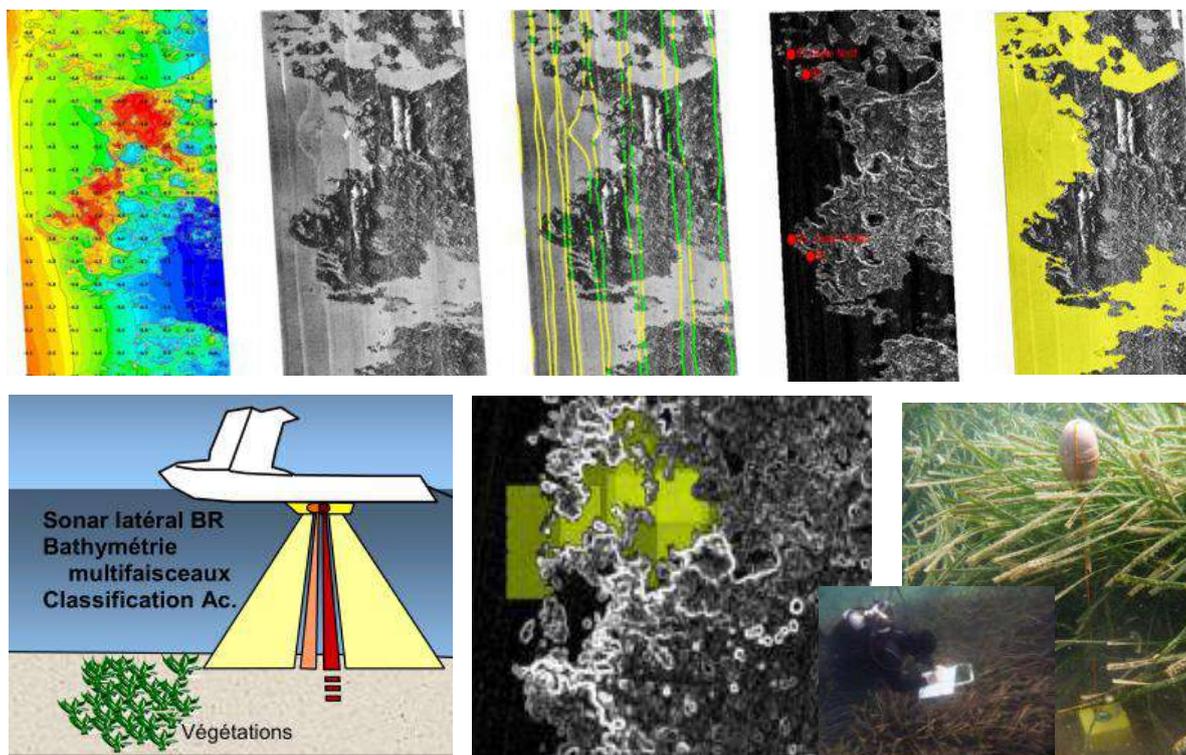


Mémoire Technique

Suivi de la limite supérieure de l'herbier de posidonies et de ses paramètres de vitalité

Plage de Bona



Destinataire : MTPM

Rédacteur : BAUER Eric - BLOUET Sylvain

Projet : Hyeres_HerbiersPlages_MTPM

Document Ref. SEMANTIC TS : N° R/20/013/JK:V2 du 18/03/2020

**Mémoire Technique****Évolution du document**

Version N°	Date	Référence	Évolution
2	18/03/2020	R/20/013/JK:V2	Modifications mineures
1	20/02/2020	R/20/013/JK	Document initial

Visa Contrôle Qualité	Visa Contrôle Administratif
Nom : MARCHETTI Simon Fonction : Ingénieur Date : 18/03/2020 Visa :	Nom : SIGNORET Sandra Fonction : Assistante de Direction Date : 18/03/2020 Visa :

SOMMAIRE

I. Introduction.....	3
I.1) Objet.....	3
I.2) Présentation du rapport :.....	3
II. Méthodologie pour le suivi de la limite de l'herbier de posidonies.....	4
II.1) Justification du choix des méthodologies proposées.....	4
II.2) Mesure de la vitalité de l'herbier de posidonies.....	6
III. Synthèse des travaux réalisés.....	8
III.1) Observations surfacique : Méthode de Monitoring RTK.....	8
III.2) Analyse & Synthèse des données historiques 2007-2017.....	10
III.3) Observations ponctuelles de la vitalité.....	11
IV. Résultats du suivi sur la zone de Bona.....	12
IV.1) Suivi de la limite supérieure de l'herbier de posidonies.....	12
IV.2) Suivi de la vitalité de l'herbier de posidonies.....	13
V. Annexes.....	16
V.1) Carnet de Photo – Bona médian.....	16
V.2) Carnet de Photo – Bona Sud.....	16
V.3) Carnet de Photo – Bona Extension.....	17

