront délicatement mis dans des sachets plastiques de manière individuelle puis maintenu au congélateur jusqu'à analyse en laboratoire. Cette méthode présente de nombreux avantages parmi lesquels une garantie de repousse pour 100% des faisceaux prélevés.



Figure 13 : Coupe d'un faisceau de Posidonie selon la méthode NDSM (Gobert et al., 2020)

De nombreuses prises de vue viennent illustrer les caractéristiques structurelles et l'aspect général de l'herbier de Posidonie au niveau des 4 stations définies en accord avec la cartographie fine des habitats marins de la manière suivante (Fig. 16) :

- 1 station au droit du rejet de l'émissaire ;
- 1 station de part et d'autre du rejet (à 100 m à l'est et à l'ouest) afin de considérer la potentielle influence de la courantologie locale ;
- 1 station à 60 m dans le prolongement du rejet.

4. Inspection de la canalisation

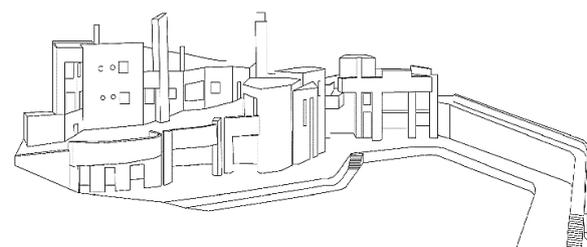
Afin de vérifier l'état de la canalisation de l'émissaire, des prospections en scaphandre autonome ont été réalisées par des plongeurs scientifiques de STARESO. Ces inspections ont plus concrètement permis de vérifier le bon fonctionnement des diffuseurs, que la conduite ne s'affaisse pas et de recenser les éventuelles fuites ou obstructions

Les potentiels dysfonctionnements ou dégradations de la conduite ont été géolocalisés grâce à la prise de points GPS permise par une relation plongeurs-bateau.

Préalablement aux inspections réalisées en plongée, des orthophotographies sous-marines ont été réalisées en scaphandre autonome par des plongeurs de la société Seaviews spécialisés en photographie sous-marine et en photogrammétrie. Ces orthophotographies sous-marines ont été prises tout le long de l'émissaire sur une bande de 5 à 10 m de largeur, à environ 5-10 m du fond et grâce à l'emploi d'un appareil photo grand angle de haute résolution (Fig. 15). Cette technique nécessite, pour un rendu optimal, un bon éclairage, un matériel de qualité et des eaux très peu turbides.

Ces orthophotographies sous-marines ont fait office de base pour la pré-identification de dysfonctionnements et ont permis, associées aux observations faites ultérieurement en plongée, d'identifier et de géolocaliser précisément les fuites et les obstructions de la canalisation.

Finalement, une mosaïque de 52 orthophotographies a été générée et géoréférencée (Fig. 14 et 15).



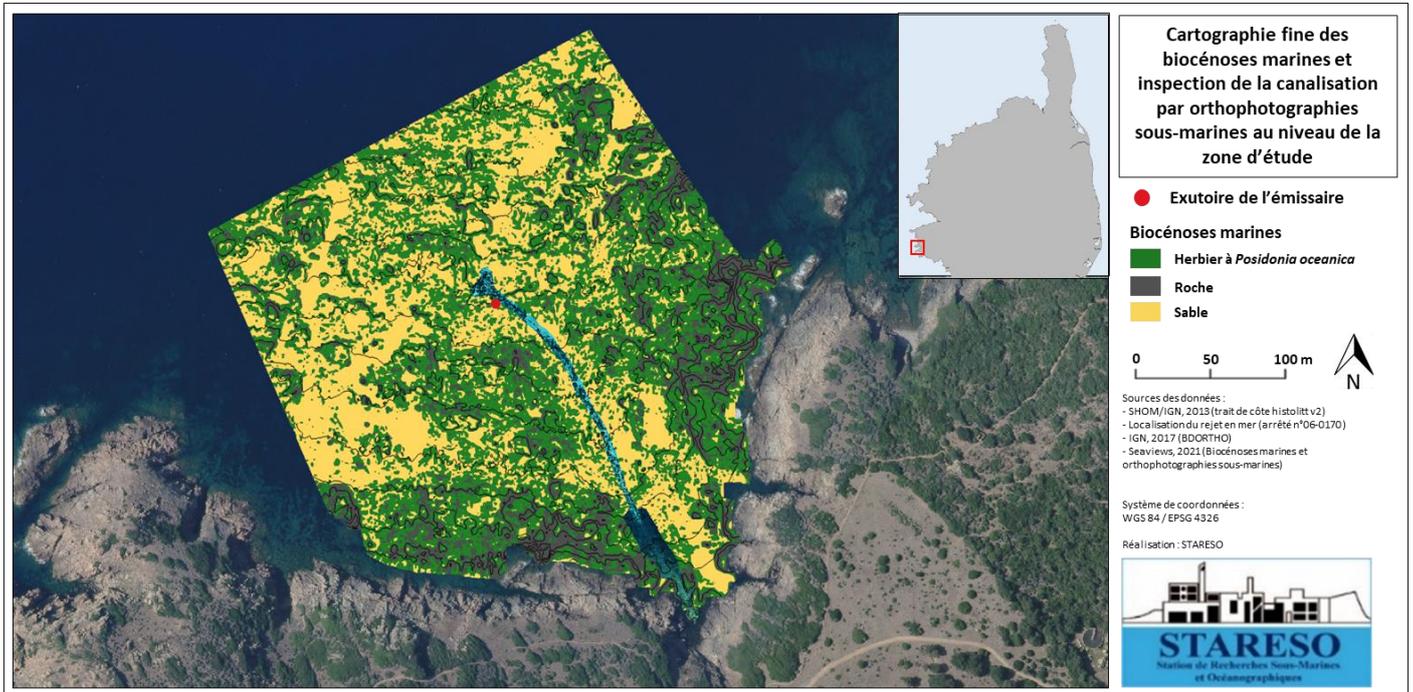


Figure 14 : Carte illustrant la position théorique du coffre, les biocénoses marines ainsi que les orthophotographies sous-marines prises par la société Seaviews le long de l'émissaire de la STEP de Cargèse

14

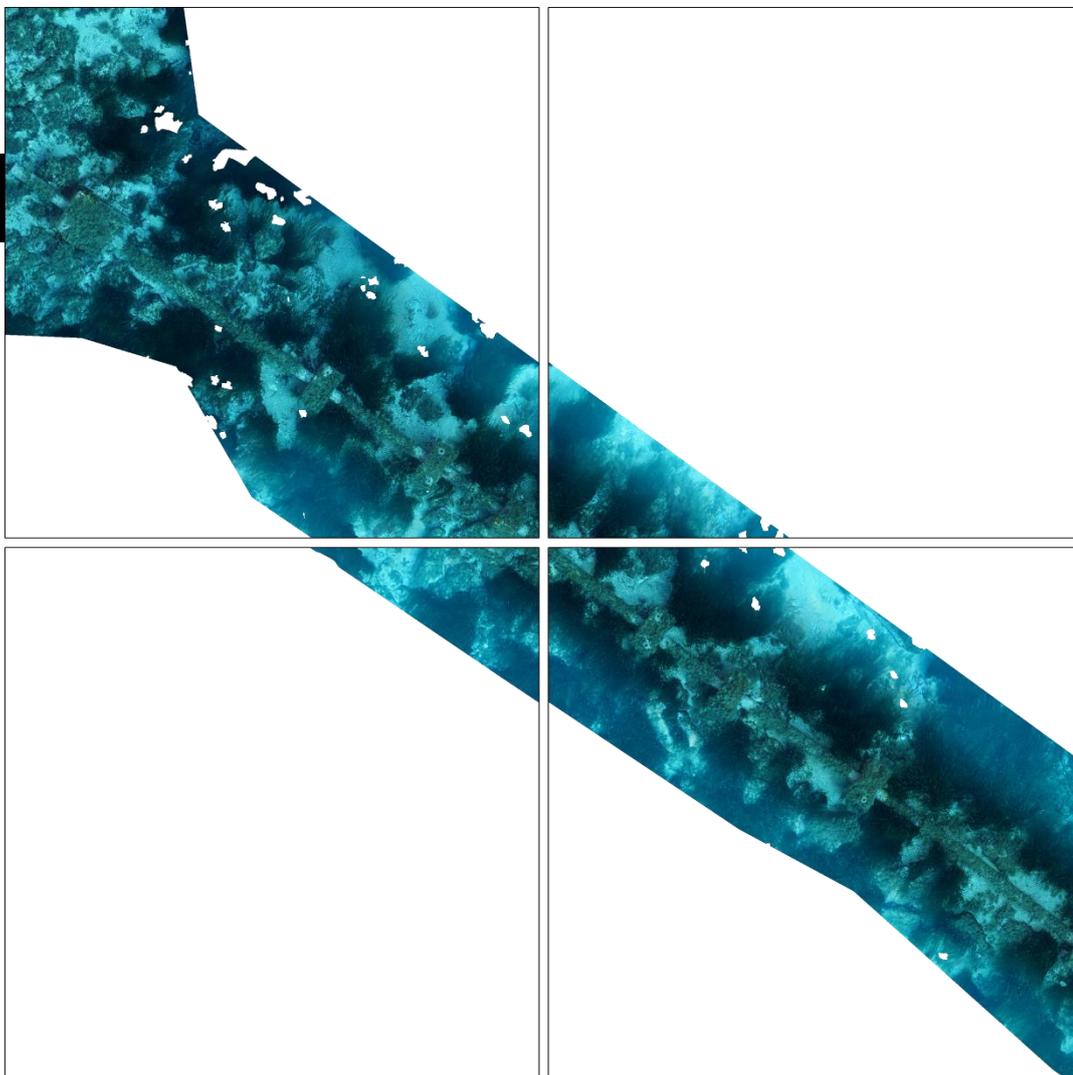
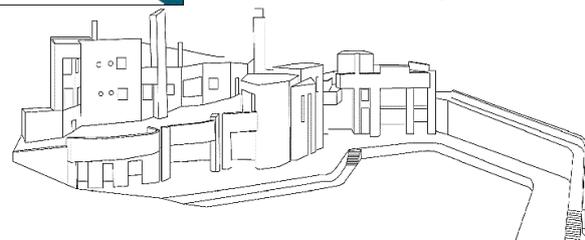


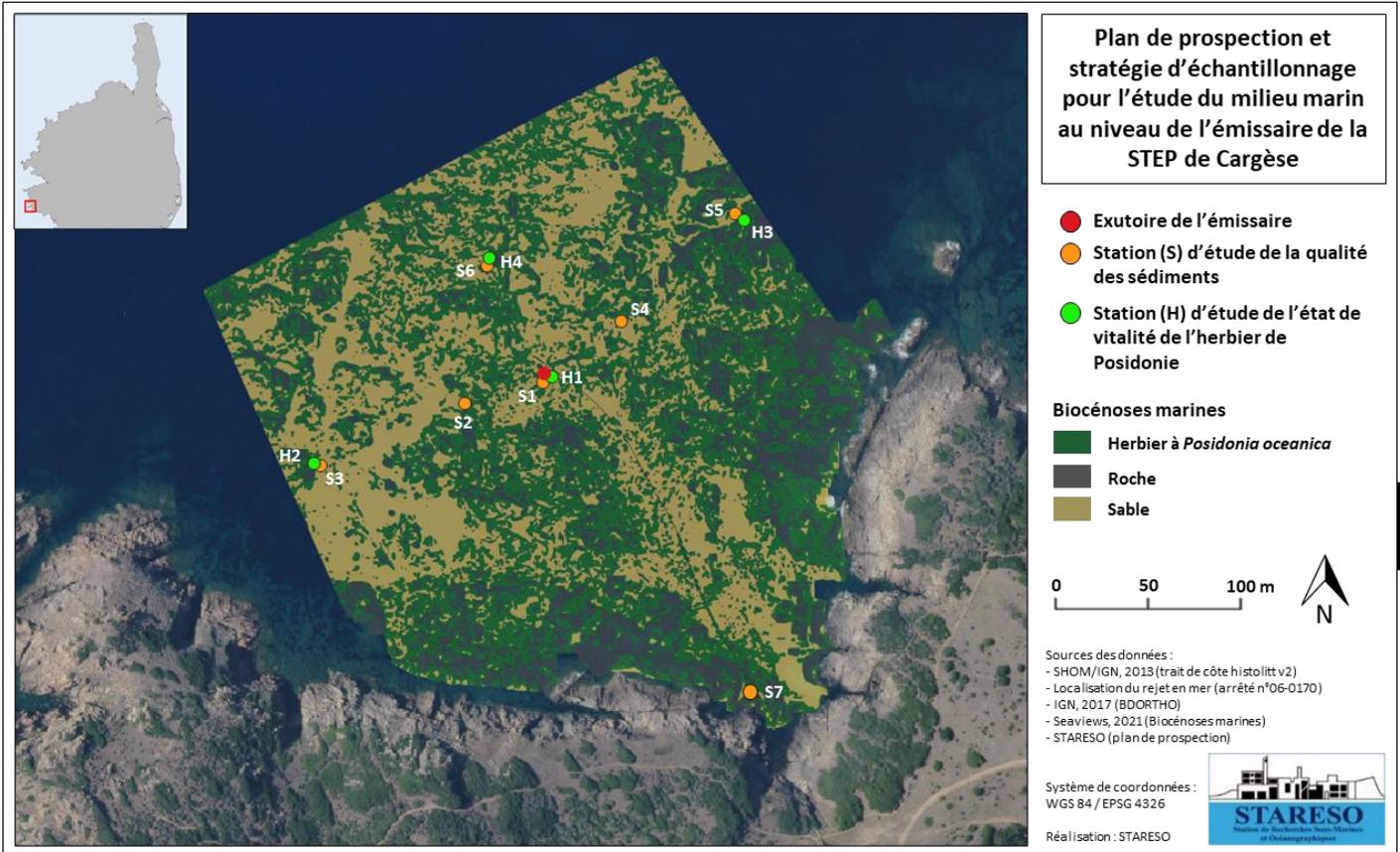
Figure 15 : Assemblage d'un échantillon de 4 orthophotographies sous-marines adjacentes prises par la société Seaviews le long de l'émissaire de la STEP de Cargèse



5. Plan de prospection et stratégie d'échantillonnage

Les diverses stations d'étude pour l'analyse de la qualité des sédiments et de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie ont été localisés de manière stratégique pour évaluer l'impact des rejets de l'émissaire de la STEP là où ils sont sensés théoriquement se produire et également sur base de la cartographie fine des habitats marins.

La carte ci-dessous illustre la localisation de ces stations ainsi que les biocénoses marines locales (Fig. 16).



15

Figure 16 : Plan de prospection et stratégie d'échantillonnage de STARESO pour le suivi des rejets de l'émissaire de la STEP de Cargèse

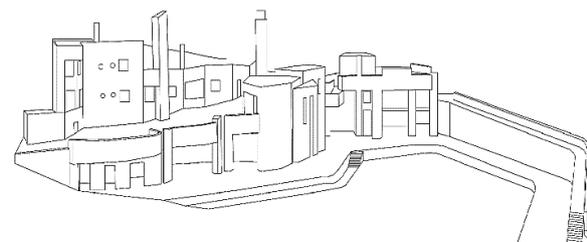
Point	Longitude	Latitude	Profondeur (m)
Bouche de l'émissaire	8,57513333	42,15711667	20

Stations herbier	Longitude	Latitude	Profondeur (m)
H1	8,575118	42,157068	19,8
H2	8,573466	42,156699	13,6
H3	8,576597	42,15791	22,4
H4	8,574776	42,157719	23

Stations sédiments	Longitude	Latitude	Profondeur (m)
S1	8,575118	42,157068	19,8
S2	8,574539	42,156982	17,8
S3	8,573466	42,156699	13,6
S4	8,575711	42,157369	21,1
S5	8,576597	42,15791	22,4
S6	8,574776	42,157719	23
S7	8,576596	42,154984	1,2



E04-21 Etude du milieu marin dans le cadre du suivi de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Cargèse





1. Analyse de la qualité et caractérisation des sédiments

1.1. Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométrique de la fraction inférieure à 2 mm sont présentés sous forme de tableaux et interprétés grâce aux principaux indices sédimentologiques décrits ci-après (Fig. 17 à 24 ; Tab. 1 à 6).

Médiane :

La médiane représente la valeur granulométrique pour laquelle 50% du poids total de l'échantillon y est supérieur et 50% y est inférieur (Tab. 1).

Tableau 1 : Classification du sédiment en fonction de la valeur de la médiane (Wentworth, 1922)

Valeur de la médiane	Qualification
<63µm	Vase
63µm-125µm	Sables très fins
125µm-250µm	Sables fins
250µm-500µm	Sables moyens
500µm-1mm	Sables grossiers
1mm-2mm	Sables très grossiers
2mm-64mm	Graviers
>64mm	Galets

Classification d'Ibouily (1981) :

Le taux (en %) de la fraction fine inférieure à 63 µm détermine le type de sédiments présents (Tab. 2).

Tableau 2 : Classification du sédiment en fonction du taux de fraction fine < 63 µm (Ibouily, 1981)

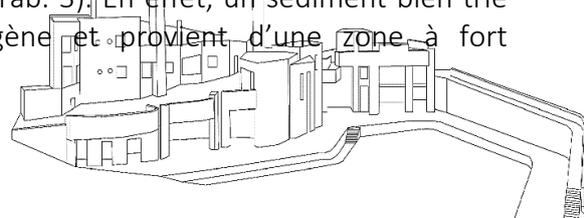
Fraction fine	Type de sédiments
< 10 %	Sables purs
10 à 20 %	Sables peu envasés
20 à 40 %	Sables moyennement envasés
40 à 60 %	Sédiments très envasés à dominance de sables
60 à 80 %	Sédiments très envasés à dominance de vases
80 à 100 %	Vases pures

Les indices d'asymétrie et de distribution des grains de sédiments suivants ont été géométriquement calculés selon la méthode la plus robuste dans le cadre d'analyses de la composition d'échantillons, la méthode Folk and Ward.

Indice de Trask (So) :

A partir des courbes semi-logarithmiques cumulatives, le quartile 1 (Q1), qui représente la valeur granulométrique de l'échantillon à 25% du poids total, la médiane (Md), et le quartile 3 (Q3), qui représente la valeur granulométrique à 75% du poids total, peuvent être calculés.

Ainsi, l'indice So (Sorting-index Trask) permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment (Tab. 3). En effet, un sédiment bien trié est homogène et provient d'une zone à fort



courant alors qu'un sédiment faiblement trié est hétérogène et provient d'une zone à faible courant (Tab. 3).

Tableau 3 : Classification du sédiment selon l'indice de Trask

Indice de Trask	Qualification
<1,27	Très bien trié
1,27-1,41	Bien trié
1,41-1,63	Assez bien trié
1,63-2,00	Moyennement trié
2,00-4,00	Mal trié
4,00-16,00	Très mal trié
>16,00	Extrêmement mal trié

Indice de Skewness (Sk) :

Cet indice d'asymétrie donne des indications sur la forme de la courbe de distribution des tailles de grains (Tab. 4).

Tableau 4 : Classification du sédiment selon l'indice de Skewness (Blott et Pye, 2001)

Indice de Skewness	Interprétation
-1,0 à -0,3	Asymétrie du côté très fin
-0,3 à -0,1	Asymétrie du côté fin
-0,1 à 0,1	Symétrique
0,1 à 0,3	Asymétrie du côté grossier
0,3 à 1	Asymétrie du côté très grossier

Indice de Kurtosis (K) :

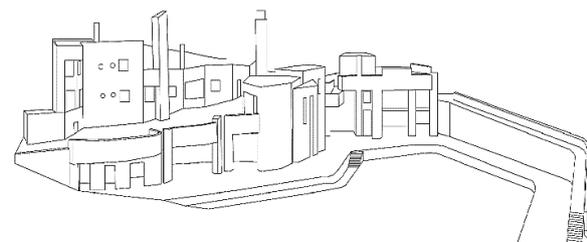
L'indice de Kurtosis permet d'apprécier l'homogénéité ou l'hétérogénéité des sédiments (Tab. 5). Une courbe platicurtique signifie que les sédiments sont répartis de manière homogène d'une classe de taille de grain à une autre alors qu'un courbe leptocurtique signifie que la proportion de grain est nettement plus importante pour une classe de taille de grain donnée.

