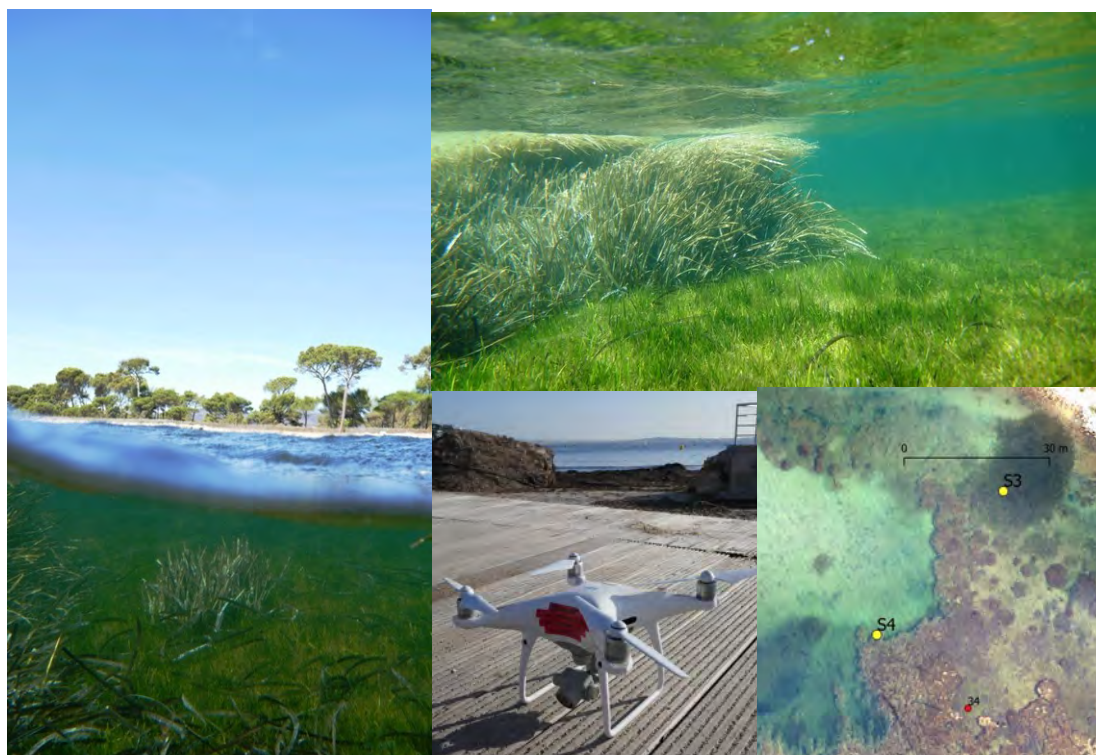


Rapport d'Etude

Suivi des herbiers marins sur le site des Vieux Salins d'Hyères dans le cadre des travaux de désenrochements

Mission N°1 : avant travaux



Destinataire : Conservatoire du Littoral

Rédacteur : BAUER Eric - NOEL Claire

Projet : 19/544 - Hyeres_VieuxSalins_ConservatoireLittoral

Document Ref. SEMANTIC TS : N° R/19/053/CN/V2 - Rapport de suivi (Mission 1) du 15/11/2019

Mémoire Technique

Évolution du document

Version N°	Date	Référence	Évolution
2	15/11/2019	R/19/053/CN/V2 - Rapport de suivi (Mission 1)	Corrections mineures Suppression des éléments non informatifs
1	24/09/2019	R/19/053/CN - Rapport de suivi (Mission 1)	Document initial

Autre document associé

Version N°	Date	Référence	Évolution
1	04/10/2019	Dossier SIG de livraison N°B/19/096/CN	Document initial

Visa Contrôle Qualité	Visa Contrôle Administratif
Nom : MARCHETTI Simon Fonction : Chef de projet Date : 15/11/2019 Visa : 	Nom : TEMMOS Jean Marc Fonction : Directeur Date : 15/11/2019 Visa : 

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

BAUER E., NOEL C. 2019. Suivi des herbiers marins sur le site des Vieux Salins d'Hyères dans le cadre des travaux de désenrochements. Mission N°1 : avant travaux SEMANTIC TS publ., Fr., R/19/053/CN.

SOMMAIRE

I. Introduction.....	4
I.1) Contexte & Zone d'étude.....	4
I.2) Objectif de l'étude.....	4
I.3) Justification du choix des méthodologies utilisées.....	5
II. Méthodologie de réalisation du suivi de la limite supérieure des herbiers.....	7
II.1) Principe de la méthode de cartographie par imagerie aérienne.....	7
II.2) Acquisition d'une orthophotographie par drone aérien sur les 800 m de la zone d'étude.....	8
II.3) Installation des marqueurs de référencements (Géotagging).....	9
II.4) Prise de vues aériennes par drone téléopéré.....	9
II.5) Traitements des données.....	9
Orthophotographie.....	10
II.6) Principe de la méthode de segmentation d'une image aérienne.....	10
III. Méthodologie pour les observations subaquatiques.....	12
III.1) Moyens mis en œuvre.....	12
III.2) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance.....	12
III.3) Acquisition de vidéos et de photographies sous-marines géo-référencées.....	13
III.4) Méthodologie les observations ponctuelles (stations) de la vitalité.....	14
Mesure de la densité des faisceaux.....	14
Orientation des rhizomes ou pourcentage de rhizomes plagiotropes.....	15
Adéquation des méthodes de suivi.....	15
IV. Résultats de la mission N°1 : avant travaux.....	16
IV.1) Compte rendu de la mission.....	16
IV.2) Orthophotographie et relevé de la limite de l'herbier de posidonies.....	18
IV.3) Suivi de la distribution spatiale de l'herbier de posidonies.....	20
IV.4) Observations subaquatiques.....	22
IV.5) Observations de la vitalité.....	23
Lieux des stations de suivi.....	23
Station S2.....	24
Station S4.....	24
Station S6.....	25
Station S1.....	25
Station S3.....	26
Station S5.....	26
Espèces associées observées.....	27
IV.6) Conclusions de la Mission 1.....	28
IV.7) Bon de livraison B/19/098/CN.....	28

I. INTRODUCTION

I.1) Contexte & Zone d'étude

SEMANTIC TS, **Bureau d'Études en Environnement & Océanographie Acoustique**, spécialisé en cartographie et monitoring des fonds marins et expert en reconnaissance environnementale et en écologie marine Méditerranéenne, réalise pour le compte du Conservatoire du Littoral, une étude de suivi des herbiers marins sur le site des Vieux Salins d'Hyères dans le cadre des travaux de désenrochements.

L'objectif de l'étude est de réaliser un suivi cartographique exhaustif de la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* et des zones colonisées par *Cymodocea nodosa* au droit du site des Vieux Salins d'Hyères. Ce suivi cartographique est complété par un suivi de la vitalité des herbiers. Les suivis sont réalisés : avant les travaux d'aménagement prévus sur le site et après, afin d'évaluer leur impact sur les herbiers (4 interventions au total).

Le périmètre de l'étude est situé sur la commune d'Hyères, en limite de la commune de La Londe-les-Maures, dans le département du Var (83) en région PACA. L'aire d'étude se situe au sein de la rade d'Hyères, protégée des tempêtes par les îles de Porquerolles et Port Cros et l'île du Levant au large, et par le tombolo de la presqu'île de Giens à l'ouest. Elle couvre un linéaire côtier de 800m, qui correspond à la zone de travaux sur le littoral des Vieux Salins prolongée de 100 m de part et d'autre.



Figure 1 : Zone de travaux (800m) - La cartographie est réalisée au droit des zones de désenrochement futurs, indiquées sur la carte ci-dessus (traits bleu, violet et vert, soit environ 575m), et prolongée sur environ 100m de part et d'autre de cette zone, soit un linéaire total de 800 m

I.2) Objectif de l'étude

L'objectif de ce projet est d'effectuer 4 campagnes pour le suivi de l'impact éventuel des travaux

- avant les travaux d'aménagement,
- après les travaux,
- puis un an après la fin des travaux
- et deux ans après la fin des travaux.

Ces campagnes comprennent :

- l'acquisition de données aériennes **haute résolution** de la zone d'étude par un drone aérien
- des acquisitions de vérités terrains sous-marines (catalogue de photos sous-marines géo-référencées)
- 6 stations de vitalité réparties dans les deux types d'herbier en présence : posidonies et cymodocées
- la mise en forme des données et la production de cartes
- la comparaison des résultats ceux des campagnes antérieures

Ce rapport explicite les moyens et les méthodologies mis en œuvre et présente les résultats de la mission N°1 réalisée avant les travaux.

Les travaux sur le terrain ont été réalisés entre le 12 et 14/09/2019.

I.3) Justification du choix des méthodologies utilisées

Le choix des méthodologies proposées pour cette étude est conforme aux recommandations du 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], **CF pages 78 et 79.**

En effet, les méthodes retenues pour le suivi des herbiers de posidonies sont :

- Télédétection aérienne, explorations subaquatiques géo-référencées et cartographie par fusion multi-capteurs. L'imagerie aérienne est particulièrement performante dans le cas de très petits fonds, comme c'est le cas pour le secteur des vieux salins)
- Mesure stationnelle de la densité

La fréquence de suivi préconisée est de 3 ans.

Stratégie globale surfacique : cartographie globale		Tout le secteur		Tous les 3 à 6 ans
Méthodes	Illustration	Info globale	Export	Avis Technique
Télédétection aérienne		Limite supérieure Recouvrement petit fond	Indice de conservation Évolution de la limite sup.	Global très précis Moyenne à haute résolution
Télédétection 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		Limite supérieure Limite inférieure 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
Télémetrie acoustique		Limite supérieure Limite inférieure Recouvrement	Indice de conservation local Évolution des limites	Haute résolution pour suivi local
Balisage 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	
Stratégie ponctuelle		N points de réseau		Tous les 3 ans
Méthodes	Illustration	Info ponctuelle	Autres	Avis technique
RSP Plongeur Balise 10 paramètres		Recouvrement ponctuel + 10 autres paramètres	Évolution limite en un point Évolution vitalité	Tout n'est pas utile
Plongeur		Densité	Évolution vitalité	
Plongeur 17 paramètres		17 paramètres	Scientifique	Non utilisable pour les gestionnaires

Figure 2 : 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 est bien adaptée en raison de la faible profondeur et de la clarté des eaux dans le secteur. De plus une orthophotographie récente a été acquise par l'IGN (2017)

Le sonar tracté n'est pas adapté en raison des très faibles fonds.