BIBLIOGRAPHIE :

La bibliographie citée dans cet ouvrage est consultable en ligne : <http://cartocean.fr/pages/biblio.htm>



I. INTRODUCTION

I.1) Objet

La société SEMANTIC TS spécialisée en cartographie et monitoring des fonds marins et experte en reconnaissance environnementale et en écologie marine Méditerranéenne, a réalisé les travaux suivants :

- **Suivi de la limite supérieure de l'herbier et de ses paramètres de vitalité** : densité, pourcentage de faisceaux plagiotropes et déchaussement.
 - Ces observations ont été réalisées sur :
 - 2 stations de références pour la plage de La Gare.
- **Synthèse des dossiers relatifs au suivi de l'herbier de posidonies depuis 2007**

I.2) Présentation du rapport :

La **méthodologie de suivi** appliquée est décrite synthétiquement au chapitre II.

Elle est basée sur l'application d'une méthode d'observation surfacique dite de monitoring RTK, doublée d'observations ponctuelles de la vitalité de l'herbier.

Elle permet, en introduction, de comprendre la nature et l'ampleur des travaux réalisés.

Le chapitre III présente une **synthèse des travaux réalisés et des résultats obtenus**, en termes de cartographies.

Enfin les **résultats du suivi de l'herbier de posidonies** sont exposés.



II. MÉTHODOLOGIE POUR LE SUIVI DE LA LIMITE DE L'HERBIER DE POSIDONIES

II.1) Justification du choix des méthodologies proposées

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 sont :

- Levé en bande de monitoring RTK (bathymétrie, sonar latéral de coque et DIVA autour de la limite supérieure
Cette technique permet de recueillir des données bathymétriques fines, qui vont permettre d'analyser l'accumulation ou l'érosion éventuelle de sédiments en limite d'herbier.
- 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	
Téledétection aérienne		Limite supérieure Recouvrement petit fond	Indice de conservation Évolution de la limite sup.	Global très précis Moyenne à haute résolution	
Téledétection 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	
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		
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	Non utilisable pour les gestionnaires	
Plongeur 17 paramètres		17 paramètres	Scientifique	Non utilisable pour les gestionnaires	

Figure 1 : 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 satellitale ou aérienne n'est pas adaptée en raison de la forte turbidité des eaux dans le secteur. De plus elle ne renseigne pas sur les dépôts ou les érosions sédimentaires pouvant nuire à l'herbier de posidonies.

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

La méthode de télémétrie 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 extraite du secteur de Bona (des tâches peuvent être omises).

Seule une méthode surfacique locale, permet de déterminer correctement la limite de l'herbier de posidonies.

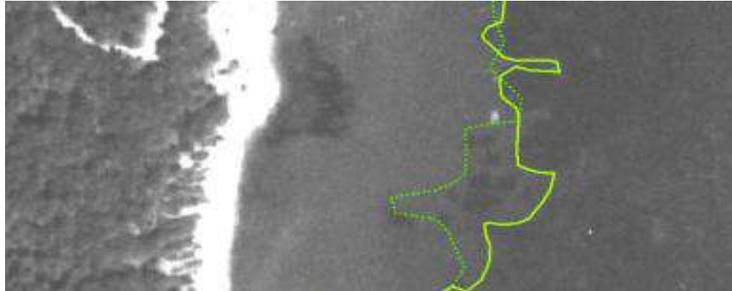


Figure 2 : Difficulté d'un levé de la limite de l'herbier, à l'aide d'une méthode linéaire en présence de taches isolées

