

BEAULIEU-SUR-MER

Evaluation du phénomène d'envasement et d'eutrophisation de l'anse de Petite Afrique et proposition d'un programme d'actions pour la restauration de l'herbier de Posidonies

N° D'AFFAIRE° 02441616 – MAI 2021

RAPPORT D'ETUDE – PHASE 1 – ETUDE DE L'HERBIER DE POSIDONIES



PRODUCTION

>	Date rendu	Rédacteurs	N° d'affaire
	30/04/2021	J. GODEFROY, A. CERRUTTI	024-41616

RÉVISIONS

Version	Date	Auteurs	Description
V0	02/04/2021	J. GODEFROY	Création
VP1	17/05/2021	M. CHENOZ	Validation

COORDONNÉES

Siège social

setec invivo
Agence Méditerranée

Espace Maurice,
141 avenue Marcel Castié
83100 Toulon
Tél : +33 4 86 15 61 83

Responsable affaire

Marc CHENOZ
Responsable Agence Méditerranée

SETEC INVIVO
marc.chenoz@setec.com

Table des matières

1 — Contexte et objectifs	6
2 — Méthodologie	6
2.1 Analyse des données d'entrée et définition d'un plan d'échantillonnage	7
2.2 Actualisation de la position de la limite supérieure	8
2.3 Caractérisation de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonies	9
2.3.1 Typologie de l'herbier	10
2.3.2 La densité des faisceaux foliaires	11
2.3.3 La proportion de rhizomes plagiotropes	13
2.3.4 Mesure de déchaussement	14
2.4 Analyse cartographique des photographies aériennes anciennes	15
3 — Résultats	17
3.1 Contexte de la campagne de suivi	17
3.1.1 Relevé GPS du contour de la limite supérieure et observation générale du site d'étude	17
3.1.2 Caractérisation de l'état de vitalité de l'herbier	34
3.2 Comparaison de la position de la limite supérieure avec les images aériennes passées	35
4 — Synthèse des observations	50
5 — Avis technique sur la faisabilité et la justification d'un projet de restauration de l'herbier	51
5.1 Application d'un code de conduite	51
5.2 Application au cas de l'anse de Petite Afrique	53
6 — Conclusions et préconisations sur l'étude des problématiques de l'anse de Petite Afrique	53
Bibliographie	55
Fiche signalétique et documentaire	56

Liste des figures

Figure 1. Carte NCA de localisation des biocénoses de la zone d'étude et contour de la zone supposée d'eutrophisation.....	7
Figure 2. Photographies sous-marines NCA (2019) : de gauche à droite, dépôts de feuilles mortes, matte de posidonie en limite supérieure, cymodocée – <i>Cymodocea nodosa</i>	7
Figure 3. Orthophotographie issue de la campagne de suivi aérien de fin octobre 2019 (source NCA).....	8
Figure 4. Plan d'échantillonnage et d'observation de l'anse de Petite Afrique.....	8
Figure 5. Illustration d'un plongeur PMT suivant les contours de l'herbier et une représentation GPS du tracé (MEDPAN, 2014).....	9
Figure 6. Plongeur réalisant les clichés de suivi de la limite supérieure lors du relevé GPS du contour de l'herbier et représentation des relevés sous Google Earth® (Anse de petite Afrique le 25 mars 2021).....	9
Figure 7. Les différents types d'herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	10
Figure 8. Quadrat de 20*20 cm et mesure de la densité des faisceaux.....	12
Figure 9. Description des rhizomes de posidonie (Boudouresque et Meinesz, 1982 in Boudouresque et al, 2006).....	14
Figure 10. Mesure du déchaussement de l'herbier de posidonie (Boudouresque et al, 2006).....	15
Figure 11. Superposition des orthophotographies sous SIG dans le cadre de l'étude d'un herbier (Ganzin N & Cadiou G., 2007).....	16
Figure 12. Date des photographies aériennes sélectionnées.....	16
Figure 13. Exemple d'analyse SIG de l'évolution probable de la limite supérieure de l'herbier de posidonie au niveau de la plage de La Capte estimée à partir des photographies aériennes prise en 1950, 1952, 1998 et 2003 (d'après Gratiot et al., 2006b ; IGN).....	16
Figure 14. Etat du plan d'eau lors des investigations.....	17
Figure 15. Contour de la limite supérieure de l'herbier issus du relevé GPS du 25 mars 2021 (setec).....	18
Figure 16. Superposition du tracé GPS 2021 et de la carte des biocénoses issues des données d'entrée (Medtrix).....	18
Figure 17. Carte des biocénoses actualisée de l'anse de Petite Afrique.....	19
Figure 18. Image aérienne 15/05/1957.....	36
Figure 19. Image aérienne 26/03/1961.....	37
Figure 20. Image aérienne 28/04/1964.....	38
Figure 21. Image aérienne 13/07/1964.....	39
Figure 22. Image aérienne 1965.....	40
Figure 23. Image aérienne 1979.....	41
Figure 24. Image aérienne 23/07/1985.....	42
Figure 25. Image aérienne 11/07/1988.....	43
Figure 26. Image aérienne 08/06/1994.....	44
Figure 27. Image aérienne 04/06/1999.....	45
Figure 28. Image aérienne 09/06/2004.....	46
Figure 29. Image aérienne 2017.....	47
Figure 30. Image aérienne 21/03/2019.....	48
Figure 31. Image aérienne 07/04/2020.....	49
Figure 32. Photographie des rhizomes dépourvus de faisceaux foliaires au sud de l'anse.....	50
Figure 33. Extrait et résumé de la publication scientifique « Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea : A critical Review of Effectiveness and Ethical Issues. <i>Waters</i> 2021, 13, 1034.....	51
Figure 34. Logigramme d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'une opération de restauration de l'herbier de posidonie (Boudouresque et al, 2021).....	52

Liste des tableaux

Tableau 1. Typologie des limites d'un herbier.....	11
Tableau 2. Classification de l'état de l'herbier selon les densités (/m ²) de faisceaux observés et le niveau de profondeur (m) (Pergent et al., 2008 et Pergent-Martini et al., 2010).....	13
Tableau 3. Evaluation de la vitalité de l'herbier à partir du pourcentage de rhizomes plagiotropes de <i>P. oceanica</i> . (Charbonnel et al., 2000).....	14
Tableau 4 : Échelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées (Charbonnel et al., 2000).....	15
Tableau 5. Conditions météorologiques du 25/03/2021.....	17
Tableau 6. Coordonnées GPS des stations herbier de Posidonie.....	34
Tableau 7. Résultats des mesures de vitalités de l'herbier.....	34

1 — Contexte et objectifs

L'avant plage de Petite Afrique à Beaulieu-sur-Mer et son herbier de Posidonie sont soumis à un phénomène d'envasement récurrent et à une eutrophisation locale générant des odeurs lors des après-midis chaudes et ensoleillées.

Le site se situe dans le périmètre du site Natura 200 en mer du Cap Ferrat à travers lequel la surveillance des herbiers de posidonie représente un axe de gestion.

Cette situation a amené la Métropole Nice Côte d'Azur à solliciter une étude portant sur l'évaluation de l'état de la limite supérieure de l'herbier de posidonie et la caractérisation de la zone d'eutrophisation au droit de la plage de Petite Afrique. Les observations doivent permettre de proposer un plan d'action à court ou moyen terme pour d'une part améliorer la situation et d'autre part suivre son évolution.

L'étude doit notamment porter sur la pertinence d'une opération de désenvasement par aspiration des sédiments de surface et décrire le cadre réglementaire dans lequel pourrait s'inscrire une telle opération. Les modalités de mise en application des actions sélectionnées dans le cadre des recommandations seront discutés avec la métropole à l'issue des études.

Afin de répondre à ces objectifs, une expertise du site est conduite :

- sur les sédiments superficiels et leurs niveaux de contaminations,
- sur l'herbier de posidonies,
- et à travers des entretiens.

Ce document présente les résultats de la campagne d'étude de l'herbier de posidonies et une analyse de la problématique de sa restauration.

2 — Méthodologie

L'évaluation de l'état de santé de l'herbier est réalisée au regard des désordres observés par la Métropoles NCA dans l'anse et plus particulièrement sur l'herbier de Posidonies, par les rechargements sédimentaires successifs de la plage et les apports en matériaux fins associés (les fines) au niveau de la limite supérieure.

La méthodologie appliquée dans le cadre de cette étude porte sur une actualisation des données d'entrée (carte biocénotique) et des observations de la Métropole. Elle s'attache à réaliser une observation générale de la zone d'étude afin de rechercher la présence d'espèces ou d'habitats d'intérêt (protection réglementaire, intérêt patrimonial), de préciser la position de la limite supérieure de l'herbier, et de mesurer plusieurs paramètres classiques de vitalité de la posidonie (déchaussement, densité de faisceaux foliaires, types de faisceaux, sédimentation ...) en plus points.

Une comparaison de la position de la limite supérieure et de l'étendue globale de l'herbier est également effectuée à partir des photos aériennes plus anciennes.

Ces analyses ont pour objectifs de connaître l'évolution de l'herbier en fonction des rechargements de plage successifs (enfouissement, dégradation de la qualité de l'eau...), et d'évaluer les paramètres de vitalité de l'herbier au moment de l'étude. Les résultats de ce suivi pourront être utiles à la rédaction d'éventuels dossiers réglementaires pour des travaux sur la zone d'étude en constituant un état de référence.

2.1 Analyse des données d'entrée et définition d'un plan d'échantillonnage

A la suite des échanges menés sur le site en amont de la proposition d'étude et après la réunion de cadrage de l'étude du 17 novembre 2020, plusieurs documents ont été remis à Setec par la Métropole NCA :

- Une carte illustrant les biocénoses présentes dans la zone avec l'indication de la zone supposée d'eutrophisation ;
- Un ensemble de photographies non-localisées de la limite supérieure de l'herbier datant du mois de septembre 2019 ;
- Les photographies aériennes issues d'une campagne de survol par drone datant de la fin du mois d'octobre 2019.

Les figures ci-dessous présentent la carte transmise et une partie des photographies sous-marines et aériennes de 2019.



Figure 1. Carte NCA de localisation des biocénoses de la zone d'étude et contour de la zone supposée d'eutrophisation



Figure 2. Photographies sous-marines NCA (2019): de gauche à droite, dépôts de feuilles mortes, matte de posidonie en limite supérieure, cymodocée - *Cymodocea nodosa*



Figure 3. Orthophotographie issue de la campagne de suivi aérien de fin octobre 2019 (source NCA)

L'analyse de ces données a conduit à la production d'une stratégie d'échantillonnage synthétisée par la figure suivante :

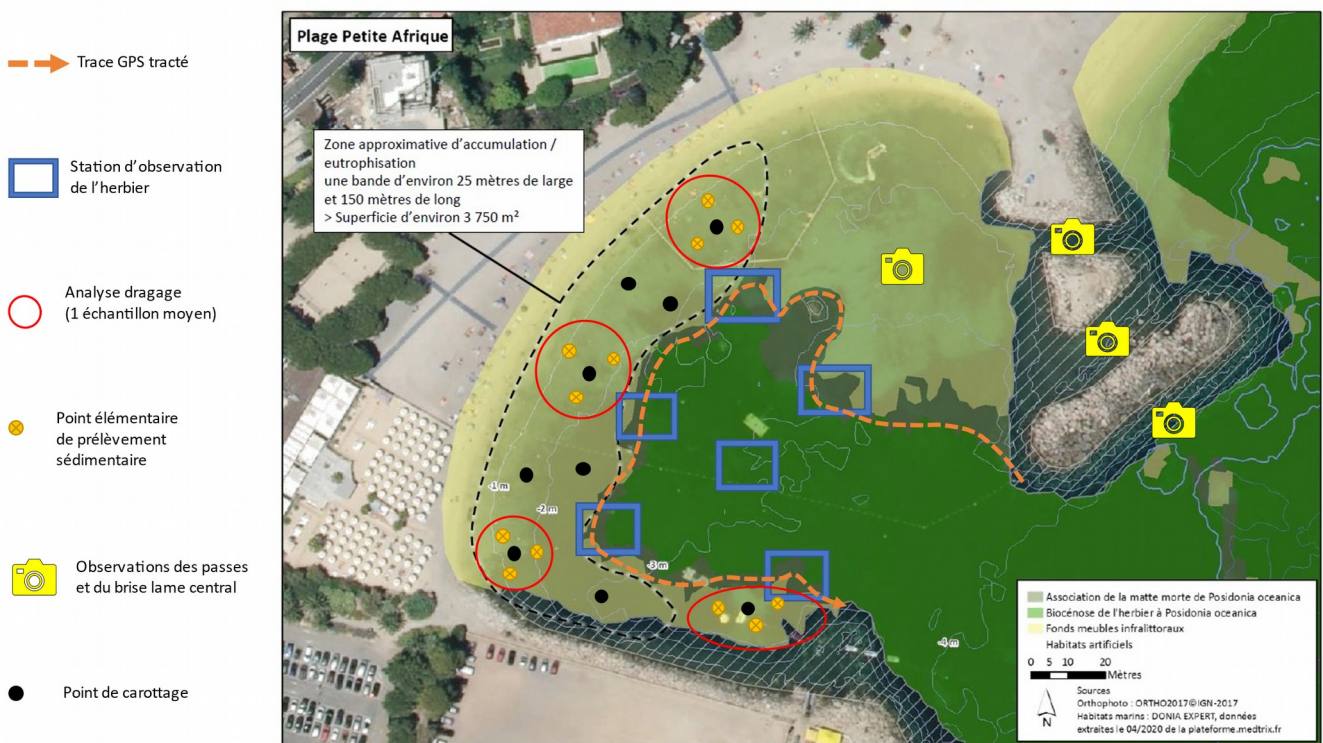


Figure 4. Plan d'échantillonnage et d'observation de l'anse de Petite Afrique

2.2 Actualisation de la position de la limite supérieure

Afin d'évaluer les évolutions de l'herbier depuis les derniers relevés et positionner correctement les stations de suivi de l'état de vitalité, un tracé précis du contour de la limite est réalisé à l'aide d'un GPS tracté au-dessus de l'herbier sur un radeau de chasse selon les recommandations du guide MEDPAN de suivi du milieu marin en Palme Masque Tuba (2014).

