

Mer et côtes



ETUDE DE DANGERS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DU
QUARTIER DU MAURET SUR LA COMMUNE
D'ANDERNOS-LES-BAINS

Etude de dangers



Rapport n° : 19f-202-RS-3

Révision n° : E

Date : 25/10/2021

Votre contact :

Thibault CARLIER

carlier@isl.fr

Rapport

ISL Ingénierie SAS - SUD-OUEST
15 rue du Maréchal Harispe
64500 - Saint-Jean de Luz
FRANCE
Tel. : +33.5.59.85.14.55
Fax : +33.5.59.85.33.16

www.isl.fr

ISL
Ingénierie

Visa

Document verrouillé du 25/10/2021.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	01/12/2020	TCA	TCA	JSA	Première émission du document
B	01/12/2020	TCA	TCA	JSA	Prise en compte des commentaires du SIBA
C	21/06/2021	TCA	TCA	JSA	Prise en compte des commentaires DREAL D21-00236AM/LM
D	13/07/2021	TCA	TCA	TCA	Modifications et compléments mineurs SIBA
E	25/10/2021	TCA	TCA	TCA	Modification mineure et changement logo

JSA : SAVATIER Jérémy

TCA : CARLIER Thibault

Rapport ISL
19f-202-RS-3
Revision E

<http://www.isl.fr/r.php?c=190678>



SOMMAIRE

RESUME NON TECHNIQUE	1
DOCUMENT A : PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	9
1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	9
1.1 IDENTIFICATION DU GESTIONNAIRE	9
1.2 IDENTIFICATION DE L'ORGANISME AGREE	9
1.3 RAPPEL DES AUTORISATIONS EXISTANTES EN LIEN AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT	10
1.4 AMENAGEMENT HYDRAULIQUE COMPLETANT LA PROTECTION DE LA ZONE PROTEGEE	10
2 OBJET DE L'ETUDE	11
2.1 DESCRIPTIF DU CADRE DE L'ETUDE DE DANGERS	11
2.2 LISTE DES COMMUNES CONCERNEES PAR LA ZONE PROTEGEE	11
2.3 LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE	11
2.4 LOCALISATION EN PLAN ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES	12
3 DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE, DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, DE SON ENVIRONNEMENT ET DE SES FONCTIONS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS	14
3.1 ZONE PROTEGEE	14
3.2 DESCRIPTION DES CONDITIONS NATURELLES POUVANT CONDUIRE A DES CRUES OU DES TEMPETES ET DES CONDITIONS DE FONDATION DES OUVRAGES ET DES SOLlicitATIONS S'EXERCANT SUR CES FONDATIONS	16
3.2.1 DESCRIPTION DES PRINCIPAUX FACTEURS NATURELS DETERMINANT LES RISQUES D'INONDATION OU DE SUBMERSION	16
3.2.2 REFERENCES SCIENTIFIQUES QUI PERMETTENT DE DECRIRE CES FACTEURS ET LEUR EVOLUTION PREVISIBLE	18
3.2.3 DONNEES HISTORIQUES ESSENTIELLES CONNUES EXPLIQUANT L'ANALYSE SCIENTIFIQUE DE CES FACTEURS	18

3.2.4	SYNTHESE DE L'ETUDE GEOLOGIQUE _____	19
3.3	DESCRIPTION DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES _____	19
3.3.1	IDENTIFICATION DE LA CELLULE HYDRO-SEDIMENTAIRE MARITIME _____	19
3.3.2	PLAN D'ENSEMBLE LOCALISANT ET IDENTIFIANT LES DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	19
3.3.3	LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	20
3.3.4	PROFILS EN LONG _____	22
3.4	ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT__	23
3.4.1	DONNEES HISTORIQUES ESSENTIELLES CONNUES SUR LE COMPORTEMENT STRUCTUREL _____	23
3.4.2	DESCRIPTION ET INDICATION DE LA FONCTION STRUCTURELLE DE CHAQUE COMPOSANT DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET PRESENTATION DU FONCTIONNEMENT D'ENSEMBLE DU SYSTEME _____	24
3.4.3	PRESENTATION DU NIVEAU DE PROTECTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT_____	25
3.4.4	PRESENTATION DES SITUATIONS EN CAS DE DEPASSEMENT DES PERFORMANCES DU SYSTEME _____	25
3.4.5	DESCRIPTION ET EVALUATION DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE _____	26

DOCUMENT B : ANALYSE DES RISQUES ET JUSTIFICATION DES PERFORMANCES _____ 28

4 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS _____ 28

4.1	PREAMBULE _____	28
4.1.1	DEFINITION DES ALEAS D'ORIGINE MARITIME _____	28
4.1.2	PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE_____	30
4.1.3	DONNEES DISPONIBLES _____	31
4.2	ANALYSE DE L'ALEA A L'ECHELLE REGIONALE _____	32
4.2.1	LOCALISATION D'ENSEMBLE _____	32
4.2.1.1	Bassin d'Arcachon _____	32
4.2.1.2	Andernos-les-Bains _____	34
4.2.2	LES NIVEAUX DE REFERENCE _____	34
4.2.2.1	La marée astronomique _____	34
4.2.2.2	Les niveaux marins extrêmes _____	35
4.2.3	LES CONDITIONS ATMOSPHERIQUES GENERANT DE LA HOULE _____	37
4.2.3.1	Régime des vents _____	37

4.2.3.2	Conditions de houle	38
4.3	ANALYSE DE L'ALEA DANS LE BASSIN D'ARCACHON	40
4.3.1	NIVEAUX MARINS ET SURCOTES	40
4.3.2	CONDITIONS DE COURANT	41
4.3.3	PROPAGATION AU RIVAGE	42
4.3.3.1	Détermination de l'évènement naturel de référence (centennal) au large	42
4.3.3.2	Détermination du niveau marin de référence (centennal) au rivage	44
4.3.3.3	Calcul de la surcote liée aux vagues (set-up) à partir du modèle SWAN	44
4.3.3.4	Calcul du niveau d'eau au rivage pour l'évènement de référence (centennal)	44
4.3.3.5	Calcul du clapot à l'intérieur du bassin	46
4.3.4	SYNTHESE SUR L'AGITATION DU PLAN D'EAU POUR LES EVENEMENTS EXTREMES	46
4.4	EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS	48
4.5	TRANSPORTS SEDIMENTAIRES	48
4.6	IMPACTS COMBINES DES NIVEAUX MARINS, DE LA HOULE, DES VAGUES, DES DEPRESSIONS ATMOSPHERIQUES ET DU VENT, SUR LE LITTORAL	49
4.7	SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES	51
4.7.1	ALEA SISMIQUE	51
4.7.1.1	Aperçu local	51
4.7.1.2	Aspect réglementaire	52
4.7.2	STRUCTURE GEOLOGIQUE D'ENSEMBLE	53
5	DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	55
5.1	DESCRIPTION GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	56
5.1.1	NOTION DE TRONÇON HOMOGENES	56
5.1.2	TRONÇON T1	57
5.1.2.1	Ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	57
5.1.2.2	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	58
5.1.2.3	Ouvrage de protection de 2 nd rang	63
5.1.2.4	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang	64
5.1.2.5	Etat de l'ouvrage	67
5.1.3	TRONÇON T2	69
5.1.3.1	Ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	69
5.1.3.2	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	70
5.1.3.3	Ouvrage de protection de 2 nd rang	71
5.1.3.4	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang	72
5.1.3.5	Etat de l'ouvrage	74

5.1.4	TRONÇON T3 _____	75
5.1.4.1	Ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	75
5.1.4.2	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	76
5.1.4.3	Ouvrage de protection de 2 nd rang _____	79
5.1.4.4	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang _____	79
5.1.4.5	Etat de l'ouvrage _____	81
5.1.5	TRONÇON T4 _____	82
5.1.5.1	Ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	82
5.1.5.2	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	83
5.1.5.3	Ouvrage de protection de 2 nd rang _____	90
5.1.5.4	Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang _____	90
5.1.5.5	Etat de l'ouvrage _____	94
5.1.6	FERMETURE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET OUVRAGES SINGULIERS _____	97
5.2	OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER _____	100
5.3	DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	100
6	RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE ET LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	102
6.1	RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	102
6.1.1	TEMPETE AMELIE – 2 ET 3 NOVEMBRE 2019 _____	102
6.1.2	TEMPETE SEBASTIEN – 26 ET 27 NOVEMBRE 2019 _____	105
6.2	EXEMPLES CONNUS D'INCIDENTS ET D'ACCIDENTS SURVENUS SUR DES OUVRAGES DE MEME TYPE _____	109
6.2.1	ENSEIGNEMENT GENERAL SUR LES SUBMERSIONS MARINES _____	109
6.2.2	RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES MODES DE RUPTURES DES DIGUES MARITIMES _____	111
7	DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES _____	114
7.1	OBJET DU CHAPITRE DE DIAGNOSTIC APPROFONDI _____	114
7.2	DESCRIPTON GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	114
7.3	DONNEES DISPONIBLES SUR LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	114
7.3.1	TOPOGRAPHIE _____	114
7.3.2	STRUCTURE _____	115
7.3.2.1	Ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	115
7.3.2.2	Ouvrage de protection de 2 nd rang _____	120
7.3.3	GEOTECHNIQUE _____	126

7.3.3.1	Contexte géologique _____	126
7.3.3.2	Reconnaissances géotechniques _____	127
7.3.4	OUVRAGES TRAVERSANTS _____	132
7.3.4.1	Barbacanes _____	132
7.3.4.2	Réseau d'eau pluviale de la Ville _____	132
7.4	ANALYSE ET CALCULS PRELIMINAIRES A LA VERIFICATION DE LA TENUE DES OUVRAGES _____	135
7.5	VERIFICATION DE LA TENUE DES OUVRAGES _____	135
7.5.1	RETOUR D'EXPERIENCE DES EVENEMENTS HISTORIQUES _____	135
7.5.2	METHODOLOGIE _____	135
7.5.2.1	Analyse fonctionnelle des ouvrages _____	135
7.5.2.2	Arbre de défaillance et approche multi-scénario _____	135
7.5.2.3	Mécanismes principaux de défaillance identifiés _____	137
7.5.3	CARACTERISATION DU RISQUE DE DEFAILLANCE _____	142
7.5.3.1	Etape 0 : Sollicitations hydrauliques et évènements retenus pour l'étude _____	142
7.5.3.2	Etape 1 : Mode de défaillance et scénarios contrastés d'occurrence plausible _____	146
7.5.3.3	Etape 2 : Evaluation des risques de défaillance _____	148
7.6	DEFINITION DU NIVEAU DE PROTECTION _____	162
8	ETUDES DE RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE _____	165
8.1	MODELE HYDRAULIQUE _____	165
8.1.1	HYPOTHESES GENERALES DE MODELISATION _____	165
8.1.2	DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES POUR LA CONSTRUCTION DU MNT _____	165
8.1.3	EMPRISE DE LA MODELISATION _____	165
8.1.4	OUVRAGES _____	166
8.1.5	CONDITION LIMITE AVAL _____	166
8.1.6	DEBITS DE FRANCHISSEMENT SUR LES OUVRAGES DE 1 ^{ER} RANG _____	167
8.1.7	RUGOSITE _____	167
8.1.8	MAILLAGE _____	168
8.2	DEFINITION DE LA DANGEROUSITE DES VENUES D'EAU _____	169
8.3	SCENARIO 0 : VENUES D'EAU SANS OUVRAGES DE PROTECTION ET DEFINITION DE LA ZONE PROTEGEE _____	169
8.3.1	HYPOTHESES GENERALES _____	169
8.3.2	RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE _____	171

8.4	SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	172
8.4.1	HYPOTHESES GENERALES _____	172
8.4.2	RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE _____	173
8.5	SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	176
8.5.1	HYPOTHESES GENERALES _____	176
8.5.2	RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE _____	177
8.6	SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT _____	178
8.6.1	NIVEAU DE DANGER _____	178
8.6.2	HYPOTHESES GENERALES _____	178
8.6.3	RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE _____	179
9	PRESENTATION DE L'ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS. ADEQUATION DES MOYENS MIS EN PLACE POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN COURANT AVEC L'OBJECTIF DE PROTECTION GARANTI _____	181
9.1	ORGANISATION DU GESTIONNAIRE CONCERNANT LES ASPECTS LIES AUX PERFORMANCES DU SYSTEME ET A LA SECURITE _____	181
9.2	CONSIGNES ECRITES _____	181
9.3	DEFINITION DES PRINCIPALES PROCEDURES QUI ENCADRENT L'IDENTIFICATION ET L'EVALUATION DES PRINCIPAUX RISQUES, LA SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE EN TOUTES CIRCONSTANCES, LA GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE ET LA GESTION DU RETOUR D'EXPERIENCE _____	183
9.4	MOYENS D'INFORMATION SUR LES TEMPETES _____	183
9.5	PROCEDURES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION AVEC LES AUTORITES COMPETENTES POUR LA MISE EN SECURITE DES POPULATIONS EN PERIODE DE TEMPETE _____	184
9.6	DISPOSITIONS PRISES PAR LE RESPONSABLE POUR S'ASSURER EN PERMANENCE DU RESPECT DES PROCEDURES, AUDITER ET REVISER SON ORGANISATION DE GESTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	184
9.7	ROLE(S) DE BARRIERE DE SECURITE POUVANT ETRE ASSURE(S) PAR CERTAINS ELEMENTS DE L'ORGANISATION DU RESPONSABLE ET DE SA DEMARCHE DE PREVENTION DES ACCIDENTS _____	184

9.BIS RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE QUI REALISE L'ETUDE DE DANGERS	184
9.8 AMELIORATION DE LA CONNAISSANCE DE L'ALEA	184
9.9 AMELIORATION DE LA CONNAISSANCE DES OUVRAGES	184
9.9.1 RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES DE FONDATION	184
9.9.2 RECONNAISSANCES DU GENIE CIVIL DE L'OUVRAGE DE PROTECTION DE 2 ND RANG	185
9.9.3 ETUDE DE STABILITE DE L'OUVRAGE DE 2 ND RANG	185
10 CARTOGRAPHIE	186
10.1 CARTE ADMINISTRATIVE	186
10.2 CARTE DES VENUES D'EAU	188

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE 2 CONSIGNES ECRITES

**ANNEXE 3 INVENTAIRE DES EVENEMENTS HISTORIQUES SUR LE
BASSIN D'ARCACHON DEPUIS LE 18^{EME} SIECLE**

ANNEXE 4 LOCALISATION DES PORTES ET DES BATARDEAUX

**ANNEXE 5 PROFIL EN LONG ET PROFILS EN TRAVERS DES
DIFFERENTS TRONÇONS**

**ANNEXE 6 ANALYSE ET CALCULS PRELIMINAIRE A LA
VERIFICATION DE LA TENUE DES OUVRAGES**

ANNEXE 7 CARTE N°0 : CARTE ADMINISTRATIVE

ANNEXE 8 CARTE N°1 : DEFINITION DE LA ZONE PROTEGEE

**ANNEXE 9 CARTE N°2 : SCENARIO 1 – FONCTIONNEMENT
NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT**

ANNEXE 10 CARTE N°3 : SCENARIO 2 – DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

ANNEXE 11 CARTE N°4 : SCENARIO 3 -DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : illustration du système d'endiguement _____	2
Figure 2 : découpage en tronçons homogènes du système d'endiguement _____	13
Figure 3 : localisation des portes et batardeaux (source : SIBA) _____	14
Figure 4 : implantation du système d'endiguement d'Andernos-les-Bains dans le périmètre de gestion du SIBA _____	15
Figure 5 : schéma de principe des niveaux marins « statiques » et « dynamiques » (Pedreros et al., 2010) _____	17
Figure 6 : synthèse des processus contribuant au niveau de la mer lors d'une tempête [6] ____	17
Figure 7 : logigramme général sur la caractérisation des aléas maritimes appliqués aux digues (source : ISL) _____	18
Figure 8 : localisation du système d'endiguement _____	19
Figure 9 : localisation des différents tronçons sur le système d'endiguement _____	20
Figure 10 : schéma de la configuration du système d'endiguement (extrait de l'ANNEXE 5) ____	20
Figure 11 : batardeau et porte sur les ouvrages de protection du système d'endiguement (source : SIBA) _____	21
Figure 12 : avaloir entre les deux ouvrages de protection et barbacane à travers l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	21
Figure 13 : réseau d'eaux pluviales de la Ville (et exutoires) et détail des extrémités des exutoires (côté Bassin d'Arcachon) (source : SIBA) _____	22
Figure 14 : schéma de fonctionnement du système d'endiguement (source : ISL) _____	24
Figure 15 : répartition des deux casiers de stockage entre l'ouvrage de 1 ^{er} rang et l'ouvrage de 2 nd rang _____	25
Figure 16 : schéma de principe des niveaux marins « statiques » et « dynamiques » (Pedredos et al., 2010) _____	29
Figure 17 : synthèse des processus contribuant au niveau de la mer lors d'une tempête [6] ____	29
Figure 18 : logigramme général sur la caractérisation des aléas maritimes appliqués aux digues (source : ISL) _____	30
Figure 19 : projection de l'élévation moyenne mondiale du niveau de la mer jusqu'en 2300 (source : http://refmar.shom.fr/fr/sea-level-news-2019/t4/rapport-special-du-giec-sur-l-ocean-et-la-cryosphere-dans-le-contexte-du-changement-climatique) _____	31
Figure 20 : carte de localisation géographique du Bassin d'Arcachon [7] _____	33

Figure 21 : localisation du secteur d'étude sur le Bassin d'Arcachon [3]	34
Figure 22 : niveaux extrêmes de pleine mer [13]	36
Figure 23: rose des vents au sémaphore du Cap-Ferret [7]	38
Figure 24 : localisation de la bouée CANDHIS au large du Cap-Ferret (SHOM)	39
Figure 25 : répartition des hauteurs significatives des vagues en fonction des directions de propagation des vagues – Régimes annuel (en haut), estival (à gauche) et hivernal (à droite) – Mesures du 28/08/2001 au 31/01/2019 à la bouée CANDHIS Cap Ferret, (CEREMA, SHOM, Université de Bordeaux, Fiche des états de mer, Janvier 2020)	40
Figure 26 : propagation de la surcote liée à la houle (wave setup) à l'intérieur du Bassin d'Arcachon lors des tempêtes Klaus (à gauche) et Xynthia (à droite) [4]	41
Figure 27 : stratégies de modélisation [7]	42
Figure 28 : graphe bivarié représentant les directions pics des vagues en fonction des hauteurs significatives de vagues [6]	43
Figure 29 : courbes d'iso-période de dépassement conjoint pour Hs et SWL [6]	43
Figure 30 : combinaisons sélectionnées pour les calculs de propagation [6]	43
Figure 31 : valeurs des surcotes liées aux vagues calculées par SWAN [6]	44
Figure 32 : position des points d'extraction de niveau d'eau propagé par le modèle MARS-2D [6]	45
Figure 33 : niveaux marins extrêmes au rivage atteints à Andernos lors d'un événement centennal (13 combinaisons) propagé depuis le large avec des vents orientés de secteur ouest (270°N) [6]	46
Figure 34 : écarts de niveaux d'eau entre les 2 configurations de vent pour la combinaison centennale n°8 (BRGM/ RP-61408-FR)	46
Figure 35 : cartes des hauteurs significatives des vagues (en haut) et des surcotes liées au déferlement des vagues (en bas) à l'échelle du Bassin d'Arcachon à marée haute	47
Figure 36 : comparaison de la bathymétrie entre 1864 et 1993 ([20])	48
Figure 37 : dynamique hydro-sédimentaire du Bassin d'Arcachon ([19])	49
Figure 38 : niveaux connus à Andernos-les-Bains et retenus pour la présente EDD	51
Figure 39 : sismicité instrumentale de la France métropolitaine 1962-2018 (source: www.franceseisme.fr).	52
Figure 40 : règles de l'art relatives aux séismes pour les digues	53
Figure 41 : contexte géologique du secteur échelle 1/50 000 (source : Infoterre)	54
Figure 42 : carte de l'aléa « retrait-gonflement » des sols sur la commune d'Andernos les Bains (source : https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/argiles/carte#/dpt/33)	54
Figure 43 : localisation du SE	55
Figure 44 : découpage en tronçons homogènes du SE	56
Figure 45 : extrémité Est du tronçon n°1 (05/09/2019 ; source : ISL)	57
Figure 46 : ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)	57
Figure 47 : parapet de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)	58
Figure 48 : escalier ALB – BAT1 (05/09/2019 ; source : ISL)	58

Figure 49 : escalier ALB - BAT1 avec batardeau (source : SIBA)	59
Figure 50 : escalier ALB – BAT2 (05/09/2019 ; source : ISL)	59
Figure 51 : escalier ALB - BAT2 avec batardeau (source : SIBA)	59
Figure 52 : escalier ALB - BAT3 avec batardeau (source : SIBA)	60
Figure 53 : cale ALB – BAT4 (05/09/2019 ; source : ISL)	60
Figure 54 : escalier ALB – BAT5 (05/09/2019 ; source : ISL)	60
Figure 55 : escalier ALB - BAT5 avec batardeau (source : SIBA)	61
Figure 56 : localisation des barbacanes du tronçon n°1 (source : SIBA)	61
Figure 57 : exemple de barbacane	62
Figure 58 : exemples de clapets anti-retour sur l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)	62
Figure 59 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°1 (source : SIBA)	63
Figure 60 : ouvrage de protection de 2 nd rang (05/09/2019 ; source : ISL)	63
Figure 61 : ouvrage de protection de 2 nd rang (05/09/2019 ; source : ISL)	64
Figure 62 : ouvrage de protection de 2 nd rang en amont immédiat des résidences (05/09/2019 ; source : ISL)	64
Figure 63 : ALB - PORT1 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	65
Figure 64 : ALB-PORT1 avec vantaux fermés (source : SIBA)	65
Figure 65 : ALB – PORT2 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	65
Figure 66 : ALB-PORT2 avec vantaux fermés (source : SIBA)	66
Figure 67 : ALB - PORT3 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	66
Figure 68 : ALB-PORT3 avec vantaux fermés (source : SIBA)	66
Figure 69 : végétation arbustive devant l'ouvrage de protection de 2 nd rang	67
Figure 70 : arbres devant l'ouvrage de protection de 2 nd rang	67
Figure 71 : ensablement de la promenade suite à la tempête Amelie (04/11/2019 - source : SIBA)	68
Figure 72 : défaut sur joint de l'ouvrage de protection de 2 nd rang	68
Figure 73 : ensablement d'un clapet sur l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang et fissuration du perré	69
Figure 74 : ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)	70
Figure 75 : cale C3 (05/09/2019 ; source : ISL)	70
Figure 76 : localisation des barbacanes du tronçon 2 (source : SIBA)	71
Figure 77 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°2 (source : SIBA)	71
Figure 78 : muret de protection côté est du tronçon n°2 (05/09/2019 ; source : ISL)	72
Figure 79 : muret de protection côté ouest du tronçon n°2 (05/09/2019 ; source : ISL)	72
Figure 80 : ALB – PORT4 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	73
Figure 81 : ALB – PORT4 avec vantaux fermés (source : SIBA)	73

Figure 82 : ALB – PORT5 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	74
Figure 83 : ALB – PORT5 avec vantaux fermés (source : SIBA)	74
Figure 84 : état du parement amont de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	75
Figure 85 : fissuration de la poutre de couronnement de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	75
Figure 86 : ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)	76
Figure 87 : ALB – BAT6 (05/09/2019 ; source : ISL)	76
Figure 88 : ALB – BAT6 avec batardeau (source : SIBA)	77
Figure 89 : ALB – BAT7 (source : SIBA)	77
Figure 90 : ALB – BAT8 (05/09/2019 ; source : ISL)	77
Figure 91 : ALB - BAT8 avec batardeau (source : SIBA)	78
Figure 92 : localisation des barbacanes sur le tronçon n°3 (source : SIBA)	78
Figure 93 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°3 (source : SIBA)	79
Figure 94 : ouvrage de protection de 2 nd rang du tronçon n°3 (05/09/2019 ; source : ISL)	79
Figure 95 : ALB – PORT6 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	80
Figure 96 : ALB - PORT6 avec vantaux fermés (source : SIBA)	80
Figure 97 : ALB – PORT7 avec vantaux fermés (source : SIBA)	80
Figure 98 : végétation aux abords de l'ouvrage de protection de 2 nd rang	81
Figure 99 : défaut sur joint de l'ouvrage de protection de 2 nd rang	81
Figure 100 : état du perré de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	82
Figure 101 : parapet de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°4 (05/09/2019 ; source : ISL)	82
Figure 102 : ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°4 (05/09/2019 ; source : ISL)	83
Figure 103 : ALB - BAT9 avec batardeau (source : SIBA)	84
Figure 104 : ALB – BAT10 (05/09/2019 ; source : ISL)	84
Figure 105 : ALB - BAT10 avec batardeau (source : SIBA)	85
Figure 106 : ALB – BAT11 (05/09/2019 ; source : ISL)	85
Figure 107 : ALB - BAT11 avec batardeau (source : SIBA)	85
Figure 108 : ALB – BAT12 (05/09/2019 ; source : ISL)	86
Figure 109 : ALB - BAT12 avec batardeau (source : SIBA)	86
Figure 110 : ALB - BAT13 – ouvrage de gauche (05/09/2019 ; source : ISL)	86
Figure 111 : ALB - BAT13 avec batardeau – ouvrage de gauche (source : SIBA)	87
Figure 112 : exemple de batardeau installé sur un escalier	87
Figure 113 : localisation des barbacanes tronçon n°4 (source : SIBA)	88
Figure 114 : exemple de barbacane (05/09/2019 ; source : ISL)	88
Figure 115 : barbacanes avec clapets anti-retour (05/09/2019 ; source : ISL)	89
Figure 116 : clapet anti-retour sur le parapet (05/09/2019 ; source : ISL)	89

Figure 117 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°4 (source : SIBA)	89
Figure 118 : ouvrage de protection de 2 nd rang (05/09/2019 ; source : ISL)	90
Figure 119 : ALB – PORT8 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	90
Figure 120 : ALB – PORT8 avec vantaux fermés (source : SIBA)	91
Figure 121 : ALB – PORT9 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	91
Figure 122 : ALB – PORT9 avec vantaux fermés (source : SIBA)	91
Figure 123 : ALB – PORT10 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	92
Figure 124 : ALB – PORT10 avec vantaux fermés (source : SIBA)	92
Figure 125 : ALB – PORT11 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	92
Figure 126 : ALB – PORT11 avec vantaux fermés (source : SIBA)	93
Figure 127 : ALB – PORT12 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)	93
Figure 128 : ALB – PORT12 avec vantaux fermés (source : SIBA)	93
Figure 129 : grille dans le bâtiment de la Piscine qui assure la continuité de la protection avec l'ouvrage de protection de 2 nd rang	94
Figure 130 : fissuration du béton armé de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	94
Figure 131 : aciers apparents et éclatement du béton sous l'effet de la corrosion de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	95
Figure 132 : acier apparent et éclatement du béton de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	95
Figure 133 : état du parement amont de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang	95
Figure 134 : fissuration du perré maçonné de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (source : SIBA)	96
Figure 135 : ensablement post-tempête d'un clapet de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (source : SIBA)	96
Figure 136 : défaut sur joint de l'ouvrage de protection de 2 nd rang	97
Figure 137 : courbes de niveaux (m NGF) à la zone de fermeture nord du système d'endiguement (Source : LIDAR)	98
Figure 138 : courbes de niveaux (m NGF) à la zone de fermeture sud du système d'endiguement (Source : LIDAR)	99
Figure 139 : vue aérienne des rejets pluviaux	100
Figure 140 : cartographie issue du TRI à proximité du système d'endiguement (source : DDTM 33)	101
Figure 141 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°1	102
Figure 142 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°2	103
Figure 143 : post tempête Amélie à la jonction entre le tronçon n°2 et le tronçon n°3	103
Figure 144 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°3	103
Figure 145 : post tempête Amélie à la jonction entre le tronçon n°3 et le tronçon n°4	104
Figure 146 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°4	104
Figure 147 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°4	104
Figure 148 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°4	105

Figure 149 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°1 du SE _____	106
Figure 150 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°1 du SE _____	106
Figure 151 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°1 du SE _____	106
Figure 152 : tempête Sébastien entre le tronçon n°1 et le tronçon n°2 du SE _____	107
Figure 153 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°2 du SE _____	107
Figure 154 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°2 du SE _____	107
Figure 155 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°4 du SE _____	108
Figure 156 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°4 du SE _____	108
Figure 157 : extrait du LIDAR (source : SIBA) _____	114
Figure 158 : levé topographique de terrain réalisé en 2011 (source : Commune d'Andernos-les-Bains) _____	115
Figure 159 : coupe-type de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang (source : DDT – 1977 – étape de conception de l'aménagement non connue) _____	115
Figure 160 : vue en plan de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°2 (source : DDT – 1958/1960 - étape de conception de l'aménagement non connue) _____	116
Figure 161 : coupe-type de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°2 (source : DDT – 1958/1960 – plan d'exécution) _____	116
Figure 162 : détail de la jonction entre longrine et para-fouille (source : DDT – 1958/1960 – plan d'exécution) _____	117
Figure 163 : détail du couronnement du perré maçonné (source : DDT – 1958/1960 – plan d'exécution) _____	117
Figure 164 : coupe-type sur escaliers de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°2 (source : DDT – 1958/1960 – plan d'exécution) _____	118
Figure 165 : coupe-type sur cale de mise à l'eau de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°2 (source : DDT – 1958/1960 – plan d'exécution) _____	118
Figure 166 : coupe-type de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°4 (source : DDT – 1971 - étape de conception de l'aménagement non connue) _____	119
Figure 167 : détail d'exécution du parapet de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°4 (source : DDT – 1971 – plan d'exécution) _____	120
Figure 168 : construction de l'ouvrage de protection de 2 nd rang (19/11/2010 ; source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA) _____	121
Figure 169 : construction de l'ouvrage de protection de 2 nd rang (19/11/2010 ; source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA) _____	121
Figure 170 : extrait de la note de calcul de l'ouvrage de protection de 2 nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA) _____	122
Figure 171 : implantation des reconnaissances sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang _____	123
Figure 172 : résultats des reconnaissances réalisées par le SIBA sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang (source : SIBA) _____	124
Figure 173 : extrait des précisions de l'entreprise en charge des travaux sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA) _____	125

Figure 174 : extrait des précisions de l'entreprise en charge des travaux sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)	126
Figure 175 : extrait des précisions de l'entreprise en charge des travaux sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)	126
Figure 176 : carte géologique au 1/50 000 (source : BRGM) – vue générale	127
Figure 177 : implantations des sondages et résultats du géoradar sur la partie Nord-Ouest du SE	128
Figure 178 : implantations des sondages et résultats du géoradar sur la partie centrale du SE	128
Figure 179 : implantations des sondages et résultats du géoradar sur la partie Sud-Est du SE	129
Figure 180 : résultats des sondages pénétrométriques sur le SE	129
Figure 181 : résultats des sondages à la tarière hélicoïdale sur le SE	130
Figure 182 : log du sondage BSS001ZCZN (source : BRGM)	131
Figure 183 : pose d'avaloirs côté terre	132
Figure 184 : pose d'exutoires côté mer	132
Figure 185 : profil en long et coupes du réseau d'eau pluviale au niveau du boulevard de l'Océan (source : SIBA)	133
Figure 186 : détail des regards côté mer du réseau d'eau pluviale de la Ville (source : SIBA)	133
Figure 187 : fiche technique des clapets installés sur les exutoires du réseau d'eau pluviale de la Ville (source : SIBA)	134
Figure 188 : vue en plan du fonctionnement du réseau d'eau pluviale de la Ville	134
Figure 189 : mécanisme de rupture par surverse [17]	137
Figure 190 : rupture de digue par surverse du Vidourle à Marsillargues lors de la crue de septembre 2002 (source : mairie de Marsillargues)	138
Figure 191 : mécanisme de rupture par franchissements de paquet de mer [17]	138
Figure 192 : mécanisme de rupture par érosion externe [17]	139
Figure 193 : mécanisme de rupture par érosion interne [17]	139
Figure 194 : digues de l'Agly – Erosion de talus et débouché du fontis (source : ISL)	140
Figure 195 : renard le long d'une conduite sur la digue de Cuxac-d'Aude lors de la crue de novembre 1999 (source : IRSTEA), ayant occasionné un écoulement de plusieurs centaines de litres secondes à travers la digue - brèche en cours de formation	140
Figure 196 : fontis dans la digue de la station INRA de Saint Pée sur Nivelles (source : ISL)	140
Figure 197 : mécanisme de rupture par instabilité d'ensemble (source : [17])	141
Figure 198 : niveaux à Andernos-les-Bains et périodes de retour	142
Figure 199 : estimation des volumes franchissants (en m ³) l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes non fonctionnelles	144
Figure 200 : estimation des volumes franchissants (en m ³) l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes non fonctionnelles	144
Figure 201 : estimation des volumes franchissants (en m ³) l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes fonctionnelles	145

Figure 202 : estimation des volumes franchissants (en m ³) l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes fonctionnelles _____	145
Figure 203 : modes de rupture considérés _____	147
Figure 204 : carte du zonage sismique de la France (source : geoportail) _____	148
Figure 205 : extrait de [18] _____	148
Figure 206 : niveaux de sollicitation sur l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	159
Figure 207 : grille de vraisemblance de la sollicitation de l'ouvrage de protection de 2 nd rang intégrant la probabilité de défaillance de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang _____	160
Figure 208 : emprise de la modélisation avec la condition limite aval _____	166
Figure 209 : marégramme pour le niveau de protection (3,20 m NGF) et pour le niveau de danger (4,00 m NGF) _____	167
Figure 210 : extrait du maillage de la modélisation 2D _____	168
Figure 211 : carte n°1 – définition de la zone protégée et des venues d'eau en l'absence de système d'endiguement pour le niveau de protection _____	171
Figure 212 : carte n°2 – scénario 1 fonctionnement nominal du système d'endiguement. _____	173
Figure 213 : cartographie issue du TRI à proximité du système d'endiguement (source : DDTM 33) _____	175
Figure 214 : carte n°3 - scénario 2 défaillance fonctionnelle du système d'endiguement _____	177
Figure 215 : carte n°3 – défaillance structurelle du système d'endiguement _____	179
Figure 216 : carte n°0 – carte administrative _____	187

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : définition du cadre de l'étude de dangers	11
Tableau 2 : rappels des niveaux marins de référence à Arcachon-Eyrac [12]	35
Tableau 3 : niveaux extrêmes de pleine mer dus à la marée astronomique et à la surcote [13]	35
Tableau 4 : niveaux connus à Andernos-les-Bains et retenus pour la présente EDD	50
Tableau 5 : synthèse des volumes dans les casiers pour le fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection.....	100
Tableau 6 : caractéristiques de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°1	116
Tableau 7 : caractéristiques de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°2.....	118
Tableau 8 : caractéristiques de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°3.....	119
Tableau 9 : caractéristiques de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang du tronçon n°4.....	120
Tableau 10 : probabilité conditionnelle de défaillance	136
Tableau 11 : qualification du risque de défaillance à partir du croisement sollicitations/résistance	136
Tableau 12 : événements retenus pour l'étude des risques de défaillance.....	143
Tableau 13 : relation entre niveau NGF et volume des casiers nord et sud.....	146

Tableau 14 : qualification du risque de défaillance par surverse sur le muret de 2 nd rang	150
Tableau 15 : qualification du risque de défaillance par instabilité du muret de 2 nd rang.....	152
Tableau 16 : qualification du risque de défaillance par érosion interne en fondation du muret de 2 nd rang	154
Tableau 17 : Niveaux minimaux de plage pour chaque tronçon	157
Tableau 18 : qualification du risque de défaillance par instabilité du muret de 1 ^{er} rang	161
Tableau 19 : synthèse de la démarche multi-scénario et évaluation du niveau de protection.....	163
Tableau 20 : jeu de coefficient de Strickler retenue pour le modèle	167
Tableau 21 : caractéristiques des mailles du modèle	168
Tableau 22 : qualification et quantification de la dangerosité des venues d'eau	169
Tableau 23 : synthèse des volumes dans les casiers pour le fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection.....	174

RESUME NON TECHNIQUE

Les ouvrages de protection contre les submersions marines étudiés sont ceux implantés sur le littoral du Bassin d'Arcachon au niveau du quartier du Mauret sur un linéaire de 1 180 m entre la dune du Bety au nord-ouest et le camping de Fontaine Vieille au sud-est.

Un système d'endiguement est associé à une zone protégée :



Le système d'endiguement est géré par le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA).

Description des ouvrages

Les ouvrages sont de plusieurs typologies :

- en front de mer (1^{er} rang / côté Bassin d'Arcachon) : un parement maçonné de géométrie variable surmonté d'un parapet ou non,
- en recul (2nd rang / côté terre) : un muret en béton.



La figure ci-dessous présente cette configuration :

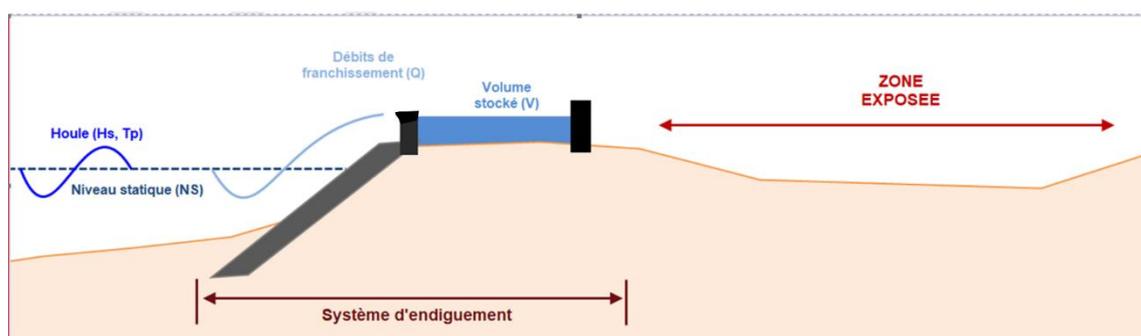


Figure 1 : illustration du système d'endiguement

Les ouvrages de protection de 1^{er} rang sont les plus anciens. Ils ont été construits entre 1958 et 1977. Les ouvrages de protection de 2nd rang sont plus récents et ont été construits fin 2010 / début 2011 suite à la tempête Xynthia.

Les ouvrages sont équipés de plusieurs ouvrages de régulation des eaux : portes et batardeaux, barbacanes, rejets d'eaux pluviales de la commune, ouvrages divers.

La zone protégée

La zone protégée correspond à la zone soustraite à l'inondation pour la submersion marine d'un évènement correspondant au niveau de protection : un niveau statique dans le Bassin d'Arcachon de 3,20 m NGF combiné à une houle de 50 cm.

La population totale en zone protégée est estimée à environ 897 personnes dont :

- 232 personnes en population permanente (habitation principale),
- 665 personnes en population temporaire (habitation secondaire, appartements de vacances et chambres hôtelières).

L'organisation mise en place

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon a mis en place des consignes de gestion du système d'endiguement qui est représenté un outil opérationnel pour définir l'organisation afin :

- de surveiller, entretenir et maintenir les ouvrages de protection,
- de prévenir les populations en cas de risque de rupture des ouvrages de protection et procéder aux évacuations préventives le cas échéant.

Le retour d'expérience des évènements passés

Depuis la construction de l'ouvrage de 2nd rang après la tempête Xynthia, le système d'endiguement a été sollicité à minima à deux reprises à l'occasion des tempêtes Amélie (2 et 3 novembre 2019) et Sébastien (26 et 27 novembre 2019).

Lors de ces évènements, le système d'endiguement a parfaitement rempli son rôle de protection contre les submersions marines.

Il est fort probable que le système d'endiguement ait connu d'autres sollicitations antérieurement à ces deux évènements. Les retours de la Commune indiquent néanmoins que le système a toujours fonctionné correctement depuis sa construction.

Le bilan de l'analyse de risque

L'étude de danger a étudié les scénarios susceptibles de provoquer la rupture des ouvrages de protections pour différentes sollicitations et pour différentes modalités d'inondation de la zone protégée :

- Surverse des ouvrages sans rupture,
- Rupture par instabilité,
- Rupture par érosion interne,
- Rupture par érosion externe,
- Défaillances liées aux ouvrages de régulation des eaux : portes et batardeaux, clapets anti-retours.

Les modes de rupture ont été analysés sur les différents tronçons homogènes du système d'endiguement par une approche multi-scénario en confrontant la vraisemblance des sollicitations sur l'ouvrage et la vraisemblance conditionnelle de la capacité de l'ouvrage à résister à ces sollicitations.

Les secteurs les plus sensibles aux phénomènes de submersion sont sur les tronçons 1 et 4 du système d'endiguement :

- entre l'allée des Tamaris et l'allée du Golf,
- au niveau de la piscine municipale devant la rue des Coquelicots.

Niveau de protection et niveau de danger

Le niveau de protection est évalué à une sollicitation maritime de niveau statique 3,20 m NGF dans le Bassin d'Arcachon devant Andernos les Bains combiné à une houle de 50 cm. Lors d'un évènement de ce type, des paquets de mer franchissent l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et l'espace entre les deux ouvrages de protection stocke ces volumes d'eau pendant la pleine mer pour les restituer au Bassin d'Arcachon à marée descendante. Il n'y a aucune venue d'eau dans la zone protégée par un phénomène de submersion marine.

Le niveau de danger correspond à un scénario menant potentiellement à la rupture de l'ouvrage de 2nd rang. Il est évalué à une sollicitation maritime de niveau statique 3,95 m NGF dans le Bassin d'Arcachon devant Andernos les Bains combiné à une houle de 50 cm. La stabilité de l'ouvrage de protection de 2nd rang est alors potentiellement remise en cause sur les secteurs les plus vulnérables évoqués précédemment. Les venues d'eau dans la zone protégée sont potentiellement dangereuses.

Fonctionnement du système d'endiguement

Scénario 1 : fonctionnement nominal du système d'endiguement

Pour un fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection, la zone protégée n'est pas assujettie à de quelconques venues d'eau. Les casiers nord et sud subissent des venues d'eau par franchissement sur l'ouvrage de premier rang. Les volumes franchissant sont donnés ci-dessous :

	Casier nord	Casier sud	Casier nord + sud
Volume (m ³)	175	160	335

Les hauteurs d'eau dans les casiers sont faibles (30 cm au maximum). A noter, que les franchissements sur le tronçon T4 sont très faibles (4,7 m³ sur le tronçon).



Scénario 2 : défaillance fonctionnelle du système d'endiguement

Le scénario 2 considère une situation dans laquelle le système d'endiguement subit un aléa égal au niveau de protection, et une absence totale de tous les batardeaux (défaut de mise en place des batardeaux, par exemple dans le cas d'une tempête précoce).

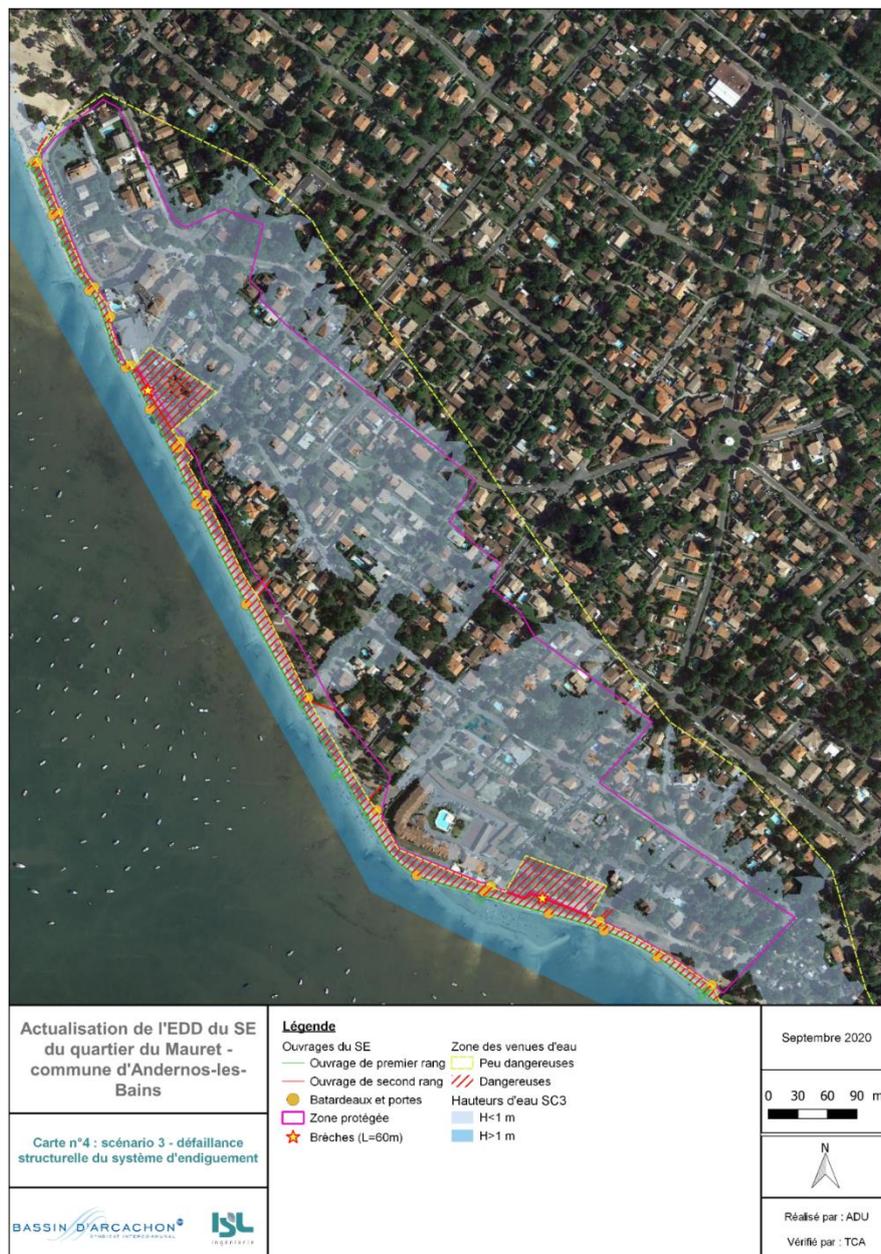
Ce scénario implique des venues d'eau en zone protégée, de la manière suivante :

- Des venues d'eau peu dangereuses, ponctuellement au droit des ouvertures des batardeaux/portes ;
- Une zone de venues d'eau peu dangereuses à l'extrémité nord du tronçon T4 (point bas et 3 batardeaux proches) néanmoins l'emprise reste faible (volume totale de 120 m³ pour une hauteur maximale de 23 cm).



Scénario 3 : défaillance structurelle du système d'endiguement

Le scénario 3 considère une situation dans laquelle le système d'endiguement subit un aléa égal au niveau de danger (risque de rupture d'au moins un ouvrage supérieur à 50%) et une rupture de l'ouvrage de 2nd rang sur les sections (2 x 60m) les plus défavorables lorsque les casiers sont pleins.



Ce scénario implique des venues d'eau importantes en zone protégée et en dehors, de la manière suivante :

- Des venues d'eau dangereuses au droit des brèches (dissipation d'énergie importante) ;
- Des venues d'eau peu dangereuses sur une grande partie de la zone protégée et également en dehors. La surface est importante, les hauteurs varient entre 10 et 75 cm pour les points les plus bas.
- Très ponctuellement, il est possible d'atteindre 0,9 à 1,0 m, ce sont des venues d'eau considérées comme dangereuses compte tenu des incertitudes.
- Les casiers sont pleins et les franchissements importants, les hauteurs d'eau y sont importantes – classe dangereuse (casiers hors zone protégée).

Les mesures de réduction des risques

Les mesures de réduction des risques préconisées comprennent :

- Des études complémentaires :
 - Avec des reconnaissances sur les ouvrages : reconnaissances géotechniques sur les sols de fondation des ouvrages, identification des géométries et des matériaux constitutifs des ouvrages principaux et des ouvrages annexes,
 - Analyse détaillée de la stabilité des ouvrages selon les résultats des reconnaissances complémentaires.
- En fonction des résultats de ces études complémentaires :
 - Le niveau de protection pourrait éventuellement être ré-évalué à la hausse sans travaux,
 - Des travaux de confortement pourraient être envisagés pour rehausser le niveau de protection.

DOCUMENT A : PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

1.1 IDENTIFICATION DU GESTIONNAIRE

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), en tant que titulaire de la compétence GEMAPI par transfert, est en charge du système d'endiguement du quartier du Mauret sur la commune d'Andernos les Bains objet de la présente étude de dangers.

Les coordonnées du SIBA sont :



Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA)

16 allée Corrigan, CS 40002

33311 Arcachon Cedex

Tél. 05 57 52 74 74 - fax 05 57 52 74 75

administration@siba-bassin-arcachon.fr

1.2 IDENTIFICATION DE L'ORGANISME AGREE

La présente étude de dangers a été réalisée par ISL ingénierie, organisme agréé.

Les coordonnées de l'établissement Sud Ouest ayant réalisé l'étude sont présentées ci-après :



ISL Ingénierie,

Etablissement Sud Ouest,

15, Rue du Maréchal Harispe,

64500, Saint Jean de Luz

Tél : 05 59 85 14 55 – Fax : 05 59 85 33 16

1.3 RAPPEL DES AUTORISATIONS EXISTANTES EN LIEN AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le SIBA et ISL n'ont pas connaissance d'autorisation existante en lien avec les ouvrages composant le système d'endiguement.

1.4 AMENAGEMENT HYDRAULIQUE COMPLETANT LA PROTECTION DE LA ZONE PROTEGEE

Sans objet.

2 OBJET DE L'ETUDE

2.1 DESCRIPTIF DU CADRE DE L'ETUDE DE DANGERS

L'étude de dangers est réalisée dans le cadre de l'autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux, soit le cas 1 du tableau annexe 1 section 2.1 de l'arrêté du 7 avril 2017 :

Cas	Cocher la case, en rappelant, pour les cas 2, 4 et 5, la référence et la date de l'étude de dangers précédente. Dans le cas 4, préciser en outre la nature de la modification à l'origine de la mise à jour de l'étude de dangers.	Cadre de l'étude de dangers
Cas 1	Autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui constitue la pièce n° 5 mentionné à l'article R.214-6-VI, est conforme aux dispositions de l'article 2 de l'arrêté du 7 avril 2017 : le contenu de l'étude de dangers porte sur le système tel qu'il se trouve dans sa configuration effective au moment où ce document est déposé auprès de l'administration.	X
Cas 2	Modification d'un système d'endiguement existant, avec travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui constitue la pièce n° 5 mentionné à l'article R.214-6-VI, est conforme aux dispositions de l'article 3 de l'arrêté du 7 avril 2017.	
Cas 3	Autorisation initiale du système d'endiguement, avec travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui constitue la pièce n° 5 mentionné à l'article R.214-6-VI, est conforme aux dispositions de l'article 4 de l'arrêté du 7 avril 2017.	
Cas 4	Mise à jour de l'étude de dangers du système d'endiguement exigée par le préfet en application des articles R.214-17, R.214-18 et R.214-117-III en raison d'une modification du système d'endiguement. La mise à jour de l'étude de dangers est conforme aux dispositions de l'article 5 de l'arrêté du 7 avril 2017.	
Cas 5	Actualisation d'une étude de dangers en application du II de l'article R.214-117. Cette actualisation est réalisée conformément aux dispositions de l'article 6 de l'arrêté du 7 avril 2017.	