La méthode de télémetrie acoustique (aquamètre) n'est pas adaptée car les zones à étudier sont trop grandes et nécessitent de nombreuses calibrations et points de calage au fond (tous les 100 m). De plus cette méthode, du

fait qu'elle est linéaire, est difficile à mettre en œuvre de façon certaine, notamment pour gérer les contours en présence d'herbier constitué de petites taches en limite comme sur l'image ci-après (des taches peuvent être omises). **Seule une méthode surfacique locale, permet de déterminer correctement la limite de l'herbier de posidonies.**

La méthodologie proposée, basée sur un moyen téléopéré en vol aérien proche de la surface de la mer, permet de couvrir l'intégralité de la surface de la zone d'étude en mer, depuis le trait de côte en allant jusqu'au récif barrière, et en intégrant la barre d'émersion, et ce avec une résolution d'image aérienne inférieure à 20 cm, nécessaire au suivi des herbiers.

Les campagnes de levés d'image aérienne sont réalisées à chaque opération permettant la comparaison de données entre chaque campagne.

C'est actuellement la seule méthode qui assure la complétude surfacique du lever et permet de monitorer les limites de l'herbier de posidonies du récif barrière, étant donné que celui-ci est en partie découvert.

En ce qui concerne les stations d'observation et de mesure des paramètres de vitalité des herbiers, nous suivons les recommandations du Guide Cadre Eval_Impact édité par les DREAL PACA et Occitanie en juin 2018, pour lequel SEMANTIC a en particulier contribué à la réflexion menée lors de la rédaction des fiches thématiques relatives aux herbiers de posidonies et de zostères.

Il est important de noter que la méthode stationnelle est adaptée au suivi d'une surface herbier homogène, ou de sa limite franche. Les stations relatives au suivi des zostères seront situées au cœur d'une des nombreuses prairies de zostères qu'abrite le lagon.

Par contre, les posidonies du lagon sont réparties en taches, il est donc difficile d'utiliser une méthode de type station, qui n'est pas adaptée à une distribution en patch. Les posidonies du lagon, dont la distribution spatiale est de type "en patches" seront suivies de façon surfacique durant les 4 campagnes, sur deux secteurs de suivi micro-surfacique.

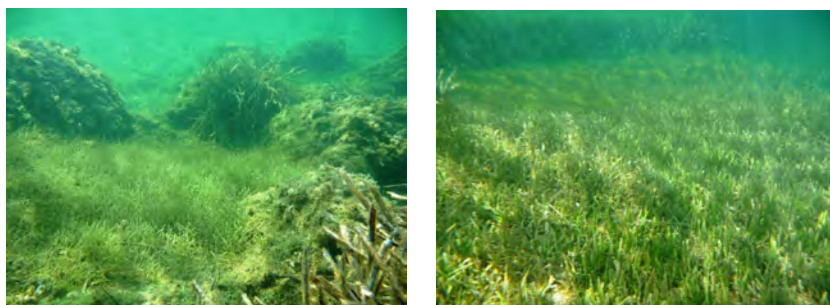


Figure 3 : Configuration des herbiers du secteur d'étude situés à l'intérieur du lagon

A gauche : Herbier de posidonies en taches

A droite : Une des nombreuses prairies de cymodocées abritées par le lagon

De plus il est nécessaire de disposer d'informations sur des stations dites de « référence » ou « témoins » situées hors de la zone d'influence des travaux. C'est pourquoi nous avons proposé la réalisation à chaque campagne de 6 stations pour laquelle 2 stations de références situées hors de la zone d'impact des travaux sont localisées sur une prairie de cymodocées et sur le récif barrière, et 2 couples de 2 stations localisées au droit de la zone des travaux et situées dans des prairies de cymodocées et sur le récifs barrière.



Figure 4 : Position des stations de mesures des paramètres de vitalités des herbiers

Les stations (en jaune) sont situées sur le récif barrière et sur un herbier dense de cymodocées

A droite : 2 stations de références situées hors de la zone d'impact des travaux

A gauche : 2 couples de 2 stations de vitalité au droit de la zone des travaux (récif et herbiers de cymodocées)

En rouge : secteurs de suivi micro-surfacique de la distribution en taches de l'herbier de posidonies du lagon

II. MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION DU SUIVI DE LA LIMITE SUPÉRIEURE DES HERBIERS

II.1) Principe de la méthode de cartographie par imagerie aérienne

Pour réaliser le relevé de l'herbier de posidonies nous fusionnons les informations issues des différents capteurs :

- **Les images : aériennes historiques disponibles**
 - BD ORTHO HR 2017 (Haute résolution : 20 cm)
 - Orthophotographie BRGM (si disponible)
- **L'image aérienne complémentaire THR (Très haute Résolution : 5 cm) réalisée à l'aide de notre drone aérien (Phantom 4 Pro Plus)**
- **Les photos-sous marines géo-référencées et les observations de vérité terrain prises lors des inspections subaquatiques**

Les huit étapes de la réalisation d'une cartographie de l'herbier de posidonies par fusion multi-capteurs sont les suivantes :

Étape 1 : Acquisition en dalles Sélection de l'image aérienne de référence : Issue de données existantes et / ou Acquisition par drone aérien	Étape 2 : Traitement ou Mosaïquage (Constitution de l'image globale géo référencée) 	Étape 3 : Segmentation Contourage de zones homogènes 	Étape 4: Plan d'échantillonnage Vérités terrain (observations et vitalité) : choix des waypoints 
Étape 5 : Export des WPT pour la navigation sur les images segmentées	Étape 6 : Vérités terrain & mesures ponctuelles vitalité 	Étape 7 : Interprétation Classification à partir des vérités terrain & Amélioration de la segmentation	Étape 8 : Production de la cartographie Format d'export 

II.2) Acquisition d'une orthographie par drone aérien sur les 800 m de la zone d'étude

Le Phantom 4 Pro Plus, drone aérien piloté par le logiciel Pix4D, permet l'acquisition de clichés haute résolution. Celle-ci est primordiale pour la mise en œuvre de la génération d'une orthophotographie.

Des cibles géo-codées sont installées dans la zone de mesure et à proximité immédiate de celle-ci. Elles sont géo-référencées à l'aide d'un DGPS-RTK en mode mobile. Le réseau de cibles ainsi constitué permet le calage du modèle numérique issu de la photogrammétrie dans le monde réel.

Les prises de vue aériennes sont effectuées par drone télé-opéré selon un plan de vol pré-établi permettant un recouvrement des clichés aériens supérieur à 50 %.

Les photographies sont assemblées et l'image en sortie est très résolutive (5 cm) et géo-référencée.



Figure 5 : À gauche: DJI P4Pp (Drone de prise de clichés aériens)

Mise en œuvre du drone aérien et exemple de plan de vol

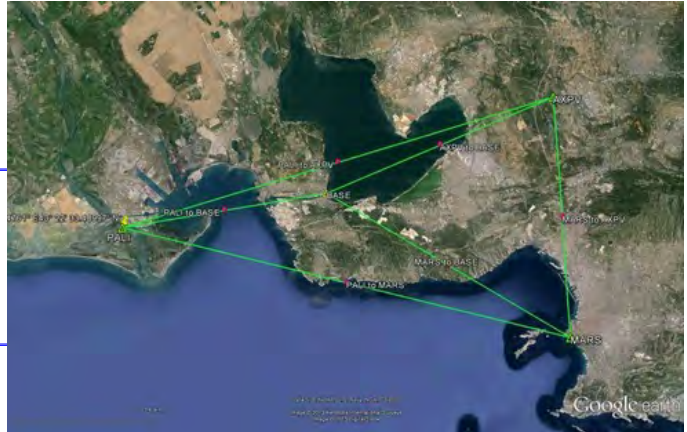
A Droite : Orthophotographie aérienne (1km linéaire) très haute résolution réalisée à partir des levers par drone

II.3) Installation des marqueurs de référencements (Géotagging)

Une base de référence GPS RTK est installée à proximité du chantier. Elle permet de garantir un positionnement des cibles sur la zone de mesure.

Dans tous les cas, la distance entre la base implantée par SEMANTIC TS et les stations RGP (de l'ordre de 20 km) conduiront à une précision du point pivot de 2.5 cm puisque la dégradation est de 1 ppm soit 1 cm par kilomètre d'éloignement.

Figure 6 : Rattachement du point de référence au réseau IGN



Des cibles géo-codées sont alors installées dans la zone de mesure et à proximité immédiate de celle-ci. Elles sont géo-référencées à l'aide d'un DGPS-RTK en mode mobile. Le réseau de cibles ainsi constitué permet le calage du modèle numérique issu de la photogrammétrie dans le monde réel.

Figure 7 : Exemple d'implantation de cible géo-tagguée



II.4) Prise de vues aériennes par drone téléopéré

Le Phantom 4 Pro Plus, drone aérien piloté par le logiciel Pix4D, permet l'acquisition de cliché haute résolution primordiale pour la mise en œuvre de la génération d'une orthophotographie et de mesure photogrammétrique.



Figure 8 : Le DJI P4Pp (Drone de prise de clichés aérien)

II.5) Traitements des données

La photogrammétrie est une technique qui consiste à effectuer des mesures dimensionnelles dans les trois directions de l'espace, en utilisant la parallaxe obtenue entre des images acquises selon des points de vue différents.

Il est important de noter que la mise en œuvre du process de photogrammétrie, relatif à cette étape, est nécessaire pour l'établissement du modèle numérique de terrain 3D, duquel est extrait l'ortho-référencement, et la construction de l'orthophotographie sur laquelle se base la méthode de suivi.

Sans cette étape, l'image assemblée n'est qu'une mosaïque de photographies, qui n'offre pas les éléments de précision et de résolution demandés dans ce projet.

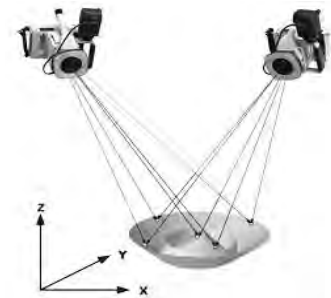


Figure 9 :Principe de la photogrammétrie

Orthophotographie

L'image de référence est traitée afin de faire ressortir les contrastes afin de faciliter la détermination des limites hautes de l'herbier de Posidonie. La figure ci-dessous est l'illustration de cette méthode sur les données de la BD ORTHO IGN 2017 sur la zone de travaux de la présente étude.



Figure 10 : Exemple d'amélioration de contraste dans la zone de la limite supérieure de l'herbier.
A gauche : image BD ORTHO 20cm données brutes - A droite : image BD ORTHO 20cm partiellement traitée.

II.6) Principe de la méthode de segmentation d'une image aérienne

La segmentation des images aériennes est réalisée sous SIG, à l'aide d'un outil de segmentation développé par SEMANTIC TS. Celui-ci a été mis au point pour fonctionner localement car les niveaux de couleurs des pixels de l'image relatifs à de l'herbier de posidonies peuvent varier de part et d'autre de la zone d'étude sur l'image de référence. Cet outil permet, de proche en proche, de reconstituer en mode semi-automatisé la limite de herbier de posidonies. L'opérateur qui réalise l'opération valide manuellement chaque portion de la limite, en ré-ajustant si nécessaire les seuils de segmentation.