Tableau 5 : Classification du sédiment en fonction de la valeur de Kurtosis

Indice de kurtosis	Interprétation
<0,67	Très platicurtique
0,67-0,90	Platicurtique
0,90-1,11	Mésocurtique
1,11-1,50	Leptocurtique
>1,50	Très Leptocurtique

Tableau 6 : Synthèse des résultats issus des analyses granulométriques des sédiments prélevés au niveau des 7 stations au niveau et autour de l'émissaire de la STEP de Cargèse le 31 août et le 1^{er} septembre 2021

Granulométrie	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Médiane (Md)	981 µm	792 µm	1060 µm	1520 µm	905 µm	1130 µm	548 µm
	Sables grossiers	Sables grossiers	Sables très grossiers	Sables très grossiers	Sables grossiers	Sables très grossiers	Sables grossiers
% Fractions							
<63µm (Licari, 1998)	7,54	6,20	2,05	0	3,15	13,45	1,30
	Sed. de sables purs	Sed. de sables purs	Sed. de sables purs	Sed. de sables purs	Sed. de sables purs	Sables peu envasés	Sed. de sables purs
<2mm	87,82	92,88	87,82	73,78	91,59	81,98	100
>2mm	12,18	7,12	12,18	26,22	8,41	18,02	0
Indices							
Indice de Trask (So)	3,078	2,791	1,734	1,493	2,107	4,814	1,537
	Mal trié	Mal trié	Moyennement trié	Assez bien trié	Mal trié	Très mal trié	Assez bien trié
Indice de Skewness (Sk)	-0,443	-0,368	-0,035	-0,011	-0,204	-0,640	-0,019
	Asymétrie du côté très fin	Asymétrie du côté très fin	Symétrique	Symétrique	Asymétrie du côté fin	Asymétrie du côté très fin	Symétrique
Indice de Kurtosis (K)	1,843	1,551	1,020	0,917	1,481	1,226	0,968
	Très leptocurtique	Très leptocurtique	Mesocurtique	Mesocurtique	Leptocurtique	Leptocurtique	Mesocurtique



Station 1

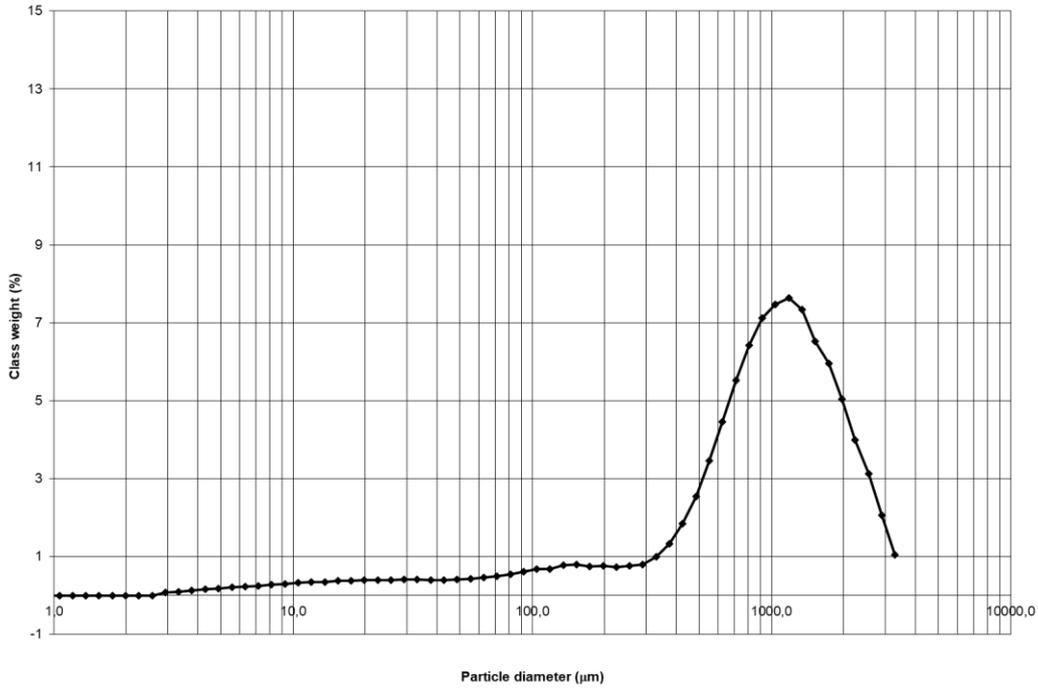


Figure 17 : Représentation de la granulométrie du sédiment prélevé au niveau de la station S1 au niveau du point de rejet théorique de l'émissaire sous forme d'une courbe semi-logarithmique.

Les sédiments prélevés au niveau de la station 1 correspondent à des sables grossiers ($Md = 981 \mu m$) (Fig. 17 ; Tab. 6). Sur la totalité de l'échantillon, 87,82% des grains mesurent moins de 2 mm et 12,18% mesurent plus de 2 mm.

Le calcul d'indices indique qu'il s'agit de sédiments mal triés ($So = 3,078$) synonyme d'une zone de faible hydrodynamisme avec une asymétrie des proportions des tailles de grains du côté très fin ($Sk = -0,443$ et $K = 1,843$).

18

Station 2

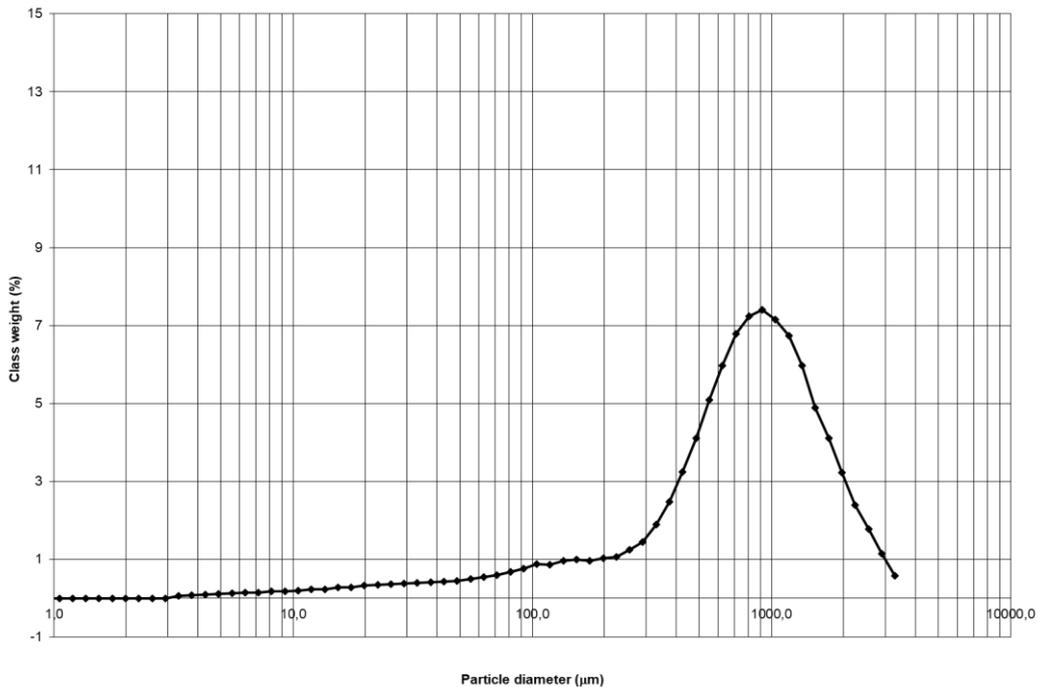


Figure 18 : Représentation de la granulométrie du sédiment prélevé au niveau de la station S2 à 50 m à l'ouest du rejet théorique de l'émissaire sous forme d'une courbe semi-logarithmique.

Les sédiments prélevés au niveau de la station 2 correspondent à des sables grossiers ($Md = 792 \mu m$) (Fig. 18 ; Tab. 6). Sur la totalité de l'échantillon, 92,88% des grains mesurent moins de 2 mm et 7,12% mesurent plus de 2 mm.

Le calcul d'indices indique qu'il s'agit de sédiments mal triés ($So = 2,791$) synonyme d'une zone de faible hydrodynamisme avec une asymétrie des proportions des tailles de grains du côté très fin ($Sk = -0,368$ et $K = 1,551$).



Station 3

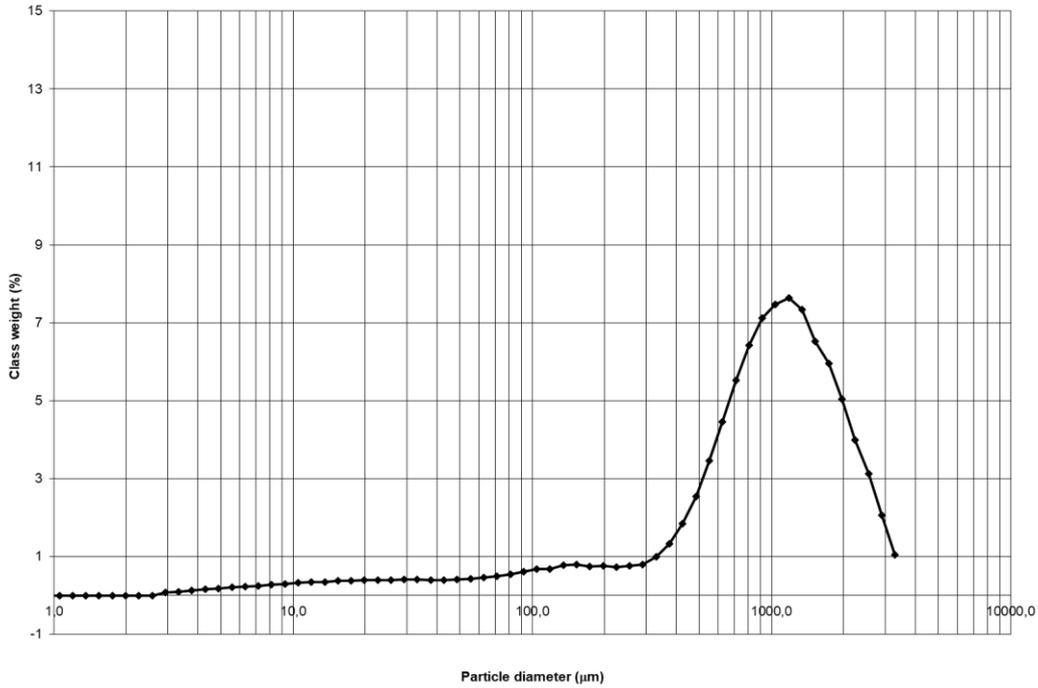


Figure 19 : Représentation de la granulométrie du sédiment prélevé au niveau de la station S3 à 100 m à l'ouest du point de rejet théorique de l'émissaire sous forme d'une courbe semi-logarithmique.

Les sédiments prélevés au niveau de la station 3 correspondent à des sables très grossiers ($Md = 1060 \mu m$) (Fig. 19 ; Tab. 6). Sur la totalité de l'échantillon, 87,82% des grains mesurent moins de 2 mm et 12,18% mesurent plus de 2 mm.

Le calcul d'indices indique qu'il s'agit de sédiments moyennement triés ($So = 1,734$) synonyme d'une zone d'hydrodynamisme moyen avec une symétrie des proportions des tailles de grains ($Sk = -0,035$ et $K = 1,020$).

Station 4

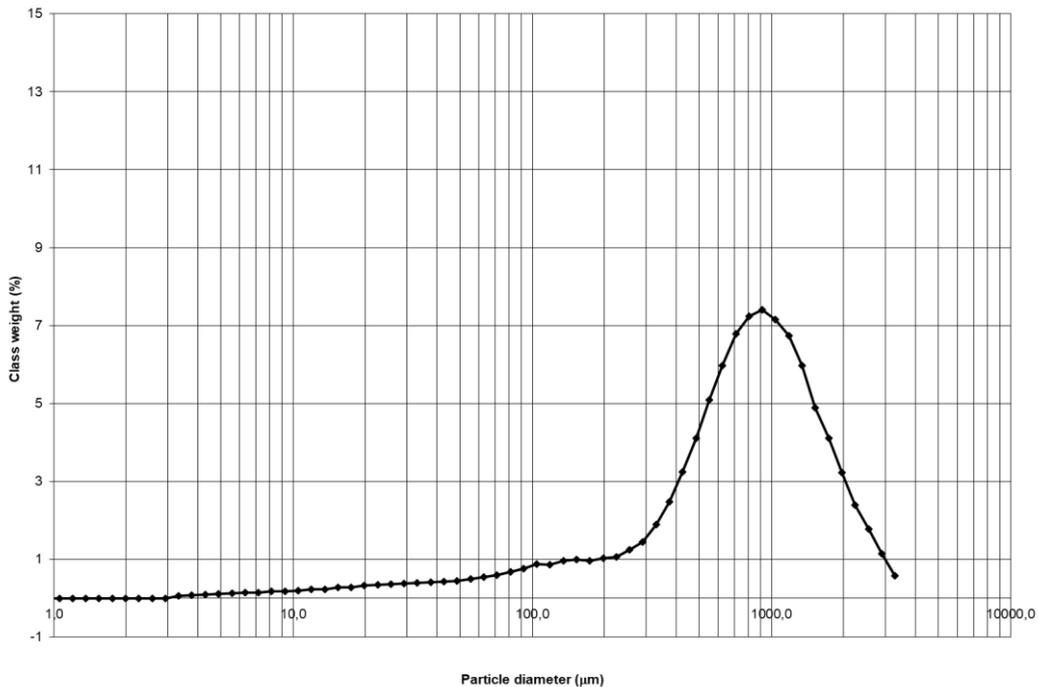


Figure 20 : Représentation de la granulométrie du sédiment prélevé au niveau de la station S4 à 50 m à l'est du point de rejet théorique de l'émissaire sous forme d'une courbe semi-logarithmique.

Les sédiments prélevés au niveau de la station 4 correspondent à des sables très grossiers ($Md = 1520 \mu m$) (Fig. 20 ; Tab. 6). Sur la totalité de l'échantillon, 73,78% des grains mesurent moins de 2 mm et 26,22% mesurent plus de 2 mm.

Le calcul d'indices indique qu'il s'agit de sédiments assez bien triés ($So = 1,493$) synonyme d'une zone d'hydrodynamisme moyen à élevé avec une symétrie des proportions des tailles de grains ($Sk = -0,011$ et $K = 0,917$).



Station 5

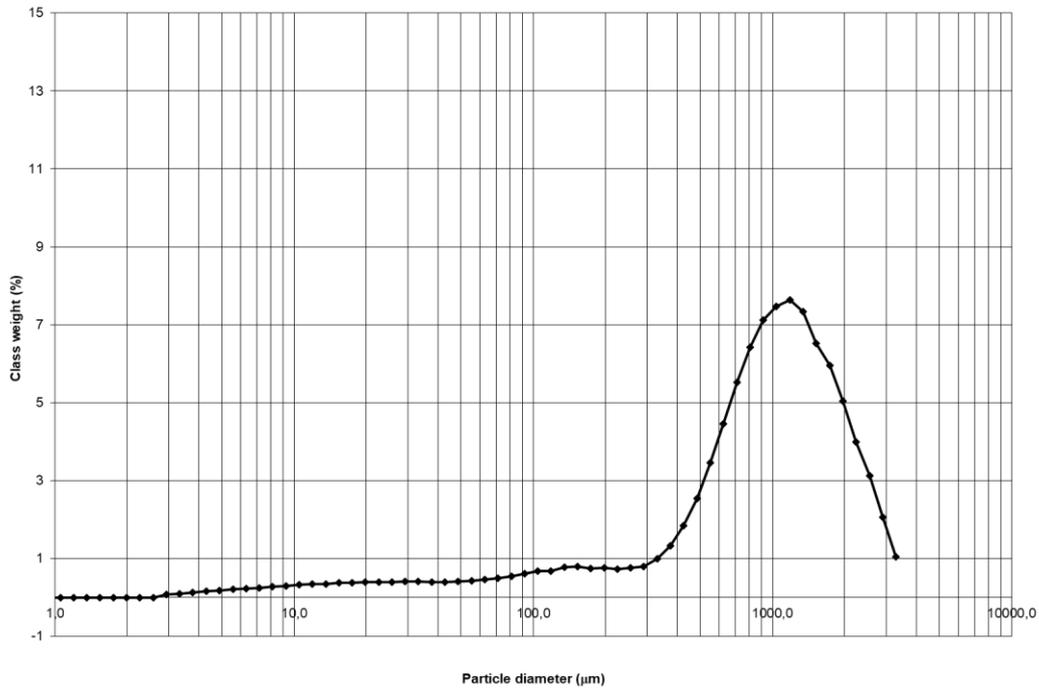


Figure 21 : Représentation de la granulométrie du sédiment prélevé au niveau de la station S5 à 100 m à l'est du point de rejet théorique de l'émissaire sous forme d'une courbe semi-logarithmique.

Les sédiments prélevés au niveau de la station 5 correspondent à des sables grossiers ($Md = 905 \mu m$) (Fig. 21 ; Tab. 6). Sur la totalité de l'échantillon, 91,59% des grains mesurent moins de 2 mm et 8,41% mesurent plus de 2 mm.

Le calcul d'indices indique qu'il s'agit de sédiments mal triés ($So = 2,107$) synonyme d'une zone de faible hydrodynamisme avec une asymétrie des proportions des tailles de grains du côté fin ($Sk = -0,204$ et $K = 1,481$).

20

Station 6

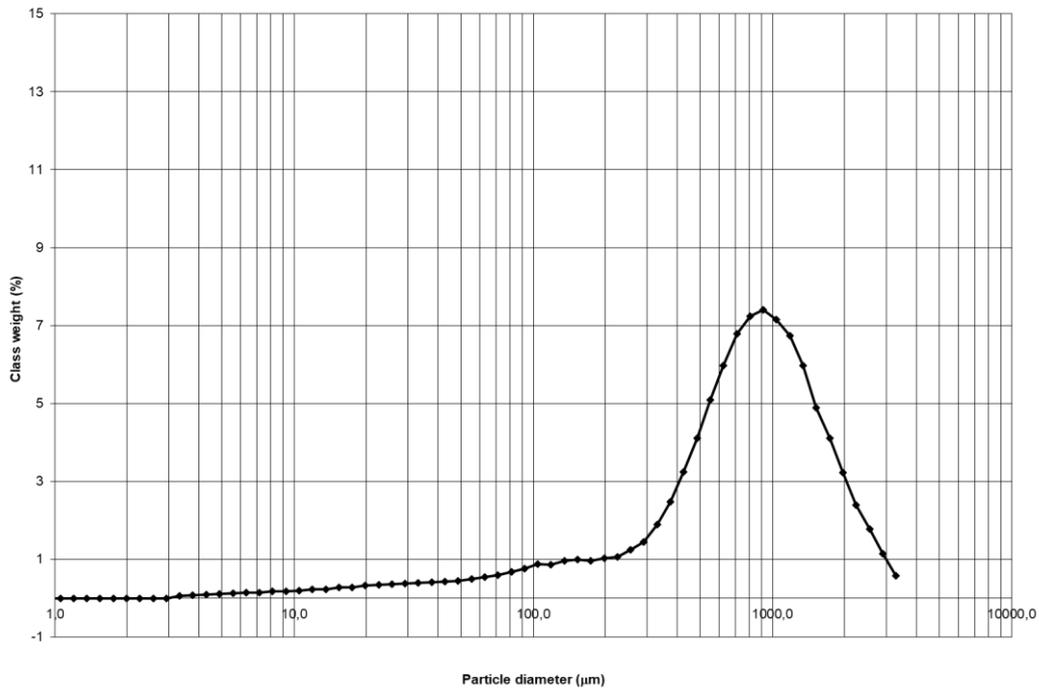


Figure 22 : Représentation de la granulométrie du sédiment prélevé au niveau de la station S2 à 50 m à l'ouest du rejet théorique de l'émissaire sous forme d'une courbe semi-logarithmique.