Tableau 1 : définition du cadre de l'étude de dangers

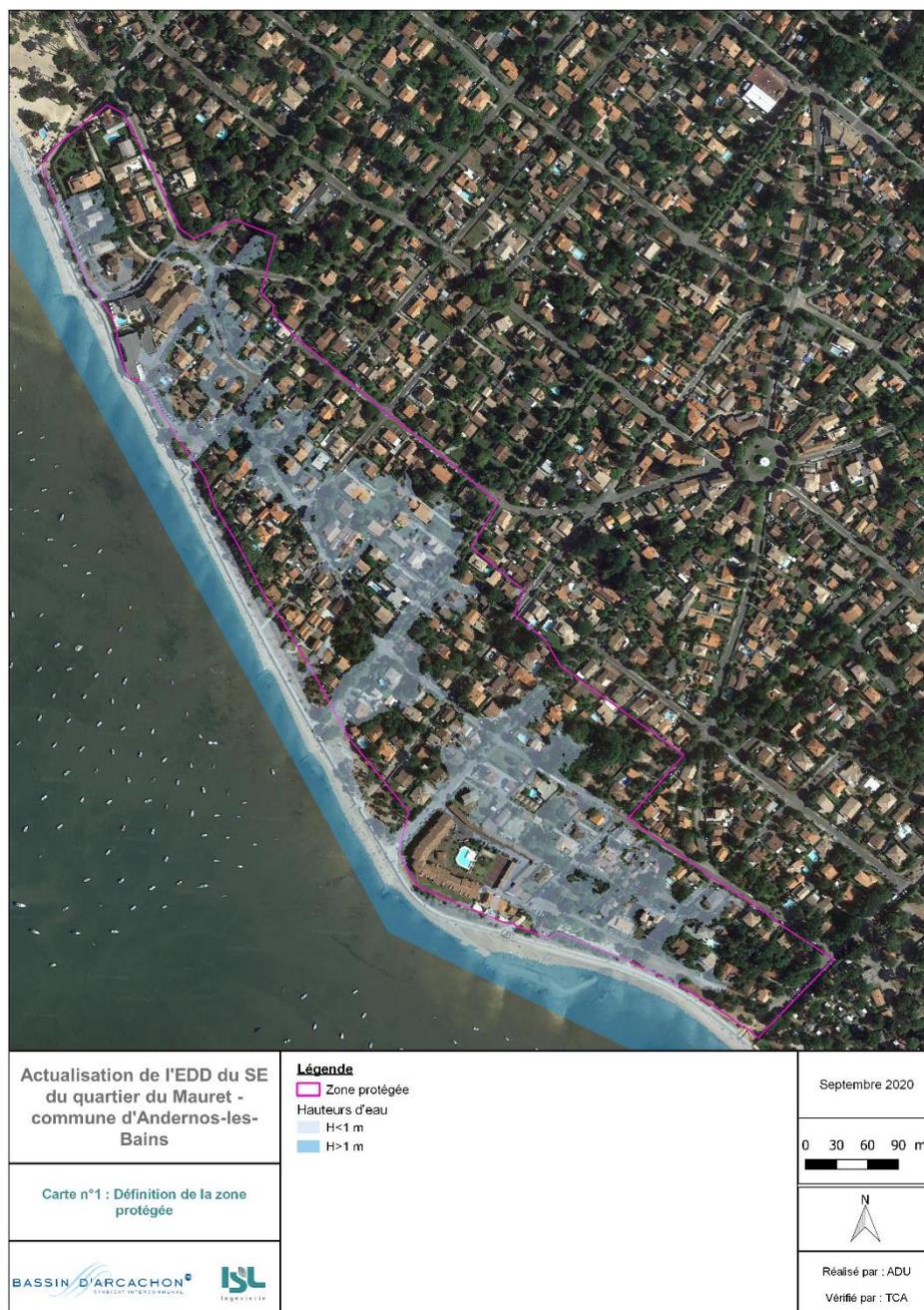
2.2 LISTE DES COMMUNES CONCERNEES PAR LA ZONE PROTEGEE

L'unique commune concernée par le système d'endiguement est la commune d'Andernos les Bains (code INSEE 33005).

2.3 LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE

Le système d'endiguement du quartier du Mauret sur la commune d'Andernos les Bains a été conçu pour protéger les habitations contre les phénomènes de submersion marine courants.

La zone protégée sur la commune du Mauret est présentée sur la carte n°1 en ANNEXE 8 dont un extrait est reproduit ci-dessous. Cette carte est établie en l'absence du système d'endiguement pour l'aléa correspondant au niveau de de protection.



2.4 LOCALISATION EN PLAN ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES

Le système d'endiguement du quartier du Mauret mesure environ 1180 m de longueur et peut être décomposé en 4 tronçons homogènes de caractéristiques distinctes du sud-est au nord-ouest :

- tronçon n°1 : ce tronçon s'étend du Boulevard du Colonel Wurtz au Boulevard de l'Océan,
- tronçon n°2 : ce tronçon s'étend du Boulevard de l'Océan au Boulevard de l'Union,

- tronçon n°3 : ce tronçon s'étend du Boulevard de l'Union à l'Avenue de l'Avenir,
- tronçon n°4 : ce tronçon s'étend de l'Avenue de l'Avenir à la plage du Bety.

La figure ci-dessous présente ce découpage du SE en différents tronçons¹ :



Figure 2 : découpage en tronçons homogènes du système d'endiguement

Des ouvrages de régulation des eaux sont présents sur le système d'endiguement :

- des portes et batardeaux,
- des barbacanes,
- plusieurs rejets du réseau d'eau pluvial de la commune,
- quelques ouvrages divers.

Une cartographie de situation des portes et batardeaux est présentée en ANNEXE 4 dont un extrait est reproduit ci-dessous :

¹ Il est précisé que la numérotation des tronçons est décalée par rapport à l'EDD (provisoire) réalisée par Artelia [1]. Dans cette étude, un tronçon complémentaire était considéré. Ainsi, dans le cadre du présent rapport, le tronçon n correspond au tronçon n+1 du rapport Artelia.



Figure 3 : localisation des portes et batardeaux (source : SIBA)

3 DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE, DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, DE SON ENVIRONNEMENT ET DE SES FONCTIONS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

3.1 ZONE PROTEGEE

Les limites administratives du territoire relevant du SIBA pour le système d'endiguement du quartier du Mauret sont présentées sur la carte n°0 en ANNEXE 7 dont un extrait est reproduit ci-dessous. Cette carte présente également le périmètre du système d'endiguement et de la zone protégée. Ils sont intégralement inclus dans les limites administratives relevant du SIBA.

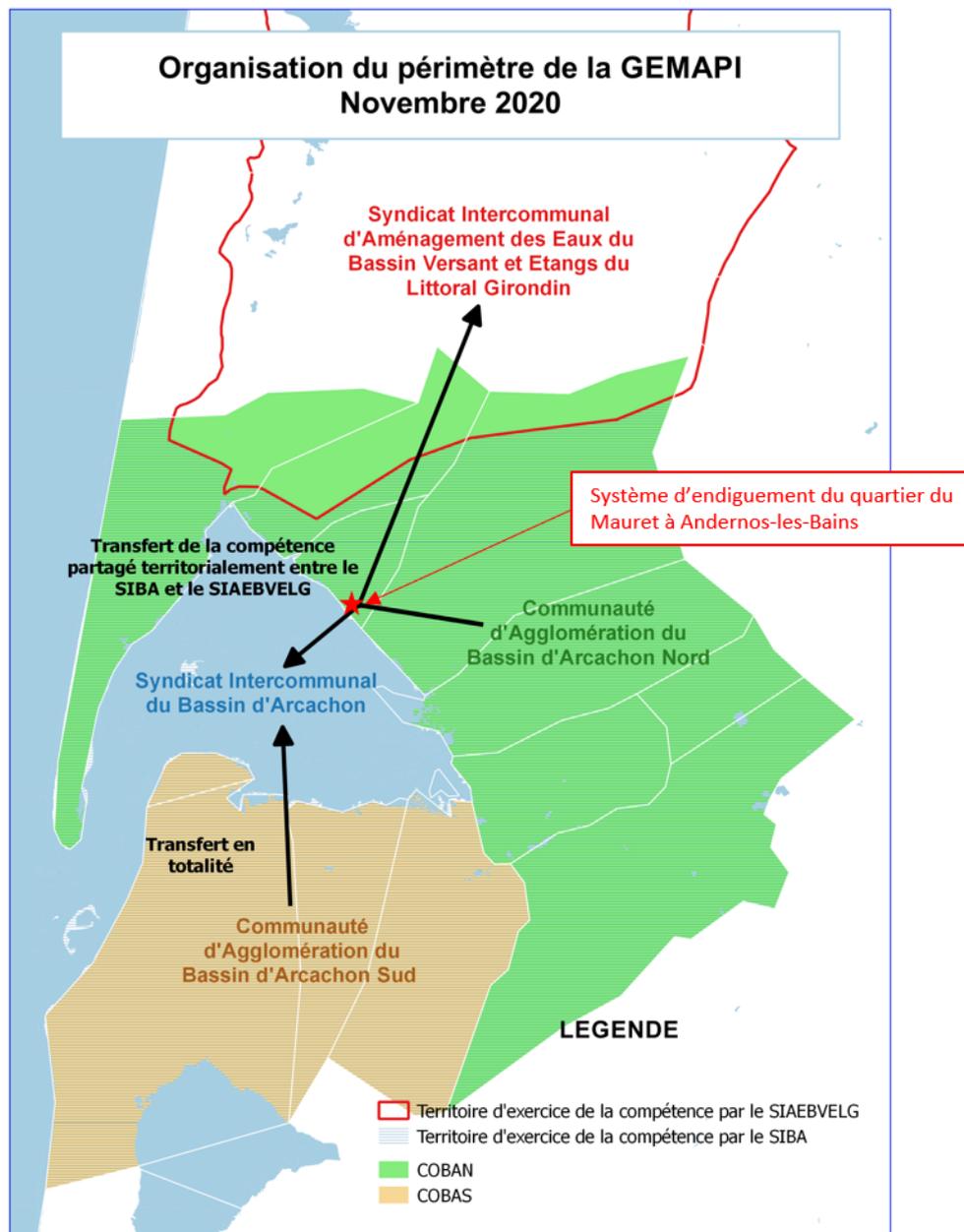


Figure 4 : implantation du système d'endiguement d'Andernos-les-Bains dans le périmètre de gestion du SIBA

Le niveau de protection du système d'endiguement est fixé à 3,20 m NGF combiné à une houle de 50 cm. La lecture du niveau d'eau est réalisée par consultation du site du Seamafor (<https://www.seamafor.actimar.fr/siba>). A défaut, la station d'Arcachon-Eyrac est retenu pour la lecture du niveau d'eau dans le bassin d'Arcachon.

La seule commune intégrée à la zone protégée est la commune d'Andernos les Bains.

Le rôle de GEMAPIen du SIBA s'étend à l'intégralité des communes de la Communauté de Communes du Bassin d'Arcachon Nord, soit les communes suivantes :

- Andernos les Bains
- Arcachon,

- Arès,
- Audenge,
- Biganos,
- Gujan-Mestras,
- Lanton,
- La Teste de Buch,
- Lège – Cap Ferret,
- Le Teich,
- Marcheprime,
- Mios.

3.2 DESCRIPTION DES CONDITIONS NATURELLES POUVANT CONDUIRE A DES CRUES OU DES TEMPETES ET DES CONDITIONS DE FONDATION DES OUVRAGES ET DES SOLLICITATIONS S'EXERCANT SUR CES FONDATIONS

3.2.1 DESCRIPTION DES PRINCIPAUX FACTEURS NATURELS DETERMINANT LES RISQUES D'INONDATION OU DE SUBMERSION

Dans le cadre des systèmes d'endigement maritimes, les facteurs naturels déterminant sont les conditions de mer au droit des ouvrages qui le constituent.

Ces conditions de mer sont influencées par de nombreux paramètres physiques qui se combinent à différentes échelles (régionales et locales) pour donner les deux paramètres significatifs en pied d'ouvrage que sont le **niveau statique** et la **houle caractéristique**.

Les modes d'inondations, au niveau des ouvrages sont également divers : surverse ou franchissement, avec ou sans rupture.

Le niveau marin statique est donné par la somme de plusieurs phénomènes :

- La **marée astronomique**, due à l'attraction gravitationnelle exercée principalement par la lune et le soleil, et dont le niveau est prévu dans les ports de référence et mesuré sur des marégraphes (marégraphes de référence du RONIM : Réseau d'Observation du Niveau de la Mer, autres marégraphes partenaires). Elle est de type semi-diurne dans le Bassin d'Arcachon et asymétrique. La mesure est réalisée au niveau du marégraphe d'Arcachon Eyrac, géré par le SHOM.
- La **surcote atmosphérique**, due à l'effet d'une dépression météorologique : la chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau ; une diminution d'un hectopascal équivaut approximativement à une élévation d'un centimètre de niveau marin (exemple : dépression de 980 hPa = augmentation de 33 cm).
- Le **set-up** qui se dissocie en :
 - Le wind set-up : le vent exerce une contrainte à la surface de l'eau générant une modification du plan d'eau et des courants
 - Le wave set-up : à l'approche des côtes, les vagues déferlent et transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation moyenne. Cette élévation peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres en fonction des caractéristiques des vagues (hauteur, période et direction), qui dépendent quant à elles des phénomènes de shoaling et réflexion/diffraction ayant lieu au niveau des côtes.

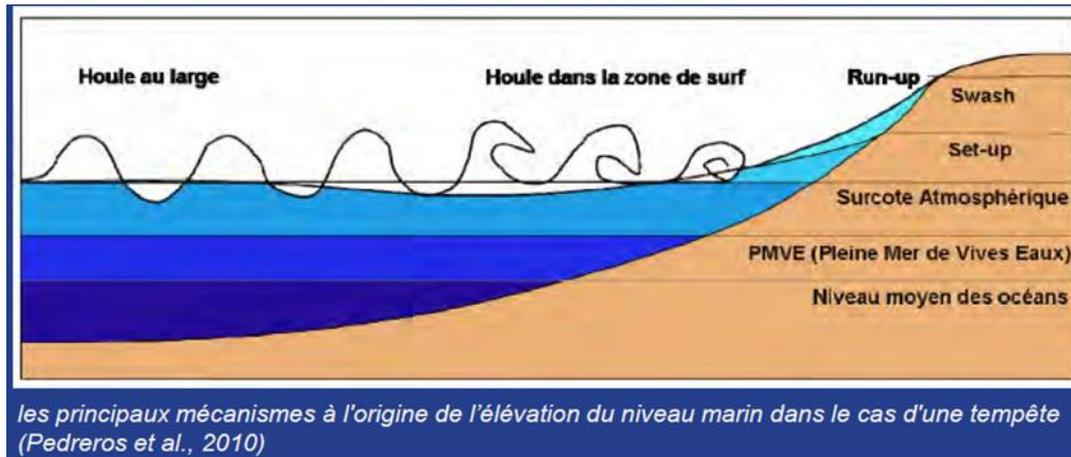


Figure 5 : schéma de principe des niveaux marins « statiques » et « dynamiques » (Pedreros et al., 2010)

Pour obtenir le niveau maximal atteint par la mer, il faut aussi tenir compte du **jet de rive** (« swash »), c'est à dire le flux et le reflux des vagues sur l'estran ou sur les parements. On appelle « **run-up** » l'altitude maximale atteinte par la mer au-dessus de son niveau de référence.

Un événement est donc composé d'un niveau statique (niveau de la marée + surcote + set-up) et d'une composante dynamique (run-up).

L'ensemble de ces phénomènes et des valeurs caractéristiques sont retranscrits dans le logigramme suivant adapté à la problématique des digues en milieu maritime.

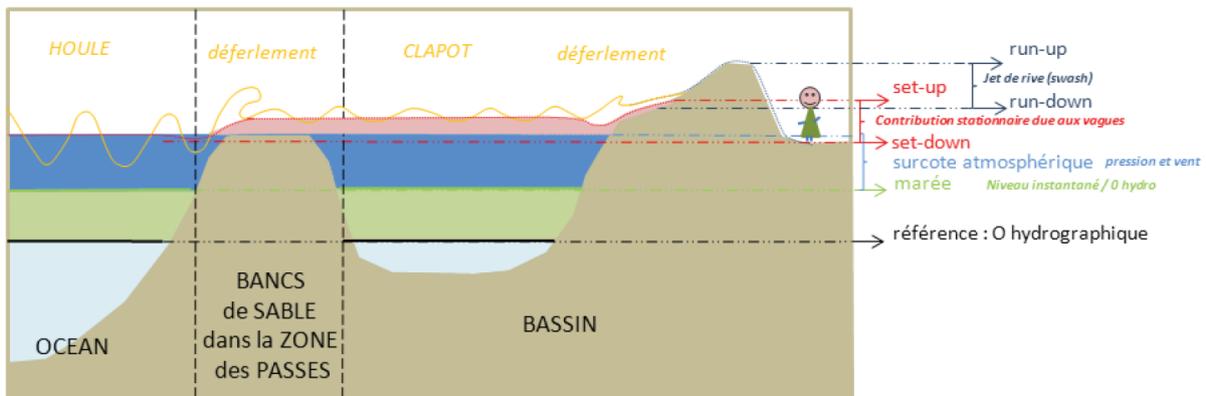


Figure 6 : synthèse des processus contribuant au niveau de la mer lors d'une tempête [6]

Enfin, une submersion marine peut se produire de 3 façons :

- par débordement lorsque le niveau marin moyen atteint lors d'une tempête est supérieur à l'altitude des ouvrages
- par franchissement par paquets de mer lorsque les conditions de vagues sont plus pénalisantes que le niveau marin moyen atteint lors de la tempête
- par rupture d'un ouvrage côtier ou d'une défense naturelle (dune) faisant office de digue.

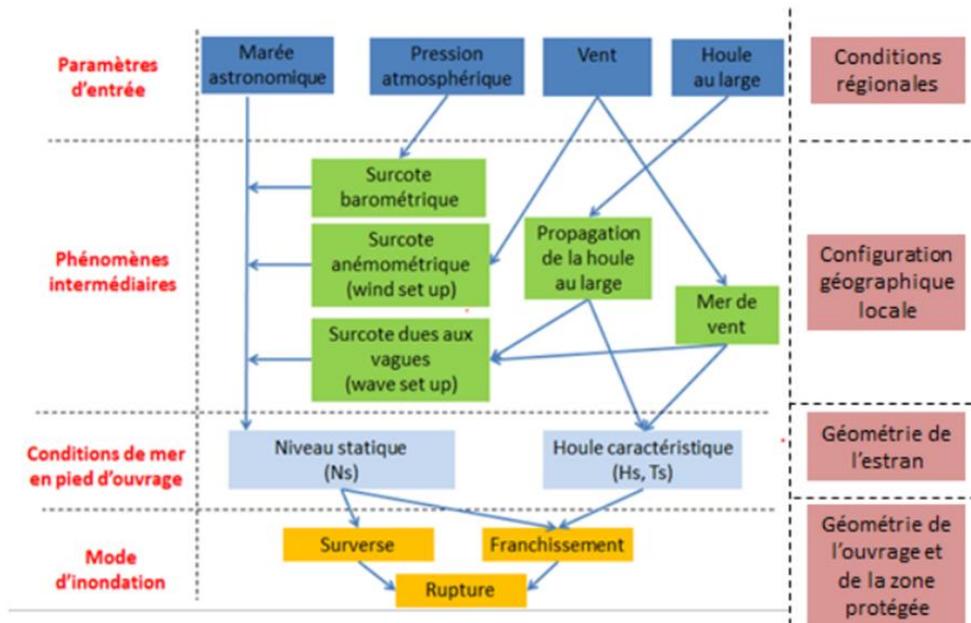


Figure 7 : logigramme général sur la caractérisation des aléas maritimes appliqués aux digues (source : ISL)

3.2.2 REFERENCES SCIENTIFIQUES QUI PERMETTENT DE DECRIRE CES FACTEURS ET LEUR EVOLUTION PREVISIBLE

La synthèse bibliographique sur l'aléa marin est établie à partir des données disponibles issues des études existantes sur le secteur. Les études consultées sont listées dans la bibliographie en ANNEXE 1 et rappelées ci-dessous :

- Ouvrages de protection contre la submersion marine à Andernos-les-Bains (33) – Avis et recommandations, BRGM, Décembre 2009 [3]
- Application de modèles numériques pour l'estimation de l'altitude du plan d'eau à Andernos-les-Bains, BRGM, Décembre 2010 [4]
- Submersions marines sur le bassin d'ARCACHON – Etude historique, CETE Sud-Ouest, Novembre 2012 [5]
- Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRP du Bassin d'Arcachon :
 - Détermination de l'évènement naturel de référence, BRGM, Janvier 2014 [6]
 - Approche dynamique avec prise en compte des ouvrages de protection côtière, BRGM, Avril 2016 [7]
- Rapport d'accompagnement des cartographies du TRI du Bassin d'ARCACHON, Novembre 2016, DREAL Nouvelle Aquitaine [8]

3.2.3 DONNEES HISTORIQUES ESSENTIELLES CONNUES EXPLIQUANT L'ANALYSE SCIENTIFIQUE DE CES FACTEURS

Les études existantes évoquées dans le chapitre précédent sont pour certaines basées sur des données historiques, notamment [6] et [7].

Suite à la construction de l'ouvrage de protection de 2nd rang du système d'endiguement (fin 2010 / début 2011), deux évènements ayant conduits à la sollicitation du système d'endiguement sont relativement bien documentés :

- La tempête Amélie des 2 et 3 novembre 2019 : coefficient de marée : 51, vent à Lège-Cap Ferret de 162 km/h en maximum instantanée et de 110 km/h en maximum moyen, pression atmosphérique de 988 hPa à Biarritz, surcote maximum à Arcachon-Eyrac de 100 cm pour une cote maximale de 2,52 m NGF. Niveau de houle inconnu. Aucune venue d'eau dangereuse dans la zone protégée du système d'endiguement
- La tempête Sébastien des 26 et 27 novembre 2019 : coefficient de marée : 99, vent à Lège-Cap Ferret de 110 km/h en maximum instantanée et de 70 km/h en maximum moyen, pression atmosphérique de 999 hPa à Biarritz, surcote maximum à Arcachon-Eyrac de 75 cm pour une cote maximale de 2,97 m NGF. Niveau de houle inconnu. Aucune venue d'eau dangereuse dans la zone protégée du système d'endiguement

3.2.4 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE

La fondation des ouvrages de protection est constituée :

- d'une couverture variable du sol avec de la terre végétale ou un remblai sableux sur une épaisseur de 10 à 20 cm, confirmée par les observations de terrain,
- d'une épaisseur de terrain sableux plus ou moins graveleux sur 1 à 2 m d'épaisseur,
- d'un sable vaseux ou une argile bariolée plus en profondeur.

3.3 DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS COMPOSANT LE SYSTÈME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES

3.3.1 IDENTIFICATION DE LA CELLULE HYDRO-SEDIMENTAIRE MARITIME

Le système d'endiguement fait part intégrante de la cellule hydro-sédimentaire du Bassin d'Arcachon.

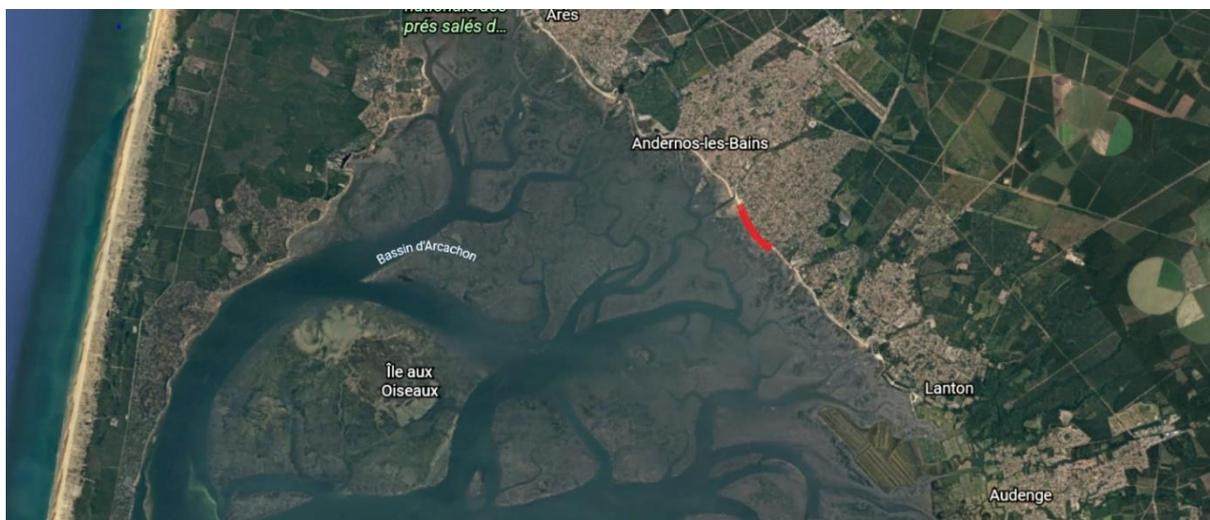


Figure 8 : localisation du système d'endiguement

Le système d'endiguement protège contre l'aléa de submersion marine uniquement.

3.3.2 PLAN D'ENSEMBLE LOCALISANT ET IDENTIFIANT LES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS CONSTITUANT LE SYSTÈME D'ENDIGUEMENT

Le plan fourni en ANNEXE 5 localise les différents tronçons sur le système d'endiguement. Un extrait est reproduit ci-dessous en illustration (se reporter à l'annexe pour une lecture complète du document) :



Figure 9 : localisation des différents tronçons sur le système d'endiguement

3.3.3 LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Sur l'ensemble de son linéaire, le système d'endiguement se compose dans le sens amont (côté Bassin d'Arcachon) en aval (côté terre) :

- d'une plage à pente douce,
- d'un ouvrage de protection de 1^{er} rang composé d'un perré maçonné de géométrie variable surmonté d'un parapet (tronçons n°1, n°3 et n°4) ou non (tronçon n°2). La cote de crête de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang varie de 3,95 m NGF à 4,32 m NGF en fonction des tronçons,
- d'une promenade de largeur variable avec une bande carrossable de l'ordre de 4 m de largeur sur l'ensemble du linéaire. En aval de cette bande carrossable, le terrain est alternativement enherbé ou arbustif,
- d'un ouvrage de protection de 2nd rang composé d'un muret en béton. L'arase de l'ouvrage de protection de 2nd rang varie de 4,25 m NGF à 4,82 m NGF en fonction des secteurs considérés,
- de la zone protégée

La figure ci-dessous extraite des plans fournis en annexe montre cette configuration du système d'endiguement au niveau du tronçon n°1 :

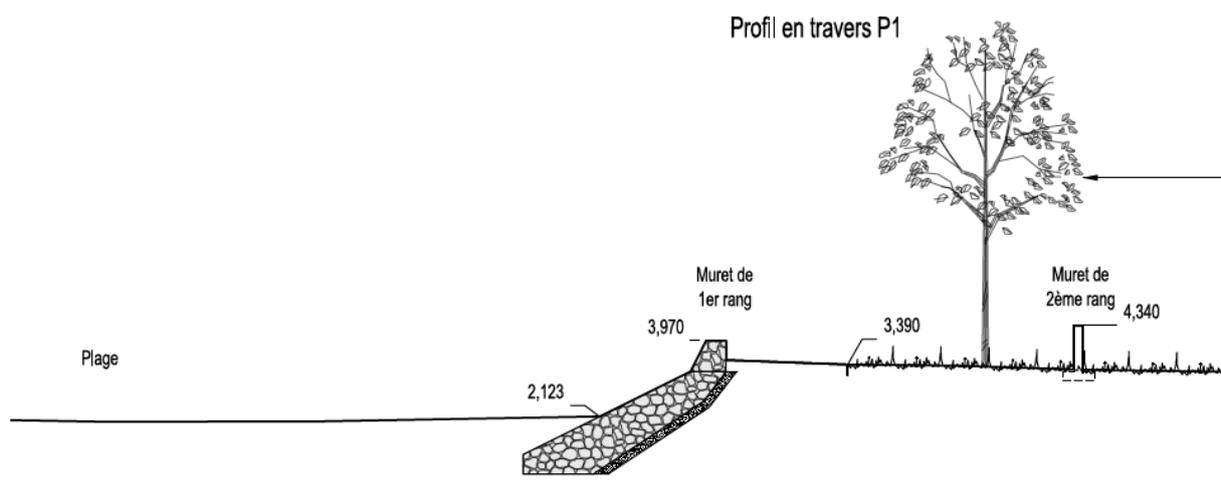


Figure 10 : schéma de la configuration du système d'endiguement (extrait de l'ANNEXE 5)

Les portes et batardeaux équipent certaines ouvertures dans l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et dans l'ouvrage de protection de 2nd rang. La photo ci-dessous illustre deux ouvrages hydrauliques de ce type :



Figure 11 : batardeau et porte sur les ouvrages de protection du système d'endiguement (source : SIBA)

Les barbacanes permettent la restitution de l'eau présente entre les deux ouvrages de protection vers le Bassin d'Arcachon. Elles sont équipées de clapet anti-retour.



Figure 12 : avaloir entre les deux ouvrages de protection et barbacane à travers l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

Le réseau d'eaux pluviales de la commune dispose de plusieurs exutoires qui traversent le système d'endiguement. Ces exutoires passent en fondation des ouvrages de protection. Ils sont protégés au niveau de la plage par des cordons d'enrochements et sont équipés de clapet anti-retour.

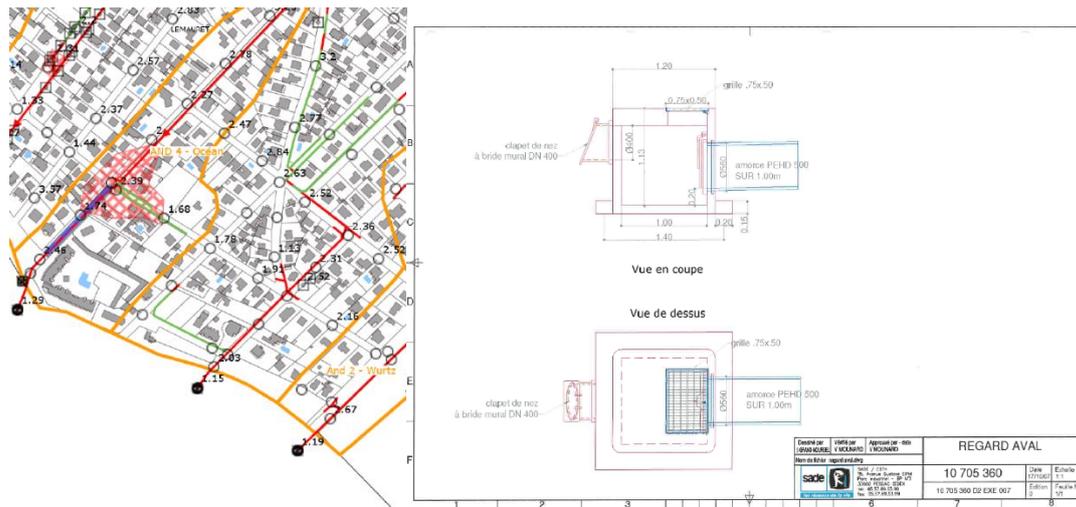


Figure 13 : réseau d'eaux pluviales de la Ville (et exutoires) et détail des extrémités des exutoires (côté Bassin d'Arcachon) (source : SIBA)

La fermeture du système d'endiguement est réalisée de la manière suivante :

- au Nord par la dune naturelle du Bety, avec un terrain naturel supérieur ou égal à 4,00 m NGF,
- Au Sud par le niveau topographique dans la continuité du camping du Fontaine Vieille avec un terrain naturel supérieur ou égal à 4,00 m NGF.

La promenade située entre l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et l'ouvrage de protection de 2nd rang est carrossable. Le système d'endiguement est accessible par de nombreuses rues qui débouchent sur les ouvrages. Toutefois, il n'existe pas systématiquement un accès le long du pied côté terre de l'ouvrage car l'ouvrage de protection de 2nd rang est parfois à proximité immédiate de parcelles privées. En conséquence, l'inspection du pied (côté terre) de l'ouvrage de protection de 2nd rang est difficile lorsque les casiers (espace entre ouvrages de protection de 1^{er} et de 2nd rang) sont en eau. L'inspection du pied (côté terre) de l'ouvrage de protection de 2nd rang reste possible en condition normale et après ressuyage.

3.3.4 PROFILS EN LONG

Le plan fourni en ANNEXE 5 donne le profil en long de chaque tronçon homogène en indiquant :

- la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang,
- la cote de crête de l'ouvrage de protection de 2nd rang,
- la cote du terrain naturel à l'aval immédiat de l'ouvrage de protection de 2nd rang,
- la position des ouvrages traversant de surface : batardeaux et portes,
- le niveau de protection de 3,20 m NGF avec houle de 50 cm.

Ce document est établi à partir du relevé topographique de référence réalisé en 2011 suite aux travaux de construction de l'ouvrage de protection de 2nd rang. Cette information topographique est jugée de bonne qualité. Dans la zone protégée, les seules données topographiques disponibles sont relatives au LIDAR transmis par le gestionnaire. Cette information topographique est jugée de qualité moyenne mais suffisante pour les besoins de l'étude de danger.

3.4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

3.4.1 DONNEES HISTORIQUES ESSENTIELLES CONNUES SUR LE COMPORTEMENT STRUCTUREL

La configuration actuelle du système d'endiguement du quartier du Mauret est postérieure à la tempête Xynthia de février 2010.

Dans sa configuration actuelle, deux évènements de tempête sont relativement bien documentés pour avoir fait l'objet de visite avec photographie pendant l'évènement ou après l'évènement :

- la tempête Amélie de novembre 2019,
- la tempête Sébastien de novembre 2019.

Sur ces deux évènements, les retours d'expérience sur le comportement du système d'endiguement sont les suivants :

Tempête Amélie :

- Une tendance à l'ensablement entre les deux ouvrages de protection (voir point ci-dessus sur la présence des batardeaux sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang).
- Un ensablement constaté sur certains ouvrages de ressuyage (barbacane et/ou clapet anti-retour). La photo au niveau du tronçon n°3 ci-dessous montre une rétention d'eau entre les deux ouvrages de protection,
- La bonne résistance de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang aux chocs des bateaux. Plusieurs bateaux ont heurté l'ouvrage lors de cet évènement sans générer de dégât majeur.

Tempête Sébastien :

- Un remplissage quasiment complet du casier sud (tronçon n°1 + moitié du tronçon n°2). Sur les photos du tronçon n°1, le niveau d'eau dans le casier est proche du niveau de crête de l'ouvrage de 1^{er} rang.
- Un remplissage partiel ou complet du casier nord (moitié du tronçon n°2 + tronçons n°3 et n°4). Le niveau d'eau constaté en arrière de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang sur le tronçon n°4 peut être cohérent avec les points bas du casier qui se situent sur le tronçon n°3.

Les observations de la commune d'Andernos sur les précédentes tempêtes illustrent également le fonctionnement du système d'endiguement. On note² :

- *Un réel apport de l'ouvrage de protection de 2nd rang (construit en 2010/2011) sur la protection des sites, des habitations et de leurs habitants lors d'évènement climatique important,*
- *La partie centrale entre les deux ouvrages de protection se remplit assez rapidement lors des évènements les plus violents d'une part sous l'effet des vagues (franchissements) et d'autre part sous l'effet du ressac qui se crée et qui vient ouvrir (momentanément) les clapets. L'eau de mer reste emprisonnée entre les deux ouvrages de protection durant la pleine mer et s'évacue sur le descendant.*
- *L'ouvrage de protection de 2nd rang semble à ce jour bien tenir dans le temps et ne présente pas de dégradation majeure.*

² Les éléments du verbatim sont reportés strictement dans le retour d'expérience. Ils sont ici légèrement reformulés pour une bonne cohérence de la description du fonctionnement du système d'endiguement et de l'appréciation de ce fonctionnement.

3.4.2 DESCRIPTION ET INDICATION DE LA FONCTION STRUCTURELLE DE CHAQUE COMPOSANT DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET PRESENTATION DU FONCTIONNEMENT D'ENSEMBLE DU SYSTEME

Un ouvrage de protection contre les submersions marines doit assurer différentes fonctions. Les ouvrages du système d'endiguement du Mauret à Andernos-les-Bains comprennent les suivants :

- un ouvrage de protection de 1^{er} rang qui assure les fonctions de « **résistance à l'érosion externe** », « **étanchéité** », « **stabilité** », « **filtration** », « **résistance à l'érosion interne** » et « **capacité de ressuyage** »,
- un ouvrage de protection de 2nd rang qui assure les fonctions « **étanchéité** », « **résistance à l'érosion interne** » et « **stabilité** »,

Le schéma ci-dessous montre le fonctionnement de la configuration du système d'endiguement sur une coupe type lorsqu'un évènement marin sollicite l'ouvrage.

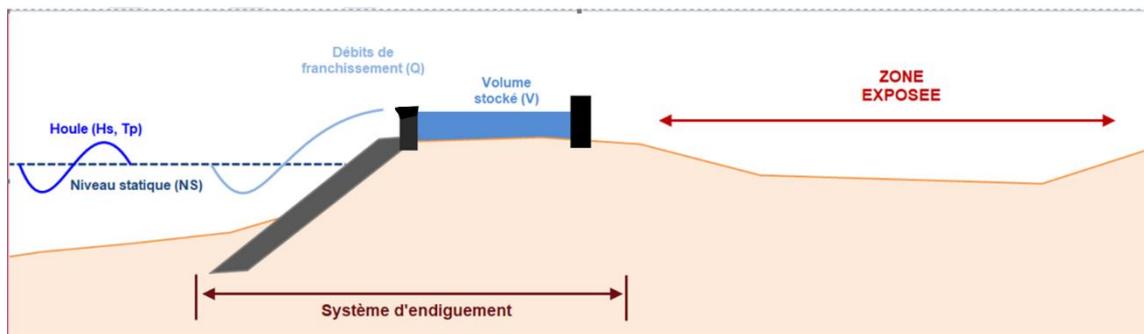


Figure 14 : schéma de fonctionnement du système d'endiguement (source : ISL)

Lorsque les conditions maritimes dans le Bassin d'Arcachon dépassent certaines conditions de niveau statique et/ou de houle, de l'eau franchit l'ouvrage de protection de 1^{er} rang par surverse ou par paquet de mer. Ce volume remplit plus ou moins partiellement l'espace situé entre les deux ouvrages de protection.

En pratique, l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°2 ne disposant pas de parapet, le remplissage entre les deux ouvrages de protection se répartit en deux casiers, un casier nord et un casier sud comme cela est illustré par la figure suivante :



Figure 15 : répartition des deux casiers de stockage entre l'ouvrage de 1^{er} rang et l'ouvrage de 2nd rang

L'eau stockée dans les casiers génère alors une sollicitation hydraulique sur l'ouvrage de protection de 2nd rang dont le niveau de crête est globalement plus haut que les points bas des parapets de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang sur les deux casiers identifiés.

3.4.3 PRESENTATION DU NIVEAU DE PROTECTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le niveau de protection du système d'endiguement est un niveau statique de 3,20 m NGF devant Andernos-les Bains combiné à une houle de 50 cm. Conformément à la réglementation, étant donné l'impossibilité de connaître la hauteur de houle au droit des ouvrages de protections, le niveau de protection est seulement lié au niveau statique du Bassin d'Arcachon devant le quartier du Mauret à Andernos les Bains. En conséquence :

Le niveau de protection retenu est de 3,20 m NGF.

Selon l'analyse des événements historiques et l'estimation des événements rares et extrêmes, ce niveau de protection (niveau statique de 3,20 m NGF) correspond à **un événement de fréquence annuelle**.

3.4.4 PRESENTATION DES SITUATIONS EN CAS DE DEPASSEMENT DES PERFORMANCES DU SYSTEME

Les situations pour lesquelles les performances du système d'endiguement sont susceptibles d'être « dépassées » correspondent à des niveaux statiques supérieurs à 3,20 m NGF au droit d'Andernos les Bains dans le Bassin d'Arcachon.

Ces situations peuvent se produire lors de différentes tempêtes avec les éléments suivants (indépendamment ou en combinaison) :

- un coefficient de marée fort,
- une surcote atmosphérique importante liée à un événement dépressionnaire,

- des vents forts avec une orientation défavorable (ouest à sud-sud-ouest).

3.4.5 DESCRIPTION ET EVALUATION DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE

Les consignes écrites du gestionnaire sont placées ANNEXE 2 du présent document.

Elles décrivent l'organisation du gestionnaire pour la surveillance, l'entretien et la maintenance du système d'endiguement.

Le SIBA est le gestionnaire du système d'endiguement. Il partage la surveillance avec la commune d'Andernos les Bains par le biais d'une convention :

- La commune d'Andernos les Bains assure le premier niveau de surveillance à l'occasion du passage des équipes techniques. Les observations réalisées sont transmises au SIBA qui les référence dans un registre. Les opérations potentiellement réalisées par la commune sont les suivantes :
 - mise en place ou retrait des batardeaux et portes sur les ouvrages de protection de 1^{er} et de 2nd rang,
 - visite après tempête pour retirer les accumulations éventuelles de sable entre les deux ouvrages de protection,
 - entretien de la promenade,
 - nettoyage de la plage (criblage tous les 15 jours en haute saison),
 - entretien des portails
- Le SIBA assure le second niveau de surveillance avec :
 - à minima 4 visites de surveillance de l'ouvrage par an,
 - une visite de surveillance systématique après un évènement météorologique sensible (en pratique, dès que le niveau de protection est dépassé).

Par ailleurs, le SIBA sollicite un prestataire externe pour réaliser une Visite Technique Approfondie à minima tous les 6 ans, en lien avec la classe C de l'ouvrage et les exigences réglementaires associées.

Les consignes écrites précisent les dispositions exactes prises pour la gestion des portes et batardeaux qui ne sont pas en place l'intégralité de l'année :

- En haute saison, d'avril à octobre, les portes et batardeaux des ouvrages de protection de 1^{er} et 2nd rang ne sont pas en place. Les accès sont ouverts. En cas de pré-danger (prévision de niveau marin supérieur au niveau de protection) ou de danger, les accès à la promenade sont fermés (portails de l'ouvrage de protection de 2nd rang).
- En basse saison, d'octobre à avril, tous les batardeaux de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang sont en place, les portes de l'ouvrage de protection de 2nd rang sont fermées à l'exception de deux accès. Le passage en niveau de vigilance de pré-danger ou de danger déclenche la fermeture des deux dernières portes de l'ouvrage de protection de 2nd rang.

Enfin, les consignes écrites décrivent le fonctionnement du gestionnaire pour la veille météorologique, la surveillance et les mesures de prévention à prendre en fonction des niveaux de vigilance.

Le niveau de vigilance se base sur la prévision locale du risque de submersion mise en œuvre par le SIBA via le site <https://www.seamafor.actimar.fr/siba>. Ce service de prévision permet d'anticiper le niveau d'eau statique atteint en différents points du Bassin d'Arcachon trois jours à l'avance. La consultation est réalisée quotidiennement par le SIBA. Les niveaux de vigilance sont résumés ci-dessous (voir ANNEXE 2).

- Vigilance normale :
 - Prévision de niveau statique inférieur à 2,80 m NGF,
 - Situation : pas de sollicitation des ouvrages de protection
 - Pas de mesure particulière sur la surveillance,

- Consultation quotidienne des prévisions à 3 jours,
- Vigilance « évènement marin » :
 - Prévision de niveau statique compris entre 2,80 m NGF et 3,20 m NGF,
 - Situation : sollicitation probable de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang sans franchissement par paquet de mer,
 - Prévention : message transmis à la Commune d'Andernos les Bains pour activer la fermeture des accès à la promenade,
 - Mesures : consultation 4 fois par jour des prévisions à 3 jours.
- Vigilance de pré-danger :
 - Prévision de niveau statique compris entre 3,20 m NGF et 4,00 m NGF,
 - Situation : sollicitation de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et sollicitation probable de l'ouvrage de protection de 2nd rang,
 - Prévention : message transmis à la Commune d'Andernos les Bains pour fermeture des accès. Message transmis à la DREAL.
 - Mesures : Consultation des prévisions à 3 jours toutes les heures. Visite du site pendant ou après l'évènement. Réalisation d'un REX de l'évènement.
- Vigilance de danger :
 - Prévision de niveau statique supérieur à 4,00 m NGF,
 - Situation : surverse de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang. Sollicitation forte de l'ouvrage de protection de 2nd rang.
 - Prévention : message transmis à la Commune d'Andernos les Bains pour fermeture des accès. Message à la DREAL. Message à la Préfecture. Consultation des
 - Mesures : Consultation des prévisions à 3 jours toutes les demi-heures. Visite du site pendant ou après l'évènement. Réalisation d'un REX de l'évènement.

Enfin, les consignes écrites permettent l'identification des acteurs et de leurs coordonnées.

DOCUMENT B : ANALYSE DES RISQUES ET JUSTIFICATION DES PERFORMANCES

4 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS

Ce chapitre traite notamment les aspects qui ont un impact direct sur les niveaux d'eau, à différencier selon les circonstances propres au système d'endiguement.

4.1 PREAMBULE

4.1.1 DEFINITION DES ALEAS D'ORIGINE MARITIME

Dans le cadre des systèmes d'endiguement maritimes, l'étude des aléas naturels vise à définir les conditions de mer au droit des ouvrages qui le constituent.

Ces conditions de mer sont influencées par de nombreux paramètres physiques qui se combinent à différentes échelles pour donner les deux paramètres significatifs en pied d'ouvrage que sont le **niveau statique** et la **houle caractéristique**.

Les modes d'inondations, au niveau des ouvrages sont également divers : surverse ou franchissement, avec ou sans rupture. Ils sont étudiés de manière détaillée dans le cadre du diagnostic approfondi du système d'endiguement (cf. §7).

Le niveau marin statique est donné par la somme de plusieurs phénomènes :

- La **marée astronomique**, due à l'attraction gravitationnelle exercée principalement par la lune et le soleil, et dont le niveau est prévu dans les ports de référence et mesuré sur des marégraphes (marégraphes de référence du RONIM : Réseau d'Observation du Niveau de la Mer, autres marégraphes partenaires). Elle est de type semi-diurne dans le Bassin d'Arcachon et asymétrique. La mesure est réalisée au niveau du marégraphe d'Arcachon Eyrac, géré par le SHOM.
- La **surcote atmosphérique**, due à l'effet d'une dépression météorologique : la chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau ; une diminution d'un hectopascal équivaut approximativement à une élévation d'un centimètre de niveau marin (exemple : dépression de 980 hPa = augmentation de 33 cm).
- Le **set-up** qui se dissocie en :
 - Le wind set-up : le vent exerce une contrainte à la surface de l'eau générant une modification du plan d'eau et des courants
 - Le wave set-up : à l'approche des côtes, les vagues déferlent et transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation moyenne. Cette élévation peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres en fonction des caractéristiques des vagues (hauteur, période et direction), qui dépendent quant à elles des phénomènes de shoaling et réfraction/diffraction ayant lieu au niveau des côtes.

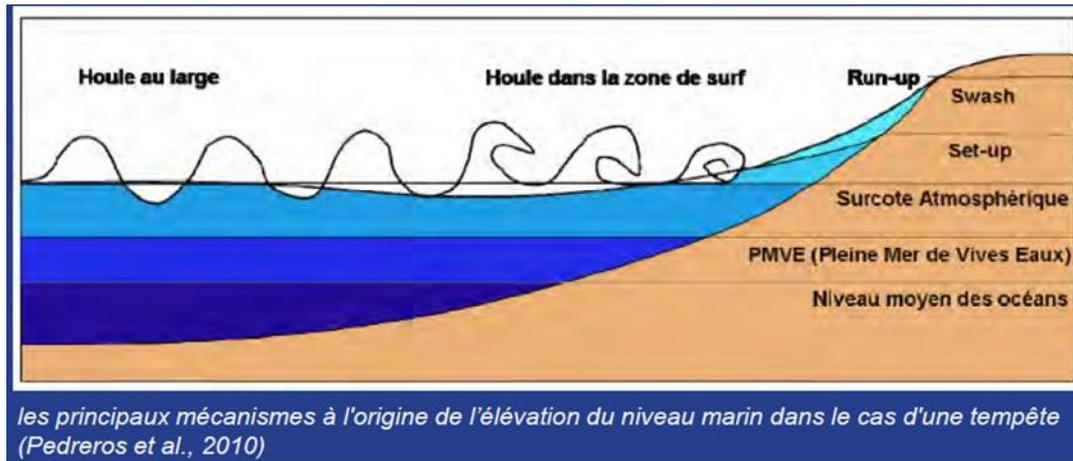


Figure 16 : schéma de principe des niveaux marins « statiques » et « dynamiques » (Pedredos et al., 2010)

Pour obtenir le niveau maximal atteint par la mer, il faut aussi tenir compte du **jet de rive** (« swash »), c'est à dire le flux et le reflux des vagues sur l'estran ou sur les parements.

On appelle « **run-up** » l'altitude maximale atteinte par la mer au-dessus de son niveau de référence.

Un événement est donc composé d'un niveau statique (niveau de la marée + surcote + set-up) et d'une composante dynamique (run-up).

L'ensemble de ces phénomènes et des valeurs caractéristiques sont retranscrits dans le logigramme suivant adapté à la problématique des digues en milieu maritime.

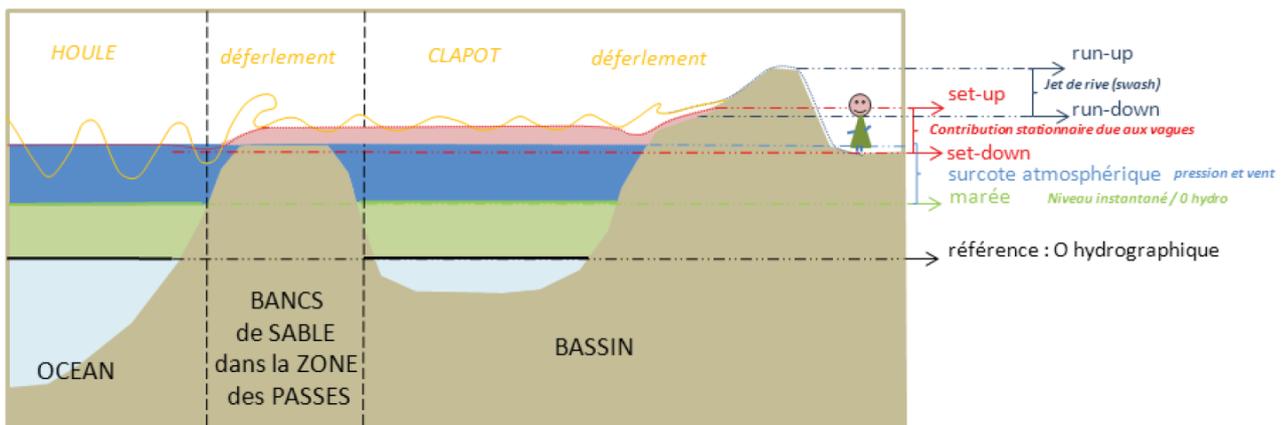


Figure 17 : synthèse des processus contribuant au niveau de la mer lors d'une tempête [6]

Enfin, une submersion marine peut se produire de 3 façons :

- par débordement lorsque le niveau marin moyen atteint lors d'une tempête est supérieur à l'altitude des ouvrages
- par franchissement par paquets de mer lorsque les conditions de vagues sont plus pénalisantes que le niveau marin moyen atteint lors de la tempête
- par rupture d'un ouvrage côtier ou d'une défense naturelle (par exemple cordon dunaire).

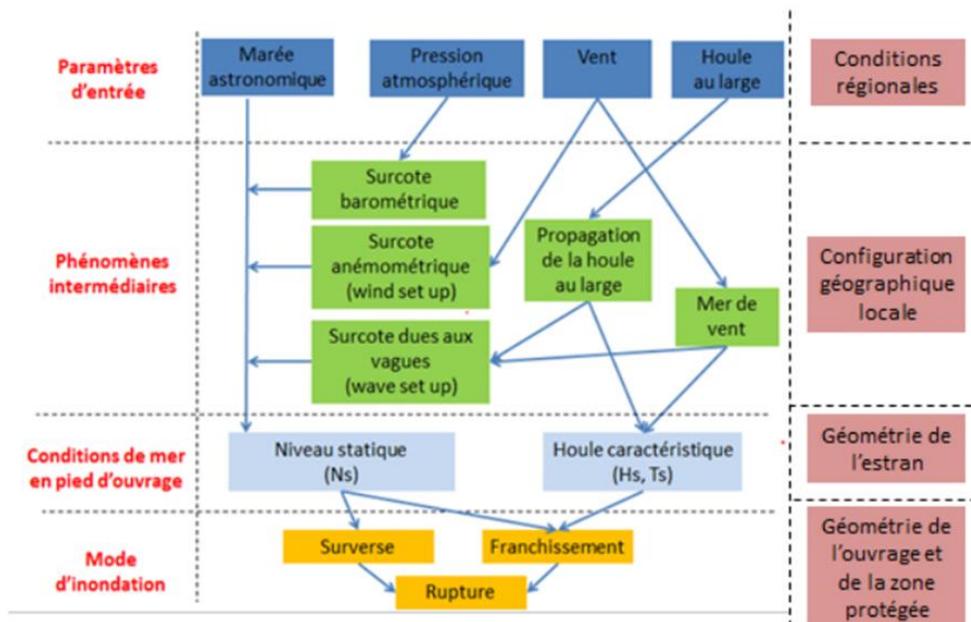


Figure 18 : logigramme général sur la caractérisation des aléas maritimes appliqués aux digues (source : ISL)

4.1.2 PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le niveau moyen des océans est évolutif dans le contexte du changement climatique. Le « rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique » du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) paru fin septembre 2019 prévoit les augmentations suivantes, à l'horizon 2100, en fonction des deux principaux scénarios d'évolution de la température moyenne de la surface de la Terre :

- + 0,29 à 0,59 m pour le scénario RCP2.6³ (contre + 0,26 à 0,55 m pour le même scénario dans le rapport de 2013). Il s'agit du scénario avec mise en œuvre de stratégies d'atténuation volontaristes des émissions de gaz à effet de serre. En pratique, ce scénario se concrétise par une limitation de l'augmentation de température à 2°C en moyenne par rapport à l'ère préindustrielle.
- + 0,61 à 1,10 m pour le scénario RCP8.5 (contre + 0,45 à 0,82 m pour le même scénario dans le rapport de 2013). Il s'agit du scénario de type « business as usual » pour lequel le niveau de concentration dans l'air de CO₂ atteint en 2100 trois à quatre fois le niveau de l'ère préindustrielle. La température moyenne augmente alors de 2,6 à 4,8°C à l'horizon 2100 par rapport à la période 1986-2005.