Cette méthode fonctionne bien pour des images aérienne relatives à l'herbier de posidonies de résolution supérieure ou égale à 20 cm, et permet d'obtenir un linéaire délimitant l'herbier de posidonies comme le montre la figure ci-dessous :



Figure 11 : Principe de la segmentation de l'orthophotographie HR IGN 2017 (Résolution 20 cm)

Les lieux pour lesquels l'opérateur rencontre des difficultés à segmenter (détourner les zones homogènes) ou à classifier (identifier la nature du fond), il s'appuie sur les données acquises par les images sous-marines géo-référencées.

Dans ce projet, la résolution de l'ortho-image obtenue avec le drone aérien est de 1 cm. Cette ultra haute résolution (UHR) permet de mettre en évidence des détails sur la distribution de l'herbier de posidonies. Les feuilles sont même facilement distinguables. En particulier elle met en évidence la distribution extrêmement morcelée de l'herbier, pour lequel il n'existe pas, physiquement, avec cette ultra haute résolution, de limite franche,

donc de ligne (objet linéaire mathématique) permettant de délimiter la partie homogène de l'herbier de posidonie.



Figure 12 : Observation de la distribution extrêmement morcelée de l'herbier (Orthoimage UHR (Résolution 1cm))

De ce fait il n'existe pas de ligne reproductible par segmentation automatisée ou semi automatisée permettant de définir une limite.

Nous avons alors opté pour la conservation de la résolution maximale et défini une ligne, dite « linéaire de référence », ne détournant pas tous les micro-patches d'herbier, mais permettant à l'observateur de pouvoir se positionner de façon comparative. L'évolution de l'herbier est observée le long de ce linéaire, à travers l'analyse comparée des orthophotos UHR qui seront prises à chaque retour sur site.

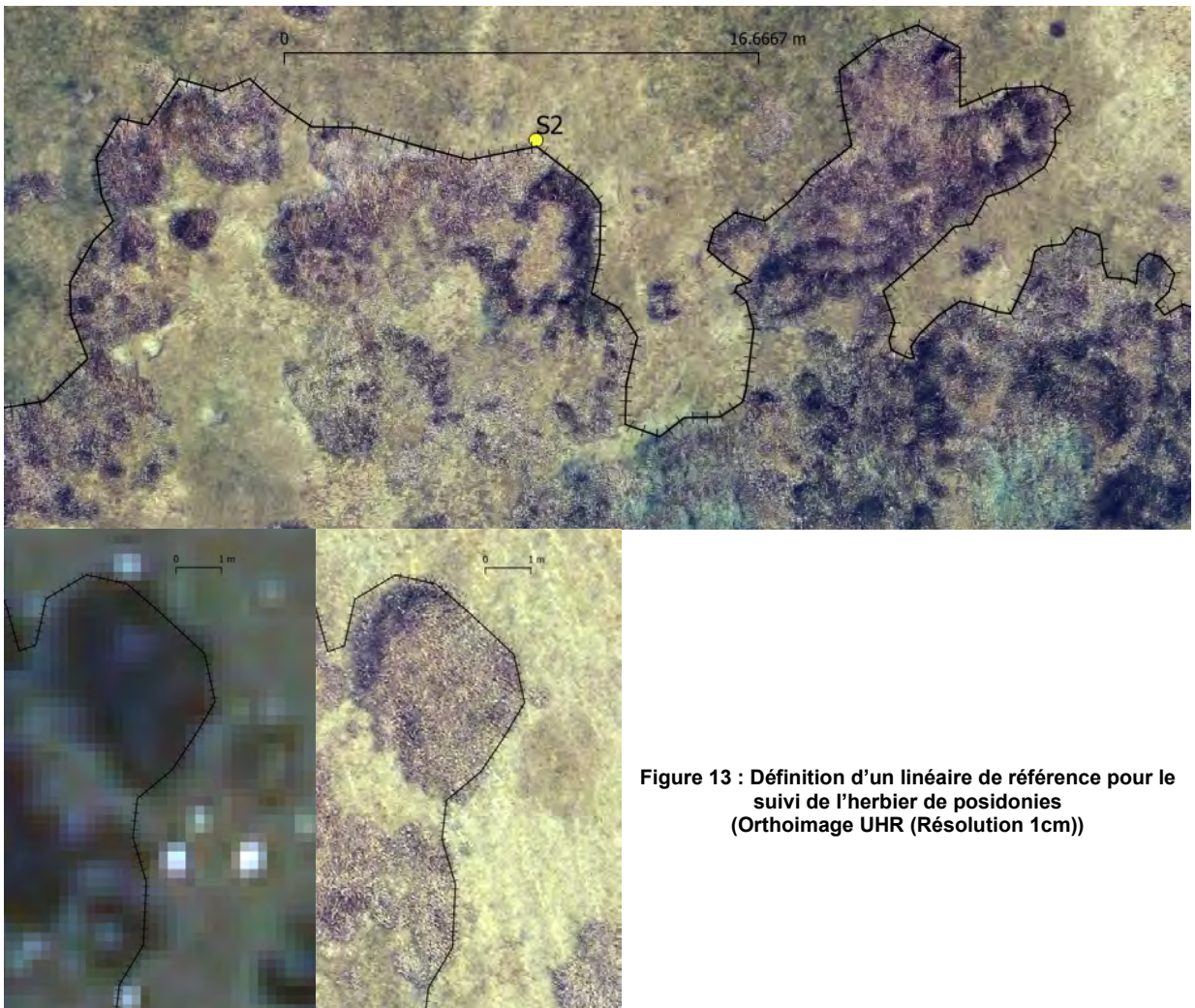


Figure 13 : Définition d'un linéaire de référence pour le suivi de l'herbier de posidonies (Orthoimage UHR (Résolution 1cm))

III. MÉTHODOLOGIE POUR LES OBSERVATIONS SUBAQUATIQUES

III.1) Moyens mis en œuvre

SEMANTIC TS, pour la réalisation des travaux de reconnaissance subaquatique, utilise son Mlni Navire Océanographique (Le MINO) inscrit au commerce et support de plongée.

Les opérations de reconnaissance subaquatique sont réalisées en plongée subaquatique.

Les opérations de reconnaissances subaquatique seront 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
- spécialisés en suivis écologiques d'espèces et d'habitats marins sensibles
- équipés d'appareil photo numérique et d'un GPS de surface.

III.2) Méthodologie pour les plongées de reconnaissance

L'image aérienne haute résolution étant disponible, les photographies de reconnaissance subaquatique intègrent une démarche plus performante de validation et de complétion de l'information cartographique déjà disponible.

Les plongeurs parcourent en plongée subaquatique la zone à observer.

Ils sont équipés d'un GPS de surface et d'un APN numérique en caisson et/ou 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 inventaire sont effectués sur plaquettes immergeables.

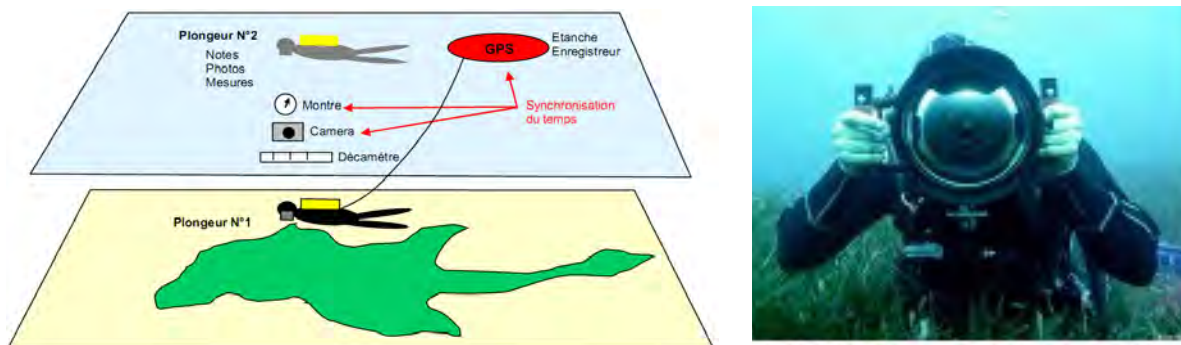


Figure 14 : Méthodologie pour les plongées de reconnaissance subaquatique

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 ensuite présentées sur une carte dynamique.



Figure 15: Exemple de localisation des photos géo-référencées relevées lors de plongées de reconnaissance subaquatique

III.3) Acquisition de vidéos et de photographies sous-marines géo-référencées

Navire à très faible tirant d'eau, le MINO permet de naviguer dans les zones de 50 cm de fond. Équipé d'un GPS RTK et d'une perche avec une caméra vidéo, il est possible d'acquérir un nombre considérable de vérités terrain sur un linéaire assez étendu.

À partir de ces vidéos des images sont extraites pour constituer un atlas photographique consultable directement sur Google Earth ou sur Qgis.

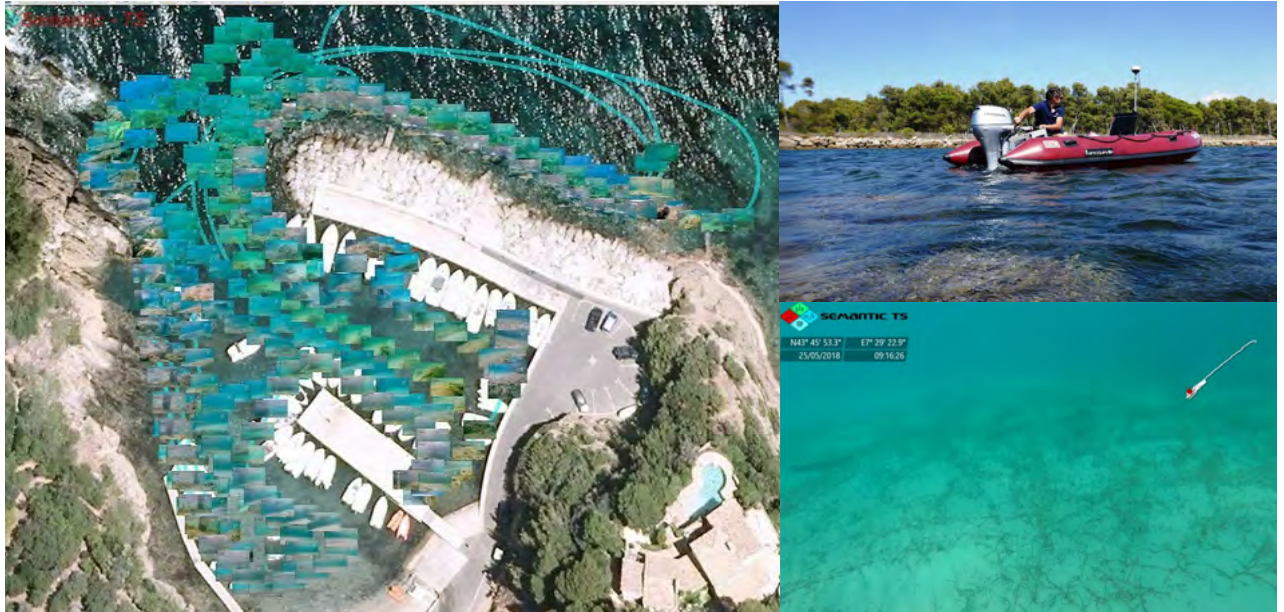


Figure 16 : Exemple de carnet de photographie sous marine géo-référencées acquise par notre système

A droite en haut : Acquisition de vidéos géoréférencées sur le secteur des Vieux Salins (2017)

A droite en bas : Exemple de photographie sous marine géo-référencées acquise par notre système avec (en haut à droite) l'incrustation de la localisation (présence de cymodocées)

Chaque image est bien entendue disponible individuellement et chacune voit sa position incrustée dans l'image.



