

CONFORTEMENT DE L'ENCOCHE DUNAIRE DE LA CORNICHE A LA TESTE DE BUCH

AVANT-PROJET DEFINITIF



Photos Aériennes Obliques © OCA, ULM Sud Bassin

INFORMATIONS GENERALES SUR LE DOCUMENT

Contact	CASAGEC INGENIERIE 18 rue Maryse Bastié Z.A. de Maignon 64600 Anglet - FRANCE Tel : + 33 5 59 45 11 03 Web : http://www.casagec.fr
Titre du rapport	Confortement de l'encoche dunaire de la Corniche à la Teste De Buch Avant-Projet Définitif
Maître d'Ouvrage	SIBA
Auteur(s)	Arnaud SALLABERRY – Floriane BOGUN (CASAGEC) Mikael FORTUNEL – Gabriel CHAMBON (ANTEA)
Responsable du projet	Mikael FORTUNEL (mikael.fortunel@anteagroup.fr) Arnaud SALLABERRY (sallaberry@casagec.fr)
Rapport n°	CI-22047

SUIVI DU DOCUMENT

Rev.	Date	Description	Rédigé par	Approuvé par
00	16/05/2023	Version provisoire	FBN / ASY / GCN /MFL	ASY / MFL
01				
02				

TABLE DES MATIERES

1.	Contexte et objet	7
1.1.	Contexte	7
1.2.	Objectifs.....	7
2.	Description générale du site à l'étude	8
3.	Rappels et appropriation de l'Avant-Projet Sommaire (APS)	9
3.1.	L'ouvrage	9
3.2.	Les rechargements	11
4.	Définition des données de site.....	12
4.1.	Référencement du projet	12
4.2.	Niveaux d'eau	12
4.2.1.	Marée astronomique	12
4.2.2.	Niveaux d'eau extrême	12
4.2.3.	Élévation du niveau de la mer	13
4.3.	Houle	15
4.3.1.	Au large	15
4.3.2.	Propagation en pied d'ouvrage	16
4.4.	Fonctionnement du site	19
4.4.1.	Dynamique hydrosédimentaire.....	19
4.4.2.	Evolutions de la dune	22
5.	Démantèlement de l'ouvrage et dimensionnement de sa terminaison	29
5.1.	Critères de projet.....	29
5.2.	Description de l'ouvrage actuel.....	29
5.3.	Définition de la terminaison en plan	31
5.4.	Calculs de dimensionnement	33
5.4.1.	Niveau de crête	33
5.4.2.	Stabilité des enrochements.....	35
5.4.3.	Pied de l'ouvrage.....	37
5.5.	Description de la solution.....	38
5.5.1.	Caractéristiques principales	38
5.5.2.	Organisation de chantier.....	39
5.5.3.	Phasage et planning de chantier	46
5.5.4.	Quantitatif et chiffrage.....	49

6.	Rechargement en sable.....	50
6.1.	Dimensionnement des rechargements	50
6.1.1.	Définition des volumes de besoin	50
6.1.2.	Définition des profils de rechargement	52
6.2.	Mise en œuvre des rechargements.....	53
6.2.1.	Site d'extraction	53
6.2.2.	Méthodologie de réalisation des opérations	53
6.3.	Chiffrage	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Site d'étude dans son environnement.	8
Figure 2. Description de l'environnement immédiat de l'ouvrage à l'étude.	8
Figure 3. Localisation des zones d'enrochements à déposer (ARTELIA 2022).	9
Figure 4. Vue en plan de la nouvelle terminaison (ARTELIA 2022).	10
Figure 5. Coupe-type Pa (ARTELIA 2022).	10
Figure 6. Coupe-type Pb (ARTELIA 2022).	10
Figure 7. Localisation des rechargements.	11
Figure 8. Carte de niveau d'eau extrême en aquitaine, de période de retour 10 ans à gauche et 100 ans à droite.	13
Figure 9. Elévation du niveau moyen de la mer à Boucau (point le plus proche disponible) selon différents scénarios (source : https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool).	14
Figure 10. Bouée CANDHIS, Cap Ferret - Rose de houle et corrélogramme H_{m0} / T_p	15
Figure 11. Localisation du profil d'étude entre le site d'étude et la bouée CANDHIS (03302 – Cap Ferret).	16
Figure 12. Profils associés au Stade A à gauche et au Stade B à droite.	17
Figure 13. Profils associés au Stade C à gauche et comparaison des 3 stades étudiées.	17
Figure 14. Cycle d'évolution des passes d'entrée de la lagune d'Arcachon (Michel, 1997).	20
Figure 15. MNT bathymétriques (1969 et 1985) des passes internes du Bassin d'Arcachon (BRGM/RP-69920-FR)	20
Figure 16. MNT bathymétriques (2005 et 2016) des passes internes du Bassin d'Arcachon (BRGM/RP-69920-FR).	21
Figure 17. Comparaison des profils bathymétriques, réalisés face au musoir de la Corniche. L'axe des abscisses indique la longitude en coordonnées Lambert Sud (BRGM/RP-69920-FR).	22
Figure 18. Evolution du phénomène d'érosion dans le secteur du musoir de la Corniche (Fond de plan : Orthophotographie du SIBA 2005, 2012, 2018 et 2022).	23
Figure 19. Localisation des 6 profils utilisés pour étudier les évolutions de la dune.	24
Figure 20. Evolutions de la topographie entre 2014 et 2021 au niveau des profils 1 et 2.	24
Figure 21. Evolutions de la topographie entre 2014 et 2021 au niveau des profils 3 et 4.	25
Figure 22. Evolutions de la topographie entre 2014 et 2021 au niveau des profils 5 et 6.	25
Figure 23. Schéma illustrant le recul de la dune dans le secteur d'étude.	28
Figure 24. Coupe-types des travaux de protection du musoir réalisés en 1995 (SOGREAH 2011).	30
Figure 25. Vue en plan de la configuration actuelle.	30
Figure 26. Photographies de l'extrémité de l'ouvrage depuis la plage (gauche) et depuis la crête (droite).	31
Figure 27. Analyse de la problématique excavation au niveau du point le plus contraignant du projet APS	32
Figure 28. Vue en plan du projet APD avec comparaison avec le projet APS	33

Figure 29. Vue en plan et coupes types du projet.	38
Figure 30 : Photomontage de la rampe d'accès à la crête d'ouvrage	46
Figure 31. Vue en plan et coupe type BB du projet de rechargement.....	53
Figure 32. La drague Côte de Bretagne en action de rainbowing lors du rechargement des plages du Pyla-sur-Mer en 2022	54
Figure 33 : Schéma de principe du dragage par une drague aspiratrice en marche (source : IFREMER).	55
Figure 34 : Schéma de principe du refoulement par conduite (source : IFREMER).	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Synthèse des principales caractéristiques des scénarios de rechargement (d'après APS, ARTELIA 2022).	11
Tableau 2. Niveau de marée sur le bassin d'Arcachon (RAM – SHOM, 2022).	12
Tableau 3. Niveaux d'eau extrêmes à Arcachon (CEREMA, 2018).	12
Tableau 4. Niveaux d'eau extrêmes obtenus par lecture de carte à Pilat-Plage (SHOM-CETMEF, 2012).....	13
Tableau 5. Elévation du niveau moyen de la mer en mètre à Boucau selon différents scénarios (source : https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool).	15
Tableau 6. Niveaux d'eau extrêmes obtenus par lecture de carte à Pilat-Plage (SHOM-CETMEF, 2012).....	16
Tableau 7. Cas de calculs considérés (CC = Changement Climatique)	18
Tableau 8. Valeurs de H_{m0} en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.	18
Tableau 9. Valeurs de $H_{1/3}$ en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.....	18
Tableau 10. Valeurs de $H_{2\%}$ en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.	19
Tableau 11. Valeurs de set-up (élévation du niveau d'eau lié aux vagues) en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.	19
Tableau 12. Distance entre le profil topographique de la dune en 2014 et celui de 2021 (en m).	25
Tableau 13. Taux d'évolution 2014-2021 (en m/an).	25
Tableau 14. Différentiel volumétrique de proche en proche : entre 0 et 10 m CM ; au-dessus de 10 m CM ; au global.....	27
Tableau 15. Valeur de débit de franchissement moyen pour un niveau de crête de 7 m CM	34
Tableau 16. Valeur de débit de franchissement moyen pour un niveau de crête de 8 m CM	34
Tableau 17. Masses médianes théoriquement stables en section courante pour une pente de 3/1	36
Tableau 18. Masses médianes théoriquement stables en extrémité d'ouvrage pour une pente de 3/1.....	36
Tableau 19. Masses médianes théoriquement stables en section courante pour une pente de 3/2	37
Tableau 20. Masses médianes théoriquement stables en extrémité d'ouvrage pour une pente de 3/2.....	37
Tableau 21. Quantitatif et estimatif du projet de démantèlement de l'ouvrage de la Corniche	49
Tableau 22. Pertes annuelles de sable par box et par niveau de dune calculées sur la base de la somme des pertes de proches en proches.	50

Tableau 23. Volumes érodés au fil des années (exprimés en m ³) selon l'hypothèses de pourcentage utile des sables issus de la partie haute de la dune (> 10 m CM).	50
Tableau 24. Volumes totales de sable (tous niveaux confondus) jouant un rôle dans les processus érosifs.	51
Tableau 25. Coûts estimatifs pour des rechargements à hauteur de 22 000 m ³	56

1. CONTEXTE ET OBJET

1.1. CONTEXTE

La façade océanique du Bassin d'Arcachon est soumise à une problématique d'érosion et de recul du trait de côte qui se traduit au niveau du secteur dit du « musoir de la Corniche » par une encoche d'érosion caractéristique des transitions entre zone fixe (protection côtier) et des zones meubles (plage et dune du Pilat).

Le site a fait l'objet de nombreux travaux et études. Dans le cadre de la Stratégie Locale de Gestion de la Bande Côtière (SLGBC), différents scénarios d'interventions ont été envisagées. Lors de la validation de la stratégie locale en 2018, 2 scénarios ont été retenus :

- S3A : Maintien de l'ouvrage et rechargement ;
- S3B : Maintien de l'ouvrage et consolidation de l'encoche par la mise en œuvre de géotubes.

Par la suite, le SIBA a confié en juin 2021 au bureau d'étude ARTELIA, l'étude d'Avant-Projet Sommaire afin d'analyser les solutions de protections du secteur de la Corniche. Sur la base des différentes solutions étudiées, une solution a été validée en 2022 par l'ensemble des partenaires de la SLGBC de la Teste-de-Buch. Celle-ci consiste à :

- Supprimer l'extrémité de l'ouvrage et de stabiliser la nouvelle terminaison ;
- Réensabler l'encoche dunaire par l'intermédiaire d'un rechargement initial combiné à des travaux d'entretien tous les 2 ans.

À la suite d'un nouvel appel d'offre lancé par le SIBA, une mission de maîtrise d'œuvre a été confiée au groupement ANTEA – CASAGEC afin d'affiner l'étude APS d'ARTELIA, dans le but final de réaliser les travaux retenus (démantèlement et réensablement).

1.2. OBJECTIFS

Comme évoqué précédemment, l'étude d'ARTELIA a été conduite jusqu'à un niveau d'Avant-Projet Sommaire. Afin de pouvoir réaliser les travaux, il est donc nécessaire au préalable de s'approprier et d'affiner le travail réalisé par ARTELIA, afin de conduire en suivant la mission de maîtrise d'œuvre (MOE) jusqu'aux étapes suivantes :

- La réception des travaux pour l'ouvrage en enrochements ;
- L'ACT pour les rechargements.

La présente étude doit donc permettre de finaliser l'étude sans remettre en question les choix principaux réalisés lors de l'étude d'ARTELIA, qui sont rappelés ci-dessous :

- Les travaux sur l'ouvrage consistent à réaliser un démantèlement de ce dernier sur les 30 à 40 derniers mètres ;
- Afin de répondre à la problématique d'érosion et d'encoche des rechargements seront nécessaires.

Le présent rapport constitue l'étude d'Avant-Projet Définitif (ADP) conduit par le groupement ANTEA – CASAGEC.

2. DESCRIPTION GENERALE DU SITE A L'ETUDE

Le site d'étude se trouve sur la commune de la Teste-de-Buch au niveau de la terminaison Sud de la protection côtière et au Nord immédiat de la Dune du Pilat (Figure 1). Le projet se trouve donc être localisé sur la façade Atlantique du bassin d'Arcachon qui est soumise à une problématique d'érosion et de recul du trait de côte.

Les sollicitations hydrauliques maritimes au-devant de la zone d'étude sont liées à l'action des houles, des courants et des marées qui elles-mêmes sont influencées par les évolutions des passes et des bancs.

De manière plus précise l'étude s'intéresse à l'ouvrage en enrochements se trouvant dans la continuité des perrés bétonnés et à l'encoche qui l'accompagne.

Cet ouvrage en enrochements jouant le rôle de protection de la dune servant de support à l'hôtel – restaurant « La Co(o)rniche » assure la transition entre les parties artificialisées des perrés en béton et la dune du Pilat (Figure 2).

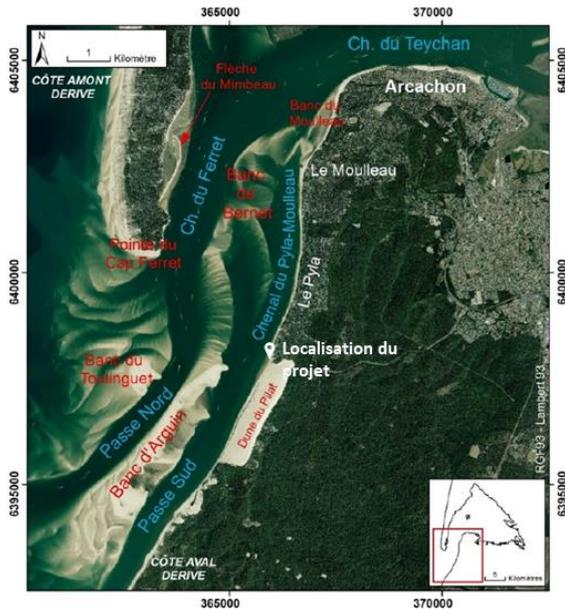


Figure 1. Site d'étude dans son environnement.



Figure 2. Description de l'environnement immédiat de l'ouvrage à l'étude.

3. RAPPELS ET APPROPRIATION DE L'AVANT-PROJET SOMMAIRE (APS)

3.1. L'OUVRAGE

La description de la solution proposées par ARTELIA dans le cadre de son étude APS est retranscrite ci-après :

« L'aménagement consiste à :

- Déposer des enrochements constituant les vestiges de l'extrémité de la protection. Les enrochements seront stockés à proximité afin qu'une partie soit valorisée sur site (carapace ou sous-couche - concassage...-);
- Déposer une partie de l'extrémité actuelle de la protection pour permettre de réaliser la jonction entre les deux ouvrages (recouvrement géotextile...);
- Mettre en œuvre :
 - Le noyau en remblai calibré (tout-venant de carrière calibré ou matériaux de récupération trié et sélectionné permettant l'absence de fines) ;
 - Un géotextile de filtration sur le talus, pour réduire le risque de fuite des matériaux fins ;
 - Une couche-filtre en enrochements de catégorie 50-300 kg de 0.7 - 0.8 m d'épaisseur (en pied d'ouvrage, la butée sera de plusieurs mètres (3 à 5 m)) ;
 - Une carapace en enrochements dioritiques (forte densité et dureté) bi-couche de catégorie 1-3T de 1.90 m d'épaisseur. La crête de l'ouvrage sera arasée à environ 7 m CM avec une berme de 3 m. »



Figure 3. Localisation des zones d'enrochements à déposer (ARTELIA 2022).

La vue en plan et les coupes associées à cette description sont présentées ci-après.

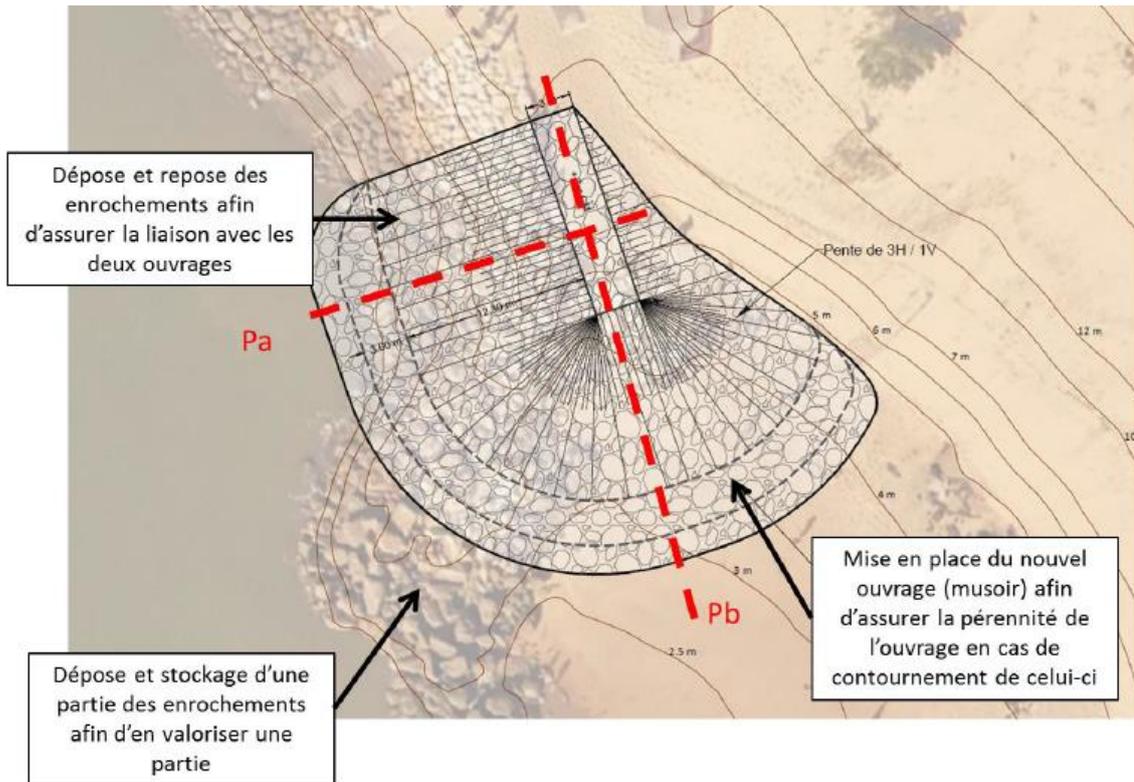


Figure 4. Vue en plan de la nouvelle terminaison (ARTELIA 2022).

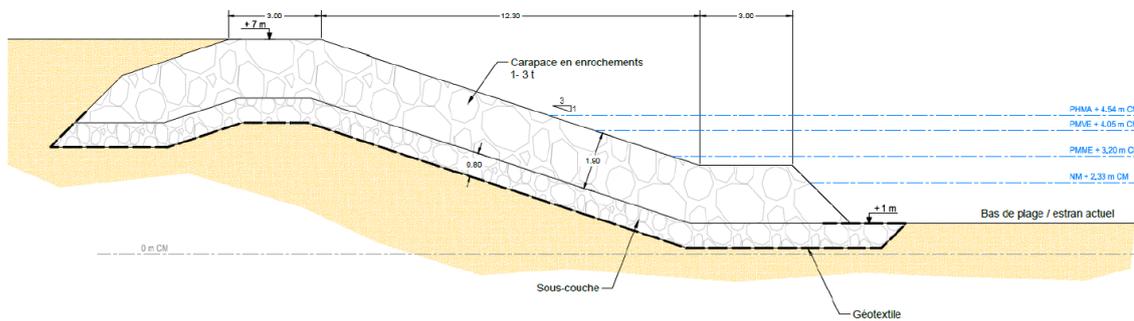


Figure 5. Coupe-type Pa (ARTELIA 2022).

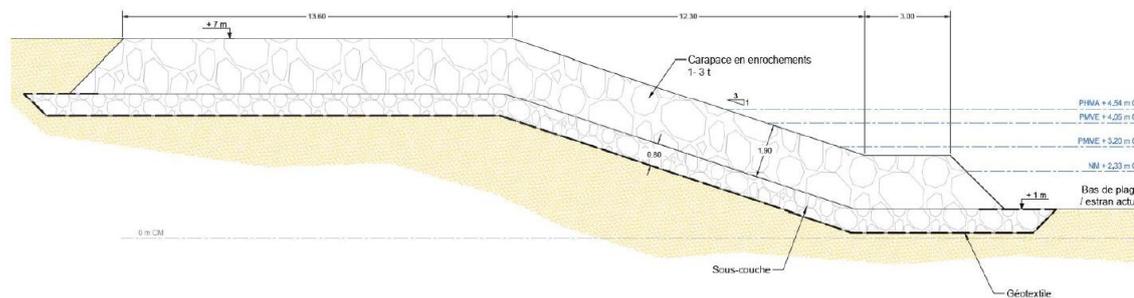


Figure 6. Coupe-type Pb (ARTELIA 2022).

La longueur de crête de la nouvelle terminaison d'ouvrage reprise par ARTELIA est de l'ordre de 14 m.

Le projet développé au niveau APD va fortement s'inspirer des coupes présentées ci-dessus qui sont définies selon les règles de l'art. Les calculs de stabilité et de franchissement seront actualisés incluant une réflexion et une étude de propagation des houles plus poussées. De plus, une analyse plus précise sera amenée concernant l'orientation de l'axe de la terminaison de l'ouvrage au regard des terrassements compliqués en pied de dune.

3.2. LES RECHARGEMENTS

Afin d'éviter que :

- L'ouvrage soit contourné de façon notable, ce qui pourrait entraîner un recul de la dune et donc la perte des enjeux de 1^{ère} ligne,
- Une côte en pied d'ouvrage trop basse, pouvant déstabiliser ce dernier,

...des rechargements en sable ont été inclus au programme de travaux et pré-détaillés dans le cadre de l'APS d'ARTELIA (2022).

D'après les éléments de description apportés dans le cadre de ce document, les rechargements seront réalisés à partir de sable extrait sur le flanc Est du Banc de Bernet. Les sables seront prélevés par une drague aspiratrice en marche (DAM) et refoulés ensuite sur le site de la Corniche (Figure 7).

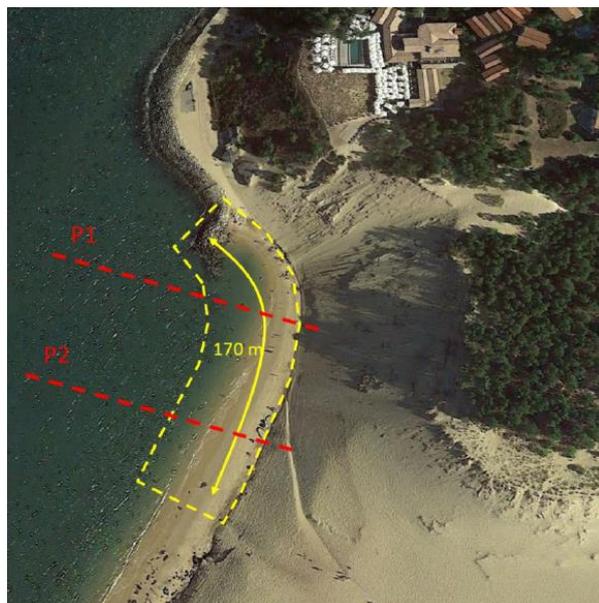


Figure 7. Localisation des rechargements.

Afin d'estimer les volumes à apporter, 7 scénarios rappelés au travers du Tableau 1 ont été étudiés. Les volumes associés à chacun ont également été calculés.

Tableau 1. Synthèse des principales caractéristiques des scénarios de rechargement (d'après APS, ARTELIA 2022).

Scénarios	Berme		Volumes
	Arase	Largeur	
Scénario 1	5,5, CM	20 m	8 100 m ³
Scénario 2	5,5 CM	25 m	11 000 m ³
Scénario 3	6 m CM		20 000 m ³
Scénario 4	6,5 m CM		29 000 m ³
Scénario 5	5,5 m CM	35 m	25 000 m ³
Scénario 6	6 m CM		35 000 m ³
Scénario 7	6,5 m CM		45 000 m ³

Dans le cadre du présent APD, il sera notamment question :

- D'affiner les volumes de besoin au regard des évolutions du site,
- De décrire les profils de plage créés,
- De détailler la méthodologie mise en œuvre pour réaliser les rechargements.

En outre, il est important de rappeler qu'au stade de l'APS, ARTELIA préconisait qu'« en raison de l'incertitude de la tenue des sables sur le site et de la fréquence des évènements tempétueux, les opérations de rechargement seront constituées :

- D'une importante opération initiale permettant de reconstituer un stock de sables suffisant pour essayer de pallier les pertes lors d'un évènement tempétueux ;
- D'opération d'entretien (réguliers et d'urgence) pour pallier les pertes régulières de sables. Les opérations d'urgence seront difficiles à mettre en place. »

Le présent document aura également pour objectif de définir les caractéristiques de l'opération initiale et des éventuels entretien.

4. DEFINITION DES DONNEES DE SITE

4.1. REFERENCEMENT DU PROJET

Sauf mention contraire, le système altimétrique de référence est le Zéro Hydrographique (m ZH) ou le zéro des cartes marine (m CM). Pour information, le Nivellement Général de France (NGF), et plus spécifiquement l'IGN69 pour la France continentale, se situe à 2,005 m et 1,980 m au-dessus du zéro des cartes marines respectivement à Pilat Plage et à Arcachon (source : Références Altimétriques Maritimes, SHOM, 2022).

Les coordonnées cartésiennes seront exprimées dans la projection Lambert 93 du système géodésique RGF93.

4.2. NIVEAUX D'EAU

4.2.1. Marée astronomique

Le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) fournit pour l'ensemble des ports français les niveaux marins prédits pour des marées caractéristiques.

Dans le Golfe de Gascogne, la marée est de type semi-diurne, de période 12h25min. Les niveaux concernant Arcachon (port principale), le Cap Ferret et Pilat Plage (observatoires secondaires) sont reportés dans le Tableau 2. Ces niveaux sont exprimés en cotes marines (m CM).

Tableau 2. Niveau de marée sur le bassin d'Arcachon (RAM – SHOM, 2022).

Nom	Unité	PHMA	PMVE	PMME	NM	BMME	BMVE	PBMA
Arcachon	m CM	4,91	4,35	3,40	2,48	1,30	0,45	-0,08
Cap Ferret	m CM	4,51	4,20	3,35	2,37	1,40	0,60	-0,28
Pilat Plage	M CM	4,54	4,05	3,20	2,33	1,30	0,45	-0,09

Remarque : PHMA : Plus Haute Mer Astronomique, PMVE : Pleine mer Moyenne de Vive-Eau, PMME : Pleine mer Moyenne de Morte-Eau, NM : Niveau Moyen, BMME : Basse mer Moyenne de Morte-Eau, BMVE : Basse mer Moyenne de Vive-Eau, PBMA : Plus Basse Mer Astronomique

Ainsi, le marnage à Pilat Plage atteint 3,6m en vives-eaux, et très exceptionnellement 4,5 m lors des marées astronomiques.

4.2.2. Niveaux d'eau extrême

Les niveaux d'eau extrêmes correspondent à la combinaison des niveaux de la marée astronomique et des surcotes dépressionnaires.

Pour le secteur d'étude, le rapport CEREMA de 2018 (Niveaux marins extrêmes des ports de métropole), fourni les statistiques de niveaux d'eau extrêmes au niveau du marégraphe du port d'Arcachon. Les valeurs sont détaillées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Niveaux d'eau extrêmes à Arcachon (CEREMA, 2018).

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Niveau d'eau (m NGF)	3,18	3,27	3,36	3,50	3,62
Niveau d'eau (m CM)	5,16	5,25	5,34	5,48	5,60

En 2012 des cartes de niveau extrême ont été produites par le SHOM-CETMEF permettant d'apporter des éléments complémentaires au niveau de la zone d'étude. La production de ces cartes s'est appuyée sur une analyse au niveau des marégraphes dont celui du port d'Arcachon dont les valeurs extrêmes sont similaires à celles définies dans le Tableau 3.

Les cartes présentant les résultats pour les périodes de retour 10 et 100 ans sont présentées ci-dessous :

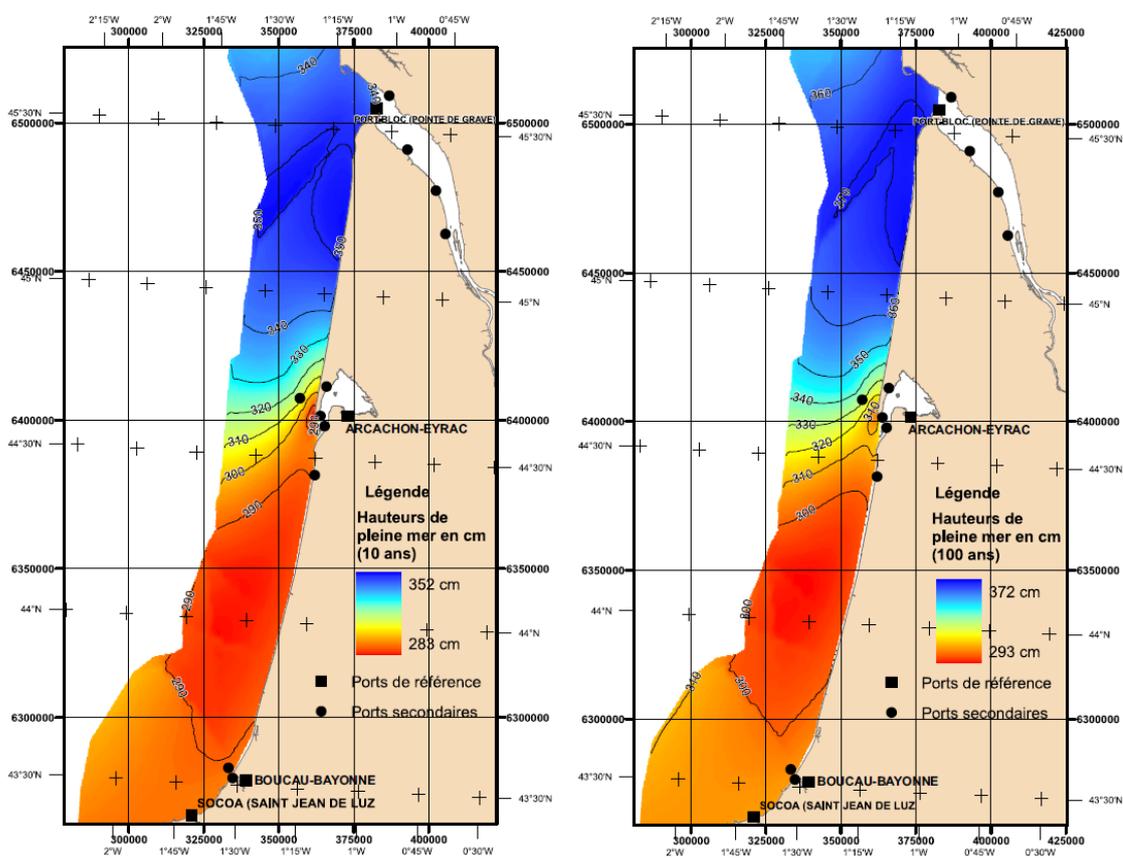


Figure 8. Carte de niveau d'eau extrême en aquitaine, de période de retour 10 ans à gauche et 100 ans à droite.

Plus spécifiquement au niveau du Pilat Plage, les valeurs approximatives obtenues à partir de la lecture des cartes du CETMEF (Figure 8) sont les suivantes :

Tableau 4. Niveaux d'eau extrêmes obtenus par lecture de carte à Pilat-Plage (SHOM-CETMEF, 2012).

Période de retour	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Niveau d'eau (m NGF)	2,90	3,00	3,05	3,10
Niveau d'eau (m CM)	4,95	5,05	5,10	5,15

In fine, les valeurs obtenues au niveau de Pilat Plage sont plus faibles de 30 à 45 cm par rapport à celles obtenues au niveau d'Arcachon.

4.2.3. Elévation du niveau de la mer

Les valeurs d'élévation du niveau de la mer en lien avec le changement climatique peuvent être définies en considérant les recommandations issues des travaux du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).

Les valeurs actualisées au regard des nouvelles tendances sont fournies par le sixième rapport d'évaluation du GIEC en 2021-2022. Dans ce nouveau rapport, les tendances à venir sont estimées sur la

base de plusieurs scénarios SSP (Shared Socioeconomic Pathway) qui décrivent des évolutions possibles des émissions et concentrations des gaz à effets de serre, des émissions de polluants et d'usages des terres au cours du 21^{ème} siècle. Les cinq scénarios sont décrits en suivant :

- **SSP1-1.9 : Scénario très ambitieux pour se conforter aux objectifs de l'Accord de Paris.** Il s'agit du scénario le plus optimiste pour lequel les émissions mondiales de CO₂ tombent à zéro à horizon 2050. L'objectif étant de contenir le réchauffement climatique à + 1,5°C d'ici à 2100 par rapport aux températures de l'ère préindustrielle (1850-1900) ;
- **SSP1-2.6 : Scénario de développement durable.** Les émissions mondiales de CO₂ sont fortement réduites mais moins rapidement et l'objectif de zéro émission est atteint après 2050. Dans ce scénario le réchauffement se limite à + 2,0°C d'ici 2100 par rapport à 1850-1900 ;
- **SSP2-4.5 : Scénario intermédiaire.** Les émissions de CO₂ sont dans la continuité des niveaux actuels avant de commencer à diminuer au milieu du siècle. Dans ce scénario, les températures augmentent de + 2,7°C d'ici la fin du siècle ;
- **SSP3-7.0 : Scénario de rivalité régionale.** Les pays sont guidés par des préoccupations en matière de sécurité et de compétitivité. Ils se concentrent sur les problèmes nationaux (voire régionaux) et sur les enjeux de sécurité alimentaire et énergétique. Les émissions de gaz à effet de serre et les températures augmentent donc régulièrement et les températures moyennes augmentent de + 3,6°C d'ici 2100 ;
- **SSP5-8.5 : Développement basé sur les énergies fossiles.** Il s'agit d'un scénario à très forte augmentation des émissions de gaz à effet de serre (émissions de CO₂ quasiment doublées d'ici à 2050). L'économie mondiale croît rapidement mais cette croissance est alimentée par l'exploitation des combustibles fossiles et des modes de vie très gourmands en énergie. En 2100, la température moyenne de la planète aura augmenté de + 4,4°C.

La Figure 9 permet de présenter les valeurs moyennes et celles des intervalles de confiance pour les 3 scénarios caractéristiques : SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5

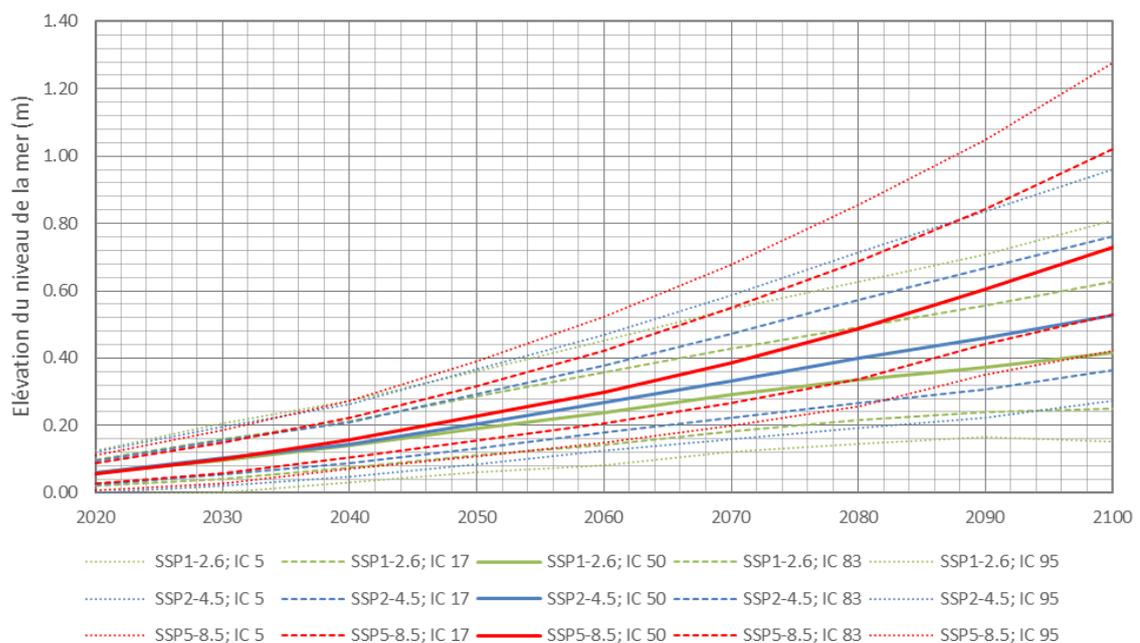


Figure 9. Élévation du niveau moyen de la mer à Boucau (point le plus proche disponible) selon différents scénarios (source : <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>).

Certaines valeurs caractéristiques sont rappelées dans le Tableau 5 en suivant pour les horizons 2070 et 2100.

Tableau 5. Elévation du niveau moyen de la mer en mètre à Boucau selon différents scénarios (source : <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>).

Scénario	2070			2100		
	IC 17*	Moy.	IC 83*	IC 17	Moy.	IC 83
SSP1-2.6	0,18	0,29	0,43	0,25	0,42	0,63
SSP2-4.5	0,22	0,33	0,47	0,36	0,53	0,76
SSP5-8.5	0,27	0,39	0,55	0,53	0,73	1,02

*IC 17 : Intervalle de confiance 17 % et IC 83 Intervalle de confiance 83 %

Au regard des dernières décennies, de la situation actuelle et en considérant les fortes incertitudes, nous retenons pour la suite de l'étude la valeur haute de l'intervalle de confiance 83% du Scénario SSP5-8.5 à horizon 2070, à savoir 0,55 m.

4.3. HOULE

4.3.1. Au large

4.3.1.1. Climat

Les statistiques de houle au large du site sont issues de la bouée 03302 – Cap Ferret du réseau CANDHIS (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ) géré par le CEREMA. Les caractéristiques principales de cette bouée sont les suivantes :

- Durée d'observation : 11,49 ans du 28/08/01 au 31/12/21 ;
- Distance à la côte : 7,9 milles (12,7 km) ;
- Profondeur : 54 m.

Le rapport d'étude et d'analyse des état de mer 2022 réalisé par le CEREMA permet d'obtenir les figures est valeurs caractéristiques suivantes :

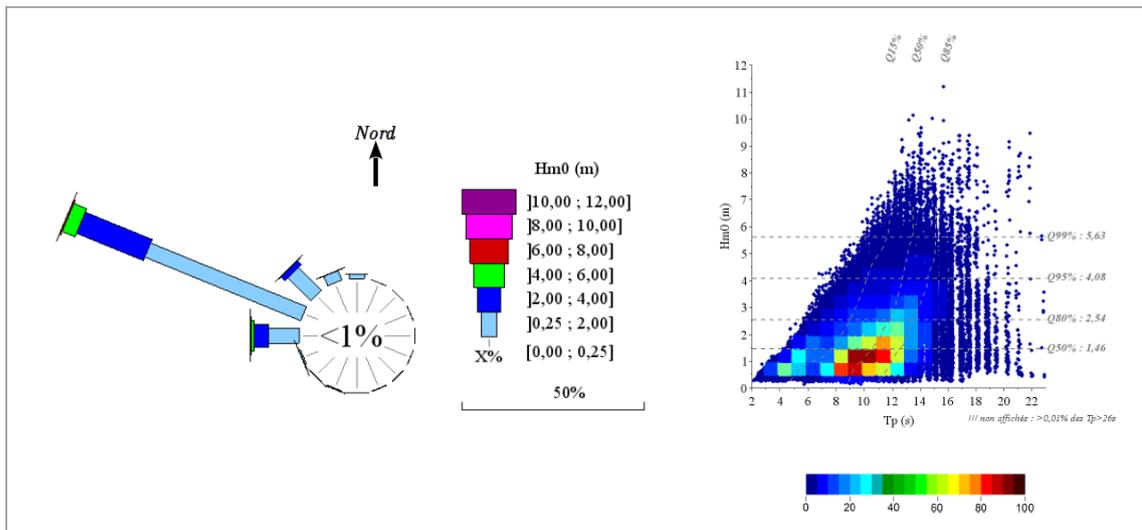


Figure 10. Bouée CANDHIS, Cap Ferret - Rose de houle et corrélogramme H_{m0} / T_p .

Les directions de provenance des houles sont principalement Ouest-Nord-Ouest toutefois des houles fortes sont également susceptibles de venir d'Ouest.

Les valeurs statistiques de H_{m0} au niveau de la bouée sont les suivantes :

- Dépassées 50 % du temps : 1,46 m ;
- Dépassées 20 % du temps : 2,54 m ;
- Dépassées 5 % du temps : 4,08 m ;
- Dépassées 1 % du temps : 5,63 m.

4.3.1.2. Extrêmes

Les valeurs extrêmes définies par le CEREMA en 2022 au niveau de la bouée CANDHIS 03302 – Cap Ferret sont données dans le Tableau 6.

Tableau 6. Niveaux d'eau extrêmes obtenus par lecture de carte à Pilat-Plage (SHOM-CETMEF, 2012).

Période de retour	1 an	10 ans	20 ans	50 ans
Hs (m)	7,70	10,36	11,17	12,25

Les valeurs obtenues à partir des bases de données de houle issues de modélisation donnent des valeurs proches mais globalement inférieures aux valeurs obtenues au niveau de la bouée.

Pour la suite de l'étude les valeurs issues des mesures au niveau de la bouée seront donc considérées.

4.3.2. Propagation en pied d'ouvrage

4.3.2.1. Approche

Afin de définir les conditions de houle, en pied d'ouvrage, susceptibles d'atteindre l'ouvrage, il est nécessaire de se poser des questions concernant la configuration des bancs et des niveaux de sable en pied d'ouvrage.

Afin de répondre à cette problématique de manière pragmatique et efficace, une sensibilité a été réalisée sur la base de la mise en œuvre d'un modèle SWAN 1D permettant de manière rapide et simple la modélisation de plusieurs configurations des fonds.

4.3.2.2. Configuration des fonds

Afin de réaliser les propagations de houle une analyse suivant un profil orienté 287 °N, a été réalisée afin de représenter les trois stades d'évolution des passes évoqués dans le schéma réalisé par Michel en 1997 et apparaissant à la Figure 14 (cf. paragraphe 4.4.1).

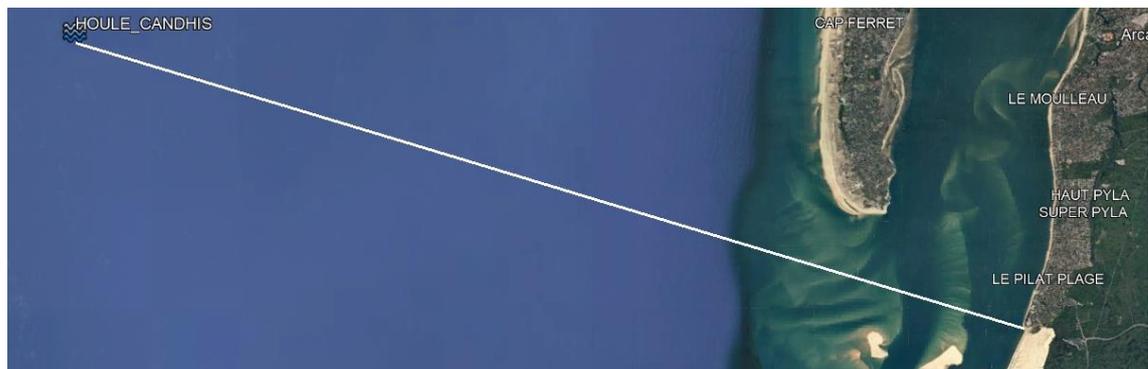


Figure 11. Localisation du profil d'étude entre le site d'étude et la bouée CANDHIS (03302 – Cap Ferret).

Les différents stades modélisés sont les suivants :

- **Stade A** : La configuration actuelle se situe entre le stade C et le stade A, les deux passes Nord et Sud se rapprochent mais n'ont pas encore fusionné même partiellement. Cependant le long de notre profil d'étude la configuration est très proche de la phase A et nous retiendrons cette appellation pour simplifier la compréhension ;
- **Stade B** : Les deux passes ont complètement fusionné ;
- **Stade C** : Une nouvelle passe Nord fait son apparition au niveau de la pointe du Cap-Ferret.

En complément une nuance est apportée sur le niveau des bancs en considérant un niveau max de l'ordre de 0,00 m CM pour l'indice « a », -0,25 m CM pour l'indice « b » et -0,50 m CM pour l'indice « c ».

Cet abaissement est appliqué à l'ensemble des 3 stades étudiés.

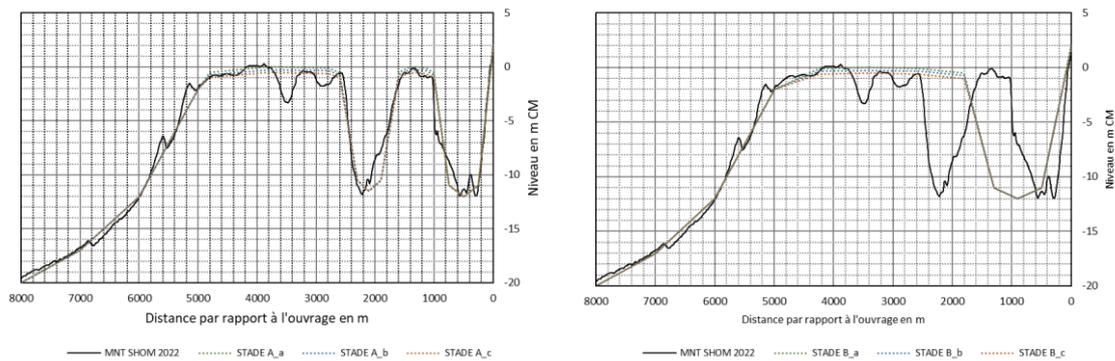


Figure 12. Profils associés au Stade A à gauche et au Stade B à droite.

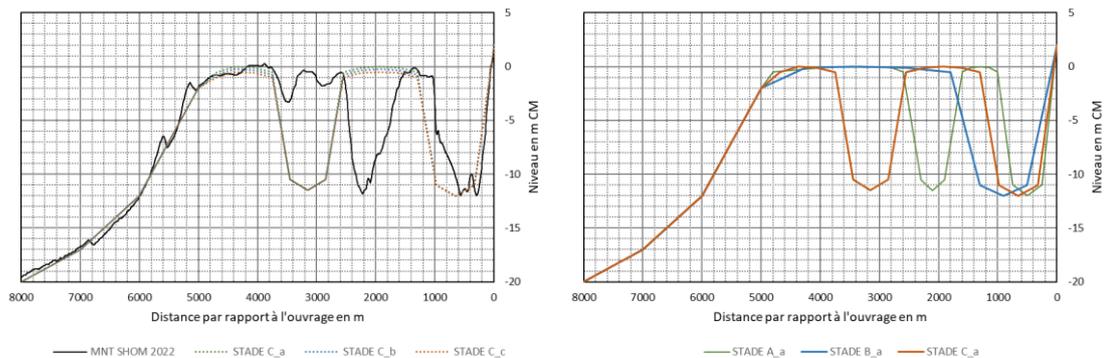


Figure 13. Profils associés au Stade C à gauche et comparaison des 3 stades étudiées.

4.3.2.3. Code

Les états de mer sont propagés jusqu'à la côte grâce au modèle SWAN1D. SWAN (Simulating WAVes Nearshore) est un modèle de houle spectrale de 3ème génération basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde, développé par la Delft University of Technology (Pays Bas). Il simule la propagation des états de mer (mers de vent et houles océaniques) dans le domaine côtier.

Le modèle prend en compte les effets de réfraction et de shoaling liés aux variations de bathymétrie, la diffraction par les obstacles, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle par moutonnement, déferlement bathymétrique ainsi que par frottement sur le fond. Il modélise également la surcote produite par la dissipation des vagues.

De plus, afin de définir les paramètres statistiques de houle ($H_{1/3}$, $H_{2\%}$) le long de profils, la méthode Battjes-Groenendijk 2000 a été appliquées aux paramètres extraits de SWAN.

4.3.2.4. Forçage du modèle

Les cas de calculs considérés ont consisté en une combinaison d'un niveau d'eau et d'une condition de houle. Le tableau suivant permet de fournir les paramètres considérés en entrée du modèle.

Tableau 7. Cas de calculs considérés (CC = Changement Climatique)

Cas de calcul*	Houle			Niveau d'eau		
	Période de retour (ans)	H _{m0} (m)	T _p (s)	Élévation CC	Période de retour (ans)	Neau (m CM)
1a	1	7,70	14,0	-	PHMA	4,54
2a	10	10,36	15,0	-	10	4,95
3a	20	11,17	15,0	-	20	5,05
4a	50	12,25	15,0	-	50	5,10
1b	1	7,70	14,0	+0,55 (2070)	PHMA	5,09
2b	10	10,36	15,0	+0,55 (2070)	10	5,50
3b	20	11,17	15,0	+0,55 (2070)	20	5,60
4b	50	12,25	15,0	+0,55 (2070)	50	5,65

*Indices a et b correspondent respectivement à conditions actuelles et conditions à horizon 2070 en prenant en considération l'élévation du niveau de la mer

4.3.2.5. Résultats

Les valeurs de H_{m0} et H_{1/3} obtenues sont synthétisées dans les tableaux suivants :

Tableau 8. Valeurs de H_{m0} en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	1.24	1.32	1.41	1.24	1.32	1.40	1.32	1.40	1.49
2a	1.37	1.46	1.54	1.37	1.46	1.54	1.46	1.54	1.63
3a	1.40	1.49	1.57	1.41	1.49	1.57	1.49	1.58	1.66
4a	1.56	1.64	1.73	1.56	1.64	1.73	1.65	1.74	1.82
1b	1.43	1.51	1.60	1.43	1.52	1.60	1.52	1.60	1.69
2b	1.57	1.65	1.74	1.57	1.65	1.74	1.66	1.75	1.83
3b	1.60	1.68	1.77	1.60	1.69	1.77	1.69	1.78	1.86
4b	1.65	1.73	1.82	1.65	1.73	1.81	1.74	1.83	1.91

Tableau 9. Valeurs de H_{1/3} en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	1.28	1.37	1.46	1.28	1.37	1.46	1.37	1.46	1.55
2a	1.42	1.51	1.60	1.42	1.51	1.60	1.52	1.61	1.70
3a	1.45	1.54	1.63	1.46	1.54	1.63	1.55	1.64	1.73
4a	1.62	1.71	1.80	1.62	1.70	1.79	1.72	1.81	1.90
1b	1.49	1.57	1.66	1.49	1.57	1.66	1.58	1.67	1.76
2b	1.63	1.72	1.81	1.63	1.72	1.80	1.73	1.82	1.91
3b	1.66	1.75	1.84	1.66	1.75	1.84	1.76	1.85	1.95
4b	1.71	1.80	1.89	1.71	1.80	1.88	1.82	1.91	2.00

De manière générale les houles arrivant à l'ouvrage sont fortement limitées par la hauteur d'eau en pied d'ouvrage.

Ainsi les résultats montrent que :

- La variabilité en pied d'ouvrage des paramètres H_{m0} et $H_{1/3}$ est de l'ordre de 70 cm indépendamment des configurations des passes et des conditions de houle au large ;
- En ce qui concerne le H_{m0} la variation en pied d'ouvrage pour les différentes configurations des passes pour une même condition de houle au large est de l'ordre de 0,25 m ;
- En ce qui concerne le $H_{1/3}$ la variation en pied d'ouvrage pour les différentes configurations des passes pour une même condition de houle au large est de l'ordre de 0,30 m.

Les valeurs des autres paramètres ($H_{2\%}$, set-up) pouvant être utiles au dimensionnement sont rappelés dans les tableaux ci-après.

Tableau 10. Valeurs de $H_{2\%}$ en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	1.79	1.91	2.04	1.80	1.92	2.04	1.92	2.04	2.17
2a	1.98	2.11	2.24	1.99	2.11	2.24	2.12	2.25	2.38
3a	2.03	2.16	2.28	2.04	2.16	2.28	2.17	2.29	2.42
4a	2.26	2.38	2.51	2.27	2.39	2.51	2.40	2.53	2.66
1b	2.08	2.20	2.33	2.09	2.20	2.32	2.21	2.34	2.47
2b	2.28	2.40	2.53	2.29	2.41	2.53	2.42	2.55	2.68
3b	2.32	2.45	2.57	2.33	2.45	2.57	2.46	2.59	2.72
4b	2.39	2.52	2.64	2.40	2.52	2.64	2.54	2.66	2.79

Tableau 11. Valeurs de set-up (élévation du niveau d'eau lié aux vagues) en pied d'ouvrage pour l'ensemble des configurations étudiées.

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	0.29	0.29	0.28	0.29	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28
2a	0.41	0.40	0.40	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39
3a	0.44	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42
4a	0.47	0.46	0.46	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45
1b	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
2b	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.39	0.39	0.38
3b	0.43	0.42	0.41	0.42	0.42	0.41	0.42	0.41	0.41
4b	0.46	0.46	0.45	0.46	0.45	0.45	0.46	0.45	0.44

4.4. FONCTIONNEMENT DU SITE

4.4.1. Dynamique hydrosédimentaire

Le large immédiat du site d'étude comprend une zone de forte dynamique hydrosédimentaire. Dans cette zone se trouve, du large vers le site d'étude :

- Le banc du Toulinguet dans la continuité du Cap Ferret ;
- La passe Nord – Chenal du Ferret ;
- La limite Nord du banc d'Arguin ;
- La passe Sud – Chenal du Pyla-Moulleau.

Ces éléments sont mouvants et l'évolution des passes semble suivre un cycle de l'ordre de 80 ans dont un schéma simplifié a été produit par Michel en 1997 (Figure 14).

L'étude réalisée par le BRGM en 2020 intitulée « *Etat des connaissances sur la dynamique hydrosédimentaire à l'embouchure du Bassin d'Arcachon, en lien avec la stratégie locale de gestion de la bande côtière de La Teste-de-Buch* » permet de fournir des éléments concernant ces évolutions hydrosédimentaires.

Cette étude présente notamment le fonctionnement par cycle de l'ordre de 80 ans, en mettant toutefois en garde sur la complexité à prédire l'évolution des passes en lien avec l'influence des perturbations humaines en termes d'apport sédimentaire et les effets du changement climatiques. De plus, il est également indiqué que devant la durée du cycle de 80 ans, seulement 2 cycles complets ont pu être observés, il advient donc complexe de se projeter précisément pour les évolutions futures.

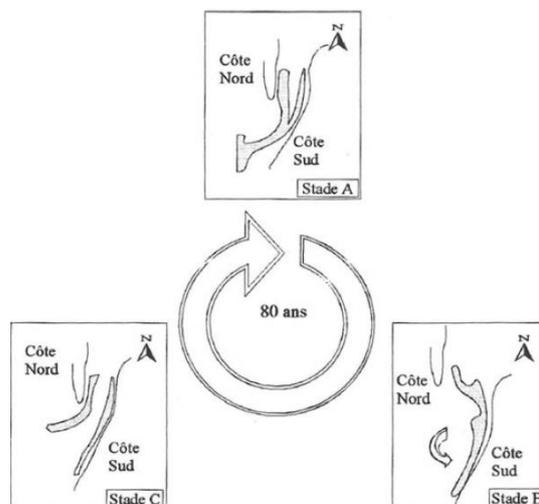


Figure 14. Cycle d'évolution des passes d'entrée de la lagune d'Arcachon (Michel, 1997).

Le document du BRGM permet en outre d'appréhender les déplacements récents des bancs sableux localisés à proximité du secteur de la Corniche (Bernet et Arguin) et l'influence que cela peut avoir sur les chenaux adjacents. Concernant tout d'abord les évolutions du banc de Bernet, la comparaison des bathymétries réalisées entre 1969 et 2016 (Figure 15 et Figure 16) met en évidence une certaine stabilité de sa branche méridionale Est. A contrario, alors que sa branche méridionale Ouest était très peu développée en 1969, ces données montrent qu'elle atteint une largeur de presque 1 km en 2016 au niveau de l'isobathe 5 m.

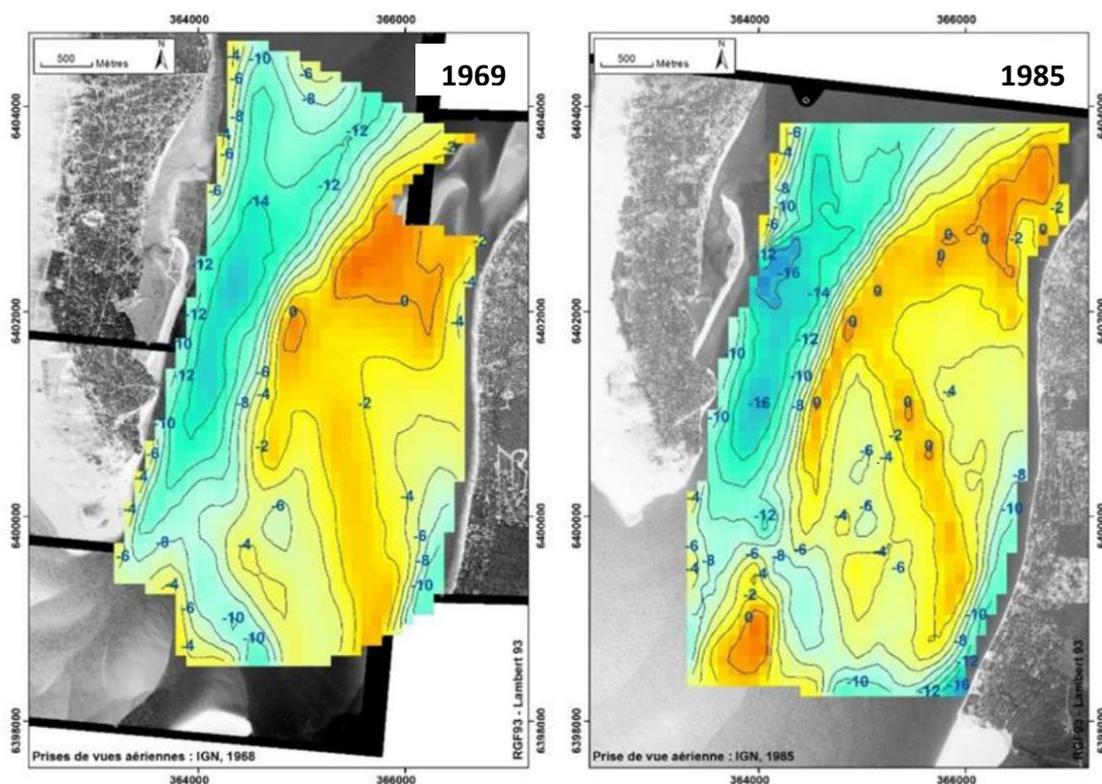


Figure 15. MNT bathymétriques (1969 et 1985) des passes internes du Bassin d'Arcachon (BRGM/RP-69920-FR)

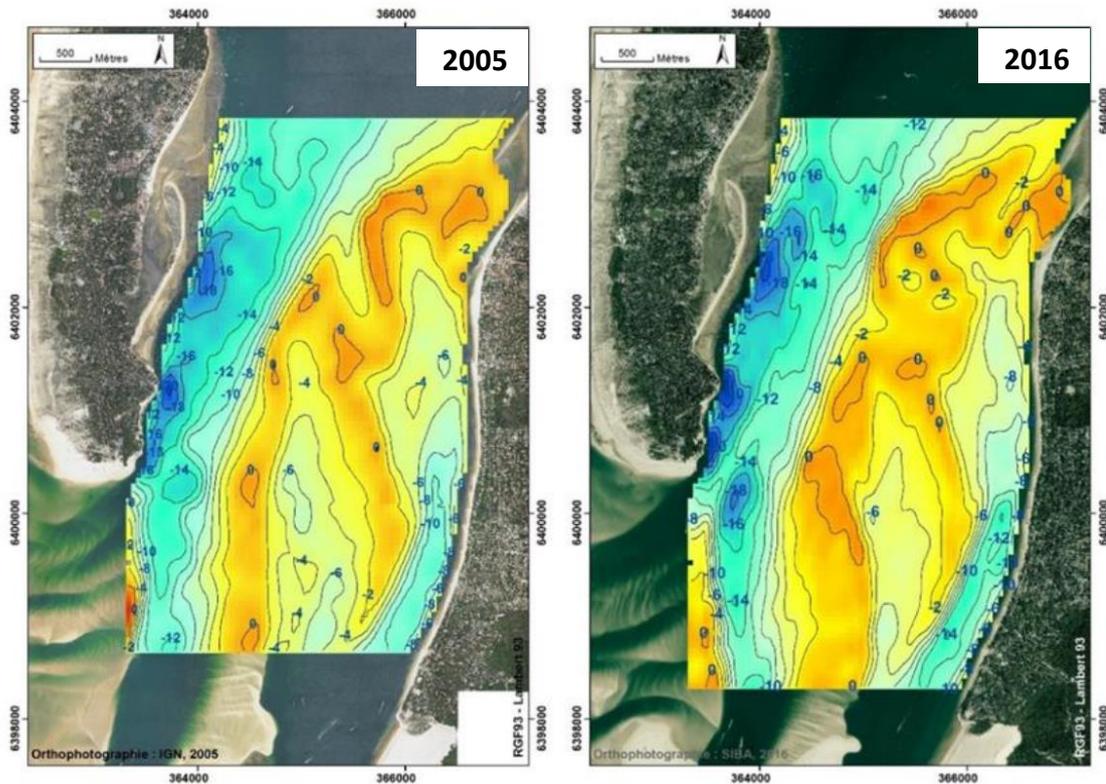


Figure 16. MNT bathymétriques (2005 et 2016) des passes internes du Bassin d'Arcachon (BRGM/RP-69920-FR).

Ces figures permettent également d'appréhender spécifiquement l'évolution morphologique des chenaux qui jouxtent le banc de Bernet. Sur la partie Est du banc, le chenal du Pyla s'approfondit. Une importante remontée des isobathes 4, 6 et 8 m CM vers le Nord est en effet observée entre 1969 et 2016, période durant laquelle l'extrémité Nord de l'isobathe 6 m s'est notamment déplacée de plus de 1,5 km (BRGM/RP-69920-FR.)

Bien que moins mobile que les massifs sableux du Toulinguet et d'Arguin (delta de jusant), l'évolution du banc de Bernet apparaît intimement liée à la dynamique des passes de l'embouchure. La fermeture du chenal traversier, par la remontée du banc d'Arguin vers le banc de Bernet, entraîne une augmentation du courant de flot, identifiée par le creusement de la passe Sud en direction du Nord. L'effet de chasse de ce courant implique une réorganisation des masses sableuses du banc de Bernet (BRGM/RP-69920-FR).

Concernant les évolutions du banc d'Arguin, l'étude des bathymétries met en évidence une certaine stabilité de la largeur du chenal du Pyla depuis les années 2000. En outre, ces données permettent également d'avancer que les profondeurs les plus importantes (de l'ordre de 20 m) sont observées au droit de la dune du Pilat (BRGM/RP-69920-FR).

De façon plus spécifique, la comparaison des profils bathymétriques réalisés en 2014, 2016, 2017 et 2019 au droit du musoir de la Corniche met en évidence une relative stabilité, voir un léger rehaussement du fond depuis 2014 (Figure 17).

Dans le même temps, l'étude des traits de côte sur la période 2011-2018 met en évidence un recul vers l'Est. D'après le BRGM, les relations entre les évolutions de la bathymétrie et celles des traits de côte restent complexes et ne semblent pas directement corrélés notamment en raison de l'aménagement ancien de ce secteur. En effet, l'ouvrage de la Corniche influence fortement et localement l'évolution du trait de côte alors que le chenal possède quant à lui une dynamique plus globale, régie par l'évolution du banc d'Arguin, du trait de côte et des ajustements constants de sa bathymétrie sur un linéaire dépassant largement le secteur de la Corniche (BRGM/RP-69920-FR).

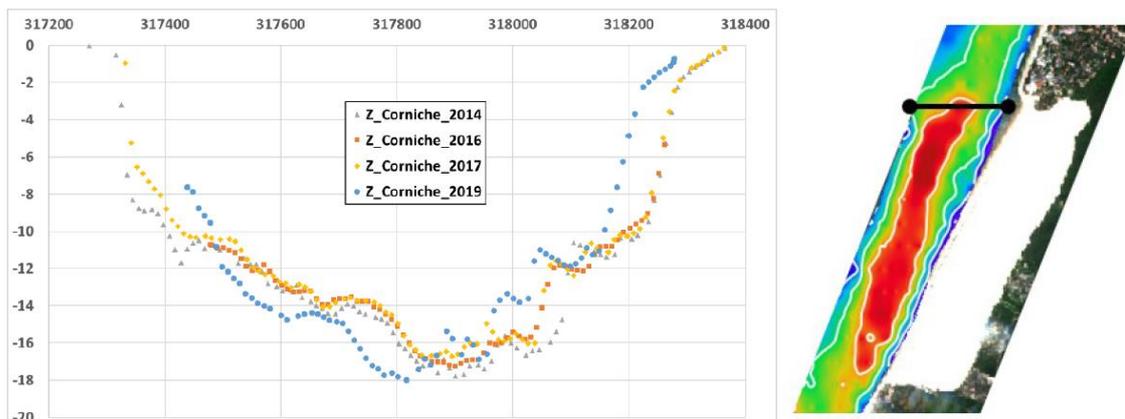


Figure 17. Comparaison des profils bathymétriques, réalisés face au musoir de la Corniche. L'axe des abscisses indique la longitude en coordonnées Lambert Sud (BRGM/RP-69920-FR).

4.4.2. Evolutions de la dune

4.4.2.1. Données disponibles

Les évolutions récentes du littoral au droit du secteur d'étude peuvent dans un premier temps être appréhendées au travers l'analyse des orthophotographies du SIBA. En effet, les différents survols du territoire réalisés entre 2005 et 2022 donnent un aperçu des évolutions qu'a pu subir le littoral au fil des années.

Afin d'avoir plus de détail sur ces évolutions et notamment de pouvoir calculer des bilans sédimentaires, les levés LIDAR réalisés par l'OCNA sont également disponibles sur le secteur. Dans le cadre de la présente étude, l'attention s'est spécifiquement portée sur les données acquises entre 2014 et 2021.

4.4.2.2. Evolutions du trait de côte

L'évolution du littoral au droit du secteur d'étude a dans un premier temps été appréhendée au travers la comparaison des orthophotographies du SIBA. La Figure 32 en page suivante permet de rapidement visualiser les évolutions du trait de côte, entre 2005 et 2022, au niveau du musoir de la Corniche.

In fine, entre 2005 et 2022, le pied de dune localisé au niveau de l'encoche a reculé de l'ordre de 25 à 30 m.



Figure 18. Evolution du phénomène d'érosion dans le secteur du musoir de la Corniche (Fond de plan : Orthophotographie du SIBA 2005, 2012, 2018 et 2022).

Afin d'affiner ces observations, une analyse plus spécifique a été menée sur la base de l'exploitation des données LIDAR. Les évolutions topographiques du cordon dunaire et du haut de plage ont ainsi été analysées au niveau de 6 profils (Figure 19).



Figure 19. Localisation des 6 profils utilisés pour étudier les évolutions de la dune.

Dans un premier temps, des coupes ont été réalisées au niveau des 6 profils pour les 7 dates prises en considération à savoir 2014, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021.

Les résultats sont présentés au travers des Figure 20 à Figure 22.

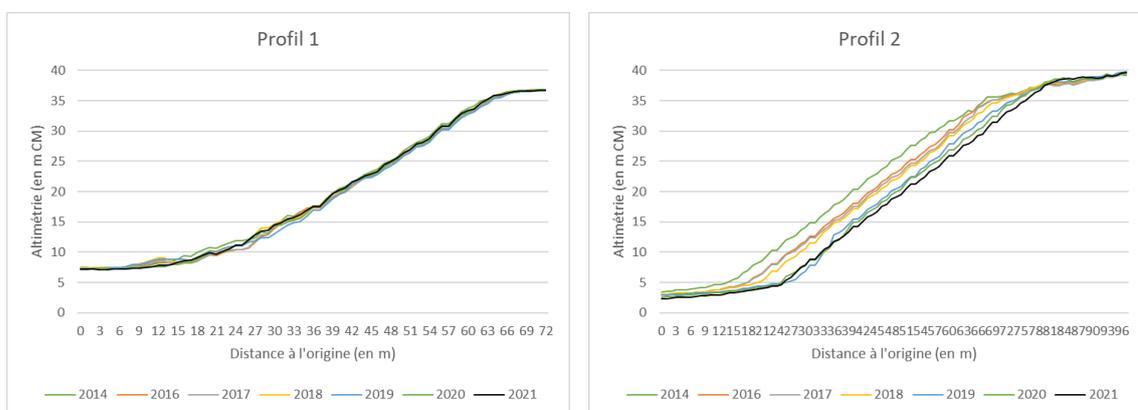


Figure 20. Evolutions de la topographie entre 2014 et 2021 au niveau des profils 1 et 2.

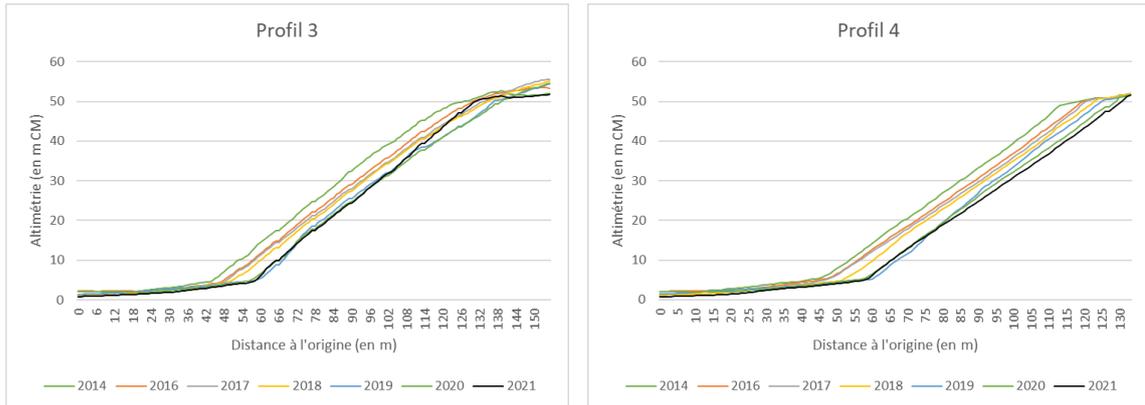


Figure 21. Evolutions de la topographie entre 2014 et 2021 au niveau des profils 3 et 4.

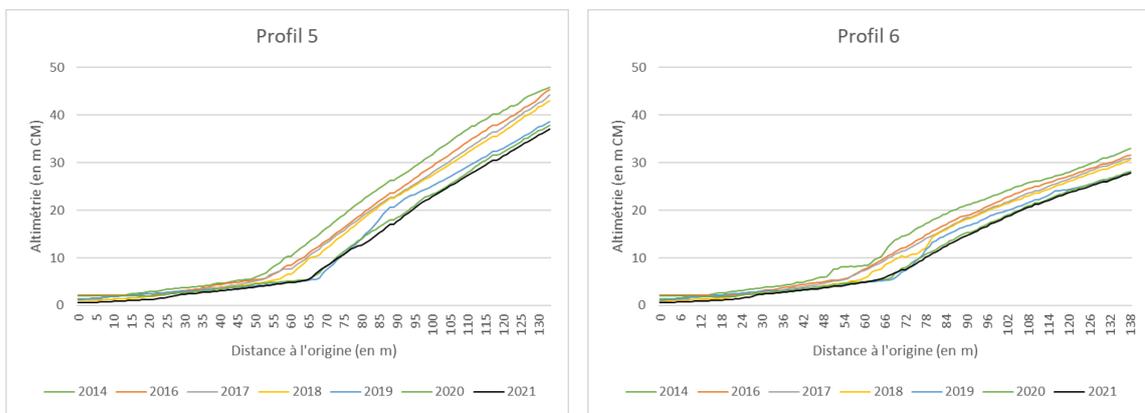


Figure 22. Evolutions de la topographie entre 2014 et 2021 au niveau des profils 5 et 6.

En complément, deux indicateurs, permettant d'évaluer les évolutions horizontales de la topographie, ont également été définis, à savoir :

- Indicateur de pied de dune (PDD) : de niveau altimétrique variable, cet indicateur a été identifié sur la base des coupes topographiques préalablement tracées,
- Indicateur de face de dune (FDD) : évolutions étudiées à la côte altimétrique 20 m CM.

Ce travail, spécifiquement réalisé entre les levés de 2014 et 2021, a permis d'obtenir pour chacun des indicateurs :

- La distance en mètre séparant le levé de 2014 de celui de 2021 (Tableau 12),
- Le taux d'évolution de la dune en m/an (Tableau 13).

Tableau 12. Distance entre le profil topographique de la dune en 2014 et celui de 2021 (en m).

Profils	1	2	3	4	5	6
PDD	-	-11	-14	-12	-15	-19
FDD	-1	-11	-12	-13	-17	-20

Tableau 13. Taux d'évolution 2014-2021 (en m/an).

Profils	1	2	3	4	5	6
PDD		-1,6	-2,0	-1,7	-2,1	-2,7
FDD	-0,1	-1,6	-1,7	-1,9	-2,4	-2,9

In fine, les points suivants peuvent être mis en évidence :

- Le profil 1 présente des évolutions très limitées sur la période 2014-2021. Alors que le pied de dune est difficilement identifiable ne permettant pas d'évaluer un taux de recul à ce niveau, la face de dune a quant à elle reculé de -1 m en 7 ans, ce qui représente un taux d'érosion à ce niveau de l'ordre de -0,1 m/an sur la période 2014-2021,
- Les profils 2 à 6 montrent des reculs importants, que ce soit du pied ou de la face de dune :
 - Concernant le pied de dune, celui-ci a reculé de -11 (P2) à -19 m (P6) entre 2014 et 2021, ce qui équivaut à des taux d'évolution de -1,6 à -2,7 m/an,
 - Concernant la face de dune, des reculs importants et graduels de P2 à P6 sont mesurables (-11 m en P2, à -20 m en P6). Au niveau de la zone d'étude, la dune en arrière au niveau de l'encoche recul avec des taux compris entre -1,6 et -2,9 m/an.

A titre informatif, ces données sont en cohérence avec les informations issues de l'INE (Indicateur National de l'Erosion côtière) qui classe le littoral Nord de la dune du Pilat comme en érosion. Plus précisément, et à partir de l'exploitation des données de trait de côte issues de 1950 à 2011, les taux d'érosion sont ici compris entre -1,5 et -3 m/an

4.4.2.3. Bilans volumétriques

Afin d'identifier les évolutions volumétriques de la dune, des box localisées de part et d'autre des profils, tels que présentés en Figure 19, ont été définies.

Sur la base des 7 levés altimétriques haute résolution (LIDAR) disponibles, CASAGEC INGENIERIE a donc réalisé différents bilans volumétriques pour les six périodes disponibles (2014-2016, 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 et 2020-2021), à savoir :

- Au global sur la box,
- Sur la partie basse de la box : inférieur à la côte 10 m CM,
- Sur la partie haute de la box : supérieur à la côte 10 m CM.

Les résultats issus de ce travail sont présentés au travers des **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Tableau 14.

Au regard de ces informations, il ressort que :

- Les pertes les plus importantes ont lieu au-dessus de la cote 10 m CM en raison notamment de la hauteur importante de la dune (supérieure à 50 m CM),
- Les pertes de sable survenues au niveau de la partie basse de la dune (< 10 m CM) sont globalement similaires au sein d'une même box d'une année sur l'autre,
- A contrario, au-dessus de la cote 10 m CM, les évolutions de proche en proche sont marquées au sein d'une même box. Cette observation est notamment bien visible sur les périodes 2014-2016 et 2018-2019 avec respectivement jusqu'à -9 700 m³ et -12 000 m³ de sable perdu sur la box 5.

Tableau 14. Différentiel volumétrique de proche en proche : entre 0 et 10 m CM ; au-dessus de 10 m CM ; au global.

Zone	< 10m CM						> 10 m CM						Total					
	2014-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2014-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2014-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
2	-666	-79	-127	-926	5	-247	-3 430	-1 118	400	-2 603	-403	-1 055	-4 096	-1 198	273	-3 529	-398	-1 302
3	-1 109	-378	-485	-1 442	11	-561	-9 283	-2 918	-2 201	-8 099	-2 421	-48	-10 392	-3 296	-2 687	-9 542	-2 411	-609
4	-793	-767	-876	-1 343	244	-1 004	-8 432	-2 620	-2 303	-7 918	-3 103	-3 340	-9 225	-3 387	-3 179	-9 262	-2 859	-4 344
5	-1 273	-1 367	-1 120	-1 583	274	-1 752	-9 727	-3 483	-2 537	-12 724	-4 965	-4 668	-11 000	-4 850	-3 657	-14 307	-4 691	-6 420
6	-2 356	-2 278	-1 824	-2 111	368	-2 327	-12 753	-5 172	-3 852	-11 001	-5 747	-3 732	-15 109	-7 450	-5 675	-13 112	-5 379	-6 059
Total	-3 841	-2 591	-2 608	-5 295	533	-3 563	-30 871	-10 139	-6 641	-31 344	-10 892	-9 112	-34 712	-12 730	-9 250	-36 639	-10 359	-12 675

4.4.2.4. Synthèse sur les évolutions de la dune

En résumé, l'exploitation des différentes données disponibles met en évidence un recul relativement important du trait de côte dans le secteur du musoir de la Corniche. Alors que les taux de recul en arrière immédiat de l'ouvrage, au niveau de l'encoche (P2 et P3), sont en moyenne de l'ordre de -1,8 m/an pour le pied de dune et -1,6 m/an pour la face de dune, ils sont en moyenne de -2,2 m/an pour le pied de dune et -2,4 m/an pour la face de dune hors encoche (-2,7 m/an au niveau du P6 localisé totalement hors emprise de l'encoche). Au regard de ces informations, il semblerait donc que l'ouvrage permette d'atténuer l'érosion de la dune.

Quel que soit le profil, le recul semble néanmoins chronique et globalement constant depuis 2014. Lorsque la dune est sapée en pied par l'érosion, c'est alors l'ensemble de la stabilité de la pente de dune qui est remise en question. La pente n'étant plus à l'équilibre, un glissement des sables depuis la crête de dune se produit, provoquant un recul de l'ensemble du profil (Figure 23).

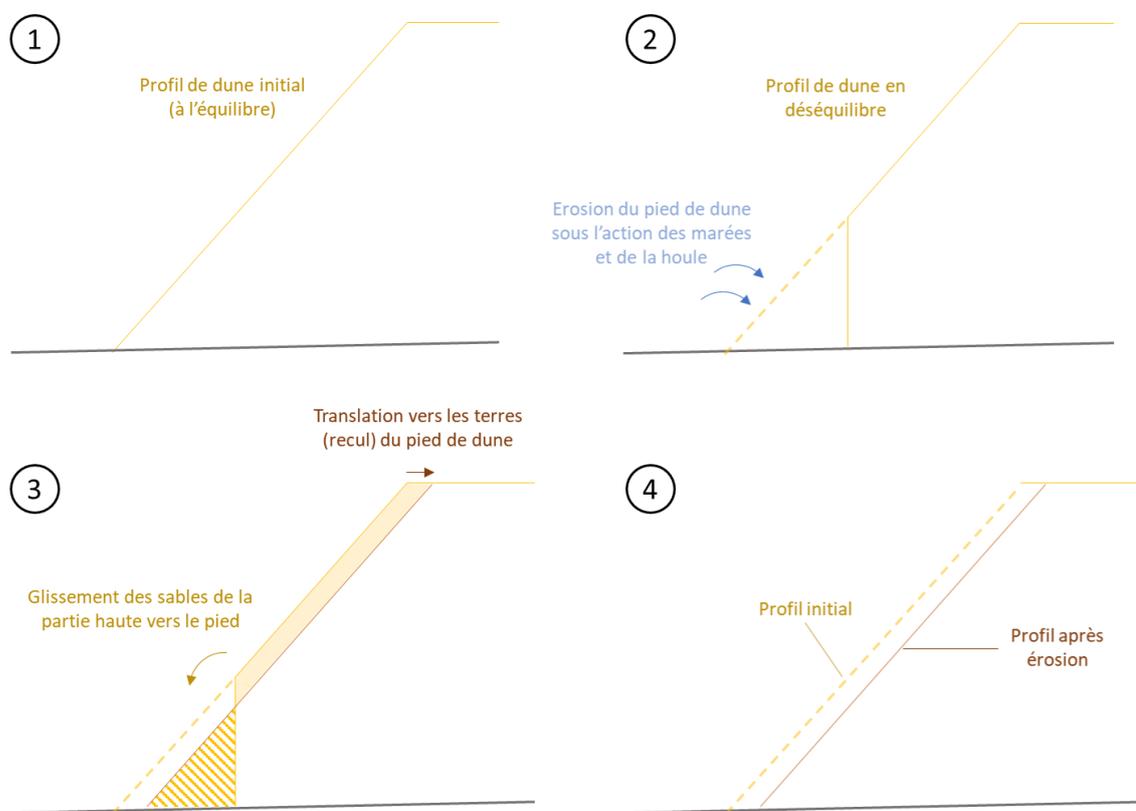


Figure 23. Schéma illustrant le recul de la dune dans le secteur d'étude.

In fine, lorsque le pied de dune est érodé en situation actuelle, un « apport naturel » de sable se fait suite au glissement des sables engendré sous l'effet du rééquilibrage de la pente de la dune.

Malgré ces apports naturels réguliers, la dune montre des taux d'érosion importants et continue de reculer au fil des années. En outre, aucun rehaussement de la plage n'est observé d'année en année. Cette analyse pourrait laisser supposer que ces sables sont rapidement repris par les marées. Les raisons potentielles à ces départs sableux peuvent être les suivantes :

- Une granulométrie très faible ne permettant pas au sables de se maintenir sur place,
- Des « apports » de sables totalement secs et donc non cohésifs.

5. DEMANTELEMENT DE L'OUVRAGE ET DIMENSIONNEMENT DE SA TERMINAISON

5.1. CRITERES DE PROJET

Afin d'alimenter la réflexion concernant le démantèlement de l'ouvrage et plus particulièrement la définition de la nouvelle terminaison, les critères suivants ont été considérés :

- Durée de vie d'ouvrage : 50 ans
- Niveau d'eau haut : +6,03 m CM ;
- Niveau d'eau bas : -0,09 m CM ;
- Houle au large :
 - Hs : 12,25 m ;
 - Tp : 15 s ;
- Houle en pied d'ouvrage :
 - H_{m0} : 1,9 m ;
 - H_{1/3} : 2,0 m
 - Tp : 15 s ;
- Stabilité des enrochements : Désordres limités < 5 % d'enrochements déplacés ;
- Débits de franchissement : 1 l/m/s en accord avec l'APS avec une potentielle tolérance jusqu'à 5 l/m/s ;
- Un accès à la plage est à prévoir dans le projet,
- Le projet devra permettre de limiter au maximum l'apport ou l'évacuation des enrochements devant les contraintes d'accessibilité du site.

Il est à noter que pour permettre une nuance des résultats, les calculs de franchissement et de stabilité hydraulique de la carapace ont été réalisés pour l'ensemble des configurations et cas de calculs.

Ces critères applicables à la définition d'un nouvel ouvrage pourront être nuancés du fait de l'intervention sur un ouvrage existant et afin de maintenir une certaine cohérence.

5.2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE ACTUEL

L'ouvrage actuel est le résultat d'aménagements successifs. L'historique de l'évolution des ouvrages du site d'étude est écrit dans l'étude d'APS d'ARTELIA de 2022.

Les grandes étapes d'aménagement sont rappelées ci-dessous :

- Fin des années 60 – début 70 : création d'un premier ouvrage au niveau de la Corniche ;
- 1995 : reprise et extension de l'ouvrage en enrochement, avec la création d'une extension type protection de rampe de descente à la mer non prévue initialement dans le projet ;
- 2002 : légère extension en enrochement complétée par des géotubes longitudinaux et perpendiculaires au trait de côte qui n'ont pas donné satisfaction ;
- 2013-2014 : travaux de réfection avec reprise d'enrochements, de la rampe d'accès et de remblais à l'arrière.

Les coupes-types suivantes correspondent à la partie courante de l'ouvrage :

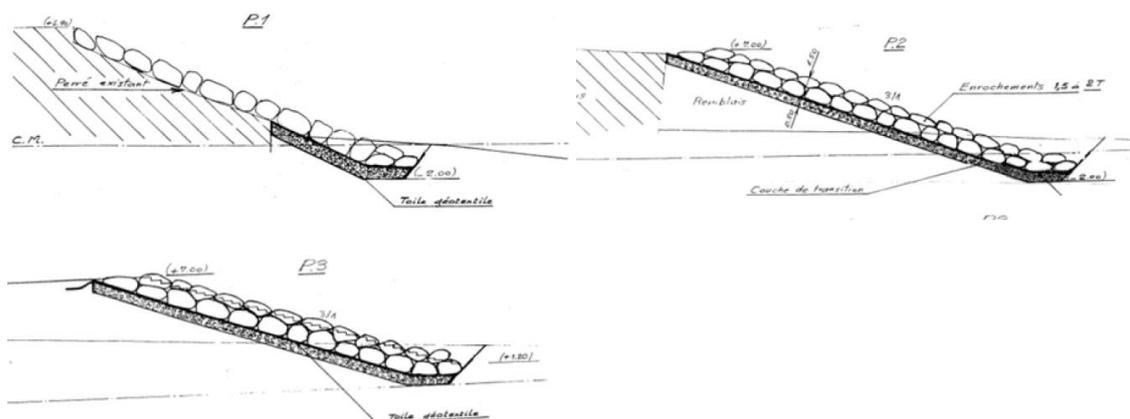


Figure 24. Coupe-types des travaux de protection du musoir réalisés en 1995 (SOGREAH 2011).

Aucune donnée concernant les coupes des travaux d'extension ou de confortement réalisés après 1995 n'est disponible à ce jour.

Toutefois, afin de mieux caractériser l'ouvrage actuel, les travaux de déconstruction et la possible réutilisation des matériaux de récupération, un plan a été retracé sur la base des coupes historiques, des LIDARS et des orthophotographies disponibles. De plus, une analyse blocométrique simplifiée a été réalisée sur la base des orthophotographies, sur un échantillon de blocs.

Il ressort de l'analyse blocométrique que :

- En section courante la catégorie d'enrochements identifiée est de l'ordre de 1-3 t pour du 1,5-2 t évoquée sur les coupes ;
- En extrémité sur la partie supérieure, les enrochements semblent plus gros avec une catégorie de l'ordre de 2-6 t.

En vue de leur réutilisation, nous retiendrons une catégorie de l'ordre de 2-4 t composant l'extrémité de l'ouvrage.

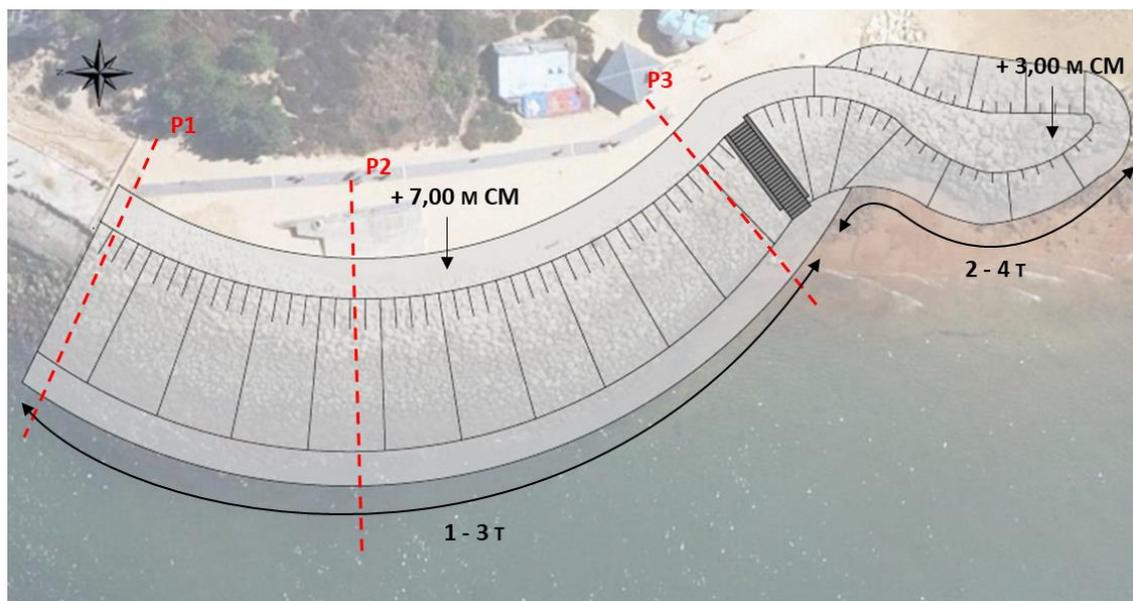


Figure 25. Vue en plan de la configuration actuelle.

Globalement l'état de l'ouvrage semble peu évolutif depuis 2011. La configuration actuelle semble liée aux multiples reprises de l'extrémité de l'ouvrage et à des désordres passés. L'état de l'escalier avec des marches non parallèles confirme que l'ouvrage a dû bouger et se stabiliser par la suite. Comme évoqué dans l'étude d'APS (ARTELIA, 2022), la partie désorganisée correspond aux derniers 45 m.



Figure 26. Photographies de l'extrémité de l'ouvrage depuis la plage (gauche) et depuis la crête (droite).

5.3. DEFINITION DE LA TERMINAISON EN PLAN

Dans un premier temps, les travaux consisteront à démanteler l'ouvrage sur une linéaire de l'ordre de 54 m incluant la zone à retravailler pour réaliser la jonction entre l'ouvrage maintenu et la future terminaison.

Le projet APS prévoit de réaliser une nouvelle terminaison sur une longueur de l'ordre de 14 m. Cette longueur est nécessaire pour permettre la conduite des travaux et avoir un minimum de latitude dans les excavations, le talutage, la réalisation des transitions ...

En ce qui concerne la réalisation d'une terminaison d'ouvrage stable, il est nécessaire de se poser la question du contournement potentiel de l'ouvrage par l'érosion. En effet, comme observé actuellement et comme observé sur la plupart des terminaisons des ouvrages de fixation du trait de côte, un contournement de l'érosion peut se produire. Ce phénomène est généralement appelé encoche d'érosion.

L'apparition de cette encoche est liée à plusieurs phénomènes :

- Transition entre une zone fixée et une zone mobile ;
- Zone de spécificité hydrodynamique en lien avec le phénomène de diffraction autour de l'ouvrage ;
- Les franchissements peuvent également accentuer les phénomènes en lien avec l'écoulement des volumes d'eau générés par les débits de franchissements vers l'extrémité de l'ouvrage pour s'évacuer.

L'amplitude du phénomène est difficilement estimable et prévisible. De ce fait, il est nécessaire de le prendre en considération dans la définition de l'extrémité de l'ouvrage. Ainsi, un retour du talus en enrochements est indispensable.

La réalisation de ce retour doit se faire en évitant ou limitant fortement les excavations au niveau du pied de dune afin de ne pas déstabiliser cette dernière.

Le projet APS démontre cette difficulté liée aux problématiques d'excavation en pied de dune. En effet, après analyse de la topographie, la configuration de la partie arrière telle que dessinée actuellement vient mordre sur le pied de dune ce qui pourrait nécessiter la mise en œuvre d'un dispositif de maintien des terres.

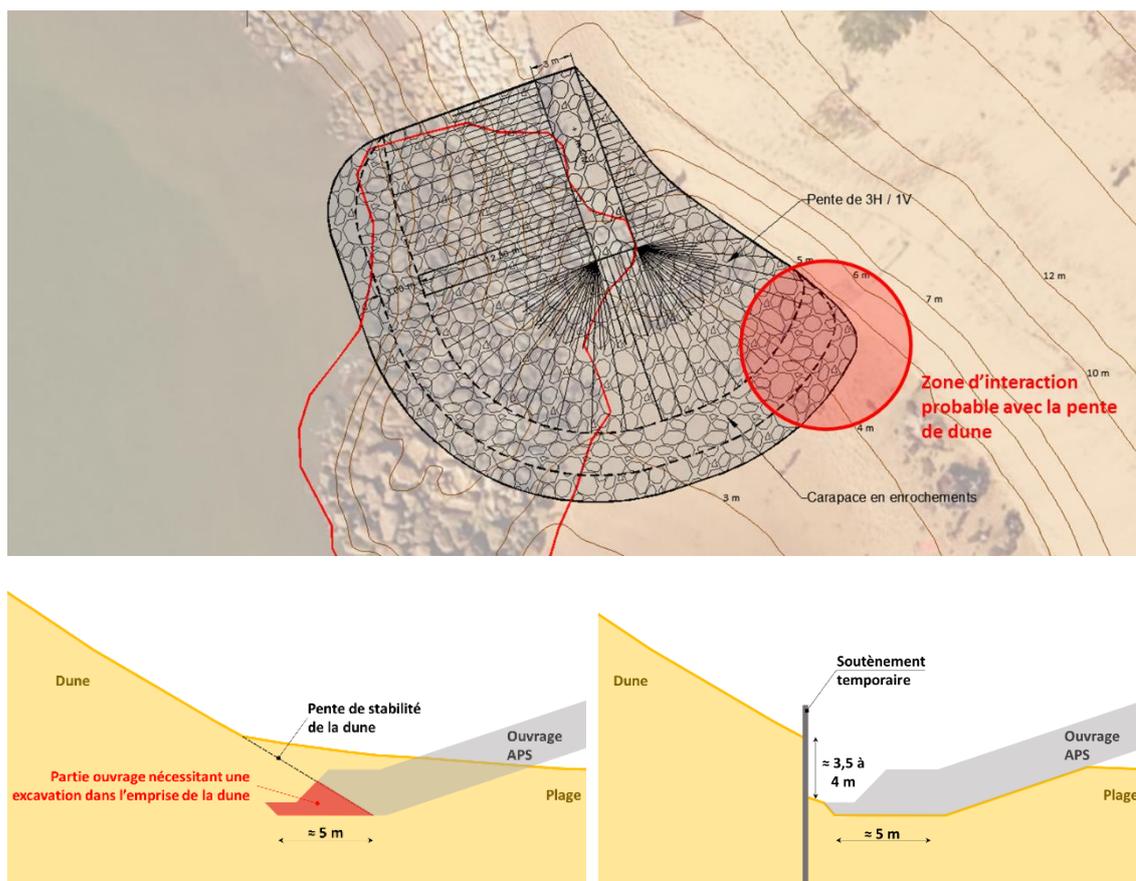


Figure 27. Analyse de la problématique excavation au niveau du point le plus contraignant du projet APS

Les différents leviers permettant de réaliser le retour des enrochements à l'arrière sont les suivants :

- La réorientation de l'axe de l'ouvrage vers la mer pour permettre de légèrement s'éloigner de la dune ;
- Le raidissement du talus afin de réduire l'emprise de l'ouvrage. Toutefois, le raidissement a pour conséquence de diminuer la stabilité des enrochements, cela doit donc être étudié plus précisément à travers les formules décrites dans le paragraphe 5.4.2 ;
- L'augmentation du niveau de pied à l'arrière de l'ouvrage permettant également de réduire l'emprise. Toutefois, là aussi cette adaptation doit être réalisée de manière réfléchie ;
- La réalisation d'un ouvrage de soutènement temporaire avec par exemple une paroi berlinoise ou avec des enrochements.

Les choix retenus pour permettre la réalisation d'une terminaison en intégrant la contrainte d'excavation de la dune sont les suivantes :

- Rotation de l'axe de la terminaison de 19° dans le sens horaire ;
- Raidissement progressive de la pente :
 - Sur le quart avant de 3/1 à 2,5/1 (Horizontale / Verticale) ;
 - Sur le quart arrière de 2,5/1 à 1,5/1.
- Le niveau de fondation du pied de l'ouvrage :
 - Varie entre 0,2 et 1,2 m CM dans la partie courbe ;
 - Varie entre 1,2 et 2,2 m CM en talus arrière sur 6 m ;
 - Puis progressivement le talus arrière disparaît sur les 6 m restants.

Cette analyse et l'ensemble des choix préalablement réalisés et évoqués permet d'obtenir la terminaison suivante :

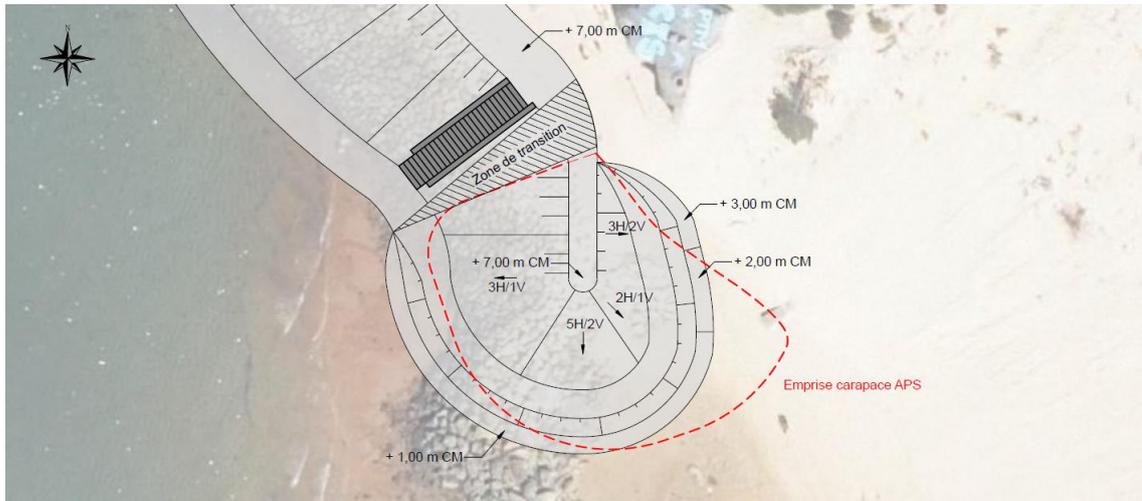


Figure 28. Vue en plan du projet APD avec comparaison avec le projet APS

5.4. CALCULS DE DIMENSIONNEMENT

5.4.1. Niveau de crête

Dans le cas de l'ouvrage étudié les franchissements sont estimés pour s'assurer que ces derniers n'engendrent pas un risque trop fort d'érosion du sable en arrière de l'ouvrage ce qui pourrait le déstabiliser et accentuer localement le phénomène d'encoche.

Les débits de franchissements sont estimés à partir des formules de l'Eurotop V2 (2018).

Pour les digues de protection en enrochements, les débits de franchissements moyens sont calculés avec la formule générale suivante :

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.09 \exp\left(-\left(1.5 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right)^{1.3}\right)$$

Avec :

- q : débit de franchissement moyenné sur le temps par mètre linéaire de crête ($m^3/s/m$) ;
- α : pente du talus : une pente de talus théorique de 3/1 est considérée pour l'ensemble de la protection côtière ;
- R_c : Différence entre le niveau statique et le niveau de crête ;
- H_{m0} : hauteur de houle en pied d'ouvrage ;
- γ_f : facteurs d'amortissements correspondant à l'influence de la rugosité des revêtements des ouvrages : d'après l'Eurotop II un coefficient de 0,55 est retenu ;
- γ_β : facteurs d'amortissements correspondant à l'influence de l'angle d'incidence des vagues : 10 °.

Les calculs ont été réalisés pour l'ensemble des cas de houle et configuration des passes et sont synthétisés dans le tableau suivant avec pour code couleur :

Vert : débit inférieur à 1 l/m/s | blanc : débit inférieur à 5 l/m/s | Orange : débit supérieur à 5 l/m/s

Tableau 15. Valeur de débit de franchissement moyen pour un niveau de crête de 7 m CM

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	0.1	0.3	0.6	0.2	0.3	0.6	0.3	0.6	1.0
2a	1.8	3.1	4.8	1.9	3.0	4.7	3.1	4.8	7.2
3a	3.2	5.0	7.6	3.2	5.0	7.4	5.1	7.6	11.0
4a	29.7	39.1	50.3	30.0	39.1	49.6	39.7	51.0	64.0
1b	5.8	8.7	12.6	6.0	8.8	12.4	8.8	12.7	17.7
2b	32.6	42.7	54.6	33.0	42.7	54.0	43.3	55.3	69.2
3b	47.0	59.9	74.8	47.5	59.9	74.0	60.9	75.8	92.8
4b	79.6	97.7	117.9	80.3	97.6	116.7	99.2	119.5	141.9

Les résultats montrent que :

- Le critère de 1 l/m/s est globalement respecté pour une tempête annuelle lors d'une PHMA actuelle quelle que soit la configuration des passes ;
- Le critère de 5 l/m/s est en grande partie respecté pour une combinaison de houle décennale actuelle et d'un niveau d'eau décennal ;
- L'effet du changement climatique sur le niveau à horizon 2070 aura un impact fort sur les débits de franchissement et les critères sont dépassés pour les conditions extrêmes étudiées.

Pour information les résultats de débit de franchissement pour un niveau de crête de +8 m CM sont rappelés ci-après.

Tableau 16. Valeur de débit de franchissement moyen pour un niveau de crête de 8 m CM

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2a	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
3a	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
4a	1.0	1.6	2.5	1.0	1.6	2.4	1.6	2.6	3.9
1b	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.7
2b	1.1	1.8	2.8	1.1	1.8	2.8	1.8	2.9	4.3
3b	1.8	2.9	4.3	1.9	2.9	4.2	2.9	4.4	6.4
4b	3.8	5.6	8.1	3.9	5.6	8.0	5.8	8.3	11.5

Un rehaussement de l'ouvrage permettrait de réduire radicalement les débits de franchissements. Toutefois, dans un objectif de cohérence avec la partie existante de l'ouvrage et étant donné les difficultés liées à l'emprise de l'ouvrage et les excavations qui lui sont associés ce rehaussement n'est pas envisagé.

Cependant, à la vue des résultats, il sera nécessaire de garder une certaine vigilance sur les érosions susceptibles de se produire notamment au niveau de l'ouvrage actuel qui ne dispose pas de talus arrière. Les opérations de rechargement qui accompagnent le projet de raccourcissement de l'ouvrage pourront être mises à profit pour s'assurer du maintien du sable en quantité suffisante en arrière de ce dernier. Dans l'avenir, si nécessaire, des dispositifs anti-érosion (type géotextile) pourront être positionnés sous une épaisseur de sable afin d'éviter une érosion trop significative lors d'évènement tempétueux extrêmes.

5.4.2. Stabilité des enrochements

La stabilité des enrochements est vérifiée en considérant les formules développées par Van Der Meer et Van Gent communément admises, présentées dans le Guide Enrochements (Version française du Rock Manuel (2^{ème} édition), 2009) et décrites ci-dessous :

■ En eau profonde :

- Déferlement plongeant $\xi_m < \xi_{cr}$:

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_{n50}} = 6,2 \times P^{0,18} \times \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \times \xi_m^{-0,5}$$

- Déferlement gonflant $\xi_m \geq \xi_{cr}$:

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_{n50}} = 1,0 \times P^{-0,13} \times \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \times \xi_m^p$$

■ En eau peu profonde :

- Déferlement plongeant $\xi_m < \xi_{cr}$:

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_{n50}} = 8,4 \times P^{0,18} \times \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \times \left(\frac{H_s}{H_{2\%}}\right) \times \xi_m^{-0,5}$$

- Déferlement gonflant $\xi_m \geq \xi_{cr}$:

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_{n50}} = 1,3 \times P^{0,18} \times \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \times \left(\frac{H_s}{H_{2\%}}\right) \times \xi_{s-1,0}^p$$

Avec :

- N (-) Nombre de vagues incidentes, fonction de la durée de l'état de mer ;
- H_s (m) Hauteur significative de la houle incidente en pied d'ouvrage (H_{1/3}) ;
- H_{2%} (m) Hauteur de la houle dépassée par 2% des vagues ;
- ξ_m (-) Paramètre de déferlement calculé à partir de la période moyenne de la houle, T_m (s), en accord avec une analyse dans le domaine temporel ;
- $\xi_{s-1,0}$ (-) Paramètre de déferlement calculé à partir de la période moyenne de la houle, T_{m-1,0} (s), en accord avec une analyse dans le domaine spectral ;
- α (°) Angle du talus : une analyse de sensibilité est effectuée sur la pente de talus de la protection côtière : les pentes 3/1 et 3/2 sont considérées dans la suite de l'étude ;
- D_{n50} (m) Diamètre nominal médian ;
- M₅₀ (kg) Masse médiane d'une catégorie d'enrochement ;
- Δ (-) Densité relative déjaugée ;
- ρ_s (kg/m³) Masse volumique du solide, ici la roche : sans information sur ce paramètre une masse volumique de 2650 kg/m³ est donc considérée ;
- ρ_w (kg/m³) Masse volumique de l'eau ;

- P (-) Paramètre de perméabilité nominale de l'ouvrage. Une valeur de 0,4 a été prise pour cet ouvrage de protection côtière ;
- S_d (-) Paramètre de dommage adimensionnel : les valeurs de S_d caractéristiques pour une pente de talus de 3/1 sont les suivantes :
 - $S_d = 2,0$ début de dommage ;
 - $S_d = 6,0 - 9,0$ dommage intermédiaire ;
 - $S_d = 12,0$ rupture.

Pour une pente de 3/2 les valeurs sont les suivantes :

- $S_d = 2,0$ début de dommage ;
- $S_d = 3,0 - 5,0$ dommage intermédiaire ;
- $S_d = 8,0$ rupture.

Usuellement indépendamment de la pente du talus le début de dommage ($S_d = 2,0$) correspond à un pourcentage d'enrochements déplacés compris entre 0 et 5%.

- Musoir et courbe : Dans les parties courbes telles que la terminaison de l'ouvrage, il est nécessaire de considérer une masse d'enrochement plus importante de l'ordre de 50 %

Les tableaux suivants permettent de fournir les masses médianes théoriquement stables pour l'ensemble des cas de houle et configuration des passes.

Tableau 17. Masses médianes théoriquement stables en section courante pour une pente de 3/1

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	239	257	323	204	304	320	291	365	538
2a	328	410	507	394	411	503	417	609	629
3a	356	442	644	360	443	540	534	553	673
4a	523	752	766	529	637	901	652	784	937
1b	457	424	581	392	502	579	485	592	851
2b	537	652	786	645	655	782	670	955	962
3b	576	696	991	584	699	831	849	858	1 021
4b	641	913	920	649	773	1 083	794	946	1 120

Tableau 18. Masses médianes théoriquement stables en extrémité d'ouvrage pour une pente de 3/1

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	359	385	485	306	456	479	436	547	806
2a	493	615	760	590	616	754	626	914	944
3a	534	663	967	540	664	809	801	829	1 010
4a	785	1 128	1 149	794	955	1 352	978	1 176	1 405
1b	685	635	872	588	754	869	727	888	1 276
2b	806	977	1 179	968	982	1 172	1 005	1 432	1 443
3b	864	1 044	1 486	876	1 048	1 247	1 273	1 287	1 531
4b	962	1 369	1 381	974	1 159	1 625	1 191	1 418	1 679

Tableau 19. Masses médianes théoriquement stables en section courante pour une pente de 3/2

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	295	316	398	251	375	394	358	449	662
2a	404	504	624	485	506	619	514	750	775
3a	438	544	793	443	545	664	657	680	829
4a	644	926	943	651	784	1 110	803	965	1 154
1b	562	521	715	483	619	713	597	729	1 047
2b	661	802	968	795	806	962	825	1 176	1 185
3b	709	857	1 220	719	860	1 023	1 045	1 056	1 257
4b	790	1 124	1 133	799	951	1 334	977	1 164	1 378

Tableau 20. Masses médianes théoriquement stables en extrémité d'ouvrage pour une pente de 3/2

Cas	Stade A			Stade B			Stade C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1a	442	474	597	377	562	590	537	674	993
2a	607	757	936	727	758	929	770	1 125	1 162
3a	658	816	1 190	665	818	996	986	1 021	1 243
4a	966	1 389	1 414	977	1 176	1 664	1 204	1 448	1 730
1b	844	782	1 073	724	928	1 070	895	1 093	1 571
2b	992	1 203	1 451	1 192	1 209	1 443	1 238	1 763	1 777
3b	1 064	1 285	1 829	1 078	1 291	1 535	1 567	1 584	1 885
4b	1 185	1 685	1 700	1 199	1 427	2 001	1 466	1 746	2 068

Les résultats permettent de faire les conclusions suivantes :

- Les enrochements actuellement en place au niveau de l'ouvrage offrent une belle marge de sécurité ;
- Un dimensionnement standard pour un ouvrage avec pour objectif de durée de vie 50 ans nécessiterait :
 - Une catégorie d'enrochements de 1-2 t avec une masse médiane de 1,5 t en section courante ;
 - Une catégorie d'enrochements de 1-3 t avec une masse médiane de 2 t en extrémité d'ouvrage.

Ainsi, les enrochements actuellement en place de catégorie 1,5 – 2 t et 2-4 t peuvent être réutilisés pour la réalisation de la terminaison de l'ouvrage.

5.4.3. Pied de l'ouvrage

Le pied de l'ouvrage sera ancré de manière à ne pas être déstabilisé même dans le cas d'un abaissement du niveau de sable de la plage.

Le niveau de pied envisagé lors de l'APS de 0,2 m CM a été maintenu par des fonds qui au plus bas se trouvent à 2 m CM, ce qui offre une marge d'abaissement de l'ordre de 1,8 m.

De plus, la surépaisseur d'enrochements ou butée de pied composée des mêmes enrochements que la carapace envisagée au stade APS a été maintenue pour cette phase APD.

5.5. DESCRIPTION DE LA SOLUTION

5.5.1. Caractéristiques principales

Les caractéristiques principales de l'aménagement actualisé à un niveau APD sont les suivantes :

- 50 m de démantèlement de l'ouvrage actuel ;
- Niveau de crête 7 m CM en ligne avec l'ouvrage actuel ;
- Niveau de l'ancrage de l'ouvrage compris entre 0,2 m CM côté mer jusqu'à 2,8 m CM côté dune ;
- Pente de talus 3/1 côté mer et 3/2 côté dune ;
- Enrochements de carapace de l'ordre de 1-3 t obtenus à partir des enrochements de récupération avec les plus gros enrochements au niveau du quart arrière de la terminaison ;
- Enrochements de sous-couche / protection du géotextile de 40 – 200 kg dans la mesure du possible réutilisation des enrochements in-situ.

La vue en plan et les coupes-types suivantes permettent d'illustrer le projet de reprise de la terminaison de l'ouvrage.

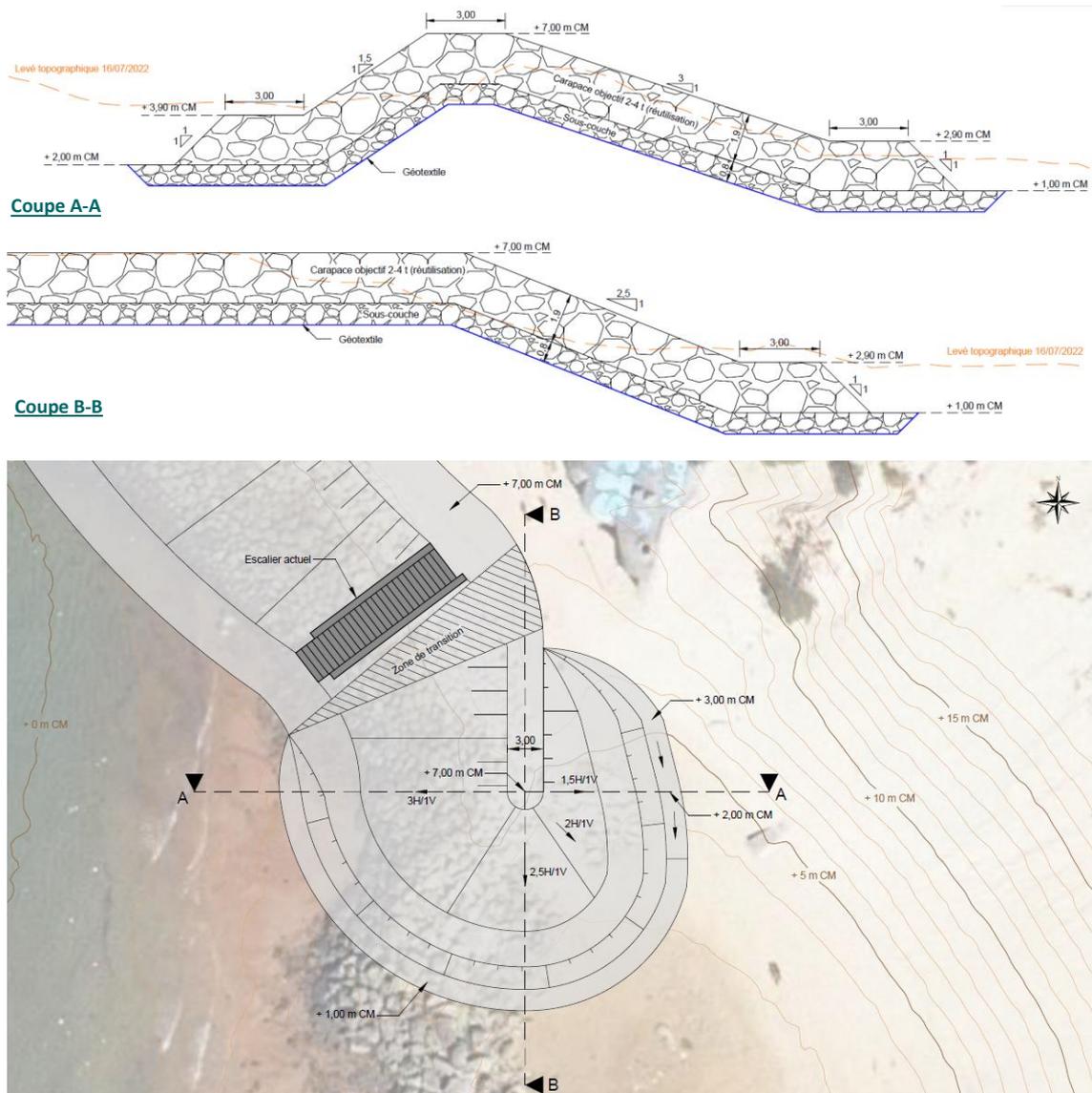


Figure 29. Vue en plan et coupes types du projet.

5.5.2. Organisation de chantier

Plusieurs options sont à considérer quant à l'organisation et la mise en place des installations de chantier. En effet plusieurs espaces et voies de passage ont été définis comme étant potentiellement exploitables en tant que voies d'accès à la zone de chantier, zones de stockage des matériaux et zones d'installation de chantier (base vie, salle de réunion, vestiaires, toilettes, etc.). Chacune des options présentées ci-dessous a des avantages, des inconvénients et des coûts variables.

Nota :

Le maître d'ouvrage, orienté par les contraintes environnementales, ne souhaite pas étudier les accès par le Sud (via la plage du Petit Nice et circulation en pied de la Dune du Pilat.). Ainsi seules les options de passage par le Nord ont été étudiées.

5.5.2.1. Scénario n°1 : Cale à bateau et rampe

Caractéristiques du scénario :

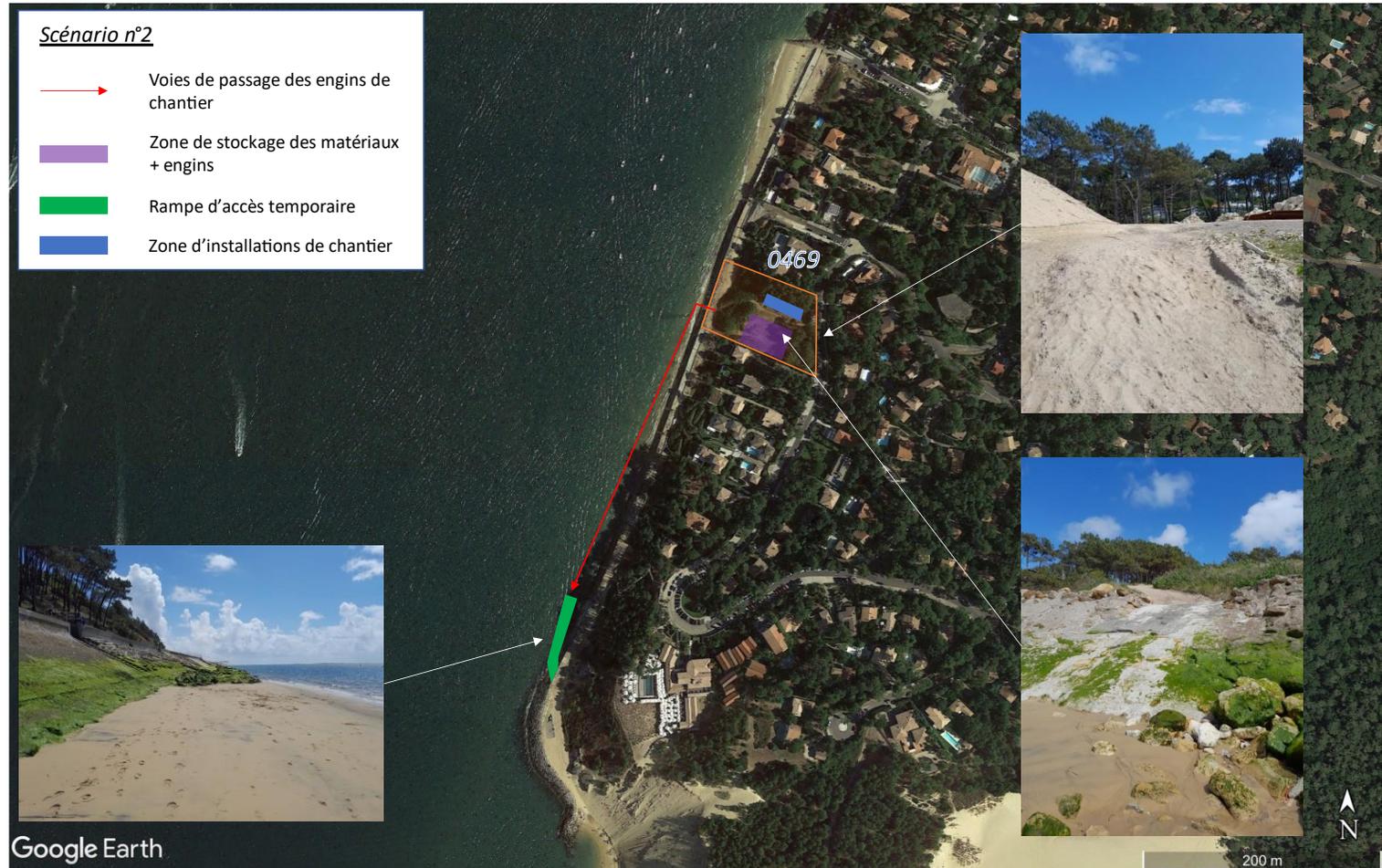
- Les engins atteignent la plage par la cale à bateau avenue du banc d'Arguin ;
- La circulation des engins se fait sur la plage lorsque la marée le permet ;
- Les engins remontent sur le perré via une rampe provisoire en enrochements ;
- La zone de stockage des matériaux et des engins est située au niveau des blockhaus proche musoir ;
- Les installations de chantier sont disposées sur le parking avenue du banc d'Arguin.



5.5.2.2. Scénario n°2 : Parcelle 0469 et rampe

Caractéristiques du scénario :

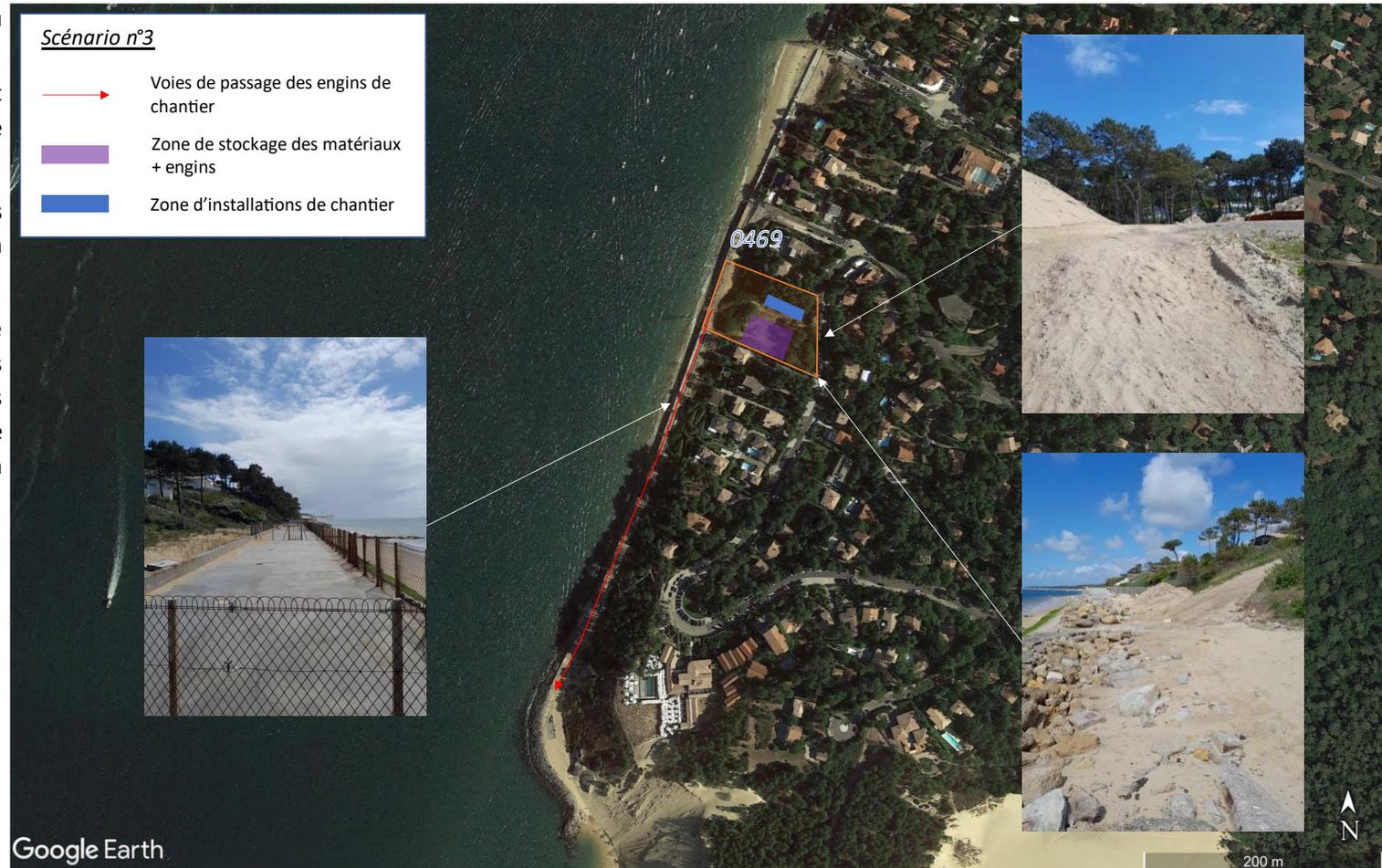
- Les engins atteignent la plage par le passage de la parcelle 0469 ;
- La circulation des engins se fait sur la plage lorsque la marée le permet ;
- Les engins remontent sur le perré via une rampe provisoire en enrochements ;
- La zone de stockage des matériaux et des engins ainsi que les installations de chantier sont sur la parcelle 0469.



5.5.2.3. Scénario n°3 : Parcelle 0469 et promenade

Caractéristiques du scénario :

- Les engins atteignent la plage par le passage de la parcelle 0469 ;
- La circulation des engins se fait sur la crête d'ouvrage ;
- La zone de stockage des matériaux et des engins ainsi que les installations de chantier sont sur la parcelle 0469.



5.5.2.4. Scénario n°4 : Voie maritime

Caractéristiques du scénario :

- Les amenées et replis de matériaux et d'engins se font par voie maritime ;
- La circulation des engins se fait uniquement dans la zone des blockhaus ;
- Les engins sont stockés dans la zone des blockhaus ;
- La base vie est disposée sur la parcelle 0469 ou bien sur le parking de l'avenue du banc d'Arguin.



5.5.2.5. Avantages, inconvénients et coûts

Scénario	Avantages	Contraintes	Coûts des aménagements préalables et amenées/replis
1 Cale à bateau / DPM / rampe	<ul style="list-style-type: none"> - Accès terrestres ; - Exploitation du domaine public ; - Passage par le DPM. 	<ul style="list-style-type: none"> - Impact de la marée, passage uniquement à marée basse ; - Création d'une rampe d'accès au perré temporaire (cf Figure 30) ; - Interdictions d'accès au parking et à la cale à bateau pendant les travaux ; - Pas de zone de stock tampon. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'une rampe à l'amenée ; - Entretien de la rampe au repli ; - Déconstruction/ évacuation à la fin de chantier ; <p><u>Total aménagements préalables :</u> ≈ 50 k€</p> <p><u>Amenée / repli :</u> ≈ 60 k€</p>
2 Parcelle 0469 / DPM / rampe	<ul style="list-style-type: none"> - Accès terrestres ; - Accès à la plage facilité ; - Parcelle 0469 proche de la zone de chantier ; - Passage par le DPM. - Exploitation d'une parcelle qui n'empiète pas le domaine public ; - Zone de stockage étendue ; - Permet la création d'une zone de stock tampon au niveau des blockhaus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Impact de la marée, passage uniquement à marée basse ; - Nécessite l'accord du propriétaire privé de la parcelle 0469 ; - Création d'une rampe d'accès au perré temporaire (cf Figure 30) ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'une rampe à l'amenée ; - Entretien de la rampe au repli ; - Déconstruction/ évacuation à la fin de chantier ; <p><u>Total aménagements préalables :</u> ≈ 50 k€</p> <p><u>Amenée / repli :</u> ≈ 60 k€</p>

Scénario	Avantages	Contraintes	Coûts des aménagements préalables et amenées/replis
<p>3</p> <p>Parcelle 0469 / crête d'ouvrage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Accès terrestres ; - Accès à la plage facilité ; - Parcelle 0469 proche de la zone de chantier ; - Pas de passage sur le DPM ; - Pas de création de rampes d'accès au perré et accès direct à la crête d'ouvrage ; - Zone de stockage étendue ; - Installations de chantier à proximité du chantier ; - Permet la création d'une zone de stock tampon au niveau des blockhaus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction de 4 à 7 murets parpaings et grillages (2x6m) de séparations parcellaires ; - Nécessite l'accord des propriétaires privés des sections de la promenade pour circuler ; - Potentielle dégradation du perré par circulation des engins → Remise en état du perré 	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction et évacuation des murs et grillages ; - Reconstruction des murs et grillages : ≈ 4 000 € / mur ≈ 2 000 € / clôture - Protection et réfection de la zone de roulement ; <p><u>Total aménagements préalables :</u> ≈ 25 k€</p> <p><u>Amenée / repli :</u> ≈ 60 k€</p>
<p>4</p> <p>Parking Av. du banc d'Arguin / Voies maritimes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de circulation sur le DPM ou le perré ; - Besoin de ne réquisitionner qu'une seule zone pour les installations de chantier ; - Accès direct au musoir 	<ul style="list-style-type: none"> - Accès maritimes ; - Coût élevé ; - Disponibilité de la barge ; - Etude de la méthode de transit entre la barge et la zone de chantier. 	<ul style="list-style-type: none"> - Amenée et replis par voies maritimes : ≈ 250 k€



Figure 30 : Photomontage de la rampe d'accès à la crête d'ouvrage

5.5.3. Phasage et planning de chantier

Le phasage et le planning de chantier dépendront essentiellement des besoins d'apports ou d'évacuations des matériaux nécessaires à la modification du musoir. C'est pourquoi plusieurs scénarios ont été étudiés et sont présentés ci-dessous, en attente de précisions de ces éléments et de la levée des incertitudes sur les volumes disponibles à déconstruire.

5.5.3.1. Scénario A

Ce scénario est le plus favorable, correspond à :

- 100% de réutilisation des matériaux en place ;
- 0% d'évacuation ;

Scénario A				
Tâches	Début	Durée	Fin	
Préparation de chantier (Accès / Rampes ou accès nautiques)	16/12/2024	1 mois	17/01/2025	
Travaux	20/01/2024	14 semaines	25/05/2025	
- Démontage et mise en stock	20/01/2024	4 semaines	14/02/2024	
- Profilé arrière et pose du Géotextile	17/02/2025	4 semaines	14/03/2025	
- Pose des couches filtres et blocs selon nouvelle géométrie	17/03/2025	6 semaines	25/05/2025	
Période estivale	28/05/2025	~5 mois		
Rechargement en sable en arrière de l'ouvrage	janv-26			

5.5.3.2. Scénario B

Le scénario B est un scénario intermédiaire correspondant à :

- 100% de réutilisation des blocs en place ;
- Evacuation de matériaux en surplus.

Scénario B				
Tâches	Début	Durée	Fin	
Préparation de chantier (Accès / Rampes ou accès nautiques)	16/12/2024	1 mois	17/01/2025	
Travaux	20/01/2024	14 semaines	25/05/2025	
- Démontage et mise en stock	20/01/2024	4 semaines	14/02/2024	
- Profilé arrière et pose du Géotextile	17/02/2025	4 semaines	14/03/2025	
- Evacuation des blocs	17/02/2025	4 semaines	14/03/2025	
- Pose des couches filtres et blocs selon nouvelle géométrie	17/03/2025	6 semaines	25/05/2025	
Période estivale	28/05/2025	~5 mois		
Rechargement en sable en arrière de l'ouvrage	janv-26			

5.5.3.3. Scénario C

Ce scénario est le plus défavorable car il correspond à :

- 100% de réutilisation des blocs en place ;
- Un apport nécessaire de blocs d'encrochements ;
- Un apport nécessaire de matériaux sous-couche.

Scénario C			
Tâches	Début	Durée	Fin
Préparation de chantier (Accès / Rampes ou accès nautiques)	16/12/2024	1 mois	17/01/2025
Travaux	20/01/2024	14 semaines	25/05/2025
- Démontage et mise en stock	20/01/2024	4 semaines	14/02/2024
- Approvisionnement des encrochements	20/01/2024	4 semaines	14/02/2024
- Profilé arrière et pose du Géotextile	17/02/2025	4 semaines	14/03/2025
- Pose des couches filtres et blocs selon nouvelle géométrie	17/03/2025	6 semaines	25/05/2025
Période estivale	28/05/2025	5 mois	
Rechargement en sable en arrière de l'ouvrage	janv-26		

Ainsi, le choix du scénario de planning des travaux sur le musoir dépend principalement de l'estimation des quantités de matériaux à extraire et/ou à approvisionner. Ce choix représente un enjeu majeur car cette incertitude est à même de provoquer de grosses variations sur le coût des travaux. A ce stade (APD), une première estimation des quantitatifs a été menée et est présentée en 5.5.4.2 . Cette estimation sera affinée en phase PRO.

5.5.4. Quantitatif et chiffrage

5.5.4.1. Démantèlement et récupération des matériaux

Une estimation des quantités de matériaux à démanteler est réalisée afin de chiffrer la déconstruction et d'estimer le volume de réutilisation.

Cette estimation est réalisée sur la base des orthophotographies et topographies disponibles, ainsi certaines incertitudes persistent et des hypothèses sont émises :

- Une augmentation de +20 % des volumes est considérée pour les quantités à prendre en considération pour le démantèlement ;
- Une réduction de 20 % des volumes est considérée pour les volumes de matériaux à réutiliser ;
- La répartition enrochements de carapace / enrochements de sous couche est 75 / 25 %.

Ainsi sur cette base, l'estimation brute des matériaux issus du démantèlement est détaillée ci-dessous :

- Valeur brute : 1 877 m³
- Valeur pour démantèlement et tri : 2 250 m³
- Valeur pour réutilisation : 1 500 m³
 - Carapace : 1 125 m³
 - Sous-couche : 375 m³

5.5.4.2. Ouvrages

Le tableau suivant permet de synthétiser les quantités et les coûts associés à la réalisation du projet :

Tableau 21. Quantitatif et estimatif du projet de démantèlement de l'ouvrage de la Corniche

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire €HT/u	Prix €HT
0	Frais généraux	Ft	1.00	300 000.00	300 000.00
1	Déconstruction de l'ouvrage actuel	m ³	2 250.00	20.00	45 000.00
2a	Enrochements carapace - Réutilisation	m ³	1 125.00	45.00	50 625.00
2b	Enrochements carapace - Apport	m ³	214.24	100.00	21 423.90
3a	Sous-Couche - Réutilisation	m ³	375.00	35.00	13 125.00
3b	Sous-Couche - Apport	m ³	323.28	75.00	24 246.14
4	Géotextile	m ²	921.99	5.00	4 609.95
5	Mouvements de sable	m ³	481.94	20.00	9 638.73
Total [1]					468 668.73
Aléas et incertitudes 20% de [1] / [2]					93 733.75
Total [1] + [2] / [3]					562 402.47

Nota : L'enveloppe des 300 000 € pour les frais généraux est basée sur la solution d'aménée-repli la plus chère (voie maritime) et c'est une estimation qui se situe dans la fourchette haute.

6. RECHARGEMENT EN SABLE

6.1. DIMENSIONNEMENT DES RECHARGEMENTS

6.1.1. Définition des volumes de besoin

Sur la base des évolutions observées de la dune dans le secteur du musoir de la Corniche et plus précisément des bilans volumétriques calculés (cf. section 4.4.2.3, p.26), CASAGEC s'est attardé à préciser les volumes de sable à apporter lors des rechargements.

Afin d'évaluer les pertes annuelles de la dune dans le secteur de la Corniche, il a dans un premier temps été question de calculer le total des pertes ayant lieu par box. Cette donnée, ramenée ensuite à une valeur annuelle, a été recherchée par niveau de dune à savoir soit compris entre 0 et 10 m CM soit supérieur à la cote 10 m CM. Les résultats de ce travail sont présentés au travers du Tableau 22.

Tableau 22. Pertes annuelles de sable par box et par niveau de dune calculées sur la base de la somme des pertes de proches en proches.

Box	Zone < 10 m CM Pertes globales m ³ /an	Zone > 10 m CM Pertes globales m ³ /an
2	-292	-1 173
3	-566	-3 567
4	-648	-3 959
5	-974	-5 443
Total (m³)	-2 481	-14 143

Sur la base de ces informations, l'objectif en suivant a été de quantifier les volumes jouant un rôle « réel » dans les processus érosifs. Pour cela, il a été considéré que les volumes de sables quantifiés sur la partie basse de la dune (0-10 m CM) jouaient un rôle, en totalité, vis-à-vis des reculs de la dune. Concernant les sables de la partie haute de la dune (> 10 m CM), il a été considéré que ces sables, en glissant en pied de dune sous l'effet du rééquilibrage de la pente (cf. section 4.4.2.4, p.28), pouvaient également contribuer au maintien de la dune en jouant le rôle de « rechargements naturels ». Néanmoins, ne connaissant pas exactement le pourcentage utile de ces apports naturels, plusieurs hypothèses ont été considérées et sont détaillées dans le Tableau 23.

Tableau 23. Volumes érodés au fil des années (exprimés en m³) selon l'hypothèses de pourcentage utile des sables issus de la partie haute de la dune (> 10 m CM).

Box	% utile des apports naturels		
	20%	50%	80%
2	-235	-586	-938
3	-713	-1 784	-2 854
4	-792	-1 980	-3 167
5	-1 089	-2 722	-4 355
Total (m³)	-2 829	-7 071	-11 314

Dans le cadre de l'hypothèse 1 où 20 % des apports naturels jouent un rôle vis-à-vis du recul de la dune en restant en place, cela signifie que les 80 % du volume restant sont quant à eux directement perdus. A

l'inverse, en considérant que 80 % des apports naturels jouent un rôle vis-à-vis du recul de la dune, cela signifie que seuls 20 % du volume sont directement perdus.

Au regard de ces informations et en considérant 20 % d'apport naturel « utile » à partir du volume disponible de la zone haute de la dune (14 140 m³ au total), ce sont donc au total 2 830 m³ qui jouent un rôle vis-à-vis du recul de la dune. Les 11 310 m³ restant peuvent être considérés comme totalement perdus.

De la même façon, en considérant cette fois 80 % d'apport naturel à partir du volume disponible de la zone haute de la dune (14 140 m³ au total), ce sont au total 11 310 m³ qui jouent un rôle vis-à-vis du recul de la dune. Dans ce cas de figure, les 2 830 m³ restant sont quant à eux directement perdus et n'interviennent pas dans les processus.

A partir de ces données, il a donc été possible d'estimer, selon l'hypothèse du pourcentage utile des apports naturels considérée à partir de la partie haute de la dune, le volume total de sable jouant effectivement un rôle dans les processus érosifs. Cette réflexion permet en fin de compte d'estimer les volumes de sable qu'il serait nécessaire d'apporter dans le cadre de rechargement afin de limiter les reculs observés. Les résultats de ce travail sont présentés au travers du Tableau 24.

Tableau 24. Volumes totales de sable (tous niveaux confondus) jouant un rôle dans les processus érosifs.

Echéances	Volumes totales (m ³) selon l'hypothèse de % utile des apports naturels considérées		
	20%	50%	80%
1 an	-5 309	-9 552	-13 795
2 ans	-10 619	-19 105	-27 590
4 ans	-21 238	-38 209	-55 180
6 ans	-31 857	-57 314	-82 770
10 ans	-53 094	-95 523	-137 951

Sous l'hypothèse 1 où 20 % des apports naturels (soit 2 830 m³) jouent un rôle vis-à-vis du recul de la dune en restant en place, auxquels seraient associés les volumes de la zone inférieure à 10 m CM (soit 2 480 m³), ce sont au total 5 300 m³ de sable qui seraient mobilisés en 1 an, soit le double en 2 ans ...

De la même façon, sous l'hypothèse où 80 % des apports naturels (soit 11 310 m³) jouent un rôle vis-à-vis du recul de la dune en restant en place, auxquels seraient associés les volumes de la zone inférieure à 10 m CM (soit 2 480 m³), ce sont au total 13 790 m³ de sable qui seraient mobilisés en 1 an, soit le double en 2 ans ...

Au regard de notre connaissance du site, il semble peu probable que 80 % des apports issus du haut de la dune (> 10 m CM) soient réellement utiles et interviennent significativement dans les processus érosifs. Nous retenons donc à dire d'expert et sur la base de notre retour d'expérience sur des projets de rechargements similaires, que 20 % des apports naturels issus de la partie haute de la dune peuvent être considérés comme utiles. Sur cette base, ce sont donc plutôt :

- 5 300 m³ de sable qui seraient mobilisés tous les ans,
- 10 600 m³ de sable qui seraient mobilisés tous les 2 ans,
- 21 200 m³ de sable qui seraient mobilisés tous les 4 ans,
- 31 800 m³ de sable qui seraient mobilisés tous les 6 ans,
- 53 000 m³ de sable qui seraient mobilisés tous les 10 ans.

In fine, cela permet de déterminer les volumes de besoin à apporter sur le site selon la fréquence des opérations envisagées. Toutefois, et d'après notre retour d'expérience en lien avec la réalisation d'autres projets de rechargement, il est avéré que lorsqu'une dune est confortée avec des sables de rechargement (c'est-à-dire non natifs), les pertes de sable sont plus importantes que lorsque l'érosion attaque un secteur naturel. Au regard de ces résultats, les pertes peuvent être estimées comme 2 fois plus importantes lorsque la dune érodée est constituée de sable non natif.

Afin d'anticiper ce phénomène, il faudrait donc apporter, dans le cadre de rechargements de plage, **2 fois les volumes de besoin initialement estimés** pour garantir l'efficacité du rechargement ou réduire par 2 le temps d'érosion du stock sédimentaire constitué.

En considérant des rechargements tous les 2 ans, ce sont donc de l'ordre de 22 000 m³ de sables qu'il faudrait apporter sur site.

6.1.2. Définition des profils de rechargement

Dans le cadre du présent APD, les rechargements ont été dessinés sur la base d'un volume d'apport initial de 22 000 m³ avec un élargissement constant de la dune sur l'ensemble du linéaire à recharger (≈ 120 m).

A ce stade, il est difficile de se prononcer sur les volumes de rechargement d'entretien à envisager qui dépendront de l'évolution du stock constitué et de son évolution. Toutefois, de manière préliminaire et sécuritaire, il apparaît nécessaire de retenir des volumes de rechargements du même ordre de grandeur. Ces opérations d'entretien pourraient être programmées tous les 2 ans de manière mutualisée avec les rechargements du Pyla.

Concernant la configuration des rechargements, plusieurs choix ont été fait notamment concernant :

- Les paliers : 2 paliers ont été définis :
 - Un premier palier à 7 m CM permettant un accès à la plage depuis le dessus de l'ouvrage,
 - Un second palier à 10 m CM constituant le stock principal des apports assurant le confortement de la dune,
- Les pentes : des pentes de 2,5 en horizontal pour 1 en vertical proches de la dune naturelle ont été considérées,
- Le rapport hauteur/largeur : des apports en hauteur ont préférentiellement été choisis afin de limiter l'emprise sur la plage. En effet, plus les rechargements descendent bas sur la plage et plus le risque de reprise des sables par les marées successives est grand.

La vue en plan et coupes types associées à ces rechargements sont présentées en page suivante.

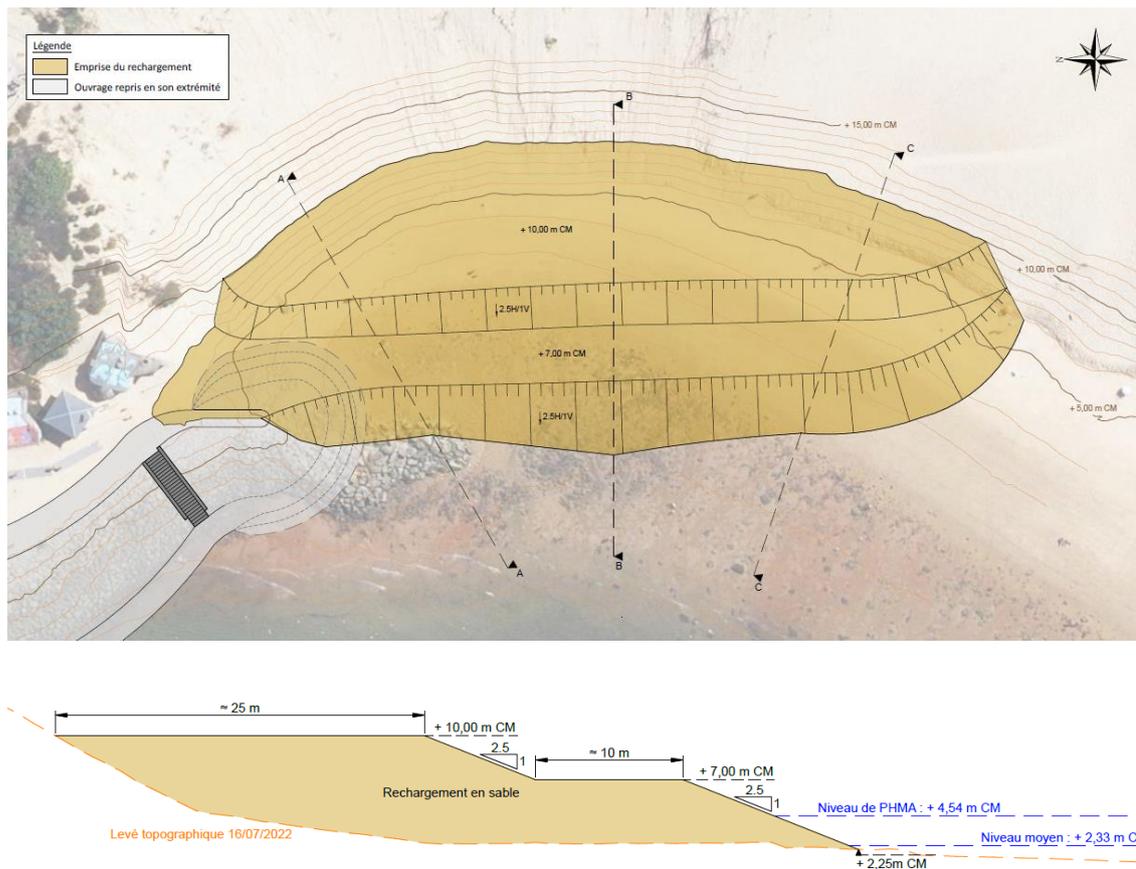


Figure 31. Vue en plan et coupe type BB du projet de rechargement

6.2. MISE EN ŒUVRE DES RECHARGEMENTS

6.2.1. Site d'extraction

Comme présenté dans le cadre de l'APS d'ARTELIA (2022), les sables utilisés pour le rechargement seront prélevés sur le flanc Est du banc du Bernet, au sein de la zone d'ores et déjà autorisée pour les rechargements des plages du Pyla-sur-Mer.

D'après les investigations réalisées par le SIBA en 2014, les matériaux extraits de cette zone sont des sables dont le diamètre moyen (D_{50}) est de l'ordre de 0,35 mm, avec une fraction fine ($< 63 \mu\text{m}$) comprise entre 1 et 2 %. Les résultats de ces investigations montrent en outre que l'ensemble des échantillons ont des teneurs en contaminants inférieures aux niveaux N1 pour tous les composants testés.

6.2.2. Méthodologie de réalisation des opérations

La présente section décrit les grandes lignes relatives à la mise en œuvre des rechargements. Celles-ci feront l'objet de plus amples précisions lors de la phase de PRO.

6.2.2.1. Principe des opérations envisagées

Pour rappel, les apports de sable sont réalisés afin :

- D'éviter que l'ouvrage soit contourné de façon notable, ce qui pourrait entraîner un recul de la dune et donc la perte des enjeux de 1^{ère} ligne,

- De maintenir une côte en pied d'ouvrage suffisante de façon à assurer sa stabilité.

Afin de mener à bien ces opérations, la solution du refoulement des sables à la côte au moyen d'une canalisation (flottante puis terrestre) a été identifiée comme la plus réalisable au regard de la configuration du site.

Remarque : le confortement du secteur avait initialement été envisagé par rainbowing. A cet effet, un premier test, réalisé en 2020, avait permis de confirmer la faisabilité technique de l'opération. Un second test était planifié en 2022 mais celui n'a pas pu être mené à bout. In fine, au regard de la configuration du site (fonds peu profonds au droit de la plage) et des enjeux patrimoniaux liés à ce site, cette solution a finalement été écartée au profit de la solution par conduite.

6.2.2.2. Méthodologie de réalisation des opérations de dragage et de refoulement

Les opérations envisagées seraient réalisées selon les 3 grandes étapes présentées en suivant :

- Dragage hydraulique par une drague aspiratrice en marche (DAM) sur le banc du Bernet,
- Refoulement des sables de la DAM vers les plages par une conduite flottante puis terrestre,
- Refoulement des sables dans des casiers de décantation pour pouvoir ensuite les reprendre via l'utilisation de moyens terrestres (bulls, ...).

Dragage

Afin de procéder aux extractions de sable, une drague aspiratrice en marche (DAM) type « Côte de Bretagne », pourra être mobilisée notamment dans le cas où les opérations seraient réalisées en même temps que les rechargements des plages du Pyla-sur-Mer.

Les caractéristiques de cette DAM sont les suivantes :

- Capacité : 1 270 m³
- Tirant d'eau max dragage : 4,42 m
- Vitesse de déplacement à vide : 10,5 nœuds
- Vitesse de déplacement chargée : 9 nœuds
- Profondeur maximale de dragage : 30 m environ
- Distance de refoulement avec conduite :
 - Sans pompe relais : max 700 m
 - Avec pompe relais : max 2 000 m

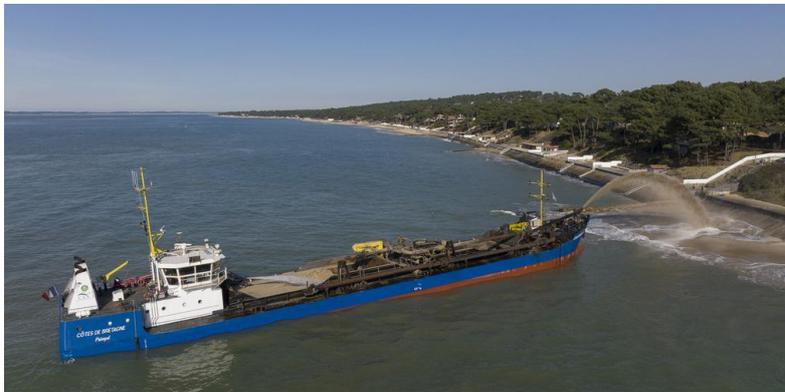


Figure 32. La drague Côte de Bretagne en action de rainbowing lors du rechargement des plages du Pyla-sur-Mer en 2022

Le principe du dragage hydraulique est l'aspiration du matériau sableux avec de l'eau (mixture). La mixture sable-eau est aspirée au travers d'une élinde et remplit le puits de la drague (Figure 33). L'élinde traînante permet de retirer le sable des fonds et de l'amener dans la trémie de la drague. Des opérations de surverse *in situ* permettront à la fois d'optimiser les quantités de sables transportées et d'évacuer les sédiments les plus fins.

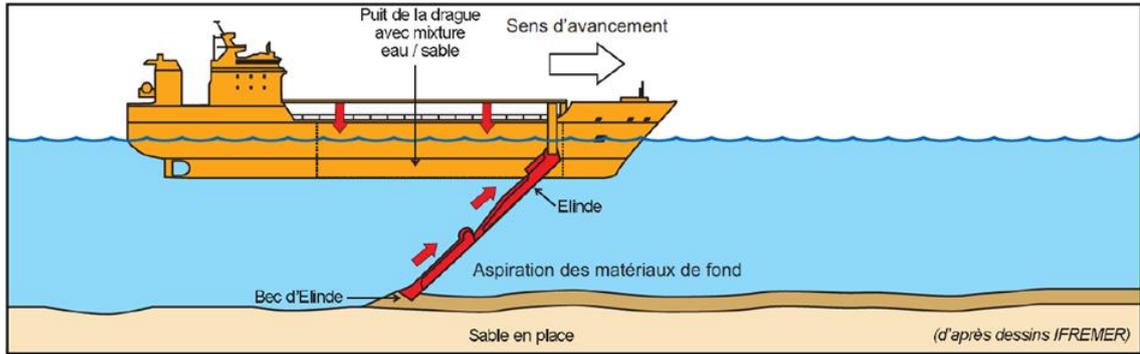


Figure 33 : Schéma de principe du dragage par une drague aspiratrice en marche (source : IFREMER).

La puissance de refoulement sera adaptée aux besoins, en fonction de la granulométrie du sable et du linéaire de refoulement.

Le flanc Est du Banc du Bernet au niveau duquel auront lieu les prélèvements, est localisé entre -4,0 et -14 m CM. Il sera donc accessible tout au long de la marée.

Les principales contraintes techniques liées à l'utilisation de la DAM seront corrélées aux conditions d'agitation du site à savoir le déferlement de la houle et les courants.

Refoulement sur la plage

La localisation du site de refoulement est contrainte par la cote des fonds et les conditions hydrodynamique du site. En effet, la drague doit pouvoir se rapprocher suffisamment de la côte pour se raccorder à la conduite. Les critères recherchés sont donc :

- Des fonds suffisamment importants pour permettre à la drague de venir se raccorder à la conduite flottante,
- Un site de refoulement permettant facilement de redistribuer les sables vers la zone de besoin.

Ces critères sont réunis dans le chenal du Pyla, le plus au droit des perrés possible afin de réduire le linéaire de conduite.

Dans le détail, le refoulement des matériaux (mixture sable-eau) sera donc effectué par une conduite flottante (raccord souple avec la drague) puis terrestre (partie fixe et rigide). Le montage de la conduite se fera à terre. Une fois assemblés, les différents tronçons de la conduite seront mis en flottaison puis remorqués en mer. Cette conduite sera raccordée à une bouée de connexion à laquelle la drague viendra se connecter via un raccord spécial appelé « connexion de proue ». La drague étant équipée d'un système de refoulement, elle pourra alors envoyer les sables au site de rechargement via la conduite.

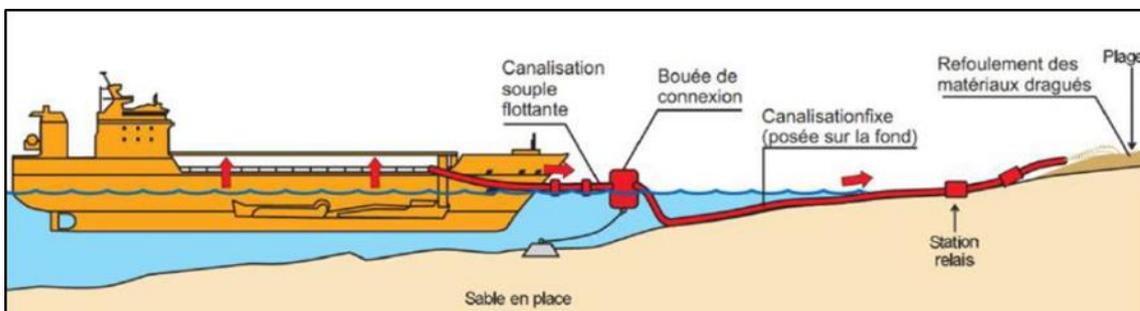


Figure 34 : Schéma de principe du refoulement par conduite (source : IFREMER).

Les caractéristiques précises des conduites seront définies dans le cadre de la phase PRO.

Au regard des profondeurs importantes dans le chenal du Pyla, l'accès à la conduite et les refoulements associés pourront avoir lieu sur l'ensemble de la journée.

Les sables extraits seront refoulés vers un casier de décantation préalablement établis sur le site à recharger. Il sera délimité par des merlons de sable constitués à partir des premiers apports du dragage. Ce casier aura pour objectifs de faciliter la décantation des sables à partir de la mixture de dragage et de limiter la perte de sable. L'eau s'évacuera du casier en entraînant la partie des sables fins et les fines qui ne pourront se décanter.

Les sables décantés seront alors repris par des bulldozers et pelles hydrauliques de manière à venir façonner le cordon dunaire selon les profils précédemment décrits.

6.3. CHIFFRAGE

Sur la base de rechargement à hauteur de 22 000 m³, les coûts associés à ces opérations ont été estimés comme suit :

Tableau 25. Coûts estimatifs pour des rechargements à hauteur de 22 000 m³.

Poste	Unité	PU HT	Quantité	Prix total € HT
Amenée/Repli DAM et conduite*	€ HT	-	1	<i>Non considéré car mutualisé</i>
Pose/Dépose conduite	€ HT	150 000	1	150 000,00
Dragage	m ³	4	22 000	88 000,00
Régalage	m ³	3	22 000	66 000,00
Total hors aléa € HT				304 000,00
Aléa € HT (20%)				60 800,00
Total € HT				364 800,00