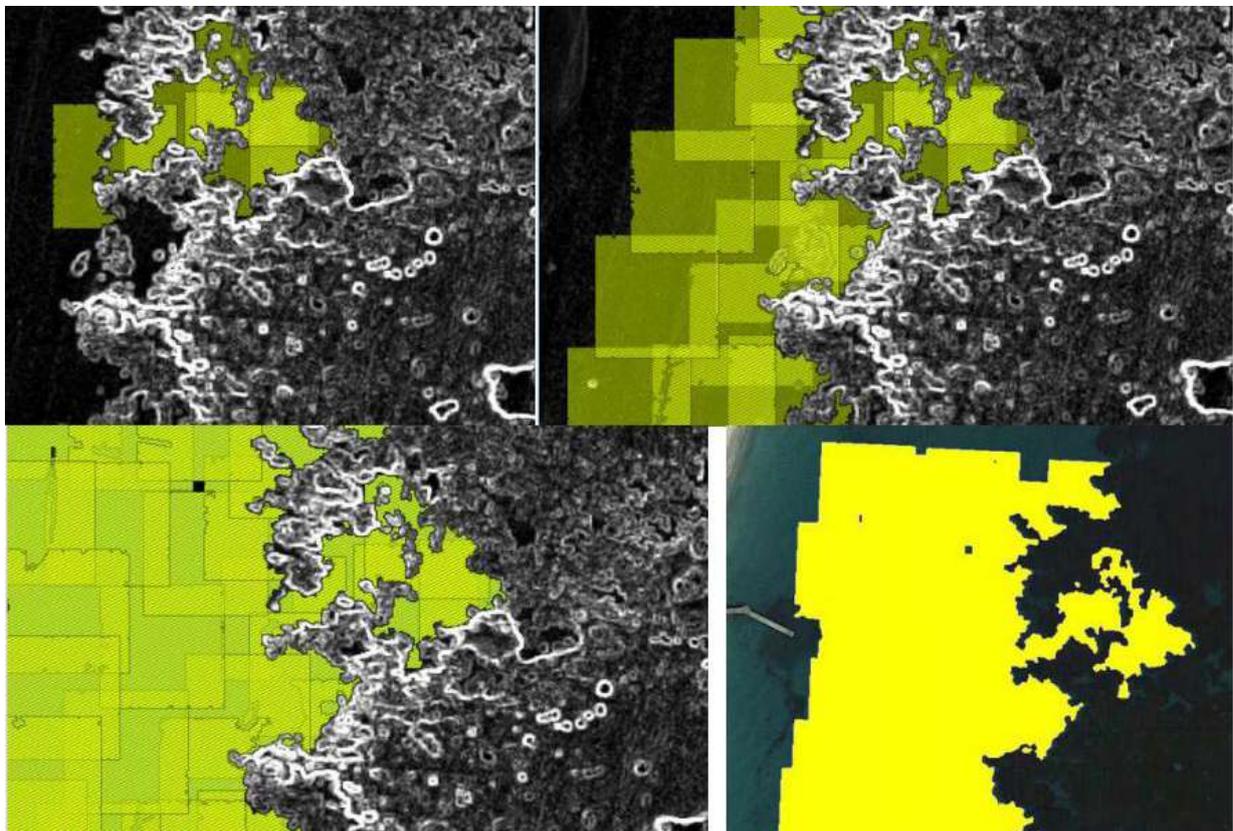


Figure 3 : Détermination de la limite supérieure de l'herbier de posidonies réalisée par SEMANTIC TS à partir de l'image obtenue au sonar latéral de coque (comme préconisé dans cette étude)

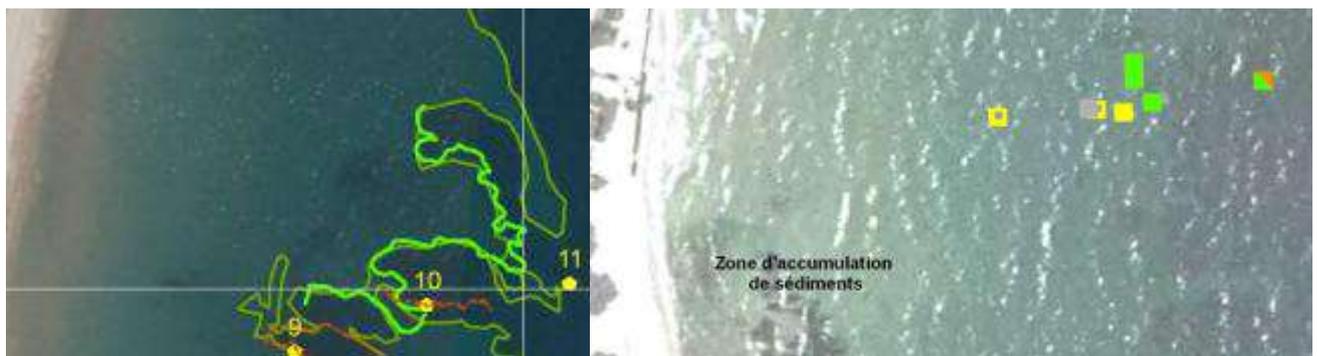


Figure 4 : Turbidité de la zone et faible contraste des images satellitales

II.2) Mesure de la vitalité de l'herbier de posidonies

Outre la mesure de la densité des faisceaux, les mesures de déchaussement et d'orientation des rhizomes ont été réalisées à la demande de la mairie d'Hyères.