Les sédiments prélevés au niveau de la station 6 correspondent à des sables très grossiers ($Md = 1130 \mu m$) (Fig. 22 ; Tab. 6). Sur la totalité de l'échantillon, 81,98% des grains mesurent moins de 2 mm et 18,02% mesurent plus de 2 mm.

Le calcul d'indices indique qu'il s'agit de sédiments très mal triés ($So = 4,814$) synonyme d'une zone de très faible hydrodynamisme avec une asymétrie des proportions des tailles de grains du côté très fin ($Sk = -0,640$ et $K = 1,226$).



Station 7

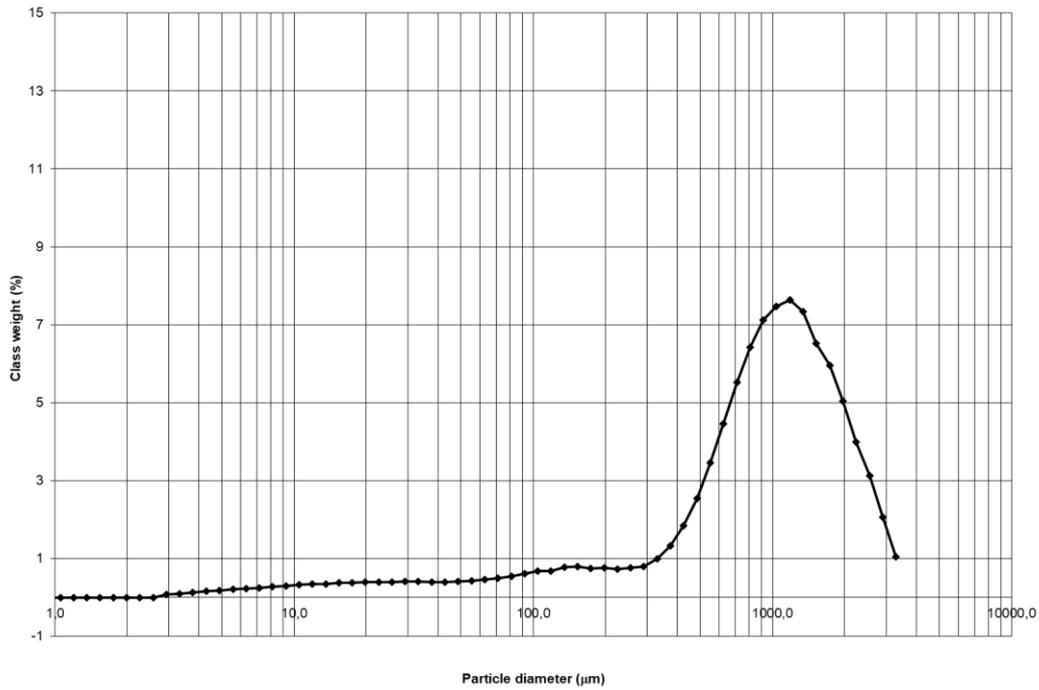
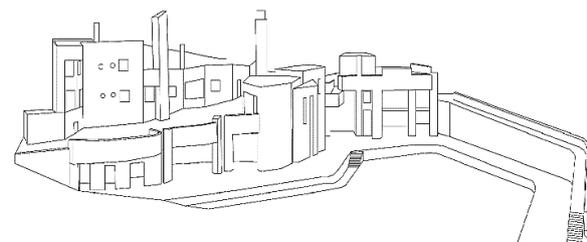


Figure 23 : Représentation de la granulométrie du sédiment prélevé au niveau de la station S7 au niveau du point de rejet anormalement actuel de l'émissaire sous forme d'une courbe semi-logarithmique.

Les sédiments prélevés au niveau de la station 7 correspondent à des sables grossiers ($M_d = 548 \mu\text{m}$) (Fig. 23 ; Tab. 6). L'intégralité des grains de l'échantillon mesurent moins de 2 mm.

Le calcul d'indices indique qu'il s'agit de sédiments assez bien triés ($S_o = 1,537$) synonyme d'une zone d'hydrodynamisme moyen à élevé avec une symétrie des proportions des tailles de grains ($S_k = -0,019$ et $K = 0,968$).



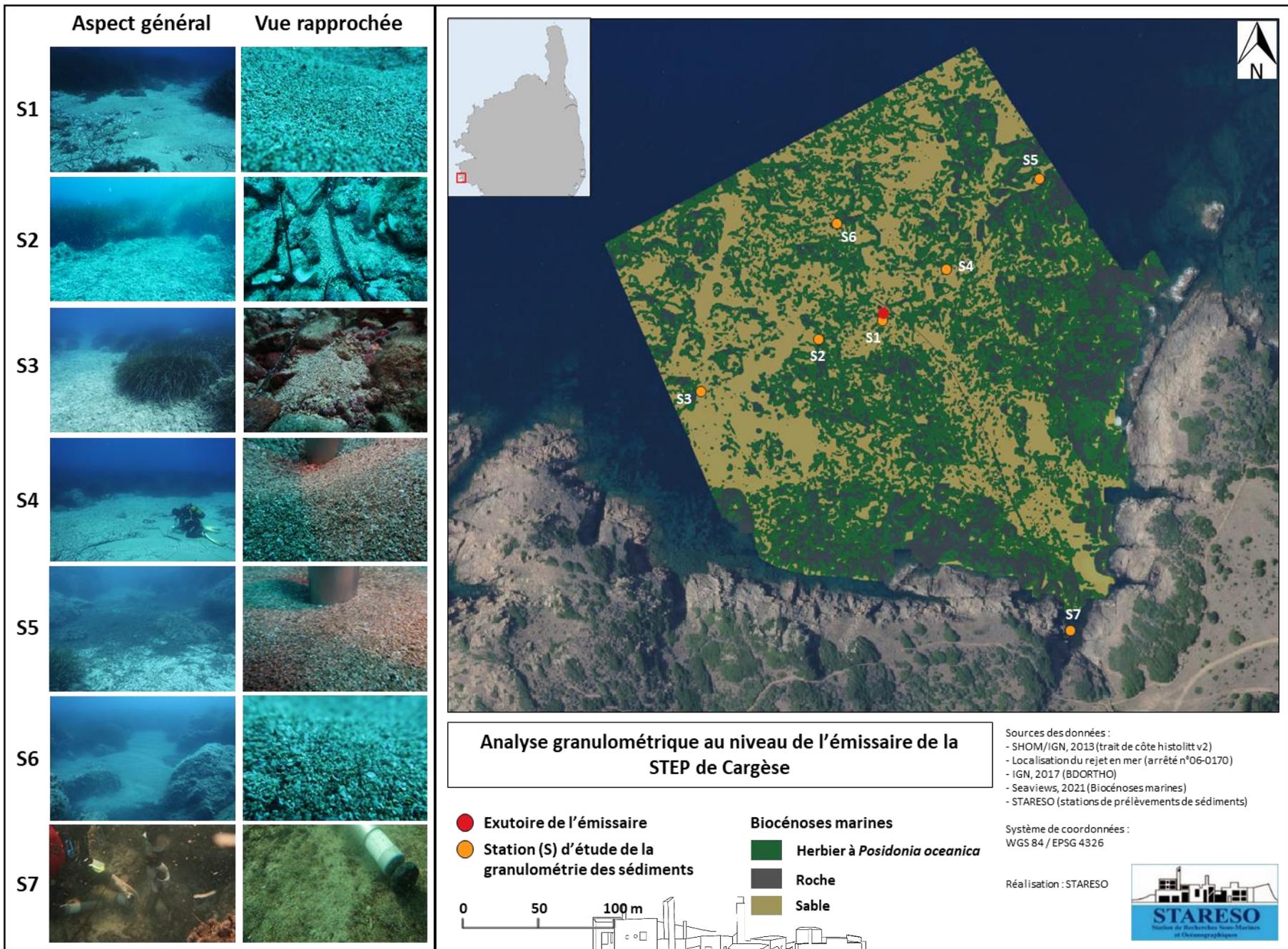


Figure 24 : Carte illustrant les résultats de l'analyse granulométrique réalisée à partir des sédiments prélevés au niveau des 7 points au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse



1.2. Physico-chimie

Les résultats sont repris dans les tableaux 7 et 8 ci-après et interprétés au regard des **seuils réglementaires N1 et N2** en termes de risques et de contaminations (**arrêtés interministériels du 30 juin 2020** modifiant l'**arrêtés interministériels du 9 août 2006, du 23 décembre 2009, du 8 et 28 février 2013** et du **17 juillet 2014**).

1.2.1. Éléments azotés, phosphorés et carbonatés :

Les valeurs seuils de Carbone Organique Total (COT), de Matière Organique (MO), d'Azote organique total (NT) et de Phosphore total (P) sont issues du document « Système d'Aide à l'interprétation des données benthiques en milieu marin et lagunaire » rédigé par M.L. Licari en 1998 pour le compte de la région PACA et de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (Tab. 7). Ces valeurs traduisent le degré d'enrichissement en éléments azotés, phosphorés ou carbonatés des sédiments considérés. Le tableau 8 ci-dessous concernent des échantillons dont le taux de pélites (<63 µm) représentent moins de 1,86% du poids total (Licari, 1998).

Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau 8 et la figure 25 ci-dessous.

Phosphore total (P) :

Le phosphore est un des éléments les plus répandu dans la nature (le 11^{ème} élément le plus abondant de la croûte terrestre, 0,12%). Le ruissellement, le lessivage des sols et l'érosion, notamment lors d'épisodes de crues, représentent les principaux modes de transfert du phosphore vers le milieu marin. Un excès d'éléments phosphorés peut entraîner un développement excessif des producteurs primaires et ainsi un phénomène d'eutrophisation du milieu.

Ici, les teneurs en phosphore totale sont relativement homogènes avec des valeurs moyennes pour les stations 4 (0,85 g(P)/kg), 6 (0,72 g(P)/kg) et 7 (0,6 g(P)/kg), et des valeurs faibles (<0,553 g(P)/kg) pour les autres stations. (Tab. 8 et Fig. 25).

Matière Organique (MO) :

Le pourcentage de matière organique est très élevé (<61,40% MS) pour les 7 stations de prélèvements (Tab. 8 et Fig. 25). Les sédiments locaux présentent donc un fort taux d'enrichissement en matière organique certainement lié à la présence de l'émissaire de la STEP.

Carbone Organique Total (COT) :

Le COT présent dans les sédiments provient de la décomposition de matière organique naturelle (acides, urée...) et synthétique (détergents, pesticides, fertilisants, herbicides, industrie chimique...).

Ici, les résultats attestent de sédiments :

- faiblement enrichis au niveau des stations 4 (1 g(C)/kg), 6 (2 g(C)/kg) et 7 (3 g(C)/kg) ;
- moyennement enrichis pour les stations 1 (6 g(C)/kg) et 3 (7 g(C)/kg) ;
- fortement enrichis pour la station 5 (8 g(C)/kg) ;
- et très fortement enrichis pour la station 2 (17 g(C)/kg) (Tab. 8 et Fig. 25).

Azote total (NT) :

L'azote total est la somme de l'azote ammoniacale et de l'azote organique et provient généralement de la dégradation bactérienne des composés organiques, de l'industrie alimentaire, des procédés de nettoyages industriels et de l'épandage d'engrais.

Ici, l'enrichissement des sédiments en azote organique est relativement homogène et inférieur au seuil minimal (< 0,04% MS ou < 0,4 g(N)/kg MS) pour les stations 4, 6 et 7. Des teneurs moyennes (0,04% – 0,09% MS ou 0,4 – 0,9 g(N)/kg MS) ont néanmoins été mesurées au niveau des stations 1, 2, 3 et 5 (Tab. 8 et Fig. 25).

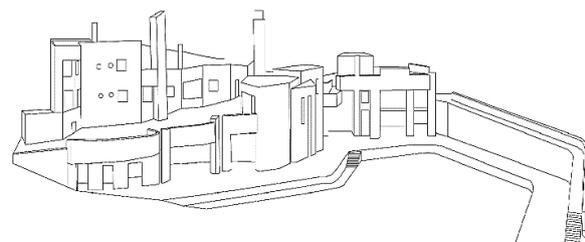


Tableau 7 : Valeurs de référence pour l'azote total, de matière organique, de carbone organique et de phosphore total mesurés dans les sédiments marins. Données M.L. Licari, 1998

Références	Teneur faible	Teneur moyenne	Teneur forte	Teneur très forte
Azote total (NT) (% MS)	<0,04	0,04 - 0,09	0,09 - 0,18	> 0,18
Matières organiques (MO) (% MS)	<2,84	2,48 - 6,95	6,95 - 12,08	> 12,08
Carbone organique total (COT) (% MS)	< 0,44	0,44 - 0,75	0,75 - 1,52	> 1,52
Phosphore total (P) (g(P)/kg)	< 0,553	0,553 - 1,417	1,417 - 2,085	> 2,085

Tableau 8 : Résultats des analyses d'azote total, de matière organique, de carbone organique et de phosphore total mesurés dans les sédiments marins prélevés au niveau des 7 stations au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse

Résultats	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Azote total (NT) (g/kg MS)	<0,44	<0,49	<0,43	<0,37	<0,46	<0,34	<0,4
Matières organiques (MO) (% MS)	68,50	61,40	70,00	82,10	65,00	89,20	75,40
Carbone organique total (COT) (g(C)/kg)	6,00	17,00	7,00	1,00	8,00	2,00	3,00
Phosphore total (P) (g(P)/kg)	0,31	0,29	0,30	0,85	0,35	0,72	0,60

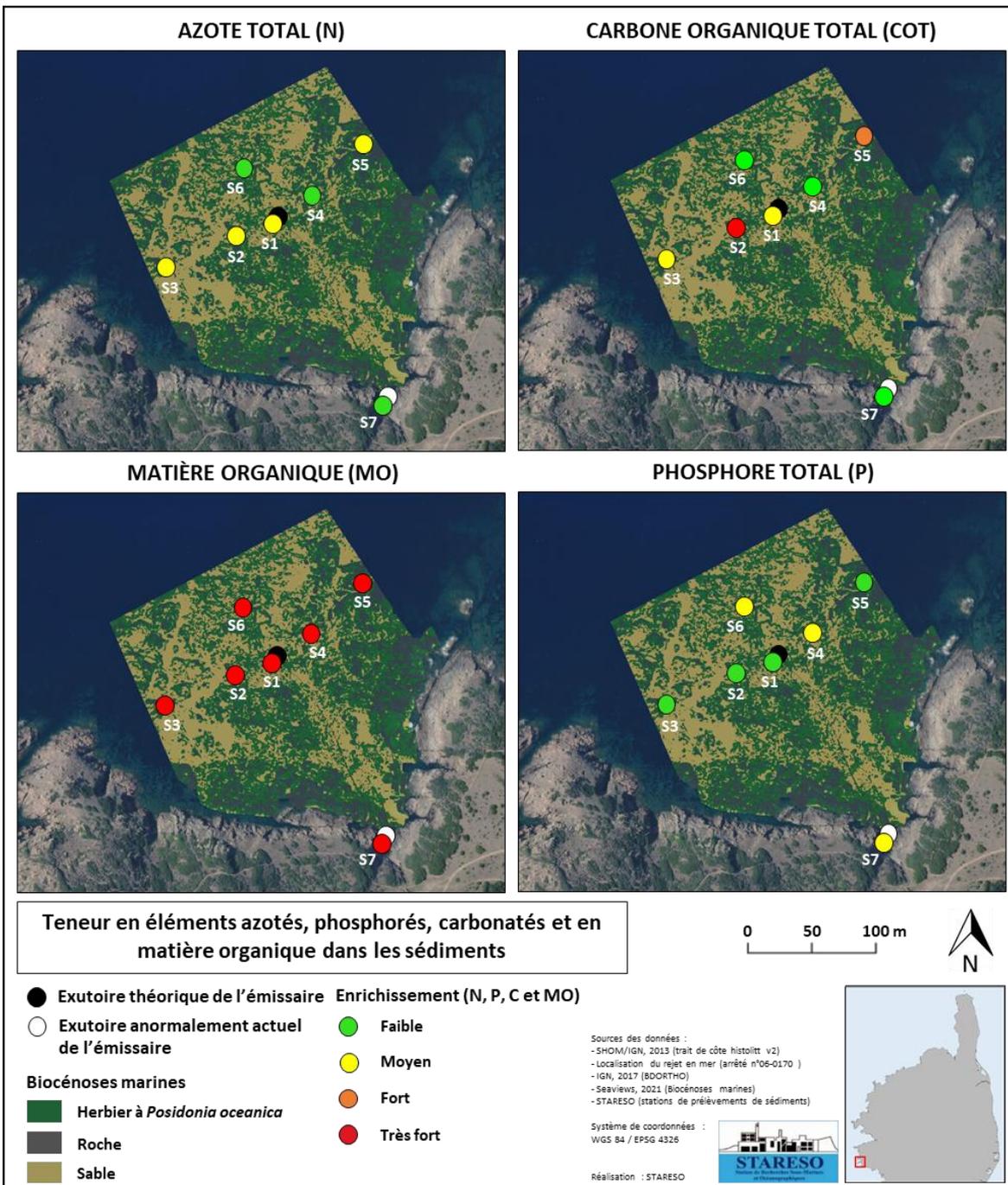
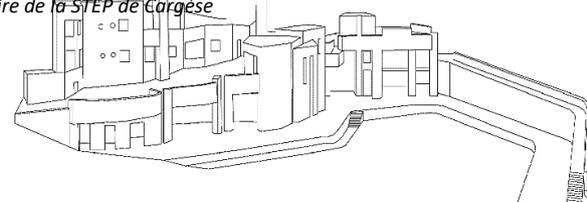


Figure 25 : Carte illustrant les résultats des analyses d'azote total, de matière organique, de carbone organique et de phosphore total mesurés dans les sédiments prélevés au niveau des 7 stations au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse



1.2.2. Éléments traces et contaminants:

L'ensemble des polluants pouvant se retrouver dans le milieu marin, notamment dans l'eau et les sédiments, sont de natures (éléments traces, hydrocarbures, PCB, organo-stanniques), proviennent de sources et ont des impacts différents sur l'environnement (Fig. 26).

Éléments traces (métaux lourds) :

Libérés par les activités humaines au niveau des bassins versant, les métaux lourds peuvent être d'origine industrielle (fonderies, peintures...) agricole (engrais, biocides, lisiers...) ou domestique (peintures, piles...). Généralement observés à l'état de trace du fait de leur solubilité, les métaux lourds se fixent sur les matières en suspension et sont piégés dans les sédiments.

Les résultats d'analyse sont interprétés en fonction des seuils N1 et N2 fixé par l'arrêté du 30 juin 2020. **Ici, l'ensemble des teneurs en métaux lourds sont toutes inférieures au seuil N1 pour l'ensemble des stations d'échantillonnage** (Tab. 9 et Fig. 27).

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) :

Les HAP présents dans l'environnement résultent de la biosynthèse par les organismes vivants mais également des activités industrielles (usines de production d'aluminium, raffineries de pétroles) et des rejets urbains.

