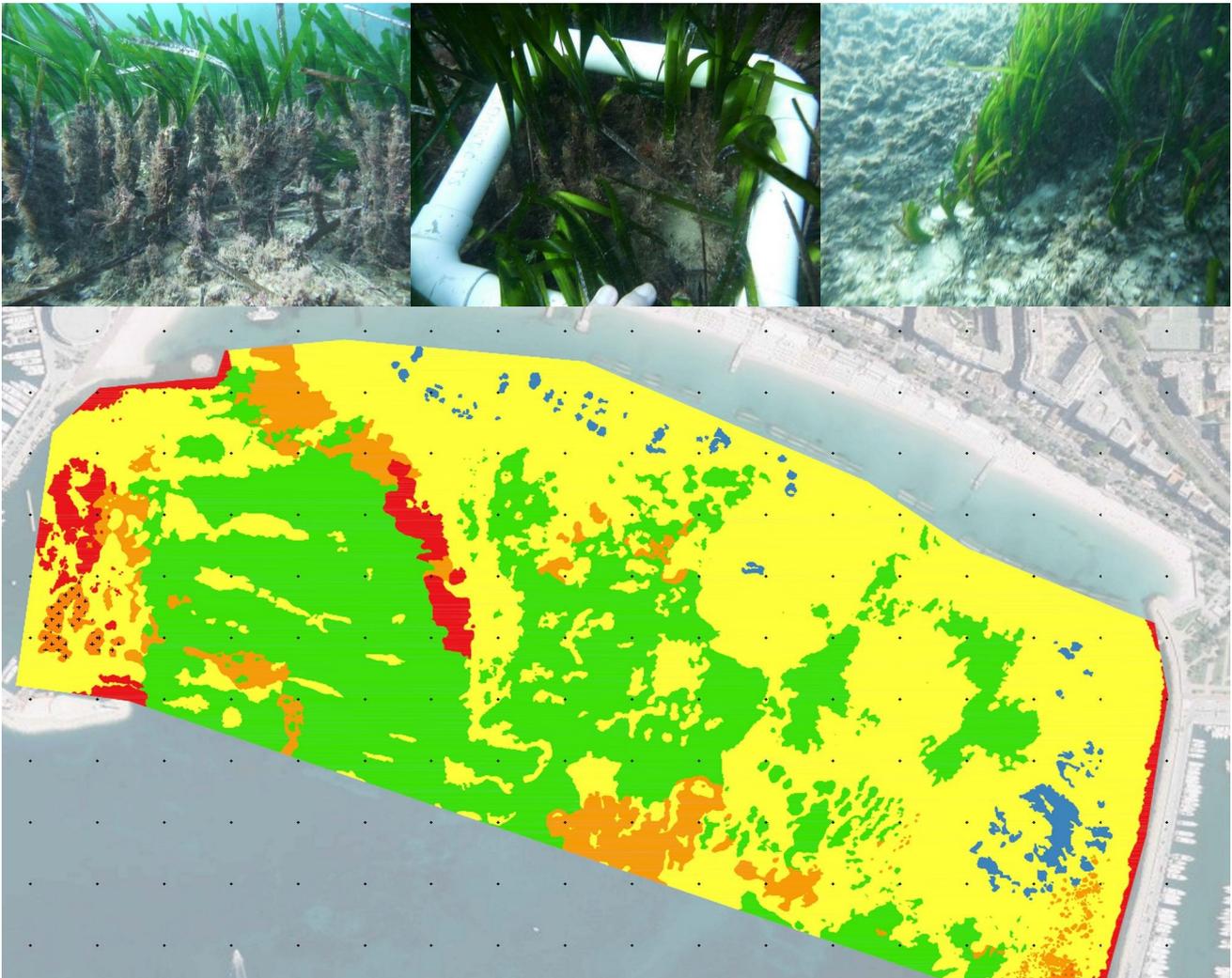


RAPPORT DE MISSION
Cartographie des biocénoses
Caractérisation de l'état de l'herbier
-
Cannes (06) - Plage Croisette



Destinataire SETEC
Rédacteurs LETEURTROIS Marine - NOEL Claire - PERON Emmanuel
Ref. SEMANTIC N° R/23/151/EP du 13/12/2023
Ref. Client Bon pour accord du 29/09/2023



RAPPORT DE MISSION

Évolution du document

Date	Référence	Évolution
13/12/2023	R/23/151/EP	Version initiale

Autre document relatif à cette étude

Version N°	Date	Référence	Évolution
1		R/22/127/EB	Version initiale

Contrôle Administratif - Vérifié par :		Contrôle Qualité - Vérifié par :	
Nom :	SIGNORET Sandra	Nom :	TEMAMOS Jean-Marc
Fonction :	Assistante Direction	Fonction :	Directeur
Date :	13/12/2023	Date :	13/12/2023



SOMMAIRE

I. Introduction.....	5
I.1) Présentation du projet.....	5
I.2) Objectifs de la mission.....	5
I.3) Emprise de la mission.....	5
II. Descriptif des levés.....	6
II.1) Déroulement chronologique.....	6
II.2) Relevé de l'échelle de marée.....	6
III. Principes & Protocoles de suivi des biocénoses.....	7
III.1) Introduction : Principe du suivi des végétations sous-marines protégées.....	7
III.1.a) Espèces de végétations sous-marines.....	7
III.1.b) Objectifs du suivi (ou monitoring) des herbiers.....	7
III.1.c) Méthodologie de suivi en adéquation avec le Guide cadre Eval_Impact de la DREAL.....	7
III.1.d) Méthodologie de cartographie des herbiers.....	8
III.1.e) Phases de travaux à réaliser.....	8
III.1.f) Références.....	9
III.2) Principe & adéquation de la méthode de suivi des herbiers de posidonies.....	10
III.2.a) Méthode de suivi des herbiers de posidonies : Paramètres suivis.....	10
III.2.b) Adéquation de la méthodologie aux recommandations du guide Dreal EVAL_IMPACT 2018.....	10
III.3) Principe & adéquation de la méthode de suivi des cymodocées.....	11
III.3.a) Dynamique des herbiers de cymodocées.....	11
III.3.b) Méthode de suivi des herbiers de cymodocées.....	12
III.3.c) Adéquation de la méthodologie aux recommandations du guide Dreal EVAL_IMPACT 2018.....	13
III.4) Principe & adéquation de la méthode de suivi des Grandes Nacres.....	14
III.4.a) Suivi des individus de Grande Nacre.....	14
III.4.b) Adéquation de la méthodologie avec les recommandations du guide DREAL EVAL_IMPACT 2018.....	15
IV. Cartographie des biocénoses : Moyens et méthodologie.....	16
IV.1) Equipe.....	16
IV.2) Moyens matériels.....	17
IV.2.a) Instrumentation.....	17
IV.3) Logiciels.....	19
IV.4) Vedette bathymétrique - Navire océanographique : SEMANTIC.....	21
IV.5) Méthodologie de suivi : Approche Surfactive.....	22
IV.5.a) Principe de l'approche surfactive (cartographie).....	22
IV.5.b) Méthodologie globale pour la cartographie.....	23
IV.5.c) Méthodologie pour les mesures sonar latéral et rugosité bathymétrique.....	24
IV.6) Méthodologie pour la classification acoustique (Méthode SACLAF : DIVA & CLASS).....	26
IV.7) Méthodologie pour les travaux de contrôle de la vérité terrain par vidéo géo-référencée.....	28
IV.8) Méthodologie de suivi : Approches Linéaire & Ponctuelles en exploration subaquatique.....	30
IV.8.a) Réalisation des vérités terrain par inspection subaquatique : Stations & Transects.....	30
IV.8.b) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance.....	30
IV.9) Méthodologie pour la cartographie des herbiers : Fusion multi-capteurs & Synthèse.....	32
IV.9.a) Étape 1 : Mesures géophysiques.....	32
IV.9.b) Étape 2 : Réalisation des vérités terrain.....	34
V. Cartographie des biocénoses : Traitement des données et résultats.....	36
V.1) Étape 3 : Fusion des données et cartographie.....	36
V.1.a) MNT.....	36
V.1.b) Sonar latéral.....	37
V.1.c) Algorithme de détection de changement.....	37
V.1.d) Résultats des levés vidéos sous-marine.....	38
V.2) Cartographie de l'herbier de posidonies.....	39
V.2.a) Indice de rugosité.....	39
V.2.b) Mosaïque sonar.....	39
V.2.c) Fusion des informations rugosité et intensité.....	39
V.3) Explications et illustration des zones.....	41



VI. Caractérisation de l'état de l'herbier : Moyens humains et matériels.....	43
VI.1) Équipe.....	43
VI.2) Moyens matériels.....	45
VI.2.a) Instrumentation.....	45
VI.3) Logiciels.....	46
VII. Caractérisation de l'état de l'herbier : Méthodologie.....	47
VII.1) Réalisation des vérités terrain par inspection subaquatique : Stations & Transects.....	47
VII.1.a) Méthodologie & Moyens matériels mis en œuvre.....	47
VII.2) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance.....	47
VII.2.a) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance : Station & Transects.....	47
VII.2.b) Méthodologie pour les observations ponctuelles ou en transect.....	49
VII.3) Méthodologie pour l'évaluation de la vitalité de l'herbier de posidonies - Stations de suivi.....	50
VII.3.a) Mesure de la densité des faisceaux.....	50
VII.3.b) Recouvrement de l'herbier.....	51
VII.3.c) Orientation des rhizomes ou pourcentage de rhizomes plagiotropes.....	51
VII.3.d) Déchaussement des rhizomes.....	52
VII.3.e) Longueur des deux plus grandes feuilles - Nombre de feuilles par faisceau.....	52
VII.3.f) Espèces associées sur l'ensemble des stations.....	53
VII.4) Méthodologie pour l'estimation de la répartition et de la vitalité de l'herbier de cymodocées.....	54
VII.4.a) Méthodologie pour les observations ponctuelles de la répartition sur station & richesse faunistique environnante.....	54
VII.4.b) Longueur des feuilles.....	54
VII.4.c) Prises de vues avec quadrat pour la caractérisation de la densité à partir de photographie.....	54
VIII. Caractérisation de l'état de l'herbier : Traitement des données et résultats.....	55
VIII.1) Conditions sur site & Déroulé des travaux.....	55
VIII.2) Observations & Mesures de la vitalité de l'herbier de posidonies.....	56
VIII.2.a) Position des stations.....	56
VIII.2.b) Station S9.....	57
VIII.2.c) Station S6.....	58
VIII.2.d) Station S11.....	59
VIII.2.e) Station S3.....	60
VIII.2.f) Station S10.....	61
VIII.3) Transects d'observation sur digue.....	62
VIII.4) Observations de la faune associée aux stations d'herbiers.....	64
VIII.5) Atlas photographique.....	65
VIII.6) Synthèse & Conclusions.....	66
VIII.6.a) Résultats des observations subaquatiques.....	66
VIII.6.b) Comparaison avec les données de 2018.....	69
VIII.6.c) Conclusions.....	69

I. INTRODUCTION

I.1) Présentation du projet

Dans le cadre d'un projet de création d'un émissaire en mer, nous avons réalisé une campagne de mesure visant à actualiser, affiner et compléter la connaissance cartographique et qualitative des biocénoses marines sur la zone du projet.

I.2) Objectifs de la mission

SEMANTIC TS a déployé ses moyens de mesures à Cannes (06) - Plage Croisette. Les mesures ont été réalisées le 08 et le 09/11/2023. Ce rapport présente les travaux de levés et de traitement des données, ainsi que les cartographies obtenues.

L'objectif des présents travaux était de réaliser dans la zone d'étude :

- Une reconnaissance des fonds marins :
 - Cartographie des biocénoses
 - Vidéos sous-marines géo-référencées
- Une caractérisation de l'état de l'herbier :
 - Plongées d'observation et de stations RSP – 5 stations

I.3) Emprise de la mission



Figure 1 : Zone d'étude



II. DESCRIPTIF DES LEVÉS

II.1) Déroulement chronologique

Date	Travaux
07/11/2023 Matin	Transit par la route depuis Sanary
07/11/2023 Matin	Mise à l'eau du navire à Cannes Port du Moure Rouge
08/11/2023 Matin	Transit par la mer jusqu'à la zone d'étude
08/11/2023 Matin	Relevés SONAR
08/11/2023 Après midi	Relevés géophysiques et vérités terrain vidéo
08/11/2023 Soir	Repli sur Port Pointe Croisette
09/11/2023 Matin	Relevés vérités terrain vidéo
09/11/2023 Après midi	Sortie du bateau à Cannes Mourre Rouge
09/11/2023 Après midi	Transit par la route vers Sanary

II.2) Relevé de l'échelle de marée

Néant.

Utilisation d'un couple GNSS – RTK Base-Mobile.

III. PRINCIPES & PROTOCOLES DE SUIVI DES BIOCÉNOSES

III.1) Introduction : Principe du suivi des végétations sous-marines protégées

III.1.a) Espèces de végétations sous-marines

En Méditerranée, on recense 5 espèces de plantes marines (autrefois appelées phanérogames et à présent nommées magnoliophytes) [Boudouresque et al. 2006 : Préservation et conservation de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Accord RAMOGE, Monaco et GIS posidonie publ]. Outre les herbiers de posidonies, les herbiers présents dans les baies correspondent généralement à des herbiers à *Cymodocea nodosa* ou à *Zostera noltii* (magnoliophytes à feuilles plus étroites et plus courtes que celles de la posidonie).

Ces espèces sont des espèces protégées.



Posidonies & Cymodocées
Posidonia oceanica & *Cymodocea nodosa*

III.1.b) Objectifs du suivi (ou monitoring) des herbiers

L'objectif du suivi des herbiers sous-marins est de caractériser l'évolution dans le temps de :

- leur étendue ou distribution spatiale (à partir des cartographies réalisées)
- leur état de vitalité (à partir d'observations ponctuelles ou en transects)

Le suivi de l'étendue surfacique des herbiers est réalisé, comme illustré ci-dessous :

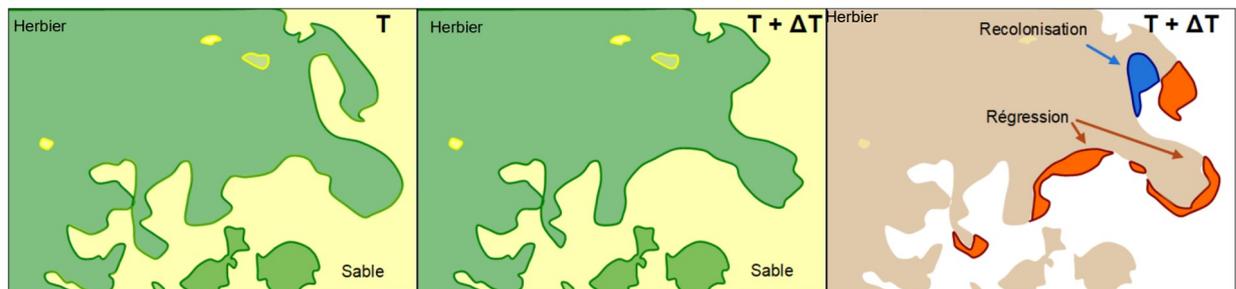


Figure 2 : Principe du monitoring surfacique d'un herbier sous-marin

A gauche : Carte réalisée à T - **Au centre** : Carte réalisée à T+ ΔT - **A droite** : Différentiel des cartes réalisées à T et T+ ΔT
Les zones de régression de l'herbier sont représentées en orange, les zones de recolonisation de l'herbier en bleu.

Les résultats sont présentés sous forme de cartographies géo-référencées permettant une superposition des limites de l'herbier et de leur évolution éventuelle. En effet, le travail de monitoring consiste à comparer les cartographies obtenues à T et à [T + ΔT]. Il permet de mettre en évidence les surfaces d'herbier détruites ou recolonisées. Sur l'exemple ci-dessous les zones de régression de herbier sont représentées en orange, les zones de recolonisation de l'herbier en bleu.

De plus, à chaque retour sur zone, les observations linéaires réalisées le long des transects et les observations en stations sont comparées avec les précédentes.

III.1.c) Méthodologie de suivi en adéquation avec le Guide cadre Eval_Impact de la DREAL

SEMANTIC TS met en œuvre les méthodologies de monitoring des herbiers explicitées dans le guide CARTOCEAN [C. Noël, P. Boissery, N. Quelin, V. Raimondino, 2012 : Cahier Technique du Gestionnaire : Analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies, 96 p - CartOcean, Agence de l'eau RMC, Dreal PACA, Région PACA].

Le guide Cadre Eval_Impact édité par les DREAL PACA et Occitanie en juin 2018 suggère, tant pour les méthodes de suivi surfacique, que pour les observations et mesures des paramètres de la vitalité de se référer à ce guide.

Notons que SEMANTIC TS a en particulier contribué à la réflexion menée par la DREAL lors de la rédaction des fiches thématiques relatives aux herbiers de posidonies, de zostères et de cymodocées.

III.1.d) Méthodologie de cartographie des herbiers

Plus particulièrement, pour réaliser la cartographie des herbiers, de posidonies ou de cymodocées et zostères, SEMANTIC TS met en œuvre la méthodologie de monitoring RTK exploitée en pages 78 et 79 du guide CARTOCEAN.

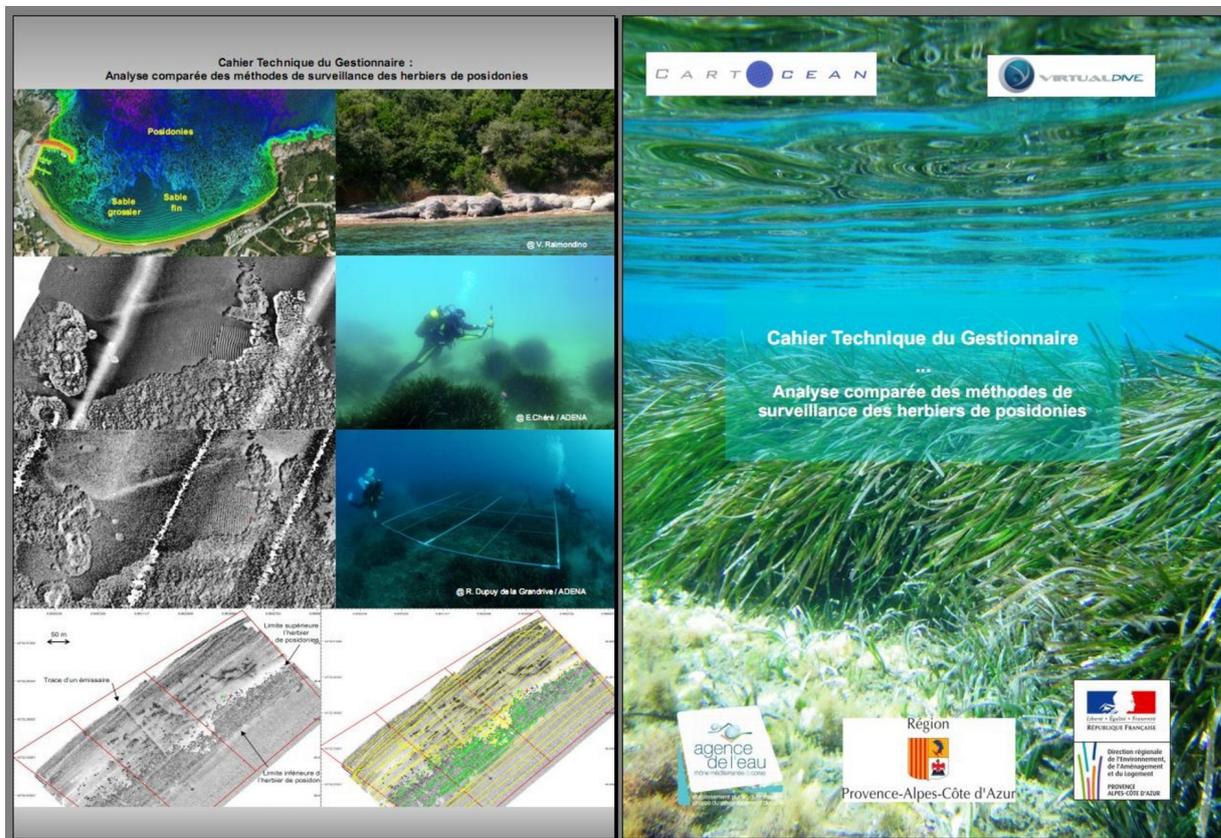


Figure 3: Cahier technique du gestionnaire - Méthodes de surveillance des herbiers de posidonie (Cartocean – SEMANTIC TS)

III.1.e) Phases de travaux à réaliser

La méthode de suivi est basée sur la réalisation des phases de travaux suivantes :

Phase 1 : Approche surfacique : Cartographie de l'herbier (en vu du suivi de sa répartition surfacique)

Une première approche surfacique vise à cartographier les herbiers du secteur et à acquérir les données de rugosité bathymétriques complémentaires. Ces dernières apportent des éléments de réflexion pour analyser les variations potentielles de l'étendue des herbiers.

Cette approche consiste à réaliser les travaux suivants :

- **Phase 1.1** : Acquisition **sonar latéral & rugosité bathymétrique (méthode de monitoring RTK)**.
- **Phase 1.2** : Acquisition de **vidéos géo-référencées** (objectif : validation des hypothèses de la cartographie en phase initiale).

L'emprise du suivi surfacique est définie au démarrage du projet ; elle intègre la zone du projet et sa proximité.

L'analyse des données cartographiques, permet de proposer un plan d'échantillonnage pour la réalisation d'observations linéaires et ponctuelles.

Phase 2 : Approches linéaire et ponctuelle (suivi de la répartition linéaire & observation de sa densité)

Observations par inspection subaquatique dans la zone d'emprise directe du projet (transects ou stations selon l'homogénéité de la couverture végétale) et prise de vues sous-marines géo-référencées.

- **Approche linéaire** : réalisation de **transects** perpendiculaires à la cote et traversant l'herbier de part et d'autre. (Objectif : qualification du milieu).
- **et/ou Approche ponctuelle** : réalisation d'observations sur **stations** : évaluation de la densité (au niveau de l'emprise de l'ouvrage particulièrement) & présence des espèces associées.
- **et/ou Approche ponctuelle complémentaire** : observations par **quadrat-vidéo** permettant de renseigner sur la présence/absence de végétations et de fournir des informations qualitatives sur sa densité.



III.1.f) Références

[Boudouresque et al. 2006 : Préservation et conservation de l'herbier à Posidonia oceanica. Accord RAMOGE, Monaco et GIS posidonie publ]

[DREAL 2018] 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

[Guide CARTOCEAN 2012] : C. Noël. P. Boissery. N. Quelin. V. Raimondino. 2012 : Cahier Technique du Gestionnaire : Analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. 96 p - CartOcean, Agence de l'eau RMC, Dreal PACA, Région PACA]. **Ce guide s'applique aux herbiers de posidonies mais plus généralement à tous les herbiers sous-marins.**

[Marba 1995] Nuria Marba, Carlos M. Duarte, « Coupling of seagrass (*Cymodocea nodosa*) dynamics with subaqueous dune migration », *Journal of Ecology*, vol. 83, no 3, juin 1995, p. 381–389

[OFB 2020] <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc/cymodocee-cymodocea-nodosa>

[Olesen et al 2002] Birgit Olesen, Susana Enríquez, Carlos M. Duarte, Kaj Sand-Jensen. Depth-acclimation of photosynthesis, morphology and demography of *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* in the Spanish Mediterranean Sea. Vol. 236: 89–97, 2002 MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES Published July 3

[Pergent-Martini C., Pergent G., 2010] . Pergent-Martini C., Pergent G., Propositions de lignes directrices pour la standardisation des méthodes de cartographie et de surveillance des magnoliophytes marines en Méditerranée. PNUE-PAM-CAR/ASP, Contrat N°72/2009, Tunis :1 – 66]

III.2) Principe & adéquation de la méthode de suivi des herbiers de posidonies

III.2.a) Méthode de suivi des herbiers de posidonies : Paramètres suivis

En ce qui concerne les herbiers de posidonies, les paramètres à suivre sont la **répartition surfacique et linéaire** de l'herbier, ainsi que la **caractérisation de sa vitalité**.

