

Suivi Environnemental pour le rechargement de la plage Peno à Carqueiranne (83)

**Métropole Toulon Provence
Méditerranée**

Rapport d'étude

Février 2025



Le Cerema l'expert public de l'adaptation des territoires au changement climatique

Le Cerema est un établissement public relevant du ministère du Partenariat avec les territoires et de la Décentralisation, du ministère de la Transition écologique, de l'Énergie, du Climat et de la Prévention des risques et du ministère du Logement et de la Rénovation urbaine. Premier établissement à pilotage partagé entre l'État et les collectivités territoriales, il est présent partout dans l'hexagone et dans les Outre-mer grâce à ses 27 implantations et ses 2 500 agents.

Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

www.cerema.fr

Rapport d'inspection subaquatique

Suivi environnemental

Commanditaire :

Métropole Toulon Provence Méditerranée / Direction espaces naturels et Biodiversité / Bureau d'Etudes et Observatoire de l'Environnement, représenté par :

Aurèlie Ragot
Responsable du bureau d'étude et observatoire de l'environnement
Direction espace naturel et biodiversité
DGA développement durable et valorisation du territoire
aragot@metropoletpm.fr
Tel : 04 94 93 83 33 - 06 61 71 89 29

Auteur :

Responsable du rapport

Romuald ARNAUD – Département Infrastructures et Matériaux – Groupe Géotechnique – Section IRS
Direction Territoriale Méditerranée Pôle d'Activités 30 avenue Albert Einstein CS70499 13593 AIX-EN-PROVENCE cedex 3

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1ière	24/02/82025	
2ème	15/07/2025	Mise en place de piège à sédiment plus mesure des premiers de relevés

Références

N° d'affaire : OPPO-2024-026128

N° chrono : IM/25-0494

N° NOVA : 24-ME-0411

Nom	Service Géotechnique	Rôle	Date	Visa
Romuald ARNAUD	GG / section IRS	Auteur principal	24/02/2025	0113B24B8A0E4FBA B5FD7E4D43A5CC3A Signature numérique de 0113B24B8A0E4FBA ASCC3A Date : 2025.03.05 11:00:04 +01'00'
Éric SEMIN	GG / section IRS	Contributeur		
Thomas MARY	Chef adjoint Groupe GG / section IRS	Relecteur		Signature numérique de MARY Thomas (thomas.mary) Date : 2025.03.05 10:56:12 +01'00'
Guillaume LOPEZ	Chef de groupe Géotechnique	Approbateur		LOPEZ Guillaume Signature numérique de LOPEZ Guillaume Date : 2025.03.05 11:38:07 +01'00'

Résumé de l'étude

Le Cerema est intervenu pour le compte la Métropole de Toulon Provence Méditerranée pour réaliser le suivi environnemental du rechargement de la plage Peno, sur la commune de Carqueiranne.

Dans ce document, nous identifions un constat de l'état de vitalité des herbiers de Posidonia oceanica avant rechargement de la plages Peno, le relevé des biocénoses autour de cet herbier et la mise en place de borne type Feno® afin d'observer de manière précise la progression et ou la régression de cet herbier.

Nous proposons également des moyens techniques afin de protéger l'herbier de posidonie ainsi que la faune et la flore associée.

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Protection environnemental	Méthodologie
Herbier de Posidonie	
Rechargement de plage	

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- ☐ Accès libre : document accessible au public sur internet
- ☒ Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- ☐ Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

SOMMAIRE

1	Généralités	7
1.1	Equipe d'inspection	7
1.2	Moyens mis en œuvre.....	7
1.3	Conditions de l'inspection	7
2	contexte	8
3	Méthode d'investigation	8
4	Relevé des biocénoses.....	10
4.1	Prospection faune flore	10
4.2	Evaluation de l'état de vitalité de l'herbier de <i>Posidonia oceanica</i>	10
4.3	Mesure de recouvrement.....	11
4.4	Mesure de densité	12
4.5	Déchaussement.....	13
4.6	Limite supérieure	14
5	Résultats des investigations.....	15
5.1	Herbier de <i>Posidonia oceanica</i>	15
6	Pieges a sediments.....	48
7	Bathymetrie	53
7.1	Objectifs des relevés bathymétriques	54
7.2	Résultats	55
8	Conclusions	60
9	Preconisations	62
10	Bibliographie	62

1 GENERALITES

1.1 Equipe d'inspection

Participants :

Guillaume LOPEZ Responsable de la section Inspections et Reconnaissances Subaquatiques
Inspecteur OA – Scaphandrier classe IIA (membre du Cefracor)



Éric SEMIN Inspecteur OA – Scaphandrier classe IIA (membre du Cefracor)



Romuald ARNAUD Inspecteur OA - Biologiste Marin - Scaphandrier classe IIA

1.2 Moyens mis en œuvre

- Appareil photo numérique Sony RX 100,
- Drone Dji Mini-2,
- Quadrat de 20 cm,
- Décamètre de 100 m,
- Plaquette immergeable,
- GPS Garmin 78 map, sur dive hunter,
- GPS Seayos immergeable,
- Semi-rigide équipé plongeur.

1.3 Conditions de l'inspection

L'inspection s'est déroulée du 03 février au 06 février 2025

- Hauteur d'eau max : ~ 10 m
- Courant : sans objet
- Houle : sans objet
- Visibilité : 20m
- Température de l'eau : 14°
- Température de l'air : 18°
- Dernière inspection subaquatique : 2019 par le bureau d'étude REBOUILLON.

2 CONTEXTE

La plage Peno, située à Carqueiranne, a été créée artificiellement en 1990. Depuis, elle fait l'objet de rechargements réguliers en sable pour maintenir son état. Des opérations de rechargement sont documentées notamment en 2019, 2020 et 2023. Il est probable que des interventions ont eu lieu bien avant, mais la première date précise connue est 1990, année de sa création.

Dans le cadre l'élaboration de la demande Cas par Cas pour un rechargement annuel sur 10 ans, la Métropole de Toulon Provence Méditerranée a mandaté l'équipe subaquatique du Cerema de la Dter Med, afin de réaliser un état écologique des biocénoses et que de proposer des mesures de protection lors de la phase de travaux.



Figure 1 : zone principale d'étude.

3 METHODE D'INVESTIGATION

L'objectif des prospections est de mettre en évidence l'absence ou la présence d'espèces ayant un statut de protection ou ayant un intérêt économique ou écologique majeur au niveau de la zone de travaux.

Les investigations réalisées du 03 au 06 février 2025 ont consisté à :

- L'étude de l'herbier de ***Posidonia oceanica*** en 4 stations dont une dite de référence, avec la réalisation de mesures de densité, de recouvrement, de déchaussements, de longueur de feuille et le pourcentage de rhizomes plagiotropes, (État écologique de l'herbier)

- Déterminations de la trace GPS de la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica*,
- Réalisation d'une trace GPS du trait de côte,
- Relevé des biocénoses,
- Installation de bornes Feno® en limite d'herbier.

Et dans un second temps, lors de la phase de travaux des pièges à sédiments seront positionnés au droit des zones pouvant être les plus impactées.

Durant le rechargement, des relevés de rechargement, l'équipe subaquatique du Cerema installera des pièges à sédiments une semaine avant les travaux et les relèvera à la fin des travaux.

Le suivi de turbidité en phase de rechargement, permettra de déterminer si les mesures de protections environnementales étaient suffisamment solides.

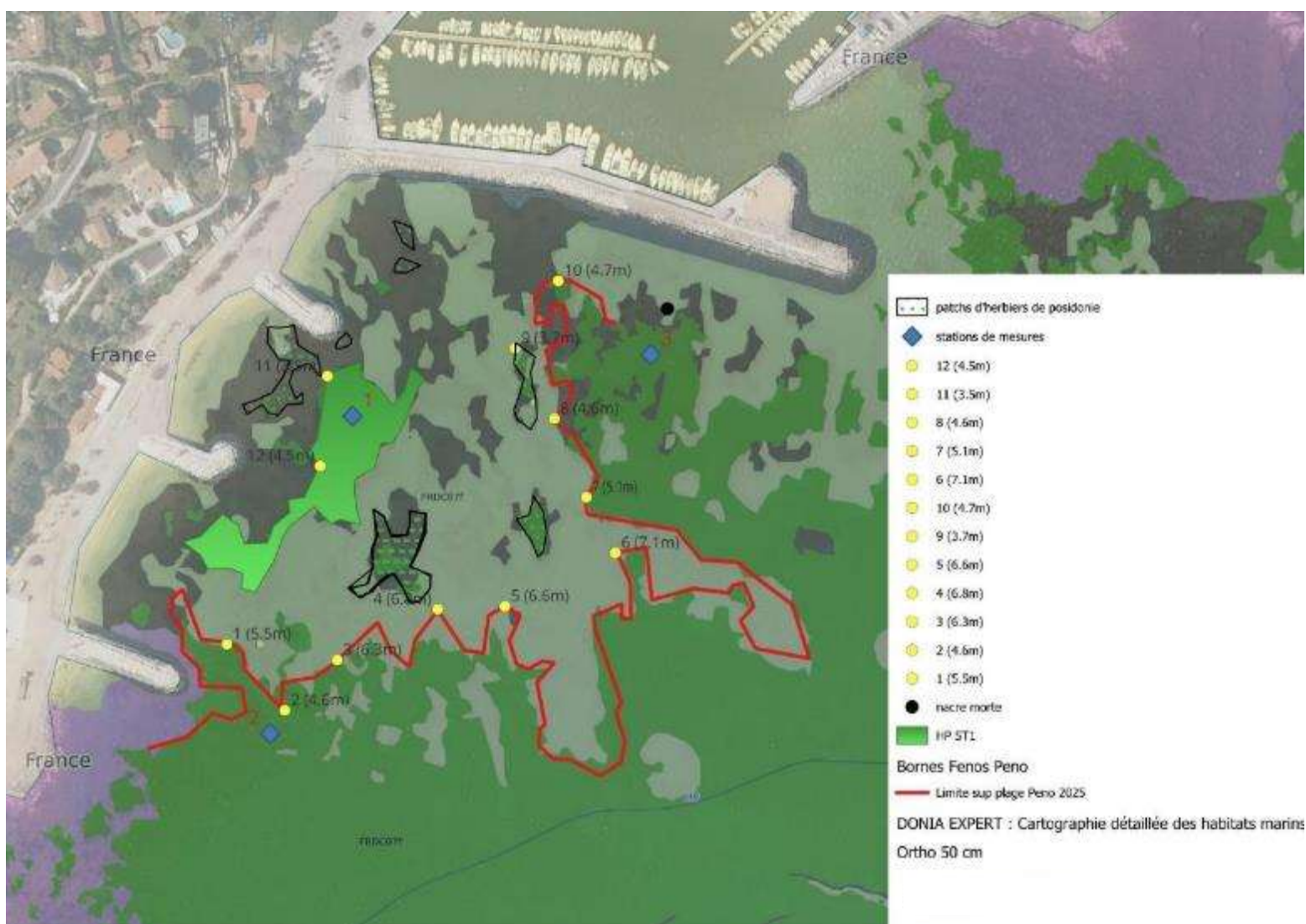


Figure 2 : cartographie de la zone d'étude.

4 RELEVÉ DES BIOCENOSES

La cartographie des biocénoses rencontrées, a été réalisée avec un GPS Garmin 78, disposé sur un flotteur poussé par un plongeur.

Les conditions météorologiques ont permis de réaliser, dans les faibles profondeurs, les observations depuis la surface.

L'ensemble des points GPS, des notes et des photographies ont permis d'établir une cartographie simplifiée des biocénoses remarquables, et de déterminer la limite supérieure des différentes zones d'herbiers de *Posidonia oceanica*.

En complément de ces relevés, des images aériennes ont été réalisées ce qui a permis de vérifier la corrélation entre les différentes données.

La nature des différents fonds est représentée par un code couleur.

4.1 Prospection faune flore

Des observations en scaphandre autonome ont été effectuées au droit de la plage Peno, afin de vérifier la présence éventuelle d'espèces protégées (*Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Pinna nobilis*, et *Patella ferruginea*).

L'ensemble des informations ont été inscrites sur une plaquette immergeable avec notamment la nature des substrats observés, les espèces d'intérêts identifiées, leurs caractéristiques (mesure de la taille des individus, comptage), la profondeur des observations.

L'ensemble des observations ont été géolocalisées et photographiées.

4.2 Evaluation de l'état de vitalité de l'herbier de *Posidonia oceanica*.

Les herbiers de posidonies jouent un rôle fondamental tant d'un point de vue économique (nursérie pour des espèces commerciales, protection contre l'érosion des plages, qualité de l'eau, que d'un point de vue écosystémique (export de production primaire, habitat). Cette plante endémique de Méditerranée est potentiellement présente de la surface jusqu'à plus de 40m de profondeur. Les herbiers de posidonies sont ainsi soumis aux impacts issus des activités anthropiques et face à leur vitesse de croissance lente (1cm par an en moyenne), toute destruction est considérée comme irréversible à l'échelle humaine.



Afin d'évaluer l'état de vitalité de l'herbier, nous avons sélectionné trois stations de mesure (ST1, ST2, ST3) situées au plus près de la plage concernée par la recharge. Ces stations, déjà utilisées lors du suivi réalisé en 2019, ont été reconduites afin de permettre une comparaison des données.

Ce choix vise à analyser la zone de l'herbier la plus exposée aux éventuels impacts.

En parallèle, une station située en dehors de la zone d'influence a également été suivie pour évaluer l'état de vitalité de *Posidonia oceanica* hors de la zone de rechargement.

4.3 Mesure de recouvrement

Le recouvrement qui indique le pourcentage moyen de substrat recouvert par l'herbier a été mesuré au travers d'une plaque translucide divisée en 9 sous-parties, par un scaphandrier évoluant à environ 3 mètres au-dessus de l'herbier.

A chaque station, 15 mesures en réplica ont été réalisées à proximité de la limite supérieure de l'herbier. L'état de vitalité de l'herbier, selon ce paramètre, se détermine à partir de la classification présentée dans le tableau figure 4.

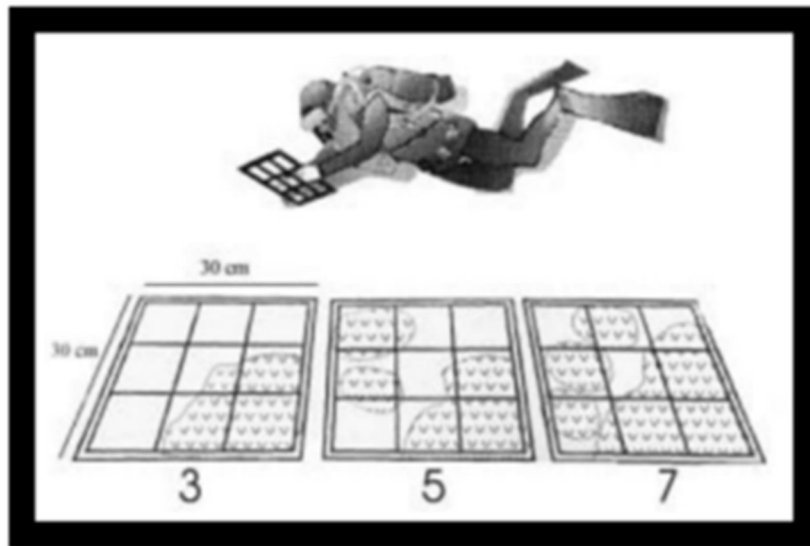


Figure 3 : illustration d'un scaphandrier effectuant des mesures de recouvrement (Boudouresque et al, 2006)

Limite supérieure (% de recouvrement)	Interprétation vitalité	Limite inférieure (% de recouvrement)
Supérieur à 80 %	Fort recouvrement	Supérieur à 50 %
Compris entre 40 % et 80 %	Recouvrement moyen	Compris entre 20 % et 50 %
Inférieur à 40 %	Faible recouvrement	Inférieur à 20 %

Figure 4 : Classification de la vitalité de l'herbier de Posidonie en fonction du taux de recouvrement (Charbonnel et al. 2000).

4.4 Mesure de densité

Cette mesure consiste à compter dans un Quadrat (20cm x 20cm dans le cadre de cette étude) le nombre de faisceaux de posidonie. Elle est ensuite exprimée en nombre de faisceaux par mètre carré (faisceaux/m²).

Dix mesures (quadrats) sont réalisées par station (identique à ce qui a été fait en 2019, afin d'avoir un comparatif) soit un total de 40 mesures. Les valeurs de densité sont ensuite interprétées en utilisant une grille d'interprétation permettant d'évaluer l'état de santé de l'herbier en fonction de sa profondeur.

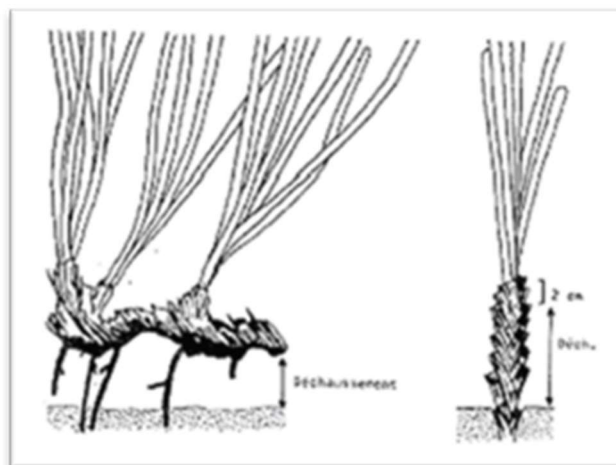
Profondeur (m)	Excellent	Bon	Normal	Médiocre	Mauvais
1	> 1133	1133 à 930	930 à 727	727 à 524	< 524
2	> 1067	1067 à 863	863 à 659	659 à 456	< 456
3	> 1005	1005 à 808	808 à 612	612 à 415	< 415
4	> 947	947 à 757	757 à 567	567 à 377	< 377
5	> 892	892 à 709	709 à 526	526 à 343	< 343
6	> 841	841 à 665	665 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

Figure 5 : Classification de l'état de l'herbier à *Posidonia oceanica* selon les mesures de densité (nombre de faisceaux/m²) et la profondeur (Pergent et al. 2008)

4.5 Déchaussement

Le déchaussement des rhizomes correspond à la distance entre le sédiment et le haut du rhizome pour les rhizomes orthotropes et plagiotropes.

40 mesures ont été réalisées à chaque station en sélectionnant des rhizomes aléatoirement. Les valeurs de déchaussement ont été interprétées en utilisant l'échelle d'interprétation de Boudouresque et al. (1980).



Déchaussement (valeurs seuils)	Interprétation
Inférieur à 5 cm	Déchaussement faible
5-15 cm	Déchaussement moyen
Supérieur à 15 cm	Déchaussement important

Figure 6 : Echelle d'évaluation du déchaussement en fonction des valeurs moyennes mesurées (Charbonnel et al., 2000)

4.6 Limite supérieure

La limite supérieure est réalisée par un plongeur à l'aide d'une bouée de surface équipée d'un GPS et couplée à des photographies aériennes réalisées par drone Dij mini 2se.

Ces données sont ensuite traitées sur un logiciel de SIG.



1 Suivi de la limite supérieure par un plongeur.

5 RESULTATS DES INVESTIGATIONS

5.1 Herbier de *Posidonia oceanica*



2 Situation géographique de l'herbier de la station 1.

- Station 1 :

L'herbier de la station 1 présente une densité normale avec un faible taux de déchaussement. En bordure, les pieds sont recouverts de sable et de débris de feuilles de Posidonie mortes.

Il s'agit d'un herbier sur matte morte, avec présence de sable fin autour de celui-ci, qui s'étend sur une surface de **2955 m²**. À la limite supérieure de l'herbier, on observe plusieurs rhizomes plagiotropes. Les feuilles, faiblement épiphytées de l'ordre de **10 %**, affichent une longueur moyenne relativement importante pour la saison.

L'herbier est morcelé au sud, tandis qu'il reste continu au nord.

Cet herbier de posidonie borde un tombant de matte morte s'élevant à 2,3 m. L'herbier de *Posidonia oceanica* présent sur cette station semble évoluer, comme en témoigne le nombre important de rhizomes plagiotropes en bordure.

Aucune espèce protégée, ou inscrite sur la liste rouge de l'IUCN n'a été observée dans l'herbier. Seules des espèces typiquement associées à ce milieu ont été recensées, notamment *Sarpa salpa*, *Chromis chromis*, *Mullus surmuletus* et *Diplodus vulgaris*.

Plusieurs macrodéchets ont été relevés, parmi lesquels un corps-mort posé sur la matte morte, ainsi que des pneus remplis de béton et des fragments d'émissaires.

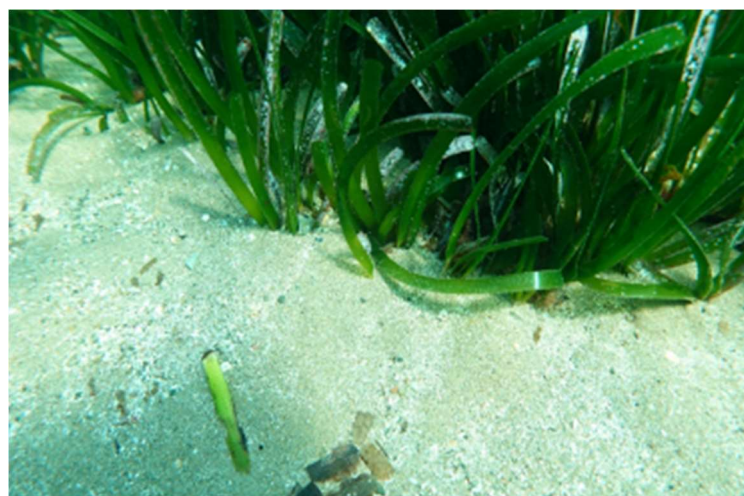


3 Vue générale de l'herbier de la station1.





4 Vue sur la limite supérieure de l'herbier de la station 1.



5 Vue sur l'ensablement en limite supérieure et vue sur un rhizome plagiotrope en limite supérieure également.



6 Vue sur le recouvrement d'épiphyte des feuilles.





7 Présence d'un corps-mort posé sur la matte morte.



Le tableau suivant présente les données et les résultats obtenus à cet endroit.

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)	Longueur max des feuilles en cm	Taux de recouvrement (%) Limite sup.	Interprétation du pourcentage de recouvrement Limite sup. (Charbonnel <i>et al.</i> , 2000)
S1	3,8	678	Normal	1,3	Déchaussement faible	51,2	97	Fort recouvrement
± écart-type		172		0,6		4,9		

Tableau 1 Synthèse des résultats de mesures de la station 1.

- Station 2 :

L'herbier de la station 2 présente une bonne densité, un faible déchaussement et un fort recouvrement. Il s'agit d'un herbier sur matte morte, entouré de sable. Les feuilles sont longues, et le taux d'épiphytisation est très faible, de l'ordre de 5 %.

On observe que l'extrémité nord de l'herbier repose sur un tombant de matte morte d'environ 1 m de hauteur, ce qui le rend vulnérable à un éventuel détachement de cette dernière.

Sur la partie nord de l'herbier, on observe principalement des rhizomes orthotropes. En revanche, sur les extrémités aplanies de l'herbier, la présence de rhizomes plagiotropes suggère un herbier en progression ou en phase de stabilisation.

Aucune espèce protégée ou inscrite sur la liste rouge de l'IUCN n'a été observée dans l'herbier. Seules des espèces typiquement associées à ce milieu ont été recensées, notamment *Coris julis*, *Paracentrolus lividus*, *Holothuria spp*, *Crambe cambe*, *Anemonia viridis*, *Halimeda tuna*, *Dictyota spp*, *Jania rubens*, *Peyssonnelia squamaria*.



8 Vue générale de l'herbier de *Posidonia oceanica* de la station 2.



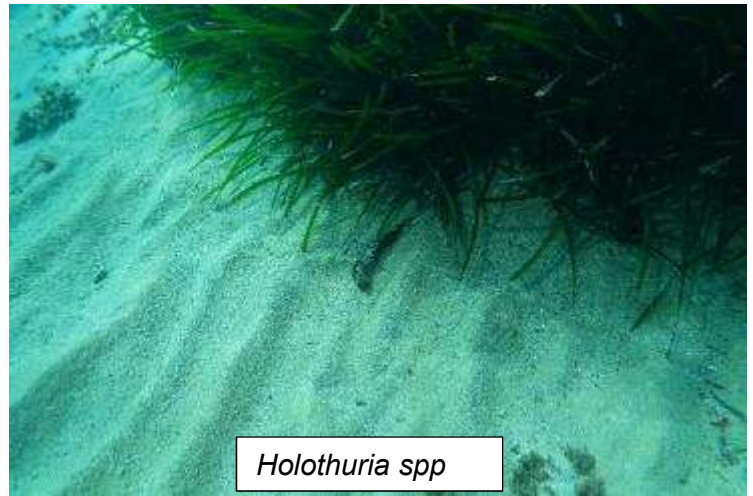
9 Vue sur les différentes limites de l'herbier.



10 Vue sur le recouvrement d'épibiontes sur les feuilles.



Anemonia viridis



Holothuria spp



Crambe cambe



Peyssonnelia squamaria,
Jania rubens

11 Vue sur certaine des espèces rencontrées sur la station 2.

Le tableau suivant présente les données et les résultats obtenus à cet endroit.

Station	Profondeur (m)	Densité moyenne de faisceaux (faisceaux/m²)	Classe de densité (Pergent-Martini, 2010)	Déchaussement moyen (cm)	Interprétation déchaussement moyen (Charbonnel <i>et al.</i> , 2000)	Longueur max des feuilles en cm	Taux de recouvrement (%) Limite sup.	Interprétation du pourcentage de recouvrement Limite sup. (Charbonnel <i>et al.</i> , 2000)
S2	4,8	770	Bon	1,1	Déchaussement faible	60,4	93	Fort recouvrement
± écart-type		134		0,9		4,0		

Tableau 2 Synthèse des résultats de mesures de la station 2.

- Station 3 :

L'herbier de la station 3 est un herbier continu sur matte morte entouré de sable, s'étendant vers l'est, il semble globalement stable. Toutefois, des zones de matte morte sont présentes à son extrémité nord et à l'ouest de celui-ci.

Un ensablement est observé en limite supérieure de l'herbier, pouvant influencer sa progression. De plus, les rhizomes plagiotropes y sont peu nombreux et entièrement recouverts de sable.

La présence d'une épave appuyée contre la digue, à proximité de l'herbier, entraîne un surcreusement entre les deux, résultant d'une modification des conditions hydrauliques.

La densité est normale, le déchaussement faible et le recouvrement important, ce qui suggère une certaine stabilité de l'herbier.

Les feuilles sont longues pour la saison et peu épiphytées, avec un taux ne dépassant pas les 10 %.

Aucune espèce protégée, ou inscrite sur la liste rouge de l'UICN n'a été enregistrée dans l'herbier.

Très peu d'espèces ont été recensées sur cet herbier, mais la présence d'une **Pinna nobilis** morte à proximité de l'herbier est relevée (N43°5.168' E6°4.662').



12 *Vue générale de la station 3.*



13 *Vue sur les différentes limites de l'herbier.*





14 Vue sur l'ensablement présent au pied de l'herbier.



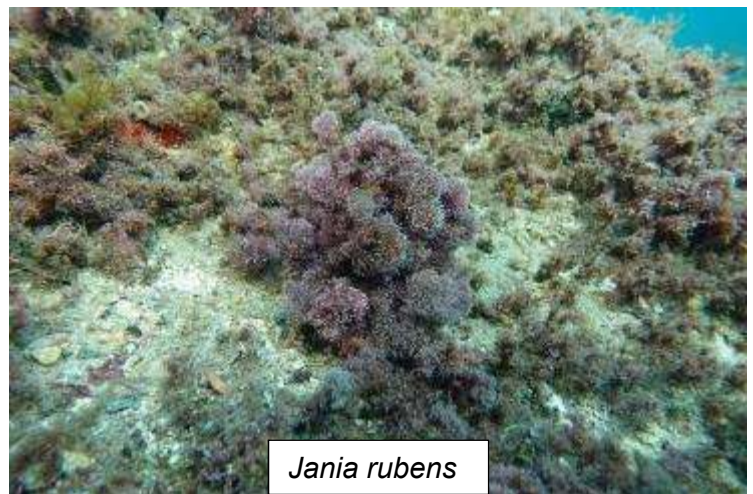
15 Vue sur le recouvrement d'épibiontes des feuilles.



16 Présence d'une nacre morte à proximité de la station 3.



Acetabularia acetabulum



Jania rubens



Anemonia viridis



Symphodus mediterraneus

17 Vue sur certaines espèces observées.



Balanophyllia

18 Présence d'une épave contre la digue du port recouverte de *Balanophyllia*.



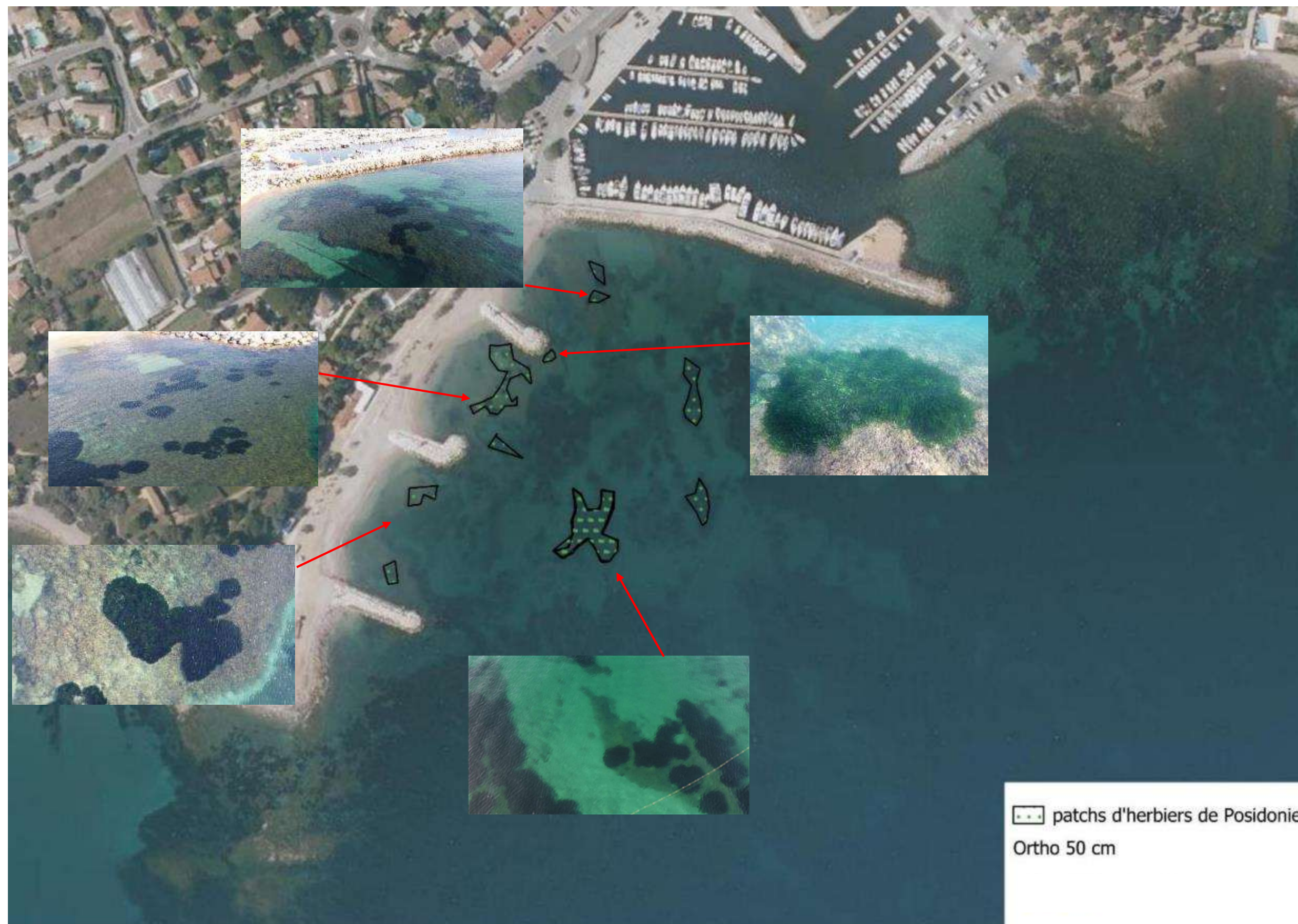
19 Vue sur une langue de matte morte à l'Ouest de la station.

Le tableau suivant présente les données et les résultats obtenus à cet endroit.

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)	Longueur max des feuilles en cm	Taux de recouvrement (%) Limite sup.	Interprétation du pourcentage de recouvrement Limite sup. (Charbonnel <i>et al.</i> , 2000)
S3	3,4	730	Normal	0,8	Déchaussement faible	52,7	93	Fort recouvrement
± écart-type		142		0,4		5,7		

Tableau 3 Synthèse des résultats de mesures de la station 3.

- Patches d'herbier de Posidonie :



20 Vue sur les différents patches d'herbier de *Posidonia oceanica*.

À proximité de l'herbier principal de *Posidonia oceanica* de la station 1, plusieurs patchs d'herbiers de Posidonie ont été observés. (Voir photographie n°19)

Seul le patch situé au niveau de la seconde anse présente des signes d'érosion : en bordure, les feuilles ont disparu, ne laissant visibles que les écailles. En corrélation avec cette observation, on constate la présence de sable recouvrant les pieds de l'herbier de Posidonie uniquement sur le patch au droit de l'anse n°2.

Par ailleurs, les patchs les plus proches du rivage se distinguent par des feuilles nettement plus courtes que celles des autres patchs. Ce phénomène est lié à la faible profondeur de la zone, rendant ces herbiers plus vulnérables aux mouvements de la houle.

Ces herbiers de *Posidonia oceanica* sont principalement fixés sur de la matre morte, et on en retrouve, au droit des épis, des blocs de roche.





21 Photographies sous-marines des patches d'herbiers isolés.

- **Suivi de l'évolution de l'herbier de *Posidonia oceanica* par bornes Feno® :**

- 1. Objectifs de l'implantation :

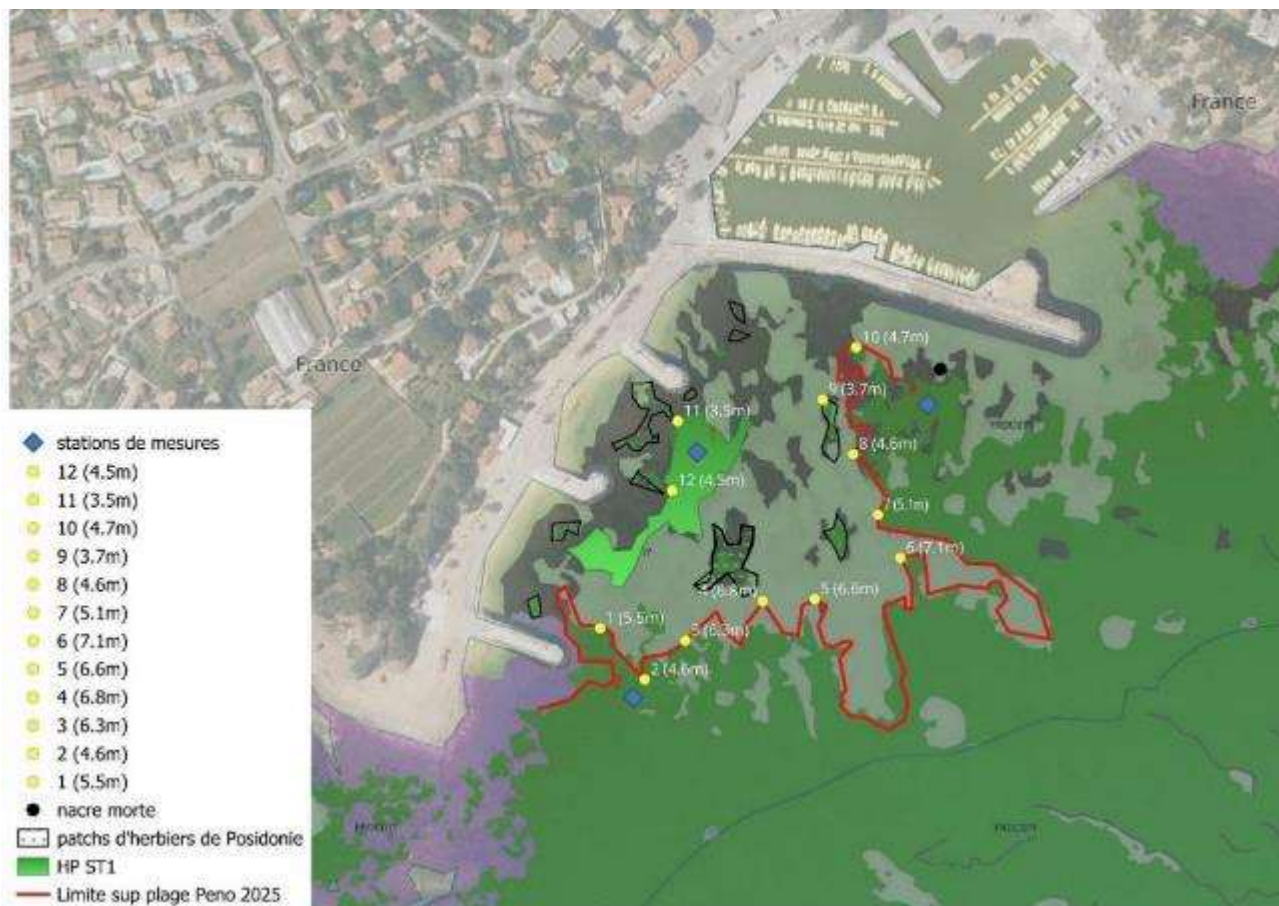
- Suivi écologique : les bornes servent de repères fixes pour surveiller l'état de santé de l'herbier (densité, couverture, croissance des feuilles, etc.) sur le long terme.
- Évaluation des impacts : elles permettent de mesurer l'effet des activités humaines ou des changements environnementaux (pollution, ancrage des bateaux, variation climatique).
- Conservation : cette méthode soutient la gestion durable de l'écosystème et la mise en œuvre des mesures de protection adaptées.

- 2. Pourquoi les bornes FENO® ?

- Fixité : elles offrent un point de référence stable et durable pour les relevés.
- Conception écologique : ces bornes sont conçues pour minimiser l'impact sur l'environnement.
- Facilité de suivi : elles facilitent la mise en place de protocoles standardisés pour la collecte de données (photos, prélèvements, etc.).
- Des relevés photographiques réguliers doivent être réalisés autour des bornes pour cartographier la densité et la surface de l'herbier. Ces images seront traitées pour générer des modèles 3D, facilitant la comparaison des mesures.

- 3. L'herbier de Posidonie :

- Rôle écologique : l'herbier de Posidonie est un habitat clé de la Méditerranée. Il joue un rôle dans la séquestration du carbone, la protection contre l'érosion côtière, et abrite une biodiversité riche.
- Fragilité : cet écosystème est sensible aux perturbations.



22 Cartographie représentant l'emplacement des bornes Pheno® contre la limite supérieure de l'herbier.

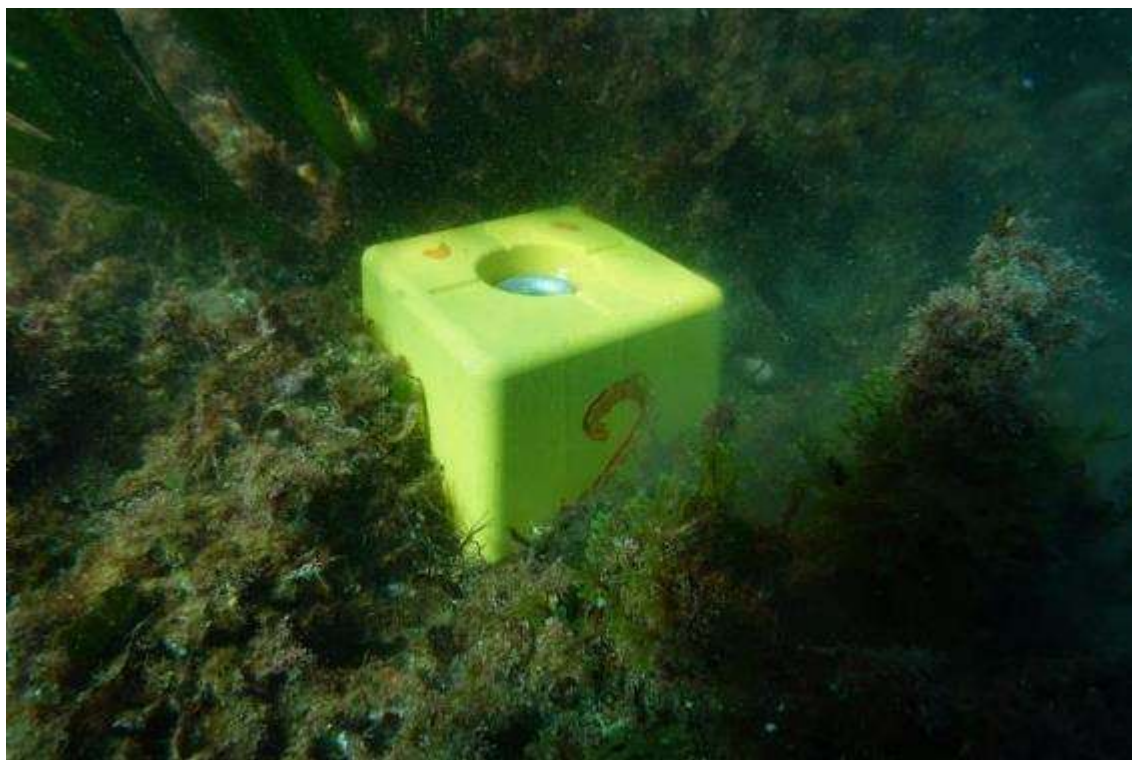


23 Mise en place des bornes.

- Plot n°1 :



- Plot n°2 :



- Plot n°3 :



- Plot n°4 :



- Plot n°5 :



- Plot n°6 :



- Plot n°7 :



- Plot n°8 :



- Plot n°9 :



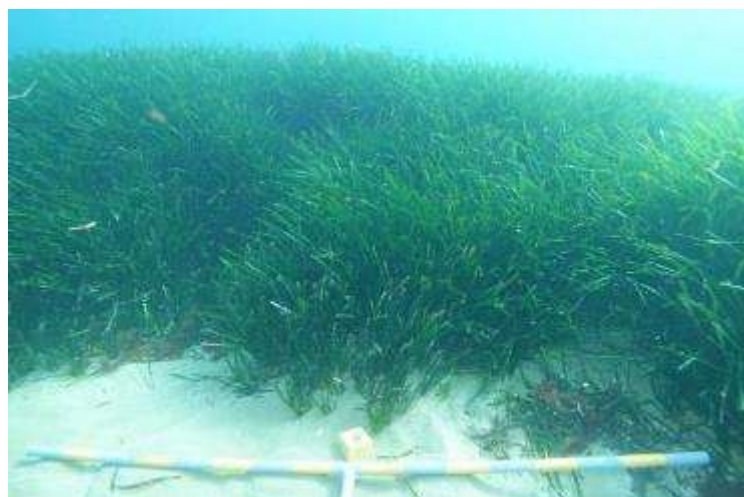
- Plot n°10 :



- Plot n°11 :



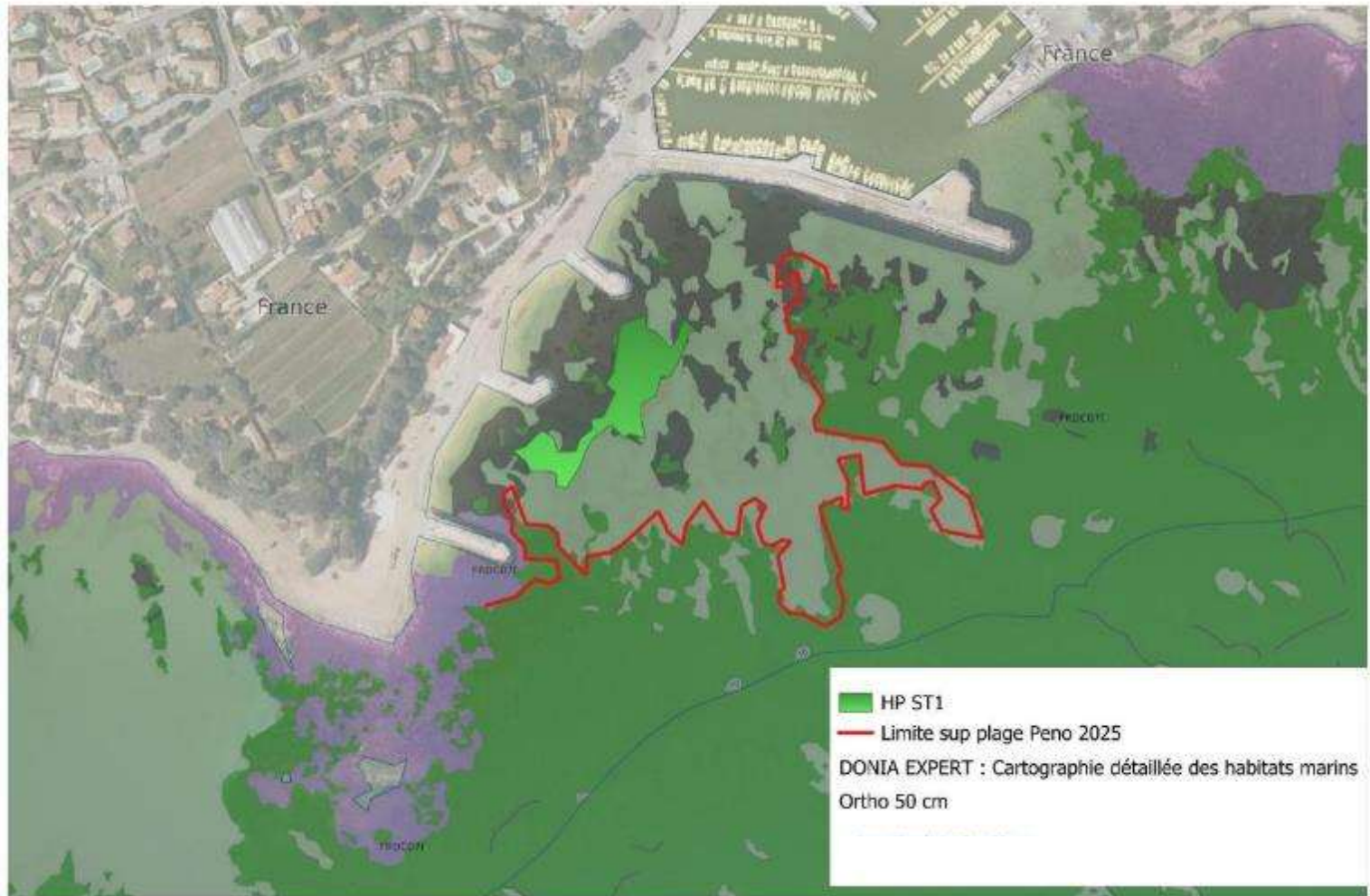
- Plot n°12 :



- **Limite supérieure :**

La partie supérieure de l'herbier est plutôt franche avec des zones fortement fragmentées, où l'on observe de nombreuses taches et îlots de posidonie plus ou moins espacés. De plus, une vaste matte morte témoigne d'une régression historique de l'herbier.

La topographie des fonds, marquée par la présence d'un tombant de matte, suggère un fort hydrodynamisme, particulièrement à proximité des plages.

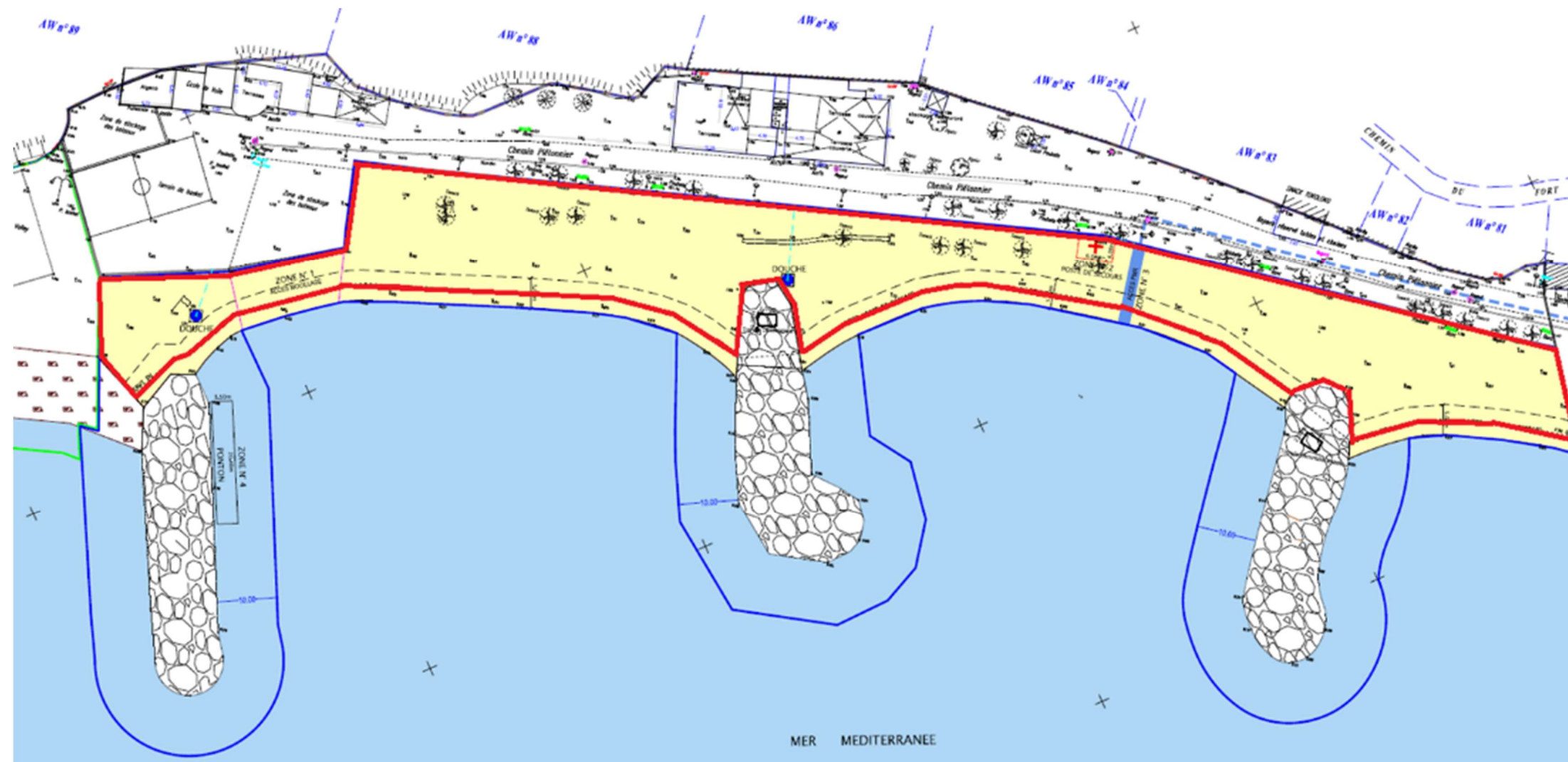


24 Cartographie représentant la limite supérieure de l'herbier de Posidonie.



25 Photographie de la limite supérieure.

- **Rechargement des plages :**



26 **En rouge** délimitation de la partie de sable émergé pouvant faire l'objet du réensablement et du reprofilage.



27 Photographie de l'anse n°1



28 Photographie de l'anse n°2.



29 Photographie de l'anse n°3.

La plage Peno, représente une surface d'environ 6432 m², composé principalement de sable grossier sur les deux premières anses et d'un mélange de sable et gros galets sur la troisième anse du côté de la pointe Peno.

Les deux premières anses sont recouvertes d'une banquette de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* sur une surface de 1600 m² et sur une épaisseur moyenne de 30 cm.

Ces valeurs peuvent évoluer dans le temps en fonction des phénomènes météorologiques.

En revanche sur la troisième anse, on n'observe aucune banquette de feuilles mortes de *Posidonia oceanica*, cependant cette partie de plage est composée d'un mélange de galets et de sable grossier (côté école de voile).

L'apport de matériaux semble nécessaire sur l'ensemble de la plage Peno, afin d'uniformiser le profil de la plage et de rendre l'accès à la mer plus facile surtout pour les personnes à mobilités réduite.

Le volume de matériaux à mettre en place représente un volume d'environ 450m³.

Il serait judicieux de procéder au remodelage de celle-ci également avant l'apport de sable extérieur.

Cette épaisseur de sable, prend en compte la présence des galets sur la plage.



30 Photographie représentant la zone de galets sur l'anse n°3.

6 PIEGES A SEDIMENTS

Le 7 mai 2025, deux pièges à sédiments ont été installés au niveau de la plage de Peno afin de suivre le déplacement des sédiments durant la phase de rechargement.

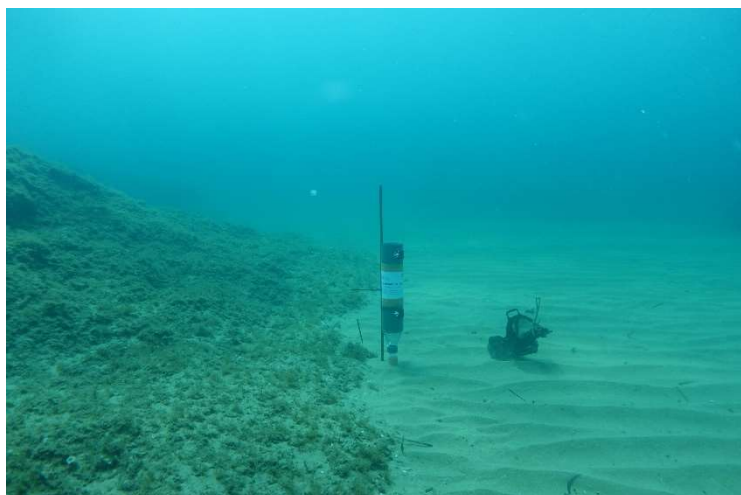
Le premier est situé au droit de l'anse n°1 légèrement éloigné du rivage et le second à quelques mètres du rivage de l'anse n°2.

Un premier relevé a été effectué le 2 juillet 2025, à la suite des travaux de rechargement menés entre le 16 et le 27 juin 2025.

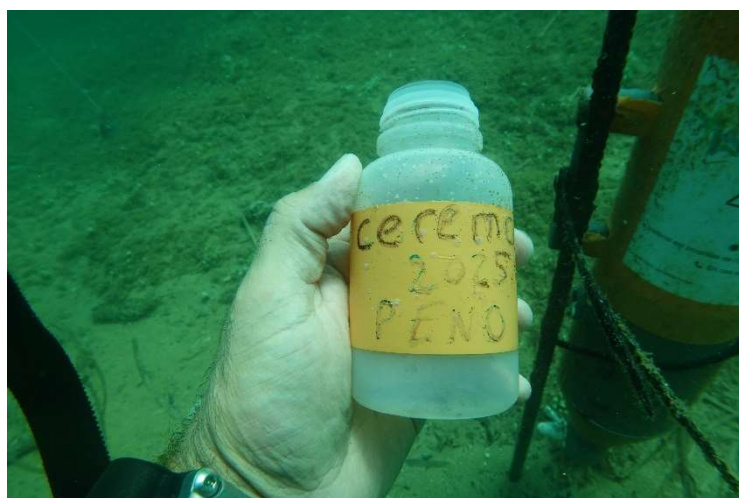
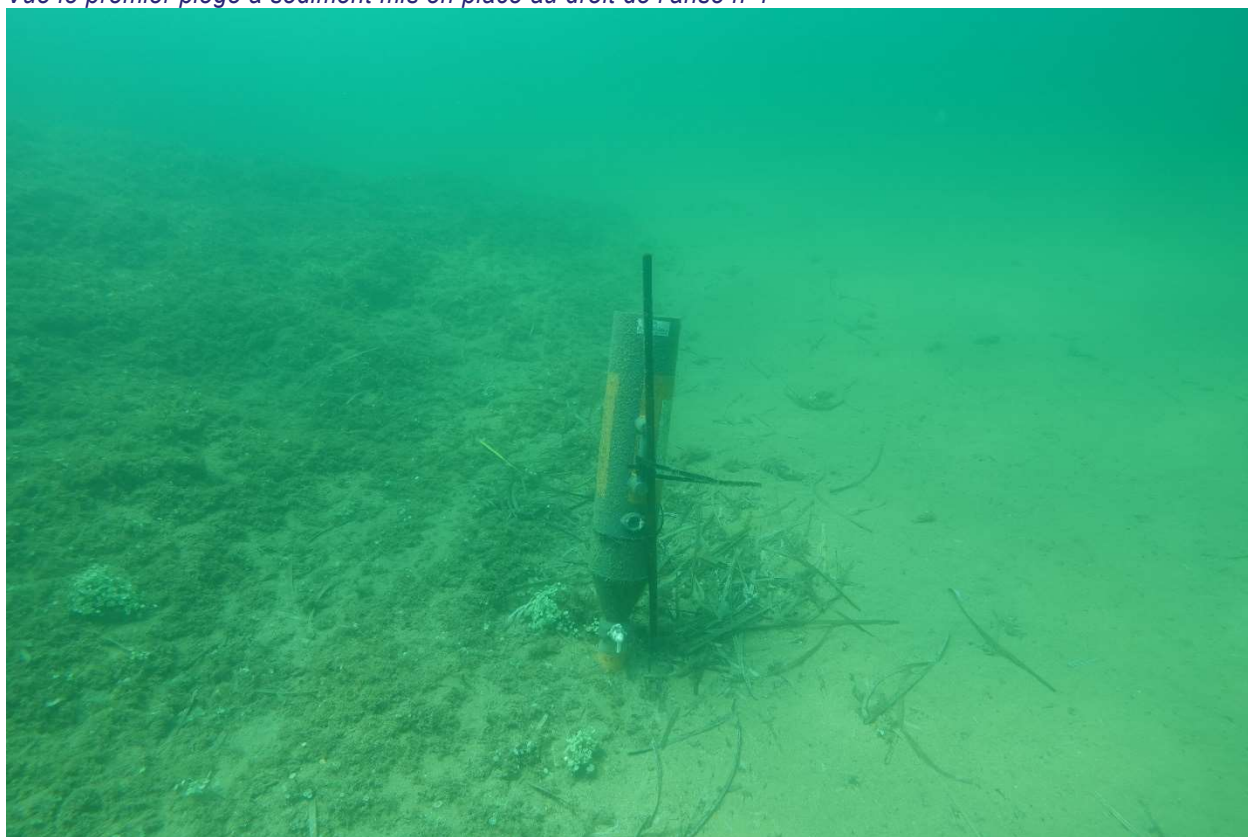
Ce relevé n'a révélé aucun déplacement notable de sédiments pendant la période des travaux.

Seuls des débris de *Posidonia oceanica* morte ont été retrouvés dans les deux pièges.

En concertation avec la Métropole Toulon Provence Méditerranée, un second relevé est prévu à l'automne, après un épisode de coup de mer, période durant laquelle la plage de Peno est particulièrement exposée.



31 Vue le premier piège à sédiment mis en place au droit de l'anse n°1



32 Vue sur piège à sédiment n°2, lors du premier relevé



34 Vue le piège à sédiment n°1 mis en place au droit de l'anse n°2



35 Vue le piège à sédiment n°1 lors du premier relevé



36 *Emplacement des pièges à sédiments*

7 BATHYMETRIE



7.1 Objectifs des relevés bathymétriques

Une cartographie bathymétrique par mono-faisceau au droit de la plage Peno à Carqueiranne, a été réalisée afin de relever d'éventuelles zones d'accrétions ou d'érosion du substrat, et d'en déterminer les causes grâce à une vérification menée par des plongeurs biologistes.

Cette cartographie permet de vérifier la présence possible de bancs de sable qui pourraient avoir été déplacés par des phénomènes météorologiques à la suite du rechargement de la plage.



Matériel et interprétation bathymétrique

7.2 Résultats

Après avoir élaboré la carte bathymétrique de la zone étudiée, il apparaît qu'un surcreusement se situe au nord de la station 3, en lien avec une épave localisée contre la digue du port, ce qui entraîne une modification des flux hydrauliques. L'observation subaquatique met en évidence ce surcreusement, qui favorise l'ensablement autour de l'herbier situé à la station 3. Par ailleurs, plusieurs autres modifications notables sont observées dans la zone d'étude, mais elles sont directement liées à des éléments naturels du milieu marin, tels que la présence de tombants de matte morte et de blocs rocheux.

On observe également au plus proche du rivage une cassure abrupte sur les premiers mètres du rivage de la première anse, la bathymétrie passant de 0.2 m à 1.5 m.

Le substrat sur cette partie est composé principalement de petits galets.

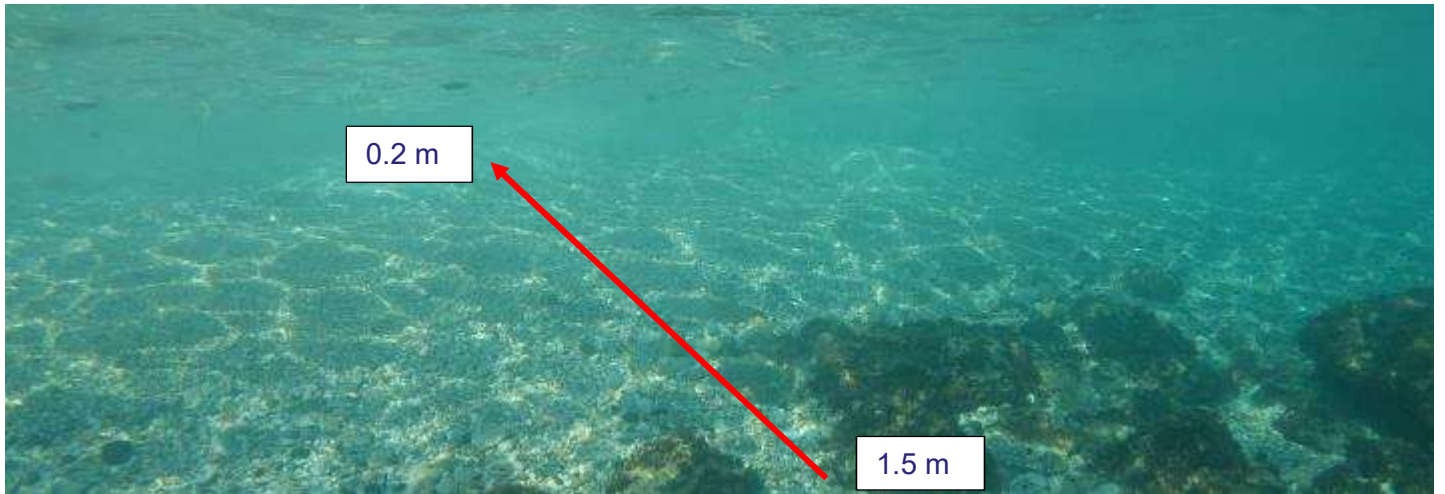
Cette cartographie permettra, avec le temps, de comparer les observations et d'évaluer d'éventuelles modifications significatives des relevés bathymétriques.



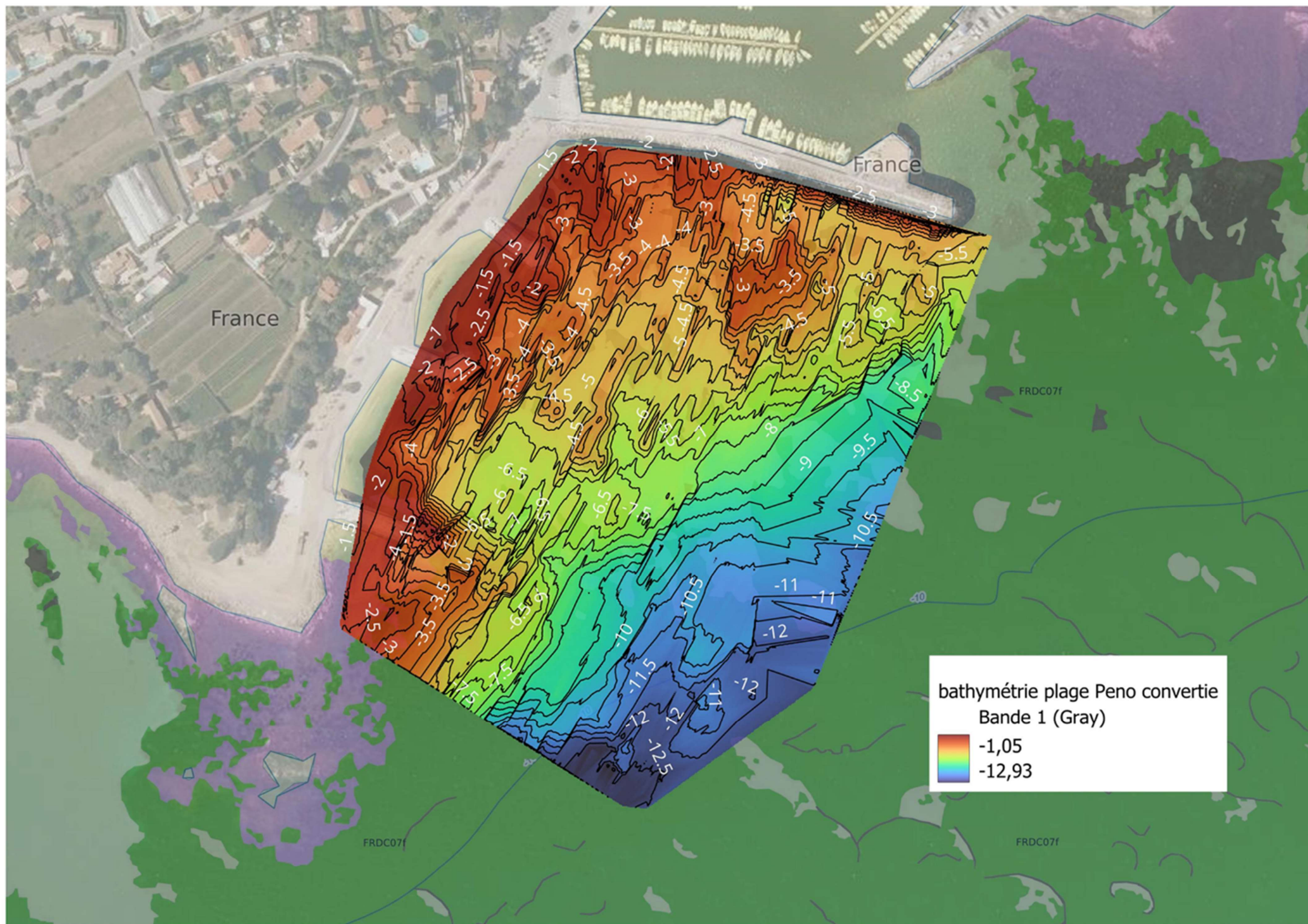
Photographie du surcreusement entre l'épave et la station 3.