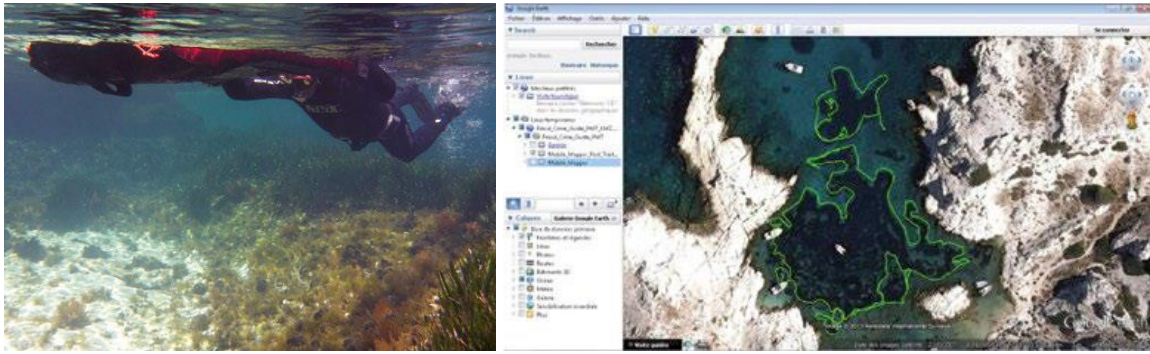


Figure 5. Illustration d'un plongeur PMT suivant les contours de l'herbier et une représentation GPS du tracé (MEDPAN, 2014)

Ce tracé sera comparé aux photographies aériennes antérieure à 2020 et à l'ancien relevé biocénétique (Medtrix). Afin d'identifier d'éventuelles zones d'évolution sur le temps long.

Ce suivi a été complété sur le site d'étude par un reportage photographique synchronisé avec le relevé GPS. Un plongeur immergé situé à l'aplomb du plongeur PMT a pour cela effectué un ensemble de photographies sur la totalité du contour de la limite afin de positionner précisément les observations.

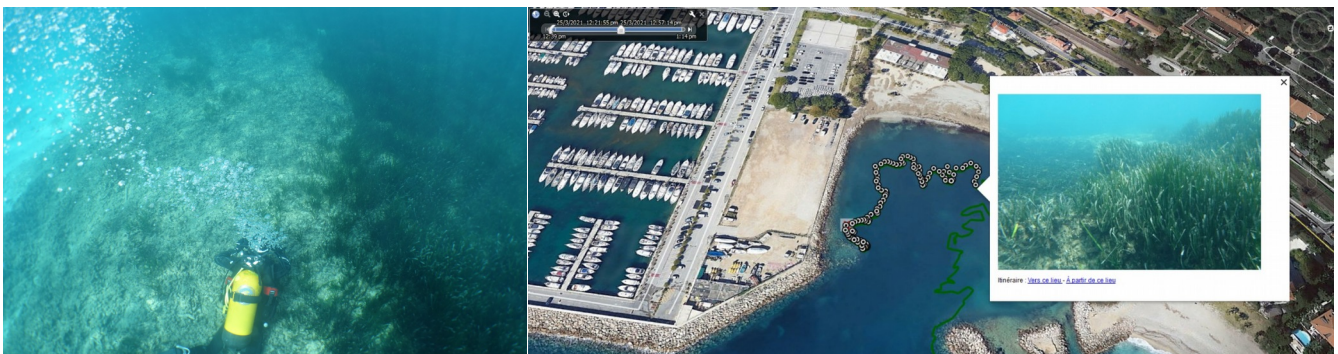


Figure 6. Plongeur réalisant les clichés de suivi de la limite supérieure lors du relevé GPS du contour de l'herbier et représentation des relevés sous Google Earth® (Anse de petite Afrique le 25 mars 2021)

Cette méthodologie permet d'établir une description précise de l'herbier et de sa limite, et d'identifier des zones d'intérêts pour l'étude (zone en érosion, présence de rhizomes plagiotropes, élément anthropique, etc.). Ces points d'intérêts géoréférencés pourront permettre un retour sur site efficace lors d'éventuels suivis ultérieurs.

2.3 Caractérisation de l'état de vitalité de l'herbier de Posidonies

L'évaluation de l'état de l'herbier renseigne sur les conditions du milieu dans lequel il évolue et donc sur sa qualité. L'empreinte de la qualité des eaux sur les herbiers à *P. oceanica* est permanente : elle ne dépend donc pas du sens du vent ou des courants au moment de l'observation. Ainsi, de nombreux paramètres sont à même d'être enregistrés par l'herbier, et notamment :

- ✓ La turbidité moyenne des eaux, matérialisée par la position de sa limite inférieure et par la densité des faisceaux ;
- ✓ Les courants et l'hydrodynamisme, matérialisés par les structures érosives qui affectent la matre ;
- ✓ Le taux de sédimentation, matérialisé par la vitesse de croissance des rhizomes et, en cas de déficit, par leur déchaussement ;
- ✓ La matière organique et les nutriments, matérialisés par les épiphytes des feuilles et la composition chimique de la plante.

Une description du site et de l'herbier a été réalisée avec :

- ✓ L'aspect général de l'herbier ;
- ✓ La granulométrie du sédiment, indicative de l'hydrodynamisme ;
- ✓ La présence et la structure de matre morte et les intermatres structurelles ;
- ✓ La typologie de la limite supérieure de l'herbier donnant une information sur la dynamique de l'herbier et son caractère évolutif, avec une observation visuelle et par photos/vidéos le long de la limite ;
- ✓ Des prises de vues photographiques, vidéos et identification des espèces associées à l'herbier.

Puis, différents paramètres ont été choisis pour évaluer l'état de vitalité de l'herbier à *Posidonia oceanica*, sur quatre (4) stations en bordure de la limite supérieure :

- ✓ La profondeur ;
- ✓ La proportion de rhizomes plagiotropes ;
- ✓ La mesure du déchaussement des rhizomes ;
- ✓ La longueur maximale des feuilles.

2.3.1 Typologie de l'herbier

Au travers des différentes structures d'herbier rencontrées et selon les caractéristiques du milieu (hydrodynamisme, etc.), il est possible de définir ainsi l'herbier : continu, discontinu en mosaïque (alternance d'herbier morcelé et de matre morte), de plaine (herbier subhorizontal, sans relief particulier), ondoyant, de colline, etc.

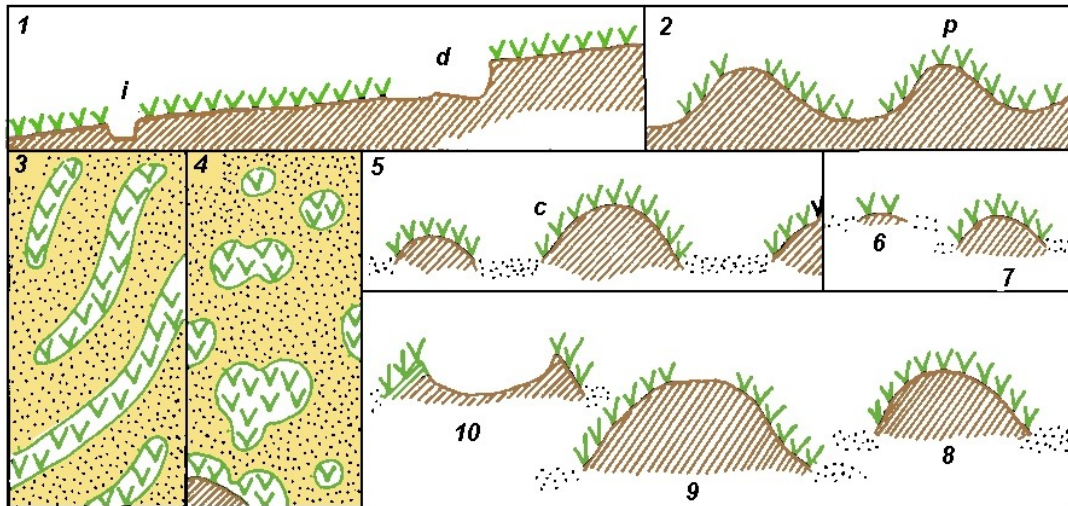


Figure 7. Les différents types d'herbiers à *Posidonia oceanica*.

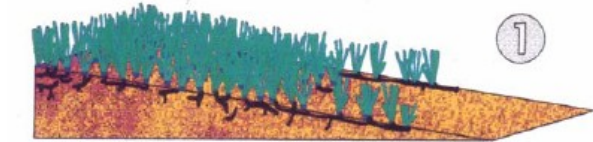
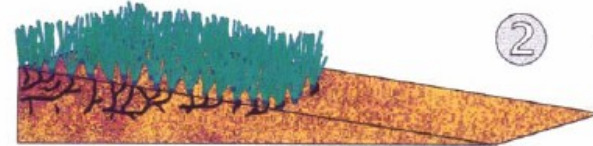
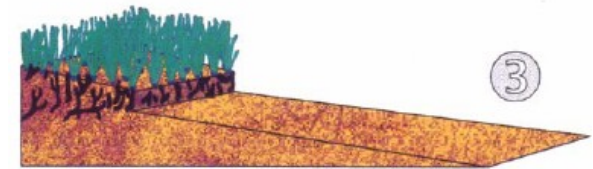

1 : Herbier de plaine, vu en coupe ; i = intermatre ; d = intermatre déferlante. 2 = herbier en pain de sucre, vu en coupe. 3 : Herbier tigré, vu en plan. 4 : Herbier de colline, vu en plan. 5 : Herbier de colline, vu en coupe ; c = colline. 6 à 10 : évolution d'une colline, de sa formation à son démantèlement. vvv = *Posidonia oceanica*, pointillés = sable, hachures obliques = matre. D'après Boudouresque et al. (1985a)

En limite supérieure d'herbier, on rencontre les 4 types de limites définies pour les parties profondes des herbiers (limite inférieure), avec en plus, selon les cas, une « limite morcelée ». Ces cinq types de limites sont présentées et décrites dans le tableau ci-après :

Tableau 1. Typologie des limites d'un herbier

TYPE DE LIMITE	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES	ILLUSTRATIONS ¹
----------------	------------------------------	----------------------------

¹ d'après MEINESZ & LAURENT, 1978, modifié par BOUDOURESQUE, redessiné par PALLUY). 1 = limite progressive ; 2 = limite franche ; 3 = limite érosive ; 4 = limite régressive.

Progressive	Présence de rhizomes plagiotropes (croissance horizontale), disposés de façon parallèle. L'herbier n'édifie pas de mat, mais il colonise un substrat adjacent.	
Franche	Limite bien nette entre les derniers rhizomes et le sédiment (absence de mat morte au-delà de la limite). Présence de rhizomes généralement orthotropes (à croissance verticale), mais sans édification d'une véritable mat. Celle-ci traduit souvent un herbier stable, avec des conditions de milieu stabilisées (transparence des eaux).	
Erosive	Un tombant de mat marque la limite entre les rhizomes et le sédiment. La formation de ce tombant de mat, de hauteur variable (20 cm à 1 m), résulte de l'hydrodynamisme. L'action des courants de fonds érode l'herbier et interdit toute progression.	
Morcelée (ou fragmentée)	<p>Sous l'influence d'un déséquilibre du milieu, la limite supérieure de l'herbier, généralement franche, va se morceler. Selon l'importance du déséquilibre (rejets, aménagements, mouillages, dessalure, etc.), le morcellement sera d'abord visible sous formes d'ondulations puis d'invaginations de son rebord et enfin d'un véritable fractionnement en taches et îlots de posidonies dont les tailles diminueront progressivement selon le gradient de proximité de la nuisance, pour aboutir à de petites touffes et groupes de faisceaux isolés.</p>	
Régressive	Présence d'une étendue de mat morte, recouverte ou non par le sédiment. Quelques faisceaux, témoins de l'ancienne position de l'herbier, subsistent au-delà de la limite actuelle. Ce type de limite est le plus répandu le long du littoral et traduit une régression d'herbier.	

2.3.2 La densité des faisceaux foliaires

La mesure de la densité des faisceaux foliaires et l'expertise associée permettent d'évaluer l'état de santé de l'herbier. Ce paramètre peut être corrélé aux conditions environnementales comme la transparence de l'eau (et donc la profondeur) ou le type de substrat. En effet, selon la littérature, une réduction de la transparence de l'eau résultant d'une turbidité plus importante a pour effet notamment une diminution de la densité des faisceaux de feuilles.

La densité d'un herbier est estimée par le nombre de faisceaux au mètre carré. Ce paramètre est mesuré par le comptage des faisceaux à l'intérieur d'un quadrat de 20 cm x 20 cm. Ce quadrat est placé sur l'herbier de façon aléatoire, autour de chaque station. Seules les zones couvertes par l'herbier (donc exclusion des zones d'intermattes) sont prises en considération pour la mesure de cette densité (Giraud, 1977a ; 1977b).

Afin d'obtenir un échantillonnage représentatif, il est réalisé dix (10) densités par station. La moyenne des mesures est ensuite établie et ramenée à une densité par mètre carré.