La 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 30 cm x 30 cm afin de pouvoir s'inscrire dans la continuité des mesures de densité déjà réalisées sur le secteur, 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
16	>489	489-367	367-244	244-122	<122
17	>461	461-344	344-227	227-111	<111
18	>434	434-323	323-212	212-101	<101
19	>409	409-303	303-197	197-92	<92
20	>385	385-285	285-184	184-83	<83
21	>363	363-267	267-172	172-76	<76
22	>342	342-251	251-160	160-69	<69
23	>322	322-236	236-149	149-63	<63
24	>304	304-221	221-139	139-57	<57
25	>286	286-208	208-130	130-52	<52
26	>269	269-195	195-121	121-47	<47
27	>254	254-184	184-113	113-43	<43
28	>239	239-173	173-106	106-39	<39
29	>225	225-162	162-99	99-36	<36
30	>212	212-152	152-92	92-32	<32
31	>200	200-143	143-86	86-30	<30
32	>188	188-135	135-81	81-27	<27
33	>178	178-127	127-76	76-24	<24
34	>167	167-119	119-71	71-22	<22
35	>158	158-112	112-66	66-20	<20
36	>148	148-105	105-62	62-18	<18
37	>140	140-99	99-58	58-17	<17
38	>132	132-93	93-54	54-15	<15
39	>124	124-87	87-51	51-14	<14
40	>117	117-82	82-47	47-13	<13

Figure 5 : Classification de la densité au m² de l'herbier à posidonies en fonction de la profondeur (en mètres) [Pergent, 2007]

Pour les secteurs non déjà munis de balise Feno, et dans la perspective d'une prochaine étude (étude d'impact), le nous implantons un repère fixe, fiable et géo-référencé afin de permettre un retour dans le temps.



Figure 6: Exemples de mesures de densité de l'herbier de posidonies - Quadrat 20 cm X 20 cm

Déchaussement

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.

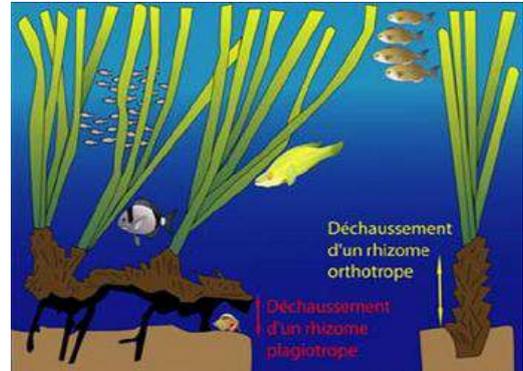
Le déchaussement est mesuré au cm près.

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**

10 mesures sont réalisées par station.

1 mesure correspond à 1 rhizome.



Orientation des rhizome 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.

Trois mesures de pourcentage de rhizomes plagiotropes ont été réalisées à chaque balise.

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**

III. SYNTHÈSE DES TRAVAUX RÉALISÉS

III.1) Observations surfacique : Méthode de Monitoring RTK

III.1.a) Mesures in situ

SEMANTIC TS a réalisé le 30/01/2020 un levé sonar latéral de coque bathymétrique sur la zone de la plage de Bona.

Les travaux ont été réalisés à partir du navire océanographique de SEMANTIC TS équipé :

- d'un sonar de coque GS+ de Geoswath NG
- d'un D-GPS RTK couplé à une centrale inertielle CODA Octopus FS185+
- d'un profileur de célérité Valeport Mini SVS P
- une centrale de navigation
- d'une centrale d'acquisition

SEMANTIC TS a de plus déployé à terre une station D-GPS différentiel RTK fixe Leica permettant la transmission de correction de position au navire en temps réel.

III.1.b) Traitement et analyse des données

Les données acoustiques et de géo-localisation acquises ont été traitées. Les figures suivantes présentent un exemple de résultats cartographiques du traitement des données :

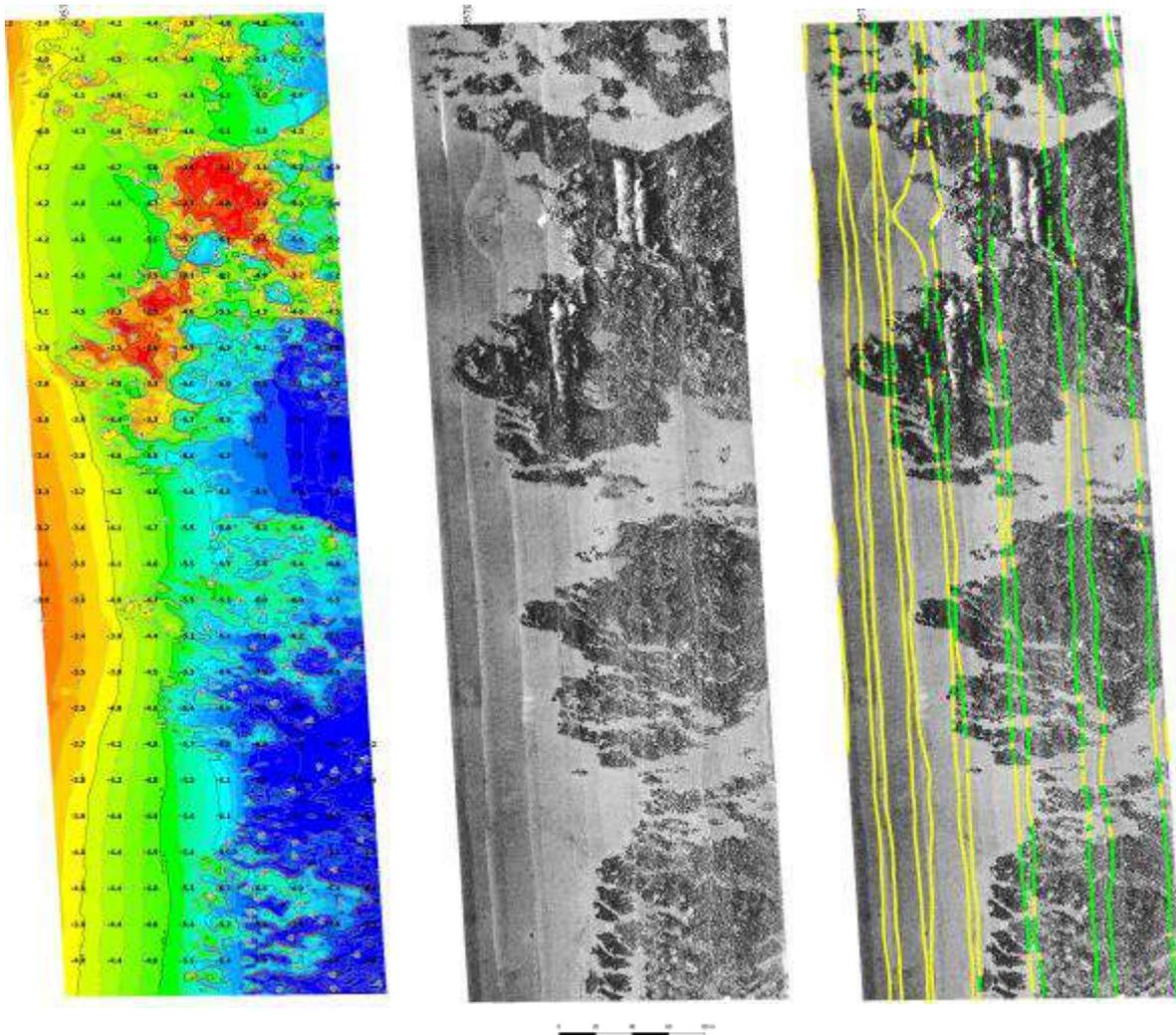


Figure 7 : Illustration des résultats cartographiques obtenus

Zone de la Capte : De gauche à droite : Bathymétrie – Imagerie sonar latéral – Résultats de la méthode DIVA de classification acoustique (en jaune : sédiment, en vert : posidonies)

Ces mesures permettent la localisation précise de la limite supérieure de l'herbier de posidonies.

Un exemple du résultat de la cartographie de la limite de l'herbier de posidonies est donné ci-dessous :

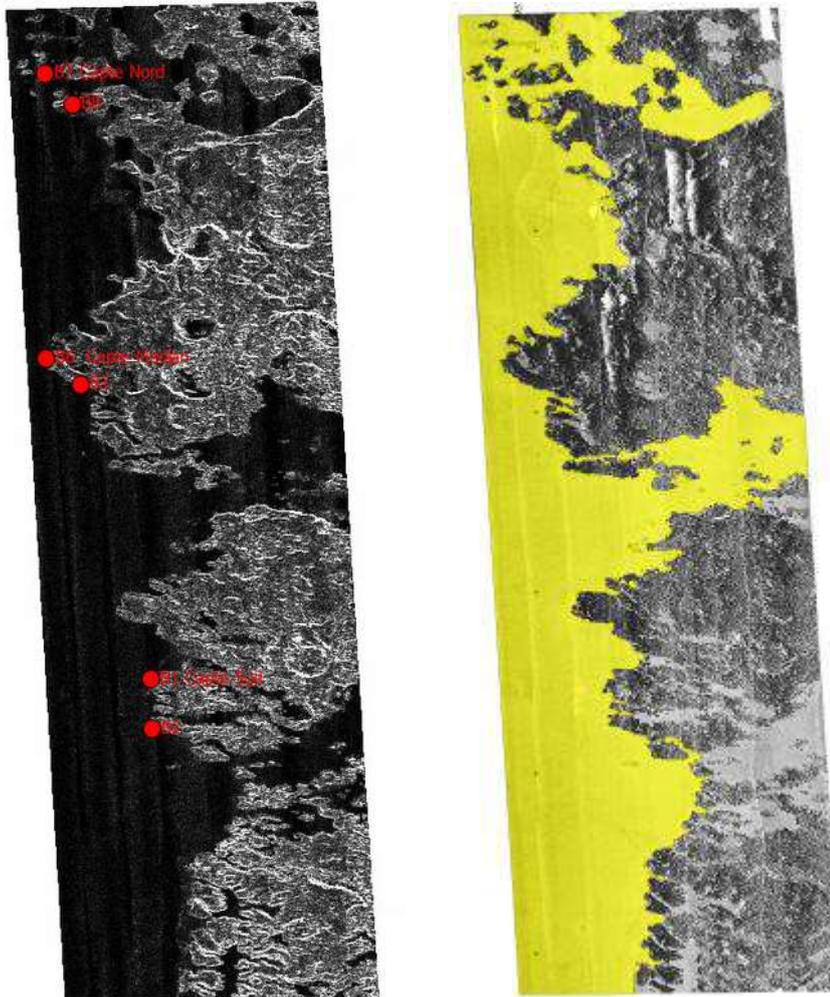


Figure 8 : Illustration des résultats cartographiques obtenus
 Zone de la Capte : A gauche : Micro-rugosité bathymétrique – A droite : Résultats de la délimitation de la limite supérieure de l'herbier de posidonies (en jaune : absence de posidonies)



III.2) Analyse & Synthèse des données historiques 2007-2017

Les données historiques ont été analysées et le plan de la mission d'observations subaquatiques a été défini au travers d'une série de Waypoints, issus des précédents travaux de suivis menés depuis 2007 dans le secteur.

La synthèse des données est présentée et restituée au travers de fichiers sous tableur et d'un dossier SIG.

Données ponctuelles (stations)

Les données ponctuelles sont livrées dans deux fichiers EXCEL contenant les résultats des mesures de la vitalité de l'herbier de posidonies

- Fichier **Vitalite_Mesures_2007_2020.XLS** : compilant les mesures brutes dans l'intervalle [2007, 2020] Un onglet par année.

Report des données historiques dans les onglets 2007--> 2017

	CAPTE Sud B1			CAPTE Median B6			CAPTE Nord B7			CAPTE témoin			BONA Sud B13			BONA Median B14		
Densité	550		593	550		593	550		593	550		593	550		593	550		593
% Fasciculation	97%		83%	97%		83%	97%		83%	97%		83%	97%		83%	97%		83%
Profondeur 4.5 m	57		45	57		45	57		45	57		45	57		45	57		45

- Fichier **Vitalite_Synthese_2020.XLS** : contenant la synthèse des résultats [2007, 2020] Un onglet par secteur géographique

	2007	2008	2009	2010	2015	2017
Densité moyenne de faiseaux par m2	444	437	456	550	555	555
Déchaussement moyen (cm)			4.6	3.9	1.7	
Pourcentage de rhizomes plagiotropes			73	83	87	

III.3) Observations ponctuelles de la vitalité

Des observations subaquatiques ont été ensuite réalisées, lors d'un retour sur zone le 30/01/2020, par une équipe de trois plongeurs professionnels. Elles consistent en des mesures de la vitalité de l'herbier : densité, pourcentage de faisceaux plagiotropes et déchaussement.

Ces observations ont été réalisées sur :

- 4 stations de référence pour la plage de Bona

Ces stations ont été effectuées sur les implantations existantes.

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 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 la cartographie au sonar latéral et la disposition de la balise imprimées sur papier étanche.

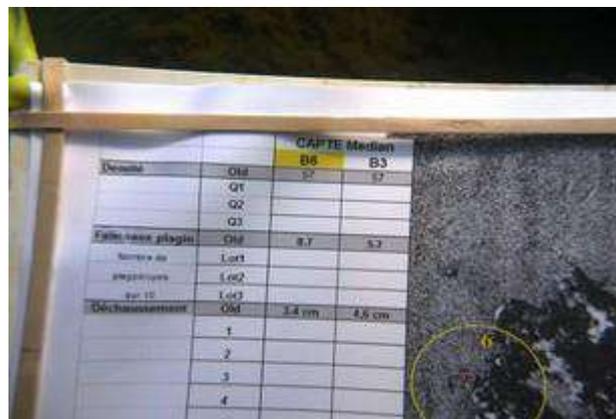


Figure 9 : Tablette immergeable : Tableau pré-rempli, cartographie au sonar latéral et disposition de la balise sont imprimés sur papier étanche.

IV. RÉSULTATS DU SUIVI SUR LA ZONE DE BONA

IV.1) Suivi de la limite supérieure de l'herbier de posidonies

Les figures suivantes présentent le résultat de la cartographie de la limite de l'herbier réalisée en 2020 et du suivi de la limite de l'herbier de posidonies sur le secteur de Bona.



Figure 10 : BONA Extension - Balise B10

En haut : Limites de l'herbier : en 1950 (en bleu) - en 1972 (en bleu clair) – 2010 (en vert) – 2015 (en rouge) - 2017 (jaune) projetées sur la mosaïque sonar latéral (en gris clair : sédiment – en gris sombre : posidonies)

En bas : Idem avec ajout de la limite 2020 (en orange) issue de la cartographie réalisée en 2020

Carroyage : Maille carrée de 25m de coté

Aucun écart significatif n'a été observé entre 2017 et 2020

Les écarts observés entre 2010 et 2017 sont dus au fait que la méthode utilisée en 2017 et 2020 est plus précise et mieux résolvente que les méthodes utilisées précédemment.

Conclusions sur le suivi de la limite supérieure

Aucun écart significatif n'a été observé entre 2017 et 2020

Nous n'observons pas de modification significative réelle de la limite de l'herbier de posidonies depuis 2010.



IV.2) Suivi de la vitalité de l'herbier de posidonies

La carte ci-dessous localise les points des stations de suivi de l'herbier sur la plage de Bona.

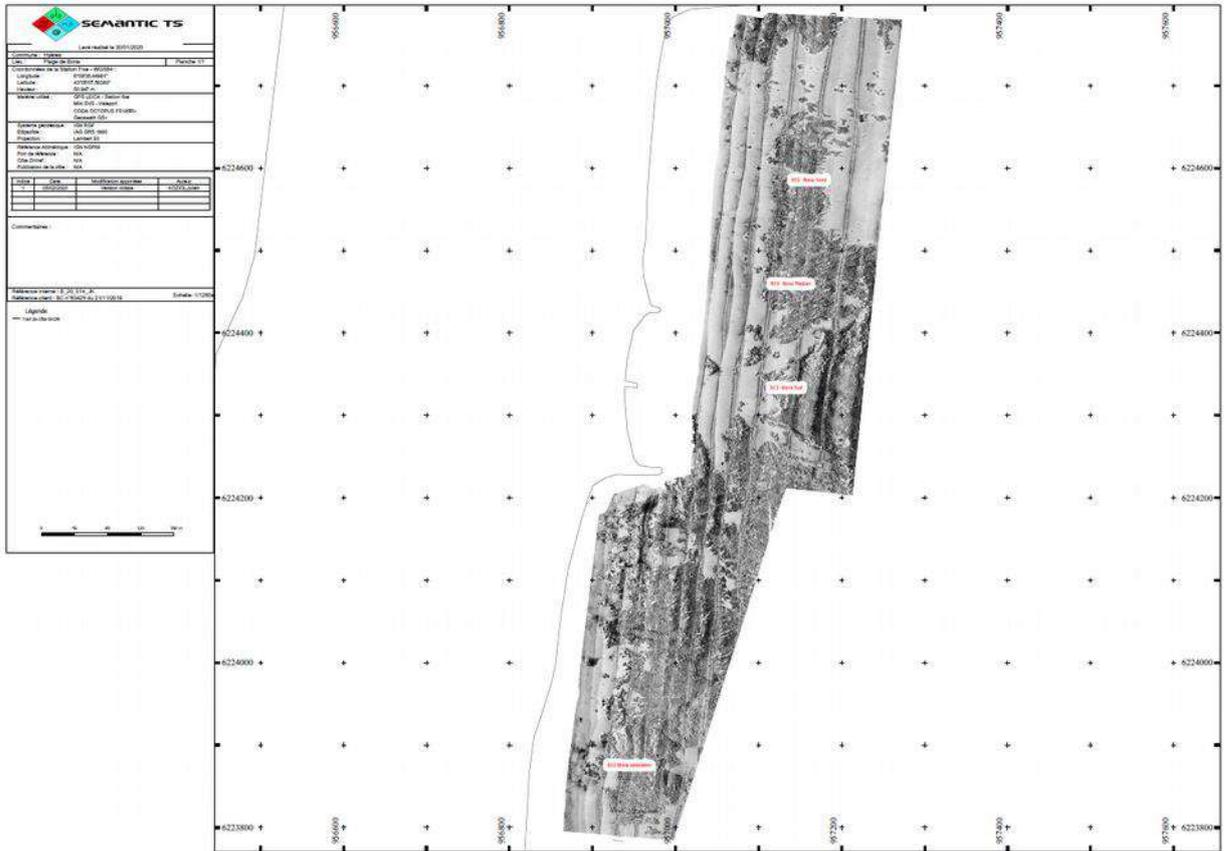


Figure 11 : Localisation des stations

Un protocole de suivi des paramètres de vitalité de l'herbier de posidonies a été mis en place sur la partie Nord du secteur de Bona et trois balises supplémentaires ont été installées à la limite supérieure de l'herbier de posidonies.



Figure 12 : Balises B10 – B13 – B14 - B15



Figure 13 : Balises B10 - B13 (état 2020)



Figure 14 : Balises B14 - B15 (état 2020)

Le tableau suivant présente le résultat des mesures de suivi de la vitalité de l'herbier de posidonies depuis 2007 sur la balise B10 historiquement suivie :

BONA Extension - B10		2007	2008	2009	2010	2015	2017	2020
Profondeur 4.2 m								
Densité moyenne de faisceaux par m2		489	837	589	770	600	785	675
<i>Ecart type</i>		110	120	96	68	54	93	43
		Médiocre	Bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Déchaussement moyen (cm)					0	3,4	1,7	0
<i>Ecart type</i>						1,3	1,6	0
					Faible	Faible	Faible	Faible
Pourcentage de rhizomes plagiotropes					20	63	57	80
					Moyen	Fort	Fort	Fort

Le tableau suivant présente le résultat des mesures de la vitalité de l'herbier de posidonies sur les nouvelles balises installées :

BONA Sud - B13		
Profondeur 5.3 m	2017	2020
Densité moyenne de faisceaux par m2	689	583
<i>Ecart type</i>	38	76
	Moyenne	Moyenne
Déchaussement moyen (cm)	6,8	5
<i>Ecart type</i>	3,6	5,4
	Moyen	Moyen
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	57	90
	Fort	Fort
BONA Median- B14		
Profondeur 4.2 m	2017	2020
Densité moyenne de faisceaux par m2	748	492
<i>Ecart type</i>	56	14
	Moyenne	Médiocre
Déchaussement moyen (cm)	3,5	2
<i>Ecart type</i>	1,5	3,7
	Faible	Faible
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	47	90
	Fort	Fort
BONA Nord- B15		
Profondeur 5.3 m	2017	2020
Densité moyenne de faisceaux par m2	748	708
<i>Ecart type</i>	86	144
	Moyenne	Moyenne
Déchaussement moyen (cm)	2,3	20,5
<i>Ecart type</i>	1,3	4,4
		important
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	60	100
	Fort	Fort

Conclusions sur le suivi de la vitalité de l'herbier de posidonies

Au niveau de la balise suivie historiquement nous n'observons pas d'évolution majeure des paramètres de la vitalité de l'herbier de posidonies depuis 2007.

Dans l'ensemble des stations de mesures, la densité des faisceaux reste moyenne. Ces faibles valeurs de densité relevées reflètent plutôt les caractéristiques intrinsèques de la zone.

Seule la station B14 a une diminution de la densité. Une surveillance de cette station est à prioriser. Les valeurs de pourcentage de rhizomes plagiotropes restent stables.

On notera un phénomène d'ensablement au niveau station B10 entre 2017 et 2020. Cependant en 2010, il avait déjà été observé que le déchaussement était nul. Cette station pourrait donc être assujettie à des mouvements sédimentaires plus importants que dans les autres stations de ce secteur.

L'absence de régression le long de la limite supérieure de l'herbier dans ce secteur et les mesures de déchaussement ne mettent pas en évidence de phénomènes d'ensablement.

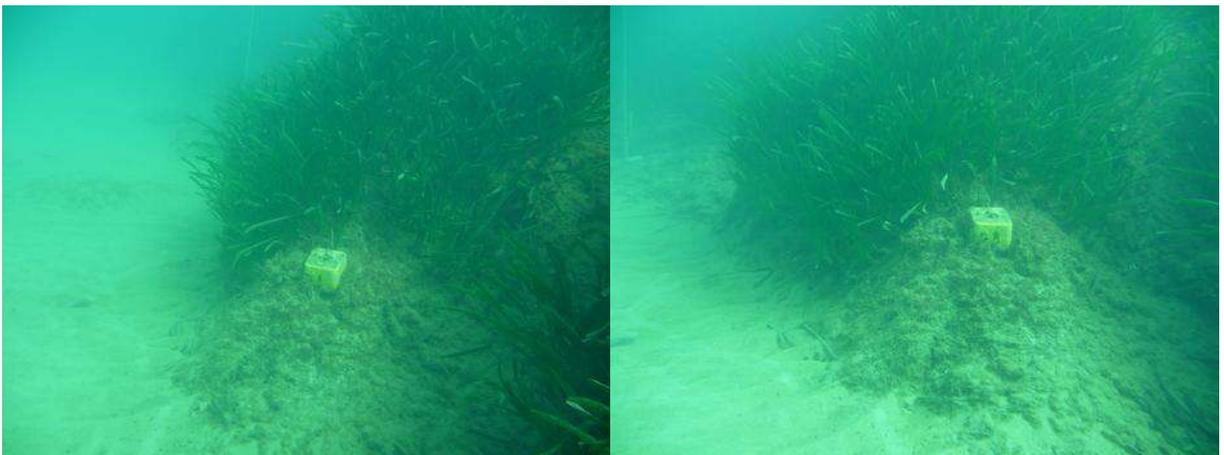


V. ANNEXES

V.1) Carnet de Photo – Bona médian



V.2) Carnet de Photo – Bona Sud





V.3) Carnet de Photo – Bona Extension