La répartition surfacique est directement issue de la cartographie.

Le **relevé de la limite de l'herbier de posidonies (suivi linéaire)** est effectué d'après les données sonar latéral.

Les mesures suivantes peuvent être réalisées sur des stations dont les positions sont repérées précisément par GPS afin de permettre un retour sur zone pour un suivi ultérieur.

Outre la mesure de :

- **la densité des faisceaux**

Les mesures suivantes peuvent être réalisées :

- **le pourcentage de rhizomes plagiotropes ;**
- **le recouvrement de l'herbier ;**
- **le déchaussement des rhizomes ;**
- **la longueur des deux plus grandes feuilles.**

III.2.b) Adéquation de la méthodologie aux recommandations du guide Dreal EVAL_IMPACT 2018

La méthodologie proposée se base à la fois sur une approche surfacique (analyse cartographique) et sur des compléments d'informations relevés en plongée subaquatique (stations) ainsi qu'à l'aide d'un système innovant d'acquisition de vidéo-remorquée avec retour temps-réel en surface développé par SEMANTIC TS pour les besoins d'études similaires à celle-ci et afin de diminuer les besoins de vérités terrain par plongeur.

Cette méthodologie est recommandée dans le dernier guide EVAL_IMPACT édité par la DREAL PACA et DREAL Occitanie en 2018 [DREAL 2018- Fascicule N°4 Fiche EH-1 page 82].

GUIDE CADRE EVAL_IMPACT
IMPACTS DES PROJETS D'ACTIVITÉS ET D'AMÉNAGEMENTS EN MILIEU MARIN MÉDITERRANÉEN.
RECOMMANDATIONS DES SERVICES INSTRUCTEURS.
FASCICULE 4 - SUIVI ENVIRONNEMENTAL

FICHE EH-1 : HABITAT HERBIERS DE POSIDONIES

OBJECTIFS DU SUIVI

- Évaluer l'impact du projet sur l'Herbier de posidonie
- Évaluer l'impact du projet sur les différentes fonctionnalités de l'habitat herbier de posidonie

L'herbier de posidonie est protégé en tant qu'épave. Depuis peu, des méthodes de suivi se développent pour caractériser les différentes fonctionnalités de l'habitat herbier de posidonie. Ce type de suivi est particulièrement adapté pour des projets de taille conséquente ou à forts enjeux environnementaux.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE L'HERBIER DE POSIDONIE

Altération mécanique (frottements, écrasements, chocs et amachages), houle / vagues, courant, stocks sédimentaires, topo-bathymétrie, trait de côte, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et le biote, flux à la mer (apport eau douce), espèces introduites.

L'herbier de posidonie (ou impact direct lié à l'arrachage ou à l'enfouissement) est sensible à ces pressions : matières en suspension (Manzanera et al., 1998) et lumière (Ruiz et Romero, 2003). Les modifications hydro-sédimentaires liées à un aménagement / usage sont donc à étudier en amont en priorité.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'HABITAT EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activités / aménagements

RÈGLEMENTATION

Règlementation	Remarques
Arrêté ministériel du 19 juillet 1988	Il est interdit « de détruire, de colporter, de mettre en vente, de vendre ou d'acheter tout ou partie » de la plante
Directive Habitats Faune et Flore du 21 mai 1992 (DWHF : 92/43/CEE)	Annexe 1. Habitat d'intérêt communautaire de type prioritaire
Convention de Berne du 19 septembre 1979	Annexe 1 de la convention
Convention de Barcelone de 1976 – révisée en 1995	Annexe 2. Protocole relatif à la conservation des aires spécialement protégées – Décembre 2002.

PARAMÈTRES MESURÉS

Suivi de l'herbier de posidonie «

- Répartition de l'herbier de posidonie (approche surfacique et linéaire)
- État de vitalité de l'herbier de posidonie (approche ponctuelle) : cela peut concerner le recouvrement, la densité de faisceaux, la longueur maximale des feuilles, le nombre moyen de feuilles par faisceau, le déchaussement des rhizomes, la compacité de la matte, etc.

Parmi ces paramètres, le recouvrement, la densité de faisceaux, l'épiphytisme (longueur des feuilles) et le déchaussement sont les paramètres les plus pertinents à suivre pour comprendre l'état de vitalité de la posidonie dans le cadre d'un projet.

Pour plus de précisions, se référer au guide CartOcean (Noël et al., 2012).

Suivi de l'habitat herbiers de posidonies

Différents compartiments sont à suivre pour caractériser la fonctionnalité de l'habitat (EBQ), Personnic et al., 2014).

- Suivi de la densité de l'herbier, du recouvrement et du taux de broutage
- Croissance de la posidonie (lepidochronologie)
- Dénombrement des grandes naces et des macroinvertébrés par compartiments (gébérovores, broyeurs, carnivores, etc.)
- Dénombrement des poissons présents dans l'herbier (broyeurs, invertévores, piscivores)

STRATÉGIE DE MESURES

- Période préférentielle : mesurer les paramètres en condition météorologique normale. La meilleure période est le printemps.
- Fréquence : Point zéro avant chantier et suivi en phase d'exploitation.
- Choix des stations de mesure : principalement à proximité immédiate de la zone du projet. Éventuellement au cœur du projet si le projet se situe sur l'herbier (ce qui est normalement exclu et ne peut être qu'exceptionnel). Si l'herbier est suffisamment éloigné, un suivi au niveau de ses limites supérieures et inférieures est suffisant. La profondeur intermédiaire (15 m) est également quelquefois suivie.
- Durée du suivi : Pour les aménagements : 10 et

2012. Cahier technique du Gestionnaire : analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. 96P CartOcean, AERM/GC, DREAL PACA, Région PACA.
http://cartocean.fr/pages/Cahier_Technique_Methodes_Suivi.htm

Pergent G., Szczepan 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., Sarrano D. et Verlaque M., 2012. Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée. Résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Málaga, Espagne. IUCN. 80 pages.
https://cmsdata.iucn.org/downloads/es_herbiers_de_magnoliophytes_marines_de_mediterranee_pdf_version_in_french_3.pdf

Personnic S., Boudouresque C.F., Astruch P., Ballesteros E., Blouet S., Bellan-Santini D., Bonhomme P., Thibault-Botha D., Feunteun E., Harmelin-Vivien M., Pergent G., Pergent-Martini C., Pastor J., Poggiale J.-C., Renaud F., Thibaut T. et Rutton S., 2014. An ecosystem-based approach to assess the status of a Mediterranean ecosystem, the Posidonia oceanica seagrass meadow. PLOS ONE 9 (6): e98994. doi:10.1371/journal.pone.0098994.

Ruiz J.M. et Romero J., 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass Posidonia oceanica. Marine Pollution Bulletin 46 : 1523-1533.

Sonar tracté et mesure ponctuelle (© Semantic TS)

Figure 4 : Fiche EH-1 page 82. Extraite de : 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. Notons que cette fiche est illustrée par SEMANTIC TS

III.3) Principe & adéquation de la méthode de suivi des cymodocées

III.3.a) Dynamique des herbiers de cymodocées

Cymodocea nodosa est une magnoliophyte marine. Elle forme de larges prairies dans l'étage infralittoral. Elle est associée à l'habitat Sables Fins Bien Calibrés (SFBC). L'appareil végétatif de la cymodocée comporte un rhizome enfoui dans le sédiment, portant des racines et des feuilles étroites rassemblées en faisceaux. Ses feuilles rubanées vert clair sont étroites (3 à 4 mm de largeur, 7 à 9 nervures longitudinales parallèles), allongées (jusqu'à 40 cm). L'extrémité présente des bords dentelés, visibles à la binoculaire.



Figure 5 : Identification *Cymodocea nodosa* - Feuille à bords dentelés - Cymodocées (*Cymodocea nodosa*)

Cette espèce présente d'une part un cycle saisonnier marqué, avec de fortes variations de taille saisonnales et pluriannuelles (perte des feuilles possible en hiver) [OFB 2020]. Notons que ses taux de renouvellement des feuilles peuvent atteindre 4 fois celui des herbiers de posidonies [Olesen et al 2002].

Cymodocea nodosa apprécie les sédiments instables sableux. Si l'accrétion du sable n'est pas trop rapide, les stolons peuvent croître verticalement à travers elle, mais les herbiers peuvent être submergés par l'accrétion rapide. La mort des plants est causée principalement par l'érosion car les racines sont découvertes, des organismes encroûtants ou perçants prolifèrent et les plantes sont emportées. L'accrétion du sable stimule également les graines en dormance, la floraison et peut permettre la recolonisation lorsque les conditions le permettent [Marba 1995].

La liste des paramètres physico-chimiques et biologiques auxquels *Cymodocea nodosa* est potentiellement sensible est la suivante [DREAL 2018] : Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, houle, topo-bathymétrie, stocks sédimentaires, trait de côte, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, les sédiments et le biote, flux à la mer (débit eau douce).

La dynamique de l'herbier de cymodocées est bien supérieure à celle de l'herbier de posidonies et est complexe en raison du nombre et de la diversité des phénomènes potentiellement impactant.



III.3.b) Méthode de suivi des herbiers de cymodocées

Paramètres suivis

Les paramètres à suivre sont :

- la répartition surfacique de l'herbier, ainsi que
- la caractérisation de sa densité et la longueur des feuilles.

Méthodologie surfacique : cartographie

La cartographie des herbiers est réalisée à partir des données d'un interféromètre (sonar latéral extrêmement bien géo-référencé et dont l'attitude est corrigée par une centrale Cette méthode a été spécifiquement mise au point par SEMANTIC TS dans le cadre de projets de R&D menés depuis 2003, afin de résoudre la problématique de la cartographie et le suivi des herbiers de cymodocées et de posidonies.

Elle est dédiée à l'analyse de la dynamique des herbiers de cymodocées et de posidonies.

Les sondeurs multi-faisceaux classiques ne sont pas adaptés au suivi des cymodocées. Si une option de ces sondeurs (snippets) permet d'obtenir de l'imagerie à partir du niveau de l'écho de chacun des faisceaux, ceux-ci émettent au mieux quelques centaines de faisceaux, et les données acoustiques latérales (le long de la fauchée) sont de quelques centaines de points au plus. Le nombre de points d'un système sonar latéral tel que celui que nous proposons d'opérer est quant à lui de l'ordre de 8000 points latéralement.

Les sondeurs multi-faisceaux ne sont donc pas adaptés en terme d'imagerie sonar latéral, car ils fournissent latéralement environ 20 fois moins de points qu'un sonar latéral pur, et manquent donc de résolution pour la mise en évidence de secteurs d'herbiers de cymodocées. C'est la raison pour laquelle nous avons proposé d'opérer, en sus d'un sondeur multi-faisceaux, un sonar latéral de coque.

Cette méthode est la seule actuellement (en 2022) capable de cartographier de vastes prairies d'herbiers avec la résolution nécessaire aux besoins de l'étude (taille minimale du pixel requise 25 cm x 25 cm). Elle nécessite l'usage d'un interféromètre (sonar latéral) seul appareillage capable de mettre en évidence les ombres portées des feuilles des herbiers, au travers d'une mosaïque sonar latéral faisant apparaître des zones homogènes de gris plus foncées au niveau des herbiers.

Stratégie temporelle de mesure

La période préférentielle que nous préconisons suite à nos observations régulières de terrain et notre expérience s'étend depuis la fin printemps et jusqu'à la fin de l'été lorsque les feuilles sont les plus longues. Le guide EVAL IMPACT 2018 mentionne la période de fin de printemps, mais suite à nos échanges avec la DREAL durant l'été 2021, la période préconisée s'étendra dans la prochaine version du guide jusqu'à la fin de l'été.

Plan échantillonnage pour les vérités terrain

En raison de la forte dynamique des herbiers de cymodocées le plan d'échantillonnage devra être reconsidéré à chaque nouvelle campagne en prenant en compte les résultats du levé surfacique nouvellement réalisé.

III.3.c) Adéquation de la méthodologie aux recommandations du guide Dreal EVAL_IMPACT 2018

La méthodologie proposée se base à la fois sur une approche surfacique (analyse cartographique) et sur des compléments d'informations relevés en plongée subaquatique (transects) ainsi qu'à l'aide d'un système innovant d'acquisition de vidéo-remorquée avec retour temps-réel en surface) et/ou d'un système quadrat-vidéo innovant. Ces systèmes ont été développés par SEMANTIC TS pour les besoins d'études similaires à celle-ci et afin de diminuer les besoins de vérités terrain par plongeur.

Cette méthodologie est recommandée dans le dernier guide EVAL_IMPACT édité par la DREAL PACA et DREAL Occitanie en 2018 [DREAL 2018- Fascicule N°4 Fiche EH-6 page 98].

GUIDE CADRE EVAL_IMPACT
IMPACTS DES PROJETS D'ACTIVITÉS ET D'AMÉNAGEMENTS
EN MILIEU MARIN MÉDITERRANÉEN
RECOMMANDATIONS DES SERVICES INSTRUCTEURS
FASCICULE 4 - SUIVI ENVIRONNEMENTAL

FICHE EH-6 : HERBIER DE CYMODOCÉE

OBJECTIFS DU SUIVI
Évaluer l'impact du projet sur l'herbier de cymodocée

PARAMÈTRES PHYSICO-CIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE LA CYMODOCÉE
Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, houles, topo-bathymétrie, stocks sédimentaires, trait de côte, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, les sédiments et le biote, flux à la mer (débît au doux), espèces introduites.

L'herbier de cymodocée est principalement sensible à la présence d'eau douce dans le sous-sol marin, qui permet la germination des graines. Les infiltrations d'eau douce / modification des nappes phréatiques ont un impact potentiel important. Ce critère est important à prendre en compte dans le cas du choix de la zone témoin ou de la zone choisie pour mener une opération de transplantation.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ
L'ensemble des projets d'activité / aménagement dont l'aire d'études intègre cet habitat. La probabilité d'infiltration d'eau douce rend d'autant plus important ce suivi.

Règlementation	Remarques
Avisé ministériel du 19 juillet 1988	Il est interdit « de dénuder, de décapiter, de mettre en vente, de vendre ou d'acheter tout ou partie » de la plante.
Convention de Berna du 19 septembre 1979	Annexe I de la convention

PARAMÈTRES MESURES
Répartition de l'herbier de cymodocée (surfacique et linéaire), densité de fasciaux, longueur des feuilles.

L'état de vitalité de l'herbier de cymodocée est peu étudié.

STRATÉGIE DE MESURES

- **Fréquence préférentielle** : mesurer les paramètres en condition météorologique normale. La meilleure période est la fin du printemps.
- **Fréquence** : point zéro avant chantier et suivi en phase d'exploitation.
- **Choix des stations de mesure** : zone de projet et proximité.
- **Durée du suivi** : aménagements : T0 et T + 1 + 5 + 10 / activités : T0 et T + 1 + 5 + 10 + 15 (suivi tous les 5 ans le temps de la durée d'autorisation d'exploitation).

PROTOCOLE TERRAIN
Transects à mener de la limite supérieure à la limite inférieure de l'herbier. Les méthodes surfaciques utilisées pour le suivi de l'herbier de posidonies peuvent également être utilisées (sonar latéral). Se référer au guide CartOcean (Noël et al, 2012).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN
Analyse cartographique, à comparer avec les données locales et les usages.

CÔÛT
2 plongeurs embarqués, soit un coût de 1 000 €, analyse des données compris.

SEULES D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Contamination chimique de l'eau : seuls NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page9>
- Pressions physiques : https://npr.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_70_La_Riviere_et_al_2016_Eval_sensibilite_Mediterranee_Pressions_physiques.pdf
- Turbidité / Amivie / sédimentation : pas de seuils. La cymodocée est plus résistante (dans une certaine mesure) aux apports de sédiments.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT
Il n'existe pas de réseaux de suivi de l'herbier de cymodocée hormis sur certaines zones particulières (lagunes, etc.).

ORGANISMES RESSOURCES
Université de Nice – Laboratoire ECOMERS
CNRS – UMR MARBEC

RÉFÉRENCES
Feugas M-P., Lamare V., Pergent G., in : DORIS, 20/5/2013 : Cymodocia nodosa (Llorca) Asch., <http://doris.mesem.fr>
Meinez A., Molinar H. et Caye G., 1993. Transplantation de phanérogames marines en Méditerranée. Bollettino di oceanologia teorica ed applicata, 11 (3-4) : 183-190.
Caye G., Bulard C., Meinez A. et Loques F., 1992. Dominant role of sea water osmotic pressure on germination in Cymodocia nodosa. Aquatic Botany, 42 : 187-193.
Caye G. et Meinez A., 1990. Facteurs agissant sur la germination de Cymodocia nodosa. Rapports et PV des réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée, 32(1) : 88 à 94.
Caye G. et Meinez A., 1986. Experimental study of seed germination in the seagrass Cymodocia nodosa. Aquatic Botany, 26 : 75-87.
Caye G. et Meinez A., 1985. Observations on the vegetative development, flowering and seeding of Cymodocia nodosa (Llorca) Ascheron, on the Mediterranean coast of France. Proceedings 5 th International Coral Reefs Symposium, Tahiti, French Polynesia, 22 : 277-289.
Caye G. et Meinez A., 1985. Evaluation de la longévité des rhizomes de Cymodocia nodosa d'après les variations cycliques de la longueur des entre nœuds. Rapports et PV des réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée, 29 (5) : 187-188.
Caye G. et Meinez A., 1984. Floraison et fructification des phanérogames marines Cymodocia nodosa (Llorca) Ascheron et Zostera noltii Homemann à Port Cros. Travaux scientifiques du Parc National de Port Cros. Travaux scientifiques du Parc National de Port Cros, 10 : 153-156.
Meinez A., 1978. Etude expérimentale de bouturage de certains végétaux sous-marins dans les ports et les plages artificielles. Revue de la Société Hydrotechnique de France, XV ème journée de l'Hydraulique, V : 9-14.
Meinez A., 1977. Note préliminaire concernant le repiquage de végétaux marins, en particulier de l'algue Caulerpa prolifera. Rapports et PV des réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée, 24 (4) : 169-170 (<http://www.alexandre-meinez.com/fr/index.php?sc=546>)
Noël C., Bossary P., Quelin N. et Raimondino V., 2012. Cahier technique du Gestionnaire : analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. 96P. CartOcean, AERMC, DREAL PACA, Région PACA.
http://cartocean.fr/pages/Cahier_Technique_Methodes_Suivi.htm

(© Semantic TS)

Figure 6 : Fiche EH-6 page 98. Extraite de : 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. Notons que cette fiche est illustrée par SEMANTIC TS



III.4) Principe & adéquation de la méthode de suivi des Grandes Nacres

III.4.a) Suivi des individus de Grande Nacre

Les observations seront réalisées le long de deux transects parallèles à la côte et les individus observés sont géolocalisés. Le dénombrement des individus est effectué par espèce (*Pinna nobilis*, *Pinna rudis*). Pour chaque individu présent dans le secteur d'étude, la mesure de ses paramètres et/ou le marquage peuvent être effectués.

Notons que la méthodologie proposée respecte les consignes du Professeur Nardo VICENTE spécialiste des individus de Grande Nacre. N. Vicente met actuellement en place un réseau de suivi de l'état des nacres sur notre littoral et propose de renseigner les éléments décrits dans la fiche suivante établie avec la Commission Ramoge.

RECUEIL D'OBSERVATIONS
sur la Grande Nacre
Pinna nobilis (Linneus, 1758)

RAMOGE en collaboration avec l'Institut Océanographique Paul Ricard (IR), la Direction de l'Environnement (M2C), l'ISPR (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), la Région Ligurie, et l'ARPAL (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Liguro), souhaite collecter d'amples informations sur la présence de cette espèce protégée dans les eaux couvertes par l'Accord afin d'avoir un ordre actualisé de la distribution de la Grande Nacre, ce qui permettra de définir d'éventuelles mesures de protection supplémentaires et d'identifier de nouvelles études.

La **Grande Nacre** (*Pinna nobilis*) est le coquillage bivalve le plus grand de la Méditerranée : elle peut atteindre et/ou dépasser 80 cm de hauteur et arriver jusqu'à 100 cm. Elle possède un byssus abondant qui lui permet de s'ancrer au substrat. Sa coquille coniforme est très fine et fragile (surtout chez le juvénile) et le sommet courbé des valves forme un arc. La surface des valves est écaillée en fines lamelles moins prononcées chez les individus adultes. Elle est marron fauve à l'extérieur et nacré à l'intérieur (au niveau de l'empreinte musculaire).

Endémique de la Méditerranée, la grande nacre est typique de l'Étage littoral, où elle est commune dans les herbiers de phanérogames, et en particulier de Posidonia oceanica mais aussi dans les fonds graviers, sableux et vaseux et elle peut s'implanter jusqu'à 60 m de profondeur et jusqu'à la partie la plus superficielle de l'Étage Circalittoral.

La présence de la *Pinna nobilis* est très souvent liée aux herbiers de Posidonia oceanica qui, cependant, depuis plusieurs décennies, a connu une régression. L'espèce est aussi récoltée pour des buts ornementaux et alimentaires et elle est vulnérable aux ancres et aux engins de pêche, surtout aux filets maillants fixes et au chalutage illégal.

Pour ces raisons la *Pinna nobilis* a été classée parmi les espèces en danger ou menacées (Annexe II du Protocole ASP/BIO de la Convention de Barcelone et Annexe IV de la Directive 92/43 Habitat).

Aujourd'hui les informations disponibles sur cette espèce sont liées à des projets d'études réalisées dans des sites spécifiques. Les informations quantitatives sur l'abondance (nombre d'individus par 100 m²) de cette espèce sont surtout limitées le long des côtes du bassin occidental de la Méditerranée.

Ainsi l'Accord RAMOGE estime qu'il est important de collaborer afin de protéger cette espèce par des initiatives de contrôle et de recensement de sa présence dans les eaux couvertes par l'Accord.

MODE D'EMPLOI DE LA FICHE
On peut participer à l'initiative RAMOGE en remplissant une fiche qui comporte des informations concernant les caractéristiques de *Pinna nobilis* observés. Une fiche sera à remplir pour chaque site d'observation.
Vous trouverez ci-dessous les éléments essentiels à prendre en compte à la fois pour remplir la fiche et pour la collecte des données.

- 1) Coordonnées de l'observateur** - Ce sont des données importantes qui permettent de contacter la personne qui remplit la fiche afin d'échanger d'éventuelles informations supplémentaires.
- 2) Description du site observé** - Il est nécessaire de préciser les données concernant le site observé. Aussi faut-il indiquer la Région, la ville, les coordonnées géographiques (latitude, longitude), la date de l'observation ainsi que la profondeur à laquelle on travaille. Il est également nécessaire de préciser le type de substrat en cochant la case correspondante.
- 3) Informations sur les individus observés** - Il est demandé d'indiquer une estimation de la densité, en utilisant comme mesure de référence une surface de 100 m².

Dans la fiche sont indiquées des feuilles de données qu'il faudra sélectionner en fonction des abondances relevées en observant dans la dernière case en précisant le nombre exact observé.

Il est également demandé d'indiquer dans quelles conditions se trouvent les observations de Grande Nacre, toujours en cochant la case correspondante (par ex. des individus vivants, morts, etc.). Également on mesure la hauteur ou rayon d'un coquille ou d'une feuille graduelle ou encore un matricule. A chaque individu sera affecté un code d'identification à l'aide d'une mesure correspondante (par ex.) en prenant la ligne en référence (longueur maximale) mesurée à la hauteur de l'oreille (longueur maximale) (C) (à mesurer avec un compas si possible sur la coquille ou l'oreille) - hauteur (H) du substrat ou sommet de la coquille (à mesurer avec un matricule). Si est possible les observations sont munies d'une photo des exemplaires recensés et il est encouragé par email d'envoyer des documents similaires.