*Figure 8. Quadrat de 20*20 cm et mesure de la densité des faisceaux*

La classification utilisée de l'état de vitalité de l'herbier selon sa densité de faisceaux foliaires et la profondeur de la station d'étude est la suivante (Pergent-Martini et Pergent, 2010).

Tableau 2. Classification de l'état de l'herbier selon les densités (m^2) de faisceaux observés et le niveau de profondeur (m) (Pergent et al., 2008 et Pergent-Martini et al., 2010)

Profondeur (m)	Excellent	Bon	Normal	Médiocre	Mauvais
1	> 1133	1133 à 930	930 à 727	727 à 524	< 524
2	> 1067	1067 à 863	863 à 659	659 à 456	< 456
3	> 1005	1005 à 808	808 à 612	612 à 415	< 415
4	> 947	947 à 757	757 à 567	567 à 377	< 377
5	> 892	892 à 709	709 à 526	526 à 343	< 343
6	> 841	841 à 665	665 à 489	489 à 312	< 312
7	> 792	792 à 623	623 à 454	454 à 284	< 284
8	> 746	746 à 584	584 à 421	421 à 259	< 259
9	> 703	703 à 547	547 à 391	391 à 235	< 235
10	> 662	662 à 513	513 à 364	364 à 214	< 214
11	> 624	624 à 481	481 à 338	338 à 195	< 195
12	> 588	588 à 451	451 à 314	314 à 177	< 177
13	> 554	554 à 423	423 à 292	292 à 161	< 161
14	> 522	522 à 397	397 à 272	272 à 147	< 147
15	> 492	492 à 372	372 à 253	253 à 134	< 134
16	> 463	463 à 349	349 à 236	236 à 122	< 122
17	> 436	436 à 328	328 à 219	219 à 111	< 111
18	> 411	411 à 308	308 à 204	204 à 101	< 101
19	> 387	387 à 289	289 à 190	190 à 92	< 92
20	> 365	365 à 271	271 à 177	177 à 83	< 83
21	> 344	344 à 255	255 à 165	165 à 76	< 76
22	> 324	324 à 239	239 à 154	154 à 69	< 69
23	> 305	305 à 224	224 à 144	144 à 63	< 63
24	> 288	288 à 211	211 à 134	134 à 57	< 57
25	> 271	271 à 198	198 à 125	125 à 52	< 52
26	> 255	255 à 186	186 à 117	117 à 47	< 47
27	> 240	240 à 175	175 à 109	109 à 43	< 43
28	> 227	227 à 164	164 à 102	102 à 39	< 39
29	> 213	213 à 154	154 à 95	95 à 36	< 36
30	> 201	201 à 145	145 à 89	89 à 32	< 32
31	> 189	189 à 136	136 à 83	83 à 30	< 30
32	> 179	179 à 128	128 à 77	77 à 27	< 27
33	> 168	168 à 120	120 à 72	72 à 24	< 24
34	> 158	158 à 113	113 à 68	68 à 22	< 22
35	> 149	149 à 106	106 à 63	63 à 20	< 20
36	> 141	141 à 100	100 à 59	59 à 18	< 18
37	> 133	133 à 94	94 à 55	55 à 17	< 17
38	> 125	125 à 88	88 à 52	52 à 15	< 15
39	> 118	118 à 83	83 à 48	48 à 14	< 14
40	> 111	111 à 78	78 à 45	45 à 13	< 13

2.3.3 La proportion de rhizomes plagiotropes

La présence de rhizomes plagiotropes (rhizomes croissants horizontalement) est un signe de bonne santé, puisqu'elle exprime la tendance de l'herbier à coloniser (ou à recoloniser) les zones voisines. Au sein d'un herbier, toutefois, l'importance des rhizomes plagiotropes peut également traduire la réaction (positive) de l'herbier à un stress, par exemple la pression d'ancrage.

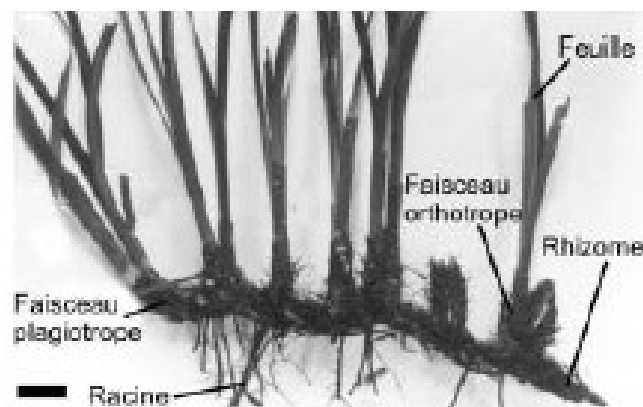


Figure 9. Description des rhizomes de posidonie (Boudouresque et Meinez, 1982 in Boudouresque et al., 2006)

Sur le terrain, cette valeur est estimée en pourcentage par rapport au nombre total de rhizomes présents dans le quadrat.

Des valeurs seuils ont été définies pour pouvoir interpréter l'état de vitalité d'un herbier à partir des pourcentages moyens de rhizomes plagiotropes mesurés :

Tableau 3. Evaluation de la vitalité de l'herbier à partir du pourcentage de rhizomes plagiotropes de *P. oceanica*. (Charbonnel et al., 2000)

POURCENTAGE DE RHIZOMES PLAGIOTROPES	INTERPRETATION
< 30 %	Normale (herbier généralement stable, avec peu ou pas de progression)
Entre 30 % et 70 %	Bonne (légère tendance à la progression)
> 70 %	Très bonne (nette tendance à la progression)

2.3.4 Mesure de déchaussement

Le déchaussement des rhizomes traduit généralement l'existence d'un déficit sédimentaire au niveau de l'herbier. La mesure de ce paramètre permet donc d'apprécier rapidement et assez précisément l'hydrodynamisme d'une zone et les déplacements sédimentaires qui y ont lieu. En outre, un déchaussement important entraîne une fragilisation de l'herbier, ce qui accroît sa vulnérabilité vis-à-vis des actions de mouillages et de chalutage. La mesure du déchaussement des rhizomes est réalisée selon les conventions définies par Boudouresque *et al.*, 1980 :

- ✓ Pour les rhizomes plagiotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes ;
- ✓ Pour les rhizomes orthotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base des feuilles, distance à laquelle on soustrait 2 cm.

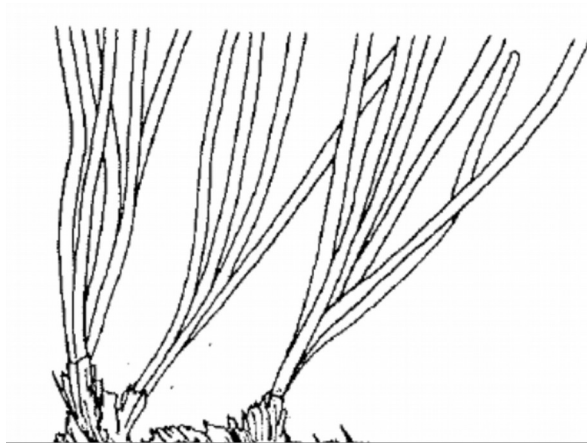


Figure 10. Mesure du déchaussement de l'herbier de posidonie (Boudouresque et al, 2006)

Cette valeur est mesurée par le plongeur à l'aide d'un réglat sur **5 rhizomes** choisis à l'intérieur du quadrat.

Une échelle d'évaluation du déchaussement a été proposée dans la méthodologie utilisée pour le Réseau de Surveillance Posidonies (Charbonnel et al., 2000) afin de caractériser au mieux ce paramètre.

Tableau 4: Échelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées (Charbonnel et al., 2000)

DECHAUSSEMENT (VALEURS SEUILS)	INTERPRETATION
Inférieur à 5 cm	Déchaussement faible
5-15 cm	Déchaussement moyen
Supérieur à 15 cm	Déchaussement important

2.4 Analyse cartographique des photographies aériennes anciennes

Les données publiques de l'Institut Géographique National (IGN) disponibles sur le site « remonterletemps.ign.fr » comprennent un jeu très important d'orthophotographies aériennes anciennes. Elles sont issues des campagnes scientifiques ou militaires réalisées depuis plus de 50 ans.

L'utilisation de ces images est pertinente pour l'étude des herbiers dans de faibles profondeurs en raison de la transparence de l'eau et de l'impossibilité de réaliser des balayages sonar efficaces. Ce type de document, parfaitement adapté aux usages cartographiques terrestres, révèle toutefois certaines limites en domaine marin liées notamment à une mauvaise définition au niveau des fonds pour les clichés les plus anciens. La transparence des eaux et l'agitation locale au moment des clichés sont également des facteurs diminuant la résolution des relevés.

La zone d'étude a été couverte par de nombreuses campagnes et plusieurs clichés ont donc pu être sélectionnés et reportés sur un logiciel SIG.

Couverture Géographique :
Image IKONOS et « tuiles » BD Ortho

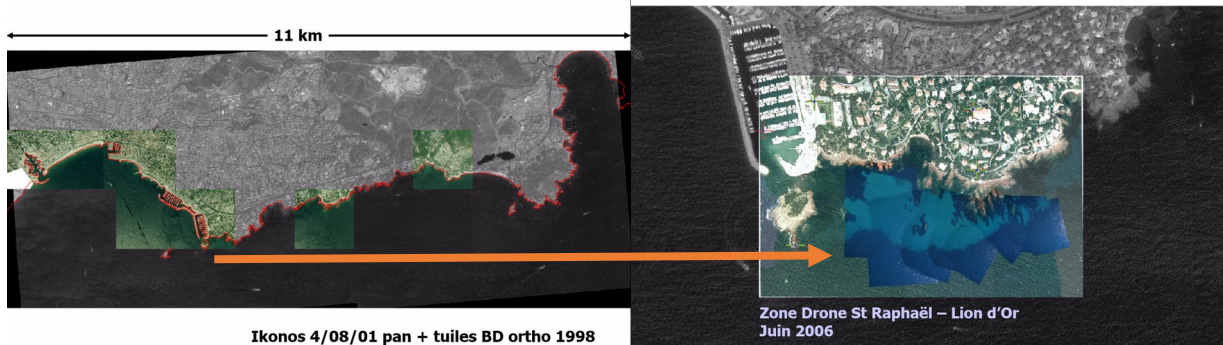


Figure 11. Superposition des orthophotographies sous SIG dans le cadre de l'étude d'un herbier (Ganzin N & Cadiou G., 2007)²

La frise ci-après présentent les clichés sélectionnés.

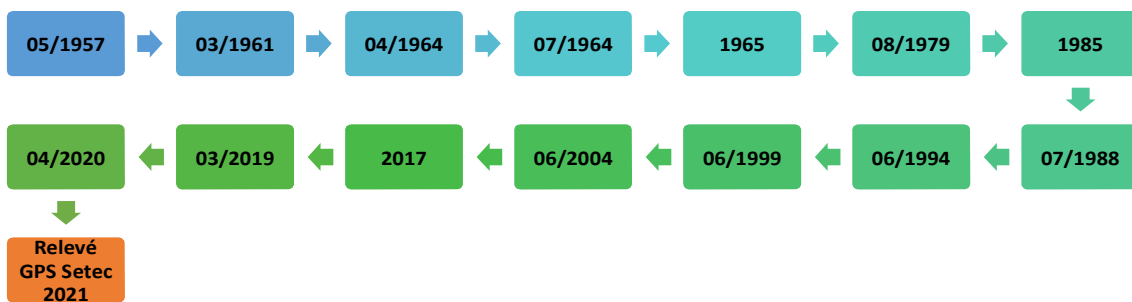


Figure 12. Date des photographies aériennes sélectionnées

Le contour de la limite supérieure réalisé lors de la présente étude est enfin reporté sur les orthophotographies correctement positionnées lors du travail sous SIG.

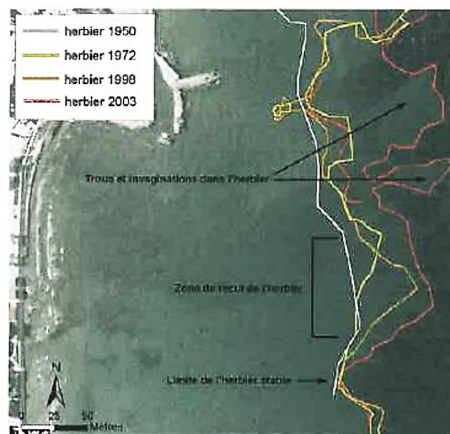


Figure 13. Exemple d'analyse SIG de l'évolution probable de la limite supérieure de l'herbier de posidonie au niveau de la plage de La Capte estimée à partir des photographies aériennes prise en 1950, 1952, 1998 et 2003 (d'après Gratiot et al., 2006b; IGN)

Les cartographies obtenues pour l'anse de Petite Afrique sont présentées à la suite afin d'obtenir une comparaison visuelle de l'évolution de la côte (impact de l'urbanisation), de ses fonds et notamment de son herbier de Posidonie.

² Présentation « Les méthodes de détection aériennes et spatiales » - séminaire Posidonia, groupe de travail Cartographie, 26 et 27 mars 2007, Marseille.

3 — Résultats

3.1 Contexte de la campagne de suivi

La campagne a eu lieu le jeudi 25 mars 2021.

Paramètre	Conditions
Vent	De secteur Ouest de 1 à 2 Beaufort
Houle	Non significative
Temps	Beau temps avec passages nuageux
Visibilité des eaux	Bonne (5 à 10 m)

Tableau 5. Conditions météorologiques du 25/03/2021

La présence en début de matinée d'un navire chargé d'évacuer les feuilles mortes de posidonie au large n'a pas entravé la bonne réalisation des opérations.

La photographie ci-dessous présente l'état du plan d'eau lors des investigations.