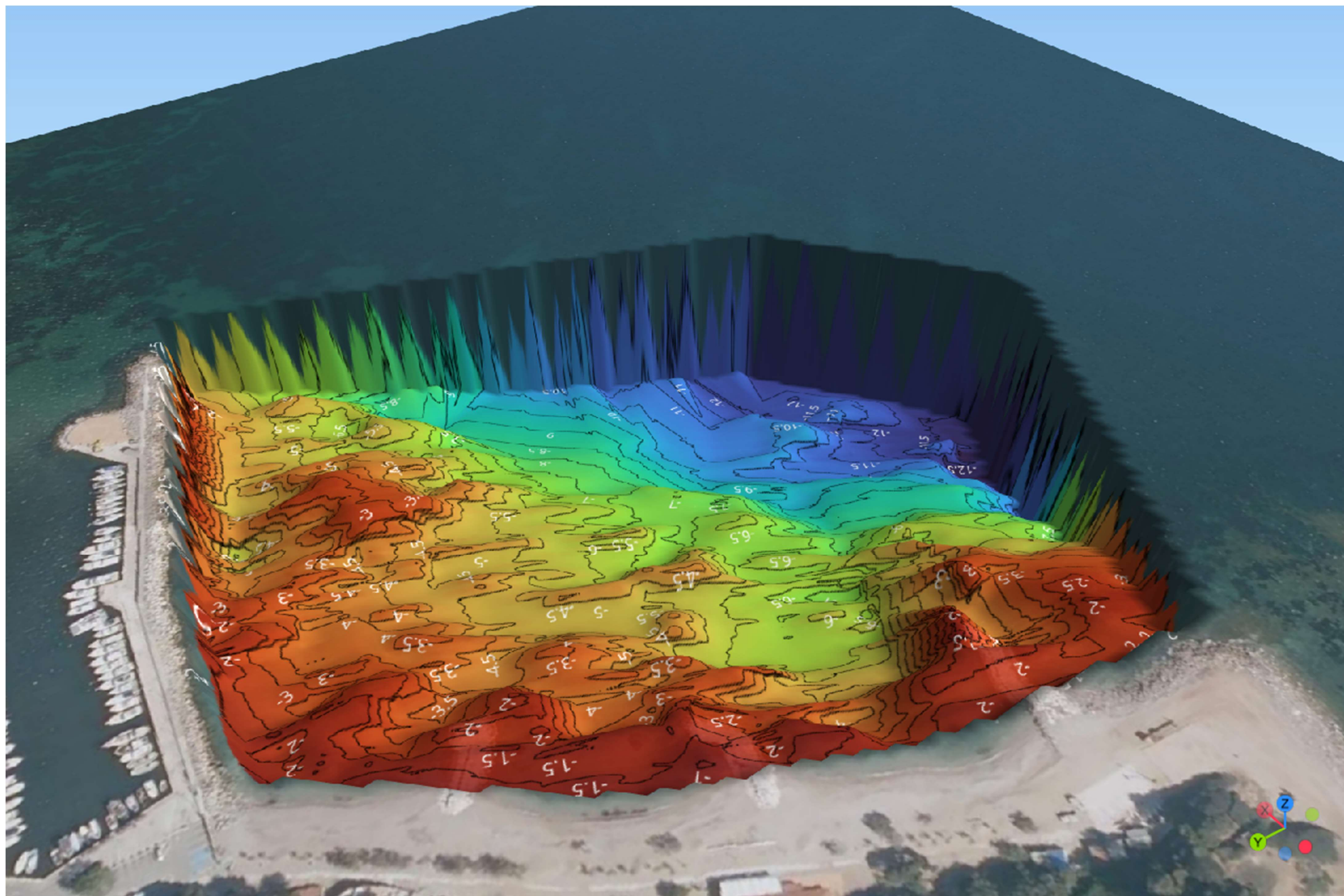


Relevés des modifications bathymétriques observés par un plongeur.



Vue sur la cassure au niveau du rivage la première anse.





8 CONCLUSIONS

Les herbiers de *Posidonia oceanica*, évalués au cours de cette étude, présentent un bon état écologique global. Cependant, on note sur certaines zones de l'herbier de la stations 2 et 3, un ensablement en pied de faisceau qui à ce jour ne semble pas avoir d'impact sur la croissance des herbiers.

Il est essentiel de surveiller cette évolution pour éviter une accumulation excessive de sédiments. En effet, si l'apport de sable dépassait 5 à 7 cm par an, la capacité de compensation de l'herbier devient insuffisante. Celui-ci risquerait alors d'être enseveli, ce qui pourrait entraîner sa destruction. (Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983 ; Boudouresque et al., 1984 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985 dans Boudouresque et al., 2006)

L'implantation des bornes Pheno® est un bon outil afin de déterminer la progression ou la régression des limites des différents herbiers de *Posidonia oceanica*, et d'évaluer l'ensablement sur les zones concernées.

L'évaluation du taux de sédimentation à l'aide de pièges à sédiments avant et après les travaux permettra de déterminer le dépôt de sédiments sur les herbiers, potentiellement causé par la phase d'engraissement des plages.

Les rhizomes plagiotropes observés aux extrémités de l'herbier de la stations 1 et 2 résulte d'un herbier qui a tendance à progresser ou être en phase de stabilisation.

En revanche sur l'herbier de la station 3, on observe peu de rhizomes plagiotropes mais principalement des rhizomes orthotropes et un ensablement sur les parties Ouest et Nord de l'herbier.

On observe la présence d'un tombant de matte morte entre l'épi 1 et l'épi 2, dont la hauteur varie entre 1 m et 2,3 m. Cette formation offre une protection naturelle aux herbiers situés côté large.

Les investigations menées par les plongeurs confirment cette hypothèse : en effet, les herbiers situés au pied de ce tombant, présentent un faible ensablement. En revanche, les parties de l'herbier affectées par l'ensablement se trouvent en dehors de cette zone de protection.

En comparant les relevés de mars 2019 avec ceux de février 2025, on observe une densité globalement comparable. Seule la station 2 présente une différence significative, bien que les valeurs de densité restent globalement bonnes.

La topographie sous-marine, marquée par un tombant de matte, semble indiquer une zone caractérisée par un fort hydrodynamisme à proximité des plages. Plusieurs espèces communes des fonds peu profonds de la Méditerranée ont été observées.

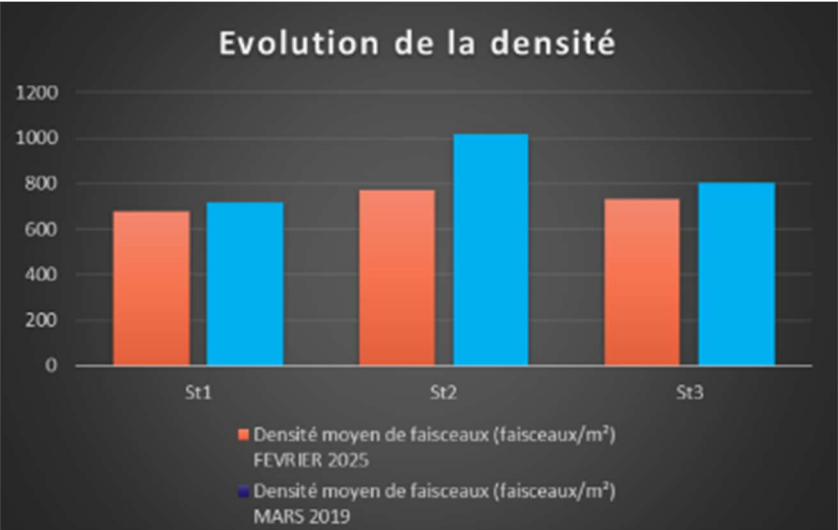
On peut également noter la présence d'une grande matte morte mettant en évidence une régression historique de l'herbier.

Les relevés bathymétriques de la zone d'étude ne laissent pas apparaître de phénomènes d'accrétion dans la superficie étudiée. Les éléments marquants observables sont le surcreusement induit par une modification du courant au droit de l'épave et des ruptures dans les courbes de niveau issues de

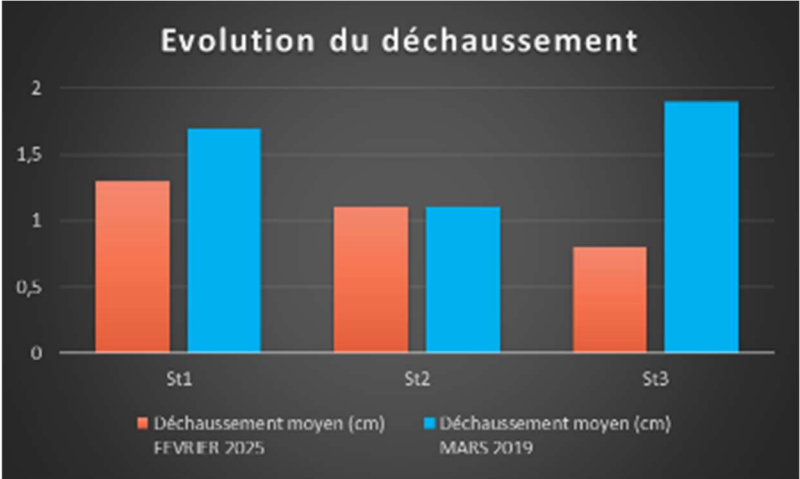
l'accumulation naturelle des mattes de posidonies. On observe également quelques blocs de roches disséminés dans les patches d'herbiers

Station	Profondeur (m)	Densité moyenne de faisceaux (faisceaux/m²)	Classe de densité (Pergent-Martini, 2010)	Déchaussement moyen (cm)	Interprétation déchaussement moyen (Charbonnel et al., 2000)	Longueur max des feuilles en cm	Poucentage de recouvrement Limite sup.	Interprétation du poucentage de recouvrement Limite sup. (Charbonnel et al., 2000)
S1	3,8	678	Normal	1,3	Déchaussement faible	51,2	97	Fort recouvrement
± écart-type		172		0,6		4,9		
S2	4,8	770	Bon	1,1	Déchaussement faible	60,4	93,0	Fort recouvrement
± écart-type		134		0,9		4,0		
S3	3,4	730	Normal	0,8	Déchaussement faible	52,7	93,0	Fort recouvrement
± écart-type		142		0,4		5,7		
S4	3,5	754	Normal	2,4	Déchaussement faible	61,0	98,0	Fort recouvrement

Tableau 4 : Synthèse des résultats de mesures de la station 1,2,3.



Graphique représentent l'évolution de la densité entre 2019 et 2025.



Graphique représentent l'évolution du déchaussement entre 2019 et 2025.

9 PRECONISATIONS

Nous recommandons d'assurer un suivi régulier des bornes Pheno® afin de surveiller l'évolution de l'herbier en comparant les nouvelles données avec l'état initial observé en 2025.

Dans le cadre de la planification annuelle du rechargement de la plage Peno, il serait judicieux d'inclure un suivi écologique de l'herbier, cette évaluation permet de protéger l'herbier et de garantir que les travaux ne causeront pas de préjudices à cet écosystème fragile.

Nous recommandons également un relevé régulier des pièges à sédiments, notamment après des épisodes de forte houle, afin d'évaluer si ces mouvements favorisent le dépôt de matière sur les herbiers de *Posidonia oceanica*.

10 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 publ. : 1-202, ISBN 2- 905540-30-3, 204PP.

Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Bernard G., Bonhomme P., Patrone J., Kruzeck R., Cottalorda J.M., Bertrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Le Direac'h L., 2000. Le réseau de surveillance Posidonie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique. Année 2000.

Région PACA /Agence de l'Eau RMC / GIS Posidonie / CQEL 13 / CQEL 83 / Conseil Général 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 76 PP.

Pergent G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. Programme « MedPosidonie » / CAR/ASP - Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Mémoire d'Accord N°01/2007/RAC/SPA_MedPosidonie Nautilus-Okianos: 24p + Annexes.