³ RCP : Representative Concentration Pathway « de CO₂ » (scénario de concentration en CO₂)

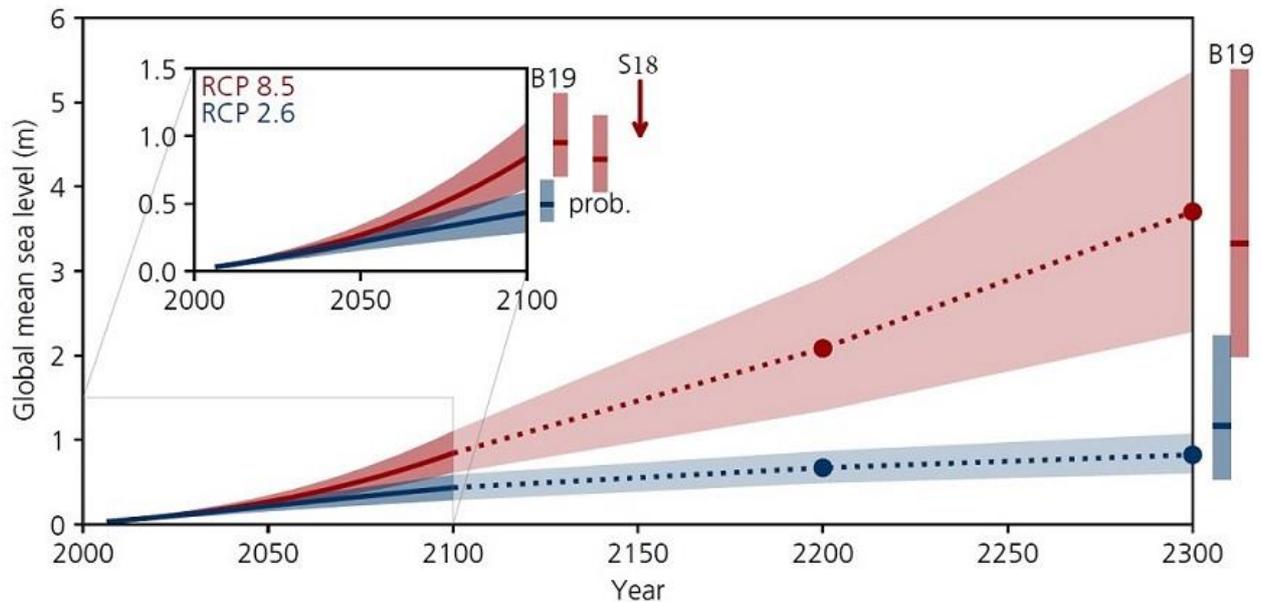


Figure 19 : projection de l'élévation moyenne mondiale du niveau de la mer jusqu'en 2300 (source : <http://refmar.shom.fr/fr/sea-level-news-2019/t4/rapport-special-du-giec-sur-l-ocean-et-la-cryosphere-dans-le-contexte-du-changement-climatique>)

Toutefois dans le cadre de la présente étude de dangers, l'ensemble des niveaux sont fixés par rapport aux données existantes sans prise en compte spécifique du changement climatique, à l'exception des niveaux règlementaires issus du PPRSM (Plan de Prévention des Risques d'Inondation par Submersion Marine) qui intègrent, conformément aux consignes méthodologiques du MEDDE, une élévation du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique fixée forfaitairement à :

- 20 cm pour l'évènement naturel de référence au large (évènement centennal)
- 60 cm pour l'évènement naturel « à échéance 100 ans ».

A noter qu'il n'existe actuellement pas de données mettant directement en évidence l'élévation du niveau de mer sur les marégraphes locaux du fait de leur faible antériorité et du caractère relativement récent du phénomène. Toutefois, il est convenu d'admettre que le niveau moyen des océans augmente de 2 à 3 mm par an. L'actualisation des EDD, prévues à échéance de 15-20 ans permettra de prendre en compte toute évolution mise en évidence dans les prochaines années⁴.

4.1.3 DONNEES DISPONIBLES

La synthèse bibliographique sur l'aléa marin est établie à partir des données disponibles issues des études existantes sur le secteur et menées principalement dans le cadre de l'établissement du PPRSM et des cartographies du TRI (Territoire à risque important d'inondation) du Bassin d'Arcachon. Les études consultées par ISL sont listées dans la bibliographie en ANNEXE 1 et rappelées ci-dessous :

- Ouvrages de protection contre la submersion marine à Andernos-les-Bains (33) – Avis et recommandations, BRGM, Décembre 2009 [3]
- Application de modèles numériques pour l'estimation de l'altitude du plan d'eau à Andernos-les-Bains, BRGM, Décembre 2010 [4]

⁴ L'augmentation du niveau moyen des océans ne modifie pas le niveau de protection de l'ouvrage mais cela modifie la période de retour à la baisse d'un évènement qui mène à solliciter l'ouvrage à son niveau de protection (augmentation de la fréquence de sollicitation à ce niveau)

- Submersions marines sur le bassin d'ARCACHON – Etude historique, CETE Sud-Ouest, Novembre 2012 [5]
- Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL du Bassin d'Arcachon :
 - Détermination de l'évènement naturel de référence, BRGM, Janvier 2014 [6]
 - Approche « statique » à titre informatif pour la cartographie des aléas « actuel » et « 2100 » sans ouvrage, BRGM, Février 2014 [11]
 - Approche dynamique avec prise en compte des ouvrages de protection côtière, BRGM, Avril 2016 [7]
- Rapport d'accompagnement des cartographies du TRI du Bassin d'ARCACHON, Novembre 2016, DREAL Nouvelle Aquitaine [8]

4.2 ANALYSE DE L'ALEA A L'ECHELLE REGIONALE

4.2.1 LOCALISATION D'ENSEMBLE

4.2.1.1 Bassin d'Arcachon

Le Bassin d'Arcachon se situe sur la Côte Aquitaine bordant le Golfe de Gascogne dans l'Atlantique Nord, au sud-ouest du département de la Gironde et en bordure nord du département des Landes. Il s'agit d'une lagune semi-fermée, de forme triangulaire qui interrompt les 230 km du cordon dunaire littoral aquitain.

Sa configuration semi-fermée par la flèche sableuse du Cap Ferret confère à cette lagune une zone d'embouchure vers l'océan Atlantique et une zone d'estuaire intérieure : l'estuaire de L'Eyre. Sa superficie oscille entre 174 km² à marée haute et 60 km² à marée basse, découvrant de larges estrans (prés salés, platiers vaseux, bancs de sable) et un vaste réseau de chenaux.

Hormis l'Eyre, le Bassin est alimenté par plusieurs cours d'eau d'importance variée. Il constitue une zone de transition entre les eaux superficielles, les eaux souterraines et les eaux océaniques du Golfe de Gascogne dans l'océan Atlantique.

La figure suivante présente la localisation géographique du Bassin d'Arcachon sur la façade atlantique.

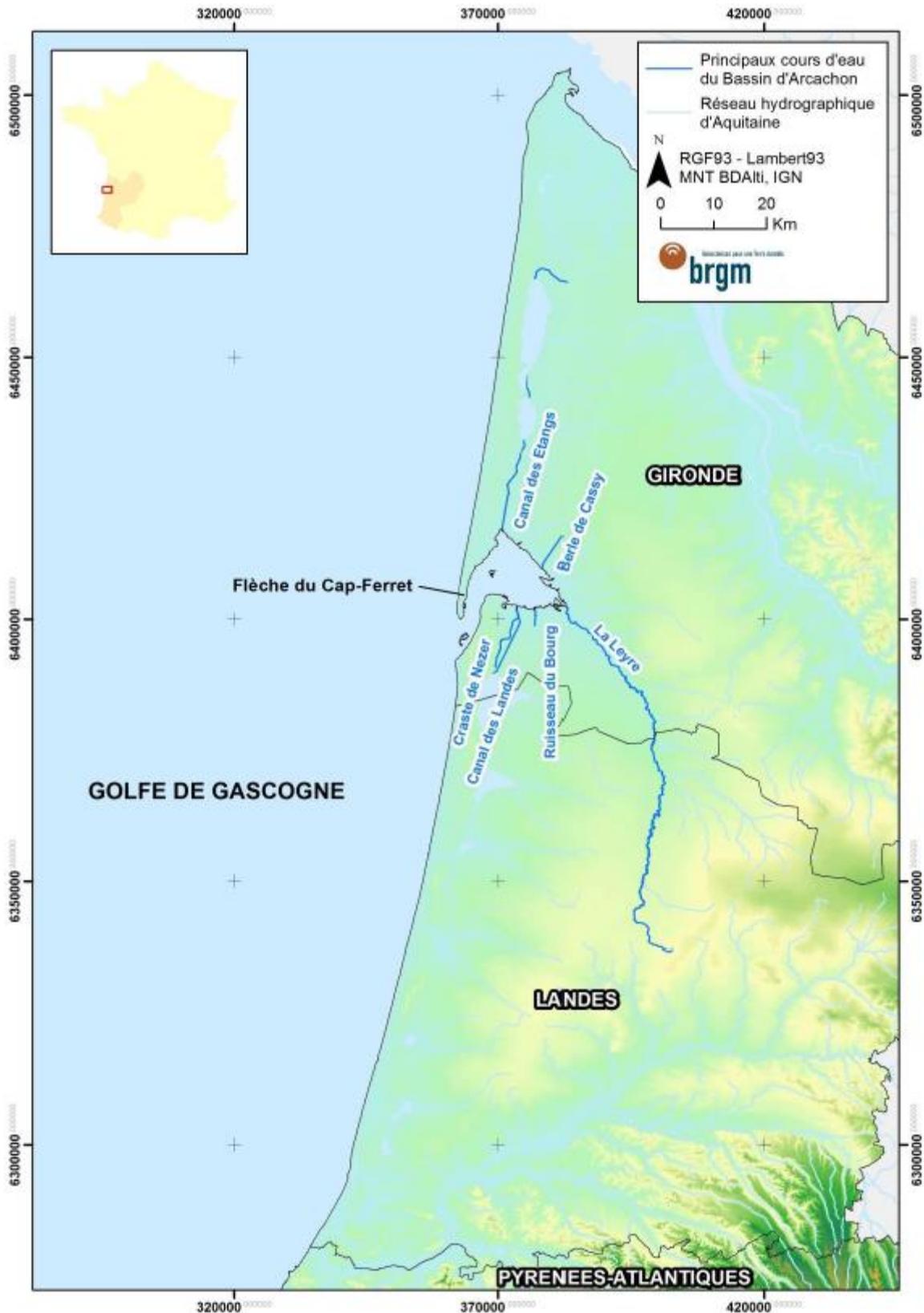


Figure 20 : carte de localisation géographique du Bassin d'Arcachon [7]

4.2.1.2 Andernos-les-Bains

Le secteur d'étude se situe sur la rive nord-est du Bassin d'Arcachon. Le système d'endiguement, objet de la présente étude de danger est destiné à la protection du quartier du Mauret sur la commune d'Andernos-les-Bains.

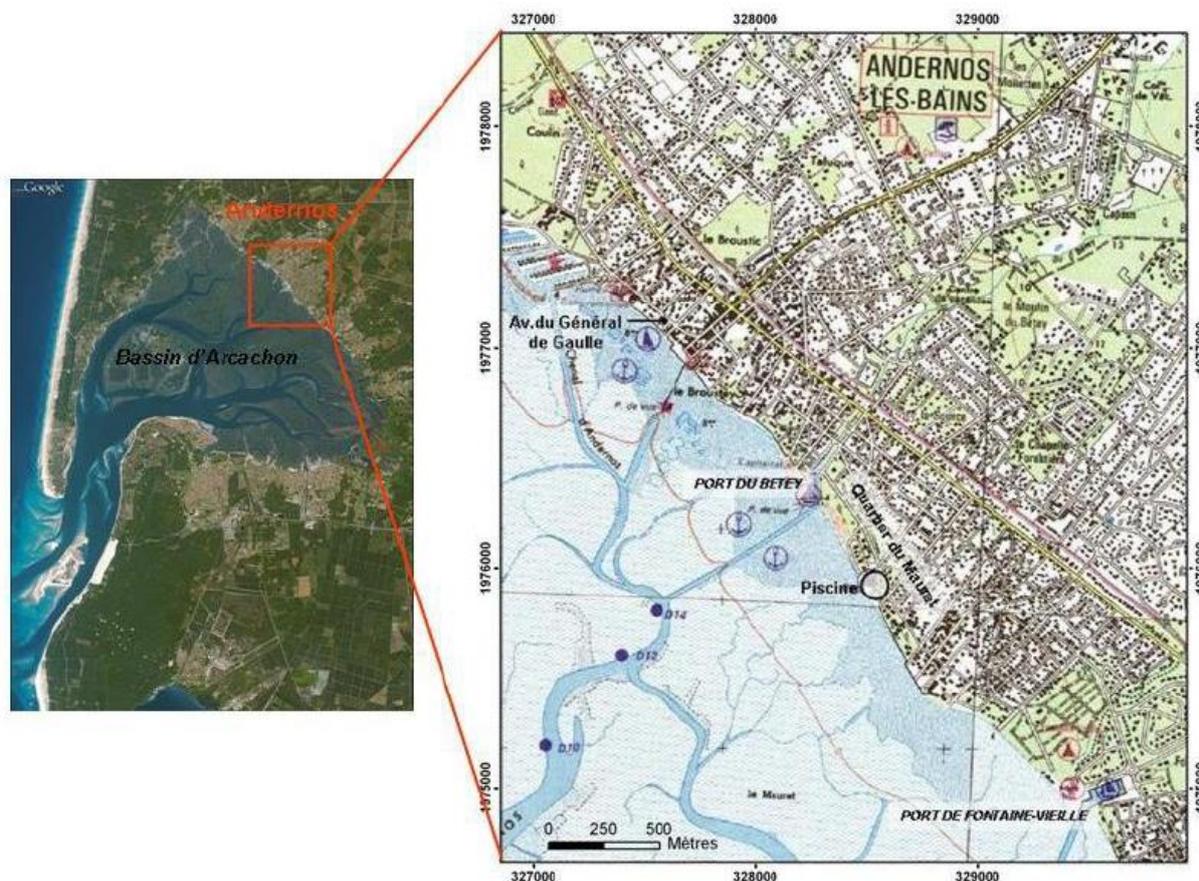


Figure 21 : localisation du secteur d'étude sur le Bassin d'Arcachon [3]

4.2.2 LES NIVEAUX DE REFERENCE

4.2.2.1 La marée astronomique

Les niveaux marins de référence sont retenus au port de référence le plus proche : Arcachon-Eyrac. Ils sont issus de la RAM 2019 (Référence Altimétriques Maritimes [12]).

Coefficient de marée	Niveau marin (CM)	Niveau marin (NGF)
Port de référence d'Arcachon-Eyrac : (CM =NGF+1,98 m)		
PHMA Plus Hautes Marées Astronomiques (coefficient 120)	4,91	2,93
PMVE Pleine Mer de Vives Eaux (coefficient 95)	4,35	2,37
PMME Pleine Mer de Mortes Eaux (coefficient 45)	3,40	1,42
NM Niveau moyen	2,48	0,50
BMME Basse Mer de Mortes Eaux (coefficient 45)	1,30	-0,68
BMVE Basse Mer de Vives Eaux (coefficient 95)	0,45	-1,53
PBMA Plus Basses Marées Astronomiques (coefficient 120)	-0,08	-2,06

Tableau 2 : rappels des niveaux marins de référence à Arcachon-Eyrac [12]

4.2.2.2 Les niveaux marins extrêmes

Les niveaux marins extrêmes sont issus des valeurs du SHOM-CETMEF de 2012 [13]. Ces données tiennent compte de la surcote atmosphérique (mais ne tiennent pas compte du wave setup).

Période de retour	Niveau marin (CM)	Niveau marin (NGF)
Port de référence d'Arcachon-Eyrac : (CM =NGF+1,98 m)		
5 ans	5,20	3,22
10 ans	5,29	3,31
20 ans	5,38	3,40
50 ans	5,49	3,51
100 ans	5,58	3,60

Tableau 3 : niveaux extrêmes de pleine mer dus à la marée astronomique et à la surcote [13]

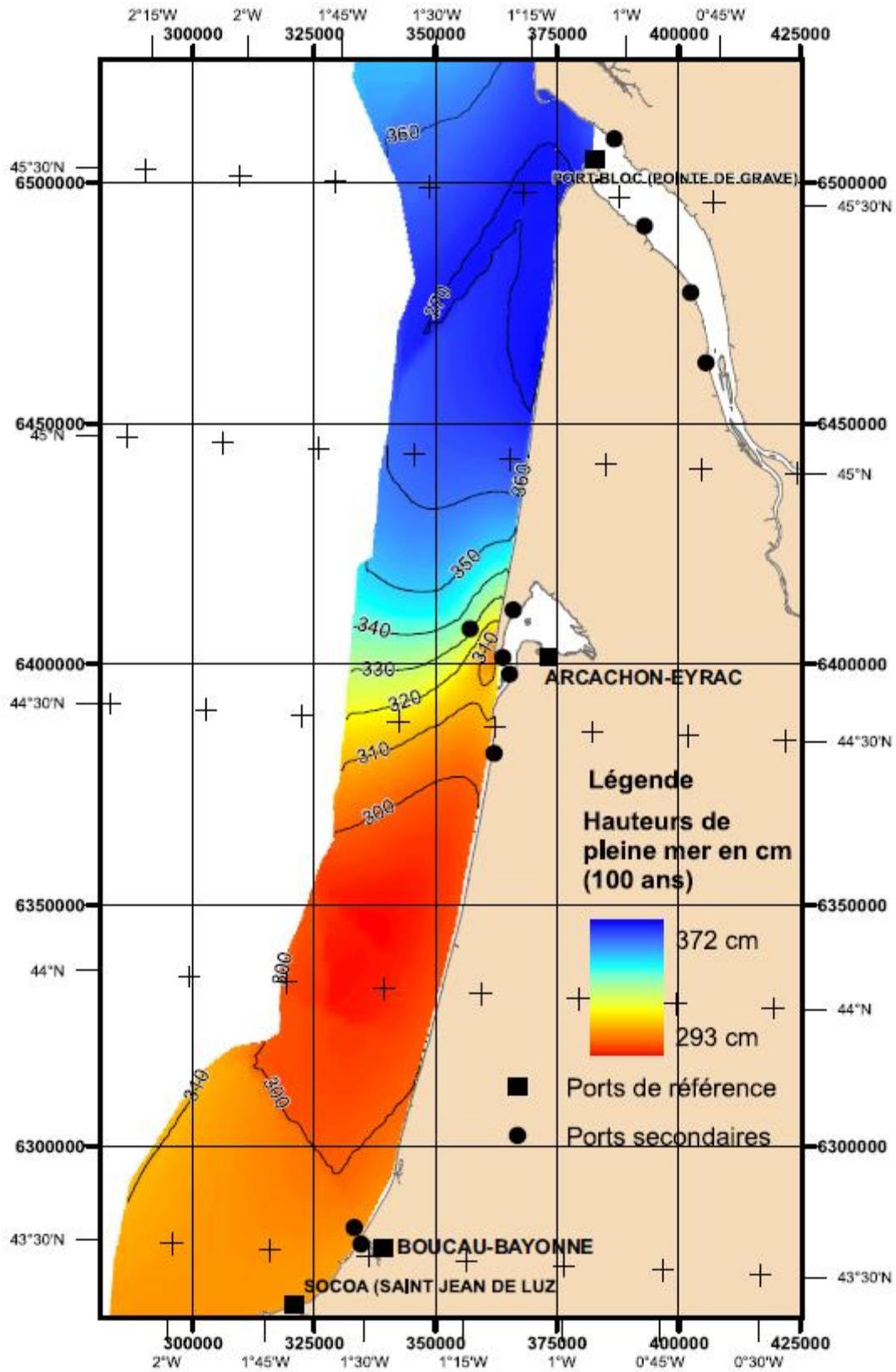


Figure 22 : niveaux extrêmes de pleine mer [13]

4.2.3 LES CONDITIONS ATMOSPHERIQUES GENERANT DE LA HOULE

4.2.3.1 Régime des vents

D'après le rapport PPRSM [7], les différentes études statistiques réalisées à partir des données de Météo-France sur le sémaphore du Cap-Ferret montrent que les vents dominants y sont de secteur nord-ouest et nord-est.

L'examen des roses des vents mensuelles met également en évidence deux types de répartition des directions du vent dans l'année :

- un type automnal-hivernal, d'octobre à mars, qui présente des vents forts de secteur ouest-nord-ouest à sud-ouest ;
- un type printanier-estival, d'avril à septembre, qui se caractérise par une dominance des vents forts de secteur nord-ouest.

En hiver, les vents sont les plus violents avec une direction de provenance de secteur ouest (entre 260° et 280°). A l'inverse, en période estivale, les vents sont très faibles et balayent principalement les secteurs nord-ouest à sud-ouest et nord-est à est.

A l'échelle annuelle, près de la moitié des vents proviennent d'un secteur ouest – sud - ouest à ouest – nord - ouest, et ce sont des vents forts voire violents. A l'inverse, les vents de secteur nord – nord - ouest à nord - est, sont eux aussi, bien représentés mais ils sont plus modérés en termes d'intensité (cf. Figure 23).

Une analyse statistique des vents et de leur association avec les conditions de vagues a été spécifiquement réalisée dans le cadre de l'étude du BRGM pour la détermination des caractéristiques de l'évènement de référence du PPRSM [7]. Cette analyse confirme que **les vents les plus violents et généralement associés aux plus fortes vagues sont, le plus fréquemment, de direction ouest – nord - ouest.**

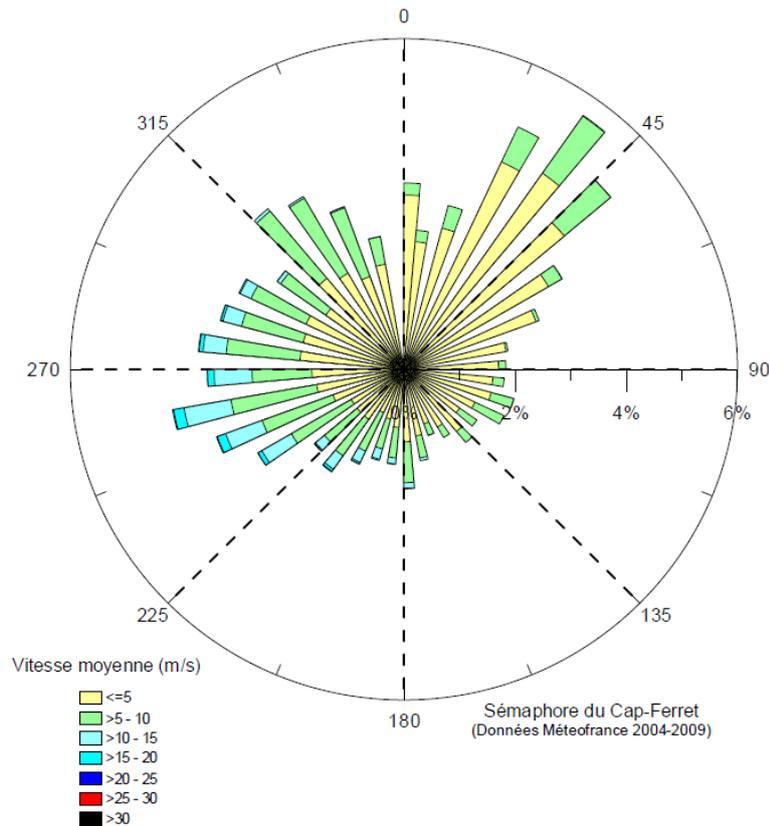


Figure 23: rose des vents au sémaphore du Cap-Ferret [7]

4.2.3.2 Conditions de houle

D'après le rapport PPRSM [7], les vagues qui atteignent les côtes du Golfe de Gascogne sont principalement générées par des flux dépressionnaires d'ouest issus de l'Atlantique Nord, bien qu'il existe une grande variabilité saisonnière et interannuelle.

Les vagues sont généralement caractérisées par trois principaux paramètres : la hauteur significative (H_s), la période pic (T_p) et la direction pic (D_p). En termes de statistiques annuelles, le climat de houle dans le Golfe de Gascogne se caractérise par la prédominance de vagues de faible hauteur. Ainsi, l'analyse par ISL des hauteurs significatives moyennes (H_s) enregistrées par la bouée CANDHIS du Cap-Ferret (située à 14,6 km de la côte, cf. Figure 24 et Figure 25) sur l'ensemble de la période 2001-2019 confirme l'analyse des données 2001-2015 réalisées par le BRGM dans le cadre du PPRSM [7] :

- plus de 70% des vagues sont inférieures ou égales à 2 m de H_s ;
- environ 25% se situent entre 2 et 4 m de H_s ;
- seulement 5% sont supérieures à 4 m de H_s (le maximum enregistré sur la période 2001-2019 est de 11,3 m le 24/01/2009 lors de la tempête Klaus).

Les périodes pics moyennes associées aux vagues dont la hauteur significative est supérieure à 1 m sont de l'ordre de 10 s. La gamme des T_p s'étend de 3 à 20 s, les périodes les plus longues sont généralement associées aux vagues les plus fortes. De plus, la direction dominante des vagues est ouest – nord – ouest.

A l'échelle de temps saisonnière, on distingue deux régimes contrastés [7] :

- un régime hivernal, d'octobre à avril, caractérisé par une forte proportion de houles de forte H_s (45% d'entre elles dépassent 2 m) et de T_p longue (75% sont supérieures à 10 s) ;

- un régime estival, de mai à septembre, durant lequel les vagues sont de faible H_s (75% sont inférieures à 2 m) et de courte T_p (80% sont inférieures à 10 s).

La lagune du Bassin d'Arcachon est protégée de la houle venant du large (direction dominante ouest – nord – ouest, cf. Figure 25) qui déferle en grande partie au niveau des bancs de sable du delta de jusant (Bancs d'Arguin et du Toulinguet).

Cependant, malgré le déferlement et l'atténuation de la houle à proximité de la côte, des conditions d'agitation intenses peuvent se propager dans toute la zone de l'embouchure (rive de Pyla-sur-Mer et du Moulleau et façade interne de Lège – Cap Ferret, de La Pointe à Bélisaire) sous l'effet de la diffraction de la houle au niveau de la Pointe du Cap Ferret et/ou lors de houles de direction plus Sud (i-e dans l'axe de l'embouchure) et/ou lors de la pleine mer qui favorise les flux entrants. **Ailleurs, plus en amont de la lagune, les conditions d'agitation sont beaucoup plus faibles et essentiellement liées au clapot⁵ et aux courants de marée. C'est notamment le cas à Andernos-les-Bains (cf. §4.3).**

Lorsque le fetch⁶ est maximal, lors de la pleine mer, et lorsque les conditions locales de vent sont intenses, le clapot peut avoir des impacts significatifs au rivage : franchissements de paquets de mer et chocs mécaniques, comme en témoigne la connaissance historique sur le secteur d'Andernos-les-Bains (cf. §6.1).

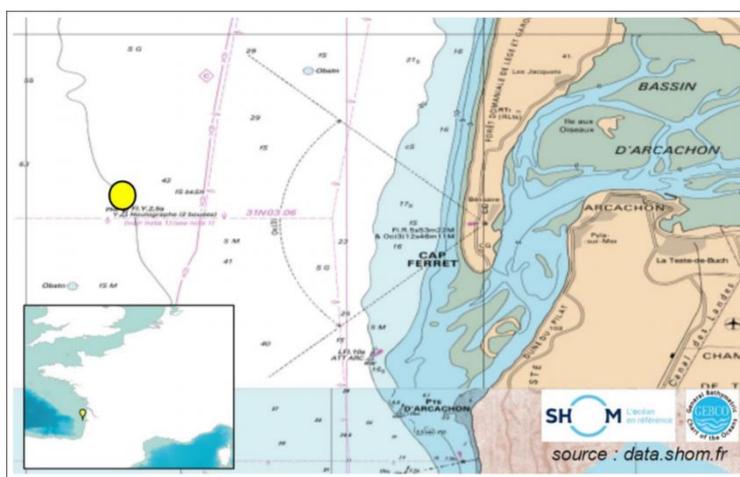


Figure 24 : localisation de la bouée CANDHIS au large du Cap-Ferret (SHOM)

⁵ Le clapot correspond aux vagues générées sur place par le vent local (hauteurs significatives de quelques dizaines de centimètres, périodes pic de moins de 7 s) et sont généralement plus désorganisés que la houle.

⁶ Le fetch est la surface du plan d'eau (océan, mer, lac, lagune, ...) sur laquelle un vent souffle selon une certaine direction et pendant une certaine durée avec pour conséquence la formation de vagues.

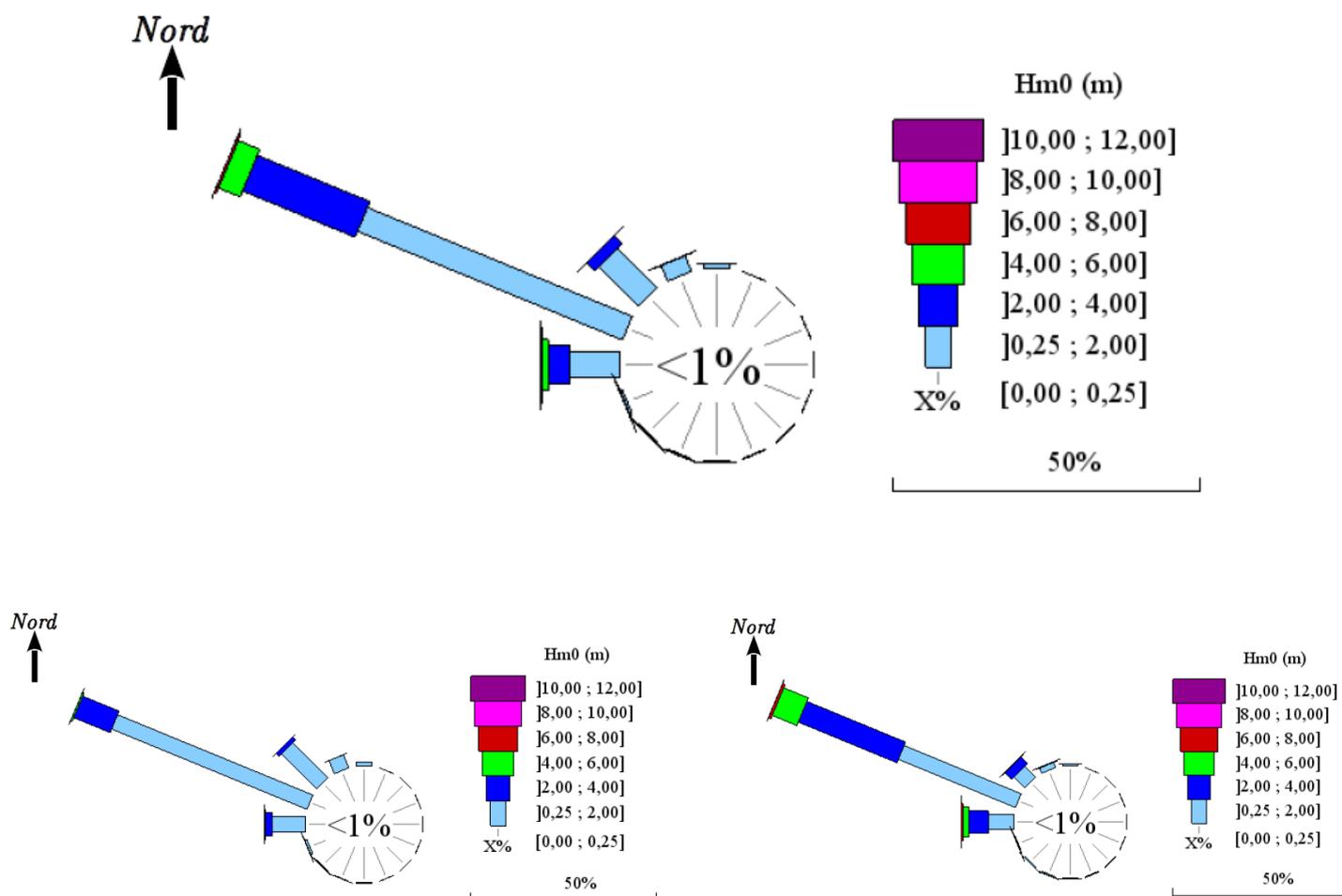


Figure 25 : répartition des hauteurs significatives des vagues en fonction des directions de propagation des vagues – Régimes annuel (en haut), estival (à gauche) et hivernal (à droite) – Mesures du 28/08/2001 au 31/01/2019 à la bouée CANDHIS Cap Ferret, (CEREMA, SHOM, Université de Bordeaux, Fiche des états de mer, Janvier 2020)

4.3 ANALYSE DE L'ALEA DANS LE BASSIN D'ARCACHON

L'analyse locale du secteur d'étude a été menée dans le cadre du PPRSM par le BRGM en 2014-2016. Nous proposons ci-après la synthèse de ces résultats.

4.3.1 NIVEAUX MARINS ET SURCOTES

D'après l'analyse du BRGM [7], au sein du Bassin d'Arcachon, les phénomènes de surcotes proviennent de la combinaison des effets suivants :

- des effets météorologiques, c'est-à-dire de la surcote atmosphérique, générée par la chute de pression lors du passage d'une dépression et de l'action du vent (cf. niveaux extrêmes définis au §4.2.2).
- des effets liés aux vagues (wave setup) : la houle du large qui déferle à l'embouchure génère une surcote qui se propage de manière relativement homogène à l'intérieur du Bassin. Elle peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres. La surcote générée par le clapot (quelques centimètres) est considérée négligeable par rapport à celle générée par les vagues du large.

La conjugaison de la surcote atmosphérique et de la surcote liée aux vagues avec des forts coefficients de marées et/ou des pleines mers, peut considérablement surélever l'altitude du plan d'eau, aggravant ainsi les aléas côtiers (submersion et érosion marines), tel que ce fut le cas, par exemple, lors de Klaus et Xynthia (submersion marine sur certains secteurs du Bassin – Andernos-Les-Bains notamment) et lors des tempêtes de l'hiver 2013-2014 (fortes érosion à l'embouchure – secteur de la Corniche – et nombreux dégâts sur les perrés et digues du Bassin – Pyla-sur-Mer, Lège – Cap Ferret, etc.).

Bien que la houle ne pénètre pas à l'intérieur du Bassin (ou reste limitée à l'embouchure), la surcote liée à la houle (wave setup), elle, se propage sur toute sa superficie. Une modélisation numérique réalisée en 2010 par le BRGM ayant pour objectif la simulation de l'altitude du plan d'eau lors des tempêtes Klaus et Xynthia [4] a mis en évidence cette propagation homogène de la surcote.

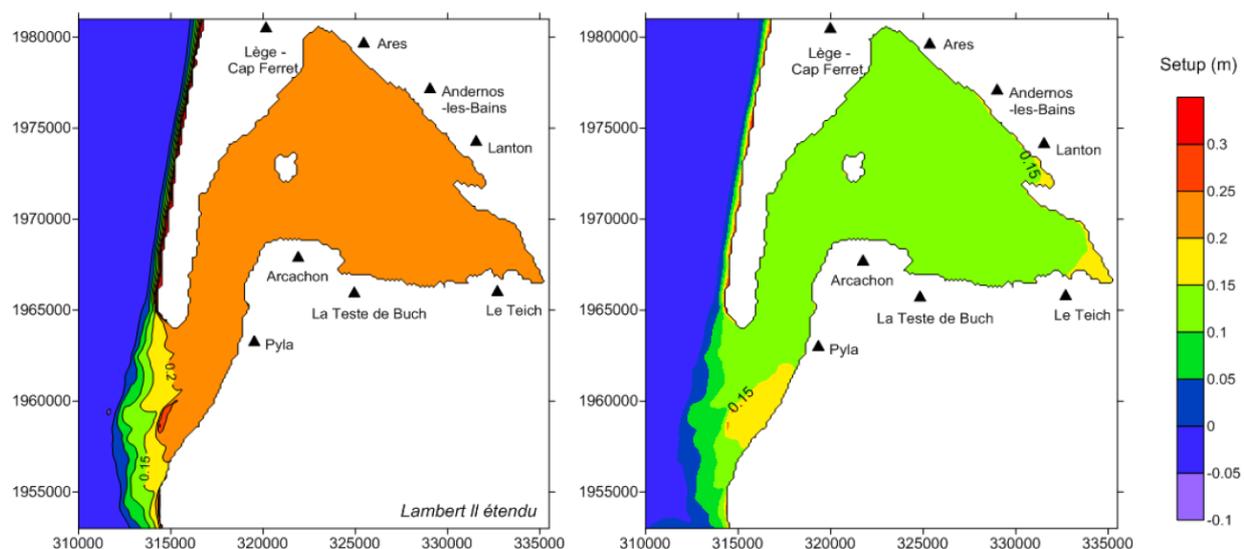


Figure 26 : propagation de la surcote liée à la houle (wave setup) à l'intérieur du Bassin d'Arcachon lors des tempêtes Klaus (à gauche) et Xynthia (à droite) [4]

4.3.2 CONDITIONS DE COURANT

L'analyse bibliographique menée par le BRGM dans le cadre du PPRSM [7] montre qu'à l'extérieur du Bassin, les courants de marées sont négligeables comparés à ceux générés par les vagues, ils peuvent être puissants à l'intérieur jusqu'à atteindre 2 m/s dans les Passes. Dans le Bassin, le régime des marées à l'origine de courants alternatifs dans les chenaux, est :

- semi-diurne⁷ avec une dissymétrie en mortes-eaux de 20 à 30 minutes (jusant plus court que le flot). La symétrie est quasi-parfaite en vives-eaux ;
- mésotidal⁸ avec un marnage moyen en vives-eaux de 3,8 m (cf. §4.2.2).

Selon le BRGM, les courants sont majoritairement sortants (dominance du jusant) dans la Passe Nord (dirigés vers le sud – sud - ouest au voisinage de la Pointe) et majoritairement rentrants (dominance du flot) le long de la côte du Pyla-sur-Mer et du Moulleau (communes de La-Teste-de-Buch et d'Arcachon).

Plus à l'intérieur du Bassin, les courants sont plus faibles et sans dominance directionnelle nette dans un système de chenaux et de platiers sablo-vaseux.

⁷ Semi-diurne : 2 cycles de marées de période de 12h25min

⁸ Mésotidal : marnage entre 2 et 4 m

4.3.3 PROPAGATION AU RIVAGE

Dans le cadre de l'élaboration du PPRSM du Bassin d'Arcachon, le BRGM a élaboré une modélisation numérique prenant en compte les effets combinés de la surcote atmosphérique, du niveau de marée, et de la surcote liée à la houle pour le calcul de l'altitude du plan d'eau lors d'événements extrêmes.

Cette modélisation couplée a permis de représenter la propagation de l'événement naturel de référence depuis le large jusqu'à terre et simuler ainsi la dynamique de la submersion marine par débordement (principal type de submersion intervenant à l'intérieur du Bassin d'Arcachon) et localement par franchissement de paquets de mer.

Le couplage des modèles SWAN et MARS-2DH a notamment permis de calculer les niveaux d'eaux et les courants dans le Bassin en tenant compte des interactions vagues-niveaux-courants et en intégrant les surcotes induites par le vent et les vagues (*wind* et *wave setup*), cf. ci-avant. Le modèle MARS-2DH a été utilisé pour modéliser la submersion marine par débordement, et le modèle SWASH, pour la submersion par franchissement de paquets de mer.

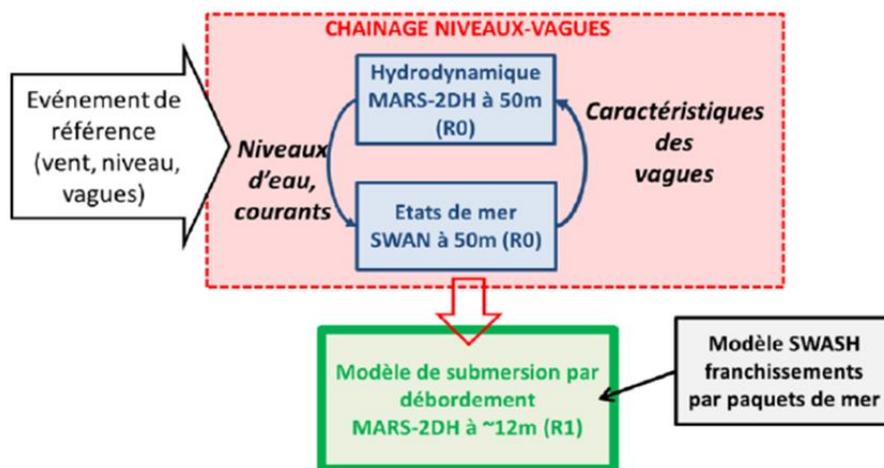


Figure 27 : stratégies de modélisation [7]

4.3.3.1 Détermination de l'évènement naturel de référence (centennal) au large

La détermination de l'évènement de référence au large s'est basée sur une analyse statistique de conditions météo-marines au large du Bassin d'Arcachon selon la méthode JOIN-SEA (ou « analyse en probabilité de dépassement conjoint »). Cette méthode consiste en la sélection de couples de hauteur significative des vagues et de niveau marin au large ayant une période de retour de dépassement conjoint centennale. À ces couples de niveau et hauteur significative des vagues sont associées les caractéristiques des vagues en termes de direction de provenance et de période pic des vagues, ainsi que les caractéristiques des vents (intensité et direction).

Le logiciel JOIN-SEA a été alors utilisé par le BRGM pour :

- déterminer les couples (Hs, SWL) de période de retour 100 ans, Hs étant la hauteur significative des vagues et SWL étant le niveau statique intégrant la marée et la surcote atmosphérique. A chacune de ses combinaisons est associée une valeur de période pic des vagues (Tp).
- déterminer les conditions de vent Uv (intensité du vent) probables, associées aux combinaisons (Hs, SWL) d'iso-période de retour 100 ans. A chaque combinaison (Hs, SWL) centennale est associée la médiane des intensités de vent simulées par JOIN-SEA, pour chacune des hauteurs significatives considérées.

A l'aide d'un grand nombre de données fictives simulées par la méthode de Monte Carlo, le BRGM a sélectionné 13 combinaisons représentatives de l'ensemble des événements naturels susceptibles de générer un niveau marin extrême centennal au rivage.

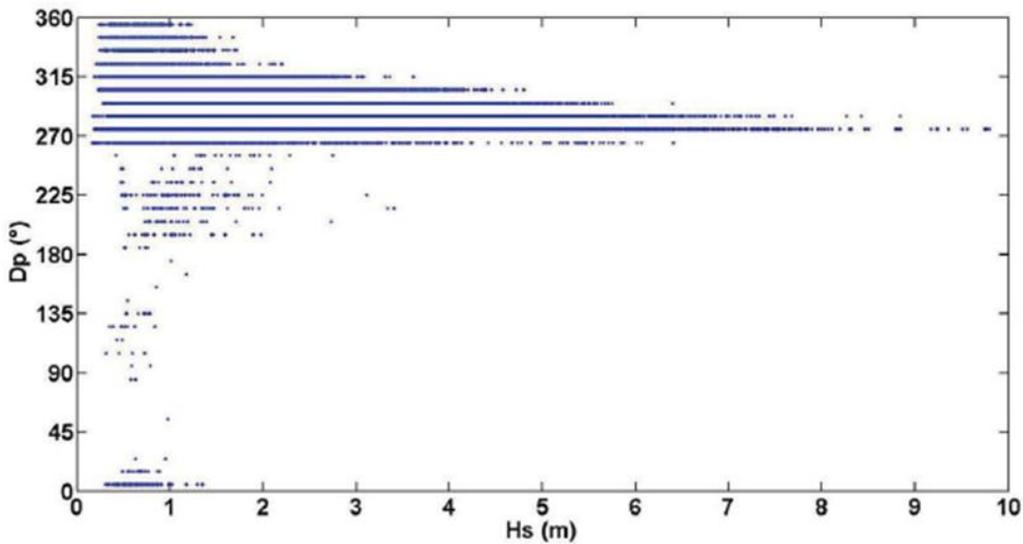


Figure 28 : graphe bivarié représentant les directions pics des vagues en fonction des hauteurs significatives de vagues [6]

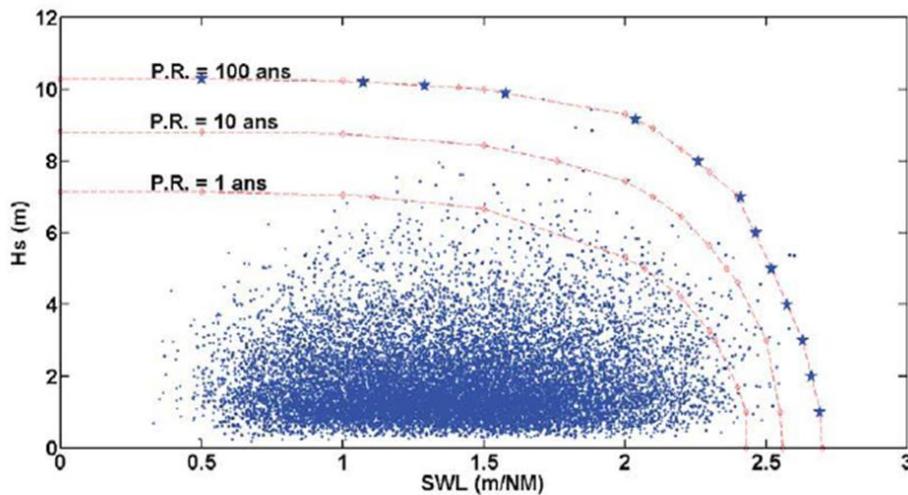


Figure 29 : courbes d'iso-période de dépassement conjoint pour Hs et SWL [6]

Combinaisons		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Niveau marin(marée + surcote atmosphérique)	SWL(m/NM)	0.5	1.07	1.29	1.58	2.04	2.26	2.41	2.47	2.52	2.58	2.63	2.66	2.69
Hauteur significatives des vagues	Hs(m)	10.2	10.19	10.1	9.89	9.15	8	7	6	5	4	3	2	1
Période pic des vagues	Tp(s)	17.3	17.3	17.3	17.2	16.8	16.2	15.6	15	14.5	13.8	13	11.8	10.4
Intensité du vent	Uv(m/s)	18.8	18.7	18.6	18.3	17	14.5	13.2	11.9	10.5	8.9	7.1	6	5.5
Direction du vent	Dir(*N)	270	270	270	270	270	270	270	270 - 215	270 - 215	270 - 215	270 - 215	270 - 215	270 - 215

Figure 30 : combinaisons sélectionnées pour les calculs de propagation [6]

4.3.3.2 Détermination du niveau marin de référence (centennal) au rivage

La propagation vers le rivage à l'intérieur du Bassin des combinaisons (Hs, SWL, Tp, Uv et Dv) représentatives a permis au BRGM de calculer les niveaux marins totaux en intégrant les processus locaux liés à l'effet des vagues, du vent et de la géomorphologie.

Le calcul s'est fait en 2 étapes :

- le calcul de la surcote liée aux vagues à partir d'un modèle SWAN,
- le calcul du niveau marin avec un modèle MARS-2DH intégrant le niveau d'eau au large (SWL), la surcote liée aux vagues, la vitesse et la direction du vent.

4.3.3.3 Calcul de la surcote liée aux vagues (set-up) à partir du modèle SWAN

Une simulation de l'agitation a été effectuée par le BRGM à l'aide du logiciel SWAN. Le logiciel modélise les processus de génération de la houle par le vent, de propagation (réfraction, diffraction, obstacles ...), et de dissipation (frottement sur le fond, déferlement ...). Le calcul a été réalisé un mode stationnaire, et les conditions d'entrée du modèle (données de vagues et de niveaux d'eau) étaient issues de l'analyse JOIN-SEA décrite précédemment. Les conditions de vents (directions et intensités) ont été prises homogènes sur toute la zone d'étude des modèles par le BRGM.

L'utilisation de SWAN pour l'estimation du set-up lors de la tempête Xynthia a montré l'homogénéité sur l'ensemble du Bassin de la surcote liée au déferlement de la houle lors de son arrivée au niveau des bancs de sable situés à l'embouchure du Bassin.

Après calcul du set-up pour chacune des 13 combinaisons centennales, les valeurs de surcote ont été évaluées entre 1 cm pour des petites conditions de houle (Hs =1m) et 60 cm pour des conditions de houle extrêmes (Hs =10,20 m).

Combinaisons		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Niveau marin(marée + surcote atmosphérique)	SWL(m/NM)	0.5	1.07	1.29	1.58	2.04	2.26	2.41	2.47	2.52	2.58	2.63	2.66	2.69
Hauteur significative des vagues	Hs(m)	10.2	10.19	10.1	9.89	9.15	8	7	6	5	4	3	2	1
Période pic des vagues	Tp(s)	17.3	17.3	17.3	17.2	16.8	16.2	15.6	15	14.5	13.8	13	11.8	10.4
Intensité du vent	Uv(m/s)	18.8	18.7	18.6	18.3	17	14.5	13.2	11.9	10.5	8.9	7.1	6	5.5
Surcote liée aux vagues	Setup (m)	0.6	0.6	0.59	0.58	0.53	0.46	0.4	0.33	0.25	0.19	0.12	0.06	0.01

Figure 31 : valeurs des surcotes liées aux vagues calculées par SWAN [6]

4.3.3.4 Calcul du niveau d'eau au rivage pour l'évènement de référence (centennal)

Le calcul du niveau marin a été effectué par le BRGM à l'aide d'un modèle MARS-2DH (simulation des niveaux d'eau et des courants), en intégrant le niveau au large (SWL simulé sous forme d'un signal de marée déterminé à partir d'une marée moyenne normalisée au droit du marégraphe d'Arcachon-Eyrac), la surcote liée aux vagues, la vitesse et la direction du vent (appliquées de manière homogène sur tout le domaine).