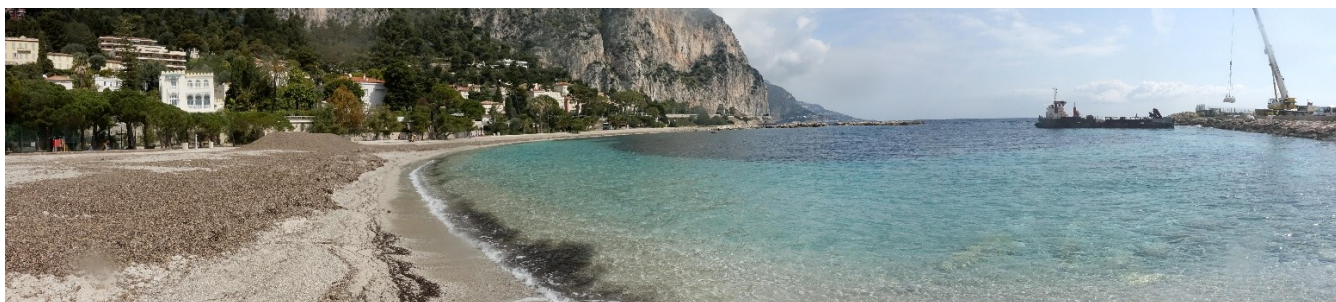


Figure 14. Etat du plan d'eau lors des investigations

Deux personnes ont participé à la campagne de suivi :

- Jérémie GODEFROY – Chargé de mission – Biologiste plongeur professionnel classe 2B
- Romain BRICOUT – Technicien – Biologiste plongeur professionnel classe 2B

3.1.1 Relevé GPS du contour de la limite supérieure et observation générale du site d'étude

La figure ci-après présente le contour de l'herbier de Posidonies relevé lors du relevé du 25 mars 2021. Plusieurs tâches isolées d'herbier se situent à quelques mètres de la limite supérieure. Quelques grandes nacres mortes (coquilles vides) sont également observées.



Figure 15. Contour de la limite supérieure de l'herbier issu du relevé GPS du 25 mars 2021 (setec)

Par superposition de la cartographie Medtrix transmise dans les données d'entrées, il est possible de constater de grandes différences sur l'étendue de l'herbier. Ces différences peuvent provenir des imprécisions de la cartographie Medtrix à macro-échelle et ne peuvent pas servir de repères fiables pour l'analyse de l'évolution de la position de la limite supérieure de l'herbier. Toutefois, pour les zones de recul ou de progression les plus importantes, elles peuvent témoigner de phénomènes réels et orienter la définition d'une stratégie de suivi pour des campagnes ultérieures.

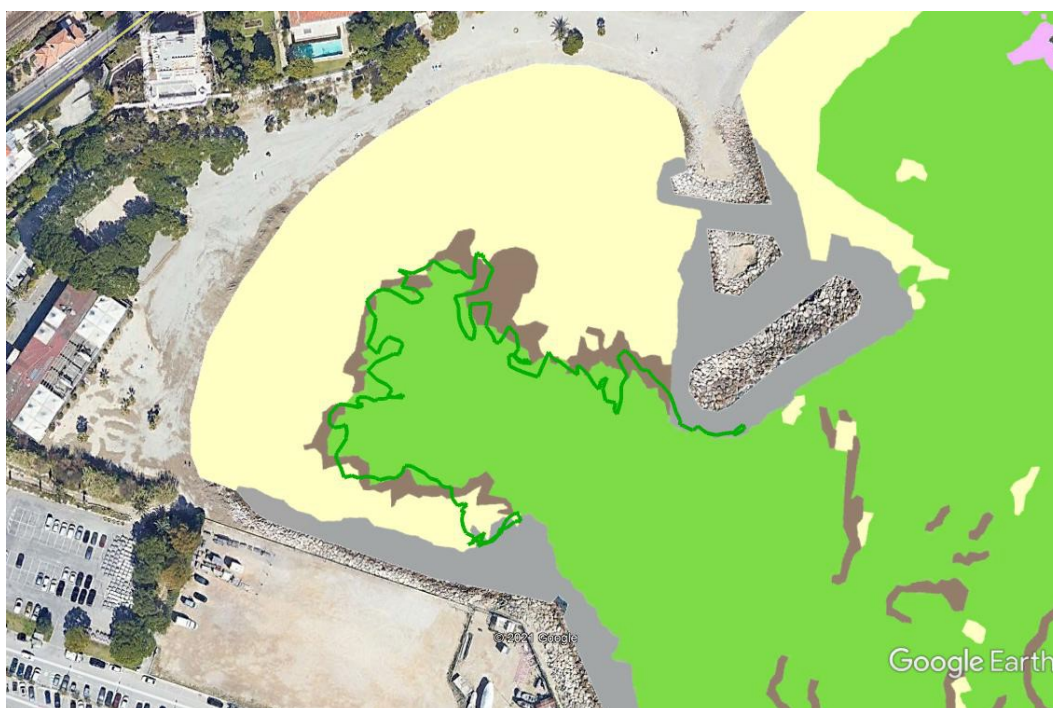


Figure 16. Superposition du tracé GPS 2021 et de la carte des biocénoses issues des données d'entrée (Medtrix)

La cartographie des biocénoses de l'anse mise à jour est présentée ci-après.

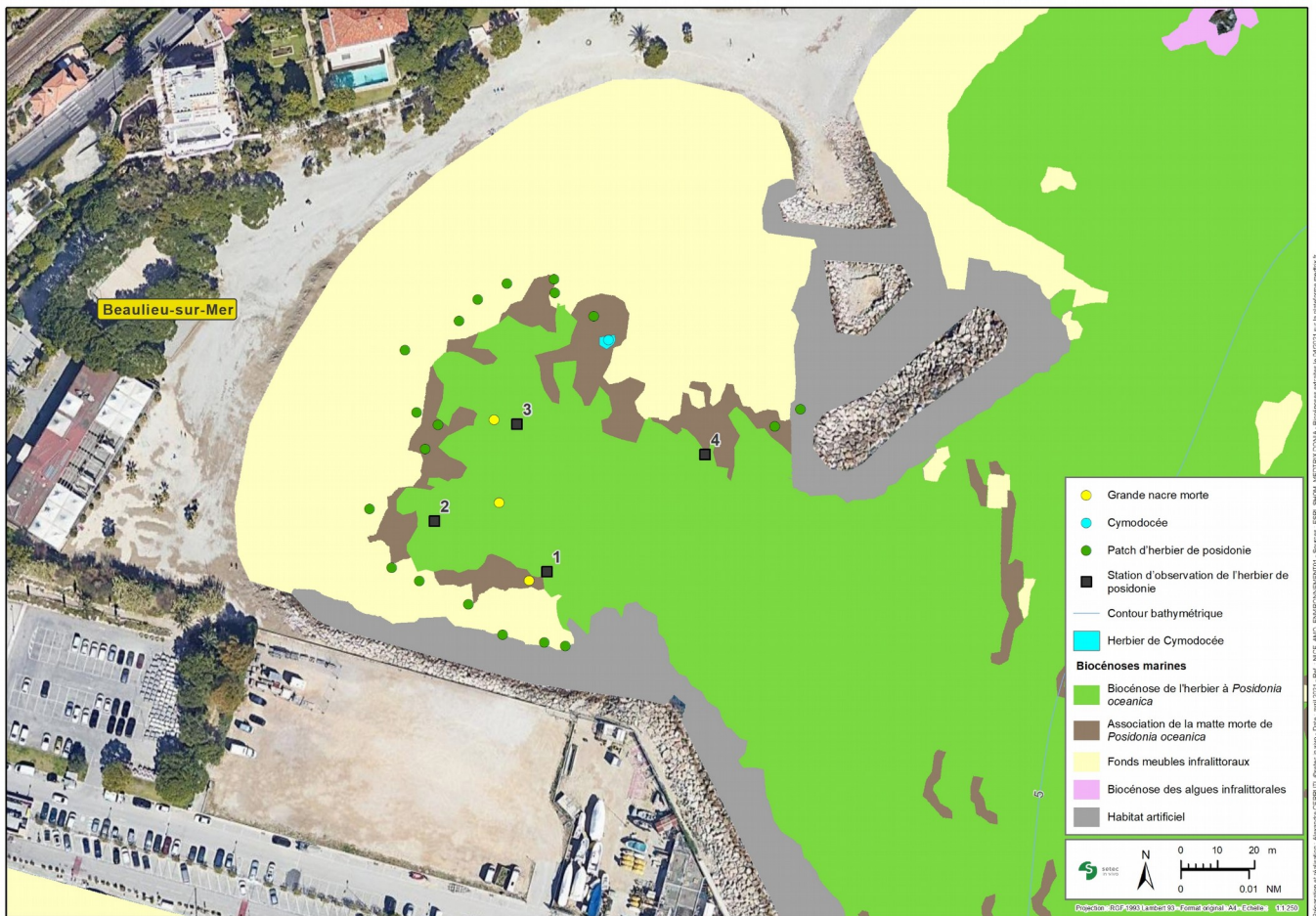


Figure 17. Carte des biocénoses actualisée de l'anse de Petite Afrique

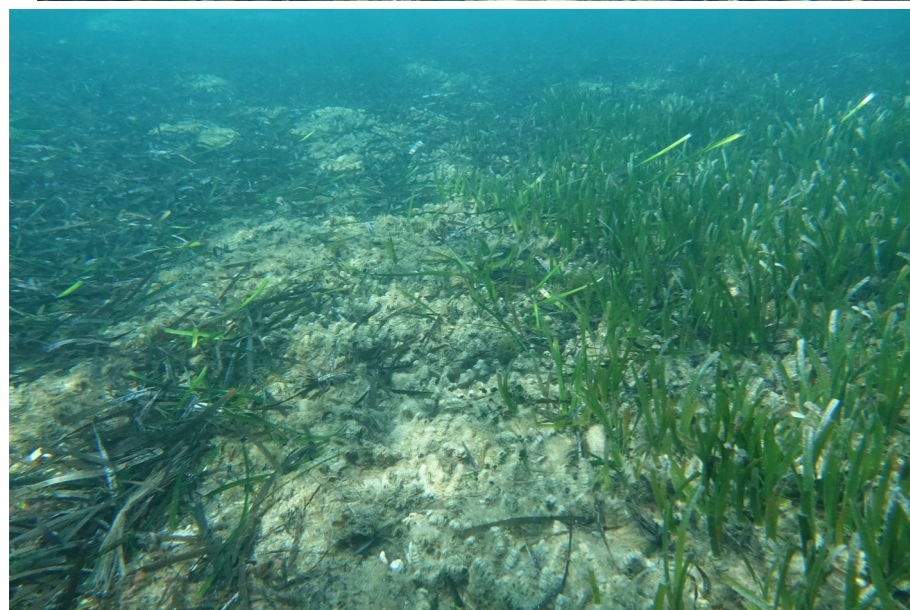
La limite supérieure est de type « morcelée » ou « fragmentée ». Selon les secteurs, les contours de l'herbier peuvent être formés par des tombant de matie hauts de plusieurs dizaines de centimètres, prolongés par endroits par des étendues de mattes mortes (structures érosives), témoignant de la présence passée d'un herbier. En certains de la limite il est toutefois possible d'observer des rhizomes plagiotropes indiquant une tendance localisée à l'expansion de l'herbier.


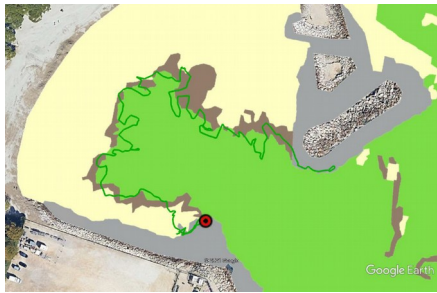

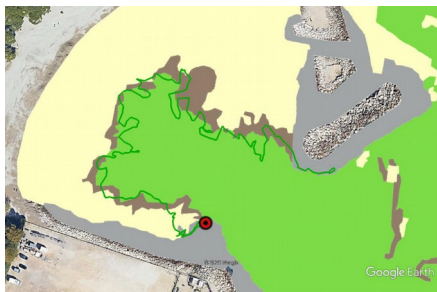

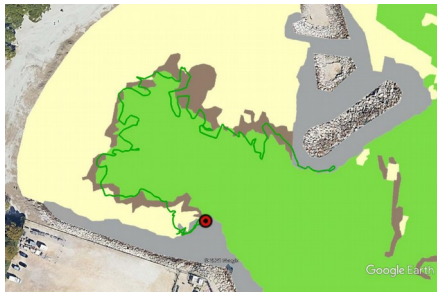
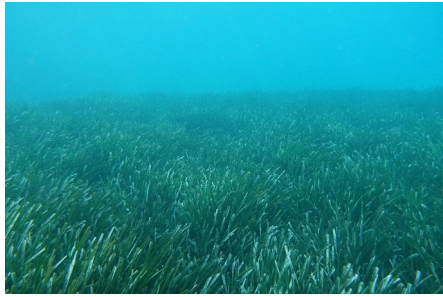
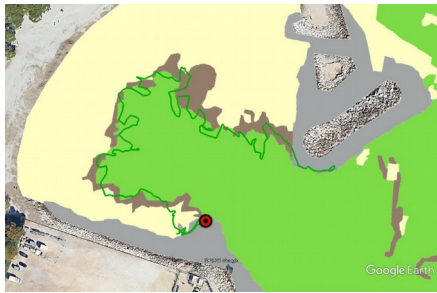

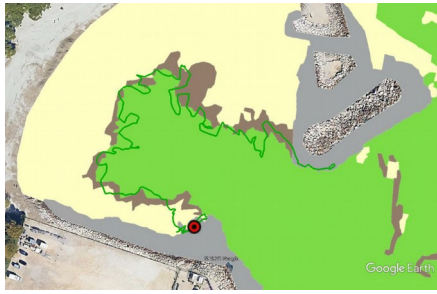
Plusieurs éléments anthropiques (corps-morts, déchets) sont observés.