Les résultats d'analyse sont interprétés en fonction des seuils N1 et N2 fixé par l'arrêté du 8 février 2013 complétant celui du 9 août 2006.

Ici, aucune valeur des 19 HAP n'excède le seuil minimal N1 de l'arrêté du 8 février 2013. Il n'existe donc aucune pollution en hydrocarbures polyaromatiques au niveau des 7 stations de prélèvement (Tab. 9 et Fig. 27).

Polychlorobiphényles (PCB) :

Les remplissages et retraitements des systèmes clos, les rejets urbains, les décharges de matériels usagés sont des sources potentielles d'apport de PCB dans l'environnement. S'agissant d'éléments dotés d'une forte toxicité, d'une forte

persistance et d'un caractère bio-accumulable, les PCB font partis des contaminants prioritaires (POPs) sur la liste dressée par la Directive Cadre 2000/60/CE. Leur utilisation est donc strictement réglementée.

Ici, il n'y a pas d'enrichissement mesurable des sédiments en PCB(s) au niveau des 7 points de prélèvement. Les valeurs restent nettement inférieures au seuil N1 fixé par l'arrêté du 17 juillet 2014 (Tab. 9 et Fig. 27).

Organo-stanniques (TBT, DBT, MBT) :

Présents sur la liste noire de la Communauté Européenne, les organo-étains sont d'origine exclusivement anthropique. Ils sont notamment utilisés dans les stabilisateurs pour le PVC, les peintures marines, les silicones, le revêtement du verre.

Ici, les concentrations en TBT sont inférieures au Niveau 1 fixé par l'arrêté interministériel du 17 juillet 2014 (Tab. 9 et Fig. 27).

1.3. Conclusion

Hormis un fort enrichissement en matière organique pour toutes les stations d'échantillonnage, de fortes teneurs en Carbone Organique Total (COT) au niveau des stations 2 et 5, et des teneurs moyennes en Azote et en Phosphore au niveau de certaines stations, aucun autre enrichissement ou concentration supérieure aux seuils réglementaires en vigueur n'a été détecté au niveau des autres stations.

Ce fort enrichissement en MO peut néanmoins être lié aux dysfonctionnements de l'émissaire de la STEP entraînant des rejets anormaux et excédentaires au sein du golfe de Chiuni. De plus, à l'image des résultats issus de l'analyse granulométrique attestant d'une zone à faible hydrodynamisme, la dilution et la dispersion de ces rejets dans le milieu naturel pourraient être limitées.

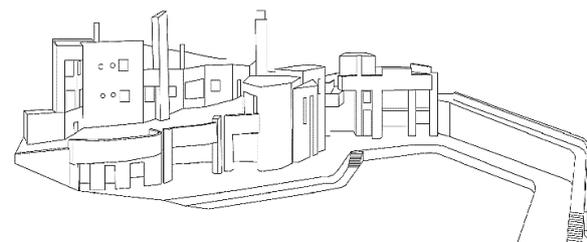
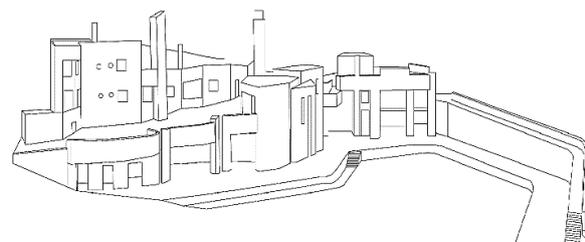


Tableau 9 : Résultats des analyses de métaux lourds, d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, de Polychlorobiphényles et d'Organo-étains mesurés dans les sédiments prélevés au niveau des 7 stations au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse

Eléments analysés	Stations de prélèvements 31/08/21 et 01/09/21							Référence		Réglementation
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	N1	N2	
Paramètres organiques, azotés et phosphorés										
Matières minérales (%)	97,40%	96,50%	68,30%	99,30%	97,60%	99,10%	98,30%			Arrêté interministériel du 30 juin 2020 modifiant l'Arrêté du 9 août 2006
Matières sèches (%)	68,45%	61,42%	70,00%	82,06%	65,02%	89,24%	75,40%			
Eléments traces (métaux lourds en mg/kg MS)										
Aluminium	3050,0	2155,0	3126,0	10213,0	3956,0	8171,0	8771,0			Arrêté interministériel du 30 juin 2020 modifiant l'Arrêté du 9 août 2006
Arsenic	5,9	3,9	5,3	14,0	4,1	15,0	3,9	25	50	
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,2	2,4	
Chrome	10,9	8,5	10,3	37,6	13,8	23,2	20,5	90	180	
Cuivre	2,6	2,5	1,6	5,0	2,1	4,1	9,1	45	90	
Fer	3430,0	2144,0	3415,0	12406,0	3972,0	8429,0	11206,0			
Mercure	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,4	0,8	
Nickel	3,4	2,8	3,0	15,1	4,2	10,5	8,5	37	74	
Plomb	10,0	7,5	9,0	11,4	7,2	10,3	9,1	100	200	
Zinc	8,2	6,6	8,4	31,6	9,5	21,7	24,6	276	552	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs, µg/kg MS)										
Acénaphène	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	15	260	Arrêté du 8 février 2013
Acénaphthylène	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	40	340	
Anthracène	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	85	590	
Benzo (a) anthracène	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	260	930	
Benzo (3,4)(a) pyrène	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	430	1015	
Benzo (3,4)(b) fluoranthène	1,2	1,1	<1	<1	<1	<1	<1	400	900	
Benzo (11,12)(k) fluoranthène	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	200	400	
Benzo (1,12)(ghi) pérylène	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1700	5650	
Biphényle	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1			
Chrysène	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	380	1590	
Dibenzo (ah) anthracène	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	60	160	
Fluoranthène	1,5	1,6	1	1,2	<1	4,9	<1	600	2850	
Fluorène	<2	<2	<2	<2	<1	<2	<2	20	280	
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	1700	5650	
Méthyl (2) Fluoranthène	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2			
Méthyl (2) Naphtalène	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2			
Naphtalène	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	160	1130	
Phénanthrène	2	1,9	1,4	1,9	1,4	5,5	1,3	240	870	
Pyrène	1,2	1,4	<1	1,2	<1	13	<1	500	1500	
Polychlorobiphényles (PCB, µg/kg MS)										
PCB 28	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	10	Arrêté du 17 juillet 2014
PCB 52	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	10	
PCB 101	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	20	
PCB 118	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	10	20	
PCB 138	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	20	40	
PCB 153	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	20	40	
PCB 180	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	20	
PCB 194	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1			
Organo-étains (µg/kg MS)										
Dibutylétain cation (DBT)	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30			Arrêté du 17 juillet 2014
Monobutylétain cation (MBT)	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30			
Tributylétain cation (TBT)	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	100	400	



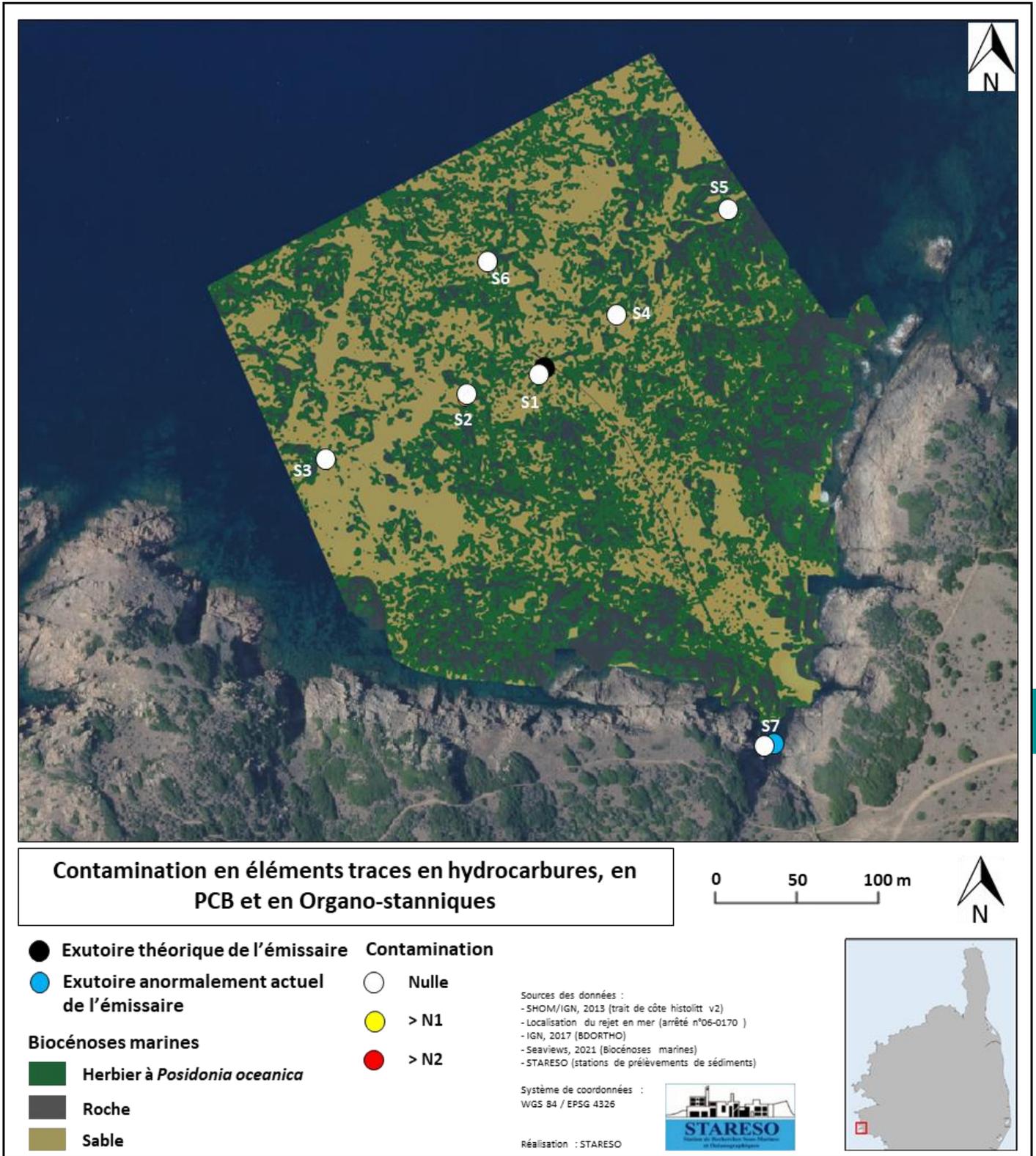
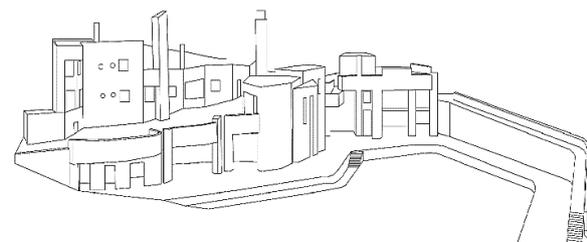


Figure 27 : Carte illustrant les résultats des analyses en éléments traces et contaminants mesurés dans les sédiments prélevés au niveau des 7 stations au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse



E04-21 Etude du milieu marin dans le cadre du suivi de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Cargèse



2. Analyse de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie

2.1. Description générale de la Posidonie

L'une des espèces la plus emblématique, sensible et vulnérable de Méditerranée et dont le développement est soumis aux conditions environnementales et aux pressions anthropiques est la Posidonie (*Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813)).

Posidonia oceanica est une phanérogame marine endémique de la Méditerranée. Il s'agit d'une plante à fleur (magnoliophyte) composée d'un faisceau de 4 à 8 feuilles d'environ 1 cm de large +/- 0,2 cm (Bay, 1984) et longues de 20 à 80 cm en moyenne. Il arrive néanmoins que certaines feuilles dépassent le mètre. Ces faisceaux se développent à partir de rhizomes (tiges) rampants ou dressés munis de racines (Boudouresque & Meneisz, 1982 ; Cinelli *et al.*, 1995 ; Gobert *et al.*, 2003) (Fig. 28).

28

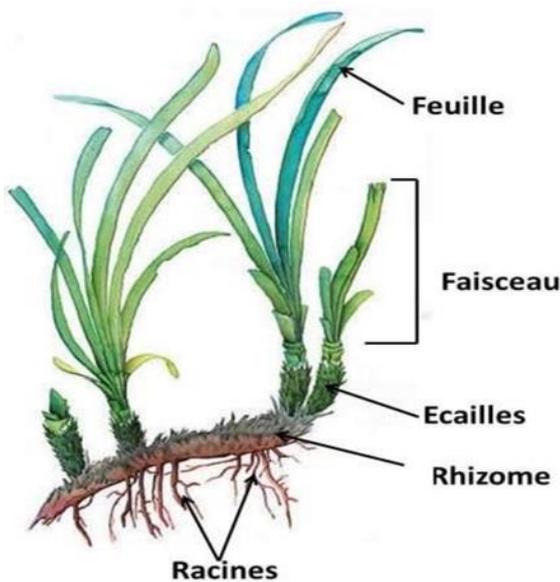


Figure 28 : Représentation schématique d'un herbier de Posidonie et de sa matte. Gobert, S., & Abadie, A. (2018). La plante de la mer du milieu-La posidonie.

Les rhizomes rampants (ou plagiotropes) à croissance horizontale permettent à l'herbier de s'ancrer et d'étendre sa surface. Les rhizomes dressés (ou orthotropes) à croissance verticale permettent d'éviter l'enfouissement.

L'espèce *P. oceanica* forme un écosystème marin emblématique de la mer Méditerranée, l'herbier de Posidonie (Fig. 29). Cet écosystème présent sous la forme de vastes prairies sous-marines recouvre entre 25 000 et 50 000 km² des fonds méditerranéens, soit 30% des fonds entre 0 et 50 m de profondeur (Rico-Raimondino, 1995 ; Pasqualini, 1997), et se développe entre 0 et plus de 40 m de profondeur selon la luminosité et la turbidité des eaux (Den Hartog, 1970).

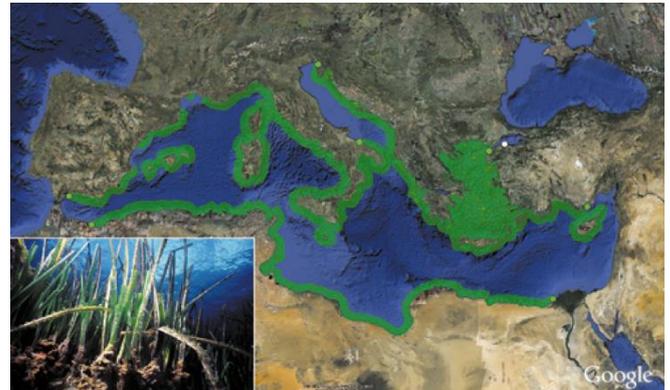


Figure 29 : Carte de la répartition des herbiers et des banquettes de Posidonie (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) le long de la côte méditerranéenne (IUCN)

L'herbier de Posidonie rend de multiples services écosystémiques et joue ainsi des rôles écologiques, économiques, sédimentaires, et de bioindicateur (Hemminga & Duarte, 2000 ; Gobert *et al.*, 2009 ; Pergent *et al.*, 2012 ; Vassallo *et al.*, 2013) (Fig. 30).

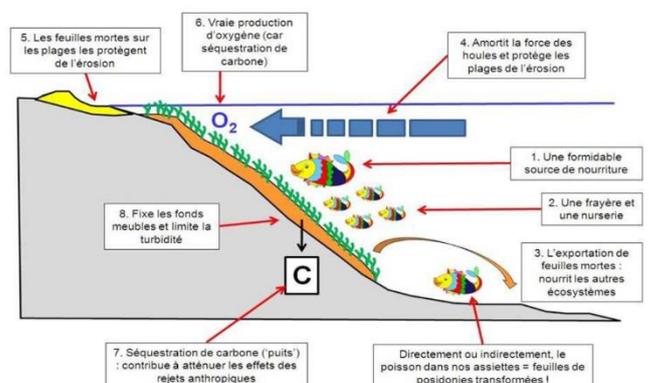
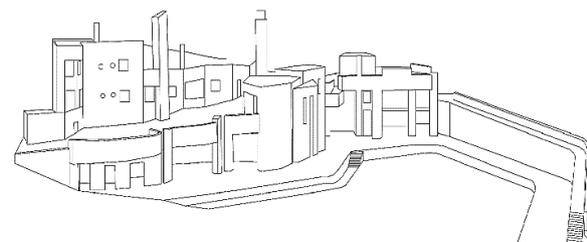


Figure 30 : Rôles écologiques de l'herbier à *P. oceanica* dans le fonctionnement des systèmes littoraux en Méditerranée (GIS Posidonie, 2009 ; modifié d'après la figure originale de Charles F. Boudouresque).



Toute l'année, de nouvelles feuilles de Posidonie (qui sont groupées) se forment. Les jeunes feuilles apparaissent au centre du faisceau repoussant les plus âgées vers l'extérieur de celui-ci. Elles poursuivent leur croissance pendant environ 5 à 15 mois (Boudouresque *et al.*, 2006). La taille et le nombre de feuilles par faisceau varient selon la saison, avec un décalage temporel d'apparition et de croissance des feuilles selon la profondeur (Bay 1984 ; Novak, 1984 ; Romero 1989 ; Pergent & Pergent –Martini, 1991 ; Gobert *et al.* 2002 ; Elkalay *et al.*, 2003). Le nombre de feuilles est maximal en hiver et minimal en été alors que la longueur des feuilles est maximale en été et minimale en hiver (Gobert *et al.* 2002).

Durant sa phase de vie, la Posidonie agit comme un producteur d'oxygène (un m² d'herbier à 10 m de profondeur produit en moyenne 14 L d'O₂/j) (Bay, 1978).

L'herbier représente un habitat, un abri, une zone de frayère et de nurserie pour de nombreuses espèces de poissons, mollusques et autres espèces à intérêt commercial (Chessa *et al.*, 1995 ; Duarte, 2002 ; Procaccini *et al.*, 2003 ; Lavery *et al.*, 2003 ; Gobert *et al.*, 2007).

De plus, ses feuilles atténuent l'énergie cinétique des particules et de la matière en suspension qui sédimentent plus rapidement (Blanc et Jeudy de Grissac, 1984). Il contribue ainsi à améliorer la clarté de l'eau, à réduire l'hydrodynamisme et à protéger les côtes de l'érosion (Jeudy de Grissac & Boudouresque, 1985 ; Peirano *et al.*, 1995).

Sensible aux perturbations environnementales (Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso, 2005), de turbidité, de luminosité (Cinelli *et al.*, 1995 ; Hemminga, 1998 ; Ballesta *et al.*, 2000), de température (Mayot *et al.*, 2005), mais également d'origine anthropique telles que l'eutrophisation, l'ancrage, l'aquaculture et toutes autres activités entraînant un enrichissement en nutriments (Boudouresque *et al.*, 2009 ; Marba *et*

al., 2014 ; Gobert & Abadie, 2018), cette phanérogame marine est indicatrice de la qualité des eaux marines côtières (Pergent *et al.*, 1995) (Fig. 31).

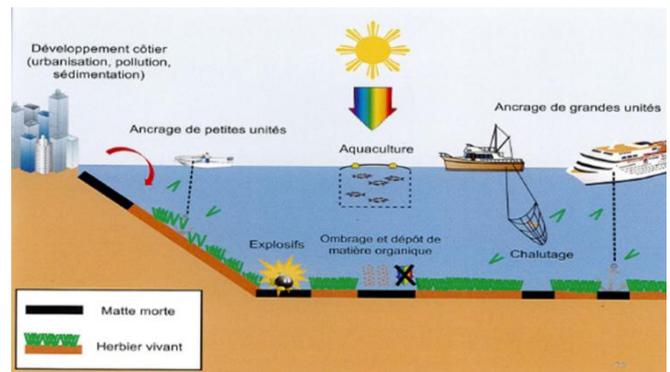
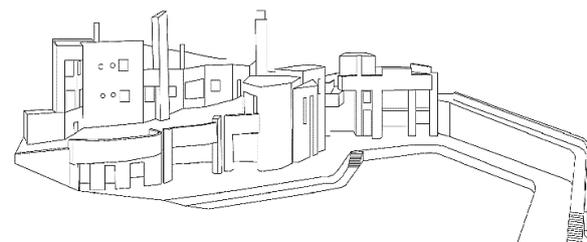


Figure 31 : Gobert, S., & Abadie, A. (2018). La plante de la mer du milieu-La posidonie.)