Les niveaux d'eau propagés au rivage ont été extraits au niveau de 38 sites régulièrement répartis sur le pourtour du Bassin d'Arcachon (Figure 32). Pour chacun de ces sites et pour chacune des 13 combinaisons (Hs, SWL, Tp, Uv) centennales, le set-up calculé par SWAN a été additionné au niveau d'eau simulé par MARS-2DH. Les niveaux marins extrêmes calculés de cette manière correspondent à des niveaux marins statiques, c'est-à-dire sans prise en compte de l'effet du jet de rive. Ils intègrent en revanche la prise en compte du changement climatique (cf. §4.1.2) et des incertitudes du calcul/

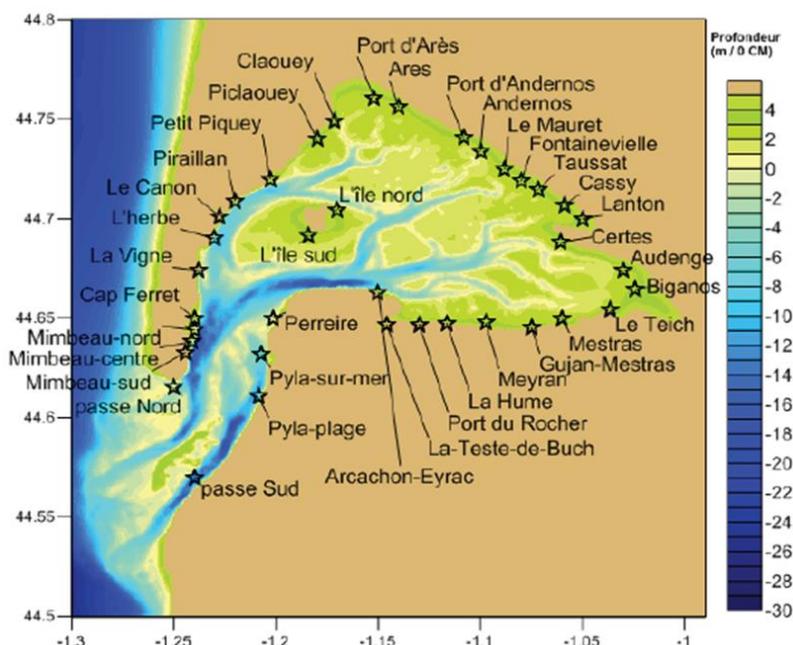


Figure 32 : position des points d'extraction de niveau d'eau propagé par le modèle MARS-2D [6]

Le BRGM précise que dans le cas du Bassin d'Arcachon, la houle ne pénétrant pas à l'intérieur du bassin, le franchissement par paquets de mer résulte du clapot. Même si le clapot peut être important et atteindre plusieurs dizaines de centimètres, les volumes générés par un franchissement par paquets de mer ont été jugés négligeables par rapport aux volumes générés par un débordement lors d'un évènement centennal. Le BRGM a ainsi considéré que sur le Bassin d'Arcachon, l'évènement le plus pénalisant en termes de submersion correspondait à l'évènement le plus pénalisant en termes de niveau marin au rivage.

L'analyse des relations de dépendance entre les hauteurs significatives des vagues et les directions de vent a mis en évidence que les vagues supérieures à 6 m étaient exclusivement associées à des directions de vent de 270°N.

Les 13 combinaisons centennales ont donc été propagées vers le rivage avec un vent de direction 270°N.

La Figure 33 présente les niveaux marins extrêmes maximaux atteints au rivage après propagation des combinaisons centennales (Hs, SWL, Tp, Uv) et exprimés en référence au niveau moyen de la mer (NM).

La combinaison la plus défavorable calculée par le BRGM est la combinaison n°7 avec Hs = 7 m et SWL = 2,41 m NM, ou n°8 avec Hs = 6 m et SWL = 2,47 m NM.

NOM	COMBINAISONS CENTENNALES (m / NM)													N° du max	NM / CM (m)	Ntot		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			m / NM	m / CM	m / NGF (IGN69)
Port d'Andernos	1.58	2.16	2.38	2.66	3.08	3.20	3.27	3.25	3.22	3.21	3.19	3.15	3.04	7	2.46	3.27	5.73	3.75
Andernos	1.59	2.17	2.38	2.67	3.08	3.20	3.28	3.26	3.23	3.21	3.19	3.15	3.04	7	2.46	3.28	5.74	3.76
Le Mauret	1.61	2.19	2.40	2.68	3.09	3.21	3.29	3.27	3.24	3.22	3.20	3.16	3.04	7	2.46	3.29	5.75	3.77

Figure 33 : niveaux marins extrêmes au rivage atteints à Andernos lors d'un événement centennal (13 combinaisons) propagé depuis le large avec des vents orientés de secteur ouest (270°N) [6]

Bien que les vents dominants sur le Bassin d'Arcachon soient de secteur ouest, les niveaux marins extrêmes ont également été calculés par le BRGM pour un vent de secteur sud-sud-ouest, car l'analyse des relations de dépendance entre les hauteurs significatives des vagues et les directions du vent ont montré qu'un vent sud-sud-ouest pouvait être associé à des hauteurs significatives de moins de 6 m.

Seules les combinaisons n°8 à 13, présentant une hauteur significative des vagues de moins de 6 m, ont donc été propagées depuis le large vers le rivage avec un vent de direction 215°N. La combinaison n°8 était alors la plus défavorable avec un vent de direction 215°N.

La figure suivante présente la différence entre les niveaux marins extrêmes obtenus par le BRGM pour les directions de vent de secteur ouest et de secteur sud-sud-ouest :

NOM	Ntot de la combinaison n°8		Différence (cm)
	Ntot 215°N (m/NGF)	Ntot 270°N (m/NGF)	Ntot215 - Ntot270 (cm)
Port d'Andernos	3.80	3.73	6
Andernos	3.79	3.74	5
Le Mauret	3.79	3.75	4

Figure 34 : écarts de niveaux d'eau entre les 2 configurations de vent pour la combinaison centennale n°8 (BRGM/ RP-61408-FR)

4.3.3.5 Calcul du clapot à l'intérieur du bassin

Le clapot dans le bassin d'Arcachon a également été simulé par le BRGM à l'aide du modèle numérique SWAN. Exemple : pour la combinaison n°8, formation d'une mer de vent sur le bassin de période de pic très faible (2 s) et une hauteur significative maximale de 60 cm.

4.3.4 SYNTHÈSE SUR L'AGITATION DU PLAN D'EAU POUR LES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES

Un exemple des résultats des modélisations du BRGM est donnée ci-après et illustre la répartition spatiale de la hauteur significative des vagues et de la surcote liée à leurs déferlements (*wave setup*) dans le Bassin d'Arcachon à marée haute (Figure 35). Au maximum de la pleine mer, on note [7] :

- des vagues supérieures à 5 m à l'extérieur du Bassin (il s'agit de la houle au large avec des vagues de hauteur 7 m et de période pic 15 s) et des vagues inférieures à 1 m à l'intérieur (il s'agit du clapot) avec une zone de déferlement des vagues située dans la zone des passes ;
- une propagation de la surcote moyenne du plan d'eau générée par le déferlement des vagues globalement homogène sur l'ensemble du Bassin, de l'ordre de 30 cm à marée haute ;
- un niveau marin plus élevé de quelques dizaines de centimètres (~50 cm max) au fond du Bassin en raison de la poussée des masses d'eau avec un décalage temporel de quelques dizaines de minutes (60 minutes max) lié à la propagation de la marée à l'intérieur du Bassin ;

- une surcote liée au déferlement des vagues modulée par la marée qui atteint son maximum (~50cm) lors de la basse-mer et son minimum à la plein-mer (~30 cm) ;
- des hauteurs significatives des vagues elles aussi modulées par la marée (hauteurs maximales des vagues à l'entrée et au fond du bassin atteintes lors de la pleine-mer et ne dépassant pas le mètre).

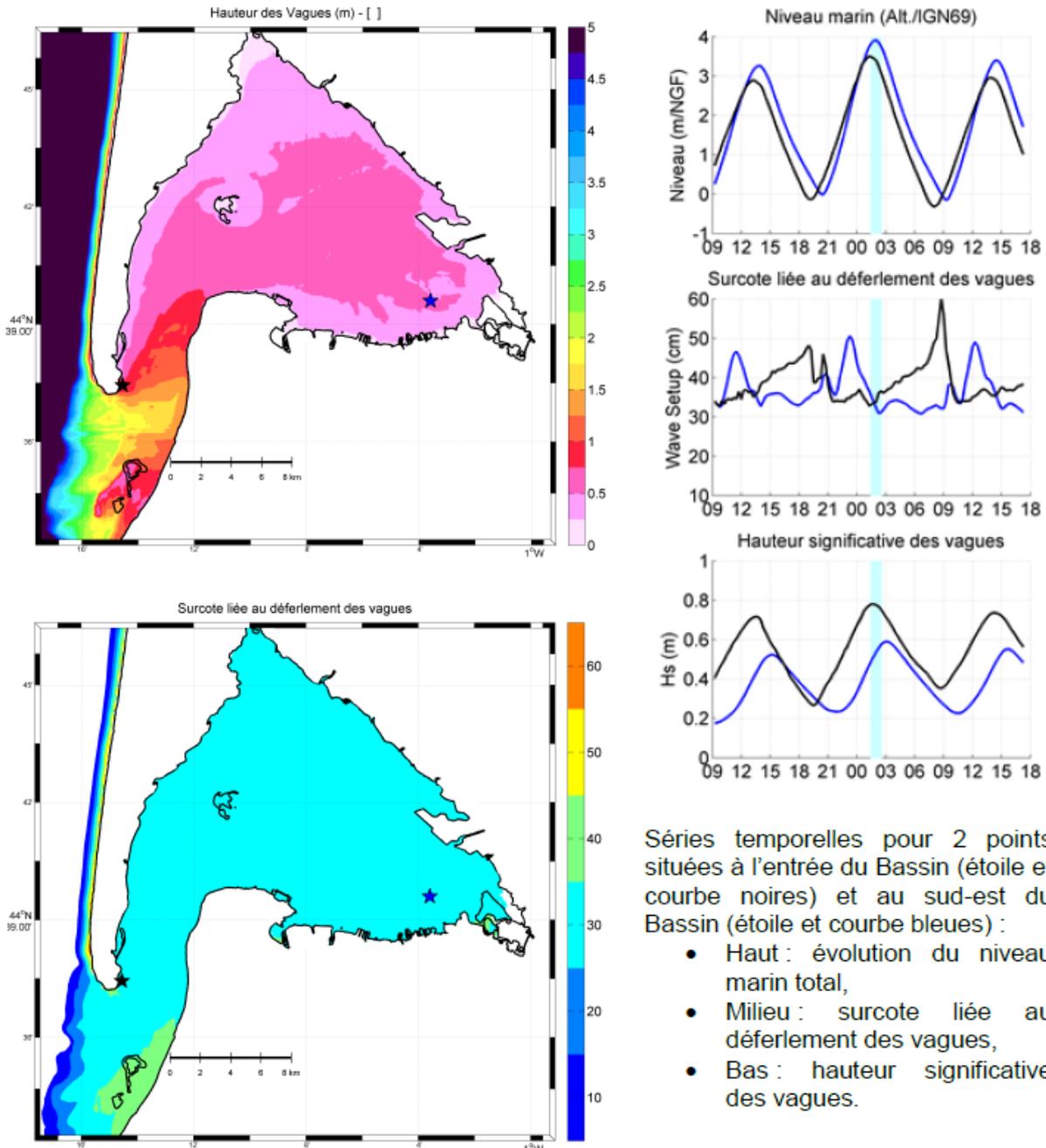


Figure 35 : cartes des hauteurs significatives des vagues (en haut) et des surcotes liées au déferlement des vagues (en bas) à l'échelle du Bassin d'Arcachon à marée haute

La synthèse est proposée au chapitre 4.6.

4.4 EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS

Sans objet.

4.5 TRANSPORTS SEDIMENTAIRES

Il n'existe pas d'étude locale de l'évolution du trait de côte et du transport sédimentaire au niveau d'Andernos-les-Bains. Des études à l'échelle globale du Bassin d'Arcachon existent ou sont en cours.

La comparaison des relevés bathymétrique entre 1864 et 1993 présentée dans [20] indique que le secteur du système d'endiguement se situe en zone de dépôt plutôt qu'en zone d'érosion. La figure ci-dessous extraite de ce document illustre ce point :

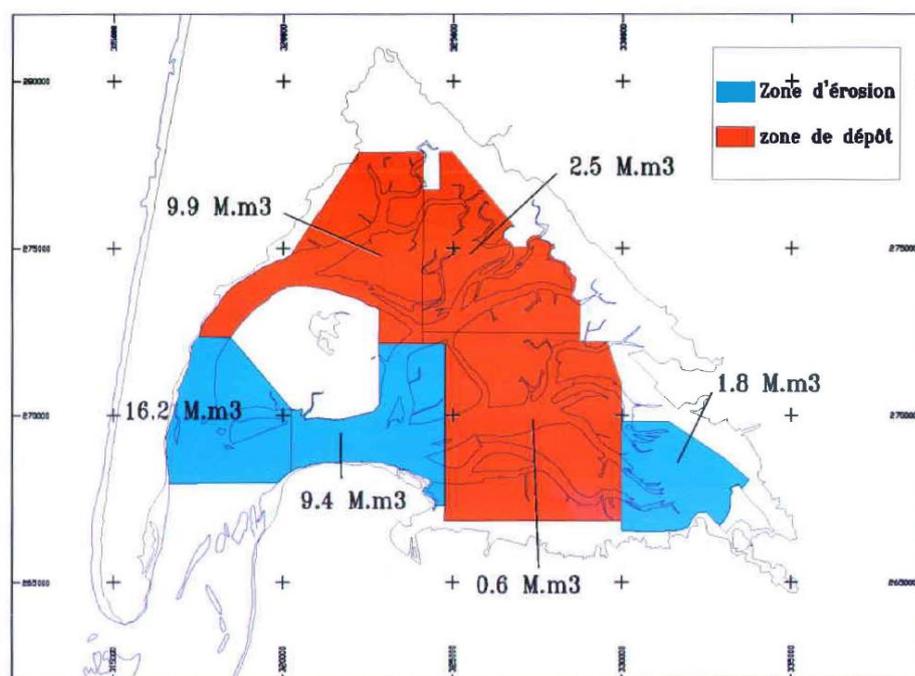


Figure 36 : comparaison de la bathymétrie entre 1864 et 1993 ([20])

Le document [19] plus récent confirme cette tendance. Le littoral au droit du système d'endiguement est dans une zone d'accrétion du Bassin d'Arcachon :



Figure 37 : dynamique hydro-sédimentaire du Bassin d'Arcachon ([19])

Selon le gestionnaire, il n'est pas constaté d'évolution conséquente du pied de perré du système d'endiguement au cours des saisons. Des affouillements légers ponctuels peuvent être constatés sur le système d'endiguement post tempête (avec engraissement sur d'autres secteurs du système d'endiguement) mais l'état d'équilibre se met en place rapidement ensuite (marées suivantes). Des opérations de ré engraissement de la plage sont également envisageables suivant l'état constaté lors des inspections régulières.

4.6 IMPACTS COMBINÉS DES NIVEAUX MARINS, DE LA HOULE, DES VAGUES, DES DEPRESSIONS ATMOSPHERIQUES ET DU VENT, SUR LE LITTORAL

Les données d'entrée des impacts maritimes sur le littoral côtier de la zone d'étude sont présentées au §4.2 et 4.3 de la présente EDD, elles sont principalement issues des études du PPRSM menées par le BRGM.

Les niveaux connus/calculés à Andernos-les-Bains en fonction de leur période de retour sont présentés dans le tableau et sur la figure qui suivent. Ils permettent de représenter la gamme des niveaux marins extrêmes retenus pour la présente EDD et attendus entre les PHMA⁹ et les niveaux maximums du PPRSM (incluant la prise en compte du réchauffement climatique et les incertitudes de calculs).

⁹ PHMA : plus haute mer astronomique

	PHMA	Niveaux extrêmes du SHOM	Tempête Klaus 2009	Tempête Xynthia 2010	Evènement de référence actuel du PPRSM	Evènement de référence à 2100 du PPRSM
Source et méthode de calculs	RAM 2019 – Donnée de référence à Arcachon-Eyrac (cf. §4.2.2 et [12])	Niveaux extrêmes 2012 calculés par analyse statistique (cf. §4.2.2 et [13])	Application de modèles numériques pour l'estimation du plan d'eau à Andernos-les-Bains par le BRGM [4]		Modélisation numérique couplée du BRGM dans le cadre du PPRSM : 13 combinaisons centennales propagées depuis le large vers Andernos-les-Bains (cf. §4.3.3 et [11] et [7])	
Conditions de vent	-	Niveaux extrêmes intégrant la surcote (atmosphérique et wave-setup) calculée pour les périodes de retour 5, 10, 20, 50 et 100 ans	25 à 30 m/s	15 à 20 m/s	5,5 à 18,8 m/s => 13,2 m/s retenu pour le PPRSM	
Conditions de houle au large	-		H _s = 10 à 11 m T _p = 13,5 à 14 s D _p = 285°N	H _s = 6 à 7 m (estimée – Bouée CANDHIS en maintenance)	H _s = 1,0 à 10,2 m => 7,0 m retenu pour le PPRSM T _p = 10,4 et 17,3 s => 15,6 s retenu pour le PPRSM	
Conditions de marée	2,93 m NGF Plus Hautes Mers Astronomiques (coef. 120)		1,75 m NGF (coef. 58)	2,58 m NGF (coef. 102)	1,20 à 3,39 m NGF (y compris surcote atmosphérique) => 2,91 m NGF retenu pour le PPRSM	
Surcote	-	1,15 m	0,90 m	+0,01 à +0,60 m (wave-setup) => 0,4 m retenu pour le PPRSM +0,20 m changement climatique +0,15 m incertitudes	+0,01 à +0,60 m (wave-setup) => 0,4 m retenu pour le PPRSM +0,60 m changement climatique +0,15 cm incertitudes	
Clapot à Andernos	-	-	H _s = 0,5 à 0,8 m T _p = 2,5 à 3 s	H _s = 0,3 à 0,6 m T _p = 2,5 s	~ 0,5 m	~ 0,5 m
Niveau statique total au Mauret	2,93 m NGF	3,22 m NGF (T = 5 ans) à 3,60 m NGF (T = 100 ans)	3,28 m NGF	3,83 m NGF	3,92 m NGF	4,32 m NGF

Tableau 4 : niveaux connus à Andernos-les-Bains et retenus pour la présente EDD

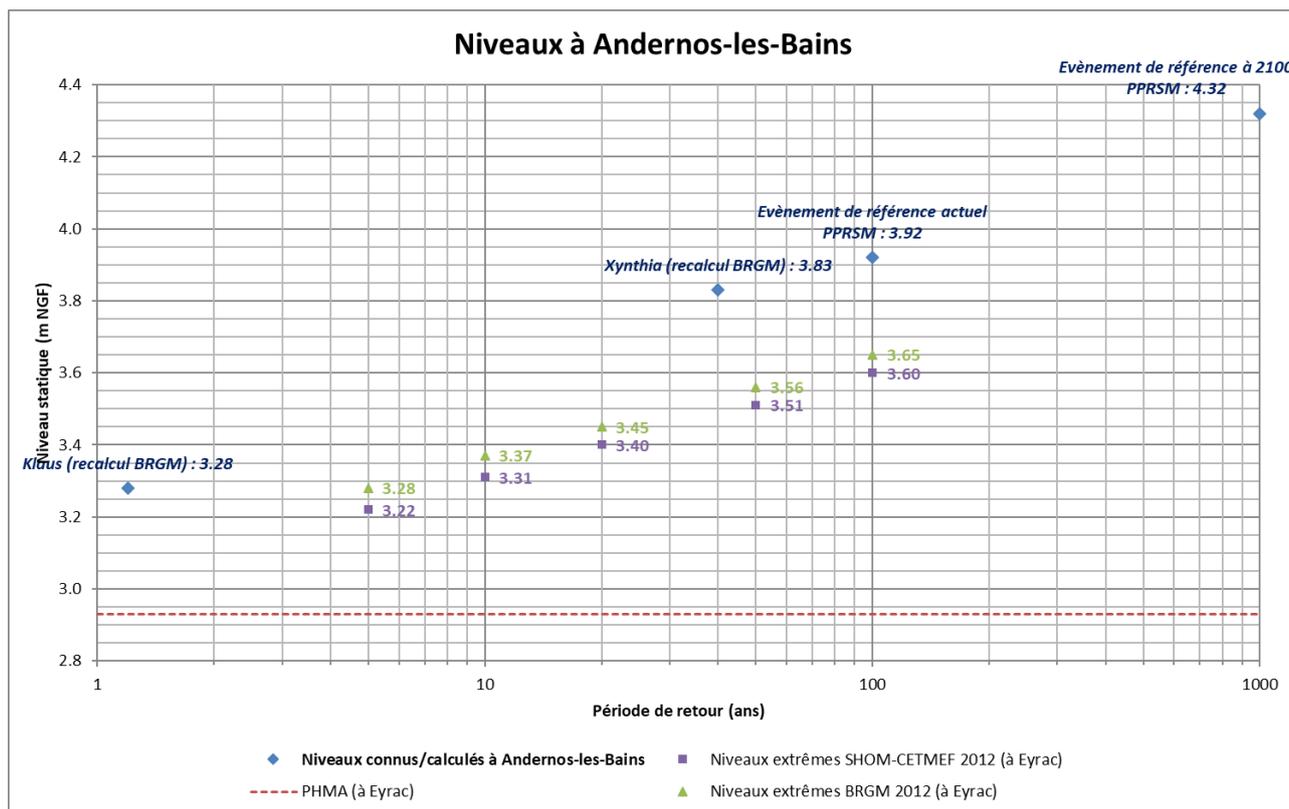


Figure 38 : niveaux connus à Andernos-les-Bains et retenus pour la présente EDD

4.7 SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES

4.7.1 ALEA SISMIQUE

4.7.1.1 Aperçu local

Un séisme est provoqué par une rupture brutale des roches le long d'un plan de faille. Cette rupture provoque des ondes sismiques et leur passage à travers le sol entraîne des vibrations qui peuvent être ressenties à la surface.

La puissance d'un séisme est quantifiable selon deux échelles : la magnitude et l'intensité. Il n'y a pas de relation directe entre l'intensité et la magnitude.

Il n'y a que très peu de séismes enregistrés à proximité du Bassin d'Arcachon et tous les événements sismiques importants qui ont eu lieu dans la région, avaient des intensités faibles (magnitude <4).

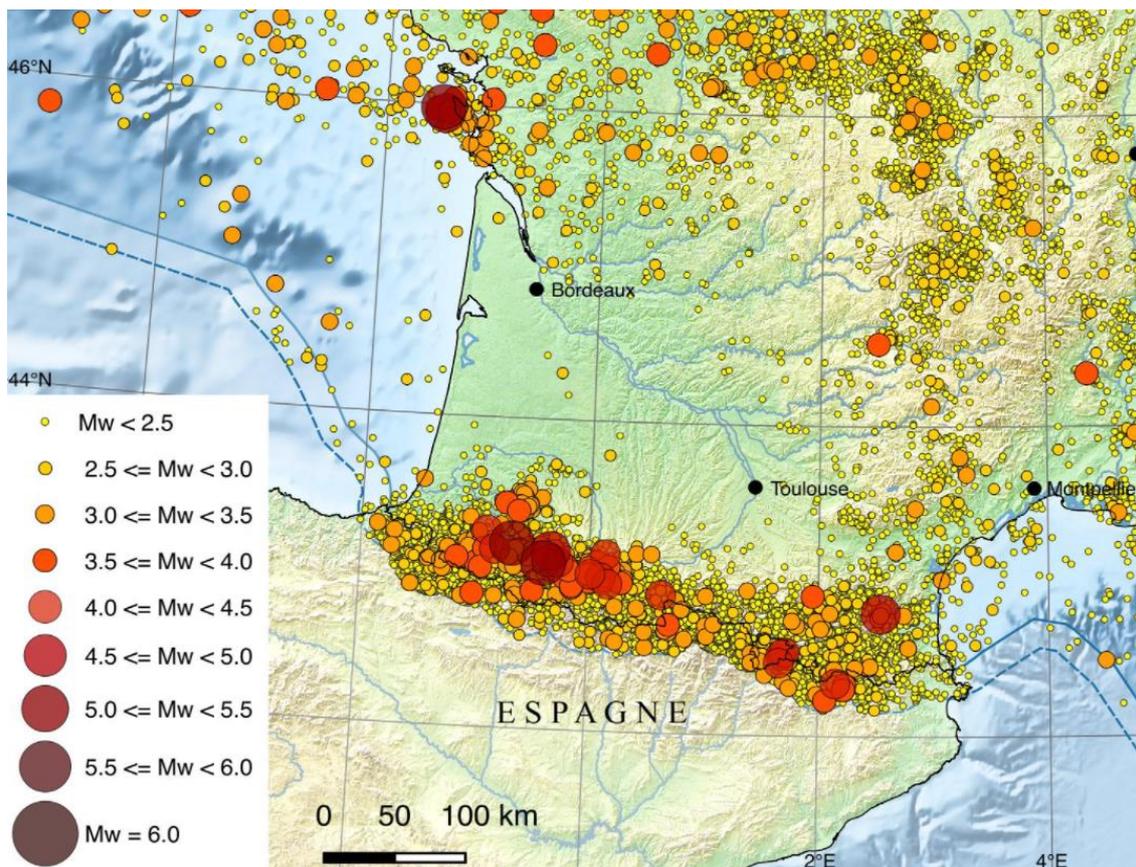


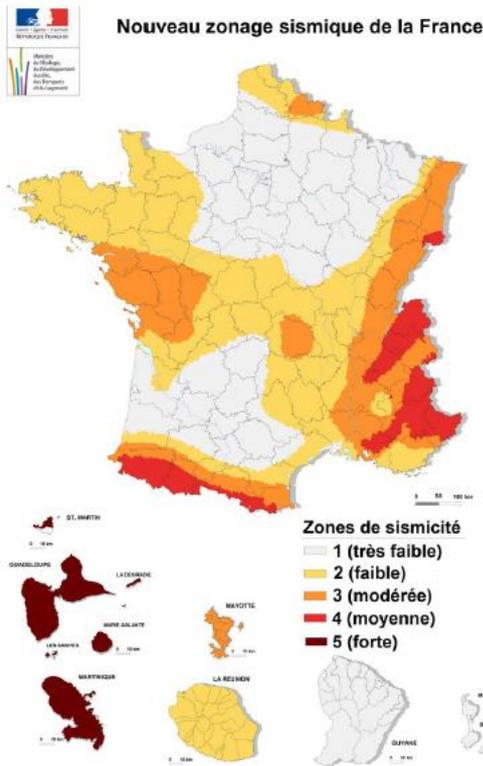
Figure 39 : sismicité instrumentale de la France métropolitaine 1962-2018 (source: www.franceseisme.fr).

4.7.1.2 Aspect réglementaire

Le site d'étude se situe en zone d'aléa sismique 1 (aléa très faible) selon le zonage sismique français. Le guide de 2014 relatif à la prise en compte de l'aléa séisme dans les ouvrages hydrauliques définit les règles à vérifier en fonction de la classe de la digue.

Pour le site d'étude selon [18], quelle que soit la classe retenue pour le système d'endiguement, l'analyse montre qu'il n'est pas nécessaire de justifier les ouvrages au séisme. L'aléa sismique n'est pas considéré pour la justification de la tenue des ouvrages. En revanche, une veille doit être mise en place par le gestionnaire et des visites post-séisme doivent être prévues.

Zonage sismique français [18] (p178-179)



Niveaux d'étude requis :

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	α	α	α	α
2	α	α	α	α
3	α	α	α	β
4	α	α	β	β
5	α	β	β	β

Tableau 7-28 - Recommandations pour les études graduées - digues

α : vérification de la conformité aux règles du génie civil
 β : vérification de la stabilité par méthode pseudo-statique

Prise en compte de l'aléa liquéfaction :

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	non imposé	non imposé	non imposé	non imposé
2	non imposé	non imposé	non imposé	OUI
3	non imposé	non imposé	OUI	OUI
4	non imposé	OUI	OUI	OUI
5	OUI	OUI	OUI	OUI

Tableau 7-27 - Exigence de vérification de l'absence de risque potentiel de liquéfaction - digues

Accélération horizontale (m/s²) à considérer le cas échéant :

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	sans objet	0,2	0,3	0,4
2	sans objet	0,4	0,5	0,7
3	sans objet	0,7	0,8	1,1
4	sans objet	0,9	1,2	1,6
5	sans objet	1,8	2,2	3,0

Figure 40 : règles de l'art relatives aux séismes pour les digues

4.7.2 STRUCTURE GEOLOGIQUE D'ENSEMBLE

D'après la mission de reconnaissance géophysique et géotechnique des ouvrages réalisée par ECR Environnement en 2016 [2] et au regard des extraits des cartes géologiques d'ARCACHON (n°825) et d'AUDENGE (n°826) éditées par le BRGM, la zone d'étude se situe à la limite des formations des sables des Landes [NF] et des platiers. Ces derniers sont constitués principalement de sables qui peuvent être émergées à marée basse [SFD]. On y note également la présence d'alluvions et de terrains vasards et/ou tourbeux.

Il n'est pas mis en évidence d'aléa géologique particulier dans la zone d'étude.

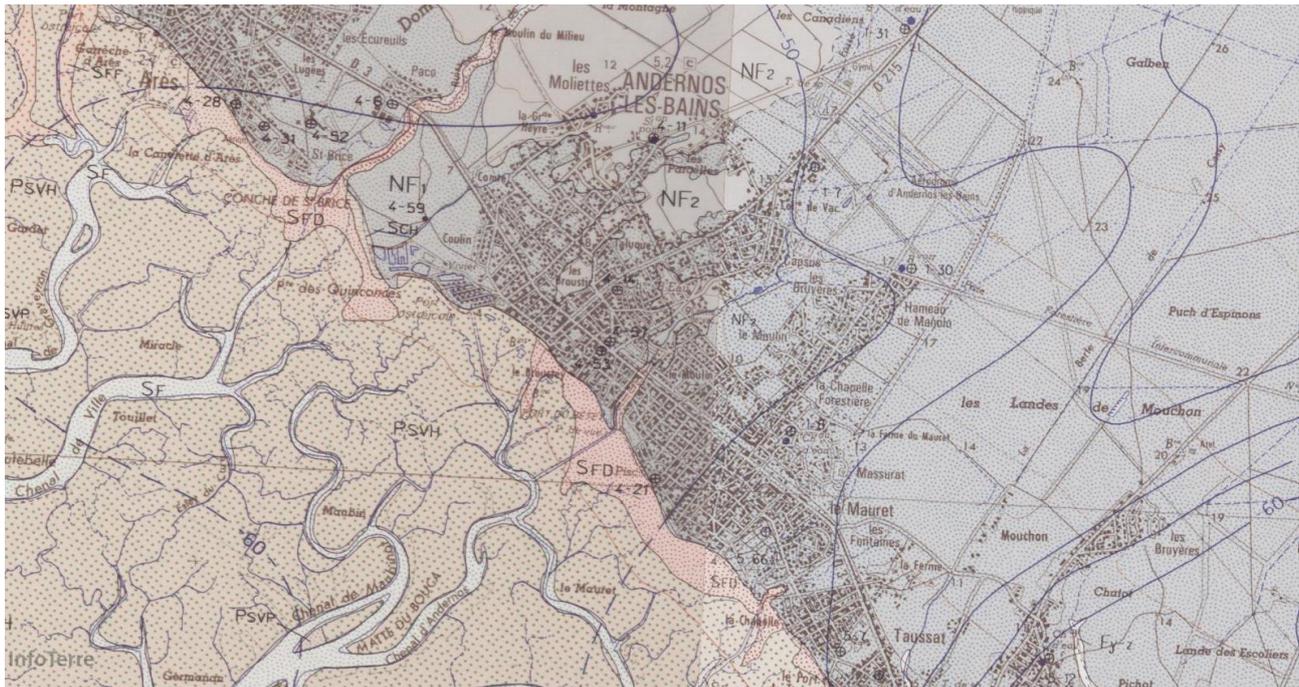


Figure 41 : contexte géologique du secteur échelle 1/50 000 (source : Infoterre)

Du point de vue du phénomène de retrait et gonflement des argiles, le secteur d'étude se situe dans une zone d'aléa très faible :

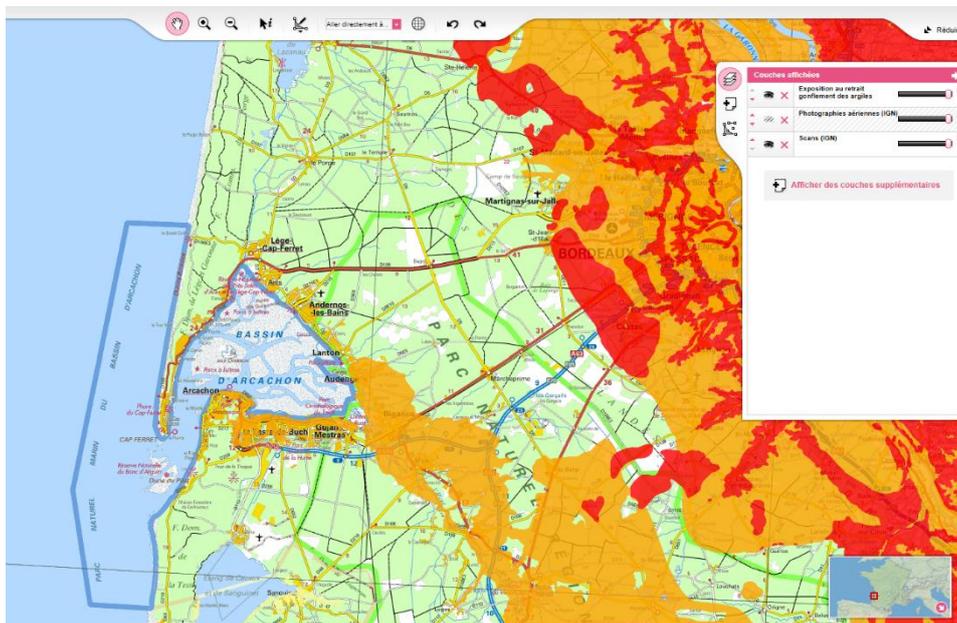


Figure 42 : carte de l'aléa « retrait-gonflement » des sols sur la commune d'Andernos les Bains (source : <https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/argiles/carte#/dpt/33>)

5 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

La figure ci-dessous présente l'implantation du SE sur le bassin d'Arcachon. Ce dernier est situé au sud de la commune d'Andernos les Bains.



Figure 43 : localisation du SE

Les ouvrages composant le SE ont un linéaire d'environ 1,1 km. Ils protègent le quartier du Mauret et se composent d'un ouvrage de premier rang en front de mer et d'un ouvrage de second rang en recul de quelques mètres de l'ouvrage de premier rang.

L'ouvrage de premier rang est constitué d'un perré maçonné couronné sur une partie de son linéaire par un parapet en béton.

L'ouvrage de second rang est constitué d'un muret béton.

Cette décomposition en deux rangs du SE permet à la fois de protéger de l'ensablement, de protéger d'une hausse du niveau statique de la mer et de stocker les paquets de mer en cas de forte houle et d'évènement tempétueux. Le volume total stocké est de l'ordre de 5 000 m³. En ce sens, ces casiers de stockage temporaire ne rentrent pas dans les catégories de classement des aménagements hydrauliques ($V > 50\,000\text{ m}^3$).

Le linéaire du système d'endiguement est ponctué de batardeaux disposés par les services techniques de la commune en période hivernale (voir consignes écrites ANNEXE 2). Une fois en place, ces batardeaux permettent d'empêcher les entrées d'eau mais aussi de stocker les paquets de mer.

Ce système permet ensuite d'évacuer l'eau de mer stockée par l'intermédiaire de barbicanes et de clapets à la marée descendante.

Le linéaire présenté se découpe en quatre tronçons de typologie homogène du sud-est au nord-ouest :

- tronçon n°1 : ce tronçon s'étend du Boulevard du Colonel Wurtz au Boulevard de l'Océan,
- tronçon n°2 : ce tronçon s'étend du Boulevard de l'Océan au Boulevard de l'Union,
- tronçon n°3 : ce tronçon s'étend du Boulevard de l'Union à l'Avenue de l'Avenir,
- tronçon n°4 : ce tronçon s'étend de l'Avenue de l'Avenir à la plage du Bety.

La figure ci-dessous présente ce découpage du SE en différents tronçons :



Figure 44 : découpage en tronçons homogènes du SE

La description des ouvrages existants dans le chapitre suivant est réalisée tronçon par tronçon. Le profil en long des différents tronçons est fourni est ANNEXE 5.

5.1 DESCRIPTION GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

5.1.1 NOTION DE TRONÇON HOMOGENES

Les tronçons homogènes sont des linéaires de système d'endiguement possédant des caractéristiques géométriques, une constitution interne ainsi que des désordres laissant présupposer d'un comportement identique sur la globalité du linéaire considéré. En pratique, la différence entre les tronçons se fait au niveau de la configuration de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang.

Sur un même secteur homogène, le jugement est émis sur le comportement d'ensemble du secteur à partir des éléments les plus pénalisants.

Les secteurs sont repérés sur la cartographie suivante, ainsi que la position des profils topographiques utilisés pour l'analyse des aléas de rupture des ouvrages.

La description détaillée de chacun des tronçons est donnée dans les paragraphes qui suivent.

5.1.2 TRONÇON T1

Ce tronçon s'étend sur environ 350 m. Il comporte un ouvrage de protection de 1^{er} rang constitué d'un perré surmonté d'un muret de type parapet dont le niveau de la crête est compris entre 3,95 m NGF et 4,00 m NGF. Derrière cet ouvrage se trouve une promenade, puis un ouvrage de protection de 2nd rang constitué d'un muret béton dont le niveau de la crête est compris entre 4,32 m NGF et 4,75 m NGF. Un terrain, un parking et des habitations se trouvent derrière ce muret.

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est équipé de 2 cales de mises à l'eau, de 5 escaliers, de barbicanes équipées de clapets anti-retour. Trois rejets du réseau d'eau pluvial de la commune traversent cet ouvrage en fondation.

L'ouvrage de protection de 2nd rang est entrecoupé par 4 portes de jonction (ou portails). Les rejets du réseau d'eau pluviale de la Ville traversent également cet ouvrage de protection en fondation.

5.1.2.1 Ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est présenté sur les photos ci-dessous :



Figure 45 : extrémité Est du tronçon n°1 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 46 : ouvrage de protection de 1^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 47 : parapet de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.2.2 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection du 1^{er} rang est traversé par plusieurs éléments, 3 escaliers et une cale :

- ALB - BAT1 (numérotation SIRS V2 / anciennement E1 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche E1) : situé entre le Boulevard Colonel Wurtz et l'Allée des Tamaris,
- ALB - BAT2 (numérotation SIRS V2 / anciennement E2 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche E2) : situé en face de l'Allée des Tamaris
- ALB – BAT3 (numérotation SIRS V2 / anciennement E3 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche E3) : situé face à la place Brémontier, entre l'Allée du Golf et l'Allée des Tamaris,
- ALB – BAT4 (numérotation SIRS V2 / anciennement C2 selon plan de récolement PEPERIOT 2011) : située au niveau de l'Allée du Golf.
- ALB – BAT5 (numérotation SIRS V2 / anciennement E4 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche E4) : situé entre le Boulevard de l'Océan et l'Allée du Golf,



Figure 48 : escalier ALB – BAT1 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 49 : escalier ALB - BAT1 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 50 : escalier ALB – BAT2 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 51 : escalier ALB - BAT2 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 52 : escalier ALB - BAT3 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 53 : cale ALB – BAT4 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 54 : escalier ALB – BAT5 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 55 : escalier ALB - BAT5 avec batardeau (source : SIBA)

Lors d'événements climatiques extrêmes ou d'alertes Météo-France, des batardeaux équipés de clapets anti-retour sont mis en place.

Des travaux d'installation de barbicanes ont été réalisés en février 2010 par le SIBA. Ils ont permis la pose de 18 barbicanes équipées de clapets de nez sur l'ensemble du linéaire du perré.



Figure 56 : localisation des barbicanes du tronçon n°1 (source : SIBA)



Figure 57 : exemple de barbacane

Suite à l'observation de dysfonctionnements d'écoulement, 4 nouvelles barbacanes ont ensuite été construites, avec des caractéristiques différentes (remise à niveau des fils d'eau en dessous du niveau de la promenade existante). Ces 4 barbacanes ont été équipées de clapets de nez, de regard de visite avec grille ou avaloir et de tête de buse maçonnée.



**Figure 58 : exemples de clapets anti-retour sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (05/09/2019 ;
source : ISL)**

Enfin, des réseaux de rejet d'eau pluvial traversent l'ouvrage de protection de 1^{er} rang en profondeur. Sur le tronçon n°1, trois ouvrages sont identifiés.



Figure 59 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°1 (source : SIBA)

5.1.2.3 Ouvrage de protection de 2nd rang

Un muret béton de hauteur variable constitue l'ouvrage de protection de 2nd rang dont le niveau de la crête est compris entre 4,32 m NGF et 4,75 m NGF.



Figure 60 : ouvrage de protection de 2nd rang (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 61 : ouvrage de protection de 2nd rang (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 62 : ouvrage de protection de 2nd rang en amont immédiat des résidences (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.2.4 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2nd rang

Ce muret est entrecoupé de quatre portes de jonction (ou portails) :

- ALB - PORT1 (numérotation SIRS V2 / anciennement C1 selon plan de récolement PEPERIOT 2011) : située au niveau du Boulevard du Colonel Wurtz,
- ALB – PORT2 (numérotation SIRS V2),
- ALB – PORT3 (numérotation SIRS V2).

Ces portes sont avec une ossature inox mer, avec remplissage en bois type azobé assemblé de façon étanche. Chaque vantail est muni d'une ouverture équipée d'un clapet anti-retour.



Figure 63 : ALB - PORT1 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 64 : ALB-PORT1 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 65 : ALB - PORT2 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 66 : ALB-PORT2 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 67 : ALB - PORT3 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 68 : ALB-PORT3 avec vantaux fermés (source : SIBA)

5.1.2.5 Etat de l'ouvrage

Les inspections les plus récentes n'ont pas identifié de problématique majeure sur ce tronçon. On notera les éléments suivants qui font ou doivent faire l'objet d'entretien courant :

- la présence de végétation aux abords de l'ouvrage protection de 2nd rang gênant les inspections visuelles,
- un ensablement après les tempêtes :
 - entre l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et l'ouvrage de protection de 2nd rang,
 - au niveau des clapets de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang,
- quelques défauts au niveau des joints étanches de l'ouvrage de protection de 2nd rang,
- quelques déjoints ponctuels ou fissuration du perré sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (avec parfois perte d'un moellon).



Figure 69 : végétation arbustive devant l'ouvrage de protection de 2nd rang



Figure 70 : arbres devant l'ouvrage de protection de 2nd rang



Figure 71 : ensablement de la promenade suite à la tempête Amelie (04/11/2019 - source : SIBA)



Figure 72 : défaut sur joint de l'ouvrage de protection de 2nd rang



Figure 73 : ensablement d'un clapet sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et fissuration du perré

5.1.3 TRONÇON T2

Ce tronçon s'étend sur environ 210 m. Il comprend un ouvrage de protection de 1^{er} rang constitué d'un perré maçonné. Le haut du perré est profilé en forme de chasse-mer. La crête de l'ouvrage se situe au même niveau que la promenade (absence de parapet) et est compris entre 3,98 m NGF et 4,00 m NGF. Derrière cet ouvrage se trouve une promenade. L'ouvrage de protection de 2nd rang présent sur le tronçon n°1 se prolonge de quelques mètres sur le tronçon n°2, s'interrompt du fait d'un terrain naturel suffisamment haut pour assurer la protection, puis reprend quelques mètres avant le tronçon n°3. La crête de l'ouvrage de protection de 2nd rang est compris entre 4,57 m NGF et 4,82 m NGF.

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est équipé d'une cale de mises à l'eau. Deux rejets du réseau d'eau pluvial de la commune traversent cet ouvrage en fondation.

L'ouvrage de protection de 2nd rang est entrecoupé par 2 portes de jonction (ou portails). Les rejets du réseau d'eau pluviales de la Ville traversent également cet ouvrage de protection en fondation

5.1.3.1 Ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est constitué d'un perré maçonné. Le haut du perré est profilé en forme de chasse-mer. La crête de l'ouvrage se situe au même niveau que la promenade (absence de parapet) entre 3,98 m NGF et 4,00 m NGF



Figure 74 : ouvrage de protection de 1er rang (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.3.2 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection du 1^{er} rang est traversé par plusieurs éléments, dont :

- C3 : une cale positionnée en face de l'allée Bellevue, près du terrain de jeux. Cette cale ne crée pas de point bas par rapport à la protection de l'ouvrage de 1^{er} rang. Elle n'est donc pas batardable.



Figure 75 : cale C3 (05/09/2019 ; source : ISL)

On retrouve également le système de barbacanes installé en 2010 par le SIBA :

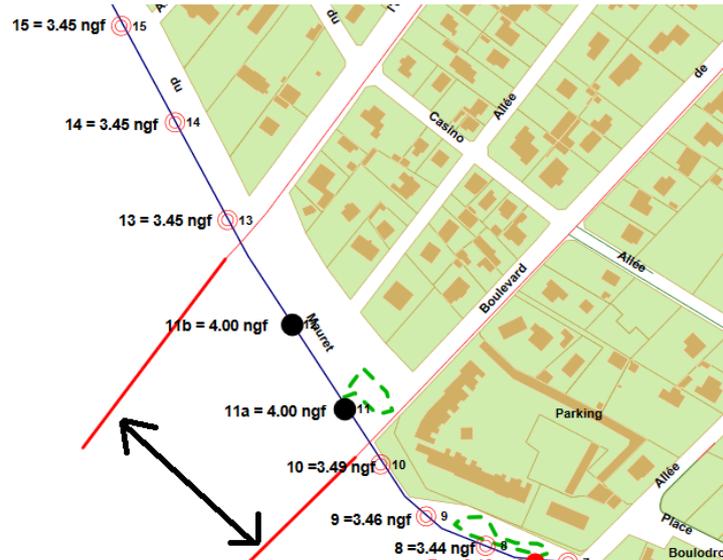


Figure 76 : localisation des barbacanes du tronçon 2 (source : SIBA)

Enfin, le réseau d'eau pluviale de la Ville dispose également de deux exutoires qui passent en profondeur sous l'ouvrage de protection de 1^{er} rang :

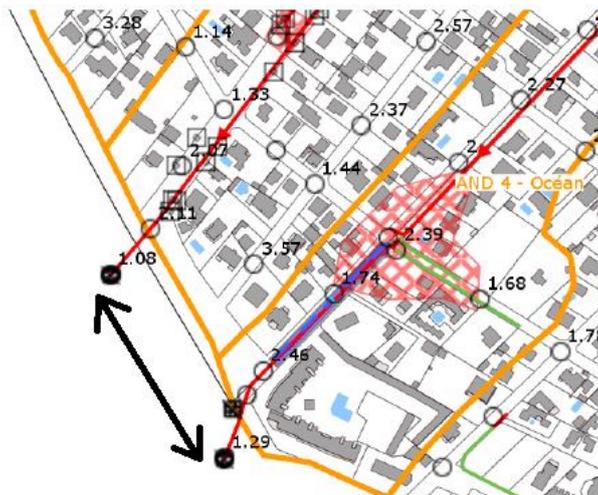


Figure 77 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°2 (source : SIBA)

5.1.3.3 Ouvrage de protection de 2nd rang

Le tronçon n°2 comporte deux tronçons de muret de 2nd rang entrecoupés par un tronçon sans ouvrage. En effet, le terrain naturel est suffisamment haut pour assurer la protection équivalente à l'ouvrage de protection de 2nd rang dont la crête se situe entre 4,57 m NGF et 4,82 m NGF.



Figure 78 : muret de protection côté est du tronçon n°2 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 79 : muret de protection côté ouest du tronçon n°2 (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.3.4 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2nd rang

L'ouvrage de protection de 2nd rang est entrecoupé par deux portes de jonction (ou portails) :

- ALB – PORT4 (numérotation SIRS V2) : au niveau du boulevard de l'Océan,
- ALB – PORT5 (numérotation SIRS V2) : au niveau du boulevard de l'Union.



Figure 80 : ALB – PORT4 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 81 : ALB – PORT4 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 82 : ALB – PORT5 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 83 : ALB – PORT5 avec vantaux fermés (source : SIBA)

5.1.3.5 Etat de l'ouvrage

Les inspections les plus récentes n'ont pas identifié de problématique majeure sur ce tronçon. On notera les éléments suivants qui font ou doivent faire l'objet d'entretien courant :

- un ensablement après les tempêtes entre l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et l'ouvrage de protection de 2nd rang.
- quelques défauts au niveau des joints étanches de l'ouvrage de protection de 2nd rang,
- quelques déjoints ponctuels du perré sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (avec parfois perte d'un moellon).



Figure 84 : état du parement amont de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang



Figure 85 : fissuration de la poutre de couronnement de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

5.1.4 TRONÇON T3

L'ouvrage de protection du tronçon n°3 s'étend sur environ 370 m. Il comporte un ouvrage de protection de 1^{er} rang constitué d'un perré surmonté d'un muret de type parapet dont le niveau de crête est compris entre 3,95 m NGF et 4,00 m NGF. Derrière cet ouvrage se trouve une promenade, puis un ouvrage de protection de 2nd rang constitué d'un muret béton dont la crête se situe entre 4,25 m NGF et 4,31 m NGF.

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est équipé d'une cale de mises à l'eau, de 2 escaliers, de barbicanes équipées de clapets anti-retour. Trois rejets du réseau d'eau pluvial de la commune traversent cet ouvrage en fondation.

L'ouvrage de protection de 2nd rang est entrecoupé par 3 portes de jonction (ou portails). Les rejets du réseau d'eau pluvial de la Ville traversent également cet ouvrage de protection en fondation.

5.1.4.1 Ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est composé d'un perré maçonné et d'un parapet, dont les formes sont similaires à l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°1. Le niveau de la crête du parapet est compris entre 3,95 m NGF et 4,00 m NGF.



Figure 86 : ouvrage de protection de 1^{er} rang (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.4.2 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection du 1^{er} rang est traversé par plusieurs éléments, dont 2 escaliers et une cale de mise à l'eau. Ces équipements sont munis de rainures à batardeau. Les batardeaux sont équipés de clapets anti-retours :

- ALB – BAT6 (numérotation SIRS V2 / anciennement E7 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche E5) : situé en face de l'Allée du Riant Horizon,
- ALB – BAT7 (numérotation SIRS V2 / anciennement E8 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche E6) : situé en face de l'Avenue du Bassin,
- ALB – BAT8 (numérotation SIRS V2 / anciennement C4 selon plan de récolement PEPERIOT 2011) : situé au niveau de l'Avenue de l'Avenir.



Figure 87 : ALB – BAT6 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 88 : ALB – BAT6 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 89 : ALB – BAT7 (source : SIBA)



Figure 90 : ALB – BAT8 (05/09/2019 ; source : ISL)

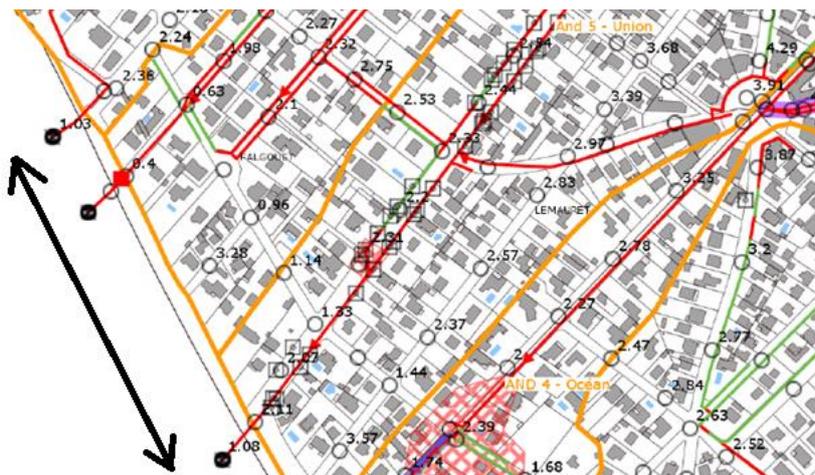


Figure 93 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°3 (source : SIBA)

5.1.4.3 Ouvrage de protection de 2nd rang

De même que le tronçon n°1, le tronçon n°3 est équipé d'un muret béton en retrait de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang. Le niveau de la crête de l'ouvrage de protection de 2nd rang est compris entre 4,25 m NGF et 4,31 m NGF.



Figure 94 : ouvrage de protection de 2nd rang du tronçon n°3 (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.4.4 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2nd rang

L'ouvrage de protection 2nd rang est traversé par 3 portes de jonction (ou portails). Ces équipements sont munis de vantaux équipés de clapets anti-retours :

- ALB – PORT6 (numérotation SIRS V2) : au niveau de l'Avenue du Bassin,
- ALB – PORT7 (numérotation SIRS V2) : au niveau de l'Avenue de l'Avenir.



