

COMMUNE DU LAVANDOU

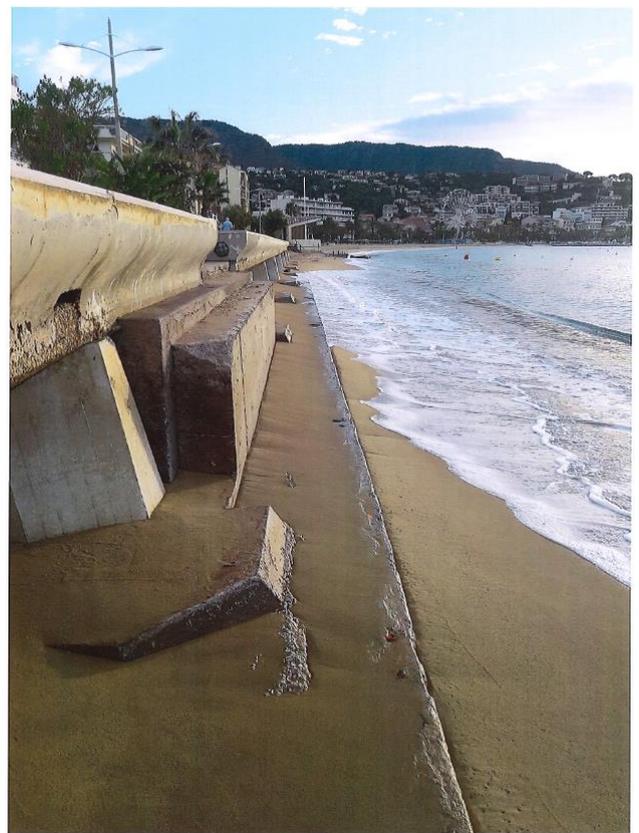
HOTEL DE VILLE  
PLACE ERNEST REYER  
83980 LE LAVANDOU

# Rapport technique

## Phase 1 : Diagnostic

## Phase 2 : Proposition de solutions

Septembre 2022



### ASSISTANCE POUR LUTTER CONTRE L'EROSION DE LA PLAGES DU CENTRE-VILLE

Assistant à Maitrise d'Ouvrage

**Bureau d'études ICTP**  
254, Corniche Fahnestock  
06700 Saint Laurent du Var



N° 21/23 – RT – Phases 1&2– Indice H

# **SOMMAIRE**

1. DISPOSITIONS GENERALES .....	7
1.1 Opération .....	7
1.2 Contexte de l'opération .....	8
1.3 Objectifs de l'opération .....	11
1.4 Documents de Références .....	13
1.5 Documents annexes à ce rapport.....	13
2. DIAGNOSTIC.....	14
2.1 Localisation du site d'étude .....	14
2.2 Diagnostic de l'érosion de la plage .....	15
2.2.1 Historique.....	15
2.2.2 Caractérisation de la cellule hydrosédimentaire : .....	25
2.2.3 Courantologie à l'approche de la plage du Centre-Ville .....	26
2.2.4 Résultat des suivis bathymétrique, topographique et du trait de côte .....	28
2.2.5 Stock sédimentaire à l'approche de la plage du Centre-Ville .....	34
2.2.6 Données photographiques récentes.....	35
2.2.7 Gestion mise en place par la commune dans l'entretien des plages.....	46
2.3 Caractéristiques physiques .....	47
2.3.1 Rappel sur la courantologie.....	47
2.3.2 Les vents.....	49
2.3.3 La houle .....	49
2.3.4 Bathymétrie.....	58
2.3.5 Conclusion sur les caractéristiques physiques .....	61
2.4 Caractéristiques environnementales .....	61
2.5 Qualité des eaux de baignade.....	65
2.6 Rappel du contexte réglementaire environnemental.....	66
2.6.1 Site Natura 2000 .....	66
2.6.2 Zone naturelle d'intérêt écologique, floristique et faunistique (ZNIEFF).....	68
2.6.3 Parc national de Port-Cros .....	68
2.6.4 Sanctuaire Pelagos .....	69
2.6.5 Autres protections .....	70
2.7 Caractéristiques socio-économiques.....	70
2.8 Evolution de la situation dans un contexte de changement climatique .....	79
2.9 Actualisation 2022.....	84
2.10 Conclusion .....	87
2.11 Bibliographie .....	87
3. ETUDE DE SOLUTIONS ET ANALYSE MULTICRITERES .....	90
3.1 Solutions générales de gestion des plages sableuses.....	90
3.1.1 Recul stratégique du trait de côte .....	90

3.1.2	Brise-lames .....	91
3.1.3	Digue de protection .....	91
3.1.4	Maintien des banquettes de posidonies .....	91
3.1.5	Gestion du cordon dunaire .....	92
3.1.6	Mur et ouvrage de soutènement.....	92
3.1.7	Rechargement de plage .....	92
3.1.8	Récapitulatif des méthodes générales de gestion des plages sableuses .....	93
3.2	Solutions envisageables à long terme pour la plage du Lavandou .....	94
3.2.1	Rappel du contexte et des objectifs.....	94
3.2.2	Rappel des solutions possibles sur la plage du Lavandou.....	94
3.2.3	Recul stratégique du trait de côte .....	95
3.2.4	Epis transversaux.....	95
3.2.5	Maintien ou mise en place de banquette de posidonies .....	95
3.2.6	Types de brise-lames immergés .....	95
3.2.7	Rechargement complémentaire au brise-lame .....	105
3.2.8	Récapitulatif des avantages et inconvénients de chaque solution envisagée	106
3.2.9	Analyse multicritère .....	107
3.3	Conclusion sur les solutions possibles .....	116

## FIGURES

Figure 1 : Localisation de la plage Centre-Ville	8
Figure 2 : Plage du Centre-Ville (ICTP – avril 2021)	9
Figure 3 : Avenue du Général Georges Bouvet le long de la plage du Centre-Ville (ICTP – avril 2021)	9
Figure 4 : Plage du Centre-Ville fortement fréquentée	9
Figure 5 : Evolution de la plage du Centre-Ville entre 1955 et 2018 (IGN / Google Earth)	10
Figure 6 : Cartographie du secteur autour de la plage du Centre-Ville – Géoportail	10
Figure 7 : Linéaire le plus touché par le phénomène d'érosion après la pose de big-bags (ICTP – avril 2021)	11
Figure 8 : Big-bags mis en place en mesure d'urgence (ICTP – avril 2021)	11
Figure 9 : Plan de localisation de la zone d'érosion	14
Figure 10 : Plage du centre-ville 1931 – IGN	16
Figure 11 : Plage du centre-ville 1950 – IGN – construction du port du Lavandou	17
Figure 12 : Plage du centre-ville 1955 – IGN – construction d'un premier épi et du port	18
Figure 13 : Plage du centre-ville 1960 – IGN – construction d'un second épi	19
Figure 14 : Plage du centre-ville 1966 – IGN – construction d'un troisième épi	20
Figure 15 : Plage du centre-ville 1972 – IGN – construction du port de Bormes les Mimosas et du quatrième épi	21
Figure 16 : Plage du centre-ville 1975 – IGN – suppression de l'épi n°1	22
Figure 17 : Plage du centre-ville 1982 – IGN – suppression de l'épi n°2 et construction d'un épi sur la grande plage et sur la plage du Gouron	23
Figure 18 : Plage du centre-ville 1988 – IGN – suppression de l'épi n°3 et engraissement de la grande plage	24
Figure 19 : Plage du centre-ville 2011 actuelle – Google Earth	25
Figure 20 : Cellules hydrosédimentaires – SCOT Provence Méditerranée, Chapitre individualisé valant Schéma de Mise en Valeur de la Mer	26
Figure 21 : Trajectoire des courants lors de tempêtes d'Est (rouge) et zones d'accrétion de sable (jaune) – Présentation Plages EOL-Mer 2020	27
Figure 22 : Evolution de la plage entre 1920 et 2011 – Etude BRGM pour le SCOT Provence Méditerranée	29
Figure 23 : Evolution de la plage entre 1920 et 2021 – Etude BRGM pour le SCOT Provence Méditerranée et étude EOL MER	30
Figure 24 : Indicateur national de l'érosion côtière, Extrait de la planche 7/12 PACA – CEREMA 2015	31
Figure 25 : Evolution du trait de côte de la plage entre 1955 et 2012 – Indicateur national de l'érosion côtière (CEREMA)	32
Figure 26: Profil topo-bathymétrique P2 à proximité du poste de secours	33
Figure 27: Profil topo-bathymétrique P2 bis à proximité de l'épi	34
Figure 28: Carte d'isopaques sur le littoral du Lavandou (extrait du rapport du BRGM)	35
Figure 29 : Photographie de l'escalier de la plage du Centre-Ville prise le 06 mars 2017 – Commune du Lavandou	36
Figure 30 : Photographie de la plage du Centre-Ville prise le 06 mars 2017 (tronçon situé après l'escalier) – Commune du Lavandou	37
Figure 31 : Photographie de la plage du Centre-Ville le 08 juillet 2020	38
Figure 32 : Mise en place des big-bags le long du mur de soutènement – (Photographie extraite du reportage photo)	39
Figure 33 : Création d'une dune au-dessus des big-bags (photographie extraite du reportage photo)	39
Figure 34 : Erosion totale de la dune en novembre 2020 (photographie extraite du reportage photo)	40
Figure 35 : Poursuite de l'érosion de la plage en décembre 2020	40
Figure 36 : Localisation des zones de prise de photos des différents tronçons de la plage du Centre-Ville (Plan de repérage extrait de la synthèse du reportage photo)	41
Figure 37 : Evolution du tronçon 1 de novembre 2020 à mai 2021 (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)	42
Figure 38 : Evolution du tronçon 2 de novembre 2020 à mai 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)	43
Figure 39 : Evolution du tronçon 3 de novembre 2020 à mai 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)	43
Figure 40 : Evolution du tronçon 4 de novembre 2020 à avril 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)	43

Figure 41 : Evolution du tronçon 5 et 6 de novembre 2020 à mai 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)	44
Figure 42 : Evolution de la plage au plan large inversé entre le 23 juin et le 10 août 2021	44
Figure 43 : Situation de la plage au 3 et 17 septembre 2021 avec la formation de « marche en haut de plage »	45
Figure 44: Big bag de la marque WAVE BUMPER	45
Figure 45. panneau de sensibilisation implanté aux entrées de plage	46
Figure 46 : escalier en bois installé sur le tronçon en érosion	47
Figure 47 : trajectoire des houles et courants lors de tempêtes d'EST (rouge) et zones d'accrétion de sable (jaune) – Présentation Plages EOL-Mer 2020	48
Figure 48 : Rose des vents sur la période 2004-2016 mesuré au point IOWAGA (issue d'une ancienne campagne IFREMER) à 2.5km du port du Lavandou	49
Figure 49 : Rose des houles sur la période 2004-2016 mesuré au point IOWAGA (issue d'une ancienne campagne IFREMER) à 2.5km du port du Lavandou Créocéan 2017 »	50
Figure 50 : Modélisation de l'agitation portuaire et sur la plage par Créocéan, occurrence 20 ans, cas vent d'EST	51
Figure 51 : Modélisation de l'agitation portuaire par Créocéan, occurrence 20 ans, cas vent de SUD-EST	52
Figure 52 : Modélisation de l'agitation portuaire par Créocéan, occurrence 50 ans, cas vent d'EST	53
Figure 53 : Modélisation de l'agitation portuaire par Créocéan, occurrence 50 ans, cas vent de SUD-EST	54
Figure 54 : Coup de mer d'Est (photographie issue de l'Analyse des vents coups de mer du 23 novembre 2016)	56
Figure 55. Modélisation des vagues, plage du centre-ville du Lavandou – Actimar 2022	57
Figure 56 : Carte bathymétrique construite à partir des données Litto3D® du Shom	59
Figure 57 : Carte bathymétrique construite à partir des données EOL-Mer	60
Figure 58 : Habitats Marins sur le Lavandou – Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Rade d'Hyères » FR 93 01993-Année 2012 – ANDROMEDE OCEANOLOGIE – Février 2013	62
Figure 59 : Cartographie de la biocénose autour de la plage du Centre-Ville du Lavandou – DONIA : Cartographie des habitats - Données consultées en juillet 2021 sur la plateforme de surveillance MEDTRIX ( <a href="https://plateforme.medtrix.fr">https://plateforme.medtrix.fr</a> ).	63
Figure 60 : Photographies réalisées lors de l'inspection sous-marine réalisée par EOL-Mer	64
Figure 61 : plage sableuse du tronçon érodé	65
Figure 62 : Localisation des sites NATURA 2000 aux alentours de la plage du Centre-ville (Géoportail)	67
Figure 63 : Localisation des ZNIEFF aux alentours de la plage du Centre-ville (Géoportail)	68
Figure 64 : Localisation du projet au sein des eaux du Parc National de Port-Cros (Source : Parc National de Port-Cros)	69
Figure 65 : Emprise du Sanctuaire Pelagos par rapport à la commune du Lavandou	70
Figure 66 : Plan de la plage du Centre-ville	72
Figure 67 : Plan de balisage de la plage du Centre-ville	73
Figure 68 : Bateaux au mouillage devant la plage du Centre-Ville le 07 juillet 2021	74
Figure 69 : Bateaux au mouillage devant la plage du Centre-Ville le 20 août 2021	74
Figure 70 : Promenade en arrière-plage et avenue du Général Bouvet	75
Figure 71 : Commerces et logements présents sur l'avenue du Général Bouvet – Google Earth	75
Figure 72 : Commerces et logements présents sur l'avenue du Général Bouvet – Google Earth	76
Figure 73 : Extrait du plan de réseau d'électricité transmis par ENEDIS dans le récépissé de DICT	76
Figure 74 : Plan du réseau d'éclairage public et de signalisation lumineuse	77
Figure 75 : Extrait du plan de réseau d'AEP transmis par SAUR dans le récépissé du DICT	78
Figure 76 : Processus physiques en action lors d'une tempête - Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.	79
Figure 77 : Définition des niveaux marins de références - Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.	80
Figure 78 : Cartographie de l'aléa de submersion marine sur les plages du Lavandou pour un événement de moyen – Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R.	

(2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.	81
Figure 79 : Cartographie de l'aléa de submersion marine sur les plages du Lavandou pour un événement de moyen tenant compte du changement climatique à l'horizon 2100 – Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.	82
Figure 80 : Risque de submersion marine lors d'un événement moyen et d'une surcote centennale en tenant compte du changement climatique à l'horizon 2100 – Données PAC_ submersion marine	83
Figure 81. Tronçons ayant subi une érosion en 2022	84
Figure 82. Erosion qui s'est accentuée sur le tronçon situé entre l'épi et le cours d'eau du Batailler.	85
Figure 83. Fissures et affaissement du mur sur le 2nd tronçon	86
Figure 84. Dispositif Seaboost installé à Agde en 2022, qui s'inspire des mangroves.	86
Figure 85 : Exemple – Coupe type d'un brise lame immergé en enrochements – ICTP 2018	96
Figure 86 : Exemple – Photomontage d'un brise lame immergé en enrochements – ICTP 2018	96
Figure 87 : Exemple – Coupe type d'un brise lame immergé en géotextile – ICTP 2018	97
Figure 88 : Exemple – Photomontage d'un brise lame immergé en géotextile – ICTP 2018	98
Figure 89 : Exemple – Photographie d'un brise lame composé de sacs en géotextiles sur la plage de la Cavalière – Mairie du Lavandou	99
Figure 90 : Agrégat formé à partir du processus Géocorail – GEOCORAIL	100
Figure 91 : Processus de formation du Géocorail – GEOCORAIL	100
Figure 92 : Germination du Géocorail® – GEOCORAIL®	101
Figure 93 : Brise lame en géotextile doté de la technologie Géocorail – GEOCORAIL	102
Figure 94 : Exemple – Récifs artificiels – Reef Balls®	103
Figure 95 : Exemple – Brise lame composé de récifs artificiels – Reef Balls®	103

## TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats de la modélisation des conditions d'agitation dans le port du Lavandou, tableau extrait du rapport : Etude Créocéan 2017.	50
Tableau 2 : Résultats de la modélisation numérique des états de mer au large par BRGM au point d'extraction P80 au large du Lavandou - Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.	55
Tableau 3 : Données de houle au large du port de Bormes	55
Tableau 4. Conditions des événements utilisés pour le modèle hydrosédimentaire	56
Tableau 5 : Classement de la plage du Centre-Ville du Lavandou (Baignade.sante.gouv.fr)	65
Tableau 6 : Récapitulatif des méthodes générales de gestion des plages sableuses	93
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des solutions envisagées	107
Tableau 8 : Catégories et pondérations associés	108
Tableau 9. Catégorie des critères et sous-critères	110
Tableau 10 : Barème des sous-critères	111
Tableau 11 : Résultat de l'analyse multicritère sur les solutions de lutte contre l'érosion de la plage du Lavandou	112
Tableau 12 : Résultat de l'analyse multicritère sur les types et modes constructifs des brise-lames immergés	114

# 1. DISPOSITIONS GENERALES

## 1.1 Opération

### Désignation de l'opération :

- *Appellation :* Assistance pour lutter contre l'érosion de la plage du centre-ville
- *Commune :* Le Lavandou
- *Département :* 83 Var
- *Site :* Plage du centre-ville

### Maître d'Ouvrage :



**Commune du LAVANDOU**  
Hôtel de Ville  
Place Ernest Reyer  
83980 LE LAVANDOU

### Assistant à Maitrise d'Ouvrage :



**Bureau d'études ICTP (Mandataire)**  
254 Corniche Fahnestock  
06700 Saint-Laurent-du-Var  
Tél. : 04 92 12 97 09  
Email : [ictp@ictp.fr](mailto:ictp@ictp.fr)

## 1.2 Contexte de l'opération

La commune du Lavandou est située sur le littoral varois entre Toulon et le Golfe de Saint-Tropez.

La plage du Centre-Ville est située dans la Rade de Bormes, entre le port du Lavandou et le cours d'eau Le Batailler. D'un linéaire d'environ 800 m, elle est dominée par l'avenue du Général Georges Bouvet. Au Sud de l'embouchure du Batailler se trouve la plage de l'Anglade et encore plus au Sud la plage du Gouron étant à la limite avec la commune de Bormes les Mimosas.

La plage du Centre-Ville est reconnue comme plage familiale, en pente douce, où différentes activités nautiques, sportives, économiques et touristiques y sont pratiquées.



*Figure 1 : Localisation de la plage Centre-Ville*



*Figure 2 : Plage du Centre-Ville (ICTP – avril 2021)*



*Figure 3 : Avenue du Général Georges Bouvet le long de la plage du Centre-Ville (ICTP – avril 2021)*



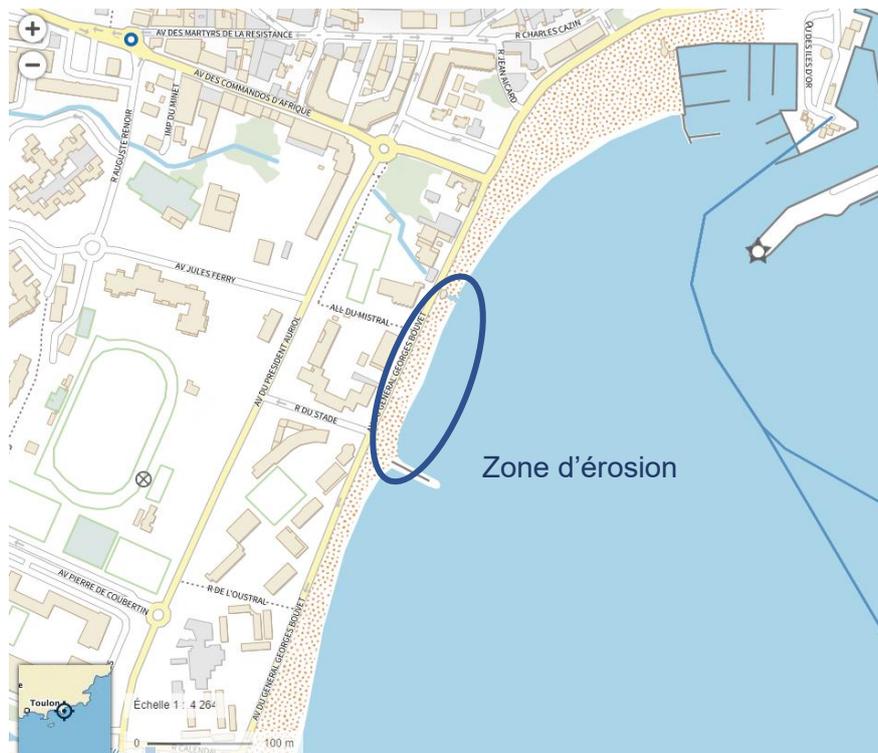
*Figure 4 : Plage du Centre-Ville fortement fréquentée*

Des analyses menées sur une décennie d'études sur le linéaire de sable et sur les aménagements littoraux alentours ont montré une évolution du transit sédimentaire, impactant la configuration et le maintien de la plage du Centre-Ville. Cette évolution est notamment visible en comparant les différentes vues aériennes existantes entre 1955 et 2018.



*Figure 5 : Evolution de la plage du Centre-Ville entre 1955 et 2018 (IGN / Google Earth)*

A l'automne 2020, la situation générale est devenue critique sur un tronçon. La plage entre le poste de secours et l'épi est devenue quasi-inexistante et les vagues mettent en péril le mur de soutènement. Des déplacements de sable dans et sur des big-bags ont dû être réalisés afin de limiter la perte de sable, de protéger le mur de la houle et d'éviter l'infiltration d'eau sous la route, pouvant également mettre en péril les réseaux situés sous l'avenue du Général Bouvet.



*Figure 6 : Cartographie du secteur autour de la plage du Centre-Ville – Géoportail*



*Figure 7 : Linéaire le plus touché par le phénomène d'érosion après la pose de big-bags (ICTP – avril 2021)*



*Figure 8 : Big-bags mis en place en mesure d'urgence (ICTP – avril 2021)*

Cette solution d'urgence reste temporaire. Une partie des big-bags a d'ailleurs été retirée avant l'été 2021 pour éviter toute pollution aux microplastiques. La commune souhaite s'orienter vers une solution plus pérenne.

### **1.3 Objectifs de l'opération**

Les objectifs de l'opération communale sont alors d'établir un diagnostic et d'étudier les possibilités pour protéger la plage du Centre-Ville de l'érosion et également préserver le mur de soutènement et l'avenue du Général Bouvet (artère routière majeure de la commune et zone de forte densité).

Pour cela la solution (ou les) attendue(s) devra (ont) être en mesure de :

- Réduire l'impact des vagues, notamment lors des coups de mer et tempêtes en périodes d'automne et d'hiver.
- Préserver et renforcer l'accrétion au droit de la plage, produite par le milieu naturel suivant le sens du transit sédimentaire Sud-Nord, afin de garantir de nouveau une

plage de taille suffisante pour protéger les infrastructures du haut de plage et accueillir le public, dans cette zone très fréquentée.

Cette solution devra également permettre de répondre à la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte.

Dans un contexte de changement climatique et d'évolution d'occupation et d'utilisation du littoral, la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte et son programme d'actions actualisé en 2017, ont pour ambition de mieux anticiper l'évolution des phénomènes d'érosion et de submersion ainsi que leurs conséquences sur les territoires littoraux, notamment en matière d'aménagement.

Sur l'arc littoral méditerranéen, pour la région PACA, le département du Var dispose d'une stratégie départementale de gestion des côtes sableuses en érosion.

En effet, différentes études ont montré que le littoral varois est touché par l'érosion et que le recul des plages se verra accentué par le changement climatique et la montée du niveau de la mer. De plus la vulnérabilité des côtes sableuses du Var est importante. Disposant de peu d'espace de recul, les plages varoises sont sensibles à ce phénomène.

De nombreuses plages sont naturellement contraintes par des affleurements rocheux en arrière-plage. Par ailleurs, pour une grande majorité des plages du département, des aménagements empêchent toute adaptation naturelle de ces systèmes littoraux à la montée du niveau de la mer et à ce phénomène d'érosion.

### **La plage du centre-ville du Lavandou est identifiée comme une plage en milieu fortement urbanisé.**

Ces plages sont caractérisées par la présence importante de bâti en arrière-plage. La présence d'axe de communication principal s'additionne à la forte urbanisation. Des bâtiments d'intérêt public (hôpitaux, écoles, aéroport) peuvent également être présents. Ces espaces sont très vulnérables aux aléas érosion et submersion marine.

La stratégie de gestion des côtes sableuses en érosion dans le Var définit que plusieurs modes de gestion de protection des plages sont possibles. Des études préalables de hiérarchisation des enjeux permettent de définir les modes de gestion à privilégier. Lorsque les enjeux justifient une action : l'intervention sur le trait de côte peut être envisagée. Ce qui est le cas de la plage du centre-ville du Lavandou.

Considérant les nombreux enjeux présents (humains, économiques, environnementaux) et afin d'éviter le recul du trait de côte qui risquerait de mettre en péril les infrastructures du haut de plage, la commune souhaite alors s'orienter vers une gestion alliant méthodes souples et dures.

Ainsi, le projet mis en place par la commune du Lavandou permettra de :

- Rétablir un équilibre morphologique de la plage par les processus hydrosédimentaires de la houle, de la dérive littorale.
- Recomposer en amplitude et niveau, cette façade maritime du cœur de ville du Lavandou.
- Tenir le soutènement de la voie littorale (protection de la route, des réseaux et des habitations) en marge d'impact des coups de mer.

Cette partie vise à étudier les caractéristiques du site en érosion et à réaliser une analyse multicritères de plusieurs solutions.

## **1.4 Documents de Références**

Cette mission de diagnostic est basée sur des documents de références transmis par le Maître d'Ouvrage, des recherches bibliographiques ainsi que des constats terrains, notamment environnementaux. Une bibliographie plus précise est donnée au paragraphe 2.11.

## **1.5 Documents annexes à ce rapport**

Plusieurs documents viennent compléter ce rapport de diagnostic :

- Plan DIA.PS001 indice A plan de situation.
- Plan DIA.VP002 indice A Vue en plan de l'existant.
- Plan DIA.CC003 indice A Coupes de l'existant.
- Analyse multicritère Solutions Indice D.
- Analyse multicritère Brise-lames Indice D

## 2. DIAGNOSTIC

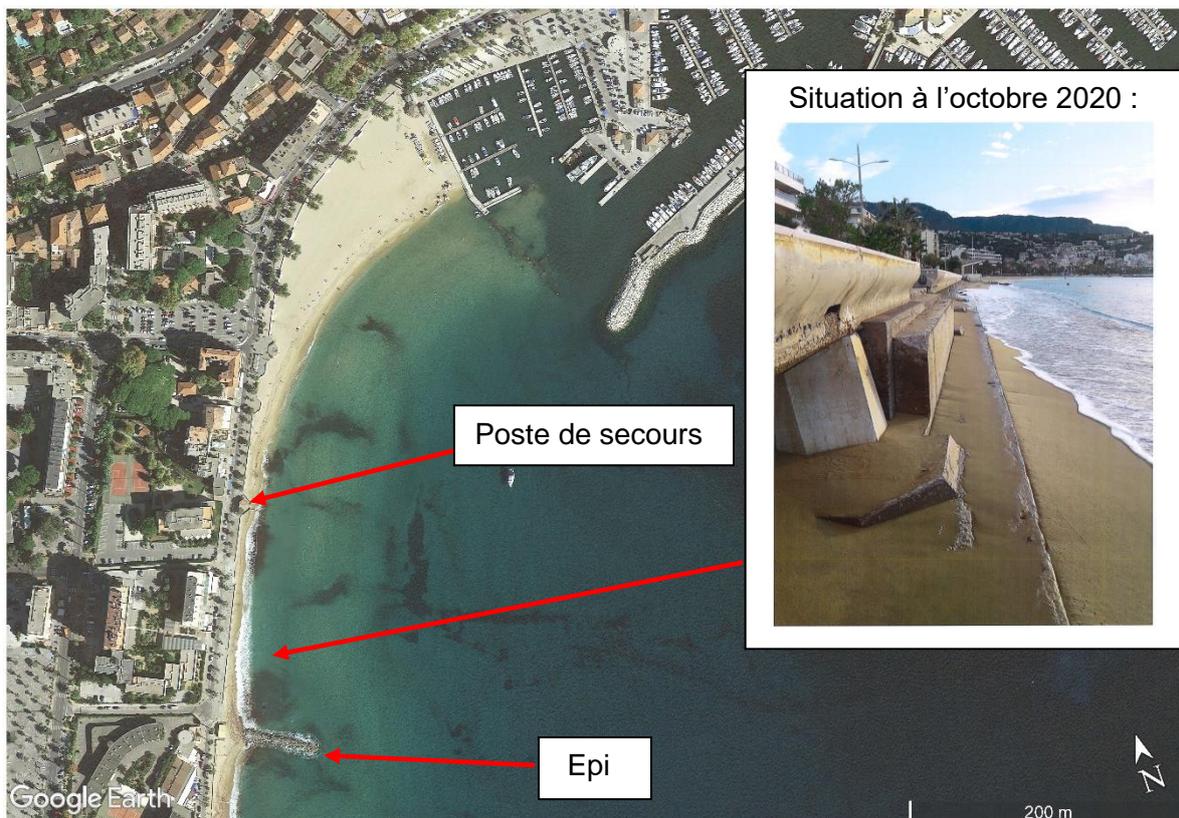
Cette partie a pour objectifs de mettre en évidence les effets d'érosion impactant la plage du Centre-Ville et de réaliser un diagnostic plus exhaustif complet des divers enjeux de la zone (environnementaux, sociaux économiques, hydrodynamiques), tout en la replaçant dans le contexte de la cellule hydrosédimentaire.

Cette phase d'études permettra de mieux évaluer les différentes solutions proposées dans la partie 2 du rapport et ainsi de proposer une solution qui répond au mieux aux différents enjeux.

### 2.1 Localisation du site d'étude

Une zone spécifique est particulièrement soumise à l'érosion et se situe à proximité immédiate de réseaux (EDF, eaux usées, etc.), il s'agit d'un tronçon de 160 mètres linéaire situé entre le poste de secours de la plage centrale sous lequel s'écoule le cours d'eau la Vieille et un épi en enrochement construit au début des années 1960.

Cette érosion provoque un affouillement devant le mur de soutènement de haut de plage qui protège la promenade, l'axe routier, les commerces ainsi que les logements présents en amont de la plage.



*Figure 9 : Plan de localisation de la zone d'érosion*

Dans le cadre de la stratégie départementale de gestion des côtes sableuses en érosion dans le Var, élaborée en 2019 par la Direction départementale des territoires et de la mer, la plage du centre-ville du Lavandou entre dans la catégorie des **plages fortement urbanisées** dont

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

les caractéristiques sont les suivantes : espace caractérisé par la présence importante de bâti en arrière-plage, d'axe de communication et de peu d'espace de liberté de la plage.

L'étude s'attache à étudier les solutions possibles pour diminuer les effets de l'érosion sur ce tronçon tout en ayant une vision à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire afin de ne pas occasionner de perturbations sur d'autres tronçons de la plage centrale. La définition de la cellule hydrosédimentaire sera développée dans la suite du rapport ainsi que les caractéristiques physiques, environnementaux et socio-économiques de la zone.

## 2.2 Diagnostic de l'érosion de la plage

### 2.2.1 Historique

#### Evolution visible par clichés aériens :

Plusieurs clichés du secteur ont été réalisés depuis 1931 jusqu'en 2021. Elles sont issues de la plateforme « *IGN Remonter le temps* » et de « *Google Earth* ».

Ces photographies nous permettent d'évaluer les impacts des différents ouvrages réalisés et supprimés sur la circulation hydrosédimentaire de la zone.

Le port du Lavandou fut créé en 1950 / 1955 (Figure 11 et Figure 12) de même qu'un premier épi. Par la suite 4 autres épis furent construits (1960 (Figure 13) 1966 (Figure 14), 1972 (Figure 15)) et supprimés (1975 (Figure 16) Figure 15), 1982 (Figure 17) Figure 16), 1988 (Figure 18)). Le port de Bormes les Mimosas a été construit au début des années 1970 (Figure 15). Suite à ces aménagements, l'aspect morphologique de la plage a sensiblement évolué traduisant une perturbation du système hydrosédimentaire dont fait partie l'érosion de la plage du centre-ville au Lavandou.

Entre la fin des années 70 et la fin des années 80, plusieurs épis ont été retirés (Figure 16 à Figure 18). En l'espace de 50 ans, la plage a perdu en profondeur sur sa partie centrale et sa partie Sud alors qu'une plage au Nord, inexistante dans les années 1950, s'est créée.



*Figure 10 : Plage du centre-ville 1931 – IGN*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 11 : Plage du centre-ville 1950 – IGN – construction du port du Lavandou*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 12 : Plage du centre-ville 1955 – IGN – construction d'un premier épi et du port*

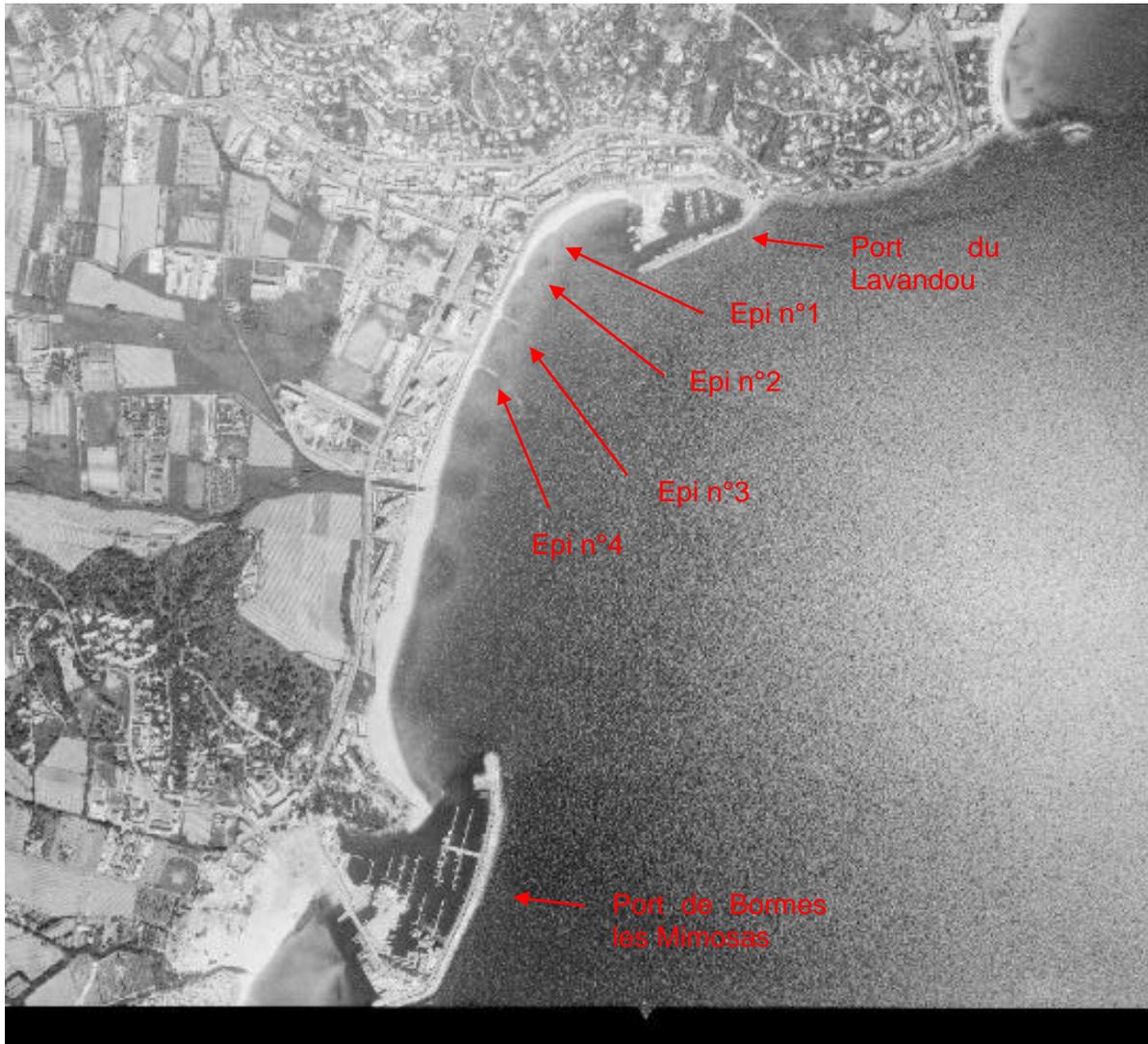


*Figure 13 : Plage du centre-ville 1960 – IGN – construction d'un second épi*



*Figure 14 : Plage du centre-ville 1966 – IGN – construction d'un troisième épi*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

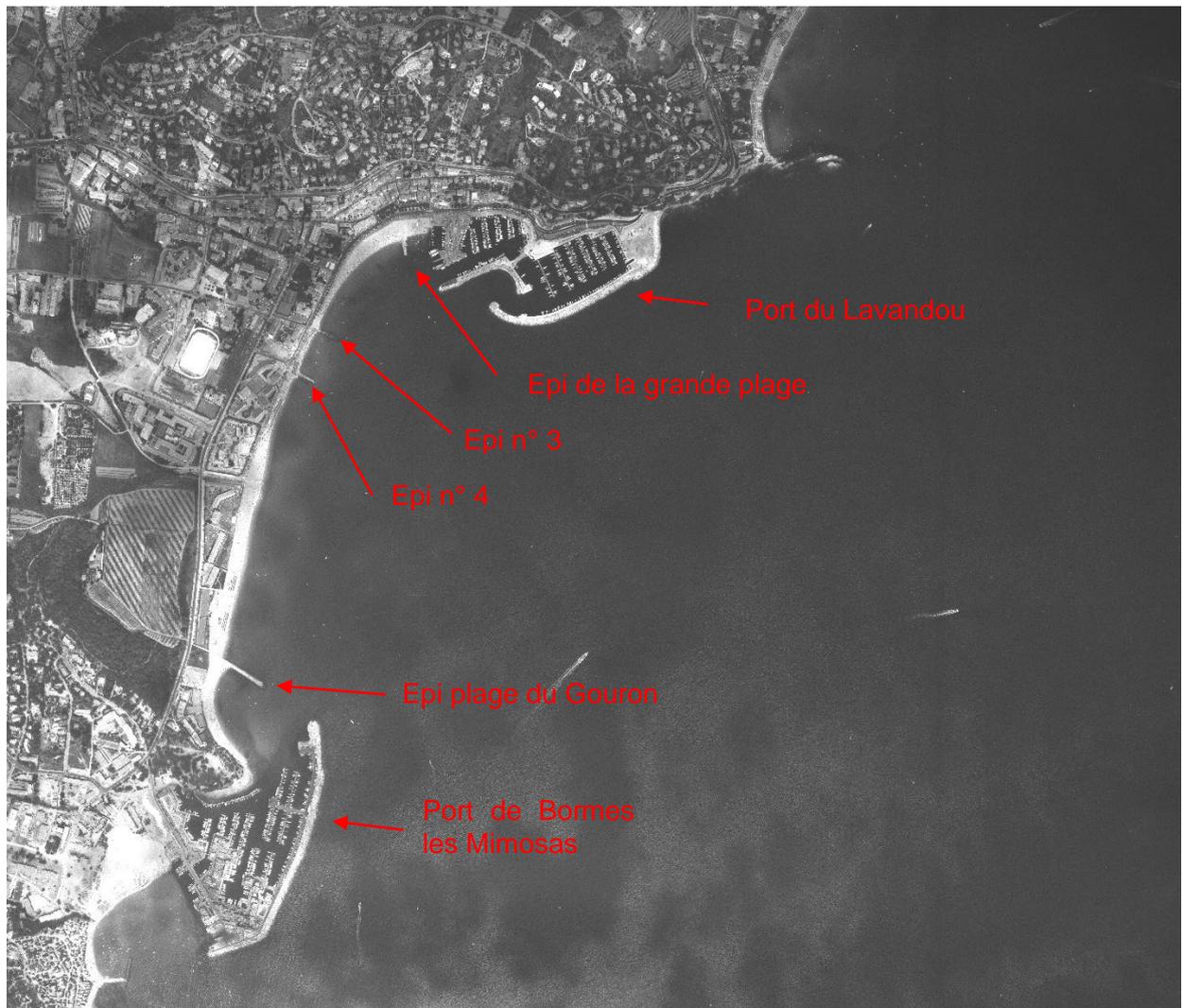


*Figure 15 : Plage du centre-ville 1972 – IGN – construction du port de Bormes les Mimosas et du quatrième épi*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

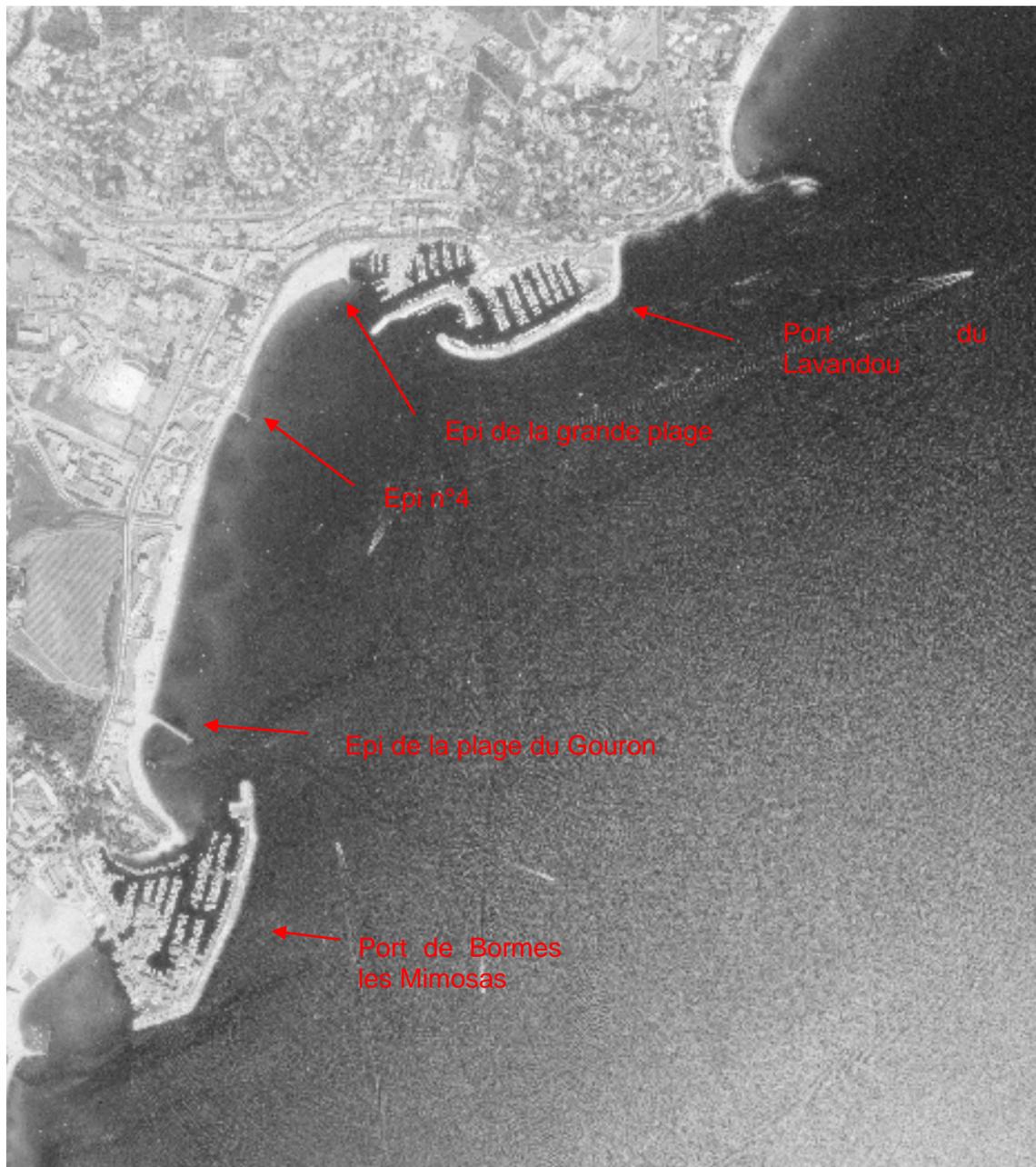


*Figure 16 : Plage du centre-ville 1975 – IGN – suppression de l'épi n°1*



*Figure 17 : Plage du centre-ville 1982 – IGN – suppression de l'épi n°2 et construction d'un épi sur la grande plage et sur la plage du Gouron*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 18 : Plage du centre-ville 1988 – IGN – suppression de l'épi n°3 et engraissement de la grande plage*



*Figure 19 : Plage du centre-ville 2011 actuelle – Google Earth*

### **2.2.2 Caractérisation de la cellule hydrosédimentaire :**

Avant de s'intéresser à l'évolution de l'érosion, il est important de définir la cellule hydrosédimentaire du site et de comprendre les mouvements sédimentaires au sein de la zone d'étude.

Le territoire du SCOT PROVENCE MEDITERRANEE est découpé en 6 grandes cellules hydrosédimentaires (Figure 20). Ces cellules ont été définies par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse en 2005.

La plage du centre-ville du Lavandou appartient à la cellule hydrosédimentaire numéro 24, qui se situe entre le Cap Bénat et le Cap Nègre.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

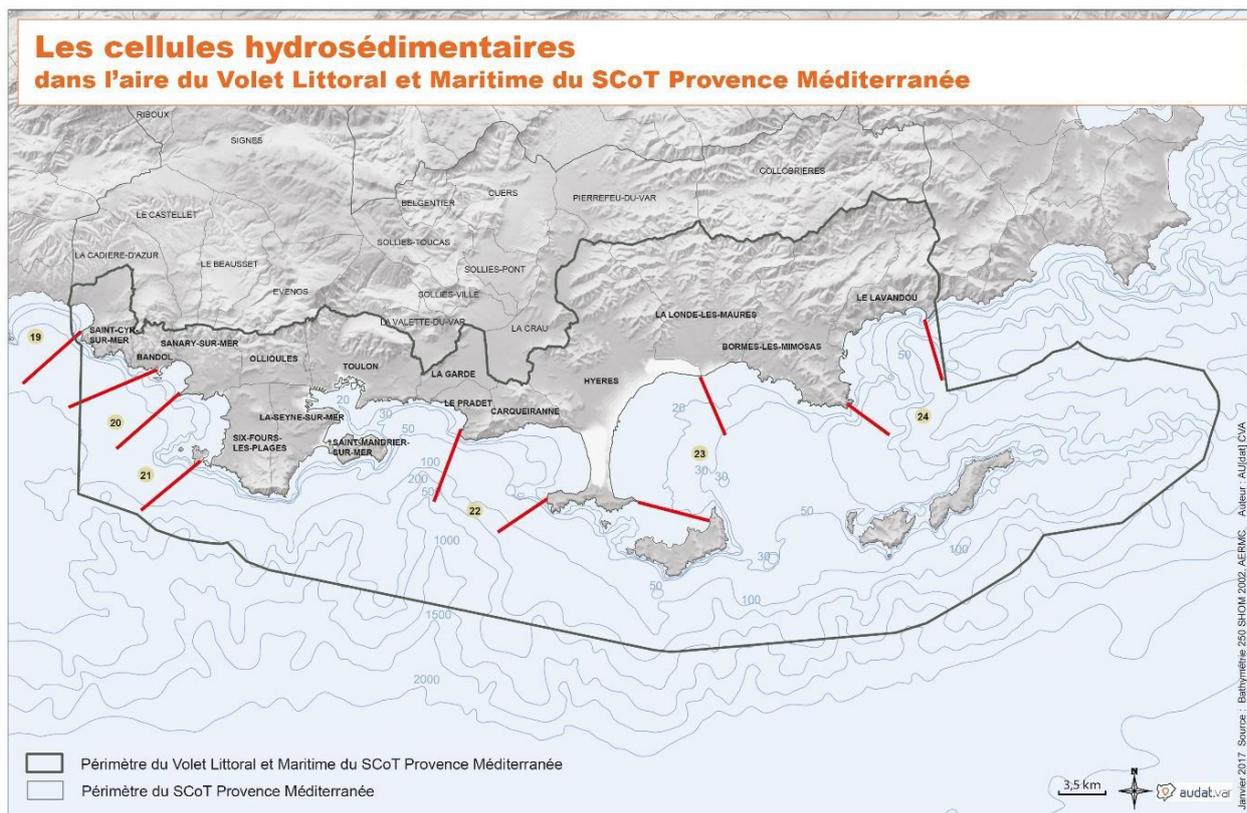


Figure 20 : Cellules hydrosédimentaires – SCOT Provence Méditerranée, Chapitre individualisé valant Schéma de Mise en Valeur de la Mer

Cependant les constructions du Port du Lavandou et du Port de Bormes-les-Mimosas ont isolé la plage du centre-ville et de l'Anglade, créant une cellule hydrosédimentaire, à une échelle locale, indépendante du reste des plages de la cellule numéro 24, qui avaient déjà un comportement de plages de poche (SCOT PROVENCE MEDITERRANEE, chapitre individualisé valant schéma de mise en valeur de la mer).

### 2.2.3 Courantologie à l'approche de la plage du Centre-Ville

Une étude réalisée par EOL mer, en 2020, a permis d'étudier la courantologie au sein de cette cellule hydrosédimentaire restreinte et de mieux comprendre les déplacements sédimentaires.

Avant la construction et le développement des infrastructures portuaires de part et d'autre de la plage, les sédiments se déplaçaient du Nord vers le Sud sous le régime des vents d'Est, puis du Sud vers le Nord, sous les régimes de vent de Sud. La plage à proximité du port était pratiquement absente. Le cours d'eau du Batailler apportait également plus régulièrement des sédiments. Ces sédiments nourrissaient la plage en direction du port de Bormes, qui apparaissait et disparaissait en fonction des saisons.

Avec le développement des infrastructures portuaires, la plage à proximité du Port du Lavandou a connu un ensablement régulier ainsi que la passe d'entrée du Port.

Au Sud, le port de Bormes ne permet plus le transit Sud-Nord sous les régimes de vent de Sud.

Une étude des courants de fond sous régime de vent d'Est a été menée. Les résultats ont montré que le Port du Lavandou a un effet important sur la direction des courants de fond.

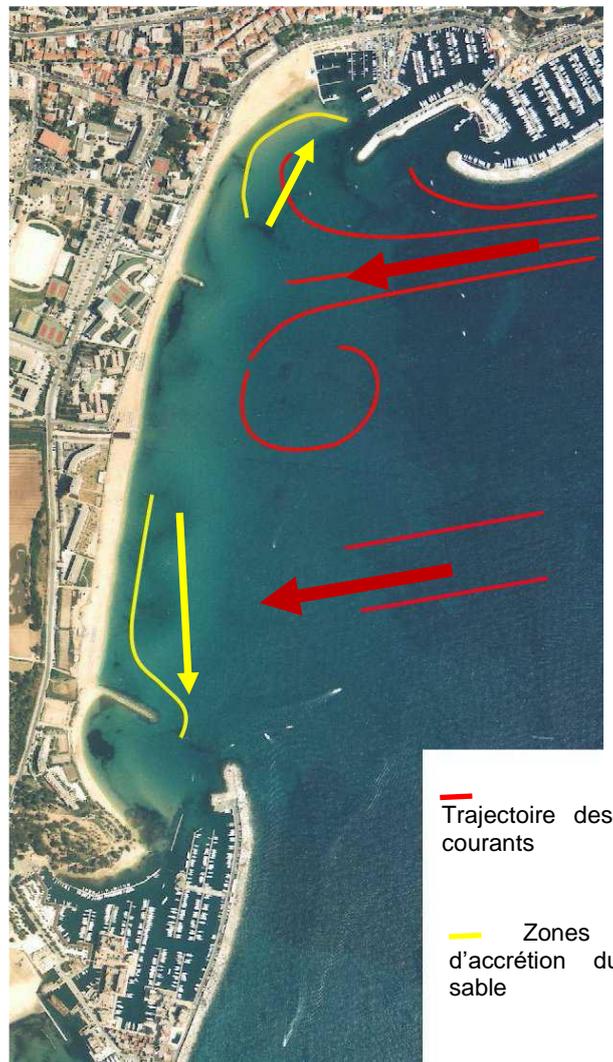
## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Les sédiments à proximité du poste de secours sont ceux qui viennent nourrir la grande plage et ensabler la passe d'entrée du Port.

Les sédiments qui se trouvent entre le poste de secours et le Batailler (zone actuellement la plus vulnérable) sont déplacés vers le Sud puis emmenés au large.

Plus au Sud, l'impact du Port du Lavandou se fait moins sentir et les houles d'Est viennent directement à la plage obliquement. Cet angle génère un déplacement des sédiments vers le Sud, obligeant des dragages réguliers de l'entrée du Port de Bormes. Ces évolutions sédimentaires occasionnent une modification de l'altimétrie, particulièrement sur la section Poste de Secours-Epi, couplées à des phénomènes récurrents de tempêtes d'Est, où les houles d'Est ne sont plus du tout freinées, accentuant le recul du trait de côte.

Ces informations sont schématisées dans la Figure 21 ci-après.



*Figure 21 : Trajectoire des courants lors de tempêtes d'Est (rouge) et zones d'accrétion de sable (jaune) – Présentation Plages EOL-Mer 2020*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

L'étude de courantologie montre, qu'en cas de coups de mer d'Est, la plage du centre-ville et plus précisément le secteur entre le poste de secours et l'épi agit comme une zone de diffraction de la houle lors de tempêtes :

- La réfraction induite par les digues du port dévie une partie des houles vers le Nord.
- Une partie des houles arrive frontalement sur la plage.
- Une dernière partie des houles est déviée vers le Sud avant de former un tourbillon vers le large.

**La conséquence de cette courantologie est donc un transport sédimentaire du sable vers le Nord engraisant la plage le long du port, et un retrait du sable vers le large lors des tempêtes par les autres cellules.**

**Les études de l'association EOL-mer ont permis de déterminer la courantologie du secteur ainsi que les causes majeures de l'érosion. Depuis 1955, plusieurs facteurs ont accentué l'évolution de l'érosion observée. En effet, l'aménagement de différents ouvrages (port du Lavandou, épis dont une partie a été supprimée, ...) ont ainsi modifié la courantologie et les conditions hydrosédimentaires du secteur. Aujourd'hui les causes principales de l'érosion de la plage du centre-ville sont les coups de vents et les coups de mer venant de l'Est, frontalement à la plage du Lavandou. Ces derniers ont la particularité de générer un transit rapide du sable vers le large. De plus ce retrait n'est plus assez compensé par les apports sédimentaires provoqués par le transit Sud-Nord et les vents de terre.**

### 2.2.4 Résultat des suivis bathymétrique, topographique et du trait de côte

Depuis plus de 10 ans, l'association Eol-mer effectue un suivi des plages

Deux types de suivi sont réalisés depuis 2010 :

- Un suivi du trait de côte.
- Un suivi topo-bathymétrique avec évolutions des stocks sédimentaires.

A cela, viennent cela s'ajouter d'autres données complémentaires issues de documents comme le SCOT Provence Méditerranée.

#### 2.2.4.1 Suivi du trait de côte

Depuis 1955 de nombreux aménagements sont venus perturber le fonctionnement de la plage du Lavandou. La présence du port du Lavandou a modifié la cellule hydrosédimentaire, on note un engraissement certain de la grande plage contre le port du Lavandou et une régression des autres plages au Sud. Dans le cadre du SCOT Provence Méditerranée, le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a réalisé une étude spécifique sur le recul du trait de côte du territoire à partir d'ortho photos aériennes.

La figure ci-après (Figure 22), matérialise l'évolution du trait de côte entre 1920 et 2011.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 22 : Evolution de la plage entre 1920 et 2011 – Etude BRGM pour le SCOT Provence Méditerranée*

Ces informations peuvent être complétées par le suivi annuel mis en place par la commune, à partir de 2021 avec l'association EOL-mer (Figure 23).

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 23 : Evolution de la plage entre 1920 et 2021 – Etude BRGM pour le SCOT Provence Méditerranée et étude EOL MER*

Le recul du trait de côte est très significatif sur ces 100 dernières années. La zone a perdu une quinzaine de mètres de largeur.

Cela corrobore les données issues de la campagne nationale, menée par le CEREMA, dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. L'indice national d'érosion côtière met en avant une érosion de ce tronçon de l'ordre de de 0.5 m/an à 1.5 m/an (Figure 24, Figure 25).

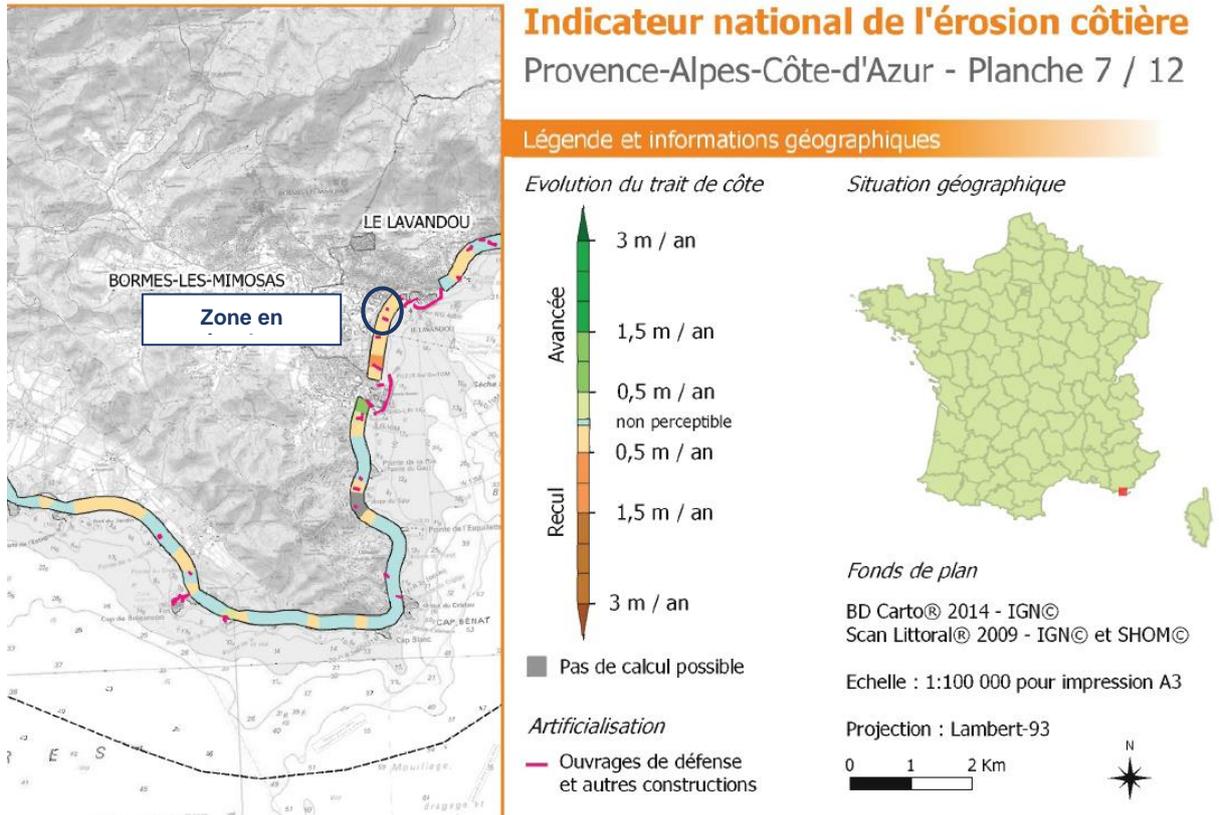


Figure 24 : Indicateur national de l'érosion côtière, Extrait de la planche 7/12 PACA – CEREMA 2015



*Figure 25 : Evolution du trait de côte de la plage entre 1955 et 2012 – Indicateur national de l'érosion côtière (CEREMA)*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

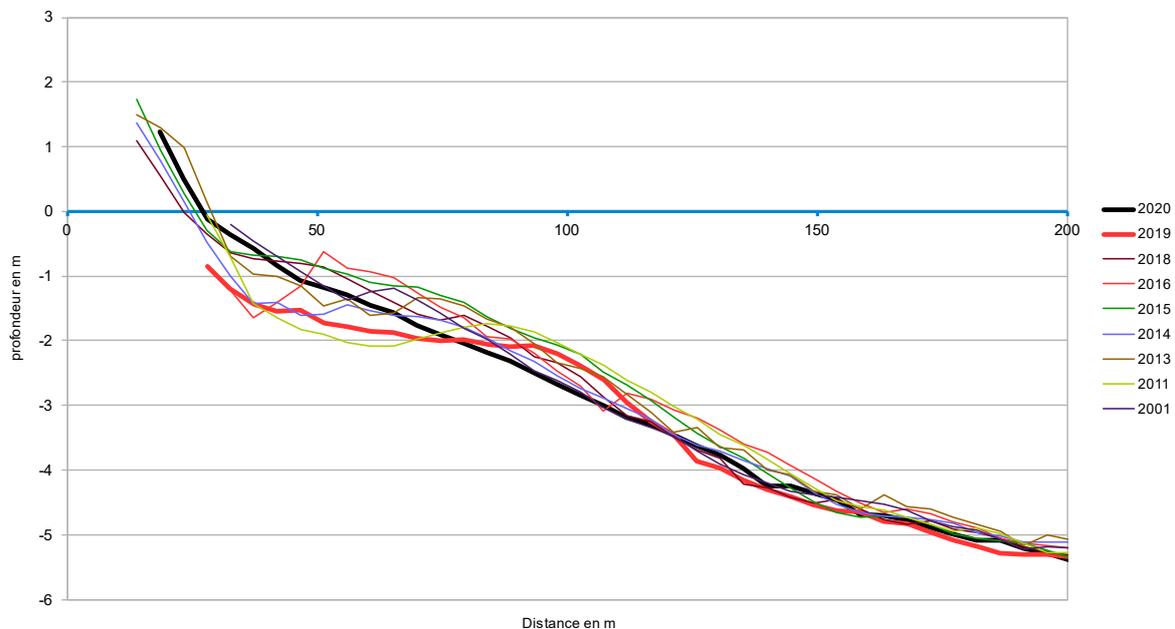
### 2.2.4.2 Suivis bathymétrique et topographique

En complément du suivi du trait de côte, l'association Eol-mer effectue depuis plus de 10 ans, un suivi des plages du Lavandou. Ces suivis comprennent un suivi topo-bathymétrique avec évolution des stocks sédimentaires :

Depuis les premières campagnes de mesures de 2011 menées sur cette zone, il est noté une perte d'altitude d'environ 1m, dans la bande des 100m. Cet approfondissement des petits fonds facilite l'action des vagues : elles perdent moins d'énergie avant d'atteindre la plage.

La campagne d'octobre 2020 montre deux aspects différents la portion de plage poste de secours-épi. Le secteur se divise en deux parties qui n'ont pas fonctionné de concert. La zone à proximité du poste de secours (profil P2, Figure 26) a cicatrisé par rapport à 2019 et 2018. Le sable est remonté, diminuant la pente d'avant plage, donnant une capacité d'atténuation plus importante des houles. Cependant la portion de plage plus proche de l'épi (profil P2bis, Figure 27) a continué à s'éroder. Les petits fonds entre 50 et 100m se sont encore abaissés pour être proches des -3m.

Profil Poste de secours P2



*Figure 26: Profil topo-bathymétrique P2 à proximité du poste de secours*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

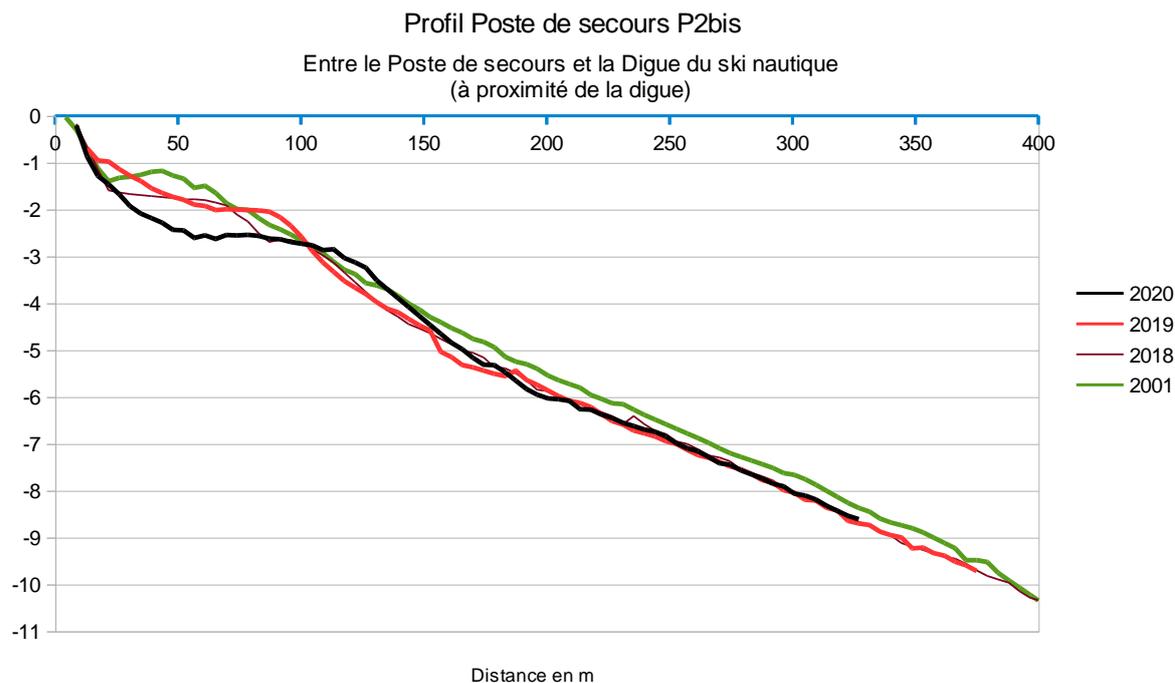


Figure 27: Profil topo-bathymétrique P2 bis à proximité de l'épi

### 2.2.4.3 Bilan

Le secteur compris entre la digue en enrochements et le poste de secours montre une érosion significative qui met la plage et les infrastructures attenantes en danger.

Cette régression de la plage est due à un bilan sédimentaire qui est devenu négatif : il n'y a plus assez d'apport sédimentaire au regard des pertes occasionnées par les coups de mer.

Cette portion de plage est en effet très sensible aux tempêtes d'Est :

Les houles d'Est sont déviées par la grande digue extérieure du port du Lavandou. Par un phénomène des phénomènes de diffraction et de réfraction, les houles de tempêtes s'enroulent sur le musoir et parviennent, pour la zone comprise entre le poste de secours et la digue, quasiment perpendiculairement à la plage. Le sable est alors prélevé et redistribué sur une barre d'avant plage à environ 100m du rivage, voire exporté au large. Au printemps ce stock est remobilisé par les vents de terre pour redonner à la plage un profil d'été satisfaisant. Cette situation a tenu quelques années depuis la construction des différents épis sur ce secteur.

### 2.2.5 Stock sédimentaire à l'approche de la plage du Centre-Ville

Le BRGM a réalisé une campagne en 2014 pour évaluer les stocks sédimentaires sur le littoral varois par sismique réflexion, entre Saint-Cyr-sur-Mer et Le Lavandou. Le secteur qui nous intéresse dans le cadre de ce diagnostic est la zone n°2 composée des plages du Lavandou associée à la cellule n°24.

Les mesures d'épaisseurs de sédiments sur la plage du centre-ville et de l'Anglade (du port du Lavandou au port de Bormes) montrent des épaisseurs de sédiments meubles (sable) équivalentes à 2.1 et 4.9m (Figure 28). On peut tout de même noter que les épaisseurs les plus importantes se situent au niveau de la plage du Gouron et du port de Bormes-les-Mimosas et les plus faibles entre l'épi et le port du Lavandou. Ceci est cohérent avec la dynamique Nord-Sud entraînant l'ensablement du port de Bormes-les-Mimosas. En moyenne l'épaisseur des sédiments est de 3.7m constituant un stock total estimé à 1 779 176 m<sup>3</sup> (incertitude de 14%) sur une surface de 484 711 m<sup>2</sup>.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Ces études montrent qu'il y a un stock important de sédiments dans toute la cellule, mais en raison de la taille de celle-ci, les épaisseurs de sédiments sont réduites. Le stock de sédiments n'est pas homogène sur toute la cellule, les épaisseurs varient alors en fonction des différentes zones. Le prélèvement de sédiments dans ces zones « excédentaires » (Nord) pourrait permettre de recharger les zones plus érodées, cependant une déperdition du sable vers le large sera toujours présente.

Mais les profondeurs de la plage ont tendance à augmenter en raison des coups de mer d'Est qui emportent le sable au large. Plus la bathymétrie (profondeur) augmente, moins la plage est protégée des tempêtes, moins la houle est atténuée, plus elle emporte le sable. C'est un système qui accentue, au fur et à mesure, l'érosion de la plage.

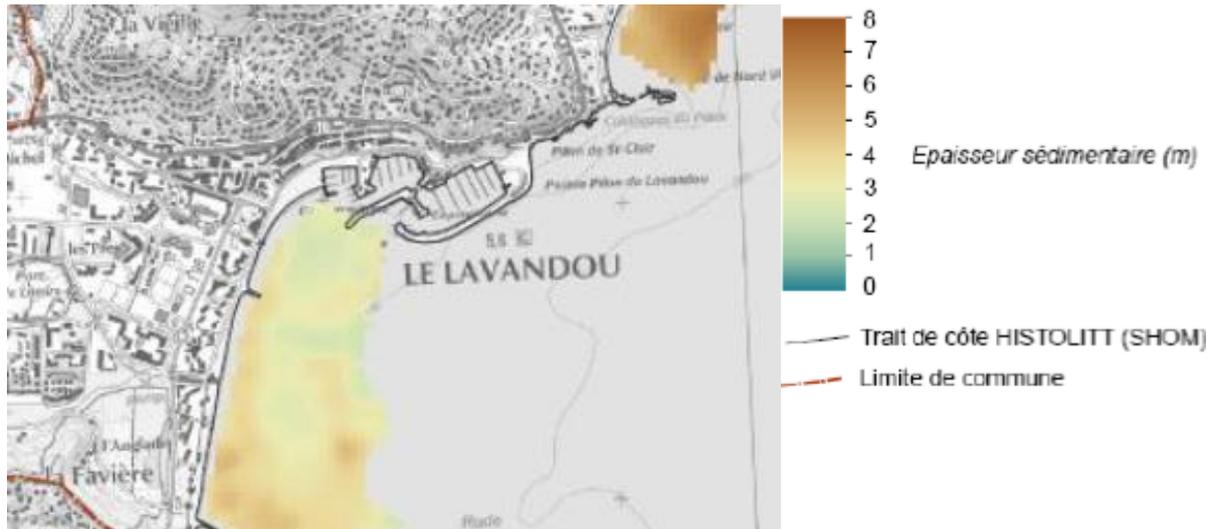


Figure 28: Carte d'isopaques sur le littoral du Lavandou (extrait du rapport du BRGM)

### 2.2.6 Données photographiques récentes

Les résultats des études citées précédemment sont visibles concrètement sur le terrain. Plusieurs photographies en témoignent, notamment sur le tronçon poste de secours/ épi.



*Figure 29 : Photographie de l'escalier de la plage du Centre-Ville prise le 06 mars 2017 – Commune du Lavandou*

La photo ci-dessus (Figure 29) montre les dégâts provoqués par les coups de mer. L'escalier, situé entre le poste de secours et l'épi, est complètement hors de fonctionnement. Le bas de celui-ci est dans le vide témoignant d'une perte sédimentaire de plusieurs dizaines de centimètres. Aujourd'hui, cet escalier n'existe plus en raison du recul du trait de côte trop important.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

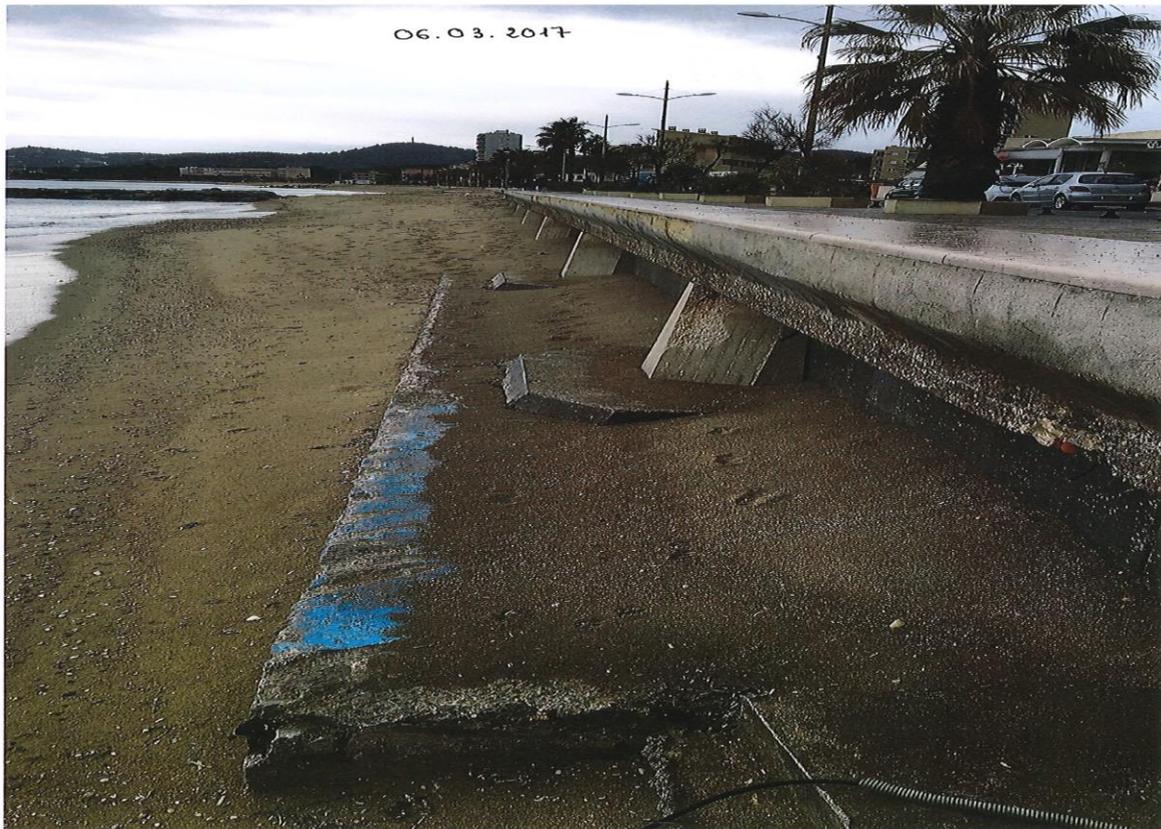


Figure 30 : Photographie de la plage du Centre-Ville prise le 06 mars 2017 (tronçon situé après l'escalier) – Commune du Lavandou

Cette photo prise également de 06 mars 2017 (Figure 30) témoigne de l'érosion intense que subi cette plage lors de tempêtes d'Est. Les dalles de bétons sont apparentes sur une partie du linéaire. Le ressaut entre la dalle et la plage est de plusieurs dizaines de centimètres révélant le retrait important du sable de la plage.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 31 : Photographie de la plage du Centre-Ville le 08 juillet 2020*

La Figure 31 est une prise de vue de la plage le 08 juillet 2020. Sur celle-ci on peut voir que la zone de run-up est coupée par le mur de soutènement en haut de plage. Dans cette situation, la plage est infime voire inexistante.

### **Intervention d'urgence à l'automne 2020 :**

A l'automne 2020, la situation est devenue critique : la plage avait pratiquement disparu sur une grande partie du linéaire du tronçon poste de secours – épi et l'avenue du Général Bouvet ainsi que l'ensemble des réseaux, situés sous la route, étaient exposés aux effets des tempêtes d'Est, arrivant fréquemment durant la période automnale et hivernale.

En accord avec la Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Var, il a été décidé de mettre en place une solution provisoire et d'urgence afin de regagner une largeur de plage et protéger les infrastructures attenantes.

Ainsi, durant l'automne et l'hiver 2020-2021, 240 big-bags d'1m<sup>3</sup> ont été disposés sur deux rangées devant le mur de soutènement le long du linéaire du tronçon épi-poste de secours. Les big-bags ont ensuite été recouverts de sable (provenant de la même plage) afin de créer une dune pour protéger le muret de la promenade du front de mer. C'est au total 4 200 m<sup>3</sup> de sable qui ont été nécessaires pour cette opération.

A partir de novembre 2020, la commune du Lavandou a réalisé un reportage photographique afin de suivre l'évolution de la plage suite à cette mesure d'urgence. Les effets de la pose des sacs de novembre 2020 à janvier 2021 sont décrits ci-après.

**Un mois seulement après la pose des sacs, nous pouvons voir qu'une grande partie du sable qui recouvrait les sacs s'est retirée.** Le sable disposé derrière les sacs est lui encore présent, protégé par ces derniers. En regardant la rose des vents de la station météorologique de l'île du Levant (station la plus proche du centre-ville), on constate que le vent a été à

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

dominante Est durant le mois de novembre (52 %). En décembre, le constat se poursuit, **le sable situé derrière les big-bags avance progressivement et recouvre ces derniers.**

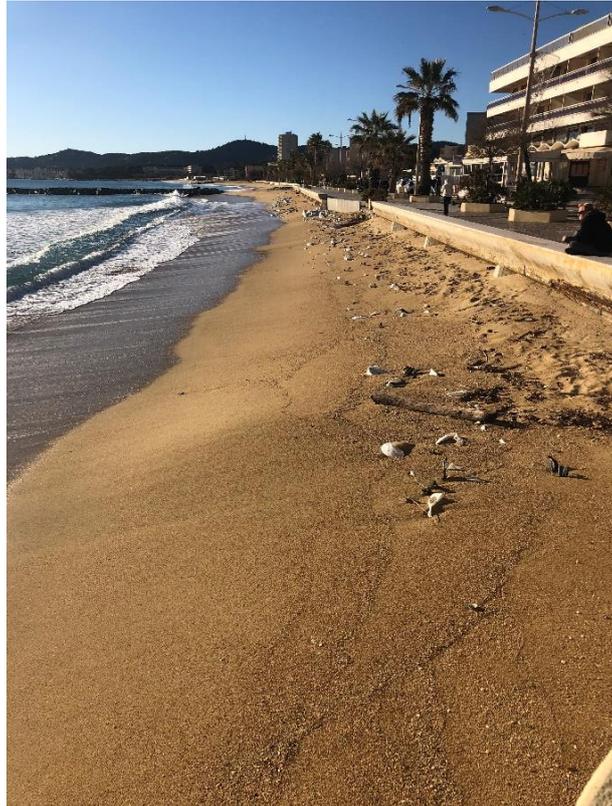


*Figure 32 : Mise en place des big-bags le long du mur de soutènement – (Photographie extraite du reportage photo)*



*Figure 33 : Création d'une dune au-dessus des big-bags (photographie extraite du reportage photo)*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 34 : Erosion totale de la dune en novembre 2020 (photographie extraite du reportage photo)*

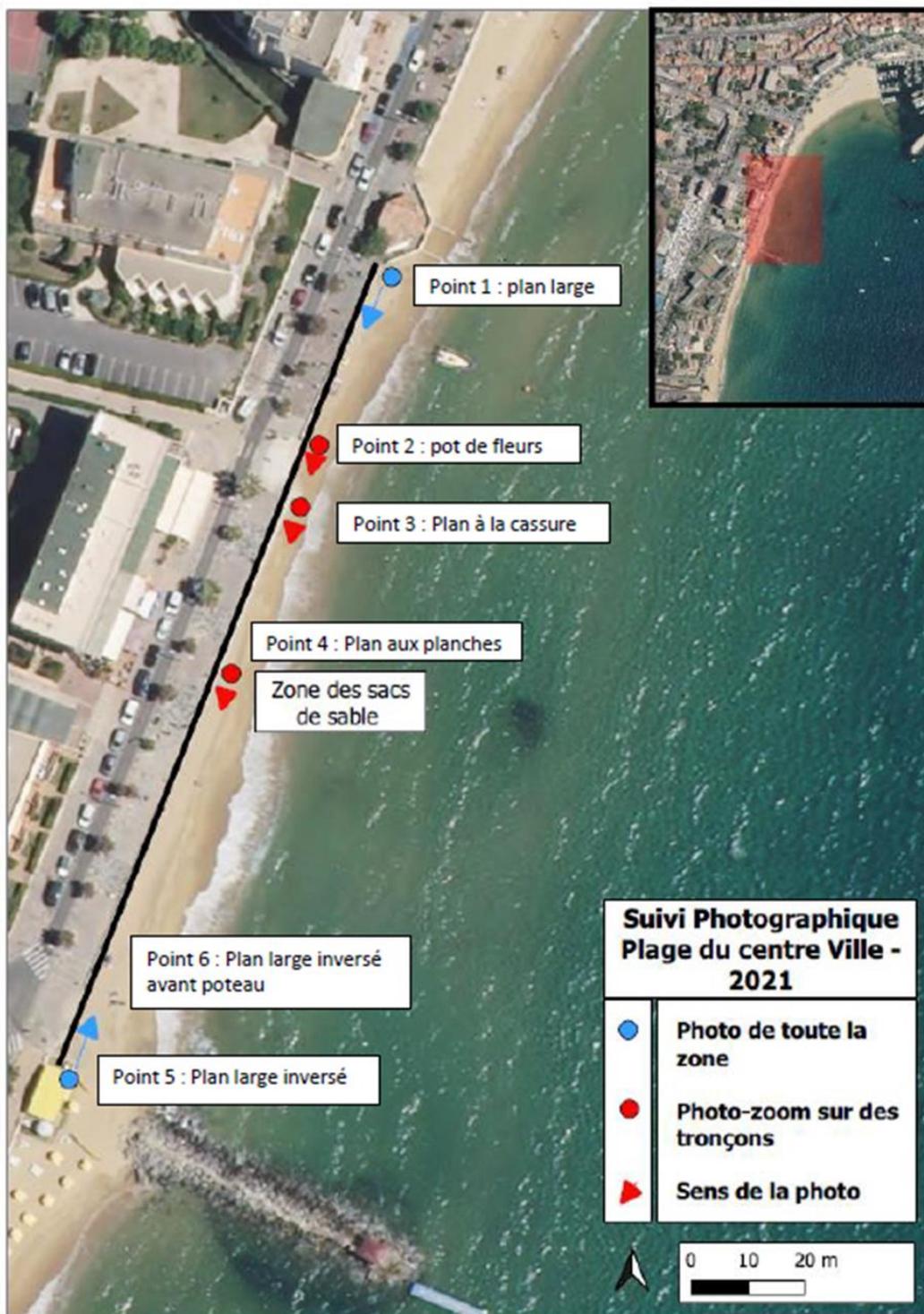


*Figure 35 : Poursuite de l'érosion de la plage en décembre 2020*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

L'effet du vent et des houles d'Est, même en l'absence de grosses tempêtes, impactent directement et durablement la plage : en quelques semaines ce sont plusieurs milliers de m<sup>3</sup> de sable qui regagnent la mer et qui ne reviennent pas.

Dès janvier 2021, un suivi photographique a été mis en place à plusieurs endroits précis du tronçon, ceci afin d'affiner les comparaisons et de distinguer si des secteurs sont davantage soumis à l'érosion que d'autres au cours du temps.



*Figure 36 : Localisation des zones de prise de photos des différents tronçons de la plage du Centre-Ville (Plan de repérage extrait de la synthèse du reportage photo)*

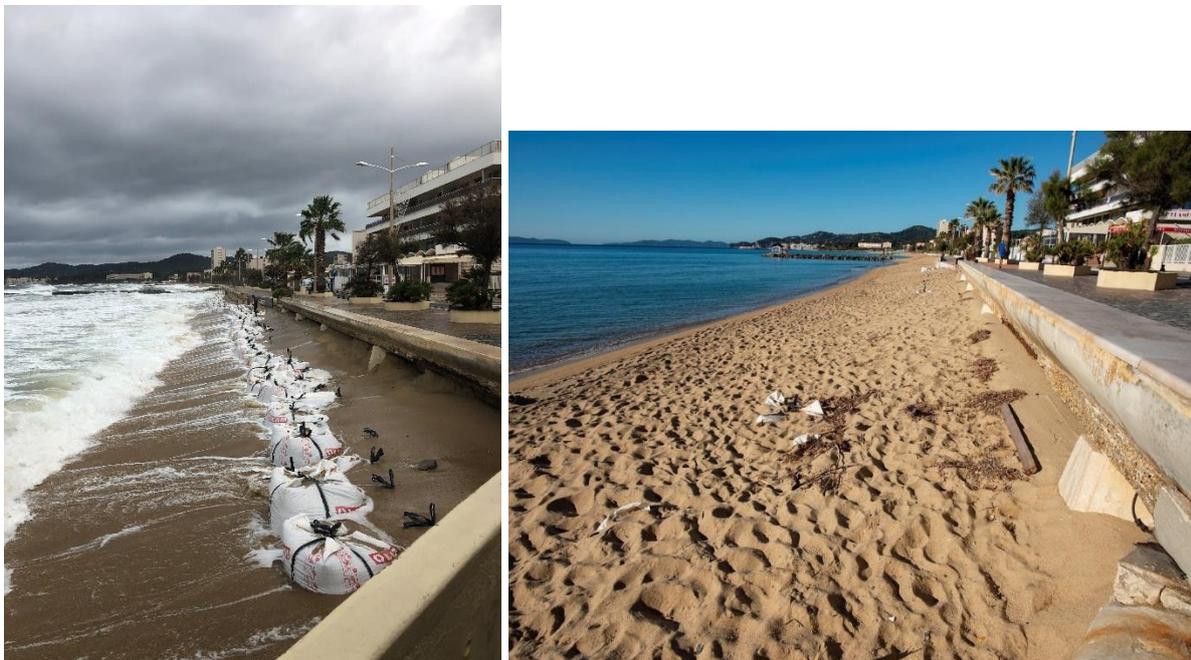
## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Ce suivi a donc permis de constater les évolutions suivantes en 2021 :

La période de novembre à mars est caractérisée par une forte érosion de la plage. La dune réalisée lors de la mise en place des big-bags a rapidement disparu. De décembre à février, le sable présent entre les big-bags et le mur de soutènement a eu tendance à recouvrir les sacs puis partir vers le large. Lors de cette période de 4 mois, les vents provenaient majoritairement de l'Est.

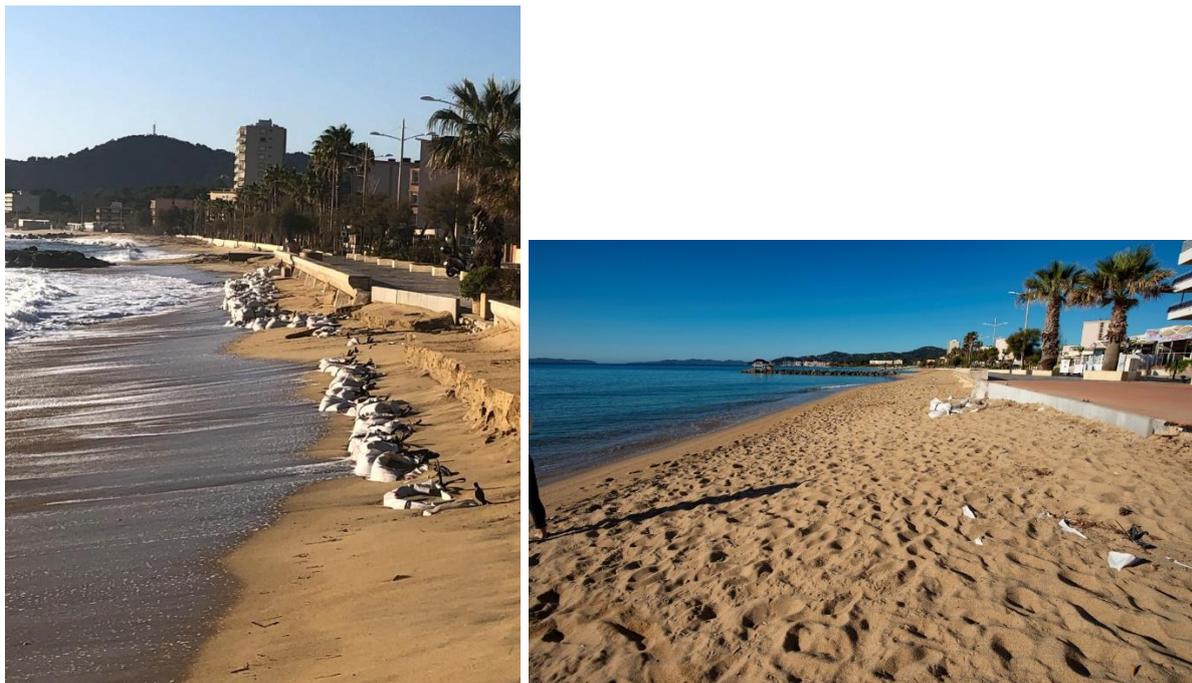
Il a fallu attendre le mois de mars 2021 pour voir une stabilisation et une évolution du linéaire. Peu à peu courant mars, on a pu observer un élargissement de la plage, corrélé à un vent à dominante Nord et Ouest.

Les mois d'avril et mai ont été des mois de stabilisation, les mouvements sédimentaires ont diminué, l'arrière-plage s'est confortée sur de nombreux tronçons. Les vents en avril étaient toujours en majorité d'Est mais avec une intensité plus faible. En mai, on note une quasi-absence de vent d'Est, mais du vent d'Ouest.



*Figure 37 : Evolution du tronçon 1 de novembre 2020 à mai 2021 (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 38 : Evolution du tronçon 2 de novembre 2020 à mai 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)*



*Figure 39 : Evolution du tronçon 3 de novembre 2020 à mai 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)*



*Figure 40 : Evolution du tronçon 4 de novembre 2020 à avril 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 41 : Evolution du tronçon 5 et 6 de novembre 2020 à mai 2021 – (Photographies extraites de la synthèse du reportage photo)*

A la fin mai 2020, une grande partie des sacs sont recouverts, 4-5 sacs dépassent de moitié et une dizaine d'anses de big-bags dépassent.

Pour des raisons de sécurité (accrochage possible des pieds dans les anses), d'environnement (plusieurs sacs s'étiolaient, pouvant créer une pollution localisée aux microplastiques), la mairie a décidé de retirer l'ensemble des sacs visibles.

Cela concernait principalement la zone entre le poste de secours et le point 3. Les travaux ont eu lieu durant la première semaine de juin 2021.

### **Evolution pendant les mois de juin, juillet, août et septembre 2021 :**

Courant du mois de juin, la plage a été relativement stable. Les mois juillet, août et septembre ont été témoins d'une reprise de l'érosion. Des « marches » se sont formées et des événements climatiques (orages) sont venus accentuer ce phénomène en septembre par la formation de sillons sur la plage. Un recul de la plage est visible par rapport à la situation de juin.



*Figure 42 : Evolution de la plage au plan large inversé entre le 23 juin et le 10 août 2021*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 43 : Situation de la plage au 3 et 17 septembre 2021 avec la formation de « marche en haut de plage »*

Bilan de cette solution provisoire :

- Cette opération, douce et réversible a joué son rôle : regagner une largeur relative de plage et protéger les aménagements en arrière-plage.
- La largeur de la plage et plus particulièrement sa hauteur sont en étroite corrélation avec les vents d'Est. Elles peuvent significativement évoluer en l'espace de quelques jours. Plusieurs milliers de m<sup>3</sup> de sable ont été emmenés par les vagues, en seulement quelques semaines, sans qu'il n'y ait eu de fortes tempêtes d'Est à déplorer. Il a fallu attendre le printemps 2021 pour voir une stabilisation et un gain de sable, qui reste cependant grandement négligeable en comparaison de la quantité déposée pour créer une dune.
- L'option de big-bags permet de piéger le sable durablement. Cependant, ce type de big-bags pose des questions de sécurité durant la saison estivale et de pollution.

A l'automne 2022, les sacs restants ainsi que ceux qui avaient été retirés en juin 2021 ont été remplacés par des sacs plus résistants de la marque WAVE BUMPER. On a constaté une évolution similaire durant la période automne-printemps 2022, avec tout de même un regain en sable moins important qu'en 2021 notamment en raison de vents d'Est toujours présents en juin.



*Figure 44: Big bag de la marque WAVE BUMPER*

L'ensemble des éléments permet d'affirmer que cette solution, réversible et douce, est efficace, sur un laps de temps court, mais demeure fragile et insuffisante. En effet, si elle permet de protéger le muret, elle n'a que peu d'impact sur l'accrétion (l'érosion s'accroît souvent devant les sacs). Ce type de protection ne peut être maintenue non plus sur un temps long car elle impacte l'aspect visuel de la plage et peut présenter des problèmes de sécurité. Il semble donc nécessaire de mettre en place une protection plus pérenne de cette plage contre l'érosion.

### 2.2.7 Gestion mise en place par la commune dans l'entretien des plages

La Commune a mis en place une gestion raisonnée et différenciée dans l'entretien de ses plages. Le 1er mot d'ordre est de laisser les banquettes de Posidonie, la laisse de mer sur place, et sans intervention, sur toutes les plages, toute l'année, et cela quelle que soit la fréquentation de la plage. Elle accueille des événements de sensibilisation à la Posidonie comme les campagnes Inf'eau mer ou SOS Posidonie. Des panneaux sont également disposés aux entrées de plage (Figure 45)

Dans le cas précis de la plage centrale, il y a très peu d'arrivée de Posidonie. Il n'y a pas de formation de banquettes et seules quelques feuilles vont rester jusqu'au printemps. Un nettoyage uniquement manuel est pratiqué sur le tronçon situé entre le poste de secours et le Batailler. Durant la période estivale, un passage quotidien est effectué, il n'y a aucun nettoyage mécanique avec cribleuse qui pourrait davantage fragiliser la plage.

Les entrées de plage étant rendues peu accessibles en raison de la baisse du niveau du sable, des escaliers en bois sont disposés et retirés à l'automne (Figure 46). Cette méthode, douce et réversible permet d'éviter le recours à des engins mécanisés mécanique pour conforter les entrées de plage avec du sable. Plusieurs escaliers ont fait l'objet d'une subvention de la région SUD-PACA dans le cadre de l'appel à projet « adaptons les littoraux au changement climatique ».

**POURQUOI LAISSE-T-ON LA POSIDONIE SUR LES PLAGES DU LAVANDOU ?**

Afin de protéger le littoral de l'érosion côtière et favoriser le fonctionnement naturel et vivant des plages, la Commune du Lavandou s'engage dans 4 actions :

- Maintenir les banquettes de Posidonie en toute saison et sur toutes les plages.
- Adopter une gestion raisonnée du nettoyage des plages (ramassage des déchets), en renforçant le ramassage manuel sur les zones à enjeux environnementaux et sur les petites et moyennes plages.
- Préserver la végétation d'arrière-plage.
- Maintenir le plus possible les éléments naturels d'une plage comme la laisse de mer.

**ZOOM SUR LA POSIDONIE**

Le poumon de la Méditerranée !

- Plante marine à fleurs, la Posidonie ne vit qu'en mer Méditerranéenne.
- Elle abrite plus de 400 espèces animales et végétales.
- Elle produit de l'oxygène et piège du CO<sub>2</sub> qui est responsable de la pollution.
- Elle atténue la houle et les vagues.
- Sa présence atteste d'une bonne qualité de l'eau et rend plus claire en retenant le sable.
- C'est une espèce protégée, à la croissance très lente (1cm/an).
- Elle est aujourd'hui en régression, impactée par la pollution et les ancres des bateaux.

1 m<sup>2</sup> de banquettes de Posidonie retient des dizaines de litres de sable !

La Posidonie perd une partie de ses feuilles à l'automne. Elles viennent se déposer en grand nombre sur les plages. Ces feuilles piègent le sable et forment des banquettes de Posidonie. Leur rôle est indispensable : elles freinent l'érosion des plages et atténuent les impacts des tempêtes. Une partie des banquettes peut demeurer toute l'année sur la plage, retenant ainsi le sable durablement.

**LA LAISSE DE MER**

Il est fréquent de voir en limite de mer, un linéaire plus foncé : il s'agit de la laisse de mer ou littéralement ce qui est laissé par la mer sur la plage. Elle se compose de coquillages, d'algues, de feuilles de Posidonie, de bois flottés, polis par la mer. Ce ne sont pas des déchets, mais bien des éléments utiles à la plage qui, en se mélangeant progressivement au sable, permettent de lutter contre l'érosion. C'est également une source de nourriture pour les oiseaux. Lors des tempêtes, la laisse de mer se dépose en haut de plage et permet le développement d'une végétation d'arrière-plage. Afin de conserver les bienfaits de cette laisse de mer, les agents municipaux prennent le temps de ramasser manuellement les déchets plastiques situés sur cette bande naturelle.

**EN LAISSANT LES BANQUETTES DE POSIDONIE TOUTE L'ANNÉE :**

- La Commune contribue à protéger naturellement et durablement les plages de l'érosion.
- Le service des plages redouble d'efforts pour effectuer un nettoyage manuel méticuleux à la place du ramassage mécanique. Le recours systématique au ramassage mécanique fragilise la structure de la plage et favorise l'érosion. La plage paraît certes plus lisse, mais le sable devient beaucoup plus volatile, accentuant l'érosion.

**QUELQUES GESTES À ADOPTER AU QUOTIDIEN POUR PROTÉGER NOS LITTORAUX**

- Ne laissez rien sur les plages, ni dans l'eau.
- Utilisez les poubelles de tri situées aux entrées de plages.
- Privilégiez les contenants réutilisables. Le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas.
- Des crandriers de plage sont à votre disposition dans les points suivants : Etablissements de plage - Office de tourisme - Mairie du Lavandou - Postes de secours

Figure 45. panneau de sensibilisation implanté aux entrées de plage



*Figure 46 : escalier en bois installé sur le tronçon en érosion*

La partie suivante de ce diagnostic va s'intéresser aux caractéristiques physiques, environnementales et socio-économiques de la plage afin de rechercher des solutions pérennes qui soient en adéquation avec les différentes spécificités de la zone d'étude.

### 2.3 Caractéristiques physiques

#### 2.3.1 Rappel sur la courantologie

La plage du Lavandou est longue de 1600m. Elle est coupée en son milieu par l'embouchure du Batailler. Elle est exposée aux dynamiques météo-marines provenant du secteur Est, responsable de l'érosion remarquable sur le tronçon poste de secours / épi.

Les études de l'association EOL-mer ont permis de déterminer la courantologie de la plage du Lavandou (Figure 47).

Ce secteur est soumis à un assez fort courant de dérive Nord-Sud, généré par les houles d'Est, et responsable du transit des sédiments du Nord de la plage du Lavandou (érosion) vers le Port de Bormes, au Sud. Mais ce transit est en partie compensé par un transport du Sud vers le Nord sous l'action des houles du Sud-est (D.E.R.E.F, 1984).

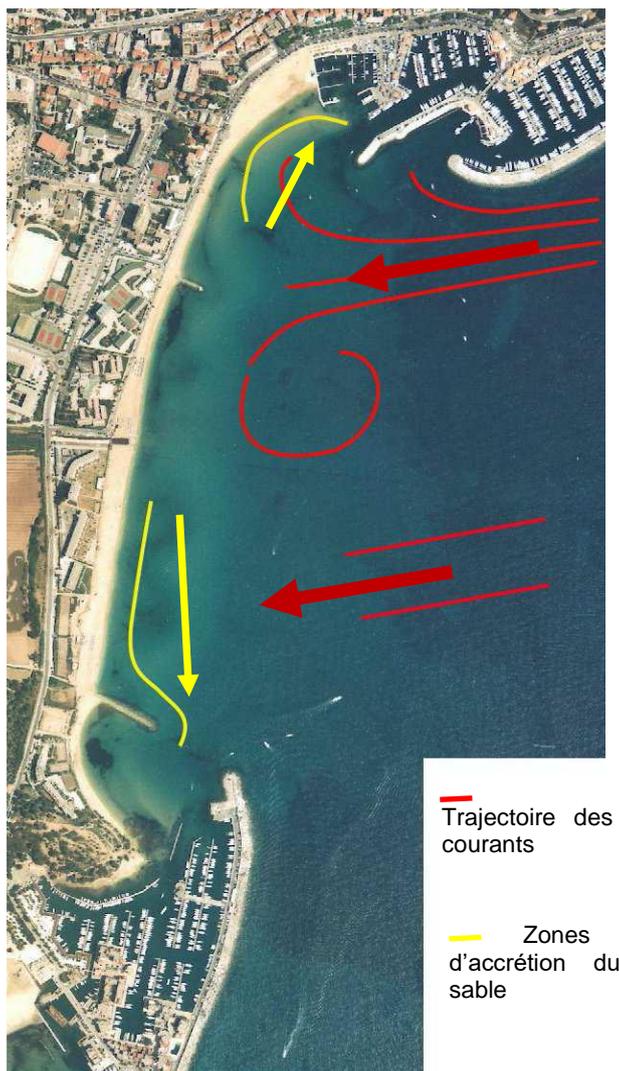
Aujourd'hui les courants et les circulations hydrosédimentaires de la partie de Nord de la plage sont fortement influencés par les aménagements présents sur et autour de celle-ci. Le tronçon poste de secours / épi apparaît comme une zone de diffraction des courants. En effet, lors d'événements d'Est, la jetée du port du Lavandou crée une déviation des courants autour de son musoir. Cela induit alors un transit sédimentaire vers le Nord (engraissement de la grande plage et ensablement de l'entrée du port). Enfin le reste des courants est dévié vers le Sud et semble former un tourbillon se déplaçant vers le large. Ces derniers entraînent alors le sable vers le Sud et le large.

De plus ce retrait n'est plus assez compensé par les apports sédimentaires provoqués par le transit Sud-Nord et les vents de terre.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Lors de ces tempêtes d'Est des vagues relativement importantes se forment (fetch très long) et arrivent frontalement sur le centre de la plage du Lavandou et entraînent un retrait important des sédiments vers le large. Elles sont le principal responsable du retrait rapide du sable vers le large.

La conséquence de cette courantologie est donc un transport sédimentaire du sable vers le Nord engraisant la plage le long du port, et un retrait du sable vers le large lors des tempêtes. Il est déjà présent, sur la plage du Centre-Ville, un épi transversal servant à maintenir le trait de côte. En effet, ce dernier bloquant légèrement le transit sédimentaire Sud / Nord permet de réduire l'érosion au Nord provoqué par le transit sédimentaire. De plus, il permet de bloquer et de casser les houles arrivant sur l'ouvrage ce qui a tendance à maintenir la plage au droit de l'ouvrage. Le retrait de celui-ci, entrainerait alors une accentuation et accélération de l'érosion de la plage.



*Figure 47 : trajectoire des houles et courants lors de tempêtes d'EST (rouge) et zones d'accrétion de sable (jaune) – Présentation Plages EOL-Mer 2020*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

### 2.3.2 Les vents

Les statistiques des mesures de vents sont réalisées sur la période 2004-2016 (Figure 48) :

- Les vents d'Ouest y demeurent prédominants en force et en direction : 49% des cas de vent d'Ouest avec des intensités maximales relevées à 17-19 m/s (60-70km/h).
- Les vents de secteurs Est et Nord-Est occupent près de 40% des journées annuelles avec des intensités maximales relevées autour de 20m/s (70km/h).
- Les vents de secteur Sud, représentent environ 6% du temps et peuvent atteindre des intensités de l'ordre de 15m/s (50km/h).

Les vents arrivant de l'Est sont les vents disposant du fetch le plus long, ils ont donc la particularité de former des houles plus importantes sur le Lavandou.

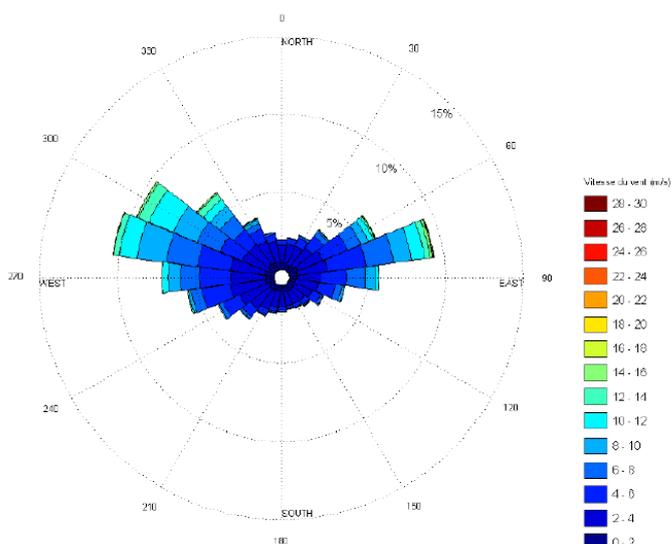
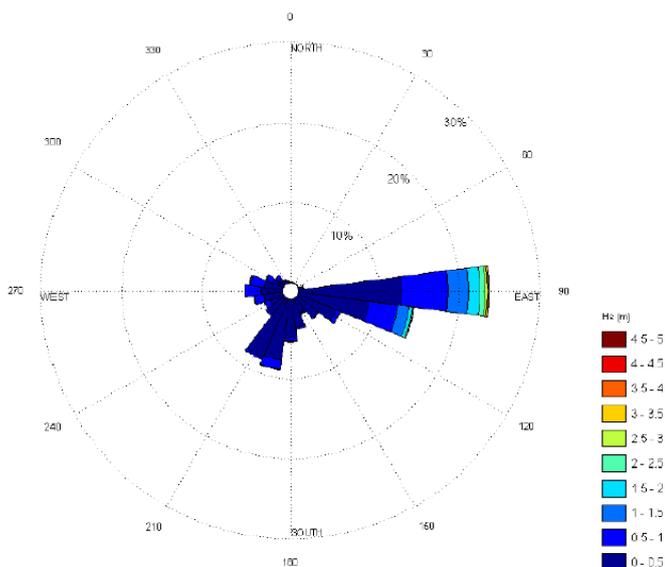


Figure 48 : Rose des vents sur la période 2004-2016 mesuré au point IOWAGA (issue d'une ancienne campagne IFREMER) à 2.5km du port du Lavandou

### 2.3.3 La houle

Sur la période 2004-2016, les houles d'Est sont dominantes en fréquence et en intensité avec dans environ 40% des cas de houles d'Est des hauteurs significatives  $H_s$  comprises entre 4.5 et 5 m (Figure 49). Les périodes moyennes associées à cette direction sont comprises entre 3 et 8s mais peuvent aller jusqu'à 11-12s. Les clapots et mers du vent arrivant sur le port du Lavandou proviennent uniquement des directions de Nord Est à Sud puisque le site est protégé des autres directions de vents par le relief. Le fetch dans les directions Est et Sud-Est sont de 300 km ce qui engendre un clapot important, voire une houle importante.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 49 : Rose des houles sur la période 2004-2016 mesuré au point IOWAGA (issue d'une ancienne campagne IFREMER) à 2.5km du port du Lavandou Créocéan 2017 »*

Dans le cadre d'une étude réalisée en 2017, par le bureau d'étude CREOCEAN, une modélisation de la houle à l'approche du port du Lavandou et de la plage centrale a été réalisée. Deux types d'évènement ont été simulés :

- Un événement d'occurrence 20 ans de direction Est et Sud.
- Un événement d'occurrence 50 ans de direction Est et Sud.

Le tableau (Tableau 1) ci-dessous regroupe les résultats des modélisations des conditions d'agitations simulés avec différentes intensités de vents.

Incidence vent (°)	Intensité (m/s)	Période de retour	Hs; Dir ; Tp au large	Hs; Dir ; Tp devant entrée du port	Hs; Tp devant ponton PSud
N70°	30 m/s	20ans	>3.25m; 9.5s	2m, 110°N, 9.5s	jusqu'à 1.2m ; 9.5s
N70°	32 m/s	50ans	>3.5m; 9.5s	2.4m, 110°N, 10s	jusqu'à 1.3m ; 10s
N170°	21.5 m/s	20ans	>2.5m;190°N; 4.8s	1.4m;170°N; 4.8s	jusqu'à 1.2m; 4.8s
N170°	23.5 m/s	50 ans	>3m;190°N; 5s	1.65m;170°N; 5s	jusqu'à 1.35m; 5s

*Tableau 1 : Résultats de la modélisation des conditions d'agitation dans le port du Lavandou, tableau extrait du rapport : Etude Créocéan 2017.*

Ci-dessous sont présentées les modélisations réalisées par Créocéan en 2017. Elles couvrent à la fois la zone portuaire et le tronçon concerné par l'érosion.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

### Modélisation de l'agitation portuaire Cas dimensionnant – Occurrence 20 ans



Cas 70°N (vent Est) – Intensité 30 m/s - Occurrence 20ans  
Agitation incidente entrée port Hs = 2m ; Tp = 9.5s

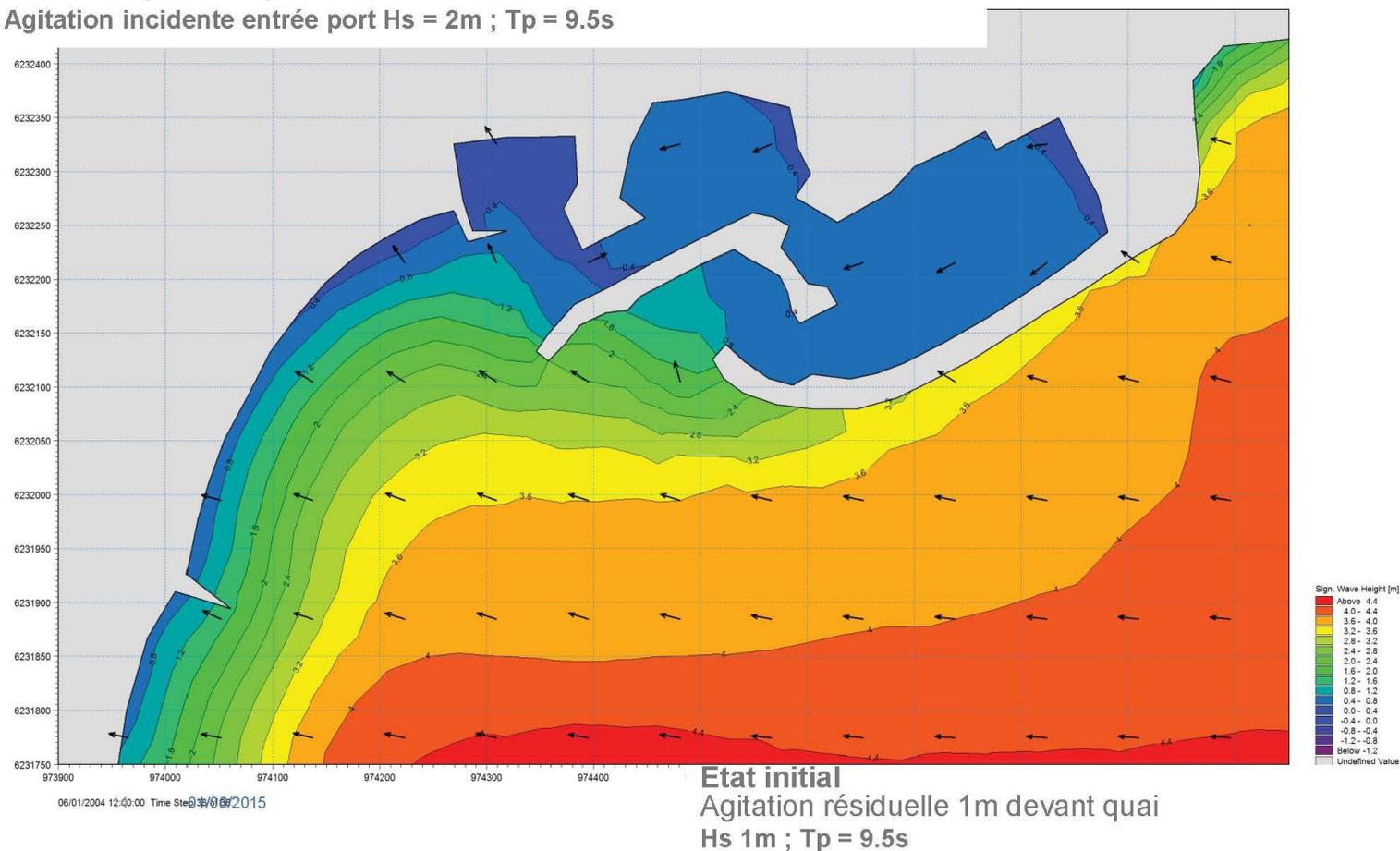


Figure 50 : Modélisation de l'agitation portuaire et sur la plage par Créocéan, occurrence 20 ans, cas vent d'EST

PHASE 1 : DIAGNOSTIC

# Modélisation de l'agitation portuaire Cas dimensionnant – Occurrence 20 ans



Cas 170°N (vent Sud-est) – Intensité 21.5 m/s - Occurrence 20ans  
Agitation incidente entrée port Hs = 1.4m ; Tp = 4.8s

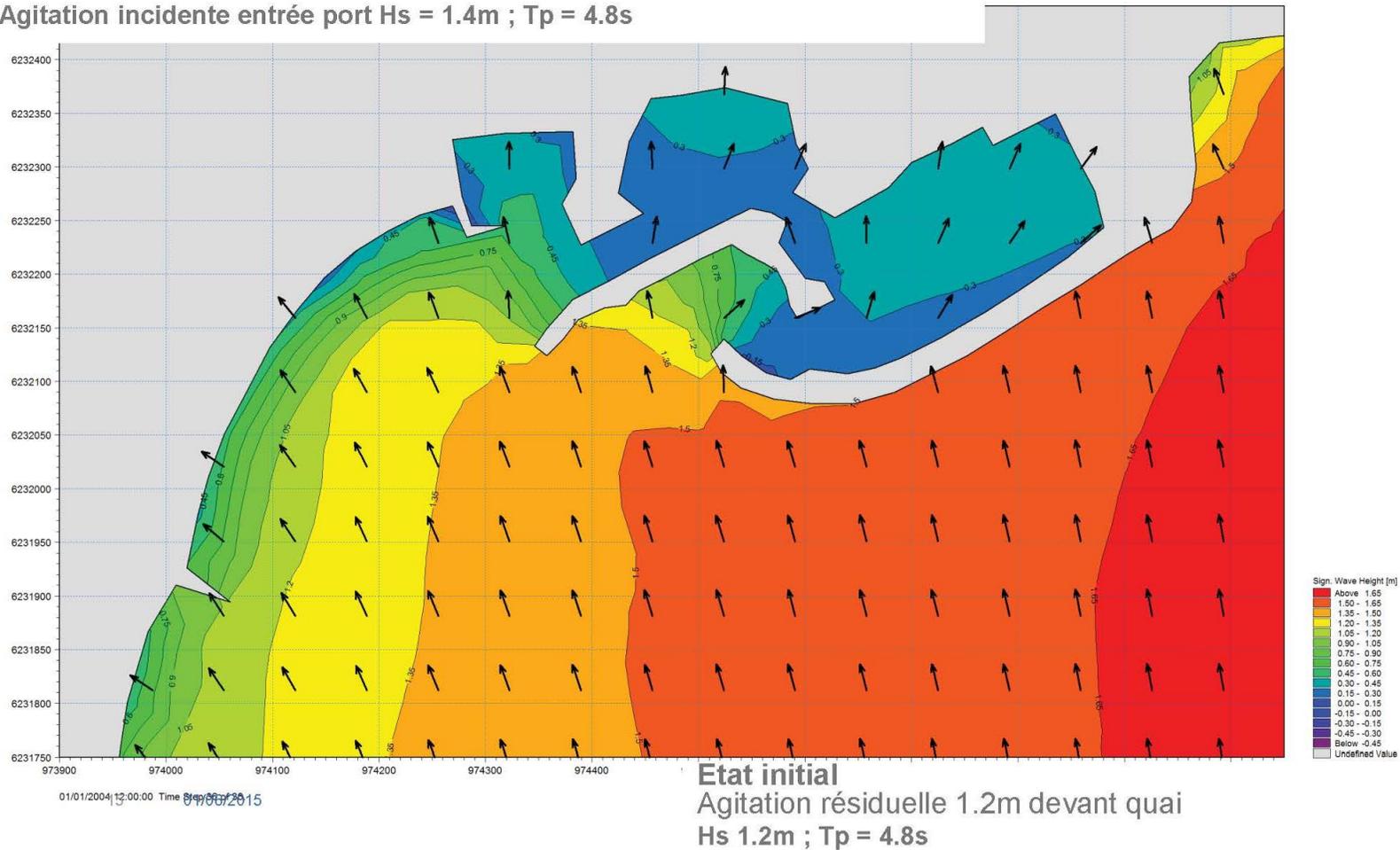


Figure 51 : Modélisation de l'agitation portuaire par Créocéan, occurrence 20 ans, cas vent de SUD-EST

PHASE 1 : DIAGNOSTIC

# Modélisation de l'agitation portuaire Cas dimensionnant – Occurrence 50 ans



Cas 70°N (vent Est) – Intensité 30 m/s - Occurrence 50ans  
Agitation incidente entrée port Hs = 2.4m ; Tp = 10s

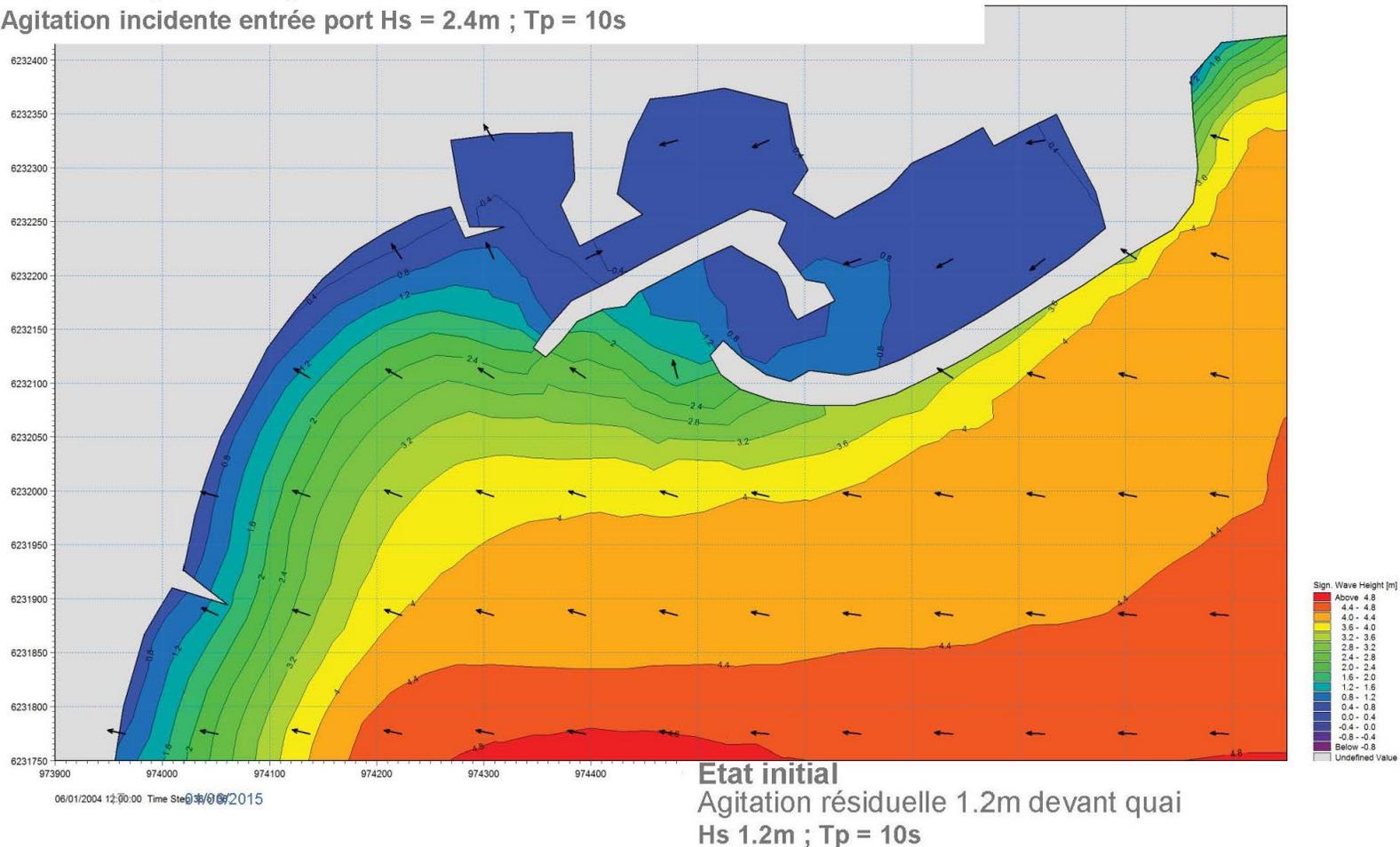
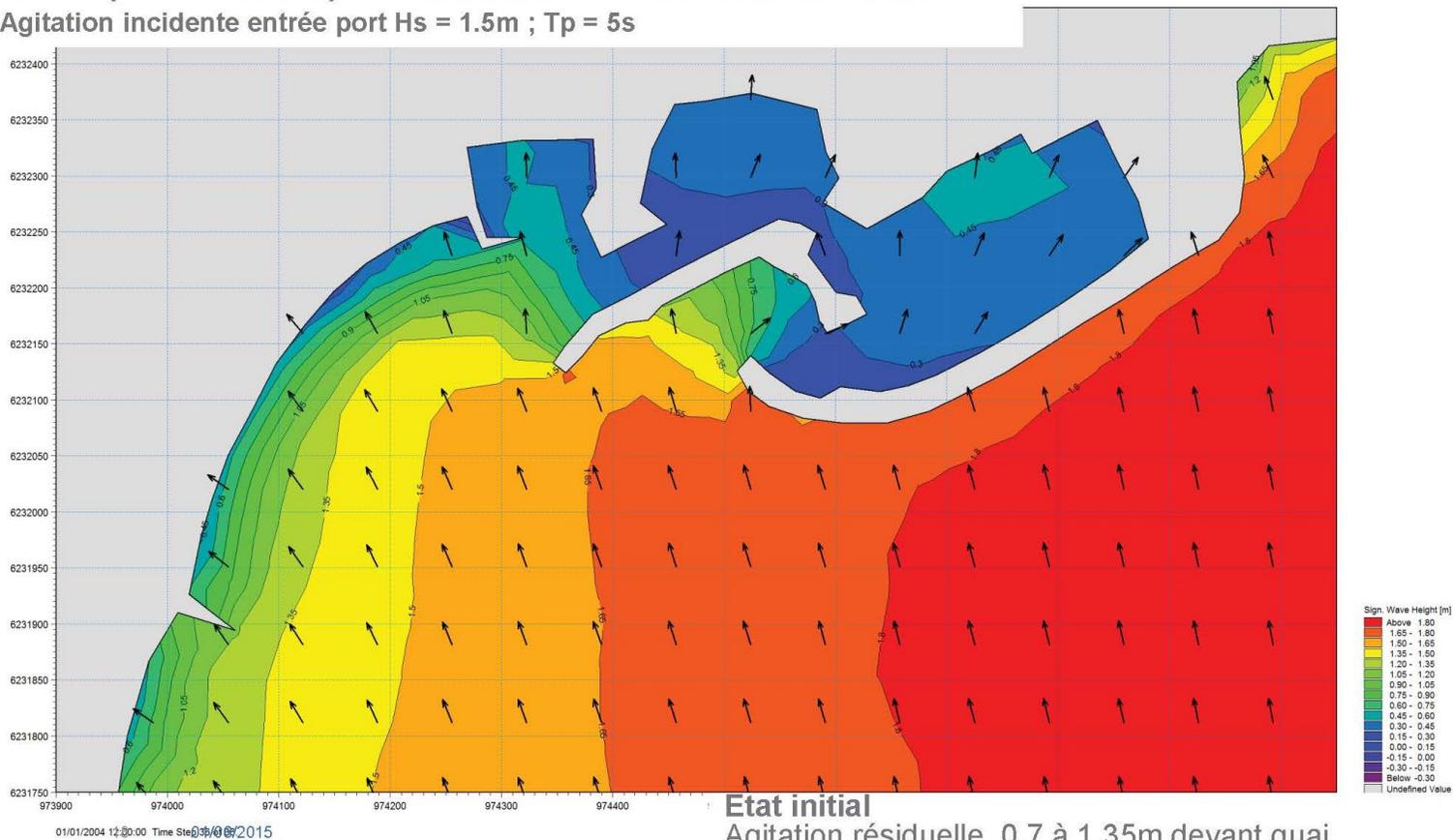


Figure 52 : Modélisation de l'agitation portuaire par Créocéan, occurrence 50 ans, cas vent d'EST

PHASE 1 : DIAGNOSTIC

# Modélisation de l'agitation portuaire Cas dimensionnant – Occurrence 50 ans

170°N (vent Sud-est) – Intensité 23.5 m/s - Occurrence 50ans  
Agitation incidente entrée port Hs = 1.5m ; Tp = 5s



Etat initial  
Agitation résiduelle 0.7 à 1.35m devant quai  
Hs 1.35m ; Tp = 5s

Figure 53 : Modélisation de l'agitation portuaire par Créocéan, occurrence 50 ans, cas vent de SUD-EST

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Ces 4 cas modélisés, nous donnent une idée de la houle pouvant arriver sur la place (à environ une centaine de mètres du rivage) :

- Hs compris entre 1.6 et 2m avec un vent d'Est de 30m/s à l'occurrence 20 ans.
- Hs compris entre 1 et 1.26 pour un vent de Sud-Est de 21.5 m/s à l'occurrence 20 ans.
- Hs compris entre 1.6 et 2m pour un vent d'Est de 30m/s à l'occurrence 50 ans.
- Hs compris entre 1.05 et 1.35m pour un vent de Sud-Est de 23.5m/s à l'occurrence 50 ans.

Dans le cadre du SCOT Provence Méditerranée, le BRGM a réalisé une étude sur la caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional PACA en 2017. Le BRGM a donc effectué des modélisations numériques d'états de mers au large. De ces modélisations il existe un point d'extraction des données au large du Lavandou nommé P80. Ce point se situe aux coordonnées 43.12°N – 6.40°E, à environ 50m de profondeur et distant de plus de 5km de la côte. La simulation réalisée à un pas de temps d'1 heure couvre la période du 01/01/1979 au 31/12/2009. Le tableau ci-dessous (Tableau 2) récapitule les principaux résultats de cette modélisation.

Période de retour (années)	Hs (m)	Int.Conf.68% Borne inf (m)	Int. Conf. 68% Borne sup (m)	Int. Conf. 95% Borne inf (m)	Int. Conf. 95% Borne sup (m)
10	4,54	4,38	4,70	4,23	4,86
20	4,77	4,56	4,98	4,36	5,18
50	5,03	4,73	5,32	4,45	5,60
100	5,18	4,82	5,55	4,48	5,89

*Tableau 2 : Résultats de la modélisation numérique des états de mer au large par BRGM au point d'extraction P80 au large du Lavandou - Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.*

A l'extrémité Sud de la baie, côté Bormes-les-Mimosas, une étude de 2008-2010 (« Nicolas Jarry, 2011, Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier ») renseigne les houles au large. Ces données, donnent une bonne idée des conditions de mer au large de notre zone d'étude.

	Houle au large après 2008 (60-90°N)	
Période de retour	Hauteur significative	Période de pic
1 an	3,3 m	8 s
10 ans	4,8 m	9 s
Tempête du 26/12/2008	5,7 m	11 s
50 ans	6,2 m	11 s
100 ans	6,8 m	12 s

*Tableau 3 : Données de houle au large du port de Bormes*

Ces données, (Tableau 2, Tableau 3), donnent une bonne idée des conditions de mer au large de notre zone d'étude.

Vue l'orientation de la plage du Centre-Ville, les houles qui impactent la plage sont celles de provenance d'Est, voire Sud-Est à Sud. Ainsi les tableaux présentés ci-dessus montre les tailles qu'atteignent les houles en provenance du secteur 60-90°N en fonction des périodes de

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

retour. Ces données restent dans l'ordre de grandeur des données de houles de la côte méditerranéenne française.



*Figure 54 : Coup de mer d'Est (photographie issue de l'Analyse des vents coups de mer du 23 novembre 2016)*

Une étude a été commandée en 2022 par la commune pour mieux définir les mouvements hydrosédimentaires de la baie. Elle a été réalisée par les bureaux d'études BW CGC et Actimar. Le modèle XBeach a été utilisé sur la cellule-hydrosédimentaire située entre les deux ports (Bormes et le Lavandou) dans 6 situations différentes (tableau ci-dessous). Trois temps de dépassement sont étudiés : 24/mois, 24h/an, 24h/10 ans selon différents secteurs directionnels (notamment direction pleine Est, là où les effets de l'érosion sont les plus importants- roses des vents ci-dessous).

N° condition	Gamme obliquité et tps dépassement Hs	Hs	Date évènement repéré	Tp	Dirm	Niveau d'eau max (marégraphe Toulon)
1	obliquité 0° 24h/mois	1,36 m	29 novembre 1999	~6 s	~100 °N	+0,21 m NGF
2	obliquité 0° 24h/an	2,39 m	20 mars 2000	~8,5 s	~100 °N	+0,19 m NGF
3	obliquité 0° 24h/10ans	3,07 m	9 décembre 1996	~10 s	~100 °N	+0,42 m NGF
4	obliquité -20° 24h/an	1,01 m	20 avril 2003	~6 s	~125°N	+0,30 m NGF
5	obliquité -40° 24h/an	0,85 m	28 octobre 2018	~9 s	~150°N	+0,58 m NGF
6	obliquité -60° 24h/an	1,00 m	16-17 janvier 2014	~7 s	~170°N	+0,49 m NGF

*Tableau 4. Conditions des évènements utilisés pour le modèle hydrosédimentaire*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

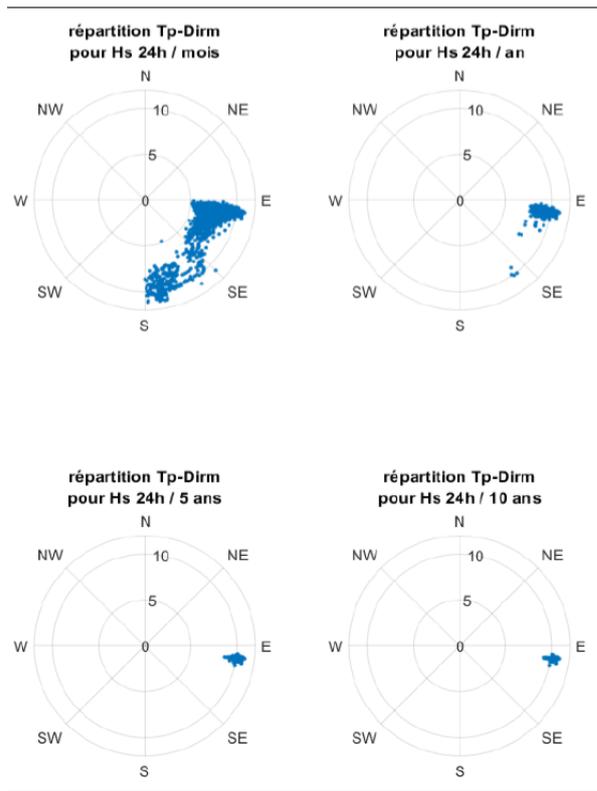


Diagramme  $T_p$ -Dir associé aux Hs toutes directions confondues (pt 2 ; période 1992-2021)

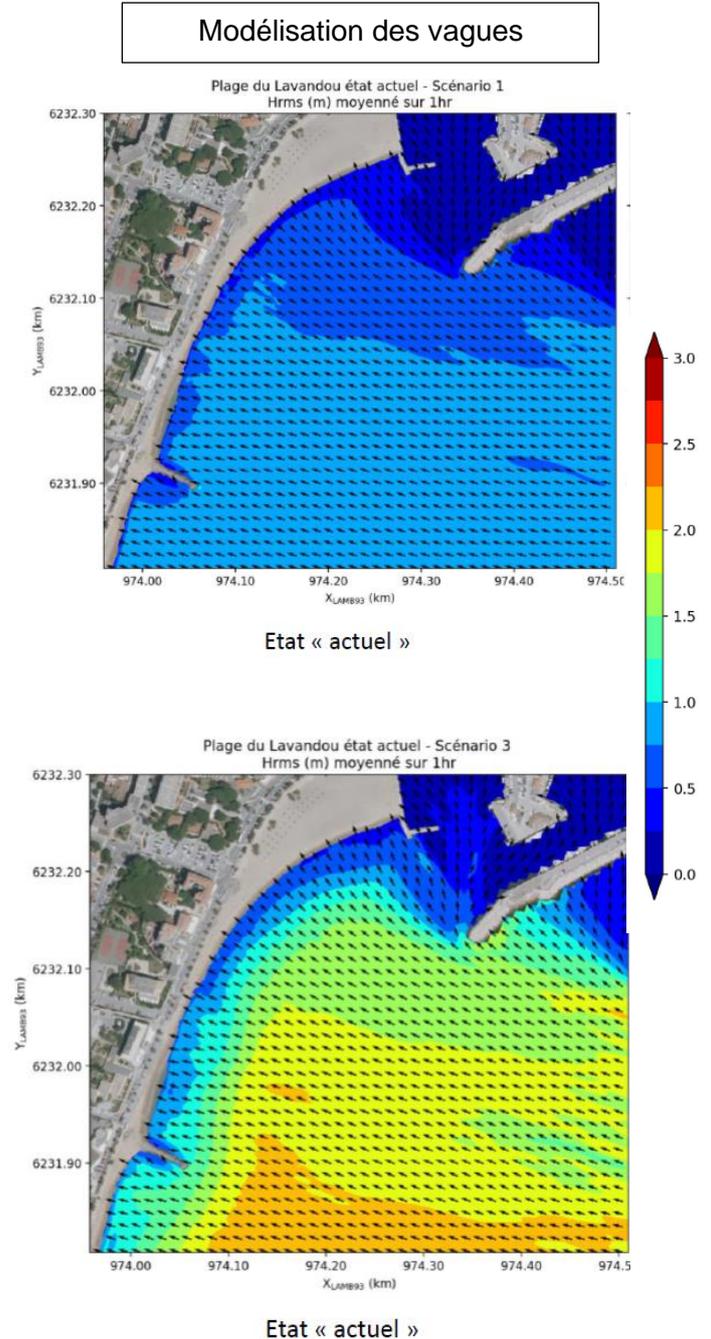


Figure 55. Modélisation des vagues, plage du centre-ville du Lavandou – Actimar 2022

Les modélisations, selon les différentes conditions, viennent 1/ confirmer les résultats des précédentes modélisations qui montraient un effet érosif des houles d'Est à Sud-Est sur la plage du centre-ville, particulièrement dans sa partie centrale ; 2/ affiner le rôle joué par l'épi central. Aux abords de celui-ci, la hauteur des vagues est diminuée, ainsi que les transports sédimentaires de part et d'autre.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

### 2.3.4 Bathymétrie

#### 2.3.4.1 Bathymétrie issue des données du Shom

Ci-dessous, est présentée la bathymétrie à l'approche de la plage du Centre-Ville. Cette bathymétrie est issue des données Litto3D® du Shom ainsi que d'une étude EOL Mer. Les profondeurs indiquées sur la carte sont en mètres NGF. La plage possède, en partie immergée, une pente d'environ 2% sur une distance d'environ 450m au droit de la zone d'études.

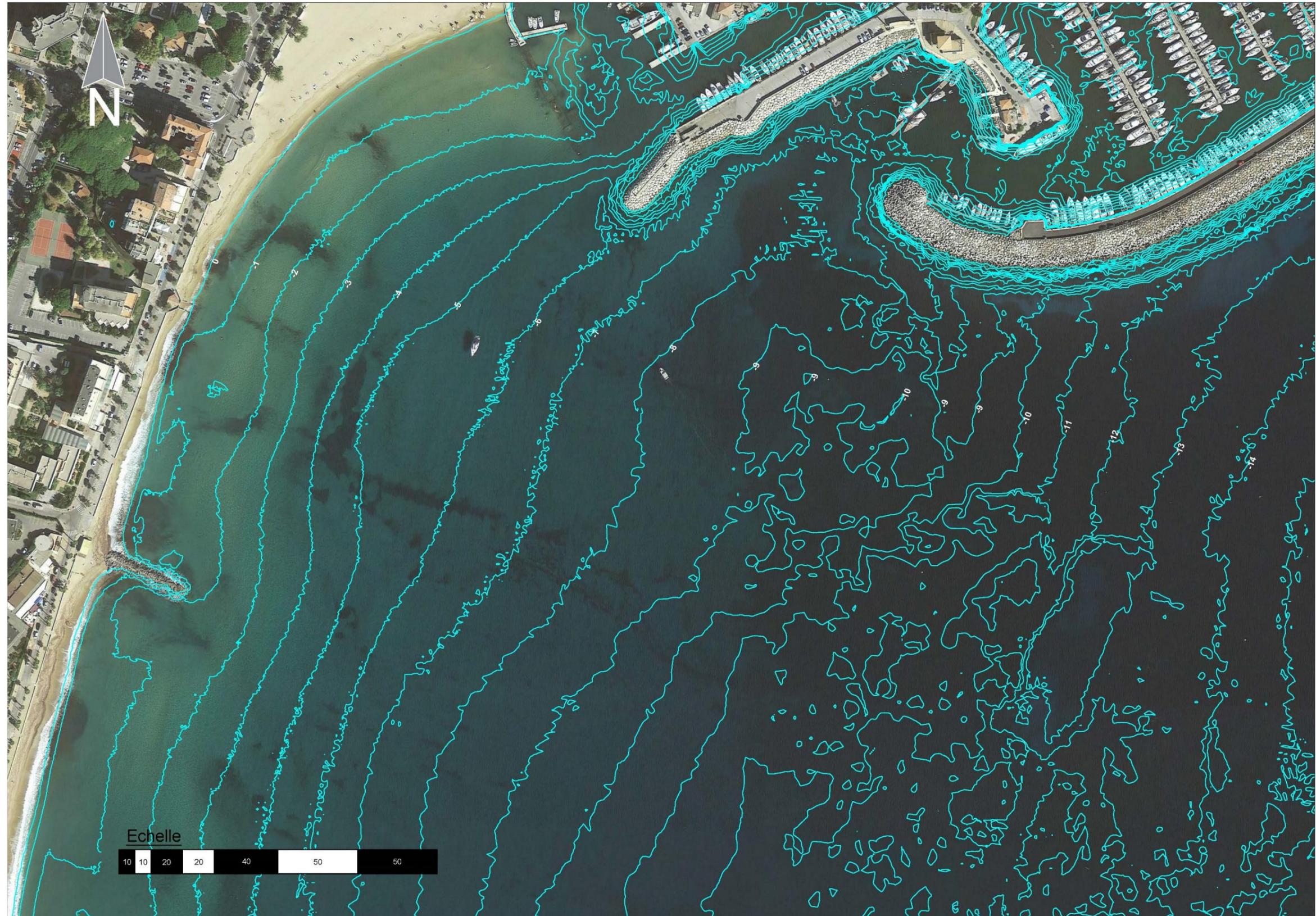
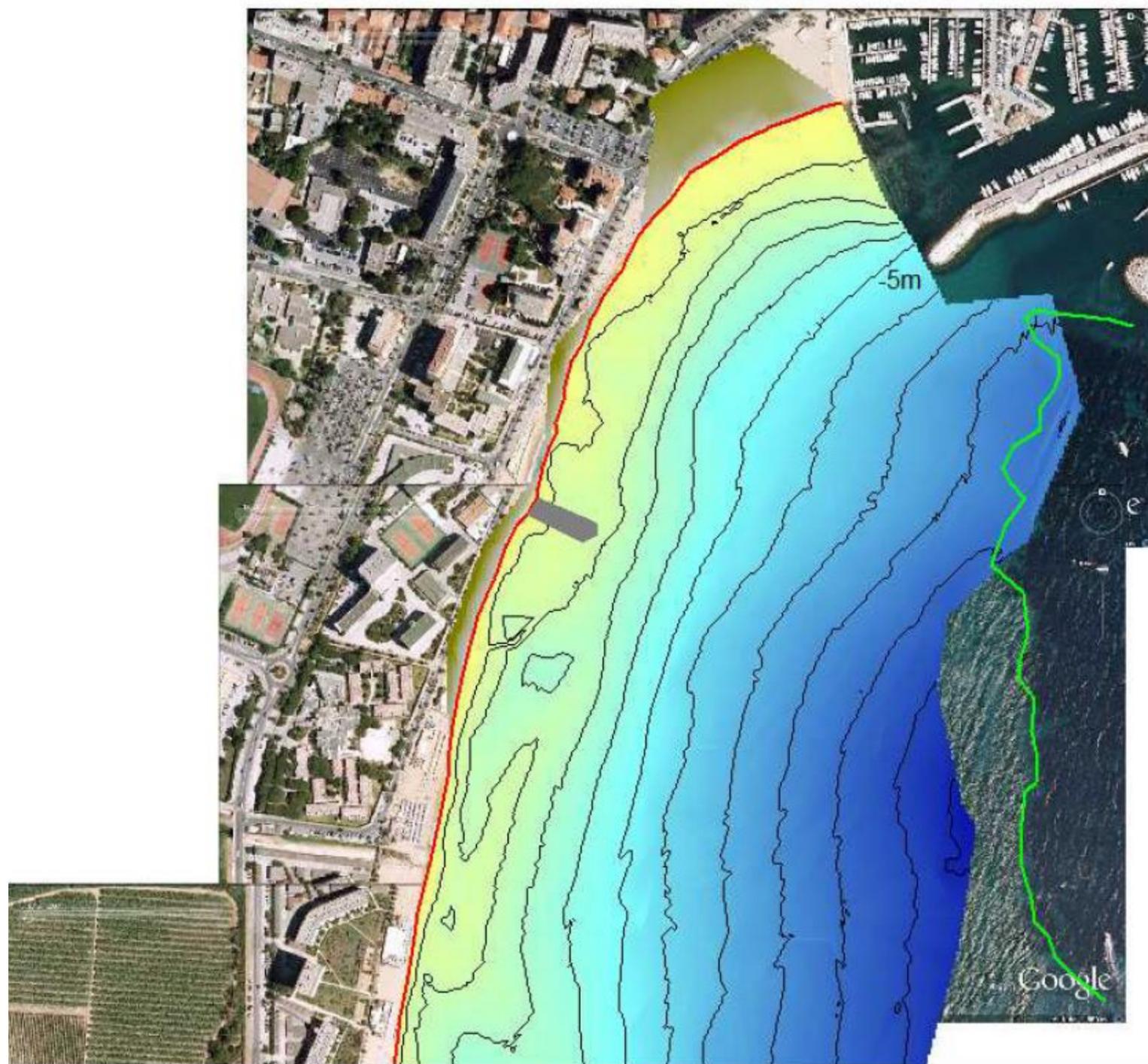


Figure 56 : Carte bathymétrique construite à partir des données Litto3D® du Shom



N  
W E  
S

0 100m

Echelle = 1 / 5 000

Projection Lambert III Sud  
Ellipsoïde : Clarke, 1880

**LEGENDE :**

limite des herbiers

Altimétrie

2.0000  
1.0000  
0.0000  
-2.0000  
-4.0000  
-6.0000  
-8.0000  
-10.0000  
-12.0000

Profondeur en m

**EOL-Mer : SERANTONI**

1 Place de l'église  
15 160 Allanche

Tel: 06 12 62 65 30  
E-mail : serantoni.philippe@neuf.fr

Carte 1A - Bathymetrie Plage du Lavandou Ville octobre 2021

Figure 57 : Carte bathymétrique construite à partir des données EOL-Mer

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

### 2.3.5 Conclusion sur les caractéristiques physiques

Depuis 1955, plusieurs facteurs ont accentué l'évolution de l'érosion observée. En effet, l'aménagement de différents ouvrages (port du Lavandou, épis dont une partie a été supprimée, etc.) ont ainsi modifié la courantologie et les conditions hydrosédimentaires du secteur. Le centre de la plage du Lavandou et notamment **le tronçon poste de secours / épi se distingue comme une zone de diffraction des courants** :

- Déviés vers le Nord, provoquant l'engraissement de la plage au Nord et l'ensablement de l'entrée de port.
- Non déviés, frappent frontalement la plage entraînant un transport sédimentaire vers le large.
- Dévié vers le Sud, entraînant un transit sédimentaire vers le Sud puis le large.

Aujourd'hui les causes principales de l'érosion de la plage du centre-ville sont les coups de vents d'Est et les coups de mer frappant lors de tempêtes d'Est, frontalement à la plage du Lavandou. A l'aide d'un **fetch très long (environ 300km)**, des **vagues de taille conséquentes se forment au large** du Lavandou (pour une occurrence cinquantennale on a des vagues de hauteur significative 6.2m et de période 11). Ces vagues arrivent donc frontalement sur la plage, avec force, engendrant un retrait rapide et important du sable vers le large. Or, ce retrait n'est plus assez compensé par les apports de sables provoqués par le transit Sud-Nord et les vents de terre.

Le vent **d'Est** souffle, environ 40% du temps par rapport aux autres vents sur le Lavandou, avec des intensités maximales pouvant aller jusqu'à 20m/s, provoquant une érosion régulière en période hivernale.

## 2.4 Caractéristiques environnementales

La plage du Centre-ville est une plage de sable fin. Des herbiers de posidonie sont présents mais éloignés de la zone concernée par cette étude (Figure 58, étude d'Andromède Océanologie).

Plusieurs cartographies ont été produites. La première est issue du projet Cartographie des Habitats Marins (CARTHAM – Agence des Aires Marines Protégées ; 2012) et a été reprise dans le Document d'Objectifs Natura 2000 « Rade d'Hyères, Iles d'Hyères et Salins d'Hyères et des Pesquiers » – Parc national de Port-Cros ; 2021).

Ces données sont régulièrement affinées sur la plateforme Medtrix via le projet DONIA, développé par Andromède Océanologie.

L'habitat herbier de Posidonie se situe à un minimum de 370 m depuis le poste de secours de la plage (Figure 59).

Les autres habitats situés sur la zone sont les « Biocénoses des sables fins de haut niveau » et les « biocénoses des sables fins bien calibrés ».

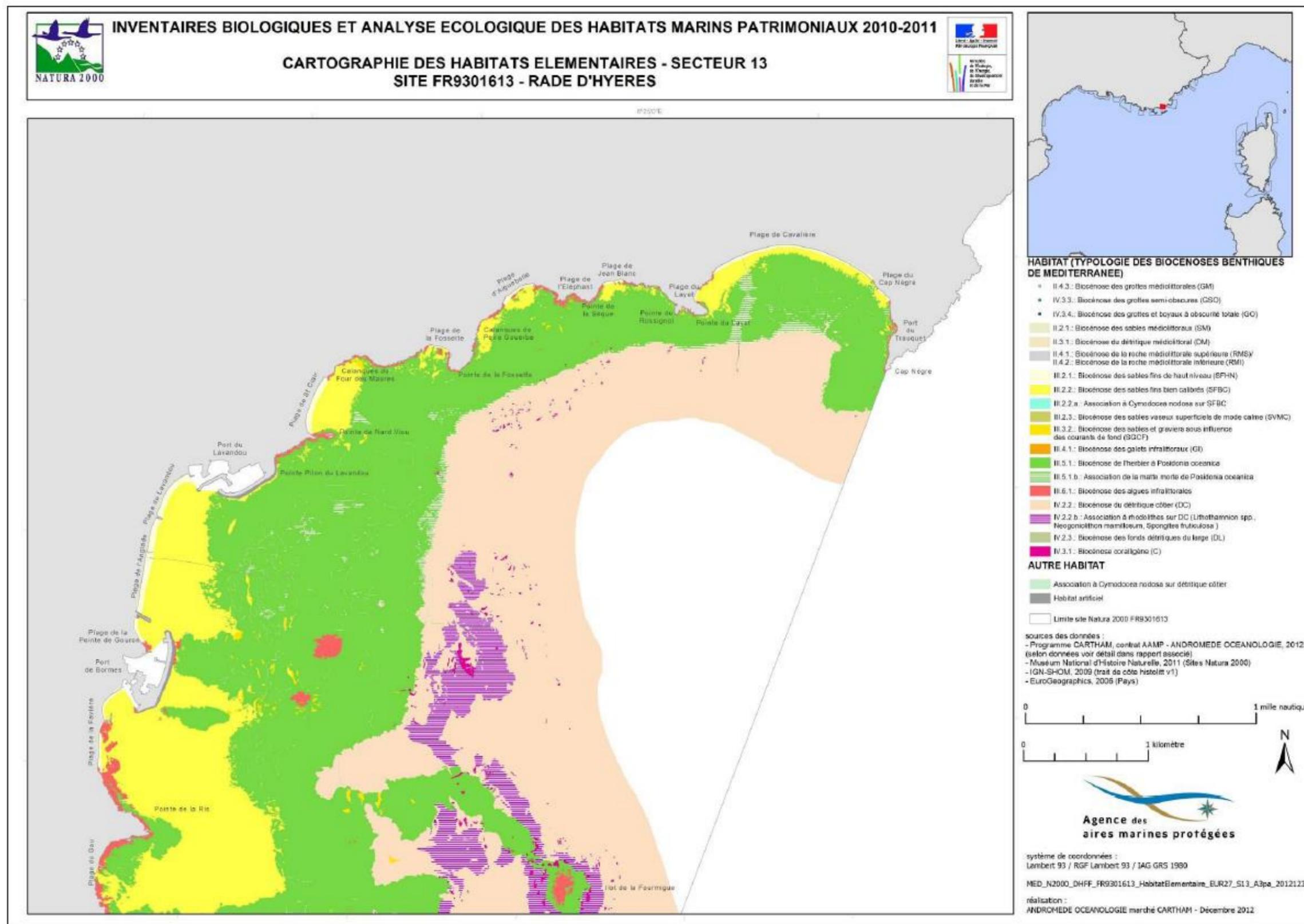


Figure 58 : Habitats Marins sur le Lavandou – Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Rade d'Hyères » FR 93 01993-Année 2012 – ANDROMEDE OCEANOLOGIE – Février 2013

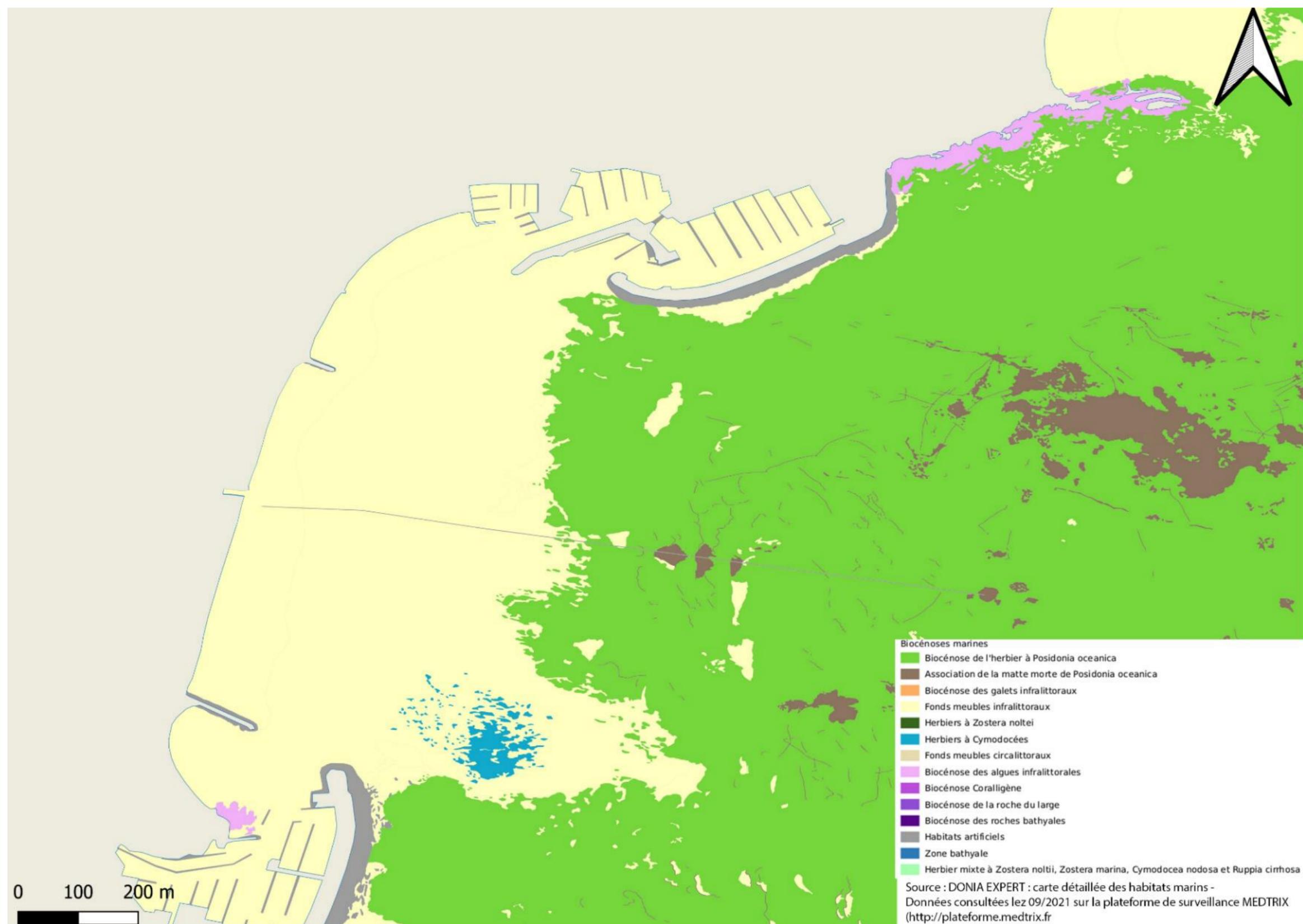


Figure 59 : Cartographie de la biocénose autour de la plage du Centre-Ville du Lavandou – DONIA : Cartographie des habitats - Données consultées en juillet 2021 sur la plateforme de surveillance MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr>).

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

La commune a également procédé à des explorations sur le terrain afin de vérifier la possible présence d'herbiers de Posidonie éparses ou de Cymodocées. C'est l'association Eol mer qui est intervenue. Le secteur exploré se situe donc entre le poste de secours et l'épi, sur une largeur d'un peu plus de 200 mètres.



*Figure 60 : Photographies réalisées lors de l'inspection sous-marine réalisée par EOL-Mer*

### **Les conclusions sont les suivantes :**

La limite supérieure de l'herbier de Posidonie se situe à environ 390 mètres du rivage. La zone inspectée est constituée de fond sableux. Il n'est relevé aucune présence de Posidonie ou de Cymodocées, ni d'espèces envahissantes comme *Caulerpa Taxifolia* ou *Caulerpa cylindracea*.

On note la présence de débris de posidonie ballottés par la houle. Ils sont régulièrement disposés sur le fond. Ils se concentrent à proximité de la digue, mettant ainsi en évidence le sens privilégié du transit sédimentaire (nord-sud) dans ce secteur.

Il n'est pas noté de présence animale particulière. La vie est surtout concentrée à proximité de l'épi où l'on peut voir de jeunes sars et des castagnoles. De la même façon il n'est pas noté la présence d'animaux benthiques.

Sur la partie plage, le milieu est entièrement sableux, sans végétation (Figure 61), il n'y a pas de formation de dunes. La laisse de mer est en quantité insuffisante et ne reste pas pour envisager la formation d'une végétation. La zone n'est pas fréquentée par des oiseaux.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



Figure 61 : plage sableuse du tronçon érodé

### 2.5 Qualité des eaux de baignade

En France, la qualité des eaux de baignade fait l'objet d'une surveillance sanitaire, pendant la saison estivale. Ce contrôle sanitaire des eaux de baignade est mis en œuvre à l'échelon préfectoral par les Agences Régionales de Santé (ARS), services déconcentrés du ministère chargé de la santé.

L'eau des sites de baignade est contrôlée au minimum une fois par semaine.

Les sites de baignade contrôlés sont en pratique des zones fréquentées de façon non occasionnelle où la fréquentation instantanée pendant la saison balnéaire est supérieure à 10 baigneurs.

Plages contrôlées	2017	2018	2019	2020	Légende
Centre-Ville Batailler Centre (entre les cours d'eau)					Excellent                Bon                Suffisant Insuffisant                Insuffisamment de prélèvements                Site non classé

Tableau 5 : Classement de la plage du Centre-Ville du Lavandou ([Baignade.sante.gouv.fr](http://Baignade.sante.gouv.fr))

La qualité des eaux de la plage du Centre-Ville est classée excellente pour la baignade (Tableau 5) conformément à l'avis rendu par l'ARS dans ses résultats de classement 2017, 2018, 2019 et 2020.

La plage du Centre-Ville est également labélisée Pavillon Bleu. Le pavillon bleu est un label environnemental et touristique décerné aux plages et ports depuis 1985 respectant plusieurs critères. Les critères de labélisation des plages sont :

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

- Education à l'environnement :
  - Existence d'informations relatives aux espaces naturels à proximité de la plage.
  - Affichage du code environnemental de bonne conduite.
  - Affichage des 5 activités d'éducation à l'environnement.
- Gestion des déchets :
  - Poubelles sur la plage ou à proximité, avec des consignes de tri claires et visibles.
  - Propreté des plages.
- Gestion de l'eau :
  - 5 analyses des eaux de baignade minimum par saison avec un maximum d'intervalle de 31 jours.
  - Affichage des résultats d'analyse d'eau sur toutes les plages labellisées.
  - Profil de plage selon la directive 2006/7/CE sur les eaux de baignade.
  - Pas d'influence de rejet à proximité des zones de baignade.
  - Assainissement des sanitaires.
  - Point d'eau potable.
  - Suivi des coraux et herbiers marins.
- Environnement général :
  - Niveau de sécurité satisfaisant (matériel et personnel).
  - Affichage des critères du Pavillon Bleu, des coordonnées de « Teragir » et du site internet du Pavillon Bleu.
  - Affichage d'un plan de plage (avec légende et pictogrammes).
  - Un niveau adéquat d'équipements en sanitaires.
  - Existence d'au moins une plage aménagée pour accueillir les personnes à mobilité réduite (accès et sanitaires).
  - Bon entretien des bâtiments.
  - Zonage des activités.
  - Règlementation de la circulation de véhicules sur la plage.
  - Accessibilité à la plage.
  - Interdiction des animaux sur la plage.

Le label Pavillon bleu est ainsi un gage de sécurité, qualité des eaux de baignade et de propreté des plages.

## 2.6 Rappel du contexte réglementaire environnemental

### 2.6.1 Site Natura 2000

La plage du centre-ville du Lavandou se situe en bordure des sites Natura 2000 :

- ZPS - FR9310020 Iles d'Hyères
- ZSC - FR9301613 Rade d'Hyères

Ces deux sites NATURA 2000 font l'objet d'une gestion commune par le Parc national de Port-Cros. Ils ont fait l'objet d'un Document d'Objectif commun, qui a été approuvé en 2021.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 62 : Localisation des sites NATURA 2000 aux alentours de la plage du Centre-ville (Géoportail)*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

### 2.6.2 Zone naturelle d'intérêt écologique, floristique et faunistique (ZNIEFF)

La plage du centre-ville du Lavandou n'est située au sein d'aucune ZNIEFF.

Le projet se localise à proximité des ZNIEFFs suivantes :

- à 90m du site ZNIEFF marine type II 93M000085 « herbier de posidonies du Lavandou et de Bormes-les-Mimosas » (1)
- A 3,4km de la ZNIEFF marine de type II 93M000088 « Eboulis profond du Sud-Est du Lavandou » (2)
- A 3,4km de la ZNIEFF marine de type II 93M000084 « du Cap Bénat à la pointe de l'Esquillette » (3)
- A 4km de la ZNIEFF marine de type I 93M000059 « Sèche de la Fourmigue » (4)

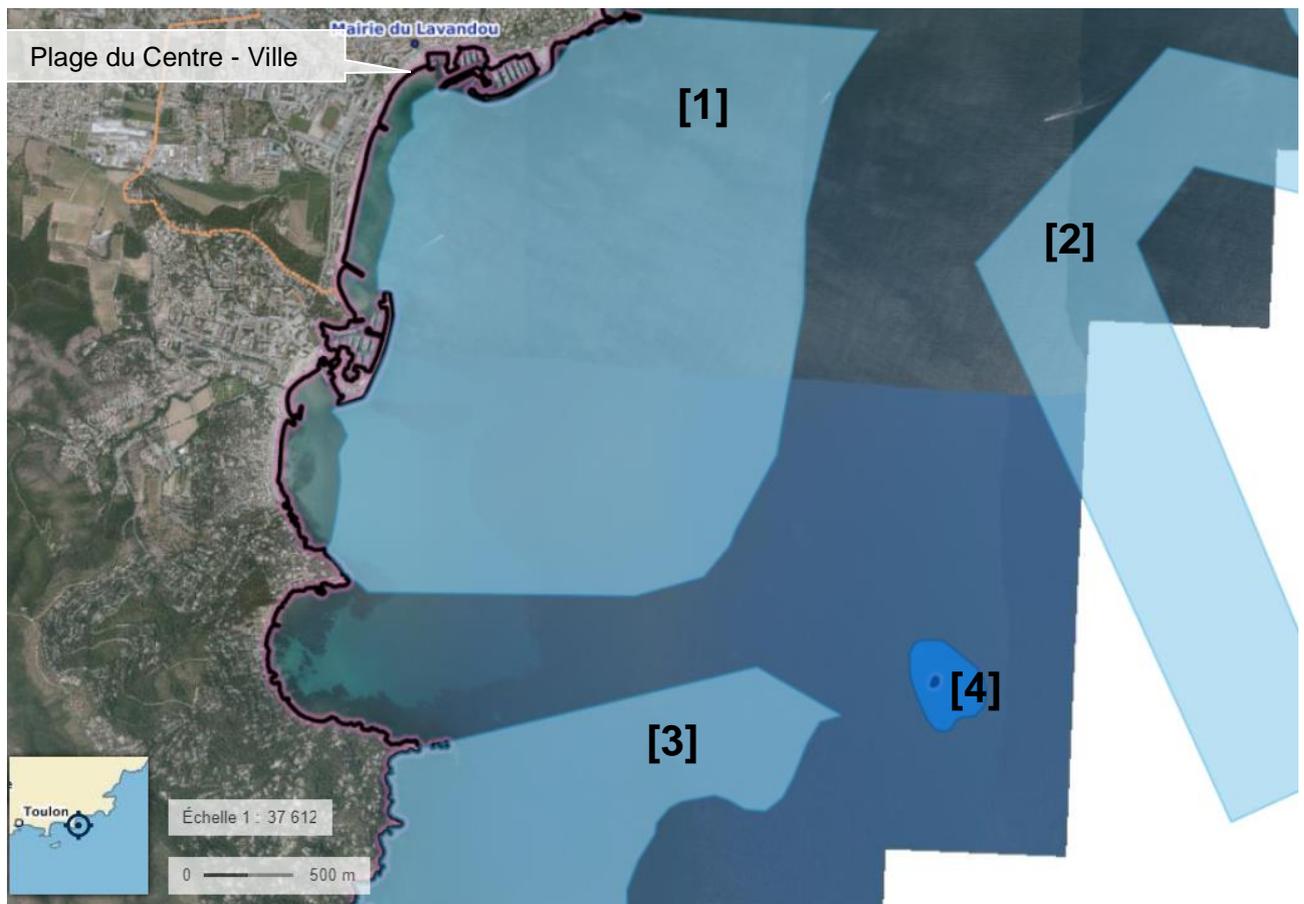


Figure 63 : Localisation des ZNIEFF aux alentours de la plage du Centre-ville (Géoportail)

### 2.6.3 Parc national de Port-Cros

Premier parc marin créé en Europe, le Parc national de Port-Cros est constitué de l'île de Port-Cros et des espaces naturels propriétés de l'État, de l'île de Porquerolles (pour la partie cœur) et de cinq communes signataires de la charte : La Garde, Le Pradet, Hyères-les-Palmiers, La Croix-Valmer et Ramatuelle (pour l'aire d'adhésion).

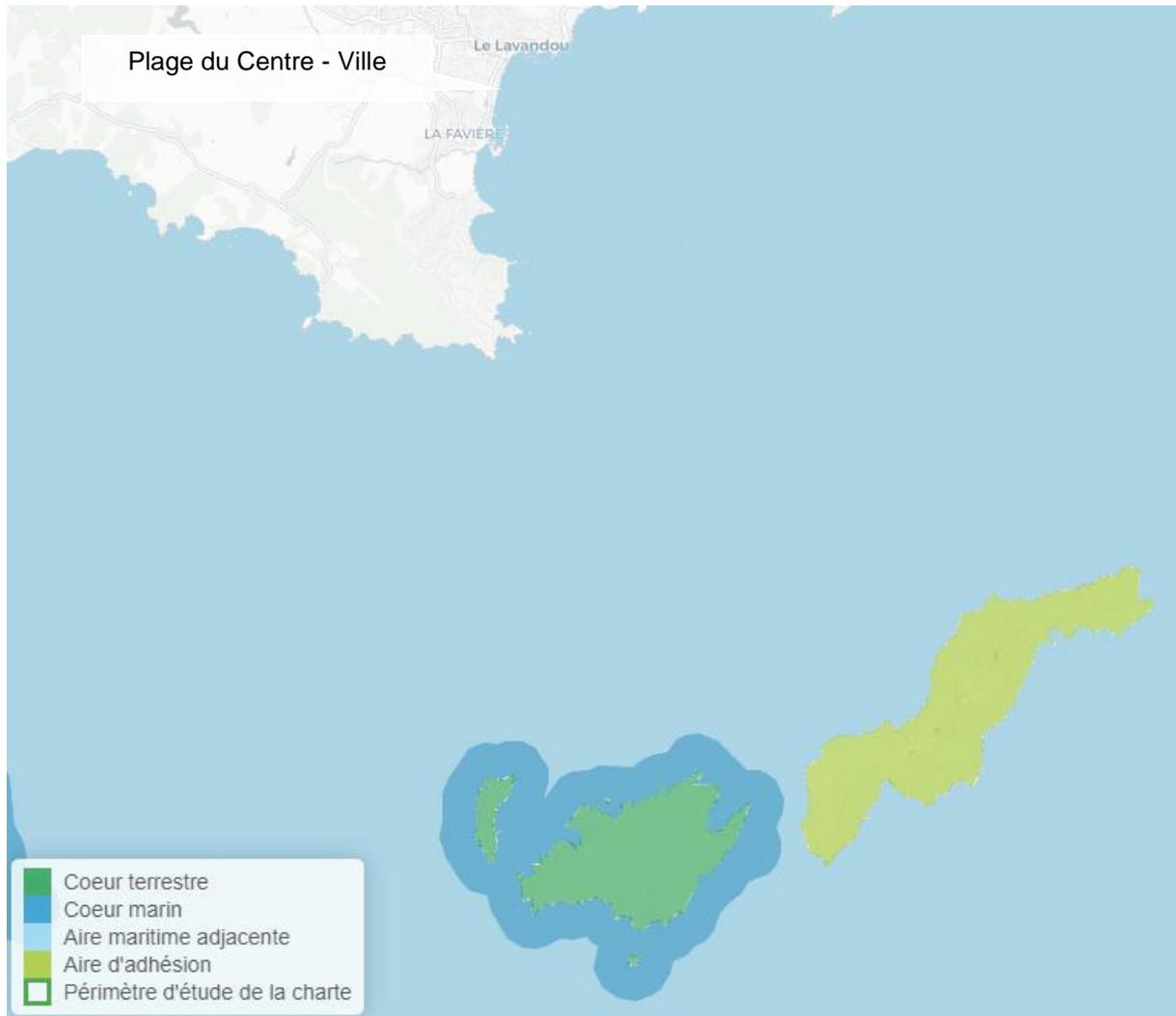
Escale privilégiée pour les oiseaux migrateurs, il est un lieu de vie pour des oiseaux rares en Méditerranée, comme les puffins. Le territoire abrite également des espèces terrestres endémiques comme le discoglosse sarde et le phyllodactyle d'Europe.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Le milieu marin tire son originalité de ses paysages sous-marins : l'herbier de posidonie et le coralligène, habité par plus de 180 espèces de poissons et de nombreux invertébrés qui y trouvent refuge.

Le Parc national de Port-Cros administre le Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles chargé de la sauvegarde de la flore sauvage de Méditerranée. Il anime la partie française du Sanctuaire Pelagos pour la protection des mammifères marins.

Le plan d'eau de la plage du centre-ville du Lavandou se situe au sein du zonage du Parc national de Port-Cros dans « l'Aire maritime adjacente » comme le montre la carte de localisation suivante :



*Figure 64 : Localisation du projet au sein des eaux du Parc National de Port-Cros (Source : Parc National de Port-Cros)*

### 2.6.4 Sanctuaire Pelagos

Le secteur d'intervention est situé dans le sanctuaire méditerranéen des mammifères marins Pelagos, instauré par traité et signé entre la France, l'Italie et Monaco le 21 février 2002. Il s'agit d'un espace maritime de 87 500 km<sup>2</sup> (2 022km de linéaire côtier) hébergeant un capital biologique de haute valeur patrimoniale par la présence de nombreux cétacés. 13 espèces, dont 8 toute l'année s'observent dans le sanctuaire Pelagos, avec 25 000 à 45 000 dauphins, tels que le Grand dauphin *Tursiops truncatus*, ainsi que 2000 à 4000 rorquals.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Le sanctuaire Pelagos inclut les eaux littorales et de domaine pélagique de l'aire comprise entre le promontoire de la presqu'île de Giens (dans le département du Var – France) et la lagune de Burano (en Toscane méridionale – Italie). Il englobe les eaux bordant de nombreuses îles dont la Corse et le nord de la Sardaigne, et des îles de taille plus petite comme celles d'Hyères, de la Ligurie, de l'archipel toscan et des Bouches de Bonifacio.

Afin d'augmenter l'adhésion des communes et de renforcer la sensibilité des collectivités et du grand public à la protection des mammifères marins, une charte a été mise en place début 2010 dont la ville du Lavandou est signataire depuis 2012. Cet engagement reconduit en 2021 pour une période de 3ans, engage la commune à participer à la préservation et la conservation des mammifères marins fréquentant le Sanctuaire Pelagos.



Figure 65 : Emprise du Sanctuaire Pelagos par rapport à la commune du Lavandou

### 2.6.5 Autres protections

La plage du centre-ville du Lavandou n'est située dans aucune autres protections réglementaires suivantes :

- Arrêtés de Protection de Biotope ;
- Réserve Naturelle ;
- Réserve Naturelle régionale ;
- Périmètre de protection de Réserve Naturelle Géologique ;
- Réserve de Biosphère ;
- Parc Naturel Régional ;

## 2.7 Caractéristiques socio-économiques

La plage du Centre-ville représente un pôle attractif de la commune du Lavandou et rassemble plusieurs enjeux économiques, sociaux, voire, etc.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Plusieurs établissements de plage sont présents sur le linéaire, 1 se trouve sur la grande plage du Centre-Ville et 5 autres sont répartis sur la plage de l'Anglade et du Gouron. Cependant aucun d'entre eux n'est situé sur le tronçon poste de secours / épi.

L'extrémité de l'épi est occupée par un club de nautisme avec départ pour des activités de ski nautique, parachute ascensionnel, bouées, etc.

Cette plage est de type familial. Le tronçon poste de secours / épi, avec l'implantation poste de secours attire des familles avec enfants, des personnes âgées, etc. L'ensemble de la plage est surveillé et est réparti en plusieurs zones : ZIEM (Zone Interdite aux Engins à Moteur) et ZRUB (Zone Réservee Uniquement à la Baignade).

Le tronçon poste de secours / épi est ainsi contenu entre deux chenaux : un dédié au poste de secours possédant une embarcation et un au club nautique. Un troisième chenal est présent sur la grande plage, ce dernier étant réservé au club de voile.

Au droit de ce tronçon, se trouve une ZIEM (Zone Interdite aux Engins à Moteur) d'une largeur de 80 mètres et au-delà, une zone de mouillage propre (arrêtés municipal 2022191 et préfectoral n°153/2022).

**PHASE 1 : DIAGNOSTIC**



*Figure 66 : Plan de la plage du Centre-ville*

PHASE 1 : DIAGNOSTIC

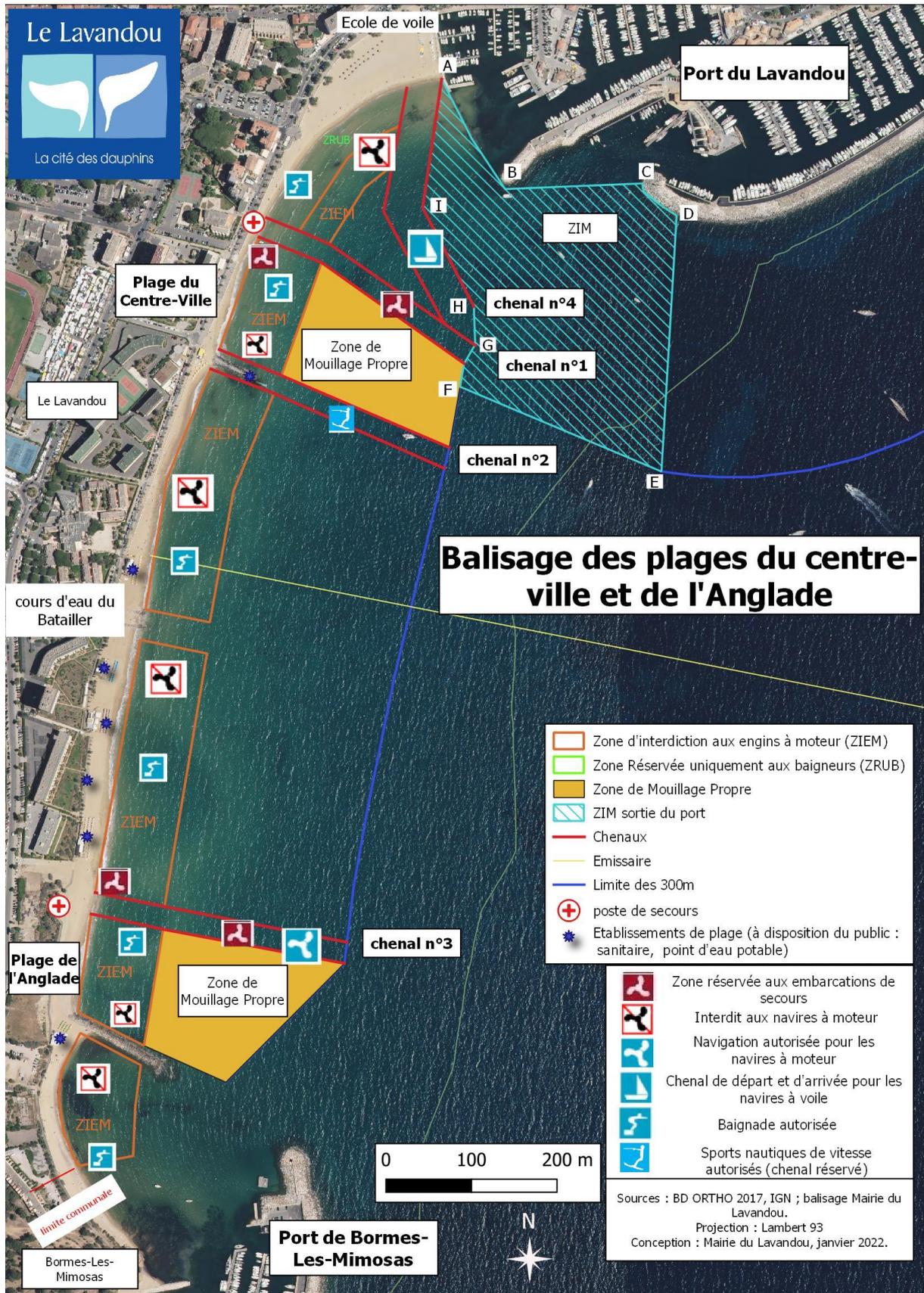


Figure 67 : Plan de balisage de la plage du Centre-ville

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Quelques bateaux fréquentent la zone et notamment le tronçon épi-poste de secours durant la saison estivale (Figure 68, Figure 69). Cependant la fréquentation reste modeste par rapport à d'autres sites du Lavandou. Les propositions de solution de la phase suivante devront alors tenir compte de la présence éventuelle de bateaux au mouillage dans les contraintes du site et prévoir un balisage en conséquence.



*Figure 68 : Bateaux au mouillage devant la plage du Centre-Ville le 07 juillet 2021*



*Figure 69 : Bateaux au mouillage devant la plage du Centre-Ville le 20 août 2021*

L'arrière-plage est occupée par une large promenade piétonne et l'avenue du Général Bouvet (Figure 70). Cette avenue est un axe de circulation majeur pour la commune du Lavandou et permet l'accessibilité à de nombreux commerces (hôtels, restaurants, commerces divers, cabinet médical, bibliothèque) et logements (Figure 71, Figure 72).

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 70 : Promenade en arrière-plage et avenue du Général Bouvet*



*Figure 71 : Commerces et logements présents sur l'avenue du Général Bouvet – Google Earth*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



Figure 72 : Commerces et logements présents sur l’avenue du Général Bouvet – Google Earth

Cet axe de circulation majeur de la commune abrite également de nombreux réseaux tels que le réseau d’électricité ENEDIS (Figure 73), le réseau d’éclairage public et de signalisation (Figure 74) et le réseau télécom et le réseau AEP (Figure 75).



Figure 73 : Extrait du plan de réseau d’électricité transmis par ENEDIS dans le récépissé de DICT



# PHASE 1 : DIAGNOSTIC

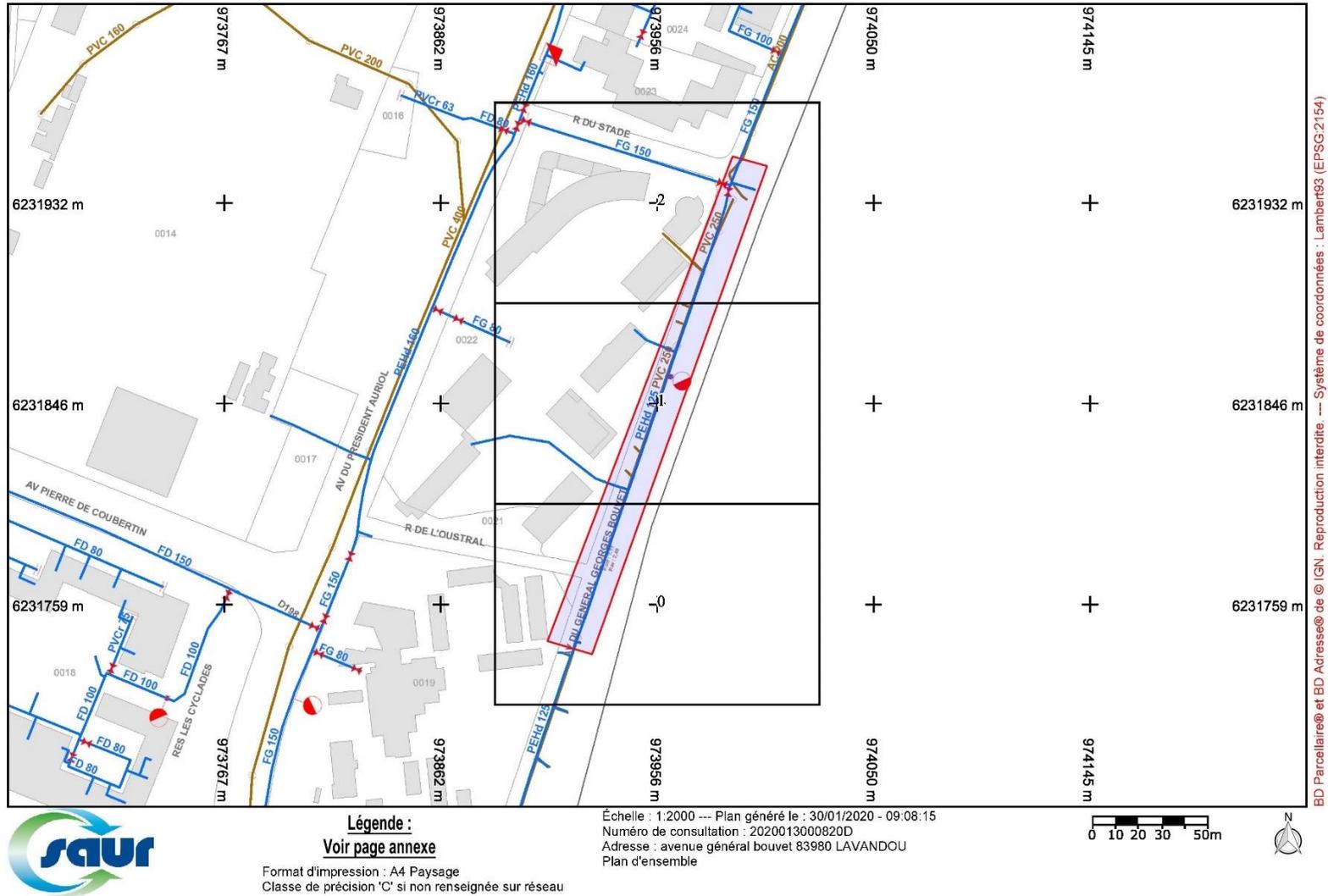


Figure 75 : Extrait du plan de réseau d'AEP transmis par SAUR dans le récépissé du DICT

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Sur cette plage du Lavandou, se trouvent deux cours d'eau. La Vieille à son embouchure sous le poste de secours et le Batailler se situe au Sud de l'épi. L'apport en sédiment venant de la Vieille est quasiment nul.

Le Batailler est long de 10km et couvre un bassin versant de 87km<sup>2</sup>.

Il existe également un émissaire au niveau du Batailler qui se rejette bien plus au large, à l'Ouest de notre zone d'étude.

### Conclusion :

Le quartier de la plage du Centre-Ville du Lavandou représente une zone stratégique pour la commune. La plage, sécurisée et contrôlée, constitue un lieu attractif pour les familles avec des zones interdites aux engins à moteurs et une zone réservée uniquement à la baignade.

Plusieurs activités économiques s'articulent autour de la plage, à savoir un club de sports nautiques, plusieurs commerces, restaurants, etc. Il n'y a pas d'établissements de plage (matelas parasols, etc.) sur ce tronçon.

L'arrière-plage est constituée d'une promenade, d'un axe de circulation et de nombreux bâtiments. De nombreux réseaux sont également présents sous la voirie.

La protection de cette plage répond donc à des enjeux économiques, sociaux et touristiques importants.

## 2.8 Evolution de la situation dans un contexte de changement climatique

En 2017, le BRGM a publié un rapport sur la caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. La submersion marine correspond à « une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères » (MEEDAT 1997) (Figure 76).

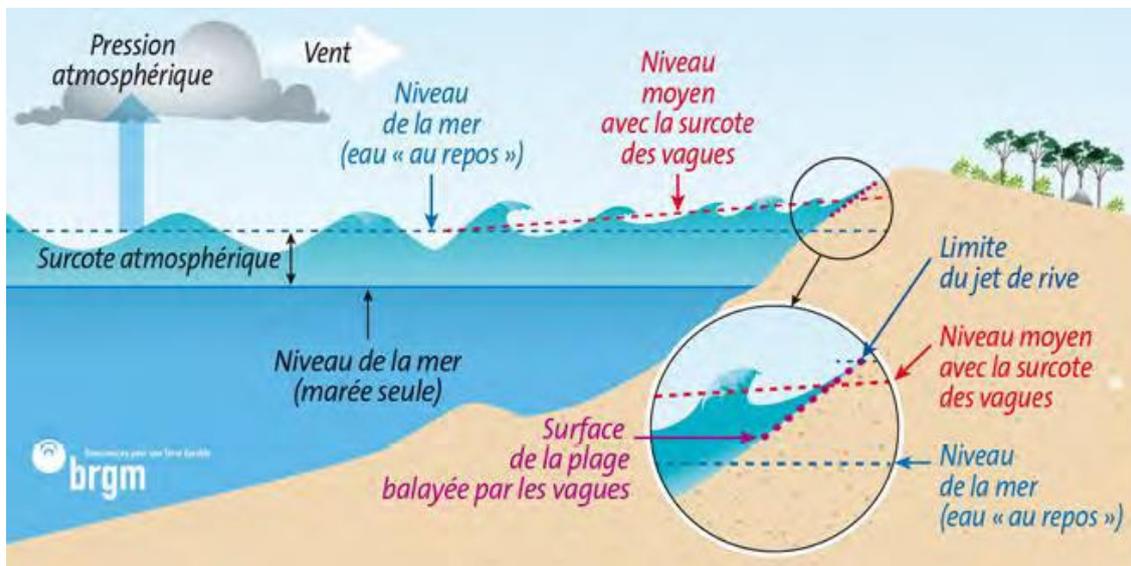
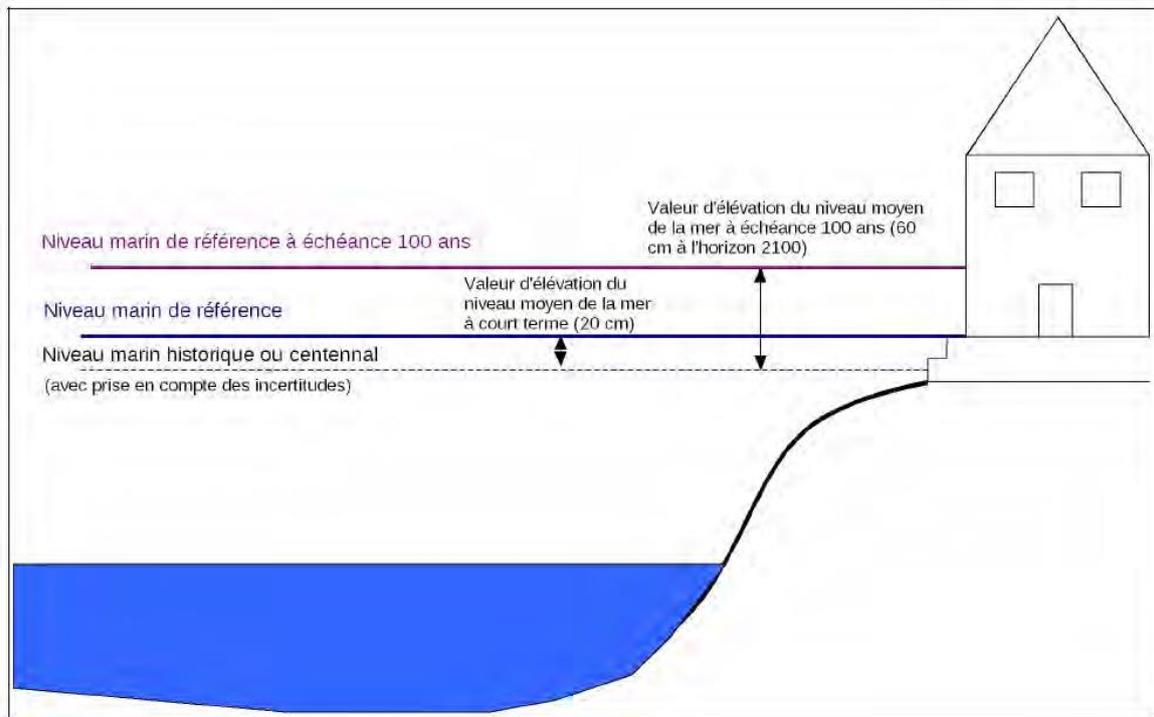


Figure 76 : Processus physiques en action lors d'une tempête - Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

En tenant compte du changement climatique, les niveaux marins évoluent.

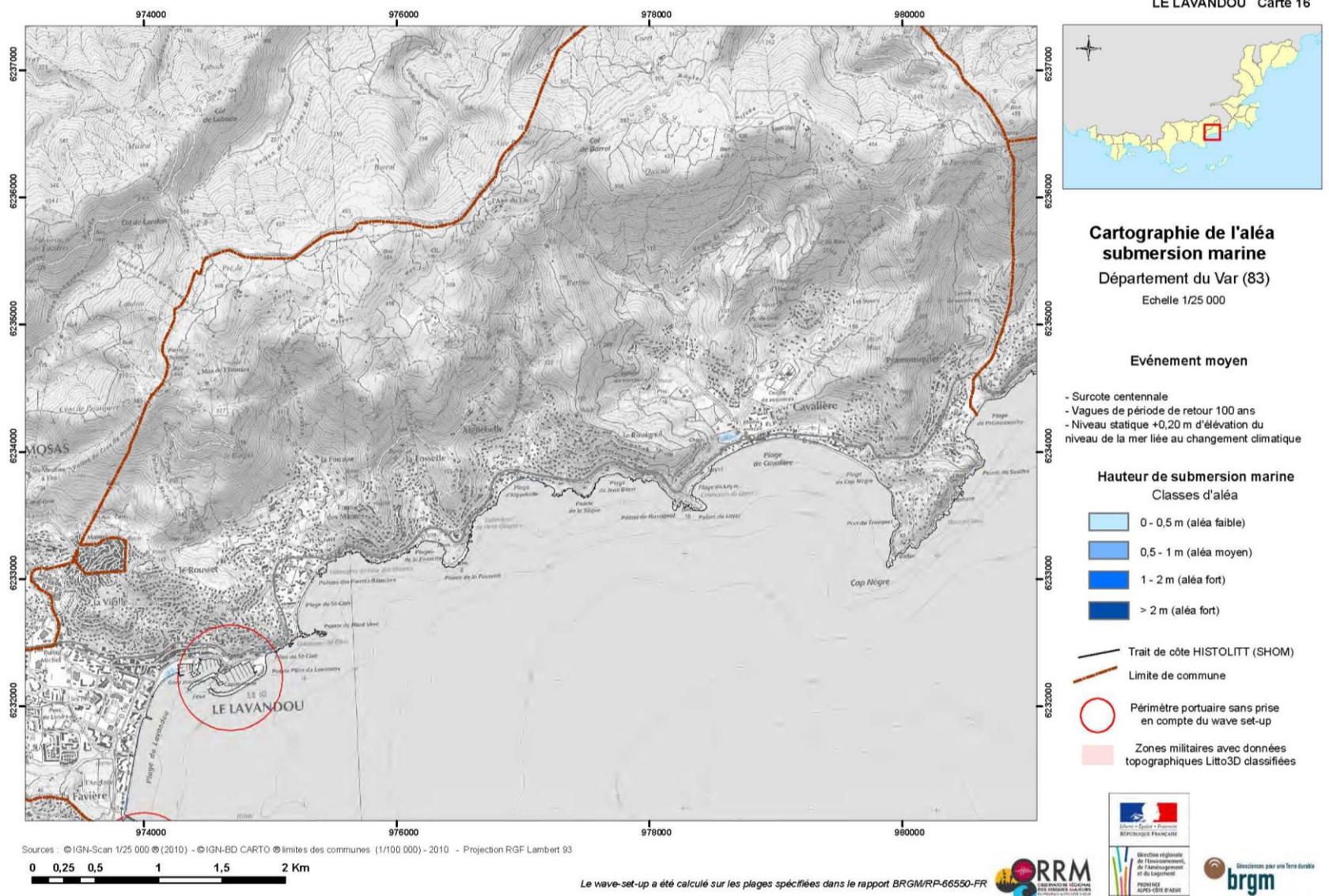
Le niveau de référence actuel d'un événement moyen est considéré comme une élévation du niveau moyen de la mer de 20cm. Tenant compte du changement climatique, le niveau de référence d'un événement moyen sera considéré comme une élévation du niveau moyen de la mer de 60 cm à l'horizon 2100 (Figure 77).



*Figure 77 : Définition des niveaux marins de références - Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.*

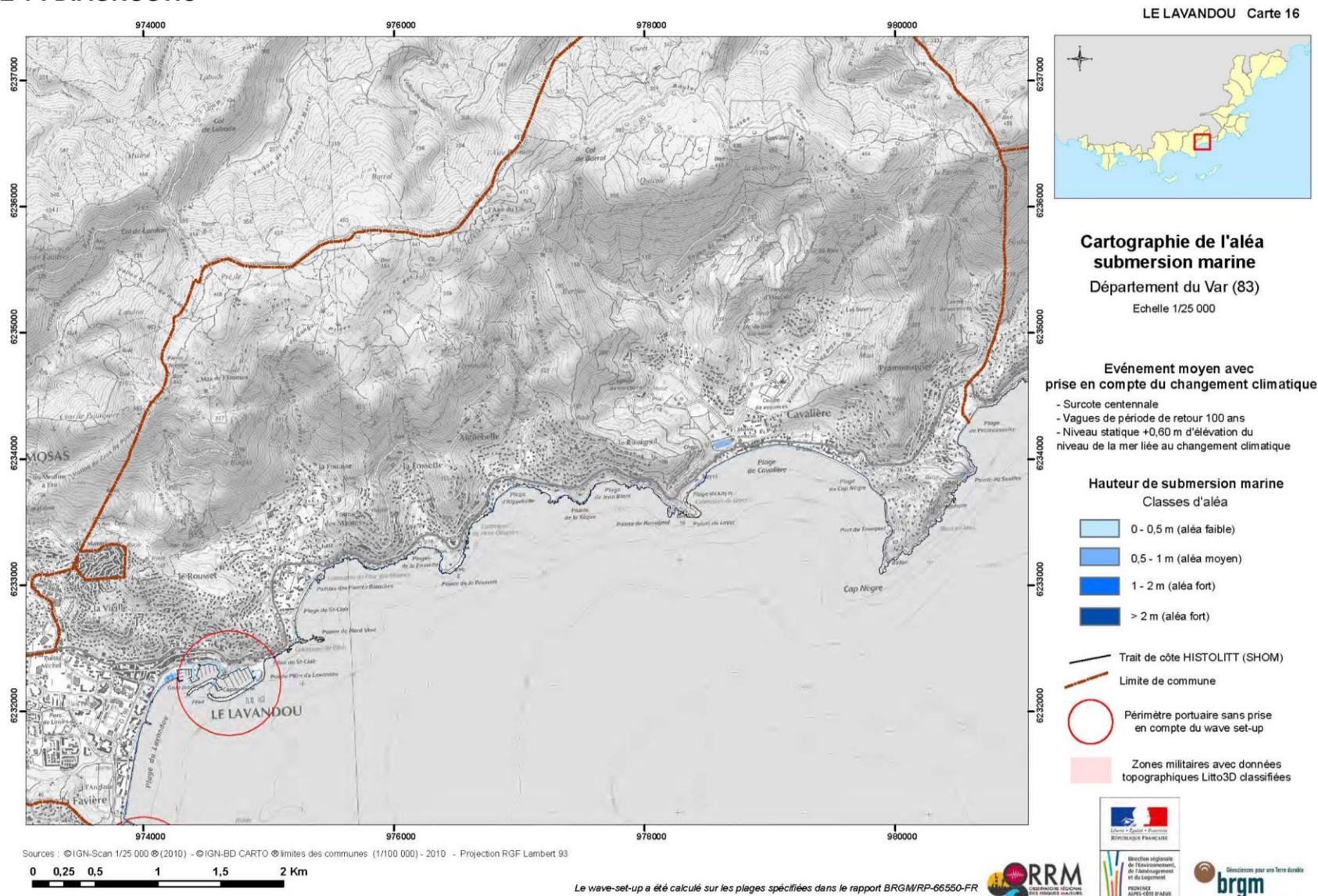
Les figures ci-après sont des cartographies de l'aléa de submersion marine, réalisées pour un événement moyen et une surcote centennale. La Figure 78 est construite selon les conditions actuelles, à savoir une élévation du niveau marin moyen de 20 cm. La Figure 78 tient compte du changement climatique à l'horizon 2100, elle se base donc sur une élévation du niveau marin moyen de 60 cm. Ce rapport du BRGM est complété par un Porter à connaissance apportant des précisions cartographiques et énonçant des principes de constructibilité.

**PHASE 1 : DIAGNOSTIC**



*Figure 78 : Cartographie de l'aléa de submersion marine sur les plages du Lavandou pour un évènement de moyen – Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.*

# PHASE 1 : DIAGNOSTIC



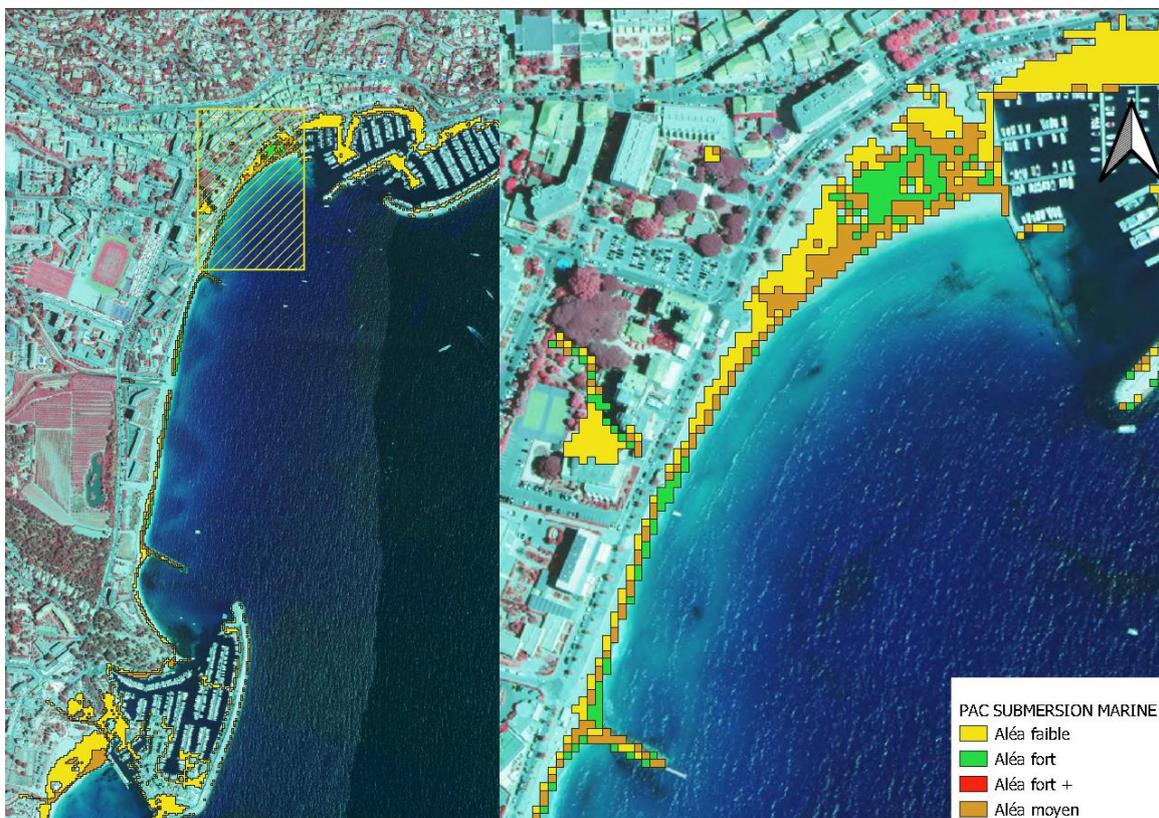
**Figure 79 : Cartographie de l'aléa de submersion marine sur les plages du Lavandou pour un évènement de moyen tenant compte du changement climatique à l'horizon 2100 – Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.**

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

D'après ces deux figures, on peut constater que le risque de submersion marine est plus fort et concerne plus de secteurs en considérant le changement climatique. Cependant, ces cartographies ne sont pas assez précises sur notre secteur, le Porter à Connaissance fournit des données plus précises sur le risque d'aléas de submersion marine à l'horizon 2100.

Le Porter à Connaissance définit, en fonction du risque de l'aléa de submersion et du type de côte, les mesures de prévention à mettre en œuvre. Il fixe les principes de constructibilité applicables à la réalisation de tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle, sans préjudice de l'application des autres législations et réglementations en vigueur (code de l'urbanisme, code forestier, code de l'environnement, etc.).

La Figure 80 ci-dessous définit le risque de submersion marine autour de la plage de Centre-Ville du Lavandou lié au changement climatique à partir des données du PAC. L'aléa représenté est défini d'un événement moyen en tenant compte du changement climatique à l'horizon 2100 (élévation du niveau marin moyen de 60cm) et d'une surcote centennale.



*Figure 80 : Risque de submersion marine lors d'un événement moyen et d'une surcote centennale en tenant compte du changement climatique à l'horizon 2100 – Données PAC \_ submersion marine*

Cette cartographie à plus grande échelle permet de localiser les risques. Les risques les plus forts se trouvent évidemment sur la plage mais également sur les berges de la Vieille. L'aléa faible se situe plutôt en haut de plage ou sur les quais du port du Lavandou.

### **Conclusion :**

La plage du Lavandou est soumise à un risque de submersion variant de faible à fort selon les secteurs de la plage. A l'horizon 2100 et tenant compte du changement climatique, le risque de submersion marine, pour un événement moyen d'occurrence centennale et de surcote 60cm est estimé au plus haut à +2.10m NGF.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

Une submersion de +2.10m NGF au droit de la plage du Centre-Ville pourrait ainsi provoquer des dégâts sur l'Avenue du Général Bouvet (altitude de +2m NGF) et sur les infrastructures adjacentes.

### 2.9 Actualisation 2022

Durant l'hiver 2021-2022, l'érosion d'une autre zone de la plage du Lavandou s'est accentuée après l'épi central jusqu'au Batailler. La dégradation n'est pas aussi importante que pour le tronçon situé en amont. Elle est intervenue alors que l'étude en cours se trouvait en phase 3 (développement de la solution). La situation étant moins critique, la commune, dans un souci de recherche de solutions plus éco-responsables, plus souples et innovantes que les solutions dites « dures et classiques » s'est portée volontaire pour être le site pilote d'une étude financée par la région Sud, dans le cadre de l'appel à projet « adaptation des littoraux face au changement climatique » et menée par l'entreprise SEABOOST. Le dossier de la commune a été accepté en mai 2022. Cette étude a pour objectif de rechercher **des solutions expérimentales**, qui s'inspirent de la Nature (ex ouvrage qui s'inspire de la mangrove installé à Agde en 2022) et s'achèvera entre juin et septembre 2023.

Devant l'urgence des actions à mener sur le tronçon poste de secours- épi, il n'est pas possible, pour des questions de sécurité (infrastructures, réseaux, accueil du public), d'attendre les résultats de l'étude de Seaboost pour déposer un dossier auprès des services de l'Etat. Depuis, l'étude SEABOOST revêt **un caractère expérimental avec la recherche de solutions innovantes**.



*Figure 81. Tronçons ayant subi une érosion en 2022*

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

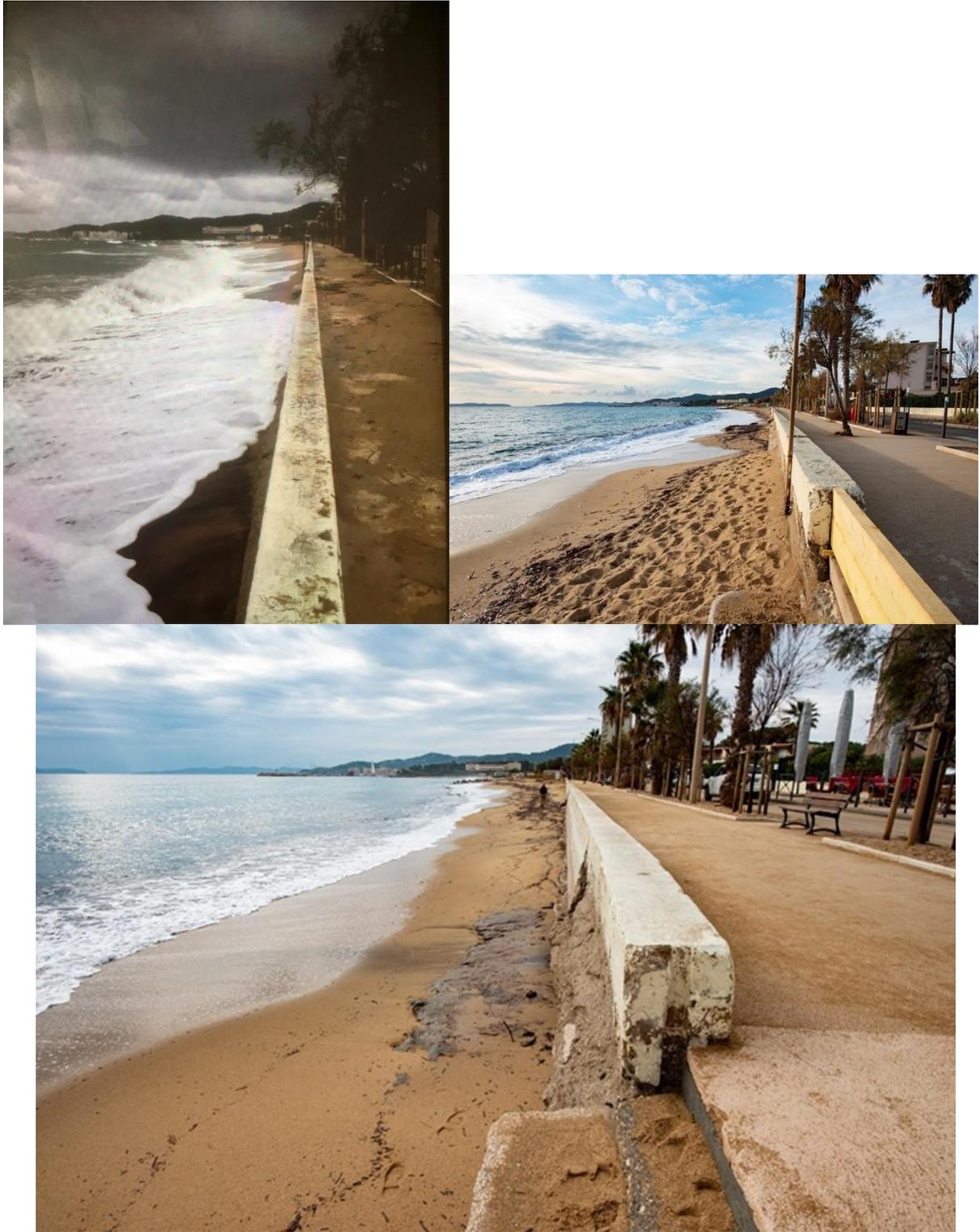


Figure 82. Erosion qui s'est accentuée sur le tronçon situé entre l'épi et le cours d'eau du Batailler.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC



*Figure 83. Fissures et affaissement du mur sur le 2nd tronçon*



*Figure 84. Dispositif Seaboard installé à Agde en 2022, qui s'inspire des mangroves.*

Comme le premier tronçon, le second tronçon est attaqué frontalement par les vents et vagues d'Est. Les effets cumulés, qu'il pourrait y avoir, seront étudiés.

Les actions menées par la commune seront donc phasées dans un programme d'actions. L'action la plus urgente est traitée en priorité (1<sup>er</sup> tronçon), la seconde dans un deuxième temps (2023-2024). Dans les deux cas, la commune a fait le choix de s'orienter vers des solutions qui soient les moins « dures » possibles, peu consommatrices de plastiques et vectrices de biodiversité. Le caractère innovant et expérimental était également un critère important.

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

### 2.10 Conclusion

L'ensemble des documents fournis par le Maître d'Ouvrage ont permis d'établir un diagnostic physique, environnemental, socio-économique ainsi que des conséquences liées au changement climatique. La plage du Centre-Ville est donc une plage fortement urbanisée, représentant un pôle d'activité majeur avec de nombreux enjeux pour la commune du Lavandou. Or cette plage est soumise à une érosion intense lors de tempête d'Est mettant en danger les aménagements en arrière-plage.

Au vu de ces différents diagnostics, il s'avère impératif de lutter contre cette érosion afin de préserver le mur de soutènement, de protéger les aménagements en arrière-plage et de maintenir une largeur de plage suffisante. Les méthodes de protection mises en place lors de la saison 2020-2022 ont permis de remplir ces objectifs provisoirement, néanmoins, il faut à présent opter pour une solution pérenne qui permet de lutter à long terme contre l'érosion de la plage.

### 2.11 Bibliographie

**ANDROMEDE OCEANOLOGIE**, 2012. Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Rade d'Hyères » FR 9301613. Contrat ANDROMEDE OCEANOLOGIE / AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES.

**Arrêté préfectoral N° 051 / 2017** règlementant la navigation, le mouillage des navires, la plongée sous-marine et la pratique des sports nautiques de vitesse dans la bande littorale des 300 mètres bordant la commune du Lavandou (Var)

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph., Courtaud J. (2001)** – Analyse de l'évolution de la plage du Lavandou depuis 1955, dans le cadre d'un projet d'aménagement de la partie Nord  
**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (2002)** – Etude Courantologique – Chapitre 1

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Octobre 2011)** – Campagne de mesure topo-bathymétrique plages du Lavandou (pour la Commune – Aout-septembre 2011) – Mesure estivale – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Novembre 2011)** – Campagne de mesure topo-bathymétrique plages du Lavandou (pour la Commune – Novembre 2011) – Mesure après tempête – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Novembre-décembre 2012)** – Campagne de mesure topo-bathymétrique plages du Lavandou (pour la Commune – Octobre 2012) – Mesure de fin d'été – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Septembre 2013 – Mars 2014)** – Campagne de mesure topo-bathymétrique plages du Lavandou (pour la Commune – septembre 2013, janvier 2014 et Mars 2014) – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Janvier 2014)** – Campagne de mesure bathymétrique plages du Lavandou ville à l'Anglade (pour la Commune – Janvier 2014) – Mesure après inondations – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (2015)** – Campagne de mesure bathymétrique plages du Lavandou (pour la Commune – Septembre 2011) – Rapport d'analyse

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Décembre 2015)** – Campagne de mesure bathymétrique – Suivi des plages du Lavandou (pour la commune – Septembre 2015) – Cartes d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Novembre 2016)** – Campagne de mesure bathymétrique – Suivi des plages du Lavandou (pour la commune – Septembre 2016) – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Avril 2018)** – Campagne de mesure bathymétrique – Suivi des plages du Lavandou (pour la commune – Février 2018) – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Décembre 2018)** – Campagne de mesure bathymétrique – Suivi des plages du Lavandou (pour la commune – Septembre 2018) – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (Décembre 2019)** – Campagne de mesure bathymétrique – Suivi des plages du Lavandou (pour la commune – Octobre 2019) – Cartes d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (2020)** – Campagne de mesure bathymétrique – Suivi des plages du Lavandou (pour la commune – Octobre 2020) – Rapport d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (2020)** – Campagne de mesure bathymétrique – Suivi des plages du Lavandou (pour la commune – Octobre 2020) – Cartes d'analyse

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (2020)** – Présentation

**Association EOL-mer ; Serantoni Ph. (2016)** – Analyse d'un coup de mer effet de la digue – Rapport d'analyse

**Commune du Lavandou ; Service Mer et Littoral, 2021** – Reportage photos : Evolution de la plage du centre-ville (tronçon poste de secours -épi).

**Commune du Lavandou ; Service Mer et Littoral, 2020** – Reportage photo : Erosion avenue du Général Bouvet

**Commune du Lavandou** - Révision du Plan Local d'Urbanisme - Rapport de présentation

**Centre d'études et d'expertise sur les risques de l'environnement, la mobilité et l'aménagement, CEREMA** (Octobre 2015) – Indicateur national de l'érosion côtière, Provence-Alpes-Côte-D'azur

**CREOCEAN, Août 2017 - PORT DU LAVANDOU** – Etudes pour la réhabilitation du ponton PSud et Expérimentation de brise-clapots flottants – Etudes préliminaires et dossier technique d'Avant-Projet (AVP)

**Direction départementale des territoires et de la mer ; Service mer et littoral ; Bureau environnement marin, 2019** – Stratégie départementale de gestion des côtes sableuses en érosion dans le Var

**DONIA : Cartographie des habitats** - Données consultées en juillet 2021 sur la plateforme de surveillance MEDTRIX (<https://plateforme.medtrix.fr>).

## PHASE 1 : DIAGNOSTIC

**Jarry N.**, 2011, Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier

**Porter à connaissance (PAC) de l'aléa de submersion marine sur les communes du littoral varois** – PAC du 13 décembre 2019

**ScoT Provence Méditerranée révisé**, 2019 – Rapport de Présentation

**Stéphanian A. et I. Thinon** (2014) – Evaluation des Risques Natures Littorales – ScoT Provence-Méditerranée – Evaluation des stocks sédimentaires littoraux – Prospection géophysique. Rapport final. BRGM/RP-64158-FR, 57 p., 31 ill., 2 ann., 1 CD

**Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017)** – Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.

### 3. ETUDE DE SOLUTIONS ET ANALYSE MULTICRITERES

#### 3.1 Solutions générales de gestion des plages sableuses

Il existe plusieurs méthodes générales de gestion de l'érosion des plages sableuses via l'aménagement de différents ouvrages :

- Recul stratégique du trait de côte ;
- Brise lame émergé ou immergé devant les ouvrages ;
- Digue de protection (le long de l'ouvrage) ;
- Epis transversaux ;
- Maintien des banquettes de posidonies ;
- Gestion du cordon dunaire ;
- Murs et ouvrages de soutènement ;
- Rechargement de plage ;
  - Transfert de sédiments mécaniques ;
  - Transfert de sédiments hydrauliques ;

Chacune des méthodes citées ci-dessus ne remplissent pas les mêmes objectifs. Leur utilisation est donc dépendante des problématiques à résoudre.

L'objectif du projet du Lavandou est de reconstituer une plage suffisante pour permettre de protéger la promenade des tempêtes et de répondre aux enjeux touristiques de la zone.

**Ce paragraphe vise donc à détailler chacune de ces méthodes en s'attachant à vérifier leur compatibilité avec la problématique de la plage du Centre-Ville du Lavandou et les objectifs demandés. Par la suite, seules les méthodes jugées compatibles et réalisables feront l'objet d'une analyse multicritère.**

##### 3.1.1 Recul stratégique du trait de côte

La solution de recul stratégique du trait de côte consiste à redonner toute la place nécessaire à la nature. Dans la situation de la plage du Centre-Ville du Lavandou, laisser la place à la nature engendrerait une modification importante du quartier. En effet, cette solution impliquerait ainsi la suppression du mur de soutènement en haut de plage, la suppression de la promenade et de l'axe routier comprenant la suppression de l'ensemble des réseaux passant sous la route et enfin la suppression et la relocalisation des bâtiments et notamment les commerces (comprenant tous les réseaux, les parkings, etc. ...) qui se trouvent en arrière de la route.

Cette stratégie a de nombreuses conséquences à plusieurs niveaux :

- Niveau routier :
  - La suppression de la route engendre des problèmes d'accès routier et de circulation ;
  - La suppression de la route engendre la suppression des réseaux passant sous la route et par conséquent pose des problèmes de dévoiement des réseaux ;
  - Les commerces et restaurants présents sur le front de mer ne peuvent plus être approvisionnés.
- Niveaux logement / juridiques :
  - La suppression des bâtiments engendre des problèmes liés au logement / relogement des riverains.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

- Niveau économique :
  - La suppression des bâtiments engendre la suppression de commerces et restaurants et ainsi la réduction d'activités commerciales liées à la vie du quartier.

En plus du coût des travaux de plusieurs dizaines de millions d'euros, cette solution aurait des retombées économiques négatives avec la suppression d'activités commerciales et de logements.

Ce type de solution est plutôt adapté à des plages en milieu non-urbanisé.

- ⇒ **Ce type de méthode ne semble a priori pas compatible avec le positionnement géographique et les aménagements, logements, commerces, se trouvant directement en arrière de de la plage du Centre-Ville. Cette méthode consisterait alors à réaménager et relocaliser l'ensemble du quartier.**

### 3.1.2 Brise-lames

Cela consiste à créer un ouvrage en mer, parallèle à la plage dans le but de briser la lame d'eau arrivant. Celui-ci peut être émergé ou immergé. Emergé, le brise lame constitue une barrière physique à la houle se brisant sur l'ouvrage. Immergé, le brise lame crée en quelques sorte un récif à fleur d'eau. Cette remontée brutale du fond va engendrer le déferlement des houles passant au-dessus de l'ouvrage, le but étant d'atténuer au maximum l'intensité des houles traversant l'ouvrage immergé. Ce type d'ouvrage, qu'il soit émergé ou immergé a pour but d'atténuer/casser la houle avant qu'elle n'atteigne la plage.

- ⇒ **Ce type de méthode est adapté à la problématique de la plage du Lavandou car il va permettre de réduire la houle qui s'abat sur la plage et donc de réduire les dégradations sur la promenade.**

### 3.1.3 Digue de protection

Cela consiste à créer une digue en long dans le but de protéger totalement de la houle. La création d'une digue le long d'un ouvrage a pour fonction principale de protéger les ouvrages du milieu marin et de ce fait bloquer les interactions entre eux. Elle crée une réelle barrière physique avec le milieu marin ouvert, isolant les ouvrages à protéger. Il s'agit plus d'ouvrage pour des ports (digue extérieure de protection).

- ⇒ **Ce type de méthode n'est pas adapté à la problématique de la plage du Lavandou car l'objectif est de maintenir une plage et non d'endiguer la zone.**

### 3.1.4 Maintien des banquettes de posidonies

Cela consiste à conserver les banquettes de feuilles mortes de posidonie sur la plage en été. Les banquettes de posidonie permettent en effet de limiter l'érosion de la plage. Elles jouent un rôle structurel par l'apport et le stockage de sédiment et par l'atténuation, l'amortissement de l'énergie des vagues arrivant sur les plages.

- ⇒ **Ce type de méthode pourrait être adapté à la problématique de la plage du Lavandou cependant le très faible apport (quasiment nul) de Posidonie durant les périodes automnale et hivernale ne permet pas de constituer des banquettes. Les feuilles de Posidonie ne restent que quelques jours sur l'ensemble du linéaire de la plage. Il n'est donc pas possible de récupérer des Posidonie sur une autre partie de la plage moins érodée. Sur les autres plages du Lavandou, la commune laisse à l'année les banquettes, pour justement lutter contre l'érosion. Sur les**

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

**zones en érosion, la commune a adopté un entretien de la plage uniquement manuel.**

### 3.1.5 Gestion du cordon dunaire

Cela consiste à conserver un cordon dunaire en haut de plage. Il existe plusieurs méthodes de gestion notamment via la couverture de débris végétaux, la re-végétalisation ou la pose de ganivelles pour limiter leur fréquentation. Ces cordons dunaires constituent un stock de sédiments et permettent d'amortir l'énergie des houles arrivant sur la plage. Ces ouvrages constituent une bonne protection de l'arrière de la plage.

Le principal problème aussi est que la largeur de plage est insuffisante. Il n'y a pas la place nécessaire pour recréer un cordon dunaire. L'eau monte jusqu'au muret. La pose de ganivelles serait inefficace, elles seraient directement emportées par la mer.

- ⇒ **Ce type de méthode n'est pas adapté à la problématique de la plage du Lavandou. En effet ce type d'ouvrage est plus utilisé en Atlantique avec les flux et reflux et l'érosion éolienne pour des plages larges. La plage du Centre-Ville est relativement étroite, il n'y a pas la place nécessaire pour recréer un cordon dunaire. Lors des coups de mers, l'eau atteint rapidement le muret en haut de plage, la pose de ganivelles serait inefficace car elles seraient rapidement emportées par la mer.**

### 3.1.6 Mur et ouvrage de soutènement

Cela consiste à construire un mur ou un perré en enrochements en haut de plage. Cet ouvrage longitudinal assure une protection du haut de plage et un amortissement de la houle. Il assure une protection de l'arrière de la plage. Un mur de soutènement est par ailleurs déjà présent sur la plage du Lavandou.

- ⇒ **Ce type de méthode pourrait être adapté à la protection de la promenade mais cela engendrerait alors une érosion de la plage devant cet ouvrage. La problématique ne serait pas entièrement résolue car l'érosion de la plage serait même accentuée.**

### 3.1.7 Rechargement de plage

Cela consiste à apporter artificiellement un stock sédimentaire supplémentaire à la plage. Le rechargement permet de compenser le déséquilibre sédimentaire. Il existe deux méthodes de rechargement de plage par transfert de sédiments décrites ci-dessous :

#### 3.1.7.1 Transfert de sédiments mécaniques

Cela consiste à transférer, par voie terrestre (camions) ou maritime (barges), des sédiments vers la plage à recharger. Le transfert de sédiments permet de compenser artificiellement le déséquilibre sédimentaire.

Il peut être envisagé d'apporter du sable d'autres sites (carrières, ...) mais il doit être privilégié l'utilisation de sable proche de la zone.

- ⇒ **Ce type de méthode peut être adapté à la problématique de la plage du Lavandou du fait de la présence de sable en excès au Nord de la zone vers le port. Cependant cette solution nécessite un rechargement régulier en fonction des coups de mer pouvant épuiser le stock disponible, modifier grandement la**

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

**bathymétrie et ensabler les ports alentours. Elle ne règle pas non plus le problème d'érosion dans son ensemble.**

### 3.1.7.2 Transfert de sédiments hydrauliques

Cela consiste à transférer, pompage hydraulique, des sédiments prélevés sur une zone d'accrétion. Le transfert de sédiments permet de compenser artificiellement le déséquilibre sédimentaire.

Il peut être envisagé d'apporter du sable de gisement en mer mais il doit être privilégié l'utilisation de sable proche de la zone.

- ⇒ **Ce type de méthode peut être adapté à la problématique de la plage du Lavandou du fait de la présence de sable en excès au Nord de la zone vers le port. Cependant cette solution nécessite un rechargement régulier en fonction des coups de mer pouvant épuiser le stock disponible, modifier grandement la bathymétrie et ensabler les ports alentours.**

### 3.1.8 Récapitulatif des méthodes générales de gestion des plages sableuses

<b>Solution</b>	<b>Compatibilité avec les objectifs :</b> - <b>Protection de la promenade</b> - <b>Maintien du trait de côte</b>	<b>Commentaire</b>
Recul stratégique du trait de côte	Difficilement réalisable	De nombreuses infrastructures sont présentes en arrière-plage, solution incompatible en zone fortement urbanisée
Brise-lames	Compatible	
Digue de protection	Incompatible	L'objectif est de maintenir une plage et non d'endiguer la zone
Maintien des banquettes de Posidonie	Compatible mais difficilement réalisable	L'apport naturel de Posidonie est quasiment nul sur la plage du Centre-Ville.
Gestion du cordon dunaire	Incompatible	La largeur de plage est insuffisante pour mettre en place cette méthode
Mur et ouvrage de soutènement	Incompatible	Un mur de soutènement est déjà présent en haut de plage. Ce type d'ouvrage ne permet pas le maintien du trait de côte
Rechargement de plage	Compatible	

*Tableau 6 : Récapitulatif des méthodes générales de gestion des plages sableuses*

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### 3.2 Solutions envisageables à long terme pour la plage du Lavandou

#### 3.2.1 Rappel du contexte et des objectifs

La plage du centre-ville se trouve en milieu fortement urbanisé. En effet le haut de plage est fermé par un mur de soutènement après lequel se trouve une promenade piétonne, un axe de circulation routière, des réseaux (dont assainissement) et des constructions. De ce fait, la plage est très peu libre des mouvements et donc elle est soumise à un fort risque d'érosion. Exposée à l'Est, la plage du centre-ville subit des coups de mer violents arrivant depuis cette direction avec un fetch très long (300km). Ces derniers n'étant pas ralentis ni déviés, ils arrivent directement sur la plage ce qui entraîne un retrait important du sable vers le large, mettant en jeu la stabilité du mur de soutènement en haut de plage. De manière temporaire, la ville du Lavandou a mis en place des big-bags et des déplacements de sable afin de maintenir une protection du mur de soutènement.

Afin d'enrayer l'érosion de la plage du Lavandou, il est nécessaire de dissiper l'énergie des houles lors des tempêtes d'Est.

Il est déjà présent, sur la plage du Centre-Ville, un épi transversal servant à maintenir le trait de côte. En effet, ce dernier bloquant légèrement le transit sédimentaire Sud / Nord permet de réduire l'érosion au Nord provoqué par le transit sédimentaire. De plus, il permet de bloquer et de casser les houles arrivant sur l'ouvrage ce qui a tendance à maintenir la plage au droit de l'ouvrage. Le retrait de celui-ci, entraînerait alors une accentuation et accélération de l'érosion de la plage.

#### 3.2.2 Rappel des solutions possibles sur la plage du Lavandou

Au vu de l'objectif et du contexte de la zone, plusieurs solutions ont été approfondies :

- Recul stratégique du trait de côte ;
- Maintien ou mise en place de banquettes de posidonies ;
- Brise lame ;
- Rechargement de la zone : transfert de sable.

La plage du centre-ville ne présente que peu de ressources en feuilles mortes de posidonies : il faudrait alors en apporter pour réellement créer une protection de la plage : ce déplacement n'est pas très aisé à réaliser. De plus, étant une plage privilégiée par les touristes, il est impératif de retirer cette banquette en saison estivale. Cette solution n'est pas durable, elle ne semble pas être envisageable sur ce site.

Les solutions les plus envisageables pour répondre à la problématique de l'érosion de la plage du centre-ville sont la création d'un brise lame parallèle à la plage ou le rechargement en sable. Un simple rechargement de la plage en sable (soit d'apport soit provenant de la plage plus au Nord) ne sera que temporaire. En effet les coups de mers d'Est viendront quand même emporter ce sable mis en place.

Ainsi, la solution du brise lame semble la plus intéressante. Cette solution pourra alors être couplée avec le rechargement pour plus d'efficacité. Ce brise-lame sera préféré immergé, bien que réduisant son efficacité par rapport à un ouvrage émergé, dans un souci de limitation de l'impact visuel d'artificialisation du littoral.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### 3.2.3 Recul stratégique du trait de côte

Afin de redonner l'espace nécessaire à la nature, il convient d'envisager de déplacer et relocaliser un « quartier » de la commune du Lavandou. La plage serait alors en lieu et place de l'avenue du Général Bouvet. La suppression des bâtiments en arrière est donc impérative afin de recréer une arrière-plage naturelle et laisser la houle potentiellement atteindre de niveau.

⇒ Avantages

- Milieu naturel en lieu et place d'une zone fortement urbanisée ;

⇒ Inconvénients

- Coûts exorbitants ;
- Relocalisation d'un quartier complet ;
- Durée de travaux ;
- Freins juridiques et réglementaires

### 3.2.4 Epis transversaux

Cela consiste à créer des ouvrages perpendiculaires à la plage. Les épis forment un barrière physique transversale à la plage avec la vocation de bloquer le transit sédimentaire longitudinal à la plage. Ces ouvrages ont pour caractéristique de provoquer une accrétion en amont du transit sédimentaire mais elle entraîne une érosion en aval.

**□ Ce type de méthode n'est pas adapté à la problématique de la plage du Lavandou car il a été observé que ce sont les coups de mers provenant du large qui emporte le sable et non les transits qui sont limités.**

**Un épi transversal est présent sur le tronçon. Il permet de retenir le sable de part et d'autre des blocs. Son retrait entraînerait une accentuation de l'érosion sur la zone.**

### 3.2.5 Maintien ou mise en place de banquettes de posidonies

La plage du centre-ville ne présente que peu de ressources en feuilles mortes de posidonies : quelques feuilles apparaissent à l'automne et en hiver mais elles retournent très rapidement en mer. Il n'y a aucune formation de banquettes sur l'ensemble du tronçon et au-delà (1.6 km de linéaire correspondant à la plage du centre-ville).

La constitution d'un millefeuille avec des Posidonies venant d'autres communes (Le Lavandou conserve les Posidonies des autres plages toute l'année) nécessiterait des autorisations particulières, une commune volontaire et serait relativement peu efficace considérant la force des vagues arrivant sur la zone. Le millefeuille serait rapidement emporté par les vagues et ne résoudrait pas la problématique d'érosion de la plage, à l'automne et en hiver notamment.

### 3.2.6 Types de brise-lames immergés

Il existe plusieurs types de brise-lames pouvant être mis en place devant la plage du Centre-Ville. Le brise-lame immergé peut être construit à partir de :

- Blocs d'enrochements ;
- Géotubes en géotextile ;
- Géotubes en géotextile et *Géocorail* ;
- Récifs artificiels.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### 3.2.6.1 Brise-lame en enrochements

Le brise lame en enrochements est composé de plusieurs couches de blocs. Ce type d'ouvrage nécessite, en plus du dimensionnement de l'ouvrage en tant que tel (largeur et altitude du brise lame pour réduire la houle), un dimensionnement des blocs composant le brise lame. En effet, un brise lame en enrochements est composé d'une carapace, éventuellement d'un filtre et d'un noyau (Figure 85, Figure 86 ). La carapace, généralement composée de deux couches d'enrochements, constitue la protection et la stabilité de l'ouvrage. Elle est construite avec les blocs les plus gros que compose le brise lame. Sous le brise lame, peuvent être mis en place un filtre et un géotextile pour stabiliser l'ouvrage et limiter l'affouillement en pied de l'ouvrage.

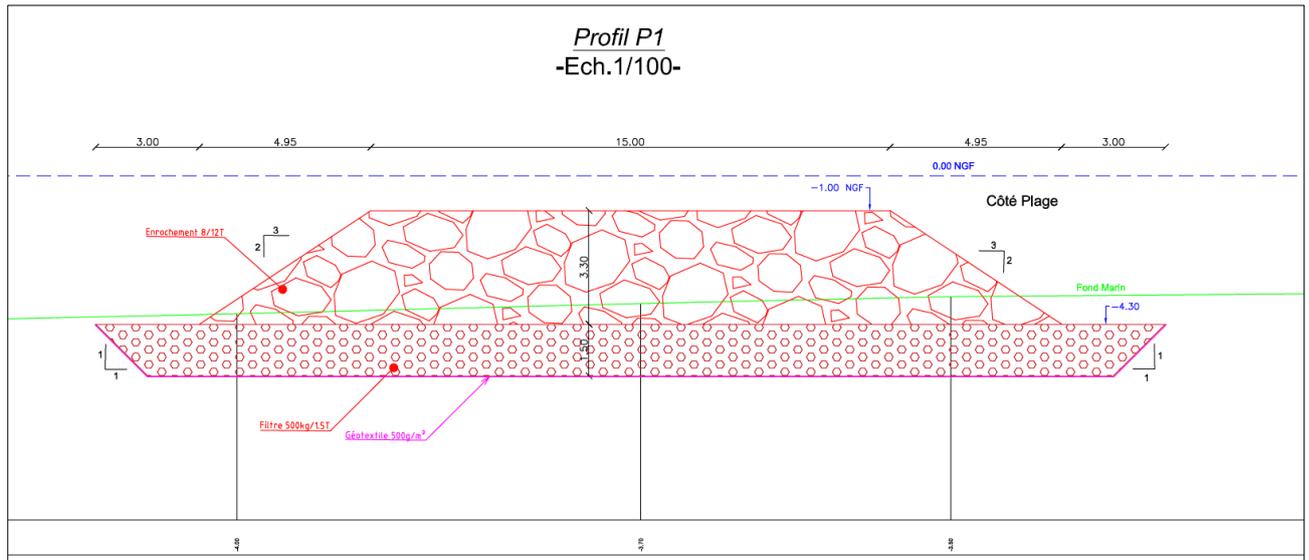


Figure 85 : Exemple – Coupe type d'un brise lame immergé en enrochements – ICTP 2018



Figure 86 : Exemple – Photomontage d'un brise lame immergé en enrochements – ICTP 2018

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### ⇒ Avantages

- Durée de vie accentuée ;
- Faible entretien ;
- Solidité de l'ouvrage ;

### ⇒ Inconvénients

- Dimensionnement plus important ;
- Irréversible ;
- Travaux sur plusieurs années ;

### 3.2.6.2 Brise-lame en géotextile types géotubes

Le brise lame en géotextile types géotubes, est composé d'une ou plusieurs structures tubulaires en géotextiles/géosynthétiques, remplis de sable et empilés de manière à former une digue sous-marine (Figure 87, Figure 88). Ces tubes peuvent être mis côte à côte ou les uns sur les autres en fonction des dimensionnements de l'ouvrage (largeur et altitude du brise lame pour réduire la houle ainsi que profondeur de mise en place).

Afin de stabiliser ces éléments, il est généralement mis en place au-dessous un tapis anti-affouillement dépassant des structures.

Un brise lame immergé en géotubes semble être une solution adaptée vis-à-vis de la réversibilité des ouvrages.

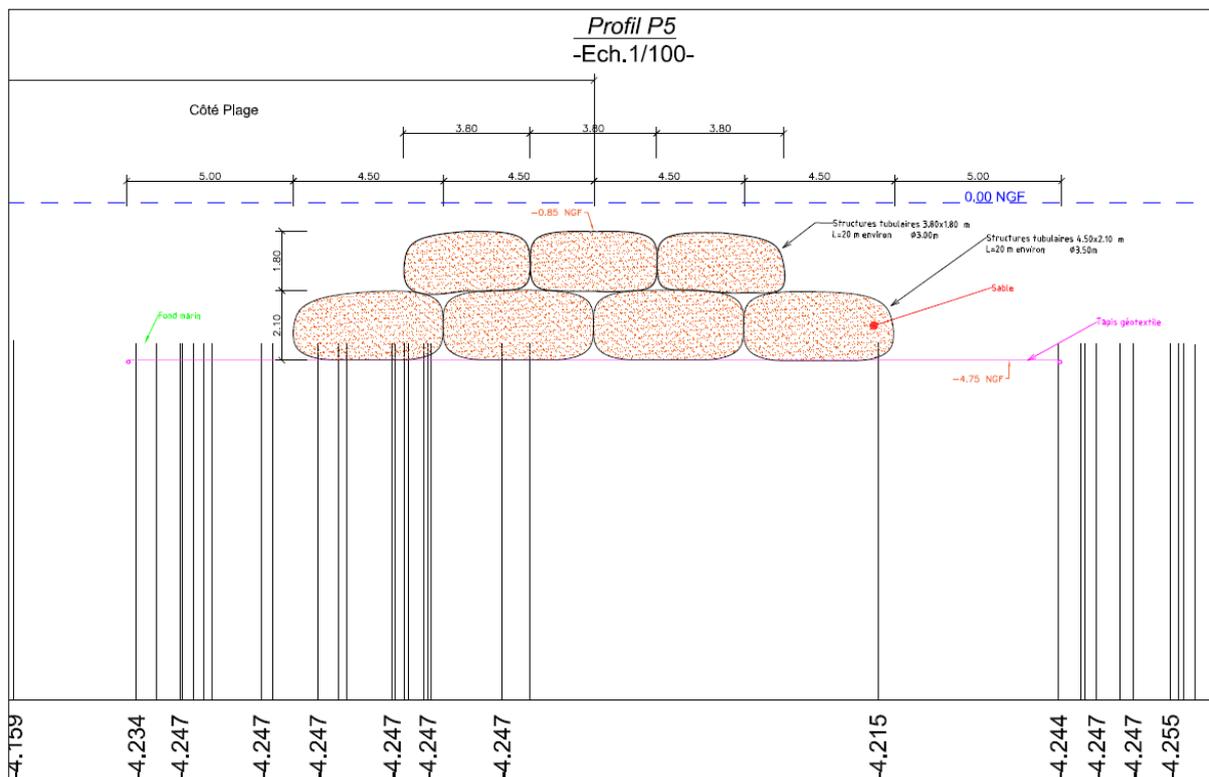


Figure 87 : Exemple – Coupe type d'un brise lame immergé en géotextile – ICTP 2018

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS



*Figure 88 : Exemple – Photomontage d'un brise lame immergé en géotextile – ICTP 2018*

### ⇒ Avantages

- Coûts limités ;
- Ouvrages réversibles ;
- Durée de travaux limitée ;

### ⇒ Inconvénients

- Surveillance des géotubes ;
- Présence de géosynthétiques ;
- Fragilité des géotubes (chocs, déchirements, ...).

### 3.2.6.3 Brise lame composé de sacs en géotextile remplis de sable

Ce type de brise lame se compose de plusieurs sacs (de capacité 6 à 8 tonnes) en géotextiles/géosynthétiques, remplis de sable mis côte à côte et empilés les uns sur les autres de manière à construire une digue sous-marine correspondant au dimensionnement (Figure 89).

Afin de stabiliser l'ouvrage, il est généralement mis en place au-dessous un tapis anti-affouillement dépassant des structures.

Un brise lame immergé composé de sacs semble être une solution adaptée vis-à-vis de la réversibilité des ouvrages.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS



*Figure 89 : Exemple – Photographie d'un brise lame composé de sacs en géotextiles sur la plage de la Cavalière – Mairie du Lavandou*

### ⇒ Avantages

- Coûts limités ;
- Ouvrages réversibles ;
- Durée de travaux limitée ;
- Solution douce.
- Facilité d'entretien vis-à-vis des géotubes

### ⇒ Inconvénients

- Surveillance des sacs ;
- Présence de géosynthétiques ;
- Fragilité des sacs (chocs, déchirements, ...).
- Nombre important d'éléments

#### 3.2.6.4 Brise-lame en Géocorail

Le Géocorail® est un système breveté permettant l'accrétion minérale par électrolyse d'eau de mer, aboutissant à la formation d'un conglomérat sédimentaire, présentant des propriétés mécaniques intéressantes. Des surfaces métalliques en contact avec le milieu marin (eau de mer et sédiments marins) sont polarisées cathodiquement, ce qui induit la précipitation de Carbonate de Calcium et d'Hydroxyde de Magnésium, servant de liant aux sédiments présents sur la zone.

Un support cathodique est installé sur la surface du brise-lames à consolider et branché à un appareil spécialement développé par la société : le Geobooster™. Ce dernier permet la régulation de la polarisation cathodique grâce à des algorithmes qui favorise la création du matériau recherché. Une anode judicieusement dimensionnée et disposée dans le milieu permet de déverser sur la structure les courants électriques adaptés.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Le Géocorail® peut être installé sur tous types de supports et de brise-lames : gabions, structures tubulaires en géotextiles/géosynthétiques (Figure 90) et produit un agrégat (Figure 91) depuis les éléments naturellement présents dans l'eau de mer.



Figure 90 : Agrégat formé à partir du processus Géocorail – GEOCORAIL

Le processus de formation de cet agrégat rocheux utilise l'électrolyse qui conduit naturellement à la formation d'un dépôt calco-magnésien. En effet, la circulation d'un courant électrique basse tension (soit par alimentation extérieure soit par un système de pile immergée) entre une anode et le support cathodique installé sur le géotube. C'est grâce à ce courant basse tension qu'il se forme ce conglomérat, autour du support cathodique, captant les sédiments, sables et graviers transportés par les courants marins (Figure 91).

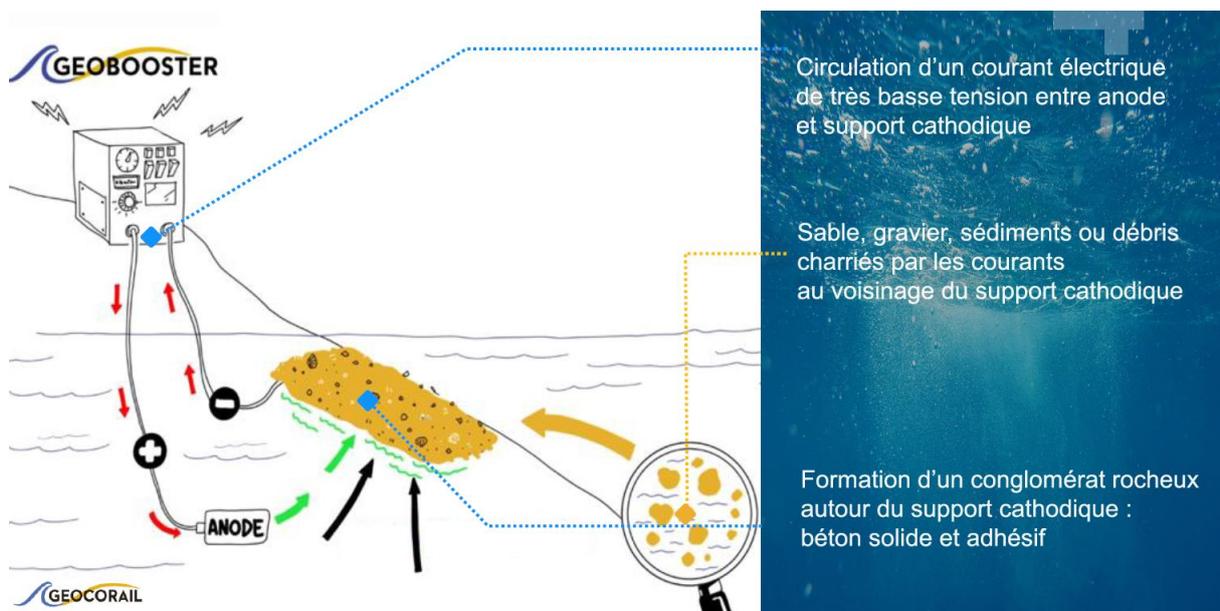


Figure 91 : Processus de formation du Géocorail – GEOCORAIL

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Pour réaliser cette formation de conglomérats, il est installé, sur la surface de la structure, un support cathodique, de type grillage, (Figure 92). C'est autour de ce support qu'au bout de quelques mois, une structure solide commencera à se former. Une solidification complète (épaisseur satisfaisante) de la structure prends plusieurs mois à se concevoir.



*Figure 92 : Germination du Géocorail® – GEOCORAIL®*

### ⇒ Avantages

- Solidification du support
- Entretien modéré ;
- Recycle les matériaux naturels présents dans l'eau de mer / intérêt environnemental ;
- Limite la dégradation du support la dispersion des matériaux dans l'eau
- Durée de travaux limitée ;
- Rugosité du Géocorail propice à l'hébergement et la fixation d'espèces
- Ce type d'élément géologique est facilement attaqué par les bioérodeurs et mollusques. Ces derniers contribuent à la création de cavités et aspérités qui favorisent la structuration du matériau, pour en faire un habitat.
- Délai de création du Géocorail
- Entretien du système d'alimentation électrique
- Ouvrage avec peu d'entretien, « auticatrisant » en cas de dégâts

### ⇒ Inconvénients

- Coût modéré avec le dispositif géocorail
- Très faible réversibilité
- Coût d'entretien qui peut être très élevé mais qui peut être réduit grâce au dispositif géocorail
- Durée de création de la couche dure (1 à 2 ans).

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS



Figure 93 : Brise lame en géotextile doté de la technologie Géocorail – GEOCORAIL

### 3.2.6.5 Brise-lame récifs artificiels

Il s'agit d'éléments en béton préfabriqués disposant de plusieurs cavités facilitant l'adaptation de la faune et de la flore marine sur ces structures. Ces structures innovantes développées par SEABOOST ou du type Reef Ball® (Figure 94 et Figure 95) ou équivalent ont une emprise au sol variable. Cependant, cela nécessite une logistique importante pour la mise en œuvre ainsi qu'un suivi de la morphologie et de la biodiversité est nécessaire. Un dimensionnement spécifique de ces ouvrages est nécessaire pour répondre aux objectifs attendus.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS



*Figure 94 : Exemple – Récifs artificiels – Reef Balls®*



*Figure 95 : Exemple – Brise lame composé de récifs artificiels – Reef Balls®*

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### ⇒ Avantages

- Ouvrages pour le développement de la faune
- Nurserie à poissons / intérêt environnemental ;
- Absence de plastiques

### ⇒ Inconvénients

- Réversibilité modérée
- Coûts importants
- Efficacité contestée
- Nombre important d'éléments
- Ouvrages béton.

### 3.2.6.6 Brise lame en gabions

Les gabions sont des structures solides de type cage en acier remplis de petits enrochements. Les gabions sont généralement utilisés pour le renforcement de berge et le maintien du littoral, réaliser un brise lame à partir de ces éléments serait une solution innovante.

A l'instar du brise lame composé de sacs en géotextiles, le brise lame en gabions, est composé de plusieurs éléments mis côte à côte et empilés les uns sur les autres de manière à construire une digue sous-marine correspondant au dimensionnement.

Ce brise lame peut être aisément complété, renforcé par un système Géocorail® décrit précédemment.

Ce type de brise lame immergé innovant semble être une bonne alternative aux brises lames en enrochements et géotextiles.

### ⇒ Avantages

- Rapidité d'exécution
- Entretien modéré, réduction de l'entretien sur le brise-lame ;
- Recycle les matériaux naturels présents dans l'eau de mer si présence de Géocorail® / intérêt environnemental ;
- Protection des aciers par le Géocorail
- Rugosité du Géocorail propice à l'hébergement et la fixation d'espèces
- Ce type d'élément géologique est facilement attaqué par les bioérodeurs et mollusques. Ces derniers contribuent à la création de cavités et aspérités qui favorisent la structuration du matériau, pour en faire un habitat.
- Favorise le développement d'espèces sur ce support
- Absence de plastiques
- Durée de travaux limitée ;

### ⇒ Inconvénients

- Réversibilité modérée
- Coûts importants
- Nombre important d'éléments
- Délai de création du Géocorail
- Entretien du système d'alimentation électrique

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### 3.2.7 Rechargement complémentaire au brise-lame

Les brises lames immergés vont ainsi permettre de réduire la houle incidente sur la plage donc limiter les érosions. De plus le retrait de sable vers le large sera en partie capté par ces ouvrages.

Cependant, pour accompagner ce phénomène et retrouver rapidement une plage de taille raisonnable et suffisante donc une protection, un rechargement de sable peut être associé à ces brises lames. Ce rechargement est à réaliser au moment de la mise en place du brise-lames. Par la suite, les coups de mers et le transit sédimentaire étant moins important grâce au brise-lames, la perte de sable sur la plage serait plus faible qu'actuellement. Si des rechargements complémentaires de plage s'avèrent nécessaires, ces derniers seront moins volumineux que l'apport initial.

Comme détaillé précédemment, deux méthodes de rechargement peuvent être mises en place : rechargement mécanique et / ou hydraulique.

Afin de limiter les coûts et de respecter les caractéristiques environnementales du milieu, l'objectif n'est pas d'aller chercher du sable provenant d'ailleurs : ainsi, on évitera l'apport depuis des carrières et également l'apport depuis des gisements marins trop éloignés. La ville dispose au Nord de la zone, vers le port, d'une réserve importante de sable qui provient en partie d'accrétion. Les deux ports (Le Lavandou et Bormes-les-Mimosas) sont également dragués en raison de l'arrivée trop importante de sable.

Il pourrait alors être utilisé ce sable de la même cellule hydrosédimentaire pour recharger la zone : ce rechargement pourrait être mécanique (pelle) ou hydraulique (pompe).

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### 3.2.8 Récapitulatif des avantages et inconvénients de chaque solution envisagée

Solution	Avantage	Inconvénient
Recul stratégique du trait de côte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Milieu naturel en lieu et place d'une zone fortement urbanisée ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts exorbitants</li> <li>- Relocalisation d'un quartier complet</li> <li>- Durée de travaux</li> <li>- Freins juridiques et réglementaires</li> </ul>
Brise lame en enrochements	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie accentuée</li> <li>- Faible entretien</li> <li>- Solidité de l'ouvrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réversibilité limitée</li> <li>- Durée de travaux</li> <li>- Coûts élevés</li> <li>- Solution dure</li> </ul>
Brise lame en géotextile type géotubes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ouvrages réversibles</li> <li>- Durée de travaux limitée</li> <li>- Solution douce</li> <li>- Coûts limités</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance des géotubes</li> <li>- Fragilité des géotubes (chocs, déchirements, ...)</li> <li>- Présence de géosynthétiques</li> </ul>
Brise lame composé de sacs en géotextiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts limités ;</li> <li>- Ouvrages réversibles ;</li> <li>- Durée de travaux limitée ;</li> <li>- Solution douce.</li> <li>- Facilité d'entretien vis-à-vis des géotubes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance des géotubes ;</li> <li>- Fragilité des sacs (chocs, déchirements, ...).</li> <li>- Nombre important d'éléments</li> <li>- Présence de géosynthétiques</li> </ul>
Brise lame en Géocorail®	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solidification du géotube</li> <li>- Entretien modéré</li> <li>- Recycle les matériaux naturels présent dans l'eau de mer / intérêt environnemental</li> <li>- Durée de travaux limitée</li> <li>- Rugosité du Géocorail propice à l'hébergement et la fixation d'espèces</li> <li>- Ce type d'élément géologique est facilement attaqué par les bioérodeurs et mollusques. Ces derniers contribuent à la création de cavités et aspérités qui favorisent la structuration du matériau, pour en faire un habitat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réversibilité modérée</li> <li>- Coûts modérés</li> <li>- Nécessite un délai pour la solidification</li> <li>- Alimentation pour procédé</li> </ul>
Brise lame en récif artificiel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ouvrages réversibles</li> <li>- Solution douce</li> <li>- Nurserie à poissons / intérêt environnemental</li> <li>- Absence de plastiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts importants</li> <li>- Efficacité contestée (ouvrage béton)</li> <li>- Nombre important d'éléments</li> </ul>

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Brise lame en gabions avec Géocorail®	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidité d'exécution</li> <li>- Entretien modéré, réduction de l'entretien sur le brise-lame ;</li> <li>- Recycle les matériaux naturels présents dans l'eau de mer si présence de Géocorail® / intérêt environnemental ;</li> <li>- Protection des aciers par le Géocorail</li> <li>- Rugosité du Géocorail propice à l'hébergement et la fixation d'espèces</li> <li>- Ce type d'élément géologique est facilement attaqué par les bioérodeurs et mollusques. Ces derniers contribuent à la création de cavités et aspérités qui favorisent la structuration du matériau, pour en faire un habitat.</li> <li>- Favorise le développement d'espèces sur ce support</li> <li>- Absence de plastiques</li> <li>- Durée de travaux limitée ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réversibilité modérée</li> <li>- Coûts importants</li> <li>- Nombre important d'éléments</li> <li>- Délai de création du Géocorail</li> <li>- Entretien du système d'alimentation électrique</li> </ul>
Rechargement seul	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu de travaux</li> <li>- Effet immédiat avec plage de grande largeur</li> <li>- Coûts réduits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de protection à long terme</li> <li>- Aucune réduction de la houle</li> <li>- Ne limite pas l'érosion</li> <li>- Durée de vie très courte</li> </ul>
Rechargement en complément d'un brise-lame	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effet immédiat avec plage de grande largeur</li> <li>- Attractivité de la plage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût supplémentaire au brise lame</li> </ul>

*Tableau 7 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des solutions envisagées*

### 3.2.9 Analyse multicritère

#### 3.2.9.1 Principe de l'analyse multicritère

Les différentes solutions envisagées pour le projet ont fait l'objet d'une analyse multicritère faisant ressortir les avantages et inconvénients de chacune des solutions en y intégrant le rapport coût/avantage. Cette analyse détaillée est transmise en annexe de ce rapport.

L'analyse multicritères comprend 3 parties comme présentée ci-après :

- Une analyse qualitative de la solution par rapport à chaque thématique (la liste des thématiques sera exhaustive et prendra en compte l'ensemble des composantes du système) ;
- La transformation de l'analyse qualitative en une notation brute affectant une note à chaque thématique ;
- La normalisation des notes pour les ramener à une échelle commune permettant la comparaison et l'addition des différentes notes ;

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Afin de réaliser ce classement des différentes solutions, plusieurs catégories sont définies et pondérées.

<b>Catégories</b>	<b>Pondérations associées</b>
Economique	25 %
Environnement	20 %
Technique	20 %
Travaux	10 %
Architecture	10 %
Règlementaire	5 %
Activité socio-économique	10 %

*Tableau 8 : Catégories et pondérations associés*

Chaque catégorie est composée de différents critères et sous-critères associés comme le montre le tableau suivant :

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Catégories	Critères	Sous-critères	Commentaire
Economique	Dépenses	Coût des aménagements	Coût des travaux
		Capacité à obtenir des financements dans le cadre d'appel à projets (uniquement sur l'analyse des types de brise-lames)	Facilité à obtenir des financements externes lors d'appels à projets
		Coûts d'entretien	Coûts liés à l'entretien et aux réparation éventuelles des ouvrages
Environnement	Milieu Physique	Courantologie de la zone	Impact de l'ouvrage sur la courantologie de la zone autour de celui-ci
		Sédimentologie de la zone	Impact de l'ouvrage sur la dynamique sédimentaire de la zone
	Impact des travaux sur l'environnement (à court terme).	Biocénoses	Impact de l'ouvrage sur la faune et la flore autour de celui-ci
		Qualité des eaux	Impact des travaux sur la qualité de l'eau à proximité de la zone de travaux (turbidité ; remise en suspension de matières, ...)
	Impact de l'ouvrage sur l'environnement (à long terme)	Biocénoses	Impact de l'ouvrage sur la faune et la flore autour de celui-ci
		Qualité des eaux	Tenue de l'ouvrage dans le temps, etc...
Technique	Structure	Capacité de l'ouvrage à diminuer la force des vagues	Impact de l'ouvrage sur la houle incidente
		Type d'ouvrage, matériaux employés	Matériaux employés pour la construction de l'ouvrage
		Solidité de l'ouvrage	Résistance de l'ouvrage vis-à-vis des agressions extérieures
		Durabilité	Durée de vie de l'ouvrage

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

		Réversibilité	Facilités, possibilités de retirer l'ouvrage
Travaux	Exécutions	Durée des travaux,	Durée des travaux
		Facilité de mise en œuvre	Difficultés d'exécutions des travaux, complexités de réalisation
Architecture	Paysage	Impact paysager de l'ouvrage	Visibilité de l'ouvrage
	Limite administrative	Emprise au sol de l'ouvrage, concessions	Eventuelles demandes de concessions, d'occupation du territoire
Réglementaire	Procédures administratives	Aménagements maritimes et/ou terrestres	Dossiers et documents d'autorisation à réaliser
Activités socio-économiques	Confort	Gain de plage	Capacité de l'ouvrage à élargir la plage, impact sur les activités terrestres
	Sécurité	Impact de l'ouvrage sur les activités maritimes (plaisance, baignade, etc.).	Impact de l'ouvrages sur les activités maritimes
		Protection de la promenade vis-à-vis des conditions climatiques	Efficacité de l'ouvrage sur la protection des infrastructures en haut de plage
		Maintien des habitations et de la voirie	Efficacité de l'ouvrage sur la protection des ouvrages en arrière de la plage

*Tableau 9. Catégorie des critères et sous-critères*

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Ces derniers sont notés alors sur le barème suivant :

Barème des sous-critères	
Appréciation	Note
Insatisfaisant	1
Peu satisfaisant	2
Moyennement satisfaisant	3
Satisfaisant	4
Très satisfaisant	5

*Tableau 10 : Barème des sous-critères*

Pour chaque catégorie, il est calculé la moyenne des sous-critères noté sur 5 points. Cette moyenne est alors pondérée par sa valeur associée pour donner la note de la catégorie. Pour finir, la note totale sur 100 points attribuée à chaque solution/projet résulte de la somme des notes pondérées attribuées aux différentes catégories. Le projet récoltant alors le plus de points se verra être prescrit comme étant la meilleure solution tous objectifs/catégories considérés.

Deux analyses multicritères ont été effectuées. La première concerne les quatre solutions envisageables pour lutter contre l'érosion de la plage du Centre-Ville, à savoir le recul stratégique du trait de côte, le brise-lames immergé, le rechargement de plage et le brise-lames immergé avec rechargement. Cette analyse solution permet de statuer sur la meilleure solution de lutte contre l'érosion de la plage du Centre-Ville

### 3.2.9.2 Résultat de l'analyse multicritère sur les différentes solutions de lutte contre l'érosion de plage du Centre-Ville

La première analyse multicritère a permis d'établir un classement entre les différentes solutions envisagées précédemment pour lutter contre l'érosion de la plage du Centre-Ville. Le Tableau 11 ci-après récapitule les principaux résultats de l'analyse multicritère. Cette dernière est jointe complète en annexe de ce rapport.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Catégorie	Pondération de la catégorie	Recul stratégique du trait de côte		Brise lame immergé		Rechargement seul		Brise lame immergé avec rechargement	
		Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération
Economique	25,00%	2,5	12,5	3,5	17,5	3	15	3,5	17,5
Environnement	20,00%	5	20	3,5	14	3,16667	12,667	3,5	14
Technique	20,00%	3,4	13,6	3,6	14,4	2,4	9,6	3,8	15,2
Travaux	10,00%	1	2	3	6	4	8	3	6
Architecturale	10,00%	2,5	5	3	6	4	8	3	6
Réglementaire	5,00%	1	1	2	2	3	3	2	2
Activités socio-économiques	10,00%	2,75	5,5	3,75	7,5	3,5	7	4	8
<b>Note globale de la solution sur 100 points</b>		<b>59,6</b>		<b>67,4</b>		<b>63,2667</b>		<b>68,7</b>	
<b>Classement global</b>		<b>4</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>1</b>	

*Tableau 11 : Résultat de l'analyse multicritère sur les solutions de lutte contre l'érosion de la plage du Lavandou*

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### **Recul stratégique du trait de côte :**

Cette option présente des avantages d'un point de vue environnemental mais les contraintes réglementaires, économiques et les enjeux socio-économiques de la zone sont très importants. Cette solution obtient la note de 59.6/100 et la 4<sup>ème</sup> place.

### **Brise-lame immergé :**

Cette solution permet de protéger la plage et les aménagements des coups de mers. Le brise lame permet en effet de casser la houle en amont de la plage et ainsi limiter l'impact de celle-ci sur la page et par conséquent le transport du sable vers le large. La mise en place de brise-lame immergé constitue une solution contre l'érosion de la plage pour un coût relativement contenu. De plus, cette option induit relativement peu d'impacts sur l'environnement. Cette solution obtient la note de 67.4/100 et la 2<sup>ème</sup> place

### **Rechargement seul :**

Ce procédé seul nécessiterait un apport très conséquent en sable qui repartirait en mer en seulement quelques années. La réalisation de rechargements de plage seuls ne peut constituer une solution pérenne de lutte contre l'érosion. En effet, cela ne permet pas de réduire l'impact de la houle sur la plage lors de tempête, elle constitue plutôt une protection temporaire de la promenade lors des tempêtes. Des rechargements répétés et successifs pourraient avoir un impact sur le milieu marin (transport du sable vers le large) sans qu'il n'y ait une efficacité probante sur la plage. Cette solution obtient la note de 63.27/100 et la 3<sup>ème</sup> place

### **Brise-lame immergé avec rechargement :**

La meilleure solution qui ressort de cette analyse est la mise en place d'un brise lames immergé couplé à un rechargement de plage. Cette solution permet de protéger la plage et les aménagements des coups de mers. Le brise lame permet en effet de casser la houle en amont de la plage et ainsi limiter l'érosion pour un coût relativement contenu. De plus, cette option induit relativement peu d'impacts sur l'environnement. Le rechargement de plage permet également un agrandissement rapide de la plage, donc une attractivité. Ce sable sera retenu via la mise en place du brise lame. Cette solution obtient la note de 68.7/100 et la 1<sup>ère</sup> place

Suite aux résultats de cette analyse, une seconde analyse multicritère est réalisée avec les différents brise-lames existants. Cette dernière devra ainsi permettre de déterminer quels mode constructif et type de brise lames est le meilleur pour la problématique d'érosion de la plage du Centre-Ville du Lavandou.

#### 3.2.9.3 Résultat de l'analyse multicritère sur les différents types et mode constructifs de brise-lames immergés

La seconde analyse multicritère a permis d'établir un classement entre les différentes types et modes constructifs de brise-lames immergés possibles. Le tableau 11 ci-après récapitule les principaux résultats de l'analyse multicritère. Cette dernière est jointe complète en annexe de ce rapport.

6 Solutions ont été étudiées :

- Brise lame immergé en enrochements
- Brise lame immergé en géotextile type géotubes
- Brise lame immergé composé de sacs en géotextile
- Brise lame géotextile immergé en Géocorail
- Brise lame immergé en récif artificiel
- Brise lame immergé en gabions avec Géocorail

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

Catégorie	Pondération de la catégorie	Brise lame immergé en enrochements		Brise lame immergé en géotextile type géotubes		Brise lame immergé composé de sacs en géotextile		Brise lame immergé géotextile en Géocorail®		Brise lame immergé en récif artificiel		Brise lame immergé en gabions avec Géocorail ®	
		Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération	Note sur 5	Pondération
Economique	25 %	2.67	13.33	2.33	11.67	3	15	3	15	3,33	16.67	3	15
Environnement	20 %	3,67	14.67	3,17	12.67	3.17	12.67	3,67	14.67	3,83	15.3	3,67	14.67
Technique	20 %	3,6	14.4	3	12	3	12	3,6	14.4	3	12	3,4	13.6
Travaux	10 %	2,5	5	3	6	3,5	7	2,5	5	2,5	5	3	6
Architecturale	10 %	3,5	7	3,5	7	3,5	7	3,5	7	3,5	7	3,5	7
Réglementaire	5 %	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Activités socio-économiques	10 %	3,5	7	3,75	7.5	3,75	7.5	3,5	7	3,5	7	3,5	7
Note globale de la solution sur 100 points		63,4		58.833		63,1667		65,067		65,0		65,267	
Classement global		4		6		5		2		3		1	

*Tableau 12 : Résultat de l'analyse multicritère sur les types et modes constructifs des brise-lames immergés*

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

### **Brise lame immergé en enrochements :**

Cette solution consiste à réaliser un ouvrage en enrochements. Les coûts associés à ce type d'ouvrage sont assez limités mais l'emprise est importante et la réversibilité très faible. Les enrochements sont des matériaux naturels issues de carrières pouvant former des cavités et être vecteur de biodiversité. Cette solution arrive en 4<sup>ème</sup> position avec une note de 63.4/100.

### **Brise lame immergé en géotextile type géotubes :**

Cette solution consiste à créer un ouvrage à l'aide de tubes de géotextiles remplis de sable. Cette technique nécessite un apport de sable (qui pourrait venir de la plage centrale ou être issu du dragage du port du Lavandou). La réversibilité de ce type d'ouvrage est plus importante que pour les enrochements. Cependant, la solution est composée de géotextile (présence de plastique) et peut avoir un entretien coûteux en cas de déchirure. Elle arrive en 6<sup>ème</sup> position avec une note de 58.833/100.

### **Brise lame immergé composé de sacs en géotextile :**

Cette solution consiste à créer un ouvrage à l'aide de nombreux sacs géotextiles remplis de sable. Cette technique nécessite un apport de sable (qui pourrait venir de la plage centrale ou être issu du dragage du port du Lavandou). La réversibilité de ce type d'ouvrage est plus importante que pour les enrochements. Cependant, la solution est composée de géotextile (présence de plastique) et peut avoir un entretien coûteux en cas de déchirure. Elle arrive en 5<sup>ème</sup> position avec une note de 63.1667/100.

### **Brise lame immergé géotextile en Géocorail® :**

Cette solution consiste à créer un ouvrage à l'aide de tubes de géotextiles remplis de sable. Les tubes seront renforcés par le Géocorail®. Le Géocorail est un agrégat solide formé à partir des matériaux naturellement présents dans l'eau (sable, pierres, ...) grâce à un phénomène d'électrolyse Cette technique nécessite un apport de sable (qui pourrait venir de la plage centrale ou être issu du dragage du port du Lavandou). Elle utilise toujours un composé plastique mais le dispositif géocorail permet de réduire les dégradations, qui peuvent être polluantes ainsi que les coûts d'entretien. Le Géocorail®, permet de créer un matériau solide à partir des éléments naturellement présents sur site (sable, coquillages, etc.) et peut « reproduire » un habitat de type fonds sableux. Cette option arrive en 2<sup>ème</sup> position avec une note de 65.067/100.

### **Brise lame immergé en récif artificiel :**

Cette solution consiste à créer des récifs artificiels en béton en lieu et place de la digue sous-marine envisagée. Cette option présente de bonnes notes dans plusieurs critères : économiques, environnement. Techniquement, la conception et la mise en œuvre des récifs artificiels sont plus complexes pour une efficacité qui est moins démontrée que les autres solutions. Cependant cette solution constitue un vecteur majeur pour la biodiversité du milieu. Elle obtient la note de 65/100 et la 3<sup>ème</sup> place.

### **Brise lame immergé en gabions avec Géocorail® :**

Cette solution consiste à construire le brise lame à l'aide de gabions métalliques. Cette technique n'utilise aucun matériau plastique. Le gabion serait composé ainsi d'une cage en acier remplis de petits enrochements naturels. Ces cages en aciers seraient équipées de la technologie Géocorail® permettant de réaliser une concrétion rocheuse sur la cage métallique. Le dispositif géocorail que des éléments naturels (sable, coquillages, etc.) et peut « reproduire » un habitat de type fonds sableux. Le recours à ce système permet de prolonger la durée de vie de l'ouvrage sous l'eau et notamment des cages en aciers. Elle obtient la note de 65.267/100 et la 1<sup>ère</sup> place.

## PHASE 2 : PROPOSITION DE SOLUTIONS

D'après cette analyse multicritère, trois solutions arrivent en tête :

1. Brise lame immergé en gabions avec Géocorail
2. Brise lame géotextile immergé en Géocorail
3. Brise lame immergé en récif artificiel

### 3.3 Conclusion sur les solutions possibles

La plage du Centre-Ville est soumise à une érosion induite par des tempêtes d'EST. Considérée comme une plage en milieu fortement urbanisé, les solutions possibles étudiées pour lutter contre cette érosion sont :

- Le recul stratégique du trait de côte.
- La construction d'un brise-lame parallèle à la plage.
- Des rechargements de sable sur la plage.
- La construction d'un brise lame parallèle à la plage, couplée à un rechargement (moins conséquent que s'il s'agissait d'une solution unique).

**L'étude de ces différentes solutions a permis de déterminer que la mise en place d'un brise-lames était la meilleure des trois solutions citées ci-dessus. Le brise-lame envisagé sera immergé, ce qui limitera l'impact visuel de cet aménagement. Il sera compatible avec les activités de la plage et bénéficiera d'un balisage dédié permettant de visualiser l'ouvrage étant invisible depuis la surface. La mise en place de brise-lames serait couplée à un rechargement de la plage, dans une quantité beaucoup moins importante qu'en cas de rechargement seul. La plage étant aujourd'hui très réduite, ce rechargement, avec du sable issu de la plage centrale située à quelques centaines de mètres du tronçon érodé ou du dragage du port du Lavandou permettra de retrouver rapidement une largeur de plage suffisante afin de protéger la promenade de l'érosion. Le sable sera maintenu grâce au brise lame qui a pour but de casser la houle en amont de la plage et ainsi réduire le transport du sable de la plage vers le large.**

Parmi les différents types de brise-lames, plusieurs solutions se distinguent :

- 1 Brise lame immergé en gabions avec Géocorail
- 2 Brise lame géotextile immergé en Géocorail
- 3 Brise lame immergé en récif artificiel
- 4 Brise lame immergé en enrochements
- 5 Brise lame immergé composé de sacs en géotextile
- 6 Brise lame immergé en géotextile type géotubes

Dans la phase 3, plusieurs solutions seront développées et le choix de la solution retenue sera développée.