Des litières de feuilles mortes sont encore présentes mais se localisent plus à l'est par rapport aux observations des relevés effectués lors de la campagne de prélèvement sédimentaires. Celles-ci sont rencontrés entre l'herbier et la côte au centre de l'anse.

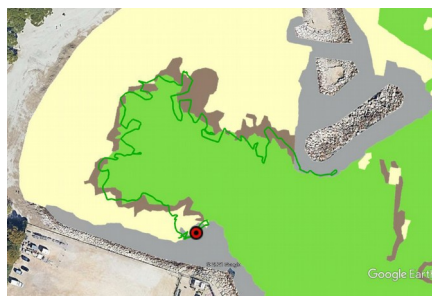
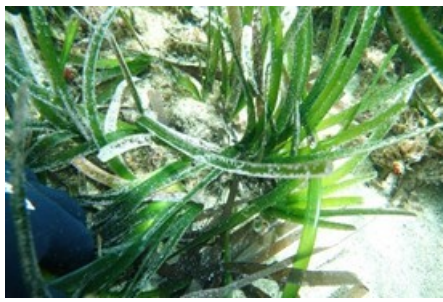
Enfin, une tâche de cymodocée *Cymodocea nodosa*, est observée sur la matie morte de posidonie à proximité du bloc de béton à l'est de l'anse.

Les figures suivantes présentent une sélection des images des fonds géoréférencées lors du suivi et les principales observations d'intérêt.

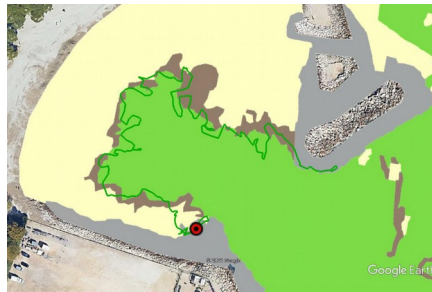


Observation	Localisation	Description
		<p>Herbier sur mat – Limite franche accolée aux enrochements du musoir sous-marin</p>
		<p>Touffe d'herbier sur roche</p>
		<p>Structure régressive: matte morte en limite d'enrochement</p>
		<p>Herbier continu</p>
		<p>Langue de posidonies en limite de blocs et cailloutis au pied du talus</p>

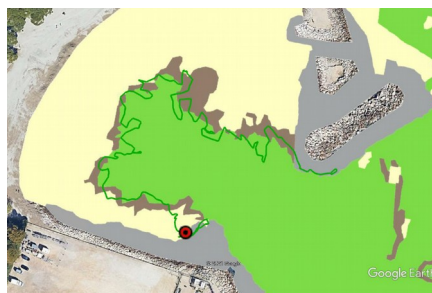
Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------



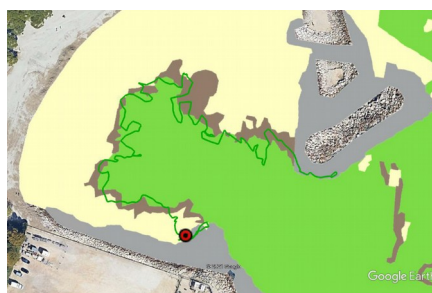
Limite franche sur matte en limite de sables fins – présente de rhizomes plagiotrope



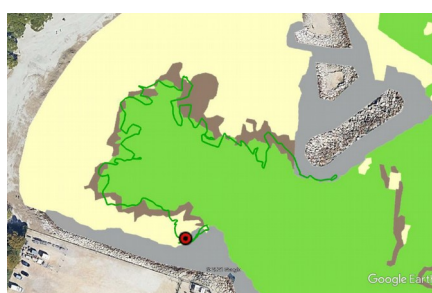
Structure régressive: rhizomes dépourvus de faisceaux de feuilles




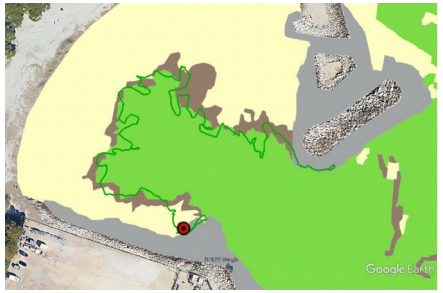



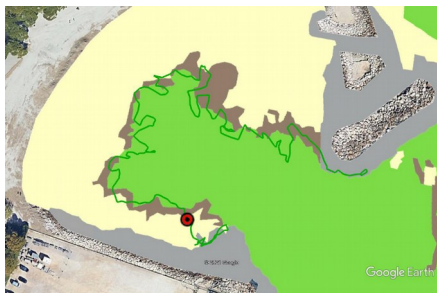

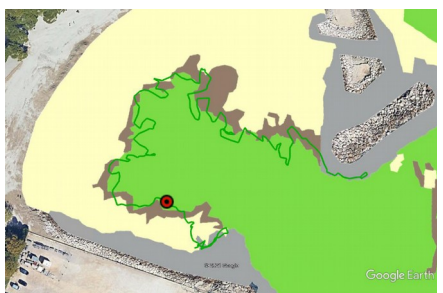

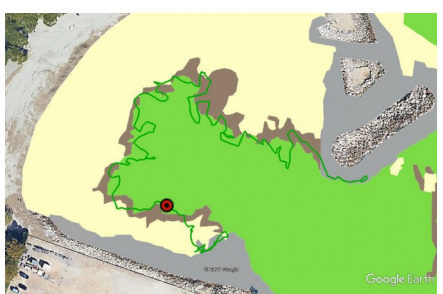
Structure régressive: rhizomes dépourvus de faisceaux de feuilles










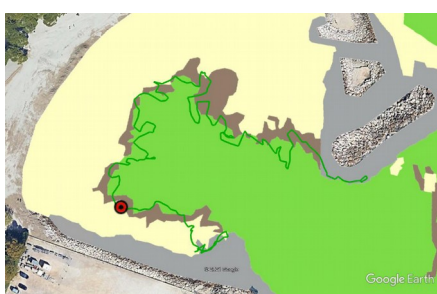







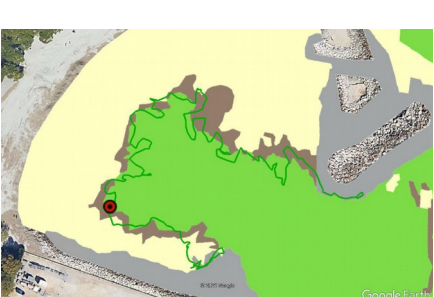

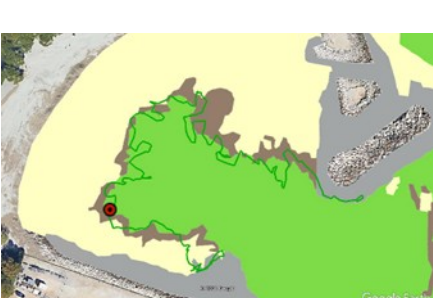

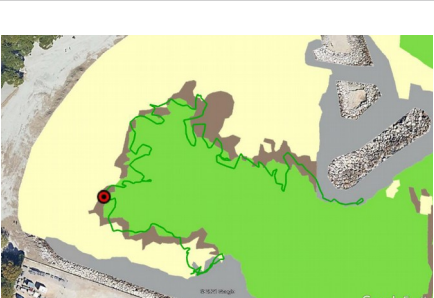
Structure régressive: rhizomes dépourvus de faisceaux de feuilles



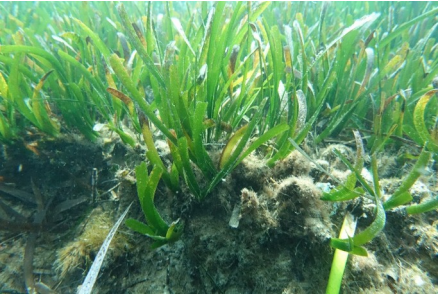

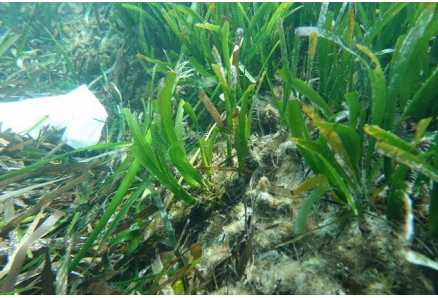


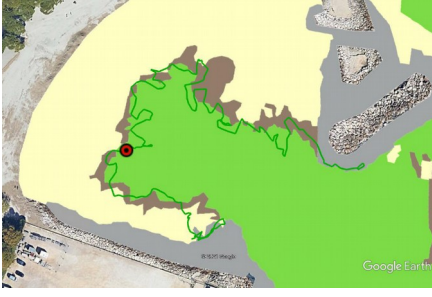




Limite régressive: étendue de matte morte

Observation	Localisation	Description
		<p>Corps mort, limite régressive</p>
		<p>Limite régressive: étendue de matte morte</p>
		<p>Limite régressive: vaste étendue de matte morte</p>
		<p>Présence de quelques rhizomes plagiotropes en limite</p>
		<p>Corps-morts isolés dans l'herbier</p>


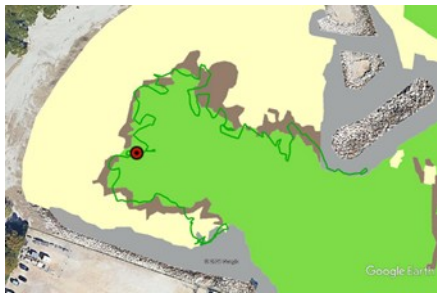





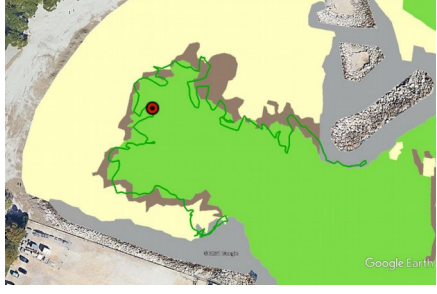


Observation	Localisation	Description
		<p>Limite régressive: étendue de matte morte</p>
		<p>Corps mort isolé dans l'herbier</p>
		<p>Présence de matte morte affleurante et de litière entre la limite et la plage</p>
		<p>Limite érosive: tombant de matte de 30 – 40 cm</p>
		<p>Limite morcelée: invagination de l'herbier sur tombant de matte, accumulation de litière</p>

Observation	Localisation	Description
		<p>Limite régressive: étendue de matte morte, accumulation de litière; macrodéchets</p>
		<p>Corps mort isolé dans la matte morte, macrodéchets</p>
		<p>Limite régressive: étendue de matte morte, accumulation de litière</p>
		<p>Etendue de matte morte, accumulation de litière</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matte, mais présence rhizomes plagiotropes</p>











Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------

		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, accumulation de litière, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, accumulation de litière, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite régressive / morcelée: invagination de l'herbier, étendues de mat morte, accumulation se litière</p>


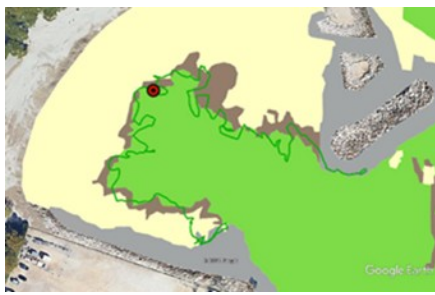





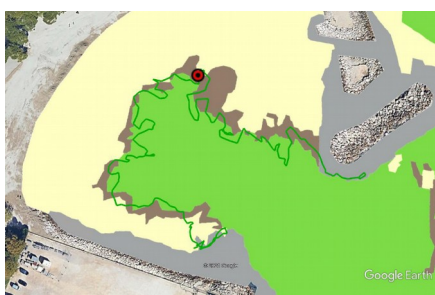

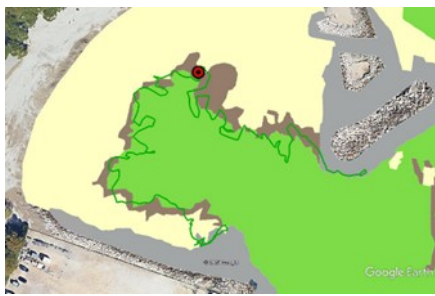
Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------

		<p>Corps mort - Limite régressive : étendues de matte morte, accumulation se litière, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite régressive / morcelée: invagination de l'herbier, étendues de matte morte, accumulation se litière, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Macrodéchet dans une zone d'intermatte (herbier de colline)</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matte, accumulation de litière, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Patch de posidonie isolé, accumulation se litière</p>




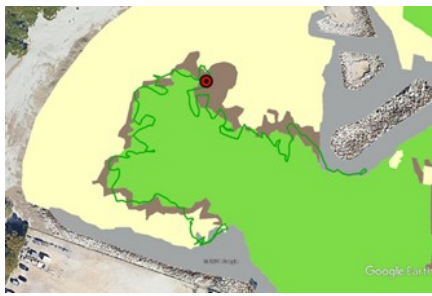



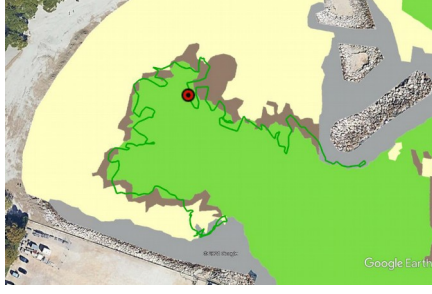


Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------

		<p>Limite franche, accumulation de litière</p>
		<p>Tronc d'arbre, accumulation de litière</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matre, accumulation de litière, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matre, accumulation de litière, fort déchaussement des rhizomes, mais présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matre, accumulation de litière, fort déchaussement des rhizomes, mais présence rhizomes plagiotropes</p>

Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------

		<p>Limite morcelée sur herbier de colline; accumulation de litière</p>
		<p>Limite morcelée: Patch de posidonie sur étendue de matte morte</p>
		<p>Limite érosive sur herbier de colline (intermatte déferlante) : herbier sur tombant de matte, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Accumulation de litière, patch de posidonie isolé</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matte, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>




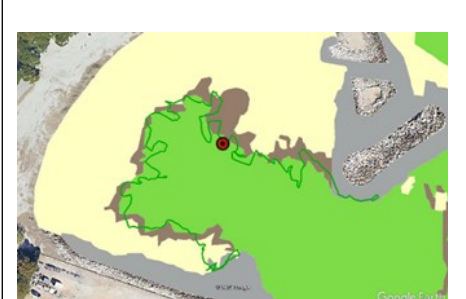

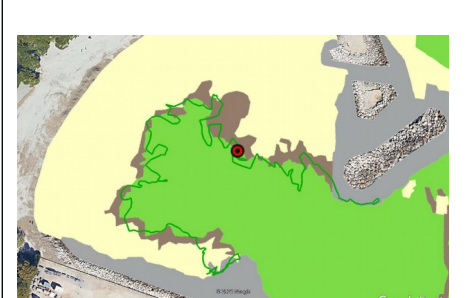

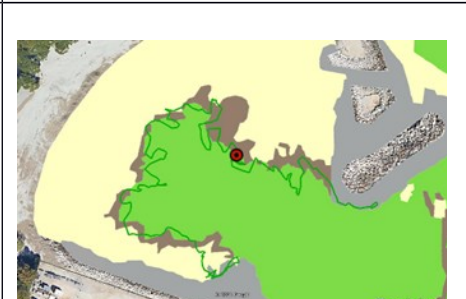

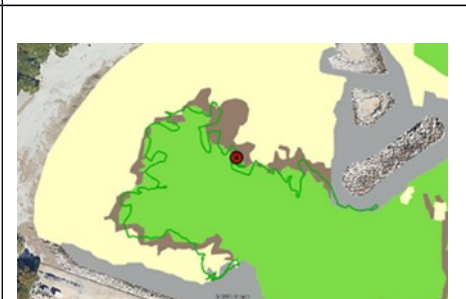
Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------

		<p>Limite érosive sur herbier de colline (intermatte déferlante) : herbier sur tombant de matre, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite régressive : faisceaux isolés sur étendue de matre morte</p>
		<p>Accumulation de fines sur une zone de matre morte</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matre, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite morcelée: Patch de posidonie sur étendue de matre morte</p>










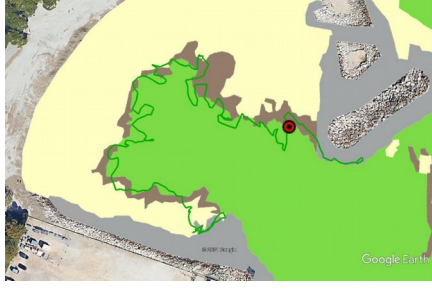
Observation

Localisation










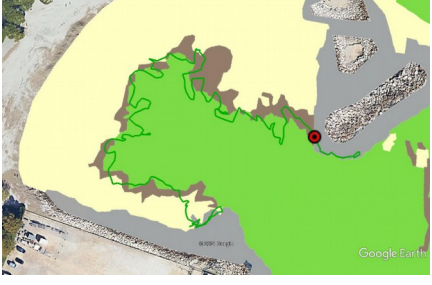
Description

		<p>Accumulation de fines</p>
		<p>Accumulation de litière</p>
		<p>Limite régressive : faisceaux isolés sur étendue de matte morte</p>
		<p>Accumulation de fines et de litière</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matte, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>

Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------

		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite morcelée: Patch de posidonie sur étendue de matte morte</p>

Observation	Localisation	Description
-------------	--------------	-------------

		<p>Accumulation de litière</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de mat, accumulation de litière, présence rhizomes plagiotropes</p>
		<p>Limite morcelée: Patch de posidonie sur étendue de matte morte</p>
		<p>Limite érosive : herbier sur tombant de matte en limite des enrochements du talus du brise lame</p>
		<p>Limite franche en limite des enrochements du talus du brise lame</p>

3.1.2 Caractérisation de l'état de vitalité de l'herbier

La caractérisation de l'herbier au niveau de l'anse a été réalisée au niveau de quatre (4) stations dont les coordonnées des points GPS sont présentées ci-dessous. Ces stations ont été définies sur le site après les relevés GPS de contour de l'herbier et positionnées à 1 à 2 m de la limite supérieure.

Tableau 6. Coordonnées GPS des stations herbier de Posidonie

Station	Profondeur (m)	Coordonnées (en WGS 84) des stations herbier	
		Latitude	Longitude
1	2,7	43°42'40.45"N	7°20'18.77"E
2	1,9	43°42'40.95"N	7°20'17.44"E
3	2,2	43°42'41.76"N	7°20'18.50"E
4	2,7	43°42'41.40"N	7°20'20.76"E

Les résultats des mesures de vitalités sont présentés par le tableau ci-après :

Tableau 7. Résultats des mesures de vitalités de l'herbier

Station	Profondeur (m)	Densité moyenne de faisceaux (faisceaux/m ²)	Classe de densité (Pergent-Martini, 2010)	Déchaussement moyen (cm)	Interprétation déchaussement moyen (Charbonnel <i>et al.</i> , 2000)	Pourcentage de rhizomes Plagiotropes (%)	Interprétation rhizomes plagiotropes (Ifremer, 2003)	Longueur max des feuilles
S1	2,7	545	Médiocre	3,5	Déchaussement faible	0,1	Herbier généralement stable, avec peu ou pas de progression	44,0
± écart-type		132		1,8				8,8
S2	1,9	585	Médiocre	2,1	Déchaussement faible	20,0	Herbier généralement stable, avec peu ou pas de progression	43,9
± écart-type		182		1,1				6,0
S3	2,2	653	Médiocre	1,6	Déchaussement faible	0,0	Herbier généralement stable, avec peu ou pas de progression	43,9
± écart-type		120		0,8				8,6
S4	2,7	600	Médiocre	1,0	Déchaussement faible	0,0	Herbier généralement stable, avec peu ou pas de progression	41,3
± écart-type		147		1,4				0,0

Les mesures indiquent un herbier en état **médiocre** au regard de la densité de faisceaux et de la profondeur. Les déchaussements sont relativement faibles dans l'herbier en comparaison des observations effectuées sur le front de la limite soumis à une forte érosion.

La proportion de rhizomes plagiotropes est également faible dans l'herbier selon les seuils définis pour le suivi de ce paramètre. La station n°2 présente toutefois une proportion plus importante de ce type de rhizomes indiquant une probable dynamique de reconquête de l'herbier sur ce secteur. A noter toutefois que ce paramètre est plus adapté aux suivis des limites inférieures. Comme évoqué précédemment des rhizomes plagiotropes sont observables régulièrement aux interfaces de l'herbier avec les autres substrats dans la zone d'étude. Cependant, ces observations ne peuvent être interprétées comme une progression la limite supérieure qui présente également régulièrement des structures érosives. La présence de rhizomes plagiotropes participe alors probablement à l'équilibre relatif de la limite supérieure dans son ensemble. Les évolutions locales ne peuvent être clairement identifiées sans suivi à long terme (type suivi RSP).

3.2 Comparaison de la position de la limite supérieure avec les images aériennes passées

Les figures ci-après présentent l'évolution de la zone d'étude et de son herbier de posidonie. Le tracé du contour actuel de la limite supérieure est représenté afin de mieux considérer les changements opérés sur le littoral de l'anse.

D'une manière globale, plusieurs constats peuvent être effectués à partir de ces images :

- Avant la construction du port de Beaulieu-sur-Mer et de la plage de Petite Afrique, l'herbier s'étendait sur une vaste zone qui se trouve aujourd'hui ensevelie. L'herbier était globalement continu et était entrecoupé de zones d'intermatte.
- Sur la partie sud du tracé actuel, le recul de la limite est très nettement visible. Dans la partie nord, un recul est également visible.
- A contrario, les espaces d'intermatte présents en 1957 ont été comblés pour former un herbier continu.

A partir de la construction de la plage alvéolaire, il est difficile de distinguer précisément le contour de la limite en raison de la probable accumulation de litières de feuilles mortes entre l'herbier et la plage. Une régression a toutefois dû se poursuivre sur l'ensemble du contour de l'herbier comme en témoignent les tâches d'herbiers isolées observées en 2021.