Figure 95 : ALB – PORT6 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 96 : ALB - PORT6 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 97 : ALB – PORT7 avec vantaux fermés (source : SIBA)

5.1.4.5 Etat de l'ouvrage

Les inspections les plus récentes n'ont pas identifié de problématique majeure sur ce tronçon. On notera les éléments suivants qui font ou doivent faire l'objet d'entretien courant :

- la présence de végétation aux abords de l'ouvrage protection de 2nd rang gênant les inspections visuelles,
- un ensablement après les tempêtes :
 - entre l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et l'ouvrage de protection de 2nd rang,
 - au niveau des clapets de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang,
- quelques défauts au niveau des joints étanches de l'ouvrage de protection de 2nd rang,
- quelques déjoints ponctuels ou fissuration du perré sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (avec parfois perte d'un moellon).



Figure 98 : végétation aux abords de l'ouvrage de protection de 2nd rang



Figure 99 : défaut sur joint de l'ouvrage de protection de 2nd rang



Figure 100 : état du perré de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

5.1.5 TRONÇON T4

L'ouvrage de protection du tronçon n°4 s'étend sur environ 240 m. Il comporte un ouvrage de protection de 1^{er} rang constitué d'un perré surmonté d'un muret de type parapet en béton armé dont le niveau de crête est compris entre 4,27 m NGF et 4,32 m NGF. Derrière cet ouvrage se trouve une promenade, puis un ouvrage de protection de 2nd rang constitué d'un muret béton dont le niveau de crête est compris entre 4,19 m NGF et 4,25 m NGF. Il est à noter que l'ouvrage de protection de 2nd rang est interrompu au milieu du tronçon par le bâtiment de la piscine qui assure un niveau de protection supérieur.

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est équipé de 5 escaliers et de barbacanes équipées de clapets anti-retour. Sur ce tronçon, il n'existe aucun rejet du réseau d'eau pluvial de la commune.

L'ouvrage de protection de 2nd rang est entrecoupé par 5 portes de jonction (ou portails), et par le bâtiment de la piscine lequel est d'ailleurs équipé d'une ouverture (grille d'aération).

5.1.5.1 Ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang est constitué d'un perré maçonné surmonté d'un parapet en béton armé dont le niveau de la crête est compris entre 4,27 m NGF et 4,32 m NGF.



Figure 101 : parapet de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°4 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 102 : ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°4 (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.5.2 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

L'ouvrage de protection du 1^{er} rang est traversé par plusieurs éléments, dont 5 escaliers munis de batardeaux :

- ALB – BAT9 (numérotation SIRS V2 / anciennement E9 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche BH7) : situé au niveau de la rue des Coquelicots,
- ALB – BAT10 (numérotation SIRS V2 / anciennement E10 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche BH8) : situé en face de la piscine municipale,
- ALB – BAT11 (numérotation SIRS V2 / anciennement E11 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche BH9) : situé sur la promenade de la Piscine, juste à côté de la piscine municipale,
- ALB – BAT12 (numérotation SIRS V2 / anciennement E12 selon plan de récolement PEPERIOT 2011/marquage peinture blanche BH10) : situé sur la promenade de la Piscine,
- ALB – BAT13 (numérotation SIRS V2 / marquage peinture blanche BH11) : situé à l'extrémité Nord de la promenade de la Piscine.



Figure 103 : ALB - BAT9 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 104 : ALB – BAT10 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 105 : ALB - BAT10 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 106 : ALB – BAT11 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 107 : ALB - BAT11 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 108 : ALB – BAT12 (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 109 : ALB - BAT12 avec batardeau (source : SIBA)



Figure 110 : ALB - BAT13 – ouvrage de gauche (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 111 : ALB - BAT13 avec batardeau – ouvrage de gauche (source : SIBA)

Les batardeaux de ces escaliers sont en deux vantaux contrairement aux escaliers des tronçons précédents. La numérotation peinture B-H reflète cette modification (B : bas / H : haut).



Figure 112 : exemple de batardeau installé sur un escalier

On retrouve également sur ce tronçon le réseau de barbacanes installées en 2010 par le SIBA. Ces barbacanes sont toutes équipées de clapet anti-retour :

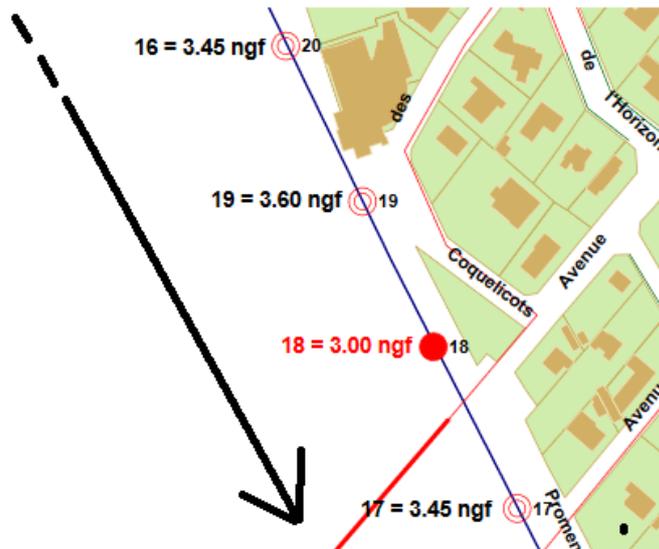


Figure 113 : localisation des barbacanes tronçon n°4 (source : SIBA)



Figure 114 : exemple de barbacane (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 115 : barbacanes avec clapets anti-retour (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 116 : clapet anti-retour sur le parapet (05/09/2019 ; source : ISL)

Sur ce tronçon, le réseau d'eau pluviale ne dispose pas d'exutoire.

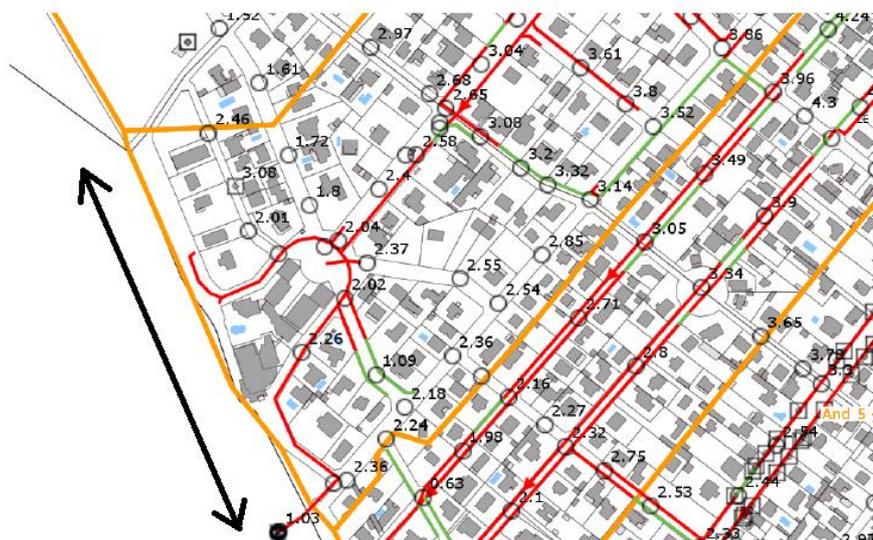


Figure 117 : extrait du réseau pluvial correspondant au tronçon n°4 (source : SIBA)

5.1.5.3 Ouvrage de protection de 2nd rang

Le tronçon n°4 comporte également un ouvrage de protection de 2nd rang constitué d'un muret béton dont le niveau de crête est compris entre 4,19 m NGF et 4,25 m NGF :



Figure 118 : ouvrage de protection de 2nd rang (05/09/2019 ; source : ISL)

5.1.5.4 Ouvrages traversants sur l'ouvrage de protection de 2nd rang

Ce muret est entrecoupé de 5 portes de jonction (ou portails) :

- ALB – PORT8 (numérotation SIRS V2) : situé à côté de la piscine municipale entre la Promenade de la Piscine et la rue des Coquelicots,
- ALB – PORT9 (numérotation SIRS V2) : situé sur la Promenade de la Piscine côté piscine,
- ALB – PORT10 (numérotation SIRS V2) : situé sur la Promenade de la Piscine,
- ALB – PORT11 (numérotation SIRS V2) : situé sur la Promenade de la Piscine (plus à l'Ouest que ALB – PORT10), vers la dune,
- ALB – PORT12 (numérotation SIRS V2) : situé à la fin de la Promenade de la Piscine, à côté de la dune.



Figure 119 : ALB – PORT8 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 120 : ALB – PORT8 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 121 : ALB – PORT9 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 122 : ALB – PORT9 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 123 : ALB – PORT10 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 124 : ALB – PORT10 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 125 : ALB – PORT11 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 126 : ALB – PORT11 avec vantaux fermés (source : SIBA)



Figure 127 : ALB – PORT12 avec vantaux ouverts (05/09/2019 ; source : ISL)



Figure 128 : ALB – PORT12 avec vantaux fermés (source : SIBA)

Enfin, une grille est présente dans un des murs du bâtiment de la Piscine. Le niveau bas de cette grille est inférieur au niveau haut de l'ouvrage de protection de 2nd rang mentionné précédemment.



Figure 129 : grille dans le bâtiment de la Piscine qui assure la continuité de la protection avec l'ouvrage de protection de 2nd rang

5.1.5.5 Etat de l'ouvrage

Les inspections les plus récentes n'ont pas identifié de problématique majeure sur ce tronçon. On notera les éléments suivants qui font ou doivent faire l'objet d'entretien courant :

- des défauts apparents dans l'ouvrage de protection de 1^{er} rang : fissurations et épaufrures du béton, aciers de structure apparent et corrodés, etc.
- la présence de végétation aux abords de l'ouvrage protection de 2nd rang gênant les inspections visuelles,
- un ensablement après les tempêtes :
 - entre l'ouvrage de protection de 1^{er} rang et l'ouvrage de protection de 2nd rang,
 - au niveau des clapets de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang,
- quelques défauts au niveau des joints étanches de l'ouvrage de protection de 2nd rang,
- quelques déjoints ponctuels ou fissuration du perré sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (avec parfois perte d'un moellon).



Figure 130 : fissuration du béton armé de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang



Figure 131 : aciers apparents et éclatement du béton sous l'effet de la corrosion de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang



Figure 132 : acier apparent et éclatement du béton de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang



Figure 133 : état du parement amont de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang



Figure 134 : fissuration du perré maçonné de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (source : SIBA)



Figure 135 : ensablement post-tempête d'un clapet de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (source : SIBA)



Figure 136 : défaut sur joint de l'ouvrage de protection de 2nd rang

5.1.6 FERMETURE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET OUVRAGES SINGULIERS

Fermeture du système d'endiguement

La fermeture du système d'endiguement est réalisée de la manière suivante :

- Au nord par la dune naturelle du Betey, avec un terrain naturel supérieur ou égal à 4,00 m NGF ;
- Au sud par le niveau topographique dans la continuité du camping du Fontaine Vieille avec un terrain naturel supérieur ou égal à 4,00 m NGF.

La vérification des niveaux topographiques a été réalisée sur la base des données LIDAR. Les niveaux du terrain naturel sont donnés ci-dessous, en m NGF :



Figure 137 : courbes de niveaux (m NGF) à la zone de fermeture nord du système d'endiguement
(Source : LIDAR)



**Figure 138 : courbes de niveaux (m NGF) à la zone de fermeture sud du système d'endiguement
(Source : LIDAR)**

Le secteur d'étude étant plutôt en zone d'accrétion hydro-sédimentaire (voir 4.5), l'érosion externe de ces fermetures topographiques paraît peu probable. Une surveillance doit notamment être assurée par la gestionnaire.

Ouvrages singuliers

Les exutoires du réseau pluvial sont protégés par des épis. Ces protections ont pour unique fonction d'éviter la détérioration des conduites et ne sont donc pas contributifs au système d'endiguement.



Figure 139 : vue aérienne des rejets pluviaux

5.2 OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER

Non concerné

5.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Pour un fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection (3,2 m NGF combiné à une hauteur de houle de 0,5 m), les casiers nord et sud, séparés au niveau du tronçon n°2 (voir Figure 15) sont en partie remplis par des venues d'eau par franchissement sur l'ouvrage de premier rang. Les volumes franchissants sont donnés ci-dessous :

	Casier nord	Casier sud	Casiers nord + sud
Volume (m ³)	175	160	335

Tableau 5 : synthèse des volumes dans les casiers pour le fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection.

Les hauteurs d'eau dans les casiers sont faibles (30 cm au maximum). A noter, que les franchissements sur le tronçon T4 sont très faibles (4,7 m³ sur le tronçon sur une marée).

La cartographie associée au fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection est donnée dans le chapitre 8.4.

Il n'existe pas de cartographie d'ensemble autour de la zone protégée pour un niveau correspondant au niveau de protection (3,20 m NGF). On rappelle à titre informatif ci-dessous la cartographie du TRI liée à l'évènement fréquent (Xynthia) :

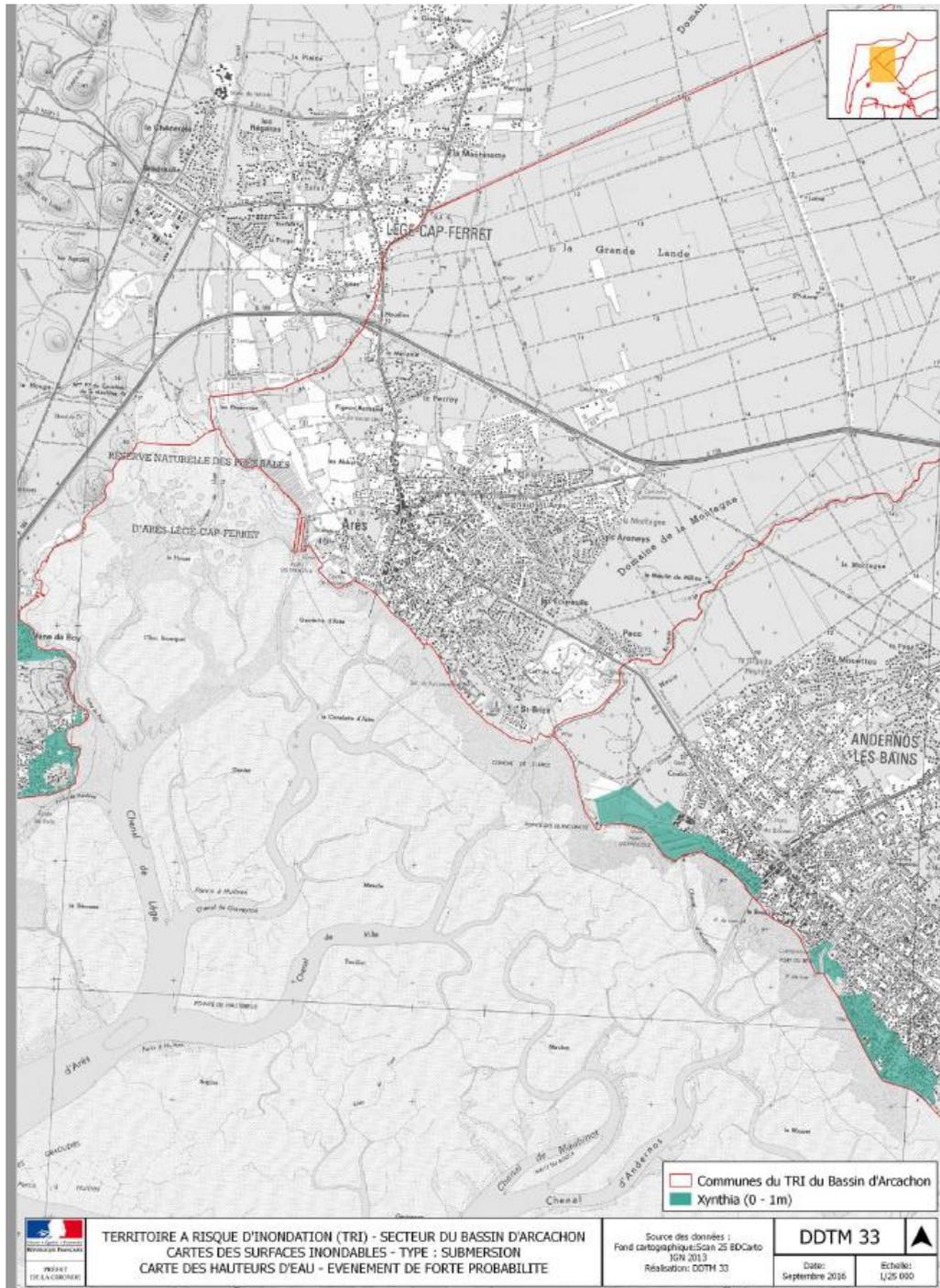


Figure 140 : cartographie issue du TRI à proximité du système d'endiguement (source : DDTM 33)

6 RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE ET LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

6.1 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le tableau fourni en ANNEXE 3 présente l'inventaire des événements historiques sur le Bassin d'Arcachon depuis le 18^{ème} siècle (source : [2] et site de l'Observatoire de la Côte Aquitaine).

La configuration actuelle du système d'endiguement est postérieure à la tempête Xynthia de février 2010.

Les chapitres suivants proposent un retour d'expérience du comportement du système d'endiguement dans sa configuration actuelle sur deux événements postérieurs aux travaux réalisés sur ce système d'endiguement de novembre 2010 à mars 2011 : la tempête Amélie (2 et 3 novembre 2019) et la tempête Sébastien (26 et 27 novembre 2019).

6.1.1 TEMPETE AMELIE – 2 ET 3 NOVEMBRE 2019

La tempête Amélie s'est produite les 2 et 3 novembre 2019. Les conditions rencontrées sont les suivantes :

- coefficient de marée : 51,
- vents (à Lège Cap-Ferret) : 162 km/h en maximum instantanée / 100 km/h en vitesse maximum moyenne,
- pression atmosphérique (à Biarritz) : 988 hPa,
- surcote maximum à Arcachon Eyrac : 110 cm, cote maximale 2,52 m NGF.

Le SIBA a réalisé une inspection du SE post-événement. Les photos suivantes sont issues de cette visite (source : SIBA) :



Figure 141 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°1



Figure 142 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°2



Figure 143 : post tempête Amélie à la jonction entre le tronçon n°2 et le tronçon n°3



Figure 144 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°3



Figure 145 : post tempête Amélie à la jonction entre le tronçon n°3 et le tronçon n°4



Figure 146 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°4



Figure 147 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°4



Figure 148 : post tempête Amélie au niveau du tronçon n°4

Selon le retour d'expérience de la commune d'Andernos les Bains et du SIBA, cette tempête n'a pas généré de venue d'eau dangereuse dans la zone protégée.

Lors de cet événement relativement précoce dans la saison, les batardeaux de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang n'étaient pas encore en place (voir photo du tronçon n°1 ci-dessus). Cette configuration a certainement généré des venues d'eau plus importantes entre les deux ouvrages de protection (avec une tendance à l'ensablement accrue).

L'inspection post-tempête permet les observations suivantes :

- une tendance à l'ensablement entre les deux ouvrages de protection (voir point ci-dessus sur la présence des batardeaux sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang),
- un ensablement constaté sur certains ouvrages de ressuyage (barbacane et/ou clapet anti-retour). La photo au niveau du tronçon n°3 ci-dessous montre une rétention d'eau entre les deux ouvrages de protection,
- la bonne résistance de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang aux chocs des bateaux. Plusieurs bateaux ont heurté l'ouvrage lors de cet événement sans générer de dégât majeur.

Selon la modélisation des niveaux d'eau réalisée par la plateforme Seamafor, le niveau atteint à proximité d'Andernos-les-Bains a été estimé à 2,62 m NGF (4,60 m CM).

6.1.2 TEMPETE SEBASTIEN – 26 ET 27 NOVEMBRE 2019

La tempête Sébastien s'est produite les 26 et 27 novembre 2019. Les conditions rencontrées sont les suivantes :

- coefficient de marée : 99,
- vents (à Lège Cap-Ferret) : 110 km/h en maximum instantanée / 70 km/h en vitesse maximum moyenne,
- pression atmosphérique (à Biarritz) : 999 hPa,
- surcote maximum à Arcachon Eyrac : 75 cm, cote maximale 2,97 m NGF.

Le SIBA a réalisé une inspection du SE au cours de cet événement. Les photos suivantes sont issues de cette visite (source : SIBA) :



Figure 149 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°1 du SE



Figure 150 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°1 du SE

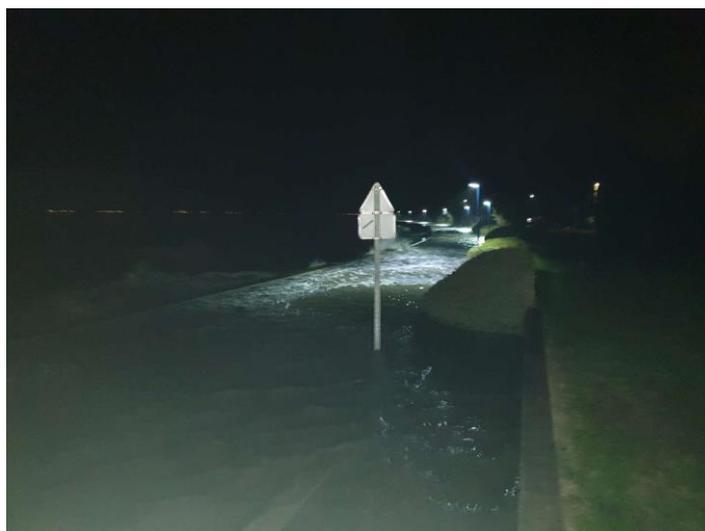


Figure 151 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°1 du SE



Figure 152 : tempête Sébastien entre le tronçon n°1 et le tronçon n°2 du SE



Figure 153 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°2 du SE



Figure 154 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°2 du SE

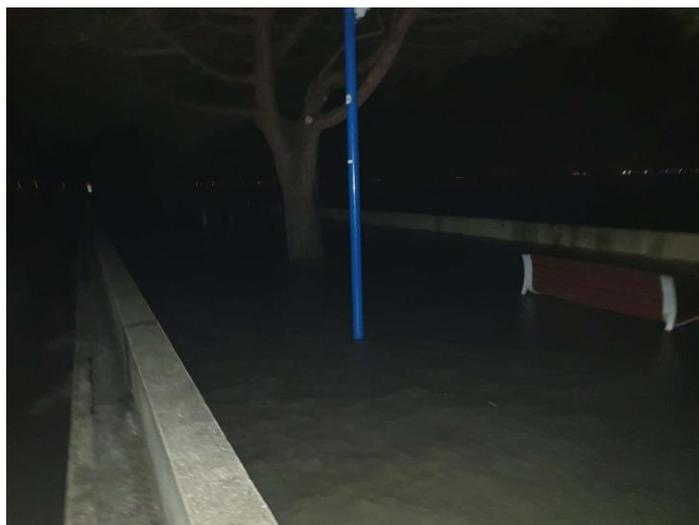


Figure 155 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°4 du SE



Figure 156 : tempête Sébastien au niveau du tronçon n°4 du SE

Selon le retour d'expérience du SIBA, cette tempête n'a pas généré de venue d'eau dangereuse dans la zone protégée.

Les observations réalisées de nuit montrent le fonctionnement du SE pour une sollicitation proche du niveau de protection. Des franchissements se produisent avec un niveau statique du Bassin d'Arcachon devant Andernos inférieur à la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang. En effet, les franchissements ont généré :

- Un remplissage quasiment complet du casier sud (tronçon n°1 + moitié du tronçon n°2). Sur les photos du tronçon n°1, le niveau d'eau dans le casier est proche du niveau de crête de l'ouvrage de 1^{er} rang.
- Un remplissage partiel ou complet du casier nord (moitié du tronçon n°2 + tronçons n°3 et n°4). Le niveau d'eau constaté en arrière de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang sur le tronçon n°4 peut être cohérent avec les points bas du casier qui se situent sur le tronçon n°3.

Le fonctionnement des batardeaux sur l'ouvrage de protection de 2nd rang semble correct même si des traces d'eau sont visibles côté zone protégée. Ces traces d'eau peuvent être liées à la présence de flash ou points bas dans la zone protégée qui seraient alimentés par :

- des fuites légères au niveau des joints d'étanchéité des batardeaux,
- des apports par les embruns des vagues déferlants sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang,
- des pluies météoriques.

Selon la modélisation des niveaux d'eau réalisée par la plateforme Seamafor, le niveau atteint à proximité d'Andernos-les-Bains a été estimé à 3,32 m NGF (5,30 m CM).

6.2 EXEMPLES CONNUS D'INCIDENTS ET D'ACCIDENTS SURVENUS SUR DES OUVRAGES DE MEME TYPE

Ce chapitre propose un retour d'expérience des incidents et accidents sur les digues maritimes.

Il s'appuie sur les ressources suivantes :

- Guide méthodologique des plans de prévention des risques littoraux, MEDE, 2014 [14] ;
- Référentiel technique des digues fluviales et maritimes, MEDDTL, 2015 [15] ;
- Retour d'expérience d'ISL Ingénierie.

6.2.1 ENSEIGNEMENT GENERAL SUR LES SUBMERSIONS MARINES

Trois modes de submersion marine sont distingués [14] :

	<p>submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel</p> <p><i>Submersion par débordement à Leucate le 17 décembre 1997 (Photo DREAL LanguedocRoussillon)</i></p>
	<p>submersion par franchissements de paquets de mer liés aux vagues, lorsque après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel</p> <p><i>Submersions par franchissement par paquets de mer et à Ault (80) le 16 mars 1914 (Source : Conseil Général de la Somme)</i></p>



submersion par rupture du système de protection, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin : défaillance d'un ouvrage de protection ou formation de brèche dans un cordon naturel, suite :

- à l'attaque de la houle (énergie libérée lors du déferlement),
- au mauvais entretien d'un ouvrage,
- à une érosion chronique intensive,
- au phénomène de surverse,
- à un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel,
- etc.

Brèches dans une digue de l'estuaire de la Gironde (Photo : groupe Géotechnique, Risques et Bâtiments du LRPC de Bordeaux – 4 mars 2010)

Ces modes de submersion peuvent concerner le système d'endiguement.

La rupture des cordons dunaires est également à mentionner. Elle est appréciée dans la mesure où le cordon dunaire est intégré en élément naturel du système de protection. Ce cordon dunaire peut être un point de faiblesse du système de protection.



Brèche dans la dune aux abords du barrage de la Gachère (Source INA) – Temête Xynthia du 28 février 2010.

Il est également important de souligner que les submersions marines affectent généralement une région entière en lien avec le passage d'une tempête particulière :

- Nuit du 31 janvier au 1^{er} février 1953 : tempête majeure en mer du Nord (Pays-Bas, Belgique, Angleterre, nord de la France) entraînant de très nombreuses submersions et ruptures de digues. Il sera dénombré plus de 1 800 morts, 160 000 hectares de terres inondées, de nombreuses têtes de bétail noyées, et beaucoup de bâtiments détruits ou endommagés. La surcote est estimée à 3 m dans l'estuaire de la Tamise.

- Tempête Xynthia dans la nuit du 27 au 28 février 2010 sur le littoral atlantique : les submersions ont entraîné la mort de 47 personnes et des dommages estimés à ~700M€ pour les inondations. La surcote est estimée à environ 1,5 m.

Les inondations peuvent s'étendre largement dans des zones basses en arrière des digues et nécessiter plusieurs jours pour le retour à la normale.

6.2.2 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES MODES DE RUPTURES DES DIGUES MARITIMES

Les digues maritimes sont sujettes aux mêmes mécanismes de rupture que les digues fluviales ; avec toutefois la prévalence de certains aléas en contexte maritime.

On notera également que la prédominance de ces aléas dépend largement des actions hydrodynamiques en jeu (digués de fond de baie protégée de la houle ou en front de mer) et du type d'ouvrage.

Erosion externe du talus côté mer

L'impact de la houle et les pressions d'eau s'exerçant sur un perré ou une structure rigide sont un mécanisme majeur. Les phénomènes d'abrasion peuvent également être rencontrés.

Les mesures visant à réduire/dissiper les pressions d'eau jouent un rôle majeur (jointoiment des perrés, résistance des matériaux au lessivage).

	<p><i>Digue de Paramé à Saint-Malo – Brèche sur le talus amont lors de la tempête de 1979</i></p>
	<p><i>Digue du Génie : Abrasion des pierres côté mer (les joints ciment restent en saillie) et effritement de la crête - Source Irstea.. [B]</i></p>

Erosion externe par affouillement du pied de talus côté mer

L'érosion externe côté mer peut se produire également par affouillement du pied de talus déchaussant la protection du talus côté mer. L'abaissement du niveau de plage a également pour effet d'augmenter les hauteurs de houle en pied d'ouvrage.



Erosion côté terre

L'érosion du talus côté terre peut être provoqué par surverse ou par passage de paquets de mer. L'érosion de la digue progresse vers le côté mer entraînant la formation de vides sous les ouvrages rigides et pouvant conduire à une rupture totale.

La notion de durée de surverse/franchissement peut être considérée en lien avec la marée pour apporter une capacité de résistance.

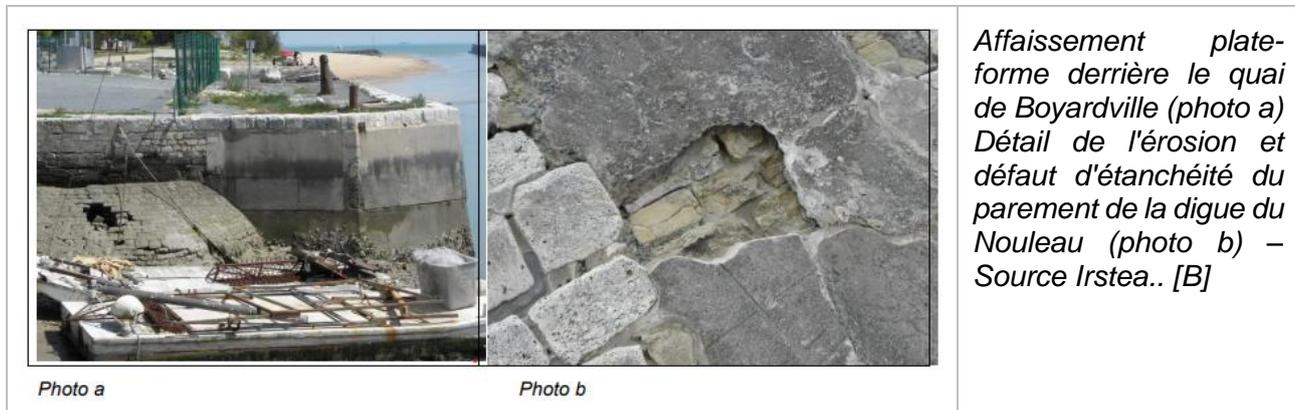
Les accès aux plages ou à l'estran constituent souvent des zones de point bas qui peuvent être des points de faiblesse.



Erosion interne due à un ouvrage traversant ou dans le corps de l'ouvrage

L'érosion interne peut être en lien avec la présence d'un ouvrage traversant ou autre structure enterré. Elle peut également se produire dans le remblai.

En milieu maritime, l'érosion interne se produit souvent avec un départ des matériaux vers le côté mer sous l'action répétée des marnages.



Instabilité de talus

Les instabilités de talus par glissement ou poinçonnement sont peu documentées en retour d'expérience sur des digues maritimes.

7 DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES

7.1 OBJET DU CHAPITRE DE DIAGNOSTIC APPROFONDI

Le diagnostic approfondi comprend les éléments suivants :

- définition du linéaire à considérer,
- sectorisation de l'ouvrage,
- analyse et synthèse des reconnaissances géotechniques,
- vérification de la tenue des ouvrages et définition du niveau de protection.

7.2 DESCRIPTON GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

La description précise du système d'endiguement est réalisée dans le chapitre 5 : Description du système d'endiguement.

7.3 DONNEES DISPONIBLES SUR LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

7.3.1 TOPOGRAPHIE

Deux sources d'informations topographiques sont disponibles sur le linéaire du SE :

1. Le LIDAR,
2. Un levé topographique réalisé en 2011.

Ces deux sources couvrent intégralement la zone d'étude. Les figures suivantes sont fournies pour illustrer visuellement les documents :



Figure 157 : extrait du LIDAR (source : SIBA)

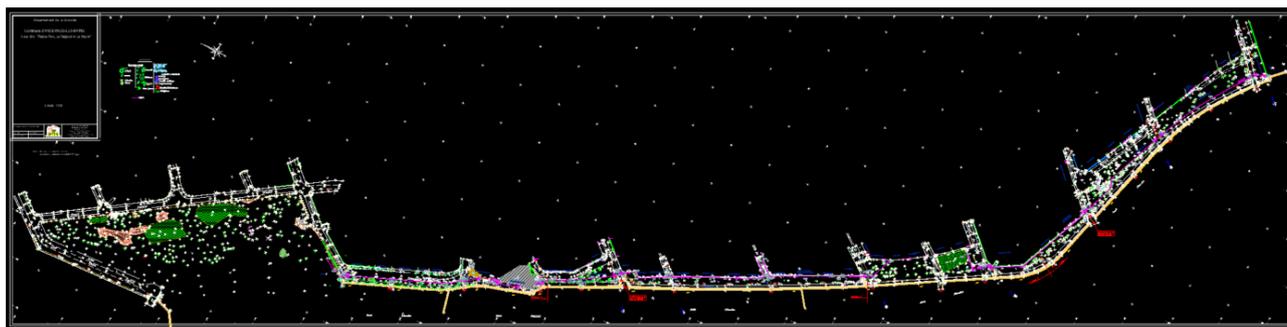


Figure 158 : levé topographique de terrain réalisé en 2011 (source : Commune d'Andernos-les-Bains)

7.3.2 STRUCTURE

7.3.2.1 Ouvrage de protection de 1^{er} rang

Tronçon T1

On dispose de la coupe-type ci-dessous :

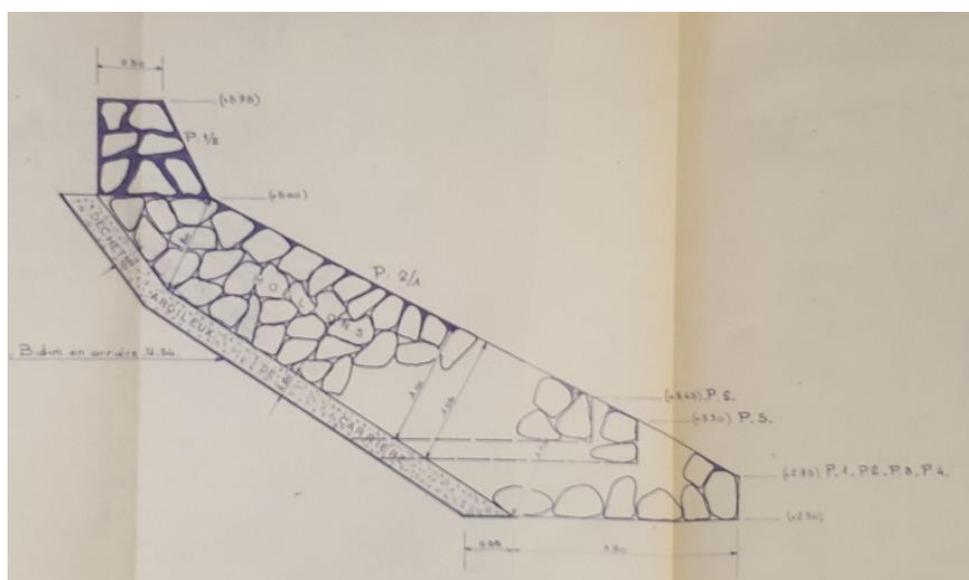


Figure 159 : coupe-type de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (source : DDT – 1977 – étape de conception de l'aménagement non connue)

Le CCTP de la réalisation de cet ouvrage décrit la coupe-type :

- En partie basse, un massif de pierres sèches dont la pente est de 2H/1V et dont l'épaisseur varie de 0,80 m en tête pour passer à 1,10 m en pied. Le parement de cette partie de l'ouvrage est jointoyé. Le massif repose sur une couche de « déchet argileux » de 20 cm elle-même posée sur un géotextile (« bidim »).
- En partie haute, le parapet est constitué de maçonnerie hourdée. Le parement côté bassin est réalisé avec une pente de 1H/2V alors que le parement côté terre est vertical. La largeur en crête est de 50 cm.

Les caractéristiques de cet ouvrage ainsi que de son environnement sont rassemblées dans ce tableau :

Niveau moyen de la crête de l'ouvrage (sans parapet)	3,22 m NGF / 5,20 CM
Niveau de sable en pied d'ouvrage	2,00 m NGF / 4,98 CM
Pente de l'avant plage	Très faible à horizontale
Niveau moyen de la crête du parapet	3,97 m NGF / 5,95 CM
Hauteur du parapet	0,75 m
Fruit de l'ouvrage	2H/1V

Tableau 6 : caractéristiques de l'ouvrage de protection 1^{er} rang du tronçon n°1

Tronçon T2

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°2 comporte un perré maçonné dont la crête dispose d'un profil en forme de de chasse-mer. La vue en plan et la coupe-type sont les suivantes :

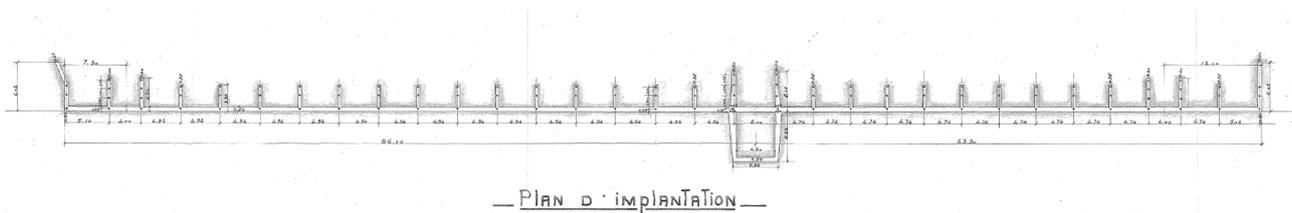


Figure 160 : vue en plan de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°2 (source : DDT – 1958/1960 - étape de conception de l'aménagement non connue)

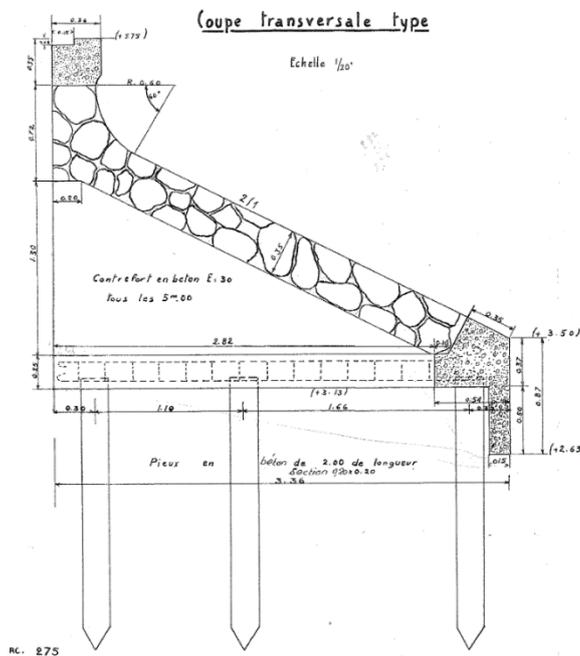


Figure 161 : coupe-type de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°2 (source : DDT – 1958/1960 – plan d'exécution)

Les fondations de l'ouvrage sont renforcées par des pieux en béton (longueur 2m, section 0,2m*0,2m). Ces pieux sont surmontés de longrines ou semelles en béton armé jusqu'au para-fouille côté mer, lui-même en béton armé.

Niveau moyen de la crête de l'ouvrage (sans parapet)	3,21 m NGF / 5,29 CM
Niveau moyen du sable en pied d'ouvrage	2,11 m NGF / 4,09 CM
Pente de l'avant plage	Très faible à horizontale
Niveau de crête du parapet	3,96 m NGF / 5,94 CM
Hauteur du parapet	0,75 m
Fruit de l'ouvrage	2 H / 1 V

Tableau 8 : caractéristiques de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°3

Tronçon T4

L'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°4 comporte un perré maçonné surmonté d'un parapet en béton armé. La coupe -type est la suivante :

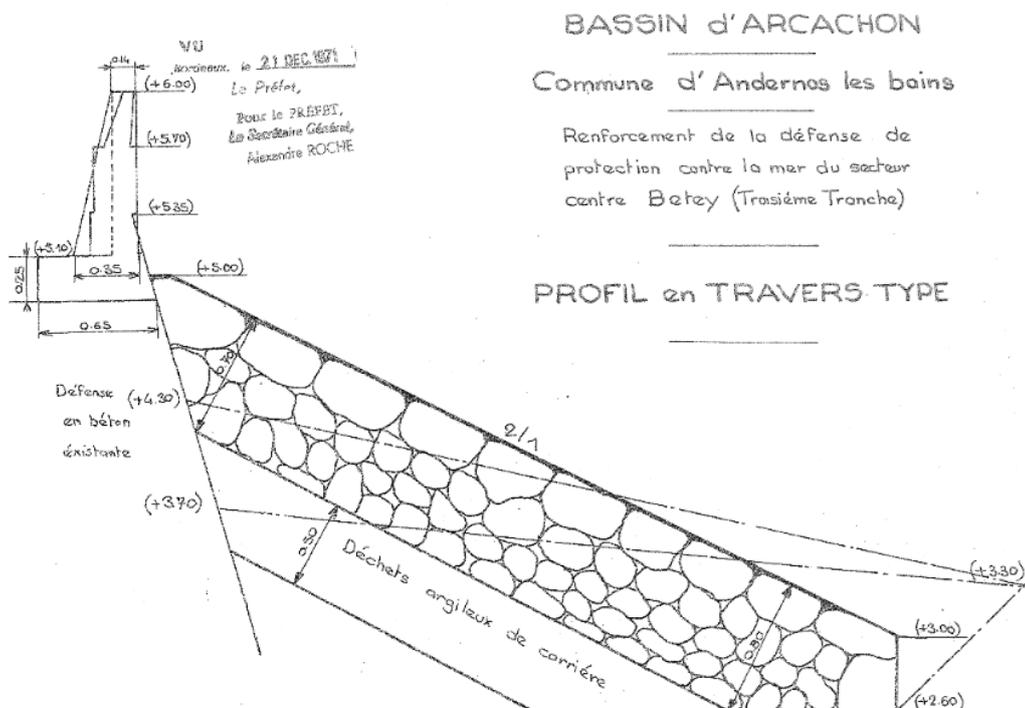


Figure 166 : coupe-type de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°4 (source : DDT – 1971 - étape de conception de l'aménagement non connue)

Comme l'indique la coupe précédente, l'ouvrage est adossé à une défense en béton existante. La protection en maçonnerie repose sur des déchets argileux de carrière.

Les caractéristiques de cet ouvrage sont rassemblées dans ce tableau :

Niveau moyen de la crête de l'ouvrage (sans parapet)	3,29 m NGF / 5,27 CM
Niveau moyen du sable en pied d'ouvrage	2,24 m NGF / 4,22 CM
Pente de l'avant plage	Très faible à horizontale
Niveau moyen de crête du parapet	4,29 m NGF / 6,27 CM
Hauteur du parapet	1,00 m
Fruit de l'ouvrage	2 H / 1 V

Tableau 9 : caractéristiques de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°4

Les détails d'exécution du parapet sont donnés sur la figure suivante :

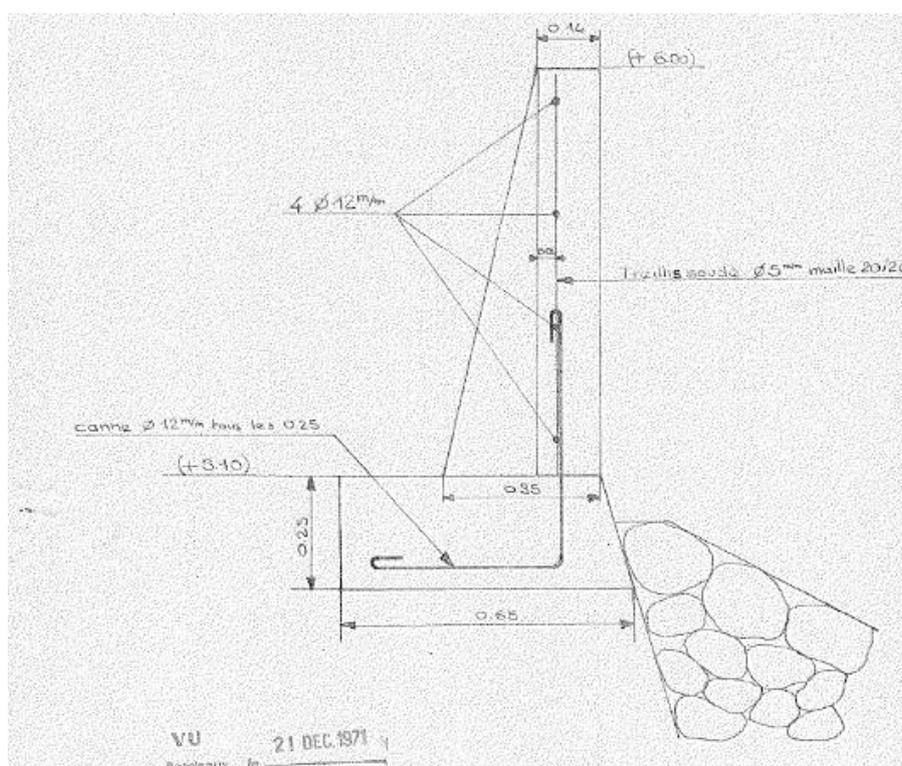


Figure 167 : détail d'exécution du parapet de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang du tronçon n°4 (source : DDT – 1971 – plan d'exécution)

7.3.2.2 Ouvrage de protection de 2nd rang

Le muret de protection de 2nd rang a été construit en 2010-2011 en arrière de l'ouvrage de premier rang sur les tronçons 1, 3 et 4. Les travaux de construction sont illustrés par les photos suivantes :



Figure 168 : construction de l'ouvrage de protection de 2nd rang (19/11/2010 ; source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)



Figure 169 : construction de l'ouvrage de protection de 2nd rang (19/11/2010 ; source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)

Le SIBA a récupéré des documents d'exécution de la réalisation du muret, notamment une note de calculs dimensionnant plusieurs sections du muret sans donner les références d'implantation.

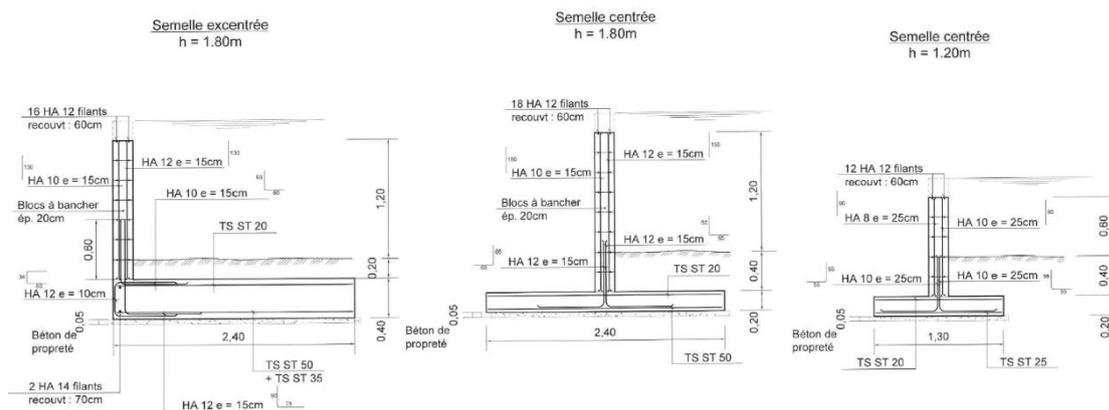


Figure 170 : extrait de la note de calcul de l'ouvrage de protection de 2nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)

Afin d'éclaircir la répartition de ces sections sur le linéaire du SE, des reconnaissances ont été réalisées par le SIBA. Ces reconnaissances ont consisté à planter une tige métallique en s'éloignant progressivement du parement vertical du muret jusqu'à ne plus rencontrer la semelle de l'ouvrage.

Les reconnaissances ont mis en évidence que les plans récoltés et cités ci-dessus ne sont pas conformes à l'exécution.

D'autres reconnaissances ont permis de déterminer la géométrie de l'ouvrage sur l'intégralité du linéaire du SE. L'implantation de la reconnaissance est la suivante :

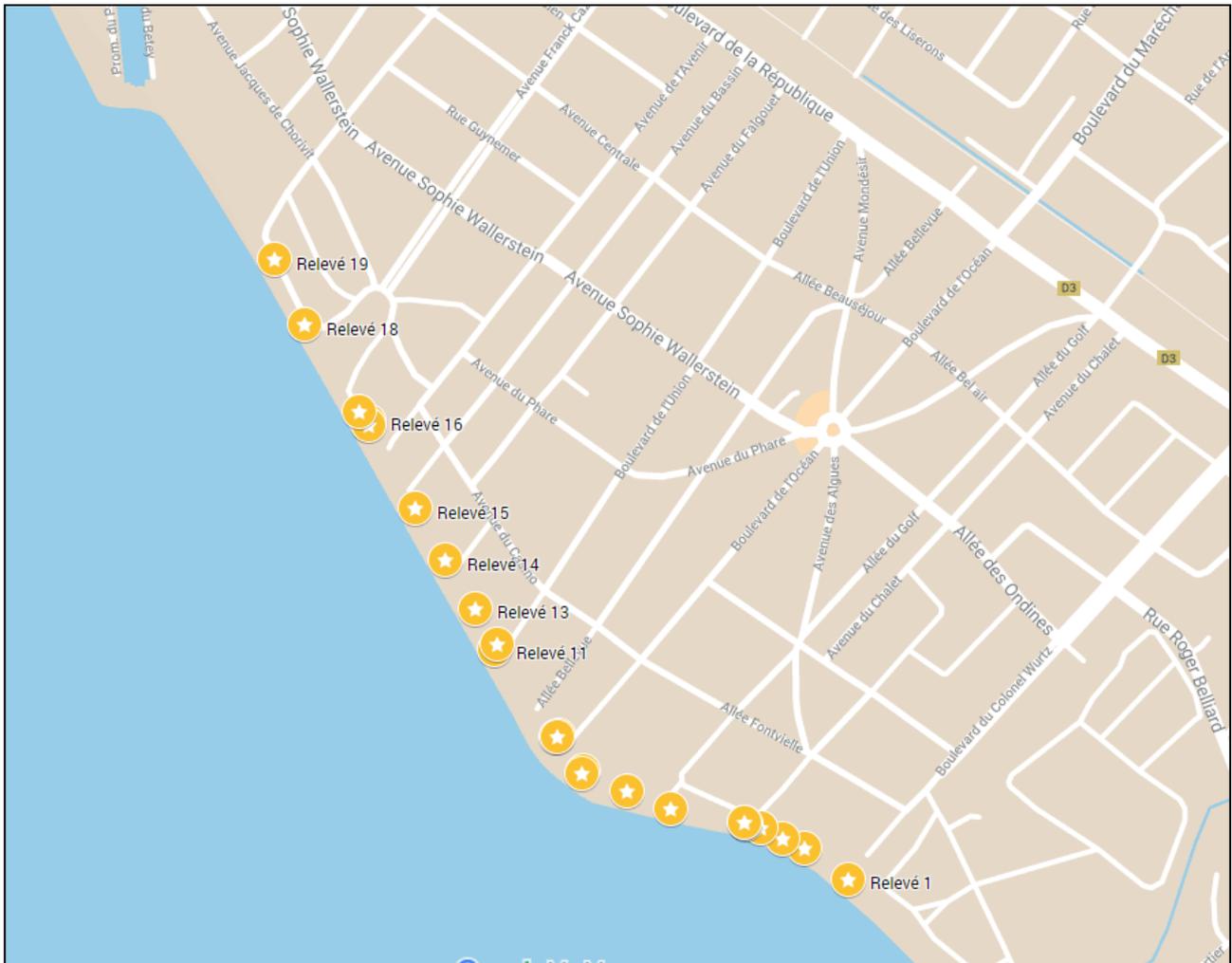


Figure 171 : implantation des reconnaissances sur l'ouvrage de protection de 2nd rang

Les reconnaissances ont été menées afin de renseigner le tableau suivant :

Relevé	Côté promenade						L muret	Côté ville					
	H tige air	H tige terre	HTN - crête	H semelle - crête	L semelle	Sol / Dureté		H tige air	H tige terre	HTN - crête	H semelle - crête	L semelle	Sol / Dureté
1	61	69	48	117	20* - 30	S / +	21,5	61	69	42	111	30* - 40	S / ++
2	82	48	55	103	20* - 30	S / +	21,5	71	59	52	111	30* - 40	T / ++
3	84	46	69	115	20* - 30	S / +	21,5	91	39	72	111	30* - 40	T / ++
4	81	49	61	110	30* - 40	S / +	22	93	37	72	109	20* - 30	T / ++
5	87	43	70	113	30* - 40	S / +	21,5	121	9	106	115	30* - 40	T / ++
6	63	67	48	115	20* - 30	TS / +	22,5	74	56	58	114	40* - 50	T / ++
7	86	44	71	115	30* - 40	TS / +	21	86	44	68	112	40* - 50	T / ++
8	47	83	69	152	100* - 110	TS / ++	22	Non observable (espace inter-murets remplis de végétation / remblais sableux)					
9	65	65	84	149	120* - 130	TS / ++	22,5						
10	116	14	70	84	20* - 30	TS / ++	22	124	6	68	74	50* - 60	G / +
11	85	45	92	137	40* - 50	TS / +	21,5	116	14	109	123	40* - 50	T / ++
12	103	27	47	74	30* - 40	TS / +	23	118	12	63	75	40* - 50	T / ++
13	Fait avec ISL suite à la réunion n°1					TS / +	22	118	12	61	73	40* - 50	T / ++
14	97	33	52	85	30* - 40	TS / +	22,5	112	18	67	85	30* - 40	T / ++
15	99	31	54	85	40* - 50	TS / +	22	102	28	60	88	40* - 50	D
16	115	15	50	65	30* - 40	TS / +	22	119	11	56	67	20* - 30	TS / +
17	90	40	44	84	20* - 30	TS / +	23	Pas de remblais - trottoir			87	/	E / +++
18	100	30	54	84	30* - 40	TS / +	23	101	29	54	83	10* - 20	T / ++
19	101	29	50	79	30* - 40	TS / +	22,5	Pas de remblais - trottoir			57 (muret) + 17 trottoir	/	E / +++

Figure 172 : résultats des reconnaissances réalisées par le SIBA sur l'ouvrage de protection de 2nd rang (source : SIBA)

Il s'avère que, sur le linéaire du SE, on trouve deux sections types :

- une section en « T » avec une semelle symétrique et relativement peu large,
- une section en « L » avec semelle assez importante côté mer.