Figure 17 : Positions des vues sous-marines réalisées lors des explorations sur le terrain
Environ 490 vues sous-marines géo-référencées acquises le 08/09/2017

A droite : un clic permet d'observer les photographies sous-marines

III.4) Méthodologie les observations ponctuelles (stations) de la vitalité

Outre les observations de reconnaissance subaquatique visant à confirmer la classification des fonds marins pour la cartographie des herbiers de posidonies, des observations subaquatiques sont réalisées pour les observations ponctuelles de la vitalité de l'herbier de posidonies (mesures des paramètres de vitalité).

Le navire muni d'un DGPS se déplace en naviguant sur les cartographies haute définition réalisées (issues de l'image aérienne) 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'une tablette immergeable, avec un tableau pré-rempli ainsi que l'imagerie de référence, les contours à vérifier et la disposition des balises imprimées sur papier étanche.

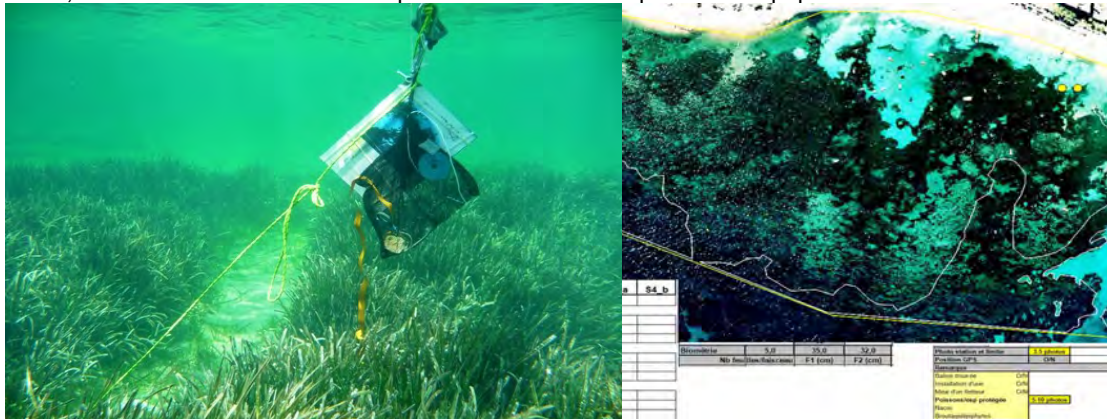


Figure 18 : A droite : Tablette immergeable : Tableau pré-rempli, imagerie aérienne et position du waypoint sont imprimés sur papier étanche.

Les plongeurs professionnels de SEMANTIC TS réalisent des mesures de vitalité de l'herbier et effectuent l'analyse des données. Les coordonnées des points exacts des stations sont relevées par GPS.

Pour chaque point, les mesures de vitalité se feront selon les méthodologies décrites ci-dessous :

- ✓ la densité des faisceaux
- ✓ le recouvrement de l'herbier
- ✓ le déchaussement
- ✓ l'orientation des rhizomes ou pourcentage de rhizomes plagiotropes

Mesure de la densité des faisceaux

La densité de l'herbier de posidonies 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).

Au cours de cette étude, les densités mesurées sont comparées aux 3 abaques de Giraud (1977), de Pergent-Martini (1994) et de Pergent-Martini & Pergent (2010)

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 mentionnent les tableaux suivants :

Classe	Densité des faisceaux	Estimation de densité
1	au-delà de 700 faisceaux /m ²	Herbier très dense
2	de 400 à 700 faisceaux /m ²	Herbier dense
3	de 300 à 400 faisceaux /m ²	Herbier peu dense
4	de 150 à 300 faisceaux /m ²	Herbier très peu dense
5	de 50 à 150 faisceaux /m ²	Semi-herbier

**Figure 19 : Classification de la densité de l'herbier de posidonies
Abaque de densité de Giraud 1977**



Depth	DA	BIS	DN	BIS	Depth	DA	BIS	DN	BIS	Profondeur	Excelsent	Bon	Normal	Médiocre	Reserve
1	1000	1000	1000	1000	1	1000	1000	1000	1000	1	1000	1000	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000	1000	2	1000	1000	1000	1000	2	1000	1000	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000	1000	3	1000	1000	1000	1000	3	1000	1000	1000	1000	1000
4	1000	1000	1000	1000	4	1000	1000	1000	1000	4	1000	1000	1000	1000	1000
5	1000	1000	1000	1000	5	1000	1000	1000	1000	5	1000	1000	1000	1000	1000
6	1000	1000	1000	1000	6	1000	1000	1000	1000	6	1000	1000	1000	1000	1000
7	1000	1000	1000	1000	7	1000	1000	1000	1000	7	1000	1000	1000	1000	1000
8	1000	1000	1000	1000	8	1000	1000	1000	1000	8	1000	1000	1000	1000	1000
9	1000	1000	1000	1000	9	1000	1000	1000	1000	9	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	10	1000	1000	1000	1000	10	1000	1000	1000	1000	1000
11	1000	1000	1000	1000	11	1000	1000	1000	1000	11	1000	1000	1000	1000	1000
12	1000	1000	1000	1000	12	1000	1000	1000	1000	12	1000	1000	1000	1000	1000
13	1000	1000	1000	1000	13	1000	1000	1000	1000	13	1000	1000	1000	1000	1000
14	1000	1000	1000	1000	14	1000	1000	1000	1000	14	1000	1000	1000	1000	1000
15	1000	1000	1000	1000	15	1000	1000	1000	1000	15	1000	1000	1000	1000	1000
16	1000	1000	1000	1000	16	1000	1000	1000	1000	16	1000	1000	1000	1000	1000

Figure 20 : Classification de l'état de vitalité de l'herbier de posidonies selon les densités (/ m²) de faisceaux et de la profondeur (m)

A gauche : 1er Abaque de Pergent Martini 1994

A droite : Classification révisée d'après Pergent et al., 2008 et Pergent-Martini et al., 2010.

[Pergent-Martini C., Pergent G., 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 :1 – 66]



Figure 21 : Exemples de mesures de densité de l'herbier de posidonies - Quadrat 20 cm X 20 cm

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**

Adéquation des méthodes de suivi

En ce qui concerne les stations d'observation et de mesure des paramètres de vitalité des herbiers, les méthodes utilisées suivent les recommandations du Guide Cadre Eval_Impact édité par les DREAL PACA et Occitanie en juin 2018, pour lequel SEMANTIC a en particulier contribué à la réflexion menée lors de la rédaction des fiches thématiques relatives aux herbiers de posidonies et de zostères.

Il est important de noter que la méthode stationnelle est adaptée au suivi d'une surface herbier homogène, ou de sa limite franche. Les stations relatives au suivi des zostères seront situées au cœur d'une des nombreuses prairies de zostères qu'abrite le lagon.

Par contre, les posidonies du lagon sont réparties en taches, il est donc difficile d'utiliser une méthode de type station, qui n'est pas adaptée à une distribution en patch. Les posidonies du lagon, dont la distribution spatiale est de type "en patches" seront de plus suivies de façon surfacique durant les 4 ans, sur deux secteurs de suivi micro-surfacique.

IV. RÉSULTATS DE LA MISSION N°1 : AVANT TRAVAUX

IV.1) Compte rendu de la mission

Les démarches de demande d'autorisations de vol ont été déposées auprès de la préfecture, de la DGA et de la BAN de Hyères (militaire). L'autorisation de vol a été obtenue pour le 14/09/2019.

La répartition des travaux réalisées sur les dates d'intervention est la suivante :

- Jeudi 12 : Mobilisation : Trajet vers le site et déploiement sur zone. Installation de la base GPS.
- Vendredi 13 : Mise à l'eau du navire, essais drone, installation des cibles en mer, relevés VT en mer et vidéo tractée géo-référencée
- Samedi 14 : Installation des cibles à terre, Vol du drone, mesures des positions des cibles en terre, enlever des cibles en terre, mesures des positions et enlever des cibles en mer. Sortie du navire. Démobilisation. Trajet retour.

Les figures qui suivent illustrent les travaux réalisés au cours de la mission N°1 :

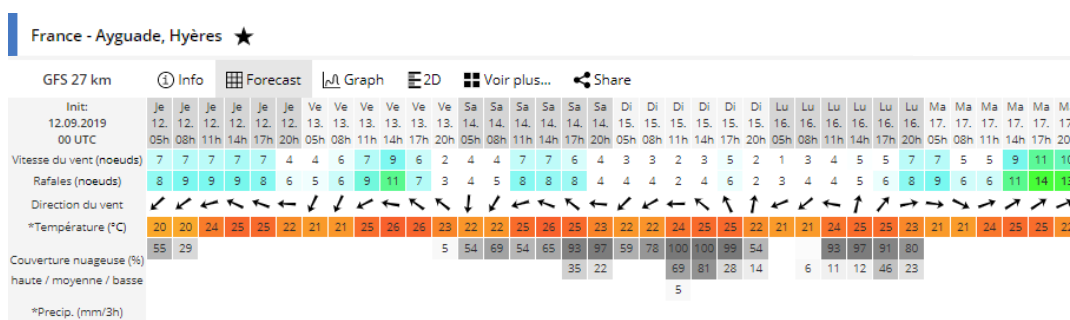


Figure 22 : Conditions météorologiques

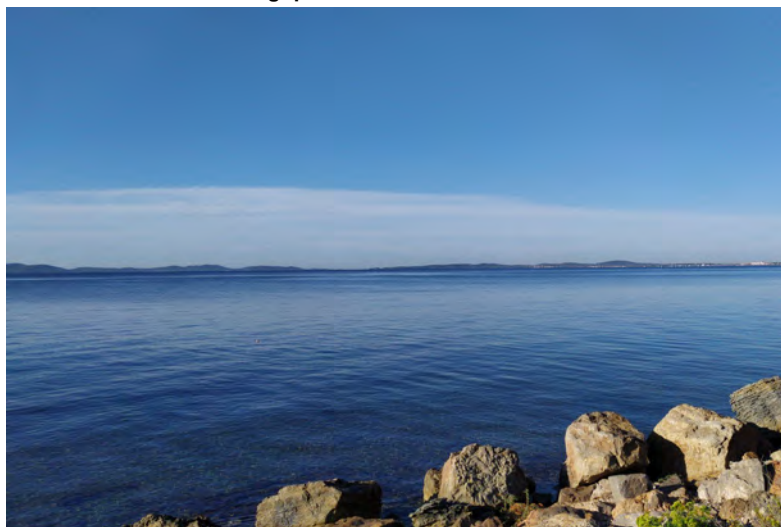


Figure 23 : Base GPS - Etat de mer du 14/09/2019



Figure 24 : En rouge : les 41 cibles ont été déposées (en terre et en mer) et enlevées à la fin de la mission.



Figure 25 : Mesure au DGPS RTK de la position des cibles en mer et à terre

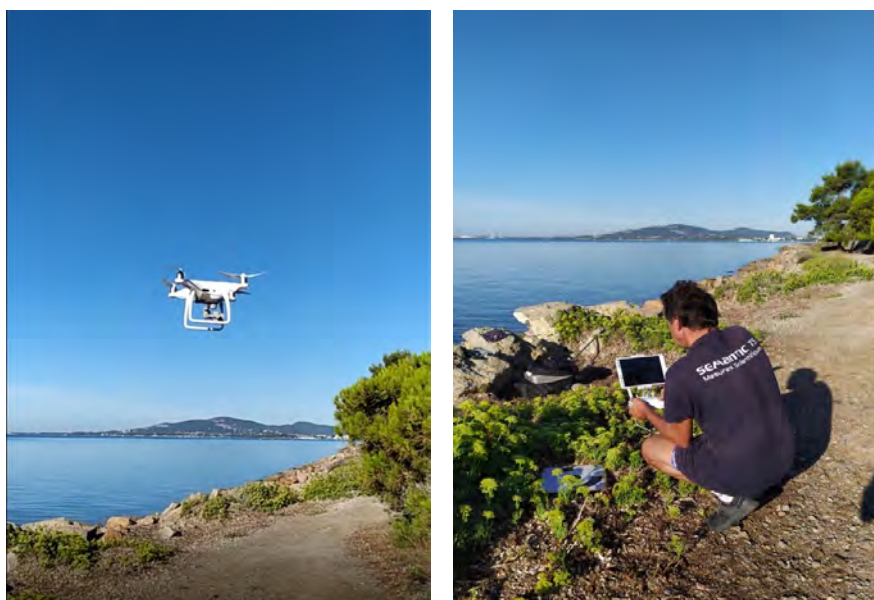


Figure 26 : Mise en œuvre du drone aérien

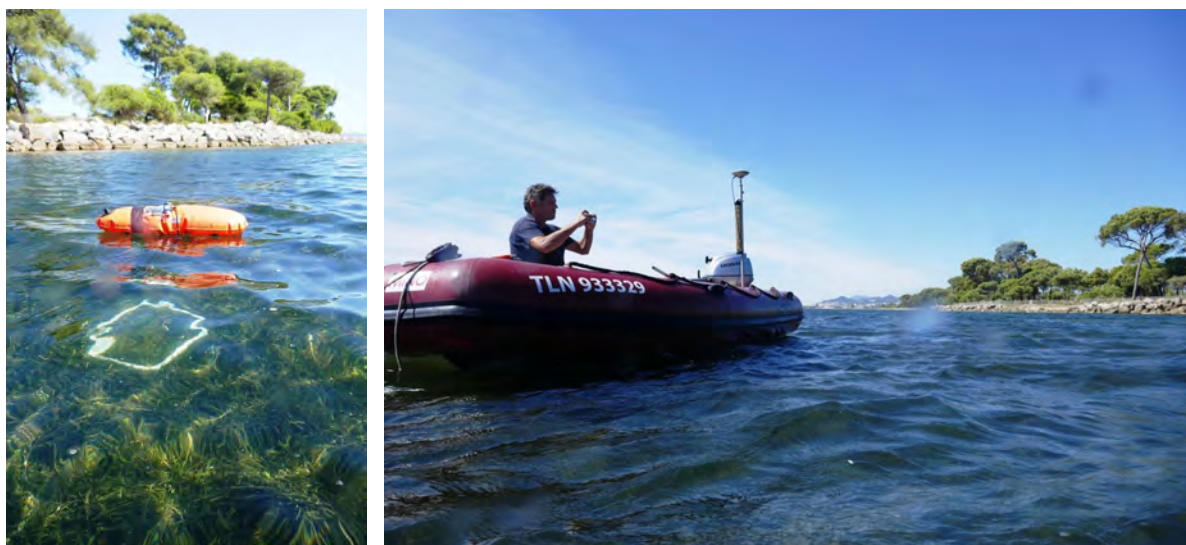


Figure 27 : Observations subaquatiques à partir du MIINO

IV.2) Orthophotographie et relevé de la limite de l'herbier de posidonies

L'orthophotographie réalisée est présentée dans son intégralité sur la figure ci-dessous en comparaison avec l'orthophotographie IGN datant de 2017.



Figure 28 : Orthophotographie réalisée superposée à l'orthophotographie IGN datant de 2017

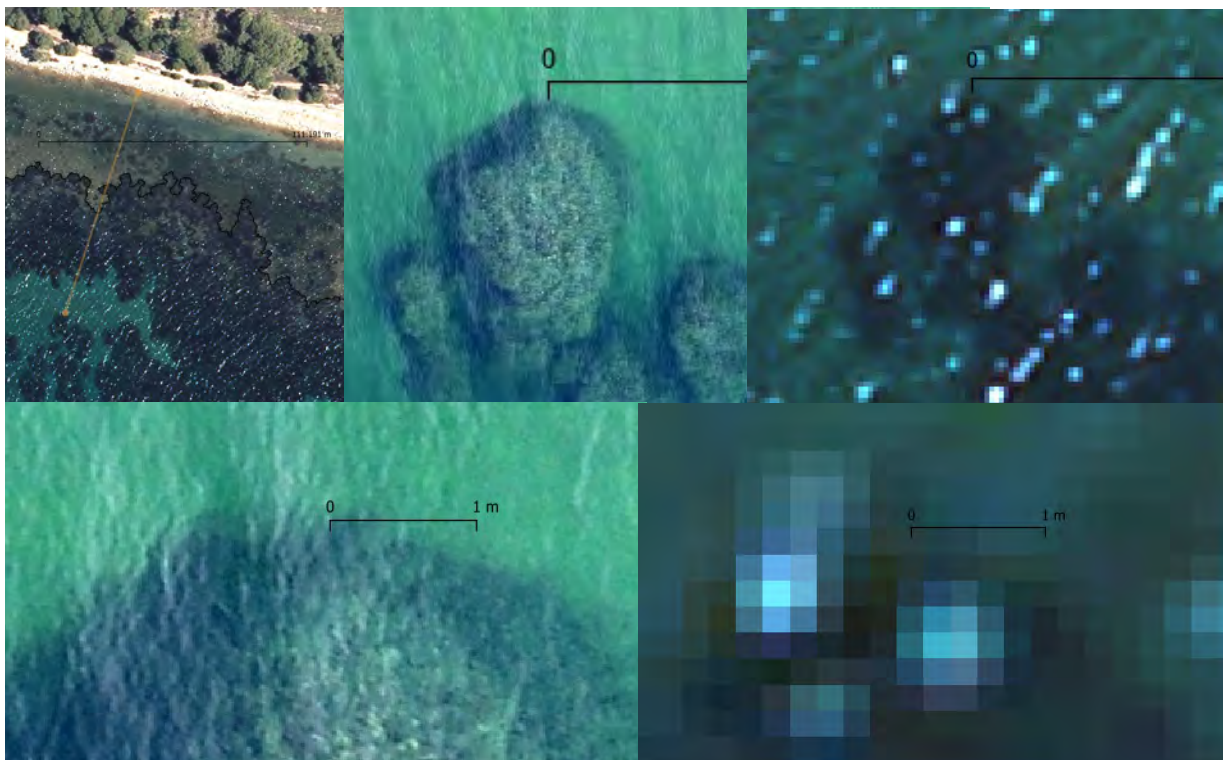


Figure 29 : Comparaison des deux orthographies à une distance de 100 m de la côte

En bas à gauche : Orthophotographie réalisée de résolution 1 cm (UHR)

En bas à droite : Orthophotographie IGN 2017 de résolution 20 cm (THR)

Le calage entre l'orthophotographie réalisée et l'orthophotographie IGN datant de 2017 est inférieur à 20 cm

Les figures qui suivent permettent de comparer, à différentes échelles, l'orthophotographie réalisée avec l'orthophotographie IGN datant de 2017.

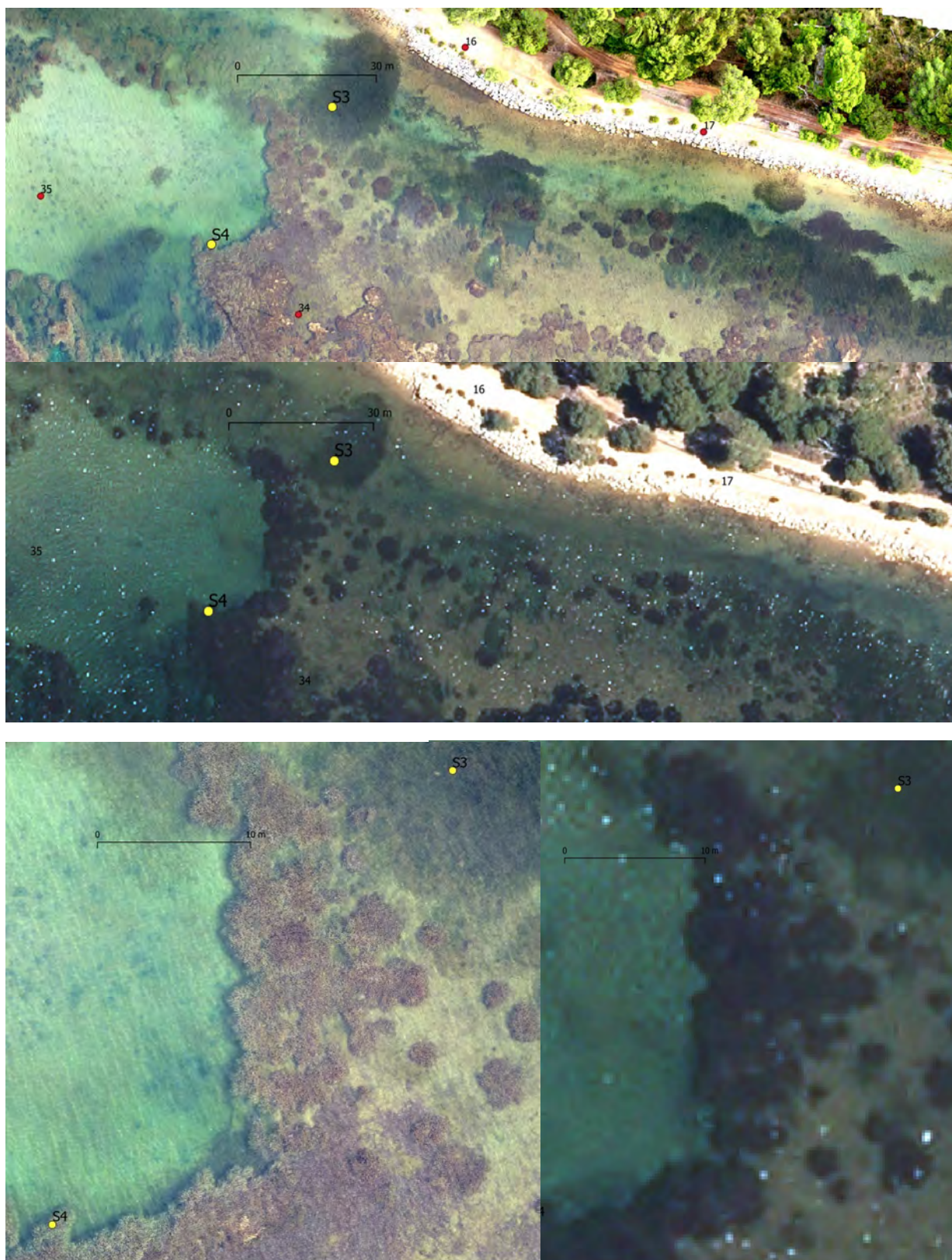


Figure 30 : Comparaison des deux orthographies
 Orthophotographie réalisée de résolution 1 cm (UHR)
 Orthophotographie IGN 2017 de résolution 20 cm (THR)

IV.3) Suivi de la distribution spatiale de l'herbier de posidonies

La figure suivante présente la position du linéaire de référence pour le suivi ainsi que celles des deux micro-secteurs de suivi définis pour le suivi de l'herbier en taches du lagon.



**Figure 31 : En noir : linéaire de référence pour le suivi de la limite de l'herbier
En rouge : Les deux micro-secteurs de suivi pour l'herbier en patches du lagon**

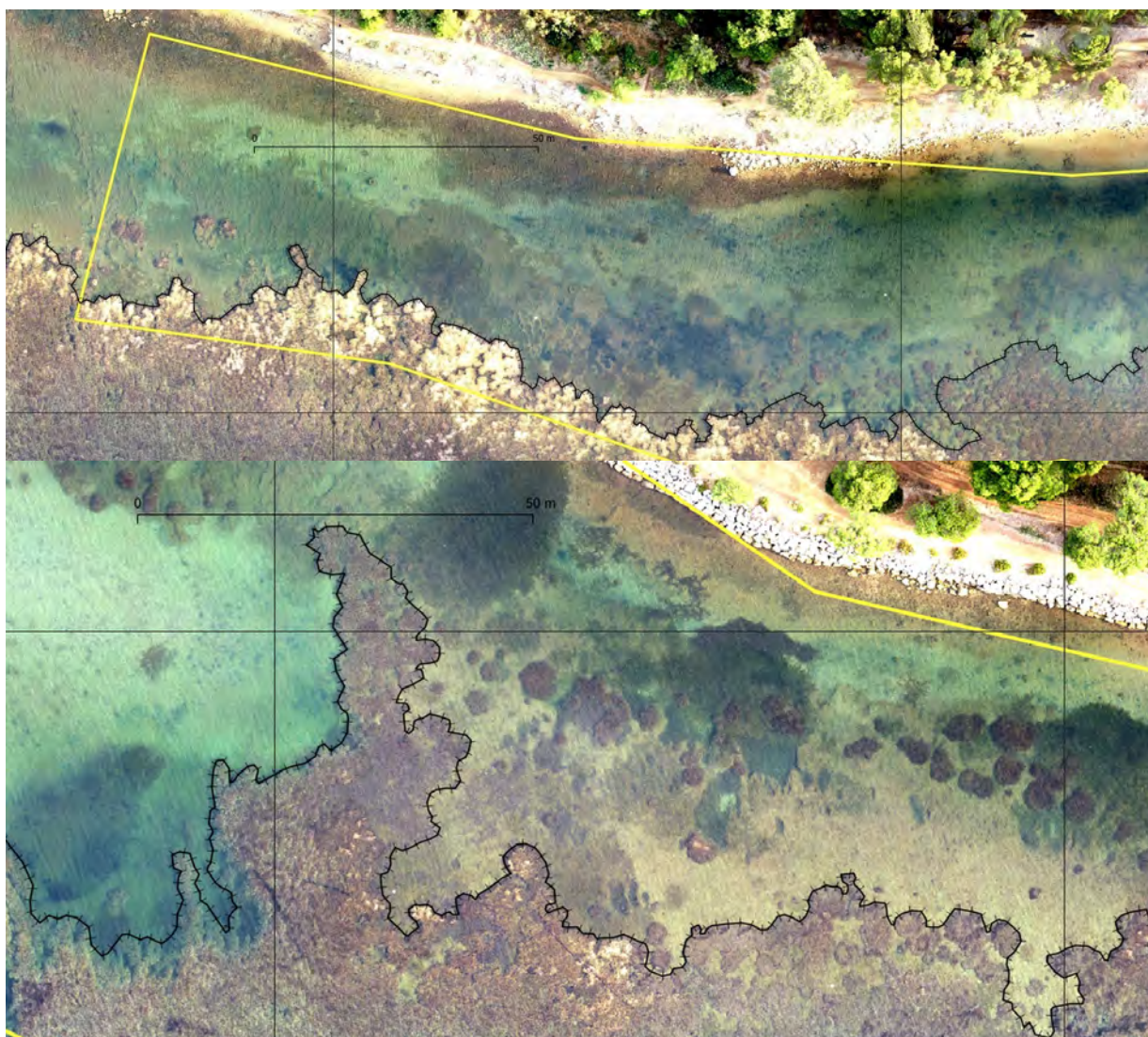


Figure 32 : En noir : Zoom deux parties du linéaire de référence pour le suivi

L'évolution de l'herbier sera observée le long de ce linéaire, au travers l'analyse comparée des orthophotos UHR qui seront prises à chaque retour sur site.

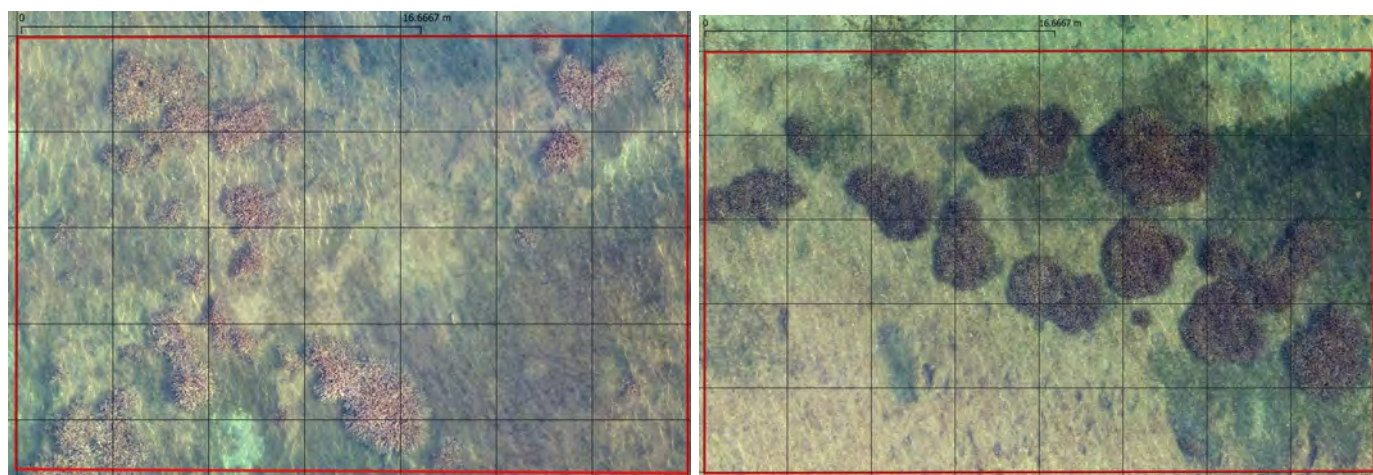


Figure 33 : Micro-secteur Ouest et Est

L'évolution de l'herbier sera observée sur ces micro-secteurs, au travers de l'analyse comparée des orthophotos UHR qui seront prises à chaque retour sur site.

IV.4) Observations subaquatiques

Environ 295 photos géo-référencées ont été extraites des vidéos et 125 photos géo-référencées ont été prises sur le secteur maritime en plongée.

La figure ci-dessous présente l'ensemble des positions des vues sous-marines réalisées en plongée.



Figure 34 : Positions des vues sous-marines réalisées lors des explorations sur le terrain

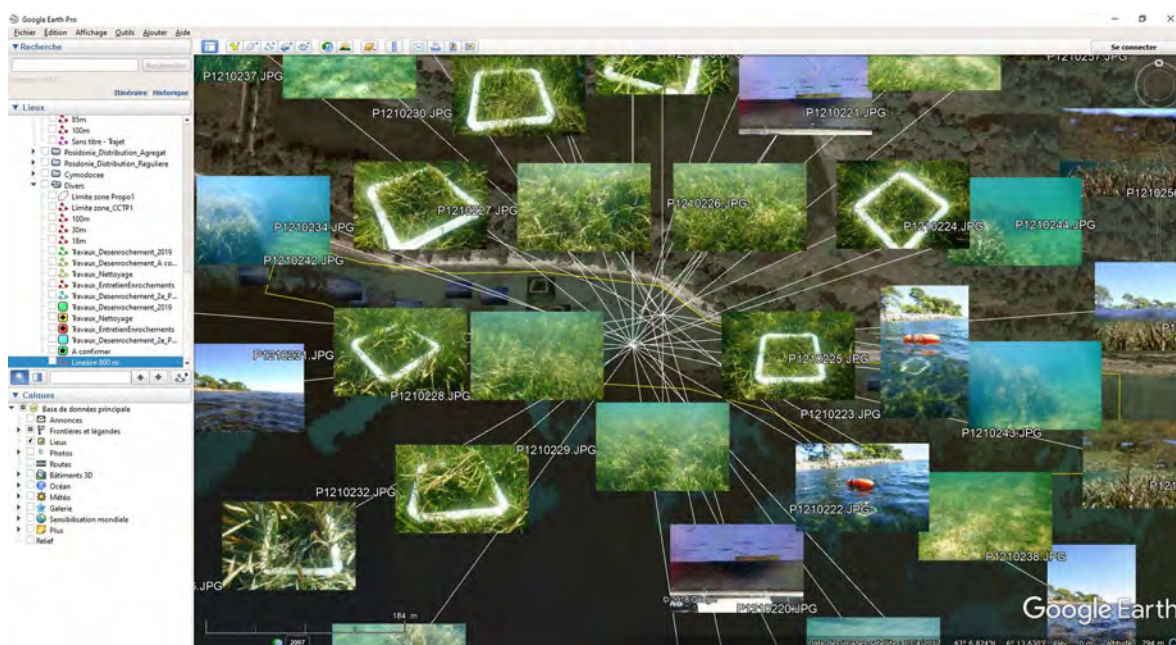


Figure 35 : Atlas photographique : un clic sur la photo permet de l'observer



Figure 36 : Positions des vues sous-marines géo-référencées extraites des vidéos

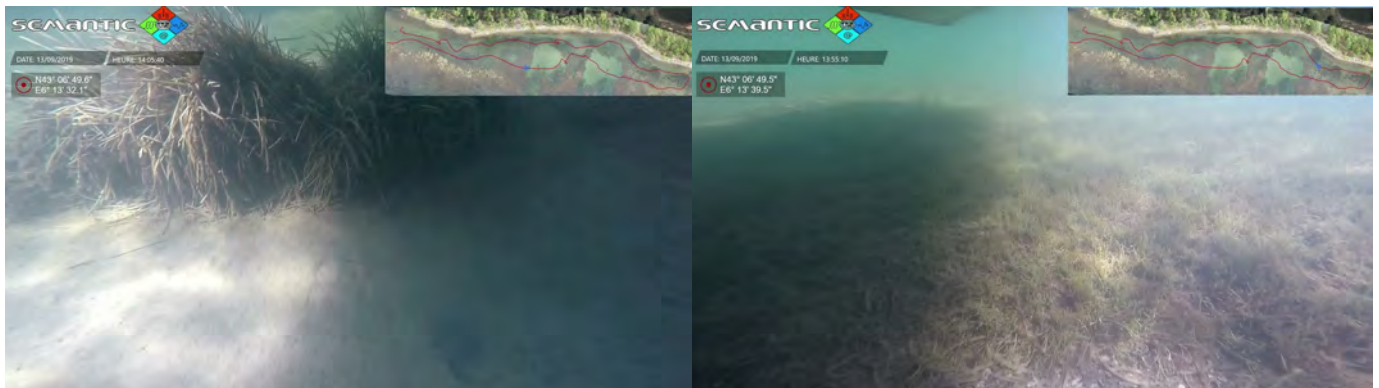


Figure 37 : Exemple de vues sous-marines géo-référencées extraites des vidéos

Encart en haut à droite : Position du lieu de la prise de vue sur fond de l'orthophotographie réalisée avec le drone aérien

IV.5) Observations de la vitalité

Lieux des stations de suivi

En raison de l'absence de cymodocées sur le lieu de la station S5 initialement prévue, nous avons déplacé les stations S5 et S6 vers l'herbier de cymodocées le plus proche.



Figure 38 : Lieux initialement prévus stations d'observation de la vitalité des herbiers

Les lieux des stations réalisées le 13/09/2019 sont représentés sur la figure ci-dessous :



Figure 39 : Position des stations de mesures des paramètres de vitalités des herbiers du 13/09/2019
Les stations (en jaune) sont situées sur le récif barrière et sur un herbier dense de cymodocées

A droite: 2 stations de références situées hors de la zone d'impact des travaux

A gauche : 2 couples de 2 stations de vitalité au droit de la zone des travaux (récif et herbiers de cymodocées)

En rouge : 2 secteurs de suivi micro-surfacique de la distribution en taches de l'herbier de posidonies du lagon

Station S2

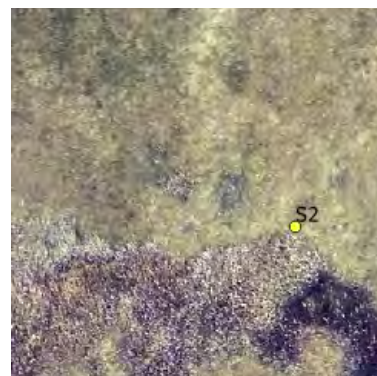
La station S2 est située sur l'herbier de posidonies dont la morphologie est fragmentée.

Présence d'un herbier de cymodocées bordant l'herbier de posidonies.

Présence de *Caulerpa racemosa*.

S2	2019
Densité moyenne de faisceaux par m2	948
Densité (Giraud 1977)	Très dense
Densité (Pergent Martini 1994)	Densité normale
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	30%
Taux de recouvrement (%)	> 80%
Type d'herbier	Récif
Nature fond	Matte
Etat santé/vitalité	

Figure 40 : Résultats des mesures des paramètres de vitalité



Station	S2
Lat	43° 6.772'N
Lon	6° 13.897'E
Profondeur (m)	< 1 m



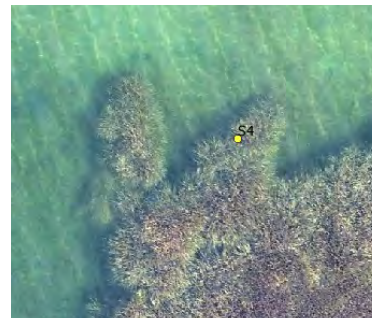
Figure 41 : Station S2 : Photographies sous-marines illustratives

Station S4

La station S4 est située sur le récif barrière. La limite de l'herbier de posidonies est franche en ce lieu.

S4	2019
Densité moyenne de faisceaux par m2	1007
Densité (Giraud 1977)	Très dense
Densité (Pergent Martini 1994)	Densité normale
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	0%
Taux de recouvrement (%)	> 80%
Type d'herbier	Récif affleurant
Nature fond	Matte
Etat santé/vitalité	

Figure 42 : Résultats des mesures des paramètres de vitalité



Station	S4
Lat	43° 6.814'N
Lon	6° 13.633'E
Profondeur (m)	< 1 m



Figure 43 : Station S4 : Photographies sous-marines illustratives

Station S6

La station S6 est située sur le récif barrière.
La limite de l'herbier de posidonies est fragmentée en ce lieu.
Présence de *Caulerpa racemosa*.

S6	2019
Densité moyenne de faisceaux par m2	970
Densité (Giraud 1977)	Très dense
Densité (Pergent Martini 1994)	Densité normale
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	0%
Taux de recouvrement (%)	> 80%
Type d'herbier	Récif affleurant
Nature fond	Matte
Etat santé/vitalité	



Station	S6
Lat	43° 6.823'N
Lon	6° 13.577'E
Profondeur (m)	< 1 m

Figure 44 : Résultats des mesures des paramètres de vitalité

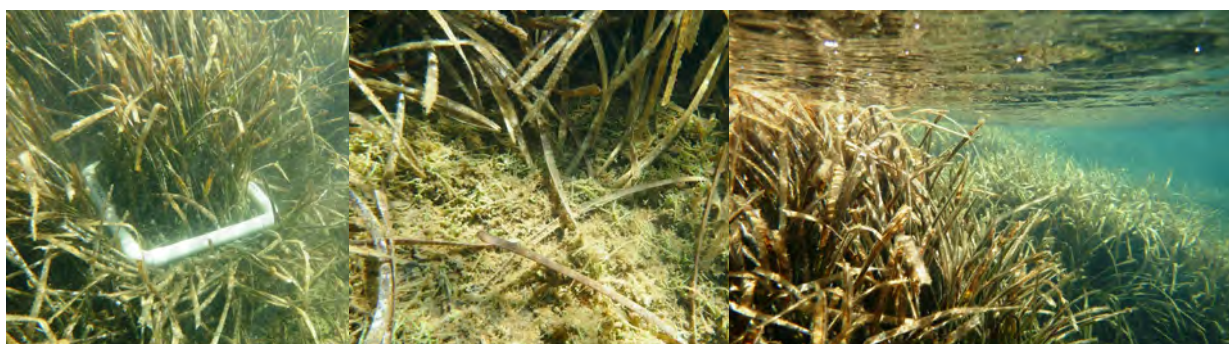


Figure 45 : Station S6 : Photographies sous-marines illustratives

Station S1

La station S1 est située sur le récif barrière, sur un herbier de cymodocées dense et continu.

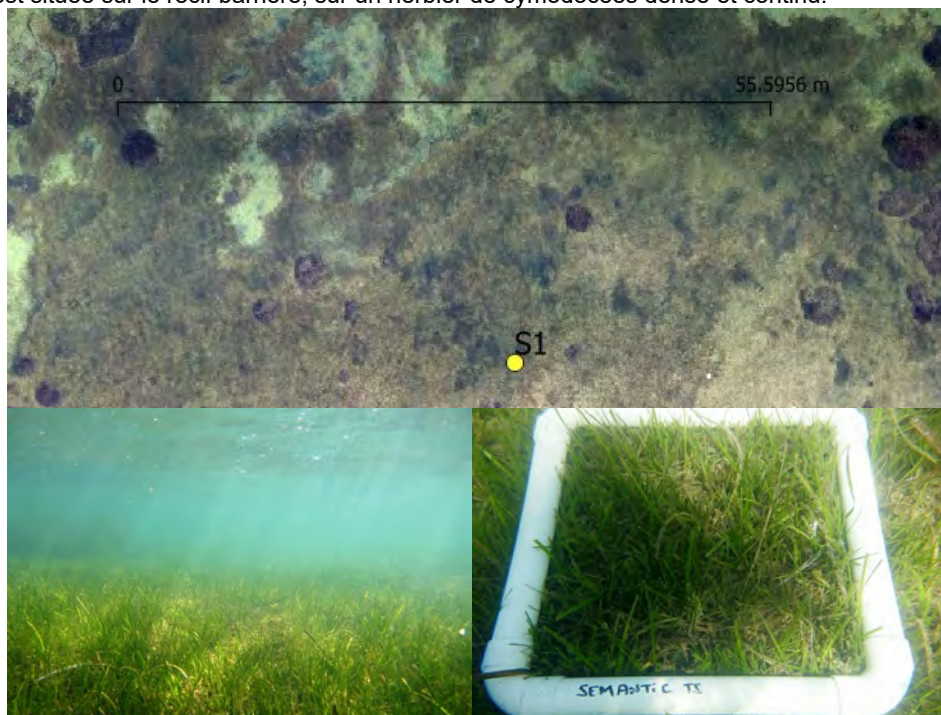


Figure 46 : Station S1 : En haut : Position de la station sur l'herbier.

En bas à gauche : Vue de l'herbier. A droite : quadrat 30 x 30

Longueur moyenne des feuilles : 9 cm Densité des faisceaux : Forte

Station S3

La station S3 est située sur le récif barrière, sur un herbier de cymodocées très dense et continu.

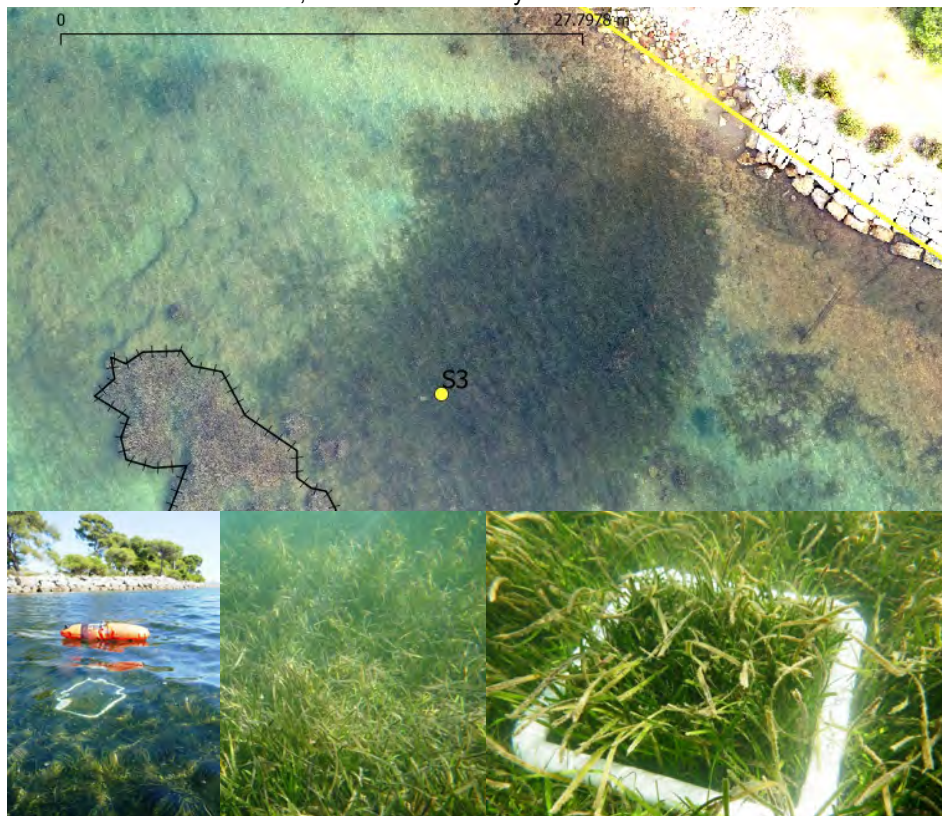


Figure 47 : Station S3 : En haut : Position de la station sur l'herbier.

En bas à gauche : Vue de l'herbier. A droite : quadrat 30 x 30

Longueur moyenne des feuilles : 18 cm Densité des faisceaux : Très forte

Station S5

La station S5 est située sur le récif barrière, sur un herbier de cymodocées peu dense et continu.

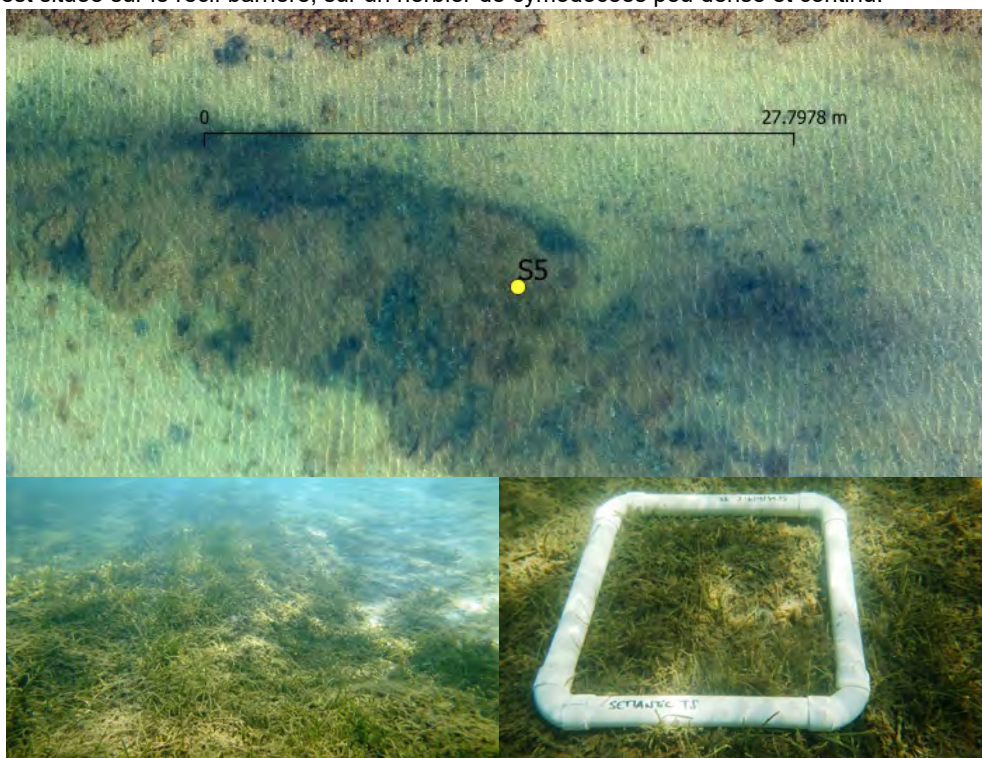


Figure 48 : Station S5 : En haut : Position de la station sur l'herbier.

En bas à gauche : Vue de l'herbier. A droite : quadrat 30 x 30

Longueur moyenne des feuilles : Longueur moyenne des feuilles : 5 cm.
Densité des faisceaux : Très faible



Espèces associées observées

Espèces de vertébrés observées

- Gobie à bouche rouge
- Sublet
- Crénilabre méditerranéen
- Girelle
- Rouget de vase
- Mulet lippu
- Castagnole
- Saupe
- Sar à tête noire
- Sar commun
- Triptérygion rouge

Nombreux alevins observés dans le lagon.

Autres espèces observées au sein du récif barrière (Nom commun)

- Poulpe
- Holothurie
- Algue invasive *Caulerpa racemosa*

Aucune grande nacre (*Pinna nobilis*) vivante n'a été observée.

IV.6) Conclusions de la Mission 1

Un travail conséquent a été mené afin de réaliser un état zéro du secteur à suivre.

Il a permis d'acquérir une orthophotographie initiale très haute résolution (1 cm), ainsi que des données de vérité terrain, photographies et vidéos sous-marines géoréférencées.

L'analyse de l'orthophotographie UHR a permis de définir un linéaire de référence pour la limite supérieure de l'herbier de posidonies ainsi que deux micro-secteurs surfaciques qui serviront de repères pour le suivi de l'évolution des patchs d'herbier.

L'évolution de l'herbier sera observée le long de ce linéaire de référence et des 2 micro-secteurs surfaciques au travers l'analyse comparée des orthophotos UHR qui seront prises à chaque retour sur site.

De plus des observations sous-marines du secteur, ainsi que la vitalité des herbiers de posidonies et de cymodocées sur 6 stations, ont été réalisées.

Un protocole de suivi basé sur des observations ponctuelles, linéaires et surfaciques a ainsi été mis en place.

IV.7) Bon de livraison B/19/098/CN

Les données suivantes sont fournies :

Dossier QGIS

LTR 3,4

SCR EPSG:2154 - RGF93 / Lambert-93

Contenant :

- ✓ RASTERS
 - ✓ Orthophotographie de la zone mesurée (Résolution 1 cm)
 - ✓ Orthophotographie de la zone mesurée (Résolution 10 cm)
 - ✓ Orthophoto BD Ortho 2017 (Résolution 20 cm)
- ✓ SHAPEFILE
 - ✓ Linéaire de référence pour le suivi de l'herbier de posidonies
 - ✓ Contour des 2 micro-secteurs surfaciques
 - ✓ Positions des 6 stations de suivi de la vitalité des herbiers

Dossier GOOGLE EARTH

Données Mission 1 (septembre 2019) :

Atlas photographique :

- ✓ basse résolution des vues sous-marines géo-référencées **2019_09_VT_APN.kmz**
- ✓ haute résolution des vues sous-marines géo-référencées **2019_09_VT_APN_HR.kmz**
- ✓ des photos extraites des vidéos **2019_09_VT_VIDEO.kmz**

Orthophotographies de la zone mesurée

- ✓ Résolution 1 cm **2019_09_Orthomosaic_1cm.kmz**
- ✓ Résolution 10 cm **2019_09_Orthomosaic_10cm.kmz**

- ✓ Positions des stations de suivi **2019_09_Station.kml**
- ✓ Limite de la zone **Limite zone.kml**

Données historiques

Atlas photographique :

- ✓ basse résolution des vues sous-marines géo-référencées **2017_09_VT_APN.kmz**
- ✓ des photos extraites des vidéos **2017_09_VT_VIDEO.kmz**
- ✓ des observations de terrain **2017_09_Observations**

Linéaire de suivi de référence

2019_09_Lineaire_Suivi_Herbier.kmz

PDF

- ✓ Rapport Mission 1 au format PDF **R_19_053_CN_Rapport_Mission1.PDF**
- ✓ **Rapport Mission 1 au format PDF** **R_19_053_CN_Rapport_Mission1_V2.PDF**

VIDEO

- ✓ Vidéo sous marine géoréférencée avec position incrustée **GOPR0043.mp4**

SUIVI DES HERBIERS MARINS SUR LE SITE DES VIEUX SALINS D'HYÈRES DANS LE CADRE DES TRAVAUX DE DÉSENROCHEMENTS



Figure 49 : HYERES Vieux Salins. Données cartographiques - Mission N°1 - Septembre 2019

Orthophotographie UHR (1 cm)

En jaune : Stations de suivi de la vitalité

En noir : Linéaire de référence pour le suivi de la limite de l'herbier

En rouge : Les deux micro-secteurs de suivi pour l'herbier en patches du lagon