Figure 18. Image aérienne 15/05/1957

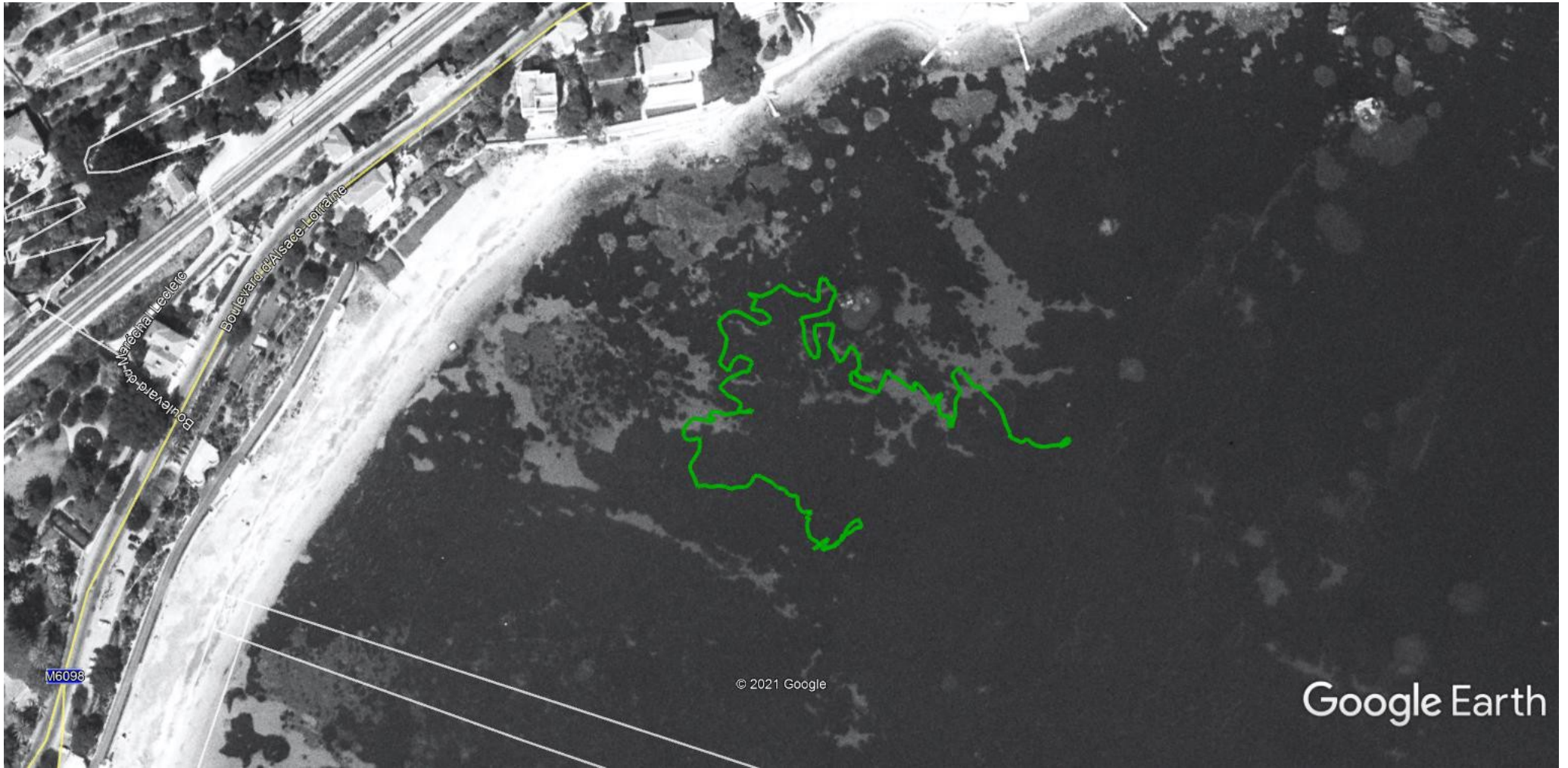


Figure 19. Image aérienne 26/03/1961

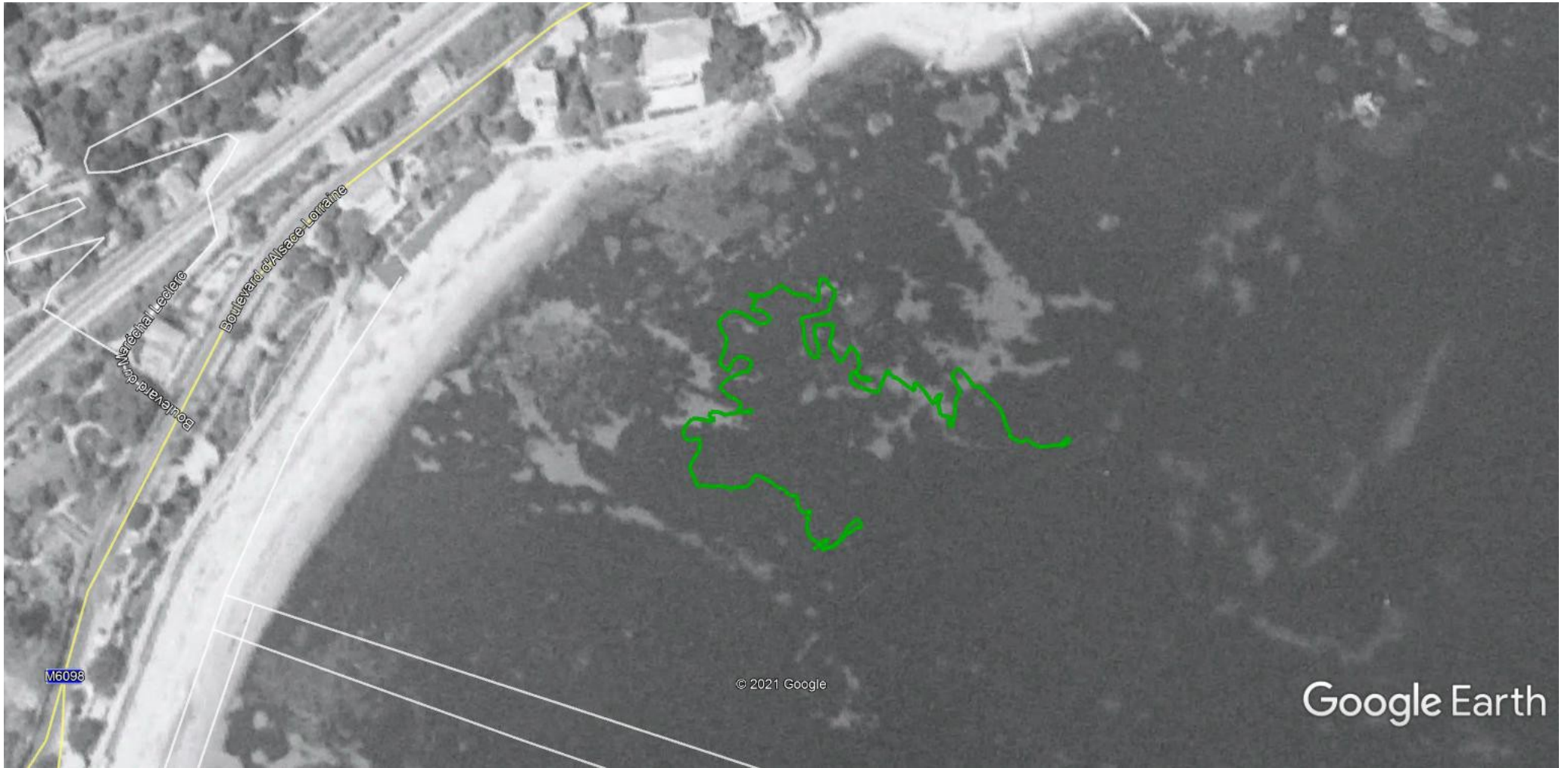


Figure 20. Image aérienne 28/04/1964



Figure 21. Image aérienne 13/07/1964



Figure 22. Image aérienne 1965

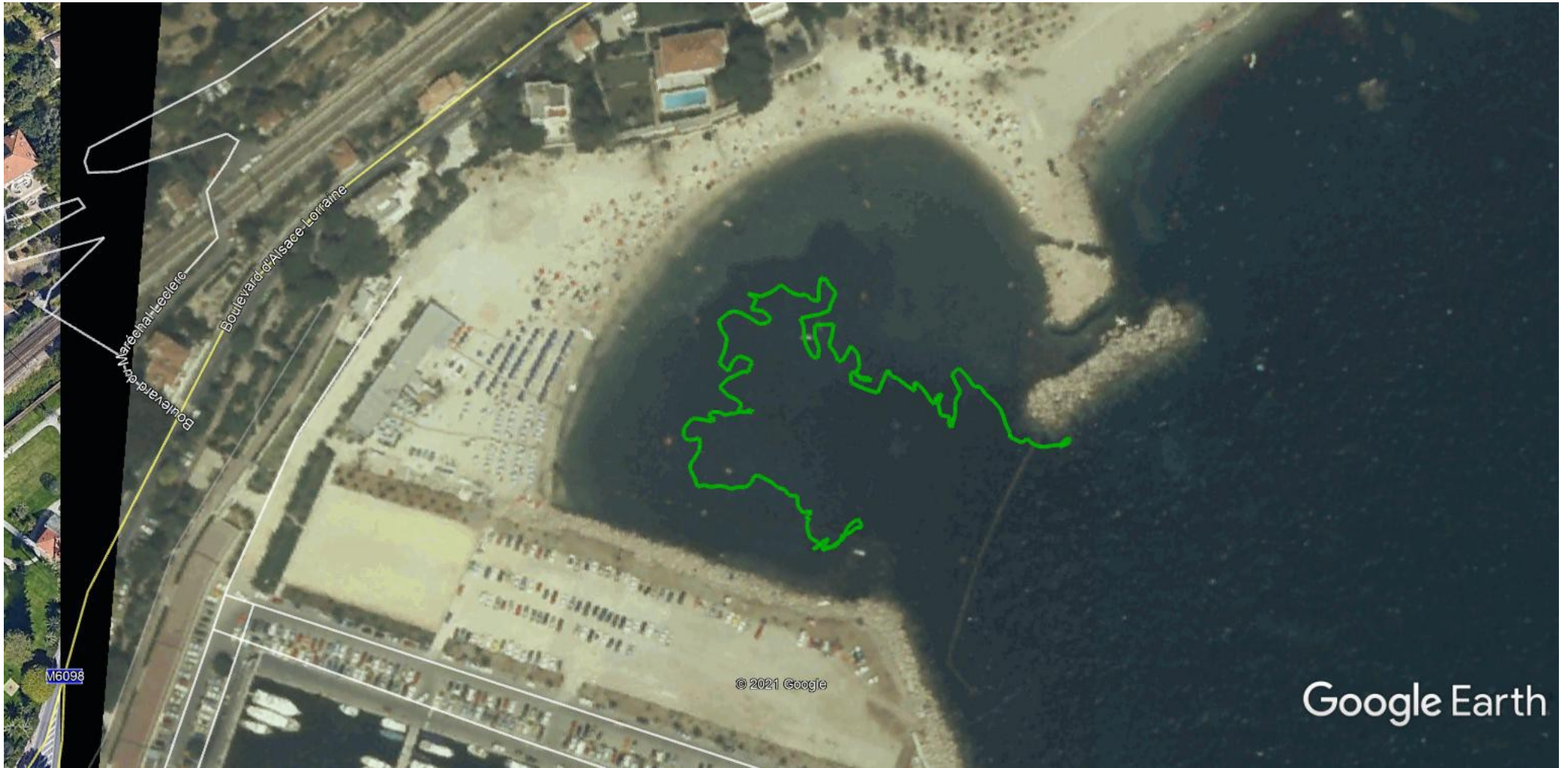


Figure 23. Image aérienne 1979



Figure 24. Image aérienne 23/07/1985



Figure 25. Image aérienne 11/07/1988



Figure 26. Image aérienne 08/06/1994



Figure 27. Image aérienne 04/06/1999



Figure 28. Image aérienne 09/06/2004



Figure 29. Image aérienne 2017

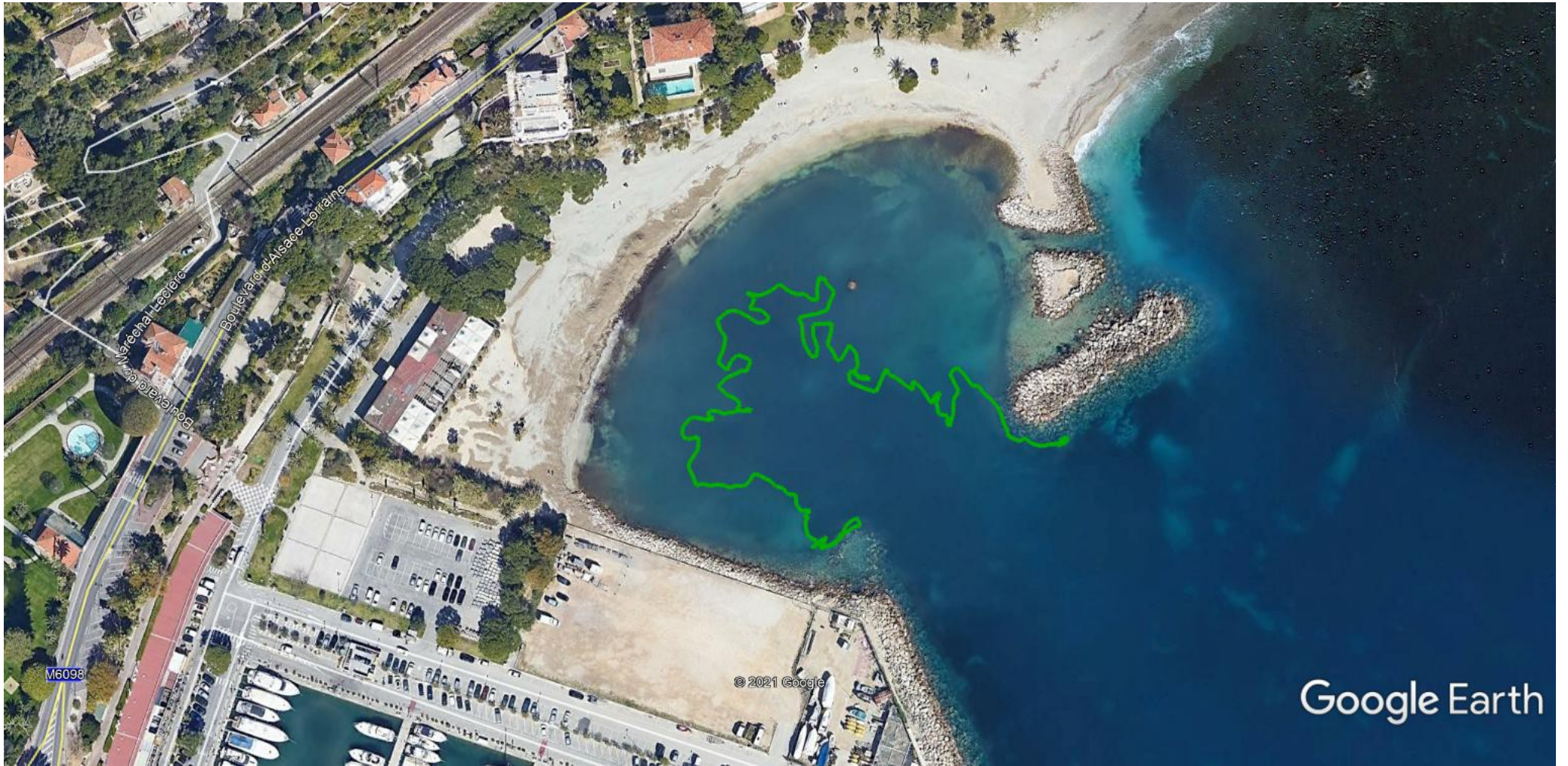


Figure 30. Image aérienne 21/03/2019



Figure 31. Image aérienne 07/04/2020

4 — Synthèse des observations

Les observations permettent de définir la limite supérieure de l'herbier comme **morcelée (ou fragmentée.)**

Si de larges portions peuvent être définies comme érosives ou régressives en les considérant séparément, la limite apparaît stable sur la globalité de son contour au niveau de l'anse. La présence d'un seuil net est effectivement observée sur une portion importante du linéaire.

L'herbier se présente dans sa partie sud comme un herbier de plaine, mais de nombreux reliefs apparaissent rapidement en suivant la limite vers le nord. L'herbier se présente dans la partie centrale de l'anse comme un herbier en colline avec des dépressions marquées formant des zones d'intermatte parfois comblées par des accumulations de sédiments sur matte morte ou par des litières de feuille. Les tombants de matte témoignent des conditions de la zone d'étude qui ont pu provoquer une érosion importante.

Les zones régressives en pentes douces sont présentes tout le long de la limite supérieure de l'anse. Toutefois, le versant sud semble subir une érosion plus récente au regard de la présence de rhizomes dégradés en abondance sur ce secteur faisant face à la plateforme en terre battue. Les zones régressives situées au droit de la plage, au centre de l'anse et au nord de l'herbier, sont dépourvues de ces rhizomes et se présentent comme de larges surfaces de mattes mortes sur lesquelles se retrouvent ponctuellement des patches ou des faisceaux isolés.

L'état de vitalité est médiocre sur l'ensemble des stations de mesures. Les activités balnéaires, le mauvais renouvellement des eaux et les rechargements de plage successifs peuvent avoir contribué à cet état.

Des dépôts de litières sont observés sur ces secteurs central et nord et recouvrent sur une vingtaine de centimètres des surfaces de matte morte ou de sédiments fins blancs compacts (probablement issus des matériaux de rechargement de plage).

Plusieurs corps -morts sont présents dans la partie sud de l'anse ; parfois dans l'herbier.

La limite supérieure présente de nombreux rhizomes plagiotropes qui s'observent régulièrement en lisière d'herbier indiquant une dynamique de croissance sur une part importante du linéaire prospecté.

La mise en œuvre d'une surveillance particulière des secteurs où ils sont le plus présent et ceux ne comportant pas ou peu de ces rhizomes permettrait de statuer sur la dynamique de l'herbier dans l'anse et d'évaluer les effets d'éventuelles mesures de gestion.

Le secteur sud, présentant une érosion récente en apparence, pourrait faire l'objet d'une surveillance plus urgente.