La Posidonie perd ses feuilles régulièrement tout au long de l'année mais plus particulièrement en automne et en hiver (Gallmetzer *et al.*, 2005). Une fois mortes, ces feuilles tombent sur le fond et forment, avec les sédiments, les rhizomes, les racines et autres débris végétaux et animaux, la matte qui sert de support au développement de l'herbier (Otero *et al.*, 2018). Cette structure particulière agit comme un puit de carbone bleu en captant le dioxyde de carbone (CO₂) (Duarte *et al.*, 2010). Les feuilles mortes de Posidonie s'accumulent au sein même de l'herbier, forment une litière et/ou sont exportées vers des milieux adjacents (Pergent *et al.*, 1994). Ces résidus mélangés à des sédiments de natures et de granulométries différentes, s'accumulent sur les plages grâce à l'occurrence combinée des vents, de tempêtes automnales et des courants, et finissent par former des banquettes pouvant mesurer plusieurs mètres d'épaisseur (Picard, 1965 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Vacchi *et al.*, 2017). Ces banquettes jouent des rôles écologiques et économiques importants. Elles protègent directement les plages contre l'érosion en réduisant l'intensité des vagues et en stockant une



grande quantité de sédiments (Chessa *et al.*, 2000), façonnent les côtes et influencent l'énergie de la dérive sédimentaire (Atzeni *et al.*, 2004 ; Di Gregorio *et al.*, 2000). Les feuilles et les épiphytes constituent une ressource alimentaire (nutriments) pour les écosystèmes dunaires riches en détritivores invertébrés (Mateo *et al.*, 2003 ; Remy, 2010), et pour la ressource halieutique dont dépend la petite pêche côtière (Belon, 2017). Lorsqu'elles sont déposées plus loin par les vents, les feuilles mortes de Posidonie peuvent également servir d'engrais et de support pour la végétation et ainsi permettre le maintien puis le développement de l'arrière-dune (Duarte, 2004) (Fig. 3, 4 et 5).

Posidonia oceanica (L.) Delile est une espèce protégée tant vivante sous forme d'herbier que morte sous forme de banquettes (Tab. 10).

Tableau 10 : Liste des textes de loi protégeant l'herbier de Posidonie (*Posidonia oceanica*)

Echelles	Textes de loi
France	Arrêté interministériel du 19 juillet 1988 relatif à la liste des espèces végétales marines protégées
	Décret d'application (20 septembre 1989) de la Loi Littoral du 3 janvier 1986
	Loi du 10 juillet 1976
Europe	Directive Européenne « Habitat, faune, flore » n°92/43/CEE (Annexe I) du 21 mai 1992
International	Convention de Berne (février 1996)
	Convention de Barcelone (novembre 1996)

2.2. Analyse des paramètres de vitalité

Afin de caractériser l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie aux alentours de l'émissaire de la STEP de Cargèse de manière représentative, STARESO a considéré 4 stations d'études réparties au niveau, 100 m à l'ouest, 100 m à l'est et 60 m dans le prolongement du point de rejet théorique de l'émissaire.

2.2.1. Paramètres structurels

A chaque station, 15 mesures de compacité de la matte de Posidonie ainsi que 10 quadrats au sein desquels ont été mesurés la densité de faisceaux de Posidonie, le taux de recouvrement et le pourcentage de faisceaux plagiotropes ont été réalisés.

Les résultats issus de ces mesures et les seuils à connaître pour leur interprétation sont présentés dans les tableaux 11, 12 et 13 suivants et en annexes 1. Des prises de vue sous-marines viennent illustrer ces résultats (Fig. 34).

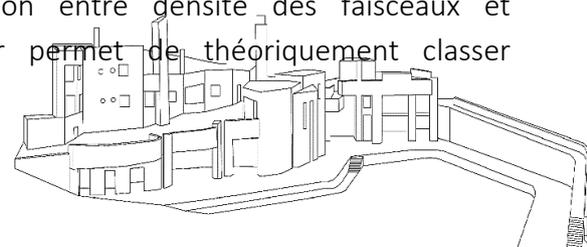
Taux de recouvrement (%)

L'herbier de Posidonie situé au sein du golfe de Chiuni est un herbier qui se développe principalement sur substrat dur (roche). Le taux de recouvrement du substrat par les feuilles d'herbier de Posidonie varie de 56,5% au niveau de la station 1 au point de rejet théorique de l'émissaire, à 88,5% au niveau de la station 4 dans le prolongement de l'émissaire (Tab. 13 et Fig. 35). Ces valeurs moyennes et relativement variables peuvent s'expliquer par le fait qu'il s'agisse d'un herbier sur roche se développant de manière différente selon les variations de relief (alternance et inclinaison de blocs rocheux) et la plus faible valeur mesurée à la station 1 est certainement liée à la proximité du diffuseur de l'émissaire.

Densité (Faisceaux / m²)

La densité et la compacité sont 2 paramètres indicateurs de la vitalité d'un herbier car ils renseignent respectivement sur le développement vertical et horizontal de l'herbier, et sur la fragilisation (tendance à l'érosion) de la matte de Posidonie, substrat formé et sur lequel se développe cet herbier

Une relation entre densité des faisceaux et profondeur permet de théoriquement classer



l'herbier en 5 catégories : densité excellente, bonne, moyenne, médiocre ou mauvaise (Pergent. Martini *et al.*, 2010) (Tab. 6).

Tableau 11 : Classification de l'état de l'herbier de Posidonie selon les densités (/ m²) de faisceaux observées et la profondeur (m) d'après Pergent.Martini *et al.*, 2010.

Profondeur (m)	Excellent	Bon	Normal	Médiocre	Mauvaise
1	> 1133	1133 à 930	930 à 727	727 à 524	< 524
2	> 1067	1067 à 863	863 à 659	659 à 456	< 456
3	> 1005	1005 à 800	800 à 612	612 à 415	< 415
4	> 947	947 à 757	757 à 567	567 à 377	< 377
5	> 892	892 à 709	709 à 526	526 à 343	< 343
6	> 841	841 à 665	665 à 489	489 à 312	< 312
7	> 792	792 à 623	623 à 454	454 à 284	< 284
8	> 746	746 à 584	584 à 421	421 à 259	< 259
9	> 703	703 à 547	547 à 391	391 à 235	< 235
10	> 662	662 à 513	513 à 364	364 à 214	< 214
11	> 624	624 à 481	481 à 338	338 à 195	< 195
12	> 588	588 à 451	451 à 314	314 à 177	< 177
13	> 554	554 à 423	423 à 292	292 à 161	< 161
14	> 522	522 à 397	397 à 272	272 à 147	< 147
15	> 492	492 à 372	372 à 253	253 à 134	< 134
16	> 463	463 à 349	349 à 236	236 à 122	< 122
17	> 436	436 à 328	328 à 219	219 à 111	< 111
18	> 411	411 à 308	308 à 204	204 à 101	< 101
19	> 387	387 à 289	289 à 190	190 à 92	< 92
20	> 365	365 à 271	271 à 177	177 à 83	< 83
21	> 344	344 à 255	255 à 165	165 à 76	< 76
22	> 324	324 à 239	239 à 154	154 à 69	< 69
23	> 305	305 à 224	224 à 144	144 à 63	< 63
24	> 288	288 à 211	211 à 134	134 à 57	< 57
25	> 271	271 à 198	198 à 125	125 à 52	< 52
26	> 255	255 à 186	186 à 117	117 à 47	< 47
27	> 240	240 à 175	175 à 109	109 à 43	< 43
28	> 227	227 à 164	164 à 102	102 à 39	< 39
29	> 213	213 à 154	154 à 95	95 à 36	< 36
30	> 201	201 à 145	145 à 89	89 à 32	< 32
31	> 189	189 à 136	136 à 83	83 à 30	< 30
32	> 179	179 à 128	128 à 77	77 à 27	< 27
33	> 168	168 à 120	120 à 72	72 à 24	< 24
34	> 158	158 à 113	113 à 68	68 à 22	< 22
35	> 149	149 à 106	106 à 63	63 à 20	< 20
36	> 141	141 à 100	100 à 59	59 à 18	< 18
37	> 133	133 à 94	94 à 55	55 à 17	< 17
38	> 125	125 à 88	88 à 52	52 à 15	< 15
39	> 118	118 à 83	83 à 48	48 à 14	< 14
40	> 111	111 à 78	78 à 45	45 à 13	< 13

Les mesures effectuées au sein des quadrats démontrent qu'il s'agit d'un herbier de Posidonie de densité normale au niveau des stations 1 et 2, et de bonne densité au niveau des stations 3 et 4 par rapport aux profondeurs d'observation respectives (Tab. 13 et Fig. 32, 34 et 35).

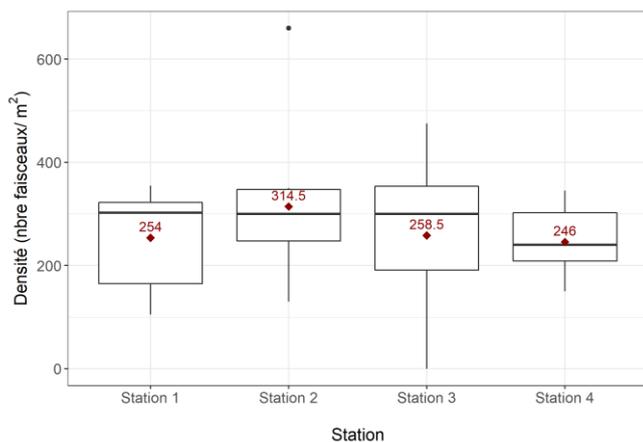


Figure 32 : Boxplot représentant les résultats issus des mesures de densité effectuées au sein des quadrats à chaque station par les plongeurs de STARESO

Colonisation (% faisceaux plagiotropes)

Le pourcentage de rhizomes plagiotropes traduit la tendance à la progression d'un herbier par colonisation horizontale du substrat. Un pourcentage de rhizomes plagiotropes compris entre 0 et 10 est considéré comme faible, entre 11 et 29 comme moyen, et entre 30 et 100 comme fort (Pergent, 2007).

Le nombre de faisceaux plagiotropes varie d'en moyenne 2% au niveau de la station 3 à l'ouest du diffuseur à 13% au niveau de la station 4 dans le prolongement de celui-ci (Tab. 13 et Fig. 34 et 35). Il s'agit d'un herbier de Posidonie qui semble donc soit en régression, soit relativement stable. D'autres suivis pourraient permettre de préciser ces affirmations.

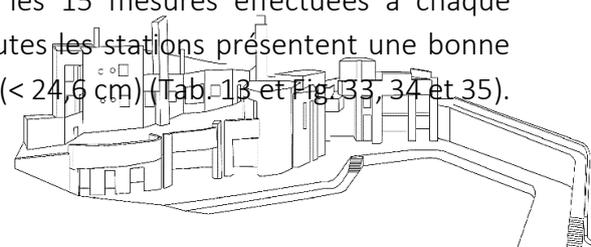
Compacité de la matre (profondeur d'enfouissement du compaciteur en cm)

Selon la classification de Francour *et al.* (1999) (Tab. 12), la tenue mécanique de la matre des herbiers, indépendante de la profondeur, est liée à la hauteur d'enfouissement de la tige du pénétromètre (ou compaciteur) dans la matre. Il est ainsi possible de classer l'herbier en 3 catégories selon la compacité de la matre sous-jacente : compacité (ou tenue mécanique) forte, moyenne, faible.

Tableau 12 : Classification de la tenue mécanique de la matre selon la profondeur d'enfouissement du compaciteur (cm) d'après Francour *et al.*, 1999).

Compacité (tenue mécanique) de la matre	Profondeur d'enfouissement de la tige du compaciteur (cm)
Bonne	< 50
Moyenne	50 - 100
Faible	> 100

Sur les 15 mesures effectuées à chaque station, toutes les stations présentent une bonne compacité (< 24,6 cm) (Tab. 13 et Fig. 33, 34 et 35).



La station qui présente la meilleure compacité est la station 2 (5 cm +/-5,5 cm), station située à 100 m à l'ouest du diffuseur sur des fonds de 13,6 m de profondeur. Ces résultats sont en parti lié au fait que l'herbier de Posidonie se développe en partie sur substrat dur (roche).

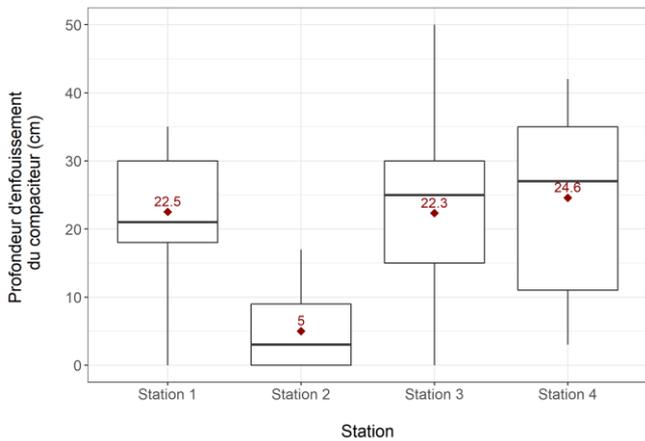
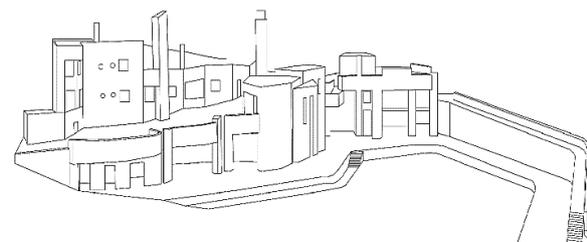


Figure 33 : Boxplot représentant les résultats issus des mesures de compacité effectuées à chaque station par les plongeurs de STARESO

Tableau 13 : Résultats de la caractérisation structurelle de l'herbier à Posidonia oceanica prospecté au niveau des 4 stations au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse par les plongeurs biologistes de STARESO les 30 août et 1^{er} septembre. (SM = Substrats meubles)

Paramètres structurels	H1	H2	H3	H4
Profondeur	19,8	13,6	22,4	23
Type d'herbier	Partiellement sur roche et substrat meuble			
Substrat	SD	SD	SD	SD
Taux de recouvrement (%)	56,5	80,3	71,5	88,5
Densité moyenne (faisc./m ²)	254	314,5	258,5	246
Ecart-type (Densité)	+/- 97,8	+/- 139,9	+/- 159	+/- 66,6
Classification de la densité	Normale	Normale	Bonne	Bonne
% Faisceaux plagiotropes	4	6	2	13
Colonisation	Faible	Faible	Faible	Moyen
Compacité	22,5	5	22,3	24,6
Ecart-type (Compacité)	+/- 9,5	+/- 5,5	+/- 14,6	+/- 13,2
Classification de la compacité	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne



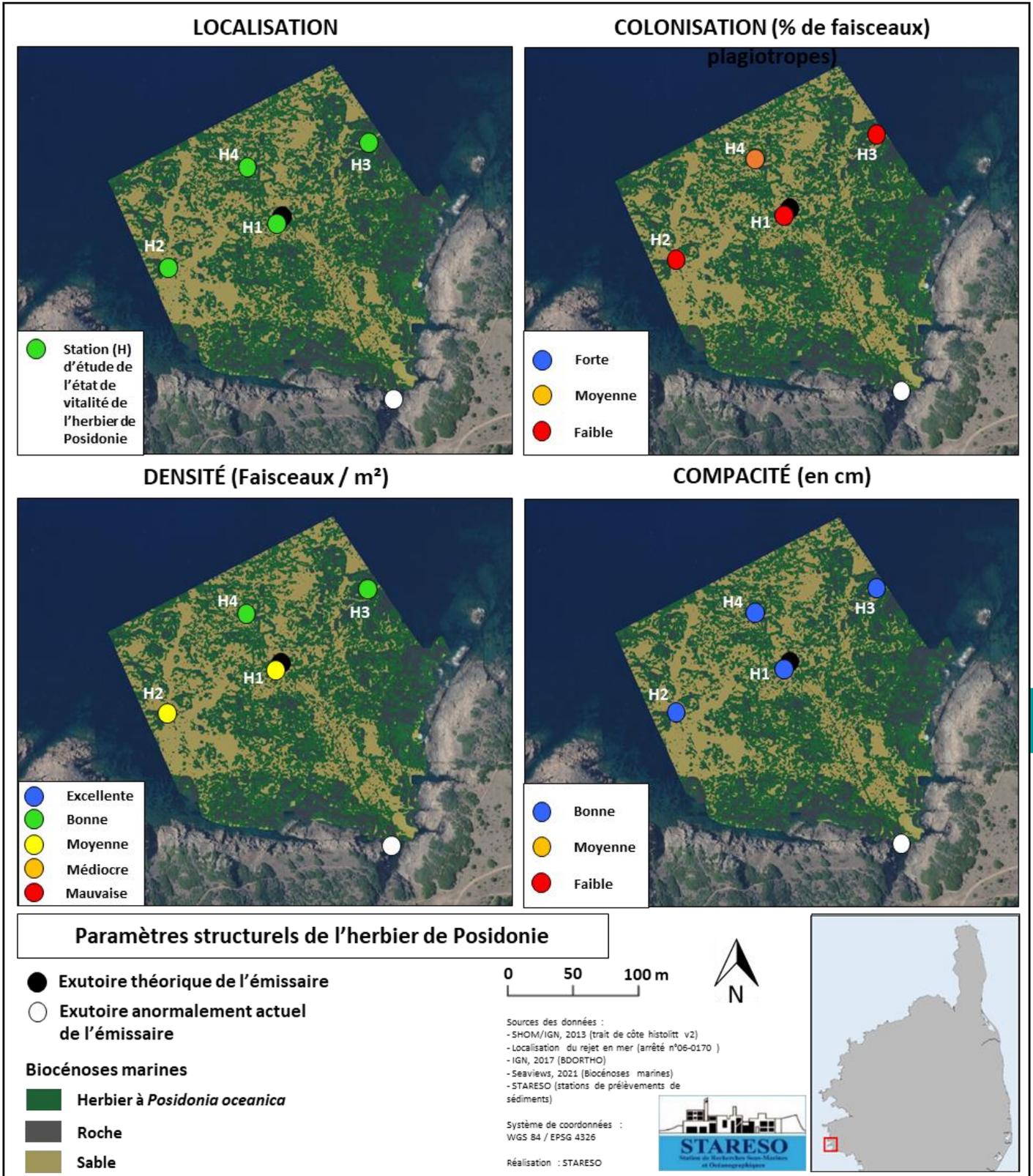
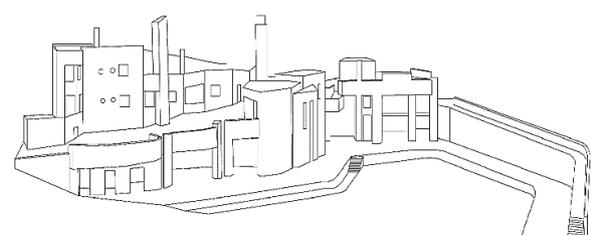
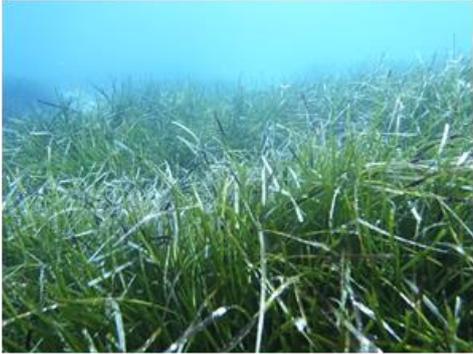


Figure 34 : Cartes illustrant les résultats issus des mesures de paramètres structurels de vitalités de l'herbier de Posidonie effectuées à chaque station par les plongeurs de STARESO

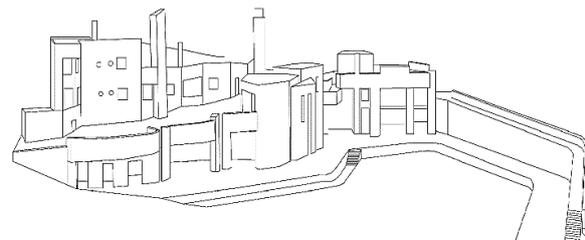


Etude des paramètres structurels de vitalité de l'herbier de Posidonie

	Aspect général	Méthodologie
STATION 1		
STATION 2		
STATION 3		
STATION 4		

34

Figure 35 : Prises de vue photographiques illustrant l'aspect général, le taux de recouvrement des carré permanent et les plongeurs de STARESO en pleine mesure des paramètres de vitalité de l'herbier de Posidonie au niveau des 4 stations d'étude au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse



Etude des paramètres structurels de vitalité de l'herbier de Posidonie

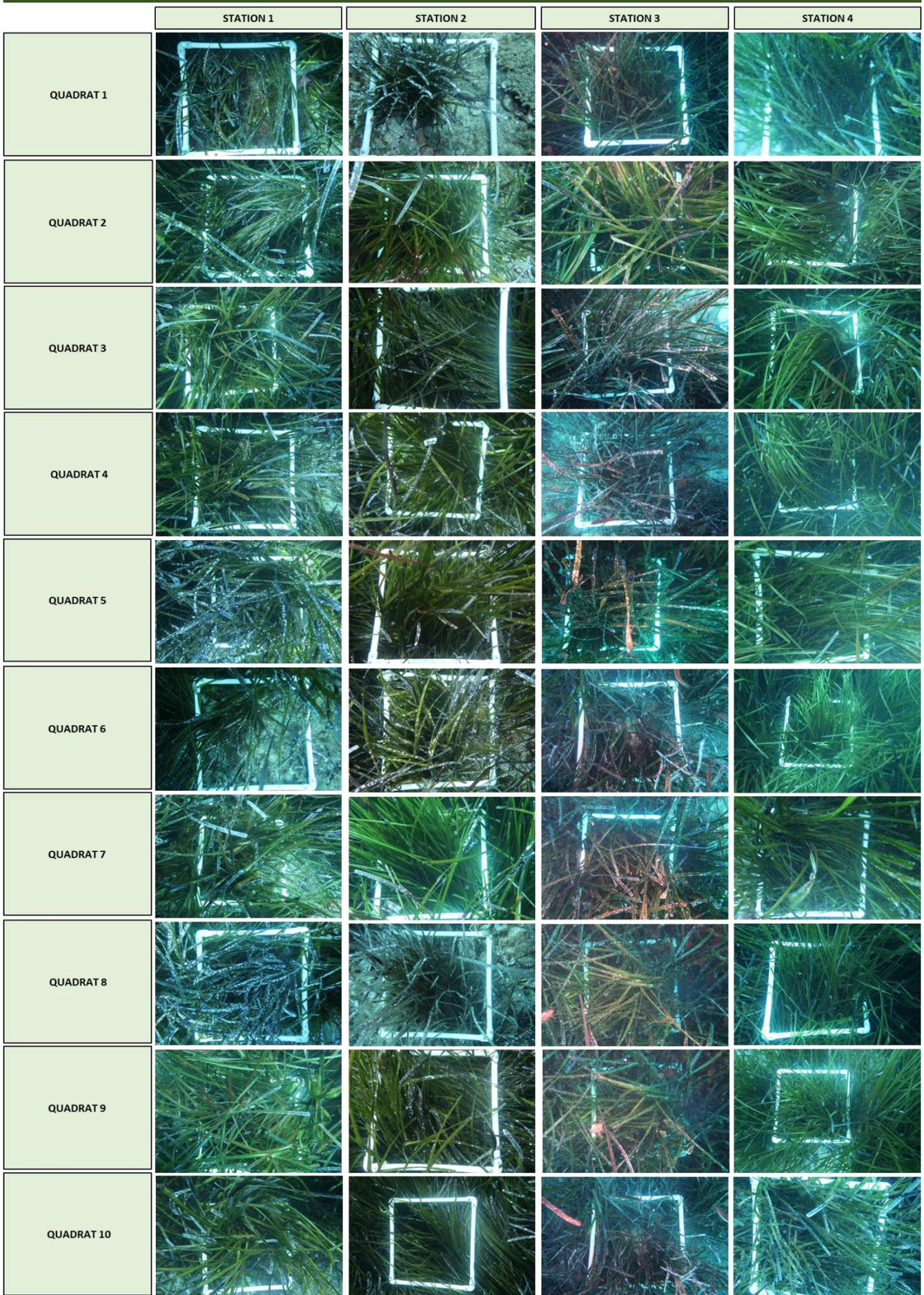
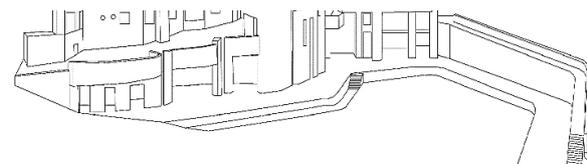


Figure 36 : Prises de vue photographiques illustrant l'aspect de l'herbier de Posidonie au sein des 10 quadrats réalisés au niveau des 4 stations d'étude au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse



2.2.2. Paramètres phénologiques

Afin d'effectuer les mesures biométriques permettant de caractériser la phénologie de l'herbier de Posidonie, 10 faisceaux par station ont été prélevés lors de la prospection sous-marine réalisée par les plongeurs biologistes de STARESO.

Chaque feuille a été mesurée (longueur, largeur) puis les épiphytes ont été raclés à l'aide d'un couteau en céramique, séchés 48h à l'étuve à 60°C, et pesés.

Les résultats issus de ces mesures sont présentés dans le tableau 14 suivant.

Croissance foliaire :

La croissance foliaire varie au cours de l'année et est positivement corrélée à la température de l'eau. D'après la littérature (Gobert, 2002), la longueur des feuilles de Posidonie est maximale en été. Ici, les feuilles de Posidonie sont de longueur moyenne pour un mois d'août avec des valeurs allant de 38,48 cm en moyenne à la station 1 à 49,21 cm en moyenne à la station 4, contre en moyenne plus de 80 cm pour des feuilles adultes et intermédiaires d'un herbier sain à 10 m de profondeur (Gobert, 2002). A noter que la valeur minimale a été mesurée au niveau de la station 1 au plus proche du diffuseur correspondant au point de rejet théorique de l'émissaire.

Dynamique foliaire :

La biomasse foliaire, elle, est à mettre en relation avec la dynamique d'apparition des feuilles, leur vitesse de croissance différente selon leur âge, l'hydrodynamisme, et l'activité des brouteurs (Gobert, 2002).

Ici, fin août 2021, le nombre moyen de feuilles par faisceau est compris entre 4 et 6 feuilles. Ces valeurs sont relativement homogènes d'une station à une autre et comparables aux résultats qu'il est possible de retrouver dans un site de référence préservé telle que la baie de la Revellata, avec des valeurs minimales en été de 4,2, et

maximales en hiver de 9 feuilles par faisceau (Gobert, 2002).

La surface foliaire :

La surface foliaire (cm²/faisceau) varie dans le temps et l'espace. La valeur minimale a été mesurée au niveau de la station 2 à l'ouest de l'émissaire avec 176 faisceaux/m², contre 193,7 faisceaux/m² à la station 3 à l'est de l'émissaire.

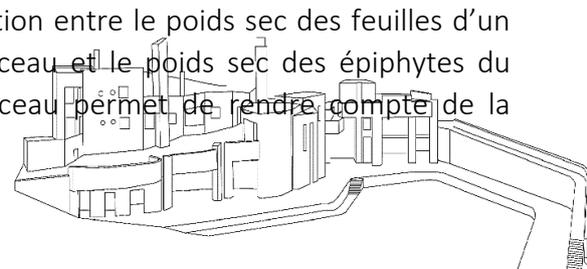
Les indices foliaires (LAI = Leaf Area Index), représentatifs des surfaces foliaires par surfaces de substrat, sont particulièrement homogènes d'une station d'étude à une autre. Les valeurs d'indice foliaire et de biomasse foliaire mesurées semblent suivre la même logique que les valeurs de densité de faisceaux avec des valeurs plus élevées au niveau des stations 2 et 3 qu'au niveau des stations 1 à 4.

Enfin, les stations 1 et 4 situées au niveau et à 60 m dans le prolongement du point de rejet théorique de l'émissaire présentent un herbier caractérisé par un plus grand nombre de feuilles par faisceaux mais des longueurs, des surfaces et des biomasses foliaires et une densité de faisceaux relativement modestes par rapport aux stations 2 et 3 situées 100 m à l'est et à l'ouest du diffuseur.

Rapport biomasse des épiphytes/biomasse foliaire :

Les épiphytes représentent l'ensemble des organismes vivants à la surface d'une plante. Ils peuvent être d'origine végétale ou animale et se développent majoritairement à l'extrémité des feuilles, là où la disponibilité lumineuse est plus importante, et sur les feuilles adultes, notamment sur la face extérieure du faisceau (Pete, 2005). La quantité d'épiphytes par surface d'herbier de Posidonie est indicatrice de la qualité du milieu et permet d'évaluer l'impact de forts enrichissements des eaux en éléments exogènes comme au niveau d'émissaires de stations d'épuration ou d'aquacultures (Delgado *et al.*, 1999).

La relation entre le poids sec des feuilles d'un même faisceau et le poids sec des épiphytes du même faisceau permet de rendre compte de la



quantité relative d'épiphytes par faisceau. Ce rapport E/F a été calculé pour chaque faisceau et moyenné pour chaque station.

Les résultats démontrent que la biomasse épiphytaire et le ratio E/F sont particulièrement faible pour la saison et homogène d'une station à une autre. Cela est certainement lié au fait que le rejet de l'émissaire ne se produit pas au niveau du diffuseur mais au niveau d'un trou à quelques mètres de la rive.

Tableau 14 : Résultats de l'étude phénologique de l'herbier à *Posidonia oceanica* présent au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse et prélevé par les plongeurs biologistes de STARESO le 31 août et le 1^{er} septembre 2021

Paramètres phénologiques		H1	H2	H3	H4
Profondeur		19,8	13,6	22,4	23
Biométrie foliaire	L. moy feuilles (cm)	38,48	48,64	42,16	49,21
	l. moy feuilles (cm)	0,89	0,89	0,87	0,83
	Nbr. moy. feuilles/faisc.	5,6	4	5,4	4,6
	Surface foliaire (cm ² /faisc.)	184,7	176,0	193,7	190,9
	LAI (m ² de feuilles/m ² de sédiments)	4,69	5,54	5,01	4,70
	Biomasse foliaire (g _{PS} feuilles/faisc.)	0,94	0,95	1,11	0,92
	Biomasse foliaire (g _{PS} feuilles/m ²)	233,68	298,78	286,94	226,32
Epiphytisme	Biomasse épiphytaire (g _{PS} épiphytes/faisc.)	0,05	0,04	0,03	0,02
	Biomasse épiphytaire (g _{PS} épiphytes m ²)	5,08	12,58	7,755	4,92
	Ratio moyen E/F	0,06	0,05	0,03	0,03
Broutage	Coefficient (A) (%)	7	10	20	10

2.3. Localisation de l'herbier de Posidonie

2.3.1. Au sein de la zone d'étude

Les prospections réalisées en plongées sous-marines ainsi que la cartographie fine des biocénoses marines réalisée spécifiquement pour cette étude ont permis de précisément localiser l'herbier de Posidonie à l'échelle de la zone d'étude englobant l'émissaire 150 m de part et d'autre et dans son prolongement. L'herbier de Posidonie représente le principal écosystème (56%) de cette zone d'étude avec une surface d'environ 7,9 ha.

2.3.2. En contact avec l'émissaire

Ces divers modes d'observation ont également permis de mettre en évidence la présence d'herbier se développant en contact voire sur la canalisation (Fig.37). Il a donc également été possible, grâce à des mesures sur logiciel SIG, de

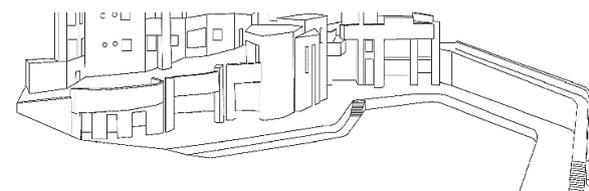
Broutage et/ou hydrodynamisme :

Le coefficient A, qui est le pourcentage de feuilles par faisceau présentant des traces d'altération, est également faible pour la saison par rapport à des valeurs mesurées sur un herbier de référence (entre 40 et 50% en août et en septembre) situé à 10 m de profondeur en baie de la Revellata à Calvi.

calculer avec une précision centimétrique le linéaire total d'herbier de Posidonie qui est en contact avec la canalisation. L'herbier de Posidonie est donc en contact avec l'émissaire de part et d'autre de celui-ci sur une longueur totale de 429 m, soit une grande partie (71,5%) du linéaire total de l'émissaire en considérant ses 2 faces ouest et est (Fig. 38).



Figure 37 : Herbier de Posidonie en contact voire recouvrant l'émissaire



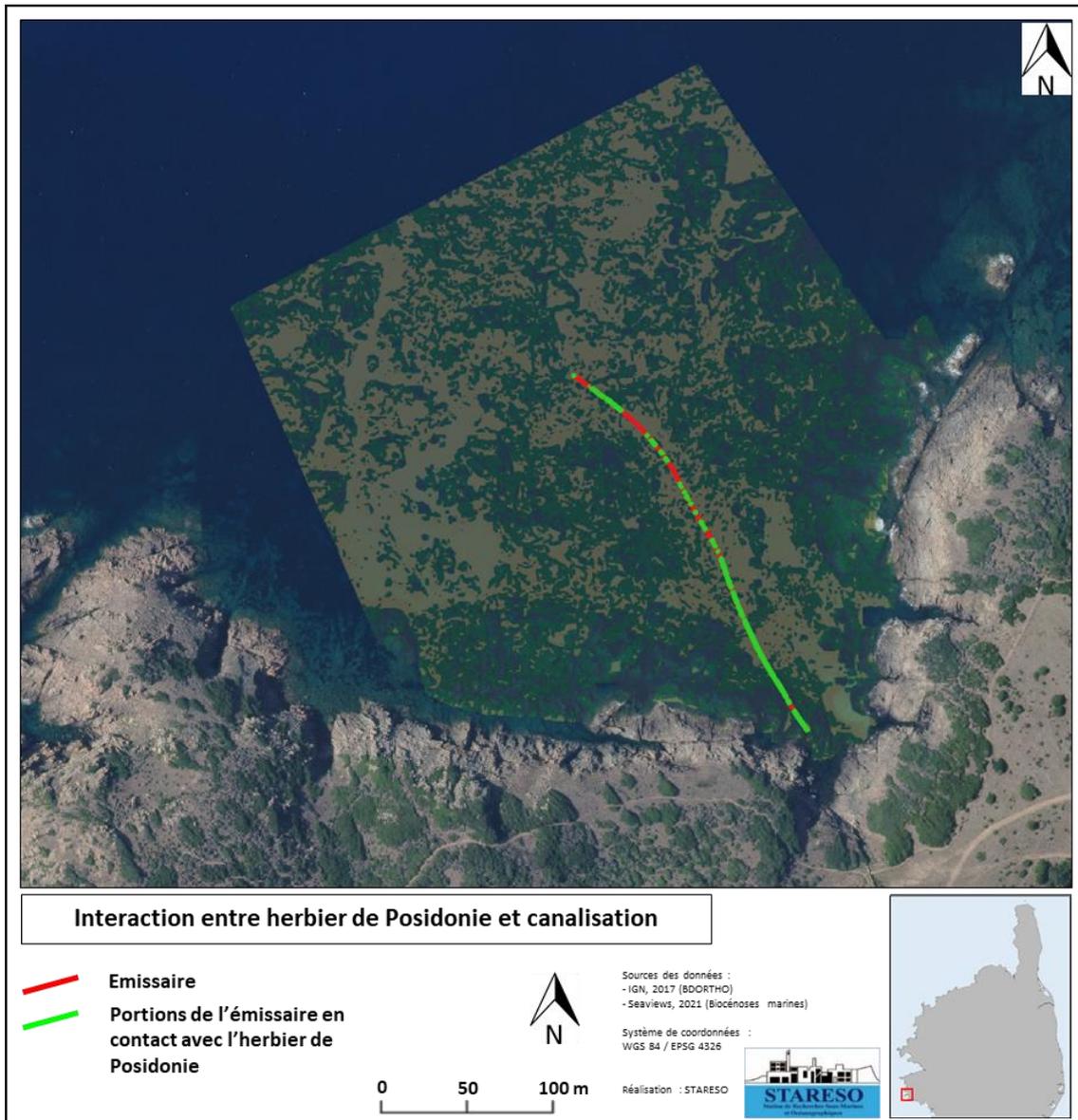


Figure 38 : Prises de vue photographiques illustrant l'aspect de l'herbier de Posidonie au sein des 10 quadrats réalisés au niveau des 4 stations d'étude au niveau de l'émissaire de la STEP de Cargèse

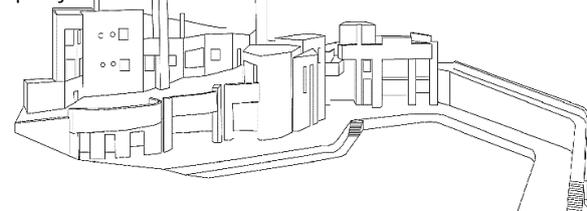
2.4. Conclusion

Les résultats démontrent finalement qu'au niveau des 4 stations, il s'agit d'un herbier en relatif bon état de vitalité caractérisé par :

- de bonnes densités de faisceaux et une bonne compacité de la matre ;
- une phénologie (biométrie foliaire) comparable à celle d'un herbier de référence ;
- un très faible épiphytisme ;
- une très faible pression de broutage.

Néanmoins, la localisation des stations d'étude telle que définie selon la position théorique du rejet de la STEP et la cartographie fine des biocénoses marines de Seaviews ne permettent pas d'évaluer de manière représentative et réelle l'impact des rejets de l'émissaire de la STEP de Cargèse sur l'herbier de Posidonie, ceux-ci se produisant de manière anormale proche de la rive.

Les divers traitements cartographiques ont également mis en évidence la présence d'herbier en contact avec l'émissaire. Ce constat devra donc être considéré avec attention dans le cas d'éventuels projets de restauration.



3. Inspection de la canalisation

Afin de vérifier l'état de la canalisation de l'émissaire, des prospections en scaphandre autonome ont été réalisées par des plongeurs scientifiques de STARESO. Ces inspections, associées aux orthophotographies sous-marines haute-résolution et géoréférencées réalisées par la société Seaviews, ont permis de relever et de géolocaliser un certain nombre de dysfonctionnements et de dégradations tout le long de l'émissaire.

Tout d'abord, l'émissaire correspond à un ensemble de tuyaux en acier ductile d'environ 300 m de long et de 20 cm de diamètre. Les 60 premiers mètres depuis la rive sont ensouillés sous une dalle de béton (n°7 Fig. 39 et 40). Le reste de la canalisation est maintenue sur le lit de mer posé apparent sur le fond et est maintenu par 33 cavaliers en béton.

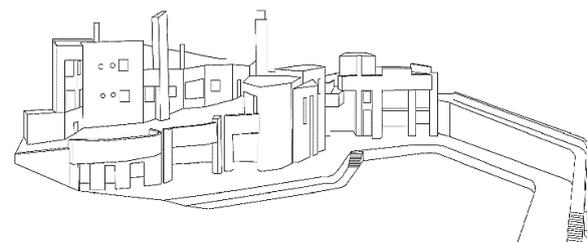
La principale observation représentant l'enjeu majeur de cette étude est que les rejets ne s'effectuent pas du tout au bon endroit. En effet, ces rejets ne s'effectuent pas au niveau du diffuseur situé à l'extrémité de l'émissaire à 19,8 m de profondeur et à 286 m de la côte (n°1 Fig. 39 et 40) mais au niveau d'un gros trou dans la canalisation situé à 5 m du bord et à 1,2 m de profondeur (n°8 Fig. 39 et 40).

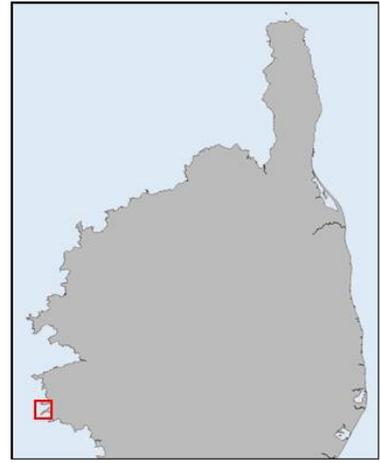
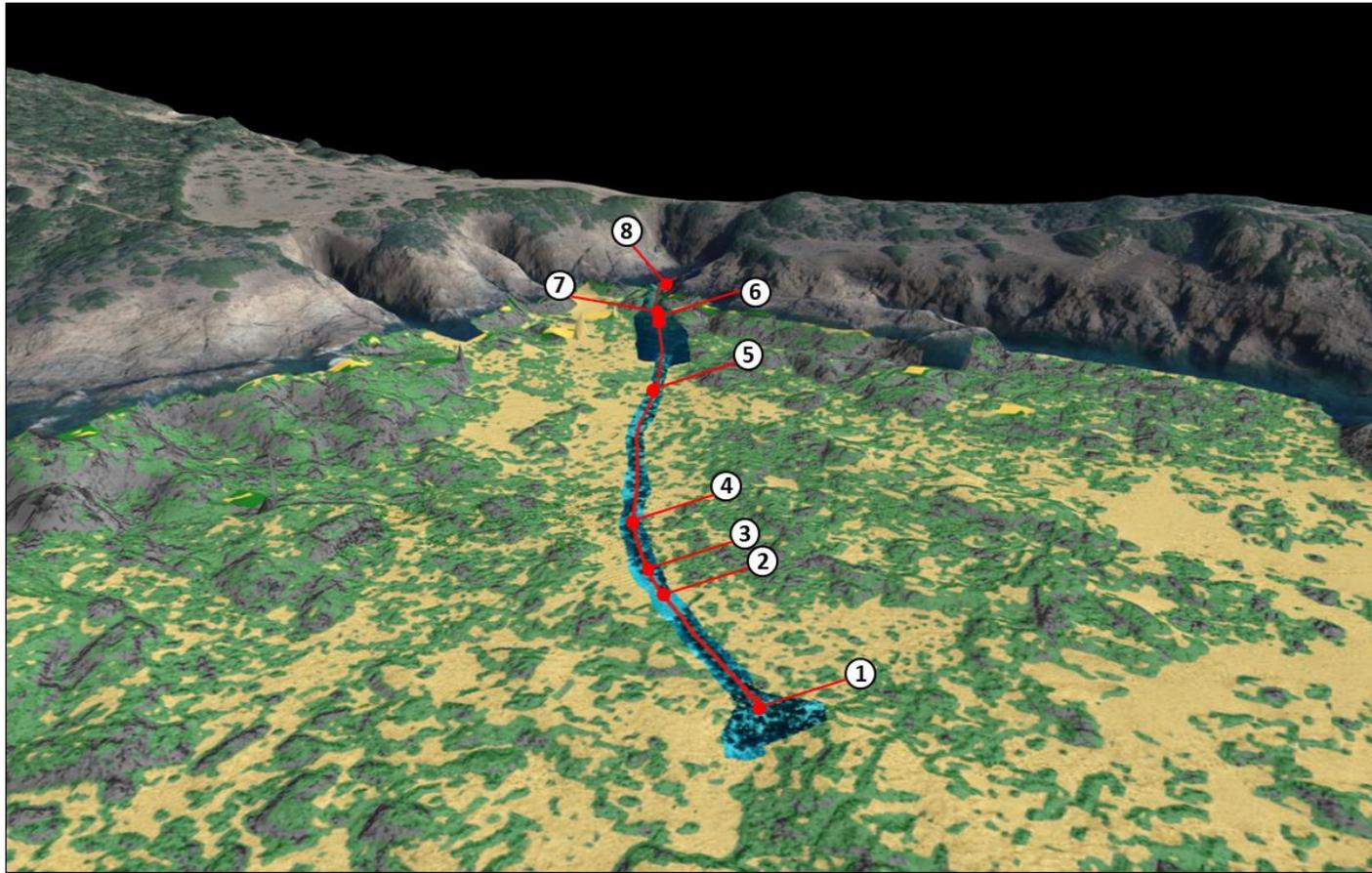
Associés à cela, des déplacements, des déchaussements et des cassures de cavaliers (n°2, 3, 4, et 5 Fig. 39 et 40) ainsi que d'autres trous dans la canalisation (n°6 Fig. 39 et 40) ont été identifiés.

L'ensemble de ces observations a été illustré par des prises de vue, géolocalisé sur la carte 3D suivante et situé le long d'un profil bathymétrique centimétrique permis par la réalisation du Modèle Numérique de Terrain bathymétrique de Seaviews (Fig. 39 et 40).



39





Inspection de la canalisation de l'émissaire de la STEP de Cargèse

Biocénoses marines

- Herbier à *Posidonia oceanica*
- Roche
- Sable



Sources des données :
 - IGN, 2017 (BDORTHO)
 - Seaviews, 2021 (Biocénoses marines, MNT bathymétrique et orthophotographies sous-marines)
 - SHOM, 2018 (Litto3D, MNT Bathymétrique)
 - STARESO, 2021 (inspection canalisation)

Système de coordonnées :
 WGS 84 / EPSG 4326

Réalisation : STARESO

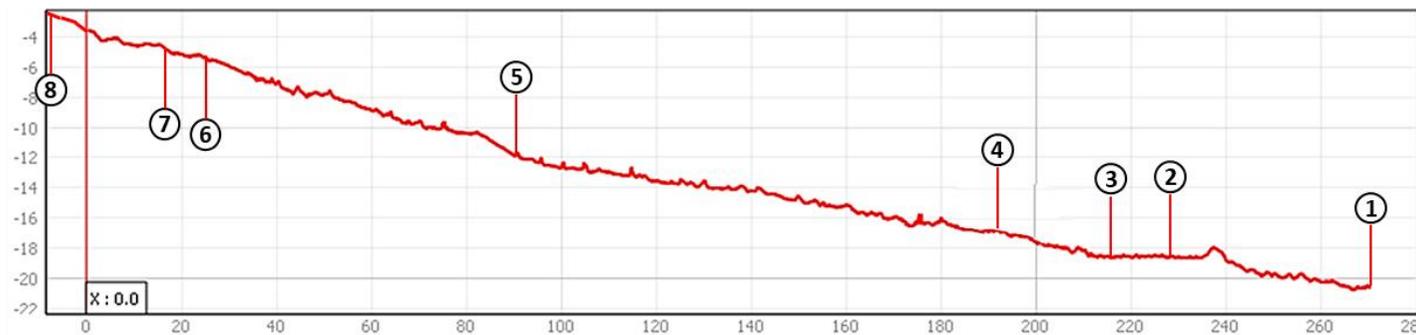
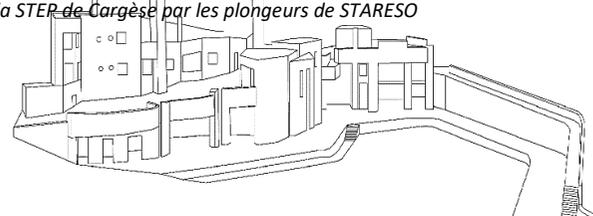


Figure 39 : Géolocalisation des dysfonctionnements et des dégradations de l'émissaire de la STEP de Cargèse par les plongeurs de STARESO



PHOTOGRAPHIES SOUS-MARINES DE STARESO

ORTHOPHOTOGRAPHIES SOUS-MARINES DE SEAVIEWS

PHOTOGRAPHIES SOUS-MARINES DE STARESO

ORTHOPHOTOGRAPHIES SOUS-MARINES DE SEAVIEWS



① Obstruction du diffuseur de l'émissaire

Longitude : 8,575074
Latitude : 42,157209
Profondeur : 19,8 m



② Cassure du cavalier

Longitude : 8,575449
Latitude : 42,156963
Profondeur : 18,57 m



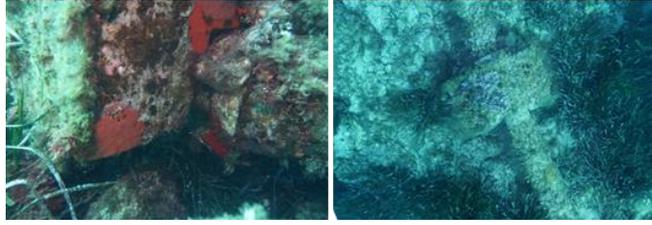
③ Cavalier déstabilisé

Longitude : 8,575543
Latitude : 42,156883
Profondeur : 18,60 m



④ Cavalier déplacé

Longitude : 8,575705
Latitude : 42,156703
Profondeur : 16,8 m



⑤ Cavalier déchaussé

Longitude : 8,576151
Latitude : 42,155855
Profondeur : 11,86 m



⑥ Trou dans la canalisation

Longitude : 8,576483
Latitude : 42,155328
Profondeur : 5,5 m



⑦ Canalisation ensouillée

Longitude : 8,576541
Latitude : 42,155255
Profondeur : 5,1 m



⑧ Trou avec rejets anormaux

Longitude : 8,576616
Latitude : 42,154958
Profondeur : 1,2 m

Figure 40 : Illustration des dysfonctionnements et des dégradations de l'émissaire de la STEP de Cargèse par les plongeurs de STARESO et via les orthophotographies sous-marines de Seaviews





L'ensemble des prospections et des acquisitions sous-marines ainsi que des analyses effectuées en laboratoire aura permis :

- d'analyser la qualité et la nature des sédiments au niveau de 7 stations situées à l'endroit et autour du point de rejet théorique de l'émissaire ;
- d'analyser l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie au niveau de 4 stations situées à l'endroit et autour du point de rejet théorique de l'émissaire ;
- d'inspecter la canalisation et d'évaluer son état de fonctionnement.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'existence :

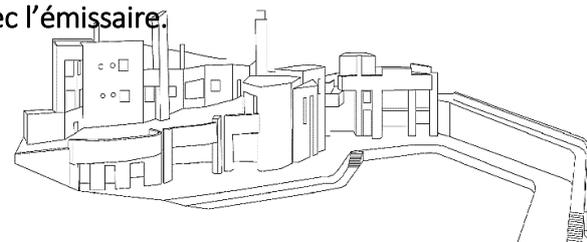
- d'un fort enrichissement en matière organique pour toutes les stations d'échantillonnage, des teneurs en Carbone Organique Total (COT) et en Azote et en Phosphore ponctuellement moyennes à fortes au niveau de certaines stations, mais aucune contamination en éléments traces, hydrocarbures ou organo-stanniques supérieure aux seuils réglementaires en vigueur au niveau de toutes les stations d'étude ;
- d'un herbier de Posidonie en relatif bon état de vitalité, aux paramètres structurels et phénologiques

comparable à un herbier de référence et faiblement épiphyté ;

- de nombreux dysfonctionnement et de multiples dégradations le long de la canalisation de l'émissaire à l'origine de la diffusion de l'intégralité des rejets à un site anormal situé près de la côte.

La localisation des différentes stations d'étude de la qualité des sédiments et de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonie ayant été définie selon la cartographie fine des biocénoses marines réalisées par Seaviews et selon la position théorique du point de rejet de l'émissaire indiquée dans l'arrêté n°06-0170, les observations et les résultats de cette présente étude ne sont pas représentatifs du réel impact des rejets de la STEP sur ces compartiments du milieu marin. Néanmoins, l'acquisition de futures données au niveau de ces mêmes stations permettra, grâce à une analyse comparative avec ces présentes données, d'évaluer le futur impact des rejets de la STEP dans des conditions normales de fonctionnement.

Finalement, face à la constatation de nombreux dysfonctionnement, il apparaît nécessaire et urgent de réparer l'ensemble de ces dégradations afin de limiter l'impact sur le milieu marin à l'échelle du golfe de Chiuni. Des mesures préventives doivent ainsi être prises afin que les futurs travaux eux-mêmes n'aient également aucun impact sur le milieu, notamment sur l'herbier de Posidonie en contact avec l'émissaire.





1. Impacts potentiels des opérations

Au regard des travaux envisagés, et en accord avec le Guide Cadre Eval_Impact (DREAL PACA et DREAL OCCITANIE, 2018), ces opérations de mise en place ou de restauration d'ouvrage, en l'occurrence de l'émissaire de la STEP de Cargèse, peuvent avoir plusieurs impacts potentiels sur les espèces et habitats marins, notamment sur la nature des sédiments et l'herbier de Posidonie :

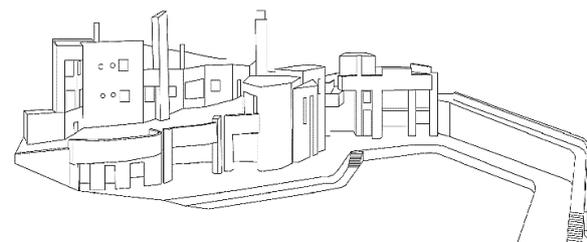
- 1) effets de la production et de la dispersion de Matière En Suspension (MES) sur les espèces marines ;
- 2) effets de l'impact physique de l'ouvrage sur les espèces benthiques, la granulométrie et l'hydrodynamisme de fond.

43

1) EFFETS DE LA PRODUCTION ET DE LA DISPERSION DE MATIÈRE EN SUSPENSION (MES) LIÉS AUX OPERATIONS DE REPARATION DE L'ÉMISSAIRE SUR LES ESPÈCES MARINES

Impact

Pour les herbiers de Posidonie, un des principaux risques est lié à l'effet d'une altération de la qualité des eaux par l'augmentation de la concentration des particules solides remises en suspension dans la colonne d'eau. Une augmentation de la turbidité se traduit par une diminution de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau en termes de qualité, quantité et de profondeur atteinte. Ceci a pour conséquence une baisse de l'activité photosynthétique (production primaire) préjudiciable aux herbiers de phanérogames marines entraînant une baisse de la vitalité, voire la mort des espèces sensibles à ce phénomène. Cela peut alors engendrer une régression horizontale ou de la limite supérieure et ou une remontée de la limite inférieure des herbiers et prairies sous-marines. A noter que la durée de cette baisse de pénétration de la lumière a une incidence majeure sur l'éventuel impact observé. À plus ou moins longs termes, les particules remises en suspension sont amenées à sédimenter. Ainsi, les espèces végétales marines sont susceptibles d'être couvertes d'un dépôt de particules. Ces dernières peuvent entraîner un ensevelissement des herbiers ou au contraire un déchaussement de faisceaux par érosion.

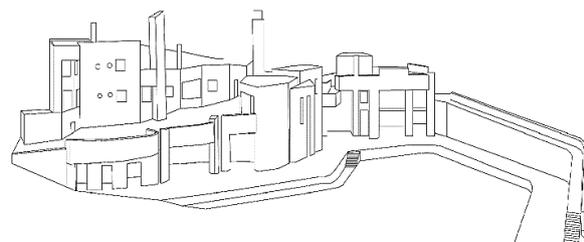


1) EFFETS DE LA PRODUCTION ET DE LA DISPERSION DE MATIÈRE EN SUSPENSION (MES) LIÉS AUX OPERATIONS DE REPARATION DE L'ÉMISSAIRE SUR LES ESPÈCES MARINES

Impact	Une accumulation excessive de sédiments entraîne le recouvrement des apex végétatifs de <i>Posidonia oceanica</i> . En effet, si le taux de sédimentation dépasse 5-7 cm/an, les points végétatifs meurent. Inversement, si ce taux est nul ou négatif (départ de sédiments), les rhizomes se déchaussent et sont alors très sensibles à la cassure. Ainsi la modification de la nature sédimentaire peut perturber les fonctionnalités de l'habitat initial et donc les peuplements qui le constituent.	
Type d'effet	Direct et quasi permanent	
Niveau d'impact	Fort	Si aucune mesure (<u>ex</u> : installation d'un filet géotextiles anti MES) n'est prise, la dispersion de ces MES dans le milieu marin peut entraîner de manière localisées des perturbations de la croissance et du développement biologique d'espèces marines remarquables (notamment protégées) telles que <i>Posidonia oceanica</i> .

2) EFFETS DE L'IMPACT PHYSIQUE DE L'OUVRAGE SUR LES ESPÈCES BENTHIQUES, LA GRANULOMÉTRIE ET L'HYDRODYNAMISME DE FOND.

44	Impact	La mise en place ou la restauration d'un émissaire de station d'épuration ou de tout type d'ouvrage sur le fond a un impact mécanique majeur sur les espèces benthiques présentes. La réparation d'un émissaire sur n'importe quel type de substrat peut entraîner l'enfoncement et le tassement de celui-ci ainsi que l'écrasement de la faune et de la flore initialement présente tout le long de son emprise. Au niveau des sections non enfouies dans le substrat, celui-ci peut provoquer une modification locale de l'hydrodynamisme. L'importance de cette modification est conditionnée par le degré d'enfouissement, les dimension et la morphologie de l'ouvrage. Une éventuellement modification locale de l'hydrodynamisme de fond en bordure ou en contact direct avec l'herbier de Posidonie, via les divers mécanismes physiques de réfractions et de diffractions des courants de fond de part et d'autre de l'ouvrage, pourrait engendrer une alteration de l'état de vitalité de ce dernier et une modification de la granulométrie de la zone. En effet, une augmentation ou une diminution de cet hydrodynamisme pourraient respectivement entraîner un déchaussement ou un ensablement des faisceaux de Posidonie les plus proches et à termes la mort et le recul de cet écosystème de part et d'autre de l'ouvrage. La modification de la granulométrie impliquerait également une modification de la composition des peuplements benthiques.	
	Type d'effet	Direct et permanent	
	Niveau d'impact	Fort	Si aucune mesure (<u>ex</u> : enfouissement de l'émissaire ou positionnement des cavaliers à une distance non impactante pour l'herbier) n'est prise, la restauration de cet ouvrage sur le fond peut entraîner par effets physiques (impact mécanique et hydrodynamique) la destruction directe des 1er m ² d'herbier de Posidonie de part et d'autre de celui-ci.



2. Mesures ERC (Evitement, Réduction et Compensation)

La politique nationale définie par le ministère de l'environnement en matière d'évitement, de réduction et de compensation des impacts environnementaux de projets dépasse la seule prise en compte de la biodiversité et englobe un ensemble de thématiques plus larges (air, bruit, eau, sol, santé des populations...).

Selon le Guide Cadre Eval_Impact (DREAL PACA et DREAL OCCITANIE, 2018), les définitions des différentes mesures à progressivement mettre en œuvre dans le cadre d'un projet de travaux sur le milieu marin sont :

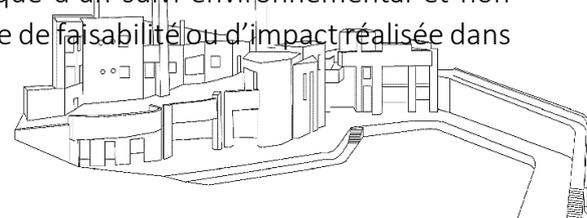
Mesure d'évitement : mesure qui modifie un projet afin de supprimer un impact négatif identifié que ce projet engendrerait. Une mesure d'évitement vise un impact spécifique. Il peut s'agir de faire ou ne pas faire, faire moins, faire ailleurs ou faire autrement. Les mesures d'évitement peuvent se faire lors du choix d'opportunité du projet, et être d'ordre temporel, géographique ou technique.

Mesure de réduction : mesure définie après l'évitement et visant à réduire les impacts négatifs permanents ou temporaires d'un projet sur l'environnement, en phase chantier ou en phase exploitation. Les mesures de réduction sont mises en place au niveau du projet ou à sa proximité immédiate. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories, selon qu'elles concernent la phase chantier ou d'exploitation. Les mesures liées à la phase chantier portent sur des impacts temporaires ou permanents. Les mesures de réduction peuvent concerner une modification de l'ouvrage, comme la modification d'un profil de pied de digue pour réduire les impacts sur l'herbier de posidonies.

Mesure compensatoire : « Les mesures compensatoires ont pour objet d'apporter une contrepartie aux incidences négatives (= effets) notables, directes ou indirectes du projet sur l'environnement qui n'ont pu être évitées ou suffisamment réduites. Elles sont mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité de celui-ci afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Elles doivent permettre de conserver globalement, et si possible, d'améliorer la qualité environnementale des milieux » (article R.122-13 II du CE). Les mesures compensatoires sur le milieu naturel en particulier doivent permettre de maintenir voire d'améliorer l'état de conservation des habitats, des espèces, les services écosystémiques rendus et la fonctionnalité des continuités écologiques concernées par un impact négatif résiduel significatif. Elles doivent être équivalentes aux impacts du projet et additionnelles aux engagements publics et privés (article 69 de la loi biodiversité).

Au vu des observations effectuées, aussi bien en termes de qualité et de nature des sédiments que d'état de vitalité et de localisation de l'herbier de Posidonie, les actuels rejets de l'émissaire n'ont aucun impact sur le milieu.

Néanmoins, comme évoqué précédemment, les prospections ont mis en évidence que l'intégralité des rejets s'effectuait à un endroit anormal lié à une fuite de la canalisation proche de la rive. Ne s'agissant que d'un suivi environnemental et non d'une étude de faisabilité ou d'impact réalisée dans

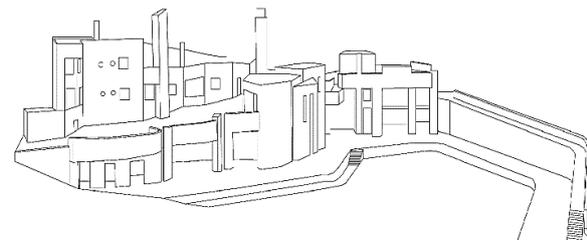


le cadre d'un projet de mise en place ou de restauration d'ouvrage, aucune mesure d'évitement, de réduction ou compensatoires peuvent être émises à ce stade.

Cependant, face à l'ampleur des dégradations et à l'urgence de rétablir le fonctionnement normal de l'émissaire, il pourrait être préconisé de manière anticipée :

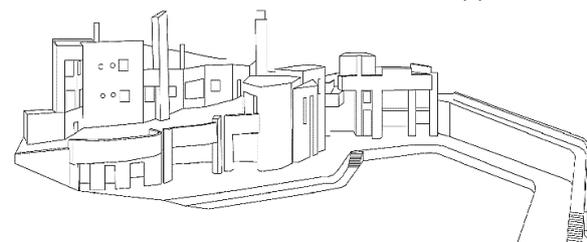
- de définir les méthodes de restauration voire de remplacement de l'émissaire ainsi que la manière dont il pourrait être déployé (enfouie ou posé sur le fond avec des cavaliers) ;
- d'effectuer les éventuels futurs travaux à une saison où les conditions météorologiques, courantologiques et de houle sont calmes afin de ne pas accentuer l'éventuelle dispersion de matière en suspension, les réparations et les éventuelles poses de nouveaux cavaliers.
- de mettre en place un filet anti matières en suspension (ou barrage anti-turbidité) afin de limiter la dispersion locale de ces sédiments particuliers et l'ensablement des faisceaux de Posidonie les plus proches ;

- d'envisager réaliser une transplantation de sauvegarde d'espèces marines, en l'occurrence de quelques m² d'herbier de Posidonie situés en contact voire sur l'émissaire. En effet, dans le cas où le maître d'ouvrage n'envisagerait pas de transplantation de pousses de Posidonie et que les travaux de restaurations ou de remplacement de l'ouvrage impliqueraient la destruction mécanique directe de ces pousses, celui-ci devra formuler une demande d'autorisation de destruction d'espèce protégée auprès des services d'Etat compétents, et ce, préalablement aux phases de travaux.

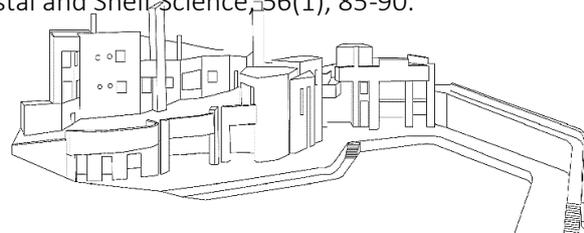




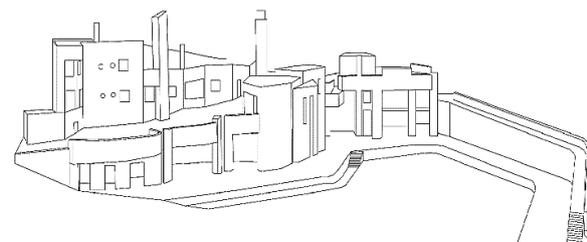
- Atzeni, A.; De Muro, S.; Di Gregorio, F., and Piras, G., (2004). Map of geo-environmental hazard on the coast of Sardinia (Italy). Firenze, Italy S.E.L.C.A., scale 1:200,000, 1 sheet.
- Ballesta, L., Pergent, G., Pasqualini, V. and Pergent-Martini, C., 2000. Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline. C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie, 323: 407-414.
- Bay, D. (1978). Etude "in situ" de la production primaire d'un herbier de posidonies (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la Baie de Calvi-Corse (Doctoral dissertation).
- Bay D (1984). A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* in Calvi bay Corsica. *Aquat Bot* 20: 43-64.
- Belon R. (2017). Suivi de la dynamique des banquettes de Posidonie et de leur impact sur l'évolution du trait de côte en Haute-Corse. Rapport final. BRGM/RP-67632-FR, 53p, 33ill.
- Blanc J.J. & Jeudy de Grissac A. 1984. Erosions sous-marines des herbiers à *Posidonia oceanica* (Méditerranée). International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. & Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 23-28.
- Boudouresque C.F, Meinesz A. 1982. Découverte de l'herbier de posidonie. Cah. Parc nation. Port-Cros, 4 : 79PP.
- Boudouresque C.F., Mayot N., Pergent G. (2006). The outstanding traits of the functioning of the *Posidonia oceanica* seagrass ecosystem. *Biol. Mar. Mediterr.*, 13 (4): 109-113.
- Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., & Verlaque, M. (2009). Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*, 52(5), 395-418.
- Cary L., Genevier M., Frissant N., J. Lions (2013) – Etude du fond hydrogéo chimique de la Corse. Impacts des activités minières sur la qualité des eaux. BRGM/RP-61469-FR, 164 p., 52 fig., 28 tabl, 5 ann.
- Chessa, L.A., Fresi, E. and Lorenzi, C., 1995: The state of health of a *Posidonia oceanica* meadow: study method. In: *La Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*. In *Revista Marittima* : 78-83.
- Chessa, L. A., Fustier, V., Fernandez, C., Mura, F., Pais, A., Pergent, G., ... & Vitale, L. (2000). Contribution to the knowledge of 'banquettes' of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Sardinia Island. *Biologia marina mediterranea*, 7(2), 35-38.
- Cinelli F., Pardi G. and Papi I., 1995. Plant biology. In: *La Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*. In *Revista Marittima*: 21-24.
- Den Hartog, C., 1970. The sea-grasses of the World. *Verhandelingsen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd.Natuurkunde*. Tweede reeks, Deel 59, N°1. North Holland Publ., The Netherlands: 275 pp.

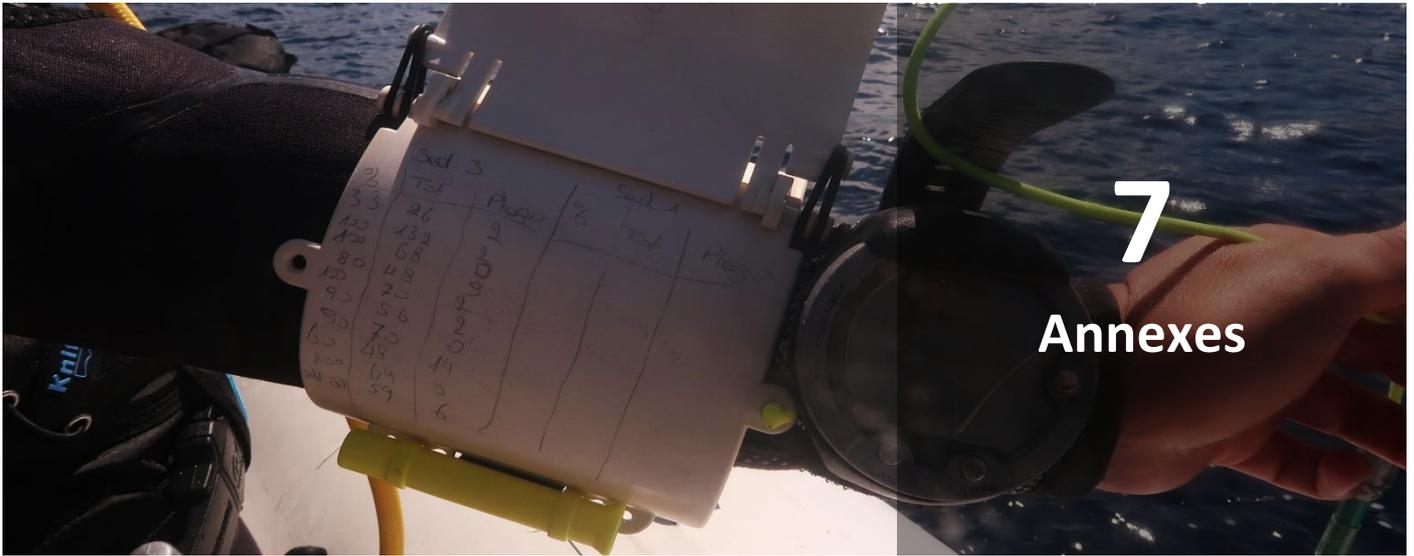


- Di Gregorio F; Federici P.R.; Fierro G., and Ginesu S. (2000). Atlante delle spiagge della Sardegna. Firenze, Italy S.E.L.C.A., scale 1:100,000, 17 sheets [in French].
- DREAL PACA et DREAL Occitanie. (2018). Guide cadre Eval_Impact. Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 4 – Suivi environnemental. Ed. CO2 communication. 126.
- Duarte, C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation*, 29 (2): 192-206.
- Duarte C.M. (2004). How can beaches be managed with respect to seagrass litter ? In Borum J., Duarte C.M., Krause-Jansen D. and Greeve T.M., (eds.), *European Seagrasses: An Introduction to Monitoring and Management*. M&MS Project Publisher, pp. 83–84.
- Duarte, C. M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean, J. W., Beggins, J., Barrón, C., & Apostolaki, E. T. (2010). Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(4).
- Elkalay, K., Frangoulis, C., Skliris, N., Goffart, A., Gobert, S., Lepoint, G. and Hecq, J.H., 2003. A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecological Modelling*, 167: 1-18.
- Fernández-Torquemada Y. and Sánchez-Lizaso J.L., 2005: Effects of salinity on leaf growth and survival of Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320: 57-63.
- Gallmetzer, I., Pflugfelder, B., Zekely, J., & Ott, J. A. (2005). Macrofauna diversity in *Posidonia oceanica* detritus: distribution and diversity of mobile macrofauna in shallow sublittoral accumulations of *Posidonia oceanica* detritus. *Marine Biology*, 147(2), 517-523.
- Gobert, S. (2002). Variations spatiale et temporelle de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (Baie de la Revellata-Calvi-Corse) (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).
- Gobert, S., Kyramarios, M., Lepoint, G., Pergent-Martini, C. and Bouquegneau, J.M., 2003. Variations à différentes échelles spatiales de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile ; effets sur les paramètres physico-chimiques du sédiment. *Oceanologica Acta*, 26 : 199-207.
- Gobert. S., Cambridge. M. T., Velimirov B., Pergent G., Lepoint G., Bouquegneau J. M., ... & Walker D. I. (2007). Biology of *Posidonia*. In *SEAGRASSES: BIOLOGY, ECOLOGY AND CONSERVATION*, 387-408. Springer, Dordrecht.
- Gobert, S., Sartoretto, S., Rico-Raimondino, V., Andral, B., Chery, A., Lejeune, P., & Boissery, P. 2009). Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11), 1727-1733.
- Gobert, S., & Abadie, A. (2018). La plante de la mer du milieu-La posidonie.
- Hemminga, M.A., 1998. The root / rhizome system of seagrasses : an asset and a burden. *Journal of Sea Research*, 39: 183-196.
- Hemminga M. A., & Duarte C. M. (2000). *Seagrass ecology*. Cambridge University Press. Jacquemart Julien & Demoulin Vincent, «inventaire des macroalgues épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la baie de la Revellata (Calvi, Corse)», *Lejeunia*, *Revue de Botanique [En ligne]*, N° 181 (décembre 2006), URL : <https://popups.uliege.be/443/0457-4184/index.php?id=464>.
- Lavery, P.S., Hyndes, G. and Brearley, A., 2003. How does seagrass diversity influence faunal diversity and is the influence consistent across different assemblages of organisms? *Gulf of Mexico Science*, 22 (1): 113.
- Marba, N., Díaz-Almela, E., & Duarte, C. M. (2014). Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation*, 176, 183-190.
- Mateo, M. A., Sanchez-Lizaso, J. L., & Romero, J. (2003). *Posidonia oceanica* 'banquettes': a preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrients budget. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(1), 85-90.



- MAYOT, N., BOUDOURESQUE, C. F., & LERICHE, A. (2003). Compréhension des processus de régression de l'herbier à *Posidonia oceanica* de la Côte Bleue. RAPPORT SUR LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES.
- Mayot, N., Boudouresque, C.F. and Leriche, A., 2005. Unexpected response of the seagrass *Posidonia oceanica* to a warm-water episode in the North Western Mediterranean Sea. *Comptes Rendus Biologies*, 328: 291-296.
- Novak, R., 1984. A study in ultra-ecology : Microorganisms on the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *P.S.Z.N.I: Marine Ecology*, 5 (2): 143-190.
- Otero M.M., Simeone, S., Aljinovic, B., Salomidi, M., Mossone, P., Giunta Fornasin M.E., Gerakaris V., Guala I., Milano P., Heurtefeux H., Issaris Y., Guido M., Adamopoulou, M. (2018). POSBEMED : Gouvernance et gestion des systèmes plage/dunes à Posidonie. Rapport final, 66 pp.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C. and Pergent, G., 1998 a. Use of remote sensing for the characterization of the Mediterranean coastal environment – the case of *Posidonia oceanica*. *Journal of coastal conservation*, 4: 59-66.
- Peirano, A., Stoppelli, N. and Bianchi, C.N., 1995. Monitoring and study techniques of seagrasses in Liguria. In: *La Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*. In *Revista Marittima* : 88-91.
- Pergent, G. and Pergent-Martini, C., 1991. Leaf renewal cycle and primary production of *Posidonia oceanica* in the bay of Lacco Ameno (Ischia, Italy) using lepidochronological analysis. *Aquatic Botany*, 42: 49-66.
- Pergent, G., Romero, J., Pergent-Martini, C., Mateo, M. A., & Boudouresque, C. F. (1994). Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, 139-146.
- Pergent, G., Pergent-Martini, C., & Boudouresque, C. F. (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54, 3-27.
- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., & Verlaque M. (2012). Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée : résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Malaga, Espagne : IUCN, 80.
- Procaccini, G., Buia, M.C., Gambi, M.C., Perez, M., Pergent, G., Pergent-Martini, C. and Romero, J., 2003. The seagrasses of the Western Mediterranean. In: Green, E.P. and Short F.T. (Eds.), *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press Publishers : 48-58.
- Remy F. (2010). Structure trophique et diversité des macro-organismes associés aux litières de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, dans la baie de Calvi en Corse. Université de Liège, 71.
- Rico-Raimondino, V. (1995). Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 2).
- Romero, J., 1989. Seasonal pattern of *Posidonia oceanica* production: growth, age and renewal of leaves. In: Boudouresque, C.F., Meneisz, A., Fresi, E. and Gravez, V. (Eds.), *International Workshop on Posidonia Beds*. GIS Posidonie publ., France : 63-67.
- Vacchi, M., De Falco, G., Simeone, S., Montefalcone, M., Morri, C., Ferrari, M., & Bianchi, C. N. (2017). Biogeomorphology of the Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1), 42-54.
- Vassallo P., Paoli C., Rovere A., Montefalcone M., Morri C., & Bianchi C. N. (2013). The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: A natural capital assessment. *Marine pollution bulletin*, 75(1-2), 157-167.





Annexe 1 : Résultats des mesures de paramètres structuraux de l'herbier de Posidonie au niveau des 4 stations d'étude.

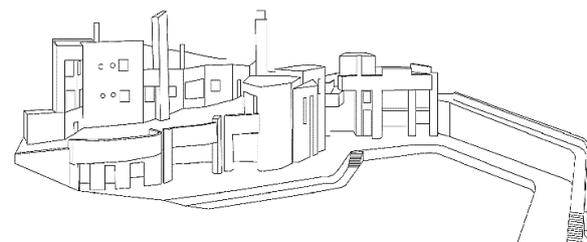
50

Densité (m ²)	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
1	105	130	175	265
2	340	660	350	160
3	315	340	325	220
4	290	215	355	345
5	325	350	475	150
6	140	280	275	315
7	315	350	240	255
8	115	245	390	205
9	355	320	0	320
10	240	255	0	225

% recouvrement	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
1	20	33	90	95
2	75	100	100	100
3	80	100	90	100
4	50	80	80	100
5	80	100	100	70
6	20	90	75	70
7	70	90	80	100
8	40	60	100	100
9	70	100	0	80
10	60	50	0	70

Colonisation (nb fais. plagio/quadrat)	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
1	0	2	1	3
2	0	2	2	2
3	1	0	1	4
4	9	3	1	3
5	0	2	3	15
6	0	2	1	5
7	2	0	1	13
8	3	14	0	1
9	2	0	0	1
10	4	6	0	7

Compacité (cm)	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
1	18	0	30	42
2	20	10	25	23
3	30	17	40	30
4	30	8	35	29
5	18	12	25	41
6	20	5	0	42
7	18	0	0	10
8	28	0	0	38
9	21	0	30	3
10	35	7	25	27
11	35	11	15	10
12	10	3	20	20
13	25	0	50	10
14	0	2	15	12
15	30	0	25	32





STARESO
Station de Recherches Sous-Marines
et Océanographiques