Pour plus d'informations : www.institut-paul-ricard.org
<http://data.reseau.fr> / <http://proteccionibio.es> / www.sipmbarcelona.it
www.ramoge.org

RECUEIL D'OBSERVATIONS
sur la Grande Nacre
Pinna nobilis (Linneus, 1758)

CONTACTS DE L'OBSERVATEUR (pour vous joindre si nécessaire)

NOM	TEL.
PRÉNOM	FAX
ADRESSE	
E-MAIL	

DESCRIPTION DU SITE D'OBSERVATION

NOM DU SITE
(Pays / Région, Département, Commune)

COORDONNÉES : LAT : ° ' " N LONG : ° ' " E

DATE : / / HEURE : /

SITE
(Cap / Pointe / Crique, etc.)

PROFONDEUR (min / max) DISTANCE DE LA CÔTE (m)

PROFONDEUR D'OBSERVATION (min / max)

TYPOLOGIE DU FOND : ROCHEUX SABLEUX HERBIER AUTRE

DENSITÉ DE LA POPULATION PAR 100 m² : 1-2 3-5 >5 (préciser le nombre)

PRÉCISER SI LES INDIVIDUS SONT : VIVANTS MORTS COUCHÉS PLANTÉS DANS LE SOL

DOCUMENT PHOTOGRAPHIQUE : JOINT

AUTRES INFORMATIONS

INDIVIDU	Or (cm)	UL (cm)	W (cm)

RAMOGE et ses partenaires vous remercient de votre précieuse collaboration et vous demandent de retourner cette fiche via email à : enbaur@institut-paul-ricard.org, ou saisir directement ces informations sur le site www.ramoge.org

La figure suivante montre le rendu des observations et la localisation des individus de Grandes Nacres.



Figure 7 : Localisation des individus de Grande Nacre observés

III.4.b) Adéquation de la méthodologie avec les recommandations du guide DREAL EVAL_IMPACT 2018

La méthodologie proposée est conforme à celle recommandée dans le dernier guide EVAL_IMPACT édité par la DREAL PACA et DREAL Occitanie en 2018 [DREAL 2018 - Fascicule N°4 Fiche EH-7 page 100]

Elle propose de plus, sans coût supplémentaire la réalisation d'un atlas des espèces recensées.

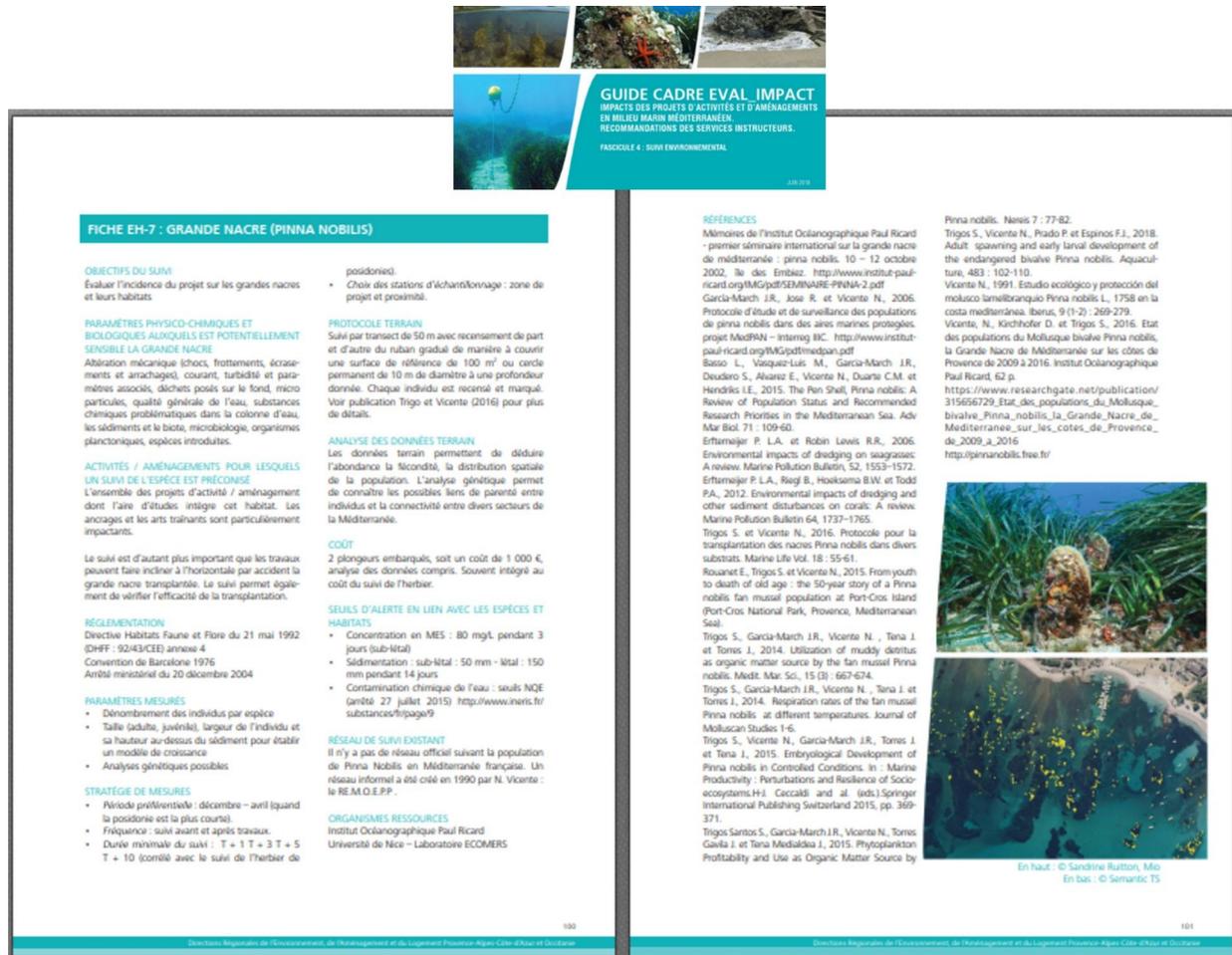


Figure 8 : Fiche EH-7 page 100. Extraite de : DREAL PACA et DREAL Occitanie, 2018. Guide cadre Eval_Impact. Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 4 – Suivi environnemental. Ed. CO2 communication. Notons que cette fiche est illustrée par une cartographie des nacres réalisée par SEMANTIC TS

IV. CARTOGRAPHIE DES BIOCÉNOSES : MOYENS ET MÉTHODOLOGIE

IV.1) Équipe

Chef de projet :	BAUER	Eric	Ingénieur océanographe
Chef de mission :	COQUET	Michel	Ingénieur
Opérateurs/pilotes :	PAYENCHET	Aimy	Technicien hydrographe
Opérateurs/pilotes :	PERON	Emmanuel	Ingénieur en géomatique



Eric BAUER – Chef de projet – Chef de Mission

Ingénieur SEATECH – Technicien hydrographe INTECHMER
 Chef de projet, chef de mission
 Expertise en cartographie sous-marine, cartographie des biocénoses
 Opérateur instrumentation embarquée
 Pilote navire et eaux intérieures, Scaphandrier classe IB
 Référent matériel et missions à la mer
 Référent intégration et développement matériel
 Formation H0/B0, M0, ATEX0, GIES2, SST



Michel COQUET - Chef de Mission

Chef de mission
 Opérateur instrumentation embarquée
 Opérateur Drone
 Capitaine 200
 Scaphandrier classe IIB,
 Référent construction mécanique
 Formation ATEX0, GIES1



Aimy PAYENCHET

Technicienne hydrographe INTECHMER

Opérateur instrumentation embarquée
 Pilote navire, Pilote drone
 Traitement des données
 Intégration matériel
 Télépilote de drone



Emmanuel PERON

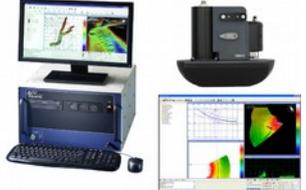
Ingénieur en géomatique

Ingénieur en géomatique ENSG
 Opérateur instrumentation embarquée
 Pilote navire,
 Traitement des données
 SIGiste



IV.2) Moyens matériels

IV.2.a) Instrumentation

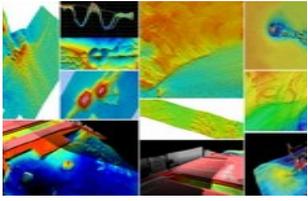
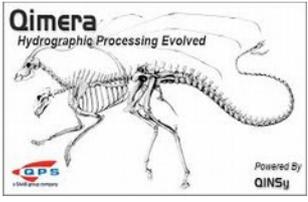
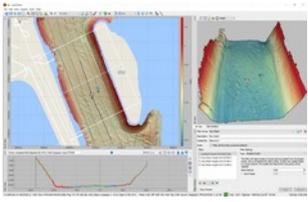
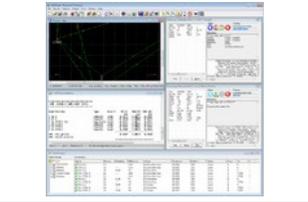
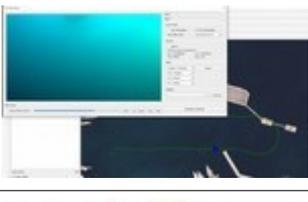
SEMANTIC	Semi-rigide OVERSEA	Sondeur multi-faisceaux SMF interféromètre Sonar latéral de coque Sonar latéral tracté Camera acoustique Vidéo sous marine Support plongé Sondeur mono-faisceau SACLAF	
GEOSWATH	KONGSBERG	Multi-faisceaux Interférométrique	
FS185R+	CODA OCTOPUS	Centrale Inertielle – DGPS RTK multi constellation	
LIBECCIU SIROCCO	Drone aérien pour la photogrammétrie Phantom 4 RTK	Prise de vue aérienne Photogrammétrie Positionnement RTK / PPK	
ENO		Système de prise de vue sous marine par vidéo tractée avec retour vidéo temps	
1230+GNSS AS10	LEICA	DGNSS RTK multi constellation	
GNSS GS15	LEICA	DGNSS RTK multi constellation	
GPCs	Points de contrôle géotaggées	Détection automatique de cibles géotaggées	



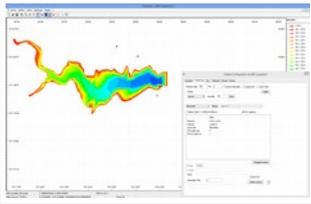
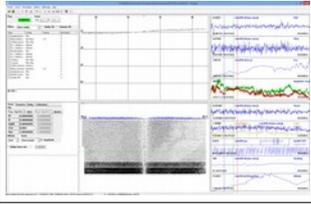
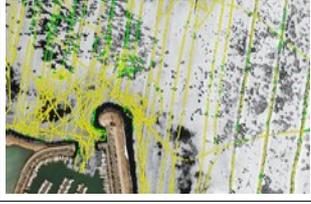
MiniSVS	VALEPORT	Célérimètre de coque	
MiniSVS-P	VALEPORT	Profileur de célérité	



IV.3) Logiciels

QINSY	QPS		Acquisition, navigation et traitement de mesure océanographique
QIMERA	QPS		Traitement de mesure océanographique
AUTOCLEAN	BEAMWORX		Traitement de nuage de point
GRAFNET	NOVATEL		Post-traitement de base et réseaux GNSS
GRAFNAV	NOVATEL		Post-traitement de mobile GNSS
VIDEO TRACKER	Plugin QGIS SEMANTIC TS		Logiciel d'édition et d'analyses de vidéos géo-référencées
QGIS LTR 3.10	QGIS		Système d'information Géographique
SEAWATCHER	SEMANTIC TS		Plate-forme web de visualisations de nuage de points en 3D



POSEIDON	SEMANTIC TS		Acquisition, navigation et traitement de mesure océanographique
PEGASE	SEMANTIC TS		Acquisition, traitement multi-faisceaux et sonar
SIVA	SEMANTIC TS		Traitement mono-faisceau et SACLAF

IV.4) Vedette bathymétrique - Navire océanographique : SEMANTIC

Le SEMANTIC, navire instrumenté dédié à la mesure des fonds marins peut être équipé des instruments suivants :

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Sondeur multi-faisceaux R2SONICS 2024 • Sonar latéral de coque KONSBERG GS+NG • Sonar latéral tracté KLEIN 3900 • Sonar latéral tracté GEOACOUSTICS DSSS • Sondeur mono-faisceau SIMRAD ES60 • Centrale d'attitude CODA Octopus FS185+ • 2 D-GPS RTK NOVATEL centimétrique • Centrale de navigation • Station d'acquisition • Réseau Internet et VPN haut débit • Profileur de célérité Mini-SVS Valeport • Mini-SVS Valeport de coque • Caméra acoustique BLUEVIEW P130 900 kHz • Vidéo sous-marine | <ul style="list-style-type: none"> Bathymétrie multi-faisceaux Multi-faisceaux + Imagerie acoustique Imagerie acoustique haute résolution Imagerie acoustique à large portée Bathymétrie / biocénoses/ sédimentologie Positionnement et correction d'attitude Positionnement et correction d'attitude Pilote automatique sur radiales pré-définies Enregistrement des données Réception / transmission de données Acquisition des profils verticaux de célérité Acquisition de la célérité en surface Caméra acoustique haute résolution |
|---|---|



Le navire est inscrit au commerce

Le bateau utilisé avec tous les instruments à bord est transporté sur remorque.

Le navire présente les caractéristiques suivantes :

- Masse : 1 tonne - Longueur : 6.5 m
- Puissance : 135 CV
- Tirant d'eau : 0,3 m
- Énergie disponible : 12 / 220 V - 1000 W
- Gabarit routier sur remorque
- Rack à bouteilles de plongée
- Réseau Internet et VPN haut débit
- Puits d'instrumentation



Cabine du navire SEMANTIC

Stations de pilotage et d'acquisition multi-capteurs



IV.5) Méthodologie de suivi : Approche Surfacique

IV.5.a) Principe de l'approche surfacique (cartographie)

La méthode de cartographie retenue nécessite la réalisation de :

- Un levé en bande selon la méthodologie de **monitoring** RTK (bathymétrie & sonar latéral de coque). Cette technique permet de plus de **recueillir des données de rugosité bathymétrique en même temps que la mosaïque sonar latéral**. Cette technique est particulièrement adaptée aux fonds inférieurs à 20 m.
- Méthode de contrôle de la vérité terrain par vidéo géo-référencée.

Stratégie globale surfacique : cartographie globale		Tout le secteur		Tous les 3 à 6 ans	
Méthodes	Illustration	Info globale	Export	Avis Technique	
Télé-détection aérienne		Limite supérieure Recouvrement petit fond	Indice de conservation Évolution de la limite sup.	Global très précis Moyenne à haute résolution	
Télé-détection satellitale		Limite supérieure Recouvrement petit fond	Indice de conservation Évolution de la limite sup.	Reproductibilité	
Sonar latéral tracté		Limite supérieure Limite inférieure Recouvrement grand fond	Indice de conservation Évolution des limites	Pas adapté aux très petits fonds	
Sonar latéral /coque DGPS		Limite supérieure Limite inférieure Recouvrement	Indice de conservation Évolution des limites	Global précis Moyenne résolution	
Monitoring RTK Fusion multi-capteurs		Limite supérieure Limite inférieure Recouvrement	Indice de conservation Évolution des limites	Global très précis Moyenne résolution	
Monitoring RTK HR Fusion multi-capteurs		Recouvrement Bathymétrie Rugosité Sédiment	Indice de conservation Évolution des limites	Global très précis Haute résolution	
SACLAF DIVA croisé		Limite supérieure Limite inférieure Recouvrement Bathymétrie Sédiment	Indice de conservation à basse résolution Évolution des limites	Maillage très lâche Seul système utilisable par très petits fonds sans visibilité	
Stratégie locale micro-surface & linéaire		N micro-zones		Tous les 3 à 6 ans	
Méthodes	Illustration	Info locale	Autres	Avis technique	
Télé-métrie acoustique		Limite supérieure Limite inférieure Recouvrement	Indice de conservation local Évolution des limites	Haute résolution pour suivi local	
Balitage type RSP tous les 5 m		Limite supérieure Limite inférieure	Indice de conservation local précis Évolution des limites		
Carré permanent		Recouvrement	Évolution de la limite		
Transect permanent		Recouvrement	Indice de conservation local		

Figure 9 : Méthodes de suivi préconisées par le Cahier Technique du Gestionnaire : Analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies dans le cas du rechargement des plages

La méthode de suivi par image aérienne peut être utilisée dans les très faibles fonds lorsque la visibilité est bonne. Le sonar tracté n'est pas adapté à des très faibles fonds, c'est la raison pour laquelle nous utilisons un sonar latéral de coque. La méthode de télémétrie acoustique n'est pas adaptée au secteur d'étude, compte tenu de sa large étendue.

IV.5.b) Méthodologie globale pour la cartographie

Pour réaliser la cartographie des biocénoses, SEMANTIC TS utilise sa méthodologie de monitoring RTK qui est conforme à celle recommandée par le guide CARTOCEAN [C. Noël. P. Boissery. N. Quelin. V. Raimondino. 2012 : Cahier Technique du Gestionnaire : Analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. 96 p - CartOcean, Agence de l'eau RMC, Dreal PACA, Région PACA] au page 78 – 79 .

Dans une chaîne d'instrumentation, chaque capteur joue un rôle spécifique. En augmentant le nombre (et la nature) des capteurs, l'ensemble des informations collectées permet une meilleure compréhension du milieu exploré. Le déploiement simultané des instruments permettant la collecte de données bathymétriques et de réponse acoustique du fond marin. Toutes ces données possèdent une précision extrêmement fiable puisqu'elles sont géo-référencées à l'aide d'un GPS RTK centimétrique. L'attitude du bateau est connue en permanence grâce à une centrale inertielle. Cela nécessite l'enchaînement des tâches suivantes :

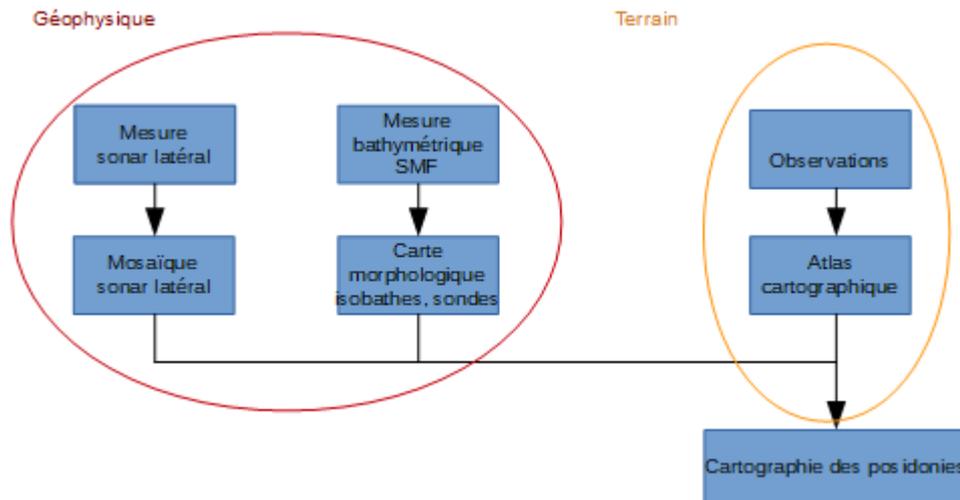


Figure 10 : Les données acquises au cours des différentes phases de la cartographie de végétations sous-marines

Les huit étapes de la réalisation d'une cartographie des biocénoses par fusion multi-capteurs sont les suivantes:

<p>Étape 1 : Acquisition en dalles ou en bandes (Sonar latéral)</p>	<p>Étape 2 : Mosaïquage Constitution de l'image globale géo référencée</p>	<p>Étape 3 : Segmentation Contourage de zones homogènes</p>	<p>Étape 4: Plan d'échantillonnage Vérités terrain (observations et vitalité) : choix des waypoints</p>
<p>Étape 5 : Export des WPT pour la navigation sur les images segmentées</p>	<p>Étape 6 : Vérités terrain & mesures ponctuelles Observations</p>	<p>Étape 7 : Interprétation Classification à partir des vérités terrain & Amélioration de la segmentation</p>	<p>Étape 8 : Production de la cartographie Format d'export</p>

Figure 11 : Les étapes méthodologiques clés du processus de cartographie des végétations sous-marines

IV.5.c) Méthodologie pour les mesures sonar latéral et rugosité bathymétrique

Les mesures sonar latéral - rugosité bathymétrique nécessitent la mise en œuvre des équipements suivants :

- Un navire océanographique inscrit au commerce présentant un très faible tirant d'eau, équipé d'un **DGPS RTK** et d'une **centrale d'attitude**, ainsi que des **fonctionnalités de navigation**.
- Un sonar latéral **interféromètre** ou **système équivalent permettant** d'établir l'imagerie sonar latéral en même temps que la bathymétrie multi-faisceaux.
- Un **D-GPS RTK Mobile** couplé à une **centrale inertielle CODA Octopus FS185+**.
- Un **profileur de célérité**.

Le principe de l'acquisition est illustré sur la figure suivante :

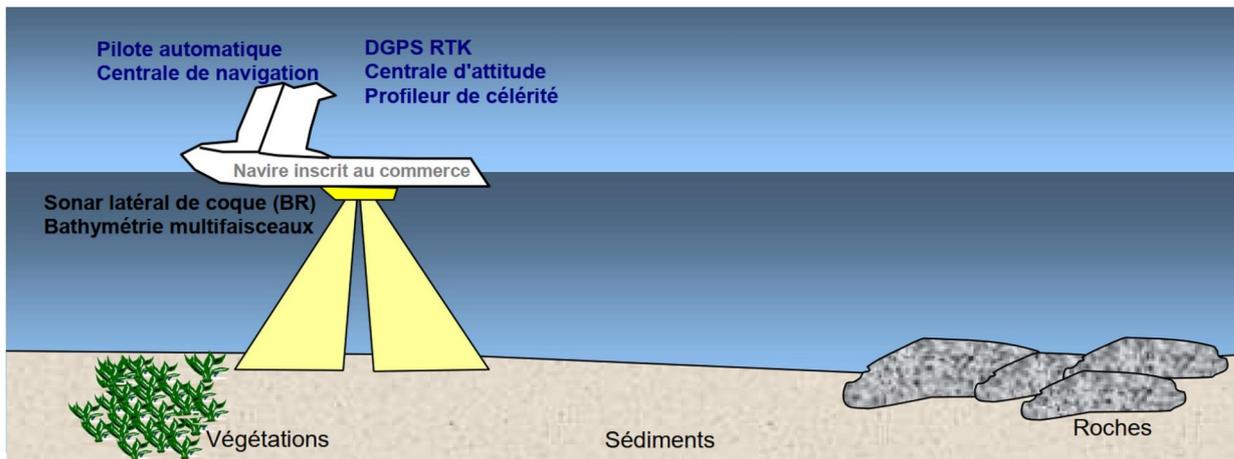


Figure 12 : Méthode d'acquisition des données géophysiques

Acquisition des données acoustiques

Le sonar latéral réalise, à l'aide d'ondes sonores, des images acoustiques détaillées de la réflectivité des fonds marins. Ces images sont obtenues en balayant un faisceau sonore étroit, en incidence rasante sur le fond. L'écho recueilli au cours du temps est une représentation de la réflectivité du fond et surtout de la présence d'irrégularités ou de petits obstacles. Ce signal enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar (d'où son nom : side scan sonar) constitue ligne après ligne une image acoustique du fond.

Pour que les images soient de bonne qualité, l'incidence des ondes sonores doit être très rasante, le poisson doit donc être positionné à une altitude proche du fond (typiquement 10 m - 15 m).

Pour les fonds inférieurs à 15 m, comme c'est le cas dans le secteur d'étude, le poisson est **fixé mécaniquement** sous la coque du navire.

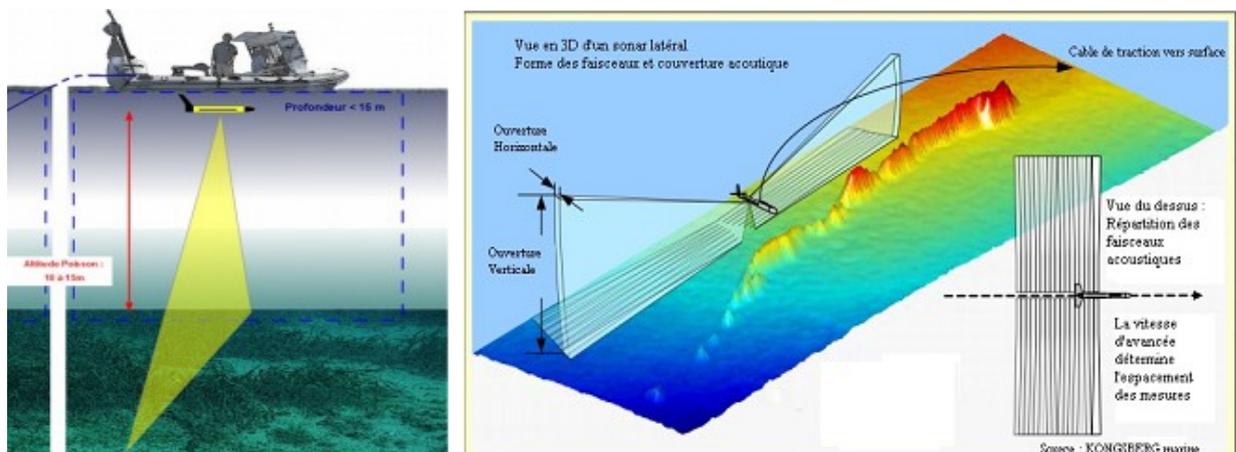


Figure 13: Principe de la mesure par sonar latéral - Schéma de principe simplifié de l'acquisition sonar latéral.

Acquisition des données de position et d'inertie du navire

Un SMF étant un instrument de coque, l'attitude du bateau doit être connue avec une précision importante ; il est alors nécessaire de mettre en œuvre une centrale inertielle. De plus la position du navire doit être mesurée par un GPS-RTK relié en temps réel avec une base GPS à terre, afin d'assurer un positionnement en temps réel centimétrique (technologie RTK).

Acquisition des données environnementales : Profileur de célérité

Les variations de température et de salinité influent fortement sur la vitesse et le trajet de la propagation des ondes acoustiques en milieu sous marin. La connaissance de la célérité en fonction de la profondeur en différents points de la zone à cartographier est importante dans le but de ne pas dégrader la qualité et la précision des mesures. Les profils verticaux de célérité sont mesurés à l'aide d'un profileur de célérité.



Figure 14 : Illustration d'un profil de célérité à fort gradient

Les rendus de base

Les données acoustiques mesurées latéralement sont géo-référencées au moment de l'acquisition. Les profils acquis peuvent être ajoutés les uns aux autres, par superposition ou par fusion, afin de constituer l'image acoustique appelée « mosaïque sonar ». Elle représente la valeur de la réflectivité du fond en niveaux de gris. La résolution requise de la mosaïque sonar latéral, c'est à dire la taille minimale du pixel est de 25 cm x 25 cm.

La bathymétrie est acquise en même temps. Résolution de 1 m x 1 m.
La précision requise du géo-positionnement est de 1 m.

La figure suivante montre un exemple des rendus attendus. Les posidonies sont nettement visibles sur l'imagerie sonar latéral (image du centre).



Figure 15: De gauche à droite : Isobathes calculées à partir du MNT bathymétrique. Mosaïque des données sonar latéral. Carte des végétations sous-marines de la zone

Les cymodocées sont elles aussi particulièrement visibles au sonar latéral et peuvent même présenter des motifs caractéristiques des rhizomes rampants, lorsque ceux-ci sont assez "fourmis", comme l'illustre la figure suivante.

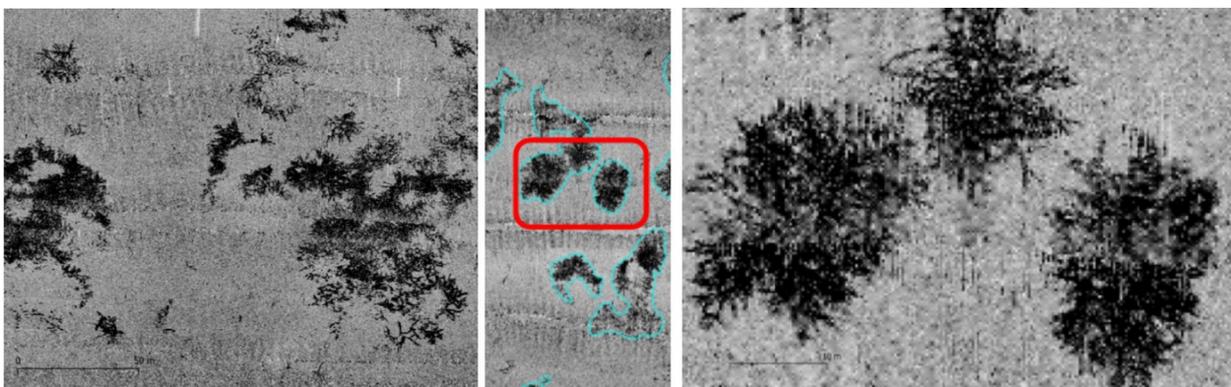


Figure 16: Exemples d'observations de cymodocées sur la mosaïque sonar latéral

IV.6) Méthodologie pour la classification acoustique (Méthode SACLAF : DIVA & CLASS)

Principe de la mesure

Le levé de classification automatique des fonds et des biocénoses nécessite la mise en œuvre des équipements suivants :

- Un **sondeur scientifique SIMRAD ES60** bi-fréquence (38kHz et 250kHz).
- Un **système de mesure de la position et de l'attitude du navire** : Centrale inertielle couplée à 2 GPS RTK CODA OCTOPUS FS 185+.

Ces équipements peuvent être opérés en même temps que le sondeur bathymétrique et le sonar latéral.

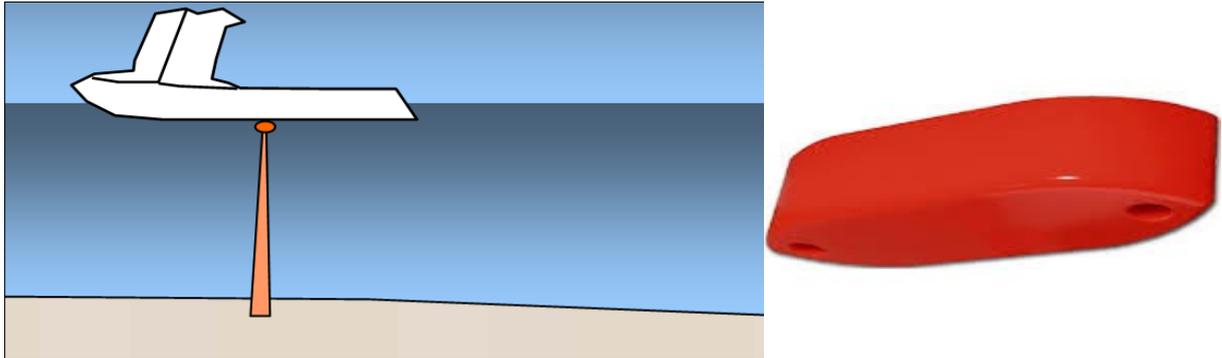


Figure 17 : Principe d'acquisition du sondeur mono-faisceau. Echosondeur scientifique SIMRAD ES60

Méthodologie pour la classification

Méthodologie de reconnaissance acoustique des fonds marins: Détection & Inspection Verticale Acoustique Méthode DIVA (végétation) – Méthode CLASS (CLASSification des Sédiments Superficiels)

Le principe de la méthode de reconnaissance acoustique est le suivant :

SEMANTIC TS utilise un sondeur mono-faisceau scientifique haut de gamme porté par un bateau.

Le navire instrumenté se déplace sur la zone à lever. Un PC installé à bord, récupère les informations en provenance des divers instruments de mesure, c'est-à-dire :

- la position (latitude, longitude et élévation de la mer) indiquée par un GPS différentiel ;
- la réponse impulsionnelle du signal sonore réverbéré par le fond fournie par le sondeur.

Le système analyse et traite la réponse impulsionnelle et en déduit les caractéristiques de la végétation fixée sur le fond sous-marin.

Le PC traite les informations à une latitude et une longitude, il associe les informations caractéristiques de la végétation.

La première étape consiste à extraire du signal reçu par le sondeur le premier écho du fond.



Figure 18 : Schéma de principe du système de sondage bathymétrique géo-référencé

Une méthode d'analyse discriminante permet ensuite d'affecter à cet écho une classe de biocénose préexistante (par exemple : roche, sable, posidonie, ...) ou une classe sédimentologique (Roche, Sable, Vase). Cette affectation se fait par l'intermédiaire de fonctions discriminantes calculées à partir de fichiers d'apprentissage pour chacune des classes définies (phase d'apprentissage). Enfin, le résultat de la classification de l'écho est associé à la latitude et la longitude fournies par le GPS, ce qui en assure le géo-référencement.

Un tel système est appelé **SACLAF (Système Automatisé de CLASSification Acoustique des Fonds)**.

SEMANTIC TS dispose sur son navire instrumenté d'un sondeur acoustique mono-faisceau qui permet ce type de fonctionnement. Ce sondeur est un sondeur scientifique haut de gamme qui a déjà été utilisé par des équipes de l'INRA pour la caractérisation d'espèces de poissons (travaux similaires) à partir du signal acoustique réverbéré par les bancs de poissons. Ce sondeur peut émettre à deux fréquences séparées de plusieurs octaves (38 kHz et 200 kHz), ce qui est fondamental pour obtenir des informations de

caractérisations (les différentes fréquences signant les phénomènes environnementaux en fonction de la taille de leur longueur d'onde).

Traitement des données : logiciel de classification (SIVA) : végétations (DIVA) & sédiments superficiels (CLASS)

Nous utilisons pour le traitement des données la suite logicielle de classification, nommée SIVA, que nous avons développée en 2015 et qui est utilisée sur les navires opérationnels du SHOM.



SIVA : Système d'Analyse Verticale Acoustique ...

... une approche complète pour la classification acoustique des fonds marins

Cette suite logicielle permet la classification des végétations sous-marines (Module DIVA).



Figure 19 : Suite logicielle permettant la classification des végétations sous-marines (Module DIVA)

Cette suite logicielle permet aussi le traitement des données en vue de la CLASSification des Sédiments Superficiels (Module CLASS).

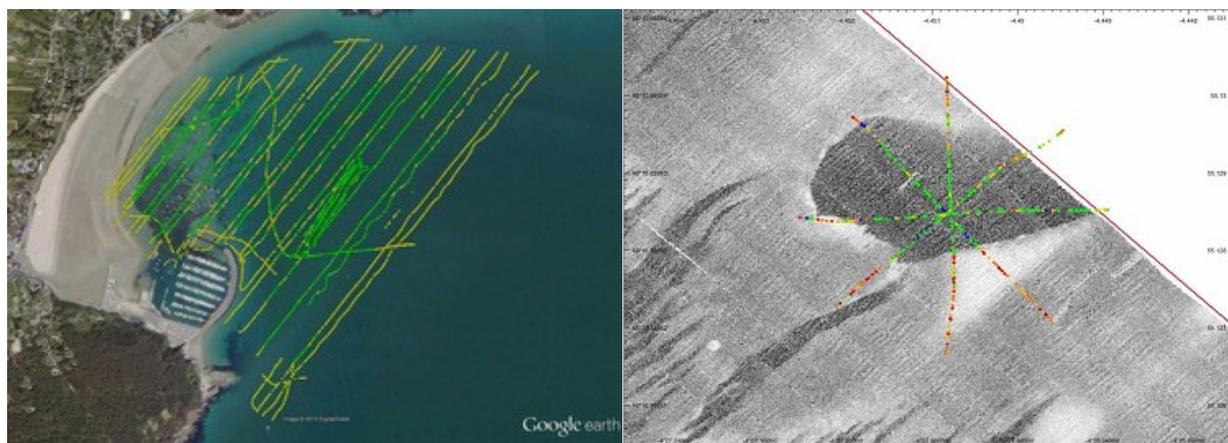


Figure 20 : Exemple de classification réalisé avec la suite SIVA

A gauche : Exemple de résultats de la méthode DIVA : Présence de végétation (en vert) / Absence (en jaune)

A droite : Exemple de résultats de CLASS sur les rubans sédimentaires de la baie de Douarnenez :
Sédiments fins (en rouge) / Sédiments grossiers (en vert)

IV.7) Méthodologie pour les travaux de contrôle de la vérité terrain par vidéo géo-référencée

Méthodologie pour le contrôle de la vérité terrain : vidéo quadrat ou vidéo remorquée avec retour en temps réel

Le contrôle de la vérité terrain est effectué grâce à l'acquisition de vidéos sous-marines géo-référencées, acquises par un système permettant le retour en temps réel, afin de cibler les observations et de pouvoir contrôler en temps réel l'adéquation de leur trajectoire aux besoins de connaissance.

Le principe de l'acquisition des vidéos géo-référencées est illustré sur la figure ci-dessous :

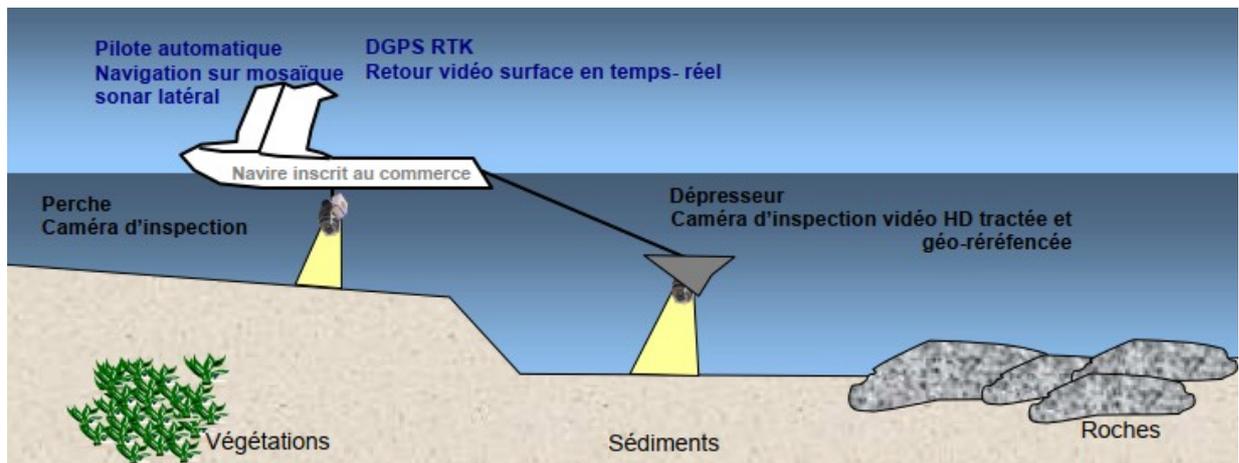


Figure 21 : Principe du système d'enregistrement de vidéos sous-marines géo-référencées

L'acquisition de vidéo sous-marines géo-référencées nécessite la mise en œuvre des équipements suivants :

- **Un navire océanographique inscrit au commerce** présentant un très faible tirant d'eau, équipé d'un **DGPS RTK**, ainsi que des **fonctionnalités de navigation**.
- **Un système vidéo permettant l'enregistrement et le retour temps réel des images sous-marines pour cibler les inspections.**

Pour le positionnement de la caméra, il est nécessaire de reporter la position du porteur auquel s'ajoute une longueur de câble filé afin de géo-référencer à un ou deux mètres près le support immergé.

Le système ENO, système d'enregistrement de vidéos sous-marines géo-référencées développé par SEMANTIC TS, ainsi que ses différents modes opératoires sont présentés sur la figure ci-dessous :

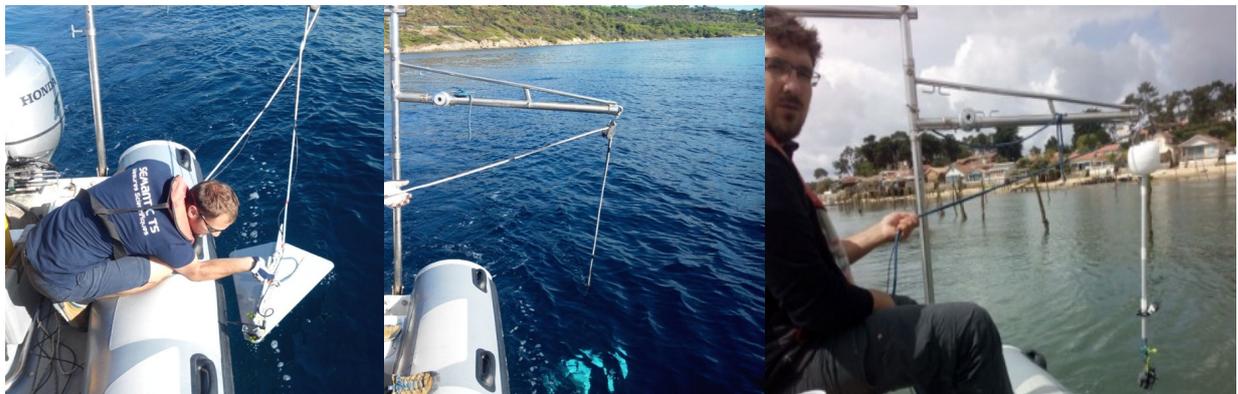


Figure 22 : Système d'enregistrement de vidéos sous-marines géo-référencées ENO
A gauche : Mise à l'eau du système – Au centre : Système opéré en mode tracté – A droite : En mode plan de sonde

Ce système permet d'identifier les biocénoses présentes : posidonies, coralligène, mattes, galets, fond meuble...) dont les contours ont été définis à l'aide des données surfaciques de rugosité bathymétrique et de réflectivité sonar latéral et/ou des données linéaires de classification acoustique (SACLAF DIVA).



Figure 23 : Exemple de levé vidéos géo-référencée : Extraction régulière de photographies géo-référencées

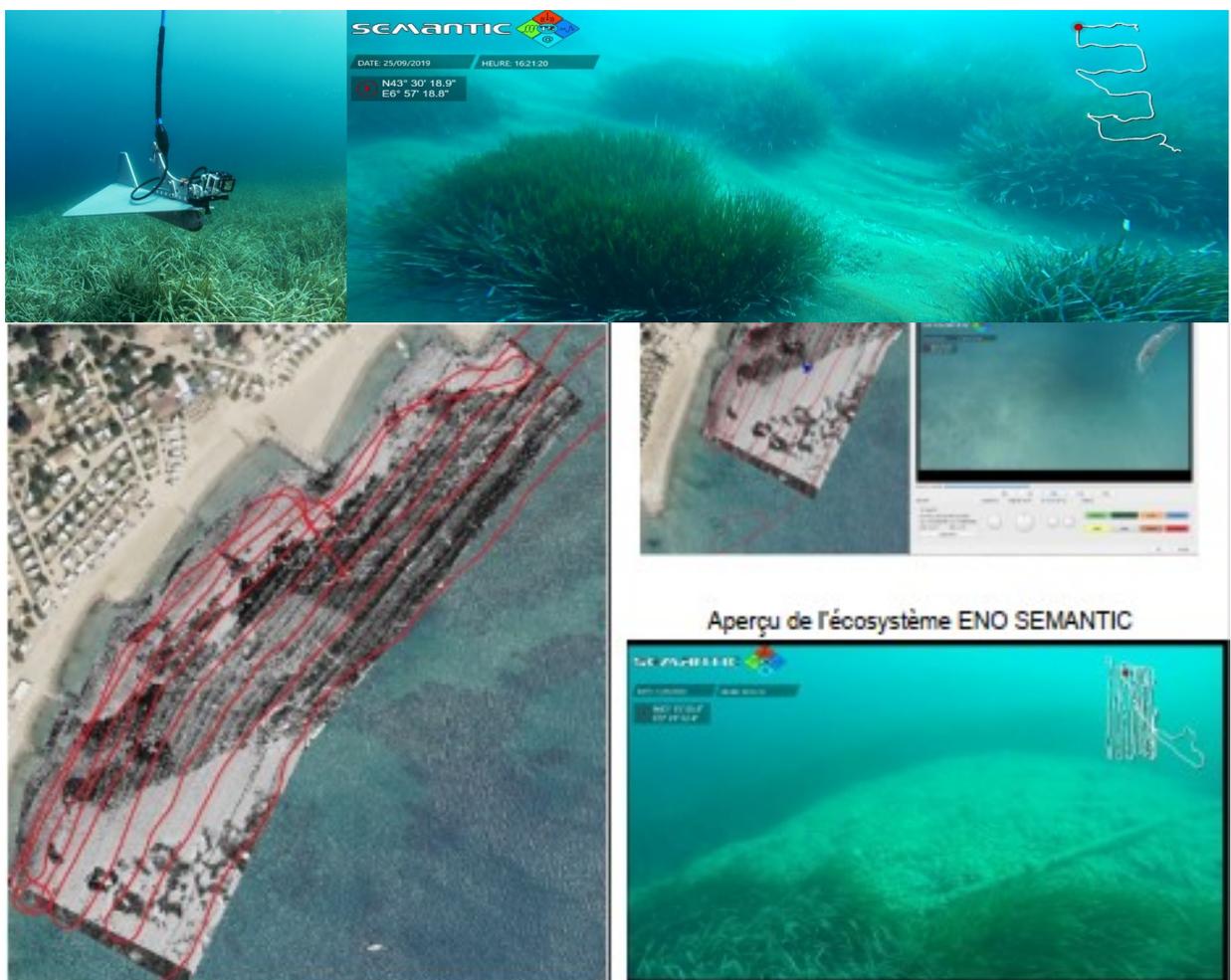


Figure 24 : Système ENO intégré dans le SIG QGIS

Ces vidéos permettent de confirmer la carte issue de l'interprétation des données géophysiques.

IV.8) Méthodologie de suivi : Approches Linéaire & Ponctuelles en exploration subaquatique

IV.8.a) Réalisation des vérités terrain par inspection subaquatique : Stations & Transects

Méthodologie & Moyens matériels mis en œuvre

Les opérations de reconnaissance subaquatique sont réalisées en plongée subaquatique.

Elles sont réalisées selon la réglementation en vigueur de la plongée professionnelle en scaphandre : règles de sécurité édictées par le Ministère du Travail (décret n°90.277 du 28 mars 1990 et décret 2011-45 du 11 janvier 2011). L'équipe d'observation est constituée de :

- **plongeurs INPP Classe II B ou I B ;**
- **spécialisés en suivis écologiques d'espèces et d'habitats marins sensibles ;**
- **équipés d'appareil photo numérique et d'un GPS de surface.**

IV.8.b) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance

Méthodologie pour les plongées de reconnaissance : Stations & Transects

Les plongeurs parcourent en plongée subaquatique la zone à observer.

Ils sont équipés d'un GPS de surface et d'un APN (Appareil Photo Numérique) en caisson et/ou d'une caméra HD Gopro. Avant l'immersion, la montre du plongeur, l'horloge de l'appareil photo ou de la caméra et l'heure du GPS sont synchronisées.

Le plongeur relié à une bouée portant un GPS photographie ou filme le fond.

Les plongeurs réalisent simultanément des observations des espèces protégées. Durant les plongées de reconnaissances, notes d'observations et relevés d'espèces sont effectués sur des plaquettes immergeables.

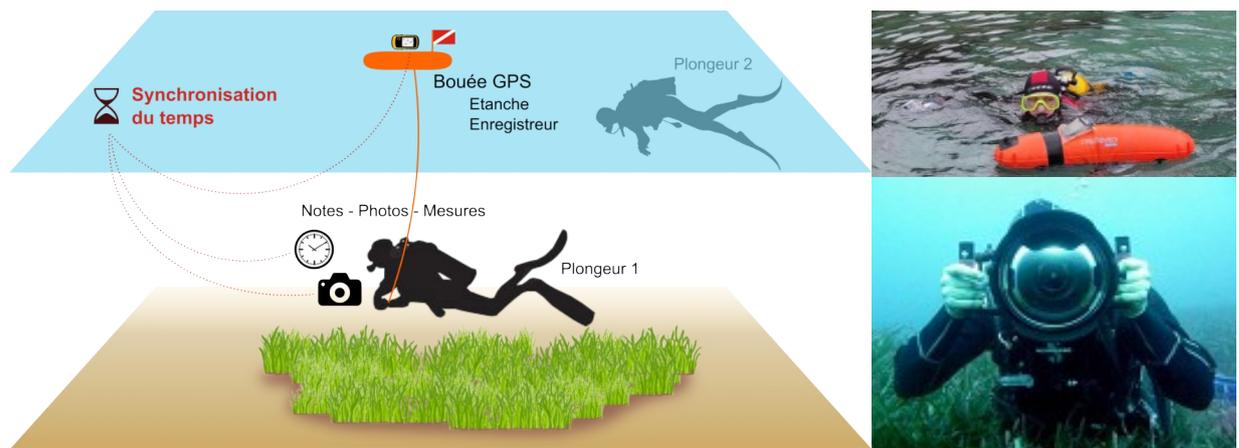


Figure 25 : Méthodologie pour les plongées de reconnaissance subaquatique

La quantité de photos pouvant être importante, une gestion rigoureuse s'impose afin d'éviter les éventuels problèmes d'intégration dans le système de bancarisation final. Ainsi il est nécessaire :

- d'associer un point de localisation GPS à chaque photo ;
- d'attribuer à chaque photo un nom unique pour l'ensemble du site ;
- de respecter la nomenclature des fichiers proposée dans les spécifications techniques de format de données.

Les photos géo-référencées sont présentées sur une carte dynamique, dite "Atlas photographique".

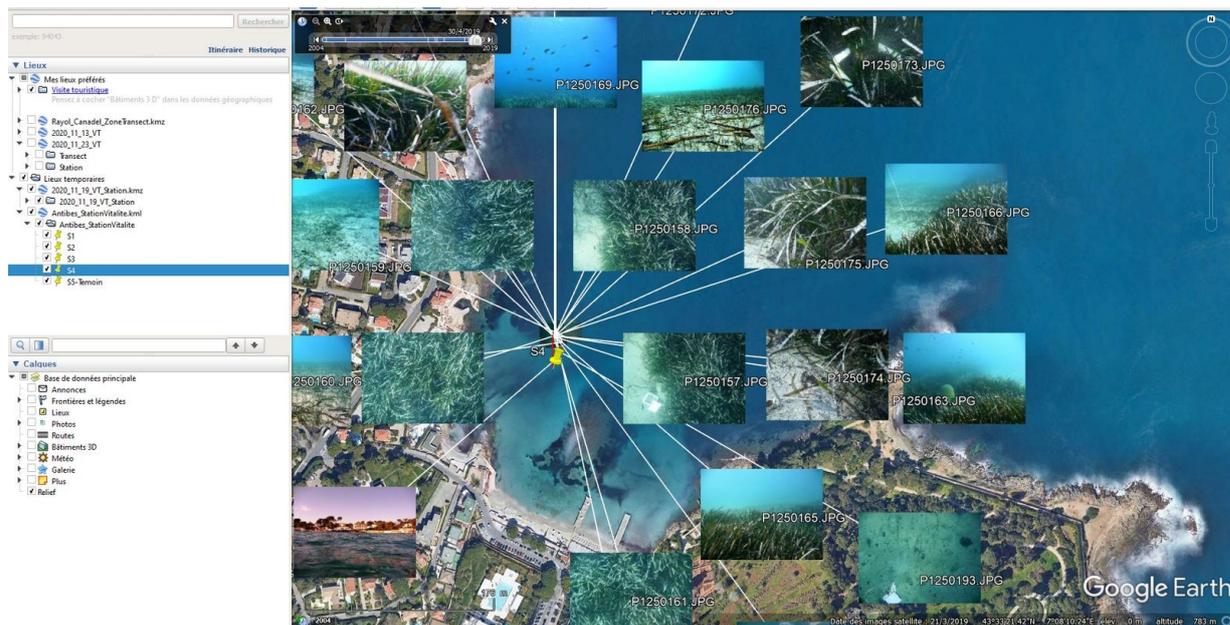


Figure 26: Exemple de localisation des photos géo-référencées relevées lors de plongées de reconnaissance subaquatique

IV.9) Méthodologie pour la cartographie des herbiers : Fusion multi-capteurs & Synthèse

La méthodologie de cartographie des habitats utilisée par SEMANTIC TS est standardisée et éprouvée par de nombreuses campagnes. Elle est décomposée en différentes phases. Elles sont toutes effectuées avec un grand respect des normes d'acquisitions hydrographiques (respect des vitesses, des interlignes, des paramètres d'acquisition, etc...) en apportant grand soin au géoréférencement des données grâce à des chaînes de mesure intégrant des systèmes inertiels et GNSS RTK.

IV.9.a) Étape 1 : Mesures géophysiques

SEMANTIC TS opère les instruments suivants :

- Sondeur multi-faisceaux Konsberg GS+.
- Sondeur interférométrique Konsberg GS+.
- Sondeur mono-faisceau Simrad ES 60.

La fusion des données issues des différents appareils permet de répondre aux besoins de connaissance et de suivi.

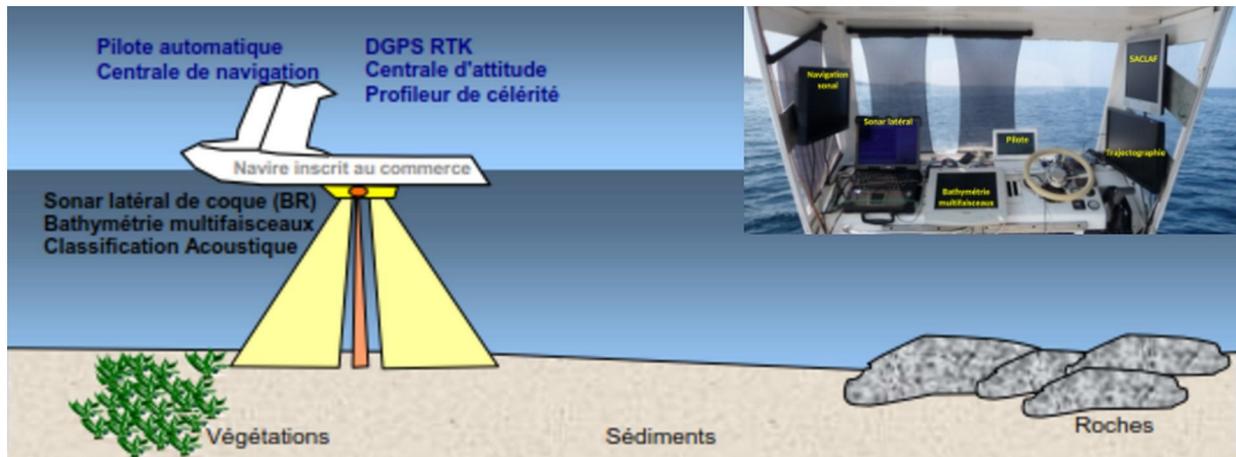


Figure 27 : Méthode d'acquisition des données géophysiques

En effet dans un premier temps l'exploitation des données de bathymétrie très précises permet de déduire la nature topographique du fond et d'isoler les substrats engendrant des fortes variations topographiques (herbier de posidonie / matte / roche) de ceux engendrant des variations faibles de topographie (sédiment / herbier de cymodocée). De plus cet instrument permet de trouver facilement l'ensemble des marques laissées par les ancres dans les herbiers.

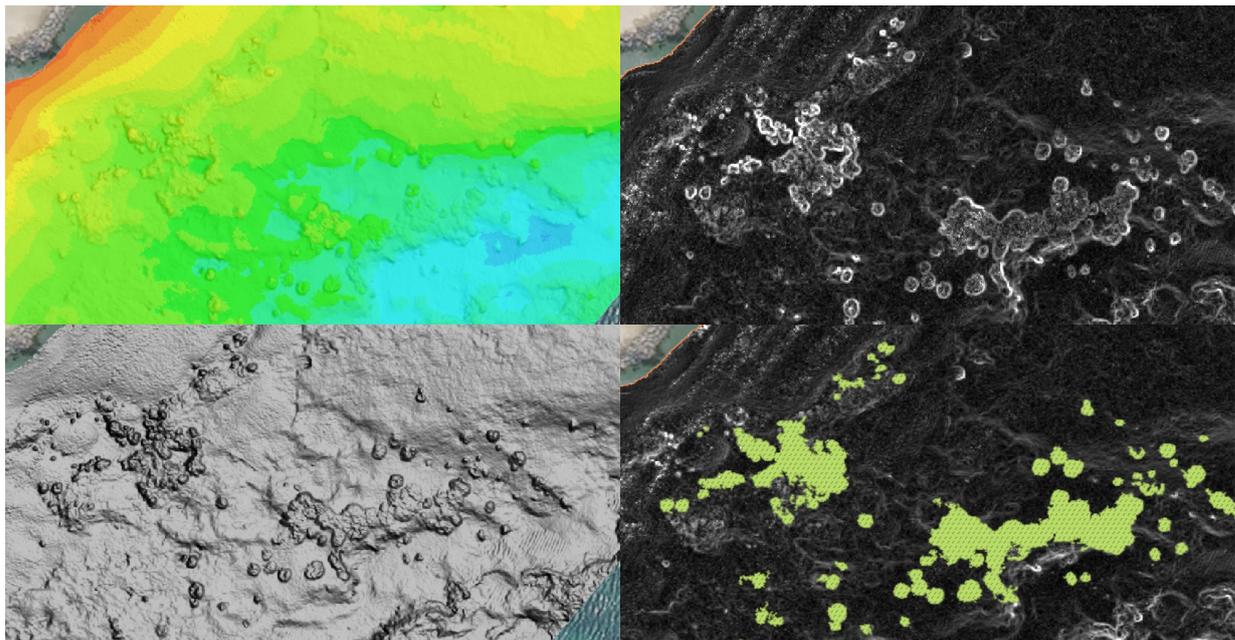


Figure 28 : Bathymétrie / index topographique et ombrage. Mise en évidence des taches d'herbier de posidonies

Dans un second temps les données issues du sondeur interférométrique (**Kongsberg GS+**) permettent de mettre en évidence par une imagerie sonar la réflectivité du fond et les limites entre les différents substrats.

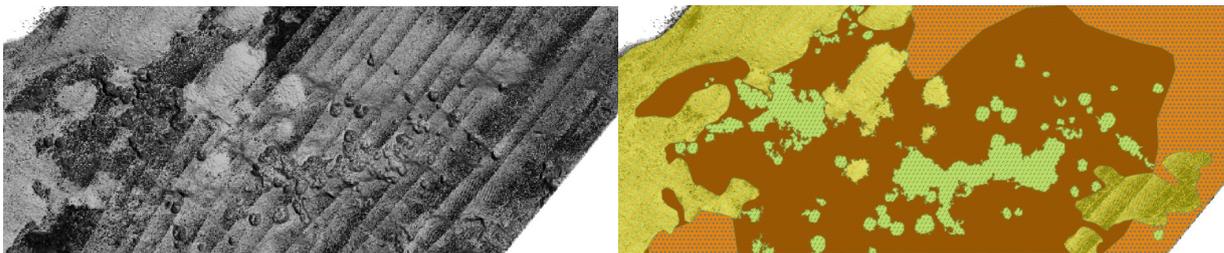


Figure 29 : Image sonar / détourage semi-automatisé basé sur indice de réflectivité et indice topologique

Cet appareil permet aussi de mettre en évidence la présence d'herbier de cymodocées comme l'illustrent les images ci-dessous :

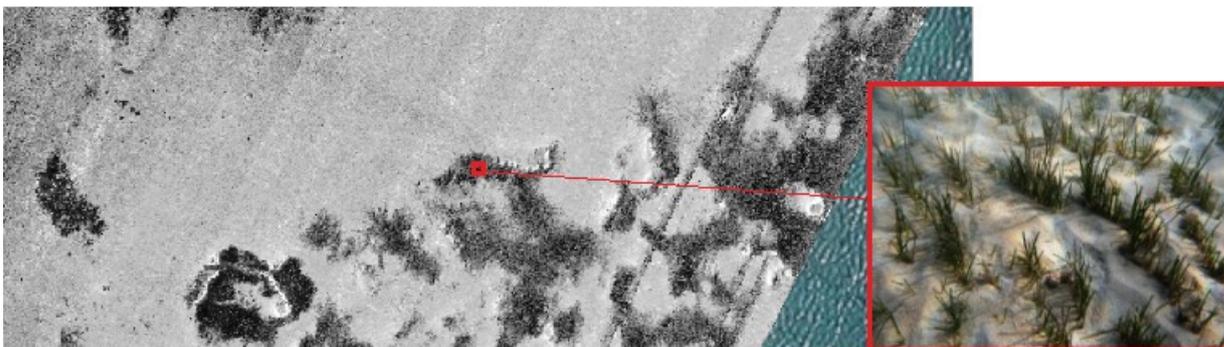


Figure 30 : Herbier de cymodocée sur fond de sable

Finalement ces données sont complétées par celles issues du sondeur de classification des fonds (**Simrad ES60**) qui permet grâce au traitement SACLAF, de donner un indice sur la répartition de la densité de l'herbier au sein de la zone et ainsi d'apporter des données pour l'organisation des vérités terrain.

IV.9.b) Étape 2 : Réalisation des vérités terrain

Le système ENO, est un système d'enregistrement de vidéos sous-marines géo-référencées développé par SEMANTIC TS.

Ce système permet de bien identifier les biocénoses présentes : posidonies, coralligène, mattes, galets, fond meuble...) dont les contours ont été définis à l'aide des données surfaciques de rugosité bathymétrique et de réflectivité sonar latéral et des données linéaire de classification acoustique (SACLAF DIVA / CLASS).



Figure 31 : Exemple de trajectoires vidéos sous-marines géo-référencées (en rouge)

Les données linéaires et/ou ponctuelles des vérités terrain sont traitées afin de pouvoir être fusionnées aux données géo-physiques surfaciques.

Les vidéos sont géo-référencées et il est possible de rejouer les passages dans un plugin développé spécialement pour évaluer la nature des fonds par vidéo, créer des points de vérité terrain avec une image associée et réaliser les exports.

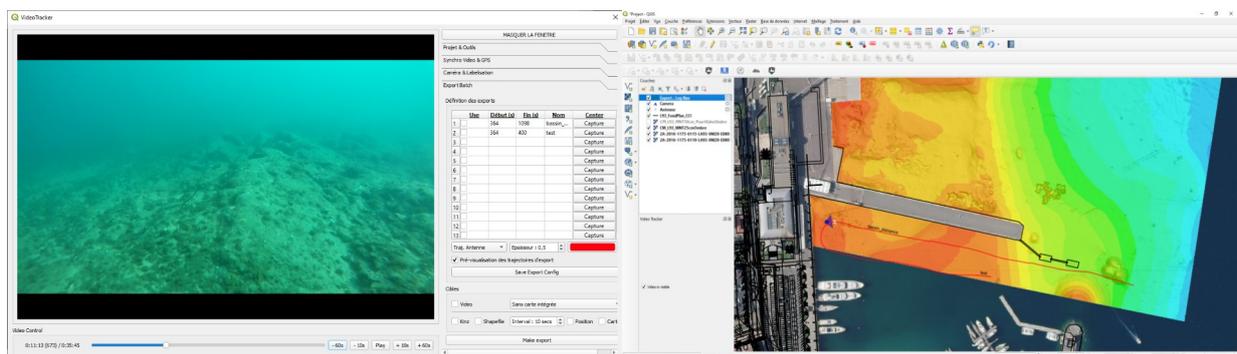


Figure 32 : Système ENO SEMANTIC TS

La figure suivante illustre la phase de traitement des données vidéos au travers du logiciel de traitement développé par SEMANTIC TS et permettant, sous SIG, de classifier à la volée et de façon géo-référencée, les données vidéos.



Figure 33 : Illustration de la phase de traitement des données vidéos : Système ENO intégré dans QGIS.
Classification des données selon les classes d'habitats

Ces vidéos permettent de confirmer la carte issue de l'interprétation des données géophysiques.

V. CARTOGRAPHIE DES BIOCÉNOSES : TRAITEMENT DES DONNÉES ET RÉSULTATS

V.1) Étape 3 : Fusion des données et cartographie

V.1.a) MNT

Après fusion et traitement des données un modèle numérique de terrain avec une résolution de 1 m x 1 m est généré en considérant la moyenne des sondes dans chacune des mailles. La bathymétrie est approchée (elle ne peut pas servir à la navigation).

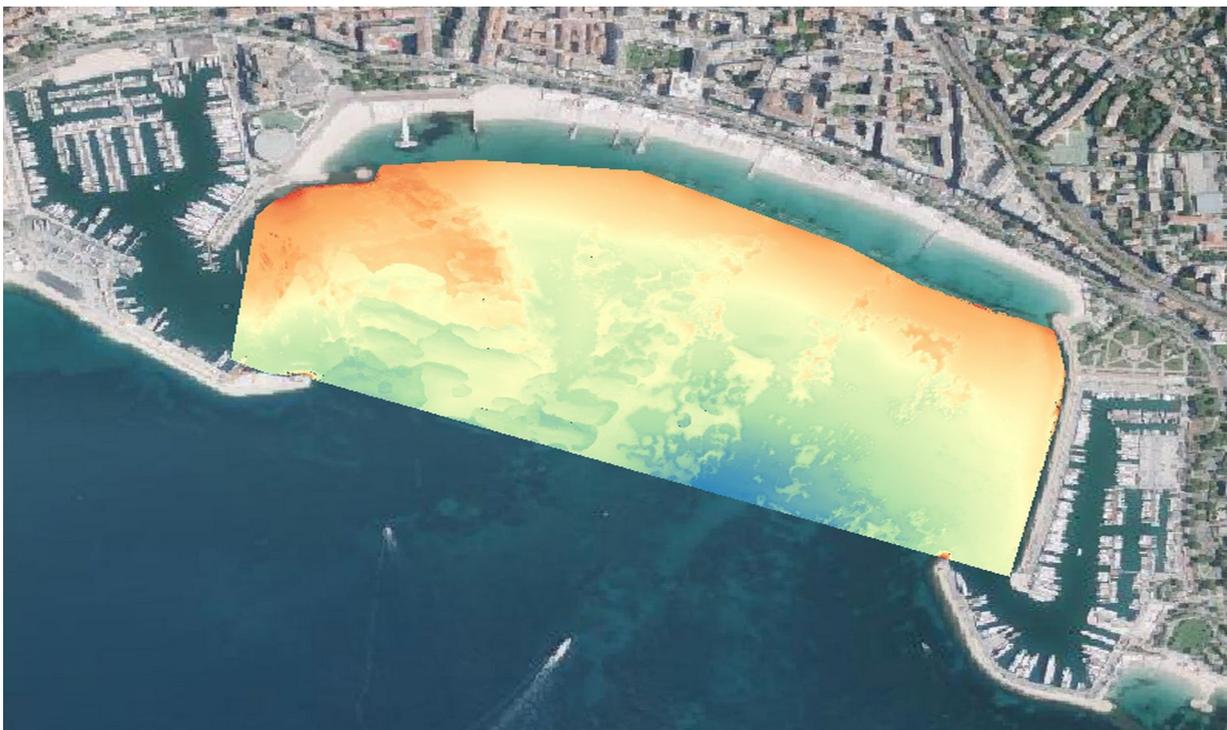


Figure 34 : Modèle numérique de terrain bathymétrique

Ce modèle numérique de terrain permet d'établir des isobathes sur la zone d'étude ainsi que l'extraction de sondes régulières dans la zone. Ces informations sont utiles pour la planification et l'organisation des levés géophysiques par caméra liée à la détermination de la position d'éventuels herbiers.

V.1.b) Sonar latéral

Après fusion et traitement des données une mosaïque sonar avec une résolution de 25 cm x 25 cm est générée. Cette image met en évidence les substrats qui répondent de manière homogène aux ondes acoustiques.



Figure 35 : Mosaïque sonar latéral de la zone

V.1.c) Algorithme de détection de changement

Afin d'exploiter ces données bathymétriques très précises de la zone, SEMANTIC TS applique un algorithme de traitement de l'indice topographique afin de mettre en évidence les discontinuités bathymétriques de la zone. Ces informations sont utilisées pour la répartition spatiale des probabilités de présence de substrats sur le fond.



Figure 36 : Indice topographique du fond

V.1.d) Résultats des levés vidéos sous-marine

Le système vidéo ENO est déployé sur zone selon le plan de mission défini.

La figure ci-dessous présente la trajectoire des levés réalisés avec la caméra vidéo.

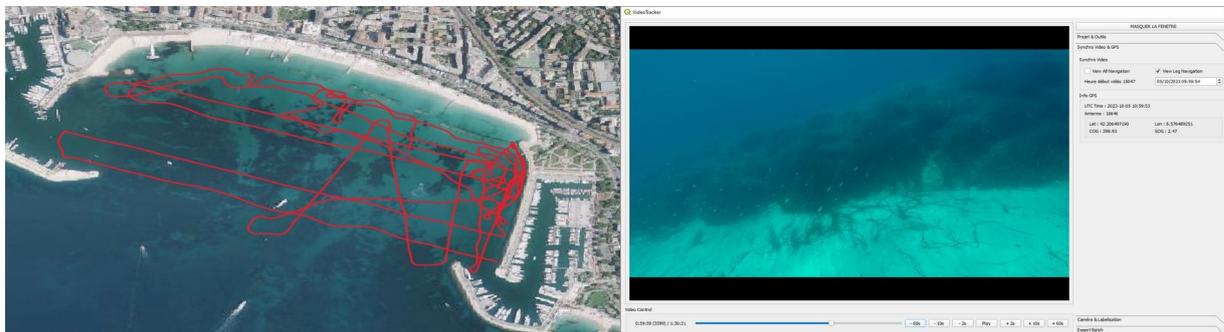


Figure 37 : Système ENO : trajectoires enregistrées

Les vidéos sont géo-référencées et il est possible de rejouer les passages dans un plugin développé spécialement pour évaluer la nature des fonds par vidéo.

La position de la caméra a été incrustée dans la vidéo. Elle est visible dans une fenêtre en haut à droite de chaque image, où elle est superposée à la mosaïque sonar latéral. Cela permet lors de la lecture de la vidéo de visualiser instantanément le lieu d'observation.



V.2) Cartographie de l'herbier de posidonies

Ce paragraphe présente la méthodologie utilisée pour la cartographie des biocénoses.

V.2.a) Indice de rugosité

L'indice de rugosité permet de discriminer différents types de substrat :

- Indice faible : vase / sable / cymodocées
- Indice fort : posidonie / matte morte / roche

Deux types de zones sont facilement identifiables à partir des données bathymétriques.

V.2.b) Mosaïque sonar

La mosaïque sonar est une représentation en noir et blanc du fond en fonction de la réflectivité acoustique du fond. Une gamme de couleurs et de textures indique un fond de nature homogène.

Ces informations permettent de discriminer, au sein des zones de faible indice de rugosité identifiées au paragraphe précédent, trois types de fond :

- Sable fin : texture homogène et clair.
- Sable grossier : texture homogène voire ridée et couleur sombre.
- Cymodocées : texture particulière en fractale et couleur sombre.
- Roches structures litées particulières et couleur très sombres.