Aussi, les reconnaissances réalisées par le SIBA laissent penser que la géométrie et la conception du mur sont les suivantes :

- une semelle en béton armé,
- un voile en bloc à bancher de dimensions 50 cm (largeur) * 50 cm (hauteur) * 20 cm (épaisseur),
- des aciers dans les voiles de 2 HA12 en horizontale à chaque rangée de blocs et 2 HA14 en vertical par bloc lesquels sont liaisonnés avec la semelle,
- le béton utilisé est de type XS3 avec ciment PMES.

Toutefois, il est précisé que les éléments de conception n'ont pas pu faire l'objet de vérification sur site. Ils sont basés sur un courrier de l'Entreprise en charge des travaux avant exécution.

Enfin, on ne dispose d'aucune information sur les dispositions prises au droit des ouvrages particuliers (portes et batardeaux) si ce n'est que le génie civil sera adapté avec des renforcements « par coulage d'un poteau en béton armé (béton XS3) de section qui sera déterminée par le calcul ».

Des informations sur les dispositions prises pour les équipements sont en revanche apportées :

- ✚ Les portes et les batardeaux sont prévus avec une ossature en inox 316 L marinisé par passivation.
- ✚ Les panneaux des portes sont prévus en plaque inox 316L de type sandwich avec 2 feuilles d'inox enserrant un remplissage en mousse de polyuréthane.
- ✚ Les panneaux des batardeaux sont prévus en lames d'Azobé assemblées par rainurage et étanchéifié par joint souple de type SIKA Marine
- ✚ Les joints de type compribande de section rectangulaire permettront d'assurer l'étanchéité des portes et des batardeaux sous une hauteur d'eau pouvant atteindre le dessus de ceux-ci. Le modèle proposé est identique à celui mis en place sur les vantaux d'un portail étanche chez un particulier domicilié sur la commune d'Andernos dans la rue Fontvieille.
- ✚ Les portes et les batardeaux seront équipés de clapet de marque ST DIZIER modèle CM-P en PEHD Dn200 qui seront boulonnés sur les panneaux inox sandwich des portes ou ceux en Azobé des batardeaux.

Figure 173 : extrait des précisions de l'entreprise en charge des travaux sur l'ouvrage de protection de 2nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)

Concernant les portes :

- ✚ Pour leur articulation, chaque vantail de porte recevra 2 paliers étanches à roulement à bille pivotant autour d'une barre d'inox jouant le rôle de charnière (conformément au schéma de principe joint au DCE du marché)
- ✚ La fermeture étanche des portes est assurée par 4 leviers positionnés en partie haute et agissant sur des tiges avec manoeuvre excentrique pour plaquer uniformément les joints et ainsi s'assurer d'une bonne étanchéité (1 manoeuvre par vantail et 2 au centre en verrouillage des vantaux entre eux). De plus, un système de tubes coulissants positionnés placé en partie haute des portes (coté terre) assurera un rôle de raidisseur afin d'éviter la déformation des vantaux et de répartir les forces sur l'ensemble des points d'articulations et de fermetures.
- ✚ Le verrouillage des portes aussi bien en position ouverte que fermée, sera assuré par la mise en place de cadenas fixés sur des pattes inox empêchant toutes manoeuvres des vantaux que celles-ci soient accidentelles ou volontaires.
- ✚ Pour empêcher la déformation des portes en position ouverte par leur poids propre, nous mettrons en place une patte inox en partie basse de chaque vantail. Les pattes seront fixées ou sceller dans le muret maçonné.

Figure 174 : extrait des précisions de l'entreprise en charge des travaux sur l'ouvrage de protection de 2nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)

Concernant les batardeaux :

- ✚ Les batardeaux coulisseront dans des glissières en acier inox 316L et recevront eux aussi des joints d'étanchéité. Afin de comprimer les joints et assurer l'étanchéité, là encore des leviers permettront de faire tourner des tiges de manoeuvre avec excentrique qui comprimeront les joints sur les 3 faces.
- ✚ Le verrouillage des batardeaux en place se fera par la pose de cadenas qui immobiliseront les leviers de manoeuvre et empêcherons ainsi l'enlèvement ou le vol de ceux-ci.

Figure 175 : extrait des précisions de l'entreprise en charge des travaux sur l'ouvrage de protection de 2nd rang (source : dossier travaux 2010-2011 - SIBA)

7.3.3 GEOTECHNIQUE

7.3.3.1 Contexte géologique

Le système d'endiguement est situé sur deux horizons géologiques (cf. carte géologique ci-dessous (source : BRGM)) :

- L'horizon Fy-z : alluvions récentes composées de sables micacés et d'argiles tourbeuses et silteuses grises. Cet horizon correspond à la formation superficielle côté terre.

- L'horizon SFD : sable des platiers et bancs émergents. Il s'agit de la plage vases sableuses brunes (shorres) et MFzb : alluvions à apport marin dominant

Plus au large, on trouve l'horizon PSVH qui correspond à des platiers sablo-vaseux avec herbiers.

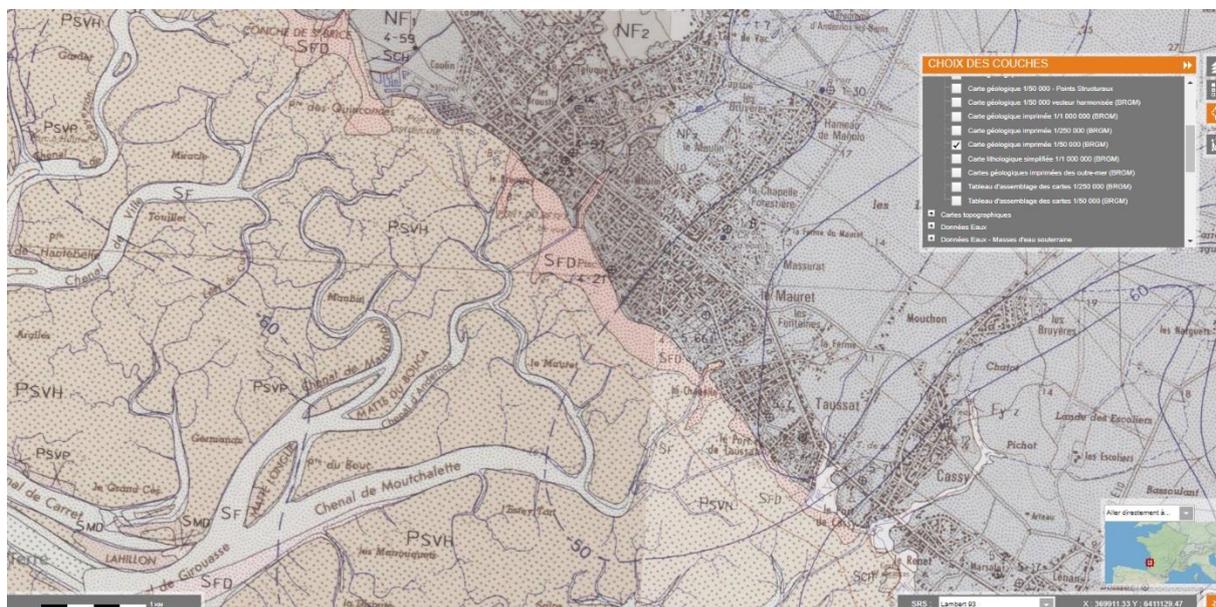


Figure 176 : carte géologique au 1/50 000 (source : BRGM) – vue générale

7.3.3.2 Reconnaissances géotechniques

Campagnes antérieures

Le SIBA dispose des résultats de la campagne de reconnaissances géotechniques et géophysiques réalisée par ECR Environnement en 2016 [2].

La consultation de la banque du sous-sol du BRGM a également permis de récupérer les données sur un sondage dans l'emprise du système d'endiguement.

Campagne réalisée dans le cadre du diagnostic approfondi

Une campagne de reconnaissances complémentaires a été menée au printemps 2020 par le SIBA pour compléter les informations sur la géométrie de l'ouvrage de protection de 2nd rang

Contenu des reconnaissances

La campagne de reconnaissances de 2016 réalisée sur le littoral de la commune d'Andernos-les-Bains donne sur le linéaire objet de l'étude de danger :

- un profil géoradar,
- 2 sondages de reconnaissances réalisés à la tarière hélicoïdale,
- 2 sondages pénétrométriques.

Les implantations et les résultats sont présentés ci-dessous :

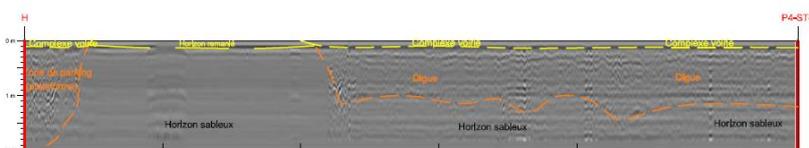


Figure 177 : implantations des sondages et résultats du géoradar sur la partie Nord-Ouest du SE

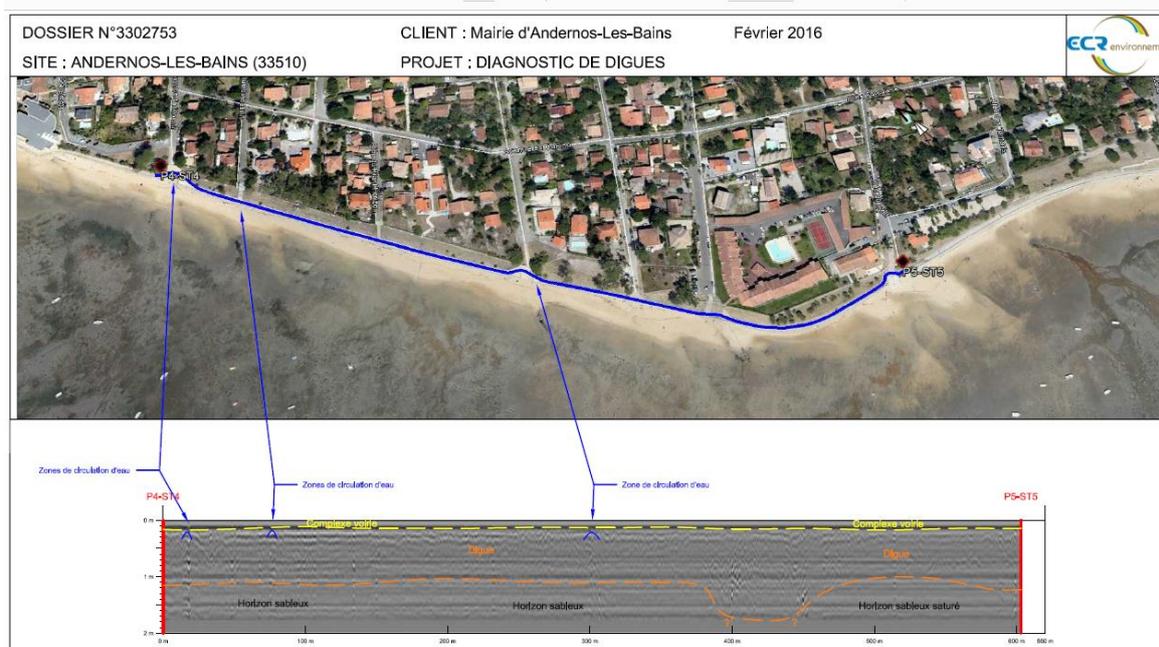


Figure 178 : implantations des sondages et résultats du géoradar sur la partie centrale du SE

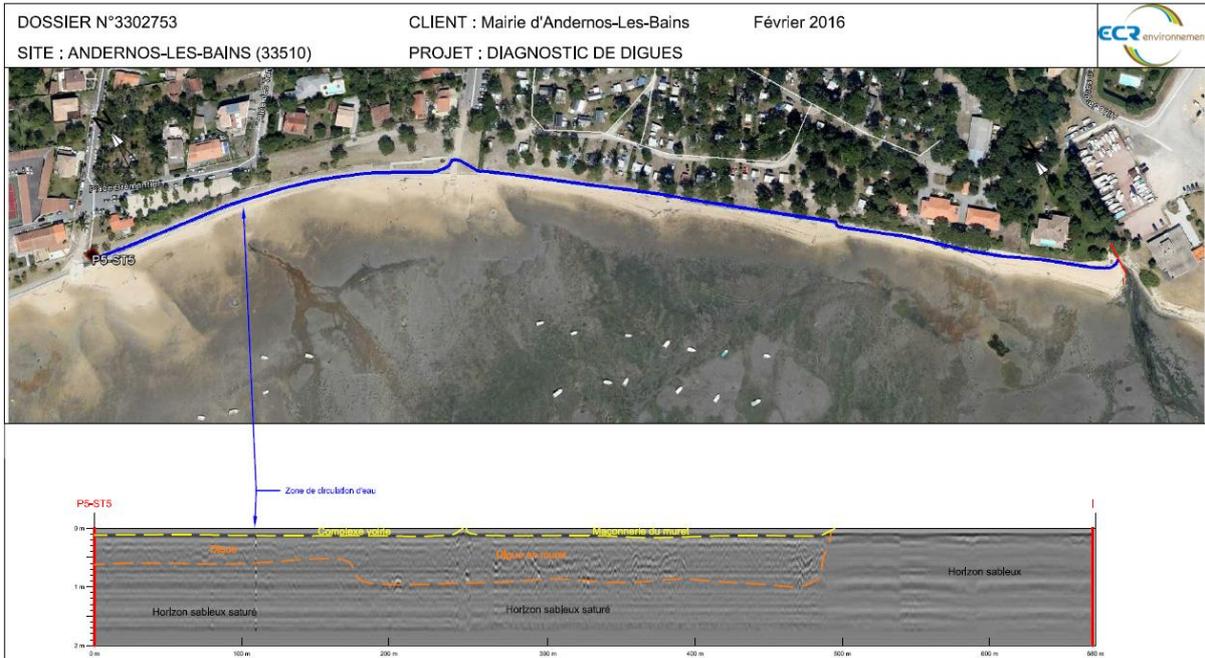


Figure 179 : implantations des sondages et résultats du géoradar sur la partie Sud-Est du SE

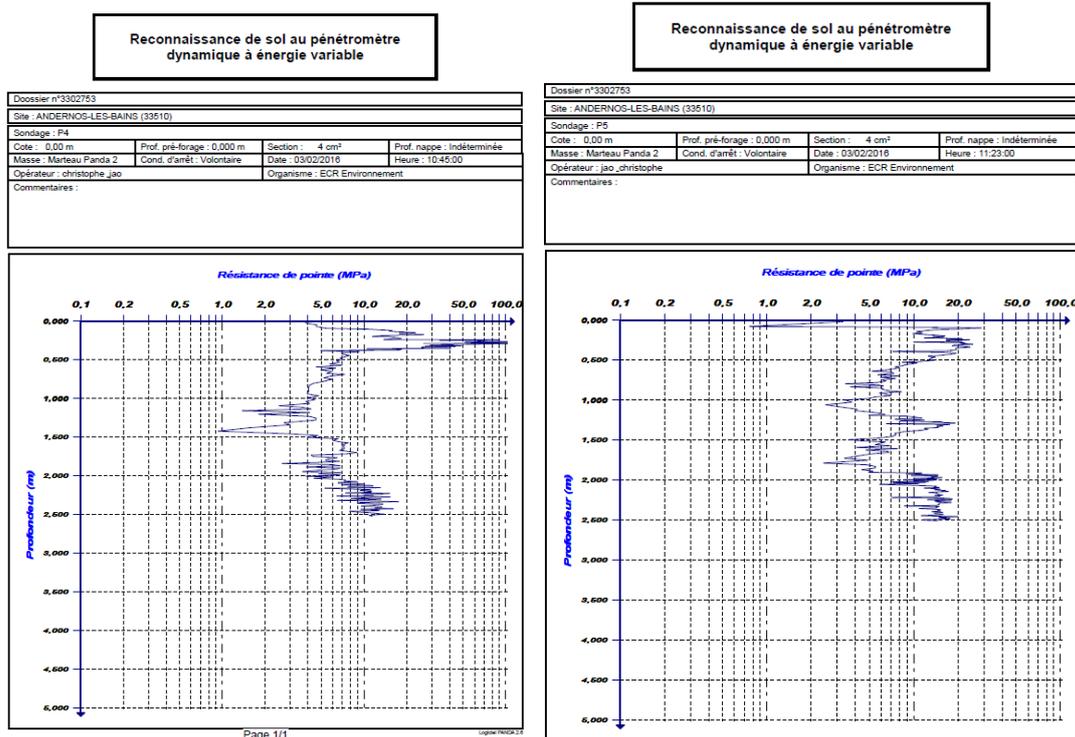


Figure 180 : résultats des sondages pénétrométriques sur le SE

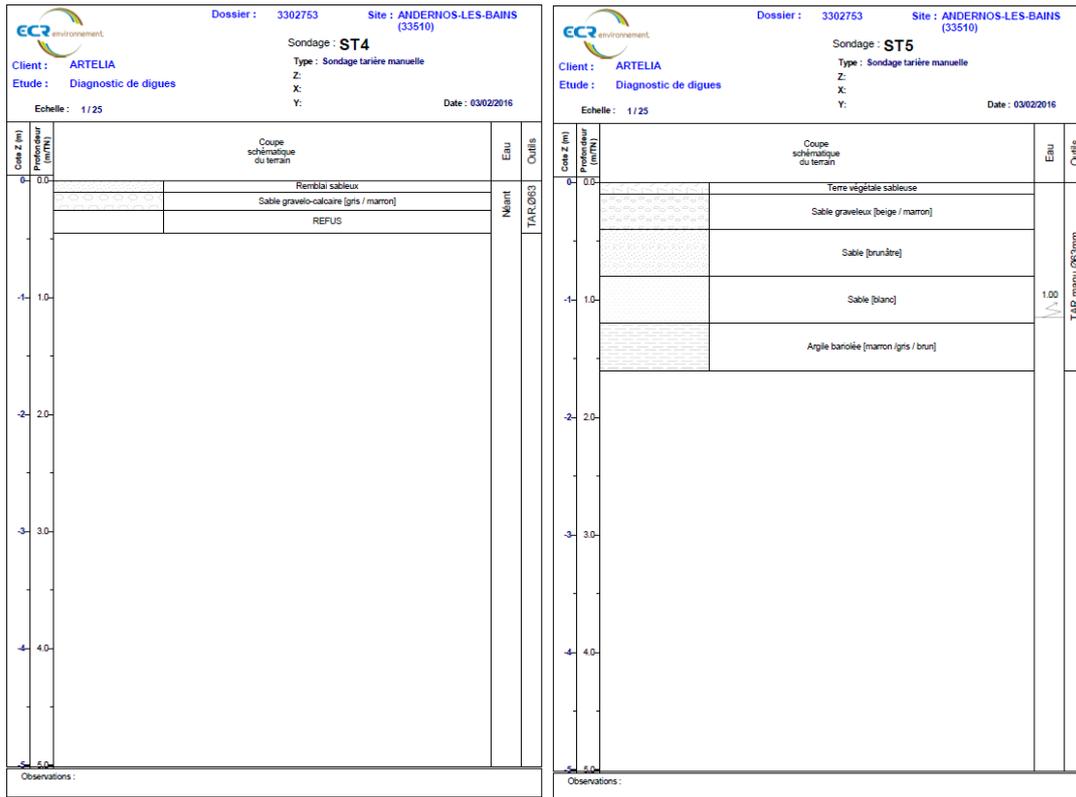
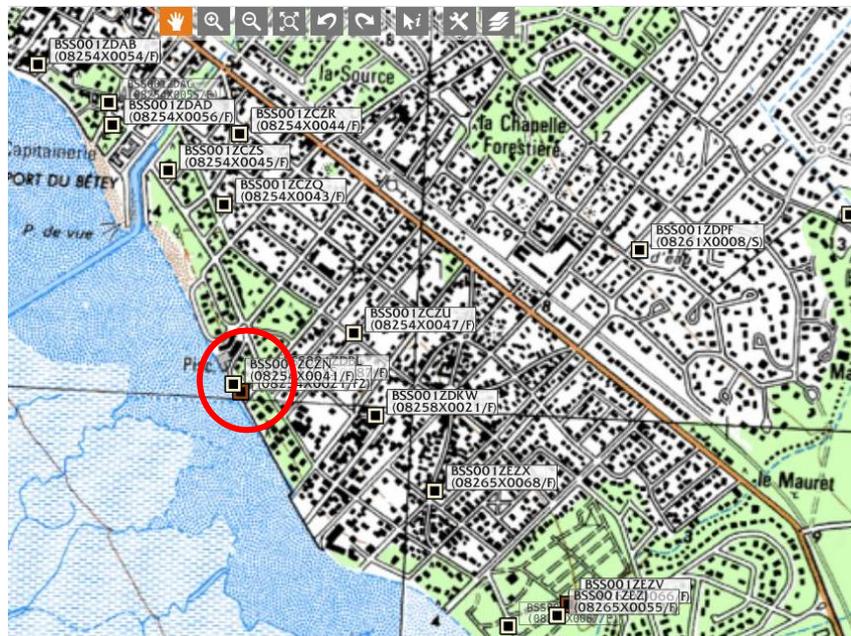


Figure 181 : résultats des sondages à la tarière hélicoïdale sur le SE

La banque du sous-sol du BRGM fournit un sondage sur la zone d'étude. L'implantation de ce sondage est la suivante :



Le sondage BSS001ZCZN est situé à proximité de la piscine. Il s'agit d'un sondage carotté de grande profondeur (jusqu'à 300 m). Le log des premiers mètres est présenté ci-dessous :

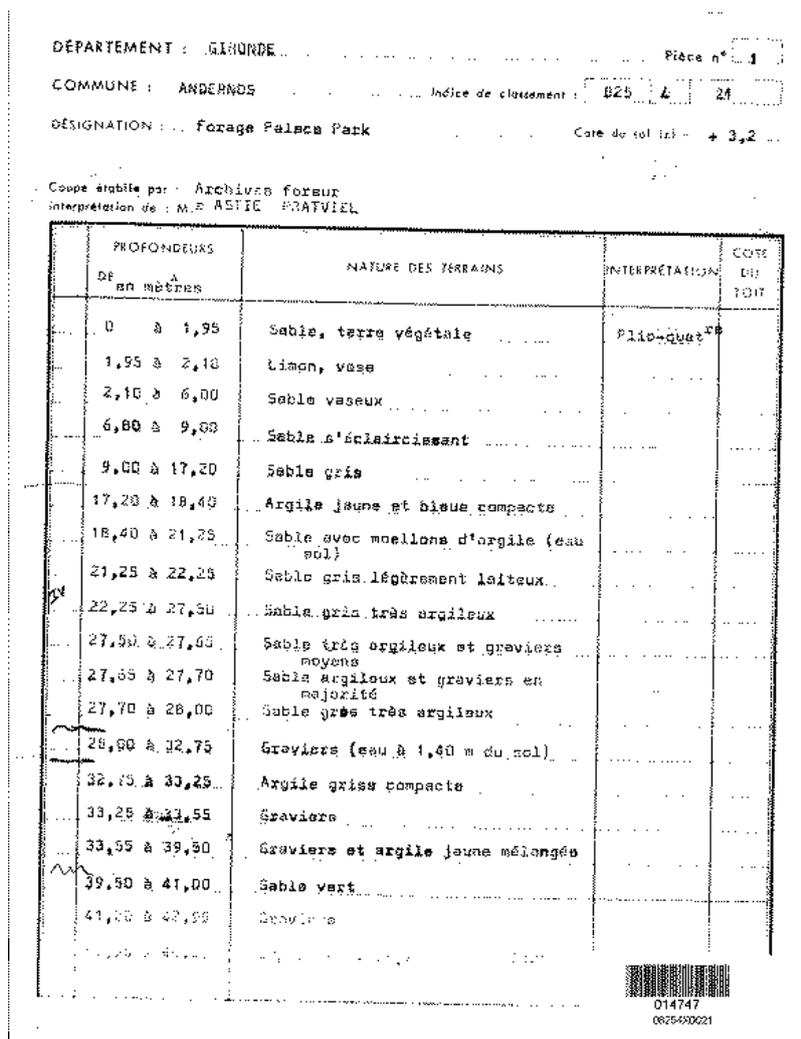


Figure 182 : log du sondage BSS001ZCZN (source : BRGM)

Enfin, d'autres reconnaissances réalisées par le SIBA au printemps 2020 ont permis de déterminer la géométrie de l'ouvrage sur l'intégralité du linéaire du SE. L'implantation et les résultats de ces reconnaissances sont donnés sur la Figure 171 et la Figure 172.

Conclusion

L'ensemble de ces informations montre :

- une couverture variable du sol avec de la terre végétale ou un remblai sableux, confirmée par les observations de terrain,
- une épaisseur de terrain sableux plus ou moins graveleux sur 1 à 2 m d'épaisseur,
- un sable vaseux ou une argile bariolée plus en profondeur.

Hormis l'anomalie détectée sur le sondage pénétrométrique P4 à 40 cm de profondeur (qui explique le refus du sondage à la tarière hélicoïdale ST4), les essais pénétrométriques indiquent des résistances de pointe comprises entre 1 MPa et 20 MPa.

Le géoradar n'apporte pas d'information intéressante. « L'horizon sableux » identifié en fondation du « corps de digue » n'est pas pertinent au regard du sondage à la tarière ST5. Il semble que les informations récoltées par ces reconnaissances géophysiques n'ont pas fait l'objet d'un calage avec les résultats issus des reconnaissances géotechniques.

7.3.4 OUVRAGES TRAVERSANTS

7.3.4.1 Barbacanes

Les barbacanes ont été installées fin 2009 / début 2010 par l'Entreprise GEA BASSIN (avant la réalisation de l'ouvrage de 2nd rang) sous maîtrise d'ouvrage du SIBA.

Plusieurs photos illustrent ces travaux :



Figure 183 : pose d'avaloirs côté terre



Figure 184 : pose d'exutoires côté mer

7.3.4.2 Réseau d'eau pluviale de la Ville

L'ensemble des documents disponibles sur ces ouvrages n'est pas reproduit ci-dessous.

Le réseau a fait l'objet de travaux par l'Entreprise SADE en 2008 pour prolonger les exutoires du réseau vers la mer. Le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) est relativement complet.

Ces travaux ont consisté à installer des conduites PEHD de diamètre 500 mm de type 100 SDR33 lestées par des blocs béton. Des enrochements protègent la canalisation. Les exutoires sont munis de dispositifs anti-retour (clapet simple ou double clapet) qui font l'objet d'un entretien régulier (notamment par rapport à la problématique de l'ensablement).

Des coupes de chaque réseau traversant les ouvrages de protection sont disponibles. La suivante se situe au niveau du boulevard de l'Océan :

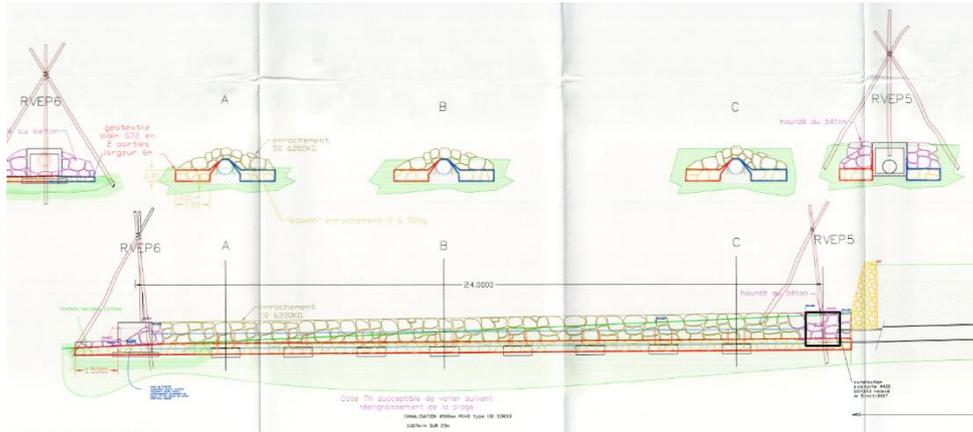


Figure 185 : profil en long et coupes du réseau d'eau pluviale au niveau du boulevard de l'Océan (source : SIBA)

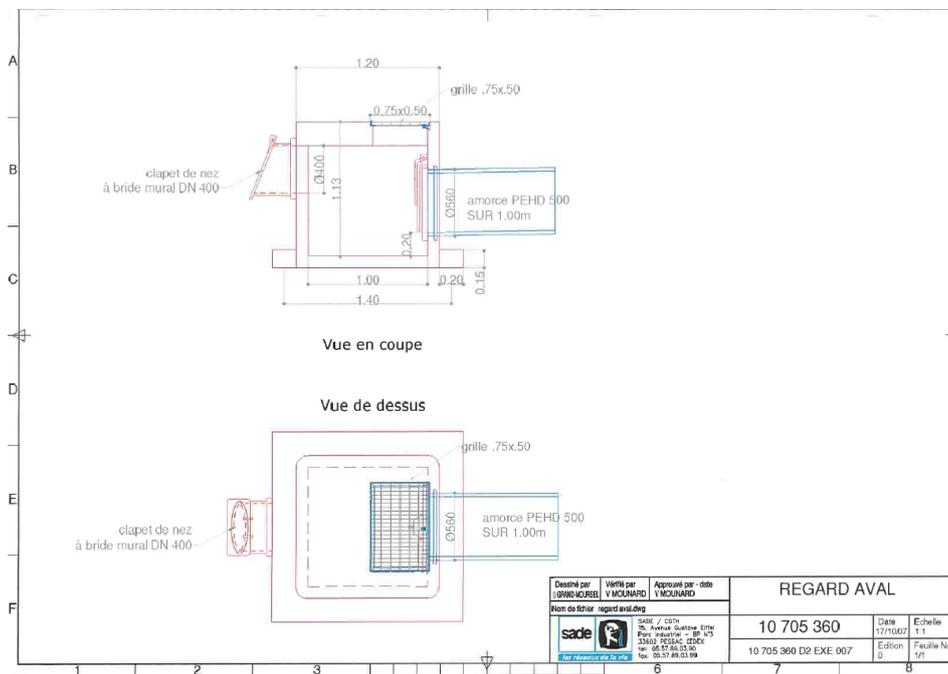


Figure 186 : détail des regards côté mer du réseau d'eau pluviale de la Ville (source : SIBA)



Figure 187 : fiche technique des clapets installés sur les exutoires du réseau d'eau pluviale de la Ville (source : SIBA)

Le réseau a fait l'objet d'un diagnostic mené par SOGREAH en novembre 2009. Ce diagnostic porte majoritairement sur les capacités du réseau et non sur les structures traversants les ouvrages de protection contre les inondations. La carte suivante précise le fonctionnement du réseau actuel :

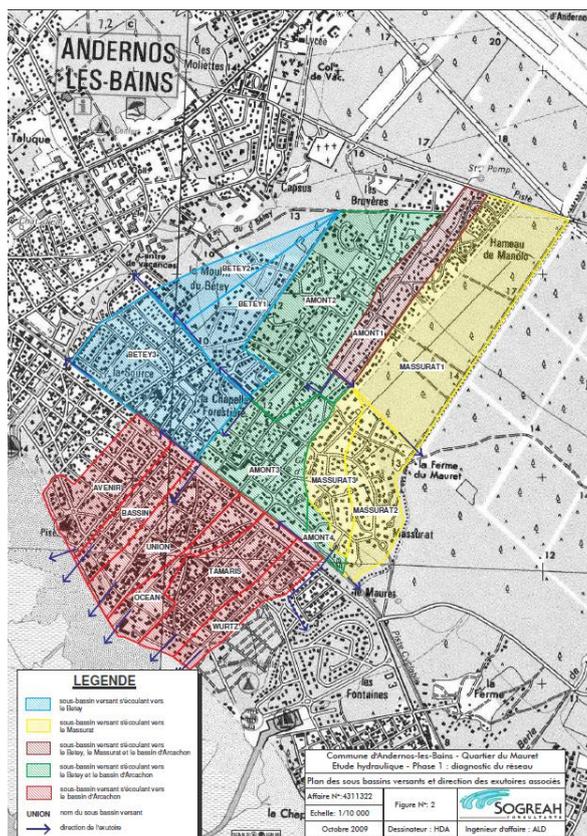


Figure 188 : vue en plan du fonctionnement du réseau d'eau pluviale de la Ville

7.4 ANALYSE ET CALCULS PRELIMINAIRES A LA VERIFICATION DE LA TENUE DES OUVRAGES

Le document est donné en ANNEXE 6.

Il a pour objectif de présenter les analyses et calculs préliminaires à la vérification de la tenue des ouvrages du paragraphe 7.5 du présent chapitre de diagnostic approfondi.

Plus précisément, il évalue :

- L'aléa maritime ;
- Les débits de franchissement ;
- La stabilité de l'ouvrage de 2nd rang vis-à-vis d'une instabilité générale et de l'érosion interne.

7.5 VERIFICATION DE LA TENUE DES OUVRAGES

7.5.1 RETOUR D'EXPERIENCE DES EVENEMENTS HISTORIQUES

Le retour d'expérience concernant le système d'endiguement est réalisé dans el chapitre 6.

7.5.2 METHODOLOGIE

7.5.2.1 Analyse fonctionnelle des ouvrages

Un ouvrage de protection contre les submersions marines doit assurer différentes fonctions. Les ouvrages du système d'endiguement du Mauret à Andernos-les-Bains comprennent les suivants :

- Un ouvrage de protection de 1^{er} rang qui assure les fonctions de « **résistance à l'érosion externe** », « **étanchéité** », « **stabilité** », « **filtration** », « **résistance à l'érosion interne** » et « **capacité de ressuyage** »
- Un ouvrage de protection de 2nd rang qui assure les fonctions « **étanchéité** », « **résistance à l'érosion interne** » et « **stabilité** »

7.5.2.2 Arbre de défaillance et approche multi-scénario

Le diagnostic technique approfondi vise à déterminer le niveau de protection pour lequel il est possible de garantir l'absence de venue d'eau dans la zone protégée (à l'exception des franchissements non dangereux) : venues d'eau possibles par rupture d'un ouvrage de protection, par disfonctionnement de l'ouvrage ou contournement de ce dernier, etc. Pour cela, il est déterminé une probabilité de venues d'eau dangereuses dans la zone protégée pour :

- chaque mode de rupture,
- différentes occurrences de l'aléa naturel considéré, ici la submersion marine (a minima l'évènement naturel associé au niveau de protection du système d'endiguement pour laquelle il convient de vérifier que le risque de rupture est inférieur à 5%).

Cette probabilité est déterminée pour chaque scénario de rupture au moyen d'arbres de défaillance, chaque bifurcation correspondant à une étape sur le chemin de la venue d'eau. Une distinction est réalisée sur :

- Les défaillances du système d'endiguement dans sa configuration nominale : les batardeaux sont en place et opérationnels, les dispositifs de ressuyage sont fonctionnels (barbacanes et clapets), etc.
- Les défaillances de dispositifs particuliers du système d'endiguement : absence d'un ou plusieurs batardeaux, dysfonctionnement des clapets de ressuyage, etc.

Pour les différentes branches de l'arbre de défaillance, il est proposé de retenir l'approche multi-scénario proposée dans l'annexe 3 de l'arrêté du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017. Cette approche se justifie par :

- le cadre maritime de l'étude de dangers, les aléas sont multiples : niveau de mer, surcote, vent, houle, érosion/transport sédimentaire),
- le fait que la résistance des ouvrages ne peut être calculés de manières déterministes pour l'ensemble des modes de rupture.

Cette démarche consiste en trois étapes :

1. L'évaluation des scénarios probables de mener à des venues d'eau dangereuses dans la zone protégée.
2. Pour chaque scénario :
 - L'évaluation de la vraisemblance de la sollicitation de l'ouvrage (évaluée sur des tronçons homogènes),
 - L'évaluation de la vraisemblance conditionnelle de la capacité de l'ouvrage à résister à cette sollicitation
3. La détermination du niveau de protection comme étant la hauteur d'eau (niveau marin) telle que les scénarios basés sur cette hauteur d'eau présentent une probabilité de défaillance suffisamment faible.

Pour l'étape n°2 ci-dessous, l'annexe 3 de l'arrêté propose un classement des vraisemblances selon au moins trois classes (risque limité, risque conséquent, risque aigu). Ce classement a été adapté et affiné pour le proposer sous la forme suivante :

Probabilité conditionnelle de défaillance « P »	Qualification du risque de défaillance
P < 1 %	Très faible
1% < P < 5%	Faible
5% < P < 50%	Moyen
50% < P < 95%	Fort
P > 95%	Très fort

Tableau 10 : probabilité conditionnelle de défaillance

Risque de défaillance		Vraisemblance de la sollicitation				
		Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Vraisemblance de la capacité à résister à la sollicitation	Très forte	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Moyen
	Forte	Très faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
	Moyenne	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Fort
	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort
	Très faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort	Très fort

Tableau 11 : qualification du risque de défaillance à partir du croisement sollicitations/résistance

7.5.2.3 Mécanismes principaux de défaillance identifiés

Fonctionnement nominal du système d'endiguement

Ce chapitre traite le cas où l'intégralité des ouvrages annexes du système d'endiguement sont dans leur état nominal :

- Les batardeaux des ouvrages de protection de 1^{er} et de 2nd rang sont en place et opérationnels
- Les barbacanes et leurs clapets sont fonctionnels.

On distingue cinq mécanismes de défaillance principaux. Il s'agit des mécanismes initiateurs. D'autres mécanismes peuvent suivre pour générer la défaillance. :

- défaillance par surverse,
- défaillance par franchissement des paquets de mer,
- défaillance par érosion externe côté mer,
- défaillance par instabilité de la digue ou des murets de revanche,
- défaillance par érosion interne le long des rejets d'eau pluviale en fondation du système d'endiguement ou à l'interface semelle/fondation des parapets.

Les sections suivantes illustrent de manière générale les principaux modes de défaillance pour des digues de protection contre les inondations et/ou les submersions marines.

Par ailleurs, les ouvrages traversants peuvent conduire à des entrées d'eau incontrôlées dans la zone protégée.

Rupture par surverse

La rupture par déversement sur la crête de digue constitue le mécanisme le plus fréquent de ruine des digues de protection contre les inondations et/ou de submersion marine. La rupture commence par l'érosion du pied de l'ouvrage côté zone protégée lors d'une surverse où les vitesses sont les plus fortes. Cette érosion se propage ensuite de manière régressive générant la déstabilisation de l'ouvrage de protection par érosion de sa fondation.

Cette rupture ne peut se produire que si la sollicitation (lame de surverse et durée de surverse) est suffisante.

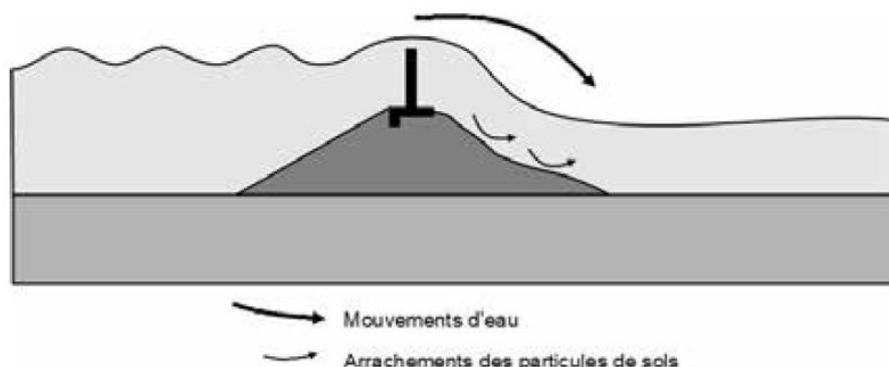


Figure 189 : mécanisme de rupture par surverse [17]



Figure 190 : rupture de digue par surverse du Vidourle à Marsillargues lors de la crue de septembre 2002 (source : mairie de Marsillargues)

Dans le cadre de la présente étude, ce mécanisme d'instabilité se traduit par la surverse d'un des deux ouvrages de protection (1^{er} et/ou 2nd rang)

Rupture par franchissements des paquets de mer

Le franchissement des vagues par paquets de mer, avec ou sans érosion de la crête et du talus arrière de la digue, peut donner lieu à une submersion de la zone protégée.

Dans le cas présent, les franchissements se font par-dessus la crête de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang, la présence de l'ouvrage de protection de 2nd rang permet alors de contenir et stocker les volumes franchissants.

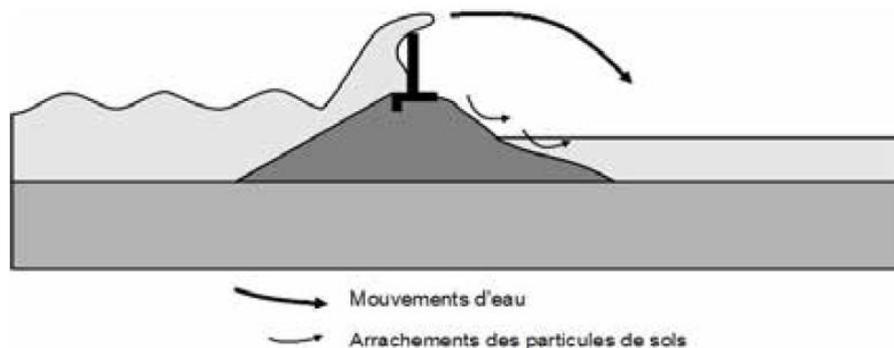


Figure 191 : mécanisme de rupture par franchissements de paquet de mer [17]

Rupture par érosion externe

Deux phénomènes peuvent être différenciés concernant la rupture d'un système d'endiguement par érosion externe :

- l'érosion du parement de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang côté mer sous l'effet des vagues, des courants ou d'un choc (bateau),
- le sapement de la plage en pied d'ouvrage de protection de 1^{er} rang.

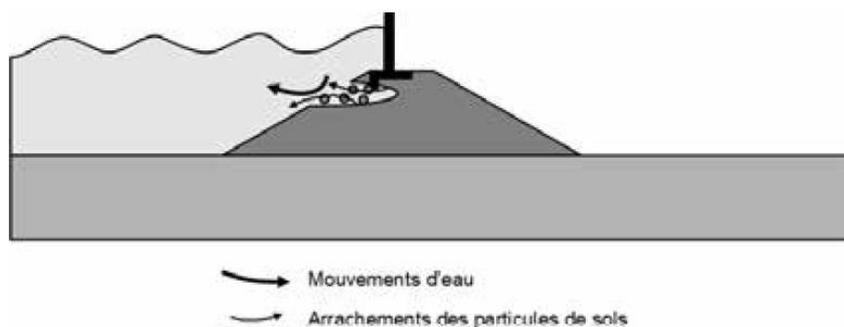


Figure 192 : mécanisme de rupture par érosion externe [17]

Rupture par érosion interne

Concernant l'érosion interne, les modes suivants sont à considérer :

- l'entraînement des particules les plus fines d'un matériau à travers ses particules les plus grossières (couramment nommé suffusion interne ou érosion volumique),
- l'érosion régressive d'une couche de matériau érodable continue d'amont vers l'aval sous l'effet d'un écoulement affectant cette couche,
- l'érosion des parois d'un conduit d'écoulement existant tel un terrier traversant, une fissure, l'interface avec un ouvrage traversant,
- l'érosion d'un matériau érodable au contact d'un matériau grossier, siège de l'écoulement.

Les deux derniers modes sont pris en compte en tant que facteurs aggravants de l'érosion régressive : l'érosion des parois ou au contact d'un matériau grossier ne peut se faire qu'au sein d'un matériau érodable et sous l'effet d'un gradient hydraulique suffisant. Ils constituent les modes de rupture les plus probables.

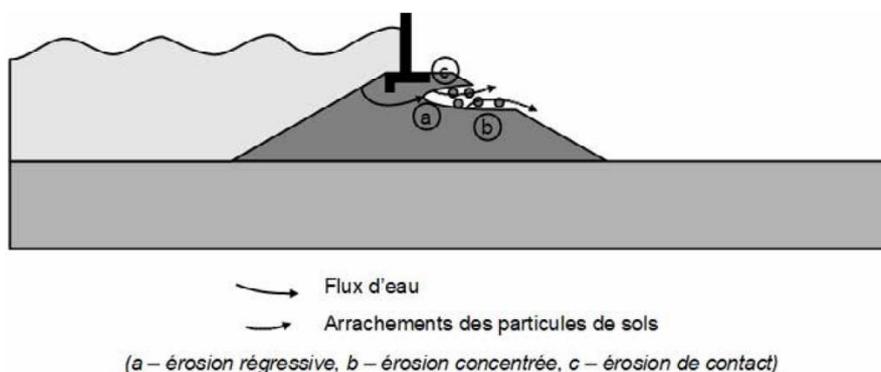


Figure 193 : mécanisme de rupture par érosion interne [17]



Figure 194 : digues de l'Agly – Erosion de talus et débouché du fontis (source : ISL)



Figure 195 : renard le long d'une conduite sur la digue de Cuxac-d'Aude lors de la crue de novembre 1999 (source : IRSTEA), ayant occasionné un écoulement de plusieurs centaines de litres secondes à travers la digue - brèche en cours de formation



Figure 196 : fontis dans la digue de la station INRA de Saint Pée sur Nivelles (source : ISL)

Dans le cadre de la présente étude, l'érosion régressive de la fondation de l'ouvrage de protection de 2nd rang est le facteur principal étudié (voir ANNEXE 6).

Rupture par instabilité

Les instabilités à considérer sur les digues sont :

- glissement du talus côté terre : le cas le plus critique est atteint lorsque la ligne piézométrique est la plus haute, au voisinage du pic de la crue ;
- glissement du talus du côté du cours d'eau : le cas le plus critique est à la décrue lorsque la ligne piézométrique dans le corps de l'ouvrage est la plus haute et alors que :
 - le niveau d'eau amont n'exerce plus une poussée stabilisante ;
 - la cohésion des matériaux est réduite par la saturation ;
 - le poids des terres est augmenté par la saturation ;

Ce cas ne peut cependant pas conduire à de venues d'eau dangereuses en zone protégée.

- glissement ou basculement du mur de protection (muret en béton ou rideau de palplanches) côté terre : le cas le plus critique est au pic de la crue ou de la tempête, lorsque la pression d'eau est maximale sur le muret de protection ;
- glissement ou basculement du mur de protection (muret en béton ou rideau de palplanches) côté cours d'eau : le cas le plus critique est lorsque le dispositif de ressuyage est défaillant après une crue ou une tempête ayant entraînée une surverse ou des franchissements par paquets de mer.

La stabilité est fonction de la pente du talus, des caractéristiques mécaniques des matériaux, de la géométrie du muret/rideau de palplanches le cas échéant et de la piézométrie affectant l'ouvrage.

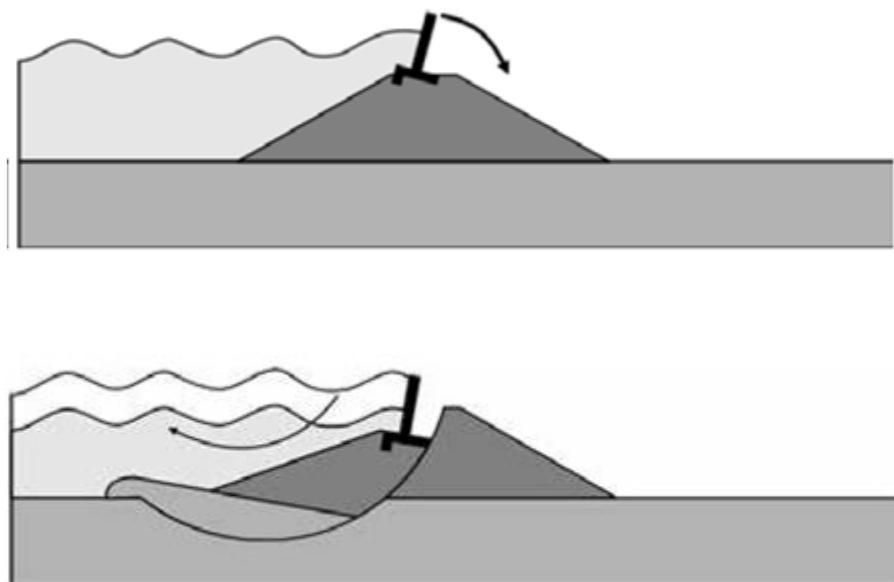


Figure 197 : mécanisme de rupture par instabilité d'ensemble (source :[17])

Dans le cadre de la présente étude, la stabilité d'ensemble de l'ouvrage de protection de 2nd rang a été étudiée de manière préliminaire dans l'ANNEXE 6.

7.5.3 CARACTERISATION DU RISQUE DE DEFAILLANCE

7.5.3.1 Etape 0 : Sollicitations hydrauliques et évènements retenus pour l'étude

Définition des évènements à considérer dans l'analyse des risques de défaillance

Il est cherché le niveau d'eau maximal pouvant garantir un risque de rupture des ouvrages de protection inférieur à 5%.

La figure qui suit synthétise les niveaux d'eau connus/calculés à Andernos-les-Bains en fonction de leur période de retour. Les niveaux sont issus des différents rapports du BRGM [4] [5] [6] [7] et indiqués **en gras et en bleu** sur le graphique :

- Tempête Klaus (T = 1 à 2 ans) : niveau recalculé = 3,28 m NGF à Andernos-les-Bains,
- Tempête Xynthia (T = 20 à 50 ans) : niveau recalculé = 3,83 m NGF à Andernos-les-Bains,
- Evènement de référence actuel du PPRSM (T ~ 100 ans) : niveau calculé = 3,92 m NGF au Mauret à Andernos-les-Bains,
- Evènement de référence à 2100 du PPRSM (T > 1000 ans) : niveau calculé = 4,32 m NGF au Mauret à Andernos-les-Bains.

Les niveaux extrêmes de période de retour 5, 10, 20, 50 et 100 ans calculés par le SHOM-CETMEF et par le BRGM au marégraphe d'Arcachon-Eyrac sont aussi rappelés à titre indicatif sur la figure, ainsi que la cote des PHMA (2,93 m NGF).

