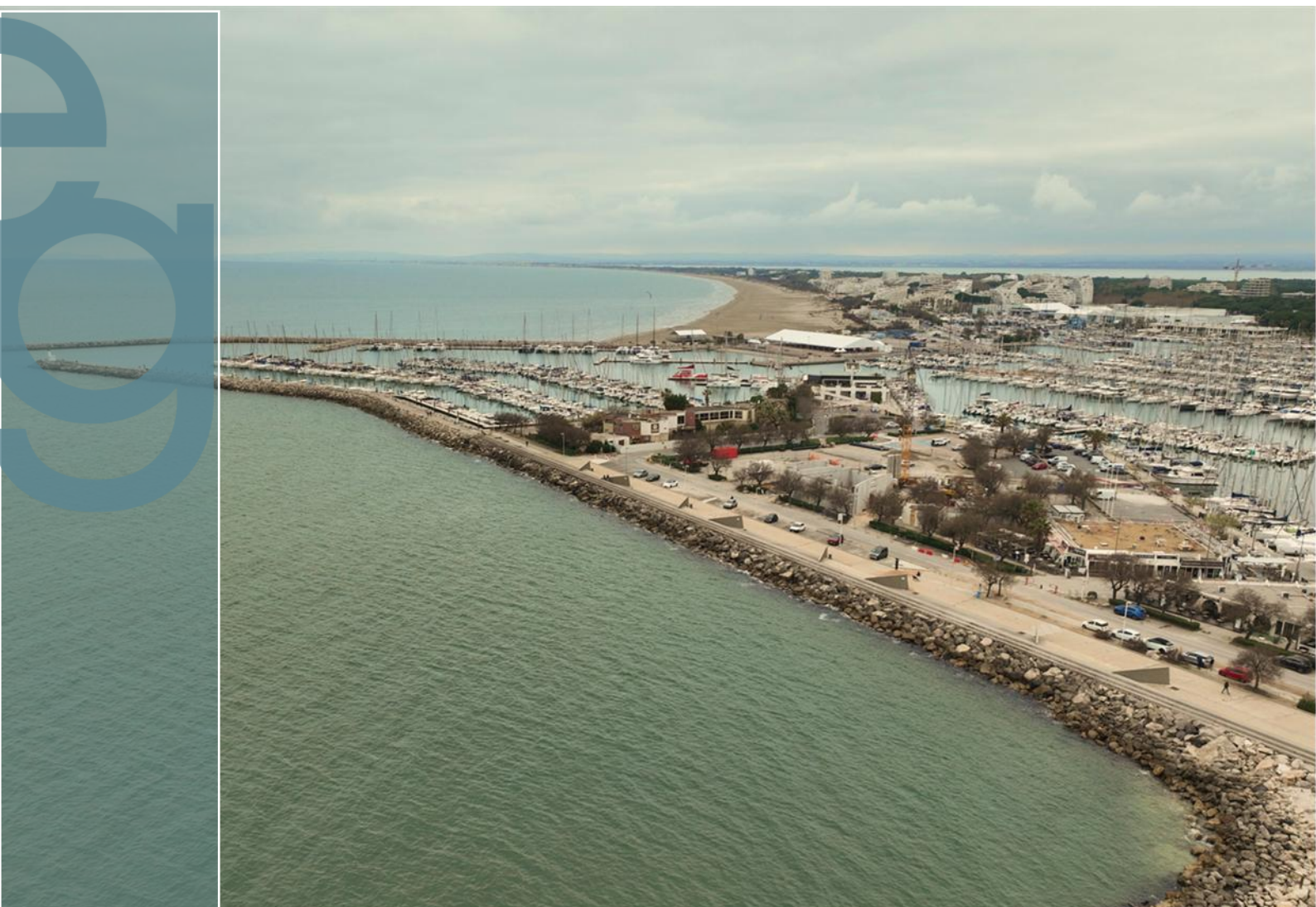


Limitation des entrées d'eau par franchissements dans la ZPP du SE de La Grande Motte

Etude de faisabilité

2 décembre 2025



Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s)	Juliette NOZIERES, Antoine FÉGNÉ
Fonction	Ingénieurs génie côtier / génie civil
Volume du document	Rapport d'étude
Version	V02
Référence	MAR0091

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Vérifié par	Fonction	Modification
V00	24-oct-2025	Arnaud Sallaberry	Ingénieur Expert	Première émission
V01	21-nov-2025	Arnaud Sallaberry	Ingénieur Expert	Deuxième émission
V02	2-déc.-25	Arnaud Sallaberry	Ingénieur Expert	Troisième émission

Version	Date	Approuvé par	Fonction	Modification
V00	24-oct-2025	Arnaud Sallaberry	Directeur	Première émission
V01	21-nov-2025	Arnaud Sallaberry	Directeur	Deuxième émission
V02	2-déc.-25	Arnaud Sallaberry	Directeur	Troisième émission

DESTINATAIRES

Nom	Entité
Camille Raude	Pays de l'Or Agglomération

Sommaire

1	CONTEXTE ET OBJET DU MARCHE	10
1.1	Contexte général	10
1.2	Objet de l'étude	11
2	DONNEES DE SITE	12
2.1	Données topo-bathymétrique	12
2.2	Vents	13
2.3	Niveaux d'eau	14
2.3.1	Marée astronomique	14
2.3.2	Niveaux extrêmes	15
2.3.3	Changement climatique	15
2.3.4	Niveaux d'eau retenus pour l'étude	16
2.4	Etat de mers au large	17
2.4.1	Base de données	17
2.4.2	Climatologie	18
2.4.3	Extrêmes	19
2.5	Contexte géotechnique	20
2.5.1	Contexte géologique	20
2.5.2	Sismicité	20
2.5.3	Données géotechniques disponibles	21
2.5.3.1	Base de données	21
2.5.3.2	Synthèse	21
2.6	Contexte réglementaire	24
3	CARACTERISTIQUES ET ETAT DE L'OUVRAGE	25
3.1	Localisation	25
3.2	Gestionnaire / Propriétaire	25
3.3	Historique	25
3.4	Géométrie	26
3.4.1	Préambule	26
3.4.2	Protection Est (PM00 à PM237)	26
3.4.3	Enracinement de la digue Est (PM237 à PM255)	27
3.5	Synthèse des diagnostic précédents et préconisations	29
3.5.1	Enrochements de carapace désorganisée	29
3.5.2	Cavités sous couronnement	29
3.5.3	Désordres en partie arrière des ouvrages	29
3.6	Réseaux d'eau pluviale	30

4 CRITERES ET HYPOTHESES DE PROJET	31
4.1 Référencement du projet	31
4.2 Objectifs de projet et durée de vie	31
4.3 Données de référence.....	31
4.3.1 Niveaux de sable	31
4.3.2 Etats de mer en à la côte	34
4.3.2.1 Modélisation SWAN 2D.....	34
4.3.2.2 Résultat de modélisation	36
4.3.3 Franchissements par paquets de mer.....	37
5 SOLUTIONS D'INTERVENTION	39
5.1 Préambule.....	39
5.2 Solution 1 : Réhausse du niveau de crête.....	41
5.2.1 Principe et objectifs.....	41
5.2.2 Caractérisation des venues d'eau dans la ZPP	42
5.2.2.1 Préambule	42
5.2.2.2 Présentation de la chaine de modélisation	42
5.2.2.3 Résultats et analyse	44
5.2.3 Principes constructifs	48
5.2.4 Quantitatif et chiffrage préliminaire.....	49
5.3 Solution 2 : Gestion des eaux de franchissement.....	51
5.3.1 Principe et objectifs.....	51
5.3.2 Capacité d'évacuation des eaux de franchissements.....	51
5.3.2.1 Principes de calcul	51
5.3.2.2 Définition des débits de franchissements à évacuer.....	53
5.3.2.3 Résultats.....	53
5.3.3 Caractérisations des venues d'eau dans la ZPP	54
5.3.4 Principes constructifs	55
5.3.5 Quantitatif et chiffrage préliminaire.....	56
5.4 Solution 3 : Réhausse du niveau de crête + gestion des eaux de franchissement.....	57
5.4.1 Principe et objectifs.....	57
5.4.2 Caractérisations des venues d'eau dans la ZPP	57
5.4.3 Principes constructifs	58
5.4.4 Quantitatif et chiffrage préliminaire.....	58
5.5 Solution 4 : Adaptation du bâti.....	59
5.5.1 Principe et objectifs.....	59
5.5.2 Caractérisations des venues d'eau dans la ZPP	60
5.5.3 Quantitatif et chiffrage préliminaire.....	61
5.6 Comparaison des solutions.....	62

6	CONTRAINTES REGLEMENTAIRES ET ENVIRONNEMENTALES	64
6.1	Loi sur l'eau – Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du Code de l'environnement.....	64
6.2	Zonages d'inventaires et de protection du patrimoine environnemental et culturel.....	64
6.2.1	Natura 2000.....	64
6.2.2	ZNIEFF (Zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique).....	64
6.2.3	Espaces Naturels Sensibles.....	65
6.2.4	Patrimoine culturel : site classé	65
6.3	Localisation du Domaine Public Maritime	65
7	CONCLUSION.....	66

Figures

Figure 1. Localisation de l'ouvrage de protection maritime de la Promenade Est du Port de la Grande Motte	10
Figure 2. Cartographie des venues d'eau pour la période de retour 1 an.....	10
Figure 3. (gauche) MNT Bathymétrique de façade du Golfe du Lion - Côte d'Azur (Projet Homonim) ; (droite) Partie maritime Litto3D® – Occitanie – Languedoc-Roussillon 2014-2015	12
Figure 4. Topo-bathymétrie au niveau du site d'étude : (gauche) LITTO3D 2014-2015, (droite) Levés CASAGEC 2024	12
Figure 5. Localisation des données de vent au large issue de la ré-analyse Copernicus	13
Figure 6. Rose de vent pour l'extraction Copernicus au large, entre 2007 et 2024 – Toutes directions confondues	13
Figure 7. Rose de vent pour l'extraction Copernicus au large, entre 2007 et 2024 –direction Sud à Est uniquement.....	13
Figure 8. Localisation des marégraphes de Sète et de Port-Camargue	14
Figure 9. Elévation du niveau moyen de la mer selon différents scénarios pour le port de Sète (source : 6 ^{ème} rapport du GIEC, 2021-2022)	16
Figure 10. Localisation du point de référence au large, des houlographes du réseau CANDHIS et des marégraphes du SHOM	17
Figure 11. Corrélogramme hauteur de houle significative Hs et période pic	18
Figure 12. Corrélogramme hauteur de houle significative Hs et direction	18
Figure 13. Extrait de la carte géologique	20
Figure 14. Carte du zonage sismique de la France (en vigueur depuis le 1er mai 2011)	20
Figure 15. Identification des secteurs d'intervention (Source : G2-PRO FONDASOL).....	21
Figure 16. Sondages réalisés par FONDASOL (source : mission G3 OPTIMUM)	22
Figure 17. Sondage SC3 réalisé au droit de la digue (Source : G2-AVP FONDASOL)	23
Figure 18. Cartographie des venues d'eau pour la période de retour 1 an	24
Figure 19. Vue aériennes historiques (remonterletemps.ign.fr).....	25
Figure 20. Photographie de la construction du Port de La Grande Motte (©Sughrue / Mairie de La Grande Motte).	26
Figure 21. Coupe de principe de l'ouvrage (PM140).....	27
Figure 22. Coupe de principe de l'ouvrage (PM240).....	27
Figure 23. Photos de l'ouvrage (Source : CASAGEC, Inspection visuelle, 05/02/2024).....	28
Figure 24. Exutoire (PM20).....	30
Figure 25. Cartographie des réseaux EP (envoi MOA)	30
Figure 26. Localisation des profils d'extraction	31

Figure 27. Profils de sable complet (haut) ou zoom 50m avant l'ouvrage (bas), au PM50 (gauche) et au PM150 (droite), selon les différentes données topo-bathymétriques disponibles	32
Figure 28. Illustration des 3 profils type	33
Figure 29. Emprise des grilles SWAN (gauche) et zoom du MNT au niveau de la G4 (droite)	34
Figure 30. Points d'extraction des résultats du modèle de propagation	36
Figure 31. Photographies de la tempête du 09/03/2025 (source : InfoOccitanie)	37
Figure 32. Principe de la solution 1 : réhausse du niveau de crête	41
Figure 33. Illustration des réhausses au niveau du profil P1	42
Figure 34. Maillage du modèle hydrodynamique de la zone d'étude	43
Figure 35. Cartographies des venues d'eau à l'état initial et pour les différents scénarios de réhausse pour la tempête 5 ans	45
Figure 36. Cartographies des venues d'eau à l'état initial et pour les différents scénarios de réhausse pour la tempête 10 ans	46
Figure 37. Cartographies des venues d'eau à l'état initial et pour les différents scénarios de réhausse pour la tempête 20 ans	47
Figure 38. Vue de la jonction entre la partie courante et l'enracinement de la digue	48
Figure 39. Principe constructif de la solution 1 (protection Est, PM00 à PM237)	48
Figure 40. Principe constructif de la solution 1 (enracinement, PM237 à PM255)	49
Figure 41. Réhausse de la digue de Trébeurden (sources : ouest-france à gauche et actu.fr à droite)	49
Figure 42. principe de la solution 2 : gestion des eaux de franchissements	51
Figure 43. Position du mur arrière et largeur de la section à l'extrémité Ouest de l'ouvrage	52
Figure 44. Photographies de l'arrière de l'ouvrage actuel au niveau de la rampe d'accès : (gauche) vue vers le port à l'Ouest et (droite) vue vers l'Est	52
Figure 45. Débits hydrauliques en fonction de la hauteur d'eau pour une pente de 1% (formules de Manning-Strickler)	53
Figure 46. Principe constructif de la solution 2 (protection Est, PM00 à PM237)	55
Figure 47. Principe constructif de la solution 1 (enracinement, PM237 à PM255)	55
Figure 48. Mur anti-submersion à Boyardville (gauche) et à La Couarde Sur Mer (droite)	55
Figure 49. principe de la solution 3 : réhausse du niveau de crête + gestion des eaux de franchissements	57
Figure 50. Principe constructif de la solution 3 (protection Est, PM00 à PM237)	58
Figure 51. Principe constructif de la solution 3 (enracinement, PM237 à PM255)	58
Figure 52. Exemples de batardeaux positionnés devant des baies vitrés	59
Figure 53. Principe de la solution 4 : Adaptation du bâti avec mise en place de batardeau (linéaire violet)	60
Figure 54. Caractérisation des venues d'eau pour la solution 4 (mitigation)	60
Figure 55. Localisation du Domaine portuaire Maritime autour de la zone d'étude (SIG fourni par Le Port)	65

Tableaux

Tableau 1. Extrapolation des extrêmes de vent au point du large Copernicus – secteur Sud-Est.....	13
Tableau 2. Niveau de marée port de référence de Sète et de Port-Camargue (RAM – SHOM, 2022).....	14
Tableau 3. Niveaux d'eau extrêmes à Sète, Loi GPD (CEREMA - SHOM, 2022).....	15
Tableau 4. Elévation du niveau moyen de la mer comparé à la période 1995-2014 pour le port de Sète (source : 6ème rapport du GIEC, 2021-2022)	15
Tableau 5. Niveaux d'eau extrêmes retenus pour la suite de l'étude.....	16
Tableau 6. Houlographes du réseau CANDHIS à proximité du site d'étude	17
Tableau 7. Valeurs extrêmes de houle au large – Secteur Sud-Est [90-150°N]	19
Tableau 8. Valeurs extrêmes de houle au large – Secteur Sud [150-210°N]	19
Tableau 9. Combinaisons propagées à la côte pour les conditions « étude de dangers »	35
Tableau 10. Combinaison propagées à la côte pour les conditions de dimensionnement.....	35
Tableau 11. Conditions de houle et de niveau d'eau extraites au niveau du point P2.....	36
Tableau 12. Débit de franchissements moyen pour chaque profil et condition de houle étudiée	37
Tableau 13. Coefficient de Strickler considéré.....	43
Tableau 14. Débit de franchissements moyen pour chaque profil et condition de houle étudiée pour chaque scénario de réhausse.....	44
Tableau 15. Caractéristiques géométriques utilisées pour la formule de Manning-Strickler	52
Tableau 16. Débits de franchissements totaux à évacuer (m ³ /s).....	53
Tableau 17. Avantages et inconvénients principaux de chacune des solutions.....	62
Tableau 18 : Rubriques de la nomenclature eau qui concernant les réparations lourdes	64

Références

- [1] Cerema. Estimation des valeurs extrêmes de niveau d'eau – Littoral métropolitain, 2022.
- [2] Candhis : analyses 2022 des états de mer - Tome 2 Méditerranée.
- [3] CETMEF. Analyse des niveaux d'eau extrêmes – Environnement Maritime et estuarien, 2013.
- [4] Sepia-ISL : Étude préalable à la définition des systèmes d'endiguement, Rapport de Phase 5 : Caractérisation des systèmes d'endiguement potentiels, août 2021.
- [5] ISL : Etude de définition des systèmes d'endiguement du Pays de l'Or – Modélisation hydraulique du front de mer. Rapport n°19F-109-RM-2, rév.B, décembre 2021.
- [6] Références Altimétriques Maritimes, SHOM, 2022
- [7] CASAGEC INGENIERIE : Levé 3D des ouvrages de protection et des fosses - Diagnostic des ouvrages de protection Est, Rapport n°CI-18046-rev04, octobre 2018.
- [8] CASAGEC INGENIERIE : Système d'endiguement de la promenade Est du port de La Grande-Motte - Diagnostic de l'ouvrage, Rapport n°CI-24006-rev01, mai 2024.

1 CONTEXTE ET OBJET DU MARCHE

1.1 Contexte général

Dans le cadre de sa fonction GEMAPI, l'Agglomération du Pays de l'Or a identifié les systèmes d'endiguement potentiels sur son territoire. Cette opération a fait l'objet d'un état des lieux et de modélisations hydrauliques qui ont notamment conclu à la nécessité de déclarer l'ouvrage de protection maritime de la Promenade Est du Port de la Grande Motte en système d'endiguement.



FIGURE 1. LOCALISATION DE L'OUVRAGE DE PROTECTION MARITIME DE LA PROMENADE EST DU PORT DE LA GRANDE MOTTE

En 2024, la réalisation de cette Etude de Dangers a été confiée à Egis dans le cadre de la mission MC2 du marché M2024-033. Au cours de son avancement, il a été confirmé que l'ouvrage était particulièrement exposé au risque de franchissements par paquets de mer.

Les modélisations montrent que les venues d'eau par franchissements se trouvent sur une partie de la zone potentiellement protégée préalablement identifiée dès un évènement marin de période de retour 1 an (Figure 2).

Avant de poursuivre cette mission, l'Agglomération du Pays de l'Or souhaite connaître les possibilités de modification de l'ouvrage pour limiter ces venues d'eau par franchissements, principalement par une réhausse de crête ou gestion des eaux de franchissements.

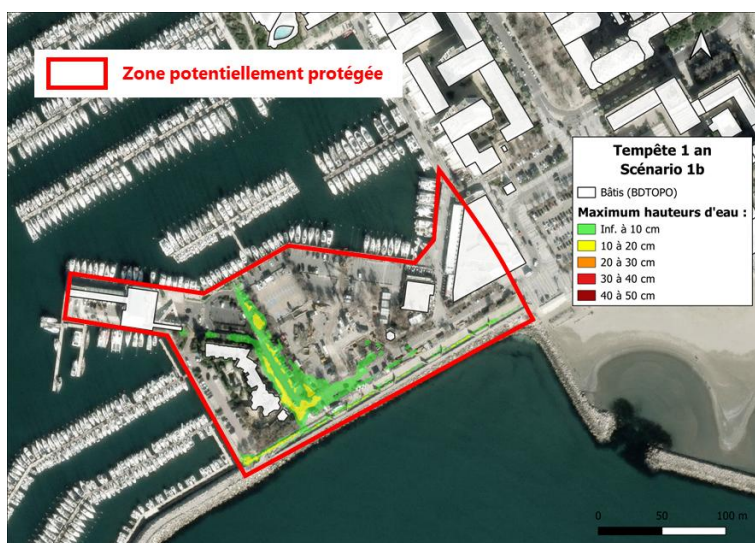


FIGURE 2. CARTOGRAPHIE DES VENUES D'EAU POUR LA PERIODE DE RETOUR 1 AN

1.2 Objet de l'étude

L'objectif de cette étude est d'étudier préliminairement différentes solutions d'intervention pour limiter les entrées d'eau par franchissements dans la Zone Potentiellement Protégée.

Le présent rapport détaille les éléments suivants :

- Contexte et objet du marché ;
- Données de site ;
- Critères et hypothèses de projet ;
- Caractéristiques et état de l'ouvrage ;
- Solutions d'intervention.

2 DONNEES DE SITE

2.1 Données topo-bathymétrique

Dans le cadre de cette étude, différentes données topographiques-bathymétriques ont été considérées telles que détaillées en suivant :

- CASAGEC, Nuages de points des levés topographiques et bathymétriques (17 mai 2018, 6 et 7 juin 2018) ;
- CASAGEC, Nuages de points des levés topographiques et bathymétriques (20 et 21 mars 2024) ;
- SHOM, Litto3D - Languedoc-Roussillon 2009 levé LIDAR, MNT rés. 1m ;
- SHOM, Partie maritime Litto3D® – Occitanie – Languedoc-Roussillon 2014-2015 levé LIDAR, MNT rés. 1m ;
- SHOM 2015, MNT Bathymétrique de façade du Golfe du Lion - Côte d'Azur résolution ~111m (Projet HOMONIM).

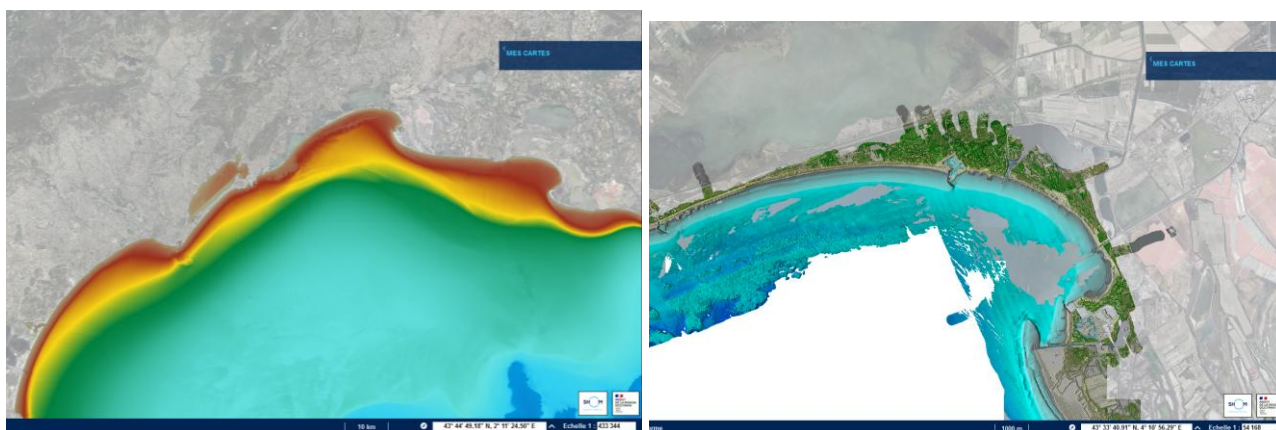


FIGURE 3. (GAUCHE) MNT BATHYMETRIQUE DE FAÇADE DU GOLFE DU LION - COTE D'AZUR (PROJET HOMONIM) ; (DROITE) PARTIE MARITIME LITTO3D® – OCCITANIE – LANGUEDOC-ROUSSILLON 2014-2015

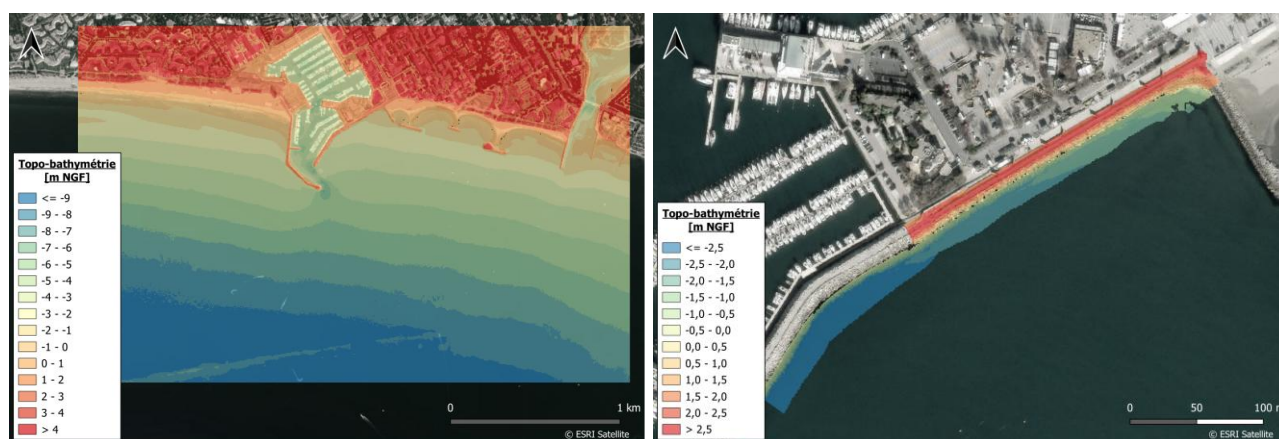


FIGURE 4. TOPO-BATHYMETRIE AU NIVEAU DU SITE D'ETUDE : (GAUCHE) LITTO3D 2014-2015, (DROITE) LEVES CASAGEC 2024

2.2 Vents

L'extraction des données de vents est proposée au niveau d'un point au large (43.209°N, 4.055°E), à environ 40km du site d'étude, qui correspond au point de référence d'extraction des données de houle évoquée dans la suite de cette étude (voir §2.4.1).

Les données de vent à ce point sont issues de la réanalyse régionale WAM à 1/24° pour la Mer Méditerranée (MEDSEA_MULTIYEAR_WAV_006_012) du programme COPERNICUS. La période de mesure pour cette base de données est de 17 ans (2007 à 2024).

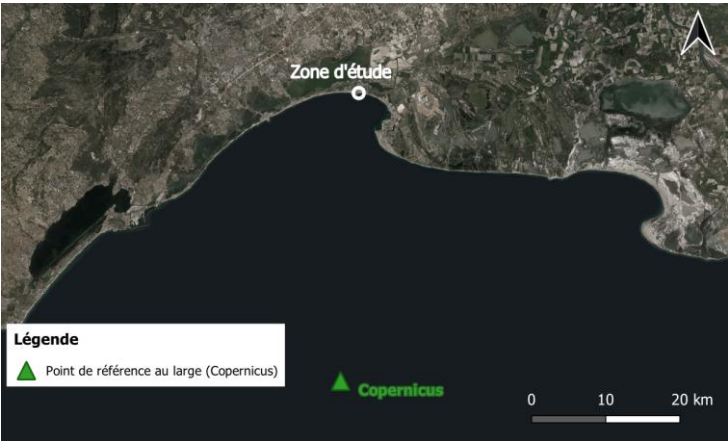


**FIGURE 5. LOCALISATION DES DONNEES DE VENT AU LARGE
ISSUE DE LA RE-ANALYSE COPERNICUS**

La rose des vents est présentée ci-dessous (Figure 6). Contrairement aux vents observés sur terre, seulement deux secteurs principaux de provenance des vents se distinguent : une majorité des vents provient du Nord-Ouest, et le reste du Sud-Est. Au vu de l'orientation du site, seuls les vents de provenance Sud-Est sont susceptibles d'influencer les houles et les niveaux d'eau au droit du site (Figure 7).

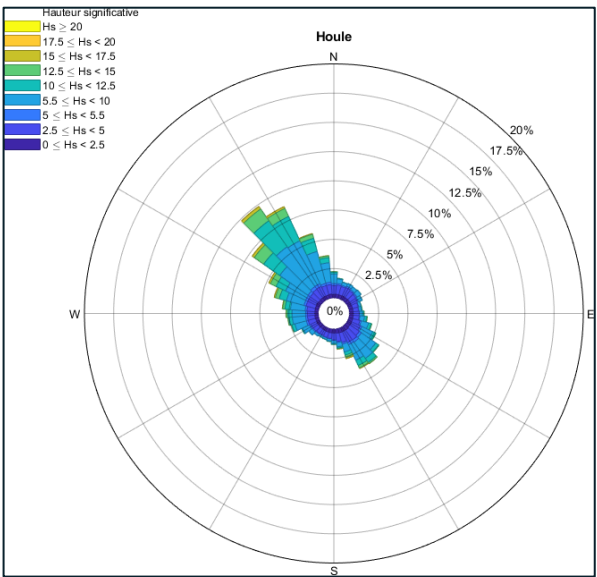


**FIGURE 6. ROSE DE VENT POUR L'EXTRACTION
COPERNICUS AU LARGE, ENTRE 2007 ET 2024 –
TOUTES DIRECTIONS CONFONDUES**

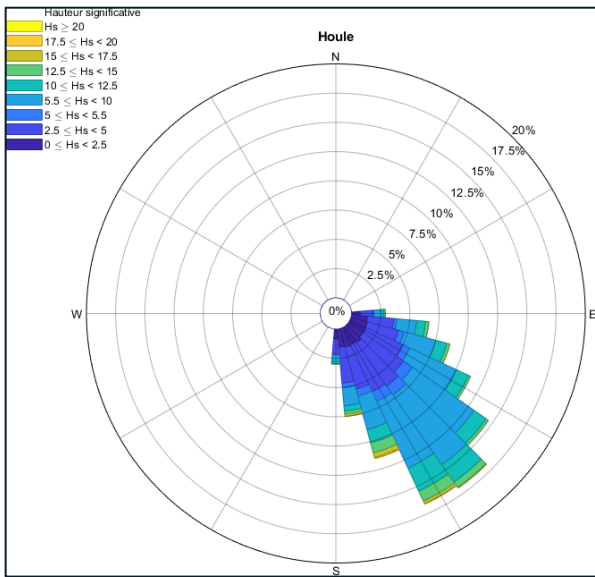


**FIGURE 7. ROSE DE VENT POUR L'EXTRACTION
COPERNICUS AU LARGE, ENTRE 2007 ET 2024 –
DIRECTION SUD A EST UNIQUEMENT**

L'analyse des extrêmes des vitesses de vent est basée sur l'ajustement d'une loi Generalised Pareto Distribution (GPD) pour les pics de tempête sélectionnés par la méthode Peaks Over Threshold (POT) et pour les directions Sud-Est.

TABEAU 1. EXTRAPOLATION DES EXTREMES DE VENT AU POINT DU LARGE COPERNICUS – SECTEUR SUD-EST

VENTS EXTREMES (M/S)	PERIODE DE RETOUR					
	1	5	10	20	50	100
Valeur	16,8	19,1	19,9	20,5	21,2	21,6

2.3 Niveaux d'eau

2.3.1 Marée astronomique

Sur la côte méditerranéenne, la marée est de type semi-diurne à inégalité diurne. L'amplitude de la marée est très faible en Méditerranée, elle est d'environ 40 cm au maximum aux marégraphes de Sète et de Port-Camargue (RAM 2022), lors des marées astronomiques. Le marnage (différence de hauteur entre une pleine mer et une basse mer) est qualifié de microtidal.

Les valeurs caractéristiques de marée au niveau des ports de référence de Sète et de Port-Camargue sont fournies dans le Tableau 1.

TABEAU 2. NIVEAU DE MAREE PORT DE REFERENCE DE SETE ET DE PORT-CAMARGUE (RAM – SHOM, 2022)

UNITE	SETE			PORT-CAMARGUE		
	PHMA	NM	PBMA	PHMA	NM	PBMA
m CM	0,67	0,46	0,25	0,76	0,53	0,35
m NGF	0,36	0,15	-0,06	0,48	0,25	0,07

Remarque : PHMA : Plus Haute Mer Astronomique, NM : Niveau Moyen, PBMA : Plus Basse Mer Astronomique.

La figure suivante permet de localiser les marégraphes de Sète et de Port-Camargue. Le marégraphe de Port-Camargue est à environ 5 km du système d'endiguement de la Grande-Motte, et celui de Sète à 35 km.



FIGURE 8. LOCALISATION DES MAREGRAPHES DE SETE ET DE PORT-CAMARGUE

Bien que le marégraphe le plus proche du port de La Grande-Motte soit celui de Port-Camargue, la suite de l'étude est basée sur le marégraphe de Sète qui présente une plus grande période d'observation. Les données validées sont disponibles à Sète sur la période 1956-2022 (42 ans d'observations cumulées), tandis que celles à Port-Camargue sont disponibles sur la période 2009-2012 (2,5 ans d'observations cumulées). De plus, au niveau du port de Sète les valeurs de niveau d'eau extrêmes sont établies par le CEREMA (voir §2.3.2).

2.3.2 Niveaux extrêmes

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 du CEREMA - SHOM de 2022 [1] fournit les statistiques de niveaux d'eau extrêmes au niveau du port de référence de Sète. La durée d'observation cumulée est de 41,88 années, s'étalant du 23/04/1956 au 31/03/2022.

Les valeurs des niveaux d'eau extrêmes (loi GPD) par période de retour sont détaillées dans le Tableau 3.

TABLEAU 3. NIVEAUX D'EAU EXTREMES A SETE, LOI GPD (CEREMA - SHOM, 2022)

PERIODE DE RETOUR (ANS)	5	10	20	50	100
NIVEAU D'EAU (M NGF)	0,78	0,83	0,89	0,96	1,01

2.3.3 Changement climatique

L'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) a publié en février 2010 des recommandations pour la prise en compte du changement climatique pour les projets de France métropolitaine. Elles sont reprises dans la circulaire du 27 juillet 2011 du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux, et dans le guide méthodologique pour les plans de prévention des risques littoraux établi par le MEDDE en mai 2014.

Ces recommandations sont basées sur les travaux du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) et peuvent être actualisées au regard des nouvelles tendances données 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 ;
- SSP1-2.6 : Scénario de développement durable ;
- SSP2-4.5 : Scénario intermédiaire ;
- SSP3-7.0 : Scénario de rivalité régionale ;
- SSP5-8.5 : Développement basé sur les énergies fossiles.

Sur la base de ces scénarios, les dernières estimations d'élévation du niveau de la mer jusqu'à horizon 2150, comparées à la période de 1995-2014, sont présentées dans le Tableau 4 et la Figure 9 pour trois scénarios caractéristiques (SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5) au niveau du port de Sète.

Pour la suite de l'étude (voir 2.3.4), une surélévation de 0,11 m et 0,50 m sont considérées à horizon 2030 (considéré comme actuel) et 2080, d'après le scénario SSP5-8.5 Moyen.

TABLEAU 4. ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER COMPARE A LA PERIODE 1995-2014 POUR LE PORT DE SETE (SOURCE : 6EME RAPPORT DU GIEC, 2021-2022)

SCENARIO	2030			2080		
	IC 17	MOY.	IC 83	IC 17	MOY.	IC 83
SSP1-2.6	0,05	0,11	0,17	0,23	0,36	0,52
SSP2-4.5	0,07	0,12	0,17	0,28	0,42	0,60
SSP5-8.5	0,07	0,11	0,16	0,35	0,50	0,71

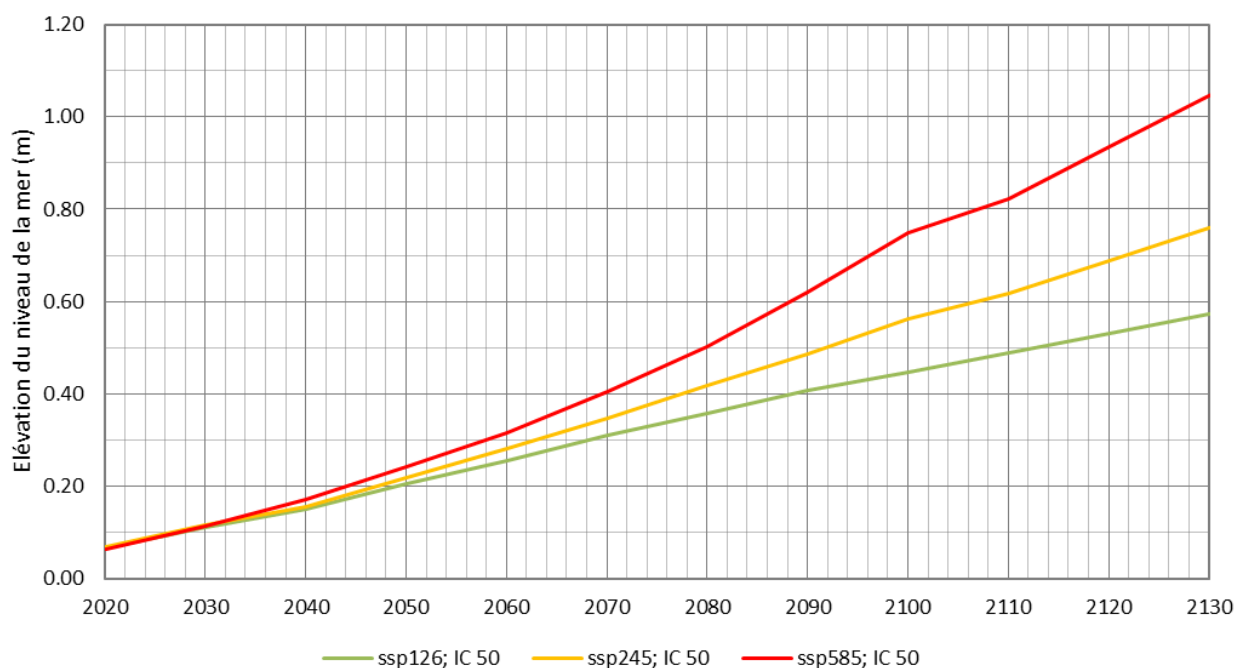


FIGURE 9. ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER SELON DIFFERENTS SCENARIOS POUR LE PORT DE SETE (SOURCE : 6^{EME} RAPPORT DU GIEC, 2021-2022)

2.3.4 Niveaux d'eau retenus pour l'étude

La base de données utilisée pour les statistiques de niveau d'eau présentés au Tableau 3 correspond à la période 1956-2022. Conformément aux recommandations données dans le rapport du CEREMA – SHOM de 2022 [1], l'impact de l'accélération actuelle du changement climatique sur les deux dernières décennies doit être prise en compte.

Pour cela, la surélévation de **+11 cm** est retenue pour les niveaux d'eau extrêmes dits actuels. Cette surélévation correspond à la projection des niveaux d'eau à horizon 2030 par rapport à la période 1995-2014 au niveau du marégraphe de Sète (Scénario SSP5-8.5, indice de confiance moyen), décrite en section 2.3.3.

Pour les objectifs de dimensionnement, on retiendra de la même façon une surélévation de **+50 cm** correspondant au niveau d'eau projeté à horizon 50 ans (2080).

Les niveaux extrêmes finalement retenus pour la suite de l'étude sont présentés ci-dessous.

TABLEAU 5. NIVEAUX D'EAU EXTREMES RETENUS POUR LA SUITE DE L'ETUDE

HORIZON	Actuel					2080
PERIODE DE RETOUR (ANS)	5	10	20	50	100	50
NIVEAU D'EAU (M NGF)	0,89	0,94	1,00	1,07	1,12	1,46

2.4 Etat de mers au large

2.4.1 Base de données

Pour l'analyse des états de mer au large, on dispose de la réanalyse régionale WAM à $1/24^\circ$ pour la Mer Méditerranée (MEDSEA_MULTIYEAR_WAV_006_012) du programme COPERNICUS. Les simulations rétrospectives couvrent la période de 28 ans de 1985 à 2023 pour la mer Méditerranée en n'importe quel point du large.

On dispose également des données des houlographes du réseau CANDHIS localisés au large de Sète et à l'Espiguette [2]. Les bouées disponibles et leurs caractéristiques sont détaillées ci-dessous.

TABLEAU 6. HOULOGRAPHERS DU RESEAU CANDHIS A PROXIMITE DU SITE D'ETUDE

CODE	NOM	PERIODE EFFECTIVE	POSITION	PROFONDEUR
03001	Espiguette	13,01 ans (2008 – 2024)	43°24.660' N 04°09.750' E	32 m
03404	Sète	16,76 ans (2006 – 2024)	43°22.261' N 03°46.777' E	30 m

La base de données COPERNICUS est cohérente avec les données mesurées à ces deux houlographes et permet de couvrir une plus vaste période pour l'analyse des extrêmes.

Pour la suite, on retient un point de référence COPERNICUS localisé à une profondeur de 90 m, et situé au point de coordonnées 43.209°N, 4.055°E, à environ 40km de la zone d'étude. Ce point correspond aux limites du modèle SWAN-2D (voir §4.3.2.1).

Les localisations des différentes bases de données sont illustrées ci-dessous.

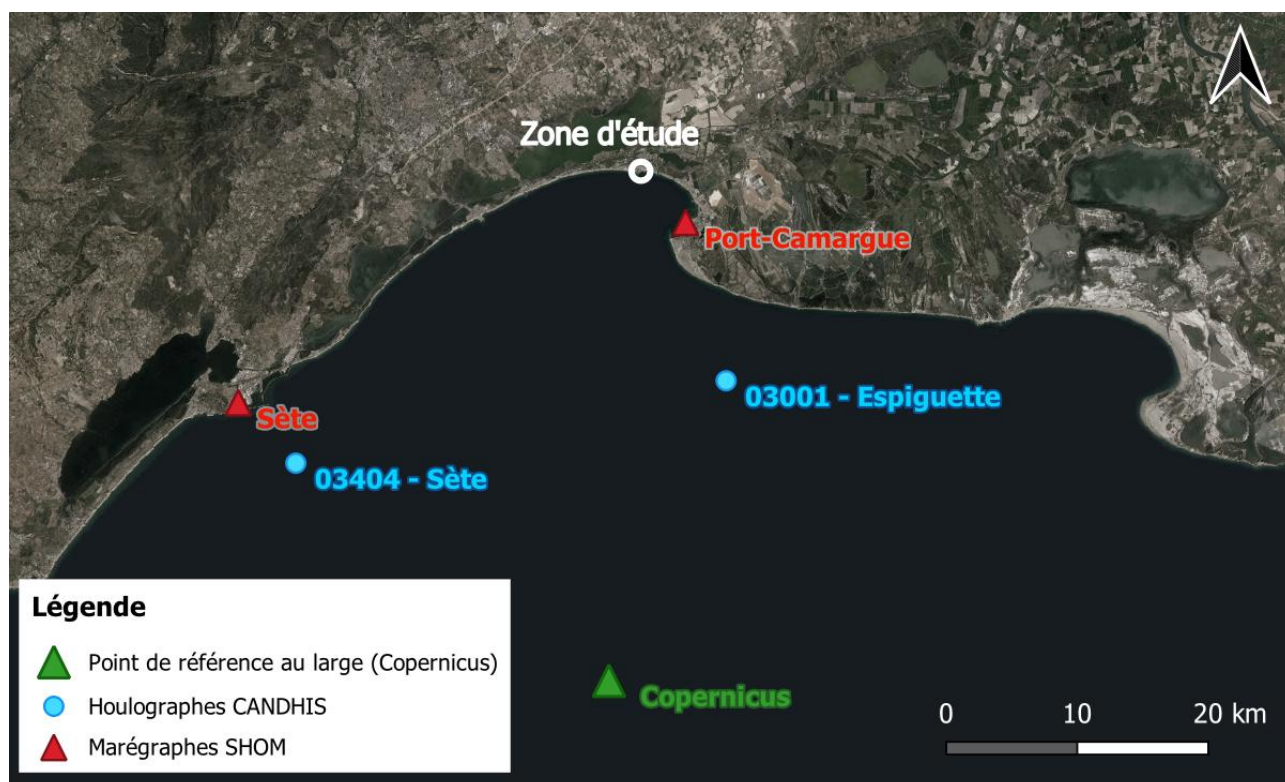


FIGURE 10. LOCALISATION DU POINT DE REFERENCE AU LARGE, DES HOULOGRAPHERS DU RESEAU CANDHIS ET DES MAREGRAPHES DU SHOM

2.4.2 Climatologie

L'analyse de la base de données du programme COPENICUS au point situé à environ 40km de la zone d'étude permet d'obtenir les figures et corrélogrammes suivants.

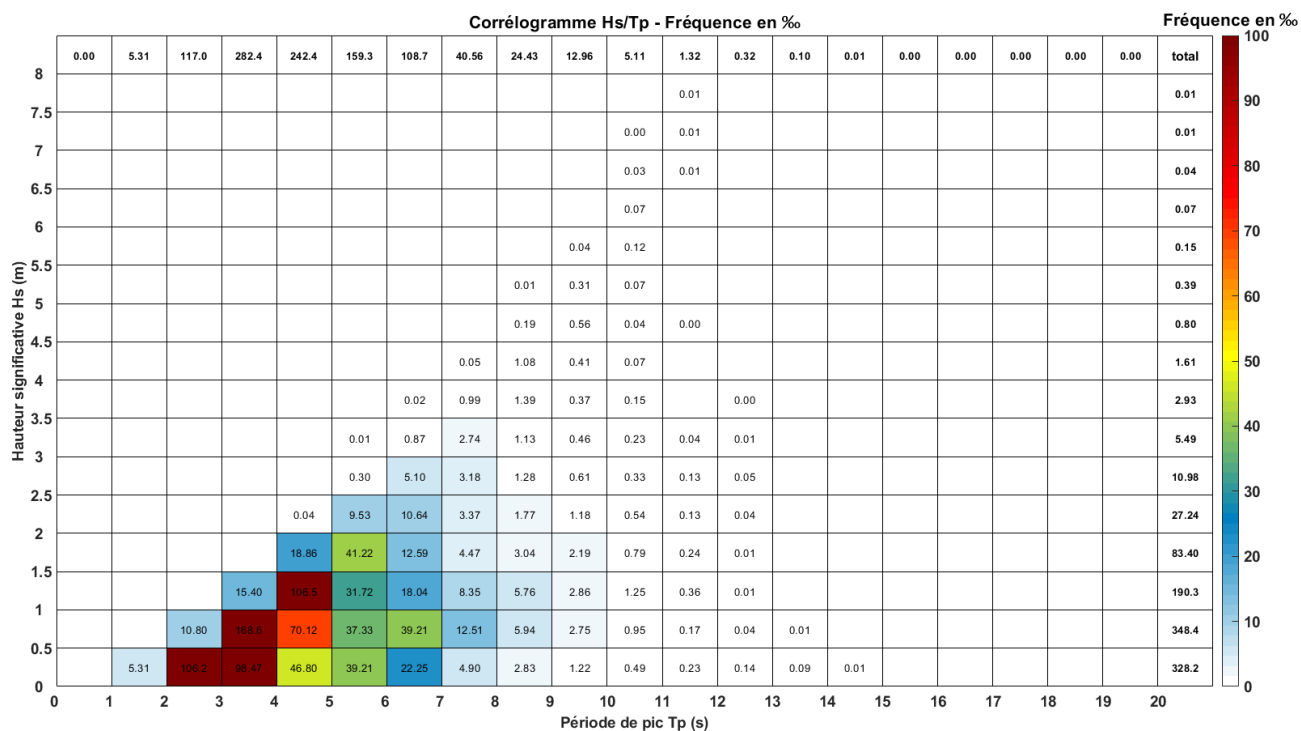


FIGURE 11. CORRELOGRAMME HAUTEUR DE HOULE SIGNIFICATIVE HS ET PERIODE PIC

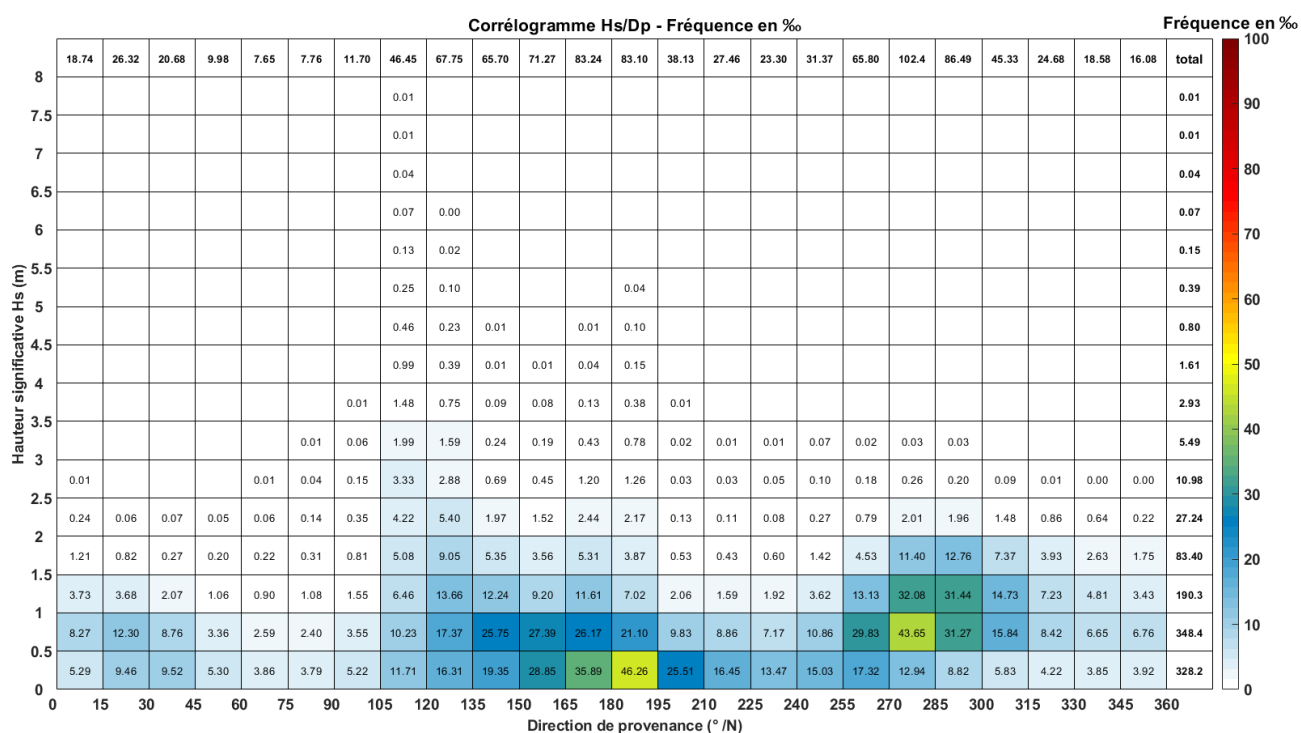


FIGURE 12. CORRELOGRAMME HAUTEUR DE HOULE SIGNIFICATIVE HS ET DIRECTION

Trois secteurs de provenances principales des houles peuvent se distinguer :

- 19% des houles proviennent du secteur Sud-Est, entre 90 et 150°N ;
- 28% des houles proviennent du secteur Sud, entre 150 et 210°N ;
- 29% des houles proviennent du secteur Est, entre 240 et 300°N.

Les houles les plus fortes ($H_s > 3,5$ m) se concentrent sur les secteurs Sud-Est et Sud. Les houles les plus fortes ont des périodes pic comprises entre 6 et 12 sec.

Les valeurs de hauteur significative de houle H_{m0} associées à certains pourcentages de dépassement sont les suivantes :

- Valeur dépassée 50 % de temps : 0,71 m ;
- Valeur dépassée 10 % du temps : 1,64 m ;
- Valeur dépassée 1 % du temps : 3,11 m.

2.4.3 Extrêmes

L'analyse des houles extrêmes est basée sur l'ajustement d'une loi Generalised Pareto Distribution (GPD) pour les pics de tempête sélectionnés par la méthode Peaks Over Threshold (POT), au niveau du point COPERNICUS retenu.

Pour cette étude, au vu de l'orientation du site à la côte, le secteur de provenance des houles Est [240-300°N] peut être écarté. L'analyse des extrêmes se concentre uniquement sur les secteurs Sud-Est [90-150°N] et Sud [150-210°N].

Les valeurs de conditions extrêmes associées à certaines périodes de retour sont fournies dans les tableaux suivants pour chaque secteur.

TABLEAU 7. VALEURS EXTREMES DE HOULE AU LARGE – SECTEUR SUD-EST [90-150°N]

PERIODE DE RETOUR (ANS)	INTERVALLE DE CONFIANCE A 95 % - LIMITE BASSE	VALEUR MOYENNE	INTERVALLE DE CONFIANCE A 95 % - LIMITE HAUTE
1	4,27	4,46	4,66
5	5,30	5,68	6,02
10	5,61	6,13	6,56
20	5,86	6,54	7,12
50	6,12	7,02	7,83
100	6,27	7,34	8,39

TABLEAU 8. VALEURS EXTREMES DE HOULE AU LARGE – SECTEUR SUD [150-210°N]

PERIODE DE RETOUR (ANS)	INTERVALLE DE CONFIANCE A 95 % - LIMITE BASSE	VALEUR MOYENNE	INTERVALLE DE CONFIANCE A 95 % - LIMITE HAUTE
1	3,41	3,57	3,71
5	4,20	4,46	4,66
10	4,44	4,75	5,02
20	4,61	5,00	5,34
50	4,80	5,28	5,69
100	4,90	5,46	5,94

2.5 Contexte géotechnique

2.5.1 Contexte géologique

Selon la carte géologique à 1/50 000 du Grau du Roi (infoterre.brgm.fr), l'actuelle Esplanade Maurice Justin repose sur des remblais indifférenciés recouvrant des sables fins du domaine marin datant du Quaternaire (Holocène).

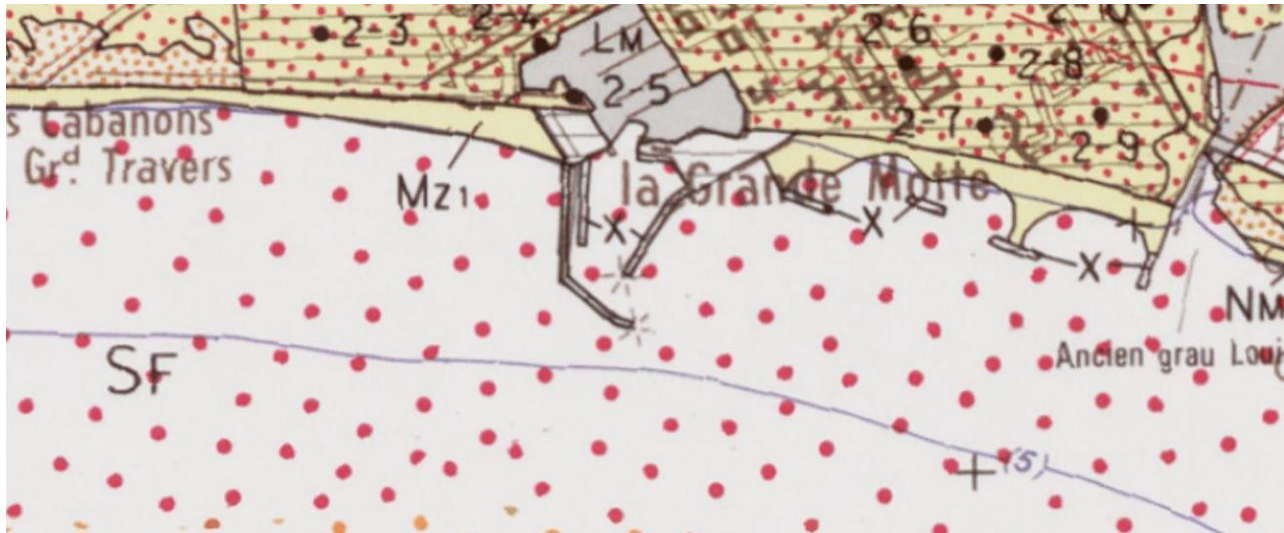


FIGURE 13. EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE

2.5.2 Sismicité

La commune de La Grande Motte est classée en zone de sismicité 1 (Très Faible, cf. Figure 25) selon le zonage réglementaire en vigueur depuis le 1er mai 2011 (décret n°2010-1254 et 2010-1255 du 22/10/2010 - art. D.563-8-1 du code de l'environnement).

Selon l'Eurocode 8, la sismicité doit être prise en considération dans la conception des ouvrages à partir des zones de sismicité faible.

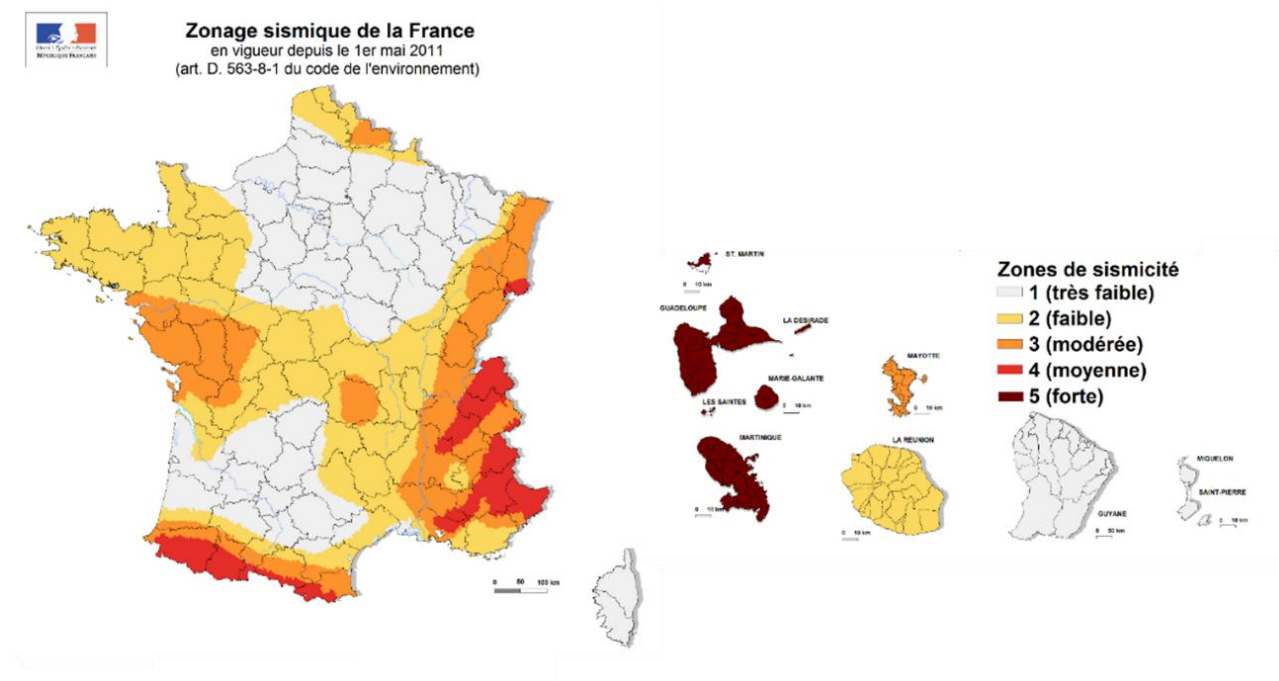


FIGURE 14. CARTE DU ZONAGE SISMIQUE DE LA FRANCE (EN VIGUEUR DEPUIS LE 1ER MAI 2011)

2.5.3 Données géotechniques disponibles

2.5.3.1 Base de données

La commune de La Grande Motte met en place un système de thalassothermie pour chauffer et refroidir ses bâtiments.

Les principales interventions sont détaillées en suivant et illustrées en Figure 15 :

- 1 : Mise en place d'une prise d'eau au travers du quai sud ;
- 2 : Pose d'une conduite depuis la prise d'eau jusqu'à la station de pompage ;
- 3 : Construction d'une station de pompage ;
- 4 : Mise en place d'une conduite de rejet en mer.

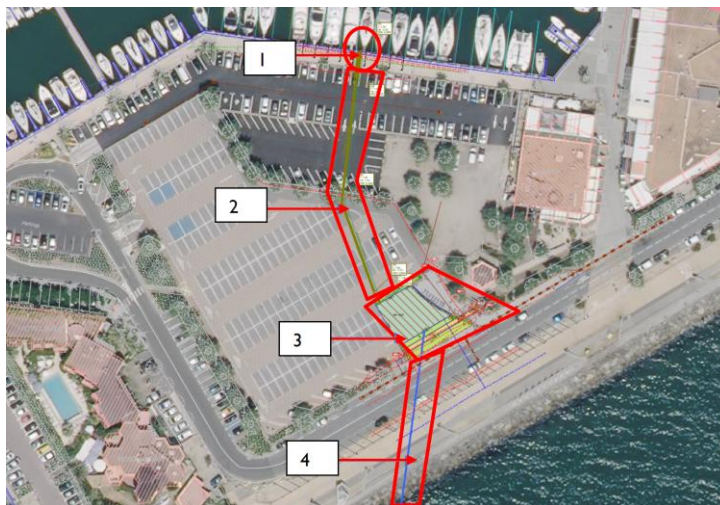


FIGURE 15. IDENTIFICATION DES SECTEURS D'INTERVENTION (SOURCE : G2-PRO FONDASOL)

Afin de mener à bien les études de conception de ces différents éléments, plusieurs études géotechniques ont été réalisées. Les éléments principaux qui nous ont été transmis dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Mission de type G1 ES + PGC en janvier 2021 réalisée par FONDASOL ;
- Mission de type G2 AVP réalisée par FONDASOL entre avril et juillet 2021 ;
- Mission de type G2 PRO réalisée par FONDASOL entre mars et avril 2023 ;
- Mission de type G3 réalisée par OPTIMUM entre janvier et février 2024.

2.5.3.2 Synthèse

La synthèse des éléments géotechniques issus du projet de thalassothermie est strictement basée sur les résultats de la G2-AVP réalisée par FONDASOL en avril 2021.

A. SONDAGES GÉOTECHNIQUES

La campagne d'investigation comprend la réalisation des essais suivants :

- G2 AVP datant du 26/07/2021 par FONDASOL :
 - 4 profils de sismique réfraction aquatique ;
 - 6 prélèvements de sédiments PR1 à PR6, descendus à 1.5m de profondeur par rapport au fond marin (avec une campagne d'essais en laboratoire) ;
 - 2 sondages pressiométriques SP1 et SP2, descendus à 10.0m de profondeur ;
 - 3 sondages carottés SC1 à SC3, descendus à 10.0m de profondeur ;
 - 4 essais de perméabilités réalisés dans SP1 et SP2.
- G1 ES + PGC datant du 25/01/2021 par FONDASOL :
 - 3 sondages pressiométriques SP12, SP13 et SPM6 respectivement descendus à 30.0m, 35.0m et 31.7m de profondeur ;
 - 3 sondages carottés SC4, SC5 et SCM1, descendus à 30.0m (SC4 et SC5) et 30.7m (SCM6) de profondeur.

La position des points de sondage est illustrée en Figure 16.



FIGURE 16. SONDAGES REALISES PAR FONDASOL (SOURCE : MISSION G3 OPTIMUM)

Les deux sondages les plus proches de la digue Est ont été réalisés à l'arrière immédiat de l'ouvrage au niveau des PM130 et 140, respectivement les sondages SC5 et SC3.

B. RÉSULTATS DES SONDAGES

Les sondages ont permis de mettre en évidence la coupe lithologique suivante :

- Au droit de tous les sondages sauf en SC3, de l'enrobé hydrocarboné, reconnu sur 0,03 à 0,07 m d'épaisseur, recouvrant des remblais de graves sableuses à sables graveleux beiges (couche C0), reconnus jusqu'à 0,38 à 0,5 m de profondeur ;
- En SC3 (sondage illustré en Figure 17), un revêtement en béton ferrailé, reconnu jusqu'à 0,2 m de profondeur, recouvrant des remblais de graves sableuses beiges à argileuses marron et/ou des remblais de sables graveleux beiges puis des remblais de blocs, graves et sables beiges (couche C0) correspondant aux remblais constitutifs de la digue Est, reconnus jusqu'à 3,8 m de profondeur ;
- Puis, des sables fins à moyens beiges à gris ou gris foncé, localement vasards ou à très légère matrice limoneuse (couche C1s), reconnus jusqu'à la base des sondages.

Les caractéristiques mécaniques des sols ont été mesurées in situ à partir des essais pressiométriques. Les résultats sont présentés ci-après :

- Une couche C0 de compacité lâche (2 valeurs pressiométriques), avec :
 - Module pressiométrique : E_M de 3,8 et 4,8 MPa ;
 - Pression limite nette : $p_l - p_0$ de 0,41 et 0,44 MPa.
- Une couche C1s :
 - A 2 m de profondeur en SP1, de compacité lâche (1 valeur pressiométrique), avec :
 - Module pressiométrique : $E_M = 2,4$ MPa
 - Pression limite nette : $p_l - p_0 = 0,3$ MPa
 - Au-delà de 2 m de profondeur, de compacité moyennement dense (15 valeurs pressiométriques), avec :
 - Module pressiométrique : $6,1 \leq E_M \leq 26,1$ MPa
 - Pression limite nette : $0,68 \leq p_l - p_0 \leq 1,24$ MPa

FIGURE 17. SONDAGE SC3 REALISE AU DROIT DE LA DIGUE (SOURCE : G2-AVP FONDASOL)

2.6 Contexte réglementaire

Pour un système d'endiguement, la zone protégée est le lieu récepteur des venues d'eau en cas de défaillance du système de protection. On parle ici de zone **potentiellement** protégée dans la mesure où le dossier d'autorisation n'est pas encore déposé et que cette zone est dépendante des aménagements finalement intégrés et du niveau de protection retenu in fine.

Dans le cadre de sa fonction GEMAPI, l'Agglomération du Pays de l'Or a identifié la Promenade Est du Port de la Grande Motte comme éligible à la déclaration en système d'endiguement. Cette opération a fait l'objet d'un état des lieux [4] et de modélisations hydrauliques [5] par ISL qui ont permis de pré-identifier la zone potentiellement protégée de ce système d'endiguement.

Cette zone correspond à l'esplanade Maurice Justin où se trouve des enjeux bâtis tels que :

- La capitainerie du port ;
- Un hôtel en rénovation ;
- Un nombre important de commerces : bars, restaurants, commerces liés au tourisme.

L'ouvrage protège directement la zone des venues d'eau par franchissements.

En 2024, la réalisation de l'Etude de Dangers pour classer cet ouvrage a été confiée à Egis. Au cours de l'avancement de cette étude, les modélisations hydrauliques ont permis de confirmer dans les grandes lignes les limites de cette zone potentiellement protégée.

Cependant, il a été montré que l'ouvrage était soumis à des franchissements importants dès un événement marin la période de retour 1 an (Figure 18). En l'état, cela aurait pour conséquence de définir une zone d'exclusion dans la zone potentiellement protégée.

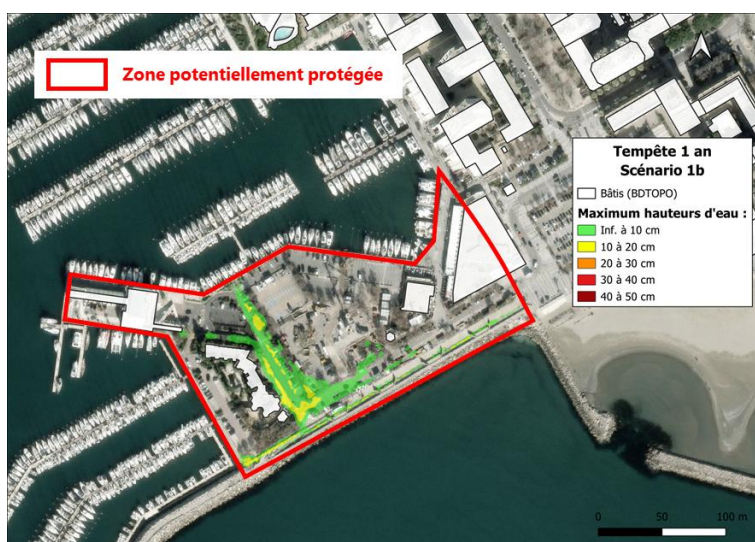


FIGURE 18. CARTOGRAPHIE DES VENUES D'EAU POUR LA PERIODE DE RETOUR 1 AN

Dans ce contexte, le gestionnaire se questionne sur les possibilités de modification de l'ouvrage pour améliorer ses performances et limiter voire supprimer la zone d'exclusion.

3 CARACTERISTIQUES ET ETAT DE L'OUVRAGE

3.1 Localisation

La digue de protection de la Promenade Est est située sur la commune de La Grande-Motte (34), dans le Golfe d'Aigues-Mortes. L'ouvrage est orienté du Nord-Est vers le Sud-Ouest et longe la promenade d'accès au port.

Le linéaire d'ouvrage est découpé en PM (Points Métriques) d'Est en Ouest, tel qu'illustré en Figure 1.

3.2 Gestionnaire / Propriétaire

Le gestionnaire de la digue de protection de la Promenade Est est la Communauté d'agglomération du Pays de l'Or. Le propriétaire de la digue est le Port de la Grande-Motte.

3.3 Historique

La station balnéaire et le port de plaisance de La Grande-Motte tels qu'on les connaît aujourd'hui ont été créés *ex nihilo* à partir de 1965, dans le cadre de la mission Racine (source : *Wikipédia*).

La digue de protection de la Promenade Est a été construite lors de la création du Port de la Grande-Motte en 1967, en même temps que les jetées Ouest et Est.

En 1980/85, la voie de roulement et de l'accès à la jetée Est est créée. Le terre-plein Est (esplanade Maurice Justin) est aménagé en 1985/90. Enfin, le couronnement en béton de l'ouvrage de protection Est est réalisé en 1995.

Après cela, aucune autre intervention sur l'ouvrage n'est recensée. Aucun plan de récolement précis des travaux initiaux de 1967 et des travaux de réalisation du couronnement de 1995 n'est disponible.

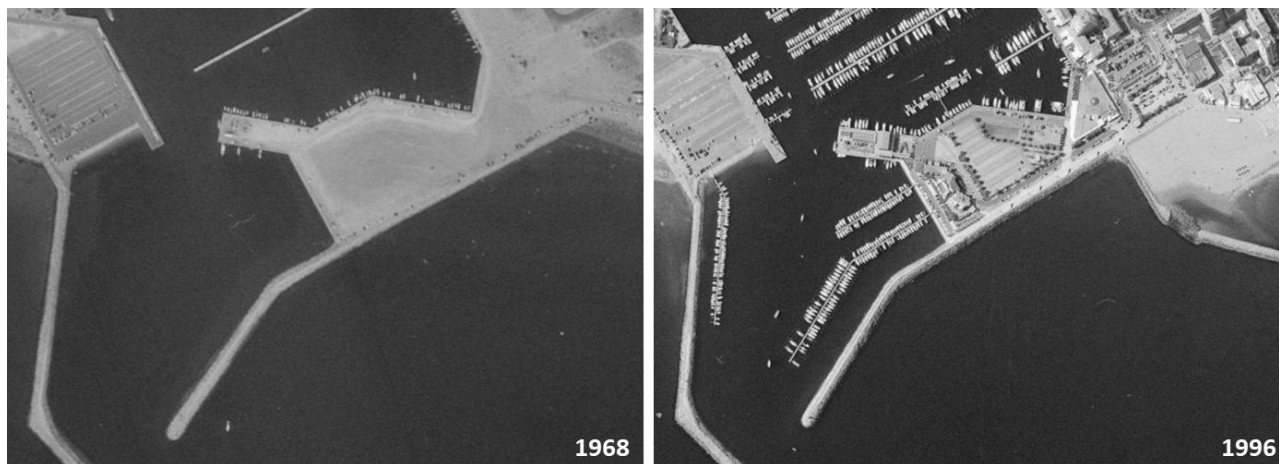


FIGURE 19. VUE AERIENNES HISTORIQUES (REMONTERLETEMPS.IGN.FR).



FIGURE 20. PHOTOGRAPHIE DE LA CONSTRUCTION DU PORT DE LA GRANDE MOTTE (©SUGHRUE / MAIRIE DE LA GRANDE MOTTE).

3.4 Géométrie

3.4.1 Préambule

L'ouvrage à l'étude est constitué de deux tronçons homogènes pour un total de 255 mètres linéaires :

- La quasi-totalité du linéaire correspond à l'ouvrage de « Protection Est » (du PM00 à PM237). Il s'agit d'un ouvrage rectiligne en enrochements. Il se compose d'une carapace en enrochements reposant sur une sous-couche. Les travaux de 1994 ont consisté en la réalisation d'un couronnement béton non armé qui coiffe les enrochements. Cet ouvrage, coulé en place par éléments de 5 m, repose sur un remplissage en tout-venant de carrière (blocs de 0-50 kg). Il est à noter que seules les jonctions avec les murs verticaux composant la promenade ont été armées. Les dimensions et caractéristiques de l'ouvrage sont issues des plans de dossier d'appel d'offre pour la mission MC2 et du levé topographique de mars 2024.
- L'extrémité Ouest (du PM237 à PM255) correspond à l'enracinement de la digue Est du port de La Grande Motte. L'ouvrage n'est donc pas coiffé par un mur de couronnement, sur environ 18 m.

3.4.2 Protection Est (PM00 à PM237)

Les dimensions et caractéristiques principales sont les suivantes :

- | | |
|---|--------------------------------------|
| Longueur de l'ouvrage : | 237,00 m |
| Niveau de crête des enrochements : | + 2,40 m NGF |
| Niveau de crête bas du couronnement : | + 2,70 m NGF |
| Niveau de crête haut du couronnement : | + 3,30 m NGF |
| Niveau du sable en pied d'ouvrage : | variable (-2,4 m NGF / - 1,30 m NGF) |
| Largeur de la crête des enrochements : | ~ 0,00 m |
| Largeur du couronnement : | ~ 2,50 m |
| Pente du talus | 2H/1V (Horizontal / Vertical) |
| Catégorie des enrochements de carapace : | 0,5 – 5,0 t |
| Catégorie des enrochements de sous couche : | 2,5 – 150 kg |

- Catégorie des enrochements en sous face du couronnement : 1 – 50 kg
- Nombre de couche d'enrochements en carapace : 1

Un profil type, sur la base des levés topo-bathymétriques est proposé en Figure 21. Il est réalisé au niveau du PM140.

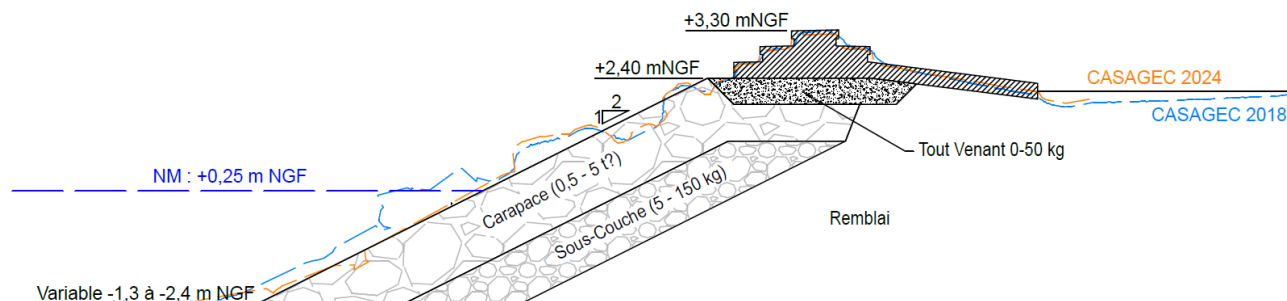


FIGURE 21. COUPE DE PRINCIPE DE L'OUVRAGE (PM140)

3.4.3 Enracinement de la digue Est (PM237 à PM255)

Le couronnement béton décrit précédemment qui coiffe l'ouvrage de « Protection Est » s'étend du PM00 jusqu'au PM237 environ. Un linéaire d'environ 18 m à l'extrémité Ouest de l'ouvrage est dépourvue de ce couronnement.

Cette section possède un talus en enrochements dont la crête est légèrement plus haute que la dalle béton. La crête de la dalle est à environ + 2,65 m NGF.

Un profil type, sur la base des levés topo-bathymétriques est proposé en Figure 22. Il est réalisé au niveau du PM240.

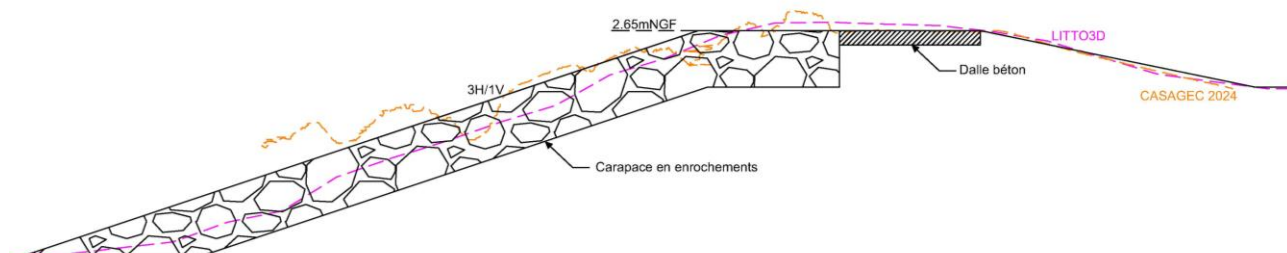


FIGURE 22. COUPE DE PRINCIPE DE L'OUVRAGE (PM240)

Les photographies suivantes permettent d'illustrer l'ouvrage à l'étude.

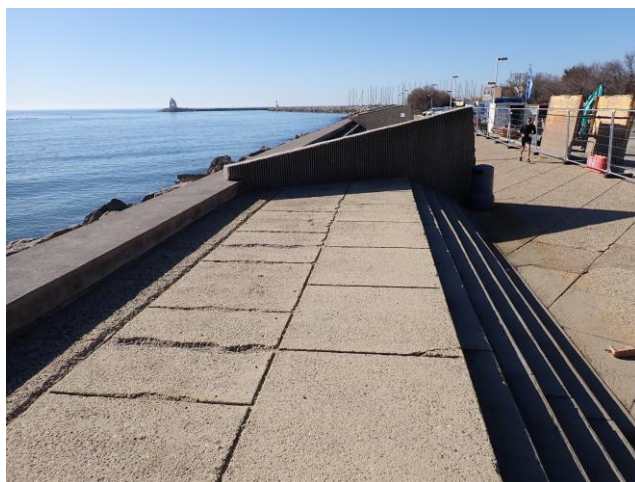


FIGURE 23. PHOTOS DE L'OUVRAGE (SOURCE : CASAGEC, INSPECTION VISUELLE, 05/02/2024)

3.5 Synthèse des diagnostic précédents et préconisations

Le diagnostic établi en 2024 par CASAGEC INGENIERIE a permis une compréhension des désordres observés et a émis les explications suivantes.

3.5.1 Enrochements de carapace désorganisée

Les calculs réalisés montrent que la carapace n'offre pas une stabilité suffisante vis-à-vis des houles susceptibles d'atteindre l'ouvrage. En effet, la catégorie d'enrochements 0,5 – 5 t est très étalée ce qui a pour conséquence que les petits enrochements (< 2,0 t) ont pu être extraits de la carapace, ne laissant à certains endroits que les plus gros enrochements.

La carapace a donc subi l'action de la houle qui est plus forte à l'Ouest de l'ouvrage qu'à l'Est, ce qui est cohérent avec les désordres observés. Néanmoins, cet état ne semble pas lié aux tempêtes récentes.

En effet, les mouvements d'enrochements ne caractérisent pas une évolution significative de la carapace depuis presque 10 ans en tenant compte des levés de 2015. Les photographies aériennes historiques semblent montrer que l'état actuel est issu de désordres survenus lors des premières années de vie de l'ouvrage (1967 – 1980).

Il est possible que les désordres soient apparus de manière rapide au début de la vie de l'ouvrage et qu'ils évoluent plus lentement et plus profondément depuis (déplacement de quelques enrochements depuis 2018). Ces désordres ont une implication directe sur la non-couverture des enrochements de sous-couche et sur la création des cavités sous le couronnement en béton. Cette configuration rend l'ouvrage vulnérable vis-à-vis de l'action directe des vagues.

Un abaissement limité du niveau de sable en pied d'ouvrage est relevé depuis le levé de 2018. S'il devait s'amplifier dans les années à venir, celui-ci pourrait entraîner une instabilité du pied d'ouvrage et accentuer l'intensité de la houle sur l'ouvrage via l'augmentation du niveau d'eau.

Une intervention à court terme sera donc nécessaire sur la carapace en enrochements. **La tranche optionnelle 4 du présent marché traite de ces interventions à un niveau AVP.**

3.5.2 Cavités sous couronnement

Les cavités qui apparaissent sous le couronnement sont dues à l'érosion du tout-venant de carrière de 0-50 kg. L'ouvrage, n'assurant plus son rôle de protection du fait de la déstabilisation de sa carapace, est soumis à l'action directe des vagues sur les éléments calcaires « tout-venant » de plus petits diamètres constitutifs de l'assise du couronnement.

De petits enrochements sont encore visibles en partie basse des cavités. Il est vraisemblable que sous l'action des vagues, ces enrochements soient emportés vers la mer, ce qui implique que les cavités peuvent continuer à évoluer et s'accroître sous l'action des tempêtes.

Il est nécessaire d'intervenir rapidement pour éviter une accentuation des désordres. **Les travaux de consolidation de la sous-face du couronnement sont prévus pour l'automne 2025.** Il est envisagé de mettre en œuvre des big bag remplis de béton.

3.5.3 Désordres en partie arrière des ouvrages

Les désordres observés en partie arrière de l'ouvrage et le mobilier urbain semblent causés ou favorisés par les franchissements par « paquets de mer ». Comme le montrent les calculs ainsi que les observations in-situ, des franchissements sont possibles dans la configuration actuelle de l'ouvrage lors d'événements tempétueux.

Les résultats des calculs de débits de franchissement réalisés sur la base des formulations de l'Eurotop II (2018) lors des différents diagnostics semblent confirmer l'origine des dégâts observés en arrière de l'ouvrage et la nécessité de limiter les débits de franchissement pour limiter les dégâts et les interventions d'entretien.

Afin de limiter les franchissements, il serait nécessaire d'intervenir sur la crête. **C'est l'objet des réflexions menées dans le cadre de la présente étude.**

3.6 Réseaux d'eau pluviale

Le MOA Pays de l'Or Agglomération a fourni la cartographie du réseau de conduites pluviales de la Grande-Motte au niveau de l'esplanade Maurice Justin.

Plusieurs conduites circulent sous la promenade, avec 7 bouches d'évacuation positionnées directement sur la promenade à l'arrière du couronnement, et 12 positionnées de part et d'autre de la route en arrière de l'ouvrage. Ces bouches permettent d'évacuer une partie des eaux issues des franchissements par paquet de mers ainsi que les eaux de pluie.

A noter qu'aucune conduite ne semble passer sous la digue. Néanmoins un vestige d'exutoire est observé au niveau du PM20 (voir photographie ci-contre).



FIGURE 24. EXUTOIRE (PM20)



FIGURE 25. CARTOGRAPHIE DES RESEAUX EP (ENVOI MOA)

Ces regards et réseaux d'eau pluviale permettent dans une certaine mesure d'accompagner chacune des solutions présentées par la suite. Néanmoins, POA ne voulant pas les intégrer dans sa future gestion du système d'endiguement, ils ne sont pas considérés comme pouvant absorber les eaux de franchissements.

4 CRITERES ET HYPOTHESES DE PROJET

4.1 Référencement du projet

Le système altimétrique de référence est le Nivellement Général de France et plus spécifiquement l'IGN69 pour la France continentale (IGN 69).

Le zéro IGN69 (noté 0 m NGF) se situe à 0,307 m au-dessus du zéro Cotes Marines au port de Sète [6].

4.2 Objectifs de projet et durée de vie

Les aménagements étudiés dans le cadre de cette étude pour permettre la limitation des entrées d'eau par franchissements dans la Zone Potentiellement Protégée sont dimensionnés pour plusieurs types d'évènements :

- **Répondre à la problématique réglementaire (étude de dangers) :** il s'agit d'une demande d'autorisation pour un système d'endiguement qui n'a jamais fait l'objet de procédures par le passé. Le gestionnaire semble donc avoir la possibilité de déposer son dossier d'autorisation en l'état ou bien en intégrant un certain nombre de travaux afin d'améliorer le niveau de protection et/ou la gestion en cas de crise. Afin d'améliorer la situation actuelle face aux entrées d'eau, différents aménagements sont étudiés pour intégrer l'impact de ces derniers sur des événements actuels de période de retour 5 ans, 10 ans et 20 ans.

Répondre aux objectifs de dimensionnement : Les ouvrages côtiers sont généralement considérés comme des ouvrages dimensionnés pour une durée de vie de l'ordre de 50 ans. Devant la complexité des phénomènes (interdépendance des paramètres de houle, de niveau d'eau et de niveau de sable), l'approche généralement admise et qui tient compte des retours d'expériences, est de considérer le couple suivant pour le dimensionnement :

- Niveau d'eau extrême cinquantennal en considérant l'élévation du niveau de la mer à l'horizon de la durée de vie (50 ans) ;
- Houle extrême cinquantennale.

Ainsi, pour la suite de l'étude, tous les résultats présentés seront associés à la condition « **EDD** » ou « **Dim** ».

4.3 Données de référence

4.3.1 Niveaux de sable

Une analyse de l'évolution des profils bathymétriques au droit de la digue de Protection Est est proposée afin d'établir un ou plusieurs profils-type nécessaires pour la suite de l'étude.

Elle se base sur les levés réalisés par CASAGEC au cours des diagnostics de l'ouvrage en 2018 et 2024, ainsi que sur les lidars LITTO3D du SHOM sur la zone : ceux de 2009 et de 2014-2015.

L'analyse des niveaux de sable se concentre sur les profils d'extraction au droit du PM50 et du PM 150.

Les niveaux de sables selon les profils d'extractions sont présentés dans les graphiques présentés en Figure 27.



FIGURE 26. LOCALISATION DES PROFILS D'EXTRACTION

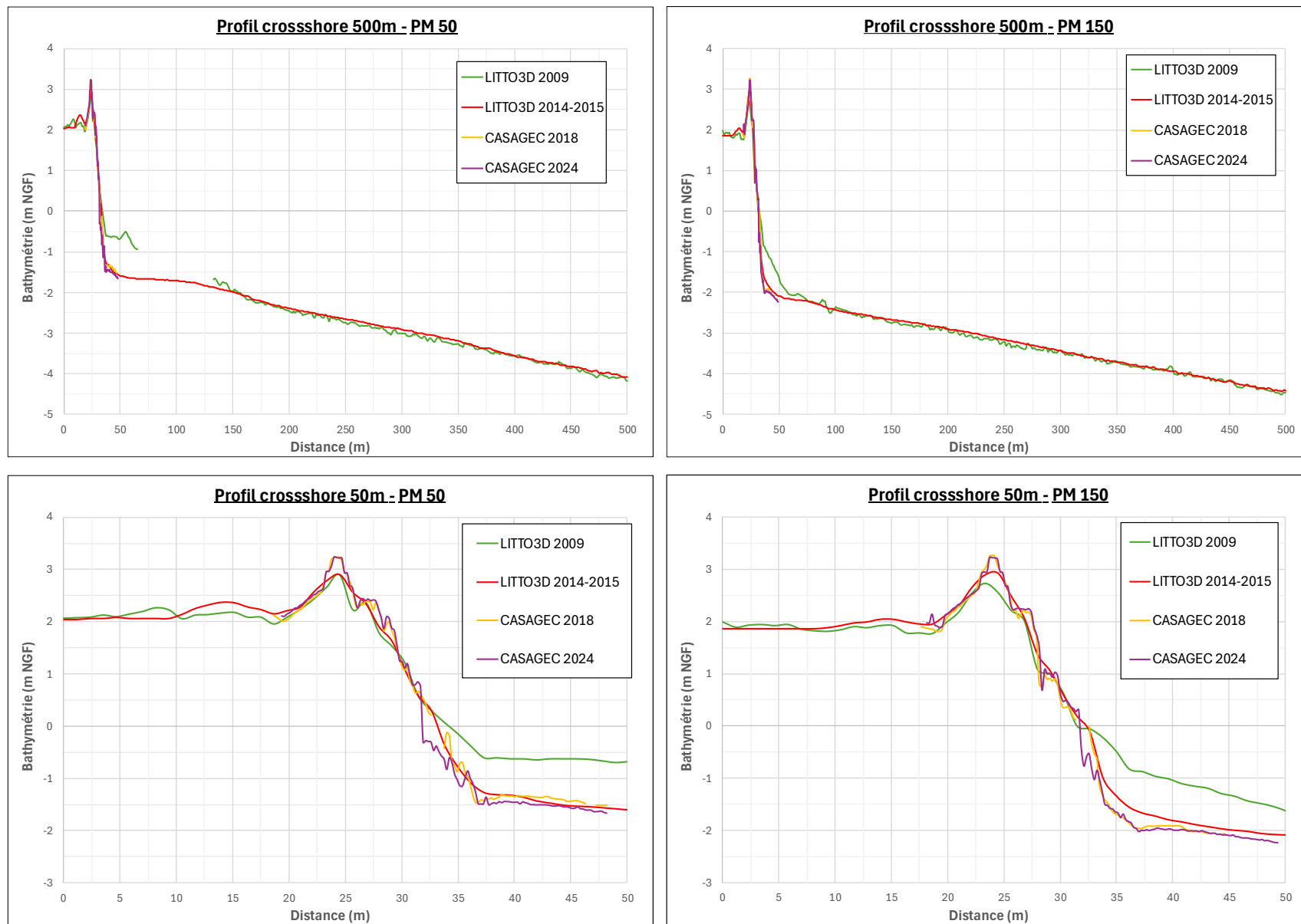


FIGURE 27. PROFILS DE SABLE COMPLET (HAUT) OU ZOOM 50M AVANT L'OUVRAGE (BAS), AU PM50 (GAUCHE) ET AU PM150 (DROITE), SELON LES DIFFERENTES DONNEES TOPO-BATHYMETRIQUES DISPONIBLES

Ainsi, il ressort que :

- Les deux profils (PM 50 et PM 150) sont assez similaires, on note que le profil PM 50 est légèrement plus haut du fait de sa proximité avec l'épi ;
- Sur les quinze années de levé topographique, aucune tendance d'abaissement du niveau de sable sur la bande au large (50 à 600m) ne ressort clairement ;
- Sur la zone proche du pied d'ouvrage (0 à 50m), on peut observer un abaissement par rapport à 2009, et quelques variations locales des profils à partir de 2014-2015. A noter que le diagnostic d'ouvrage établi par CASAGEC en 2024 [8] concluait un abaissement moyen de 10 cm en pied d'ouvrage entre 2018 et 2024. En considérant les dix dernières années (2014-2024), on peut conclure à une légère tendance à l'érosion en pied d'ouvrage qui reste limitée et variable localement.

A partir de ces observations, on définira trois profils-type, correspondant à l'enveloppe basse des profils de sable présentés précédemment (approche sécuritaire) :

- Profil-type P1** : correspond au PM50, incluant la coupe-type de l'ouvrage avec le couronnement béton défini au §3.4, représentatif de la partie Est de l'ouvrage où le niveau de sable est plus haut du fait de la présence de l'épi à l'Est. Les franchissements calculés avec le P1 seront injectés entre les PM0 au PM100.
- Profil-type P2** : correspond au PM150, incluant la coupe-type de l'ouvrage avec le couronnement béton défini au §3.4, représentatif de la partie centrale de l'ouvrage, où le niveau de sable est plus bas qu'en P1. Les franchissements calculés avec le P2 seront injectés entre les PM100 au PM236.
- Profil-type P3** : identique au profil P2 mais sans le couronnement béton de l'ouvrage, représentatif de l'extrémité Ouest de la digue où la crête d'ouvrage est la plus basse, comme décrit au §3.4. Les franchissements calculés avec le P3 seront injectés entre les PM237 au PM255.

Ces profils sont prolongés au large jusqu'à 500m pour correspondre aux points d'extraction SWAN2D présentés au §4.3.2.

Les trois profils-type ainsi définis serviront pour propager les conditions de houle en pied d'ouvrage et déterminer les franchissements pour la suite de l'étude (voir §4.3.3).

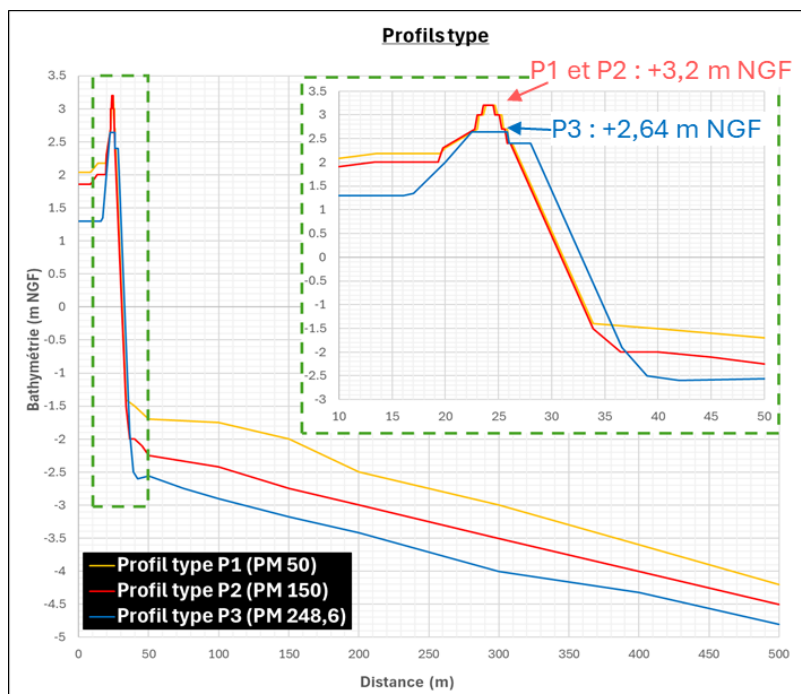


FIGURE 28. ILLUSTRATION DES 3 PROFILS TYPE

4.3.2 Etats de mer en à la côte

4.3.2.1 Modélisation SWAN 2D

A. CODE

Le modèle considéré pour réaliser la propagation des états de mer du large à la côte est le modèle SWAN.

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.

B. EMPRISE ET MAILLAGE

Afin de réaliser la propagation des houles depuis le large à la côte, 4 grilles imbriquées ont été retenues :

- Grille 1 : Longueur horizontale : 100 km Longueur verticale : 50 km Dimension mailles : 100 m ;
- Grille 2 : Longueur horizontale : 45 km Longueur verticale : 25 km Dimension mailles : 50 m ;
- Grille 3 : Longueur horizontale : 16 km Longueur verticale : 12 km Dimension mailles : 20 m ;
- Grille 4 : Longueur horizontale : 3.25 km Longueur verticale : 2.1 km Dimension mailles : 5 m ;

La bathymétrie utilisée pour les différentes grilles sont issues des levés LIDAR du SHOM : Partie maritime Litto3D® – Occitanie – Languedoc-Roussillon 2014-2015 et MNT Bathymétrique de façade du Golfe du Lion - Côte d'Azur du projet HOMONIM.

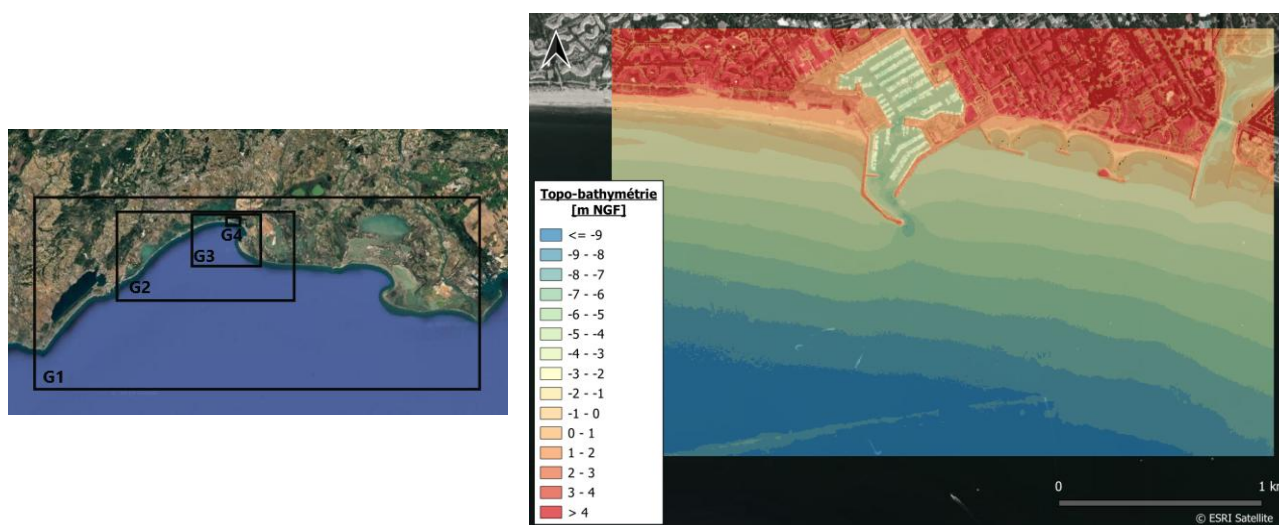


FIGURE 29. EMPRISE DES GRILLES SWAN (GAUCHE) ET ZOOM DU MNT AU NIVEAU DE LA G4 (DROITE)

C. FORCAGE

Conditions « Etude de dangers »

La définition future du niveau de protection dans le cadre de l'étude de danger se base sur des événements de combinaison houle/niveau d'eau de différentes périodes de retour.

En Méditerranée, la dépendance entre la houle et le niveau d'eau est souvent très forte. Afin de couvrir un large panel de cas de houle/niveau d'eau possibles, plusieurs approches sont présentées et développées dans le document du CETMEF [3].

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, seules les configurations de dépendance totale entre houle et niveau d'eau sont retenues. La dépendance totale signifie par exemple que l'évènement de période de retour centennale est une combinaison d'un niveau centennal avec une houle centennale.

Ainsi, la méthode s'appuie sur :

- Pour les niveaux d'eau : les valeurs extrêmes présentées dans le paragraphe 2.3.2, extrapolées selon une courbe de tendance pour les plus petites périodes de retour ;
- Pour la houle : les valeurs extrêmes présentées dans le paragraphe 2.4.3. Le choix des périodes pics associées à chaque évènement est fait sur la base du corrélogramme présenté en section 2.4.2. La direction de la houle est constante pour toutes les combinaisons : 120°N pour le secteur Sud-Est, et 180°N pour le secteur Sud.

Les modélisations incluent également le vent, dont les valeurs extrêmes ont été déterminées dans le Tableau 1. La vitesse du vent correspond à la période de retour de la combinaison houle/niveau concernée, et la direction du vent est constante et fixée à 170°N pour toutes les combinaisons simulées.

Les tableaux suivants présentent les combinaisons de houle, de niveau d'eau et de vent propagées depuis le large (grille 1) à la côte, pour chaque secteur.

TABLEAU 9. COMBINAISONS PROPAGEES A LA COTE POUR LES CONDITIONS « ETUDE DE DANGERS »

SECTEUR	PERIODE DE RETOUR DE L'EVENEMENT	NIVEAU D'EAU (M NGF)	HMO (M)	TP (S)	VITESSE DE VENT UW (M/S)
Sud-Est	5	0,89	5,68	10,3	19,1
	10	0,94	6,13	10,7	19,9
	20	1,00	6,54	11,1	20,5
	50	1,07	7,02	11,5	21,2
Sud	5	0,89	4,46	9,0	19,1
	10	0,94	4,75	9,3	19,9
	20	1,00	5,00	9,6	20,5
	50	1,07	5,28	9,9	21,2

Conditions de dimensionnement

Les conditions de dimensionnement propagées depuis le large vers la côte sont les suivantes : houle de période de retour 50 ans associée à un niveau d'eau de période de retour 50 ans à horizon 2080. Seules les houles de secteurs Sud sont propagées, puisque plus défavorables à la côte.

Les hypothèses présentées précédemment pour le vent et la période de la houle sont reconduites.

Le Tableau 10 présente la combinaison de dimensionnement propagée depuis le large (grille 1) à la côte.

TABLEAU 10. COMBINAISON PROPAGEES A LA COTE POUR LES CONDITIONS DE DIMENSIONNEMENT

SECTEUR	CONDITION	NIVEAU D'EAU (M NGF)	HMO (M)	TP (S)	VITESSE DE VENT UW (M/S)
Sud	Dim.	1,46	5,28	9,9	21,2

4.3.2.2 Résultat de modélisation

Les résultats de la modélisation SWAN2D sont extraits en trois points au-devant de l'ouvrage à l'étude.

La localisation de ces points se trouve à 500 m devant l'ouvrage et est illustrée sur la figure ci-contre.

LES VALEURS DE H_{M0} ET DE SET-UP POUR LES PERIODES DE RETOUR 1, 5, 10 ET 20 ANS SONT DONNEES DANS LE

Tableau 11 au niveau du point P2.

Ces points d'extraction sont à la base des modélisations « vague à vague » XBEACH pour le calcul des débits de franchissements présenté en section 4.3.3.

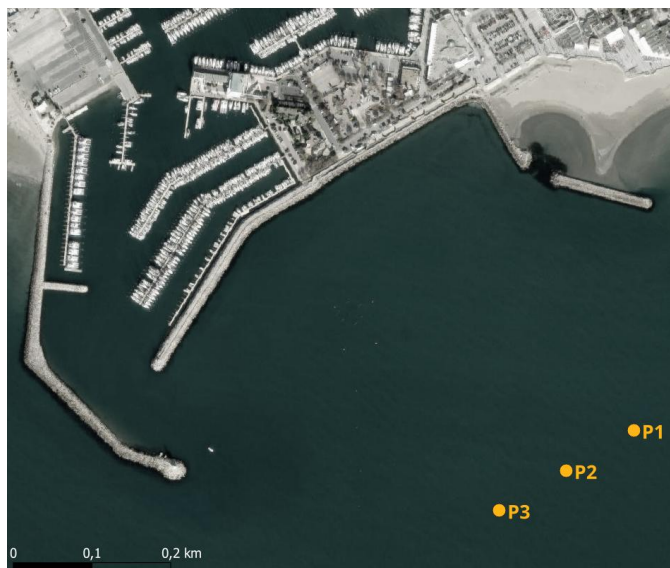


FIGURE 30. POINTS D'EXTRACTION DES RESULTATS DU MODELE DE PROPAGATION

TABEAU 11. CONDITIONS DE HOULE ET DE NIVEAU D'EAU EXTRAITES AU NIVEAU DU POINT P2

CONDITIONS	SECTEUR	TR	HM0 (M)	DIR (°N)	NIVEAU D'EAU (MNGF)	SET-UP (M)
EDD	Sud-Est	5ans	1,96	194	0,93	0,15
		10ans	2,06	194	0,98	0,15
		20ans	2,14	194	1,06	0,17
	Sud	5ans	2,10	197	0,94	0,16
		10ans	2,19	197	1,00	0,17
		20ans	2,27	197	1,06	0,17
Dim.	Sud	50ans/50ans (2080)	2,44	197	1,46	0,05

La lecture des résultats de propagation de houle amène les commentaires suivants :

- L'écrêtement le plus significatif de la houle se fait avant le golfe d'Aigues Mortes qui reste assez protégé en comparaison des côtes plus à l'Ouest (Palavas, Carnon) ;
- Les houles du large arrivent sur le site d'étude avec une orientation d'environ 190°N, quel que soit le secteur du large considéré (Sud-Est ou Sud) ;
- Les houles de secteur Sud au large étaient plus faibles que celles du secteur Sud-Est, aux points d'extractions à la côte cela s'inverse, **les houles de secteur Sud sont donc retenues par la suite pour alimenter les modélisations des débits de franchissements** ;
- Les valeurs de set-up varient entre 13 cm et 18 cm selon les cas de houle/niveau d'eau propagées et sont quasi identiques le long des différents points d'extraction.

4.3.3 Franchissements par paquets de mer

Les franchissements par paquets de mer sont évalués à partir du modèle « vague à vague » XBeach. Ce modèle permet d'apprécier l'interaction des vagues avec les ouvrages et d'estimer les franchissements maximaux susceptibles de se produire.

Xbeach a été développé grâce aux fonds et au soutien de l'US Army Corps of Engineers et d'un consortium regroupant l'UNESCO-IHE, Deltares (Delft Hydraulics), l'Université de Technologie de Delft et l'Université de Miami. Il permet de modéliser l'élévation de la surface libre et de prendre en compte l'ensemble des processus liés aux vagues (réflexion, réfraction, shoaling, déferlement, dissipation), aux ondes infragravitaires (génération, propagation, dissipation) et aux courants induits par les vagues.

Les modélisations sont réalisées le long des 3 profils de plage présentés en section 4.3.1. Les conditions de houle sont extraites au niveau de chaque point d'extraction SWAN2D le plus proche du profil.

Pour chaque évènement, 10 répétitions de calcul de 2h de tempête sont effectuées afin de prendre en considération le caractère aléatoire de la génération des vagues dans XBEACH. La moyenne des franchissements de chacune de ces 10 répétitions est conservée.

Le Tableau 12 donne les résultats de débits de franchissements moyens en crête d'ouvrage actuel pour chacun des profils et pour chaque évènement marin étudié. Pour rappel, seules les conditions de houle de secteur Sud au large sont conservées car plus défavorables.

TABEAU 12. DEBIT DE FRANCHISSEMENTS MOYEN POUR CHAQUE PROFIL ET CONDITION DE HOULE ETUDIEE

CONDITIONS	TR	DEBIT (L/S/M) SELON LE PROFIL		
		P1	P2	P3
EDD	5ans	4,4	15,7	69,0
	10ans	6,7	22,2	85,0
	20ans	13,1	33,6	111,2
	50ans	19,0	45,2	135,0
Dim.	50ans/50ans (2080)	64,9	104,2	239,3

La crête basse de cet ouvrage a pour conséquence le passage de débits de franchissements importants. Les photographies suivantes permettent d'illustrer ces phénomènes.



FIGURE 31. PHOTOGRAPHIES DE LA TEMPETE DU 09/03/2025 (SOURCE : INFOOCCITANIE)

Il est à noter que les débits de franchissements rencontrés pour les conditions de dimensionnements à horizon 2080 sont très importants et que l'on considère généralement que des dégâts sur les structures peuvent apparaître pour des débits supérieurs à 50 l/m/s.

5 SOLUTIONS D'INTERVENTION

5.1 Préambule

Différentes familles d'intervention peuvent être appréhendées pour limiter les entrées d'eau dans la zone potentiellement protégée :

- Diminution des sollicitations atteignant l'ouvrage : les ouvrages permettant de diminuer les sollicitations atteignant la cote (type brise-lames ou digues) peuvent faire leur preuve dans des contextes particulièrement exposés à la dynamique maritime. Ils apportent alors une amélioration significative sur la diminution des sollicitations sur les ouvrages de protection en limitant les hauteurs de houle susceptibles d'atteindre la cote.

Au regard du contexte général d'étude, ces solutions semblent incompatibles avec les aspirations du projet. En effet, ces solutions sont très onéreuses et nécessitent des compléments d'études et d'autorisations lourdes (règlementaire, faisabilité, acceptabilité politique, etc...).

Cette famille de solution n'est donc pas compatible avec les besoins de la présente étude.

- Modifier l'ouvrage : selon les dispositions constructives, les ouvrages de premier rang permettent de limiter de manière plus ou moins efficace le phénomène de franchissements par paquets de mer. Les adaptations les plus communes sont : la réhausse du niveau de crête, l'augmentation de la largeur en crête des enrochements, la variation de la pente de talus.

Dans le cadre de cette étude, l'augmentation du niveau de crête offre le couple « limitation des travaux de confortement - effet sur la réduction des débits de franchissements » le plus intéressant.

Cette solution est étudiée par la suite.

- Amélioration de la gestion des franchissements en arrière : une fois que les paquets de mer ont franchis l'ouvrage, une autre solution permettant de limiter les entrées d'eau dans la ZPP consiste en une amélioration de la gestion de ces eaux de franchissements. Pour cela, la mise en œuvre d'un mur arrière permettant 1/ de bloquer l'écoulement et 2/ de rediriger ces flux vers l'océan est préconisée.

Cette solution est étudiée par la suite.

- Solution de mitigation : mettre hors d'eau tous les enjeux potentiellement touchés par les protections individuelles du bâti telles que la mise en place de batardeaux, la mise hors d'eau des installations de chauffage et électriques, l'installation de clapets anti-retour sur les réseaux d'eau usées, et autres principes de mitigation...

Sur la base de ce constat, quatre solutions sont envisagées dans le cadre de cette étude de faisabilité :

- Solution 1 (section 5.2) : réhausse de niveau de crête de l'ouvrage ;
- Solution 2 (section 5.3) : gestion des eaux de franchissements ;
- Solution 3 (section 5.4) : réhausse partielle du niveau de crête et gestion des eaux de franchissements (solution mixte) ;
- Solution 4 (section 5.5) : adaptation du bâti (solution de mitigation).

Pour chacun de ces scénarios, différents éléments sont présentés :

- Principe et objectif du scénario ;
- Analyse des venues d'eau ;
- Principes constructifs ;
- Chiffrage préliminaire.

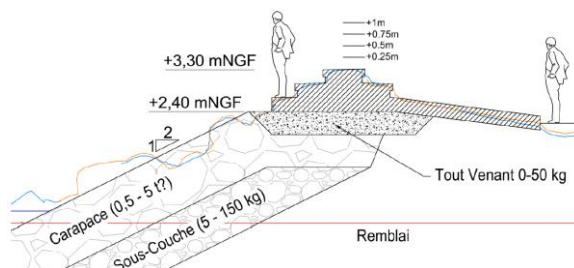
A l'issu de la présentation de ces éléments une comparaison synthétique des solutions est effectuée.

5.2 Solution 1 : Réhausse du niveau de crête

5.2.1 Principe et objectifs

La solution envisagée ici est de rehausser l'ouvrage au niveau du couronnement béton en crête d'ouvrage. Quatre scénarios de réhausse seront étudiés :

+0,25 m	+0,50 m
+0,75 m	+1,00 m



Il faut prendre en compte la prolongation de ce couronnement béton sur l'extrémité Ouest de l'ouvrage (PM237 à PM255) qui est dépourvue de couronnement actuellement sur environ 18 m.

L'objectif est de calculer les débits franchissants, d'établir la cartographie des venues d'eau pour chaque scénario, de les comparer avec l'état actuel (sans réhausse), et d'en déduire la réhausse minimale nécessaire pour respecter les objectifs de projet.

La Figure 32 illustre le principe évoqué ci-dessus.



FIGURE 32. PRINCIPE DE LA SOLUTION 1 : REHAUSSE DU NIVEAU DE CRETE

5.2.2 Caractérisation des venues d'eau dans la ZPP

5.2.2.1 Préambule

Pour caractériser les venues d'eau dans la Zone Potentiellement protégée, il faut d'abord déterminer les débits de franchissement au-dessus de l'ouvrage.

Pour l'état actuel, les franchissements ont déjà été calculés pour les trois profils P1, P2 et P3 (voir §4.3.3). Ces profils ont été décrits précédemment au §4.3.1.

Pour les scénarios de réhausse, les profils P1 et P2 sont redéfinis en les ajustant pour correspondre aux différents scénarios de réhausse. Le profil P3 n'est plus considéré, étant maintenant identique au profil P2.

Le principe de réhausse est illustré ci-contre.

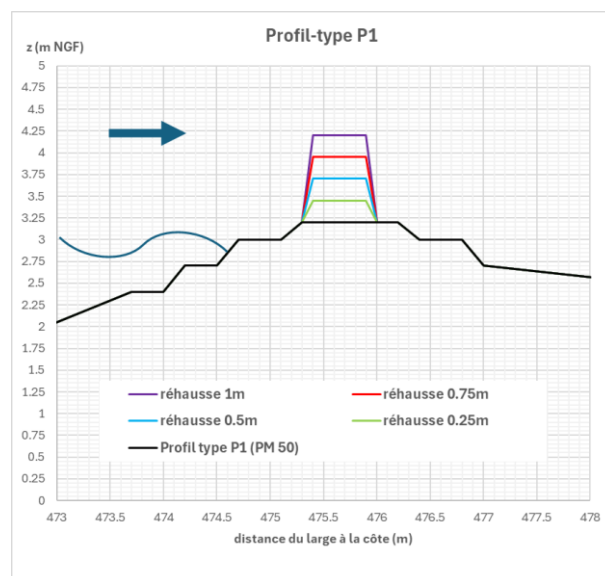


FIGURE 33. ILLUSTRATION DES REHAUSSES AU NIVEAU DU PROFIL P1

5.2.2.2 Présentation de la chaîne de modélisation

A. MÉTHODOLOGIE MISE EN ŒUVRE

La caractérisation des venues d'eau dans la zone protégée nécessite la mise en œuvre d'une chaîne de modélisation, telle que synthétisée ci-dessous :

- Propagation du large à la côte : modèle SWAN-2D décrit au §4.3.2 ;
- Calcul des débits de franchissements : modèle XBEACH décrit au §4.3.1 ;
- Ecoulements hydrauliques au cœur de la future zone protégée : modèle TELEMAC décrit en suivant.

B. PRÉSENTATION DES LOGICIELS

Concernant logiciel TELEMAC-2D, il appartient au système de modélisation en éléments finis TELEMAC, développé initialement par le Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF et actuellement par un consortium qui comprend les entités suivantes : EDF, CEREMA, BAW, laboratoire de Daresbury, HR Wallingford et Artelia.

TELEMAC regroupe un ensemble de logiciels dédiés aux problèmes de mécanique des fluides de l'environnement : courantologie bi et tridimensionnelle, houle, sédimentologie, qualité d'eau. Les principaux avantages que présente le système TELEMAC en regard de la présente étude sont les suivants :

- Le terrain est représenté par un assemblage d'éléments triangulaires de tailles et de formes variables formant le maillage de calcul. Cette technique « éléments finis » procure deux avantages essentiels :
 - Le maillage épouse avec fidélité les géométries complexes du modèle : l'ouvrage peut être représenté avec précision, mais également la zone terrestre (l'esplanade) constituée de différents éléments : parking, bâtiments, routes... ;
 - Elle autorise de densifier le maillage et donc d'affiner les résultats fournis par le modèle dans les zones d'intérêt.
- L'outil de génération de maillage, intégré au système TELEMAC, adapte la densité du maillage à différents critères comme la profondeur ou la pente des fonds. Il réalise un compromis entre les besoins en précision dans les régions où l'hydraulique est complexe (estrans, berges d'un chenal, etc.) et le nombre total de

points. Cette caractéristique est essentielle pour maintenir au modèle son caractère opérationnel en termes de précision et de temps de réponse.

Le logiciel TELEMAC-2D résout les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions d'espace horizontal. Ses résultats principaux sont, en chaque point du maillage de résolution, la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale.

C. CONSTRUCTION DE LA MODÉLISATION

La figure ci-après présente le maillage utilisé pour la caractérisation des venues d'eau à l'aide du modèle TELEMAC.

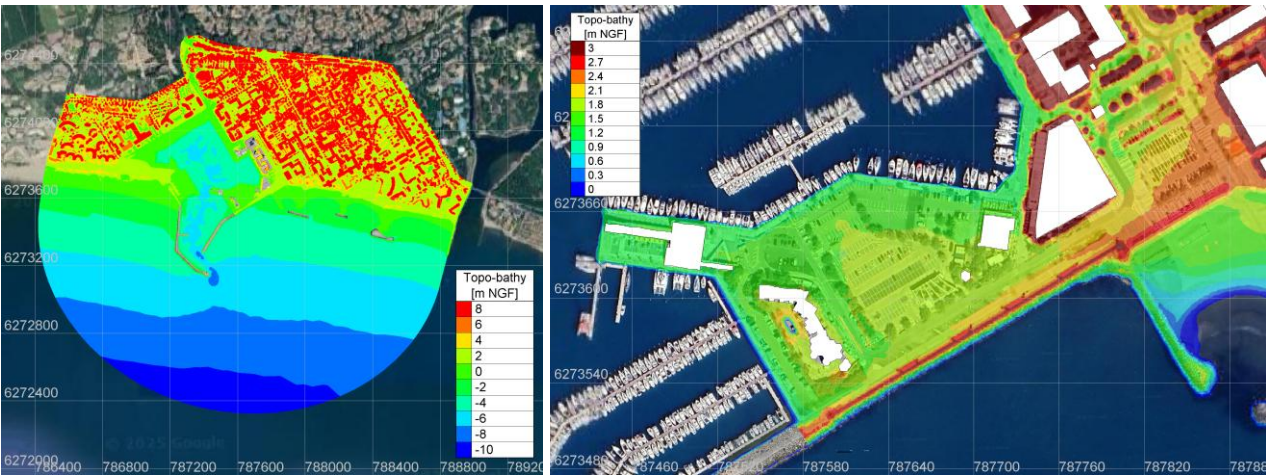


FIGURE 34. MAILLAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La taille des mailles varie de 100 m au large à 1 m au niveau des secteurs les plus fins afin de représenter au mieux les différents éléments pouvant impacter l'écoulement (bâtiments, routes, etc). Au total, le modèle comporte 166 640 nœuds de calculs soit 330 494 mailles triangulaires.

Un coefficient de Strickler variable a été appliqué au maillage selon la nature des fonds. Les valeurs de frottement utilisées pour la présente étude sont données dans le tableau ci-dessous (source : BRGM).

TABLEAU 13. COEFFICIENT DE STRICKLER CONSIDERE

TYPOLOGIE SIMPLIFIEE	COEFFICIENT DE STRICKLER (M ^{1/3} / S)
Plages et zone terrestre (urbain peu dense)	25
Mer	40

Les données topo-bathymétriques utilisées sont :

- CASAGEC, Nuages de points des levés topographiques et bathymétriques (17 mai 2018, 6 et 7 juin 2018) ;
- CASAGEC, Nuages de points des levés topographiques et bathymétriques (20 et 21 mars 2024) ;
- SHOM, Partie maritime Litto3D® – Occitanie – Languedoc-Roussillon 2014-2015 levé LIDAR, MNT rés. 1m ;
- SHOM 2015, MNT Bathymétrie de façade du Golfe du Lion - Côte d'Azur résolution ~111m (Projet HOMONIM).

Le forçage du modèle TELEMAC se fait à partir des débits de franchissements issus des résultats XBEACH. Au total 26 points d'injection sont représentés en premier rang (débits en m³/s), ils sont représentatifs d'un profil type et d'un linéaire d'application.

Le ressuyage par le réseau de conduites pluviales n'est pas pris en compte.

Les modélisations sont effectuées pour un niveau statique et une durée de franchissements de 2h (durée estimée du pic de tempête).

5.2.2.3 Résultats et analyse

Les résultats sont présentés sous forme de :

DEBITS DE FRANCHISSEMENTS DANS LE TABLEAU 14 ;

- Tableau 14
- Cartographie des venues d'eau pour les différentes hauteurs de réhausse :
 - Evènement Tr5ans : Figure 35
 - Evènement Tr10ans : Figure 36
 - Evènement Tr20ans : Figure 37.

TABLEAU 14. DEBIT DE FRANCHISSEMENTS MOYEN POUR CHAQUE PROFIL ET CONDITION DE HOULE ETUDIEE POUR CHAQUE SCENARIO DE REHAUSSE

SCENARIO DE REHAUSSE	CONDITIONS	TR	DEBIT (L/S/M) SELON LE PROFIL	
			P1	P2
Sans réhausse	EDD	5ans	4,4	15,7
		10ans	6,7	22,2
		20ans	13,1	33,6
+25 cm	EDD	5ans	1,6	7,9
		10ans	2,5	11,8
		20ans	6,3	20,8
+50 cm	EDD	5ans	0,4	3,2
		10ans	0,8	4,8
		20ans	2,4	10,2
+75 cm	EDD	5ans	0,08	1,1
		10ans	0,2	1,8
		20ans	0,7	4,2
+100 cm	EDD	5ans	0,01	0,4
		10ans	0,02	0,6
		20ans	0,2	1,6

Sur la base de ces résultats, les observations suivantes peuvent être faites :

- La réduction de l'emprise de submersion commence à être significative à partir d'une réhausse de la crête de l'ordre de 0,75 à 1,0 m ;
- Dans ces conditions (réhausse minimale de 0,75 m), l'ouvrage ainsi réhaussé peut offrir une protection acceptable jusqu'à une tempête de période de retour 5 ans ;
- Au-delà d'une période de retour 5 ans, des venues d'eau non négligeables subsistent et une amélioration de la gestion des eaux de franchissements à l'arrière doit être intégrée ;
- Il est à noter que ces modélisations sont effectuées pour répondre à l'objectif réglementaire actuel. L'élévation du niveau de la mer dans les années à venir va entraîner une augmentation des volumes d'eau franchis par rapport à ce qui est présentés dans ces résultats.

Une réhausse du niveau de la crête de 1 m est retenue pour la suite de l'étude afin de répondre à l'objectif réglementaire actuel.



FIGURE 35. CARTOGRAPHIES DES VENUES D'EAU A L'ETAT INITIAL ET POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS DE REHAUSSE POUR LA TEMPETE 5 ANS



FIGURE 36. CARTOGRAPHIES DES VENUES D'EAU A L'ETAT INITIAL ET POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS DE REHAUSSE POUR LA TEMPETE 10 ANS



FIGURE 37. CARTOGRAPHIES DES VENUES D'EAU A L'ETAT INITIAL ET POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS DE REHAUSSE POUR LA TEMPETE 20 ANS

5.2.3 Principes constructifs

La réhausse de l'ouvrage sur une hauteur de 1 m s'appuie sur le couronnement existant. Les principales opérations à mener sont les suivantes :

- Au niveau de la protection Est (PM00 à PM237) :
 - Préparation de l'assise au niveau du couronnement existant : nettoyage / piquetage / remodelage ;
 - Scellement d'armature en attente dans le couronnement existant ;
 - Coffrage, ferrailage et mise en œuvre du béton de réhausse.
- Au niveau de l'enracinement (PM237 à PM255) :
 - Dépose de la dalle béton existante ;
 - Préparation du sol d'assise ;
 - Mise en œuvre du nouveau couronnement béton (coulé en place ou préfabriqué) ;
 - Réalisation de la jonction avec la protection Est. Une attention particulière devra être portée au niveau de cette jonction du fait notamment de la présence de l'ancre et de son support. La photographie suivante illustre cette jonction.

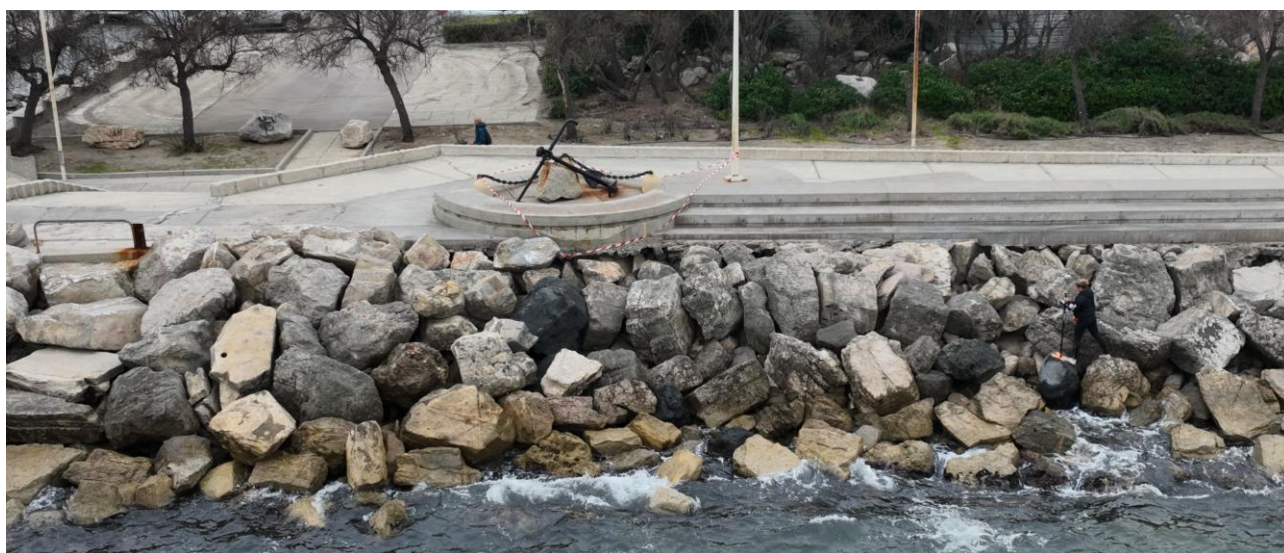


FIGURE 38. VUE DE LA JONCTION ENTRE LA PARTIE COURANTE ET L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE

Les coupes types suivantes permettent d'illustrer le principe de cette réhausse, au niveau des PM150 et PM250.

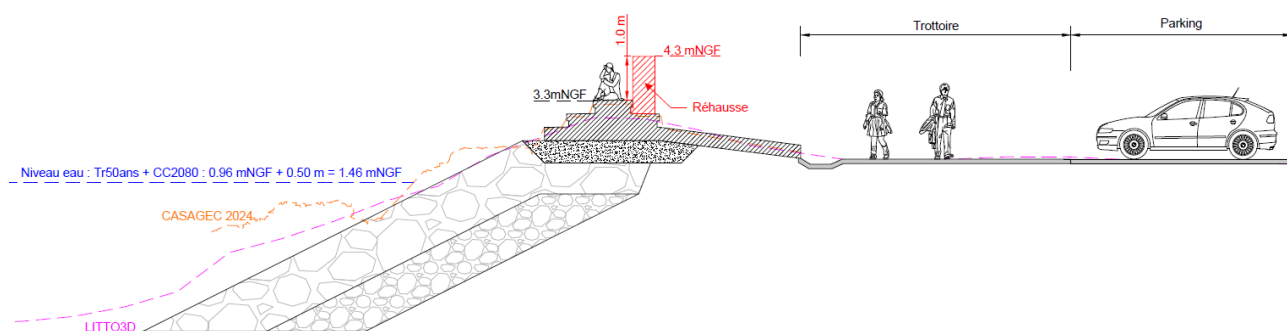


FIGURE 39. PRINCIPE CONSTRUCTIF DE LA SOLUTION 1 (PROTECTION EST, PM00 A PM237)

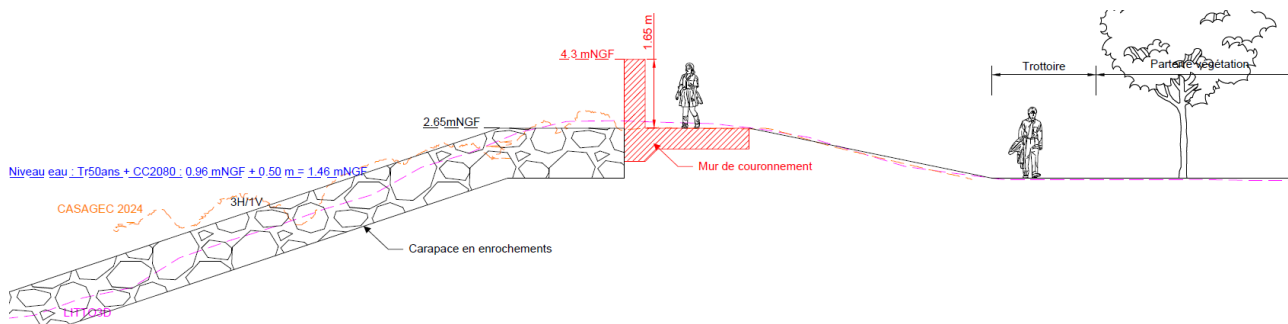


FIGURE 40. PRINCIPE CONSTRUCTIF DE LA SOLUTION 1 (ENRACINEMENT, PM237 A PM255)

A noter que le mur de réhausse peut également venir se positionner en haut du couronnement pour limiter l'emploi de béton, cependant cette optimisation devra être étudiée au regard de la stabilité du mur (risque de basculement).

Les photographies suivantes illustrent la rehausse de la digue de Trébeurden (Côtes d'Armor, 22) avec la réalisation d'un mur chasse mer d'une hauteur de 1,20 m. Cette forme de mur est particulièrement intéressante pour limiter les franchissements, elle pourra être étudiée dans les phases suivantes de cette étude.



FIGURE 41. REHAUSSE DE LA DIGUE DE TREBEURDEN (SOURCES : OUEST-FRANCE A GAUCHE ET ACTU.FR A DROITE)

La réhausse de la crête d'ouvrage aura un impact significatif sur la visibilité des usagers sur la mer. Elle remet donc potentiellement en question la volonté architecturale initiale.

De plus, elle limite l'accès à la crête actuelle de la digue qui est prisée des promeneurs et des pêcheurs. Pour pallier cette problématique d'accès, des ouvertures dans la réhausse associées à la mise en œuvre de batardeaux pourraient être envisagées. La mise en place de batardeaux implique une surveillance et une gestion plus importante en cas de tempête.

A court-moyen terme, compte tenu de l'élévation du niveau marin, cette solution ne pourra éviter à elle seule la submersion de l'esplanade et devra être associée à des opérations d'amélioration de la gestion des eaux de franchissement, telles que présentées en section 5.3 et 5.4.

5.2.4 Quantitatif et chiffrage préliminaire

Le chiffrage préliminaire de ce scénario 1 concerne la construction d'un mur en béton pour une réhausse de 1 m et pour un linéaire total de 255 m linéaires.

Cela concerne un volume de l'ordre de 200 m³ de béton pour la réhausse.

L'estimation financière préliminaire pour la solution 1 est comprise entre **770 000 et 970 000 € HT**, avec prise en compte ou non des 30 % de marge d'aléas et d'incertitudes.

5.3 Solution 2 : Gestion des eaux de franchissement

5.3.1 Principe et objectifs

La solution 2 vise à agir sur la gestion des eaux de franchissements à l'arrière de la digue.

Le principe est le suivant :

- Création d'un mur arrière pour casser la dynamique des franchissements.
Il est proposé à ce stade de positionner ce mur arrière entre le trottoir et le parking actuels et de le prolonger dans cet alignement jusqu'aux quais du port à l'Ouest.
Des batardeaux doivent être intégrés à ce mur pour permettre la libre circulation à l'arrière immédiat de la digue en conditions normales
- Evacuation gravitaire de l'eau recueillie. A ce stade, aucune intervention sur la digue n'est envisagée (pas d'ouvrage hydraulique traversant), l'évacuation se fait donc gravitairement vers le port à l'Ouest.
La pente actuelle étant quasi nulle (0,3% de l'Est vers l'Ouest), une reprise de la chaussée est nécessaire.

La Figure 42 illustre les principes évoqués ci-dessus.



FIGURE 42. PRINCIPE DE LA SOLUTION 2 : GESTION DES EAUX DE FRANCHISSEMENTS

5.3.2 Capacité d'évacuation des eaux de franchissements

5.3.2.1 Principes de calcul

Le calcul de la capacité d'évacuation des eaux de franchissements consiste à définir la hauteur du mur arrière permettant de contenir et d'évacuer les eaux de franchissements pour l'évènement de dimensionnement.

Pour cela, une approche simplifiée à partir de la formule de Manning-Strickler est considérée. Cette formule permet d'estimer la vitesse d'un écoulement en canal ouvert en fonction de la rugosité, de la pente et de la géométrie de la section. Elle est largement utilisée en hydraulique pour modéliser les écoulements gravitaires.

La formule s'écrit de la façon suivante :

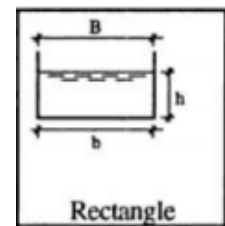
$$V = K_S R_h^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

Avec :

- V la vitesse moyenne au niveau de la section transversale (en m/s) ;
- K_S le coefficient de Strickler ($m^{1/3}/s$) ;
- R_h le rayon hydraulique (m), tel que $R_h = S/P$, avec :
 - S l'aire de la section transversale de l'écoulement (m^2) ;
 - P le périmètre mouillé (m).
- i la pente hydraulique (m/m).

TABLEAU 15. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES UTILISEES POUR LA FORMULE DE MANNING-STRICKLER

DESIGNATION	Surface S	Périmètre mouillé P	Rayon hydraulique R_h	Largeur B	Profondeur hydraulique D_h
CALCUL	$b \cdot h$	$b + 2 \cdot h$	$(b \cdot h) / (b + 2 \cdot h)$	b	h



Les hypothèses prises ici sont :

- Un coefficient de Strickler $K_s = 55 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, correspond à du béton très dégradé (hypothèse conservatrice) ;
- La section critique d'évacuation des eaux de franchissements se situe au pied de la rampe d'accès, au niveau du PM205. Le dimensionnement est donc réalisé au niveau de cette section, pour une largeur comprise entre 4 et 5 m (Figure 43) ;
- La pente hydraulique sur la chaussée est fixée à 1%. Avec une pente actuelle quasi nulle et un linéaire total de 250 m, passer à une pente supérieure à 1% nécessiterait des travaux de déblais/remblais très conséquents.



FIGURE 43. POSITION DU MUR ARRIERE ET LARGEUR DE LA SECTION A L'EXTREME OUEST DE L'OUVRAGE



FIGURE 44. PHOTOGRAPHIES DE L'ARRIERE DE L'OUVRAGE ACTUEL AU NIVEAU DE LA RAMPE D'ACCES : (GAUCHE) VUE VERS LE PORT A L'OUEST ET (DROITE) VUE VERS L'EST

5.3.2.2 Définition des débits de franchissements à évacuer

Les débits totaux à évacuer sont calculés à partir des débits extraits de la modélisation XBEACH pour chaque profil (cf. Tableau 12). Ce sont les conditions de dimensionnement qui permettent de définir la hauteur du mur arrière à retenir. Pour information, les résultats des conditions actuelles de l'EDD pour les périodes de retour 5 ans, 10 ans, 20 ans et 50 ans sont présentés.

Le débit maximal à évacuer susceptible de traverser la section critique (au niveau du PM205) correspond à la somme des débits associés aux profils P1 et P2. Il est considéré que les volumes franchissant au niveau du profil P3 (PM237 à PM255) s'évacuent directement dans le port à l'Ouest.

Le Tableau 16 donne les débits de franchissements totaux à évacuer au niveau de la section critique.

TABLEAU 16. DEBITS DE FRANCHISSEMENTS TOTAUX A EVACUER (M³/S)

CONDITIONS	TR	DEBITS PAR ZONE (M³/S)		DEBIT TOTAL (M³/S) DU PM00 AU PM237
		ZONE EST (PROFIL-TYPE P1)	ZONE OUEST (PROFIL-TYPE P2)	
Linéaire associé (m)		150	87	237
EDD	5ans/Actuel	0,7	1,4	2,0
	10ans/Actuel	1,0	1,9	2,9
	20ans/Actuel	2,0	2,9	4,9
	50ans/Actuel	2,8	3,9	6,8
Dim.	50ans/50ans (2080)	9,7	9,1	18,8

5.3.2.3 Résultats

La Figure 45 illustre les débits susceptibles d'être évacués en fonction de la hauteur de la section hydraulique, pour différentes largeurs et pour une pente de 1%. Le débit objectif à évacuer (conditions de dimensionnement) est illustré en rouge pointillé.

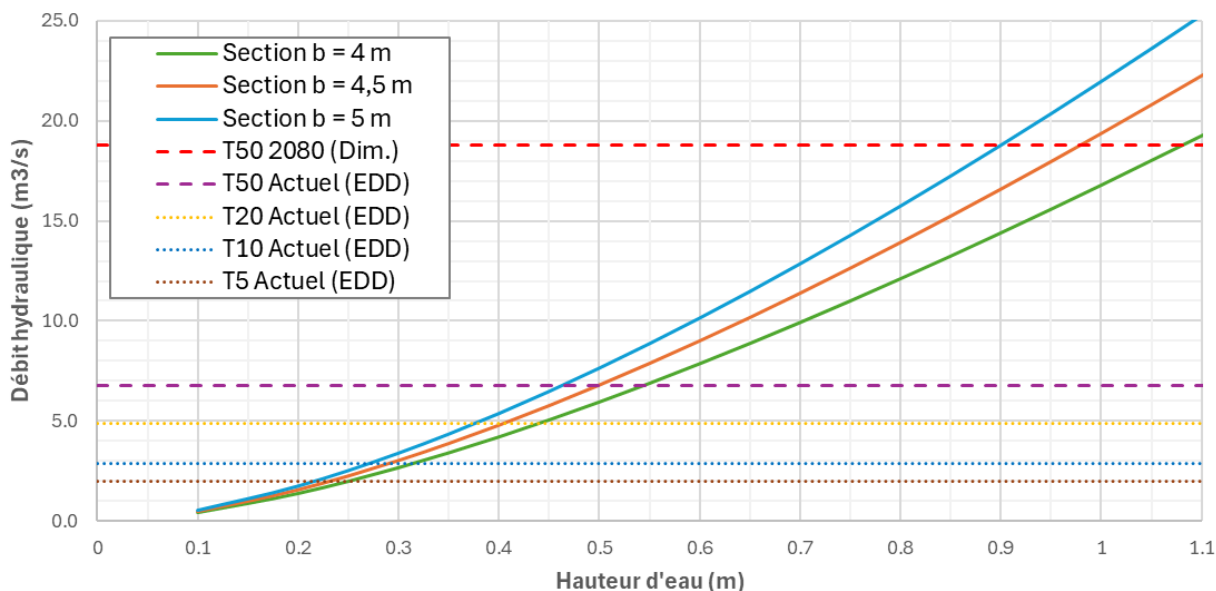


FIGURE 45. DEBITS HYDRAULIQUES EN FONCTION DE LA HAUTEUR D'EAU POUR UNE PENTE DE 1% (FORMULES DE MANNING-STRICKLER)

Sur la base de ces graphiques, les observations suivantes peuvent être faites :

- Pour le critère de dimensionnement ($18,8 \text{ m}^3/\text{s}$ à évacuer) : la hauteur d'eau de la section hydraulique est comprise entre 0,9 et 1,1 m ;
- Pour les vérifications réglementaires : la hauteur d'eau de la section hydraulique est comprise entre 0,2 et 0,55 m ;
- Cette approche simplifiée permet à ce stade préliminaire d'estimer la hauteur d'eau à contenir à l'arrière de la digue actuelle. **Il est proposé de dimensionner la solution avec un mur arrière de 1 m de haut et une pente de chaussée de 1%. Une largeur de section d'évacuation d'eau minimum de 4,5 m devra être maintenue.**

Ces calculs ne tiennent néanmoins pas compte de la dynamique des franchissements et du caractère variable des débits de franchissements. Dans le cadre des études de conception futures, de nouvelles modélisations peuvent être envisagées pour affiner le dimensionnement. L'idéal étant la réalisation d'essais en modèles physiques qui sont néanmoins plus coûteux.

Enfin, la stabilité du mur arrière devra être assurée en prenant en considération la poussée de l'eau statique et potentiellement la poussée dynamique en lien avec la houle transmise.

5.3.3 Caractérisations des venues d'eau dans la ZPP

Cette solution 2 vise pour objectif de bloquer les venues d'eau dans la ZPP en recueillant les eaux de franchissements et en les évacuant gravitairement vers le port à l'Ouest.

Il est donc considéré qu'aucune entrée d'eau sur la ZPP n'est possible jusqu'aux conditions de dimensionnement.

5.3.4 Principes constructifs

Les principales opérations à mener dans le cadre de cette solution 2 sont les suivantes :

- Décroubage de la chaussée dans l'emprise des travaux ;
- Terrassement en déblais/remblais pour obtenir la pente d'évacuation objectif ;
- Mise en œuvre du mur arrière et des ouvertures pour les batardeaux ;
- Création de la nouvelle chaussée et raccordement aux réseaux d'évacuation d'eau pluviale existants ;
- Finitions de la chaussée au niveau de la jonction avec le parking ;
- Mise en place des batardeaux.

Les coupes types suivantes permettent d'illustrer le principe de cette réhausse, au niveau des PM150 et PM250.

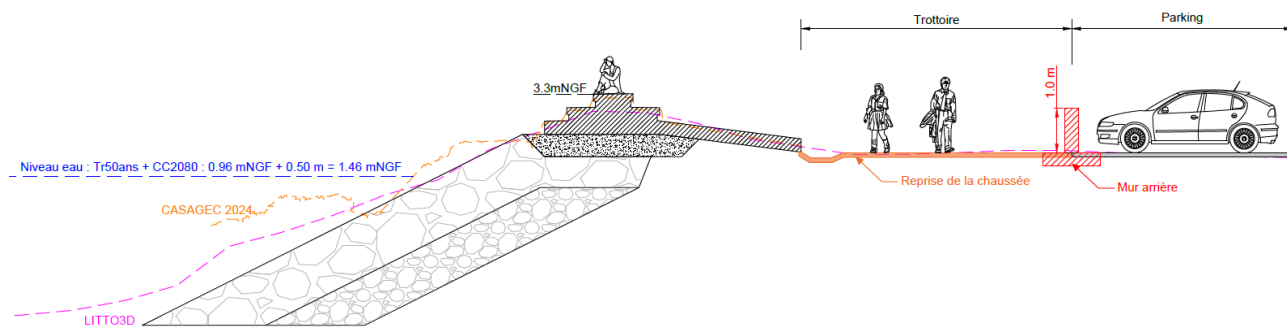


FIGURE 46. PRINCIPE CONSTRUCTIF DE LA SOLUTION 2 (PROTECTION EST, PM00 A PM237)

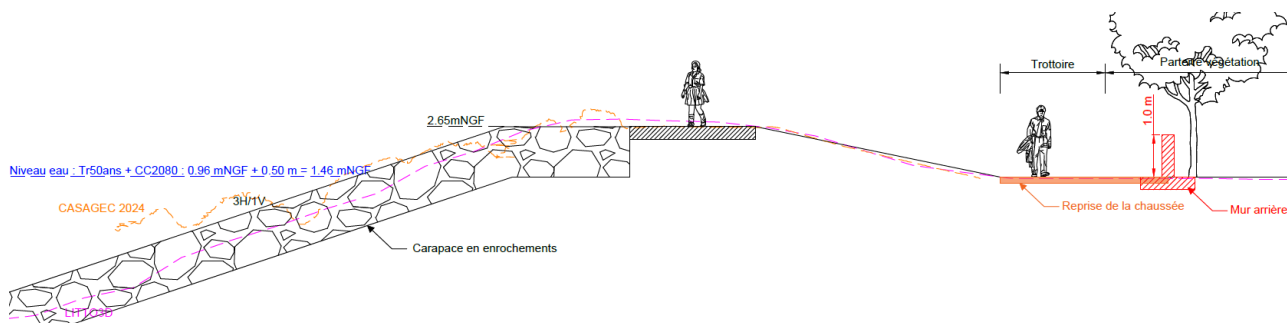


FIGURE 47. PRINCIPE CONSTRUCTIF DE LA SOLUTION 1 (ENRACINEMENT, PM237 A PM255)

Il est à noter que cette solution nécessite des interventions régulières en lien avec la présence de batardeaux.

Les photographies suivantes illustrent des murs anti-submersion avec la présence de batardeaux dont la porte est : à demeure à Boyardville (Charente-Maritime, 17) et stockable à La-Couarde-sur-Mer (Charente Maritime, 17).



FIGURE 48. MUR ANTI-SUBMERSION A BOYARDVILLE (GAUCHE) ET A LA COUARDE SUR MER (DROITE)

5.3.5 Quantitatif et chiffrage préliminaire

Le chiffrage préliminaire de ce scénario 2 concerne la construction du mur arrière et la reprise généralisée de la chaussée sur un linéaire droit de 255 m.

Cela concerne un volume de l'ordre de 165 m³ de béton, 1 500 m² de reprise de la chaussée et la réalisation de 5 batardeaux.

L'estimation financière préliminaire pour la solution 1 est comprise entre **640 000 et 810 000 € HT**, avec prise en compte ou non des 30 % de marge d'aléas et d'incertitudes.

5.4 Solution 3 : Réhausse du niveau de crête + gestion des eaux de franchissement

5.4.1 Principe et objectifs

Cette dernière solution propose d'agir à la fois sur la gestion des eaux de franchissements et de rehausser une partie de l'ouvrage sur sa section la plus sensible (à l'enracinement avec la digue Ouest).

Les principes sont identiques à ce qui a été présenté précédemment, à savoir :

- Réhausse du niveau de crête entre les PM237 et PM255 (tel qu'évoqué pour la solution 1) ;
- Mise en œuvre d'un mur arrière et reprise de la chaussée (idem à la solution 2).

La Figure 49 illustre le principe évoqué ci-dessus.

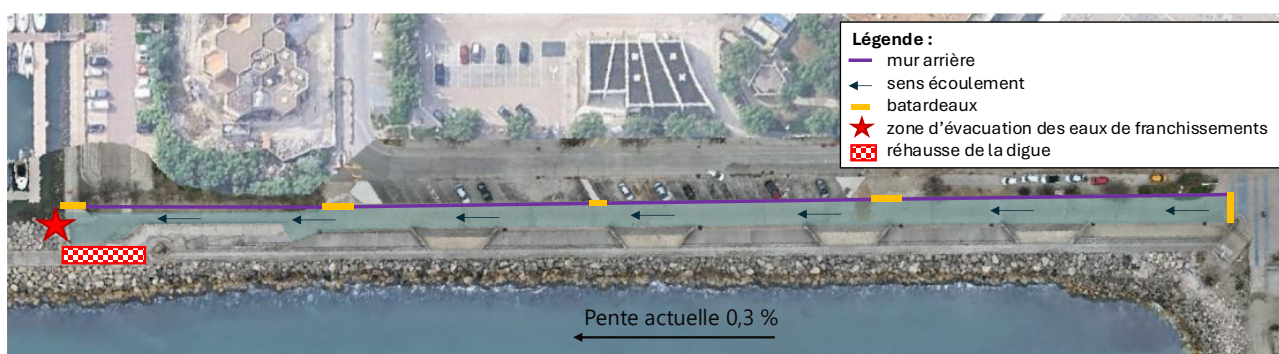


FIGURE 49. PRINCIPE DE LA SOLUTION 3 : REHAUSSE DU NIVEAU DE CRETE + GESTION DES EAUX DE FRANCHISSEMENTS

Etant donné les débits de franchissements rencontrés en extrémité Ouest, il se peut qu'à moyen terme le mur arrière seul ne suffise pas et qu'une réhausse soit nécessaire.

Cette solution 3 hybride s'inscrit donc dans une logique de phasage des interventions sur le long terme pour s'adapter aux effets réels du changement climatique à venir.

5.4.2 Caractérisations des venues d'eau dans la ZPP

Au même titre que la solution 2, l'objectif de la solution 3 est de bloquer les venues d'eau dans la ZPP en recueillant les eaux de franchissements et en les évacuant gravitairement vers le port à l'Ouest.

Il est donc considéré qu'aucune entrée d'eau sur la ZPP n'est possible jusqu'aux conditions de dimensionnement.

5.4.3 Principes constructifs

Pour la solution 3, les principes constructifs évoqués en section 5.2 et 5.3 sont identiques.

Etant donné la présence du mur arrière au niveau de l'enracinement avec la digue Ouest, la réhausse du mur sur ce linéaire sensible se fait dans la continuité du niveau de crête en partie courante. Cela permettra de retrouver une continuité sur l'ensemble du linéaire et de conserver la vue sur la mer.

Comme pour la solution 1, un mur chasse mer pourra être envisagé pour optimiser la limitation des franchissements. La forme spécifique du mur sera étudiée dans les phases suivantes de cette étude.

Là encore une attention particulière devra être portée au niveau de la jonction avec le couronnement en place du fait notamment de la présence de l'ancre et de son support.

Les coupes types suivantes permettent d'illustrer le principe de cette réhausse, au niveau des PM150 et PM250.

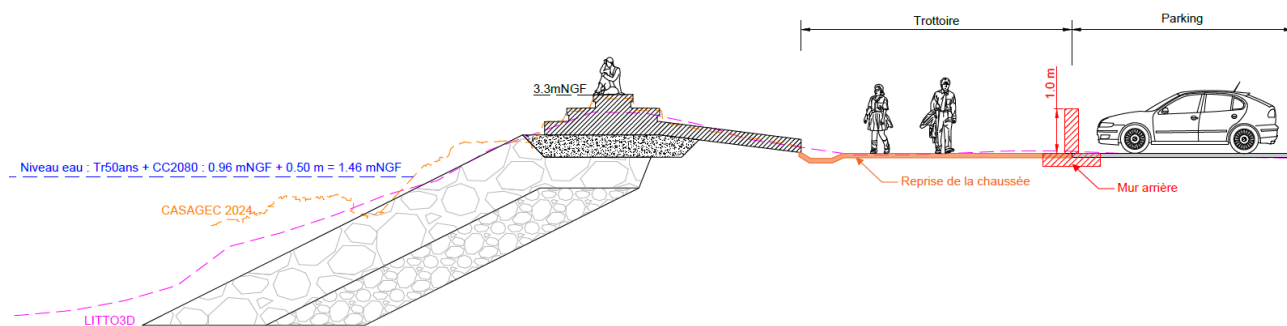


FIGURE 50. PRINCIPE CONSTRUCTIF DE LA SOLUTION 3 (PROTECTION EST, PM00 A PM237)

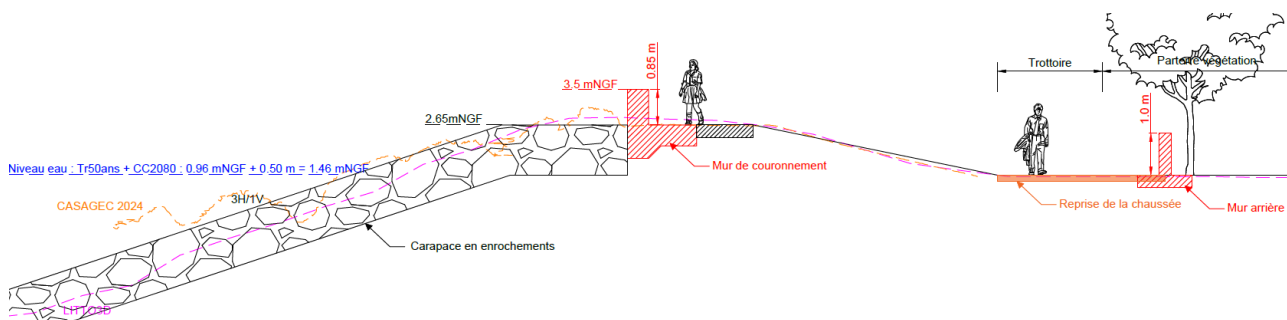


FIGURE 51. PRINCIPE CONSTRUCTIF DE LA SOLUTION 3 (ENRACINEMENT, PM237 A PM255)

5.4.4 Quantitatif et chiffrage préliminaire

Le chiffrage préliminaire de ce scénario mixte concerne la construction d'un mur en arrière de l'ouvrage avec batardeaux, la reprise de la chaussée, ainsi que la construction d'un mur de réhausse en béton à l'extrémité Ouest de l'ouvrage.

Cela concerne un volume de l'ordre de 165 m³ de béton pour le mur arrière, 1 500 m² de reprise de la chaussée, la réalisation de 5 batardeaux et 30 m³ de béton de réhausse.

L'estimation financière préliminaire pour la solution 3 est comprise entre **750 000 et 950 000 € HT**, avec prise en compte ou non des 30 % de marge d'aléas et d'incertitudes.

5.5 Solution 4 : Adaptation du bâti

5.5.1 Principe et objectifs

Cette dernière solution est un principe de mitigation sans modification structurelle de l'ouvrage. Il s'agit d'un ajout demandé par le maître d'ouvrage, et présenté de **façon préliminaire**, dans le but de fournir une première comparaison de cette solution avec les autres, en ordre de grandeur. A noter que cette solution ne répond pas à l'objectif de limitation de la zone d'exclusion dans le cadre de l'EDD.

Cette solution concerne la possibilité d'adapter le bâti pour éviter toute submersion directe. Cela peut se faire via la mise en place des interventions suivantes :

- Mettre hors d'eau les installations de chauffage et électriques ;
- Installer des batardeaux et occulter les aérations basses ;
- Arrimer les objets flottants et les produits polluants ;
- S'équiper d'une pompe vide-cave ;
- Baliser les piscines ou bassins enterrés ;
- Aménager une zone refuge ou plateforme de stockage pour les entreprises ;
- Mettre en place des clapets anti-retour sur réseaux d'eaux usées.

A noter que ces dispositifs reposent sur une volonté individuelle d'installation et une gestion privée de la mise en place des batardeaux lors des tempêtes.

Dans une première estimation, il a été considéré l'installation de batardeaux au niveau de chaque porte de bâtiment à protéger, et l'adaptation des baies vitrées, très nombreuses. Pour simplifier, il est considéré que l'on pose des batardeaux devant chaque porte et chaque baie vitrée. Il existe des solutions type batardeaux adaptées aux baies vitrées. Cependant, un diagnostic pour chaque bâti est nécessaire pour savoir comment l'adapter.



FIGURE 52. EXEMPLES DE BATARDEAUX POSITIONNES DEVANT DES BAIES VITRES

En lien avec l'ACB présentée en complément de cette étude, un linéaire de 90 m de bâtiment est considéré comme nécessitant des batardeaux. A noter que le décompte des bâtiments à protéger a été effectué dans l'ACB en considérant les seuils de chaque bâtiment. D'après les modélisations, des batardeaux de 50 cm de haut suffiraient à mettre hors d'eau tous les enjeux jusqu'à la tempête vingtennale.

La figure suivante illustre les linéaires d'intervention retenus.

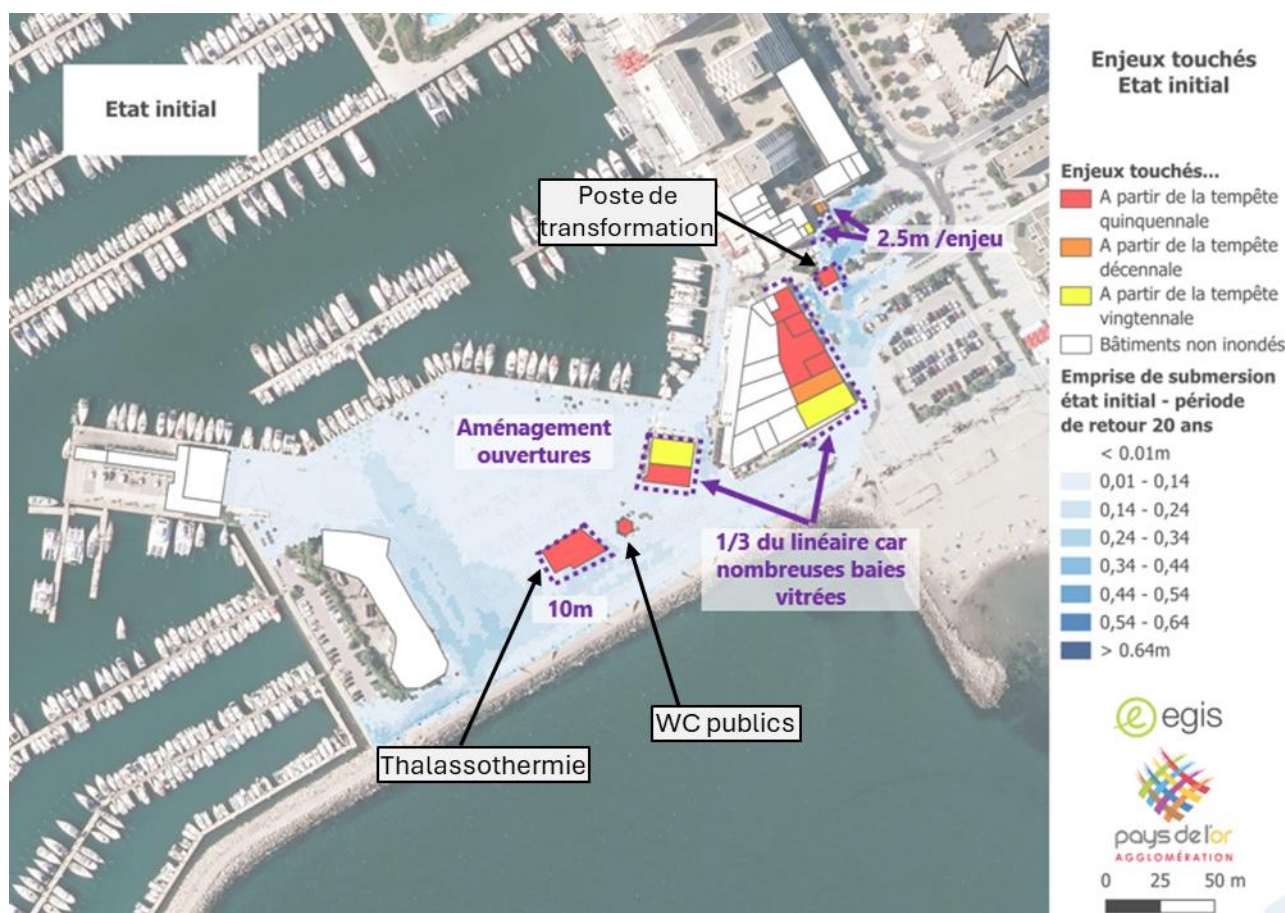


FIGURE 53. PRINCIPE DE LA SOLUTION 4 : ADAPTATION DU BATI AVEC MISE EN PLACE DE BATARDEAU (LINEAIRE VIOLET)

Ainsi, il est considéré que chaque bâtiment est mis hors d'eau, mis à part les WC publics. Le poste de transformation et le centre de thalassothermie sont considérés comme adaptables et sont donc aussi mis hors d'eau.

5.5.2 Caractérisations des venues d'eau dans la ZPP

La solution 4 est une solution d'adaptation du bâti, aucun enjeu n'est considéré comme impacté (hormis WC public), mais les emprises de submersion sont identiques (arrêt des entrées d'eau au seuil du bâti).

Les venues d'eau dans la ZPP seront donc identiques à l'état actuel, c'est-à-dire correspondant au scénario initial sans réhausse de l'ouvrage (voir section 5.2.2.3).



FIGURE 54. CARACTERISATION DES VENUES D'EAU POUR LA SOLUTION 4 (MITIGATION)

5.5.3 Quantitatif et chiffrage préliminaire

Le chiffrage préliminaire de ce scénario 3 concerne la mise en place de batardeaux sur un linéaire de 90 m.

Le coût au mètre linéaire des batardeaux retenu à ce stade est de 1 800 € HT/ml (batardeau + adaptations sur le bâti). Cet ordre de grandeur est issu d'une information transmise par le MOA et d'une majoration liée aux potentielles adaptations du bâti autre que les batardeaux (voir 5.5.1).

L'estimation financière préliminaire pour la solution 4 est comprise entre **162 000 et 211 000 € HT**, avec prise en compte ou non des 30 % de marge d'aléas et d'incertitudes.

NB : Concernant les coûts, des dispositifs de co-financement par l'Etat existent et peuvent être envisagés, si couvert par le PAPI (dispositif Or Alabri par exemple, éligibilité à vérifier).

5.6 Comparaison des solutions

Le tableau suivant propose une comparaison synthétique des avantages et inconvénients de chacune des solutions.

TABEAU 17. AVANTAGES ET INCONVENIENTS PRINCIPAUX DE CHACUNE DES SOLUTIONS

	SOLUTION 1	SOLUTION 2	SOLUTION 3	SOLUTION 4
Avantages	+ Réduction des débits franchissants. + Meilleure protection de la promenade à l'arrière immédiat de la digue. + Limite les interventions futures du gestionnaire (s'il n'y a pas de batardeau).	+ Pas d'entrée d'eau dans la ZPP (sauf à l'arrière immédiat de la digue). + Impact paysager plus limité et qui peut s'insérer plus facilement dans le paysage actuel. + Maintien de l'accessibilité à la crête de digue pour les usagers. + Meilleur contrôle de l'accès à la promenade en cas de tempête. + Séparation sécurisée (avec la présence du mur) entre la promenade et le parking/la route. + Pas de nouvelle intervention sur la digue actuelle.	+ Pas d'entrée d'eau dans la ZPP (sauf à l'arrière immédiat de la digue). + Impact paysager plus limité et qui peut s'insérer plus facilement dans le paysage actuel. + Maintien de l'accessibilité à la crête de digue pour les usagers. + Meilleur contrôle de l'accès à la promenade en cas de tempête. + Séparation sécurisée (avec la présence du mur) entre la promenade et le parking/la route. + Pas de nouvelle intervention sur la digue actuelle. + Réduit les débits franchissants sur le secteur le plus sensible.	+ Simplicité de mise en place. + Aucun impact paysager (pas de modification structurelle de l'ouvrage et de la promenade). + Maintien de l'accessibilité à la crête de digue pour les usagers. + Limite les interventions futures du gestionnaire (gestion privée). + Coût moindre avec co-financement de l'Etat envisageable si couvert par PAPI (éligibilité à vérifier).
Inconvénients	- Protection partielle de la ZPP et de la promenade. A plus long terme, cette réhausse ne permettra pas de répondre à elle seule au risque de submersion. - Remet en question la volonté architecturale initiale (perd la vue sur la mer). - Ne permet plus un accès direct à la crête (s'il n'y a pas d'ouverture dans la réhausse).	- Pas de réduction des débits franchissants. La promenade à l'arrière immédiat de la digue est toujours exposée. - Nécessite plus de manutentions pour le gestionnaire (présence de batardeaux). - Nécessite une reprise généralisée de la promenade. - A plus long terme, les débits franchissants au niveau de l'enracinement peuvent être problématiques.	- Pas de réduction des débits franchissants en section courante. La promenade à l'arrière immédiat de la digue est toujours exposée. - Nécessite plus de manutentions pour le gestionnaire (présence de batardeaux). - Nécessite une reprise généralisée de la promenade.	- Ne répond pas à l'objectif de limiter la zone d'exclusion dans le cadre de l'EDD. - Aucune protection de la ZPP et de la promenade (parkings, route...). - Nécessite une vigilance accrue pour donner l'alerte de mise en place. - Pas de contrôle sur la mise en place réelle de la solution lors des tempêtes (gestion privée). - Acceptabilité individuelle de la solution.
Coût	770-970 k € HT	640-810 k € HT	750-950 k € HT	162-211 k € HT

Les solutions 1 et 2 agissent différemment pour la limitation des entrées d'eau par franchissements. Ces interventions ne sont néanmoins pas incompatibles (exemple de la solution 3) et une logique de phasage des interventions sur le long terme pour s'adapter aux effets réels du changement climatique à venir pourra être envisagée.

On rappelle que la solution 4 est étudiée à un stade préliminaire. Une étude plus précise des besoins d'adaptation et de la faisabilité serait nécessaire pour affiner les coûts. Un diagnostic précis de la vulnérabilité des bâtiments serait aussi nécessaire. Enfin, il existe un risque que ces mesures ne soient pas appliquées (batardeaux non installés), et non mises en place en période de tempête. En effet, ce sont des dispositifs sous gestion privée.

6 CONTRAINTES REGLEMENTAIRES ET ENVIRONNEMENTALES

6.1 Loi sur l'eau – Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du Code de l'environnement

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, plusieurs solutions sont envisagées à ce stade pour la modification de l'ouvrage de Protection Est. Dans tous les cas envisagés, compte tenu de la nature et des coûts de ces différentes solutions, les travaux à réaliser seront soumis à déclaration au titre de la rubrique 4.1.2.0. « Travaux d'aménagement portuaire et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu ». Aussi, cette déclaration serait à réaliser ultérieurement au DAE.

RUBRIQUES ET INTITULÉS DE LA NOMENCLATURE QUI POURRAIENT CONCERNER LE PROJET		CONCLUSION
4.1.2.0	Travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu : 2° D'un montant supérieur ou égal à 160 000 euros mais inférieur à 1 900 000 euros	Déclaration

TABLEAU 18 : RUBRIQUES DE LA NOMENCLATURE EAU QUI CONCERNANT LES REPARATIONS LOURDES (ART. R.214-1 CE)

6.2 Zonages d'inventaires et de protection du patrimoine environnemental et culturel

6.2.1 Natura 2000

L'aire d'étude éloignée compte 6 sites Natura 2000, dont 2 en mer très étendues : ZSC Posidonies de la côte palavasienne, ZPS Côte languedocienne. Le lien écologique est faible avec les zones humides, et modéré pour les oiseaux marins pouvant s'alimenter au large de La Grande Motte.

L'ouvrage de protection de la promenade Est de La Grande Motte jouxte La Zone Spéciale de Conservation (Natura 2000 – Directive oiseaux) FR9112035 « Côte languedocienne ». D'un point de vue terrestre, le principal enjeu écologique est la présence fortement potentielle de la Tarente de Maurétanie, reptile protégé.

Afin de réduire la probabilité de destruction d'individus (ici les reptiles) et atténuer le dérangement, deux périodes sont particulièrement sensibles :

- Du début de la période de reproduction (mi-mars) jusqu'à la dispersion des jeunes (août) ;
- La période d'hivernation, de l'entrée en léthargie (mi-novembre, à partir du moment où les températures maximales sont inférieures à 10°C) jusqu'à début mars).

Cette sensibilité particulière devra être prise en compte dès la phase de conception du projet et les travaux devront éviter d'être réalisés sur ces périodes.

6.2.2 ZNIEFF (Zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique)

Les ZNIEFF et autres zonages du patrimoine naturel concernés par l'aire d'étude éloignée situés à plus d'1 km et présentent des liens écologiques très faibles. Le projet peut avoir des interactions avec ces périmètres. La sensibilité est modérée.

6.2.3 Espaces Naturels Sensibles

La loi d'aménagement du 18 juillet 1985, modifiée par la loi du 2 février 1995 (loi Barnier) expose qu' « afin de préserver la qualité des sites, paysages, des milieux naturels et d'assurer la sauvegarde des habitats naturels, le Département est compétent pour élaborer et mettre en œuvre une politique de protection, de gestion et d'ouverture au public des Espaces Naturels Sensibles (ENS), boisés ou non ». Elle donne donc aux Conseils Départementaux la possibilité de mettre en place une politique de protection et de valorisation de ses Espaces Naturels Sensibles, ceux-ci étant définis comme des « zones dont le caractère naturel est menacé ou rendu vulnérable, actuellement ou potentiellement, soit en raison des pressions d'aménagement qu'il subit, soit en raison de son intérêt particulier ».

Aucun ENS n'est identifié dans l'aire d'étude éloignée.

6.2.4 Patrimoine culturel : site classé

Le projet se situe dans l'unité paysagère du littoral et ses étangs. Aucun enjeu paysager n'est situé à proximité.

La Grande Motte a obtenu le label Patrimoine du XXème siècle. Il n'y a pas de site patrimonial à moins de 585 m du projet.

6.3 Localisation du Domaine Public Maritime

L'ouvrage de Protection Est est compris dans le Domaine Public Portuaire, dont les limites sont données ci-dessous. Les modifications de l'ouvrage envisagées à ce stade n'amèneront pas à réaliser des travaux au-delà de ces limites. Aucune intervention dans le Domaine Public Maritime n'est envisagée.



FIGURE 55. LOCALISATION DU DOMAINE PORTUAIRE MARITIME AUTOUR DE LA ZONE D'ETUDE (SIG FOURNI PAR LE PORT)

7 CONCLUSION

L'étude de faisabilité réalisée propose quatre solutions qui couvrent l'ensemble des interventions envisageables pour limiter les entrées d'eau dans la zone potentiellement protégée :

- Solution 1 : réhausse de niveau de crête de l'ouvrage ;
- Solution 2 : gestion des eaux de franchissements ;
- Solution 3 : réhausse partielle du niveau de crête et gestion des eaux de franchissements (solution mixte) ;
- Solution 4 : adaptation du bâti (solution de mitigation).

Pour chacune de ces solutions, les principes et objectifs précis ont été présentés, ainsi que leurs coûts, avantages et inconvénients, appuyés par des modélisations numériques des venues d'eau pour 3 périodes de retours (5, 10 et 20 ans).

Ceci a été complété par une analyse coûts-bénéfices simplifiée permettant une justification économique des différents scénarios (projet inférieur à 2 M€).

Après un recensement précis des enjeux, **l'ACB ressort positive pour les solutions de gestion des flux (S2) et d'adaptation (S4), été comme hiver**. Les solutions incluant des reprises de l'ouvrage (S1 et S3) sont positives uniquement en été, et restent dominées par la solution de gestion des flux à l'arrière de l'ouvrage (S2). D'un point de vue rentabilité, la **solution d'adaptation (S4) est largement meilleure**, avec une efficacité comparable.

Bien que la solution S4 ressorte nettement, cette solution ne répond pas à l'objectif de limitation de la zone d'exclusion dans le cadre de l'EDD. De plus, elle est soumise à de nombreuses incertitudes. Il convient de noter qu'une étude de vulnérabilité poussée des bâtiments est nécessaire, et qu'il existe un risque que ces mesures ne soient pas appliquées (batardeaux non installés), et non mises en place en période de tempête (gestion privée).

Une nuance est à apporter au regard d'autres critères (impacts sur les usages, faisabilité technique, impact du changement climatique), et une étude plus poussée dans ce sens serait intéressante pour compléter cette réflexion.