V.2.c) Fusion des informations rugosité et intensité

La fusion des données extraites jusqu'alors est effectuée de la manière suivante pour attribuer les classes de la nature des fonds.

		Intensité				
		Faible & homogène	Fort & homogène	Moyen	Fort & fractale	Fort & irrégulier
R u g o s i t é	Faible	Sable fin	Sable grossier		Cymodocées	
	Forte			Herbier		
	Très Forte					Roche

La carte suivante présente la cartographie des biocénoses de la zone :

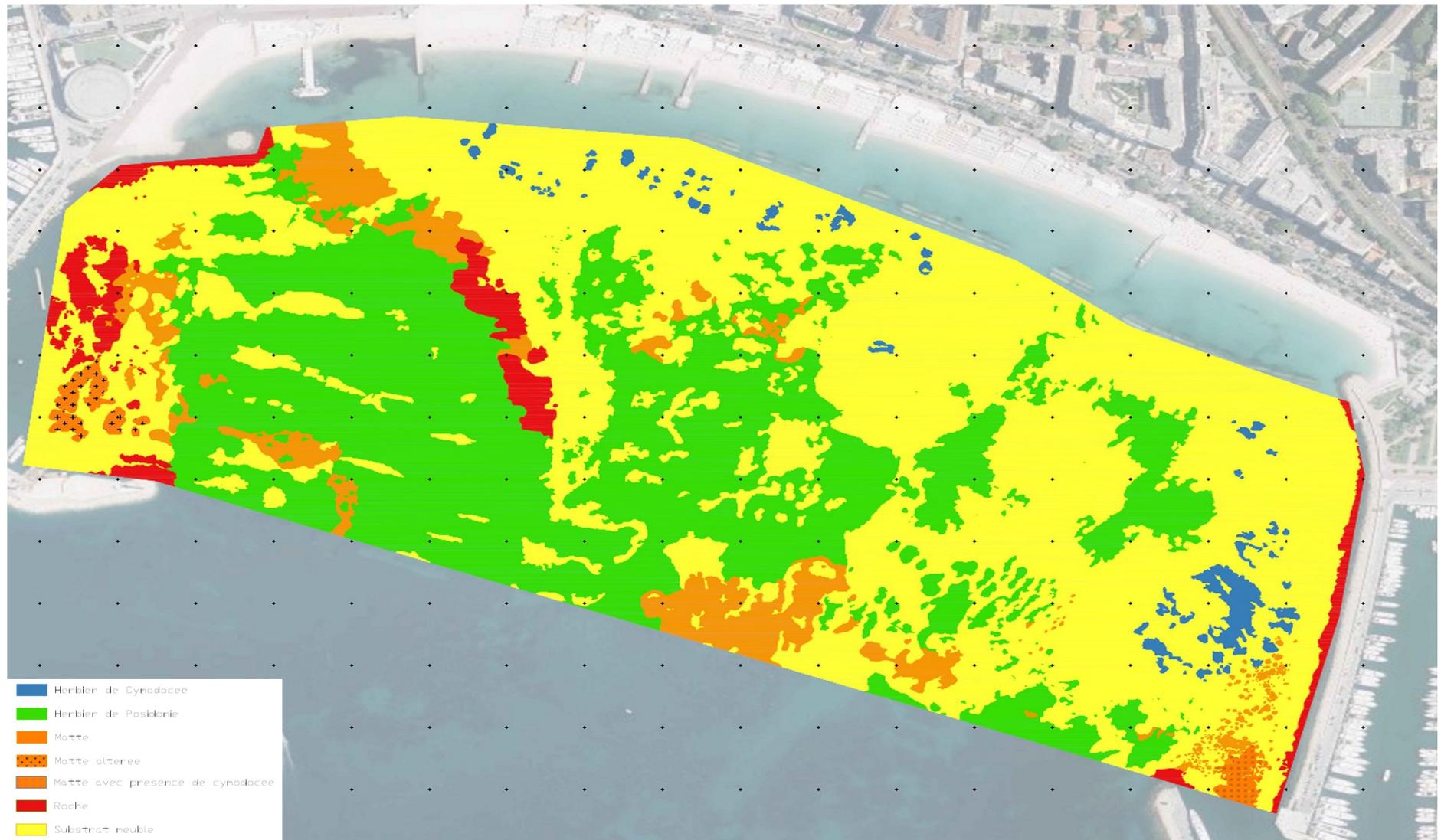
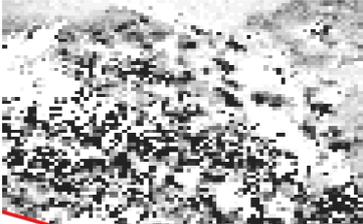
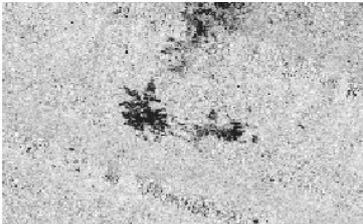
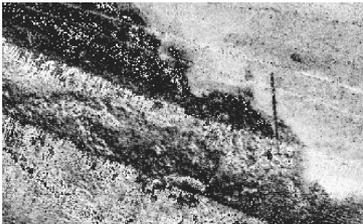


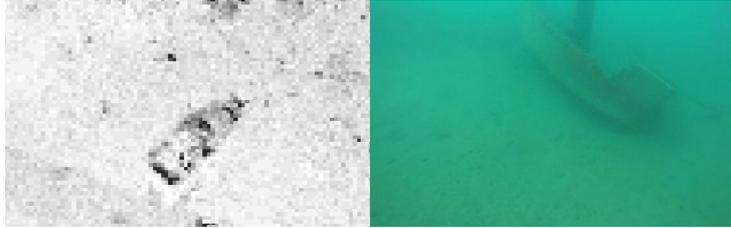
Figure 38: Cartographie des biocénoses de la zone

V.3) Explications et illustration des zones

Dénomination	Description	Imagerie	Vérité terrain
Sédiment	Texture clair et uniforme.		
Roches (Comprend les digues et blocs)	Texture sombre et relief accentué.		
Posidonie	Texture sombre sur le sonar avec relief sur la bathymétrie. Impossible de différencier la posidonie et la posidonie sur roche dans cette étude.		
Cymodocée	Texture sombre sur sonar sans relief bathymétrique. Caractérisé par des rhizomes.		
Matte	Texture sombre sur sonar sans relief bathymétrique. Caractérisé par des rhizomes.		

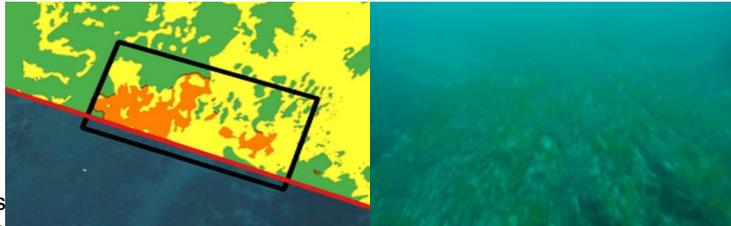
Anthropique

Objet anthropique



Caulerpa

A l'aide des vérités terrain on remarque des zones de caulerpa.
Algue verte éclatant à la caméra



VI. CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT DE L'HERBIER : MOYENS HUMAINS ET MATÉRIELS

VI.1) Équipe

Chef de projet :	BAUER	Eric	Ingénieur océanographe
Chef de mission:	COQUET	Michel	Ingénieur arts et métiers
Expertise des biocénoses:	NOEL	Claire	Ingénieur & Docteur
Opérateurs/pilotes :	BESSE PAYENCHET	Félix Aimy	Technicien océanographe Technicien hydrographe
Scaphandrier Biologiste	LETEURTROIS COQUET	Marine Michel	Écologue des biocénoses marines Ingénieur arts et métiers



Eric BAUER – Chef de projet – Chef de Mission

Ingénieur SEATECH – Technicien hydrographe INTECHMER
 Chef de projet, chef de mission
 Expertise en cartographie sous-marine, cartographie des biocénoses
 Opérateur instrumentation embarquée
 Pilote navire et eaux intérieures, Scaphandrier classe IB
 Référent matériel et missions à la mer
 Formation H0/B0, M0, ATEX0, GIES2, SST



Claire NOËL - Directeur Scientifique – Experte

Fondatrice de SEMANTIC TS.
 Docteur & Ingénieur en acoustique sous marine
 Expert scientifique océanographie et milieu marin
 Capitaine 200, Scaphandrier classe IIB, Monitrice de plongée BEES1 – MF1 – Moniteur Nitrox
 Référente biologie sous marine
 Référente cartographie des biocénoses



Michel COQUET - Ingénieur Arts et Métiers

Chef de mission
 Opérateur instrumentation embarquée
 Opérateur Drone
 Capitaine 200
 Scaphandrier classe IIB, Moniteur de plongée BEES1 – MF2 - Moniteur Nitrox
 Référent construction mécanique



Marine LETEURTROIS - Ingénieure d'études

Ingénieure d'études en écologie marine
 Spécialiste ichtyologie
 Monitoring environnement marin
 SIGiste
 Pilote navire, Scaphandrière classe IB
 Valorisation de projets
 Communication



Félix BESSE – Technicien hydrographe INTECHMER

Opérateur instrumentation embarquée
 Pilote navire
 Traitement des données
 Référent organisation et entretien matériel

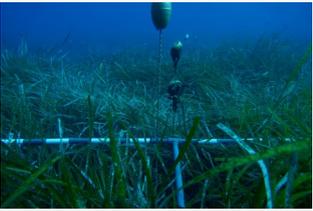


Aimy PAYENCHET

Technicienne hydrographe INTECHMER

Opérateur instrumentation embarquée
Pilote navire
Traitement des données
Intégration matériel

VI.2) Moyens matériels
VI.2.a) Instrumentation

SEMANTIC	Semi-rigide OVERSEA	Sondeur multi-faisceaux SMF interféromètre Sonar latéral de coque Sonar latéral tracté Camera acoustique Vidéo sous marine Support plongé Sondeur mono-faisceau SACLAF	
TEK24	Divertug	Scooter sous-marin avec fixation Gopro	
TZ	PANASONIC/IKELITE	Appareil photographique numérique et caisson sous-marin	
HERO9	GOPRO	Camera 4K	
ETREX	GARMIN	Récepteur GNSS	
Règles et marqueurs sous marin	SEMANTIC TS		
ÉQUIPEMENTS	Divers	Équipements de plongée autonome avec accessoires pour les vérités terrains (quadrats, balises, tablettes,...)	



VI.3) Logiciels

VIDEO TRACKER	Plugin QGIS		Logiciel d'édition et d'analyses de vidéos géo-référencées
QGIS LTR 3.10	QGIS		Système d'information Géographique

VII. CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT DE L'HERBIER : MÉTHODOLOGIE

VII.1) Réalisation des vérités terrain par inspection subaquatique : Stations & Transects

VII.1.a) Méthodologie & Moyens matériels mis en œuvre

Les opérations de reconnaissance subaquatique sont réalisées en plongée subaquatique.

Elles sont réalisées selon la réglementation en vigueur de la plongée professionnelle en scaphandre : règles de sécurité édictées par le Ministère du Travail (décret n°90.277 du 28 mars 1990 et décret 2011-45 du 11 janvier 2011). L'équipe d'observation est constituée de :

- plongeurs INPP Classe II B ou I B ;
- spécialisés en suivis écologiques d'espèces et d'habitats marins sensibles ;
- équipés d'appareil photo numérique et d'un GPS de surface.

VII.2) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance

VII.2.a) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance : Station & Transects

Les plongeurs parcourent en plongée subaquatique la zone à observer.

Ils sont équipés d'un GPS de surface et d'un APN (Appareil Photo Numérique) en caisson et/ou d'une caméra HD Gopro. Avant l'immersion, la montre du plongeur, l'horloge de l'appareil photo ou de la caméra et l'heure du GPS sont synchronisées.

Le plongeur relié à une bouée portant un GPS photographie ou filme le fond.

Les plongeurs réalisent simultanément des observations des espèces protégées. Durant les plongées de reconnaissances, notes d'observations et relevés d'espèces sont effectués sur des plaquettes immergeables.

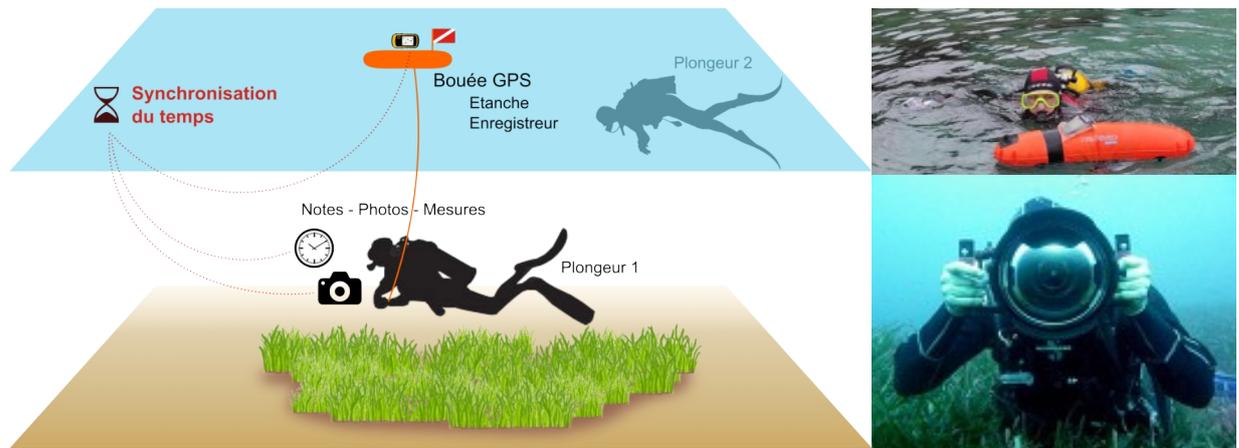


Figure 39 : Méthodologie pour les plongées de reconnaissance subaquatique

La quantité de photos pouvant être importante, une gestion rigoureuse s'impose afin d'éviter les éventuels problèmes d'intégration dans le système de bancarisation final. Ainsi il est nécessaire :

- d'associer un point de localisation GPS à chaque photo ;
- d'attribuer à chaque photo un nom unique pour l'ensemble du site ;
- de respecter la nomenclature des fichiers proposée dans les spécifications techniques de format de données.

Les photos géo-référencées sont présentées sur une carte dynamique, dite "Atlas photographique".

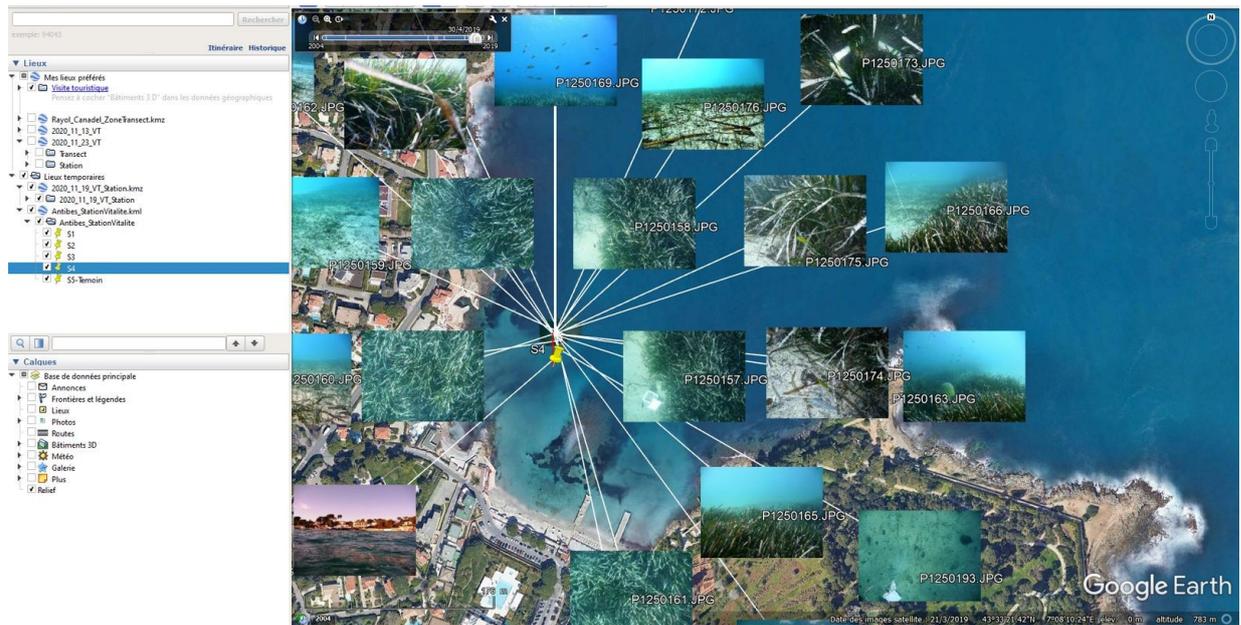


Figure 40: Exemple de localisation des photos géo-référencées relevées lors de plongées de reconnaissance subaquatique

VII.2.b) Méthodologie pour les observations ponctuelles ou en transect

Outre les observations de reconnaissance subaquatique visant à confirmer la classification des fonds marins pour la cartographie des herbiers de posidonies, des observations subaquatiques peuvent être réalisées pour les observations ponctuelles ou en transect.

Le navire muni d'un DGNSS se déplace en naviguant sur les cartographies haute définition réalisées (sonar et bathymétrique) et les **plongées sont réalisées en déposant un repère plombé (Galito)** depuis la surface dès lors que le navire a atteint le waypoint et vérifié sa position sur les cartographies disponibles.

Les plongeurs munis d'un DGPS disposent d'une tablette immergeable, avec un tableau pré-remplé imprimé sur papier étanche. Ils notent leurs observations, ainsi que l'instant d'observation.

La synchronisation de l'heure du GPS et de celle du plongeur permet de géo-référencer les observations de façon précise.

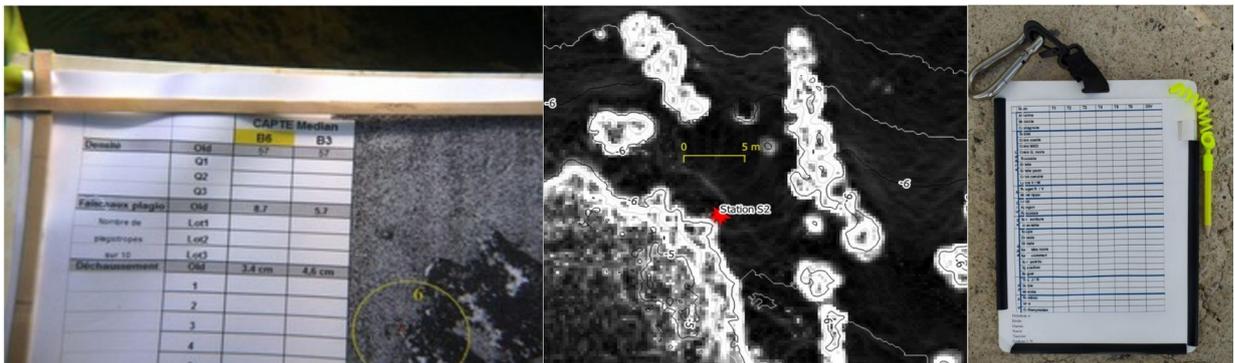


Figure 41 : Plaquettes immergeables pour localisation sur mosaïque sonar ou vue aérienne et tableau pré-rempli

La figure suivante présente un exemple de compilation des observations réalisées le long de transects.

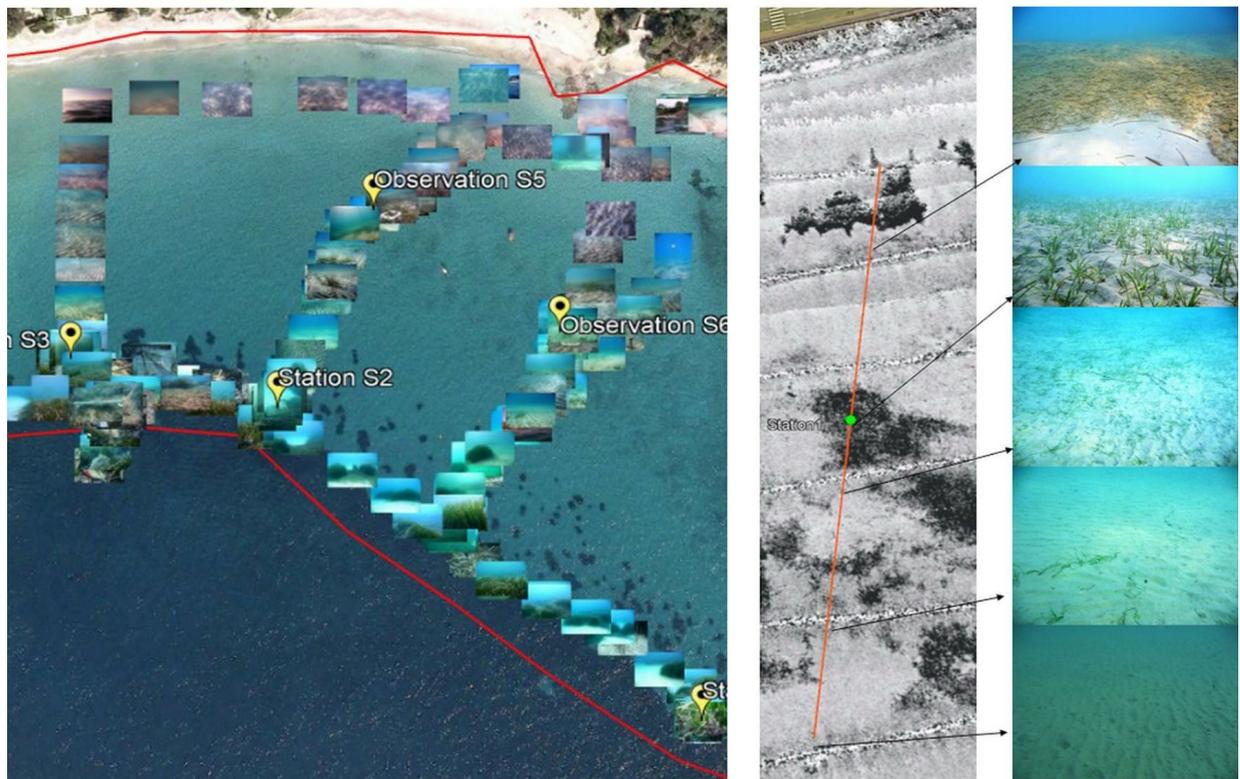


Figure 42 : Exemple d'observations le long de transects. A gauche : Atlas photographiques. A droite : Extrait de la mosaïque sonar et observations associées

VII.3) Méthodologie pour l'évaluation de la vitalité de l'herbier de posidonies - Stations de suivi

L'objectif de la mission est d'établir l'état général des herbiers de posidonies et de cymodocées aux abords immédiats de l'ouvrage concerné par les travaux.
Cet état "zéro" répond au besoin du suivi environnemental de la zone.

VII.3.a) Mesure de la densité des faisceaux

La densité de l'herbier de posidonie correspond au nombre de faisceaux présents par unité de surface. Cette mesure est réalisée avec un quadrat de 20 cm x 20 cm, puis ramenée au mètre carré. Trois mesures de densité sont réalisées de façon aléatoire autour de chaque balise (hors intermattes). Ces mesures de densité permettent de classer l'herbier en cinq catégories, selon les valeurs de densité mesurées en fonction de la profondeur comme le mentionne le tableau suivant [Pergent-Martini C., Pergent G., 2010] :

La densité de l'herbier de posidonie correspond au nombre de faisceaux présents par unité de surface. Cette mesure est réalisée avec un quadrat de 20 cm x 20 cm, puis ramenée au mètre carré. Trois mesures de densité sont réalisées de façon aléatoire autour de chaque balise (hors intermattes). Ces mesures de densité permettent de classer l'herbier en cinq catégories, selon les valeurs de densité mesurées en fonction de la profondeur comme le mentionne le tableau suivant [Pergent 2007]:

Profondeur (m)	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
1	>1195	1195-964	964-732	732-501	<501
2	>1126	1126-903	903-679	679-456	<456
3	>1061	1061-846	846-630	630-415	<415
4	>1000	1000-792	792-585	585-377	<377
5	>942	942-742	742-543	543-343	<343
6	>887	887-696	696-504	504-312	<312
7	>836	836-652	652-468	468-284	<284
8	>788	788-611	611-435	435-259	<259
9	>742	742-573	573-404	404-235	<235
10	>699	699-538	538-376	376-214	<214
11	>659	659-504	504-350	350-195	<195
12	>621	621-473	473-325	325-177	<177
13	>585	585-444	444-303	303-161	<161
14	>551	551-416	416-282	282-147	<147
15	>519	519-391	391-262	262-134	<134

Figure 43: Classification de la densité au m² de l'herbier à posidonies en fonction de la profondeur (en m) [Pergent, 2007]



Figure 44: Exemples de mesures de densité de l'herbier de posidonies - Quadrat 20 cm x 20 cm

VII.3.b) Recouvrement de l'herbier

Le recouvrement est le pourcentage moyen du substrat couvert (en projection verticale) par l'herbier de posidonies (quelle que soit la densité des faisceaux au sein de l'herbier ou des taches de posidonies), par rapport à la surface totale du secteur considéré (sable, vase, peuplements algaux de substrat dur, "matte morte" et herbier vivant). Dans les herbiers peu profonds et sains, le recouvrement peut être élevé (80 -100%). Au contraire, dans les herbiers soumis à un fort impact humain, le recouvrement est habituellement faible (entre 5 et 40 %).

Le recouvrement sera mesuré autour des stations de suivi.

Recouvrement (%)	Interprétation
> 80 %	Très fort recouvrement
60 % ≤ valeur ≤ 80%	Fort recouvrement
40 % ≤ valeur ≤ 60%	Recouvrement moyen
20 % ≤ valeur ≤ 40%	Faible recouvrement
< 20%	Très faible recouvrement

Deux méthodes de mesure du recouvrement existent : directe et indirecte, comme le présente le tableau suivant : présentant la même résolution, les deux méthodes de relevés (direct et indirect) peuvent être utilisées en fonction de la qualité des données sonar acquises et de la position des balises. (Le paramètre de précision de la localisation de l'information n'étant pas informatif dans ce cas puisque la mesure est réalisée autour des stations).

Méthodes	Détermination de « Présence /absence »
Relevé direct	Estimation visuelle par le plongeur. Utilisation de carrés subdivisés en sous-carrés <i>Rq : problème de la localisation de la mesure → information liée au point d'observation</i>
Relevé indirect	Estimation du recouvrement à travers l'analyse de photographies ou l'analyse d'imagerie sonar de coque. <i>Mesure bien géoréférencée. Permet une cartographie du recouvrement.</i>

Résolution de la méthode

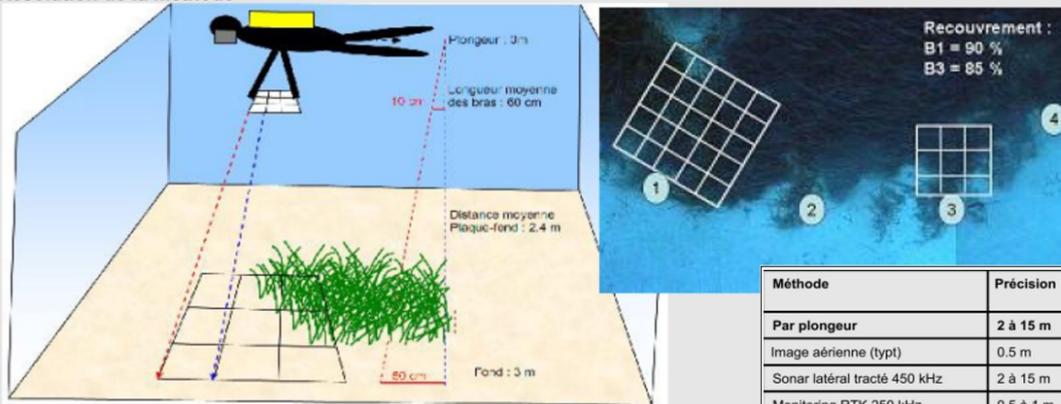


Schéma d'Évaluation de la résolution (Théorème de Thalès)

L'application du théorème de Thalès donne une résolution de 0.5 m pour cette méthode.

Méthode	Précision	Résolution
Par plongeur	2 à 15 m	0.5 m
Image aérienne (typt)	0.5 m	10 à 50 cm
Sonar latéral tracté 450 kHz	2 à 15 m	0.15 à 0.5 m
Monitoring RTK 250 kHz	0.5 à 1 m	0.5 à 1 m
Monitoring RTK HR 250/900 kHz	0.5 à 5 m	0.1 à 0.3 m

VII.3.c) Orientation des rhizomes ou pourcentage de rhizomes plagiotropes

La présence de nombreux rhizomes plagiotropes traçants en limite de l'herbier est un indice de bonne vitalité de l'herbier, car elle traduit une tendance à la progression. Une mesure correspond au comptage sur 10 rhizomes, du nombre de plagiotropes et d'orthotropes, permettant de calculer un pourcentage de rhizomes plagiotropes.

Le pourcentage de rhizomes plagiotropes est qualifié de la façon suivante :

- **Pourcentage de rhizomes plagiotropes compris entre 0 et 10 : Faible.**
- **Compris entre 11 et 29 : Moyen.**
- **Compris entre 30 et 100 : Fort.**

VII.3.d) Déchaussement des rhizomes

Les rhizomes de posidonie sont caractérisés par une croissance horizontale (rhizomes plagiotropes) et/ou verticale (rhizomes orthotropes). La croissance verticale est à l'origine de l'édification des mattes et permet à la plante de lutter contre l'enfouissement, lié à la sédimentation. Le déchaussement des rhizomes résulte d'un déficit sédimentaire dans l'herbier : la quantité de sédiment piégé par la canopée et le sédiment produit in situ (restes d'organismes calcifiés ayant vécu dans l'herbier) est inférieure à la quantité de sédiment qui quitte l'herbier, par exemple lors des tempêtes.

Par convention, le déchaussement est mesuré comme schématisé ci-contre [Boudouresque et al., 1980] :

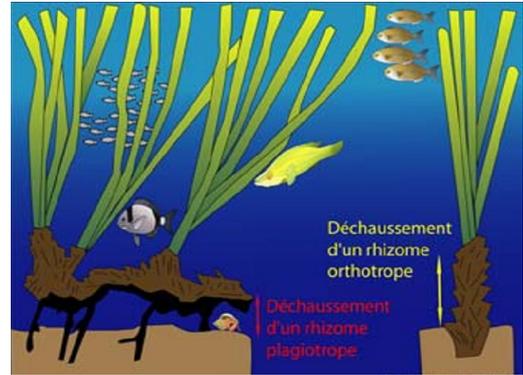
- Rhizomes plagiotropes (rampants): c'est la distance entre le niveau du sédiment ("sol") et la partie inférieure des rhizomes.
- Rhizomes orthotropes (dressés): c'est la distance entre le sédiment et la base de la feuille la plus externe, diminuée de 2 cm.

Le déchaussement est mesuré au cm près.

Une échelle d'évaluation du déchaussement (faible, moyen, important) est proposée en fonction des valeurs moyennes mesurées le long des balisages.

- **Déchaussement inférieur à 5 cm : Faible.**
- **Déchaussement entre 5 et 15 cm : Moyen.**
- **Déchaussement supérieur à 15 cm : Important.**

1 mesure correspond à 1 rhizome.



VII.3.e) Longueur des deux plus grandes feuilles - Nombre de feuilles par faisceau

Ces paramètres font partie des paramètres de "Phénologie" (ou biométrie). Ils fournissent des informations sur le développement végétatif de la plante.

La longueur des feuilles adultes, c'est-à-dire, celles dont la croissance est terminée correspond à :

- **Longueur de la première (F1) et la deuxième (F2) plus longue feuille du faisceau.**
- **La mesure est réalisée sur une dizaine de faisceaux par station.**

VII.3.f) Espèces associées sur l'ensemble des stations

Lors des plongées de mesure des paramètres de vitalité de l'herbier de posidonies les espèces associées à l'herbier sont observées.



Rougets



Girelle paon



Sars



Serran écriture



Banc de saupes



Banc d'athérines



Apogons & Crénilabre tanche



Crénilabre à queue noire



Banc de mulets

Figure 45 : Exemple d'observations de vertébrés

VII.4) Méthodologie pour l'estimation de la répartition et de la vitalité de l'herbier de cymodocées

VII.4.a) Méthodologie pour les observations ponctuelles de la répartition sur station & richesse faunistique environnante

Outre les observations de reconnaissance subaquatique visant à confirmer si besoin la classification des fonds marins pour la cartographie des herbiers de cymodocées, des observations subaquatiques seront réalisées dans le but de caractériser la répartition de l'herbier de cymodocées :

- Observation de la densité : Photographie dans un quadrat de la densité des faisceaux.
- Longueur des feuilles.
- En parallèle des observations de la richesse de la faune et de la flore environnante sont relevées.
- Des prises de vues sous-marines géo-référencées seront réalisées avec export d'un atlas photographique.

Le navire muni d'un DGPS se déplace en naviguant sur les cartographies haute définition réalisées (sonar et bathymétrique) et les **plongées sont réalisées en déposant un repère plombé (Galito)** depuis la surface dès lors que le navire a atteint le waypoint et vérifié sa position sur les cartographies.

Les plongeurs disposent d'un quadrat 20 cm x 20 cm, un mètre et une tablette immergeable, avec un tableau pré-rempli ainsi que la pré-cartographie et la disposition des balises imprimées sur papier étanche. Ils notent leurs observations. Les espèces observées, associées à l'herbier de cymodocées sont renseignées.



Figure 46 : Exemple d'observations d'espèces associées à l'herbier de cymodocées
De gauche à droite : Spirographe - Banc d'athérines - Padines

VII.4.b) Longueur des feuilles

La longueur des feuilles adultes, c'est-à-dire, celles dont la croissance est terminée, est mesurée.

VII.4.c) Prises de vues avec quadrat pour la caractérisation de la densité à partir de photographie

Le quadrat est déposé sur un waypoint sélectionné lors de l'analyse de la mosaïque sonar lors de la phase de constitution du plan d'échantillonnage.

Trois photos quadrats de l'herbier sont prises de façon aléatoire autour du waypoint-station ainsi que des vues d'ensemble de l'herbier.



Figure 47 : Herbier de cymodocées : Exemples de photographies quadrat . A gauche et au centre : En Lagon. A droite en mer ouverte

VIII. CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT DE L'HERBIER : TRAITEMENT DES DONNÉES ET RÉSULTATS

VIII.1) Conditions sur site & Déroulé des travaux

Les observations ont été réalisées le 22 novembre 2023.

Les conditions météorologiques et de mer sont favorables aux missions de reconnaissances subaquatiques.



Conditions météorologiques du 22 novembre 2023 à Cannes (Windguru)

Le déroulé des travaux est le suivant :

Date	Heure	
22/11/2023	10 h	Mobilisation – Installation sur le navire
	11h00	Transit sur site
	11h30	Début des plongées
	14h40	Fin plongées & Transect d'observation
	15 h	Transit retour - Démobilisation du matériel
	16 h	Sortie de l'eau du navire



Figure 48 : Plongeurs réalisant les mesures et observations subaquatiques
 A gauche : Plongeur N°1 : Mesures des densités, déchaussement et plagiotropes
 En bas : Plongeur N°2 : Biométrie foliaire et mesures complémentaires densité et plagiotropes



VIII.2) Observations & Mesures de la vitalité de l'herbier de posidonies

VIII.2.a) Position des stations

Les figures suivantes présentent les positions des stations d'observation et de mesure des paramètres de la vitalité de l'herbier de posidonies.



Figure 49 : Positions des stations d'observation et de mesure des paramètres de la vitalité de l'herbier de posidonies

Les stations sont présentées d'Ouest en Est dans les chapitres suivants.

VIII.2.b) Station S9

La balise historique S9 installée à la limite de l'herbier de posidonie est en place. La station S9 est située à l'Ouest de la baie à 4,7 m de profondeur sur un fond meuble, avec présence de gros galets coté Est de la balise. L'herbier est discontinu. La matte morte est largement visible ce qui est accentué par le fait que l'herbier est ras.

Station S9 - Profondeur 5 m	2023	
Taux de recouvrement (%)	70 %	Écart-type
Densité moyenne de faisceaux par m ²	414	130
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	26 %	15 %
Déchaussement moyen (cm)	7	4,0
Broutage	+++	
Epibiontes	+	
Longueur F1 (cm)	19,2	2,1
Longueur F2 (cm)	16,5	2,1
Nombre de feuilles par faisceau	6	1
Observation poissons	+	



Localisation sur vue aérienne →

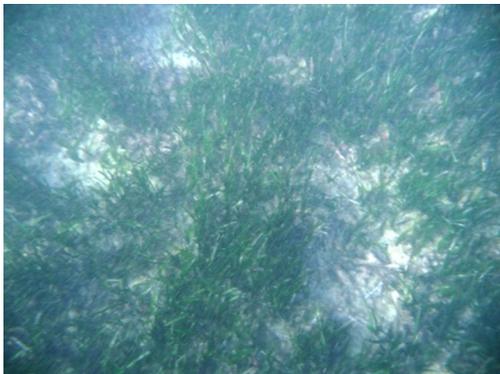


Figure 50 : Station S9 – Herbier de posidonies

En haut : Recouvrement – Vue du dessus : Balise en place

Au centre : Mesure de la densité – Rhizomes plagiotropes

En bas : Rhizomes plagiotropes - Déchaussement dans l'herbier

VIII.2.c) Station S6

La balise historique S6 installée à la limite de l'herbier de posidonie est en place.

Les caractéristiques suivantes ont été observées : Herbier en îlots, situé sur de grandes langues de matte. Balise au nord d'un vaste îlot au sein duquel est mesuré le recouvrement. Paysage remarquable lié à la topographie du fond. Forte variation de la densité, visible à l'œil. Le déchaussement est très marqué à l'intérieur de l'herbier.

Station S6 - Profondeur 6 m	2023	
Taux de recouvrement (%)	60 %	Écart-type
Densité moyenne de faisceaux par m ²	437	125
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	11 %	12 %
Déchaussement moyen (cm)	10	4,5
Broutage	+	
Epibiontes	+	
Longueur F1 (cm)	28,7	2,3
Longueur F2 (cm)	25,2	2,3
Nombre de feuilles par faisceau	7	1
Observation poissons	-	



Localisation sur vue aérienne →

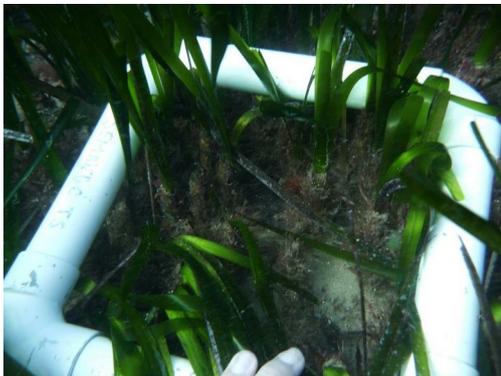


Figure 51 : Station S6 – Herbier de posidonies

En haut : Recouvrement – Vue du dessus de la balise

Au centre : Mesure de la densité – Rhizomes plagiotropes

En bas : Canopée & Déchaussement – déchaussement de rhizomes orthotropes très marqué

Quelques rares thalles de *Caulerpa taxifolia* (espèce invasive) sont observés

VIII.2.d) Station S11

La balise historique S11 installée en limite herbier-matte est en place. Elle se situe à l'Est de la baie à 6,1 m de profondeur. Les caractéristiques suivantes ont été observées : Recouvrement variable (visible sur les photos en vue de dessus). Existence en certains endroits, d'une jonction sable-herbier vivant. Déchaussement des rhizomes dan l'herbier. Quelques tombants de matte sans herbier. Le déchaussement est important en quelques points à l'intérieur de l'herbier et en sa limite avec le sédiment.

Station S11 - Profondeur 6 m	2023	
Taux de recouvrement (%)	60 %	<i>Écart-type</i>
Densité moyenne de faisceaux par m ²	388	130
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	14 %	13 %
Déchaussement moyen (cm)	8	3,6
Broutage	+	
Epibiontes	+	
Longueur F1 (cm)	29,8	3,6
Longueur F2 (cm)	24,7	3,6
Nombre de feuilles par faisceau	6	1
Observation poissons	-	



Localisation sur vue aérienne →



Figure 52 : Station S11 – Herbier de posidonies

En haut : Recouvrement – Vue du dessus : Tombant de matte morte en limite au droit de la balise

Au centre : Mesure de la densité – Rhizomes plagiotropes

En bas : Nombreux rhizomes plagiotropes limite de l'herbier sur matte – Déchaussement et érosion en bordure

VIII.2.e) Station S3

La balise relative à la station historique S3 est en place. Elle se situe à l'Est de la baie à 4.5 m de profondeur et à environ 70 m des géotubes qui protègent la plage. La station se situe en limite d'un herbier hétérogène se développant sur un substrat meuble. La limite est franche à régressive et le déchaussement est marqué en bordure et à l'intérieur de l'herbier.

Station S3 - Profondeur 5 m	2023	
Taux de recouvrement (%)	60 %	<i>Écart-type</i>
Densité moyenne de faisceaux par m ²	413	105
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	13 %	13 %
Déchaussement moyen (cm)	11	4,9
Broutage	+	
Epibiontes	+	
Longueur F1 (cm)	21,1	3,2
Longueur F2 (cm)	17,8	3,2
Nombre de feuilles par faisceau	7	1
Observation poissons	+	



Localisation sur vue aérienne →

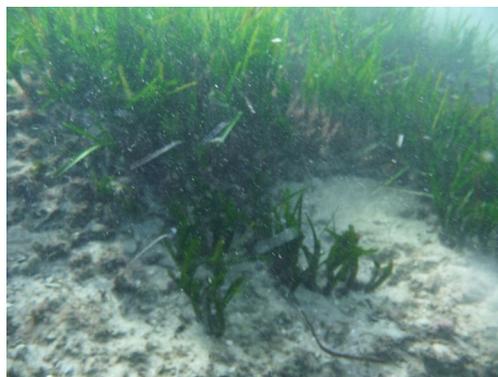


Figure 53 : Station de S3 – Herbier de posidonies
 En haut : Recouvrement – Balise
 Au centre : Mesure de la densité – Rhizomes plagiotropes
 En bas : Densité médiocre – Déchaussement en limite

VIII.2.f) Station S10

La station S10 est située à l'Est de la baie à 150 m de la digue à 5.6 m de profondeur. L'herbier est discontinu. Le recouvrement est hétérogène laissant découvrir de la matte morte. Le déchaussement est important à l'intérieur de l'herbier. La balise historique n'a pas été retrouvée. Le galito déposé au DGPS RTK ayant permis de retrouver les balises précédentes à moins de 2 m de leur position, les mesures et observations ont été réalisées à proximité du lieu de dépose du galito.

Station S10 - Profondeur 6 m	2023	
Taux de recouvrement (%)	60 %	Écart-type
Densité moyenne de faisceaux par m ²	475	180
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	10 %	14 %
Déchaussement moyen (cm)	5	2,2
Broutage	+	
Epibiontes	+	
Longueur F1 (cm)	19,9	3,6
Longueur F2 (cm)	15,8	3,6
Nombre de feuilles par faisceau	6	1
Observation poissons	+	



Localisation sur vue aérienne →

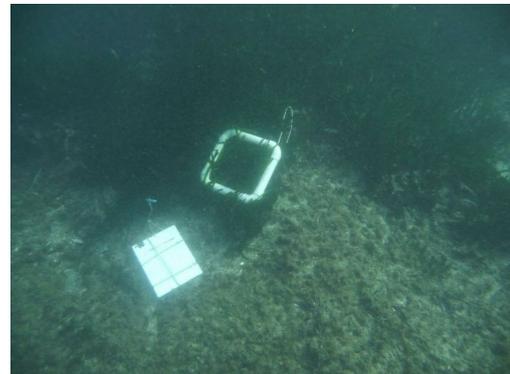


Figure 54 : Station S10 – Herbier de posidonies

En haut : Recouvrement – Vue du dessus

Au centre : Mesure de la densité – Rhizomes plagiotropes

En bas : Densité médiocre – Déchaussement à l'intérieur de l'herbier

VIII.3) Transects d'observation sur digue

Une plongée d'observation a été effectuée le long de la digue de Port Canto selon un aller-retour. L'aller a été réalisé en limite inférieure des enrochements chaotiques et le retour en sub-surface.

Les observations subaquatiques visaient à identifier la présence d'espèces protégées.

Le premier transect "fond" est réalisé du sud vers le nord sur une pente douce remontant vers la plage, passant de 4 à 1 m de profondeur. Très peu d'espèces ont été rencontrées en limite inférieure et aucune espèce protégée est observée. Présence de déchets urbains (poubelle) et de consommation (canettes, chaussures, emballages...).



Figure 55 : Transect d'observation du fond en limite inférieure de la digue



Le deuxième transect a été réalisé en sub-surface entre 1 et 2 m de profondeur. La digue est riche de vie vagile avec l'observation du cortège de poissons des petits fonds côtiers classiques de Méditerranée et d'un siphonostome de Méditerranée (*Syngnathus tiphle*)

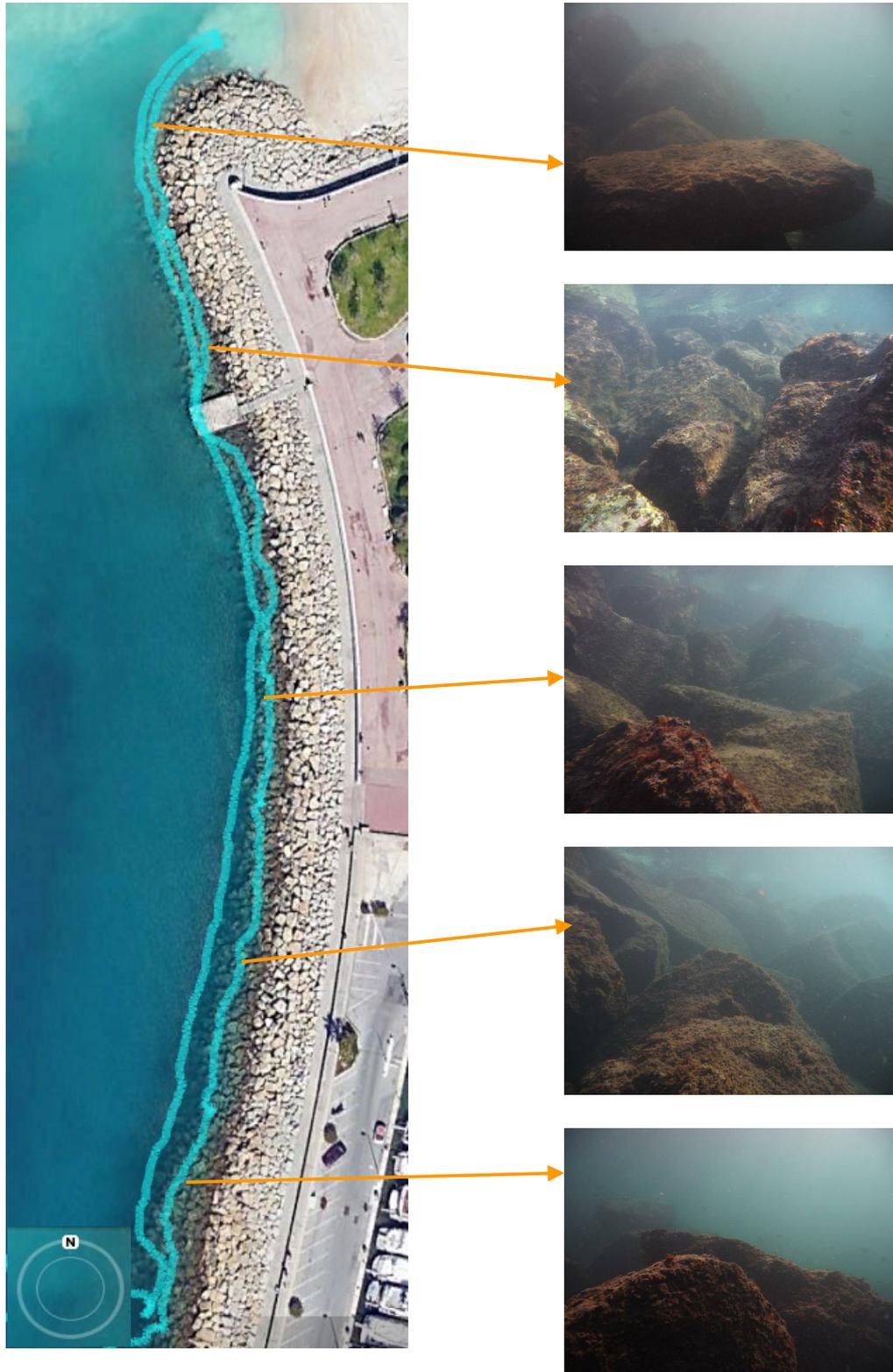


Figure 56 : Transect d'observation sub-surface le long de la digue

VIII.4) Observations de la faune associée aux stations d'herbiers

Les espèces de poissons et autres organismes observés sur les stations sont présentés dans la figure ci-après :

Famille	Nom commun	Nom scientifique	S9	S6	S11	S3	S10	Transect
Atherinidae	Athérine	<i>Atherina sp.</i>						++++
Echinasteridae	Etoile de mer rouge	<i>Echinaster sepositus</i>	+			+	+	
Holothuridae	Holothurie tubuleuse	<i>Holothuria tubulosa</i>				+	+	
Labridae	Crénilabre lanche	<i>Symphodus tinca</i>	++		+	++		+++
Labridae	Girelle	<i>Coris julis</i>	+					+++
Labridae	Crénilabre cendré	<i>Symphodus cinereus</i>	+(J)					
Mugilidae	Mulet	<i>Mugil sp</i> ou <i>Chelon sp</i>						++
Mullidae	Rouget	<i>Mullus sp.</i>						++
Pomacentridae	Castagnole	<i>Chromis chromis</i>	+			++	+	
Scleractinia	Cladocore	<i>Cladocora caespitosa</i>						+++
Serranidae	Serran chevrette	<i>Serranus cabrilla</i>		+			+	++
Sparidae	Sparillon	<i>Diplodus annularis</i>		++		+	+	
Sparidae	Sar à tête noire	<i>Diplodus vulgaris</i>					+	++
Sparidae	Sar commun	<i>Diplodus sargus</i>						++
Sparidae	Oblade	<i>Oblada melanura</i>						++
Syngnathidae	Siphonostome	<i>Syngnathus typhle</i>						+
Nombre d'espèces			5	2	1	5	6	12

Figure 57 : Espèces observées

Densité : + 1 ou 2 individus ++ 3 à 10 individus +++ [10 ,100] individus +++++ >100 individus - (J) : Juvéniles

Pas d'observation de faune non indigène, ni de faune protégée, ni de grande nacre vivante. Quelques thalles de *Caulerpa taxifolia* ont été observés à proximité de la station S6 (espèce non indigène invasive).

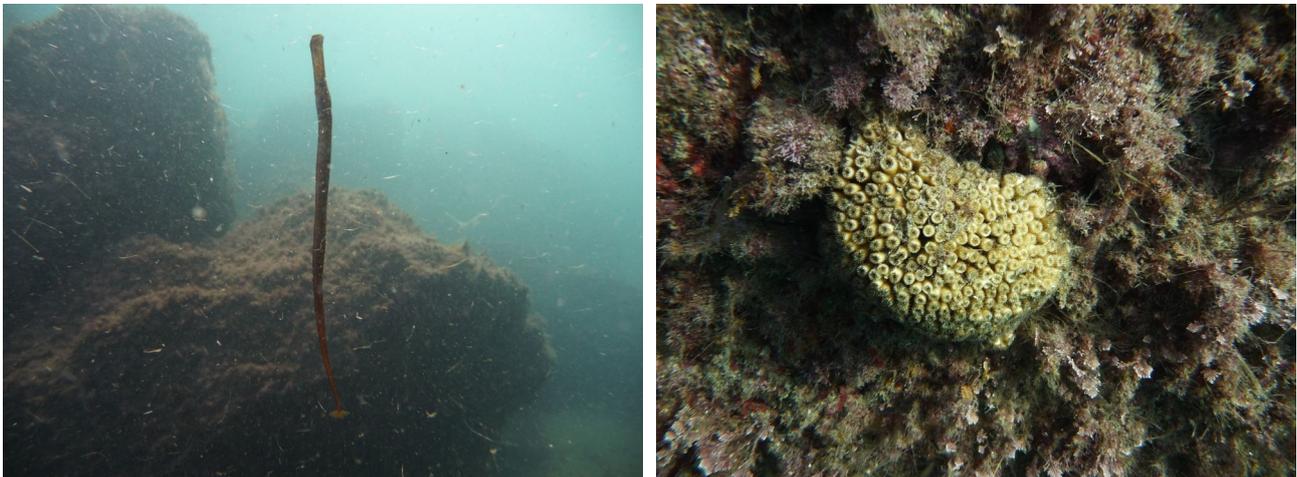


Figure 58 : A gauche, syngnathe (siphonostome de Méditerranée) - A droite, cladocore.

VIII.5) Atlas photographique

Environ 380 vues sous-marines géo-référencées ont été acquises en plongée subaquatique.

L'ensemble de toutes ces vues des fonds marins a été compilé dans un dossier au format KMZ (Google Earth).

L'atlas photographique livré au format KMZ en même temps que ce rapport, présente ces photos géo-référencées.

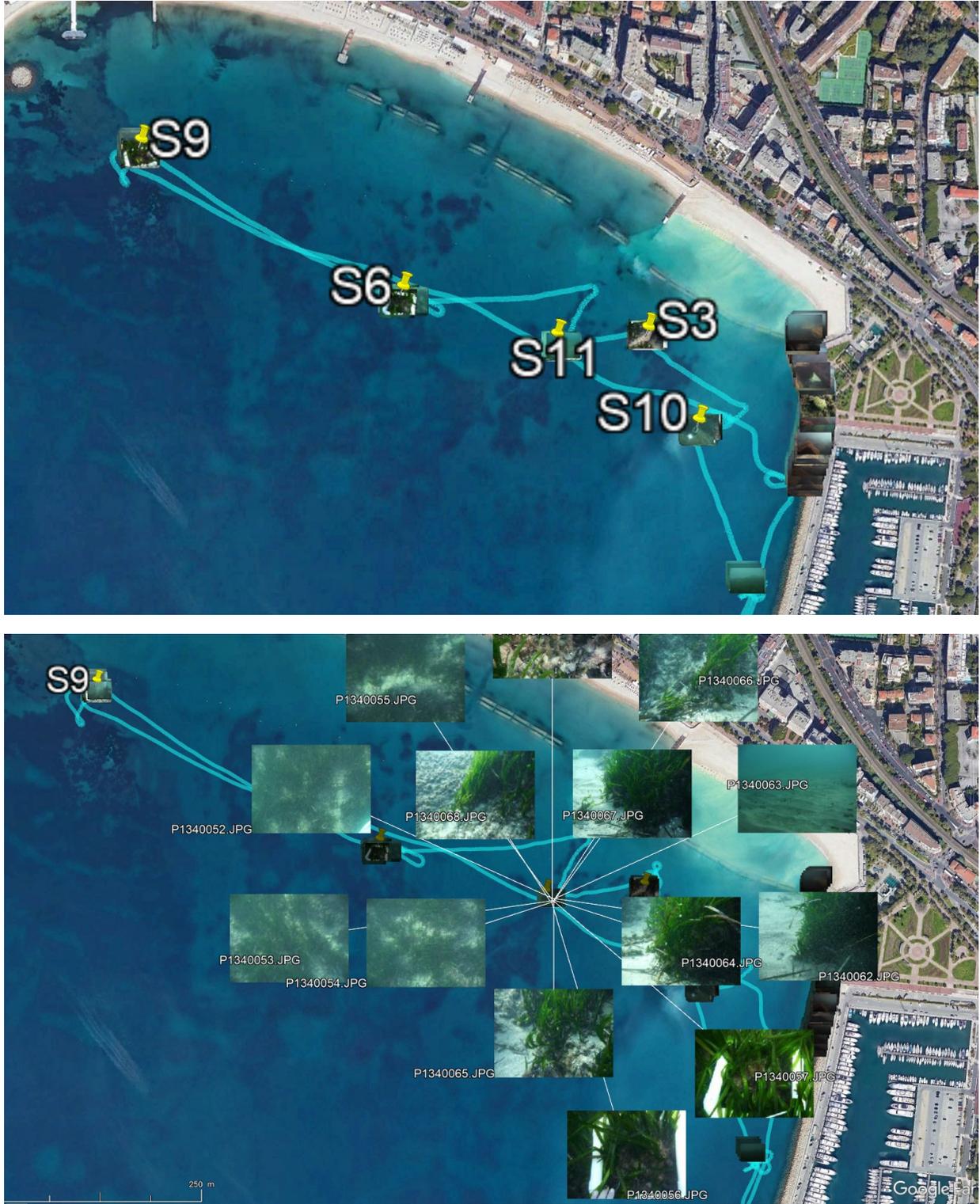


Figure 59 : Atlas photographique (environ 380 photographies géoréférencées)
 Positions sous GOOGLE EARTH des photographies sous-marines réalisées lors des explorations subaquatiques

VIII.6) Synthèse & Conclusions

VIII.6.a) Résultats des observations subaquatiques

Les herbiers de posidonies de la plage croisette (Commune de Cannes) sont discontinus et dispersés dans la baie. La vitalité des herbiers de posidonies de la baie a été observée en 5 stations dont les positions sont présentées sur la figure ci-dessous.



Figure 60 : Positions des stations d'observation de la vitalité de l'herbier de posidonies (En jaune) et du transect d'observations le long de la digue (Trait orange)

Un transect d'observation a été réalisé en plongée subaquatique sur un aller-retour le long de la digue d'une distance d'environ 180 m afin de rechercher la présence éventuelle d'espèces protégées (Trait orange).

Stations

Lors des opérations d'inspections subaquatiques nous avons retrouvé, hormis en S10, toutes les balises relatives aux stations historiques.

La méthodologie appliquée, tant pour :

- l'implantation des repères (Balise FENO),
- le géo-référencement des stations installées en 2017 à l'aide d'un DGPS RTK,
- le process de navigation lors du retour sur zone en 2023 (utilisation d'une station de navigation),
- l'utilisation d'un DGPS RTK pour le positionnement lors du retour sur zone,
- l'usage d'un galito pour le marquage sur le fond des lieux d'exploration,

s'est révélée particulièrement pertinente pour retrouver les balises.

Les stations d'observation de la vitalité de l'herbier ont été positionnées historiquement (en 2011) en limite inférieure d'herbier afin de pouvoir appliquer la méthodologie RSP [Pergent et al 2010]¹ dont le protocole est adapté à des herbiers continus. Ceci n'est pas le cas dans la baie, la limite de l'herbier de posidonie dans la baie n'étant pas continue, et celui-ci étant fortement fragmenté.

Certains paramètres sont alors difficiles à apprécier dans ce cas, en raison de la non homogénéité locale de l'herbier.

Les informations relatives à la densité des faisceaux font partie des plus informatives.

1 [Pergent-Martini et al., 2010] (Propositions de lignes directrices pour la standardisation des méthodes de cartographie et de surveillance des magnoliophytes marines en Méditerranée. PNUE-PAM-CAR/ASP, Contrat N°72/2009, Tunis)

Le tableau suivant synthétise les résultats des mesures des paramètres de la vitalité de l'herbier de posidonies :

Stations 2023	S9 (4.7 m)	S6 (6.4 m)	S11 (6.1 m)	S3 (4.5 m)	S10 (5.6 m)
Taux de recouvrement (%)	70 %	65 %	60 %	60 %	60 %
Densité moyenne de faisceaux par m ²	414	437	388	413	475
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	26 %	11 %	14 %	13 %	10 %
Déchaussement moyen (cm)	7	10	8	11	5
Broutage	+++	+	+	+	+
Epibiontes	+	+	+	+	+
Longueur F1 (cm)	19	29	30	21	20
Longueur F2 (cm)	17	25	25	18	16
Nombre de feuilles par faisceau	6	7	6	7	6
Observations faune	+	-	-	+	+

Figure 61 : Synthèse des résultats des mesures des paramètres de la vitalité de l'herbier de posidonies (Nov 2023)

Rappel des légendes de couleurs → En ce qui concerne la densité, la classification est effectuée selon l'abaque de [Pergent-Martini et al., 2010] qui dépend de la profondeur.	Taux (%) de Recouvrement	Très faible ≤20%	Faible 20% < x ≤40%	Moyen 40% < x ≤60%	Fort 60% < x ≤80%	Très fort >80%
	Densité / abaque [Pergent 2010]	Mauvaise	Médiocre	Moyenne	Bonne	Très bonne
	% Rhizomes Plagiotropes		Faible x ≤10%	Moyen 10% < x <30%	Fort 30% ≤ x ≤100%	
	Déchaussement (cm)		Faible < 5	Moyen 5 ≤ x ≤ 15	Fort > 15	

La densité de l'herbier de posidonies est qualifiée de médiocre selon les valeurs des grilles de standardisation, et ce sur l'ensemble des stations de la baie.

Le recouvrement affiche quant à lui des taux classés forts (supérieurs à 60%) au regard des valeurs standardisées pour les stations S9 et S6 et des valeurs qui se situent à la limite du seuil fort/moyen (60%) pour les stations S11, S3 et S10.

Les faisceaux plagiotropes sont des faisceaux de feuilles situés à l'extrémité de rhizomes rampants, qui tendent à coloniser des espaces libres et donc à étendre la surface de l'herbier. Des taux de rhizomes plagiotropes élevés révèlent la forte capacité de l'herbier à se développer horizontalement et à coloniser les tombants ou les trous de matte morte présents au sein de l'herbier.

Les mesures des pourcentages de faisceaux plagiotropes relevés sur les stations indiquent des taux moyens compris entre 10% et 26%. Sur les stations par endroits les taux peuvent être élevés (comme par exemple sur figure ci-dessous). Toutefois les pourcentages élevés sont compensés par des pourcentages très faibles voir nuls à proximité immédiate.



Figure 62 : Rhizomes plagiotropes dans l'herbier de posidonies

Les rhizomes de l'herbier de posidonies sont déchaussés au sein de l'herbier et aussi en limite. Le déchaussement est un point commun à toutes les stations. Celui-ci varie de 5 à 11 cm en moyenne mais va en réalité au-delà de ces valeurs notamment pour S3 et S6. Ce phénomène est marqué aussi bien à l'intérieur qu'en bordure des herbiers.

La nature du substrat (sable grossier, sable fin, sable vaseux, matie morte y compris sous-jacente, algues en épave) et la présence de *ripple-marks*, peut apporter des informations sur les conditions hydrodynamiques du site (Pergent, 2007). Situé en eaux peu profondes (5 m à 6 m), et se développant sur le fond sableux d'une baie ouverte, l'herbier peut ainsi être soumis à un fort hydrodynamisme. De forts mouvements sédimentaires pouvant conduire à terme à structurer son état général.

Des *ripple marks* ont été observées sur toutes les stations et sont particulièrement importantes en S11 et S6, attestant de mouvements sédimentaires majeurs sur le fond.

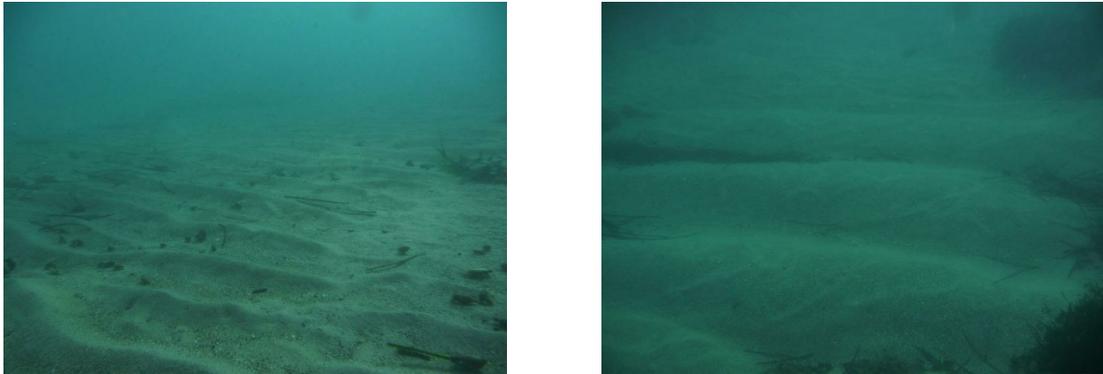


Figure 63 : Importantes *Ripple marks* observées en limite de l'herbier de posidonies
Station S11 – Station S6

Notons que les informations relatives à la biométrie (longueur des feuilles et nombre de feuilles par faisceau) s'avèrent peu informatives, car très similaires d'une station à l'autre.

La vie sous-marine observée à proximité des stations est plutôt pauvre mais la saison n'est pas propice aux observations de poissons (début d'hiver, eaux se refroidissant, plusieurs jours de vent précédant la mission). Hormis à l'Ouest de la baie (à proximité de la station S9) les herbiers ne sont pratiquement pas broutés. Ceci est à corréluer avec le fait que peu de poissons ont été observés aux alentours des stations et plus généralement peu de vie sous-marine (quelques étoiles de mer et oursins).

Notons, qu'aucune espèce protégée autre que la posidonie (*Posidonia oceanica*), est observée lors des explorations subaquatiques. Aucune nacre vivante observée, mais un individu mort. Quelques thalles de l'espèce invasive *Caulerpa taxifolia* ont été observés en S6.

Transect

Aucune espèce protégée n'a été observée le long des deux transects d'inspections subaquatiques réalisés.

Le premier transect "fond" a été réalisé du sud vers le nord sur une pente douce remontant vers la plage, passant de 4 m à 1 m de profondeur. Très peu d'espèces ont été rencontrées en limite inférieure. Présence de déchets urbains (poubelle) et de consommation humaine (canettes, chaussures, emballages ...).

Le deuxième transect a été réalisé en sub-surface entre 1 et 2 m de profondeur. La digue est riche de vie vagile avec l'observation du cortège de poissons des petits fonds côtiers classiquement observés en Méditerranée et d'un siphonostome de Méditerranée (*Syngnathus tiphle*), rencontre assez rare surtout sur un milieu rocheux artificiel.

VIII.6.b) Comparaison avec les données de 2018

En octobre 2018, SEMANTIC TS a réalisé une étude de vitalité d'herbier sur les stations matérialisées par des balises FENO permettant un suivi précis des mêmes lieux en 2023.

Les résultats de l'étude de 2018 sont repris dans le tableau suivant :

Stations 2018	S9 (4.7 m)	S6 (6.4 m)	S11 (6.1 m)	S3 (4.5 m)	S10 (5.6 m)
Taux de recouvrement (%)	> 80 %	> 80 %	65 %	75 %	65 %
Densité moyenne de faisceaux par m ²	458	350	317	350	308
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	30 %	0 %	7 %	10 %	0 %
Déchaussement moyen dans l'herbier	1,4	4,0	3,0	3,3	2,1
Déchaussement moyen en limite (en cm)	-3,3	-	-2,8	-1,5	-2,0
Longueur F1 (cm)	45,7	52,7	52,1	45,2	49,5
Longueur F2 (cm)	55,3	60,3	61,3	52,5	56,2
Nombre de feuilles par faisceau	6	5	4	5	5

Figure 64 : Synthèse des résultats 2018 (période d'échantillonnage : mi octobre)

Il est à noter que la saisonnalité est différente avec des observations à la mi-octobre pour 2018 et en fin du mois de novembre pour 2023. A l'approche de l'hiver, les feuilles les plus longues tombent, la morphologie des fonds sédimentaires situés à proximité des herbiers est modifiée par les courants engendrés par les conditions climatiques et la température plus faible de l'eau a une influence sur la composition et l'abondance des communautés de poissons.

La densité au mètre carré reste le critère le plus informatif pour une comparaison.

Les valeurs des densités sont globalement, et compte tenu de l'inhomogénéité de l'herbier au droit des stations, inchangées par rapport en 2018.

La densité de l'herbier de posidonies est qualifiée de médiocre selon les valeurs des grilles de standardisation, et ce sur l'ensemble des stations de la baie.

La variation du code couleur de la densité en S10 est uniquement liée au fait qu'elle avoisinait en 2018 le seuil de quantification "médiocre/mauvais" de la grille standardisée (312 faisceaux au m² à 6 m de profondeur).

Le recouvrement est variable autour des stations. Il est globalement observé à la baisse, mais conserve de forts taux en S9 et S6 (supérieurs à 60%) et des taux en limite du seuil Fort/Moyen de 60 % à l'Est (en S11, S3 et S10).

L'herbier déchaussé est plus fragile face aux pressions hydrodynamiques et humaines et pourrait voir sa vitalité se détériorer dans l'avenir.

Un déchaussement léger avait été signalé en 2018 à l'intérieur de plusieurs stations tandis qu'un léger ensablement était observé en limite.

En 2023, le déchaussement est un point commun à toutes les stations. Celui-ci varie de 5 à 11 cm en moyenne mais va en réalité au-delà de ces valeurs notamment pour S3 et S6. Ce phénomène est marqué aussi bien à l'intérieur qu'en bordure des herbiers.

Toutefois notons que les données sont difficilement comparables car en raison de l'inhomogénéité de la distribution spatiale de l'herbier et de sa structure complexe aux abords des stations, deux séries différentes de mesures avaient été réalisées en 2018, une série dans l'herbier et une série en limite, quand une seule série globale a été relevée en 2023, moyennant les valeurs.

En ce qui concerne les informations relatives à la biométrie, en raison des conditions climatologiques et de la perte des feuilles les plus longues, la comparaison avec les données antérieures de 2018 n'est pas informative.

De la même façon l'observation de plus nombreux juvéniles de poissons en octobre 2018 qu'en novembre 2023 peut aussi être reliée au fait que les eaux étaient plus chaudes aux dates d'observation de 2018 et n'avaient pas subi de périodes de refroidissement important depuis l'été.

L'algue invasive *Caulerpa taxifolia* reste présente (quelques thalles) aux alentours des stations localisées dans la partie centrale de la baie (en S6) mais de façon beaucoup plus restreinte qu'en 2018 où étaient observées (en S6 et S5) quelques taches sur la matre morte et au sein de l'herbier de posidonies.

Elle a par contre été observée en 2023 dans la partie Est de la baie sur les vidéos sous-marines réalisées.

VIII.6.c) Conclusions

Globalement l'herbier de posidonies de la baie est en mauvaise santé : fragmentation de sa répartition, faibles densités mesurées, colonisation (en régression) par *Caulerpa taxifolia*, déchaussement des rhizomes, présence de fortes *ripple marks* attestant de mouvements sédimentaires majeurs sur le fond et ce en limite de l'herbier.

La vitalité s'améliore dans la partie Est (Station S9) qui apparaît en meilleure santé que le reste du secteur.