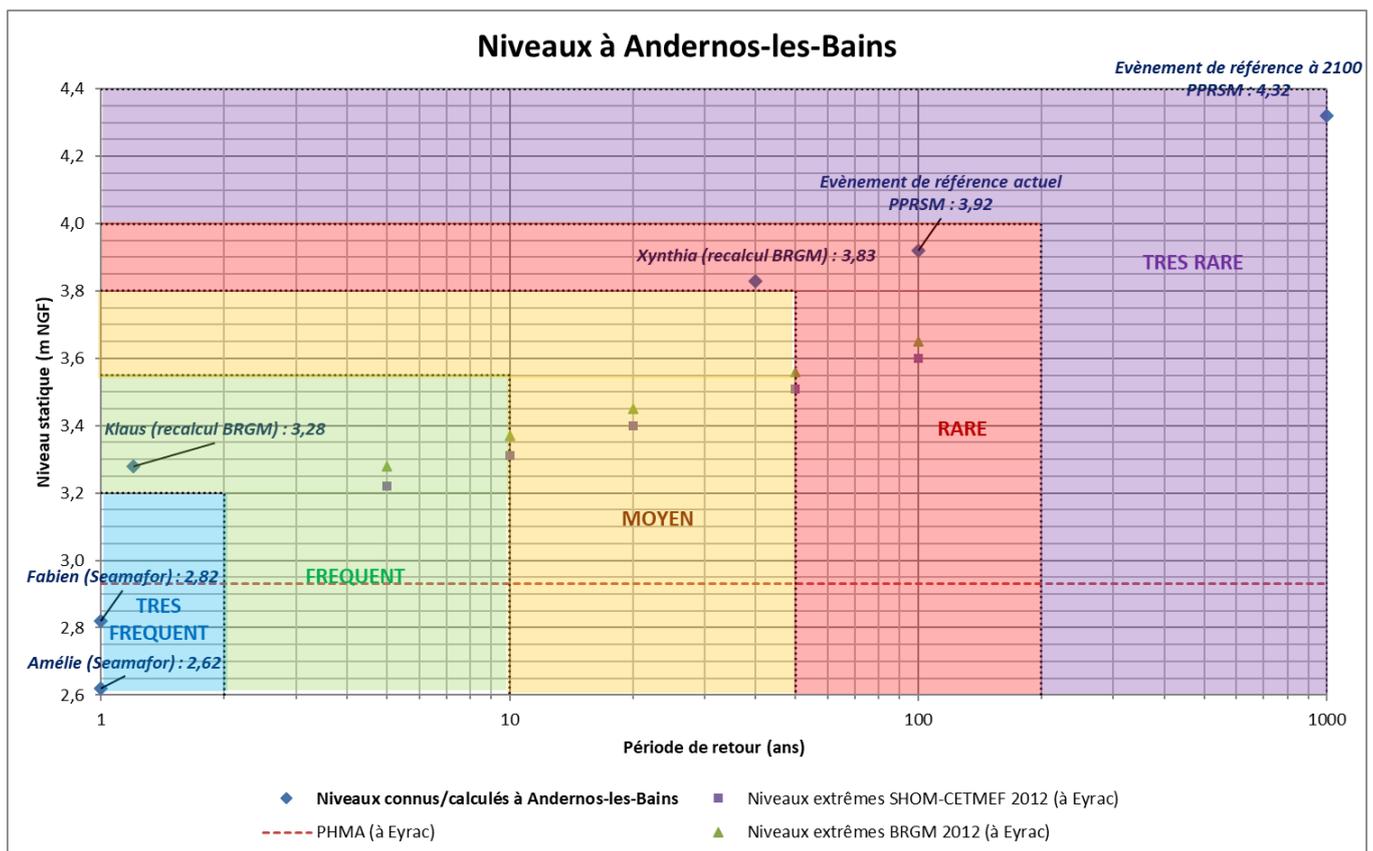


Figure 198 : niveaux à Andernos-les-Bains et périodes de retour

Sur la base de cette analyse, il est proposé de retenir pour l'étude des risques de défaillance les 5 niveaux statiques suivants devant les ouvrages constituant le système d'endiguement. Les évènements sont donnés dans le tableau ci-après, du plus fréquent au plus rare.

Pour chacun de ces événements, le niveau statique est associé à une houle de hauteur significative 0,5 m et de période de pic 3 s (caractéristiques du clapot se formant sur le bassin pour les tempêtes les plus fortes).

	Evènement très fréquent (ou très faible)	Evènement fréquent (ou faible)	Evènement moyen	Evènement rare (ou fort)	Evènement très rare (ou très fort)
Période de retour approximative	~ 1 an	~ 10 ans	~ 50 ans	~ 100 ans	~ 1000 ans
Evènement connu/calculé le plus proche	Tempête Klaus 2009	?	Tempête Xynthia 2010	Evènement de référence actuelle du PPRSM	Evènement de référence à 2100 du PPRSM
Niveau statique au Mauret	3,20 m NGF	3,55 m NGF	3,80 m NGF	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Houle sur le bassin	Clapot : $H_s = 0,5$ m et $T_p = 3$ s				

Tableau 12 : événements retenus pour l'étude des risques de défaillance

Calcul des sollicitations hydrauliques pour le fonctionnement nominal du système d'endiguement

La sollicitation hydraulique de l'ouvrage de protection de 2nd rang a été évaluée dans l'ANNEXE 6.

Pour un niveau statique dans le Bassin (combiné à une houle de 50 cm avec une période de 3 s) inférieur à 3,96 m NGF (égal au point bas du muret de 1^{er} rang), l'évaluation des débits de franchissement sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang permet de définir le niveau d'eau statique atteint dans chacun des casiers nord et sud créés entre les ouvrages de protection de 1^{er} rang et de 2nd rang. Ce niveau statique permet de définir la charge hydrostatique moyenne au droit des 19 sections considérées de l'ouvrage de protection de 2nd rang.

Pour un niveau statique dans le Bassin supérieur à 3,96 m NGF, l'ouvrage de protection de 1^{er} rang est surversé et le niveau statique dans le Bassin s'établit devant l'ouvrage de protection de 2nd rang.

Les graphiques ci-dessous donnent les évaluations des volumes franchissants l'ouvrage de protection de 1^{er} rang en fonction du niveau de pic de la marée considérée dans une configuration dans laquelle l'ensemble des barbacanes ne sont pas fonctionnelles :

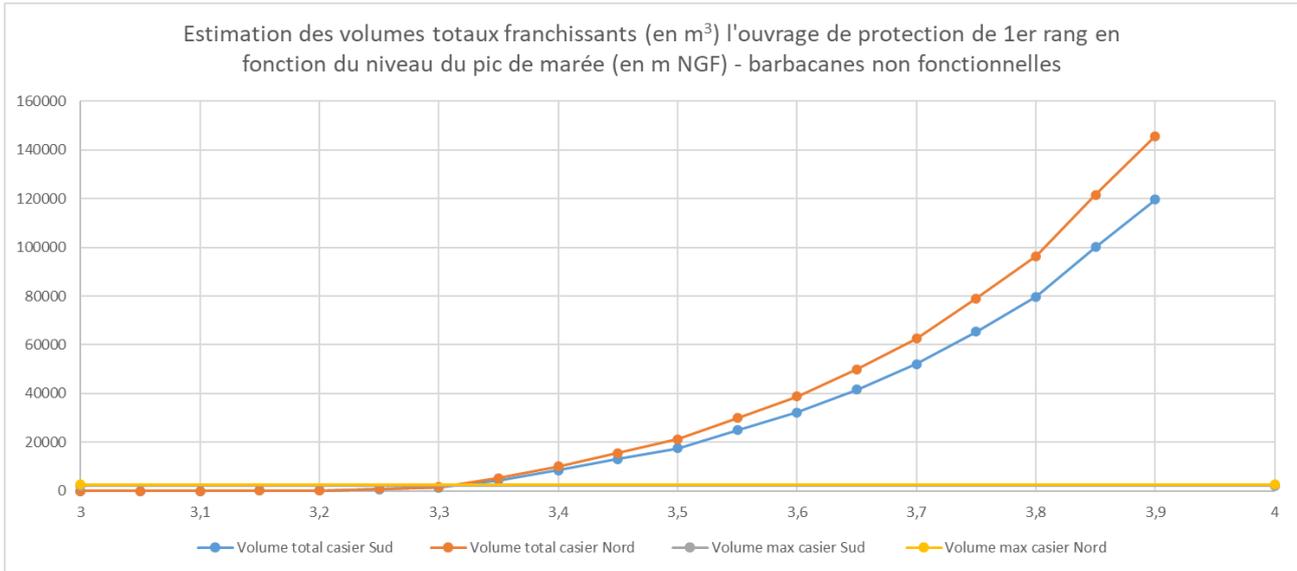


Figure 199 : estimation des volumes franchissants (en m³) l'ouvrage de protection de 1^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes non fonctionnelles

La figure ci-dessous précise l'atteinte des volumes maxima stockables dans les casiers nord et sud en fonction du niveau du pic de marée :

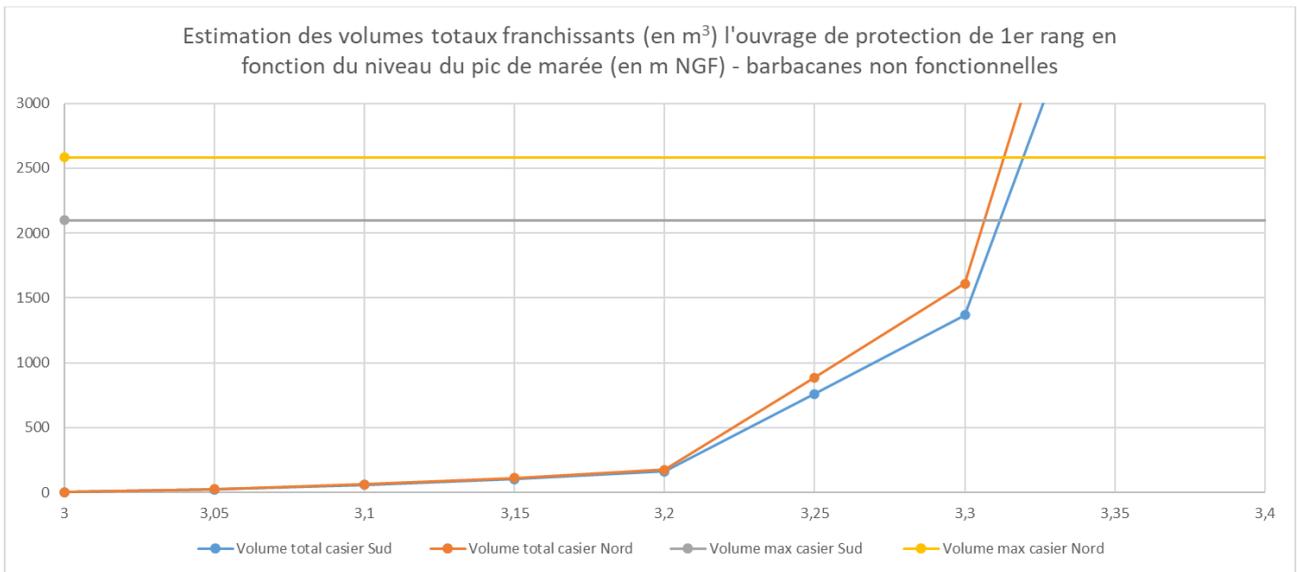


Figure 200 : estimation des volumes franchissants (en m³) l'ouvrage de protection de 1^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes non fonctionnelles

Les mêmes figures sont proposées ci-dessous en tenant compte des barbacanes fonctionnelles. Dans cette configuration, il est considéré que les barbacanes ne permettent plus le ressuyage des paquets de mer franchissant l'ouvrage de protection de 1^{er} rang dès que le niveau statique dans le Bassin dépasse le fil d'eau de ces barbacanes établi à 3,45 m NGF selon les plans de récolement disponibles. Le volume indiqué est le niveau maximum atteint dans les casiers. Lorsque la marée redescend, il est probable que les casiers se vident par les barbacanes.

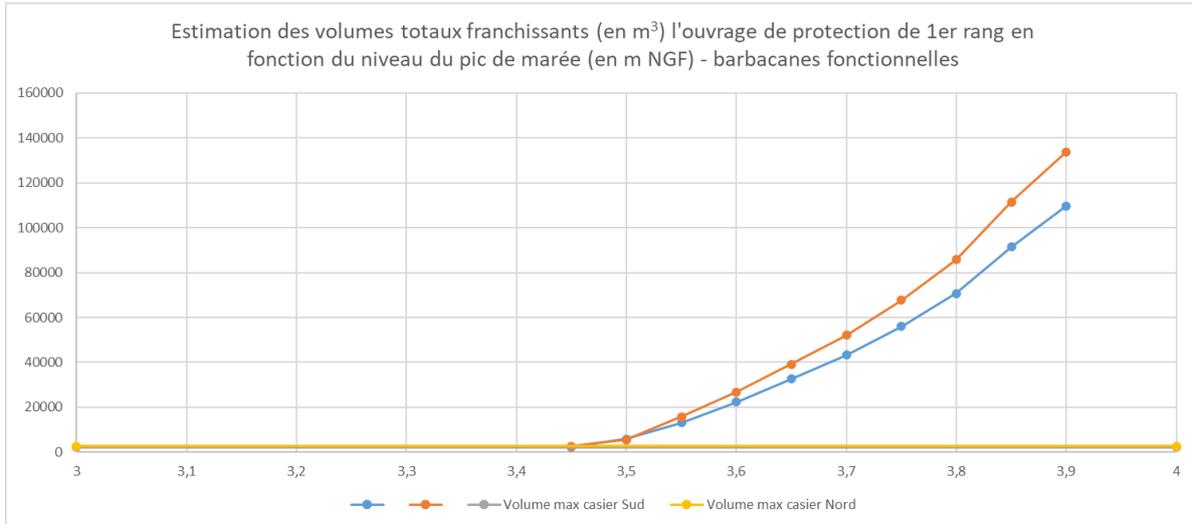


Figure 201 : estimation des volumes franchissants (en m³) l'ouvrage de protection de 1^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes fonctionnelles

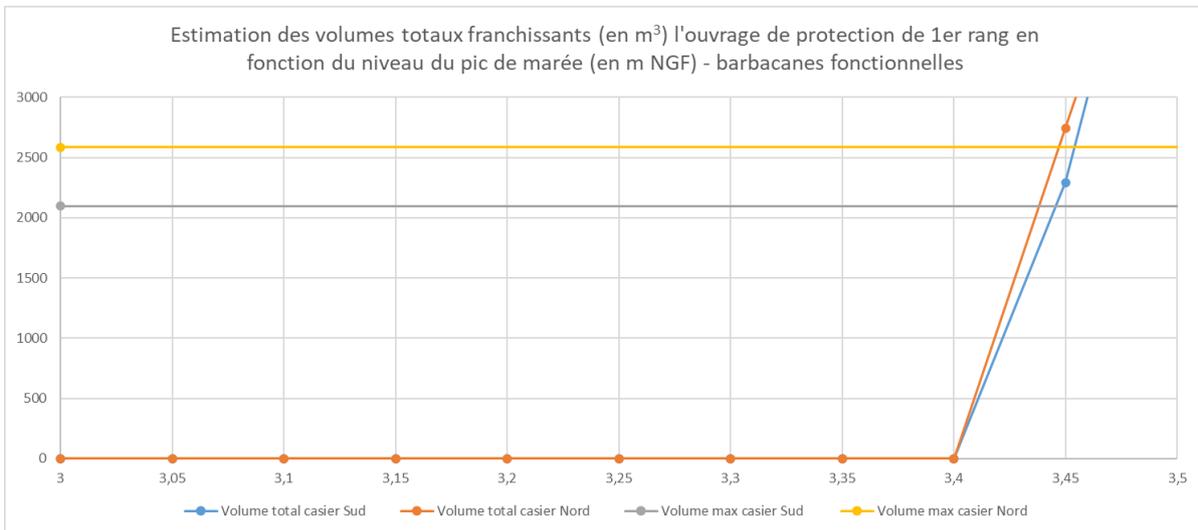


Figure 202 : estimation des volumes franchissants (en m³) l'ouvrage de protection de 1^{er} rang en fonction du niveau du pic de marée (en m NGF) – barbacanes fonctionnelles

Remarque : les débits franchissement dépendent peu (voir par du tout) du niveau de plage devant l'ouvrage de protection de 1^{er} rang car la houle est majoritairement créée par le vent (pas d'effet de la hauteur d'eau devant l'ouvrage sur le clapot généré).

Les volumes évoqués sur les graphiques précédents peuvent être transformés en cote atteinte devant l'ouvrage de protection de 2nd rang à partir du tableau suivant :

Niveau NGF	CASIER NORD		CASIER SUD	
	Volume par tranche (en m ³)	Volume cumulé (en m ³)	Volume par tranche (en m ³)	Volume cumulé (en m ³)
3,00	1	1	0	0
3,10	2	3	0	0
3,20	3	6	0	0
3,30	5	11	18	19
3,40	10	21	81	100
3,50	67	88	174	274
3,60	345	433	306	580
3,70	493	926	363	943
3,80	540	1466	382	1325
3,90	556	2023	386	1711
4,00	562	2585	388	2099

Tableau 13 : relation entre niveau NGF et volume des casiers nord et sud

Lorsque le volume dépasse 2 585 m³ dans le casier nord ou 2 099 m³ dans le casier sud, le ressuyage se fait par surverse sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang. Dans ce contexte, la sollicitation statique hydraulique sur l'ouvrage de protection de 2nd rang ne varie pas tant que le niveau statique dans le Bassin ne dépasse pas le niveau de crête de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang. En revanche, l'agitation dans les casiers augmentent avec le niveau statique devant l'ouvrage de protection de 1^{er} rang puisque les franchissements se font de plus en plus conséquents.

7.5.3.2 Etape 1 : Mode de défaillance et scénarios contrastés d'occurrence plausible

Le schéma donné en page suivante synthétise tous les modes de défaillance potentiels de l'ouvrage de protection du Mauret. Tous les modes de défaillance ne présentant pas la même probabilité d'occurrence, seuls les plus critiques seront considérés dans le cadre de la présente analyse.

Pour l'étude des risques de défaillance, il est proposé de retenir les familles de scénarios contrastés d'occurrence plausible suivants :

- Scénario 1 : défaillance par surverse sur l'ouvrage de protection de 2nd rang, avec ou sans rupture du muret,
- Scénario 2 : défaillance par instabilité de l'ouvrage de protection de 2nd rang, suite à un remplissage (partiel ou total) du casier par débordements ou franchissements sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang,
- Scénario 3 : défaillance par érosion interne en fondation de l'ouvrage de protection 2nd rang, suite à un remplissage (partiel ou total) du casier par débordements ou franchissements sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang,
- Scénario 4 : défaillance du fait d'une rupture de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (érosion externe ou instabilité) entraînant une propagation de la rupture jusqu'à l'ouvrage de protection de 2nd rang,

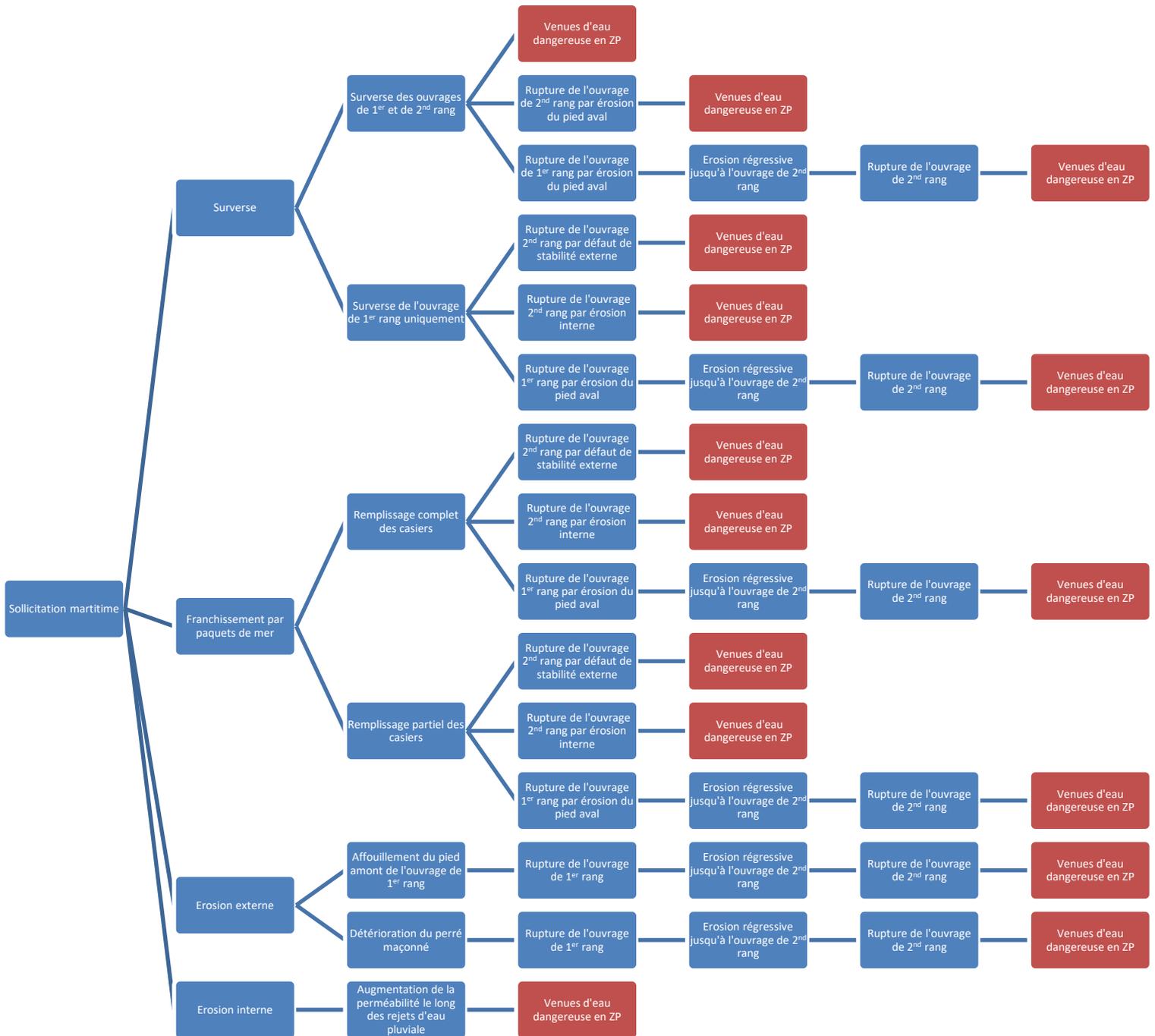


Figure 203 : modes de rupture considérés

Par ailleurs, selon [18], l'étude du cas d'une rupture sous séisme est écartée compte tenu de la classe de la digue et de la zone de sismicité (zone 1 : très faible).

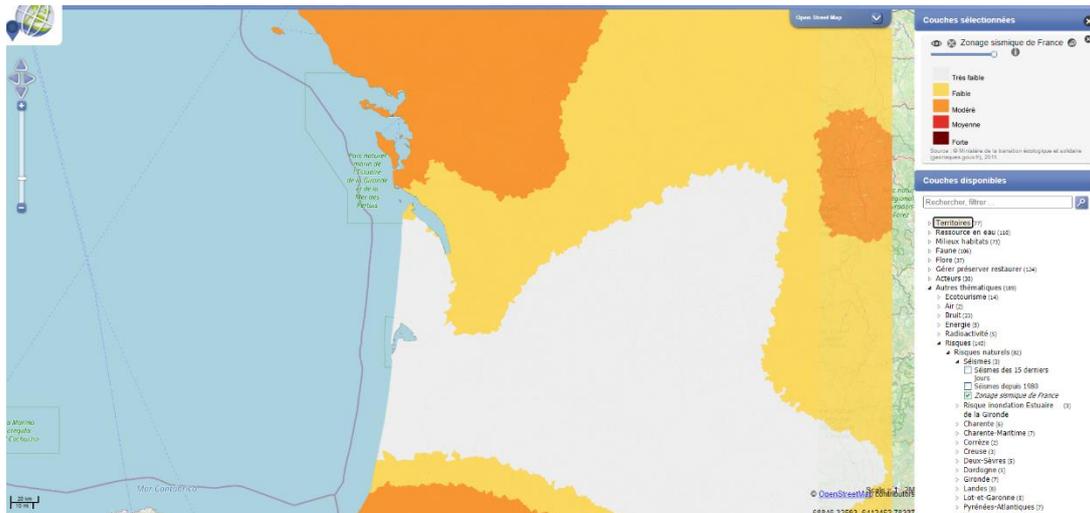


Figure 204 : carte du zonage sismique de la France (source : geoportail)

Les recommandations en matière d'études graduées sont les suivantes :

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	α	α	α	α
2	α	α	α	α
3	α	α	α	β
4	α	α	β	β
5	α	β	β	β

Tableau 7-28 - Recommandations pour les études graduées - digues

α : vérification de la conformité aux règles du génie civil
 β : vérification de la stabilité par méthode pseudo-statique

Figure 205 : extrait de [18]

7.5.3.3 Etape 2 : Evaluation des risques de défaillance

Scenario 1 : Défaillance par surverse sur l'ouvrage de protection de 2nd rang, avec ou sans rupture de l'ouvrage

Qualification de la vraisemblance de la sollicitation

La rupture par déversement sur la crête constitue un des mécanismes les plus fréquents de ruine des digues¹⁰. Cette rupture se produit si la sollicitation (lame de surverse, durée de surverse et hauteur de chute) est suffisante.

On retiendra qu'en règles générales, l'érosion démarre dès le début de la surverse avec de faibles lames d'eau (inférieures à 10 cm) pour les ouvrages dont le pied aval est en remblai dont la qualité de mise en place a été médiocre. En revanche, un ouvrage protégé (présence d'enrobé ou de béton côté zone protégée) peut supporter des lames d'eau plus importante (typiquement 10 à 30 cm) pendant quelques heures.

¹⁰ Affirmation valable pour l'ensemble des types de digue : fluviale, maritime, etc.

On estime que le risque de surverse devient nul dès lors que la revanche est supérieure à 50 cm.

On considèrera ici la grille de sollicitation suivante évaluée selon la valeur de la revanche « R » entre le niveau statique atteint devant les ouvrages et la cote du point bas de la crête de l'ouvrage de protection de 2nd rang (une revanche négative correspond à une lame de surverse sur le muret) :

- Sollicitation très faible : $R > 50$ cm
- Sollicitation faible : $10 \text{ cm} < R \leq 50$ cm
- Sollicitation moyenne : $0 \text{ cm} < R \leq 10$ cm
- Sollicitation forte : $-15 \text{ cm} < R \leq 0$ cm
- Sollicitation très forte : $R \leq -15$ cm

Cette échelle peut être dégradée en fonction des conditions d'agitation qui règnent dans le casier entre les deux ouvrages de protection, et qui seront d'autant plus fortes que le niveau statique dans le Bassin est proche ou supérieur à la crête de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang. Cette dégradation est établie à dire d'expert.

Qualification de la vraisemblance de la résistance

En se basant sur les descriptions des ouvrages et de leur état (cf. chapitre 5), il est possible d'analyser les critères suivants de résistance à la rupture par surverse :

- nature du terrain côté zone protégée,
- géométrie (largeur de la digue, pente des talus, hauteur du muret),
- traces de désordres en pied côté zone protégée.

Dans le cas d'un mur de protection, la rupture par surverse est un mécanisme en deux étapes : d'abord l'érosion du pied aval par la surverse puis le basculement du mur de protection. D'autres critères sont donc à prendre en compte comme l'ancrage du mur et son profil.

Evaluation du risque de défaillance

	Evènement très fréquent (ou très faible)	Evènement fréquent (ou faible)	Evènement moyen	Evènement rare (ou fort)	Evènement très rare (ou très fort)
Niveau statique dans le Bassin	3,20 m NGF	3,55 m NGF	3,80 m NGF	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Niveau statique dans le casier	-	3,96 m NGF (point bas de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang)	3,96 m NGF (point bas de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang)	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Vraisemblance de la sollicitation	Le niveau statique est très largement inférieur à la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang. Les barbacanes sont fonctionnelles et le casier est vide. R > 50 cm Très faible	Le niveau statique est inférieur à la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang. Les barbacanes sont obturées et le casier est rempli. 10 cm < R ≤ 50 cm Faible	Le niveau statique est proche de la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang. Les barbacanes sont obturées et le casier est rempli. 10 cm < R ≤ 50 cm Moyenne (*)	Le niveau statique est égal à la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang. Les barbacanes sont obturées et le casier est rempli. 10 cm < R ≤ 50 cm Forte (*)	Le niveau statique est supérieur à la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1 ^{er} rang et proche de celle de l'ouvrage de protection de 2 nd rang. La surverse est avérée. -15 cm < R ≤ 0 cm Très forte (*)
Vraisemblance de la résistance	L'ouvrage de protection de 2 nd rang n'est pas sollicité. Très forte	Il n'y a pas de surverse mais on ne peut exclure quelques franchissements par-dessus l'ouvrage de protection de 2 nd rang. La fondation est sableuse, peu résistante à la surverse. Forte	Il n'y a pas de surverse mais il est possible d'avoir des franchissements par-dessus l'ouvrage de protection de 2 nd rang. La fondation est sableuse, peu résistante à la surverse. Moyenne	Du fait de l'agitation dans le bassin, des franchissements et de la surverse sur l'ouvrage de protection de 2 nd rang sont très probables. La fondation est sableuse, peu résistante à la surverse. Moyenne	La lame de surverse est importante et des franchissements se produisent par-dessus l'ouvrage de protection de 2 nd rang dont la fondation est sableuse, peu résistante à la surverse. On ne peut exclure une rupture par affouillement. Faible
Risque de défaillance	Très faible P < 1 %	Faible 1% < P < 5%	Moyen 5% < P < 50%	Moyen 5% < P < 50%	Fort 50% < P < 95%

Tableau 14 : qualification du risque de défaillance par surverse sur le muret de 2nd rang

(*) Qualification dégradée d'une ou deux classes du fait des conditions d'agitation susceptibles de régner dans le casier.

Scenario 2 : Défaillance par instabilité du muret de 2nd rang

On considère ici l'instabilité potentielle du muret de 2nd rang qui survient lorsque le niveau d'eau stocké dans le casier est suffisamment haut.

La stabilité du muret est fonction de sa géométrie (forme du muret, largeur de la semelle, profondeur de la semelle dans le sol), ainsi que des caractéristiques mécaniques des matériaux de la fondation et des sollicitations hydrauliques. Les résultats sont décrits dans le rapport en ANNEXE 6.

Les calculs de stabilité prennent déjà en compte le croisement entre la sollicitation (niveau d'eau statique) et les capacités de résistance du tronçon (géométrie et caractéristiques de la fondation). Il est donc possible ici d'adopter directement une grille permettant de relier les résultats du calcul à la probabilité conditionnelle de défaillance.

A noter qu'une défaillance sur un unique cas de charge ELU ne signifie pas une rupture certaine de l'ouvrage. En effet, une vérification de l'ensemble des cas de charge de l'Eurocode peut être interprété comme un risque de défaillance inférieur à 10^{-4} .

D'autre part, outre les coefficients de sécurité appliqués lors du calcul (sur les actions et sur les résultats à obtenir), l'évaluation des matériaux est conservatrice et le calcul est réalisé sur une section du muret conservatrice (plus grande hauteur). Dans ce contexte, un arbitrage à dire d'expert a été réalisé. Ainsi pour un niveau hydraulique donné :

- Si un état limite Eurocode n'est pas respecté, la probabilité de défaillance est « moyenne » ;
- Si plusieurs états limites Eurocode ne sont pas respectés (mais pas l'intégralité), la probabilité de défaillance est « forte » ;
- Si l'ensemble des états limites Eurocode ne sont pas respectés, la probabilité de défaillance est « très forte ».

	Evènement très fréquent (ou très faible)	Evènement fréquent (ou faible)	Evènement moyen	Evènement rare (ou fort)	Evènement très rare (ou très fort)
Niveau statique dans le Bassin	3,20 m NGF	3,55 m NGF	3,80 m NGF	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Niveau statique dans le casier	-	3,96 m NGF (point bas du muret de 1 ^{er} rang)	3,96 m NGF (point bas du muret de 1 ^{er} rang)	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Résultat du calcul de stabilité	Muret non sollicité. Stable à l'ELU ¹¹ et à l'ELS ¹² pour tous les profils	P3, P13, P17 : Stables P5 : Instable à l'ELU glissement P8 : Instable à l'ELS soulèvement	P3, P13, P17 : Stables P5 : Instable à l'ELU glissement P8 : Instable à l'ELS soulèvement	P3 : limite de stabilité à l'ELS soulèvement et à l'ELU glissement P5, P8 : Instables à l'ELS soulèvement et à l'ELU glissement P13, P17 : limite de stabilité à l'ELU glissement	Instabilité générale de tous les profils
Risque de défaillance	Très faible P < 1 %	Moyen 5% < P < 50%	Moyen 5% < P < 50%	Fort 50% < P < 95%	Très fort P > 95%

Tableau 15 : qualification du risque de défaillance par instabilité du muret de 2nd rang

Remarque n° 1 :

Le risque de dégradation des ouvrages de protection par une chute d'arbre est improbable pour les raisons suivantes :

- Les essences présentes sont résistantes au vent (Tamaris/arbuste). Il n'y a pas de retour d'expérience du SIBA de rupture d'arbre sur le linéaire ;
- L'entretien de la promenade traite de la gestion de la végétation et notamment de la détection d'arbres morts ou malades et le cas échéant les retirer convenablement (cf. consignes écrites).

Remarque n° 2 :

Les défauts sur les joints waterstop de l'ouvrage de protection de 2nd rang sont ponctuels et mineurs et ne remettent pas en cause la stabilité de l'ouvrage. Ils peuvent entraîner quelques fuites mineures.

¹¹ ELU : état limite ultime

¹² ELS : état limite de service

Scenario 3 : Défaillance par érosion interne en fondation du muret de 2nd rang

Qualification de la vraisemblance de la sollicitation

La contrainte du gradient hydraulique (G_h) est évaluée de la manière suivante, pour des matériaux sableux :

- Gradient hydraulique très fort : $G_h > 0,4$
- Gradient hydraulique fort : $0,15 < G_h \leq 0,4$
- Gradient hydraulique moyen : $0,05 < G_h \leq 0,15$
- Gradient hydraulique faible : $0,01 < G_h \leq 0,05$
- Gradient hydraulique très faible : $0,01 \geq G_h$

Il convient toutefois de tenir compte du caractère bref de la sollicitation puisque l'ouvrage de protection de 2nd rang est seulement sollicité autour d'un pic de marée, soit sur une durée relativement faible (quelques heures). Il est rappelé que l'érosion interne est un phénomène progressif avec plusieurs étapes successives : initiation, progression, entretien, etc. Afin de mener à la rupture, il est nécessaire de disposer d'une sollicitation d'une certaine durée.

En ce sens, l'évaluation proposée ci-dessous sur la contrainte du gradient hydraulique est transposée d'un rang. Le classement suivant est alors retenu :

- Gradient hydraulique fort : $G_h > 0,4$
- Gradient hydraulique moyen : $0,15 < G_h < 0,4$
- Gradient hydraulique faible : $0,05 < G_h < 0,15$
- Gradient hydraulique très faible : $0,05 > G_h$

Qualification de la vraisemblance de la résistance

Les sols constitutifs de la fondation de l'ouvrage de protection de 2nd rang sont des sables dont la granulométrie n'est pas connue. Ces sables sont généralement fins et très sensibles à l'érosion régressive. La résistance à l'érosion interne est donc jugée faible.

Toutefois, cette appréciation est pondérée par le retour d'expérience du SIBA et les observations visuelles de terrain : l'ouvrage de protection de 2nd rang est sollicité hydrauliquement quasiment chaque année et il n'y a jusqu'alors jamais eu de trace de phénomène d'érosion interne de la fondation de cet ouvrage (pendant l'évènement ou après l'évènement). En ce sens, l'appréciation de la résistance de l'ouvrage à l'érosion interne passe de faible à moyenne, pour tous les tronçons.

Remarque sur la végétation : les sols étant sableux, il n'y a pas de risque de création de conduit par les racines des arbres puisque le sol s'effondrera si un vide est créé. Le phénomène d'érosion de conduit est improbable.

Evaluation du risque de défaillance

	Evènement très fréquent (ou très faible)	Evènement fréquent (ou faible)	Evènement moyen	Evènement rare (ou fort)	Evènement très rare (ou très fort)
Niveau statique dans le Bassin	3,20 m NGF	3,55 m NGF	3,80 m NGF	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Niveau statique dans le casier	-	3,96 m NGF (point bas du muret de 1 ^{er} rang)	3,96 m NGF (point bas du muret de 1 ^{er} rang)	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Vraisemblance de la sollicitation	$G_h = 0$ pour toutes les sections Très faible	$0,15 < G_h \leq 0,40$ pour 60% des sections Moyenne	$0,15 < G_h \leq 0,40$ pour 60% des sections Moyenne	$G_h > 0,40$ ponctuellement (sections 5, 17 et 19) Forte	$G_h > 0,40$ ponctuellement (sections 5, 13, 16, 17 et 19) Forte
Vraisemblance de la résistance	Sables de fondation sensibles à l'érosion interne mais absence de REX démontrant l'occurrence passée de ce type de phénomène. Moyenne				
Risque de défaillance	Faible $1\% < P < 5\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$

Tableau 16 : qualification du risque de défaillance par érosion interne en fondation du muret de 2nd rang

Scenario 4 : Défaillance du fait d'une rupture de l'ouvrage de 1^{er} rang entraînant des venues d'eau dangereuses en zone protégée

Ce scénario nécessite une approche particulière puisque, quel que soit le mode de défaillance de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang considéré (érosion externe, affouillement en pied côté bassin ou instabilité du parapet), les venues d'eau dangereuses en zone protégée sont conditionnées à une rupture en chaîne de l'ouvrage : rupture de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang puis, franchissements ou surverse par-dessus l'ouvrage de protection de 2nd rang et/ou instabilité du même ouvrage.

Il est ici proposé de déterminer :

- La vraisemblance d'une rupture de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang ;
- La vraisemblance des sollicitations engendrées sur l'ouvrage de protection de 2nd rang, sous condition de la rupture préalable de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang ;
- La vraisemblance de la capacité de l'ouvrage de protection de 2nd rang à résister à ces sollicitations.

Qualification de la vraisemblance d'une rupture de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

Plusieurs événements initiateurs peuvent conduire à la rupture de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang. On distingue :

- L'érosion externe du parement de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang côté mer sous l'effet des vagues, des courants ou d'un choc (bateau) :

- Erosion sous l'effet de la houle ou des courants : au regard des conditions de houle plutôt faibles dans le Bassin ($H_s = 0,5$ m), de l'absence de courants longitudinaux devant les ouvrages (Andernos-les-Bains se situe en fond de Bassin et n'est pas impacté par les courants du flot et du jusant principalement observés au niveau de la passe d'entrée), et du bon état relatif des perrés (absence de dégradations majeures), la probabilité d'une rupture du perré de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang est jugée très faible pour les événements très fréquents à fréquents et faible pour les événements moyens, rares et très rares. Le processus d'érosion du perré est par ailleurs un phénomène à cinétique très lente qui nécessite des tempêtes successives pour conduire à la rupture complète du perré.
- Erosion sous l'effet d'un choc : les conditions de vents sur le Bassin en période de forte tempête peuvent amener une embarcation à venir taper contre le perré de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang à la suite d'une rupture de la ligne ou du point de mouillage. Le choc est susceptible d'entraîner des dégradations importantes sur le perré, toutefois, la probabilité d'une rupture complète est jugée très faible pour les événements très fréquents et faibles pour les événements fréquents à très rares (la distinction s'explique principalement par la possibilité d'impacter directement le parapet de l'ouvrage de protection 1^{er} rang lorsque le niveau statique est supérieur au pied du muret côté Bassin).

Dans les deux cas, des travaux de réparation urgente visant à renforcer l'ouvrage de protection de 1^{er} rang peuvent être entrepris par le Maître d'ouvrage en cas de dégradations importantes repérées lors des visites post-tempêtes. Les niveaux minimaux de plage devant les tronçons sont donnés dans le tableau ci-dessous :

	Niveau minimum de plage	Illustration
Tronçon 1	≈ 1,02 m NGF	<p>Zc = 3,97 m NGF</p> <p>Niveau minimum de plage ≈ 1,02 m NGF</p>
Tronçon 2	≈ 1,29 m NGF	<p>Zc = 3,99 m NGF</p> <p>(coupe transversale type) Echelle 1/50</p> <p>Niveau minimum de plage ≈ 1,29 m NGF</p> <p>Contrefort en béton E.30 tous les 5-00</p> <p>Pieux en béton de 3.00 de longueur section 0.30x0.30</p>

<p>Tronçon 3</p>	<p>≈ 1,01 m NGF</p>	
<p>Tronçon 4</p>	<p>≈ 1,29 m NGF</p>	

Tableau 17 : Niveaux minimaux de plage pour chaque tronçon

- La rupture du perré de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang par sapement de la plage en pied d'ouvrage (abaissement du niveau de sable du fait d'une tempête) : d'après le guide enrochements [10], le potentiel d'affouillement est de manière générale plus important lorsque la hauteur d'eau au-dessus du pied est inférieure à deux fois la hauteur maximale de la houle non déferlée. Pour les événements considérés (niveau statique > 3,20 m NGF) et les niveaux de plage actuels constatés en pied d'ouvrage (compris entre 2,00 et 2,25 m NGF en moyenne), la hauteur d'eau (> 1 m) est au moins de l'ordre de 2 x la hauteur de houle dans le Bassin (= 0,5 m).

Aussi, selon le gestionnaire, il n'est pas constaté d'évolution conséquente du pied de perré au cours des saisons. Des affouillements légers ponctuels peuvent être constatés sur le SE post tempête (avec engraissement sur d'autres secteurs du SE) mais l'état d'équilibre se met en place rapidement ensuite (marées suivantes). Des opérations de ré engraissement de la plage sont également envisageables suivant l'état constaté lors des inspections régulières.

Considérant de plus que les ouvrages présentent un ancrage suffisamment profond (cf. Figure 206 ci-après) par rapport au potentiel d'affouillement, (généralement évalué de l'ordre de grandeur de la hauteur de houle réfléchi sur l'ouvrage), le risque de rupture complète du perré de l'ouvrage de 1^{er} rang lié à un abaissement du niveau de plage est jugé très faible, quel que soit l'évènement considéré.

- L'instabilité du parapet de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang : dès les évènements fréquents à moyens, le casier est rempli, la probabilité de rupture du parapet est donc jugée faible (niveaux côté Bassin et côté promenade du même ordre de grandeur). Le risque de rupture intrinsèque est potentiellement plus fort lorsque le niveau dans le Bassin est inférieur et que le parapet est soumis au jet de rive de la houle incidente, ainsi qu'aux franchissements par-dessus la crête. Le retour d'expérience montre cependant que pour ces situations relativement fréquentes, aucune rupture n'a jamais été observée sur les ouvrages. Le risque principal est l'apparition de dégradations mineures (type épaufrures) pouvant être reprises lors de travaux d'entretien courants de l'ouvrage. La probabilité d'instabilité du parapet de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang est donc aussi jugée faible pour les évènements très fréquents à fréquents.

Quel que soit l'évènement initiateur considéré et quel que soit l'évènement de tempête, la probabilité de rupture complète de l'ouvrage de 1^{er} rang est donc estimée faible ($1\% < P < 5\%$).

Remarque sur l'état de l'ouvrage de 1^{er} rang :

- Les épaufrures sur le muret de 1^{er} rang du tronçon 4 ne remettent pas en cause sa stabilité ;
- Les fissurations sur le perré de l'ouvrage de 1^{er} rang sont peu importantes et ne remettent pas en cause la stabilité globale de l'ouvrage.

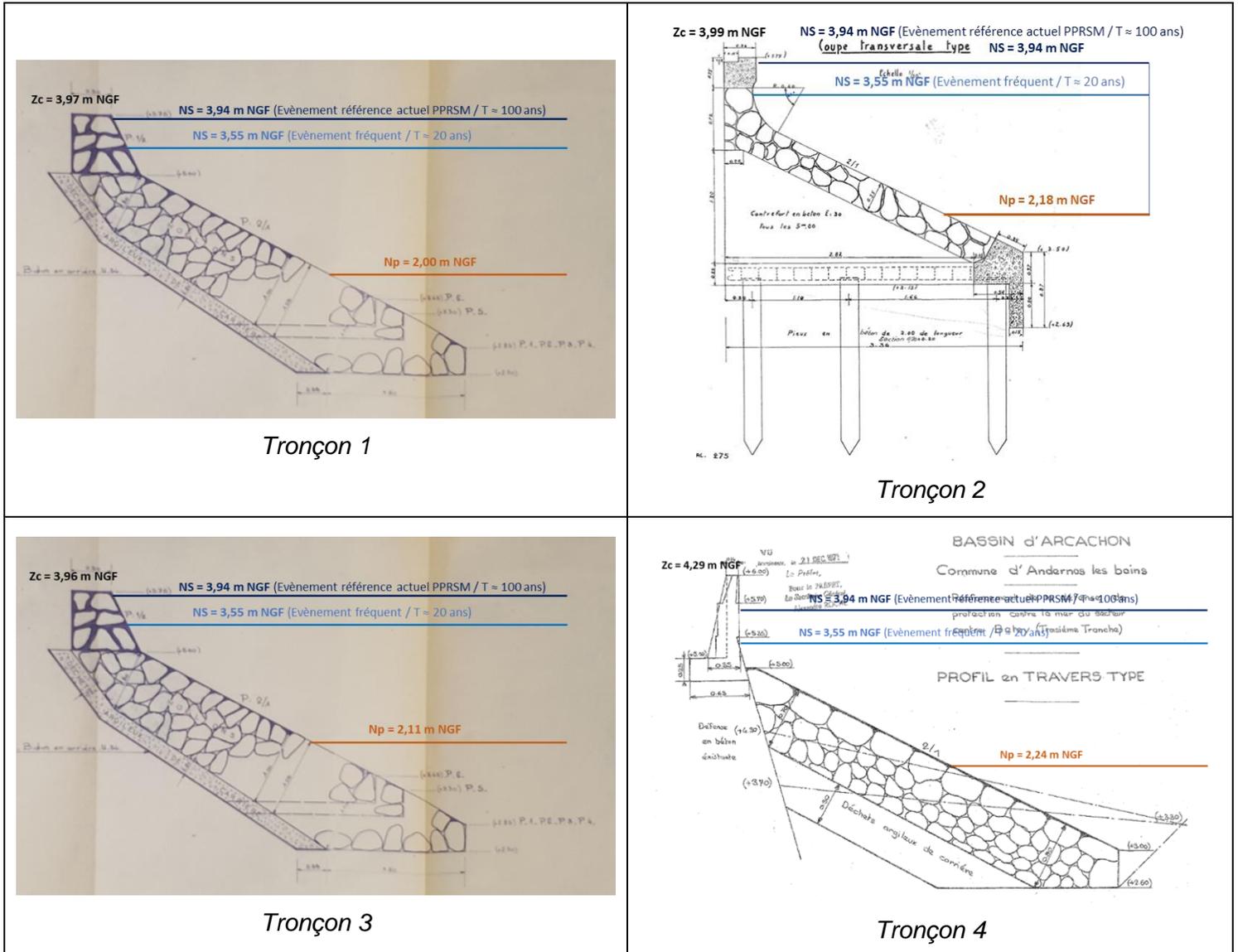


Figure 206 : niveaux de sollicitation sur l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

Qualification de la vraisemblance des sollicitations sur l'ouvrage de protection de 2nd rang

En cas de rupture de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang (apparition d'une brèche dans le parapet), le niveau statique qui s'établit devant l'ouvrage de protection de 2nd rang est au plus égal au niveau statique dans le Bassin.

L'intensité de la sollicitation (« vraisemblance conditionnelle ») sur l'ouvrage de protection de 2nd rang dépend alors :

- des caractéristiques de la promenade (distance entre les deux parapets) qui dissipe une partie de l'énergie de la houle incidente par déferlement,
- de la hauteur d'eau devant le parapet (qui conditionne la poussée hydrostatique sur l'ouvrage),
- et de la revanche entre la crête du muret et le niveau statique (qui conditionne les débits franchissants).

Pour l'estimation de la vraisemblance de la sollicitation, il convient de croiser la probabilité d'occurrence de l'évènement initiateur et l'intensité des sollicitations. Il est proposé de retenir la grille de correspondance suivante :

Evènement initiateur		Borne inf.	Borne sup.		Vraisemblance de la sollicitation			
Faible		1%	5%		Borne inf.	Borne sup.		
Intensité de la sollicitation		Borne inf.	Borne sup.	=>	0.00%	0.05%	< 1%	Très faible
Très faible		0%	1%	=>	0.05%	0.25%	< 1%	Très faible
Faible		1%	5%	=>	0.25%	2.50%	< 5%	Faible
Moyenne		5%	50%	=>	2.50%	4.75%	< 5%	Faible
Forte		50%	95%	=>	4.75%	5.00%	= 5%	Moyenne
Très forte		95%	100%					

Figure 207 : grille de vraisemblance de la sollicitation de l'ouvrage de protection de 2nd rang intégrant la probabilité de défaillance de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang

Qualification de la résistance de l'ouvrage

La qualification de la résistance de l'ouvrage de protection de 2nd rang se ramène alors à une analyse similaire à celles réalisées pour l'étude des 3 modes de rupture décrits dans les scénarios précédents :

- Défaillance par surverse ;
- Défaillance par instabilité ;
- Défaillance par érosion interne.

On retiendra la vraisemblance la plus faible de ces 3 modes de défaillance.

Evaluation du risque de défaillance

	Evènement très fréquent (ou très faible)	Evènement fréquent (ou faible)	Evènement moyen	Evènement rare (ou fort)	Evènement très rare (ou très fort)
Niveau statique dans le Bassin	3,20 m NGF	3,55 m NGF	3,80 m NGF	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Vraisemblance de l'évènement initiateur	Faible				
Niveau statique devant le muret de 2 nd rang	-	3,55 m NGF	3,80 m NGF	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Intensité ou « vraisemblance conditionnelle » de la sollicitation	Hauteur d'eau nulle ou très faible devant le muret de 2 nd rang. Promenade large (> 4,5 m) et débits de franchissement très faibles Très faible	Revanche > 50 cm Promenade large (> 4,5 m), hauteur d'eau faible devant l'ouvrage (< 10 cm) et débits de franchissement faibles Faible	Revanche = 40 cm Promenade large (> 4,5 m), hauteur d'eau moyenne devant l'ouvrage (< 40 cm) et débits de franchissement faibles à modérés Moyenne	Revanche = 20 cm Promenade large (> 4,5 m), hauteur d'eau supérieure à 50 cm devant l'ouvrage et débits de franchissement modérés à forts. Forte	Revanche nulle Forts débits de franchissement Très forte
Vraisemblance de la sollicitation sur le muret de 2 nd rang	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Moyenne
Vraisemblance de la résistance du muret de 2 nd rang	Absence de niveau hydrostatique devant l'ouvrage de protection de 2 nd rang. Franchissements quasi-nuls. Très forte	Parapet stable à l'ELS et l'ELU. Gradient hydraulique supérieur à 0,15 sur un profil. Fondation sableuse peu résistante à la surverse. Moyenne	Parapet stable à l'ELS et l'ELU. Gradient hydraulique supérieur à 0,15 sur 20% des profils. Fondation sableuse peu résistante à la surverse. Moyenne	Instabilité de certains profils. Gradient hydraulique supérieur à 0,4 sur 15% des profils et supérieurs à 0,15 sur 70% des profils. Fondation sableuse peu résistante à la surverse. Faible	Instabilité générale de tous les profils. Gradient hydraulique supérieur à 0,4 sur 30% des profils et 0,15 sur 85% des profils. Fondation sableuse peu résistante à la surverse. Très faible
Risque de défaillance	Très faible P < 1 %	Faible 1% < P < 5%	Faible 1% < P < 5%	Moyen 5% < P < 50%	Fort 5% < P < 50%

Tableau 18 : qualification du risque de défaillance par instabilité du muret de 1^{er} rang

7.6 DEFINITION DU NIVEAU DE PROTECTION

L'arrêté du 7 avril 2017 modifié par l'arrêté de septembre 2019 « *précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions* », fixe pour les ouvrages constituant un système d'endiguement un objectif de 5% au plus en matière de risque résiduel de rupture sous le niveau de protection.