Figure 32. Photographie des rhizomes dépourvus de faisceaux foliaires au sud de l'anse

5 — Avis technique sur la faisabilité et la justification d'un projet de restauration de l'herbier

La situation dans laquelle se trouve l'herbier de l'anse de Petite Afrique, située au sein du périmètre de la zone Natura 2000 en mer du Cap Ferrat, amène le gestionnaire à rechercher des solutions de restauration de cet habitat protégé et patrimonial.

A ce titre, différentes solutions de gestion pourraient être étudiées. Parmi celles-ci, les techniques de transplantation d'herbier viennent spontanément à l'esprit en raison notamment de l'intérêt actuel de nombreux scientifiques sur cette thématique.

Une publication récente dont le résumé est présenté ci-après (Boudouresque *et al.*, 2021) fait une analyse de ces techniques et fournit un code de conduite simple pour évaluer la pertinence de les mettre en œuvre.



Review

Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A Critical Review of Effectiveness and Ethical Issues

Charles-François Boudouresque ^{1,*}, Aurélie Blanfuné ¹, Gérard Pergent ² and Thierry Thibaut ¹

¹ Aix-Marseille University and University of Toulon, MIO (Mediterranean Institute of Oceanography), CNRS, IRD, Campus of Luminy, 13009 Marseille, France; aurelie.blanfuné-thibault@mio.osupytheas.fr (A.B.); thierry.thibaut@mio.osupytheas.fr (T.T.)

² Università di Corsica Pasquale Paoli, Fédération de Recherche Environnement et Société, FRES 3041, Corti, 20250 Corsica, France; pergent@univ-corse.fr

* Correspondence: charles.boudouresque@mio.osupytheas.fr

Abstract: Some species of seagrasses (e.g., *Zostera marina* and *Posidonia oceanica*) have declined in the Mediterranean, at least locally. Others are progressing, helped by sea warming, such as *Cymodocea nodosa* and the non-native *Halophila stipulacea*. The decline of one seagrass can favor another seagrass. All in all, the decline of seagrasses could be less extensive and less general than claimed by some authors. Natural recolonization (cuttings and seedlings) has been more rapid and more widespread than was thought in the 20th century; however, it is sometimes insufficient, which justifies transplanting operations. Many techniques have been proposed to restore Mediterranean seagrass meadows. However, setting aside the short-term failure or half-success of experimental operations, long-term monitoring has usually been lacking, suggesting that possible failures were considered not worthy of a scientific paper. Many transplanting operations (e.g., *P. oceanica*) have been carried out at sites where the species had never previously been present. Replacing the natural ecosystem (e.g., sandy bottoms, sublittoral reefs) with *P. oceanica* is obviously inappropriate in most cases. This presupposes ignorance of the fact that the diversity of ecosystems is one of the bases of the biodiversity concept. In order to prevent the possibility of seagrass transplanting from being misused as a pretext for further destruction, a guide for the proper conduct of transplanting is proposed.

Citation: Boudouresque, C-F.; Blanfuné, A.; Pergent, G.; Thibaut, T. Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A Critical Review of Effectiveness and Ethical Issues. *Water* **2021**, *13*, 1034. <https://doi.org/10.3390/w13081034>

Figure 33. Extrait et résumé de la publication scientifique «Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A critical Review of Effectiveness and Ethical Issues. Waters 2021, 13, 1034

5.1 Application d'un code de conduite

Afin d'éviter que les techniques de transplantation de *Posidonia oceanica* ne soient utilisées comme prétexte pour justifier la destruction des herbiers existants, un code de bonne conduite a été proposé, à la demande du Ministère français de l'Environnement (Boudouresque *et al.*, 1994 ; Boudouresque, 2001). Les grands principes de ce code sont les suivants :

1. Le site exact et le biotope où le repiquage sera effectué doivent avoir été précédemment occupés par *P. oceanica*.
2. Les causes de la disparition de *P. oceanica* (pollution, chalutage, mouillage, etc.) du site où le repiquage sera effectué doivent avoir disparu. Ainsi, avant tout repiquage, il doit être démontré que les herbiers ou les touffes isolées de *P. oceanica* qui sont les plus proches du site de transplantation ont entamé un processus de recolonisation naturelle.
3. Le repiquage ne doit pas être effectué à proximité d'herbiers très étendus. Il est inutile d'ajouter plusieurs dizaines ou centaines de mètres carrés (0,001 à 0,01 ha) à un herbier de plusieurs centaines ou milliers d'hectares.
4. Le repiquage ne doit pas être fait pour compenser la destruction d'un herbier. Pour éviter de tels abus, aucun repiquage ne doit être effectué à moins de 10 km du site de destruction délibérée d'un herbier (dans le cadre du développement côtier) pendant une période de 10 ans.
5. Cependant, le repiquage sur le site exact de la destruction temporaire d'une prairie peut être possible, du moins dans les pays où la protection juridique de *P. oceanica* ne s'y oppose pas. C'est le cas lorsqu'une tranchée ouverte pour une fouille archéologique est recouverte ou qu'un émissaire (ou un câble) traversant un herbier est enterré.
6. A l'exception du cas particulier décrit ci-dessus (point 5), tout repiquage de *P. oceanica* doit être effectué après repiquage expérimental de plusieurs centaines de boutures et un suivi scientifique d'au moins 3 ans doit démontrer que l'expérience a été un succès avant d'envisager une opération à plus grande échelle.
7. L'enlèvement des boutures pour le repiquage ne doit pas mettre en danger les herbiers existants. Par conséquent, il doit être étalé sur une grande surface d'herbier (moins de 2 boutures / m²). L'utilisation de boutures détachées naturellement, bien que donnant de moins bons résultats, ou de plantules à partir de graines, peut également être envisagée.
8. Enfin, le repiquage doit se faire dans le cadre d'une stratégie globale de gestion des prairies à *P. oceanica* de la région concernée.

Le logigramme ci-dessous issu de l'étude schématise ces principes :

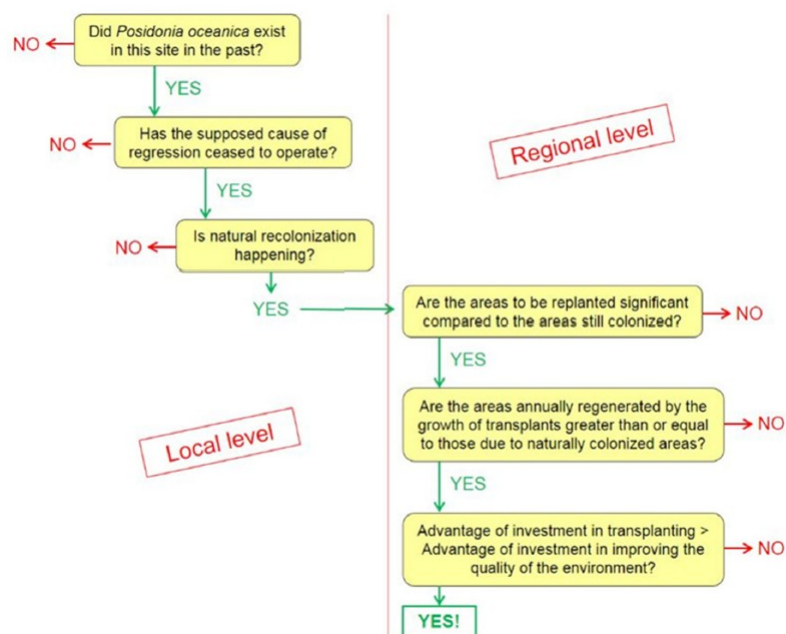


Figure 34. Logigramme d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'une opération de restauration de l'herbier de posidonie (Boudouresque et al, 2021)

5.2 Application au cas de l'anse de Petite Afrique

Au regard des observations et des règles préconisées par Boudouresque et al. (2021) :

1. Le site a bien été occupé par un herbier dans le passé comme en témoignent les images d'archives aériennes.
2. Les causes de la disparition sont encore présentes (activités balnéaires, travaux).
3. Une recolonisation naturelle est potentiellement possible au regard de la présence de rhizomes plagiotropes.
4. L'herbier situé à proximité est très étendu et la proportion à reconquérir par une opération de restauration est très faible.

Ces premiers éléments conduisent à écarter une opération de restauration par la réimplantation de boutures.

6 — Conclusions et préconisations sur l'étude des problématiques de l'anse de Petite Afrique

Les analyses sédimentaires et l'étude de l'herbier ont permis de décrire les fonds au regard de la problématique d'envasement et d'une éventuelle eutrophisation des fonds.

Il apparaît de manière certaine que des feuilles mortes de posidonie se retrouvent régulièrement piégées dans l'anse et s'accumulent dans les fonds. Le relargage de matériaux fins par les sédiments de plages issus de carrière entraîne leur accumulation en bordure d'herbier sur ces feuilles mortes, ainsi qu'au sein de l'herbier.

La dégradation de ces débris végétaux amalgamés et piégés dans ces sédiments fins est très probablement à l'origine des odeurs ressenties lors des fortes chaleurs de la saison estivale.

Ces sédiments étant pour partie contaminés, une opération de curage s'avère complexe et coûteuse au regard de la simple problématique de gêne vis-à-vis de ces odeurs. Ce type d'opération lourde pourrait même être contreproductive en créant des dépressions aux emplacements de prélèvements des sédiments et accentuant ainsi l'accumulation de débris. La matre morte sous-jacente, également protégée par la réglementation établie pour la posidonie, pourrait également être dégradée lors des opérations.

L'herbier présente un état de vitalité médiocre et sa limite est morcelée, fragmentée. Des îlots de posidonies sont présents à l'écart de cette limite et de larges portions de matre morte sont observées, en particulier sur le versant sud de l'herbier. Une opération de restauration comportant un repiquage de faisceaux serait contraire au code de bonne conduite proposé à l'Etat par un ensemble de spécialistes reconnus (Boudouresques *et al.* 2021).

La Cymodocée, une phanérogame marine protégée au même titre que la posidonie, est présente dans l'anse sur une surface de matre morte. Son emplacement est maintenant connu, mais son état de vitalité ou sa dynamique végétative sont à étudier.

L'herbier de posidonie était autrefois très étendu et se prolongeait au-delà de la limite actuelle. Les constructions du port de Beaulieu-sur-Mer puis de la plage alvéolaire de Petite Afrique se sont effectuées sur les surfaces d'herbier existantes et ont entraîné un recul important de la limite supérieure.

La fermeture de l'anse par un ouvrage de protection au nord de la plage a considérablement réduit la circulation des eaux au niveau de cet espace marin. Malgré l'existence de deux canaux dans cet ouvrage, ceux-ci n'apparaissent pas suffisamment profonds pour permettre l'évacuation des matériaux fins et des débris végétaux.

Au regard de l'ensemble de ces observations, une stratégie visant à la réduction du phénomène d'accumulation des débris végétaux et des matériaux fins dans l'anse est à envisager. Celle-ci devrait être adossée à un suivi de la dynamique de la limite de l'herbier de posidonie et de cymodocée afin de déduire les tendances à la reconquête des mattes mortes ou au contraire à la régression.

La plage alvéolaire de l'anse de Petite Afrique étant un lieu touristique de premier plan pour la ville de Beaulieu-sur-Mer, la réduction des activités sur ce secteur apparaît impossible. Toutefois, les incidences des activités peuvent faire l'objet d'aménagements dont les effets et la réalisation peuvent être expérimentés :

1. **Améliorer la circulation et le renouvellement des eaux par la reprise des ouvrages de protection, sur la base d'études hydrosédimentaires ;**
2. **Remplacer les matériaux de rechargement de plage par des matériaux plus durs, générant moins de poussières (sables non calcaires) et plus grossiers pour limiter la fréquence des rechargements (stabilité des apports) ;**
3. **Réaliser une campagne sous-marine de récupération des litières avant les opérations de rechargements puis régulièrement jusqu'au démarrage de la saison estivale ;**

- 4. Mettre en protection le patch d'herbier de cymodocée ou mettre en place une communication sous-marine (panneau immergé type sentier sous-marin) ;**
- 5. Mettre en place un suivi scientifique de la dynamique de la limite supérieure de l'herbier de posidonie et de la cymodocée afin d'évaluer les tendances et les effets des mesures.**

Bibliographie

BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L. 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE pub. : 1-202

CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., BONHOMME P., BERNARD G., PATRONE J., KRUCZEK R., COTTALORDA J.M., BERTRANDY M.C., FORET P., BRICOUT P., RAGAZZI M., MARRO C., SERRE C., LE DIREAC'H L., 2001. Le réseau de surveillance des posidonies de la Région Provence Alpes Côte d'Azur : résultats du suivi 2001. Région PACA / Agence de l'Eau RMC / GIS Posidonie / CQEL 83 / Conseil Général 06. *GIS Posidonie Publ., Marseille, Fr.* : 1-119.



Renseignements généraux concernant le document envoyé	
Titre de l'étude	Evaluation du phénomène d'envasement et d'eutrophisation de l'anse de Petite Afrique et proposition d'un programme d'actions pour la restauration de l'herbier de Posidonie
Nombre de pages	56 pages
Nombre de planches	/
Maître d'Ouvrage	Métropole Nice Côte d'Azur
N° marché/ Date de notification	20 octobre 2020

Historique des envois		
Documents envoyés	Destinataires	Date d'envoi
Rapport provisoire V1	Coralie Meinez	08/06/2021
Rapport provisoire V2		
Rapport définitif		

Intervenants dans l'élaboration des documents	
Rédacteurs	Jérémie Godefroy, Romain Bricout, Alexandre Cerruti
Prise de vues	Jérémie Godefroy, Romain Bricout, NCA

Contrôle interne de la qualité		
	Niveau 1: Auteur(s)	Niveau 2:
Contrôlé par	Jérémie GODEFROY Chargé d'études - Setec Monaco	Marc CHENOZ Directeur – Agence Méditerranée Setec invivo
Date	01/06/2021	04/06/2021