L'annexe 3 de l'arrêté, relative à la démarche multi-scénarios adoptée ici précise qu'on détermine le niveau de protection comme étant « *la hauteur d'eau (niveau marin) pour laquelle tous les scénarios basés sur cette hauteur présentent une probabilité de défaillance suffisamment faible* », c'est à dire « *classée comme présentant un risque limité dans la démarche multi-scénario* ».

Les résultats de l'analyse des risques de défaillance sont rappelés ci-après pour les 5 évènements considérés :

	Evènement très fréquent (ou très faible)	Evènement fréquent (ou faible)	Evènement moyen	Evènement rare (ou fort)	Evènement très rare (ou très fort)
Période de retour approximative	~ 1 an	~ 20 ans	~ 50 ans	~ 100 ans	~ 1000 ans
Houle sur le bassin	$H_s = 0,5 \text{ m}$ $T_p = 3 \text{ s}$	$H_s = 0,5 \text{ m}$ $T_p = 3 \text{ s}$	$H_s = 0,5 \text{ m}$ $T_p = 3 \text{ s}$	$H_s = 0,5 \text{ m}$ $T_p = 3 \text{ s}$	$H_s = 0,5 \text{ m}$ $T_p = 3 \text{ s}$
Niveau statique dans le Bassin	3,20 m NGF	3,55 m NGF	3,80 m NGF	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Niveau statique dans le casier	-	3,96 m NGF (point bas du muret de 1 ^{er} rang)	3,96 m NGF (point bas du muret de 1 ^{er} rang)	4,00 m NGF	4,20 m NGF
Scénario 1 : Défaillance par surverse du muret de 2 nd rang	Très faible $P < 1 \%$	Faible $1\% < P < 5\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Fort $50\% < P < 95\%$
Scénario 2 : Défaillance par instabilité du muret de 2 nd rang	Très faible $P < 1 \%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Fort $50\% < P < 95\%$	Très fort $P > 95\%$
Scénario 3 : Défaillance par érosion interne en fondation du muret de 2 nd rang	Faible $1\% < P < 5\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$
Scénario 4 : Défaillance du fait d'une rupture de l'ouvrage de 1 ^{er} rang	Très faible $P < 1 \%$	Faible $1\% < P < 5\%$	Faible $1\% < P < 5\%$	Moyen $5\% < P < 50\%$	Fort $5\% < P < 50\%$

Tableau 19 : synthèse de la démarche multi-scénario et évaluation du niveau de protection

En l'état actuel des connaissances, le système d'endiguement du quartier du Mauret présente les garanties structurelles suffisantes permettant d'assurer **un niveau de protection au plus égal à 3,20 m NGF combiné à une hauteur de houle de 50 cm sur le Bassin, soit un évènement de fréquence annuelle.**

Ce niveau de protection est compatible avec les niveaux constatés aux extrémités sud (camping Fontaine Vielle) et nord (dune du Betey) du système d'endiguement (voir 5.1.6). Ces extrémités sont à surveiller dans le cadre des inspections régulières par le gestionnaire pour identifier toute évolution potentielle. Aussi, l'étude en cours par le BRGM sur le suivi géomorphologique du littoral du Bassin d'Arcachon [16] sera à prendre en compte une fois les résultats disponibles. Les profils réalisés permettront de mieux suivre l'évolution du niveau de plage.

8 ETUDES DE RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE

Le présent chapitre a pour objectif d'estimer et d'évaluer les risques de venues d'eau dangereuses dans et en dehors de la zone protégée. Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'étude de dangers, les trois scénarios suivants sont étudiés :

Le scénario 1 : est celui du fonctionnement nominal du système d'endiguement quand le niveau des écoulements, sous l'effet de la crue ou d'une submersion marine, correspond au niveau de protection. Conformément à l'article 11 du présent arrêté, on admettra que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de 5 % au plus ou, s'il n'est pas possible de préciser quantitativement le risque résiduel de rupture, que ce risque est limité au sens de l'annexe 3. En outre, des venues d'eau plus ou moins dangereuses sont possibles en dehors de la zone protégée. Si la zone protégée comprend des parties délimitées avec des niveaux de protection différents, un scénario sera étudié pour chaque niveau de protection.

Le scénario 2 est représentatif d'une défaillance fonctionnelle du système d'endiguement au moment où se produit un aléa dont l'intensité équivaut à l'intensité de l'aléa correspondant au niveau de protection. La défaillance fonctionnelle qui est réputée liée à la défaillance d'un dispositif de régulation des écoulements hydrauliques (batardeau qui n'est pas mis en place ou qui se rompt, vanne qui reste en position ouverte, station de pompage en panne, etc.) ne s'accompagne pas d'une défaillance structurelle des ouvrages. Il en résulte néanmoins des venues d'eau plus ou moins dangereuses dans la zone protégée ou une aggravation des venues d'eau en dehors de cette dernière.

Le scénario 3 est représentatif d'une défaillance structurelle du système d'endiguement. Pour que ce scénario reflète une situation de terrain réaliste et porteuse d'enseignements pour les services en charge des secours aux personnes, le niveau d'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture d'au moins un ouvrage supérieur à 50 %.

8.1 MODELE HYDRAULIQUE

8.1.1 HYPOTHESES GENERALES DE MODELISATION

La modélisation employée dans le cadre des scénarios 2 et 3 est une modélisation hydraulique à surface libre bi-dimensionnelle. Le logiciel employé pour la réalisation des calculs numériques est Infoworks ICM. La modélisation effectuée est une modélisation à surface libre destinée à représenter l'aléa dû à la submersion marine. Le réseau d'eau pluvial n'est pas intégré dans cette modélisation.

8.1.2 DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES POUR LA CONSTRUCTION DU MNT

Le modèle numérique de terrain (MNT) utilisé pour la modélisation hydraulique est basé sur les relevés LIDAR (2016) fournis par le SIBA. Les levés topographiques, issus des plans de recollement du muret de second rang (2011), sont utilisés pour l'intégration des ouvrages du système d'endiguement au modèle.

8.1.3 EMPRISE DE LA MODELISATION

Une analyse de la topographie disponible a permis de définir l'emprise du modèle de telle sorte que la surface modélisée couvre l'ensemble de la zone d'étude potentiellement inondable.

Cette emprise avec les conditions aux limites est présentée sur la figure ci-dessous.



Figure 208 : emprise de la modélisation avec la condition limite aval

8.1.4 OUVRAGES

Les ouvrages du système d'endiguement (muret de 1^{er} et 2nd rang, batardeaux et portes) sont modélisés sur ICM Infoworks avec des lignes de type « Structure linéaire de base 2D ». Les données d'entrées (cote d'arase, cote de seuil, longueur) sont directement issues des données topographiques disponibles (plan de recollement du muret de 2nd rang, 2011).

8.1.5 CONDITION LIMITE AVAL

La condition limite côté Bassin est une condition de marée. Un niveau d'eau variable sur la durée de la modélisation est imposé sur toute la frontière du modèle située sous le niveau de la condition de marée. L'emprise de cette frontière est déterminée sur la base de l'analyse du MNT.

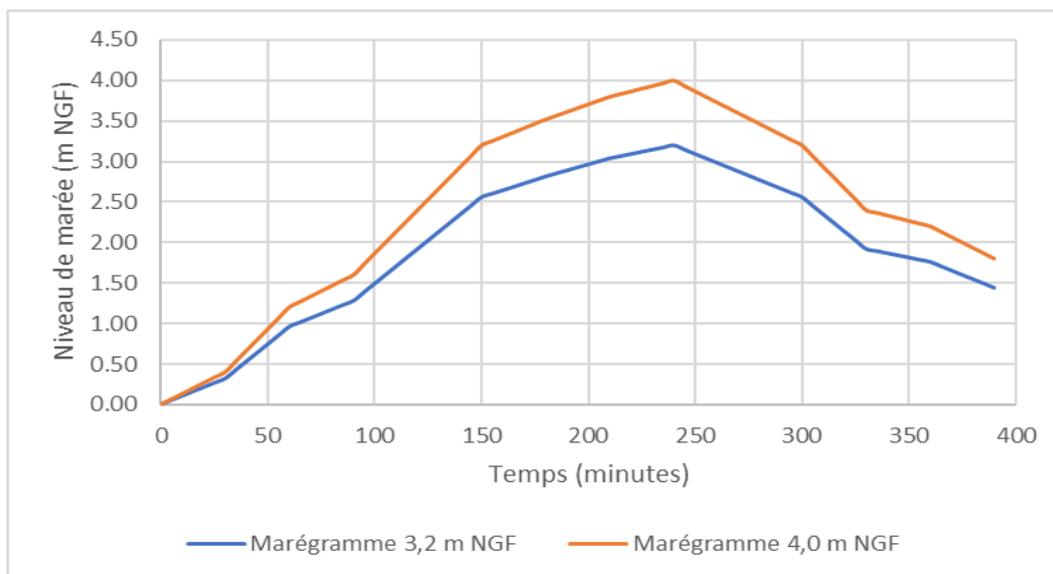


Figure 209 : marégramme pour le niveau de protection (3,20 m NGF) et pour le niveau de danger (4,00 m NGF)

8.1.6 DEBITS DE FRANCHISSEMENT SUR LES OUVRAGES DE 1^{ER} RANG

Les débits de franchissement calculés ($m^3/s/m$) dans le chapitre de diagnostic approfondi sont utilisés pour la simulation hydraulique, pour les hypothèses et les résultats se reporter à l'ANNEXE 6. Les débits sont modélisés sur ICM Infoworks avec lignes de type « Source ligne 2D » au droit des ouvrages de 1^{er} rang.

8.1.7 RUGOSITE

L'état de la surface d'écoulement est représenté par l'application de la rugosité. Les zones comme la végétation dense sont représentées par l'application d'une rugosité plus importante, à l'inverse une faible rugosité est appliquée sur des sols nus ou les voiries. Cette représentation permet de mieux décrire la dynamique des écoulements avec des :

- Vitesses fortes et lames d'eau plus faibles sur des sols nus ou les voiries ;
- Vitesses plus faibles et lames d'eau plus importantes au niveau des zones de végétation dense.

L'analyse de l'occupation des sols a été réalisée sur la base des dernières données satellites disponibles.

Le jeu de coefficient de Strickler retenue pour le modèle est donné dans le tableau ci-dessous.

Occupation du sol	Coefficient de Strickler K ($m^{1/3}/s$)
Zone urbanisée	6
Végétation importante (forêt)	10
Zone de type plage, dune	45

Tableau 20 : jeu de coefficient de Strickler retenue pour le modèle

8.1.8 MAILLAGE

L'emprise modélisée est recouverte d'un maillage de calcul polygonale de densité variable, chaque maille (ou « élément 2D ») étant composé de « sous-élément » triangulaire. Plus ce maillage est fin et plus le temps de calcul nécessaire est important. Un compromis doit donc être trouvé entre représentation fine et temps de calcul. Deux zones de maillage ont été utilisées, elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Zone de maillage	Aire des éléments 2D de maillage
Zone à fort enjeux : au droit des ouvrages de protection du système d'endiguement et en amont immédiat	0,5 à 3,0 m ²
Reste du modèle (plaine d'inondation)	25 à 50 m ²

Tableau 21 : caractéristiques des mailles du modèle

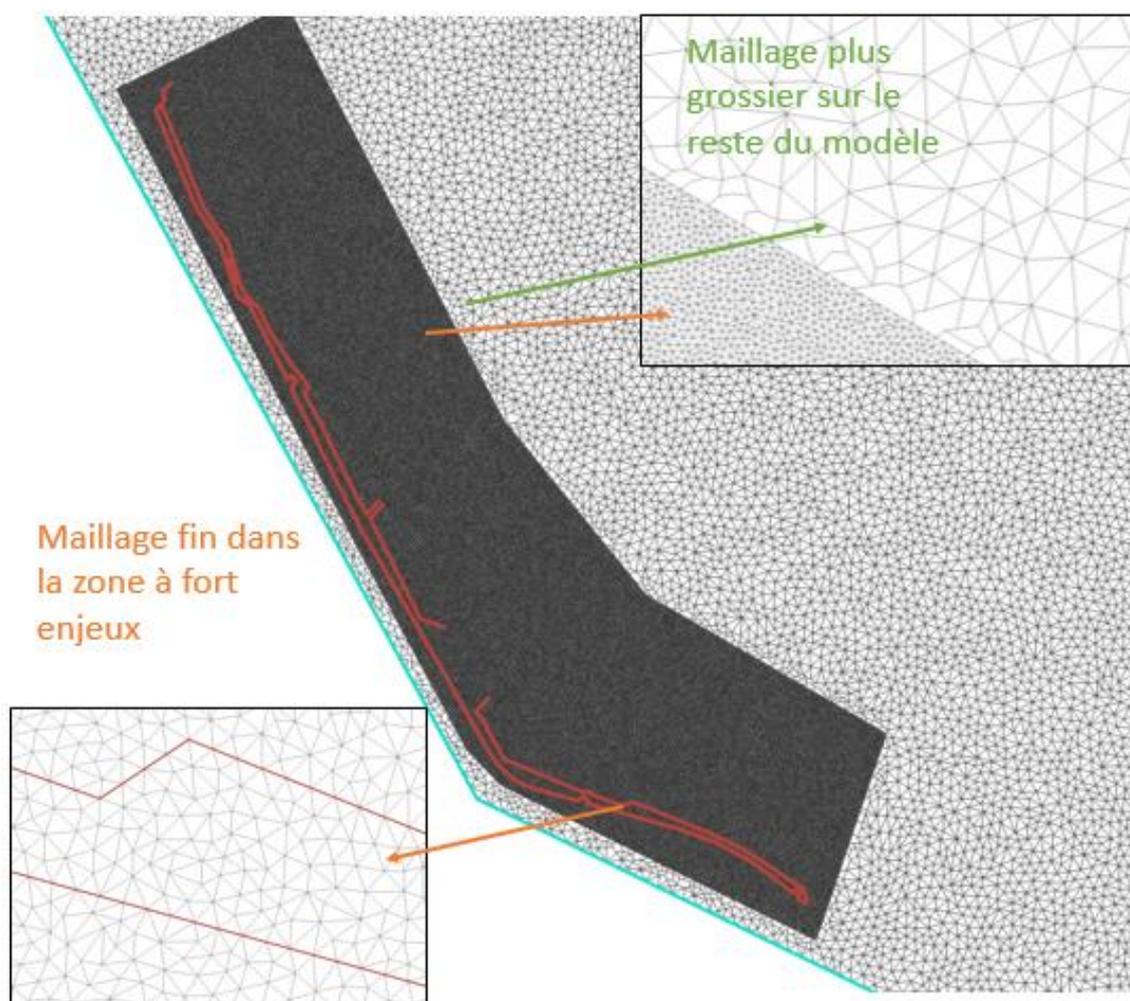


Figure 210 : extrait du maillage de la modélisation 2D

8.2 DEFINITION DE LA DANGEROUSITE DES VENUES D'EAU

Les venues d'eau sont réputées définies (arrêté d'avril 2017 modifié en septembre 2019) comme étant dangereuses telles que la hauteur d'eau atteint au moins 1 mètre ou le courant au moins 0,5 mètre par seconde.

Les critères d'acceptabilité des débits de franchissements pour les piétons sont définis d'après le CETMEF (d'après le Guide Enrochement [10]) de la manière suivante :

- $Q > 0,1$ L/s/ml : « Dangereux pour des piétons conscients des risques, pas facilement contrariés ou effrayés, capables de tolérer d'être mouillés »
- $Q > 10$ L/s/ml : « Dangereux pour le personnel formé, bien chaussé et protégé, qui s'attend à être mouillé »

La cartographie précise les parties de territoires susceptibles d'être affectées par des venues d'eau qualifiées de : peu dangereuses, dangereuses et particulièrement dangereuses. Le tableau ci-dessous qualifie et quantifie la dangerosité des venues d'eau.

Qualification verbale des venues d'eau	Critères
Peu dangereuses	<ul style="list-style-type: none"> • Hauteur d'eau < 1 m <u>et</u> vitesse $< 0,5$ m/s • Débit franchissant $\leq 0,1$ m/s
Dangereuses	<ul style="list-style-type: none"> • Hauteur d'eau ≥ 1 m <u>ou</u> vitesse $\geq 0,5$ m/s • Débit franchissant > 10 l/s/ml
Particulièrement dangereuses	<ul style="list-style-type: none"> • A minima les critères précédents <i>et/ou</i> • Existence d'un point bas, d'un « effet cuvette » ou d'une zone de dissipation d'énergie importante ;

Tableau 22 : qualification et quantification de la dangerosité des venues d'eau

8.3 SCENARIO 0 : VENUES D'EAU SANS OUVRAGES DE PROTECTION ET DEFINITION DE LA ZONE PROTEGEE

L'objet de ce présent paragraphe est d'étudier les venues d'eau en l'absence du système d'endiguement. Cette étude permet de définir la potentielle zone protégée.

8.3.1 HYPOTHESES GENERALES

Le modèle hydraulique sous Infoworks est adapté pour ce scénario de la manière suivante :

- Condition limite côté Bassin d'Arcachon égal au marégramme associé au niveau de protection (3,2 m NGF) ;
- Absence totale du système d'endiguement (ouvrages de 1^{er} et 2nd rang, batardeaux...) ;
- Débits de franchissement pour le niveau de protection au niveau du terrain naturel ;

La définition de la zone protégée est réalisée sur l'analyse conjointe :

- Des résultats de la simulation hydraulique afin d'identifier l'emprise de la zone inondée en l'absence du système d'endiguement ;
- D'une analyse experte du LIDAR (terrain naturel < Niveau statique pour le niveau de protection (3,2 m NGF) + demi-houle (0,25 m) ;

Cette seconde approche génère l'emprise de la zone protégée la plus importante.

8.3.2 RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE



Figure 211 : carte n°1 – définition de la zone protégée et des venues d'eau en l'absence de système d'endiguement pour le niveau de protection

Remarque : Les ouvrages de protection (1^{er} et 2nd rang) et les casiers ainsi formés ne sont pas inclus dans la zone protégée.

8.4 SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le scénario 1 est celui du fonctionnement nominal du système d'endiguement quand le niveau de l'eau, sous l'effet de la crue ou d'une submersion marine, correspond au plus au niveau de protection. On admettra que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de 5 % au plus. En outre, des venues d'eau plus ou moins dangereuses sont possibles en dehors de la zone protégée.

8.4.1 HYPOTHESES GENERALES

En l'état actuel des connaissances, le système d'endiguement du quartier du Mauret présente les garanties structurelles suffisantes permettant d'assurer **un niveau de protection au plus égal à 3,20 m NGF combiné à une hauteur de houle de 50 cm sur le Bassin**. Le scénario 1 considère une situation de fonctionnement nominal du système d'endiguement (aléa égal au niveau de protection).

Le modèle hydraulique sous Infoworks est adapté, pour le scénario 1, de la manière suivante :

- Condition limite côté Bassin d'Arcachon égal au marégramme associé au niveau de protection (3,20 m NGF) ;
- Tous les batardeaux sont fermés ;
- Débits de franchissement (débit linéique) pour le niveau de protection sur les ouvrages de 1^{er} rang. Les débits de franchissements ont été calculés dans le cadre du chapitre de diagnostic approfondi (voir chapitre 7.5.3.1) ;
- Pas de ressuyage : les barbacanes ne fonctionnant que pour la marée descendante, une accumulation d'eau dans les casiers est possible en fonctionnement nominal pour le pic de marée).

8.4.2 RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE



Figure 212 : carte n°2 – scénario 1 fonctionnement nominal du système d'endiguement.

Pour un fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection, la zone protégée n'est pas assujettie à de quelconques venues d'eau. Les casiers nord et sud subissent des venues d'eau par franchissement sur l'ouvrage de premier rang. Les volumes franchissant sont donnés ci-dessous :

	Casier nord	Casier sud	Casier nord + sud
Volume (m ³)	175	160	335

Tableau 23 : synthèse des volumes dans les casiers pour le fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection.

Les hauteurs d'eau dans les casiers sont faibles (30 cm au maximum). A noter, que les franchissements sur le tronçon T4 sont très faibles (4,7 m³ sur le tronçon).

Comme évoqué au chapitre 5.3, il n'existe pas de cartographie d'ensemble autour de la zone protégée pour un niveau correspondant au niveau de protection (3,20 m NGF). On rappelle à titre informatif ci-dessous la cartographie du TRI liée à l'évènement fréquent (Xynthia) :

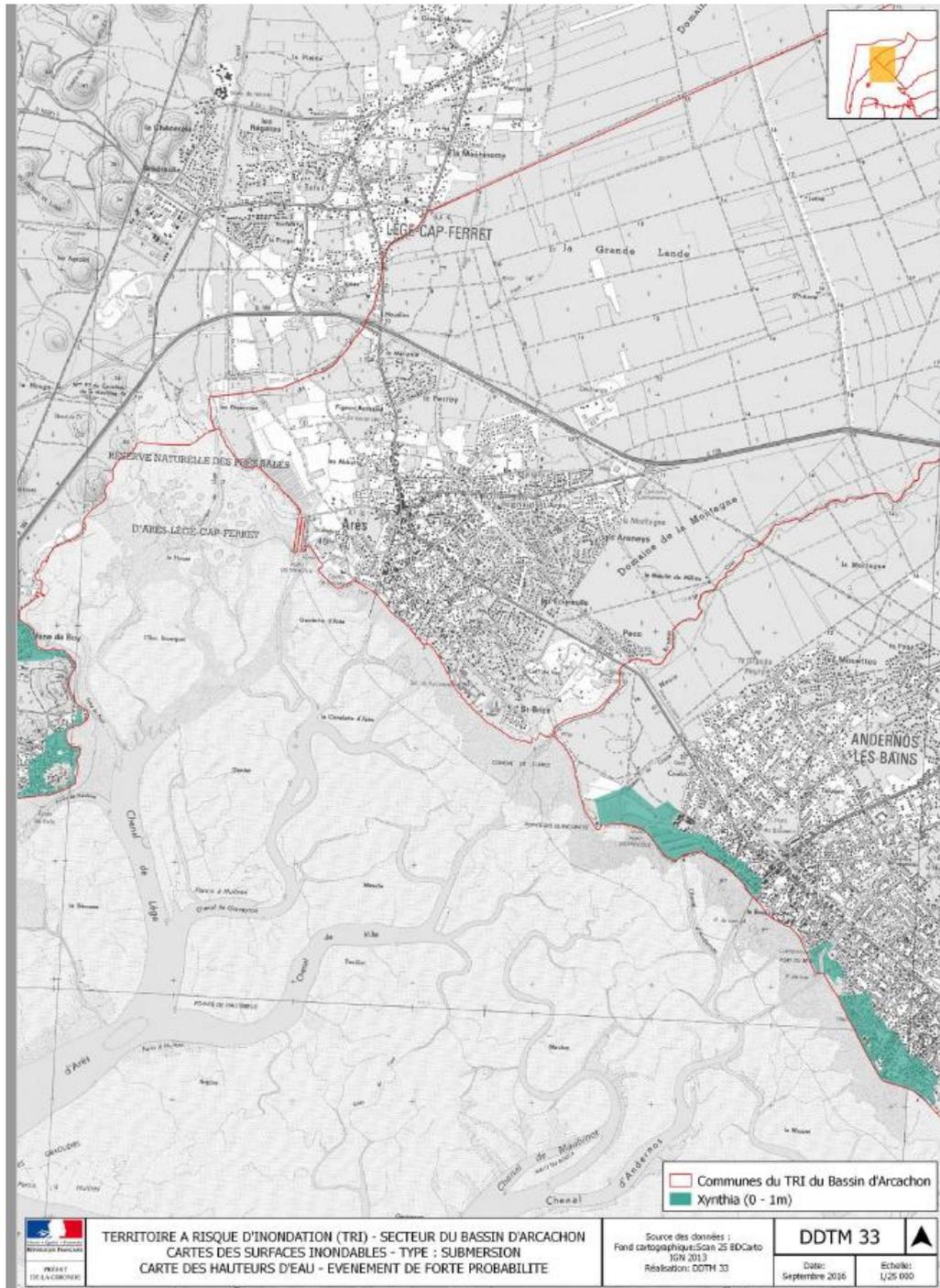


Figure 213 : cartographie issue du TRI à proximité du système d'endiguement (source : DDTM 33)

8.5 SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le scénario 2 est représentatif d'une défaillance fonctionnelle du système d'endiguement au moment où se produit un aléa dont l'intensité équivaut à l'intensité de l'aléa correspondant au niveau de protection. La défaillance fonctionnelle qui est réputée liée à la défaillance d'un dispositif de régulation des écoulements hydrauliques (batardeau qui n'est pas mis en place ou qui se rompt, vanne qui reste en position ouverte, station de pompage en panne, etc.) ne s'accompagne pas d'une défaillance structurelle des ouvrages. Il en résulte néanmoins des venues d'eau plus ou moins dangereuses dans la zone protégée ou une aggravation des venues d'eau en dehors de cette dernière.

8.5.1 HYPOTHESES GENERALES

En l'état actuel des connaissances, le niveau de protection du système d'endiguement du quartier du Mauret est **au plus égal à 3,20 m NGF combiné à une hauteur de houle de 50 cm sur le Bassin**. Le scénario 2 considère une situation dans laquelle le système d'endiguement subit un aléa égal au niveau de protection, et une absence totale de tous les batardeaux (défaut de mise en place des batardeaux, par exemple dans le cas d'une tempête précoce).

Le modèle hydraulique sous Infoworks est adapté, pour le scénario 2, de la manière suivante :

- Condition limite côté Bassin d'Arcachon égal au marégramme associé au niveau de protection (3,20 m NGF) ;
- Absence totale de tous les batardeaux (1^{er} et 2nd rang) ;
- Débits de franchissement (débit linéique) pour le niveau de protection sur les ouvrages de 1^{er} rang et sans aucun ressuyage. Les débits de franchissements sont recalculés avec les côtes de seuil des batardeaux (selon [9]).

8.5.2 RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE



Figure 214 : carte n°3 - scénario 2 défaillance fonctionnelle du système d'endiguement

Le scénario 2 implique des venues d'eau en zone protégée, de la manière suivante :

- Des venues d'eau peu dangereuses, ponctuellement au droit des ouvertures des batardeaux/portes ;
- Une zone de venues d'eau peu dangereuses à l'extrémité nord du tronçon T4 (point bas et 3 batardeaux proches) néanmoins l'emprise reste faible (volume totale de 120 m³ pour une hauteur maximale de 23 cm).

8.6 SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le scénario 3 est représentatif d'une défaillance structurelle du système d'endiguement. Pour que ce scénario reflète une situation de terrain réaliste et porteuse d'enseignements pour les services en charge des secours aux personnes, le niveau d'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture d'au moins un ouvrage supérieur à 50 %.

8.6.1 NIVEAU DE DANGER

Le niveau de danger est le niveau d'eau à partir duquel la probabilité de rupture d'un ouvrage est très élevée à certaine pour les différents modes de rupture auxquels il est potentiellement exposé. Cette notion n'est plus explicitement définie par la réglementation mais se rapproche du « risque de rupture d'au moins un ouvrage supérieur à 50% », qui est introduit dans l'arrêté du 7 avril 2017 (chapitre 8 de l'EDD, scénario 3) :

En l'état actuel des connaissances et sur la base de l'approche multi-scénario menée précédemment (voir synthèse au chapitre 7.6), **le niveau de danger** du système d'endiguement du quartier du Mauret est **compris entre 3,80 et 4,00 m NGF combiné à une hauteur de houle de 50 cm sur le Bassin**, soit un évènement de **période de retour 50 à 100 ans**.

Il est proposé de retenir la valeur de 4,00 m NGF pour l'analyse des risques des venues d'eau à réaliser dans le cadre de l'EDD, correspondant à la cote de crête de l'ouvrage de protection de 1^{er} rang.

Du côté de la dune et du port du Bety, les niveaux topographiques constatés permettent d'assurer qu'il n'y a aucune venue d'eau par surverse dans la zone protégée par ce chemin. Une surveillance de ces fermetures géométriques est à réaliser par le gestionnaire.

8.6.2 HYPOTHESES GENERALES

Le modèle hydraulique sous Infoworks est adapté, pour le scénario 3, de la manière suivante :

- Condition limite côté Bassin d'Arcachon égal au marégramme associé au niveau de danger (4,00 m NGF) ;
- Tous les batardeaux sont en place ;
- Débits de franchissement (débit linéique) pour le niveau de danger sur les ouvrages de 1^{er} rang (y compris batardeaux) et sans aucun ressuyage.
- Rupture instantanée de l'ouvrage de 2nd rang sur les sections les plus défavorables (S5 et S17, cf. Figure 171 : implantation des reconnaissances sur l'ouvrage de protection de 2nd rang) sur des longueurs de 60 m lorsque les casiers sont pleins ;

8.6.3 RESULTATS ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE

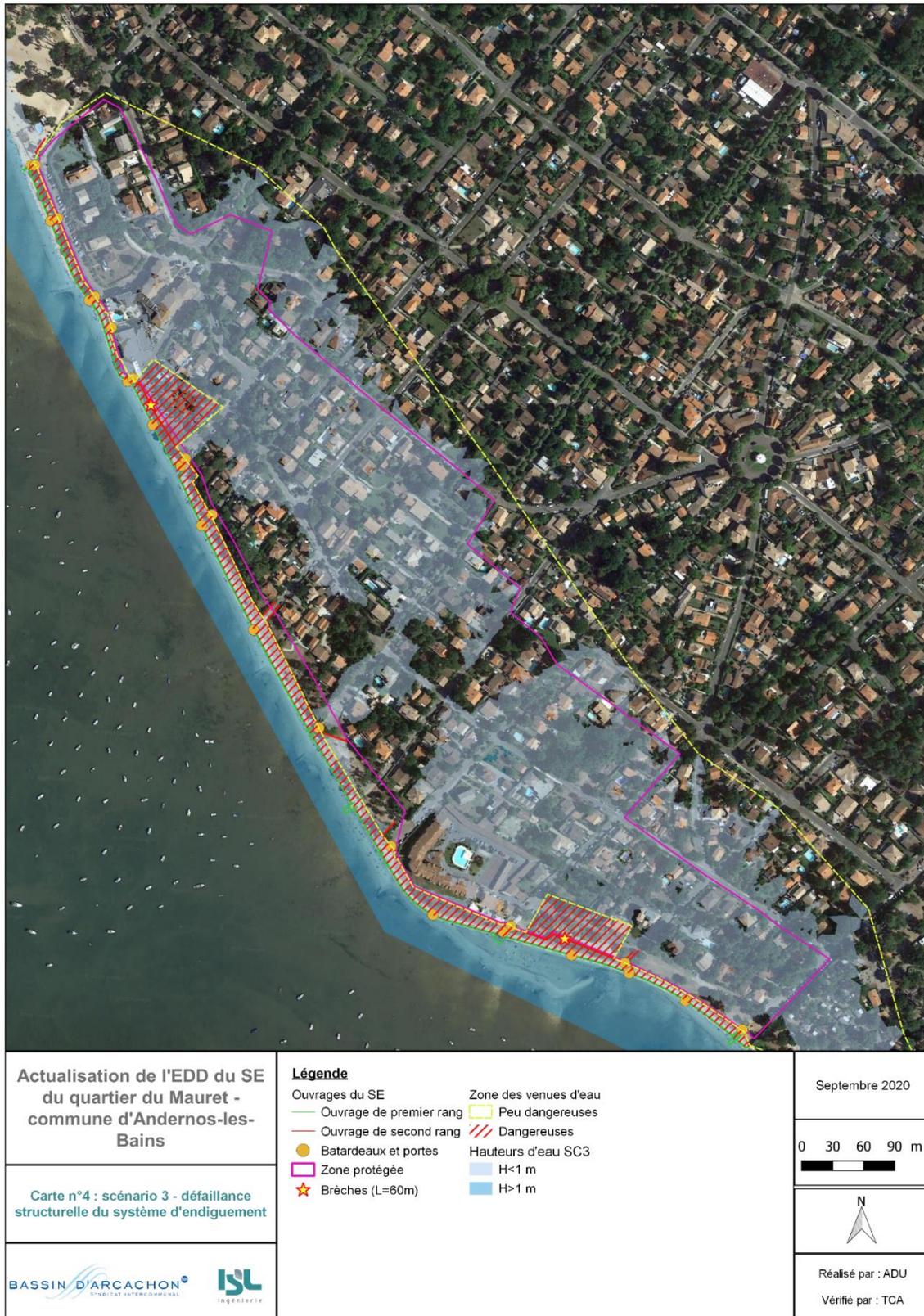


Figure 215 : carte n°3 – défaillance structurelle du système d'endiguement

Le scénario 3 implique des venues d'eau importantes en zone protégée et en dehors, de la manière suivante :

- Des venues d'eau **dangereuses** au droit des brèches (dissipation d'énergie importante) ;
- Des venues d'eau peu dangereuses sur une grande partie de la zone protégée et également en dehors. La surface est importante, les hauteurs varient entre 10 et 75 cm pour les points les plus bas.
- Très ponctuellement, il est possible d'atteindre 0,9 à 1,0 m, ce sont des venues d'eau considérées comme **dangereuses compte tenu des incertitudes**.
- Les casiers sont pleins et les franchissements importants, les hauteurs d'eau y **sont importantes – classe dangereuse** (casiers hors zone protégée).

9 PRESENTATION DE L'ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS. ADEQUATION DES MOYENS MIS EN PLACE POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN COURANT AVEC L'OBJECTIF DE PROTECTION GARANTI

9.1 ORGANISATION DU GESTIONNAIRE CONCERNANT LES ASPECTS LIES AUX PERFORMANCES DU SYSTEME ET A LA SECURITE

Les performances du système d'endiguement (niveau de protection à 3,2 m NGF, et du niveau de danger à 4 m NGF, capacité de stockage des paquets de mer entre le front de mer et le parapet de second rang) sont préservées par la mise en œuvre d'une surveillance régulière à plusieurs niveaux. Cette surveillance se base notamment sur la mise en place (en cours) d'une convention entre la Commune et le Gestionnaire reprenant les principaux éléments des consignes écrites (voir ci-après).

Le Gestionnaire dispose également des compétences d'assainissement des eaux usées et pluviales lui permettant d'assurer une continuité dans la surveillance et les capacités d'intervention sur ces éléments de réseau souterrains.

La compétence maritime dont le Gestionnaire est également en charge lui permet d'intervenir si nécessaire pour des opérations de ré-ensablement des plages potentiellement utiles au maintien du niveau de sable en pied d'ouvrage.

La sécurisation du site en cas de nécessité (barriérage, arrêtés de fermeture d'accès etc...) est assurée par la Commune dans un premier temps en cohérence avec son PCS et le pouvoir de police du Maire. Le Gestionnaire s'assure grâce à sa plateforme de prévision Seamafor d'informer la Commune jusqu'à 3 jours à l'avance de l'approche d'un événement météorologique sensible susceptible de solliciter l'ouvrage.

Le Gestionnaire intervient si nécessaire pour mettre en œuvre toute opération d'entretien ou de travaux jugée nécessaire au maintien des performances de l'ouvrage en concertation avec la Commune.

9.2 CONSIGNES ECRITES

Les consignes écrites établies pour ce système d'endiguement sont établies pour garantir le maintien des performances de l'ouvrage et s'appuient (1) sur les actions déjà mises en place historiquement par la Commune, (2) le classement de l'ouvrage en catégorie C, (3) les retours d'expérience des précédentes tempêtes contre lesquels l'ouvrage a assuré une protection efficace et (4) le bon état de l'ouvrage construit en 2010 – 2011.

La surveillance de l'ouvrage est réalisée à plusieurs niveaux :

- Un niveau **régulier** « a minima » réalisé par les agents communaux à la faveur de leurs missions variées au niveau du système d'endiguement (mise en place et retrait des batardeaux, manipulation des portails de second rang, désensablement de la promenade et des ouvrages hydrauliques type barbacanes ou clapets, le nettoyage et l'entretien général de la promenade,

le nettoyage de la plage par passage de la cribleuse et les opérations d'entretien des portails de second rang).

- Les observations faites par les agents font l'objet de remontée au gestionnaire qui les consigne dans le registre.
- Un niveau **trimestriel** réalisé par un agent dédié du gestionnaire : ces 4 visites annuelles sont systématiques et poussées. Elles concernent tout le linéaire et comprennent une inspection de la totalité des organes de l'ouvrage (promenade, pied d'ouvrage côté mer, talus côté mer, muret de second rang, ouvrages hydrauliques, portails, batardeaux).
 - Les observations faites lors de ces visites trimestrielles sont consignées dans le registre et sont exhaustives ; elles permettent notamment de suivre l'évolution du système d'endiguement et d'éventuels désordres, mais aussi d'en identifier de nouveaux.
 - Ces visites sont également déclenchées suite à un dépassement du niveau de protection, plusieurs visites de type « trimestrielle » peuvent donc être réalisées chaque année.
- Les **visites techniques approfondies** (VTA) : elles sont réalisées en cohérence avec les prescriptions de l'arrêté préfectoral de classement, mais également suite à un EISH comme l'exige la réglementation. Les fiches EISH sont remplies par le gestionnaire puis envoyées à la DREAL pour validation dès lors que des dommages matériels ou humains sont constatés. Les VTAs sont réalisées par un prestataire compétent dans le domaine et font l'objet de rapports et sont consignées dans le registre.

L'utilisation de la plateforme Seamafor par le Gestionnaire permet par ailleurs l'anticipation des niveaux d'eau au rivage de la commune jusqu'à 3 jours en avance. Ces prévisions déterminent le niveau de vigilance adopté et les mesures prises pour la protection des enjeux :

- Hauteur d'eau prédite < 4,8 CM (2,8 m NGF) : **Vigilance normale** (surveillance Seamafor quotidienne, pas de mesures spécifiques mises en place).
- 4,8 CM < Hauteur d'eau prédite < 5,2 CM (Niveau de Protection – 3,2 m NGF)) : **Evènement marin** (niveau équivalent à ceux retrouvés régulièrement lors de très forts coefficients sans surcote par exemple ; une météo agitée peut justifier des fermetures d'accès si nécessaire, vigilance accrue avec consultation de Seamafor et MétéoFrance plusieurs fois par jours)
 - Commune informée
- 5,2 CM < Hauteur d'eau prédite < 6 CM (Niveau de Danger – 4 m NGF) : **Etat de pré-danger** (surcotes significatives et météo agitée liée à des événements tempétueux : sollicitation des ouvrages de 1^{er} et 2nd rang ; fermetures d'accès ; vigilance forte ; visite post-événement réalisée ; réalisation d'un retour d'expérience)
 - Commune et DREAL informées
- Niveau d'eau prédit > 6 CM : **Etat de danger** (situation rare, ouvrage totalement surversé, risque de rupture significatif ; vigilance maximale ; fermetures d'accès ; visite poste-événement réalisée voire VTA si EISH avéré ; réalisation d'un retour d'expérience)
 - Commune, DREAL et Préfecture informées

Les prévisions de la plateforme Seamafor permettent également d'anticiper la **période de retour à la normale** (passage des niveaux d'eau sous les 4,8 CM) qui sera confirmée par les observations terrain réalisée par le Gestionnaire ou la Commune (pas d'agitation du plan d'eau, absence de vent ou léger, promenade praticable à pied donc eau issue des paquets de mer évacuée). L'évolution des niveaux d'eau et les étapes progressives de retours à la normale suite à des « états de pré-danger » et de « danger » seront partagées avec les acteurs indiqués précédemment (Préfecture, DREAL et Commune en fonction des niveaux de vigilances atteints).

Dès lors que les conditions sont réunies, une **visite post-événement** pourra être réalisée le plus rapidement possible (préférentiellement à marée basse et avant la marée haute suivante) pour s'assurer de l'intégrité de l'ouvrage (voir « Etat de pré-danger » ou « Etat de danger »). Dans le cas spécifique où des dégâts seraient rapportés au Gestionnaire, une fiche EISH serait remplie, une VTA déclenchée, et le Gestionnaire prendrait en charge en urgence les réparations nécessaires le plus rapidement possible. Tout passage en « état de pré-danger » ou de « danger » justifie une visite post-événement (de type trimestrielle ou VTA en cas d'EISH) dont un rapport sera réalisé et diffusé aux acteurs mentionnés précédemment en fonction des niveaux de vigilance atteints (retour d'expérience).

9.3 DEFINITION DES PRINCIPALES PROCEDURES QUI ENCADRENT L'IDENTIFICATION ET L'EVALUATION DES PRINCIPAUX RISQUES, LA SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE EN TOUTES CIRCONSTANCES, LA GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE ET LA GESTION DU RETOUR D'EXPERIENCE

Comme détaillé dans la section précédente, les risques liés à l'ouvrage (rupture notamment) sont identifiés et évalués par une surveillance concomitante de l'aléa en lui-même (plateforme Seamafor et prévision MétéoFrance) et une surveillance de l'ouvrage selon plusieurs niveaux de régularité et de détail (régulière, trimestrielle et VTA).

Les niveaux d'eau prédits permettent d'adapter le niveau de vigilance et de réponse face à l'aléa et le déclenchement ou non d'une visite post-événement (uniquement après passages en état de pré-danger ou en état de danger). C'est également sur la base de ces états de vigilance qu'est constituée la chaîne de communication impliquant graduellement plus d'acteurs avec l'accroissement de la gravité d'un événement (Commune seule, puis Commune et DREAL, puis Commune, DREAL et Préfecture en état de danger). Ces degrés de gravité permettent aussi de réguler la diffusion des retours d'expérience (voir section précédente) qui prendront la forme de rapports ou de notes suite aux visites post-événement utiles (avec photos, description de l'aléa, conséquences matérielles et ou humaines, mesures prises en urgence, description des étapes de surveillances et des niveaux de vigilances enclenchés etc...).

Qu'elle soit assurée par la Commune ou par le Gestionnaire, la surveillance de l'ouvrage est assurée perpétuellement. Le Gestionnaire fait par ailleurs en sorte que son équipe de Direction soit joignable en toute circonstance en dehors des horaires ouvrés et prend en charge les situations d'urgence si nécessaire (éventuelle rupture ou dégradation significative du système d'endiguement, impliquant une impossibilité d'assurer le niveau de protection choisi).

9.4 MOYENS D'INFORMATION SUR LES TEMPETES

Les tempêtes sont anticipées par le gestionnaire par le biais de sa plateforme de prévision Seamafor dont les bilans complets permettent d'anticiper jusqu'à 3 jours en avance les niveaux d'eau maximaux prévus sur une base horaire, mais également la direction des vents, leur intensité ainsi que la pression atmosphérique qui sont des paramètres utiles à la caractérisation des événements tempétueux.

Des prévisions compatibles avec un événement de ce type sur la plateforme Seamafor feront l'objet d'un croisement avec les informations diffusées par MétéoFrance dès que possible.

9.5 PROCEDURES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION AVEC LES AUTORITES COMPETENTES POUR LA MISE EN SECURITE DES POPULATIONS EN PERIODE DE TEMPETE

En cas de tempête le Gestionnaire avertit prioritairement la Commune le plus tôt possible : envoi d'un courriel jusqu'à 3 jours précédant l'évènement, et mise en place d'une veille permettant de tenir la commune informée de l'évolution des prévisions (notamment si les prévisions sont confirmées ultérieurement par MétéoFrance).

En cas de force majeure, le Gestionnaire pourra si nécessaire avertir les Maires des Communes directement par téléphone ou par courriel afin de les inviter à déployer les mesures de protection des populations nécessaires (barriérages, coupures d'accès, déclenchement éventuel du PCS...).

La mise en sécurité globale des populations est assurée par la Commune et par les services d'urgence compétents tels que le SDIS.

9.6 DISPOSITIONS PRISES PAR LE RESPONSABLE POUR S'ASSURER EN PERMANENCE DU RESPECT DES PROCEDURES, AUDITER ET REVISER SON ORGANISATION DE GESTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Pas de dispositions particulières à l'heure actuelle.

9.7 ROLE(S) DE BARRIERE DE SECURITE POUVANT ETRE ASSURE(S) PAR CERTAINS ELEMENTS DE L'ORGANISATION DU RESPONSABLE ET DE SA DEMARCHE DE PREVENTION DES ACCIDENTS

Pas de dispositions particulières à l'heure.

9.BIS RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE QUI REALISE L'ETUDE DE DANGERS

9.8 AMELIORATION DE LA CONNAISSANCE DE L'ALEA

A ce stade, le gestionnaire utilise la plate-forme de prévision Seamafor pour connaître les niveaux marins au droit du système d'endiguement d'Andernos-les-Bains.

A termes, afin d'améliorer la connaissance de l'aléa au droit du système d'endiguement, il pourrait être intéressant de disposer d'une mesure réelle du niveau d'eau et de l'agitation à proximité des ouvrages.

9.9 AMELIORATION DE LA CONNAISSANCE DES OUVRAGES

9.9.1 RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES DE FONDATION

Le chapitre 7 fait état des hypothèses réalisées sur la caractérisation de la fondation des ouvrages de protection.

L'augmentation du niveau de connaissance des matériaux constitutifs de la fondation permettrait d'affiner les évaluations de la résistance de l'ouvrage, notamment par rapport au risque d'instabilité externe de l'ouvrage et d'érosion interne de la fondation.

9.9.2 RECONNAISSANCES DU GENIE CIVIL DE L'OUVRAGE DE PROTECTION DE 2ND RANG

L'analyse des documents disponibles et les reconnaissances sommaires réalisées sur l'ouvrage de protection de 2nd rang ont mis en évidence certaines lacunes sur la connaissance du génie civil de l'ouvrage de protection de 2nd rang, sur les sections courantes mais également sur les sections particulières (porte et batardeau) :

- la géométrie des ouvrages est approximative,
- la constitution exacte des ouvrages est inconnue (matériaux utilisés, section de ferrailage, etc.).

Les reconnaissances sur ce type d'ouvrage sont difficiles car elles nécessitent des essais descriptifs (carottage, sciage, etc.). Les ouvrages doivent être reconstitués immédiatement après les reconnaissances.

Néanmoins, comme pour la fondation des ouvrages, l'amélioration de la connaissance sur le génie civil permettrait une analyse complète de la résistance par rapport aux différentes sollicitations possibles.

9.9.3 ETUDE DE STABILITE DE L'OUVRAGE DE 2ND RANG

Les études présentées dans l'ANNEXE 6 sont préliminaires dans le sens où la vérification de la stabilité de l'ouvrage de protection de 2nd rang est réalisé sous certaines hypothèses conservatives (voir chapitre ci-dessus) et se focalise sur certains modes de rupture et sur certaines sections courantes de l'ouvrage.

Après réalisation des reconnaissances complémentaires évoquées aux deux chapitres précédents, la réalisation d'une étude de stabilité globale de l'ouvrage de protection de 2nd rang peut permettre d'affiner l'estimation de la résistance de l'ouvrage suivant différentes sollicitations. Cette étude serait alors menée :

- Après analyse des reconnaissances complémentaires pour mieux établir les caractéristiques mécaniques de la fondation, la géométrie des ouvrages et la constitution des ouvrages,
- Sur des sections courantes et sur des sections particulières (porte et batardeaux).

Cette étude peut présenter un intérêt pour rehausser le niveau de protection du système d'endiguement puisque le niveau de protection est actuellement conditionné par une défaillance de l'ouvrage de protection de 2nd rang vis-à-vis des risques de rupture par instabilité d'ensemble et par érosion interne.

10 CARTOGRAPHIE

Le présent chapitre détaille la cartographie réalisée dans le cadre de l'étude de dangers du système d'endiguement du quartier du Mauret.

10.1 CARTE ADMINISTRATIVE

La carte administrative représente :

- Le système d'endiguement ;
- La zone protégée ;
- La zone de compétence GEMAPI du SIBA ;

La carte est donnée ci-dessous :



Figure 216 : carte n°0 – carte administrative

Cette carte est également donnée en ANNEXE 7 du présent rapport.

10.2 CARTE DES VENUES D'EAU

Les cartes des venues d'eau sont présentées dans le chapitre 8 Etude des risques de venues d'eau.

Les différentes cartes réalisées sont également disponibles en annexe :

- ANNEXE 8 : Carte n°1 : Définition de la zone protégée ;
- ANNEXE 9 : Carte n°2 : Scénario 1 – fonctionnement nominal du système d'endiguement ;
- ANNEXE 10: Carte n°3 : Scénario 2 – défaillance fonctionnelle du système d'endiguement ;
- ANNEXE 11 : Carte n°4 : Scénario 3 – défaillance structurelle du système d'endiguement ;

ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Réalisation d'une Etude de Dangers concernant les ouvrages de protection de la partie sud de la commune d'Andernos – ARTELIA – Rapport n°8311077 – Juin 2017,
- [2] Etude de danger concernant les ouvrages de protection contre le risque de submersion marine – Reconnaissance géophysique et géotechnique des ouvrages – ECR Environnement – Rapport n°3302753 – Mars 2016,
- [3] Ouvrages de protection contre la submersion marine à Andernos-les-Bains (33) – Avis et recommandations – BRGM – Rapport n°RP-57902-FR – Décembre 2009,
- [4] Application de modèles numériques pour l'estimation de l'altitude du plan d'eau à Andernos-les-Bains – BRGM – Rapport n°RP-58723-FR – Décembre 2010,
- [5] Submersions marines sur le bassin d'ARCACHON – Etude historique – CETE Sud-Ouest – Dossier n°17.33.Z429 – Novembre 2012,
- [6] Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL du Bassin d'Arcachon (Gironde) – Détermination de l'évènement naturel de référence – BRGM – Rapport intermédiaire n°RP-61408-FR – Janvier 2014,
- [7] Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL du Bassin d'Arcachon – Approche dynamique avec prise en compte des ouvrages de protection côtière – BRGM – Rapport final n°RP-64807-FR – Avril 2016,
- [8] Mise en œuvre de la Directive Inondation – Rapport d'accompagnement des cartographies du TRI du Bassin d'ARCACHON – DREAL Nouvelle Aquitaine – Novembre 2016,
- [9] EurOtop – Manual on wave overtopping of sea defences and related structures – Second Edition – 2018,
- [10] Guide Enrochement – L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques, version française du Rock Manual (2^{ème} édition) – CETMEF – 2009,
- [11] Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL du Bassin d'Arcachon (Gironde) – Approche « statique » à titre informatif pour la cartographie des aléas « actuel » et « 2100 » sans ouvrage – BRGM – Rapport final n°RP-62187-FR – Février 2014,
- [12] Références Altimétriques Maritimes – Ports de France métropolitaine et d'outre-mer – Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée – SHOM – 2019,
- [13] Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique) – SHOM-CETMEF – 2012,
- [14] Guide méthodologique des plans de prévention des risques littoraux, MEDE, 2014,
- [15] Référentiel technique des digues fluviales et maritimes, MEDDTL, 2015,
- [16] Programme de suivi géomorphologique du littoral du Bassin d'Arcachon – OCA – Rapport BRGM/RP-69736-FR – mars 2020,
- [17] Guide international sur les digues – CEREMA-2019,
- [18] Risques sismiques et sécurité des ouvrages hydrauliques, MEDDE - DGPR, octobre 2014.
- [19] Livret Patrimoine Naturel, mission d'étude pour la création d'un parc naturel marin sur le Bassin d'Arcachon et son ouvert, MEDDTL, 29 décembre 2011.
- [20] Etude intégrée du Bassin d'Arcachon – synthèse, IFREMER, 1997.

ANNEXE 2 CONSIGNES ECRITES

ANNEXE 3 INVENTAIRE DES EVENEMENTS HISTORIQUES SUR LE BASSIN D'ARCACHON DEPUIS LE 18^{EME} SIECLE

ANNEXE 4 LOCALISATION DES PORTES ET DES BATARDEAUX

ANNEXE 5 PROFIL EN LONG ET PROFILS EN TRAVERS DES DIFFERENTS TRONÇONS

ANNEXE 6 ANALYSE ET CALCULS PRELIMINAIRE A LA VERIFICATION DE LA TENUE DES OUVRAGES

ANNEXE 7 CARTE N°0 : CARTE ADMINISTRATIVE

ANNEXE 8 CARTE N°1 : DEFINITION DE LA ZONE PROTEGEE

ANNEXE 9 CARTE N°2 : SCENARIO 1 – FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

ANNEXE 10 CARTE N°3 : SCENARIO 2 – DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

ANNEXE 11 CARTE N°4 : SCENARIO 3 - DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT