Infrastructures

Aménagements hydrauliques

Caenlamer
NORMANDIE
COMMUNAUTÉ URBAINE

COMMUNAUTE
URBAINE CAEN LA MER

SYSTEMES D'ENDIGUEMENT DANS L'AGGLOMERATION CAENNAISE

Rapport d'étude de dangers

Rapport n° : 20F-201-RP-3

Révision n° : A

Date : 24/06/2021

Rapport

Votre contact :
Olivier BARBET
barbet@isl.fr

ISL Ingénierie SAS - PARIS
75 boulevard Mac Donald
75019 - Paris
FRANCE
Tel. : +33.1.55.26.99.99
Fax : +33.1.40.34.63.36

www.isl.fr

ISL Ingénierie

Visa

Document actualisé le 24/06/2021.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	24/06/2021	OBA	OBA	OBA	Version pour dépôt du dossier au 30 juin 2021

OBA : BARBET Olivier

Rapport ISL
20F-201-RP-3
Revision A

http://www.isl.fr/r.php?c=197090

SOMMAIRE

0 CHAPITRE 0 : RESUME NON TECHNIQUE 3
0.1 CONTEXTE DE LA DEMANDE 3
0.2 LE DEMANDEUR 3
0.3 LA DEMANDE DE DECLARATION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 3
0.3.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT COLOMBELLES 3
0.3.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL 5
0.4 LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE PROTECTION 8
0.4.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 8
0.4.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 11

1 CHAPITRE 1 : RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS 17
1.1 IDENTIFICATION DU GESTIONNAIRE 17
1.1.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES 17
1.1.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL 17
1.1.3 GESTIONNAIRE IDENTIFIE 18
1.2 IDENTIFICATION DE L'ORGANISME AGREE 19
1.3 RAPPEL DES AUTORISATIONS EXISTANTES 19
1.3.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES 19
1.3.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL 19
1.4 DATE DE REMISE OFFICIELLE DE L'EDD AU PREFET 21
1.5 AUTRES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES (ARTICLE R 562-18) 21

2 OBJET DE L'ETUDE 22
2.1 CADRE DANS LEQUEL L'EDD EST REALISEE 22
2.2 LISTE DES COMMUNES CONCERNEES PAR LA ZONE PROTEGEE ET SES EVENTUELLES SOUS-PARTIES 23
2.2.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES 23
2.2.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL 23
2.3 LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE ET DE SES EVENTUELLES SOUS PARTIES 23
2.3.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES 23
2.3.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL 25

2.4 LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES 26
2.4.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES 26
2.4.1.1 Localisation 26
2.4.1.2 Description sommaire des ouvrages 28
2.4.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL 28
2.4.2.1 Localisation 28
2.4.2.2 Description sommaire des ouvrages 30

3 DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE, DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, DE SON ENVIRONNEMENT ET DE SES FONCTIONS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET LES SUBMERSIONS 31
3.1 ZONE PROTEGEE 31
3.1.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES 31
3.1.1.1 Cartographies 31
3.1.1.2 Communes de la zone protégée 32
3.1.1.3 Communes relevant de l'autorité compétente pour la prévention des inondations 33
3.1.1.4 Définition de la zone protégée 33
3.1.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL 34
3.1.2.1 Cartographies 34
3.1.2.2 Communes de la zone protégée 37
3.1.2.3 Communes relevant de l'autorité compétente pour la prévention des inondations 37
3.1.2.4 Définition de la zone protégée 38
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'EXERÇANT SUR CES FONDATIONS 40
3.2.1 SYNTHESE DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE 40
3.2.1.1 Sollicitations fluviales 40
3.2.1.2 Sollicitations maritimes 41
3.2.1 SYNTHESE DE L'ETUDE GEOLOGIQUE 41
3.2.1.1 Sous-système Colombelles 41
3.2.1.2 Sous-système Canal-littoral 41
3.3 DESCRIPTION DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES 42
3.3.1 CELLULE HYDRO-SEDIMENTAIRE CONCERNEE 42
3.3.2 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 42

3.3.3 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 49
3.3.3.1 Ouvrages contributifs 52
3.3.3.2 Autres éléments naturels 57
3.4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ANALYSE DES RISQUES DE RUPTURE, NIVEAU DE PROTECTION, ANALYSE DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE ET GESTION EN SITUATION DE CRUE OU DE TEMPETE 59
3.4.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 59
3.4.1.1 Données historiques 59
3.4.1.2 Analyse fonctionnelle du système d'endiguement 59
3.4.1.3 Analyse des aménagements hydrauliques complémentaires 60
3.4.1.4 Niveau de protection du système d'endiguement 60
3.4.1.5 Analyse des situations dépassant le niveau de protection 60
3.4.1.6 Analyse de l'organisation du gestionnaire 60
3.4.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 60
3.4.2.1 Données historiques 60
3.4.2.2 Analyse fonctionnelle du système d'endiguement 61
3.4.2.3 Analyse des aménagements hydrauliques complémentaires 61
3.4.2.4 Niveau de protection du système d'endiguement 61
3.4.2.5 Analyse des situations dépassant le niveau de protection 62
3.4.2.6 Analyse de l'organisation du gestionnaire 62

4 CHAPITRE 4 : CARACTERISATION DES ALEAS 65
4.1 HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET MORPHODYNAMIQUE GLOBALE DU COURS D'EAU OU DU SECTEUR HYDROSEDIMENTAIRE MARITIME 65
4.1.1 HYDRODYNAMIQUE GENERALE EN BAIE DE SEINE 65
4.1.2 MORPHODYNAMIQUE GENERALE EN BAIE DE SEINE 66
4.2 HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET MORPHODYNAMIQUE LOCALE 68
4.2.1 HYDROLOGIE – LES CRUES DE L'ORNE 68
4.2.1.1 Ajustement statistique des débits de crues à la station de May-sur-Orne 68
4.2.1.2 Estimation des fréquences rares – méthode du Gradex 70
4.2.1.3 Application au bassin versant à Caen 70
4.2.2 HYDRODYNAMIQUE COTIERE 72
4.2.3 MORPHODYNAMIQUE LOCALE 74
4.2.3.1 L'Orne maritime à Colombelles 74
4.2.3.2 Front de mer 75
4.3 EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS 78
4.3.1 CANAL MARITIME 78

4.3.2 FRONT DE MER 78
4.3.3 ORNE MARITIME 78
4.4 TRANSPORTS SEDIMENTAIRES 78
4.4.1 CANAL MARITIME 78
4.4.2 FRONT DE MER 78
4.4.3 ORNE MARITIME 79
4.5 IMPACTS COMBINES DES NIVEAUX MARINS, DE LA HOULE, DES VAGUES, DES DEPRESSIONS ATMOSPHERIQUES ET DU VENT, SUR LE LITTORAL 80
4.5.1 NIVEAUX MARINS STATIQUES 80
4.5.2 HOULES AU LARGE 80
4.5.3 VENT 82
4.5.4 NIVEAUX MARINS EXTREMES DYNAMIQUES 83
4.6 SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES 84
4.6.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE 84
4.6.1.1 Canal-littoral 84
4.6.1.2 Colombelles 87
4.6.2 SEISMES 88
4.6.3 TSUNAMI 89

5 CHAPITRE 5 : DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 91
5.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 91
5.1.1 OUVRAGES EXISTANTS 91
5.1.2 OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER 98
5.1.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 99
5.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 101
5.2.1 OUVRAGES EXISTANTS 101
5.2.1.1 Endiguement 101
5.2.1.2 Ouvrages contributifs 105
5.2.1.3 Autres éléments naturels 110
5.2.2 OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER 112
5.2.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 112
5.2.3.1 Canal maritime 112
5.2.3.2 Front de mer 120

6 CHAPITRE 6 : RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE ET LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT 122
6.1 INCIDENTS ET ACCIDENTS CONNUS SUR LES OUVRAGES COMPOSANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT 122
6.1.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 122
6.1.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 122
6.1.2.1 Digue de Ouistreham 124
6.1.2.2 Digue d'Hermanville-sur-Mer 124
6.1.2.3 Dune de Colleville-Montgomery 124
6.2 INCIDENTS ET ACCIDENTS CONNUS SUR DES OUVRAGES DU MEME TYPE 125
6.2.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 125
6.2.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 126
6.2.3 TEMPETE XYNTHIA DANS LE CALVADOS 127
6.2.4 TEMPETE DE MARS 2013 130
6.3 SYNTHESE DES ENSEIGNEMENTS 133
7 CHAPITRE 7 : DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES 134
7.1 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUE DES OUVRAGES – SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 134
7.1.1 TRONÇON COL_01 - DIGUE DE COLOMBELLES 134
7.1.1.1 Aperçu général 134
7.1.1.2 Géométrie et structure 134
7.1.1.3 Détail sur la fermeture du sous-système d'endiguement au sud 136
7.1.1.4 Caractéristiques géotechniques 137
7.1.1.5 Etat 139
7.1.1.6 Ouvrages traversants 140
7.1.2 TRONÇON COL_02 - MERLON DE FERMETURE 142
7.1.2.1 Aperçu général 142
7.1.2.2 Géométrie et structure 143
7.1.2.3 Caractéristiques géotechniques 143
7.1.2.4 Etat 143
7.1.3 TRONÇON COL_03 - MUR 144
7.1.3.1 Aperçu général 144
7.1.3.2 Géométrie et structure 144

7.1.3.3 Détail sur la fermeture du sous-système d'endiguement au Nord 144
7.1.3.4 Caractéristiques géotechniques 145
7.1.3.5 Etat 145
7.2 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUE DES OUVRAGES – SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 146
7.2.1 DIGUE OUEST DU CANAL DE CAEN A LA MER 146
7.2.1.1 Aperçu général 146
7.2.1.2 Géométrie et structure 148
7.2.1.3 Caractéristiques géotechniques 168
7.2.1.4 Ouvrages traversants 172
7.2.2 PERRE DE OUISTREHAM, DIT « DIGUE DE OUISTREHAM » 175
7.2.2.1 Aperçu général 175
7.2.2.2 Géométrie et structure 176
7.2.2.3 Caractéristiques géotechniques 179
7.2.2.4 Etat 179
7.2.2.5 Ouvrages traversants 180
7.2.3 PERRE D'HERMANVILLE-SUR-MER, DIT « DIGUE D'HERMANVILLE-SUR-MER » 181
7.2.3.1 Aperçu général 181
7.2.3.2 Géométrie et structure 181
7.2.3.3 Caractéristiques géotechniques 187
7.2.3.4 Etat 187
7.2.3.5 Ouvrages traversants 188
7.3 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS NATURELS – SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 189
7.3.1 « TERTRE » DE OUISTREHAM 189
7.3.2 MASSIF DUNAIRE 189
7.3.2.1 Aperçu général 189
7.3.2.2 Historiques des travaux récents 189
7.3.2.3 Géométrie 189
7.3.2.4 Profils de plage 190
7.3.2.5 Niveaux de sûreté envisagé 190
7.4 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – METHODOLOGIE 191
7.4.1 GENERALITES 191
7.4.2 CARACTERISATION DES SCENARIOS ETUDIES 192
7.4.2.1 Rupture par surverse 192
7.4.2.2 Rupture par érosion interne 194
7.4.2.3 Rupture par glissement 196

7.4.2.4 Rupture par érosion externe côté Orne maritime, ou côté canal, ou côté mer 197
7.4.2.5 Rupture par érosion externe côté terre sous l'effet des franchissements 198
7.4.2.6 Rupture de mur béton 199
7.5 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 200
7.5.1 DEFINITION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE 200
7.5.2 DEFINITION DES SOLLICITATIONS 200
7.5.3 ANALYSE DE LA PERFORMANCE PAR SCENARIO DE RUPTURE 201
7.5.3.1 Co1 – rupture par surverse 201
7.5.3.2 Co2 – rupture par érosion interne 201
7.5.3.3 Co3 – rupture par glissement de talus côté terre 203
7.5.3.4 Co4 – rupture par glissement de talus côté Orne 203
7.5.3.5 Co5 – rupture par érosion externe côté Orne : affouillement en pied de berge 205
7.5.3.6 Co6 – rupture par érosion externe côté Orne : déstructuration de la protection de berge 206
7.5.3.7 Co7 - rupture du mur en béton 207
7.5.3.8 Synthèse – niveau de sûreté et niveau de danger 208
7.6 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 210
7.6.1 DEFINITION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE 210
7.6.2 DEFINITION DES SOLLICITATIONS 210
7.6.3 ANALYSE DE LA PERFORMANCE PAR SCENARIO DE RUPTURE 211
7.6.3.1 Ca1 – rupture par surverse 211
7.6.3.2 Ca2 – rupture par érosion interne 213
7.6.3.3 Ca3 – rupture par glissement de talus côté terre 215
7.6.3.4 Ca4 – rupture par glissement de talus côté Canal 217
7.6.3.5 Ca5 – rupture par érosion externe côté Orne : déstructuration de la protection de berge 217
7.6.3.6 Synthèse – niveau de sûreté et niveau de danger 217
7.7 PERFORMANCES DES ELEMENTS NATURELS – MASSIF DUNAIRE 220
7.8 DEFINITION DES NIVEAUX DE PROTECTION 221
7.8.1 SOUS SYSTEME COLOMBELLES 221
7.8.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 221

8 CHAPITRE 8 : ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE 223
8.1 PREAMBULE 223
8.2 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 223
8.2.1 SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 223

8.2.2 SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 225
8.2.3 SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 227
8.3 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 229
8.3.1 SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 229
8.3.2 SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 231
8.3.2.1 Scénario 2-M-a 231
8.3.2.2 Scénario 2-M-b 232
8.3.2.3 Scénario 2-M-c 235
8.3.2.4 Scénario 2-F-b 237
8.3.2.5 Scénario 2-F-c 239
8.3.3 SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT 241

9 PRESENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS 243
9.1 DESCRIPTION DES MOYENS MIS EN PLACE POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN COURANT AVEC L'OBJECTIF DE PROTECTION GARANTI 243
9.1.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 243
9.1.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 243
9.1.2.1 Digue du canal et ouvrages hydrauliques associés 243
9.1.2.2 Digue de Ouistreham 246
SCHEMA DE SYNTHESE DE LA TRANSMISSION ET DE LA GESTION DE L'ALERTE ENTRE LES DIFFERENTS ACTEURS 251
9.1.2.3 Digue d'Hermanville 254
9.2 RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE QUI REALISE L'ETUDE DE DANGERS 255
9.2.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES 255
9.2.1.1 Recommandations pour la surveillance et l'entretien 255
9.2.1.2 Rappel des recommandations de la visite technique approfondie 256
9.2.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL 256

10 CHAPITRE 10 : CARTOGRAPHIE 257
10.1 CARTES ADMINISTRATIVES 257
10.2 CARTES DES VENUES D'EAU 257

11 BIBLIOGRAPHIE 258

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 ARRETES PREFECTORAUX DE CLASSEMENT ET DE RECONNAISSANCE D'EXISTENCE

ANNEXE 2 ETUDE HYDRAULIQUE

TABLE DES FIGURES

Figure 0-1 : carte des ouvrages du système de protection et de la zone protégée. 4

Figure 0-2 : carte des ouvrages du système de protection et de la zone protégée. 7

Figure 0-3 : carte des venues d'eau possibles jusqu'au niveau de protection et avec défaillances des ouvrages annexes. 9

Figure 0-4 : carte des venues d'eau possibles au-delà du niveau de protection et avec rupture des ouvrages. 10

Figure 0-5 : carte des venues d'eau possibles jusqu'au niveau de protection et avec défaillances du barrage du Maresquier. 12

Figure 0-6 : carte des venues d'eau possibles au-delà du niveau de protection et avec rupture des ouvrages. 13

Figure 2-1 : délimitation de la zone protégée – Colombelles. 24

Figure 2-2 : délimitation de la zone protégée – Canal-littoral. 25

Figure 2-3 : carte de situation générale des ouvrages constituant le système d'endiguement. 26

Figure 2-4 : carte de localisation des ouvrages constituant le système d'endiguement. 27

Figure 2-5 : carte de situation générale des ouvrages constituant le système d'endiguement. 28

Figure 2-6 : carte de localisation des ouvrages constituant le système d'endiguement. 29

Figure 3-1 : limites administratives de la Communauté urbaine Caen la mer et situation de la zone protégée au sein du territoire de Caen la mer. 31

Figure 3-2 : délimitation de la zone protégée. 32

Figure 3-3 : enjeux habitats et populations dans la zone protégée. 34

Figure 3-4 : limites administratives de la Communauté urbaine Caen la mer et situation de la zone protégée au sein du territoire de Caen la mer. 35

Figure 3-5 : délimitation de la zone protégée. 36

Figure 3-6 : enjeux habitats et populations dans la zone protégée. 39

Figure 4-1 : bassin versant de l'Orne. 68

Figure 4-2 : ajustement à une loi de Gumbel des débits de crues à la station de May-sur-Orne. 69

Figure 4-3 : débits de pointe des crues fréquentes à la station de May-sur-Orne. 69

Figure 4-4 : débits de pointe de l'Orne à May-sur-Orne. 70

Figure 4-5 : débits de pointe de l'Orne à Caen. 71

Figure 4-6 : hydrogrammes de crues de l'Orne à Caen. 71

Figure 4-7 : lit de l'Orne au droit de la zone d'étude (http://remonterletemps.ign.fr). Photo de 2015 à gauche et de 1947 à droite. 74

Figure 4-8 : comparaison de la carte IGN actuelle à gauche et de la carte d'état-major de 1820-1866 à droite (http://remonterletemps.ign.fr). 75

Figure 4-9 : extrait de la carte géologique de France au 1/50 000ème, feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre). 84

Figure 4-10 : contexte géologique – Canal-littoral (extrait de la carte géologique de France au 1/50 000ème, feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre)). 86

Figure 4-11 : contexte géologique – Colombelles (extrait de la carte géologique de France au 1/50 000ème, feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre)). 87

Figure 6-1 : extrait des cartographies établies dans le cadre du TRI (cf. (DREAL Basse-Normandie, septembre 2014)). 122

Figure 6-2 : maxima annuels de débits enregistrés aux stations de Thury-Harcourt et May-sur-Orne sur l'Orne. 123

Figure 7-1 : Localisation des sous-tronçons – Digue du canal. 148

Figure 7-2 : Vue du sous-tronçon 1 - Digue du canal 149

Figure 7-3 : profil en travers - ST1 Digue du canal. 149

Figure 7-4 : profils en travers – ST2 Digue du canal. 150

Figure 7-5 : profils en travers – ST3 Digue du canal 150

Figure 7-6 : profils en travers – ST4 Digue du canal. 151

Figure 7-7 : Vue du sous-tronçon 5 - Digue du canal 152

Figure 7-8 : profils en travers – ST5 Digue du canal. 152

Figure 7-9 : Vues du sous-tronçon 6 - Digue du canal 153

Figure 7-10 : profils en travers – ST6 Digue du canal 153

Figure 7-11 : profils en travers – ST7 Digue du canal. 154

Figure 7-12 : profils en travers – ST8 Digue du canal. 155

Figure 7-13 : Vue du sous-tronçon n°9 - Digue du canal 156

Figure 7-14 : profils en travers – ST9 Digue du canal. 156

Figure 7-15 : profils en travers – ST10 Digue du canal. 157

Figure 7-16 : profils en travers – ST11 Digue du canal 158

Figure 7-17 : Vue du sous-tronçon n°12 - Digue du canal 158

Figure 7-18 : profils en travers – ST12 Digue du canal. 159

Figure 7-19 : profils en travers – ST13 Digue du canal 160

Figure 7-20 : profils en travers – ST14 Digue du canal. 161

Figure 7-21 : profils en travers – ST15 Digue du canal. 162

Figure 7-22 : profils en travers – ST16 Digue du canal 163

Figure 7-23 : profils en travers – ST17 Digue du canal. 164

Figure 7-24 : profils en travers – ST18 Digue du canal. 165

Figure 7-25 : profils en travers – ST19 Digue du canal 166
Figure 7-26 : profils en travers – ST20 Digue du canal 167
Figure 7-27 : profils en travers – ST21 Digue du canal. 168
Figure 7-28 : Localisation des sondages géotechniques sur le profil en long de la digue 169
Figure 7-29 : Lithologie reconnue au droit des sondages 170
Figure 7-30 : Ouvrages traversants relevés sur le sous-tronçon n°6 172
Figure 7-31 : Ouvrages traversants - ST10 Digue du canal 173
Figure 7-32 : Ouvrages traversants – ST13 Digue du canal. 174
Figure 7-33 : vanne des Blanchisseries – ST21 Digue du canal 175
Figure 7-34 : localisation des 5 sous-tronçons de la digue de Ouistreham. 175
Figure 7-35 : coupe-type de la section courante de la digue de Ouistreham. 176
Figure 7-36 : profil en long de la crête de la digue de Ouistreham. 177
Figure 7-37 : illustration de la section courante. 178
Figure 7-38 : localisation des 8 sous-tronçons de la digue d'Hermanville-sur-Mer. 181
Figure 7-39 : coupe-type du tronçon dit de « Tanagra ». 182
Figure 7-40 : coupe-type de la section courante de la digue d'Hermanville-sur-Mer. 182
Figure 7-41 : profil en long de la crête de la digue d'Hermanville-sur-Mer. 184
Figure 7-42 : illustration de la continuité du niveau de crête au droit des cales. 185
Figure 7-43 : illustration de la section courante – structure 1. 185
Figure 7-44 : coupe de la digue d'Hermanville-sur-Mer (type de plan et date inconnus). 186
Figure 7-45 : vues du parement lors de la construction de deux épis en 2011. 186
Figure 7-46 : illustration de la digue de Tanagra – structure 2. 187
Figure 7-47 : conduites de rejet constituant l'émissaire d'Hermanville-sur-Mer. 189
Figure 8-1: définition des venues d'eau pour la représentation cartographique. 223
Figure 8-2 : carte des venues d'eau – scénario 1 – Colombelles. 224
Figure 8-3 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Colombelles. 226
Figure 8-4 : carte des venues d'eau – scénario 3 – Colombelles. 228
Figure 8-5 : carte des venues d'eau – scénario 1 – Canal-littoral. 230
Figure 8-6 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral. 232
Figure 8-7 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral. 234
Figure 8-8 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral. 236
Figure 8-9 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral. 238
Figure 8-10 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral. 240
Figure 8-11 : carte des venues d'eau – scénario 3 – Canal-littoral. 242
Figure 9-1 : organigramme du protocole de communication en cas d'alerte par l'exploitant. 251

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 0-1 : proposition de niveau de protection – Colombelles. 8
Tableau 0-2 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa marin. 11
Tableau 0-3 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa fluvial. 11
Tableau 1-1 : éléments constituant le système d'endiguement – Colombelles. 17
Tableau 1-2 : éléments constituant le système d'endiguement – Canal-littoral. 17
Tableau 1-3 : ouvrages de régulation du niveau du marais de Colleville (front de mer). 17
Tableau 1-4 : ouvrages de régulation du fossé de ligne. 18
Tableau 1-5 : ouvrages de régulation des niveaux du canal de Caen à la mer. 18
Tableau 1-6 : renseignements administratifs – Digue de Colombelles. 19
Tableau 1-7 : renseignements administratifs – Digue de Ouistreham. 20
Tableau 1-8 : renseignements administratifs – Digue d'Hermanville-sur-Mer. 20
Tableau 1-9 : renseignements administratifs – Digue du canal berge Ouest. 20
Tableau 2-1 : cadre de l'étude de dangers. 22
Tableau 2-2 : liste des communes concernées par la zone protégée. 23
Tableau 2-3 : liste des communes concernées par la zone protégée. 23
Tableau 3-1 : liste des communes de la Communauté Urbaine Caen la mer. 33
Tableau 3-2 : liste des communes de la Communauté Urbaine Caen la mer. 38
Tableau 3-3 : débits de pointe de l'Orne à Caen. 40
Tableau 3-4 : hauteurs d'eau de différentes périodes de retour à l'échelle d'annonce des crues de Thury-Harcourt. 40
Tableau 3-5 : niveaux extrêmes marins au port de Ouistreham tenant compte d'une élévation à court terme de 20 cm. 41
Tableau 3-6 : niveaux extrêmes marins sur la zone d'étude. 41
Tableau 3-7 : hauteurs de houles estimées en pied d'ouvrage. 41
Tableau 3-8 : tableau de synthèse des sous-tronçon de la digue du canal maritime. 51
Tableau 3-9 : analyse fonctionnelle générale. 59
Tableau 3-10 : proposition de niveau de protection – Colombelles. 60
Tableau 3-11 : analyse fonctionnelle générale. 61
Tableau 3-12 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa marin. 62
Tableau 3-13 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa fluvial. 62
Tableau 4-1 : courant pendant un cycle de marée en Manche (GEOMER – MIMEL / DREAL de basse-Normandie, 2010). 65
Tableau 4-2 : transit sédimentaire le long des côtes normandes (EDF R&D - LCHF, 1986). 67
Tableau 4-3 : valeurs caractéristiques des marées à Ouistreham (source : RAM 2014). 72

Tableau 4-4 : niveau moyen marin à Ouistreham (source : RAM 2014). 72
Tableau 4-5 : marée du 6 novembre 2017 (coefficient 106) sur la zone d'étude (http://maree.info/). 72
Tableau 4-6 : vitesses de courant à la côte – au flot en haut, au jusant en bas. 73
Tableau 4-7 : évolution des isobathes dans l'estuaire de l'Orne entre 1880 et 1971 (Catalogue sédimentologique des côtes françaises). 76
Tableau 4-8 : évolution du trait de côte (ROLNP). 77
Tableau 4-9 : évolution du trait de côte sur la période 1966-2009 (PPRL). 77
Tableau 4-10 : schéma des mouvements sédimentaires aux abords du chenal de l'Orne (Catalogue sédimentologique des côtes françaises). 79
Tableau 4-11 : niveaux extrêmes marins au port de Ouistreham tenant compte d'une élévation à court terme de 20 cm. 80
Tableau 4-12 : rose des houles au point 75094 de la base HOMERE. 81
Tableau 4-13 : corrélogramme H_s/Dir au point 75094 de la base HOMERE. 81
Tableau 4-14 : caractéristiques des houles extrêmes au point 75094 de la base HOMERE. 82
Tableau 4-15 : corrélogramme H_s/T_p au point 75094 de la base HOMERE. 82
Tableau 4-16 : rose des vents au point 75094 de la base HOMERE. 83
Tableau 4-17 : niveaux extrêmes marins sur la zone d'étude. 84
Tableau 4-18 : zonage sismique de la France. 88
Tableau 4-19 : épicentre des séismes observés entre 1962 et 2009 à proximité de la zone d'étude. La couleur des points figure la magnitude du séisme (source : www.franceseisme.fr). 89
Tableau 4-20 : liste des tsunamis observés sur les côtes de Normandie. 89
Tableau 4-21 : tsunamis constatés sur les côtes de France. 90
Tableau 4-22 : liste de faux tsunamis sur les côtes de Normandie. 90
Tableau 5-1 : analyse fonctionnelle générale. 99
Tableau 5-2 : analyse fonctionnelle – Colombelles, sous-tronçon 1. 100
Tableau 5-3 : analyse fonctionnelle – Colombelles, sous-tronçon 2. 100
Tableau 5-4 : analyse fonctionnelle – Colombelles, sous-tronçon 3. 100
Tableau 5-5 : tableau de synthèse des sous-tronçon de la digue du canal maritime. 104
Tableau 5-6 : Analyse fonctionnelle générale - Digue du canal. 113
Tableau 5-7 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST1. 114
Tableau 5-8 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST2. 114
Tableau 5-9 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST3. 114
Tableau 5-10 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST4. 114
Tableau 5-11 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST5. 115
Tableau 5-12 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST6. 115
Tableau 5-13 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST7. 115
Tableau 5-14 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST8. 115

Tableau 5-15 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST9..... 116
Tableau 5-16 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST10..... 116
Tableau 5-17 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST11..... 116
Tableau 5-18 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST12..... 116
Tableau 5-19 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST13..... 117
Tableau 5-20 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST14..... 117
Tableau 5-21 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST15..... 117
Tableau 5-22 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST16..... 118
Tableau 5-23 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST17..... 118
Tableau 5-24 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST18..... 118
Tableau 5-25 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST19..... 119
Tableau 5-26 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST20..... 119
Tableau 5-27 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST21..... 119
Tableau 5-28 : analyse fonctionnelle générale 120
Tableau 5-29 : analyse fonctionnelle – perré de Ouistreham. 121
Tableau 5-30 : analyse fonctionnelle – perré d'Hermanville-sur-Mer. 121
Tableau 6-1 : caractéristiques des principales crues historiques. 124
Tableau 6-2 : vue aérienne de la dune de Colleville-Montgomery au droit du poste de secours en juillet 2006 (source : Google Earth®). 125
Tableau 6-3 : vues des inondations de la tempête Xynthia (Source : Dossier départemental des risques majeurs du Calvados – Juillet 2012). 128
Tableau 6-4 : vues des dégâts des ouvrages de la commune d'Asnelles suite à Xynthia. 129
Tableau 6-5 : extension de la submersion marine du 28 février 2010 à l'échelle parcellaire sur le littoral d'Asnelles (A) et de Ver-sur-Mer (B) – Source : Letortu 2013. 130
Tableau 6-6 : vues des dégâts liés à l'évacuation des eaux suite à Xynthia. 130
Tableau 6-7 : vues de l'événement de mars 2013 à Ver-sur-Mer et de ses conséquences. 132
Tableau 7-1 : localisation des tronçons constituant le système d'endiguement de Colombelles. . 134
Tableau 7-2 : schéma de la structure de la digue. 135
Tableau 7-3 : aperçus de la section courante de la digue (ISL, février 2021). 135
Tableau 7-4 : coupe-type de la digue avec le soutènement de berge 136
Tableau 7-5 : profil en long de la digue de Colombelles. 136
Tableau 7-6 : synthèse des investigations géotechniques on situ. 137
Tableau 7-7 : résultats des essais de perméabilité. 137
Tableau 7-8 : résultats des essais de perméabilité sur échantillon intact. 138
Tableau 7-9 : résultats des essais d'identification des sols. 138
Tableau 7-10 : résultats des essais de mécanique des sols. 139
Tableau 7-11 : synthèse des désordres – digue de Colombelles. 140

Tableau 7-12 : localisation des émissaires pluviaux. 141
Tableau 7-13 : clapet 1 (à gauche) et clapet 2 (à droite). 141
Tableau 7-14 : clapet 3 (à gauche) et clapet 4 (à droite). 142
Tableau 7-15 : clapet 5 (à gauche) et clapet 6 (à droite). 142
Tableau 7-16 : vue du merlon. 143
Tableau 7-17 : niveaux de terrains naturels en extrémité Nord du système d'endiguement. 144
Tableau 7-18 : Résultats des essais d'identification GTR. 171
Tableau 7-19 : Résultats des essais de cisaillement. 172
Tableau 7-20 : description des sous-tronçons de la digue de Ouistreham. 177
Tableau 7-21 : synthèse des désordres. 180
Tableau 7-22 : description des sous-tronçons de la digue d'Hermanville-sur-Mer. 183
Tableau 7-23 : synthèse des désordres. 188
Tableau 7-24 : largeur de la dune de Colleville-Montgomery pour différents niveaux altimétriques. 190
Tableau 7-25 : présentation de la méthode multi-scénario (*P* désigne la probabilité de rupture). 191
Tableau 7-26 : rappel des différents niveaux caractéristiques à définir. 191
Tableau 7-27 : approche à dire d'expert basée sur le retour d'expérience. 192
Tableau 7-28 : mécanisme de rupture par érosion externe côté terre. 192
Tableau 7-29 : grille de résistance à la surverse en fonction de la nature des ouvrages. 193
Tableau 7-30 : mécanisme de rupture par érosion interne. 194
Tableau 7-31 : gradients critiques d'érosion selon Bligh (1927) et Lane (1935). 195
Tableau 7-32 : appréciation du gradient moyen (H en m et L en m). 195
Tableau 7-33 : grille de résistance à l'érosion interne. 196
Tableau 7-34 : mécanisme de rupture par glissement. 196
Tableau 7-35 : mécanisme de rupture par érosion externe côté fleuve ou côté mer. 197
Tableau 7-36 : mécanisme de rupture par érosion externe côté terre. 198
Tableau 7-37 : grille de résistance aux franchissements en fonction de la nature des ouvrages. 199
Tableau 7-38 : scénarios de rupture et d'inondation – sous-système. 200
Tableau 7-39 : définitions des sollicitations – sous-système Colombelles. 200
Tableau 7-40 : probabilité de rupture par surverse. 201
Tableau 7-41 : facteurs correctifs appliqués. 202
Tableau 7-42 : probabilité de rupture par érosion interne. 203
Tableau 7-43 : correspondance entre facteur de sécurité et probabilité du glissement. 204
Tableau 7-44 : probabilité de rupture par glissement. 205
Tableau 7-45 : probabilité de rupture par érosion du pied de berge. 206
Tableau 7-46 : probabilité de rupture par érosion de la berge. 207
Tableau 7-47 : probabilité de rupture du mur en béton. 207

Tableau 7-48 : probabilité de rupture du mur (sous-tronçon 3). 207
Tableau 7-49 : probabilité de rupture sur le système d'endiguement de Colombelles. 208
Tableau 7-50 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le système d'endiguement de Colombelles. 209
Tableau 7-51 : scénarios de rupture et d'inondation – sous-système canal-littoral. 210
Tableau 7-52 : définitions des sollicitations – sous-système canal-littoral. 210
Tableau 7-53 : probabilité de rupture par surverse. 212
Tableau 7-54 : facteurs correctifs appliqués. 213
Tableau 7-55 : probabilité de rupture par érosion interne. 214
Tableau 7-56 : correspondance entre facteur de sécurité et probabilité du glissement. 215
Tableau 7-57 : probabilité de rupture par glissement côté terre 216
Tableau 7-58 : probabilité de rupture sur le système d'endiguement canal-littoral 218
Tableau 7-59 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le système d'endiguement canal-littoral. 219
Tableau 7-60 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le cordon dunaire. 221
Tableau 7-61 : proposition de niveau de protection – Colombelles. 221
Tableau 7-62 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa marin. 222
Tableau 7-63 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa fluvial. 222
Tableau 9-1 : entretien en période courante 247
Tableau 9-2 : niveau d'alerte en fonction du type d'évènement météorologique 248
Tableau 9-3 : synthèse de la conduite à tenir selon le niveau d'alerte. 250

RESUME NON TECHNIQUE

0 CHAPITRE 0 : RESUME NON TECHNIQUE

0.1 CONTEXTE DE LA DEMANDE

L'objet de cette note est de présenter les documents de l'autorisation unique environnementale de déclaration du système d'endiguement dit de Colombelles contre la submersion marine et du système d'endiguement dit Canal-littoral contre la submersion marine et les inondations de l'Orne.

Cette autorisation a pour objet de déclarer les deux systèmes d'endiguement pour la protection contre les submersions marines et les inondations de l'Orne.

Cette autorisation répond à l'article R562-13 du Code de l'Environnement.

0.2 LE DEMANDEUR

La loi du 27 janvier 2014 de Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles (MAPTAM) délègue la compétence GEMAPI aux intercommunalités.

La Communauté Urbaine Caen la mer (CUCLM) a pris en charge la compétence Gemapi pour la prévention des inondations et la gestion du trait de côte au 1er janvier 2018.

La Communauté Urbaine Caen la mer (CUCLM) est donc le demandeur de la présente autorisation.

0.3 LA DEMANDE DE DECLARATION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

La CUCLM a identifié sur son territoire plusieurs ouvrages de protection contre les inondations de l'Orne et contre les submersions marines devant être classés en systèmes d'endiguement. Ces ouvrages peuvent être regroupés en systèmes d'endiguement (ou sous-systèmes) :

- Colombelles ;
- Canal-littoral ;
- Montalivet ;
- Caffarelli ;
- Caen-Prairie ;
- Fleury-sur-Orne ;
- Louvigny.

La présente demande concerne l'autorisation de deux systèmes d'endiguement, celui dit de colombelles et celui dit Canal-littoral.

Les autres systèmes d'endiguement feront l'objet d'une demande d'autorisation distincte portée par le Syndicat Mixte de Lutte Contre les Inondations (SMLCI).

0.3.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT COLOMBELLES

La digue de Colombelles, qui constitue l'ouvrage principal du système d'endiguement, a été classée au titre de la sécurité des ouvrages hydrauliques en classe C.

Pour protéger le territoire contre les submersions marines, le nouveau système de protection est défini par trois tronçons d'ouvrage :

- La digue de Colombelles, pour un linéaire d'environ 345 ml ;
- Le merlon de fermeture, pour un linéaire de 5 ml ;
- Le mur de fermeture, pour un linéaire de 5 ml.

Des ouvrages annexes, ou contributifs, sont présents pour assurer le bon fonctionnement du système ; ce sont 3 exutoires du réseau d'eaux pluviales qui assurent l'évacuation des eaux de pluies dans la zone protégée. Ces 3 exutoires sont munis de clapets anti-retour pour éviter le reflux des eaux de l'Orne maritime.

Ce système a pour vocation de protéger un territoire contre les submersions marines ; il est appelé **« zone protégée ».**

La zone protégée définie s'étend sur 5 200 m^2 sur la commune de Colombelles. Elle correspond aux terrains qui pourraient être inondés si l'on considérait l'absence de digues. La population exposée est estimée à 20 personnes dans cette zone, il s'agit de résidents permanents.

La carte suivante présente cette zone protégée et les ouvrages du système de protection.

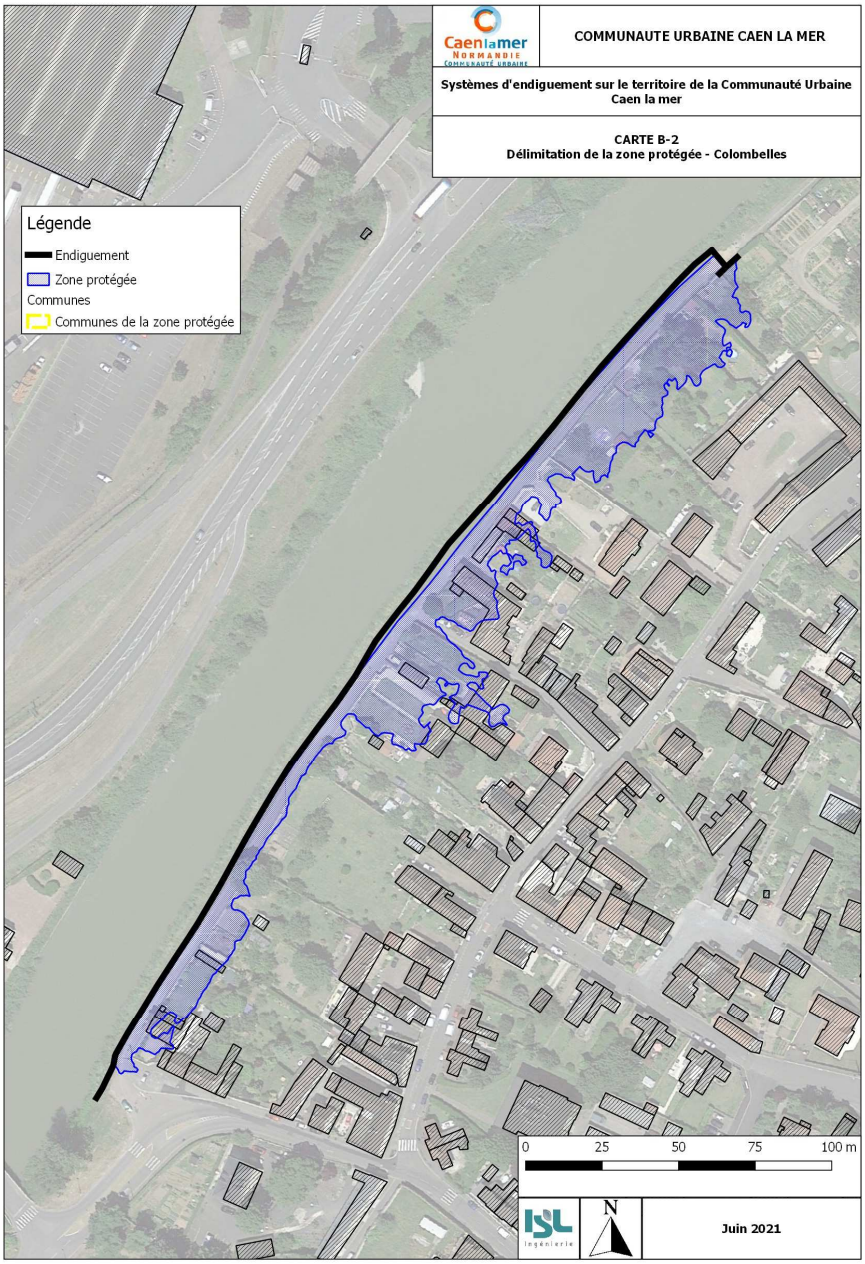


Figure 0-1 : carte des ouvrages du système de protection et de la zone protégée.

Le gestionnaire du système d'endiguement, la Communauté Urbaine Caen la mer, s'engage à assurer la surveillance et l'entretien des ouvrages intégrant le système. Il est propriétaire des ouvrages, ou bien a reçu la délégation pour assurer ses missions.

La CUCLM s'appuie sur la commune de Colombelles pour assurer la surveillance des ouvrages. Les différents protocoles sont définis dans des consignes de surveillance.

Avec la déclaration en système d'endiguement, le gestionnaire s'engage sur un niveau de protection. C'est-à-dire qu'il définit un niveau marin jusqu'auquel les digues sont en mesure d'empêcher toute submersion d'origine maritime. Si ce niveau est dépassé, cela veut dire que la mer peut passer sur les digues et inonder la zone protégée, ou qu'il y a un risque de rupture d'une digue.

Dans ce cas, le gestionnaire informe les mairies qui assurent l'alerte des personnes selon les mesures définies dans le Plan Communal de Sauvegarde (PCS).

0.3.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL

La digue du canal de Caen à la mer, qui constitue l'ouvrage principal du système d'endiguement, a été classée au titre de la sécurité des ouvrages hydrauliques en classe C.

Les perrés d'Hermanville-sur-Mer et de Ouistreham ont également été classés au titre de la sécurité des ouvrages hydrauliques, tous deux en classe B. Ces deux ouvrages sont intégrés au système d'endiguement en tant qu'ouvrages contributifs.

La digue dite du « terminal ferry » a été classée au titre de la sécurité des ouvrages hydrauliques en classe B. Cette digue n'est pas intégrée dans le présent système d'endiguement dans la mesure où elle ne joue aucun rôle contre les submersions marines. Un courrier de demande de déclassement a été envoyé par la CU Caen la mer à la préfecture du Calvados.

Pour protéger le territoire contre les submersions marines et les inondations de l'Orne, le nouveau système de protection s'appuie sur un ouvrage principal et deux éléments naturels :

- La digue du canal maritime[1], pour un linéaire d'environ 13 835 ml ;
- Le « tertre[2] » de Ouistreham, incluant les terre-pleins portuaires ;
- Le cordon dunaire qui s'étende depuis Hermanville-sur-Mer jusqu'au port de Ouistreham.

De nombreux ouvrages annexes, ou contributifs, sont présents pour assurer le bon fonctionnement du système ; ce sont :

- Les ouvrages de protection littorale : perré d'Hermanville-sur-Mer, perré de Ouistreham, épis des plages d'Hermanville-sur-Mer, Colleville-Montgomery et Ouistreham ;
- Les ouvrages exutoires pluviaux : 2 ouvrages sont situés en front de mer, 3 ouvrages sont situés dans la digue du canal maritime et 3 siphons passent sous le canal maritime ;
- Les ouvrages de régulation du fossé de ligne : 4 vannes permettent de « cloisonner » la zone protégée qui s'étend en rive gauche du canal ;
- Les ouvrages de gestion du canal : 5 ouvrages principaux assurent la gestion des niveaux d'eau dans le canal, il s'agit du barrage de Montalivet, des portes de L'Orne, de la vanne Victor Hugo, du barrage du Maresquier et des écluses de Ouistreham.

[1] La « digue du canal maritime » est indifféremment dénommée « digue du canal de Caen à la mer » ou « digue Ouest du canal de Caen à la mer ».
[2] Le terme « tertre » est utilisé pour désigner des terrains sur-élevés sur une largeur suffisante pour former un « îlot » au milieu de terrains bas.

Ce système a pour vocation de protéger un territoire contre les submersions marines et les inondations de l'Orne ; il est appelé **« zone protégée ».** Deux zones protégées sont délimitées, l'une pour l'aléa marin, l'autre pour l'aléa fluvial.

La zone protégée « globale » définie s'étend sur 4,9 km^2 sur les communes de :

- Bénouville ;
- Biéville-Beuville ;
- Blainville-sur-Orne ;
- Caen ;
- Colleville-Montgomery ;
- Hermanville-sur-Mer ;
- Hérouville-Saint-Clair ;
- Mondevillle ;
- Ouistreham.

Elle correspond aux terrains qui pourraient être inondés si l'on considérait l'absence de digues. La population exposée est estimée à plus de 4 000 personnes dans cette zone, principalement situés sur la frange littorale.

La carte suivante présente cette zone protégée et les ouvrages du système de protection.

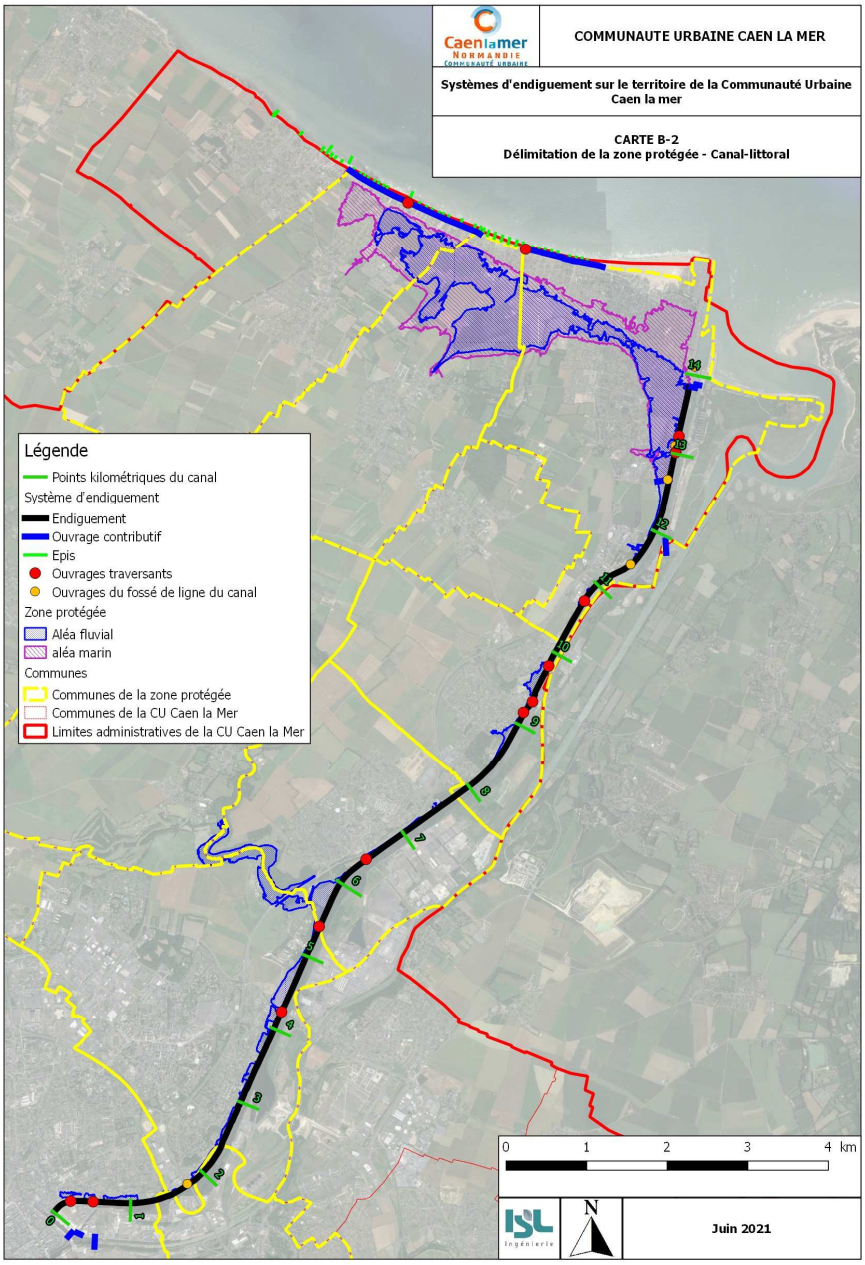


Figure 0-2 : carte des ouvrages du système de protection et de la zone protégée.

Le gestionnaire du système d'endiguement, la Communauté Urbaine Caen la mer, s'engage à assurer la surveillance et l'entretien des ouvrages intégrant le système. Il est propriétaire des ouvrages, ou bien a reçu la délégation pour assurer ses missions.

Le gestionnaire a décidé de confier la gestion courante du perré d'Hermanville-sur-Mer à l'ASA d'Hermanville-sur-Mer avec laquelle il a conventionné.

Il a également confié la gestion et la surveillance de la digue du canal maritime à Ports Normands avec qui il a conventionné.

La CUCLM s'appuie également sur les communes pour assurer la surveillance des ouvrages. Les différents protocoles sont définis dans des consignes de surveillance.

Avec la déclaration en système d'endiguement, le gestionnaire s'engage sur un niveau de protection. C'est-à-dire qu'il définit un niveau marin jusqu'auquel les digues sont en mesure d'empêcher toute submersion d'origine maritime ou toute inondation d'origine fluviale. Si ce niveau est dépassé, cela veut dire que la mer ou le fleuve peut passer sur les digues et inonder la zone protégée, ou qu'il y a un risque de rupture d'une digue.

Dans ce cas, le gestionnaire informe les mairies qui assurent l'alerte des personnes selon les mesures définies dans le Plan Communal de Sauvegarde (PCS).

Ce système de protection repose également sur la bonne résistance du cordon dunaire. Ceux-ci ne sont pas des ouvrages construits par l'homme sur lequel le gestionnaire peut s'engager. Il est vérifié que les cordons dunaires, dans leur état actuel, assurent un niveau de garantie au moins équivalent aux ouvrages. Le gestionnaire s'engage dans leur surveillance (notamment dans la surveillance des ouvrages annexes de lutte contre l'érosion littorale) pour être en mesure d'informer les services de l'Etat en cas d'évolution défavorable ne permettant plus d'assurer le niveau de protection du système.

0.4 LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE PROTECTION

0.4.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

Le niveau de protection retenue par le gestionnaire est défini par un niveau statique marin mesurable au niveau du marégraphe du port de Ouistreham.

Ce niveau est défini à 4,6 mNGF, qui correspond à un évènement de tempête de période de retour environ 50 ans.

Le tableau suivant précise la définition de ce niveau de protection :

Colombelles	
Lieu de mesure	Marégraphe du port de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	4,6 mNGF
Niveau de protection au droit des ouvrages	4,7 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement marin de **niveau cinquantennal** en tenant compte du changement climatique à court terme (+20 cm)
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 0-1 : proposition de niveau de protection – Colombelles.

Pour des niveaux marins inférieurs à ce niveau de protection, aucune venue d'eau n'est observée dans la zone protégée.

En cas de défaillances des ouvrages annexes au système de protection (clapets du réseau pluvial), des venues d'eau sont possibles. L'ensemble de la zone protégée peut être inondée par des venues d'eau qualifiées de non dangereuses.

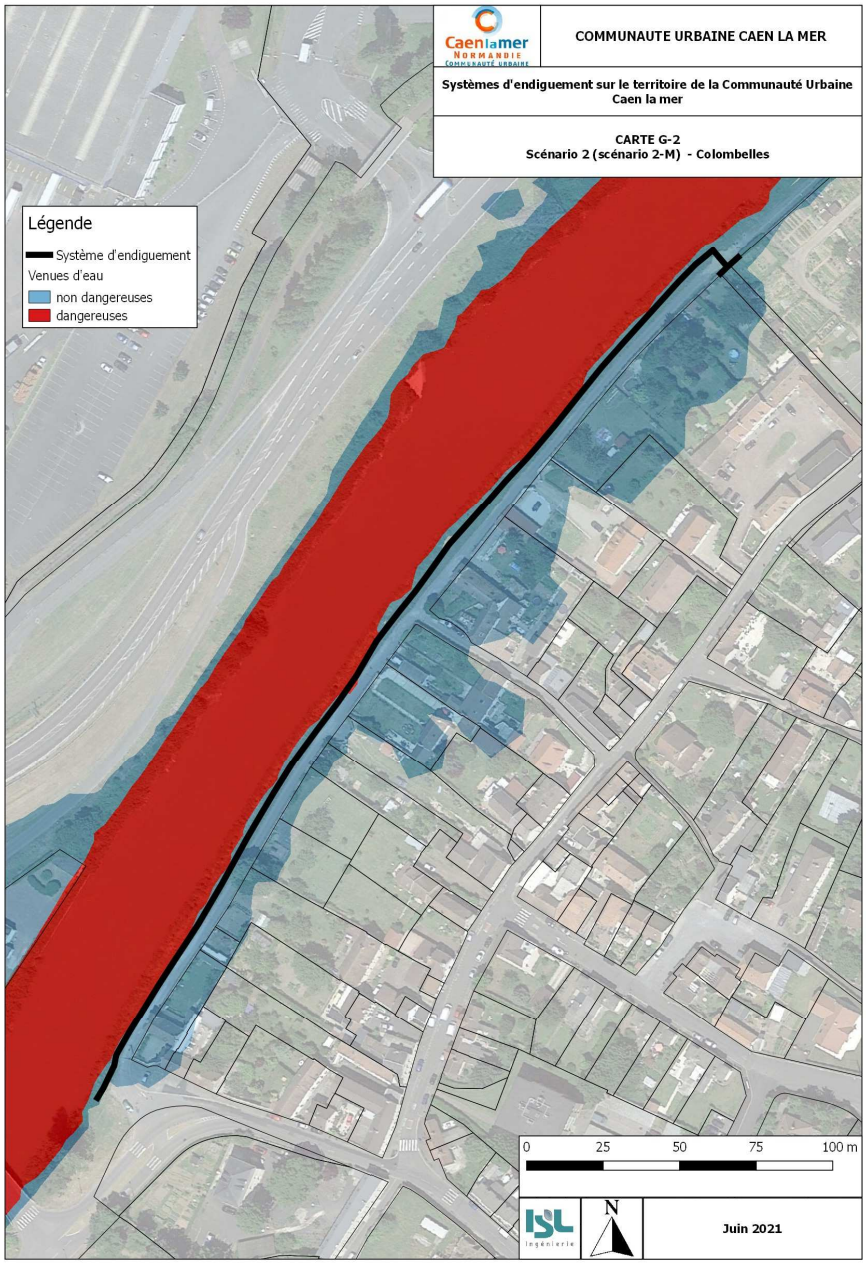


Figure 0-3 : carte des venues d'eau possibles jusqu'au niveau de protection et avec défaillances des ouvrages annexes.

Pour un évènement supérieur au niveau de protection, la résistance des ouvrages n'est plus assurée. Il a été modélisé une rupture au niveau de la digue de Colombelles. Les venues d'eau concernent l'ensemble de la zone protégée et même au-delà. La localisation et les dimensions de la brèche ont un impact négligeable sur l'étendue des venues d'eau : elles ont un impact uniquement sur la localisation et l'intensité des fortes vitesses en arrière de la brèche.

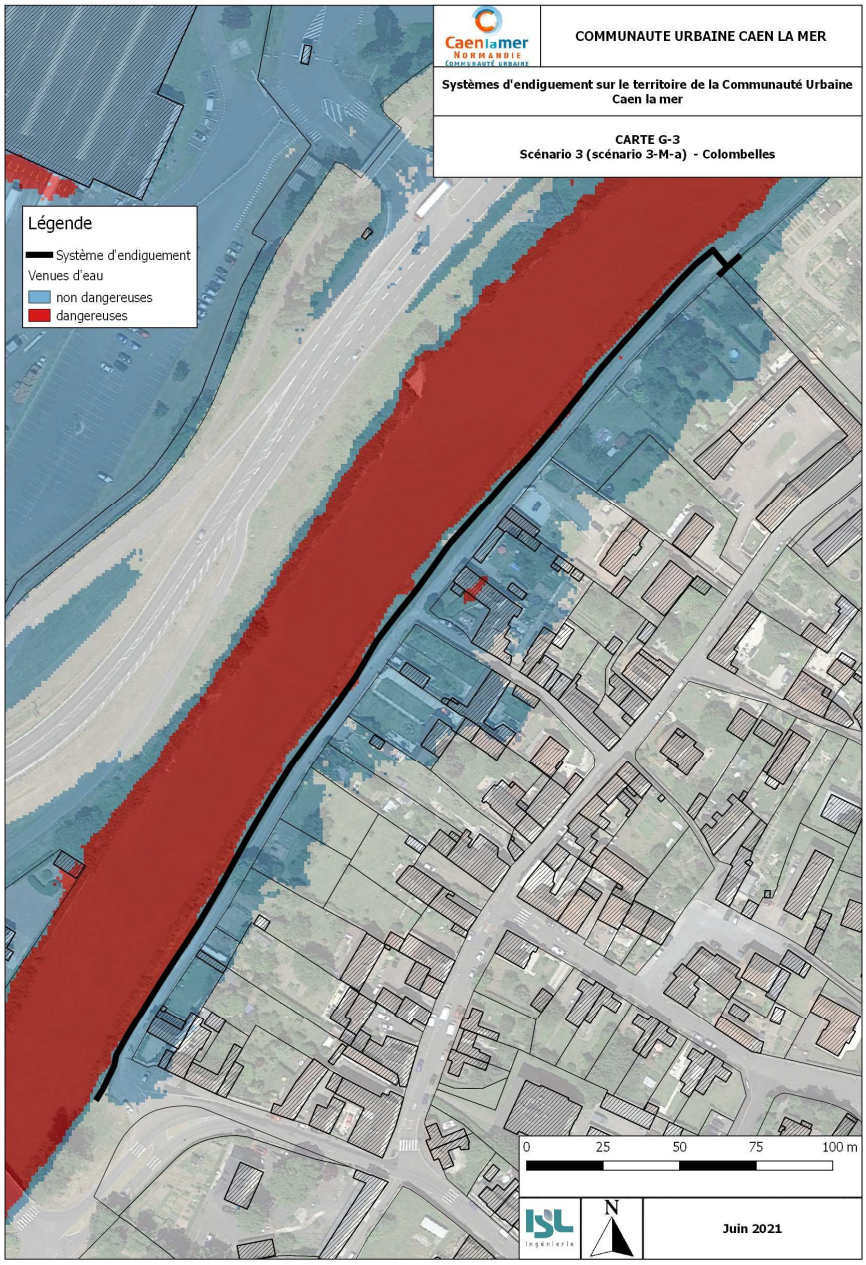


Figure 0-4 : carte des venues d'eau possibles au-delà du niveau de protection et avec rupture des ouvrages.

Le gestionnaire de l'ouvrage, la CUCLM, assure la surveillance et la gestion du système en période normale et en période de tempête.

Dans la mesure où le niveau marin dépasse le niveau de protection, la CUCLM alerte la mairie de Colombelles afin de déclencher le plan communal de sauvegarde (PCS).

0.4.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

Deux niveaux de protection sont retenus par le gestionnaire.

Le niveau de protection associé à l'aléa marin est défini par un niveau statique marin mesurable au niveau du marégraphe du port de Ouistreham.

Ce niveau est défini à 4,7 mNGF, qui correspond à un évènement de tempête de période de retour environ 100 ans.

Le tableau suivant précise la définition de ce niveau de protection :

Canal-Littoral – aléa marin	
Lieu de mesure	Marégraphe du port de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	4,7 mNGF
Niveau de protection au droit des ouvrages	5,0 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement marin de **niveau centennal** en tenant compte du changement climatique à court terme (+20 cm)
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 0-2 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa marin.

Le niveau de protection associé à l'aléa fluvial est défini par un niveau statique du canal mesurable au niveau de l'échelle située en amont des écluses de Ouistreham.

Ce niveau est défini à 8,3 mCM (4,2 mNGF), qui correspond à un évènement de crue de période de retour environ 100 ans.

Le tableau suivant précise la définition de ce niveau de protection :

Canal-Littoral – aléa fluvial	
Lieu de mesure	Echelle amont écluse de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	8,3 mCM
Niveau de protection au droit des ouvrages	4,2 à 4,4 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement fluvial de période de retour **centennale**
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 0-3 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa fluvial.

Pour des niveaux inférieurs à ces niveaux de protection, aucune venue d'eau n'est observée dans la zone protégée.

En cas de défaillances des ouvrages annexes au système de protection (clapets du réseau pluvial), des venues d'eau sont possibles. Plusieurs scénarios ont été simulés. Deux scénarios conduisent à des entrées d'eau dangereuses dans la zone protégée :

- L'ouverture brusque des portes des écluses lors d'un évènement marin centennal : ce scénario conduit à des surverses sur la digue du canal maritime, le niveau marin dépassant le point bas de la crête de la digue ;
- La défaillance du barrage du Maresquier qui est maintenu en position fermée : ce scénario conduit à une surverse quasi généralisée sur l'ensemble de la digue du canal et à une inondation de l'ensemble de la zone protégée.

L'ensemble de la zone protégée peut être inondée par des venues d'eau pouvant être dangereuses, notamment dans le cas du scénario avec défaillance du barrage du Maresquier.

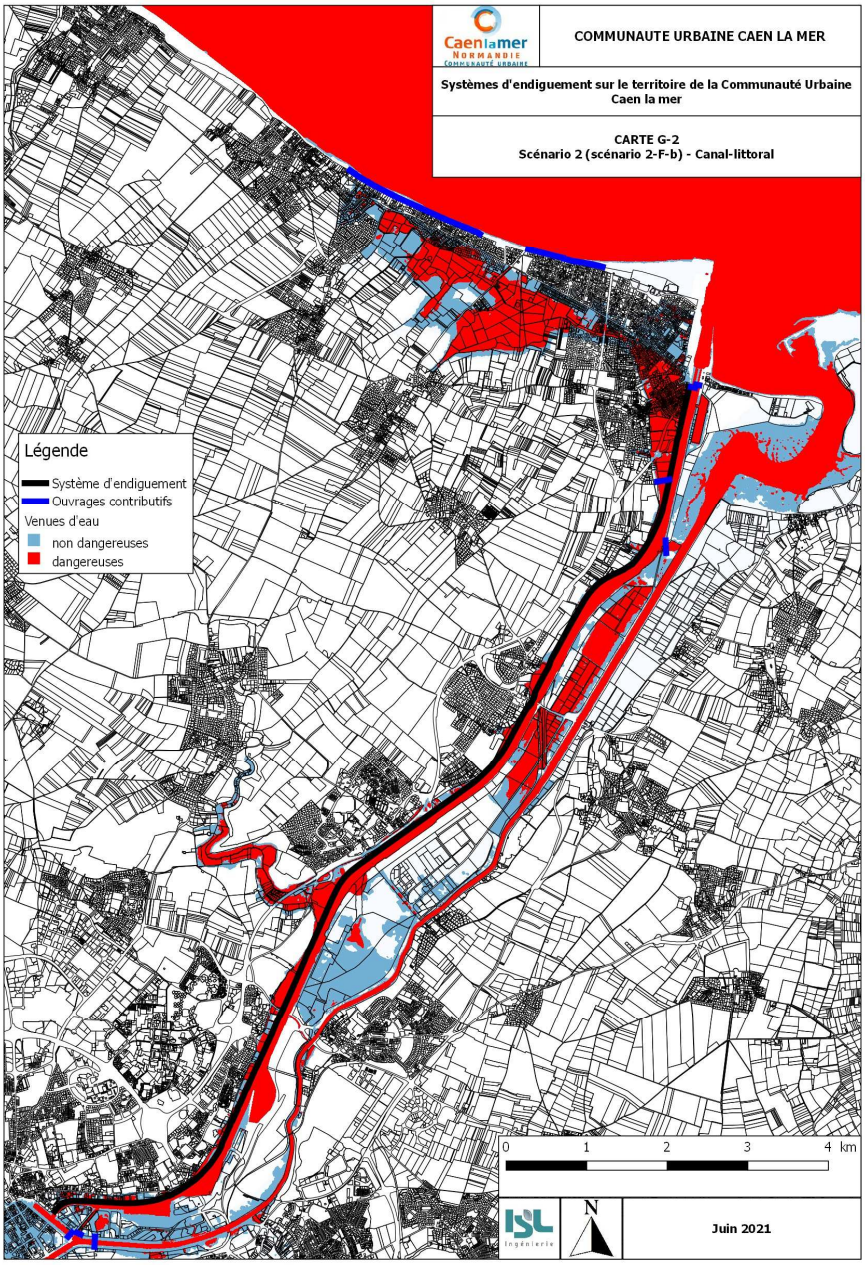


Figure 0-5 : carte des venues d'eau possibles jusqu'au niveau de protection et avec défaillances du barrage du Maresquier.

Pour un évènement supérieur au niveau de protection, la résistance des ouvrages n'est plus assurée. Il a été modélisé une rupture au niveau de la digue du canal au droit du camping des Pommiers à Ouistreham. Les venues d'eau concernent une partie de la zone protégée à Ouistreham.

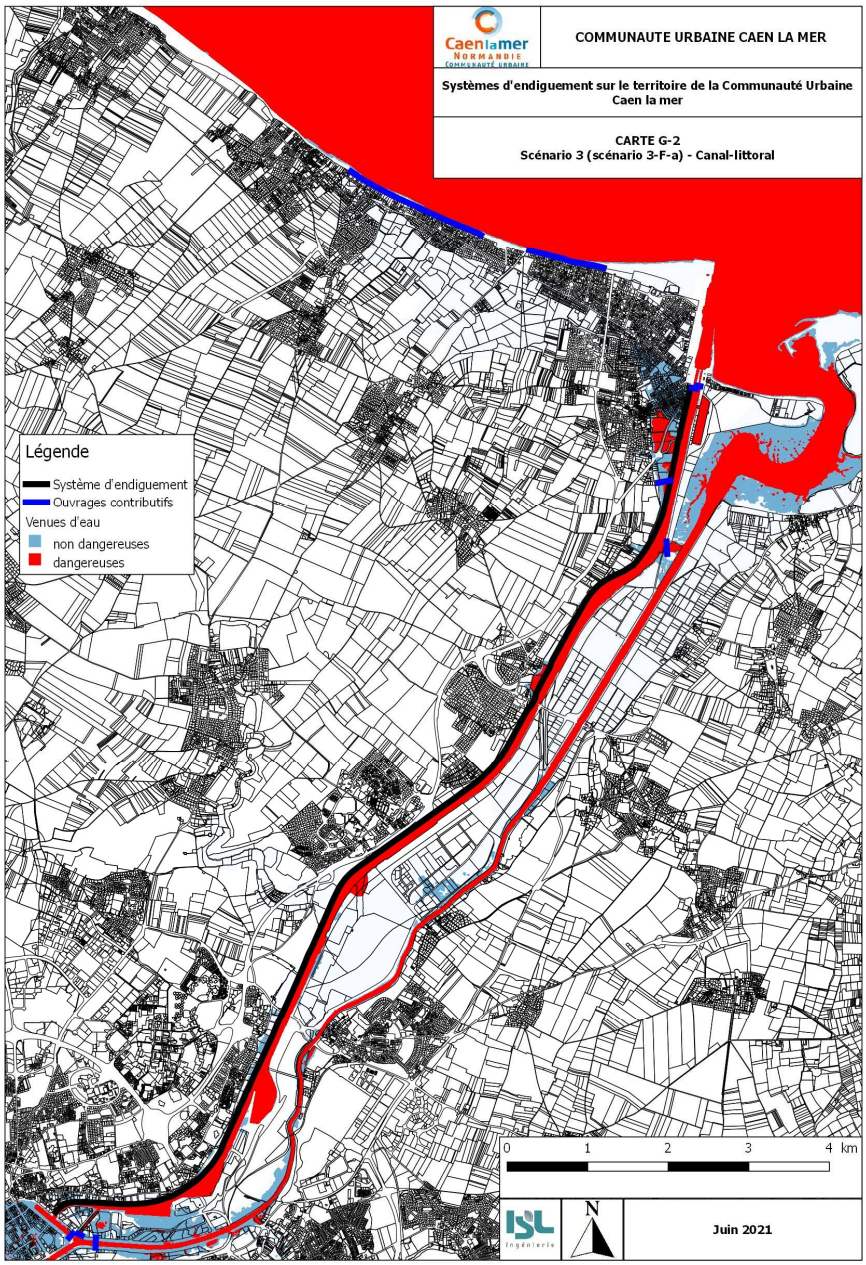


Figure 0-6 : carte des venues d'eau possibles au-delà du niveau de protection et avec rupture des ouvrages.

Aucun scénario de défaillance structurelle du cordon dunaire n'est envisagé : compte tenu de la largeur du cordon, la formation d'une brèche dans ce cordon dunaire ressort comme très improbable.

Le gestionnaire de l'ouvrage, la CUCLM, assure la surveillance et la gestion du système en période normale et en période de tempête.

Dans la mesure où les niveaux dépassent le niveau de protection, la CUCLM alerte les mairies afin de déclencher le plan communal de sauvegarde (PCS).

DOCUMENT A : PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

1 CHAPITRE 1 : RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

1.1 IDENTIFICATION DU GESTIONNAIRE

1.1.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES

Le système d'endiguement de Colombelles est constitué des ouvrages répertoriés dans le Tableau 1-1 :

Identifiant	Type	Propriétaire / gestionnaire
Digue de Colombelles	Endiguement	Commune / Caen la mer
Merlon de fermeture	Endiguement	Commune / Caen la mer
Muret de fermeture	Endiguement	Commune / Caen la mer

Tableau 1-1 : éléments constituant le système d'endiguement – Colombelles.

La classe associée à ce système d'endiguement est la **classe C**.

1.1.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL

Le système d'endiguement Canal-littoral est constitué des ouvrages répertoriés dans le Tableau 1-2 :

Identifiant	Type	Propriétaire / gestionnaire
Digue du canal de Caen à la mer	Endiguement	Ports Normands
Cordon dunaire	Elément naturel	Commune / Caen la mer
Digue d'Hermanville-sur-Mer	Ouvrage contributif	ASA d'Hermanville-sur-Mer Caen la mer
Digue de Ouistreham	Ouvrage contributif	Commune / Caen la mer
Epis des plages d'Hermanville à Ouistreham	Ouvrage contributif	Commune / Caen la mer
Digue du camping des Pommiers	Ouvrage contributif	Commune / Caen la mer

Tableau 1-2 : éléments constituant le système d'endiguement – Canal-littoral.

Les Tableau 1-3, Tableau 1-4 et Tableau 1-5 répertorient l'ensemble des ouvrages régulant les niveaux d'eau dans et autour de la zone protégée :

Identifiant	Type	Propriétaire / gestionnaire
Emissaire d'Hermanville-sur-Mer	Système de régulation	Commune / Caen la mer
Emissaire de Colleville-Montgomery	Système de régulation	Commune / Caen la mer

Tableau 1-3 : ouvrages de régulation du niveau du marais de Colleville (front de mer).

Identifiant	Type	Propriétaire / gestionnaire
Vanne Blanchisseries	Système de régulation	Ports Normands
Vanne Beauregard	Système de régulation	Ports Normands
Vanne et pompe de Blainville	Système de régulation	Ports Normands
Siphon Victor Hugo	Système de régulation	Ports Normands
Siphon pont de Colombelles	Système de régulation	Ports Normands
Siphon de Bénouville	Système de régulation	Ports Normands
Vanne Calix	Système de régulation	Ports Normands
Vanne Maresquier	Système de régulation	Ports Normands
Vanne des Pommiers	Système de régulation	Commune / Caen la mer
Vanne Guillotine	Système de régulation	Ports Normands

Tableau 1-4 : ouvrages de régulation du fossé de ligne.

Identifiant	Type	Propriétaire / gestionnaire
Vanne secteur Portes de l'Orne	Système de régulation	SMLCI
Ecluses de Ouistreham	Système de régulation	Ports Normands
Barrage Montalivet	Système de régulation	Ports Normands
Vanne secteur Victor Hugo	Système de régulation	SMLCI
Vanne secteur Maresquier	Système de régulation	SMLCI

Tableau 1-5 : ouvrages de régulation des niveaux du canal de Caen à la mer.

Les ouvrages du SMLCI sont gérés par Ports Normands.

La classe associée à ce système d'endiguement est la **classe B**.

1.1.3 GESTIONNAIRE IDENTIFIE

Le gestionnaire identifié pour ces deux systèmes d'endiguement :

Communauté urbaine Caen la mer
16, rue Rosa Parks
CS52700
14027 CAEN Cedex 9

1.2 IDENTIFICATION DE L'ORGANISME AGREE

L'étude de dangers pour l'ensemble des ouvrages ci-dessus nommés a été réalisée par :

ISL Ingénierie, établissement de Paris
75, boulevard Mac Donald
75 019 PARIS
Tél : 01 55 26 99 99 – Fax : 01 40 34 63 36

Arrêté d'agrément du bureau d'études :

« Arrêté du 15 février 2018 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ».

1.3 RAPPEL DES AUTORISATIONS EXISTANTES

1.3.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES

La digue de Colombelles est classée au titre du décret 2007-1735 du 11 décembre 2007 sur la sécurité des ouvrages hydrauliques :

Identification de l'ouvrage	**Digue de Colombelles – Tronçons 140246**
Gestionnaire de l'ouvrage	Communauté Urbaine Caen la mer
Communes	Colombelles
Longueur	411 ml
Arrêté de Classement	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 04 juillet 2014
Décision de classement	Classe C

Tableau 1-6 : renseignements administratifs – Digue de Colombelles.

L'arrêté préfectoral de classement de la digue de Colombelles est présenté en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

1.3.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL

Parmi les ouvrages constituant le système d'endiguement canal-littoral, trois sont classés au titre du décret 2007-1735 du 11 décembre 2007 sur la sécurité des ouvrages hydrauliques :

Identification de l'ouvrage	Digue de Ouistreham – Tronçon 140161
Gestionnaire de l'ouvrage	Communauté Urbaine Caen la mer
Commune	Ouistreham
Longueur	945 ml
Arrêté de Classement	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 18 juillet 2012
Décision de classement	Classe B

Tableau 1-7 : renseignements administratifs – Digue de Ouistreham.

Identification de l'ouvrage	Digue d'Hermanville-sur-Mer – Tronçons 140158 et 140159
Gestionnaires de l'ouvrage	Communauté Urbaine Caen la mer (tronçon 140158) ASA d'Hermanville-sur-Mer (tronçon 140159)
Communes	Lion-sur-Mer et Hermanville-sur-Mer
Longueur	Tronçon 140158 : 55 ml Tronçon 140159 : 1705 ml
Arrêté de Classement	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 24 avril 2012
Décision de classement	Classe B

Tableau 1-8 : renseignements administratifs – Digue d'Hermanville-sur-Mer.

Identification de l'ouvrage	Digue du canal berge Ouest – Tronçons 140228 à 140241
Gestionnaire de l'ouvrage	Ports Normands Associés
Commune	Ouistreham, Bénouville, Blainville-sur-Orne, Hérouville-Saint-Clair, Mondeville, Caen
Longueur	13 290 ml au total
Arrêté de Classement	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 21 mai 2012
Décision de classement	Classe C

Tableau 1-9 : renseignements administratifs – Digue du canal berge Ouest.

Les arrêtés préfectoraux de classement sont présentés en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

1.4 DATE DE REMISE OFFICIELLE DE L'EDD AU PREFET

1.5 AUTRES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES (ARTICLE R 562-18)

Sans objet

2 OBJET DE L'ETUDE

La présente étude de dangers traite de deux systèmes d'endiguements gérés par la Communauté Urbaine Caen la mer.

2.1 CADRE DANS LEQUEL L'EDD EST REALISEE

Le cadre de l'étude de dangers est identique pour les deux systèmes d'endiguement soumis à autorisation :

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.	
☒ cas 1	Autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui constitue la pièce n°5 mentionnée à l'article R.214-6-VI, est conforme aux dispositions de l'article 2 de l'arrêté du 7 avril 2017.
☐ cas 2	Modification d'un système d'endiguement, avec travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, 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 fait partie du dossier de demande d'autorisation, 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 arrêté préfectoral de prescription complémentaire en application de l'article 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 2-1 : cadre de l'étude de dangers.

2.2 LISTE DES COMMUNES CONCERNEES PAR LA ZONE PROTEGEE ET SES EVENTUELLES SOUS-PARTIES

2.2.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES

La zone protégée s'étend sur les territoires des communes suivantes :

Commune	Code INSEE	Superficie protégée par le système d'endiguement
Colombelles	14 167	5 200 m²

Tableau 2-2 : liste des communes concernées par la zone protégée.

La commune de Colombelles est située dans le département du Calvados, région Normandie.

2.2.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL

La zone protégée s'étend sur les territoires des communes suivantes :

Commune	Code INSEE	Superficie protégée par le système d'endiguement
Bénouville	14 060	0,09 km²
Biéville-Beuville	14 068	0,04 km²
Blainville-sur-Orne	14 076	0,26 km²
Caen	14 118	0,05 km²
Colleville-Montgomery	14 168	1,47 km²
Hermanville-sur-Mer	14 325	0,75 km²
Hérouville-Saint-Clair	14 327	0,36 km²
Mondeville	14 437	0,01 km²
Ouistreham	14 488	1,84 km²

Tableau 2-3 : liste des communes concernées par la zone protégée.

Toutes ces communes sont situées dans le département du Calvados, région Normandie.

2.3 LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE ET DE SES EVENTUELLES SOUS PARTIES

2.3.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES

La zone protégée s'étend en totalité sur la commune de Colombelles. Elle est délimitée sur la Figure 2-1 :

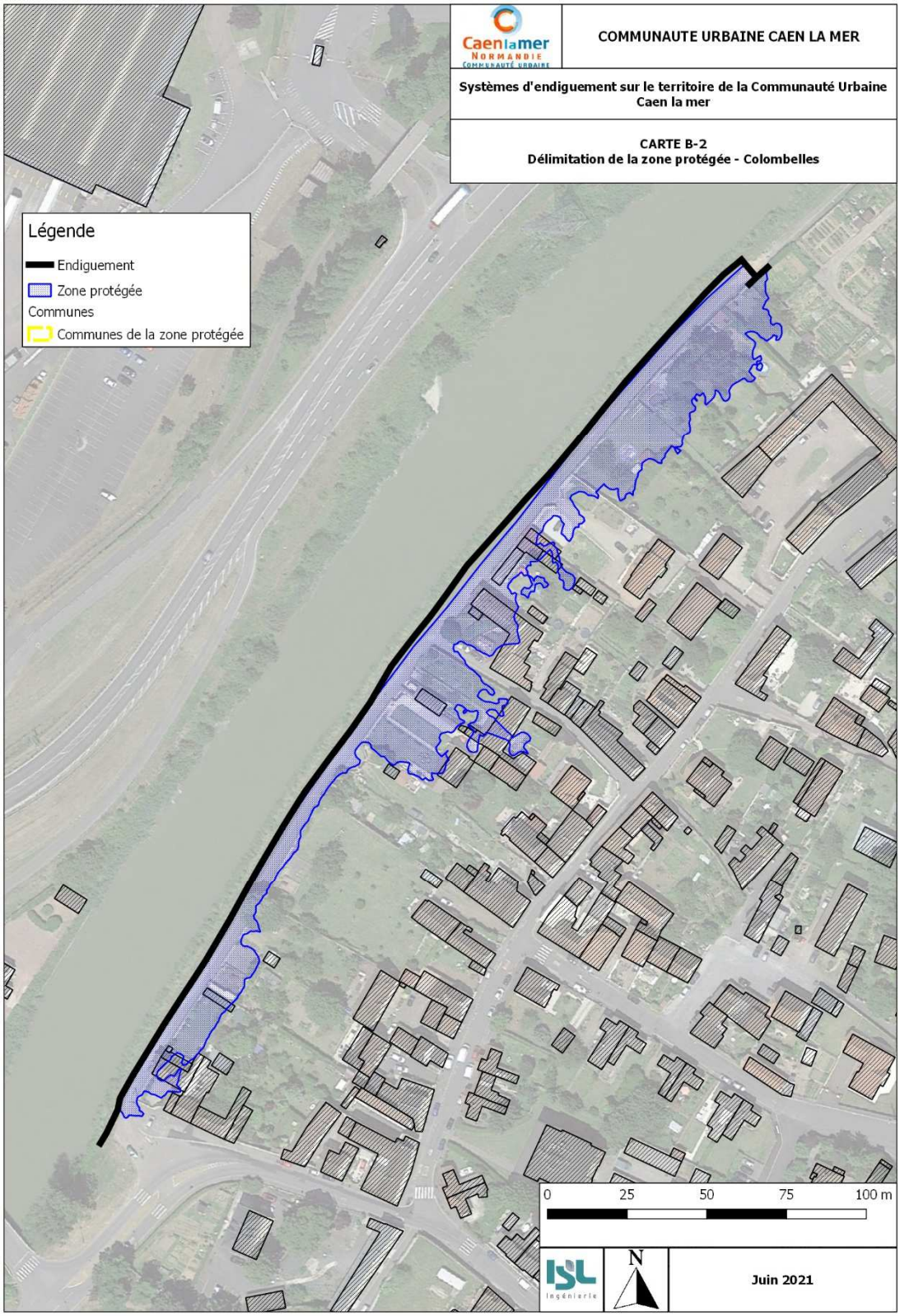


Figure 2-1 : délimitation de la zone protégée – Colombelles.

2.3.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL

La zone protégée par le système d'endiguement Canal-littoral s'étend sur 9 communes :

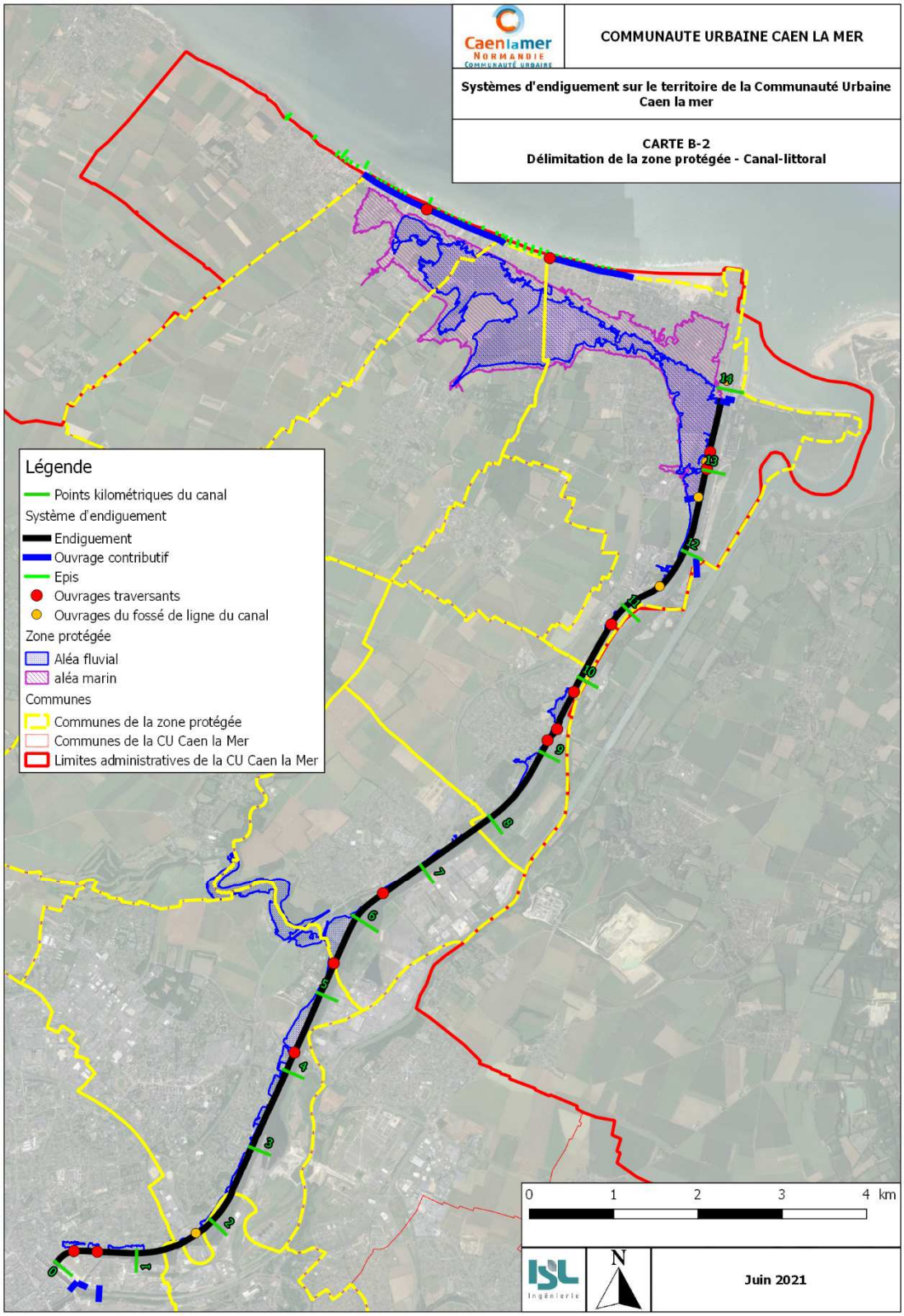


Figure 2-2 : délimitation de la zone protégée – Canal-littoral.

2.4 LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES

2.4.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES

2.4.1.1 Localisation

Les ouvrages constituant le système d'endiguement de Colombelles sont localisés sur la Figure 2-3 et la Figure 2-4 :

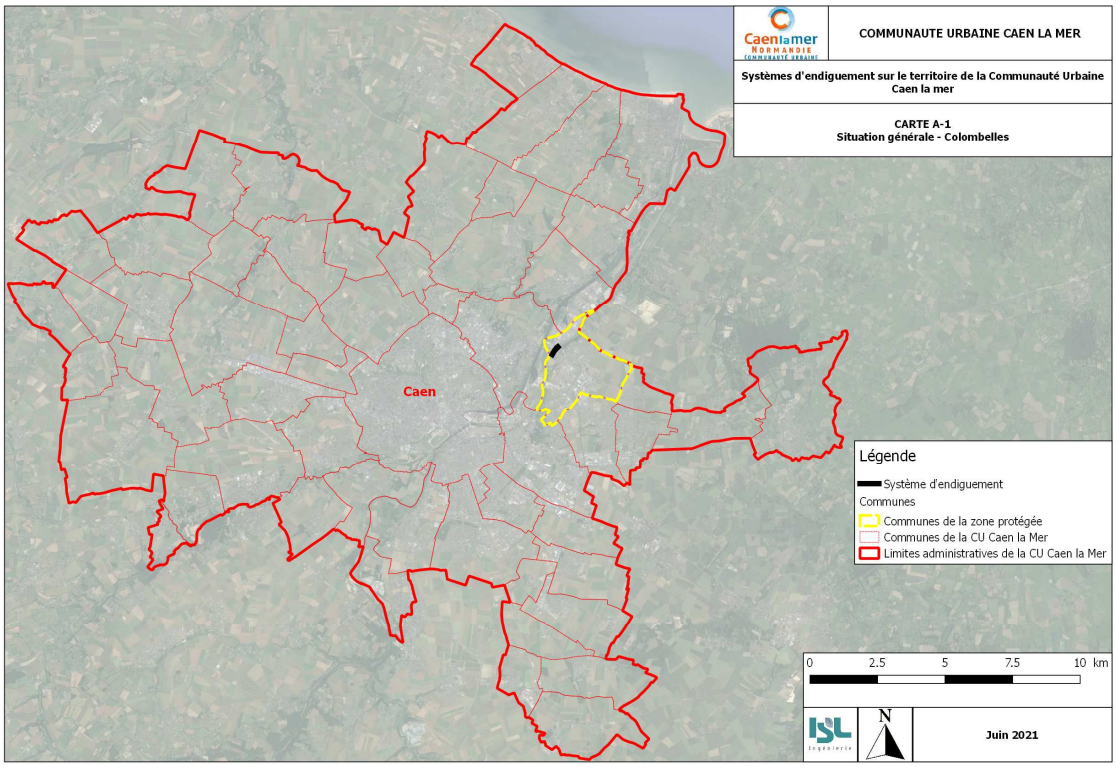


Figure 2-3 : carte de situation générale des ouvrages constituant le système d'endiguement.

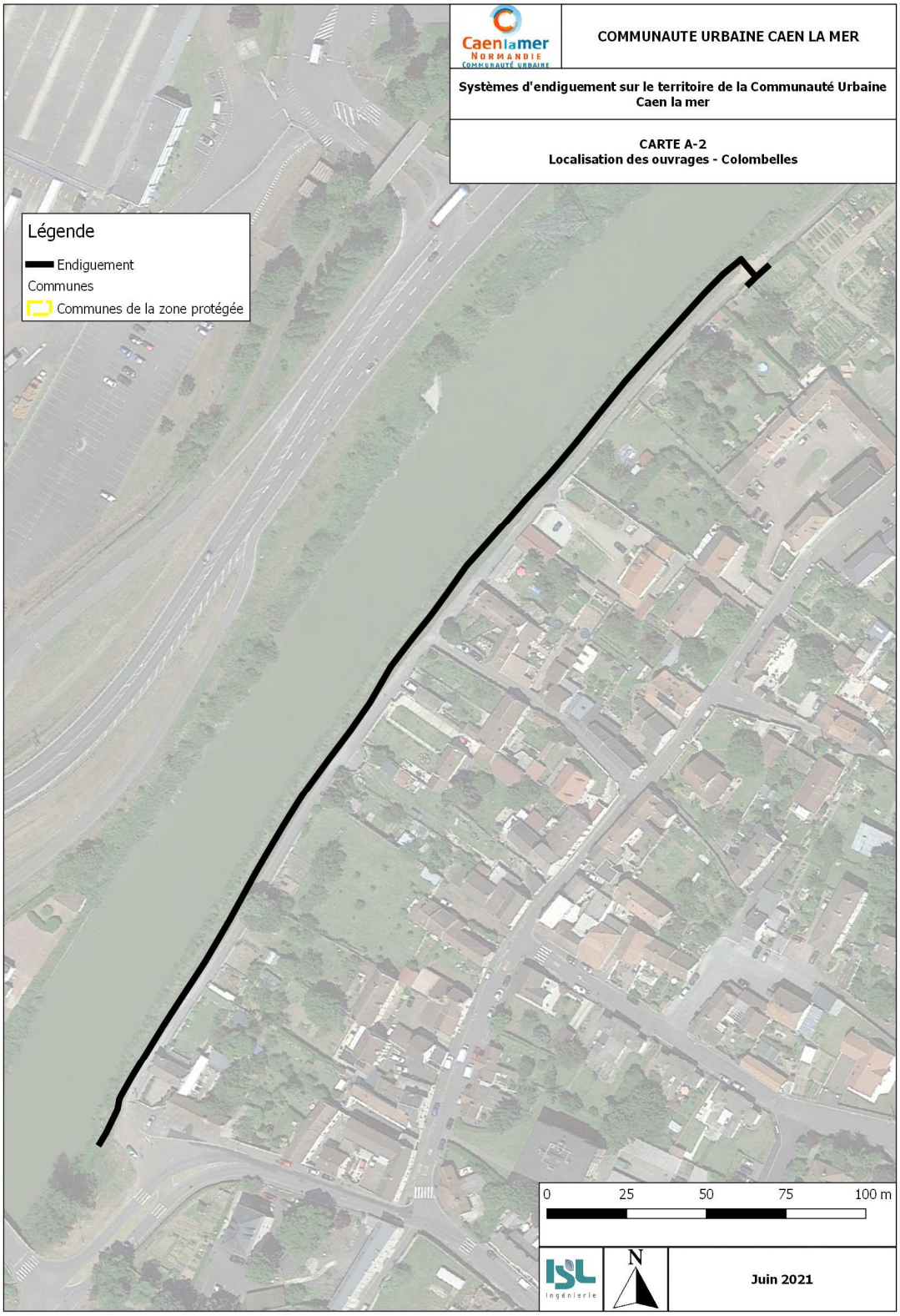


Figure 2-4 : carte de localisation des ouvrages constituant le système d'endiguement.

2.4.1.2 Description sommaire des ouvrages

Digue de Colombelles

La digue de Colombelles est un merlon en remblai édifié sur la berge en rive droite de l'Orne maritime, le long du chemin de halage.

La longueur du merlon est d'environ 410 ml, sa hauteur sur le terrain naturel est au maximum de 1 m.

Merlon de fermeture

Le merlon de fermeture est un ouvrage en remblai compacté établi en 2019 en travers du chemin de halage afin d'assurer la fermeture aval du système d'endiguement et la continuité du niveau de crête.

Mur de fermeture

Le merlon s'appuie côté jardin sur un mur en béton construit pour l'occasion. Ce mur assure la fermeture aval du système d'endiguement.

Emissaire pluvial

L'émissaire pluvial est constitué d'une conduite EP équipée d'un clapet anti-retour.

La conduite ne traverse pas le remblai de la digue de Colombelles mais passe dans le terrain de fondation.

2.4.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL

2.4.2.1 Localisation

Les ouvrages constituant le système d'endiguement Canal-littoral sont localisés sur les Figure 2-5 et Figure 2-6 :

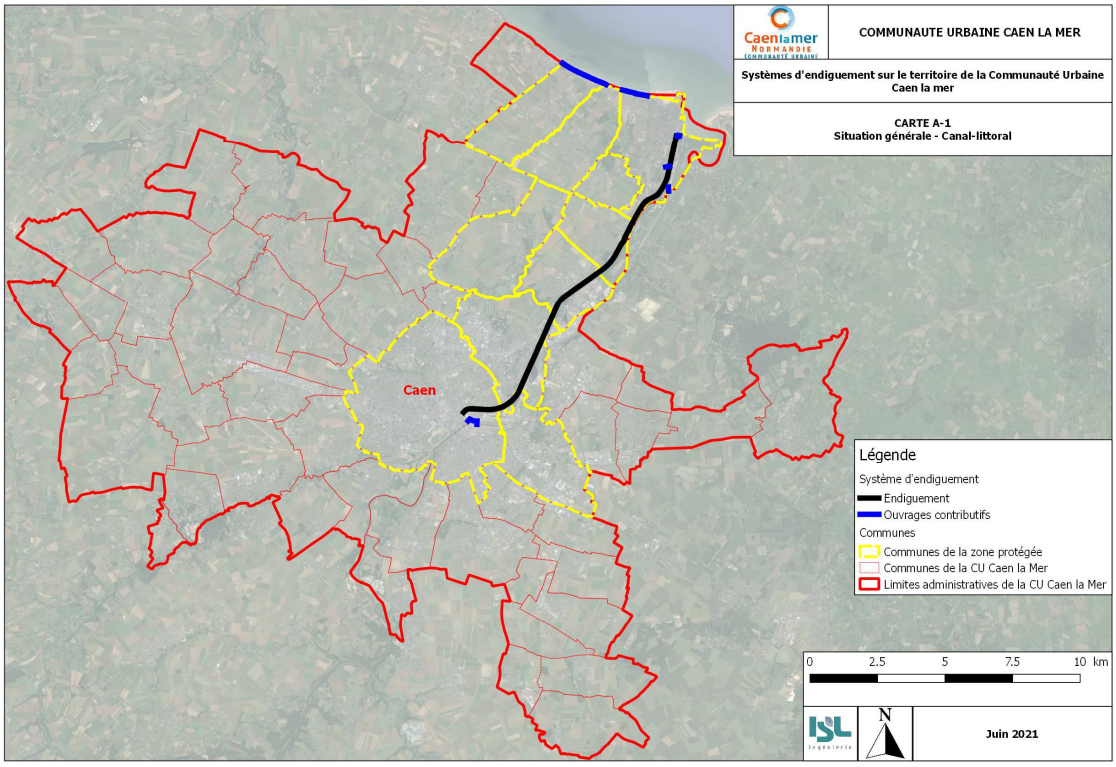


Figure 2-5 : carte de situation générale des ouvrages constituant le système d'endiguement.

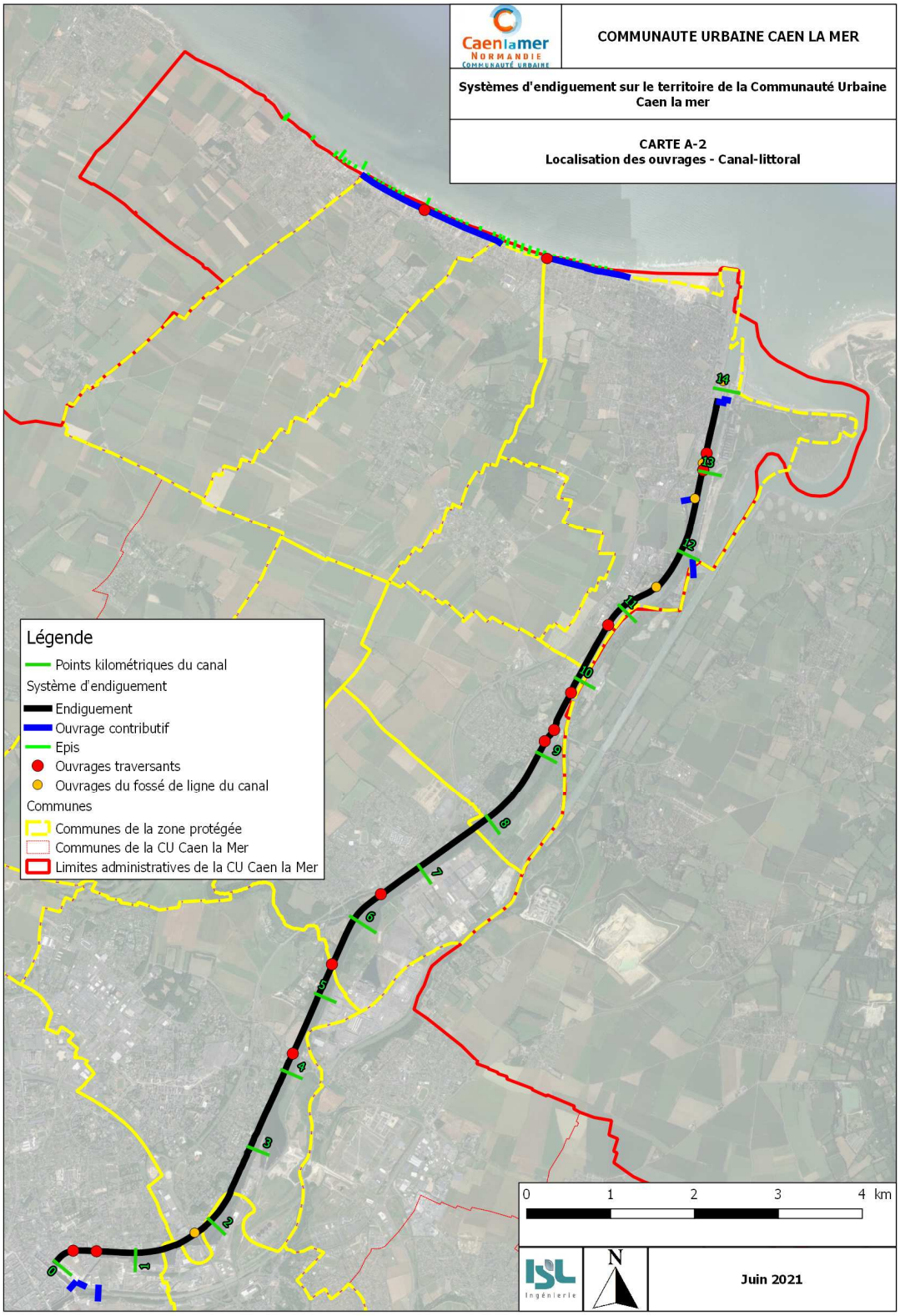


Figure 2-6 : carte de localisation des ouvrages constituant le système d'endiguement.

2.4.2.2 Description sommaire des ouvrages

L'ouvrage principal du système d'endiguement est la digue du canal de Caen à la mer.

La digue du canal de Caen à la mer s'étend sur près de 1' km en rive gauche du canal maritime. Elle a été établie au moment du creusement du canal par réemploi des matériaux de déblais.

La digue est constituée en remblai, de profil variable. Pour les besoins de l'étude, son linéaire a été décomposé en 21 sous-tronçons.

La longueur totale est d'environ 13 835 ml. Les coordonnées géographiques des extrémités sont les suivantes :

- Extrémité 1 : X = 455 631 m – Y = 6 903 334 (Lambert 93) ;
- Extrémité 2 : X = 463 510 m – Y = 6 913 606 (Lambert 93).

Les éléments naturels assurant la fermeture du système sont :

- Le « tertre » constitué par les terrains naturels et les terre-pleins portuaire à Ouistreham ;
- Le massif dunaire en front de mer.

Le système d'endiguement compte de nombreux ouvrages contributifs :

- Perrés d'Hermanville-sur-Mer et Ouistreham qui assurent la protection du cordon dunaire contre l'érosion ;
- Epis des plages d'Hermanville-sur-Mer, Colleville-Montgomery et Ouistreham qui assurent le maintien d'un niveau de plage suffisamment élevé ;
- Les émissaires d'Hermanville-sur-Mer et Colleville-Montgomery qui assurent la régulation des niveaux d'eau dans les marais arrière-littoraux de Colleville ;
- Les ouvrages traversants de la digue du canal de Caen à la mer ;
- Les ouvrages de régulation du fossé de ligne ;
- Les ouvrages de régulation des niveaux dans le canal de Caen à la mer.

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

3.1 ZONE PROTEGEE

3.1.1 SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE COLOMBELLES

3.1.1.1 Cartographies

La Figure 3-1 et la Figure 3-2 resituent la zone protégée au sein du territoire de la Communauté Urbaine Caen la mer.

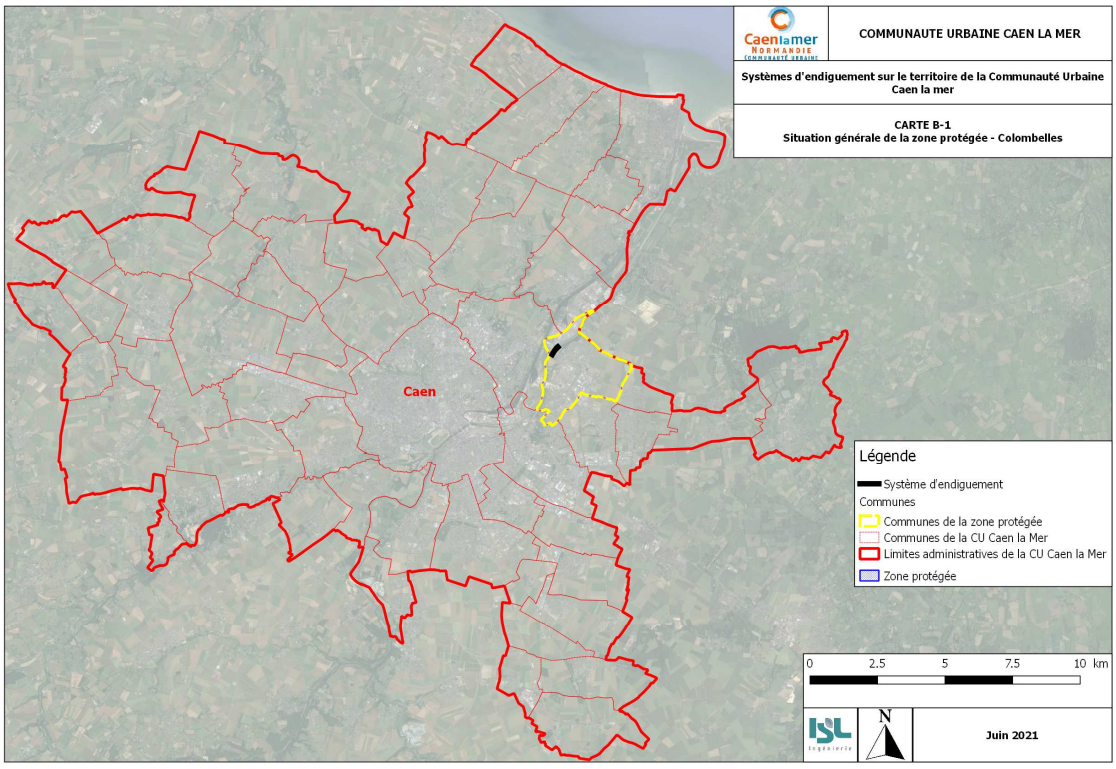


Figure 3-1 : limites administratives de la Communauté urbaine Caen la mer et situation de la zone protégée au sein du territoire de Caen la mer.

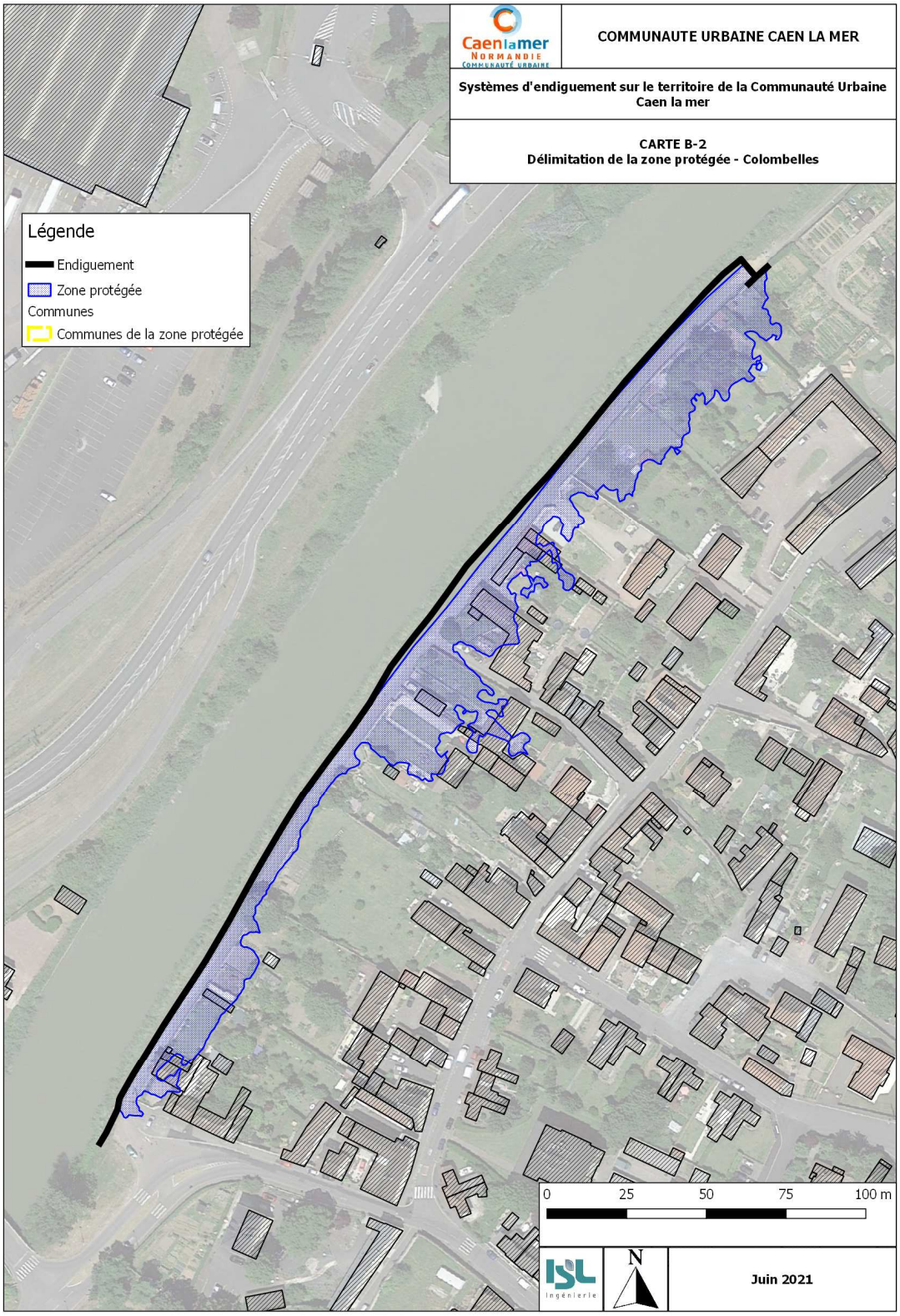


Figure 3-2 : délimitation de la zone protégée.

3.1.1.2 Communes de la zone protégée

La zone protégée s'étend totalement sur la commune de Colombelles.

3.1.1.3 Communes relevant de l'autorité compétente pour la prévention des inondations

Au moment de la rédaction de la présente étude de dangers, plusieurs gestionnaires interviennent sur des ouvrages constituant le système d'endiguement.

Néanmoins, la compétence GEMAPI sur le secteur d'étude est assurée par la Communauté Urbaine Caen la mer. Au moment de la rédaction de la présente étude de dangers, la Communauté Urbaine Caen la mer compte 50 communes listées au Tableau 3-1 :

Commune	INSEE	Commune	INSEE	Commune	INSEE
Authie	14030	Éterville	14254	Rocquancourt	14538
Bénouville	14060	Fleury-sur-Orne	14271	Rosel	14542
Biéville-Beuville	14068	Le Fresne-Camilly	14288	Rots	14543
Blainville-sur-Orne	14076	Garcelles-Secqueville	14294	Saint-Aignan-de-Cramesnil	14554
Bourguébus	14092	Giberville	14301	Saint-André-sur-Orne	14556
Thue-et-Mue	14098	Grentheville	14319	Saint-Aubin-d'Arquenay	14558
Bretteville-sur-Odon	14101	Hermanville-sur-Mer	14325	Saint-Contest	14566
Caen	14118	Hérouville-saint-Clair	14327	Saint-Germain-la-Blanche-Herbe	14587
Cairon	14123	Hubert-Folie	14339	Saint-Manvieu-Norrey	14610
Cambes-en-plaine	14125	Ifs	14341	Soliers	14675
Carpiquet	14137	Lion-sur-Mer	14365	Thaon	14685
Colleville-Montgomery	14166	Louvigny	14383	Tilly-la-Campagne	14691
Colombelles	14167	Mathieu	14407	Tourville-sur-Odon	14707
Cormelles-le-Royal	14181	Mondeville	14437	Saline	14712
Cuverville	14215	Mouen	14454	Verson	14738
Démouville	14221	Ouistreham	14488	Villons-les-Buissons	14758
Épron	14242	Périers-sur-le-Dan	14495		

Tableau 3-1 : liste des communes de la Communauté Urbaine Caen la mer.

3.1.1.4 Définition de la zone protégée

La zone protégée est définie par l'ensemble des terrains situés en dessous de la cote altimétrique du niveau de protection retenu, à savoir la cote 4,7 mNGF.

La zone protégée est limitée par la remontée du coteau.

La carte suivante présente une estimation de la population résidente dans la zone protégée basée sur le carroyage INSEE.

Peu de bâtiments sont situés en tout ou partie dans la zone protégée.

La population protégée est ainsi estimée à environ 20 personnes.

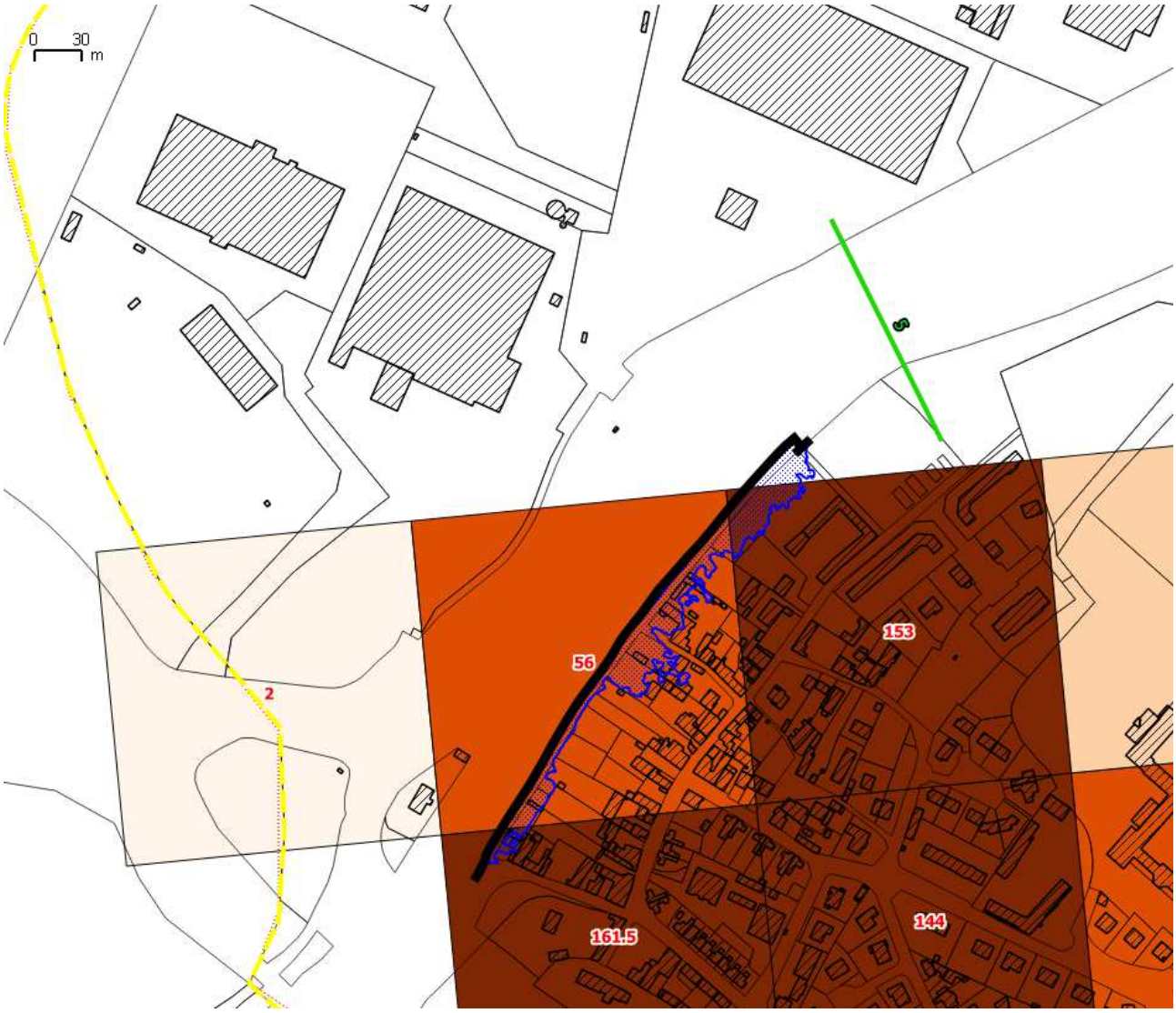


Figure 3-3 : enjeux habitats et populations dans la zone protégée.

3.1.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT CANAL-LITTORAL

3.1.2.1 Cartographies

La Figure 3-5 et la Figure 3-4 resituent la zone protégée au sein du territoire de la Communauté Urbaine Caen la mer.

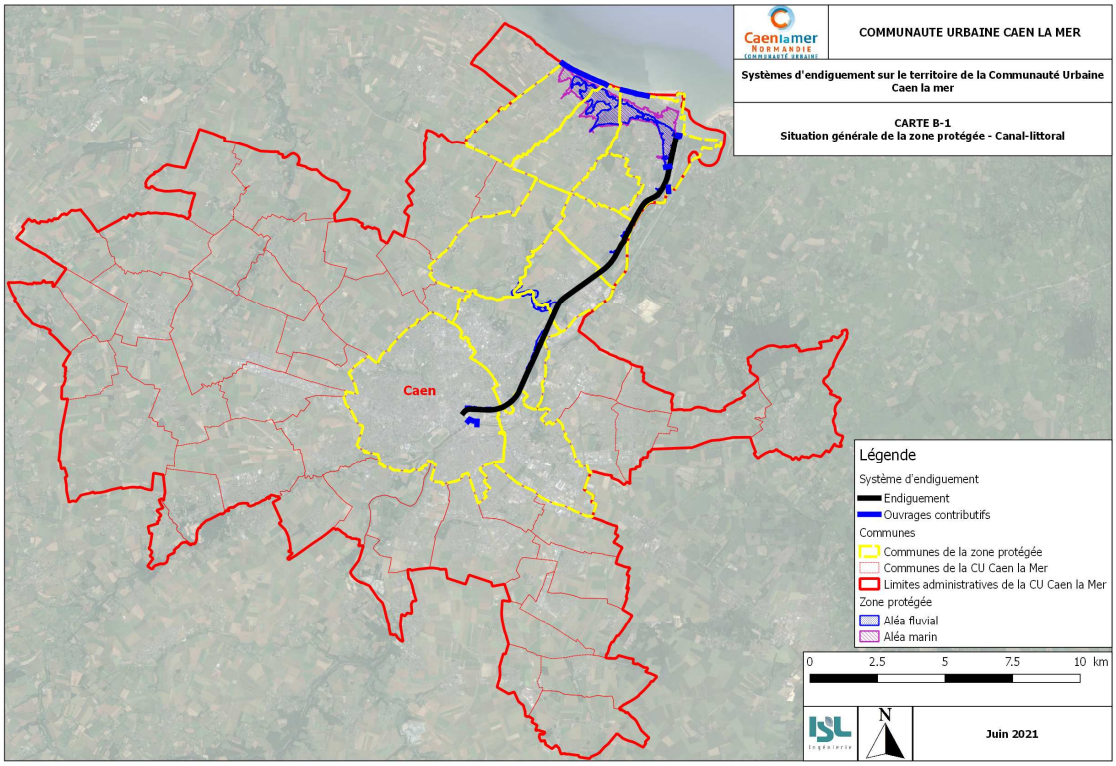


Figure 3-4 : limites administratives de la Communauté urbaine Caen la mer et situation de la zone protégée au sein du territoire de Caen la mer.

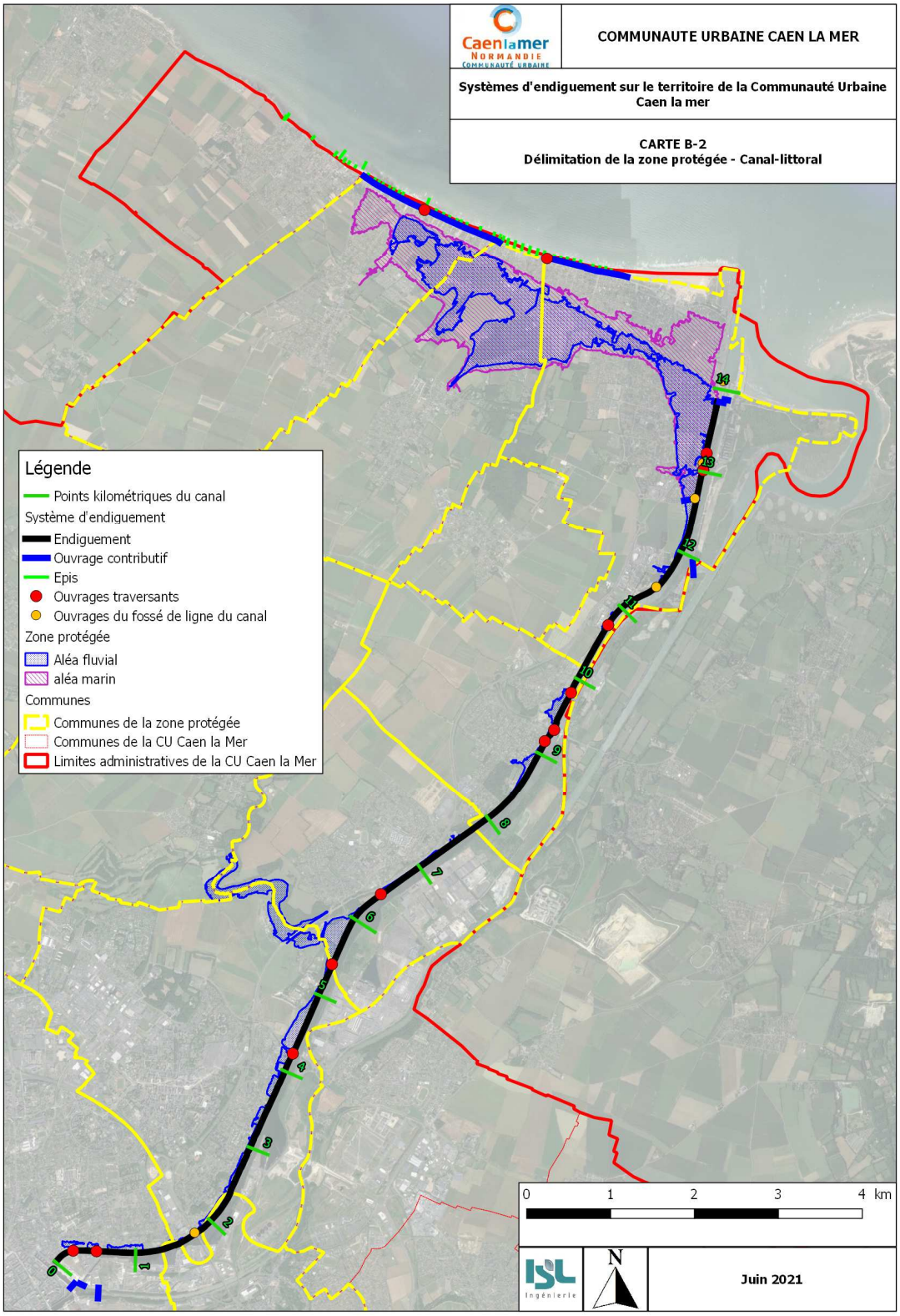


Figure 3-5 : délimitation de la zone protégée.

3.1.2.2 Communes de la zone protégée

La zone protégée s'étend sur neuf communes :

- Bénouville ;
- Biéville-Beuville ;
- Blainville-sur-Orne ;
- Caen ;
- Colleville-Montgomery ;
- Hermanville-sur-Mer ;
- Hérouville-Saint-Clair ;
- Mondevillle ;
- Ouistreham.

3.1.2.3 Communes relevant de l'autorité compétente pour la prévention des inondations

Au moment de la rédaction de la présente étude de dangers, plusieurs gestionnaires interviennent sur les ouvrages constituant le système d'endiguement.

Néanmoins, la compétence GEMAPI sur le secteur d'étude est assurée par la Communauté Urbaine Caen la mer.

Au moment de la rédaction de la présente étude de dangers, la Communauté Urbaine Caen la mer compte 50 communes listées au Tableau 3-1 :

Commune	INSEE	Commune	INSEE	Commune	INSEE
Authie	14030	Éterville	14254	Rocquancourt	14538
Bénouville	14060	Fleury-sur-Orne	14271	Rosel	14542
Biéville-Beuville	14068	Le Fresne-Camilly	14288	Rots	14543
Blainville-sur-Orne	14076	Garcelles-Secqueville	14294	Saint-Aignan-de-Cramesnil	14554
Bourguébus	14092	Giberville	14301	Saint-André-sur-Orne	14556
Thue-et-Mue	14098	Grentheville	14319	Saint-Aubin-d'Arquenay	14558
Bretteville-sur-Odon	14101	**Hermanville-sur-Mer**	**14325**	Saint-Contest	14566
Caen	14118	**Hérouville-saint-Clair**	14327	Saint-Germain-la-Blanche-Herbe	14587
Cairon	14123	Hubert-Folie	14339	Saint-Manvieu-Norrey	14610
Cambes-en-plaine	14125	Ifs	14341	Soliers	14675
Carpiquet	14137	Lion-sur-Mer	14365	Thaon	14685
Colleville-Montgomery	**14166**	Louvigny	14383	Tilly-la-Campagne	14691
Colombelles	14167	Mathieu	14407	Tourville-sur-Odon	14707
Cormelles-le-Royal	14181	**Mondeville**	14437	Saline	14712
Cuverville	14215	Mouen	14454	Verson	14738
Démouville	14221	**Ouistreham**	**14488**	Villons-les-Buissons	14758
Épron	14242	Périers-sur-le-Dan	14495		

Tableau 3-2 : liste des communes de la Communauté Urbaine Caen la mer.

3.1.2.4 Définition de la zone protégée

La zone protégée est définie par l'ensemble des terrains situés en dessous de la cote altimétrique du niveau de protection retenu. Sur le secteur littoral, le niveau de protection correspond au niveau marin de 5,1 mNGF. Le long du canal, le niveau de protection correspond à un niveau variant de 4,4 mNGF à l'amont à 4,2 mNGF à l'aval compte tenu de la pente de la ligne d'eau dans le canal en crues.

La zone protégée est limitée par la remontée du coteau.

Les cartes suivantes présentent une estimation de la population résidente dans la zone protégée basée sur le carroyage INSEE, dans les secteurs les plus urbanisés.

La population protégée est ainsi estimée à environ 4000 personnes dont la grande majorité est localisée sur le front de mer.

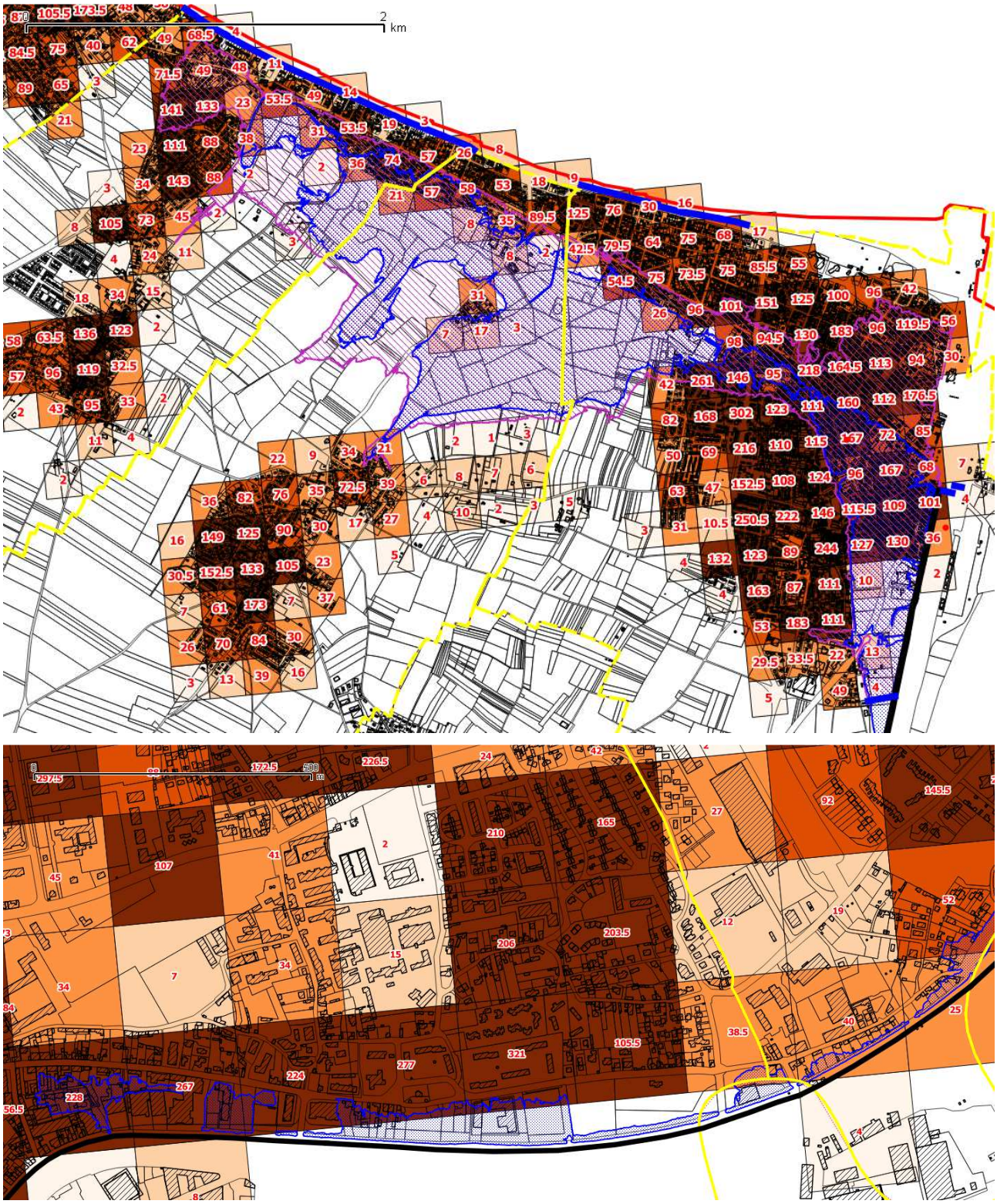


Figure 3-6 : enjeux habitats et populations dans la zone protégée.

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'EXERÇANT SUR CES FONDATIONS

3.2.1 SYNTHESE DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

3.2.1.1 Sollicitations fluviales

L'analyse hydrologique porte sur l'estimation des débits de crues de l'Orne dans l'agglomération caennaise, dont les résultats sont donnés dans le Tableau 3-3 :

Agglomération de Caen	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Débit de pointe en m^3/s	400	460	550	665	925	1 040

Tableau 3-3 : débits de pointe de l'Orne à Caen.

La station de référence pour l'annonce des crues sur l'agglomération caennaise est l'échelle de Thury-Harcourt exploitée par la DREAL Normandie.

Pour les besoins de l'étude de dangers, les débits de crues de l'Orne à Caen sont transposés en hauteurs mesurées à l'échelle de Thury-Harcourt, en faisant l'hypothèse que la période de retour de la crue à Thury-Harcourt est la même à Caen. Les hauteurs à l'échelle de Thury-Harcourt sont données dans le Tableau 3-4 :

Echelle de crue de Thury-Harcourt	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Hauteur en m	4,05	4,25	4,70	5,05	5,85	6,15

Tableau 3-4 : hauteurs d'eau de différentes périodes de retour à l'échelle d'annonce des crues de Thury-Harcourt.

Les valeurs données dans le Tableau 3-4 doivent être vues avec précaution, notamment pour les périodes de retour fortes (supérieures à 100 ans) : rappelons que la valeur maximale observée à ce jour est de 4,48 m en janvier 2001.

L'incertitude sur les hauteurs est estimée à ± 15 cm pour les périodes de retour inférieures à 100 ans. Pour des périodes de retour plus importantes, l'incertitude est plus forte et reste difficile à évaluer.

3.2.1.2 Sollicitations maritimes

Les niveaux marins extrêmes calculés au port de Ouistreham sont rappelés dans le Tableau 3-5 :

Port de Ouistreham	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Niveau marin en mNGF	4,47	4,52	4,60	4,70	4,86	4,93

Tableau 3-5 : niveaux extrêmes marins au port de Ouistreham tenant compte d'une élévation à court terme de 20 cm.

La sur-élévation locale du niveau moyen de la mer due au déferlement de la houle (« wave set-up ») est issue des études du PPRL : elle est prise forfaitairement à 30 cm, quelque soit la période de retour considérée. Les niveaux marins extrêmes en pied d'ouvrages sont ainsi :

Front de mer	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Niveau marin en mNGF	4,77	4,82	4,90	5,00	5,16	5,23

Tableau 3-6 : niveaux extrêmes marins sur la zone d'étude.

Dans le cadre du PPRL (Alp'Géorisques - IMDC, 2015), le niveau de référence retenu est de 5,05 mNGF à Ouistreham et 5,08 mNGF à Hermanville-sur-Mer. La valeur retenue dans le cadre de l'étude de dangers pour l'occurrence centennale est cohérente avec ces valeurs.

Les houles ont été propagées du large à la côte par modélisation des états de mer. Les résultats de ces simulations donnent les hauteurs de houle significatives en pied d'ouvrage. Les hauteurs de houle pour l'évènement centennal sont ainsi estimées :

Paramètre	Ouistreham	Hermanville
H_s : houle significative en pied d'ouvrage	1,1 m	1,2 m

Tableau 3-7 : hauteurs de houles estimées en pied d'ouvrage.

3.2.1 SYNTHESE DE L'ETUDE GEOLOGIQUE

3.2.1.1 Sous-système Colombelles

L'étude géologique montre que les terrains d'assise de l'ouvrage sont constitués d'alluvions de l'Orne.

Des sondages géotechniques ont été réalisés en 2014 en préalable aux travaux d'édification de la digue. La couche d'alluvions est épaisse d'environ 4-5 m. Le substratum calcaire est atteint à une profondeur d'environ 7 m.

3.2.1.2 Sous-système Canal-littoral

En front de mer, l'étude géologique montre que les terrains sur lesquels sont implantés les ouvrages sont composés de sables marins grossiers. Aucune reconnaissance géotechnique n'a été menée.

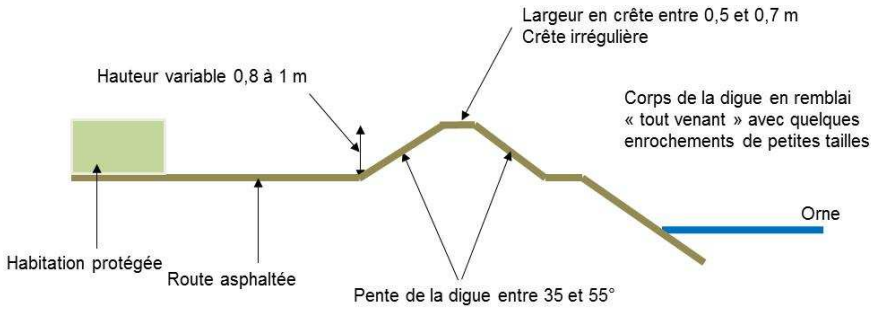
3.3 DESCRIPTION DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES

3.3.1 CELLULE HYDRO-SEDIMENTAIRE CONCERNEE

La zone d'étude s'étend sur la cellule hydro-sédimentaire baie de Seine, dans la sous-cellule de Lion-sur-Mer.

3.3.2 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

Digue de Colombelles	
Localisation	

Photo	
Longueur utile	345 ml Extrémité 1 : X = 458 914 m – Y = 6 905 538 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 459 116 m – Y = 6 905 816 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Travaux de confortement des berges en 2015-2016
Description de la structure et géométrie	 La structure de la digue comprend (du Coté de l'Orne jusqu'à la zone protégée) : ▪ Une berge sur l'Orne très végétalisée avec une pente relativement importante (environ 55°), ▪ Une digue en « tout venant » d'une hauteur comprise entre 0,8 et 1 m, ▪ La pente des talus de la digue est comprise entre 35 et 55°, ▪ La crête est irrégulière et sa largeur est comprise entre 0,5 et 0,7 m, ▪ Une route asphaltée est située dans la zone protégée (chemin de halage).
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : -0,8 mNGF Cote de la crête de digue : 5,0 à 5,2 mNGF Cote du chemin de halage : 4,2 à 4,6 mNGF

Ouvrages annexes	3 ouvrages d'assainissement pluvial sont situés en fondation sous la digue. Les trois ouvrages sont munis de clapet anti-retour.
Propriété et parcelles cadastrales	La digue et le chemin de halage ne sont pas cadastrés, ils sont sur le domaine public : 
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 04 juillet 2014
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

Merlon de fermeture	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	5 ml Extrémité 1 : X = 459 116 m – Y = 6 905 816 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 459 121 m – Y = 6 905 810 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction en 2019

Description de la structure et géométrie	Le merlon présente un profil trapézoïdal : ▪ Hauteur moyenne : environ 0,6 m ; ▪ Largeur en crête : environ 1,5 m ; ▪ Pente des talus : 3H/1V ; ▪ Largeur en pied : environ 5 m.
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : 4,4 mNGF Cote de la crête de digue : 5,0 mNGF
Ouvrages annexes	Sans objets (plusieurs ouvrages se trouvent en aval du merlon)
Propriété et parcelles cadastrales	Le merlon et le chemin de halage ne sont pas cadastrés, ils sont sur le domaine public : 
Gestion	Non classé
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

Mur de fermeture	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	8 ml Extrémité 1 : X = 459 121 m – Y = 6 905 810 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 459 125 m – Y = 6 905 814 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction en 2019

Description de la structure et géométrie	Les principales caractéristiques sont les suivantes : ▪ Hauteur moyenne : environ 1 m ; ▪ Epaisseur : environ 20 cm.
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : 4,5 mNGF Cote de la crête de digue : 5,5 mNGF
Ouvrages annexes	Sans objets (plusieurs ouvrages se trouvent en aval du merlon)
Propriété et parcelles cadastrales	Le mur est situé en limite de 2 propriétés : parcelles n°0091 et n°0092 de la section BB. 
Gestion	Non classé
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

3.3.3 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

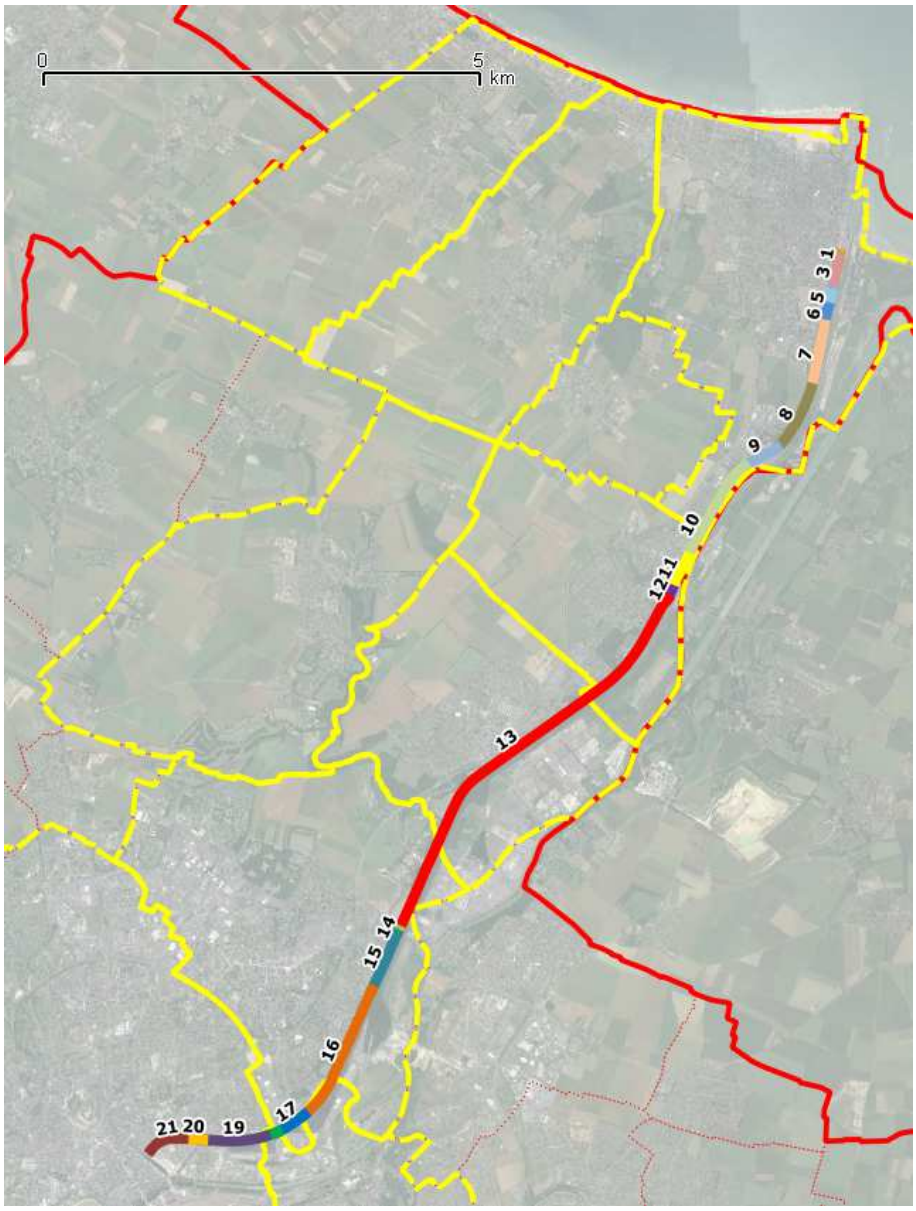
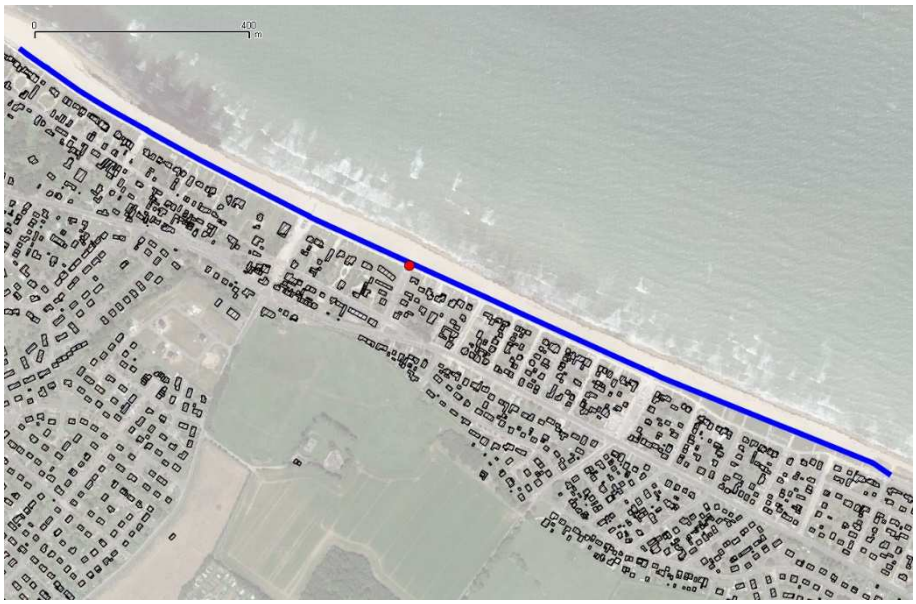
Digue du canal de Caen à la mer	
Localisation	

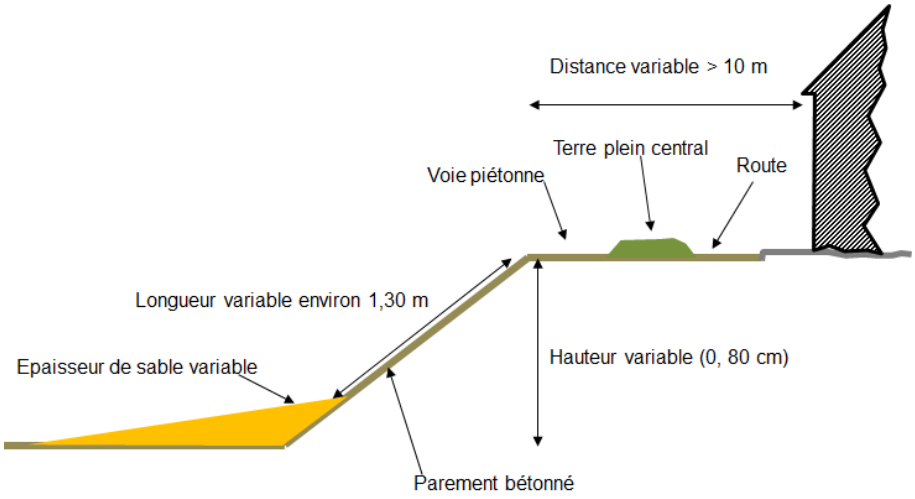
Photo	
Longueur utile	13 835 ml Extrémité 1 : X = 455 631 m – Y = 6 903 334 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 463 510 m – Y = 6 913 606 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction au XIX^{ème} siècle
Description de la structure et géométrie	La digue a été décomposée en 21 sous-tronçons en fonction de leur structure et géométrie : la structure et la géométrie sont ainsi très variables le long de la digue. Le Tableau 5-5 présente la synthèse des caractéristiques par sous-tronçon.
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : -4,0 mNGF sur toute la partie navigable Cote de la crête de digue : 4,6 à 5,6 mNGF
Ouvrages annexes	3 ouvrages traversant le corps de digue 7 siphons passant sous le canal sont répertoriés, dont 3 permettent l'évacuation des eaux du fossé de ligne vers l'Orne maritime
Propriété et parcelles cadastrales	La digue est sur le domaine public, elle n'est pas cadastrée
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 21 mai 2012
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2019)

Sous-tronçon	PK		Longueur	Niveau moyen	Niveau minimal	Largeur en crête	Largeur en pied	Talus côté canal		Talus côté terre		Hauteur moyenne sur TN	Charge moyenne sous le niveau de protection	Fossé de ligne en pied	Réseaux	Ouvrages traversants	Végétation	Enjeux dans la zone protégée en arrière immédiat de la digue
	Amont	Aval						Nature	Fruit	Nature	Fruit							
ST-1	13.815	13.852	37	5,1 mNGF [9,2 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	> 30 m	> 40 m	Mur maçonné	vertical	Urbanisé	> 5H/1V	< 1 m	< 0,5 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Centre de Ouistreham
ST-2	13.784	13.815	31	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	11 m	16 m	Enrochement	2H/1V	Urbanisé	4H/1V	1,6 m	1,0 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Centre de Ouistreham
ST-3	13.440	13.784	344	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	10 m	20 m	Enrochement	2-3H/1V	Urbanisé	4H/1V	2,0 m	1,4 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Centre de Ouistreham
ST-4	13.390	13.440	50	5,3 mNGF [9,4 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	7 m	16 m	Palplanche	vertical	Urbanisé	13H/1V	1,2 m	0,5 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Hangars et parking à bateaux
ST-5	13.226	13.390	164	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,3 mNGF** [9,4 mCM]	10 m	25 m	Enrochement	1,5H/1V	Urbanisé	> 5H/1V	2 m	1,2 m	-	Réseau électrique Eaux usées Réseau Telecom	1 ouvrage EP	RAS	Hangars et parking à bateaux Station d'épuration
ST-6	13.024	13.226	202	5,3 mNGF [9,4 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	16 m	20 m	Palplanche	vertical	Mur béton	1,5H/1V	2,6 m	2,0 m	oui	Eaux pluviales Réseau Telecom	Aucun	RAS	Terrains non bâtis
ST-7	12.280	13.024	744	5,5 mNGF [8,8 mCM]	**4,7 mNGF** [8,8 mCM]	10 m	15 m	Enrochement	2-2,5H/1V	Enherbé	2H/1V	2,5 m	1,6 m	oui	Réseau électrique	2 ouvrages EP	3 arbustes	Camping Riva bella
ST-8	11.482	12.280	798	5,3 mNGF [9,6 mCM]	**4,6 mNGF** [8,7 mCM]	9 m	15 m	Enrochement	1H/1V	Enherbé	2H/1V	2,4 m	1,6 m	oui	Réseau électrique	Aucun	3 arbustes	1 habitation
ST-9	11.056	11.482	426	5,0 mNGF [9,1 mCM]	**4,7 mNGF** [8,8 mCM	8 m	12 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	2H/1V	< 1 m	< 1 m	oui	Réseau électrique	Aucun	1 arbuste	Terrains non bâtis
ST-10	9.817	11.056	1239	5,1 mNGF [9,2 mCM]	**4,8 mNGF** [8,9 mCM]	10 m	16 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	2H/1V	< 1 m	< 1 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom	Siphon hydrocarbure	4 arbustes	Plateforme du dépôt pétrolier Camping Les Hautes Coutures
ST-11	9.400	9.817	417	5,6 mNGF [9,7 mCM]	**4,7 mNGF** [8,8 mCM]	10 m	18 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	1,7H/1V	1,9 m	1,2 m	oui	Réseau électrique Eaux usées Réseau Telecom Fibre optique	Aucun	quelques arbustes	2-3 habitations
ST-12	9.283	9.400	117	5,8 mNGF [9,9 mCM]	**5,4 mNGF** [9,5 mCM]	> 30 m	> 30 m	Palplanche	vertical	Enherbé	2-3H/1V	0	0	oui	Eaux usées Réseau Telecom Fibre optique	RAS	RAS	-
ST-13	4.267	9.283	5016	5,8 mNGF [9,9 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	8 m	18 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	2-2,5H/1V	2,5 m	1,5 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom Fibre optique Gaz	Siphon de Bénouville Siphon de Blainville Vanne de Beauregard Traversées de réseaux	arbustes sur tout le linéaire 5 gros et grands arbres	10-15 habitations station d'épuration de Blainville voie communale
ST-14	4.217	4.267	50	5,8 mNGF [9,9 mCM]	**5,6 mNGF** [9,7 mCM]	> 30 m	> 30 m	Palplanche	vertical	Enherbé		0	0	oui	Réseau électrique Réseau Telecom		RAS	-
ST-15	3.519	4.217	698	5,5 mNGF [9,6 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	13 m	22 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	2,5-3H/1V	2 m	1,2 m	oui	Réseau Telecom	Aucun	arbres parsemés sur tout le linéaire	1-2 habitations
ST-16	1.878	3.519	1641	5,3 mNGF [9,4 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	11 m	22 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	3H/1V	2,3 m	1,4 m	oui	Réseau Telecom	Aucun	arbres parsemés arbustes sur 500 ml 1 souche 2 grands arbres prenchés	restaurant l'Espérance 4-5 habitations rue des sources
ST-17	1.513	1.878	365	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,1 mNGF** [9,2 mCM]	14 m	22 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	2H/1V	1,3 m	0,5 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom Eaux usées Assainissement	Siphon ville de Caen	arbustes et buissons présents sur 3 linéaires de 70 ml	3-5 habitations
ST-18	1.371	1.513	142	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,3 mNGF** [9,4 mCM]	16 m	21 m	Enrochement	1,7H/1V	Enherbé	1,5H/1V	1,5 m	1,0 m	oui	Réseau électrique Assainissement Eaux usées	Aucun	1 arbre	base nautique
ST-19	0.648	1.371	723	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	12 m	20 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	> 5H/1V	1,4 m	0,6 m	oui	Réseau électrique Assainissement Eaux usées	Aucun	végétation dense sur tout le linéaire	10 habitations habitat collectif rue Basse
ST-20	0.422	0.648	226	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	9 m	15 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	3H/1V	1,5 m	0,8 m	oui	Réseau électrique Gaz Eaux usées Assainissement	Siphon Viandes de France	végétation dense sur tout le linéaire	habitat collectif
ST-21	0.015	0.422	407	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	8 m	12 m	Enrochement	2H/1V	Urbanisé	2,5H/1V	1,2 m	0,5 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom Gaz Eaux usées Assainissement	Vannes des Blanchisseries	végétation dense sur tout le linéaire	habitat collectif habitations individuelles zone commerciale

Tableau 3-8 : tableau de synthèse des sous-tronçon de la digue du canal maritime.

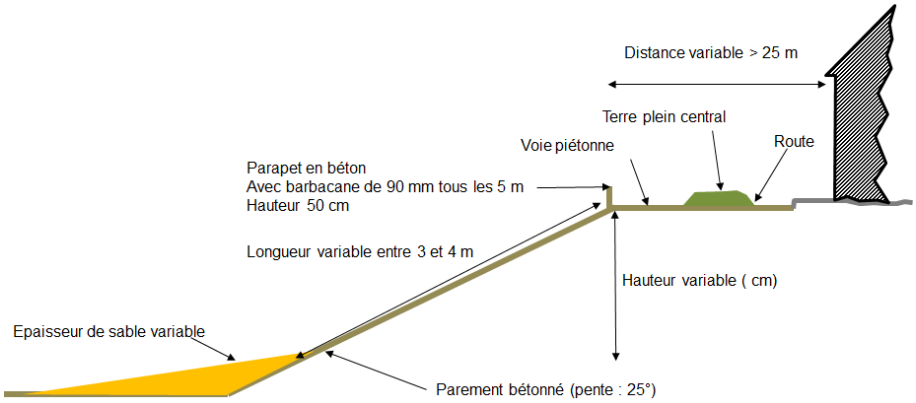
3.3.3.1 Ouvrages contributifs

Perré d'Hermanville-sur-Mer	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	1 800 ml Extrémité 1 : X = 459 297 m – Y = 6 916 297 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 460 883 m – Y = 6 915 529 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Tronçon dit « digue de Tanagra » construit avant 1955 Autres tronçons construits entre 1965 et 1972

Description de la structure et géométrie	 La digue comprend (de la mer vers l'intérieur) : ▪ Un parafouille en palplanches en pied du perré bétonné, ▪ Un parement côté mer bétonné avec un rebord en crête de largeur 50 cm, ▪ Une voie piétonne goudronnée de largeur moyenne 3 m, ▪ Un terre-plein central en sable enherbé de largeur variable (2 m côté Lion pour atteindre env. 20 m côté Colleville), ▪ Une voirie (par endroit fermée à la circulation) de largeur 4 à 6 m, ▪ Les propriétés privées qui s'étendent sur plusieurs dizaines de mètres. Le parement aval n'est ainsi pas visible. A priori, les terrains redescendent en altitude au niveau de la route départementale RD514 (à 100 m environ en arrière du front de mer). Le tronçon dit « digue de Tanagra » présente un profil très proche avec comme particularité un parement bétonné de plus faible hauteur reposant sur un rideau de palplanches.
Cote (mNGF)	Cote de fond du parafouille : 0,7 mNGF (d'après plans de projet) Cote du pied du perré : 2,7 mNGF (d'après plans de projet) Cote de la crête de digue : 6,2 à 6,5 mNGF
Ouvrages annexes	1 émissaire pluvial
Propriété et parcelles cadastrales	La digue repose sur des parcelles privées. Les propriétaires sont regroupés au sein de l'ASA d'Hermanville-sur-Mer.

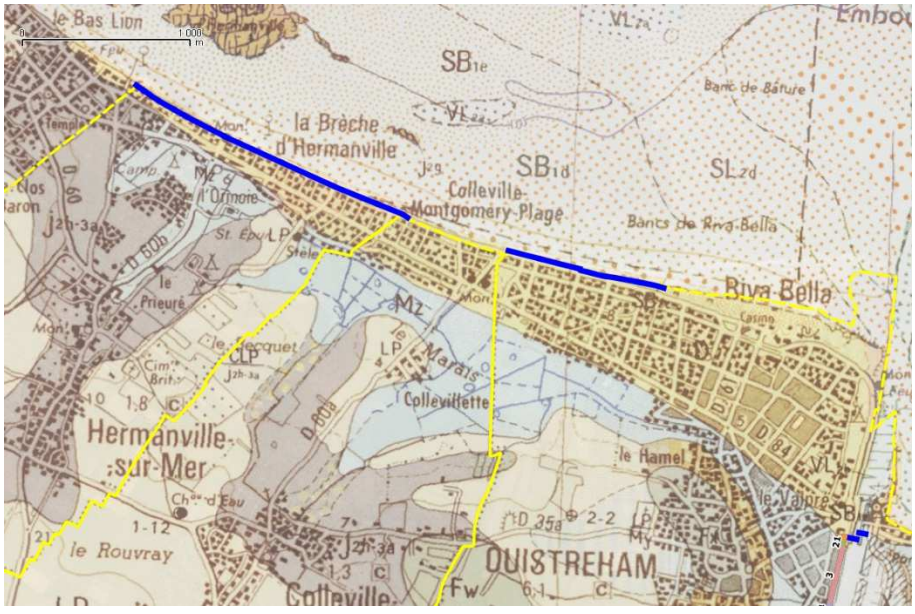
	
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 24 avril 2012
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

Perré de Ouistreham	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	960 ml Extrémité 1 : X = 461 512 m – Y = 6 915 311 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 462 435 m – Y = 6 915 090 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction entre 1978 «et 1982 en trois tranches 1983 : confortement de l'extrémité Est avec des enrochements 2017 : confortement de l'extrémité Ouest avec des enrochements

Description de la structure et géométrie	 La digue comprend (de la mer vers l'intérieur) : ▪ Un parafouille en palplanches en pied du perré bétonné, ▪ Un parement côté mer bétonné avec un muret en crête de hauteur moyenne 50 cm ; ▪ Une voie piétonne goudronnée de largeur moyenne 3 m ; ▪ Un terre plein central en sable enherbé de largeur variable entre 10 et 20 m (à certains endroits une zone de parking est intégrée au terre plein) ; ▪ Une piste cyclable de largeur 2 m ; ▪ Une voirie de largeur 4 à 6 m ; ▪ Les propriétés privées qui s'étendent sur plusieurs dizaines de mètre. Le parement aval n'est ainsi pas visible. A priori, les terrains redescendent en altitude au niveau de la route départementale (plusieurs centaines de mètres en arrière du front de mer). Les parcelles privées se situent a minima 25 m en arrière de l'axe du muret de crête.
Cote (mNGF)	Cote de fond du parafouille : 0,4 mNGF (d'après plans de projet) Cote du pied du perré : 2,4 mNGF (d'après plans de projet) Cote de la crête de digue (chemin) : 6,5 à 7,0 mNGF Cote de la crête de digue (muret) : 6,9 à 7,5 mNGF
Ouvrages annexes	Sans objets
Propriété et parcelles cadastrales	Le perré est établi pour une grande partie sur le domaine public maritime. A son extrémité Est, un linéaire d'environ 105 ml est établi en limite de la parcelle n°0371 de la section AE de la ville de Ouistreham

	
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 18 juillet 2012
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

3.3.3.2 Autres éléments naturels

Massif dunaire d'Hermanville-sur-Mer, Colleville-Montgomery, Ouistreham	
Localisation	

<table>
<tr><td>Photo</td><td>  </td></tr>
<tr><td>Longueur utile</td><td>5 300 ml</td></tr>
<tr><td>Date de construction et travaux</td><td>Construction du perré d’Hermanville-sur-Mer
Construction du perré de Ouistreham entre 1978 et 1982
2006 : reprofilage de la dune de Colleville-Montgomery
2021 : remplacement d’épis</td></tr>
<tr><td>Description de la structure et géométrie</td><td>Dune naturelle d’altimétrie très variable et de grande largeur.
Sur les communes d’Hermanville-sur-Mer et Ouistreham, le front de dune est protégé de l’érosion côtière par deux perrés en béton.
Sur la commune de Colleville-Montgomery, située au centre, le front de dune n’est pas protégé par un perré : gestion par techniques « douces »</td></tr>
<tr><td>Cote (mNGF)</td><td>Cote de crête variable entre 6 et 8 mNGF
Largeur également variable :
<table><tr><th>Niveau</th><th>Largeur de la dune</th></tr><tr><td>4,0 mNGF</td><td>210 à 1 100 m</td></tr><tr><td>5,0 mNGF</td><td>95 à 670 m</td></tr><tr><td>6,0 mNGF</td><td>60 à 300 m</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Ouvrages annexes</td><td>Sans objets</td></tr>
<tr><td>Propriété et parcelles cadastrales</td><td>Le front de dune est en grande partie sur le domaine public maritime (communes de Colleville-Montgomery et Ouistreham).</td></tr>
</table>

	Sur la commune d'Hermanville-sur-Mer, le front de dune est sur des parcelles privées. Pour le reste, l'ensemble du massif dunaire est partagé entre domaine public et domaine privé.
Etat général	Bon état général

3.4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ANALYSE DES RISQUES DE RUPTURE, NIVEAU DE PROTECTION, ANALYSE DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE ET GESTION EN SITUATION DE CRUE OU DE TEMPETE

3.4.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

3.4.1.1 Données historiques

La digue de Colombelles a été construite en 2015. Elle n'a pas connu de sollicitation particulière depuis sa construction.

3.4.1.2 Analyse fonctionnelle du système d'endiguement

Fonction de rang 0	Fonction de rang 1	Ouvrages associés aux fonctions de rang 1	Fonctions de rang 2	Ouvrages associés aux fonctions de rang 2
Protéger les terres des submersions marines	Empêcher le passage continu ou discontinu des eaux vers les terres	Digue	Assurer la stabilité de la digue en fonctionnement normal et exceptionnel	Corps de remblai
				Pieux bois et tirants d'ancrage
			Assurer le maintien du remblai	Végétation du parement
				Pieux bois et tirants d'ancrage
				Perré (présence non confirmée)
			Permettre l'accès pour entretien	Route
	Evacuer les eaux terrestres	Emissaires	Transférer l'eau	Canalisation

Tableau 3-9 : analyse fonctionnelle générale.

3.4.1.3 Analyse des aménagements hydrauliques complémentaires

Sans objet

3.4.1.4 Niveau de protection du système d'endiguement

Colombelles	
Lieu de mesure	Marégraphe du port de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	4,6 mNGF
Niveau de protection au droit des ouvrages	4,7 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement marin de **niveau cinquantennal** en tenant compte du changement climatique à court terme (+20 cm)
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 3-10 : proposition de niveau de protection – Colombelles.

3.4.1.5 Analyse des situations dépassant le niveau de protection

En cas de dépassement du niveau de protection, la faible étendue de la zone protégée son remplissage est rapide et assure la mise en sécurité du système d'endiguement.

3.4.1.6 Analyse de l'organisation du gestionnaire

La surveillance réalisée sur l'ouvrage est formalisée par le document des consignes de surveillance et d'exploitation établi le 20 novembre 2017 par la CU Caen la mer.

Un suivi topographique du niveau de crête de l'ouvrage est assuré annuellement.

3.4.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

3.4.2.1 Données historiques

L'analyse historique montre que depuis leur construction, les deux digues ont connu de fortes sollicitations lors d'évènements historiques ayant plus généralement touché les côtes calvadosiennes : les tempêtes de février 1990, février-mars 2010 et mars 2013 sont parmi les plus importantes de ces 30 dernières années.

Cependant, peu de désordres ont été rapportés et la visite technique approfondie réalisée à l'été 2017 n'a pas mis en évidence de désordre significatif sur les deux digues. Plus généralement, sur le littoral, les principaux désordres observés sont :

- L'érosion à l'extrémité Est de la digue d'Hermanville-sur-Mer, suite aux travaux de reprofilage de la dune de l'été 2006. Cette érosion a été traitée par la mise en place d'enrochements dans la continuité de la digue d'Hermanville-sur-Mer. Ces enrochements sont aujourd'hui en grande partie recouverts par le sable ;
- La désorganisation des enrochements à l'extrémité Ouest de la digue de Ouistreham au raccordement sur la dune de Colleville-Montgomery. Les enrochements ont été remis en place en juin 2017 ;
- Les principaux désordres concernent les épis en bois qui se dégradent avec le temps et sous l'effet des sollicitations marines.

Depuis plus de 30 ans, le littoral d'Hermanville-sur-Mer à Ouistreham bénéficie d'une dynamique sédimentaire favorable avec un engraissement des plages, notamment sur la partie Est à Ouistreham.

3.4.2.2 Analyse fonctionnelle du système d'endiguement

L'analyse fonctionnelle générale du système d'endiguement est synthétisée dans le Tableau 3-11 :

Fonction de rang 0	Fonction de rang 1	Ouvrages associés aux fonctions de rang 1	Fonctions de rang 2	Ouvrages associés aux fonctions de rang 2
Protéger les terres des submersions marines	Empêcher le passage continu ou discontinu des eaux marines vers les terres	Dune Digue	Assurer la stabilité de la digue en fonctionnement normal et exceptionnel	Fondations (semelle béton)
				Corps de remblai
			Assurer l'étanchéité et le maintien du remblai	Parement béton/maçonné côté mer
				Parafouille
			Dissiper l'énergie des vagues	Parement béton côté mer
				Parapet en béton armé
			Permettre l'accès pour entretien	Voie piétonne et route en crête
				Escalier d'accès
				Cale d'accès
	Evacuer les eaux terrestres	Emissaires	Transférer l'eau	Canalisations béton
	Maintenir le niveau de sable	Epis	Limiter les mouvements de sable	Epis en bastaings bois

Tableau 3-11 : analyse fonctionnelle générale.

3.4.2.3 Analyse des aménagements hydrauliques complémentaires

Sans objet

3.4.2.4 Niveau de protection du système d'endiguement

Deux niveaux de protection sont définis, un pour chaque aléa

Le niveau de protection retenu par le gestionnaire correspond à l'évènement marin de référence du PPRL. Cet évènement marin est caractérisé par un niveau marin moyen au port de Ouistreham.

Canal-Littoral – aléa marin	
Lieu de mesure	Marégraphe du port de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	4,7 mNGF
Niveau de protection au droit des ouvrages	5,0 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement marin de **niveau centennal** en tenant compte du changement climatique à court terme (+20 cm)
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 3-12 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa marin.

Canal-Littoral – aléa fluvial	
Lieu de mesure	Echelle amont écluse de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	8,3 mCM
Niveau de protection au droit des ouvrages	4,2 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement fluvial de période de retour **centennale**
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 3-13 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa fluvial.

3.4.2.5 Analyse des situations dépassant le niveau de protection

Sur le front de mer, l'analyse des défaillances a montré qu'une entrée d'eau dans la zone protégée par rupture complète du cordon dunaire présente une probabilité jugée comme négligeable, tout du moins dans le contexte climatique actuel.

Le long du canal, le cas le plus défavorable est atteint pour le scénario de défaillance totale du barrage de Maresquier qui peut entraîner une surverse quasi généralisée sur la digue du canal.

3.4.2.6 Analyse de l'organisation du gestionnaire

La digue du canal de Caen à la mer et les ouvrages de gestion des niveaux sont gérés par Ports Normands. Les consignes de gestion sont présentées dans le dossier de demande d'autorisation.

DOCUMENT B : ANALYSE DES RISQUES ET JUSTIFICATION DES PERFORMANCES

4 CHAPITRE 4 : CARACTERISATION DES ALEAS

4.1 HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET MORPHODYNAMIQUE GLOBALE DU COURS D'EAU OU DU SECTEUR HYDROSEDIMENTAIRE MARITIME

La zone d'étude s'étend le long de l'Orne maritime dans un contexte estuarien ainsi que sur le front de mer : les régimes d'écoulements y sont très complexes et dépendent des débits de l'Orne et de la marée. Lors des crues de l'Orne, les manœuvres des différents ouvrages de gestion des niveaux de l'Orne et du canal de Caen à la mer influencent également les écoulements.

Sur le front de mer, l'hydrodynamique est fortement influencée par la marée, les conditions climatiques en mer (régime des vents en particulier) et le régime des houles.

4.1.1 HYDRODYNAMIQUE GENERALE EN BAIE DE SEINE

En baie de Seine (GRESARC, 2002), entre la pointe de Barfleur et le Havre, l'amplitude du marnage augmente d'environ 25 % tout au long de la côte. La marée présente une forme dissymétrique, avec un flot relativement court (2-3 heures) et un jusant assez long (9-10 heures) : cette dissymétrie se retrouve dans les courants et influence les mouvements sédimentaires dans la baie.

L'étale de pleine mer dure plus de deux heures, l'étale de basse mer est quasiment inexistant, la montée succédant sans transition à la descente. La tenue du plein influence fortement la dynamique sédimentaire sur toute la baie : elle permet la décantation des matériaux fins apportés en suspension dans les zones abritées et une action maximale des houles sur la côte.

La figure suivante illustre les courants de marée de vives eaux. Ces courants sont caractérisés par une inversion de leur sens 3 heures avant la pleine mer et 3 heures après (en référence au port de Cherbourg).

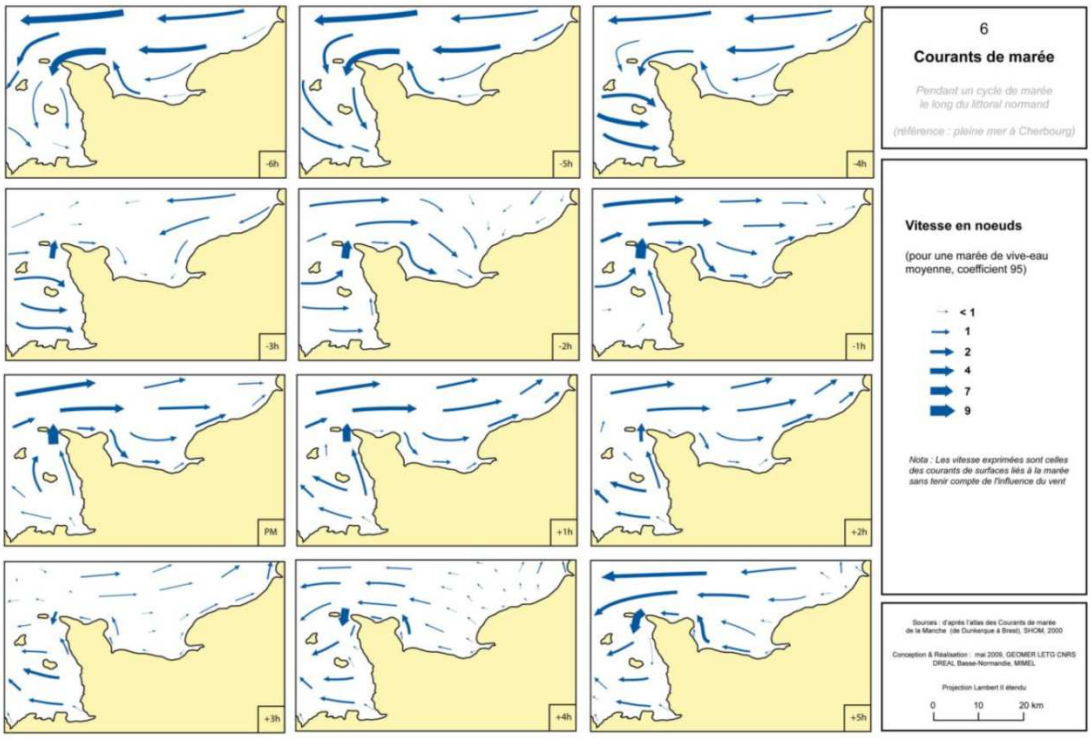


Tableau 4-1 : courant pendant un cycle de marée en Manche (GEOMER – MIMEL / DREAL de basse-Normandie, 2010).

4.1.2 MORPHODYNAMIQUE GENERALE EN BAIE DE SEINE

D'après Larsonneur (Etude hydrosédimentaires en Baie de Seine, 1985) :

En Baie de Seine, les larges surfaces occupées par les sédiments sablo-graveleux dans la partie centrale ou occidentale ont montré la présence de structures sédimentaires nombreuses témoignant de transits sableux tractés sur le fond. Elles indiquent une direction générale de transport vers le Sud-Est, présentant quelques inversions locales fonctions de la morphologie sous-marine ou littorale. A l'Est de la baie, les sables fins montrent peu de structures de transit mais par contre des signes d'envasement. La dynamique sédimentaire des vases est caractérisée par un cycle annuel où alternent des phases de dépôt en masse lors des crues, à proximité immédiate des estuaires ; et des phases de reprise de ces vases sous l'action des houles, cette dilacération est responsable du développement de structures sédimentaires originales. Plus au large, des images sporadiques de "rubans de vase" ont pu être interprétées comme issues de la remise en suspension de vases par la houle suivie d'un entraînement de ces suspensions par le courant de marée. En baie de Seine orientale, des structures attribuables au transport de sable tracté sur le fond ne sont observables que localement, à l'approche du banc de Seine et du banc du Ratier, et près du port d'Antifer. Ces informations complètent la connaissance de la distribution des sédiments et de leur dynamique acquise antérieurement par prélèvements et photographie sous-marine (Larsonneur, 1971) et suivi de traceurs (Service d'application des radio-éléments, Saclay).

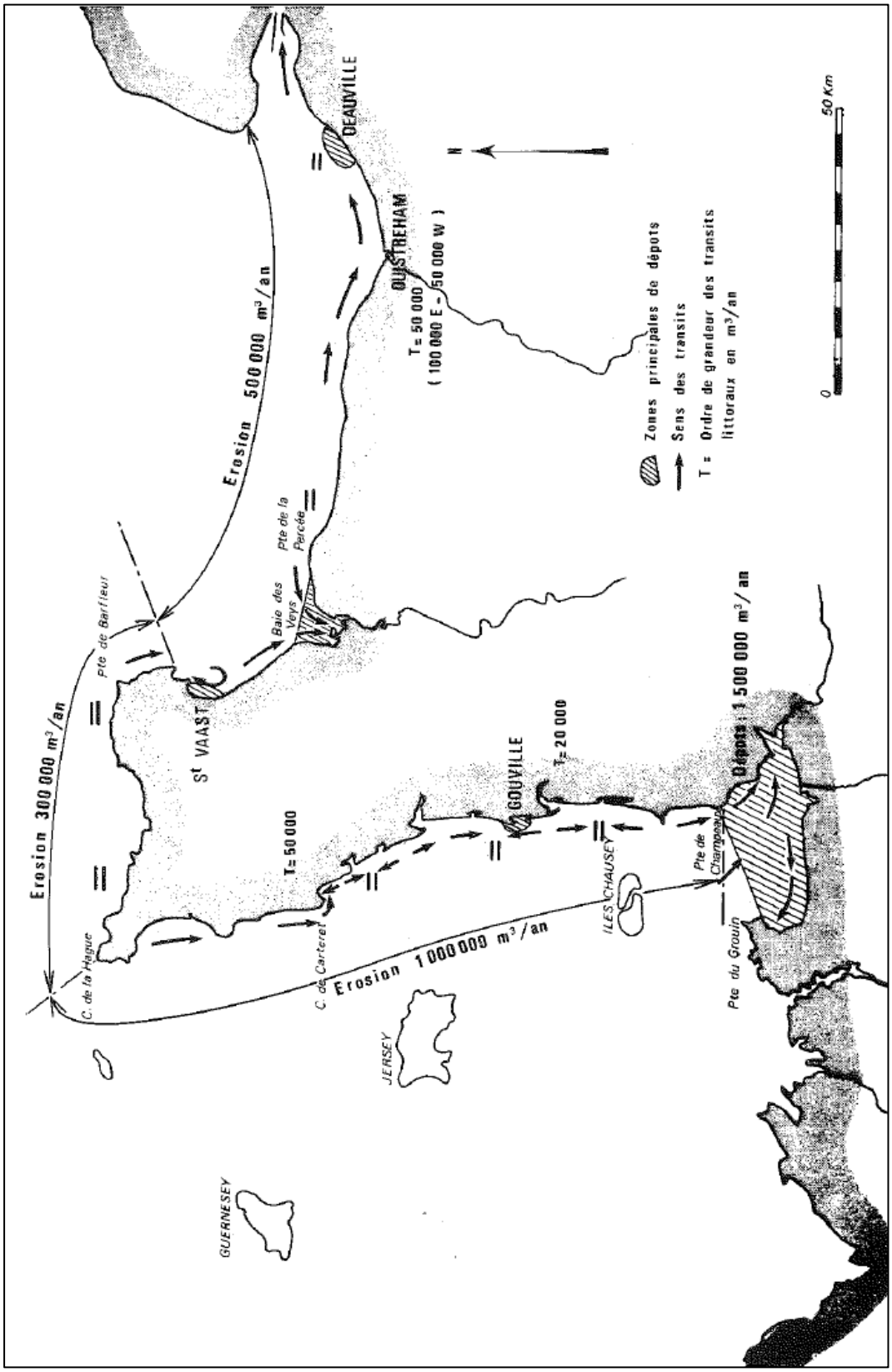


Tableau 4-2 : transit sédimentaire le long des côtes normandes (EDF R&D - LCHF, 1986).

4.2 HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET MORPHODYNAMIQUE LOCALE

4.2.1 HYDROLOGIE – LES CRUES DE L'ORNE

La Figure 4-1 présente le bassin versant de l'Orne à Caen ainsi que son réseau hydrographique.

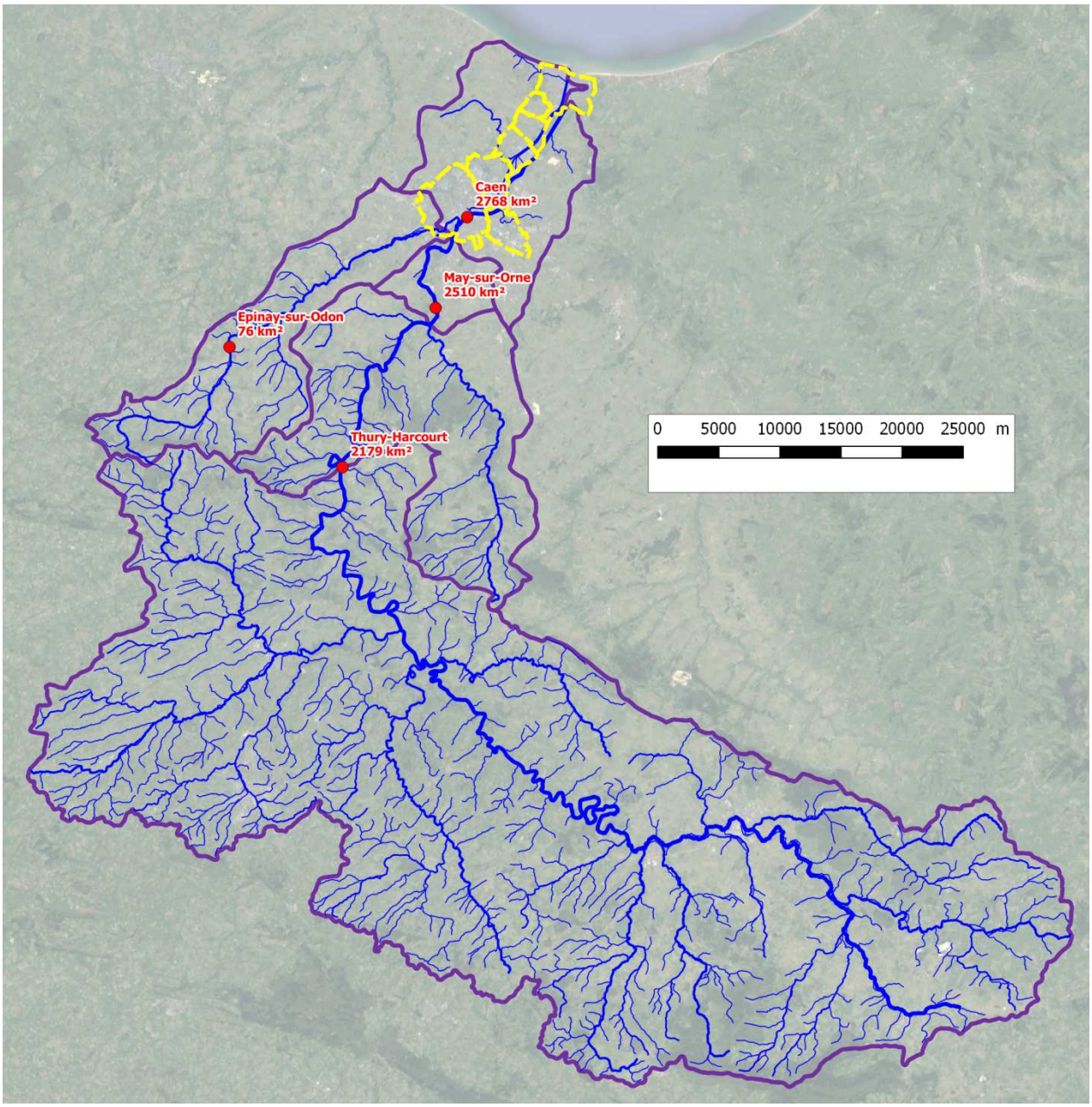


Figure 4-1 : bassin versant de l'Orne.

Les débits de crues de l'Orne pour différentes périodes de retour ont été estimés par ajustements statistiques à partir des mesures à la station de May-sur-Orne et par la méthode du gradex pour les crues rares.

4.2.1.1 Ajustement statistique des débits de crues à la station de May-sur-Orne

Les débits instantanés de crue maximale annuelle ont été récupérés sur la Banque Hydro. Ces données ont fait l'objet d'un ajustement à une loi de Gumbel présenté sur la Figure 4-2 :

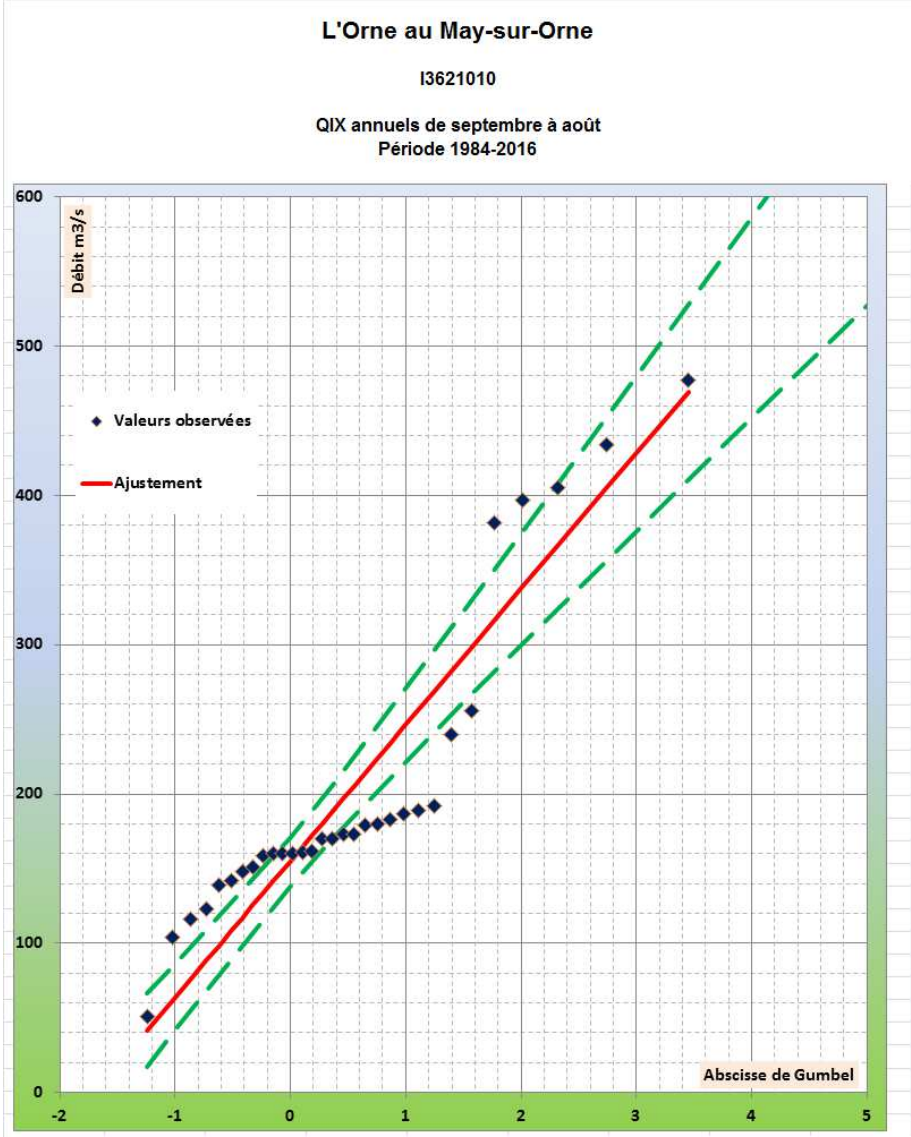


Figure 4-2 : ajustement à une loi de Gumbel des débits de crues à la station de May-sur-Orne.

L'ajustement est assez médiocre. Les observations montrent une rupture de pente pour des débits d'environ 200 m^3/s.

Les valeurs obtenues pour les crues fréquentes à la station de May-sur-Orne sont données dans le Figure 4-3 :

Station de May-sur-Orne	Période de retour		
	10 ans	20 ans	50 ans
Débit de pointe en m^3/s	360	425	510

Figure 4-3 : débits de pointe des crues fréquentes à la station de May-sur-Orne.

A titre de comparaison, la méthode SHYREG développée par l'IRSTEA donne un débit de fréquence 10 ans de 340 m^3/s, un débit de fréquence 20 ans de 400 m^3/s et un débit de fréquence 50 ans de 487 m^3/s (valeurs 2019).

Pour la suite de l'analyse, les valeurs issues de l'ajustement à la loi de Gumbel sont retenues.

4.2.1.2 Estimation des fréquences rares – méthode du Gradex

La méthode du GRADEX s'appuie sur l'hypothèse qu'à partir d'un évènement de période de retour donnée (« pivot ») toute la pluie ruisselle.

En prenant pour hypothèse une période de retour pivot de 50 ans, les débits de crues rares à extrêmes sont obtenus par la méthode du GRADEX suivant la formule :

$$Q_{pT} = Q_{p50} + r.G_p.\frac{S_{BV}}{3{,}6x24xD}.\Delta u$$

Avec :

Q_{pT} : débit instantané en m³/s ;

T : période de retour ;

D : durée caractéristique de la crue en jours ;

r : le rapport entre le débit de pointe et le débit moyen sur la durée D ;

S_{BV} : la surface du bassin versant en km² ;

G_p : gradex de la pluie de durée D en mm ;

Δu : différence des variables de Gumbel $u(T)$-$u(T=50)$.

L'analyse des hydrogrammes des plus fortes crues donnent une durée caractéristique des crues D de 3 jours. Pour ces crues les plus fortes, le rapport r est en moyenne de 1,34.

Le gradex des pluies est issu des travaux de Météo-France (Météo France, juillet 1999) : selon les stations considérées, le gradex sur 3 jours varie de 10 à 13 mm. La valeur moyenne de 11,5 mm est retenue.

Les valeurs obtenues par application de la méthode sont données dans le Figure 4-4

Station de May-sur-Orne	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Débit de pointe en m³/s	360	425	510	610	850	960

Figure 4-4 : débits de pointe de l'Orne à May-sur-Orne.

Le débit de la crue de l'Orne de janvier 1926 (crue la plus forte connue) est couramment estimé à 625 m³/s. Cette crue est considérée comme crue de référence à Caen, notamment pour le PPRi de la basse vallée de l'Orne et pour le dimensionnement des aménagements de lutte contre les inondations de l'agglomération caennaise.

4.2.1.3 Application au bassin versant à Caen

Le bassin versant de l'Orne à Caen couvre 2 770 km². Celui à May-sur-Orne est de 2 510 km².

Les débits de crues à Caen sont déduits des débits à May-sur-Orne par une relation de type Myer :

$$Q_{Caen} = Q_{May-sur-Orne}.\left(\frac{2770}{2510}\right)^{0,8}$$

Les valeurs ainsi calculées sont données dans le Figure 4-5 :

Agglomération de Caen	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Débit de pointe en m^3/s	400	460	550	665	925	1 040

Figure 4-5 : débits de pointe de l'Orne à Caen.

Les valeurs retenues dans le cadre du PAPI de l'Orne (cf. (Institution Interdépartementale du Bassin de l'Orne, septembre 2011)) sont de 390 m^3/s pour la crue de période de retour 10 ans et 640 m^3/s pour la crue de période de retour 100 ans. Les valeurs obtenues sont cohérentes avec les études antérieures.

Les valeurs obtenues sont supérieures aux estimations de la base SHYREG-débit de 2019 : 607 m^3/s pour la crue de période de retour 100 ans, 990 m^3/s. Les écarts demeurent de l'ordre de 10 % ce qui reste dans les intervalles d'incertitude communément admis pour les estimations de débits de crues.

Les hydrogrammes de projet sont construits par homothétie à partir de celui enregistré à la station de May-sur-Orne pour la crue de janvier 2001 (cf. Figure 4-6).

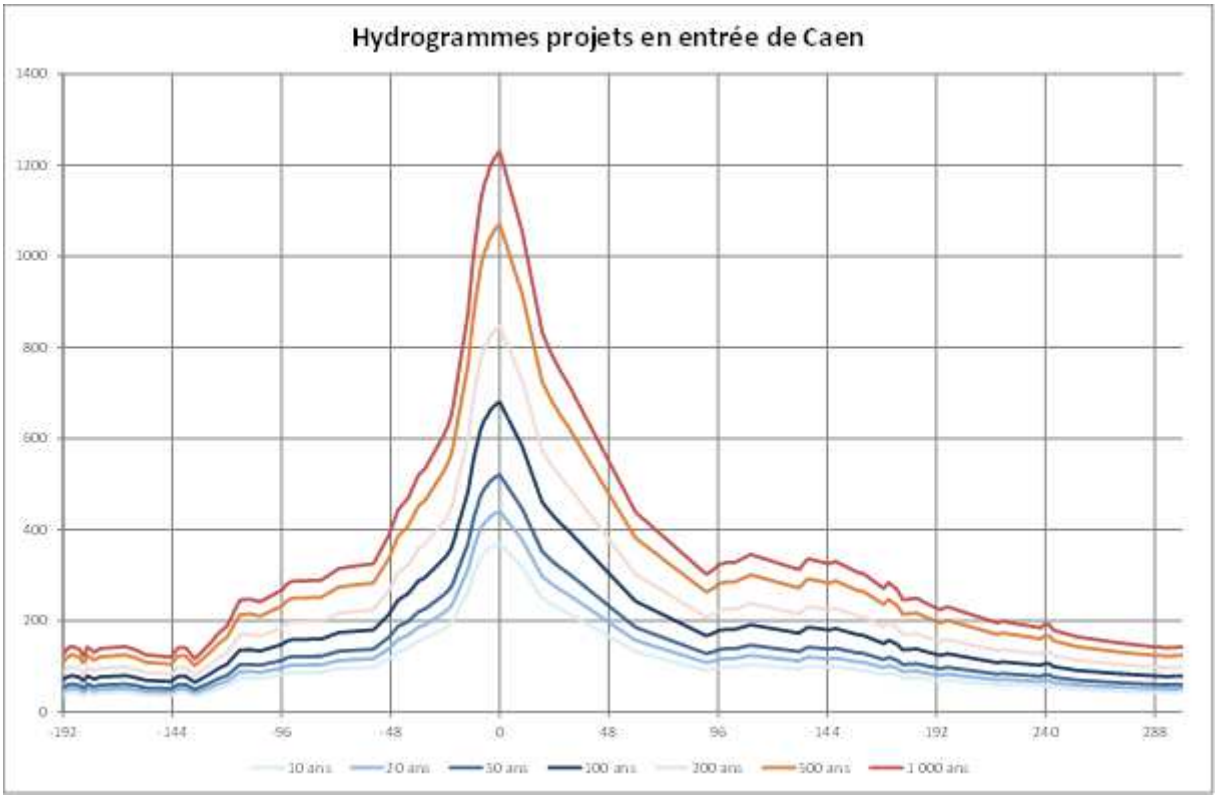


Figure 4-6 : hydrogrammes de crues de l'Orne à Caen.

4.2.2 HYDRODYNAMIQUE COTIERE

Les plages du secteur d'étude sont soumises au régime des marées dans la baie de Seine.

Les principales caractéristiques de la marée à Ouistreham sont présentées dans le Tableau 4-3 :

Coefficient	Cote marine (CM)		Cote terrestre (NGF)	
	Pleine Mer	Basse Mer	Pleine Mer	Basse Mer
120	8,12	0,05	4,04	-4,03
95	7,70	1,00	3,62	-3,08
45	6,40	2,70	2,32	-1,38

Tableau 4-3 : valeurs caractéristiques des marées à Ouistreham (source : RAM 2014[3]).

	Cote marine (CM)	Cote terrestre (NGF)
Niveau moyen marin	4,63	0,55
Relation CM/NGF	*0,00*	*-4,08*

Tableau 4-4 : niveau moyen marin à Ouistreham (source : RAM 2014).

L'amplitude maximale de la marée est d'environ 8 m. La durée du flot (3-4 heures) est nettement plus courte que celle du jusant (5-6 heures). Sur cette portion du littoral calvadosien, le signal de marée se caractérise par un étale de pleine mer relativement long, de 3 à 4 heures pendant lequel l'action des houles est maximale.

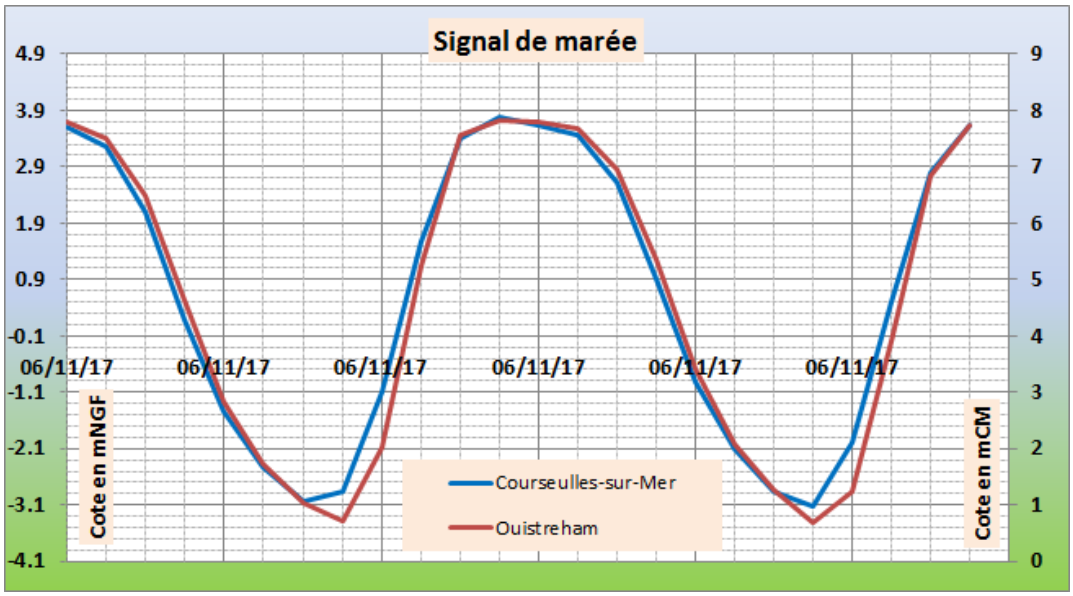


Tableau 4-5 : marée du 6 novembre 2017 (coefficient 106) sur la zone d'étude (http://maree.info/).

[3] RAM 2014 : Références Altimétriques Maritimes, édition 2014 – SHOM. Les mises à jour récentes du document n'apportent pas de modification sur les valeurs présentées ici.

Un modèle hydrodynamique régional a été construit à l'échelle de la baie de Seine sur le logiciel TELEMAC-2D. Ce modèle permet de reproduire le signal de marée sur l'ensemble du littoral à partir de la base de données d'harmoniques TPXO établie par l'OSU. Le modèle est calé en niveau sur les prédictions du SHOM aux ports de référence.

Le modèle est mis en œuvre pour évaluer les vitesses de courant sur les plages de la zone d'étude. Les figures suivantes présentent l'intensité et l'orientation des vitesses de courants de marées au flot et au jusant :

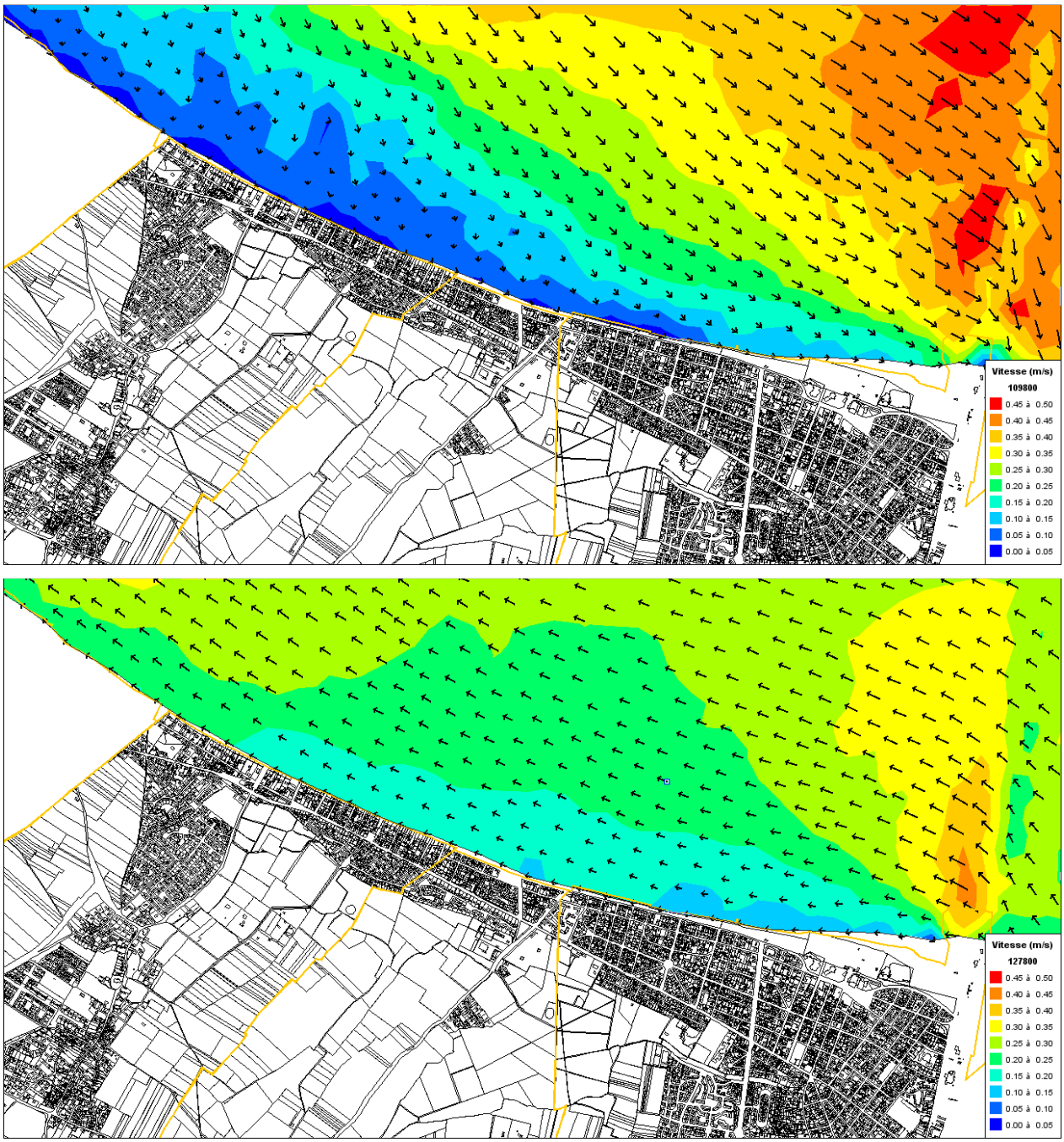


Tableau 4-6 : vitesses de courant à la côte – au flot en haut, au jusant en bas.

Au flot (marée montante), les vitesses sont orientées vers l'Est. Au jusant (marée descendante), elles s'orientent vers le Nord-Ouest. Sur le haut de plage, les vitesses sont maximales au jusant, avec des valeurs n'excédant pas 0,2 à 0,25 m/s. Sur le bas estran, les vitesses sont maximales au flot avec des vitesses dépassant 0,30 m/s.

Les courants de houle sont quant à eux localisés sur la haute plage lors du déferlement des vagues. Pour les houles de Nord-Ouest, les courants sont orientés vers l'Est avec des vitesses dépassant 0,5 m/s et atteignant localement 1 m/s.

Pour les houles de Nord-Est, les intensités de courants sont équivalentes. Par contre, leur orientation est variable le long de la côte selon les points de convergence et de divergence da la houle qui créent des courants localement contraires.

4.2.3 MORPHODYNAMIQUE LOCALE

4.2.3.1 L'Orne maritime à Colombelles

L'analyse des photos aériennes montre que le cours de l'Orne n'a quasiment pas évolué en plan depuis ces 60 dernières années.

De même, la comparaison des cartes topographiques actuelles et anciennes ne montre pas d'évolution significative du tracé en plan du cours d'eau qui n'a pas été rectifié sur ce tronçon lors des travaux de construction du canal de Caen à la mer.



Figure 4-7 : lit de l'Orne au droit de la zone d'étude (http://remonterletemps.ign.fr). Photo de 2015 à gauche et de 1947 à droite.

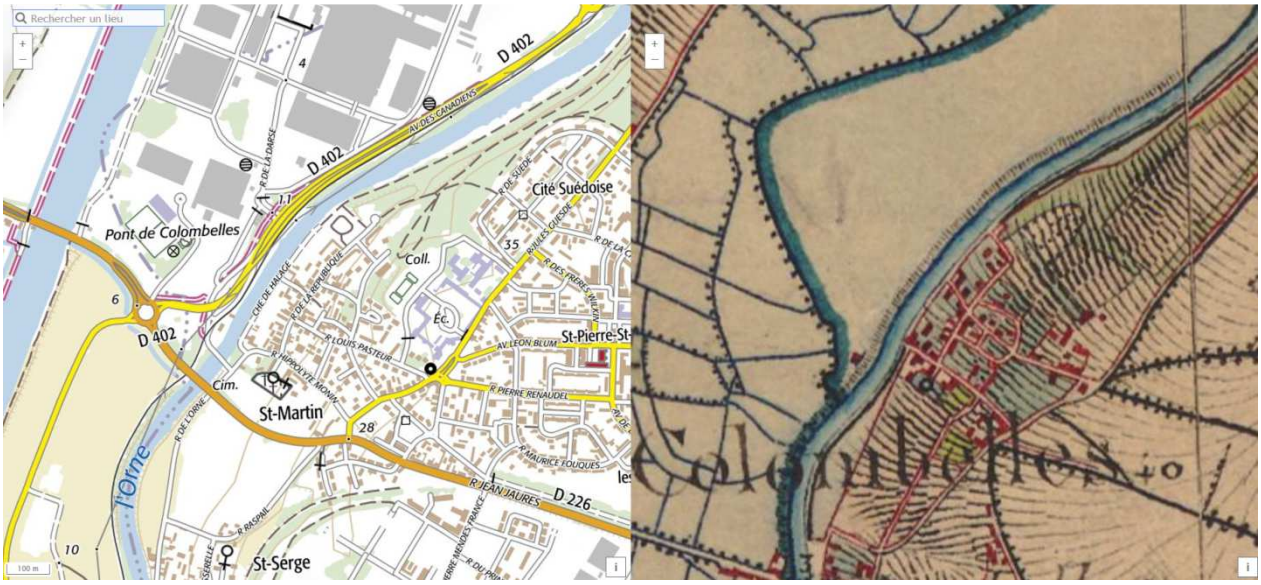


Figure 4-8 : comparaison de la carte IGN actuelle à gauche et de la carte d'état-major de 1820-1866 à droite (http://remonterletemps.ign.fr).

Un suivi bathymétrique du lit de l'Orne maritime a été assuré de 1995 à 2000. L'étude de 1999 (SOGREAH, mars 1999) conclut :

- « le lit de l'Orne est globalement stable dans le temps ;
- L'analyse des profils levés tous les six mois depuis 1995 montre que le lit « respire » durant l'année : il s'envase durant l'été et se recreuse lors des crues d'hiver. L'ampleur de cette respiration est de l'ordre du mètre. Elle est maximale à proximité du barrage de Montalivet et disparaît 3,5 km en aval ;
- Il est probable que, lors d'une crue centennale, le curage naturel s'effectue avec une plus grande intensité. Cependant, il est vraisemblable qu'une surconsolidation des vases s'est opérée comme l'ont montré des sondages effectués sur les bords du lit. »

4.2.3.2 Front de mer

La Tableau 4-7 présente l'évolution des isobathes aux abords du port de Ouistreham entre 1880 et 1971. Elle met en évidence une avancée assez nette du trait de côte entre ces deux dates sous l'influence de la jetée Ouest du port.

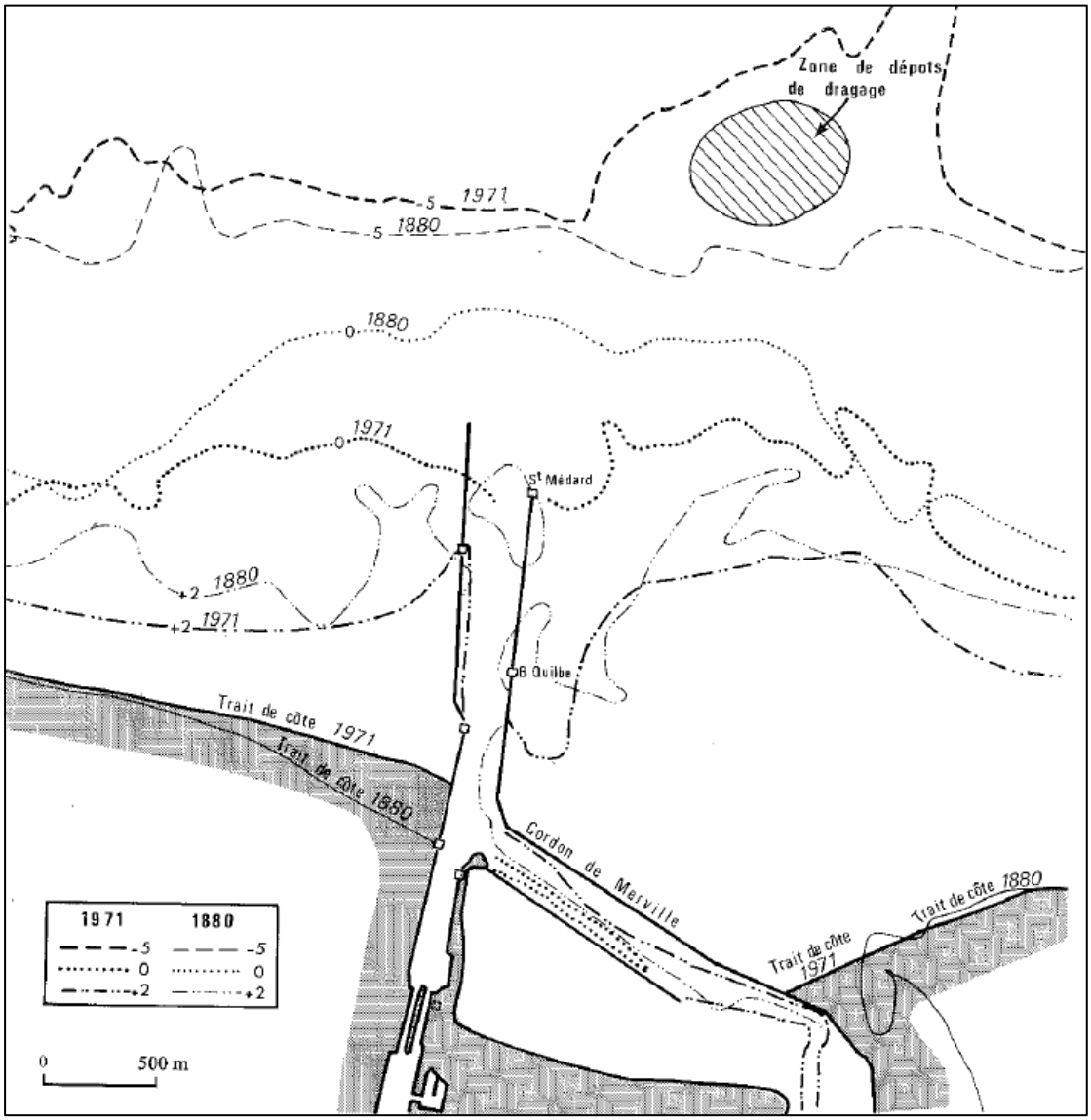


Tableau 4-7 : évolution des isobathes dans l'estuaire de l'Orne entre 1880 et 1971 (Catalogue sédimentologique des côtes françaises).

Les mouvements du trait de côtes sont également approchés par les travaux du Réseau d'Observation du Littoral :

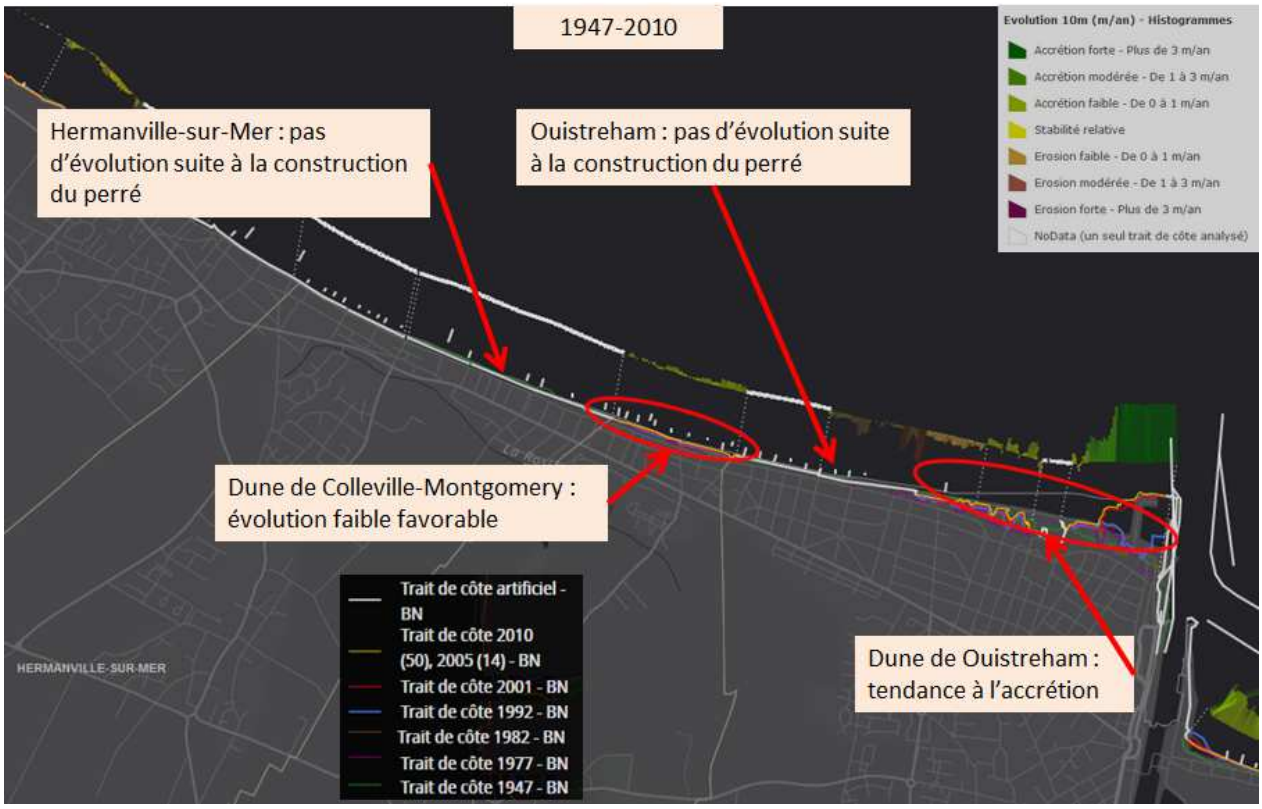


Tableau 4-8 : évolution du trait de côte (ROLNP).

Une station de suivi a également été installée sur la plage d'Hermanville-sur-Mer (station24) dans le cadre du suivi de l'évolution des côtes du Calvados (GRESARC). Le suivi a été mené entre octobre 1995 et janvier 2002.

Ce suivi fait apparaître des fluctuations du niveau de haut de plage importantes, pouvant atteindre 2 m. En pied de digue, les fluctuations sont généralement de l'ordre du mètre. En volume, les fluctuations saisonnières vont de ± 20 à 30 m^3/ml.

Sur l'estran, le LCHF (1979) a estimé le transport sableux à 35 m^3/an/ml (GRESARC, 2002).

Dans le cadre du PPRL, une analyse du recul du trait de côte a été menée, elle fait ressortir les éléments suivants :

Section	Localisation	Mouvement net	Taux annuel
SHDO9	Dunes de Ouistreham	+ 27 m	+ 0,63 m/an
SHDO10	Perré de Ouistreham	+ 8 m	+ 0,18 m/an
SHDO11	Dunes de Colleville-Montgomery et perré d'Hermanville-sur-Mer	- 2,1 m	- 0,05 m/an

Tableau 4-9 : évolution du trait de côte sur la période 1966-2009 (PPRL).

4.3 EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS

4.3.1 CANAL MARITIME

Le canal maritime compte trois ouvrages de franchissements :

- Le viaduc de Calix ;
- Le pont de Colombelles ;
- Le pont de Bénouville (Pegasus Bridge).

Le viaduc de Calix surplombe le canal et n'offre aucune prise pour la formation d'embâcle. Une pile est implantée en berge rive gauche mais suffisamment éloignée de l'axe principal de l'écoulement.

Le pont de Colombelles est un pont tournant offrant une revanche d'environ 1 m par rapport aux plus hautes eaux dans le canal.

Le pont de Bénouville est un pont levant, il offre lui-aussi une revanche d'environ 1 m par rapport aux plus hautes eaux dans le canal.

4.3.2 FRONT DE MER

Sans objet.

4.3.3 ORNE MARITIME

Plusieurs ponts sont situés sur l'Orne en amont de la zone d'étude. Le pont de Ranville se situe quant à lui 5 km en aval. Tous ces ouvrages se situent au-dessus des plus hautes eaux avec une revanche supérieure à 1 m, limitant ainsi le risque d'embâcles.

4.4 TRANSPORTS SEDIMENTAIRES

4.4.1 CANAL MARITIME

Aucune donnée sur le transport solide dans le canal maritime n'a été exploitée. Compte tenu du mode de gestion du canal, le transport solide est supposé comme faible.

Les matériaux ne peuvent transiter que lors des crues de l'Orne, lorsque le canal est utilisé comme canal de crue.

4.4.2 FRONT DE MER

Sur le secteur d'étude, les mouvements sédimentaires ont une résultante portant à l'Est, en témoigne l'engraissement contre la jetée Ouest du port de Ouistreham.

Les mouvements sont alternativement vers l'Est et vers l'Ouest selon la direction des houles : les houles de Nord-Ouest entrainent un transit vers l'Est, les houles de Nord-Est un transit vers l'Ouest. Les conditions de Nord-Ouest étant prédominantes, la résultante est ainsi orientée à l'Est, avec un volume moyen annuel évalué à 50 000 m^3/an.

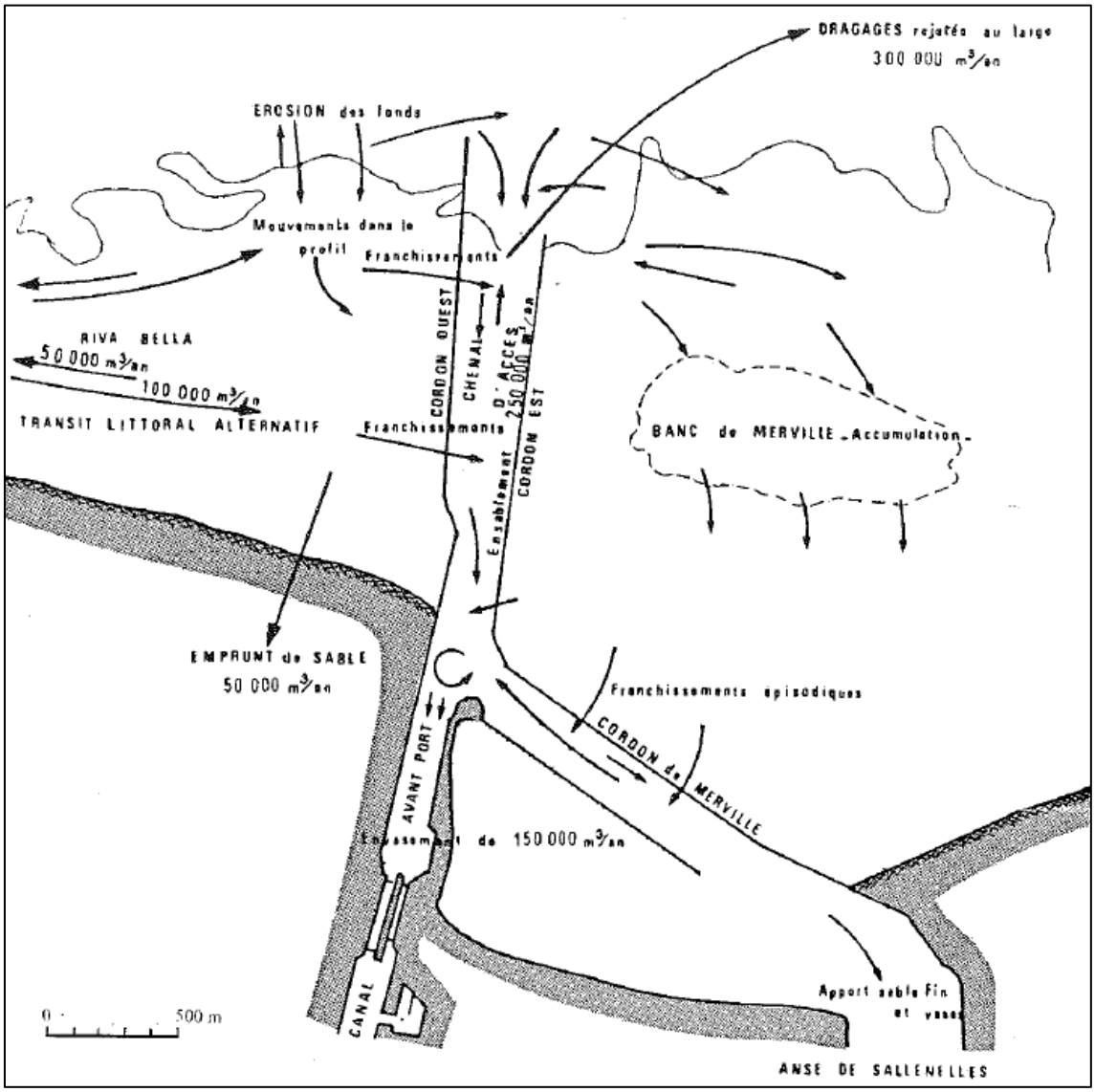


Tableau 4-10 : schéma des mouvements sédimentaires aux abords du chenal de l'Orne (Catalogue sédimentologique des côtes françaises).

Des extractions de sable ont lieu sur la plage de Riva-Bella : dans le Catalogue sédimentologique des côtes françaises, il est fait état de prélèvements de 50 000 m^3/an (même ordre de grandeur que la dérive littorale). Dans le rapport de phase 1 du PPRL (Alp'Géorisques - IMDC, 2014), citant l'étude ACTIMAR de 2010, ces extractions étaient d'environ 20 000 m^3/an avant la construction du terminal transmanche et seraient passés à 10 000 m^3/an depuis, soit des volumes significativement plus faibles que la dérive littorale.

Les volumes dragués pour l'entretien du chenal et du port de Ouistreham varient de 220 000 à 460 000 m^3/an selon les années (Alp'Géorisques - IMDC, 2014).

4.4.3 ORNE MARITIME

Il est rapporté dans le rapport de phase 1 du PPRl ((Alp'Géorisques - IMDC, 2014) que le flux sédimentaire apporté par l'Orne dans l'estuaire est d'environ 50 000 m^3/an.

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

4.5.1 NIVEAUX MARINS STATIQUES

Les niveaux marins statiques extrêmes sont déterminés par analyse statistiques des mesures du niveau marin au port de Ouistreham. Par définition, les niveaux mesurés prennent en compte le niveau de la marée, la surcote atmosphérique liée aux variations de pression atmosphérique et la surcote liée à l'action du vent sur la surface de la mer.

Les niveaux marins extrêmes sont estimés à Ouistreham. Les résultats sont issus des travaux du SHOM et du CETMEF (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2012) et sont donnés dans le tableau suivant :

Port de Ouistreham	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Niveau marin en mNGF	4,47	4,52	4,60	4,70	4,86	4,93

Tableau 4-11 : niveaux extrêmes marins au port de Ouistreham tenant compte d'une élévation à court terme de 20 cm.

Ces valeurs prennent en compte l'élévation prévue du niveau marin. Compte tenu de la fréquence de réalisation et d'actualisation des études de dangers (de 10 à 20 ans), une augmentation à court terme de 20 cm est retenue.

4.5.2 HOULES AU LARGE

Les houles aux larges sont extraites de la base de données HOMERE[4] établie par l'IFREMER (Boudiere Edwige, 2013). Cette base de données fournit les paramètres de houle sur l'Atlantique et la Manche sur la période 1994-2012, soit 19 années complètes.

Le point retenu pour l'analyse est le nœud n°75 094 situé à 10 km au Nord de Ouistreham à une profondeur d'environ 20 m sous le niveau moyen.

La Tableau 4-12 présente la rose des houles au nœud considéré, le Tableau 4-13 le corrélogramme entre la hauteur significative H_s et la direction de provenance (le 0 désigne le Nord).

[4] Accensi Mickael, Maisondieu Christophe (2015). HOMERE. Ifremer - Laboratoire Comportement des Structures en Mer.

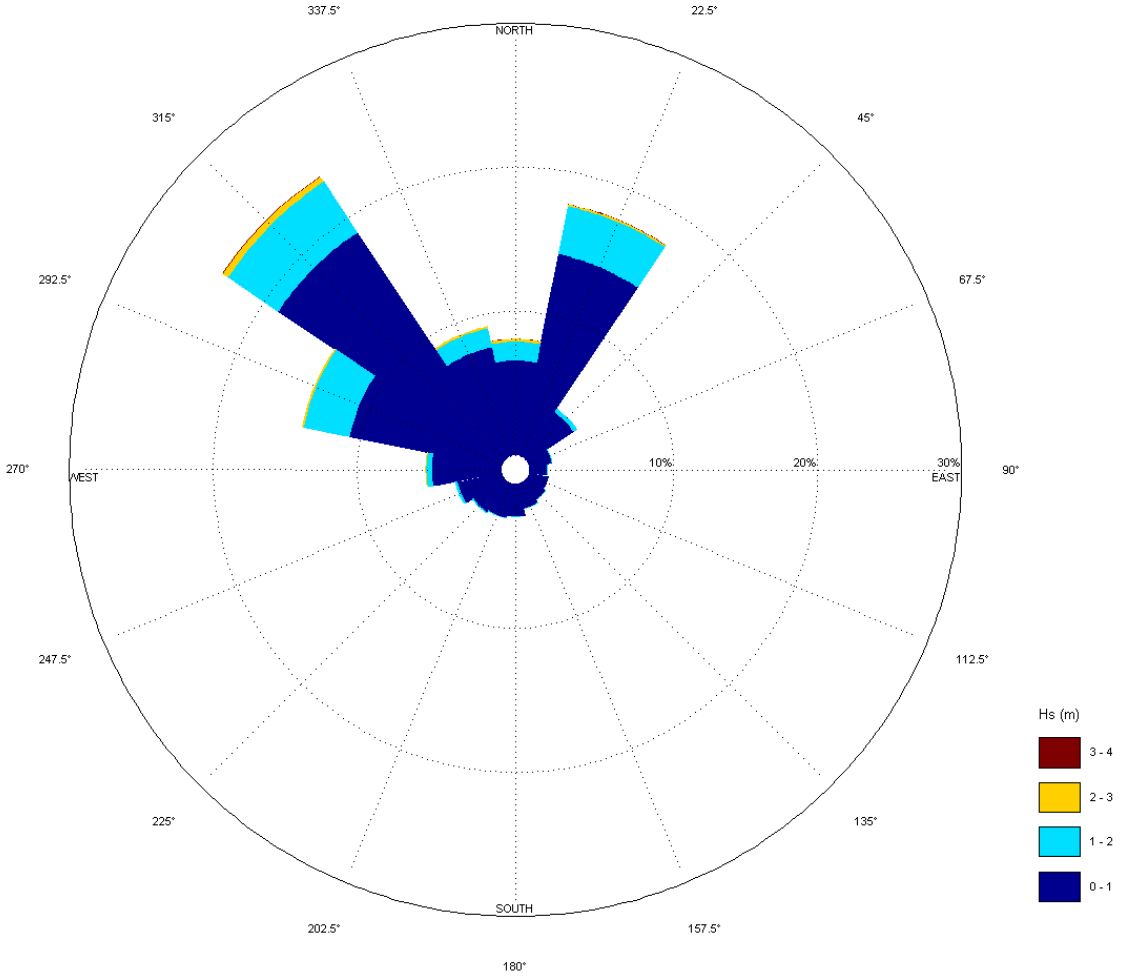


Tableau 4-12 : rose des houles au point 75094 de la base HOMERE.

Hs	Direction moyenne (°)																							Total
(m)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	
0-0.25	22.10	29.27	8.60	5.15	3.55	3.08	3.31	3.31	4.07	4.40	4.31	4.51	4.51	4.46	4.24	4.44	3.68	3.55	3.61	5.40	26.11	34.41	19.63	14.94	224.6
0.25-0.5	16.83	33.71	15.09	7.34	5.25	3.91	3.86	4.71	4.55	5.13	5.96	6.86	8.03	8.18	8.07	8.83	9.84	12.46	16.85	22.98	46.91	30.40	16.46	12.07	314.3
0.5-0.75	10.81	26.77	9.59	2.88	1.34	1.21	1.05	0.80	1.06	0.78	1.36	2.23	2.58	3.01	2.94	3.88	5.18	7.23	11.99	22.24	39.95	16.47	8.96	6.60	190.9
0.75-1	6.59	19.95	5.67	1.19	0.20	0.17	0.12	0.07	0.04	0.16	0.26	0.36	0.58	0.58	1.13	1.60	2.00	3.48	6.99	16.70	28.74	10.47	5.26	4.32	116.6
1-1.25	4.79	13.72	2.94	0.34	0.02	0.01				0.04	0.05	0.08	0.10	0.13	0.25	0.37	0.63	1.07	3.21	10.69	18.87	6.11	3.80	2.99	70.2
1.25-1.5	2.85	8.14	1.08	0.06	0.03						0.01	0.02	0.04	0.02	0.08	0.06	0.20	0.31	0.83	5.51	11.88	4.12	2.59	2.11	39.9
1.5-1.75	2.01	3.97	0.37	0.04	0.02									0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.28	1.99	7.28	2.91	1.51	1.40	21.9
1.75-2	1.58	1.89	0.06												0.01		0.01	0.01	0.06	0.59	3.69	2.11	1.06	0.94	12.0
2-2.25	0.93	0.56	0.03																0.01	0.20	1.65	1.33	0.46	0.58	5.8
2.25-2.5	0.51	0.13																		0.03	0.79	0.62	0.28	0.29	2.6
2.5-2.75	0.19	0.05																			0.19	0.25	0.07	0.13	0.9
2.75-3	0.05	0.01																			0.04	0.05	0.02	0.02	0.2
3-3.25	0.04																				0.01	0.01		0.01	0.1
3.25-3.5	0.01																					0.01			0.0
	0.01																							0.01	0.0
Total	69.3	138.2	43.4	17.0	10.4	8.4	8.3	8.9	9.7	10.5	12.0	14.1	15.8	16.4	16.7	19.2	21.5	28.2	43.8	86.3	186.1	109.3	60.1	46.4	1000

Tableau 4-13 : corrélogramme H_s/Dir au point 75094 de la base HOMERE.

Ces éléments mettent en évidence trois directions principales des houles : ONO (315°), N (0°), NNE (23°).

Le corrélogramme ne met pas en évidence de direction privilégiée pour les houles les plus fortes.

L'analyse statistique sur les houles donne les valeurs suivantes :

Période de retour (an)	Hm0 (m)
annuelle	2,6
1,3	2,8
10	3,4
20	3,6
50	3,9
100	4,2

Tableau 4-14 : caractéristiques des houles extrêmes au point 75094 de la base HOMERE.

Les périodes de pic associées à ces hauteurs de houles peuvent être tirées du corrélogramme du Tableau 4-15. De manière générale, les périodes varient de 7 à 9 s pour les plus fortes houles. Ces valeurs montrent la prédominance des mers de vent sur le secteur d'étude.

Hs (m)	Période du pic (s)																							Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
0-0.25	0.30	72.76	52.25	24.57	22.53	14.25	3.89	8.27	10.83	6.65	5.63	0.55	0.37	0.55	0.44	0.33	0.25	0.17	0.04	0.02					224.6
0.25-0.5		63.24	83.55	112.76	35.38	7.10	1.42	0.68	0.08	0.02	0.02														314.3
0.5-0.75		0.13	31.51	78.63	69.11	10.03	1.33	0.17																	190.9
0.75-1			6.41	10.95	75.97	21.34	1.84	0.12																	116.6
1-1.25			0.32	2.04	30.75	34.74	2.26	0.10																	70.2
1.25-1.5				0.49	3.74	31.66	3.78	0.25																	39.9
1.5-1.75				0.04	0.18	15.96	5.32	0.35	0.01																21.9
1.75-2				0.01	0.04	4.32	7.19	0.44	0.01																12.0
2-2.25						0.23	5.17	0.35																	5.8
2.25-2.5						0.01	2.18	0.46	0.01																2.6
2.5-2.75							0.46	0.40	0.02																0.9
2.75-3							0.02	0.14	0.03																0.2
3-3.25							0.01	0.02	0.03																0.1
3.25-3.5								0.01	0.01																0.0
> 3.5								0.01	0.01																0.0
Total	0.3	136.1	184.0	229.5	237.7	139.6	34.8	11.8	11.0	6.7	5.7	0.6	0.4	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1000

Tableau 4-15 : corrélogramme H_s/T_p au point 75094 de la base HOMERE.

Pour les houles les plus fortes, l'étalement directionnel est en moyenne de 25°.

4.5.3 VENT

L'analyse de vent est réalisée à partir des données de vent au nœud 75 094 de la base de données HOMERE.

Ces données de vent sont présentées sur la Tableau 4-16. Elle met en évidence 2 fenêtres de provenances principales du vent :

- Ouest à Sud Ouest ;
- Est-Nord Est.

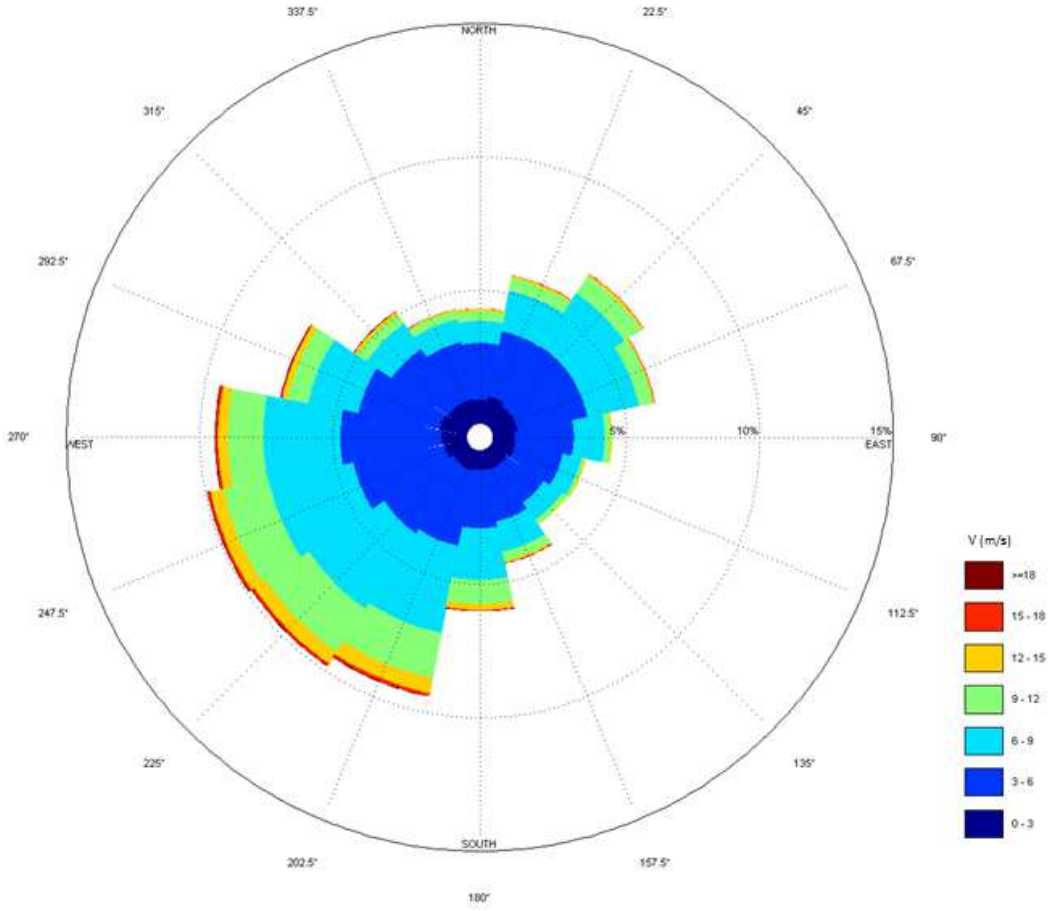


Tableau 4-16 : rose des vents au point 75094 de la base HOMERE.

Les vents d'Ouest-Nord-Ouest à Sud-Ouest sont plus fréquents que la 2ème provenance principale. En particulier, les vents les plus forts (supérieurs à 15 m/s) proviennent quasi exclusivement de ce secteur Ouest-Nord-Ouest à Sud-Ouest.

4.5.4 NIVEAUX MARINS EXTREMES DYNAMIQUES

Les niveaux marins extrêmes statiques présentés au 4.5.1 sont évalués sur la base d'observations dans des zones abritées et ne prennent pas en compte la surcote due au déferlement des vagues (wave set-up) qui est observée sur les plages.

Cette surcote a été estimée dans le cadre du PPRL par modélisation de différentes combinaisons d'états de mer (Alp'Géorisques - IMDC, 2015). La valeur maximale retenue est de 0,27 m à Ouistreham et 0,30 m à Colleville et Hermanville.

Pour caractériser les niveaux sur l'ensemble du système d'endiguement, nous retiendrons une valeur unique de 0,30 m considérée, en première approche, constante quelque soit la période de retour.

Les niveaux marins extrêmes sur la zone d'étude sont ainsi donnés dans le Tableau 4-17 :

Port de Ouistreham	Période de retour					
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Niveau marin en mNGF	4,77	4,82	4,90	5,00	5,16	5,23

Tableau 4-17 : niveaux extrêmes marins sur la zone d'étude.

Dans le cadre du PPRL (Alp'Géorisques - IMDC, 2015), le niveau de référence retenu est de 5,05 mNGF à Ouistreham et 5,08 mNGF à Hermanville-sur-Mer. La valeur retenue dans le cadre de l'étude de dangers pour l'occurrence centennale est cohérente avec ces valeurs.

4.6 SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES

4.6.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

4.6.1.1 Canal-littoral

La carte du contexte géologique du secteur canal-littoral met en évidence les points suivants :

- Sur le front de mer, les ouvrages et les habitations sont situés en contexte dunaire :
  - Côté mer, les sédiments sont bioclastiques ou litho- bioclastiques composés de 30 à plus de 70 % de calcaire (sables fins à grossiers et ponctuellement vaseux) ;
  - En arrière, des habitations sont localisées sur des zones de dépôts marins sablo-argileux, de limons des plateaux, de colluvions marneux du bathonien terminal.
- Les berges Ouest du canal où est localisée la digue Ouest du canal maritime se trouvent sur un terrain constitué :
  - De dépôts marins sablo-argileux à l'extrémité Nord sur la commune d'Ouistreham ;
  - De colluvion limoneuse ;
  - De calcaire de Ranville, de Blainville ou de Caen (en descendant du Nord au Sud) avec ponctuellement une nappe alluvial saalienne en arrière ;
  - De dépôts fluviomarins le long du lit du petit Dan au Sud de Blainville-sur-Orne.
- En arrière de la digue du canal, les terrains sont constitués de limons des plateaux et de calcaire de Langrune ;
- Les berges Est du canal situées entre le canal et l'Orne maritime sont localisées sur un terrain constitué :
  - De sédiments litho clastiques dans la baie de l'Orne ;
  - De dépôts marins sablo-argileux jusqu'au niveau de Blainville-sur-Orne
  - Puis de remblais anthropiques.



Figure 4-9 : extrait de la carte géologique de France au 1/50 000ème, feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre).

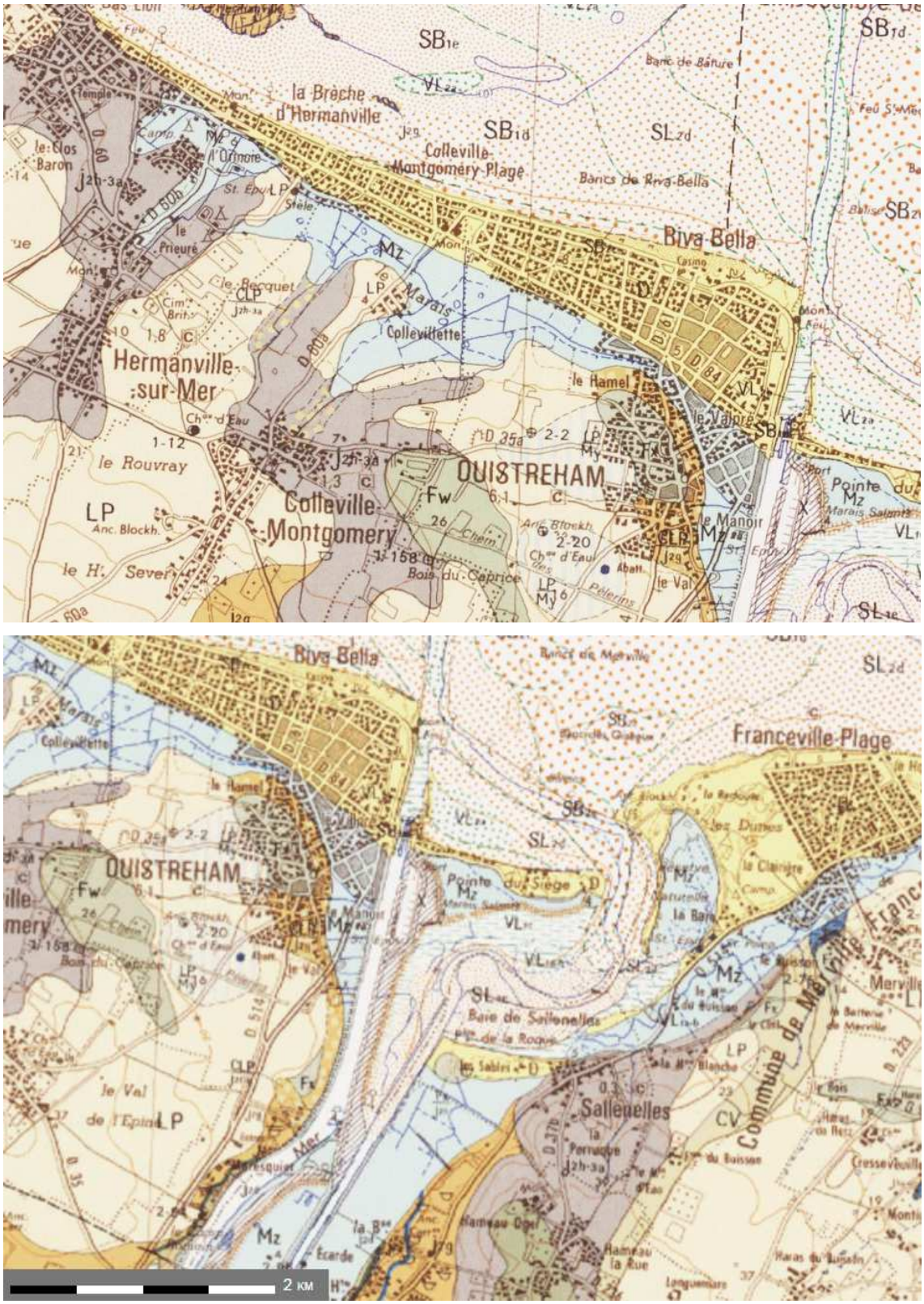

SB1e
SB1d
SL2d
la Brèche d'Hermanville
Colleville-Montgomery-Plage
Bancs de Riva-Bella
Riva Bella
le Clos Baron
le Prieuré
le Becquet
Colleville
Hermanville-sur-Mer
le Hamel
le Rouvray
Colleville-Montgomery
QUISTREHAM
le Manoir
Pointe du
le Val
Franceville-Plage
Pointe du Siège
Baie de Sallenelles
Sallenelles
Commune de Merville
2 KM



Figure 4-10 : contexte géologique – Canal-littoral (extrait de la carte géologique de France au 1/50 000ème, feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre)).

4.6.1.2 Colombelles

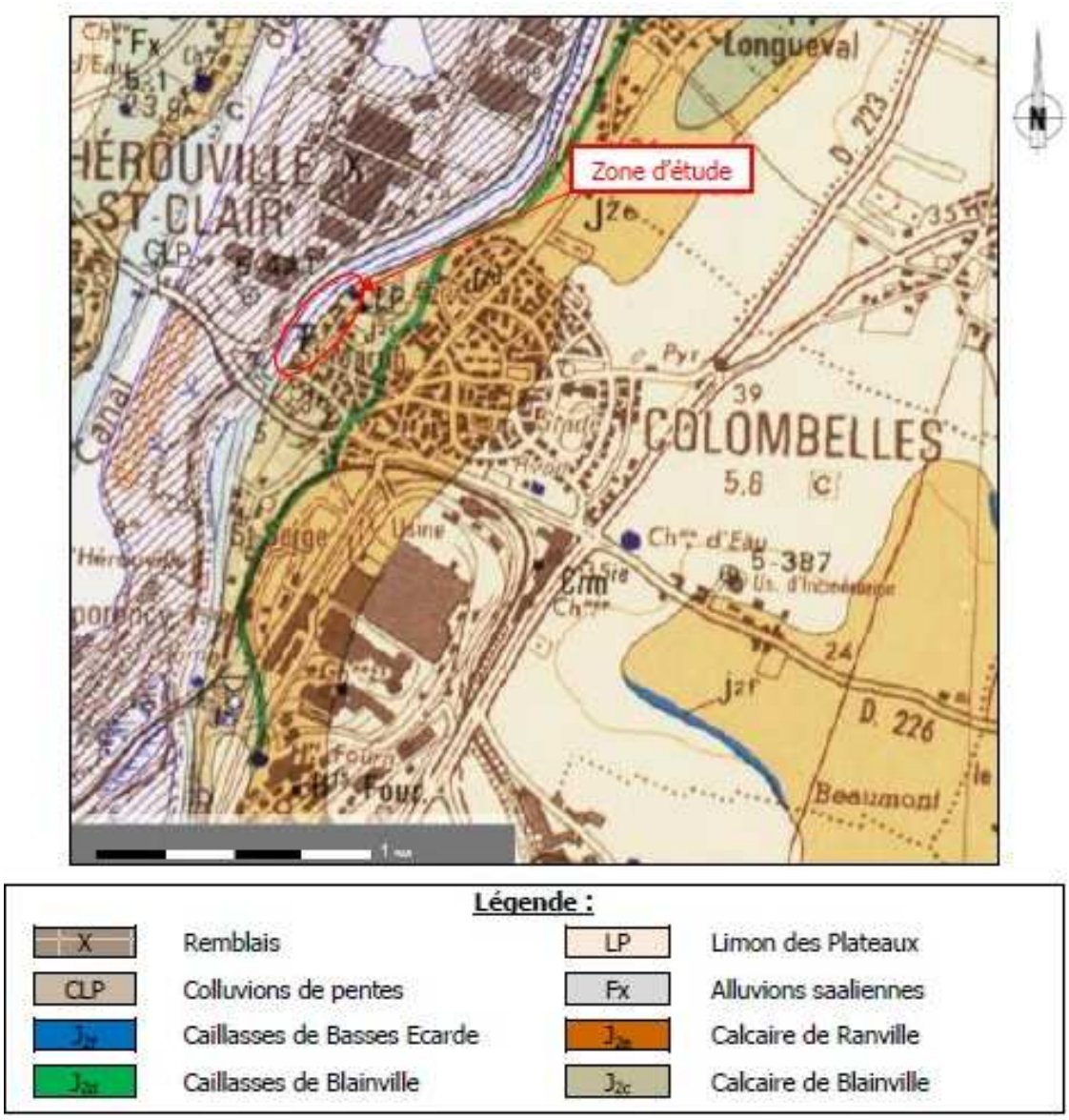


Figure 4-11 : contexte géologique – Colombelles (extrait de la carte géologique de France au 1/50 000ème, feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre)).

(SEMOFI, 2015)

Le site se trouve sur la rive droite de la plaine alluviale de l'Orne qui a incisé le plateau calcaire de Caen, formant la morphologie locale.

Ce plateau est formé d'une succession de formations calcaires Jurassiques (calcarénites, calcaires récifaux et oolithiques) entrecoupée de caillasses et qui s'étagent du Bajocien au Bathonien.

Il s'agit des formations qui constituent la terminaison Nord-Ouest du Bassin Parisien, et dont la mise à l'affleurement a été permise par l'action conjuguée de la flexuration du Bassin et de l'érosion progressive des couches sus-jacentes.

Les différentes phases de compression et de flambage qui ont affecté les bordures du Bassin Parisien au cours du Cénozoïque ont entraîné un relevage des couches géologiques et un pendage généralisé de ces formations vers le Nord-Est.

Ces couches ont par la suite été recouvertes de sédiments éoliens périglaciaires, les loess, dont le dépôt s'est accompagné d'un arasement du relief et de la formation de cette topographie tabulaire.

Le cycle glaciaire/interglaciaire s'accompagnant d'importantes décharges d'eau contenue dans le sol sous forme de glace (permafrost), les cours d'eau de fortes énergies ainsi crées ont progressivement raviné le plateau calcaire et formés les vallées actuelles de l'Orne et de ses affluents.

Quelques dépôts de cette période subsistent sous forme placages sableux à sablo-graveleux étagés en terrasses sur les versants des vallées, les plus anciennes se situant près des têtes de versant tandis que les plus récentes sont retrouvées à proximité du niveau actuel du fleuve.

Les Alluvions les plus récentes (Alluvions Modernes) correspondent aux dépôts alluvionnaires es cours d'eau tels qu'ils se présentent aujourd'hui et remplissent les fonds des vallées. Il s'agit principalement de dépôts argileux à vasards pouvant contenir des passées tourbeuses.

4.6.2 SEISMES

D'après le zonage sismique en vigueur depuis le 1er mai 2011, les digues étudiées sont situées en zone de sismicité 2 (faible). Le réseau de digues est de classe B et C, aucune étude du risque sismique n'est donc nécessaire.

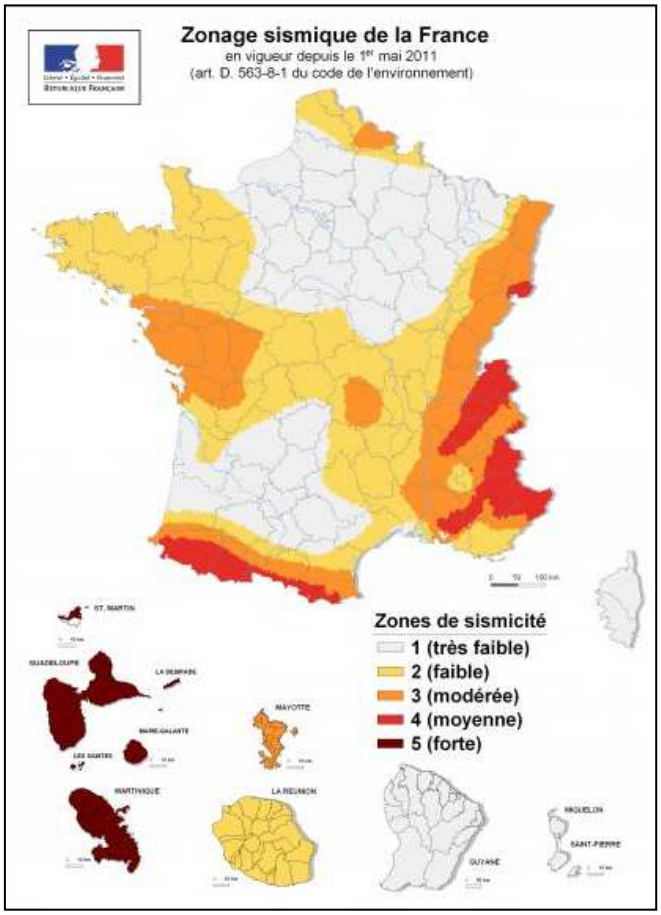


Tableau 4-18 : zonage sismique de la France.

La carte suivante localise les épicentres des séismes recensés à proximité géographique de la zone d'étude entre 1962 et 2009. Elle a été établie par le Bureau Central Sismologique Français et est disponible sur le site : www.franceseisme.fr.

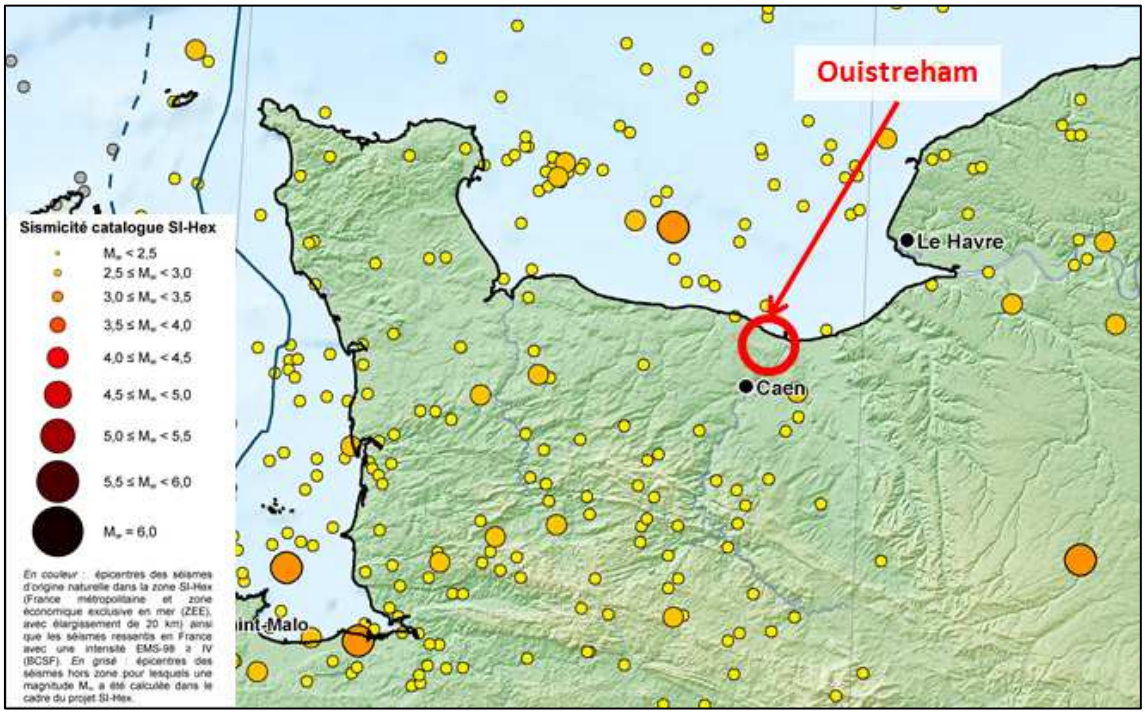


Tableau 4-19 : épicentre des séismes observés entre 1962 et 2009 à proximité de la zone d'étude. La couleur des points figure la magnitude du séisme (source : www.franceseisme.fr).

En zone de sismicité 2, la vérification du risque potentiel de liquéfaction des digues n'est pas requise pour les digues de classe B et C[5].

4.6.3 TSUNAMI

La Tableau 4-21 répertorie les tsunamis constatés sur les côtes de France.

En Manche, 3 tsunamis ont été observés sur les côtes du Cotentin et de la baie de Seine :

Date	Appellation	Région	Océan-Mer	Intensité
17 décembre 1850	Baie de Cherbourg	Cotentin	Manche	3.0
25 septembre 1845	Baie de Seine (Le Havre)	Normandie	Manche	inconnue
13 juillet 1725	Baie de Flamanville	Cotentin	Manche	2.0

Tableau 4-20 : liste des tsunamis observés sur les côtes de Normandie.

[5] : cf. Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques, MEDDE-DGPR, octobre 2014.

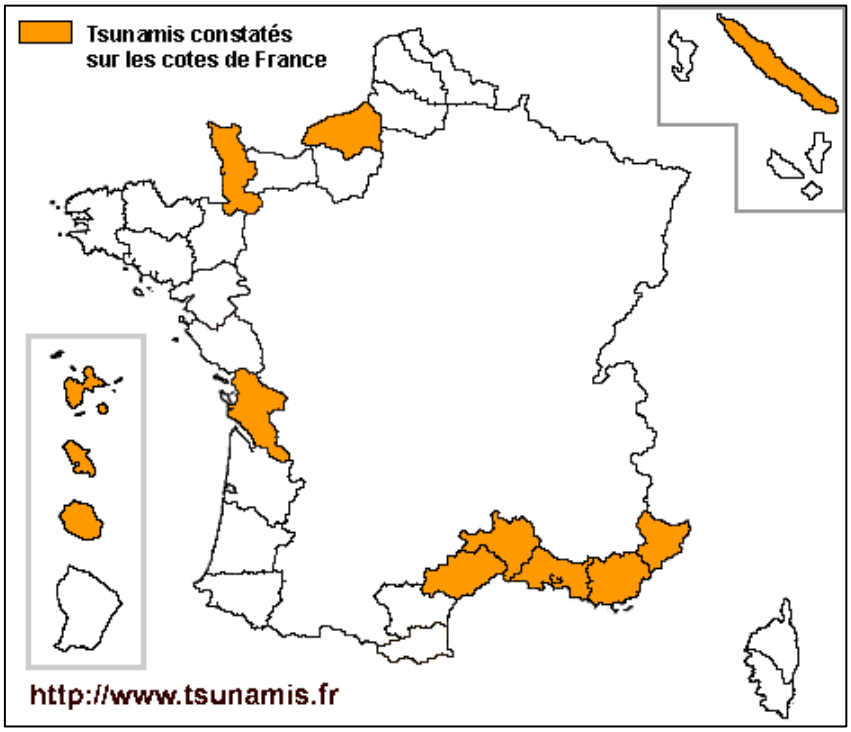


Tableau 4-21 : tsunamis constatés sur les côtes de France.

Le site www.tsunamis.fr informe d'une liste de faux tsunamis (évènements perçus comme tels) :

Date	Appellation	Région	Océan-Mer
28 octobre 1909	Raz de marée de tempête (St-Malo, Port-en-Bessin)	Normandie	Manche
30 mai 1889	Séisme du Nord Cotentin	Normandie	Manche
17 septembre 1839	Raz de marée de tempête (la Hougue)	Cotentin	Manche
23-25 janvier 1838	Houle extraordinaire (baie et port de Cherbourg)	Cotentin	Manche
25 décembre 1836	Raz de marée de tempête (Barfleur, la Hougue)	Cotentin	Manche
7 mars 1833	Contexte de grande marée (la Hougue)	Cotentin	Manche
13 septembre 1821	Marée extraordinaire (Cherbourg)	Cotentin	Manche
25 juin 1768	Mouvement des eaux (Le Havre)	Normandie	Manche
30 novembre 1716	Marée extraordinaire (Le Havre)	Normandie	Manche

Tableau 4-22 : liste de faux tsunamis sur les côtes de Normandie.

5 CHAPITRE 5 : DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

5.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

Le système d'endiguement de Colombelles constitue une protection contre les inondations liées aux crues de l'Orne et aux remontées de la mer dans l'estuaire. La zone protégée s'étend sur la commune de Colombelles.

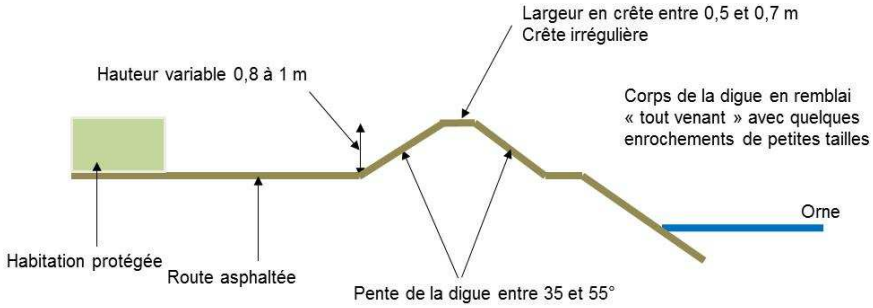
Les terrains protégés sont nivelés au-dessus de 4,2 mNGF (point bas sur le chemin de halage en arrière de la digue).

Les ouvrages constitutifs du système d'endiguement de Colombelles sont décomposés en trois sous-tronçons homogènes par leurs caractéristiques physiques.

Le sous-tronçon principal (digue de Colombelles) est classé. Les deux autres sous-tronçons ont été construits après classement afin d'assurer la fermeture aval du système d'endiguement.

5.1.1 OUVRAGES EXISTANTS

Digue de Colombelles	
Localisation	

Photo	
Longueur utile	345 ml Extrémité 1 : X = 458 914 m – Y = 6 905 538 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 459 116 m – Y = 6 905 816 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Travaux de confortement des berges en 2015-2016
Description de la structure et géométrie	 La structure de la digue comprend (du Coté de l'Orne jusqu'à la zone protégée) : ▪ Une berge sur l'Orne très végétalisée avec une pente relativement importante (environ 55°), ▪ Une digue en « tout venant » d'une hauteur comprise entre 0,8 et 1 m, ▪ La pente des talus de la digue est comprise entre 35 et 55°, ▪ La crête est irrégulière et sa largeur est comprise entre 0,5 et 0,7 m, ▪ Une route asphaltée est située dans la zone protégée (chemin de halage).
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : -0,8 mNGF Cote de la crête de digue : 5,0 à 5,2 mNGF Cote du chemin de halage : 4,2 à 4,6 mNGF

Ouvrages annexes	3 ouvrages d'assainissement pluvial sont situés en fondation sous la digue. Les trois ouvrages sont munis de clapet anti-retour.
Propriété et parcelles cadastrales	La digue et le chemin de halage ne sont pas cadastrés, ils sont sur le domaine public : 
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 04 juillet 2014
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

Merlon de fermeture	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	5 ml Extrémité 1 : X = 459 116 m – Y = 6 905 816 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 459 121 m – Y = 6 905 810 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction en 2019

Description de la structure et géométrie	Le merlon présente un profil trapézoïdal : ▪ Hauteur moyenne : environ 0,6 m ; ▪ Largeur en crête : environ 1,5 m ; ▪ Pente des talus : 3H/1V ; ▪ Largeur en pied : environ 5 m.
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : 4,4 mNGF Cote de la crête de digue : 5,0 mNGF
Ouvrages annexes	Sans objets (plusieurs ouvrages se trouvent en aval du merlon)
Propriété et parcelles cadastrales	Le merlon et le chemin de halage ne sont pas cadastrés, ils sont sur le domaine public : 
Gestion	Non classé
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

Mur de fermeture	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	8 ml Extrémité 1 : X = 459 121 m – Y = 6 905 810 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 459 125 m – Y = 6 905 814 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction en 2019

Description de la structure et géométrie	Les principales caractéristiques sont les suivantes : ▪ Hauteur moyenne : environ 1 m ; ▪ Epaisseur : environ 20 cm.
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : 4,5 mNGF Cote de la crête de digue : 5,5 mNGF
Ouvrages annexes	Sans objets (plusieurs ouvrages se trouvent en aval du merlon)
Propriété et parcelles cadastrales	Le mur est situé en limite de 2 propriétés : parcelles n°0091 et n°0092 de la section BB. 
Gestion	Non classé
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

5.1.2 OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER

Sans objet

5.1.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

L'objectif de l'analyse fonctionnelle est de décomposer chaque ouvrage du système de protection en parties élémentaires et de définir les fonctions de chacune de ces parties. Cette décomposition permettra ultérieurement d'apprécier les modes de défaillance utilisés pour évaluer les scénarios de rupture et leurs probabilités.

Les modes de défaillance seront associés à chaque composante du système.

Fonction de rang 0	Fonction de rang 1	Ouvrages associés aux fonctions de rang 1	Fonctions de rang 2	Ouvrages associés aux fonctions de rang 2
Protéger les terres des submersions marines	Empêcher le passage continu ou discontinu des eaux vers les terres	Digue Merlon	Assurer la stabilité en fonctionnement normal et exceptionnel	Corps de remblai
				Pieux bois et tirants d'ancrage
			Assurer le maintien du remblai	Végétation du parement
				Pieux bois et tirants d'ancrage
				Perré (présence non confirmée)
			Permettre l'accès pour entretien	Route/chemin de halage
		Mur	Assurer la stabilité en fonctionnement normal et exceptionnel	Fondation
			Permettre l'accès pour entretien	Route/chemin de halage
	Evacuer les eaux terrestres	Emissaires	Transférer l'eau	Canalisation

Tableau 5-1 : analyse fonctionnelle générale.

Une décomposition par composants d'ouvrage est également proposée pages suivantes.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue de Colombelles	Corps de remblai en tout-venant	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps du remblai
	Pieux bois et tirants d'ancrage	Transmission des efforts verticaux au sol Résistance au glissement (efforts horizontaux)
	Perré (présence non confirmée)	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Confinement du remblai
	Canalisation	Evacuation des eaux terrestres
	Route	Accès continu à l'ouvrage

Tableau 5-2 : analyse fonctionnelle – Colombelles, sous-tronçon 1.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Merlon	Corps de remblai en tout-venant	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps du remblai
	Route	Accès continu à l'ouvrage

Tableau 5-3 : analyse fonctionnelle – Colombelles, sous-tronçon 2.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Mur	Fondation	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Route	Accès continu à l'ouvrage

Tableau 5-4 : analyse fonctionnelle – Colombelles, sous-tronçon 3.

5.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

Le système d’endiguement canal-littoral intègre de nombreux ouvrages.

5.2.1 OUVRAGES EXISTANTS

5.2.1.1 Endiguement

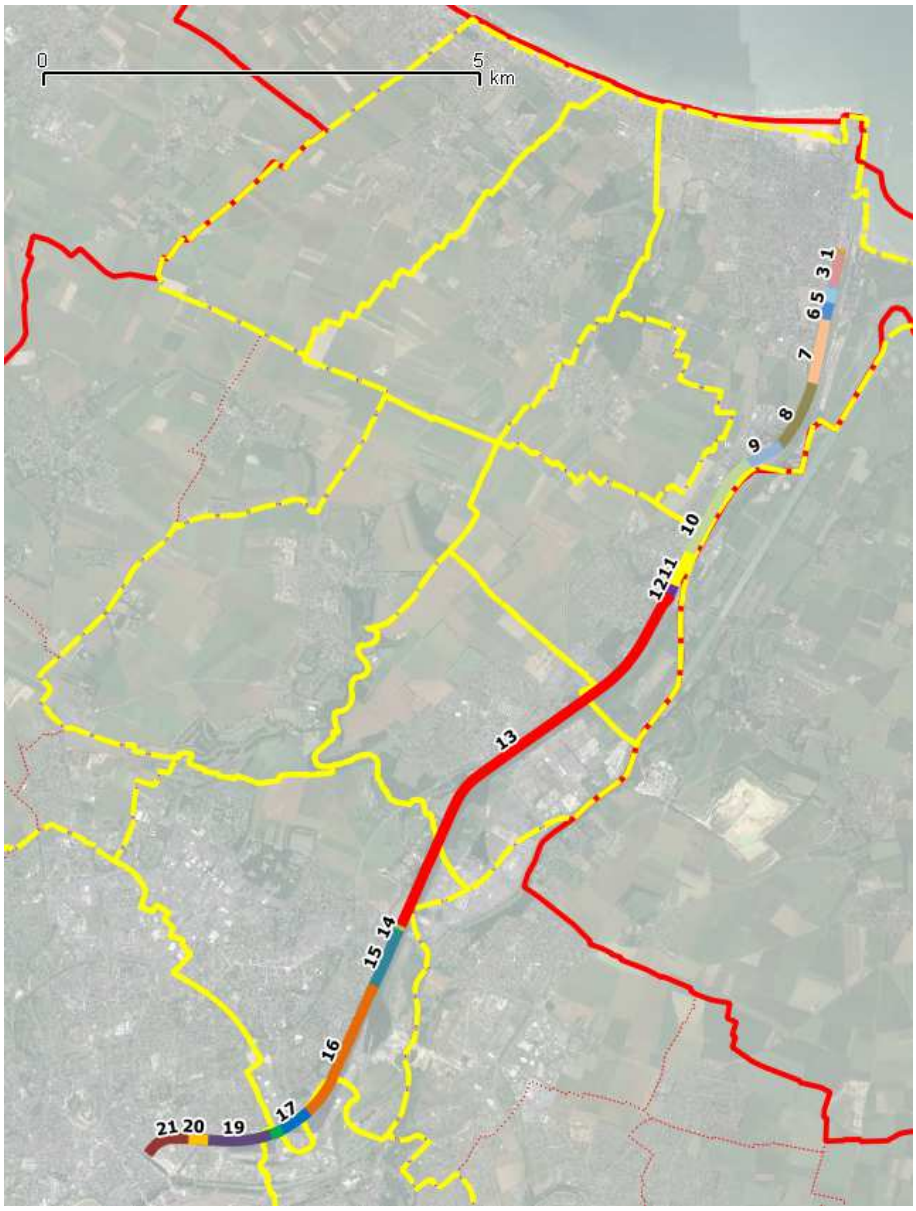
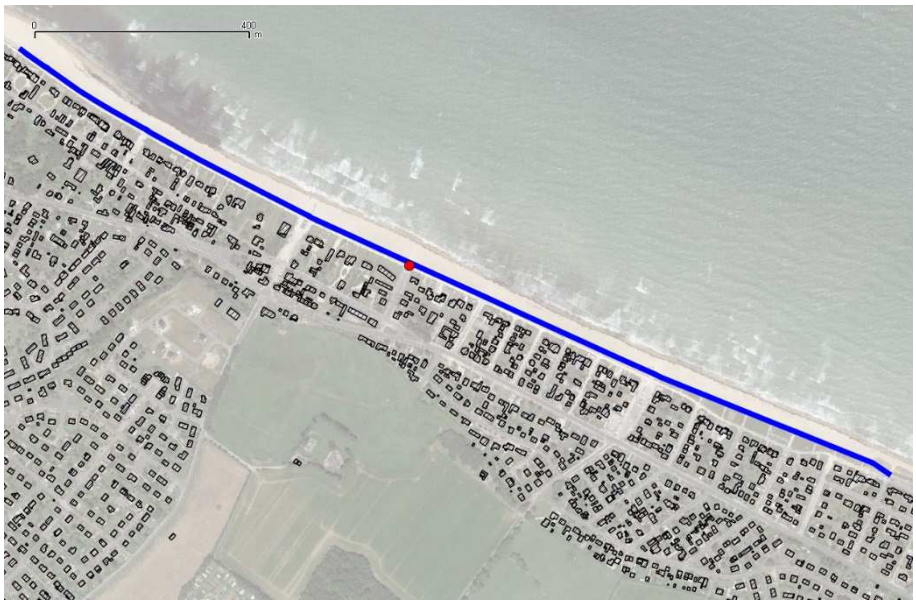
Digue du canal de Caen à la mer	
Localisation	

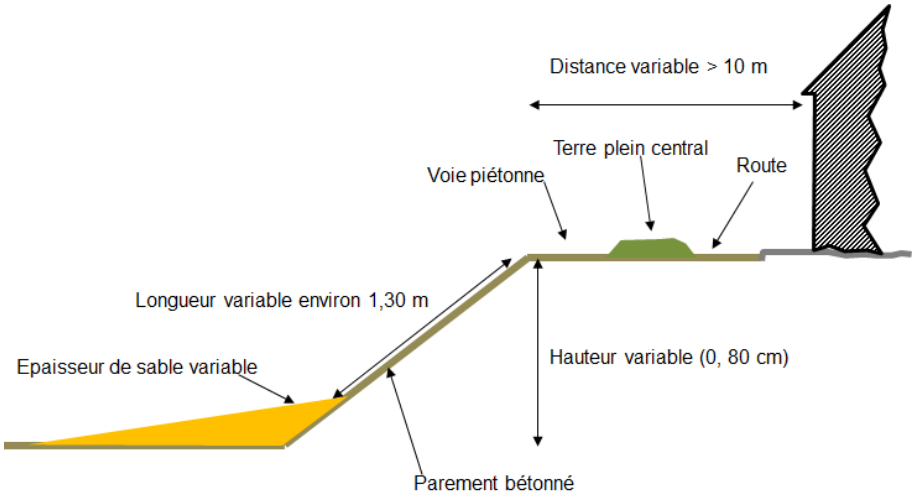
Photo	
Longueur utile	13 835 ml Extrémité 1 : X = 455 631 m – Y = 6 903 334 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 463 510 m – Y = 6 913 606 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction au XIX^{ème} siècle
Description de la structure et géométrie	La digue a été décomposée en 21 sous-tronçons en fonction de leur structure et géométrie : la structure et la géométrie sont ainsi très variables le long de la digue. Le Tableau 5-5 présente la synthèse des caractéristiques par sous-tronçon.
Cote (mNGF)	Cote du pied de la berge : -4,0 mNGF sur toute la partie navigable Cote de la crête de digue : 4,6 à 5,6 mNGF
Ouvrages annexes	3 ouvrages traversant le corps de digue 7 siphons passant sous le canal sont répertoriés, dont 3 permettent l'évacuation des eaux du fossé de ligne vers l'Orne maritime
Propriété et parcelles cadastrales	La digue est sur le domaine public, elle n'est pas cadastrée
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 21 mai 2012
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2019)

Sous-tronçon	PK		Longueur	Niveau moyen	Niveau minimal	Largeur en crête	Largeur en pied	Talus côté canal		Talus côté terre		Hauteur moyenne sur TN	Charge moyenne sous le niveau de protection	Fossé de ligne en pied	Réseaux	Ouvrages traversants	Végétation	Enjeux dans la zone protégée en arrière immédiat de la digue
	Amont	Aval						Nature	Fruit	Nature	Fruit							
ST-1	13.815	13.852	37	5,1 mNGF [9,2 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	> 30 m	> 40 m	Mur maçonné	vertical	Urbanisé	> 5H/1V	< 1 m	< 0,5 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Centre de Ouistreham
ST-2	13.784	13.815	31	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	11 m	16 m	Enrochement	2H/1V	Urbanisé	4H/1V	1,6 m	1,0 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Centre de Ouistreham
ST-3	13.440	13.784	344	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	10 m	20 m	Enrochement	2-3H/1V	Urbanisé	4H/1V	2,0 m	1,4 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Centre de Ouistreham
ST-4	13.390	13.440	50	5,3 mNGF [9,4 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	7 m	16 m	Palplanche	vertical	Urbanisé	13H/1V	1,2 m	0,5 m	-	Réseau électrique Eaux usées Assainissement Gaz	Aucun	RAS	Hangars et parking à bateaux
ST-5	13.226	13.390	164	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,3 mNGF** [9,4 mCM]	10 m	25 m	Enrochement	1,5H/1V	Urbanisé	> 5H/1V	2 m	1,2 m	-	Réseau électrique Eaux usées Réseau Telecom	1 ouvrage EP	RAS	Hangars et parking à bateaux Station d'épuration
ST-6	13.024	13.226	202	5,3 mNGF [9,4 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	16 m	20 m	Palplanche	vertical	Mur béton	1,5H/1V	2,6 m	2,0 m	oui	Eaux pluviales Réseau Telecom	Aucun	RAS	Terrains non bâtis
ST-7	12.280	13.024	744	5,5 mNGF [8,8 mCM]	**4,7 mNGF** [8,8 mCM]	10 m	15 m	Enrochement	2-2,5H/1V	Enherbé	2H/1V	2,5 m	1,6 m	oui	Réseau électrique	2 ouvrages EP	3 arbustes	Camping Riva bella
ST-8	11.482	12.280	798	5,3 mNGF [9,6 mCM]	**4,6 mNGF** [8,7 mCM]	9 m	15 m	Enrochement	1H/1V	Enherbé	2H/1V	2,4 m	1,6 m	oui	Réseau électrique	Aucun	3 arbustes	1 habitation
ST-9	11.056	11.482	426	5,0 mNGF [9,1 mCM]	**4,7 mNGF** [8,8 mCM	8 m	12 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	2H/1V	< 1 m	< 1 m	oui	Réseau électrique	Aucun	1 arbuste	Terrains non bâtis
ST-10	9.817	11.056	1239	5,1 mNGF [9,2 mCM]	**4,8 mNGF** [8,9 mCM]	10 m	16 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	2H/1V	< 1 m	< 1 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom	Siphon hydrocarbure	4 arbustes	Plateforme du dépôt pétrolier Camping Les Hautes Coutures
ST-11	9.400	9.817	417	5,6 mNGF [9,7 mCM]	**4,7 mNGF** [8,8 mCM]	10 m	18 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	1,7H/1V	1,9 m	1,2 m	oui	Réseau électrique Eaux usées Réseau Telecom Fibre optique	Aucun	quelques arbustes	2-3 habitations
ST-12	9.283	9.400	117	5,8 mNGF [9,9 mCM]	**5,4 mNGF** [9,5 mCM]	> 30 m	> 30 m	Palplanche	vertical	Enherbé	2-3H/1V	0	0	oui	Eaux usées Réseau Telecom Fibre optique	RAS	RAS	-
ST-13	4.267	9.283	5016	5,8 mNGF [9,9 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	8 m	18 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	2-2,5H/1V	2,5 m	1,5 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom Fibre optique Gaz	Siphon de Bénouville Siphon de Blainville Vanne de Beauregard Traversées de réseaux	arbustes sur tout le linéaire 5 gros et grands arbres	10-15 habitations station d'épuration de Blainville voie communale
ST-14	4.217	4.267	50	5,8 mNGF [9,9 mCM]	**5,6 mNGF** [9,7 mCM]	> 30 m	> 30 m	Palplanche	vertical	Enherbé		0	0	oui	Réseau électrique Réseau Telecom		RAS	-
ST-15	3.519	4.217	698	5,5 mNGF [9,6 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	13 m	22 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	2,5-3H/1V	2 m	1,2 m	oui	Réseau Telecom	Aucun	arbres parsemés sur tout le linéaire	1-2 habitations
ST-16	1.878	3.519	1641	5,3 mNGF [9,4 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	11 m	22 m	Enrochement	1,5H/1V	Enherbé	3H/1V	2,3 m	1,4 m	oui	Réseau Telecom	Aucun	arbres parsemés arbustes sur 500 ml 1 souche 2 grands arbres prenchés	restaurant l'Espérance 4-5 habitations rue des sources
ST-17	1.513	1.878	365	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,1 mNGF** [9,2 mCM]	14 m	22 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	2H/1V	1,3 m	0,5 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom Eaux usées Assainissement	Siphon ville de Caen	arbustes et buissons présents sur 3 linéaires de 70 ml	3-5 habitations
ST-18	1.371	1.513	142	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,3 mNGF** [9,4 mCM]	16 m	21 m	Enrochement	1,7H/1V	Enherbé	1,5H/1V	1,5 m	1,0 m	oui	Réseau électrique Assainissement Eaux usées	Aucun	1 arbre	base nautique
ST-19	0.648	1.371	723	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,0 mNGF** [9,1 mCM]	12 m	20 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	> 5H/1V	1,4 m	0,6 m	oui	Réseau électrique Assainissement Eaux usées	Aucun	végétation dense sur tout le linéaire	10 habitations habitat collectif rue Basse
ST-20	0.422	0.648	226	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	9 m	15 m	Enrochement	2H/1V	Enherbé	3H/1V	1,5 m	0,8 m	oui	Réseau électrique Gaz Eaux usées Assainissement	Siphon Viandes de France	végétation dense sur tout le linéaire	habitat collectif
ST-21	0.015	0.422	407	5,4 mNGF [9,5 mCM]	**5,2 mNGF** [9,3 mCM]	8 m	12 m	Enrochement	2H/1V	Urbanisé	2,5H/1V	1,2 m	0,5 m	oui	Réseau électrique Réseau Telecom Gaz Eaux usées Assainissement	Vannes des Blanchisseries	végétation dense sur tout le linéaire	habitat collectif habitations individuelles zone commerciale

Tableau 5-5 : tableau de synthèse des sous-tronçon de la digue du canal maritime.

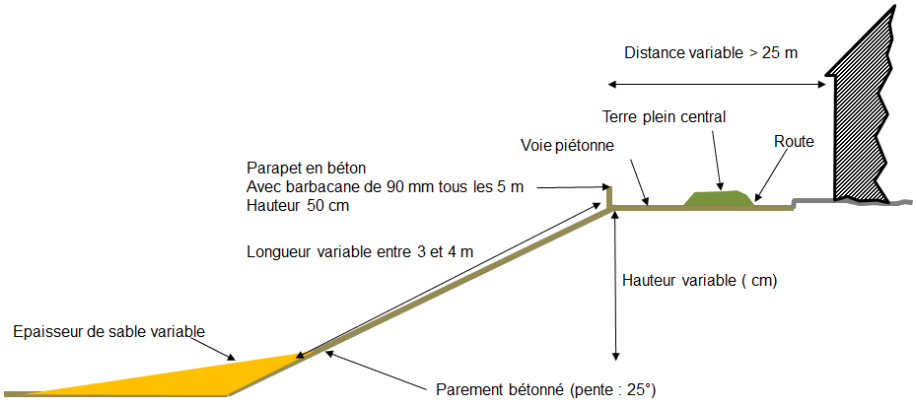
5.2.1.2 Ouvrages contributifs

Perré d'Hermanville-sur-Mer	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	1 800 ml Extrémité 1 : X = 459 297 m – Y = 6 916 297 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 460 883 m – Y = 6 915 529 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Tronçon dit « digue de Tanagra » construit avant 1955 Autres tronçons construits entre 1965 et 1972

Description de la structure et géométrie	 La digue comprend (de la mer vers l'intérieur) : ▪ Un parafouille en palplanches en pied du perré bétonné, ▪ Un parement côté mer bétonné avec un rebord en crête de largeur 50 cm, ▪ Une voie piétonne goudronnée de largeur moyenne 3 m, ▪ Un terre-plein central en sable enherbé de largeur variable (2 m côté Lion pour atteindre env. 20 m côté Colleville), ▪ Une voirie (par endroit fermée à la circulation) de largeur 4 à 6 m, ▪ Les propriétés privées qui s'étendent sur plusieurs dizaines de mètres. Le parement aval n'est ainsi pas visible. A priori, les terrains redescendent en altitude au niveau de la route départementale RD514 (à 100 m environ en arrière du front de mer). Le tronçon dit « digue de Tanagra » présente un profil très proche avec comme particularité un parement bétonné de plus faible hauteur reposant sur un rideau de palplanches.
Cote (mNGF)	Cote de fond du parafouille : 0,7 mNGF (d'après plans de projet) Cote du pied du perré : 2,7 mNGF (d'après plans de projet) Cote de la crête de digue : 6,2 à 6,5 mNGF
Ouvrages annexes	1 émissaire pluvial
Propriété et parcelles cadastrales	La digue repose sur des parcelles privées. Les propriétaires sont regroupés au sein de l'ASA d'Hermanville-sur-Mer.

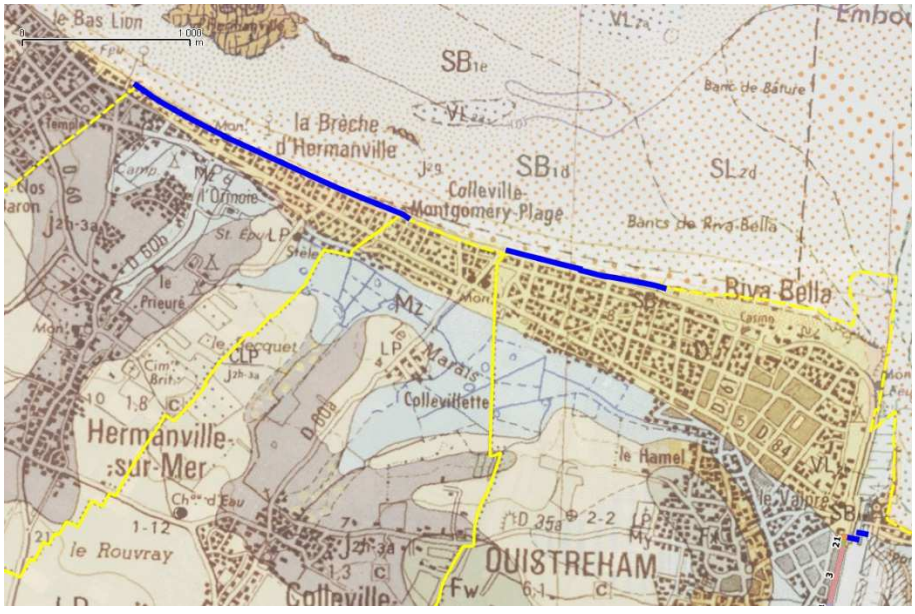
	
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 24 avril 2012
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

Perré de Ouistreham	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	960 ml Extrémité 1 : X = 461 512 m – Y = 6 915 311 (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 462 435 m – Y = 6 915 090 (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Construction entre 1978 «et 1982 en trois tranches 1983 : confortement de l'extrémité Est avec des enrochements 2017 : confortement de l'extrémité Ouest avec des enrochements

Description de la structure et géométrie	 La digue comprend (de la mer vers l'intérieur) : ▪ Un parafouille en palplanches en pied du perré bétonné, ▪ Un parement côté mer bétonné avec un muret en crête de hauteur moyenne 50 cm ; ▪ Une voie piétonne goudronnée de largeur moyenne 3 m ; ▪ Un terre plein central en sable enherbé de largeur variable entre 10 et 20 m (à certains endroits une zone de parking est intégrée au terre plein) ; ▪ Une piste cyclable de largeur 2 m ; ▪ Une voirie de largeur 4 à 6 m ; ▪ Les propriétés privées qui s'étendent sur plusieurs dizaines de mètre. Le parement aval n'est ainsi pas visible. A priori, les terrains redescendent en altitude au niveau de la route départementale (plusieurs centaines de mètres en arrière du front de mer). Les parcelles privées se situent a minima 25 m en arrière de l'axe du muret de crête.
Cote (mNGF)	Cote de fond du parafouille : 0,4 mNGF (d'après plans de projet) Cote du pied du perré : 2,4 mNGF (d'après plans de projet) Cote de la crête de digue (chemin) : 6,5 à 7,0 mNGF Cote de la crête de digue (muret) : 6,9 à 7,5 mNGF
Ouvrages annexes	Sans objets
Propriété et parcelles cadastrales	Le perré est établi pour une grande partie sur le domaine public maritime. A son extrémité Est, un linéaire d'environ 105 ml est établi en limite de la parcelle n°0371 de la section AE de la ville de Ouistreham

	
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 18 juillet 2012
Etat général	Bon état général (VTA, ISL 2021)

5.2.1.3 Autres éléments naturels

Massif dunaire d'Hermanville-sur-Mer, Colleville-Montgomery, Ouistreham	
Localisation	

<table>
<tr><td>Photo</td><td>  </td></tr>
<tr><td>Longueur utile</td><td>5 300 ml</td></tr>
<tr><td>Date de construction et travaux</td><td>Construction du perré d’Hermanville-sur-Mer
Construction du perré de Ouistreham entre 1978 et 1982
2006 : reprofilage de la dune de Colleville-Montgomery
2021 : remplacement d’épis</td></tr>
<tr><td>Description de la structure et géométrie</td><td>Dune naturelle d’altimétrie très variable et de grande largeur.
Sur les communes d’Hermanville-sur-Mer et Ouistreham, le front de dune est protégé de l’érosion côtière par deux perrés en béton.
Sur la commune de Colleville-Montgomery, située au centre, le front de dune n’est pas protégé par un perré : gestion par techniques « douces »</td></tr>
<tr><td>Cote (mNGF)</td><td>Cote de crête variable entre 6 et 8 mNGF
Largeur également variable :
<table><tr><th>Niveau</th><th>Largeur de la dune</th></tr><tr><td>4,0 mNGF</td><td>210 à 1 100 m</td></tr><tr><td>5,0 mNGF</td><td>95 à 670 m</td></tr><tr><td>6,0 mNGF</td><td>60 à 300 m</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Ouvrages annexes</td><td>Sans objets</td></tr>
<tr><td>Propriété et parcelles cadastrales</td><td>Le front de dune est en grande partie sur le domaine public maritime (communes de Colleville-Montgomery et Ouistreham).</td></tr>
</table>

	Sur la commune d'Hermanville-sur-Mer, le front de dune est sur des parcelles privées. Pour le reste, l'ensemble du massif dunaire est partagé entre domaine public et domaine privé.
Etat général	Bon état général

5.2.2 OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER

Sans objet

5.2.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

L'objectif de l'analyse fonctionnelle est de décomposer chaque ouvrage du système de protection en parties élémentaires et de définir les fonctions de chacune de ces parties. Cette décomposition permettra ultérieurement d'apprécier les modes de défaillance utilisés pour évaluer les scénarios de rupture et leurs probabilités.

Les modes de défaillance seront associés à chaque composante du système.

5.2.3.1 Canal maritime

Fonction de rang 0	Fonction de rang 1	Ouvrages associés aux fonctions de rang 1	Fonctions de rang 2	Ouvrages associés aux fonctions de rang 2
Protéger les terres des inondations	Empêcher le passage continu des eaux du canal vers les terres	Digue	Assurer la stabilité de la digue en fonctionnement normal et exceptionnel	Corps de remblai
				Enrochements
				Talus côté terre
				Risberme côté terre
				Palplanches
			Assurer l'étanchéité et le maintien du remblai	Enrochements
				Talus côté terre
				Végétation
				Palplanches
				Muret béton côté canal
			Dissiper l'énergie des vagues	Enrochements
				Palplanches
			Permettre l'accès pour entretien	Chemin piétonnier en crête
				Route en crête
				Passerelle d'accès
			Permettre l'accès aux bateaux	Ponton Embarcadère Quai
				Bittes d'amarrage
	Evacuer les eaux terrestres	Ouvrage traversant	Transférer l'eau	Canalisations
			Empêcher les eaux de passer en arrière de la digue	Vannes/clapets
		Ouvrage de collecte	Transférer l'eau	Fossé
	Transférer l'eau ou l'énergie	Réseaux non traversants	Transférer l'eau ou l'énergie	Réseaux hydrauliques et électriques
Protéger les terres des submersions marines	Empêcher le passage continu ou discontinu des eaux marines vers le canal	Ecluses	Maintenir constant le niveau d'eau dans le canal	Ecluse du port d'Ouistreham
Franchir le canal	Permettre le passage des véhicules et des personnes de chaque côté du canal	Ponts d'accès	Permettre l'accès	Ponts 'Pegasus Bridge' et pont des Colombelles

Tableau 5-6 : Analyse fonctionnelle générale - Digue du canal.

Une décomposition par composants d'ouvrage est également proposée pages suivantes.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST1	Portes de l'écluse	Maintien du niveau d'eau du canal Franchissement du canal par les personnes et les véhicules
	Muret béton et barrière métallique	Limitation de l'accès à l'écluse et à ses abords
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Palplanches	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage
	Quais en béton	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Accès à l'écluse et à ces abords

Tableau 5-7 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST1.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST2	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Muret béton et barrière métallique	Limitation de l'accès aux abords de l'écluse (ST1)
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules

Tableau 5-8 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST2.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST3	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules

Tableau 5-9 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST3.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST4	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Palplanches	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage
	Quais en béton	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules

Tableau 5-10 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST4.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST5	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules

Tableau 5-11 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST5.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST6	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Palplanches	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage
	Quais en béton	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Barrière métallique	Limitation de l'accès aux quais
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Ouvrages traversants	Transfert des eaux terrestres vers le canal

Tableau 5-12 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST6.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST7	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés

Tableau 5-13 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST7.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST8	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Risberme côté terre	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres

Tableau 5-14 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST8.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST9	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres

Tableau 5-15 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST9.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST10	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Risberme côté terre	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Ouvrages traversants	Transfert des eaux terrestres vers le canal
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés
	Embarcadère/Ponton	Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage
	Bittes d'amarrage	Amarrage des bateaux à l'ouvrage

Tableau 5-16 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST10.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST11	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres

Tableau 5-17 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST11.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST12	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Palplanches	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage
	Ponts	Franchissement du canal pour les personnes et les véhicules
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé busé	Collecte et transfert des eaux terrestres

Tableau 5-18 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST12.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST13	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Risberme côté terre	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Ouvrages traversants	Transfert des eaux terrestres vers le canal
	Vannes	Limitation du passage des eaux
	Embarcadère/Ponton (palplanches et quai béton)	Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage

Tableau 5-19 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST13.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST14	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Palplanches	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage
	Ponts	Franchissement du canal pour les personnes et les véhicules
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé busé	Collecte et transfert des eaux terrestres

Tableau 5-20 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST14.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST15	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Risberme côté terre	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés
	Embarcadère/Ponton	Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage

Tableau 5-21 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST15.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST16	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Risberme côté terre	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés
	Embarcadère/Ponton	Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage
	Bittes d'amarrage	Amarrage des bateaux à l'ouvrage

Tableau 5-22 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST16.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST17	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés
	Embarcadère/Ponton	Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage
	Bittes d'amarrage	Amarrage des bateaux à l'ouvrage

Tableau 5-23 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST17.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST18	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés
	Embarcadère/Ponton (palplanches et quai béton)	Accès et amarrage des kayaks à l'ouvrage Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage

Tableau 5-24 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST18.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST19	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés
	Embarcadère/Ponton	Accès et amarrage des bateaux à l'ouvrage
	Bittes d'amarrage	Amarrage des bateaux à l'ouvrage

Tableau 5-25 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST19.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST20	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Muret béton côté canal	Délimitation du trottoir Augmentation du niveau de protection de la digue
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Fossé	Collecte et transfert des eaux terrestres
	Passerelle d'accès	Accès depuis les terrains protégés

Tableau 5-26 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST20.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Digue du canal ST21	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Dissipation de l'énergie des vagues Prévenir l'érosion du talus côté canal
	Muret béton côté canal	Délimitation du trottoir Augmentation du niveau de protection de la digue
	Chemin piétonnier, piste cyclable	Accès continu des personnes
	Route	Accès continu des véhicules
	Ouvrages traversants	Transfert des eaux terrestres vers le canal
	Vannes	Limitation du passage des eaux

Tableau 5-27 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage - Digue du canal-ST21.

5.2.3.2 Front de mer

Fonction de rang 0	Fonction de rang 1	Ouvrages associés aux fonctions de rang 1	Fonctions de rang 2	Ouvrages associés aux fonctions de rang 2
Protéger les terres des submersions marines	Empêcher le passage continu ou discontinu des eaux marines vers les terres	Dune	Assurer l'étanchéité et le maintien du massif dunaire	Parement béton/maçonné côté mer
				Parafouille
			Dissiper l'énergie des vagues	Parement béton côté mer
				Parapet en béton armé
			Permettre l'accès pour entretien	Voie piétonne et route en crête
				Escalier d'accès
				Cale d'accès
	Evacuer les eaux terrestres	Emissaires	Transférer l'eau	Canalisations béton
	Maintenir le niveau de sable	Epis	Limiter les mouvements de sable	Epis en bastaings bois

Tableau 5-28 : analyse fonctionnelle générale

Une décomposition par composants d'ouvrage est également proposée pages suivantes.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Ouistreham	Parement béton	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Confinement du remblai Protection contre l'érosion du corps du remblai Garantir l'étanchéité du corps du remblai Dissipation de l'énergie des vagues
	Muret parapet	Dissipation de l'énergie des vagues Fixation du niveau de la crête Contenir le niveau de la mer
	Semelle béton	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts aux fondations
	Palplanches	Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Résistance au glissement (efforts horizontaux)
	Voie piétonne et route	Accès continue à l'ouvrage
	Escaliers et cale d'accès	Accès continue à la plage et à l'ouvrage
	Epis	Maintenir le niveau de sable

Tableau 5-29 : analyse fonctionnelle – perré de Ouistreham.

Ouvrage	Composants	Fonctions
Hermanville	Parement béton	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Confinement du remblai Protection contre l'érosion du corps du remblai Garantir l'étanchéité du corps du remblai Dissipation de l'énergie des vagues
	Semelle béton	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage Transmission des efforts aux fondations
	Palplanches	Prévenir l'affouillement en pied d'ouvrage Transmission des efforts verticaux au sol Résistance au glissement (efforts horizontaux)
	Voie piétonne et route	Accès continue à l'ouvrage
	Escaliers et cale d'accès	Accès continue à la plage et à l'ouvrage
	Canalisations béton	Evacuation des eaux terrestres
	Epis	Maintenir le niveau de sable

Tableau 5-30 : analyse fonctionnelle – perré d'Hermanville-sur-Mer.

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

6.1 INCIDENTS ET ACCIDENTS CONNUS SUR LES OUVRAGES COMPOSANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

6.1.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

La digue est récente, construite en 2015. Elle n'a pas été sollicitée par des crues ou des évènements marins particuliers depuis.

D'après les mesures au marégraphe de Ouistreham, le niveau maximal enregistré est de 4,27 mNGF en janvier 2018. Considérant l'écart de niveau entre Colombelles et Ouistreham (environ 10 cm en moyenne), le niveau le long de la digue a pu atteindre 4,4 mNGF.

6.1.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

Digue du canal maritime

La crue de janvier 1995 est l'une des plus fortes crues de ces 30 dernières années enregistrée sur l'Orne. La période de retour associée est estimée entre 20 et 30 ans.

La crue de janvier 1995 a causé le débordement du canal de Caen à la mer sur la digue Ouest et l'inondation des territoires protégés via la propagation des débits surversés par le fossé de ligne.

En particulier, en amont de Ouistreham, la digue a rompu entrainant l'inondation d'une partie du bourg de Ouistreham. Une personne est décédée sur la commune.

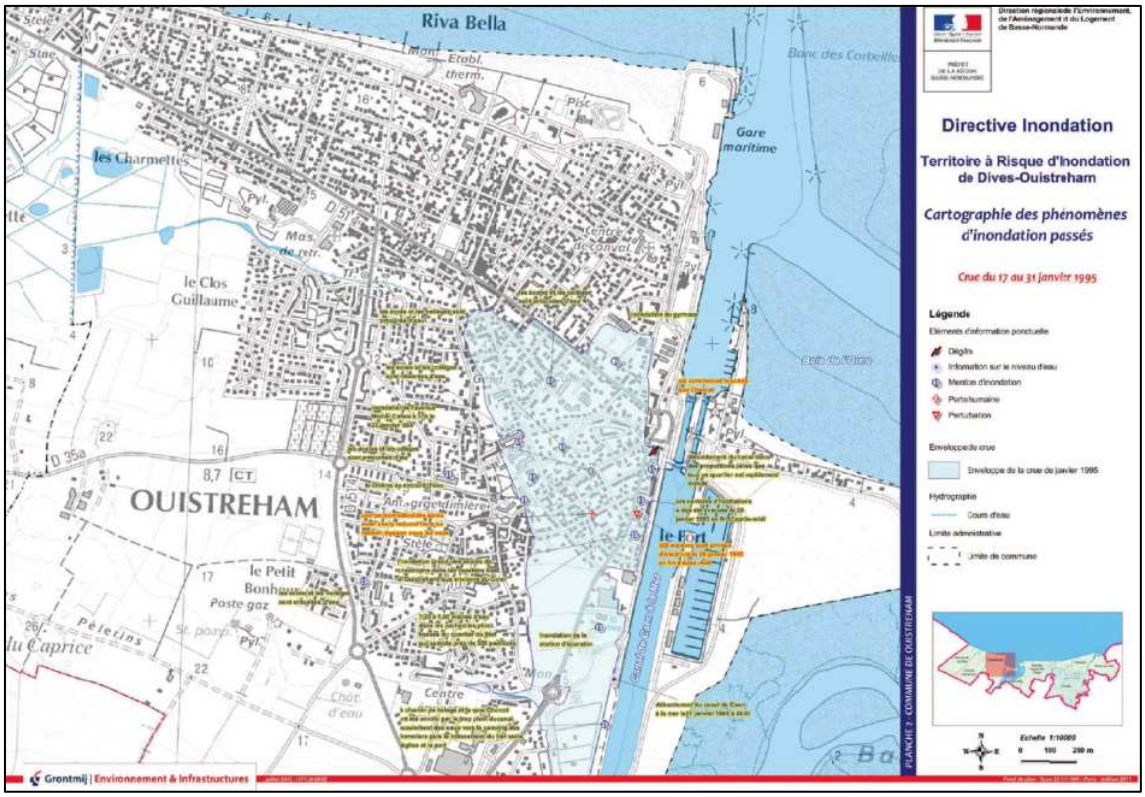


Figure 6-1 : extrait des cartographies établies dans le cadre du TRI (cf. (DREAL Basse-Normandie, septembre 2014)).

Dans le DICRIM de la commune de Ouistreham, il est indiqué que 500 000 m^3 d'eau sont entrés dans Ouistreham.

Suite à cette crue, le niveau du merlon situé en crête de la digue du canal de Caen à la mer a été relevé à la cote 5 mNGF [9,10 mCM].

Une vanne secteur, a priori la vanne du Maresquier, a été établie sur le fossé de ligne.

Crue de janvier 2001

La crue de janvier 2001 présente un débit de pointe supérieur à la crue de janvier 1995. Toutefois, elle est moins présente dans les mémoires du fait de conséquences moins désastreuses le long du canal.

Dans le DICRIM de la commune de Ouistreham, il est indiqué qu'une brèche s'est ouverte au droit du dépôt pétrolier en amont de la ville, inondant les prairies voisines.

Suite à cette crue, un merlon a été construit le long du camping des Pommiers (actuel camping Riva Bella) et la vanne des pommiers a été installée sur le fossé de ligne.

Crues après les travaux de protection menés par le SMLI de la vallée de l'Orne

Depuis la fin des travaux de lutte contre les inondations menés par le SMLCI de la vallée de l'Orne, soit depuis 2005 environ, l'Orne n'a connu aucune crue majeure.

Les graphes suivants présentent les maxima annuels de débits enregistrés aux stations de Thury-Harcourt et de May-sur-Orne :

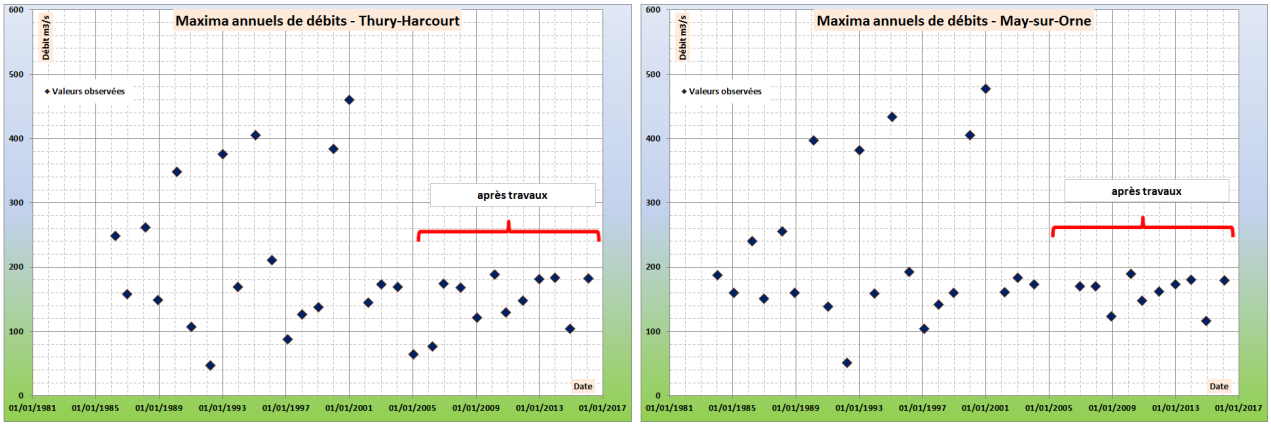


Figure 6-2 : maxima annuels de débits enregistrés aux stations de Thury-Harcourt et May-sur-Orne sur l'Orne.

La décennie 1990-2000 est marquée par 5 crues majeures avoisinant ou dépassant les 400 m^3/s à la station de May-sur-Orne : février 1990, janvier 1993, janvier 995, décembre 1999 et janvier 2001. Depuis 2001, aucune crue n'a dépassé les 200 m^3/s à cette station.

Les rapports de crues fournis par le gestionnaire PNA donnent les cotes maximales du canal lors des évènements récents :

- Février 2010 : 3,72 mNGF [7,82 mCM] ;
- Janvier 2014 : 4,05 mNGF [8,15 mCM] ;
- Février 2016 : 4,26 mNGF [8,36 mCM].

Ces crues n'ont pas causé de dommage particulier à la digue du canal.

Caractéristiques des crues historiques significatives

Le Tableau 6-1 synthétise les principales caractéristiques hydrologiques des crues historiques significatives sur le secteur d'étude :

Crue	Hauteur à Thury-Harcourt	Débit estimé à Caen	Période de retour estimée
Janvier 1926	-	625 m3/s	~100 ans
Janvier 1995	4,22 m	460 m3/s	~20 ans
Janvier 2001	4,48 m	500 m3/s	~40 ans

Tableau 6-1 : caractéristiques des principales crues historiques.

6.1.2.1 Digue de Ouistreham

La commune de Ouistreham ne fait état de désordres particuliers sur le corps de la digue de Ouistreham.

Les points particuliers relevés sont :

- Ponctuellement, l'abaissement du niveau de plage rendant visible la semelle en pied du parement béton sur les tronçons 1 et 2 ;
- La reprise et la réorganisation de l'enrochement en extrémité Ouest au raccordement avec la dune de Colleville-Montgomery.

La dynamique sédimentaire particulièrement favorable sur le site permet de modérer les sollicitations sur les ouvrages.

6.1.2.2 Digue d'Hermanville-sur-Mer

D'après le diagnostic initial de 2012, les points suivants sont précisés :

- Les travaux de construction se sont étagés en 2 phases (en partant de l'Ouest) : les tronçons 1 à 6 construits en 1965 et les tronçons 7 et 8 en 1972 ;
- De 2000 à 2005, l'ASA avait un contrat d'entretien et de surveillance de la digue avec le Conseil Départemental (équipe de défense contre la mer), mais ce service a été supprimé ;
- La tempête de 2007 a entraîné une dégradation de la dune sur la commune de Colleville-Montgomery avec un début d'érosion en arrière de la digue d'Hermanville. C'est cette tempête qui a également détruit les deux épis refaits en 2011 ;
- Des travaux récents (2011) de pose de lampadaires ont été réalisés par la mairie avec réalisation d'une tranchée tout du long pour passage des fourreaux (sous le merlon en crête du côté mer). Des bancs ont été installés en 2012 ;
- Aucune autre tempête remarquable n'a occasionné de dégâts sur la digue.

6.1.2.3 Dune de Colleville-Montgomery

La dune de Colleville-Montgomery a été totalement re-profilée à l'été 2006. La Tableau 6-2 montre l'état de la dune à l'été 2006, avec une absence totale de végétation.



Tableau 6-2 : vue aérienne de la dune de Colleville-Montgomery au droit du poste de secours en juillet 2006 (source : Google Earth®).

En 2007, peu de temps après ces travaux, un coup de vent à fortement érodé la dune à son extrémité Ouest jouxtant la digue d'Hermanville-sur-Mer. Par crainte d'un contournement de la digue, un cordon d'enrochements a été mis en œuvre sur une centaine de mètres pour conforter la dune.

Lors de la tempête Xynthia, le même secteur qui ne s'était sans doute pas encore reconstitué, a connu de nouvelles érosions.

Depuis, cette extrémité Ouest est plutôt en cours d'engraissement avec végétalisation.

6.2 INCIDENTS ET ACCIDENTS CONNUS SUR DES OUVRAGES DU MEME TYPE

6.2.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

S'agissant d'un ouvrage de faible hauteur, le retour d'expérience est globalement peu documenté : les défaillances de ce type d'ouvrage impliquent, en général, des dommages modérés.

Dans le cadre des études de dangers des ouvrages de la Communauté de communes Bessin Seulles et Mer (ISL, 2013), un important retour d'expérience a pu être recueilli sur des ouvrages dans l'estuaire de la Seulles.

Les ouvrages en remblai du territoire d'étude correspondent exclusivement aux digues de protection fluviale de la Seulles.

Lors des grandes marées, le niveau d'eau remonte dans la Seulles. Depuis les années 1950 (début des documents d'archives), des phénomènes de surverse ont été régulièrement recensés. Ces surverses, entrainant l'inondation des terrains en arrière, ont entrainé des travaux de confortement et de rehaussement des digues (1957, 1983 et 1990).

Ces phénomènes de surverse peuvent également être associés à la formation de brèches.

Année	Commune	Observations
1954	Graye-sur-Mer	Présence en crête de brèches
1957	Graye-sur-Mer	Colmatage de 2 brèches à la suite de la marée du 15 février 1957
1983	Graye-sur-Mer	Rehaussement et confortement des digues décidé suite à la rupture des digues ayant engendrée l'inondation des terrains en arrière
2014	Graye-sur-Mer	Comblement d'urgence d'une brèche par de la terre végétale à la suite des grandes marées de mars 2014





En plus de la formation de brèches, d'autres phénomènes moins dramatiques mais favorisant l'apparition de brèches lors de marées à forts coefficients ont également été recensés :

- Erosion interne :
  - Apparition d'un renard au droit d'un ouvrage traversant (1950),
  - Infiltration d'eau en arrière des ouvrages (1959),
- Dislocation du talus côté Seulles :
  - Digues rongées par le courant entrainant une faible largeur de digue (1954),
  - Zones d'affouillement repérées (1959).

La majorité des désordres ont été observés dans les années 50 mais l'état actuel des digues et les observations faites lors du diagnostic des digues fluviales en 2014 amène à considérer que ces risques sont toujours d'actualité notamment avec la création d'une brèche lors des grandes marées de mars 2014.

6.2.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

Dans le cadre des études de dangers des ouvrages de la Communauté de Communes Bessin Seulles et Mer (ISL, 2013), un important retour d'expérience a pu être recueilli sur des ouvrages en perré de béton sur la côte calvadosienne.

Il en ressort que, globalement, les ouvrages en béton ont subi moins de détériorations que les ouvrages en maçonneries.

A l'exception des dégâts de guerre et la reconstruction générale des ouvrages qui s'en est suivie, seuls quelques travaux suite au franchissement de paquets de mer et des désordres liés à un affouillement de pied sont recensés sur les ouvrages en béton.

Année	Commune	Observations
1978	Bernières-sur-Mer	Débits de franchissements importants lors de la tempête : Travaux de remise en état de la plate-forme en arrière de la promenade, de part et d'autre du poste de secours sur 300 m de long et 2 mètres de largeur
1990	Ver-sur-mer	Pose d'enrochements en pied de digue
1992	Asnelles	Travaux de construction d'un nouvel ouvrage en béton armé plus avancé d'un mètre vers la plage, sans destruction de l'existant (ancienne digue quasi verticale affouillée à sa base et présentant des fissures importantes)



6.2.3 TEMPETE XYNTHIA DANS LE CALVADOS

La tempête Xynthia a touché le Calvados le 28 février 2010. Elle est à l'origine de dommages matériels importants en particulier dans le Bessin où l'on déplore de nombreux dégâts sur les ouvrages et environ 80 maisons inondées à Ver-sur-Mer, Asnelles et Bernières-sur-Mer.

La zone inondée à Bernières-sur-Mer se situe en arrière de la digue Duval (140157).

Aucune brèche n'a été recensée pendant la tempête. Les inondations se sont faites notamment par franchissement de paquets de mer.



Tableau 6-3 : vues des inondations de la tempête Xynthia (Source : Dossier départemental des risques majeurs du Calvados – Juillet 2012).

Les dégâts matériels faits aux ouvrages de protection sont les suivants :

- Des endommagements d'épis,
- D'importants dégâts sur les ouvrages en maçonneries d'Asnelles (Formation de cavités et effondrement de dalles béton situées en arrières, arrachements de parement sur 10 m),
- Dégâts sur le parement maçonné de la digue Duval à Bernières-sur-Mer,
- Dégâts sur les ouvrages maçonnés de Ver-sur-Mer (linéaire important de parapets arrachés, parements abimés et arraché engendrant des cavités importantes, escaliers abimés,…).

Des travaux d'urgence ont été effectués rapidement pour permettre le maintien de la digue puis une remise en état plus pérenne a été exécutée dans les années qui ont suivies.



Tableau 6-4 : vues des dégâts des ouvrages de la commune d'Asnelles suite à Xynthia.

Des dégâts liés à l'évacuation des eaux ont également été relevés.

« Il convient de souligner que cette submersion du 28 février 2010 s'est produite dans un contexte particulier, à savoir un hiver très humide.

Ce contexte hivernal déjà humide a généré des crues dans les communes d'Asnelles et de Ver-sur-Mer, situées sur le marais littoral de Ver-Meuvaines. Durant la submersion marine à marée haute, une partie des parcelles ont été inondées par de l'eau d'origine continentale, tandis que d'autres l'ont été par le franchissement des paquets de mer au-dessus des ouvrages de défense, accentuant l'ampleur des dégâts. », Thèse P. LETORTU

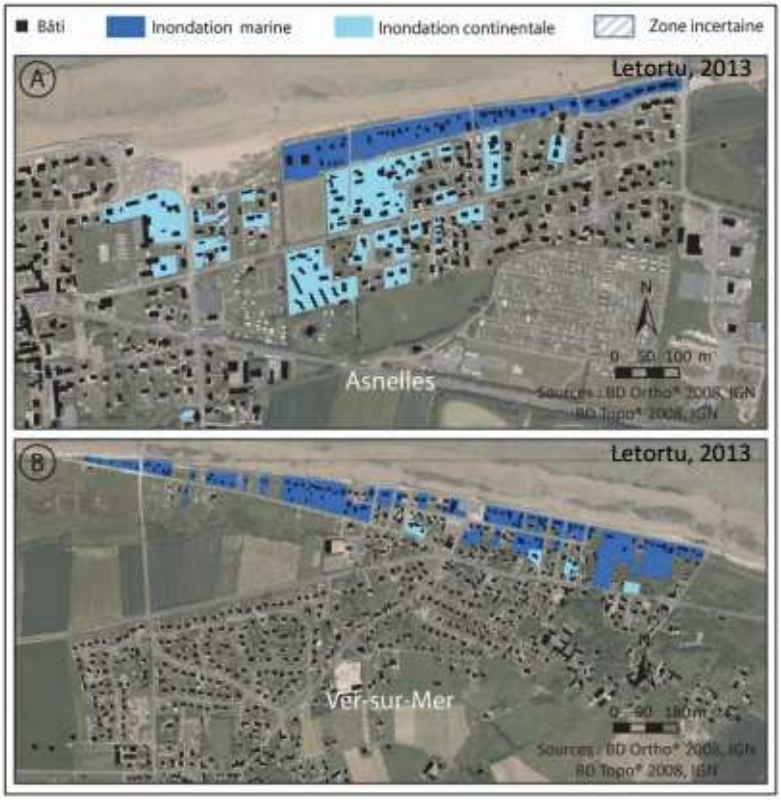


Tableau 6-5 : extension de la submersion marine du 28 février 2010 à l'échelle parcellaire sur le littoral d'Asnelles (A) et de Ver-sur-Mer (B) – Source : Letortu 2013.

Des problèmes ont été rencontrés lors de la vidange des débordements de mer suite à la tempête Xynthia. En effet, les inondations intervenues sur les communes d'Asnelles et de Ver-sur-Mer ont entraîné un apport d'eau de mer très important dans le marais de Ver-sur-Mer,

L'émissaire du Paisty-Vert s'est trouvé rapidement colmaté par des galets bouchant l'évacuation principale ce qui a conduit le gestionnaire du Hâble de Heurtaut à ouvrir complètement l'écluse située en amont des parcs à huîtres. La pression des eaux sorties de cet émissaire a entraîné la création d'un chenal (et un affouillement des fondations) qui, compte-tenu de la force du courant, a provoqué des dégâts importants au niveau des installations de parcs à huîtres situés à environ 300 mètres.



Tableau 6-6 : vues des dégâts liés à l'évacuation des eaux suite à Xynthia.

6.2.4 TEMPETE DE MARS 2013

La marée du 12 mars 2013 a engendré un débordement et une submersion sur les communes de Ver-sur-Mer et d'Asnelles.

Les coefficients de marée supérieurs à 100 se sont conjugués avec des vents dominants de 15 à 20 nœuds de direction Nord-Nord-Est.

Les terrains arrières ont subi des inondations qui, pour Asnelles, ont pu voir une rapide évacuation des volumes entrés. Pour Ver-sur-Mer, et en particulier au Paisty Vert, l'évacuation a pu être plus lente.

Les illustrations de l'événement sont présentées en Tableau 6-7

La grande marée et le vent provoquent une inondation

Asnelles - 12 Mars

Facebook Twitter ioogle+ Achetez votre journal numérique

Éric MARIE.

« **Ce sont des vagues de près d'un mètre qui s'engouffrent dans le quartier de Roseau plage. C'est impressionnant,** avoue Jean-Claude Benoist, maire-adjoint à Asnelles. **Tout a été submergé en moins de vingt minutes.** »

Vers 10 h 30, mardi, Asnelles a connu de nouvelles inondations. Cette fois-ci, c'est la mer à marée haute qui a franchi les enrochements, poussée par le vent et un coefficient de 102.

Aux abords du camping et dans ce quartier déjà sinistré en 2010, lors de la tempête *Xyntia*, l'eau a rapidement monté. « **Il a suffi que la mer se lève pendant une demi-heure, à l'occasion d'un gros coup de vent, pour que le flot s'engouffre dans les rues et plusieurs habitations,** poursuit Jean-Claude Benoist. **Nous avons déjà évacué plusieurs personnes très choquées. Des vacanciers qui ont été surpris par les inondations, à l'intérieur de leur gîte.** »

Les vagues ont brisé les bastaings de bois qui protègent les descentes dans la digue. Au final, le niveau de l'eau n'a pas dépassé une vingtaine de centimètres, dans quelques rues. « **Cinq personnes qui résidaient dans des gîtes ont été hébergées chez des habitants ou à la salle des fêtes.** » Malgré tout, les habitants sont invités à rehausser leurs meubles, pour les jours à venir.

Pour Jean-Claude Benoist, maire-adjoint à Asnelles, « **le pire est à venir. Cette fois-ci, la rivière était basse et a pu faire tampon. Mais avec la fonte des neiges, nous allons retrouver les conditions de 2010** ».



© Stéphane Boulay La mer a débordé à Ver-sur-mer (Calvados) mardi 12 mars 2013



© S.Boulay



© S.Boulay



© S.Boulay

Tableau 6-7 : vues de l'événement de mars 2013 à Ver-sur-Mer et de ses conséquences.

6.3 SYNTHESE DES ENSEIGNEMENTS

De ces renseignements historiques sur les ouvrages où sur des ouvrages de même type, il peut être retenu :

- L'aléa principal en tempête est la déstructuration du parement bétonné de protection de la dune. Ce type de désordre est généralement limité en longueur (10-20 m) et conduit à une érosion également limitée en profondeur. Il est lié à une faiblesse localisée du parement et à l'action des houles (ré-essuyage des eaux ou impact de la houle).
- Un autre aléa concerne l'érosion plus importante de la dune au droit des raccords de la protection dure avec la dune (cas de l'extrémité Ouest au raccordement avec la dune de Colleville-Montgomery).

Enfin il est montré que l'évolution du niveau de plage sur des périodes moyennes (une année ou quelques années) peut conduire à des diminutions de stock de sable en plage sous l'effet de l'action de plusieurs tempêtes successives et ainsi avoir une influence sur les débits de franchissement.

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

7.1 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUE DES OUVRAGES – SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

Les ouvrages constitutifs du système d'endiguement de Colombelles sont décomposés en trois sous-tronçons homogènes par leurs caractéristiques physiques.

7.1.1 TRONÇON COL_01 - DIGUE DE COLOMBELLES

7.1.1.1 Aperçu général

Le tronçon communément identifié comme « digue de Colombelles » est constitué d'un merlon en tout-venant construit en 2013 le long du chemin de halage à Colombelles, en rive droite aval des ponts de Colombelles sur l'Orne.

La longueur du tronçon (COL_01) incluse dans le système d'endiguement est de 345 ml environ.

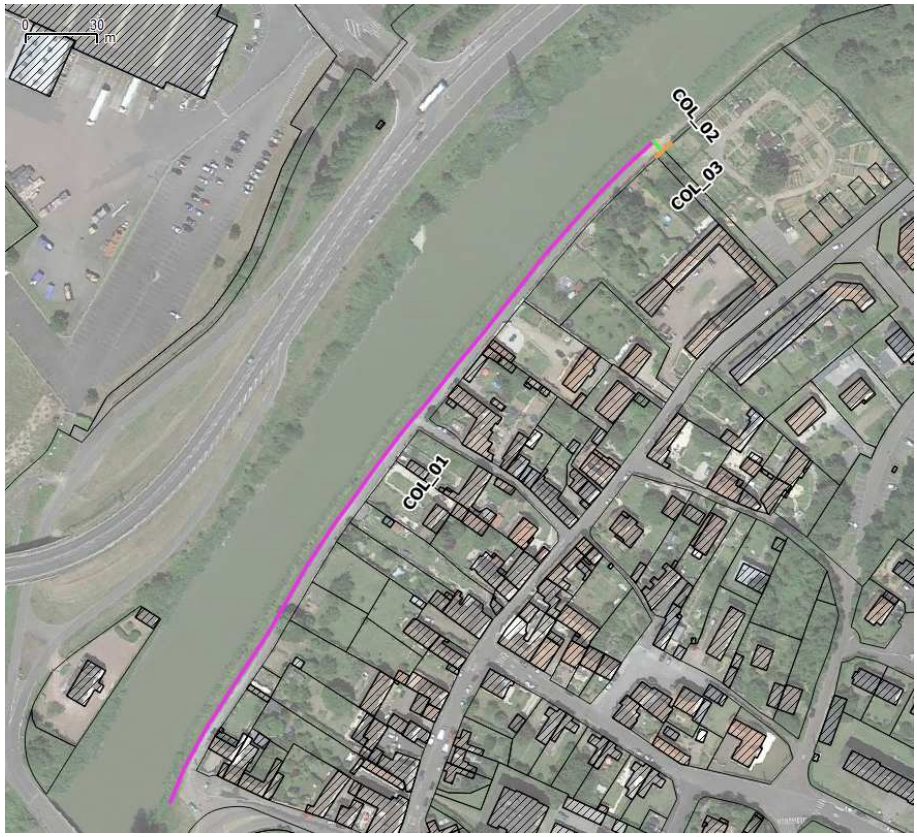


Tableau 7-1 : localisation des tronçons constituant le système d'endiguement de Colombelles.

7.1.1.2 Géométrie et structure

Sur le secteur étudié sur la commune de Colombelles, la digue est très homogène, un seul type de structure a été observé sur l'ensemble du linéaire inspecté.

La structure de la digue comprend (du Coté de l'Orne jusqu'à la zone protégée) :

- Une berge sur l'Orne très végétalisée avec une pente relativement importante (environ 55°),

- Une digue en « tout venant » d'une hauteur comprise entre 0,8 et 1 m,
- La pente des talus de la digue est comprise entre 35 et 55°,
- La crête est irrégulière et sa largeur est comprise entre 0,5 et 0,7 m,
- Une route asphaltée est située dans la zone protégée (chemin de halage).

La figure ci-dessous présente une coupe-type de ce type de structure.

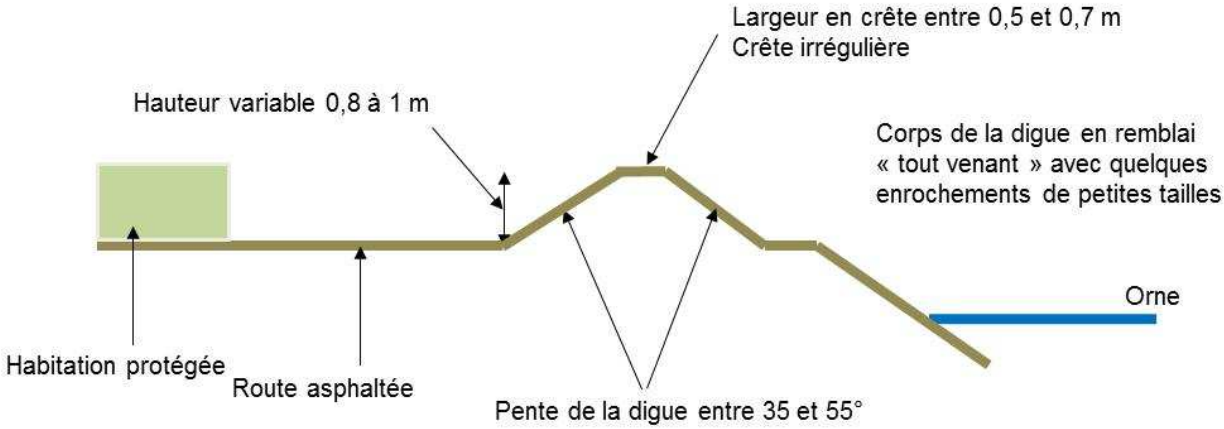


Tableau 7-2 : schéma de la structure de la digue.



Tableau 7-3 : aperçus de la section courante de la digue (ISL, février 2021).

Des confortements de berges sont également présents au droit de la digue. Les travaux ont été réalisés en 2015 par l'entreprise Charier.

Le confortement réalisé sur toute la longueur de la digue comprend le renforcement des berges par un ouvrage de type peigne en bois, constitué d'un double rideau de rondins battus et solidarisés, comblé par un mélange de terre et de branches.

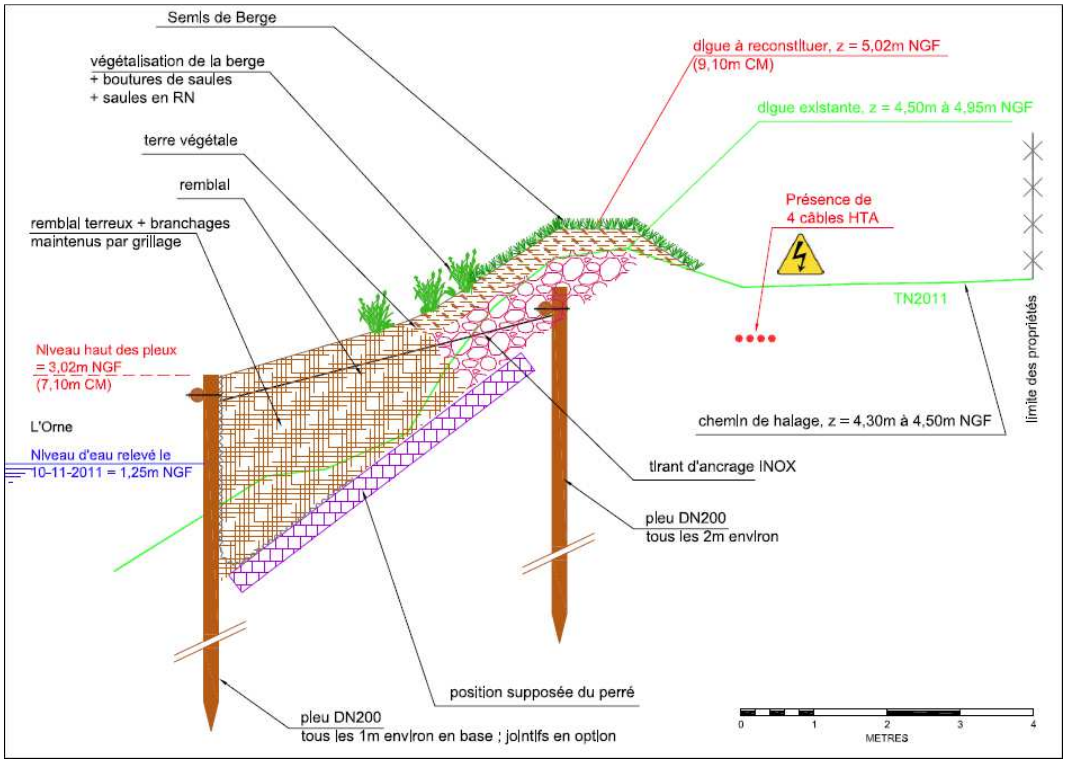


Tableau 7-4 : coupe-type de la digue avec le soutènement de berge.

Le profil en long de la digue est donné sur la Tableau 7-5 :

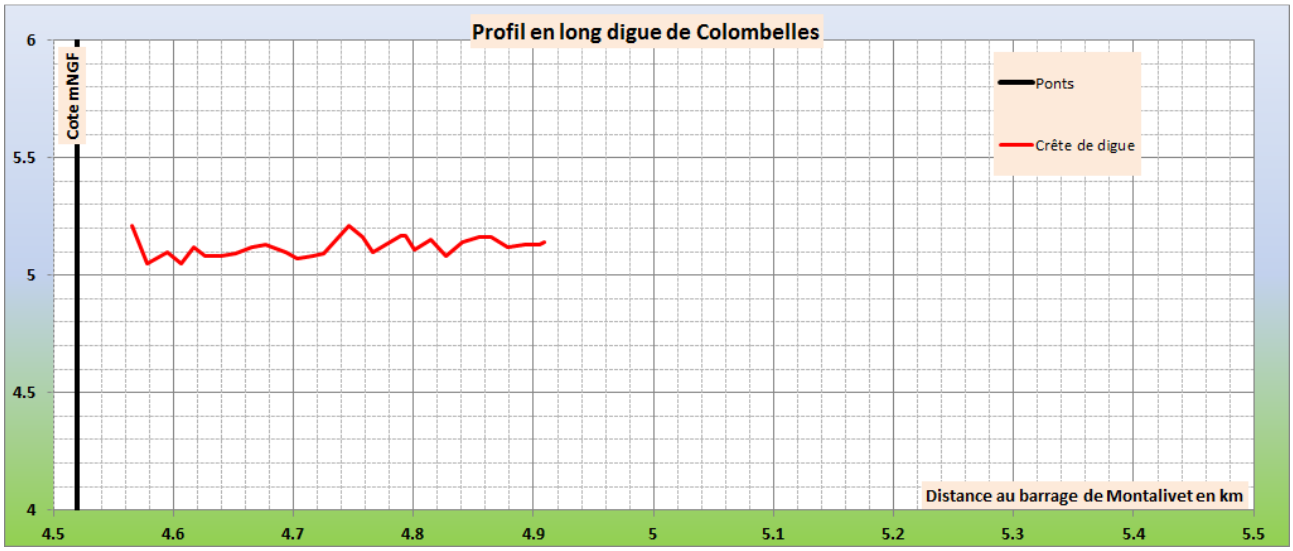


Tableau 7-5 : profil en long de la digue de Colombelles.

Le niveau de la crête de l'ouvrage est variable entre 5,0 et 5,2 mNGF (valeurs arrondies).

Un suivi topographique annuel est assuré par le gestionnaire. Le relevé de l'année 2020 n'a toutefois pas été réalisé compte-tenu de la situation sanitaire exceptionnelle.

7.1.1.3 Détail sur la fermeture du sous-système d'endiguement au sud

La fermeture du système d'endiguement au sud suit le terrain naturel au droit du carrefour du chemin de halage avec la rue de l'Orne.

Le niveau du terrain naturel y est compris entre 5,1 et 5,2 mNGF.

7.1.1.4 Caractéristiques géotechniques

Des reconnaissances géotechniques ont été menées par le cabinet SEMOFI en 2014-2015.

Les sondages in situ ont été réalisés le 05 septembre 2014 et le 22 octobre 2014. Ils ont consisté en la réalisation des investigations suivantes :

Sondage	Prof. (m)	Type	Essais	Machine	Enregistreur des paramètres de foration	Equipement / Remarques
SP1	14,01	Sondage pressiométrique	13*	EMCI 45	DIMTI (VIA, PO, PI, CR)	-
SP2	15,10	Sondage pressiométrique	13*	EMCI 45	LIM (VIA, PO, PI, CR, PR)	-
PZ1	10,0	Sondage destructif	-	EMCI 45	DIMTI (VIA, PO, PI, CR)	Equipé en piézomètre, crépiné de 1 à 5 m/TN
SC1	13,0	Sondage carotté	-	EMCI 45	-	Prélèvements d'échantillons intacts
SC2	13,8	Sondage carotté	-	EMCI 45	-	Prélèvements d'échantillons intacts
ST1	3,0	Sondage à la tarière	-	EMCI 45	-	Réalisation de 2 essais d'infiltration de type Lefranc
F1	2,75	Sondage à la pelle mécanique	-	Pelle mécanique	-	Recherche du perré
F2	2,50	Sondage à la pelle mécanique	-	Pelle mécanique	-	Recherche du perré
F3	2,00	Sondage à la pelle mécanique	-	Pelle mécanique	-	Recherche du perré
F4	2,50	Sondage à la pelle mécanique	-	Pelle mécanique	-	Recherche du perré

* : essais tous les mètres entre 1 et 13 m de profondeur /TN, soit 13 essais

Tableau 7-6 : synthèse des investigations géotechniques on situ.

Résultats des essais d'eau

Un essai de perméabilité a été réalisé entre 2,0 et 3,0 m, au droit du sondage à la tarière ST1, au sein des Alluvions modernes.

L'essai se positionne sous nappe (niveau piézométrique relevé vers 2,60 m/TN), au sein des formations alluvionnaires.

La valeur moyenne du coefficient de perméabilité k obtenue ponctuellement pour un essai Lefranc de type 3 (cavité proche de la surface de la nappe) est répertoriée dans le tableau ci-après (voir résultats des essais d'eau en annexe) :

Sondage	Niveau d'eau de la nappe d'eau		Passe d'essai (m/TN)	Terrain	Type d'essai	Valeur k en m/s
	m/TN	NGF				
ST1	2,6	1,8	2,0 à 3,0	Alluvions modernes	Lefranc de type 3	$3,88.10^{-8}$

Tableau 7-7 : résultats des essais de perméabilité.

Remarque : Ces coefficients de perméabilité sont des coefficients locaux, c'est-à-dire qu'ils caractérisent les terrains dans une zone proche du forage.

La valeur de la perméabilité mesurée de 2,0 à 3,0 m/TN, au sein des alluvions modernes, est d'environ 4.10^{-8} m/s. Cela montre l'importance de la part de la fraction fine (argilo-limoneuse) dans ces terrains, apportant une perméabilité faible.

Résultats des essais de perméabilité sur échantillon intact

Trois essais de perméabilité sur échantillon intact ont été réalisés sur les sols suivants, prélevés au droit du sondage carotté SC2 :

- entre 4,0 et 5,0 m de profondeur au sein des Alluvions modernes ;
- entre 7,0 et 8,0 m de profondeur au sein de l'altération du Calcaire du Jurassique ;

- entre 12,0 et 13,0 m de profondeur au sein du Calcaire du Jurassique.

Sondage	Profondeur d'essai	Lithologie	Stratigraphie	Valeur k en m/s
SC2	4,0 à 5,0 m/TN	Argile vasarde grise très molle avec des cailloutis	Alluvions modernes	$7,8.10^{-10}$
	7,0 à 8,0 m/TN	Sable argilo-calcaire jaune beige mou avec des cailloutis calcaires	Altération du Calcaire du Jurassique	$4,5.10^{-9}$

Tableau 7-8 : résultats des essais de perméabilité sur échantillon intact.

Résultats des essais de laboratoire

Les essais d'identification des sols sont actuellement en cours d'exécution et consistent en la réalisation de 2 analyses granulométriques et 2 analyses sédimentométriques.

Des essais de mécaniques des sols afin de déterminer les paramètres intrinsèques des sols sont constitués de :

- 2 boites de Casagrande à long terme ;
- 3 essais triaxiaux CU+u ;
- 2 essais œdométriques.

Les résultats des essais d'identification sont exposés ci-dessous.

Sondage	Prof. (m/TN)	Description	Stratigraphie	Teneur en eau W%
SC1	1,00 à 1,30	Argile carbonatée marron plastique avec graviers	Alluvions modernes	-
	1,30 à 2,00	Argile carbonatée verte kaki plastique		
	3,0 à 3,63	Argile carbonaté beige molle		-
	3,63 à 3,80	Transition		
	3,80 à 4,00	Argile carbonaté grise foncé plastique		
SC2	4,00 à 5,00	Argile sableuse carbonatée, grise-kaki, très molle avec graviers calcaires	Alluvions modernes	29,6 %
	7,00 à 7,20	Argile carbonaté beige jaune plastique	Calcaire du Jurassique altéré	-
	7,20 à 8,00	Argile carbonaté beige jaune plastique avec des graves calcaires		20,4 %
	12,00 à 13,00	argile très finement sableuse beige jaune plastique	Calcaire du Jurassique	-

Tableau 7-9 : résultats des essais d'identification des sols.

Les essais d'identification des sols montrent que les alluvions modernes sont constituées de matériaux fins (argile limoneuses +/- tourbeuse), plus de 50% des particules du sol ont un diamètre inférieur à 80 µm, dont 29% sont des particules argileuses.

Au contraire, l'altération du Calcaire du Jurassique est caractérisée par des matériaux plus grossiers (Argile carbonatée et graves calcaires), plus de 85 % des particules du sol ont un diamètre supérieur à 80 µm et environ de 50% du matériau est de taille supérieure à 31,5 mm. Dans cette formation, seulement 5% du matériau est constitué de particules d'argile.

Les résultats des essais de mécanique des sols sont exposés ci-dessous :

Sondage	Profondeur	Lithologie	Cisaillement direct non consolidé (long terme)		Triax consolidé non drainé CU+u	
			C' (kPa)	φ' (°)	C' (kPa)	φ' (°)
SC1	1,0 - 2,0	Argile limoneuse marron molle	-	-	16,3	23
SC1	3,0 - 4,0	Sable très fin mou	-	-	-	-
SC2	4,0 - 5,0	Argile vasarde grise très molle avec des cailloutis	-	-	15,3	23
SC2	7,0 - 8,0	Sable argilo-calcaire jaune beige mou avec des cailloutis calcaires	10	29,9	12,5	28
SC2	12,0 - 13,0	Sable argilo-calcaire beige jaune ferme à mou avec cailloutis et des parties indurées	17	32	-	-

Tableau 7-10 : résultats des essais de mécanique des sols.

L'essai œdométrique réalisé au droit du sondage SC1 entre 1,0 et 2,0 m de profondeur indique des terrains sur-consolidés, et celui réalisé entre 3,0 et 4,0 m des terrains normalement consolidés. Compte tenu du contexte alluvial, ce second essai nous semble plus représentatif de la formation ; les terrains y sont moyennement compressibles. Ces sols sont donc susceptibles de se déformer sous l'apport de charges telle la mise en œuvre d'une digue.

Résultats des fouilles de reconnaissance du perré

Au droit de la fouille de reconnaissance F2, le perré semble avoir été intercepté sur une épaisseur variant entre 60 cm au droit du Chemin de Halage et 15 cm au niveau de L'Orne.

Cependant, cet horizon n'a été mis en évidence qu'au droit de cette fouille, aucun perré n'ayant été identifié au droit des 3 autres fouilles.

Si l'horizon induré mis en évidence au droit de la fouille de reconnaissance F2 est bien le perré, celui-ci n'est pas présent sur l'ensemble de la digue et ne semble pas avoir été intercepté par les forages.

7.1.1.5 Etat

La dernière visite technique approfondie a été réalisée par ISL-Ingénierie en février 2021.

Lors de cette visite, 15 désordres ont été relevés : 4 désordres de type linéaire et 11 désordres ponctuels.

Les désordres relevés sont rappelés dans le Tableau 7-11 :

	Nombre	Principales natures	Action
Gravité 1	13	- Talus amont irrégulier, - Point bas en crête, - Affouillement de faible ampleur talus aval sur 50 cm de longueur, - Affouillement de faible ampleur sur le talus amont - Rabotement du pied de digue aval sur 40 cm de hauteur - Affaissement sur la chaussée	Désordre de faible amplitude à surveiller
Gravité 2	1	- Débouchés de terrier sur l'intégralité du linéaire	Désordre pouvant amener à être de taille plus importante : à surveiller activement
Gravité 3	1	- Affaissement au niveau de la crête sur un ouvrage traversant	A traiter pour éviter un problème structurel de la digue
Gravité 4	0		A traiter de toute urgence. Désordre portant atteinte à la stabilité de la digue
TOTAL	15		

Tableau 7-11 : synthèse des désordres – digue de Colombelles.

7.1.1.6 Ouvrages traversants

Sept émissaires des eaux pluviales sont situés dans la fondation de la digue. Ils sont constitués de buses en béton munies d'un clapet anti-retour.

Ils sont localisés sur la Tableau 7-12 :

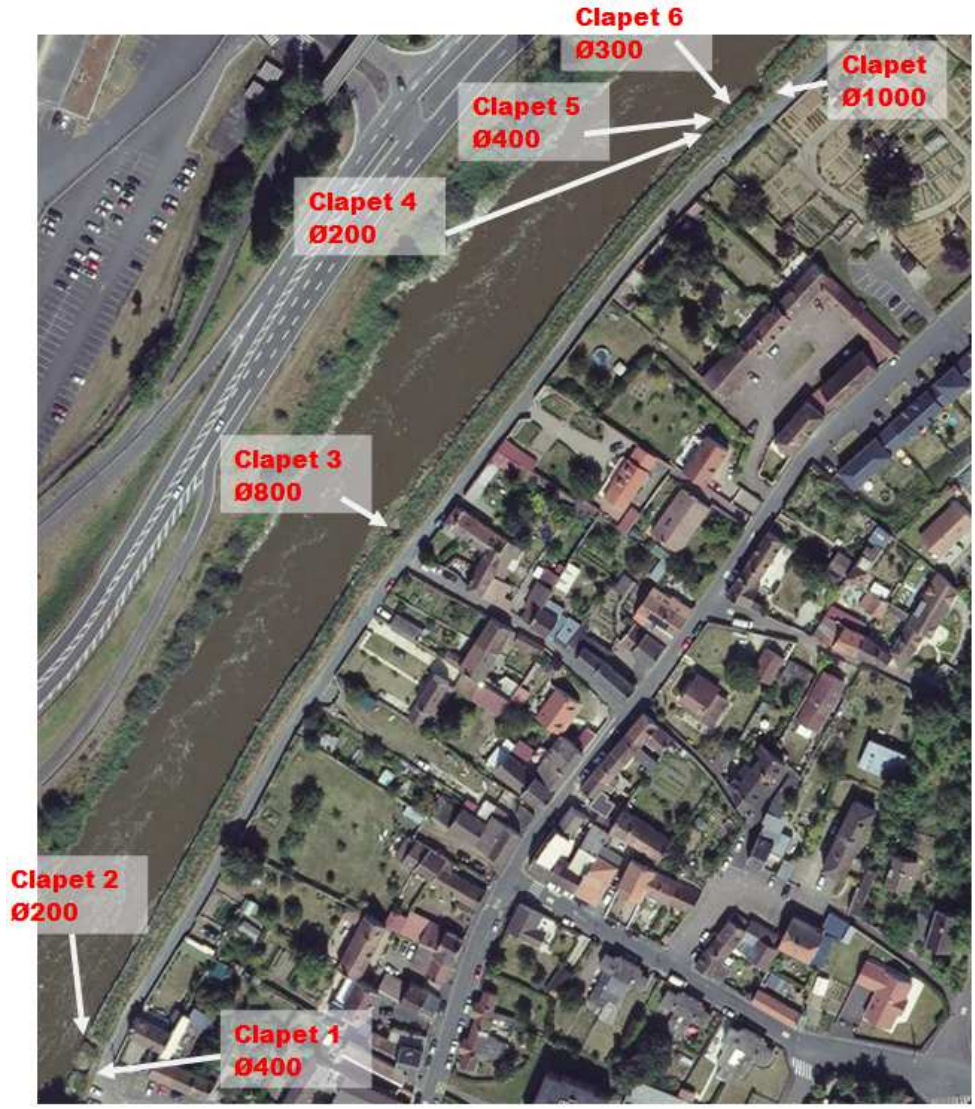


Tableau 7-12 : localisation des émissaires pluviaux.

Cinq de ces clapets ont pu être observés lors de la visite technique approfondie en 2021.



Tableau 7-13 : clapet 1 (à gauche) et clapet 2 (à droite).




Tableau 7-14 : clapet 3 (à gauche) et clapet 4 (à droite).




Tableau 7-15 : clapet 5 (à gauche) et clapet 6 (à droite).

Le clapet sur l'ouvrage n°5 n'est pas visible depuis la berge.

Les clapets 4 à 7 sont situés en aval du système d'endiguement et ne sont donc pas intégrés comme ouvrages contributifs du système d'endiguement.

7.1.2 TRONÇON COL_02 - MERLON DE FERMETURE

7.1.2.1 Aperçu général

Un merlon a été édifié en travers du chemin de halage en 2019 afin d'assurer la fermeture aval du système d'endiguement.

Aucun document sur cette partie d'ouvrage n'a été fourni.



Tableau 7-16 : vue du merlon.

7.1.2.2 Géométrie et structure

Le merlon est constitué en remblai compacté.

Aucun plan topographique n'est fourni.

Les observations in situ permettent de dégager les caractéristiques suivantes :

- Longueur : environ 5 m ;
- Hauteur moyenne : environ 0,6 m ;
- Cote de la crête : valeur estimée à 5,0 mNGF (d'après observations in situ) ;
- Cote du pied : valeur estimée à 4,4 mNGF (d'après plans topographiques de la digue de Colombelles incluant le chemin de halage, confirmés avec les données LIDAR) ;
- Largeur en crête : environ 1,5 m ;
- Pente des talus : 3H/1V ;
- Largeur en pied : environ 5 m.

Le merlon s'appuie sur la digue de Colombelles côté Orne et sur un mur de clôture côté jardins.

Le merlon est surmonté d'une passerelle piétonne en bois dont les appuis sont ancrés dans deux massifs béton en pied amont et aval du merlon.

7.1.2.3 Caractéristiques géotechniques

Aucune donnée géotechnique n'a été fournie concernant cette partie d'ouvrage.

7.1.2.4 Etat

Cette partie d'ouvrage est globalement en bon état.

Un désordre est toutefois relevé : point bas côté Orne de la passerelle du fait du passage sur le merlon. La passerelle n'est semble-t-il pas empruntée par tous, en particulier les cyclistes ce qui a pour conséquence la présence d'un point bas en crête et la destruction de la végétation sur les parements et la crête dans l'axe du passage.

Ce désordre est considéré de classe 2 : désordre pouvant amener à être de taille plus importante, à surveiller activement.

7.1.3 TRONÇON COL_03 - MUR

7.1.3.1 Aperçu général

Un mur en béton assure la fermeture du système d'endiguement côté jardins.

Ce mur a été construit en 2019 en même temps que le merlon de fermeture.

Aucun document sur cette partie d'ouvrage n'a été fourni.

Le mur est visible sur la photo de la Tableau 7-16.

7.1.3.2 Géométrie et structure

Le mur est en béton de 20 cm d'épaisseur, sur une hauteur d'environ 1 m.

Aucun plan topographique n'est fourni.

Les observations in situ permettent de dégager les caractéristiques suivantes :

- Longueur : environ 8 m ;
- Hauteur moyenne : environ 1 m ;
- Cote de la crête : valeur estimée à 5,5 mNGF (d'après observations in situ) ;
- Cote du pied : valeur estimée à 4,5 mNGF (d'après plans topographiques de la digue de Colombelles incluant le chemin de halage, confirmés avec les données LIDAR) ;
- Largeur : environ 0,2 m.

7.1.3.3 Détail sur la fermeture du sous-système d'endiguement au Nord

La fermeture du système d'endiguement au Nord est assurée par le mur béton en limite des jardins.

Les niveaux de terrain naturel sont donnés par le relevé LIDAR de 2012 : ces niveaux varient entre 4,7 et 4,8 mNGF au voisinage de l'extrémité du mur :

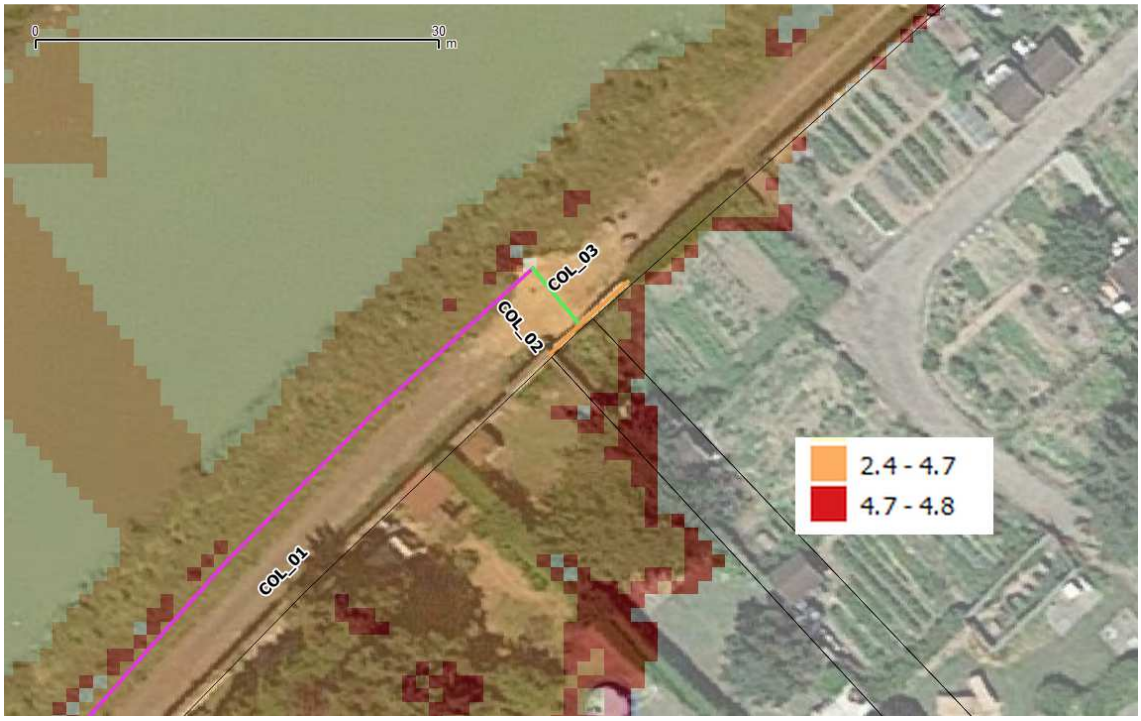


Tableau 7-17 : niveaux de terrains naturels en extrémité Nord du système d'endiguement.

Ainsi, la fermeture est assurée sur des terrains naturels dont le niveau est équivalent au niveau de protection. L'incertitude sur le niveau de protection prend en compte cette incertitude sur les niveaux du terrain naturel au droit de la fermeture du système d'endiguement.

7.1.3.4 Caractéristiques géotechniques

Aucune donnée géotechnique n'a été fournie concernant cette partie d'ouvrage.

En particulier, les conditions de fondation du mur sont inconnues.

7.1.3.5 Etat

Cette partie d'ouvrage est en bon état.

Il n'est pas relevé de désordre particulier.

7.2 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUE DES OUVRAGES – SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

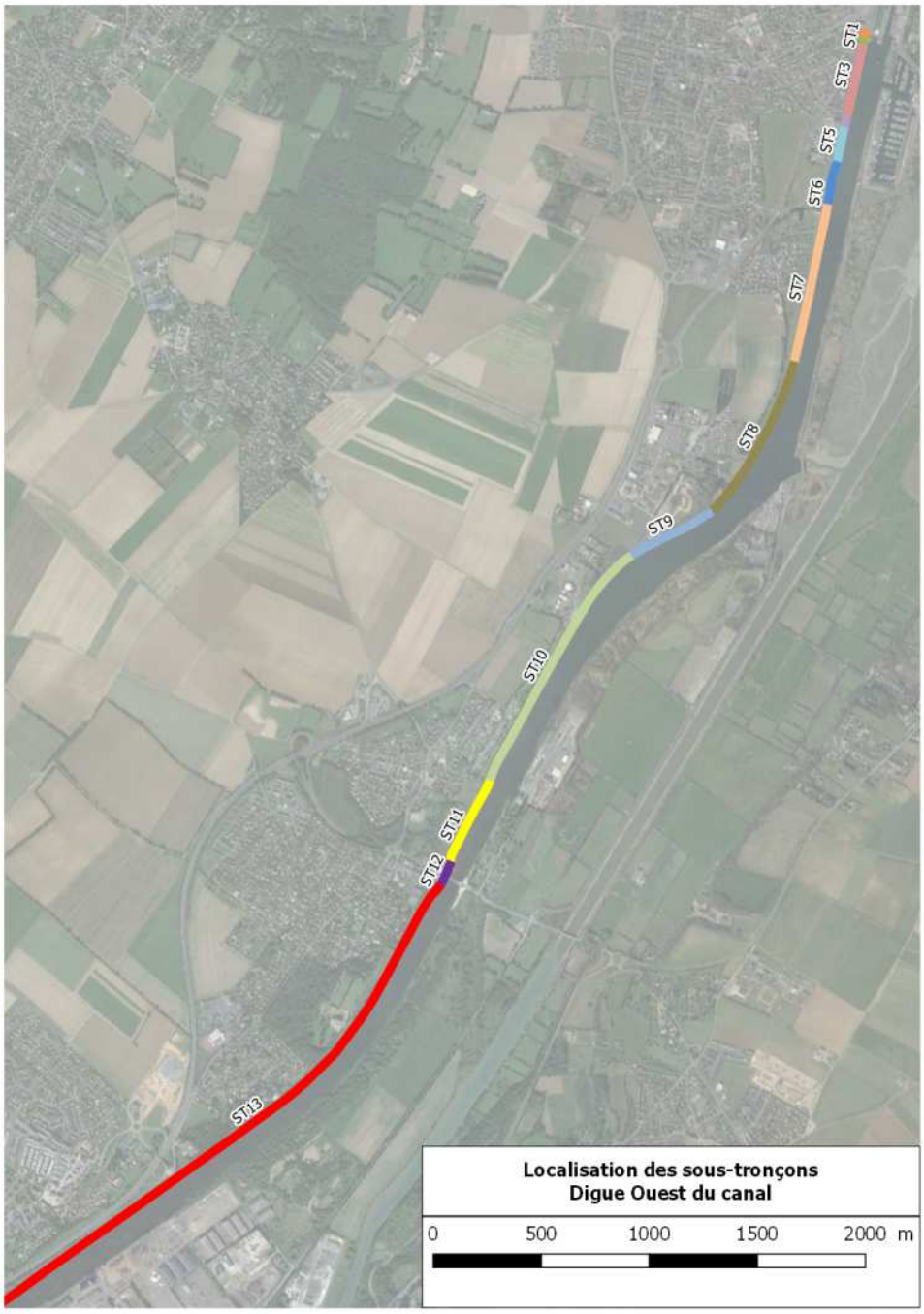
7.2.1 DIGUE OUEST DU CANAL DE CAEN A LA MER

7.2.1.1 Aperçu général

La digue du canal est une digue en remblai de 13,8 km de long située sur les communes d'Ouistreham, de Bénouville, de Blainville-sur-Orne, d'Hérouville-Saint-Clair et de Caen en rive gauche (Ouest) du canal de Caen à la mer. Son extrémité Nord correspond à l'écluse d'Ouistreham et son extrémité Sud à l'écluse du pont de la Fonderie.

Cette digue est divisée en 21 sous-tronçons homogènes numérotés du Nord vers le sud.

Les éléments de description de la digue sont issus du rapport de VTA (Visite Technique Approfondie) réalisée par ISL en 2016 et disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.


ST1
ST3
ST5
ST6
ST7
ST8
ST9
ST10
ST11
ST12
ST13
Localisation des sous-tronçons
Digue Ouest du canal
0
500
1000
1500
2000 m

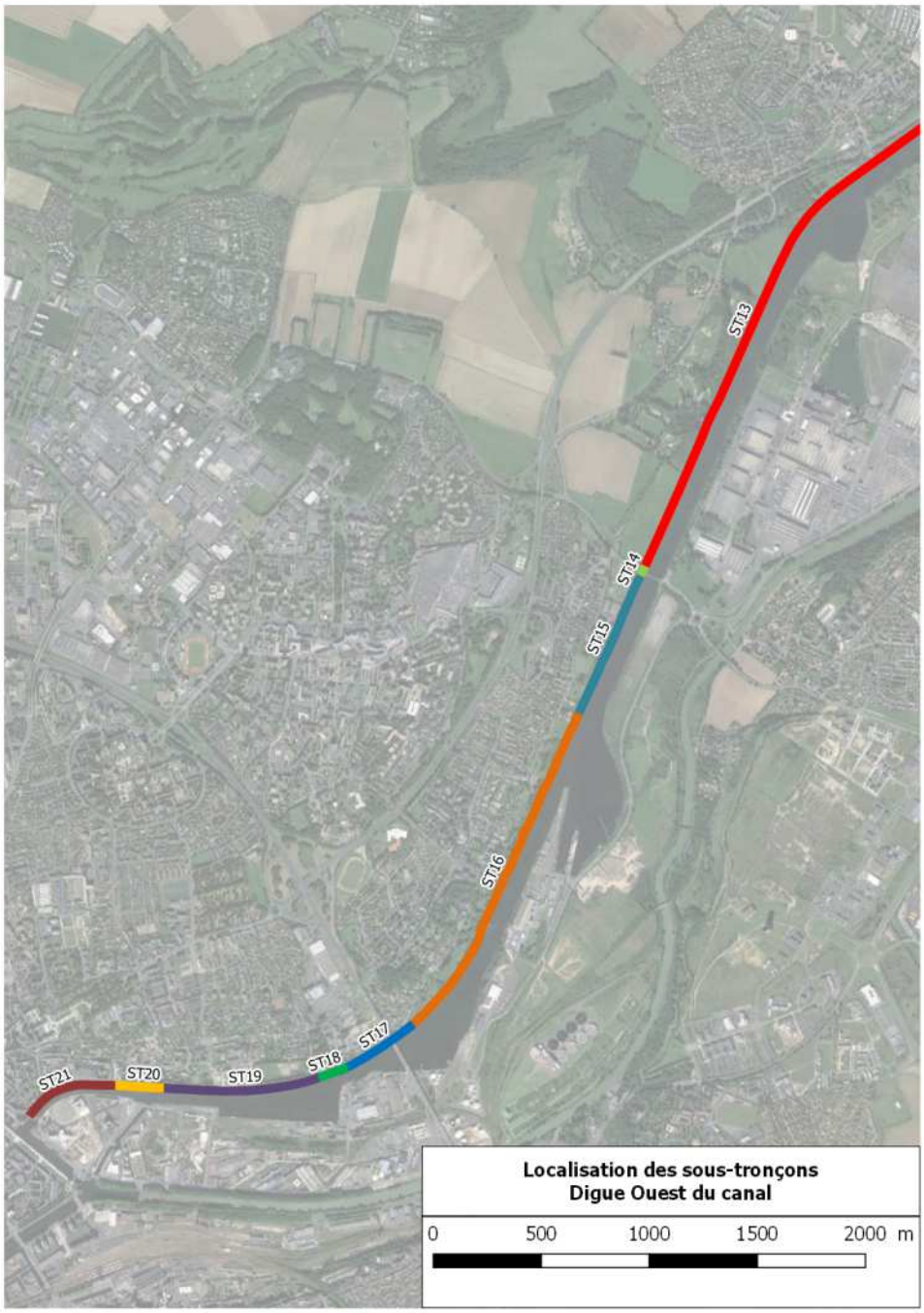


Figure 7-1 : Localisation des sous-tronçons – Digue du canal.

7.2.1.2 Géométrie et structure

La digue du canal maritime est décomposée en 21 sous-tronçons.

Sous-tronçon 1

Le sous-tronçon n°1, long de 37 ml, correspond à l'écluse et aux abords de l'écluse constitués d'une plateforme bétonnée délimitée par un muret béton surmonté d'une barrière métallique.



Figure 7-2 : Vue du sous-tronçon 1 - Digue du canal

La figure ci-dessous présente le profil en travers (source : LIDAR).

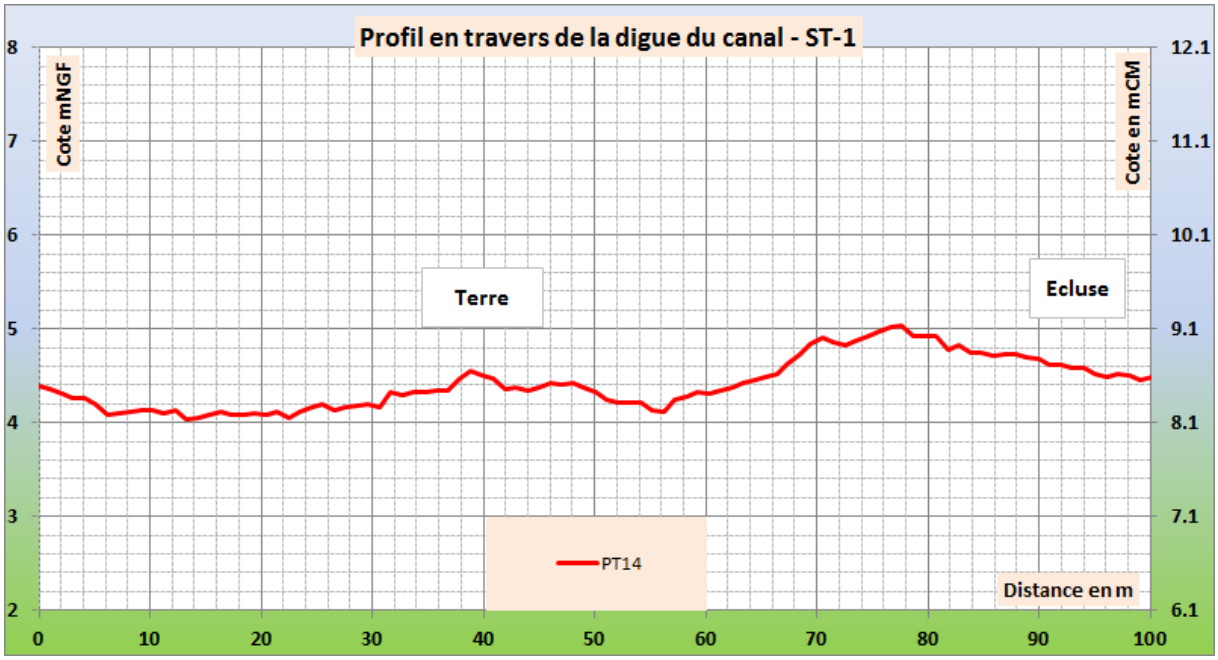


Figure 7-3 : profil en travers - ST1 Digue du canal.

Sous-tronçon 2

Le sous-tronçon n°2, long de 31 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente variable (subvertical à 1,8H/1V) protégé par des enrochements ;
- Muret béton de hauteur variable surmonté d'une barrière métallique sur les 20 premiers ml ;
- Crête de largeur importante (15 m) protégée par des enrobés (chemin piétonnier, piste cyclable, route 2 voies de circulation, places de parking) ;
- Talus arrière correspondant aux habitations.

La figure ci-dessous présente le profil en travers (source : LIDAR).

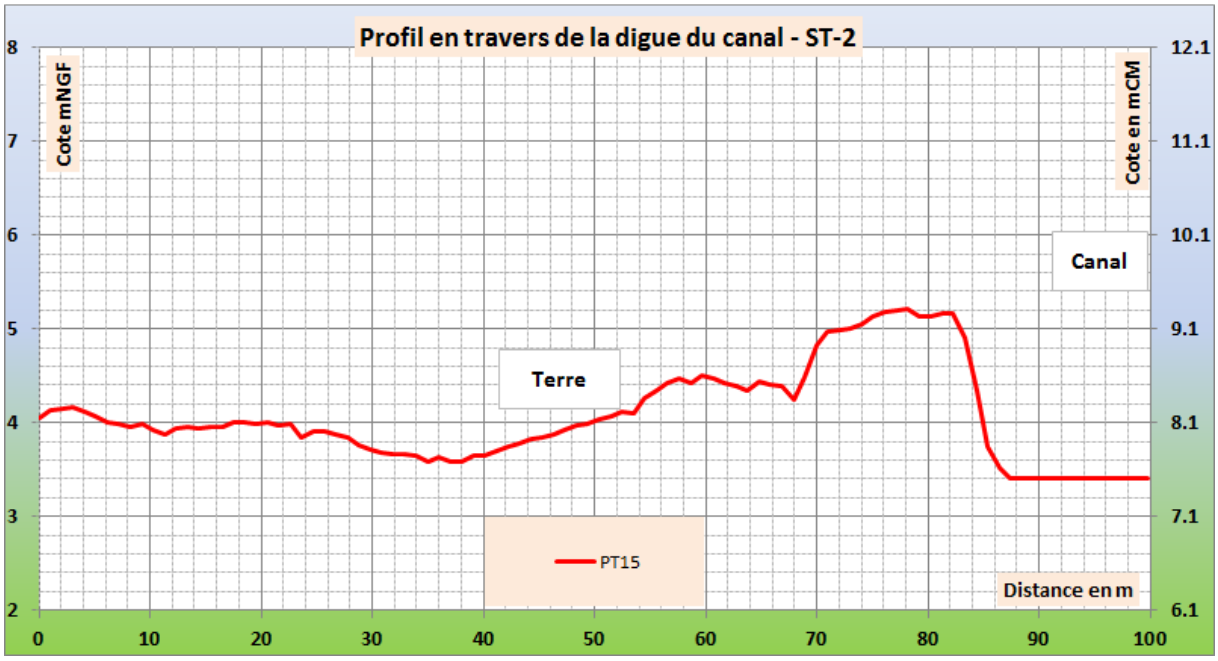


Figure 7-4 : profils en travers – ST2 Digue du canal.

Sous-tronçon 3

Le sous-tronçon n°3, long de 343 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 1,9H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (15 m) protégée par des enrobés (accotement et piste cyclable sur trottoir, route 2 voies de circulation, places de parking) ;
- Talus arrière correspondant aux habitations.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

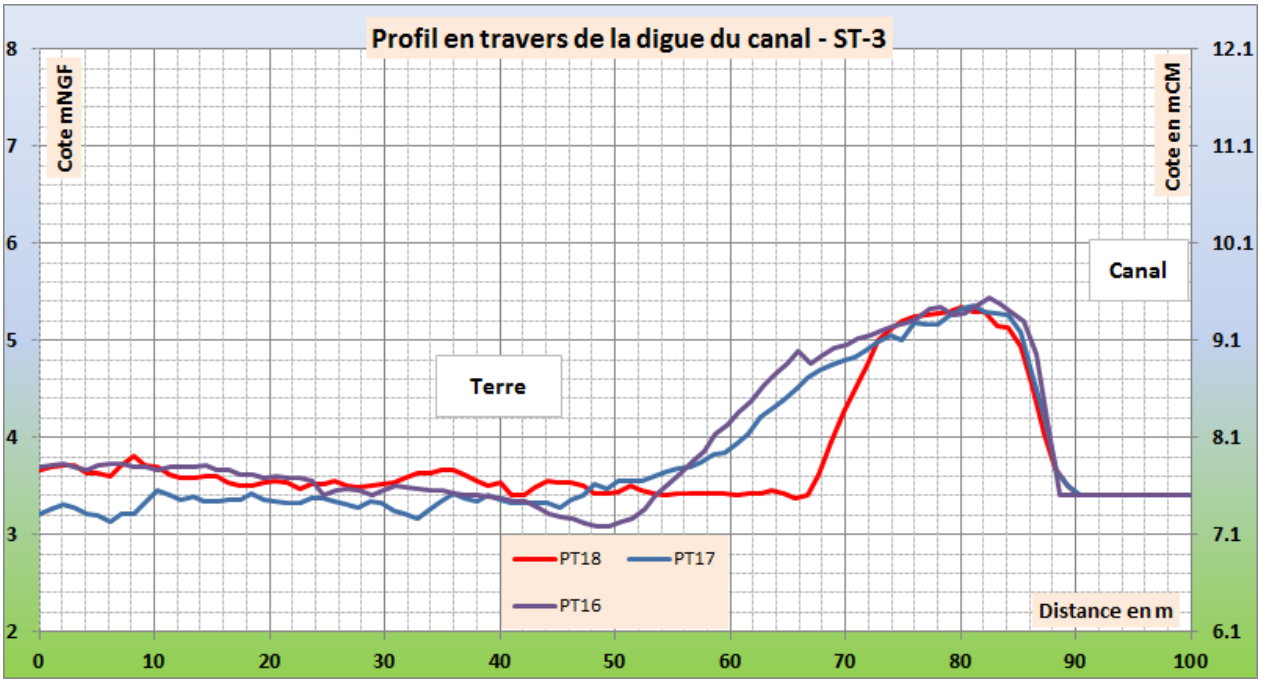


Figure 7-5 : profils en travers – ST3 Digue du canal

Sous-tronçon 4

Le sous-tronçon n°4, long de 50 ml, correspond à un ouvrage de chargement des bateaux :

- Palplanches recouvertes d'une coiffe béton côté canal ;
- Crête de largeur importante (12 m) protégée par des enrobés (trottoir et route 2 voies de circulation) ;
- Talus arrière correspondant au hangar.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

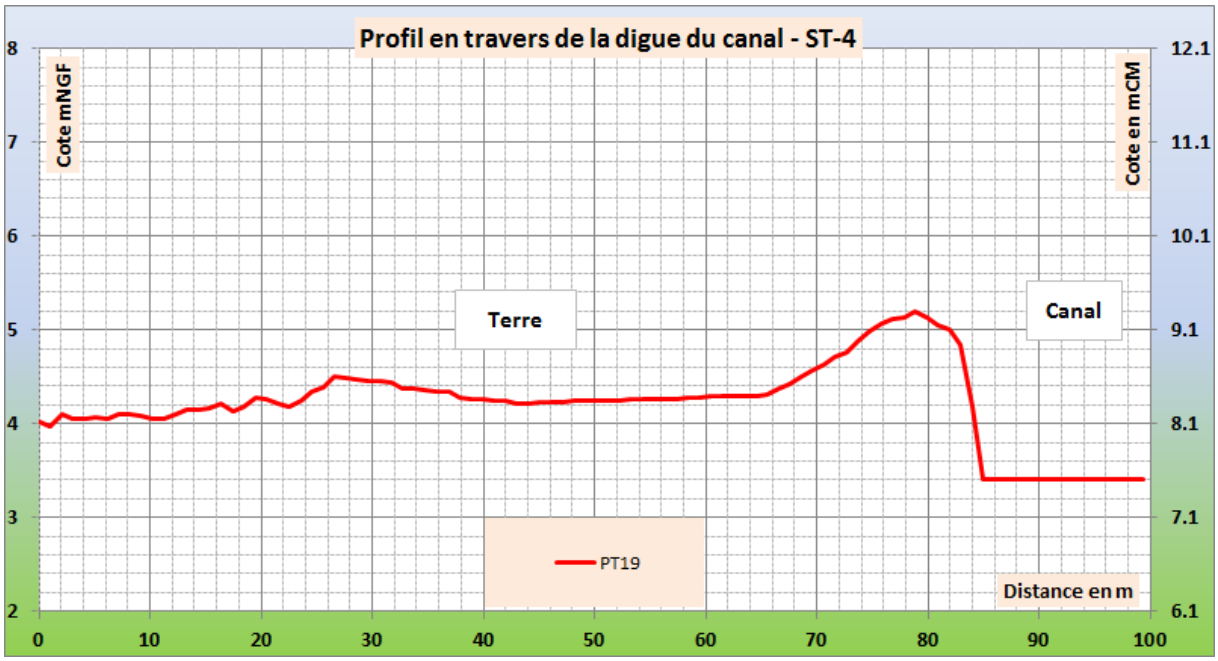


Figure 7-6 : profils en travers – ST4 Digue du canal.

Sous-tronçon 5

Le sous-tronçon n°3, long de 343 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 1,5H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (15 m) protégée par des enrobés (accotement et piste cyclable sur trottoir, route 2 voies de circulation) ;
- Talus arrière de pente très douce (>10H/1V) occupé par des hangars et parking à bateaux.



Figure 7-7 : Vue du sous-tronçon 5 - Digue du canal

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

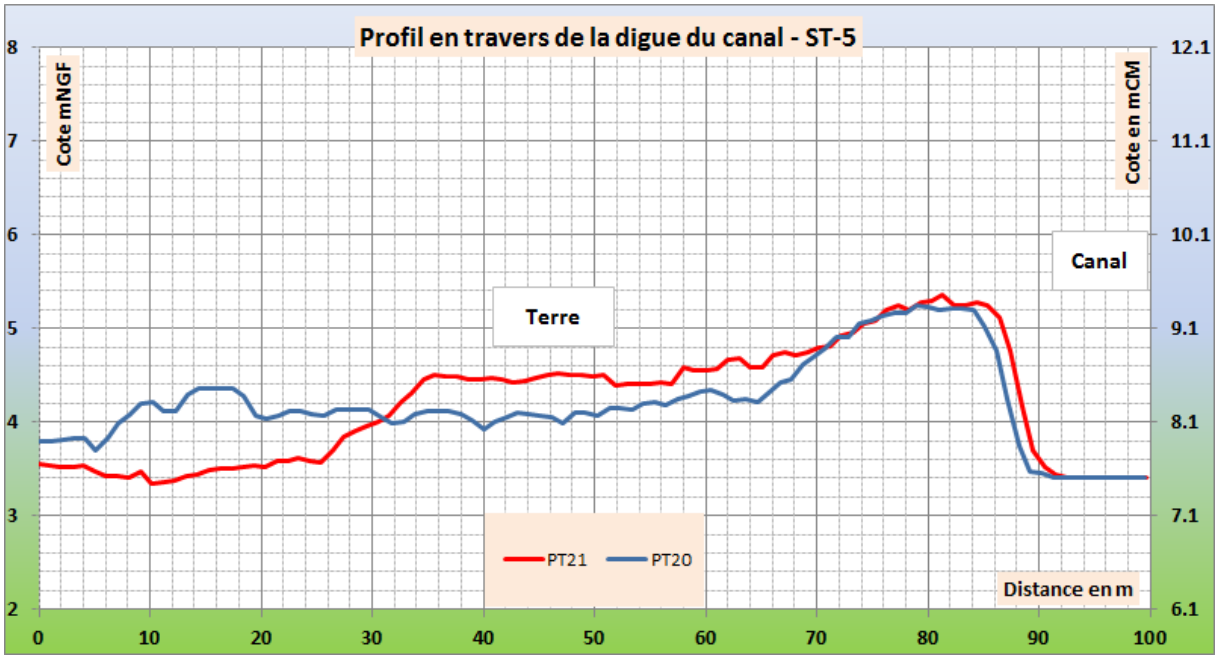


Figure 7-8 : profils en travers – ST5 Digue du canal.

Sous-tronçon 6

Le sous-tronçon n°6, long de 202 ml, correspond au Quai Charcot et présente la géométrie suivante :

- Palplanches recouvertes d'une coiffe béton côté canal ;
- Crête de largeur importante (15 m) protégée par des enrobés (parking et zone de manœuvre d'engins de manutention, 2 voies de circulation) ;
- Talus arrière végétalisé (herbes, plantes et buissons) de pente très raide conforté d'un mur béton vertical en partie basse ;
- Fossé d'évacuation des eaux en pied de talus ;
- Fossé busé à l'exception des 75 derniers ml.



Figure 7-9 : Vues du sous-tronçon 6 - Digue du canal

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

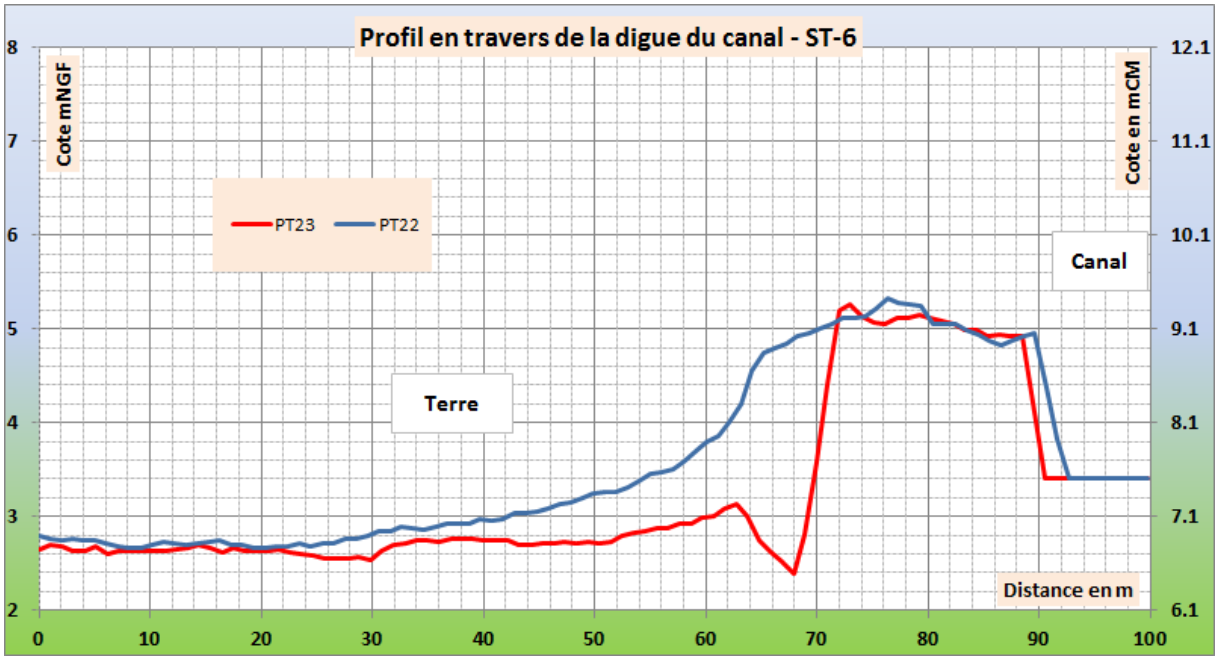


Figure 7-10 : profils en travers – ST6 Digue du canal

Sous-tronçon 7

Le sous-tronçon n°7, long de 743 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 2 à 2,5H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (10 à 15 m) :
  - Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  - Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  - Accotement enherbé d'environ 1 m de large ;
  - Merlon surélevé très fortement végétalisé (arbres hauts, arbustes et buissons) ;
- Talus arrière de pente 2H/1V ;
- Fossé en pied de talus.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

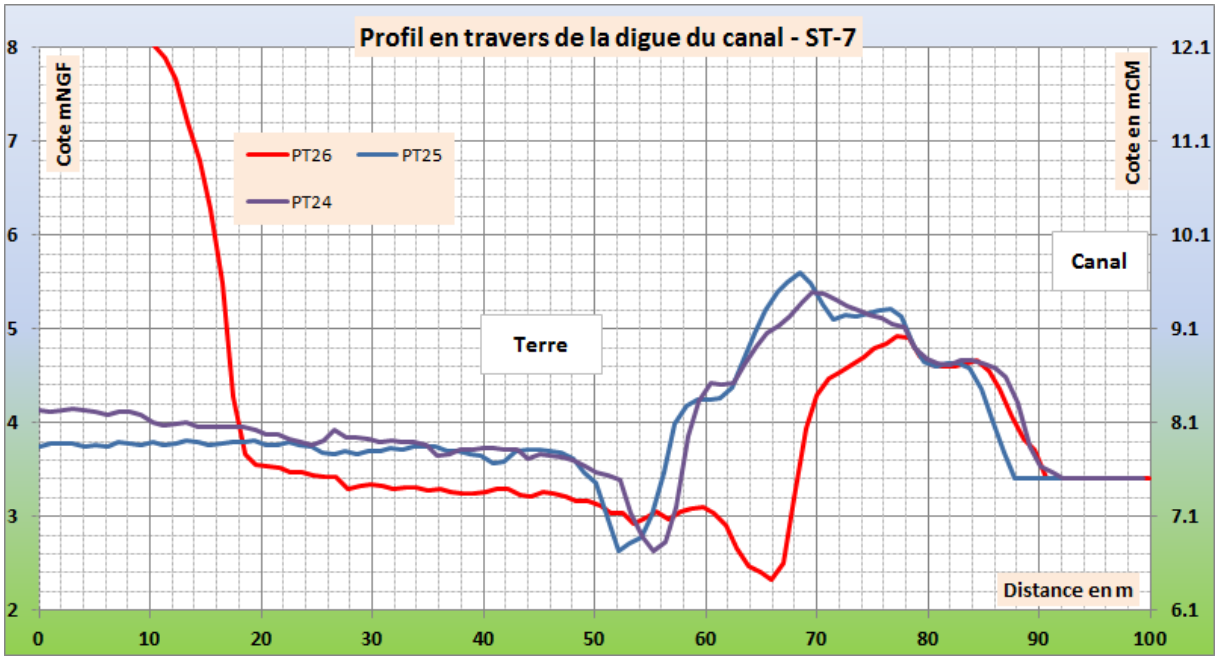


Figure 7-11 : profils en travers – ST7 Digue du canal.

Sous-tronçon 8

Le sous-tronçon n°8, long de 795 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente raide 1H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (10 m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  Accotement enherbé d'environ 1 m de large ;
  Merlon surélevé enherbé ;
- Talus arrière de pente 2H/1V ;
- Replat de 1 à 2 m de large avant le fossé ;
- Fossé en pied de talus.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

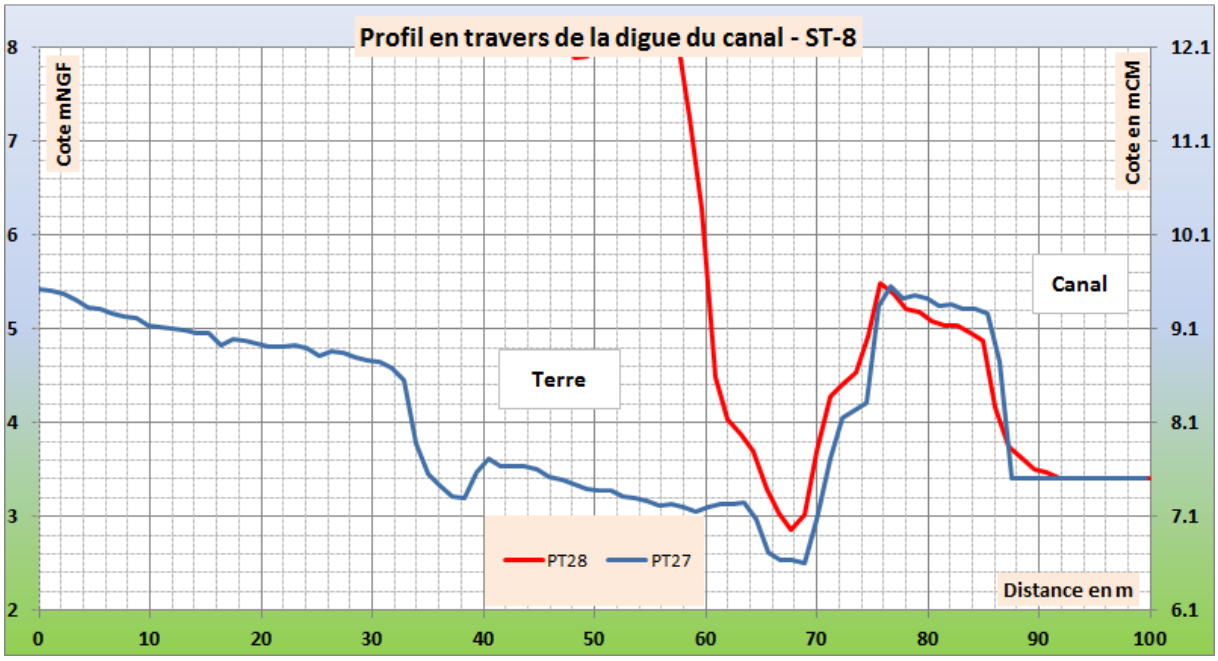


Figure 7-12 : profils en travers – ST8 Digue du canal.

Sous-tronçon 9

Le sous-tronçon n°9, long de 427 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 2H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (10 m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  Accotement enherbé d'environ 1 m de large ;
  Merlon surélevé enherbé ;

- Talus arrière de pente 2H/1V ;
- Fossé en pied de talus ;
- Terrain naturel au-dessus du niveau de la digue.



Figure 7-13 : Vue du sous-tronçon n°9 - Digue du canal

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

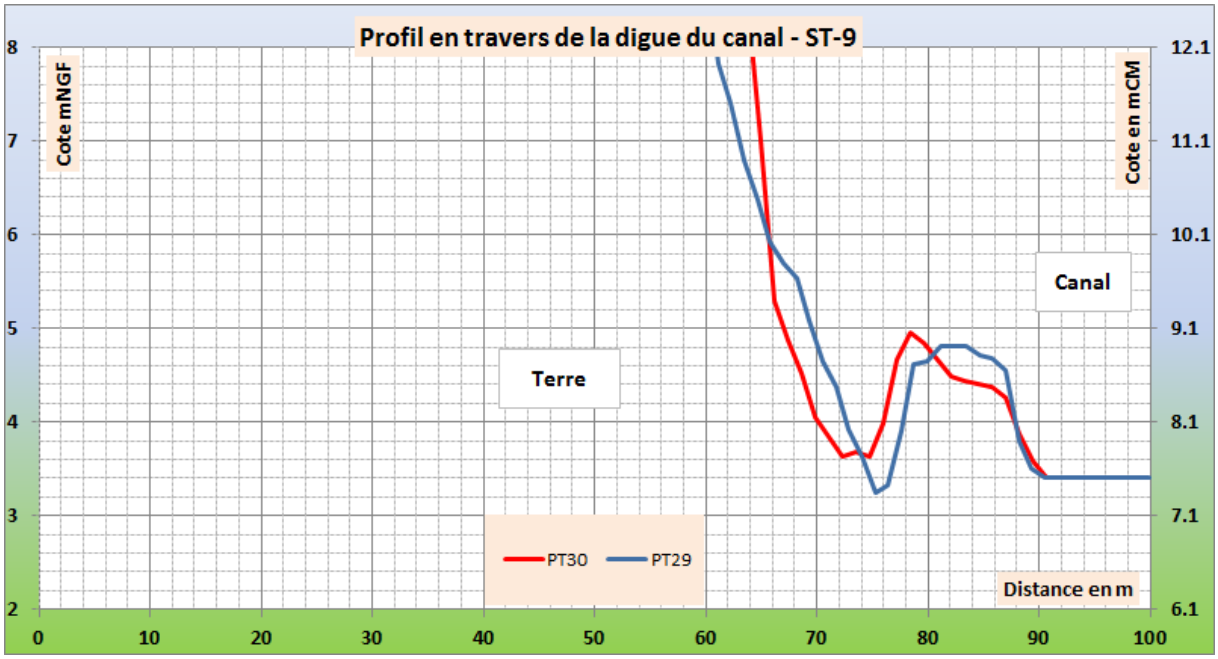


Figure 7-14 : profils en travers – ST9 Digue du canal.

Sous-tronçon 10

Le sous-tronçon n°10, long de 1241 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 2H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (10 m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  Zone enherbée d'environ 70-80 cm de large ;
  Cheminement piéton ;
  Merlon de hauteur faible à nulle enherbé ;

- Talus arrière de pente 2H/1V ;

- Fossé en pied de talus ;
- Replat de 1 à 2 m de large avant le fossé.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

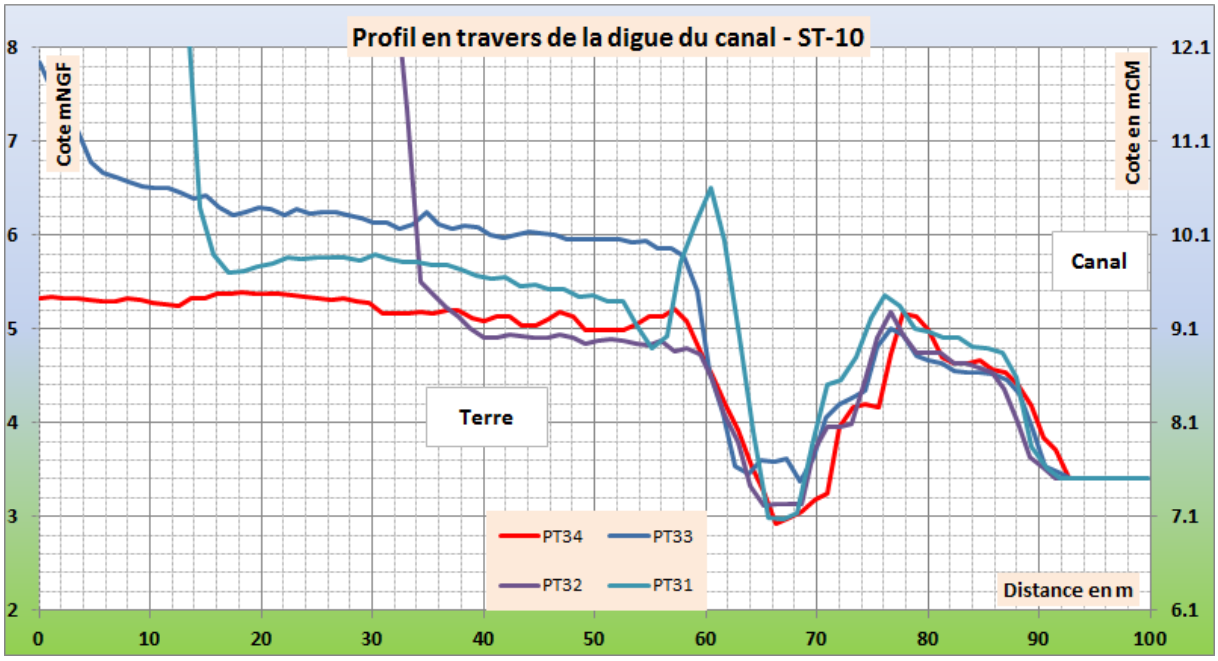


Figure 7-15 : profils en travers – ST10 Digue du canal.

Sous-tronçon 11

Le sous-tronçon n°11, long de 410 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 1,5H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (10 m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  Zone enherbée d'environ 70-80 cm de large ;
  Cheminement piéton d'un côté ou de l'autre de la piste cyclable ;
  Merlon enherbé sur les 100 premiers ml puis simple accotement enherbé ;

- Talus arrière de pente 1,7H/1V ;
- Replat de 1 à 2 m de large avant le fossé ;
- Fossé en pied de talus ;
- Zone marécageuse en arrière.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

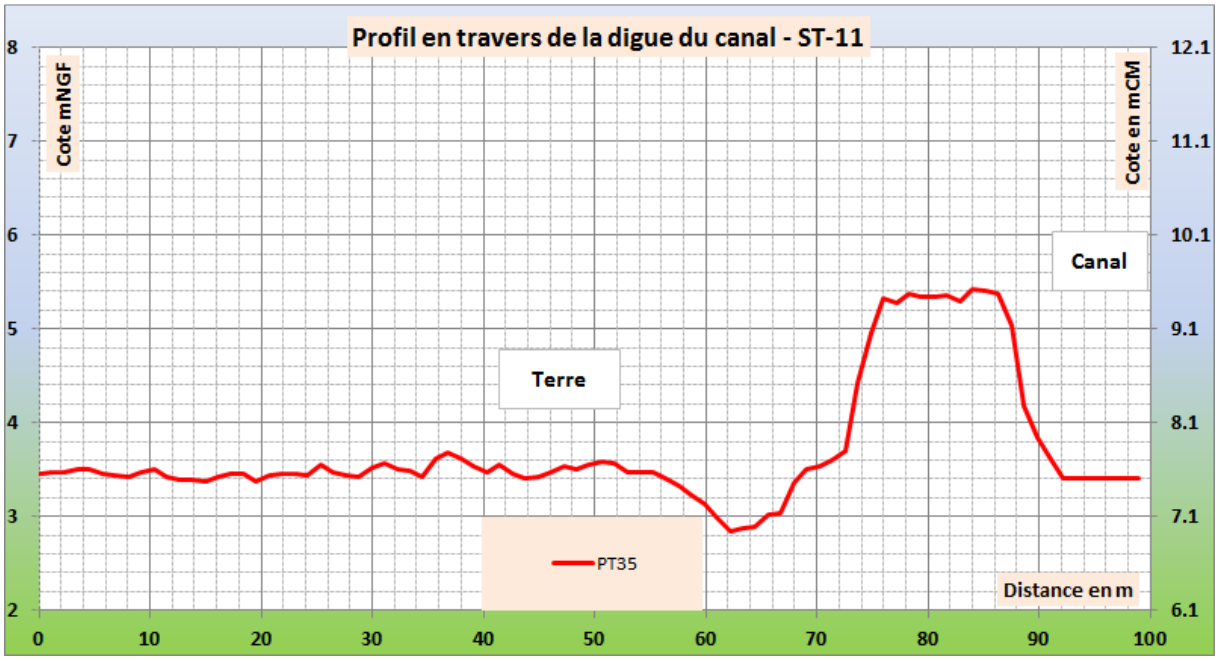


Figure 7-16 : profils en travers – ST11 Digue du canal

Sous-tronçon 12

Le sous-tronçon n°12, long de 118 ml, correspond au pont « Pegasus Bridge » et aux aménagements de ses abords, présentant la géométrie suivante :

- Palplanches recouvertes d'une coiffe béton côté canal ;
- Talus enherbé de pente 3H/1V ;
- Crête de largeur importante (8 à 10 m) correspondant à la piste cyclable en enrobé puis au croisement de la route circulant sur le pont ;
- Talus arrière de pente variable 2 à 3H/1V ;
- Fossé en arrière busé sous le passage de la route.



Figure 7-17 : Vue du sous-tronçon n°12 - Digue du canal

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

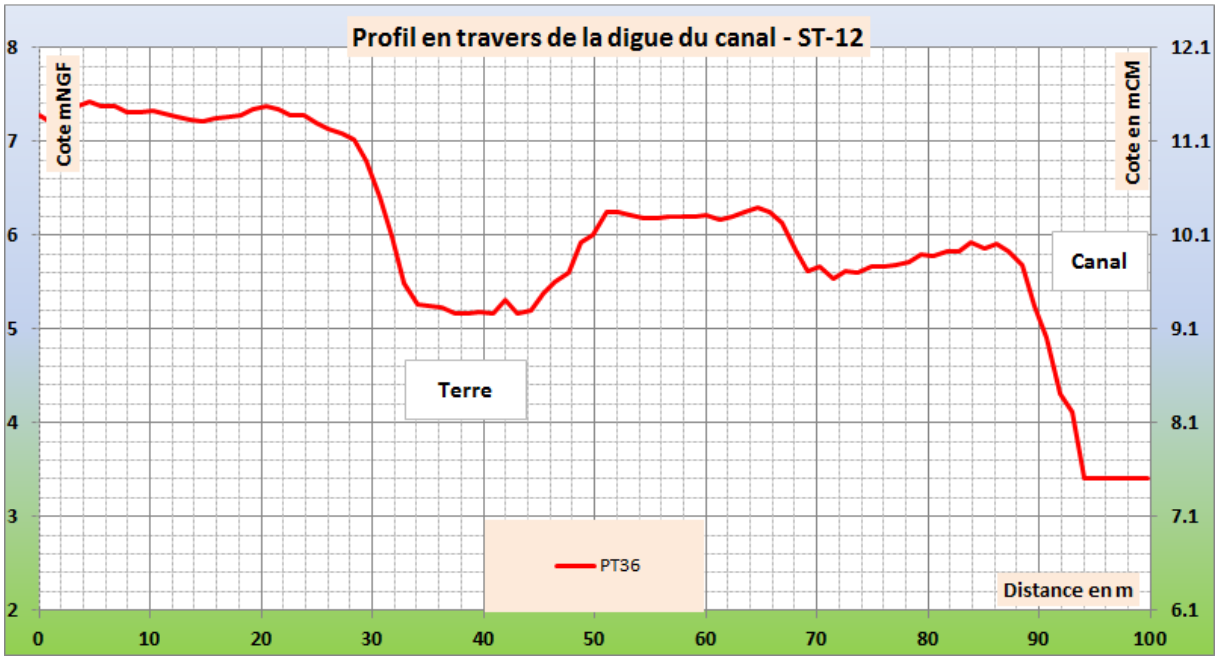


Figure 7-18 : profils en travers – ST12 Digue du canal.

Sous-tronçon 13

Le sous-tronçon n°13, long de 5016 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 1,5H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (10 à 15m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  Zone enherbée d'environ 1m de large ;
  Cheminement piéton ;
  Zone enherbée de largeur variable (min 5 m) ;
- Talus arrière de pente 2 à 2,5H/1V ;
- Replat de 1 à 2 m de large avant le fossé ;
- Fossé en pied de talus.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

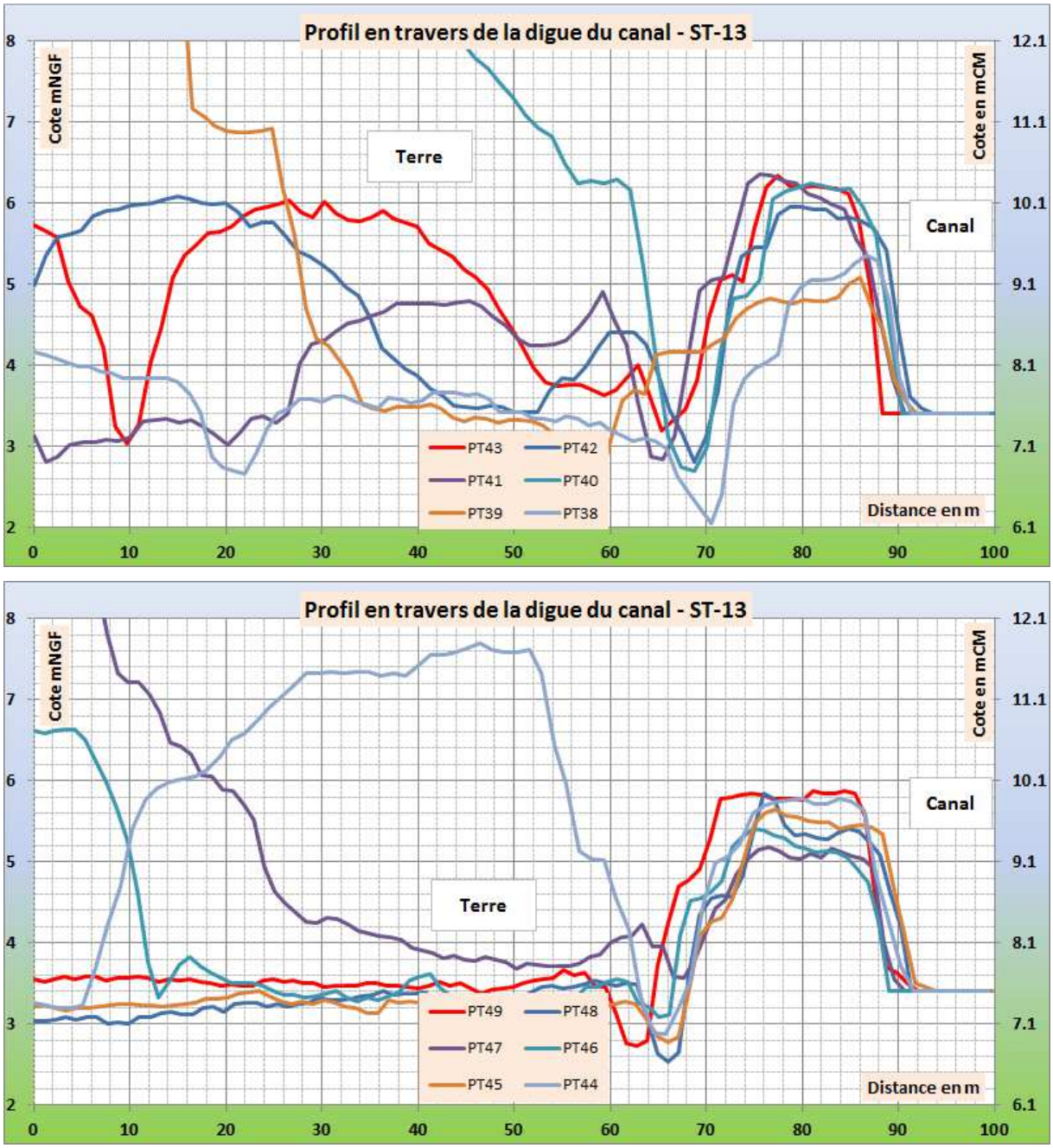


Figure 7-19 : profils en travers – ST13 Digue du canal

Sous-tronçon 14

Le sous-tronçon n°14, long de 50 ml, correspond au pont des Colombelles et aux aménagements de ses abords, présentant la géométrie suivante :

- Palplanches recouvertes d'une coiffe béton côté canal ;
- Aménagements bétonnés du pont ;
- Crête de largeur importante (8 à 10 m) correspondant à la piste cyclable en enrobé puis au croisement de la route circulant sur le pont ;
- Fossé en arrière busé sous le passage de la route.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

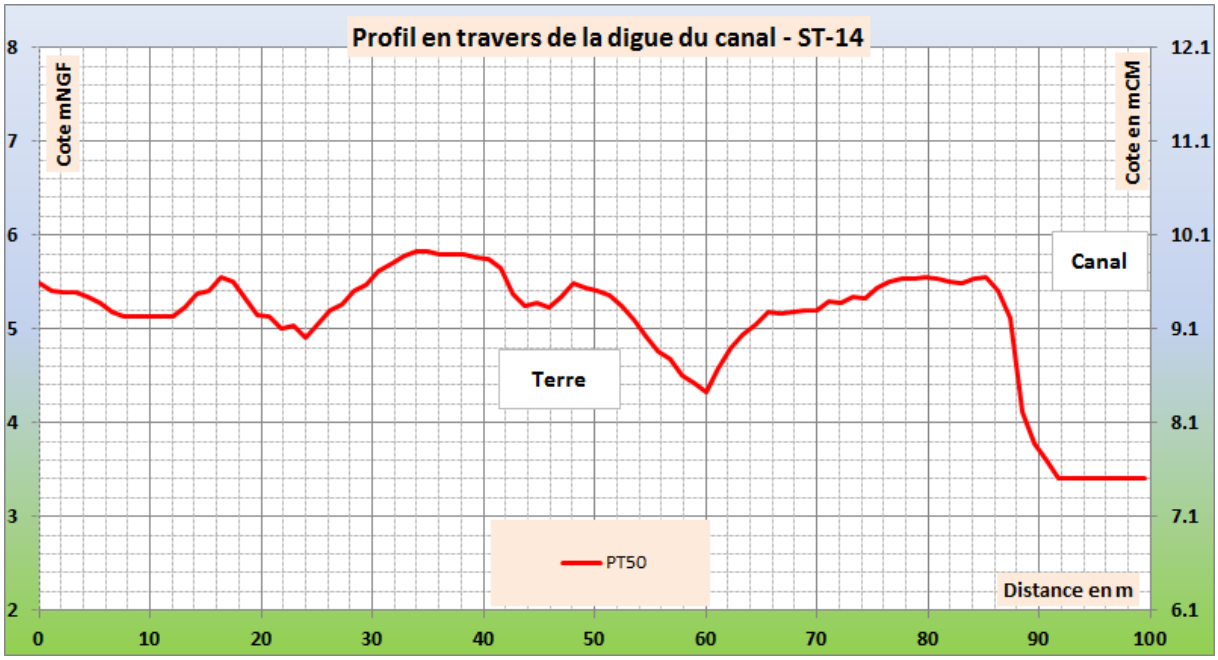


Figure 7-20 : profils en travers – ST14 Digue du canal.

Sous-tronçon 15

Le sous-tronçon n°15, long de 699 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 1,5H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (12-13 m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  Zone enherbée d'environ 1m de large ;
  Cheminement piéton ;
  Zone enherbée de 5 m de large environ avec de grands arbres ;
- Talus arrière de pente 2,5 à 3H/1V ;
- Replat de 1 à 2 m de large avant le fossé ;
- Fossé en pied de talus.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

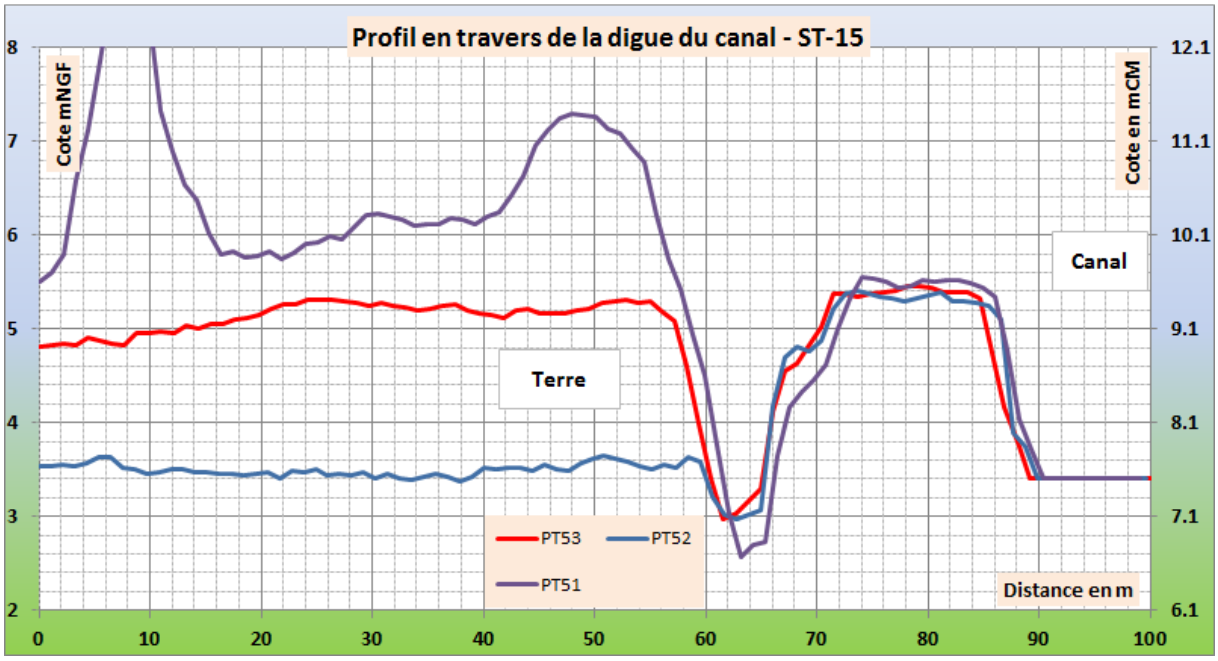


Figure 7-21 : profils en travers – ST15 Digue du canal.

Sous-tronçon 16

Le sous-tronçon n°16, long de 1640 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 1,5H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante à très importante (15 à 70 m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable en enrobé de 3 m de large ;
  Zone enherbée d'environ 1m de large ;
  Cheminement piéton ;
  Merlon enherbé et végétalisé (arbres de tailles différentes) ;
- Replat très large enherbé et végétalisé (arbres de tailles différentes) ;
- Fossé en pied de talus.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

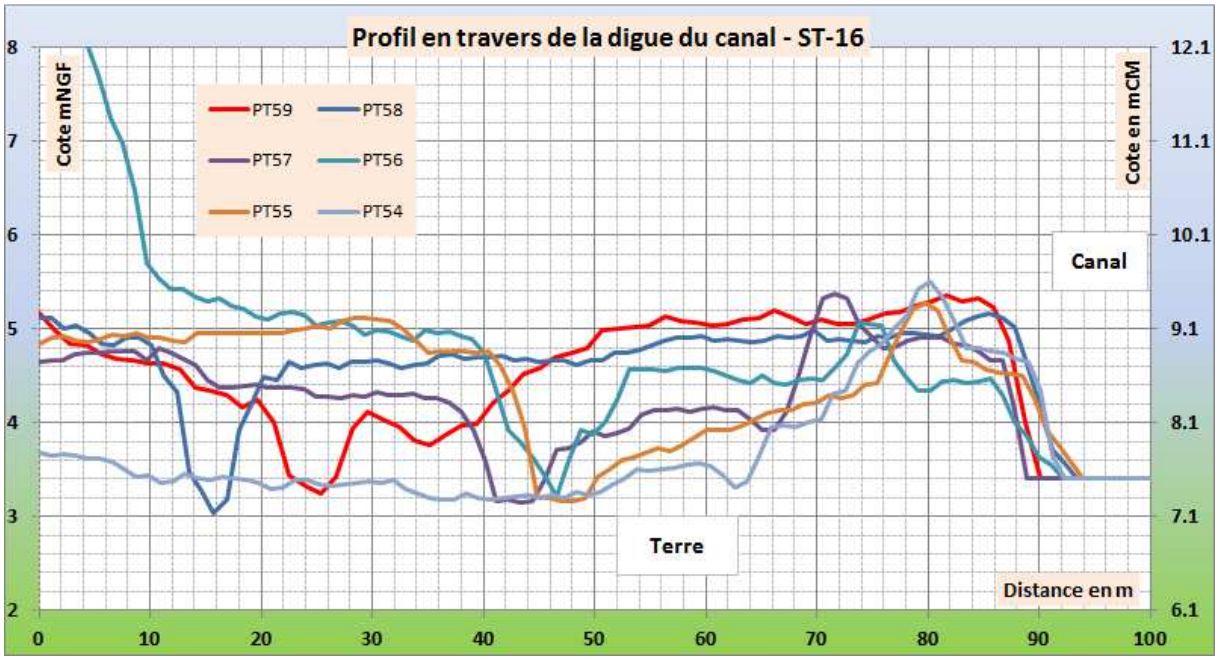


Figure 7-22 : profils en travers – ST16 Digue du canal

Sous-tronçon 17

Le sous-tronçon n°17, long de 365 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 2H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (15-20 m) :

  Accotement enherbé d'environ 1,5 m de large ;
  Piste cyclable et accès voiture pour les riverains en enrobé de 3 m de large ;
  Zone enherbée d'environ 1m de large ;
  Cheminement piéton ;
  Zone enherbée de 10 m de large environ avec de grands arbres ;
- Fossé en pied de talus avec pentes très raides ;
- Zone urbanisée en arrière.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

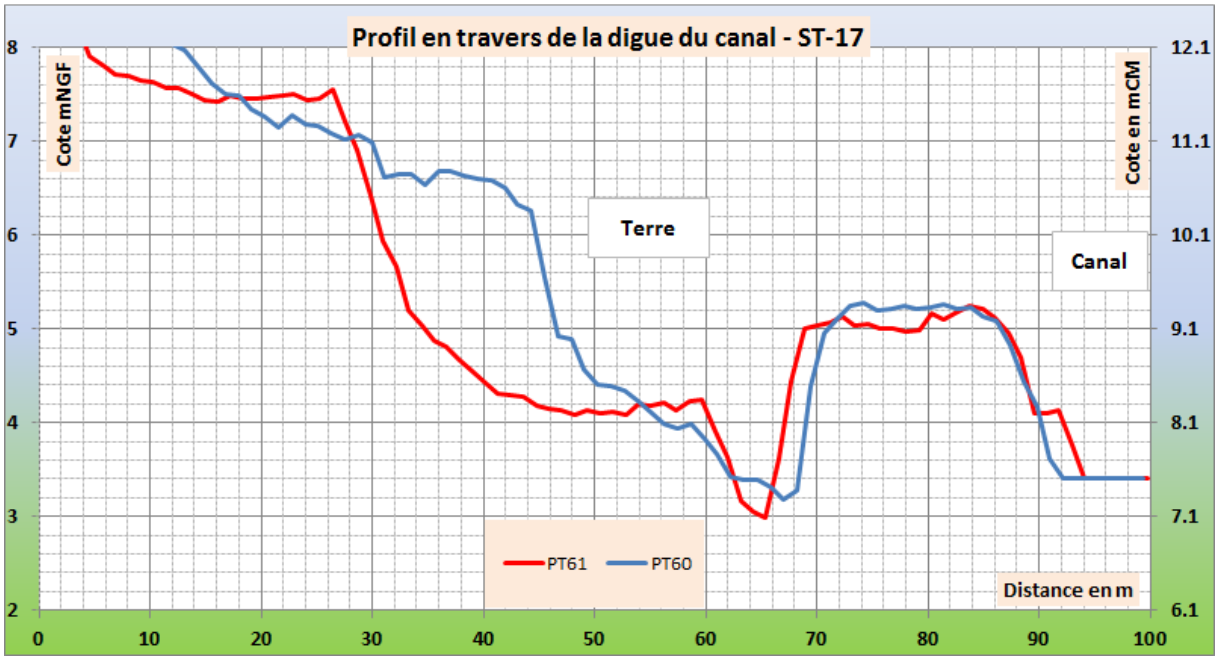


Figure 7-23 : profils en travers – ST17 Digue du canal.

Sous-tronçon 18

Le sous-tronçon n°18, long de 142 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 1,7H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (15 m) :

  Accès voiture et parking
- Talus arrière de pente 1,5H/1V ;
- Fossé en pied de talus ;
- Zone urbanisée en arrière.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

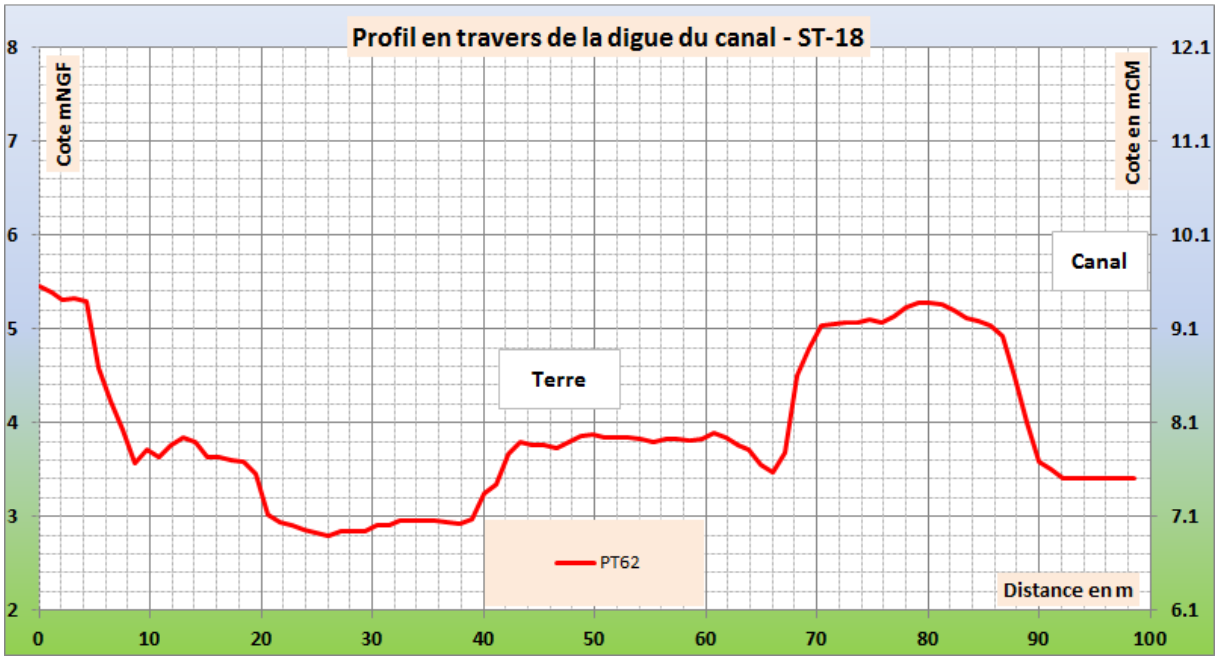


Figure 7-24 : profils en travers – ST18 Digue du canal.

Sous-tronçon 19

Le sous-tronçon n°19, long de 723 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 2H/1V protégé par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (12-13 m) :

  Piste cyclable et trottoir piéton en enrobé d'environ 1,5 m de large ;
  Merlon enherbé ;
  Route avec 2 voies de circulation ;
  Accotement enherbé ;

- Talus arrière enherbé de pente faible (> 5H/1V) ;
- Fossé en pied de talus avec pentes très raides ;
- Zone urbanisée en arrière.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

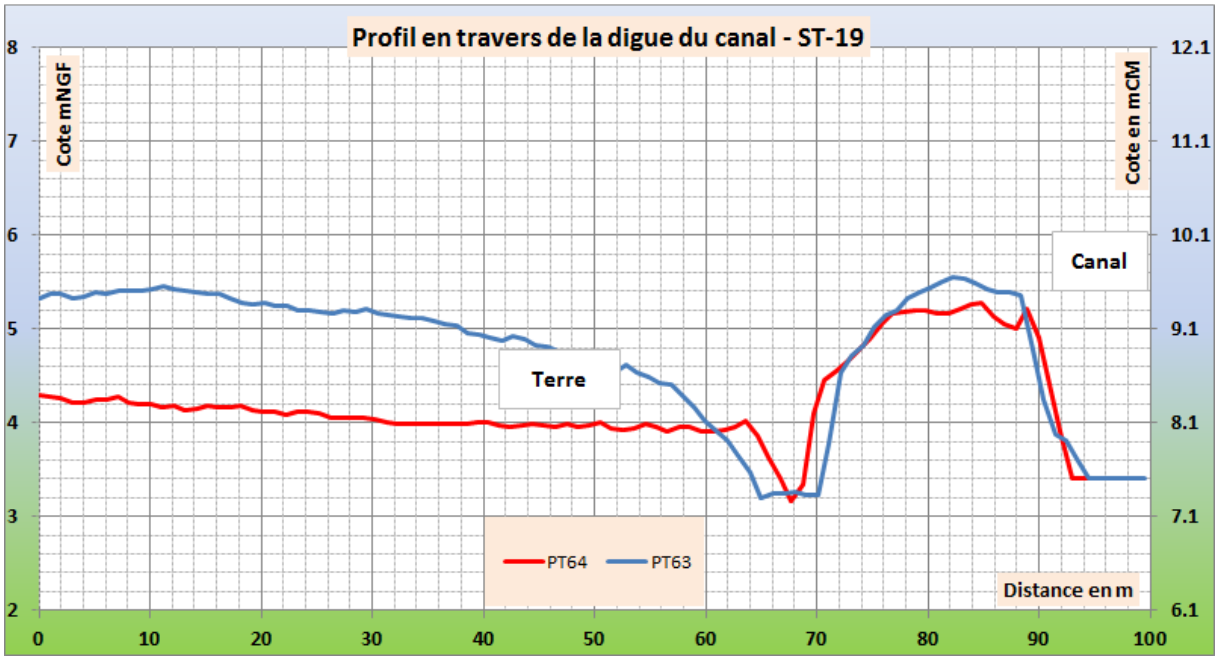


Figure 7-25 : profils en travers – ST19 Digue du canal

Sous-tronçon 20

Le sous-tronçon n°20, long de 225 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 2H/1V protégé en pied par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (8-10 m) :

  Muret béton délimitant le talus ;
  Trottoir servant de piste cyclable et cheminement piéton en enrobé d'environ 2 m de large ;
  Route avec 2 voies de circulation ;
  Trottoir d'environ 1 m de large ;
- Talus arrière enherbé de pente 3H/1V ;
- Fossé en pied de talus ;
- Zone urbanisée en arrière.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

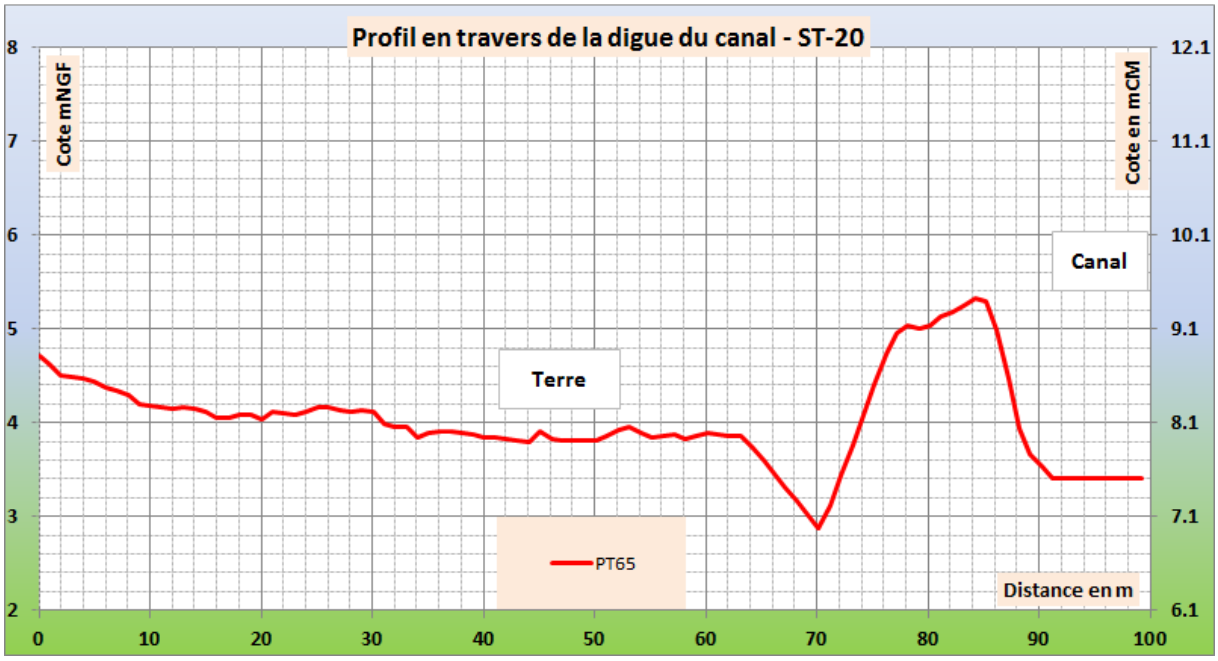


Figure 7-26 : profils en travers – ST20 Digue du canal

Sous-tronçon 21

Le sous-tronçon n°21, long de 408 ml, est une digue en remblai présentant la géométrie suivante :

- Talus côté canal de pente 2H/1V protégé en pied par des enrochements ;
- Crête de largeur importante (8-10 m) :

  Muret béton délimitant le talus ;
  Trottoir servant de piste cyclable et cheminement piéton en enrobé d'environ 2 m de large ;
  Route avec 2 voies de circulation ;
  Trottoir d'environ 1 m de large ;

- Zone urbanisée en arrière.

La figure ci-dessous présente les profils en travers (source : LIDAR).

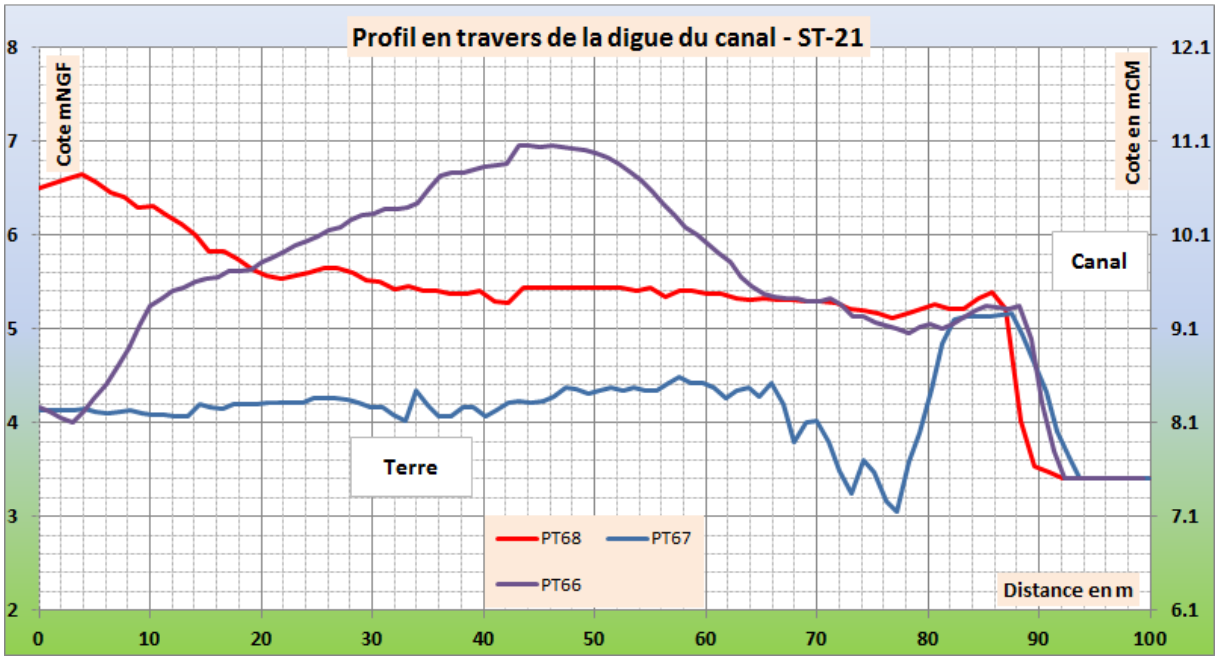


Figure 7-27 : profils en travers – ST21 Digue du canal.

7.2.1.3 Caractéristiques géotechniques

Investigations géotechniques réalisées

Des reconnaissances géotechniques ont été menées par Hydrogéotechnique au printemps 2017 sur la digue Ouest du canal. Les sondages sont localisés sur la carte C au §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Le rapport complet est donné en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Les investigations suivantes ont été mises en œuvre :

- 11 forages de reconnaissance géologique de type destructif, réalisés à la tarière D100mm, notés comme suit et descendus aux profondeurs suivantes :
  - T1 : 7,50 m
  - T2 : 5,50 m
  - T3 : 4,00 m
  - T5 : 5,50 m
  - T6 : 5,50 m
  - T8 : 7,50 m
  - T9 : 5,50 m
  - T10 : 7,50 m
  - T12 : 4,50 m
  - T13 : 7,00 m
  - T14 : 7,00 m

  Chaque horizon rencontré a fait l'objet d'un prélèvement en sac.
- 4 forages au carottier roto-percussion en O114-116mm, notés comme suit et descendus aux profondeurs suivantes :
  - SC4 : 11,00 m
  - SC7 : 14,00 m
  - SC11 : 14,00 m
  - SC14 : 15,00 m

Au droit de chaque sondage carotté, ont été prélevés des échantillons intacts sous gaine, aux profondeurs suivantes : 1,00 à 2,00m ; 2,00 à 3,00m ; 4,00 à 5,00m et 7,00 à 8,00m.

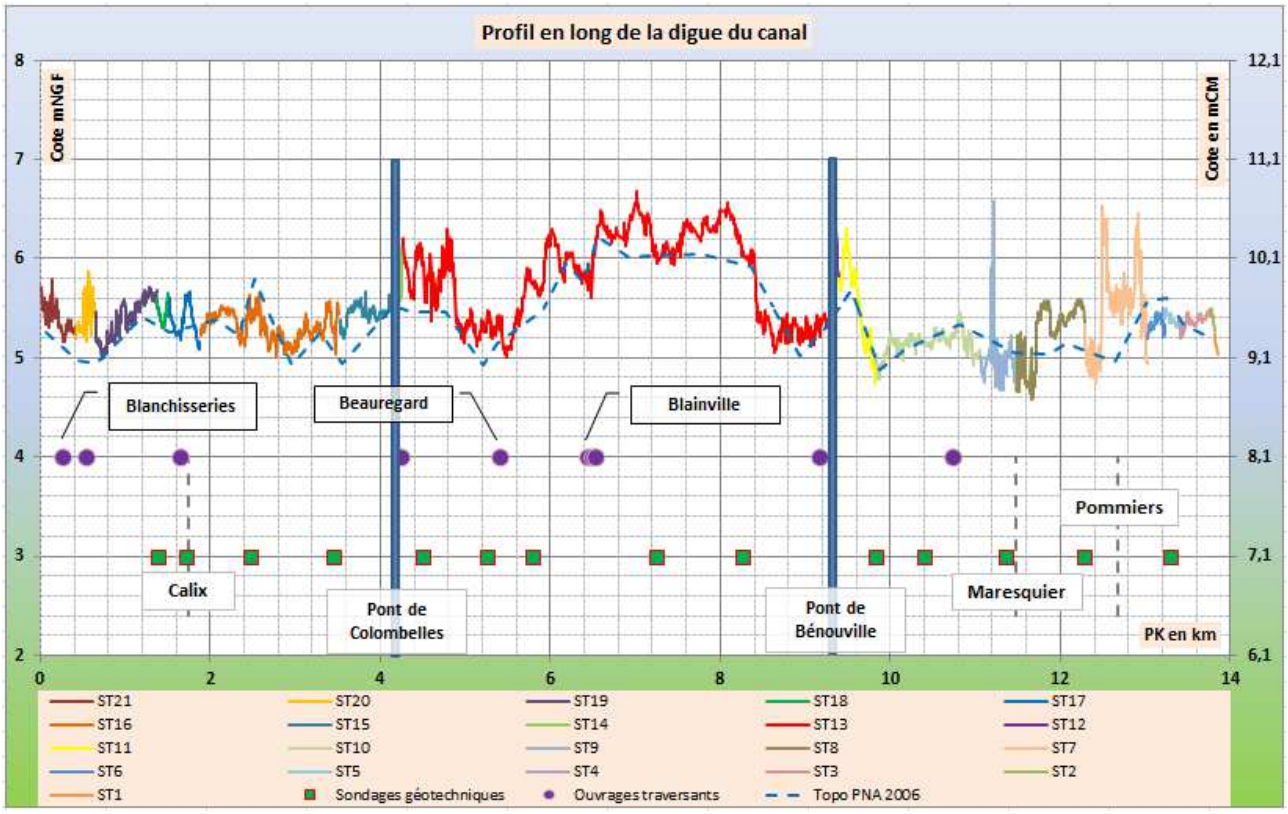


Figure 7-28 : Localisation des sondages géotechniques sur le profil en long de la digue

Matériaux rencontrés

Le site est marqué par :

- En tête, la présence d'une couche R de remblais caractérisée par des matériaux argilo-sableux à sable argileux, marron à marron orange voire gris, à cailloux et cailloutis divers (silex, calcaire). Cet horizon est surmonté d'une couche de Terre Végétale dont l'épaisseur varie entre 0,10 et 0,20m. On note qu'au droit du sondage T1, la couche R est surmontée d'une couche de béton bitumineux. L'épaisseur de cette couche est comprise entre 0,60 et 1,30m.

  Toutefois sur certains sondages comme T5, T6, T8, l'observation de celle-ci a été délicate et il est possible que des matériaux de cet horizon et de celui sous-jacent se mélangent rendant ainsi difficile la distinction entre les 2 couches.

- Ensuite, une couche 1 représentant le complexe alluvionnaire marin fluvioflandrien, caractérisé par des matériaux sableux à sablo-argileux à proximité de la cote puis argileux à argilo-limoneux ou argilo-sableux dans les terres. Cet horizon a été reconnu jusqu'à la fin de tous les sondages excepté le sondage SC4.

  Au droit des sondages SC7 et SC11 a été rencontré à partir de 13,60m de profondeur et jusqu'à la fin des deux sondages, la présence de matériaux tourbeux.

- Enfin, une couche 2 de calcaire sableux altéré, beige, reconnue uniquement au droit du sondage SC4, sur une épaisseur partielle de 4,20m.

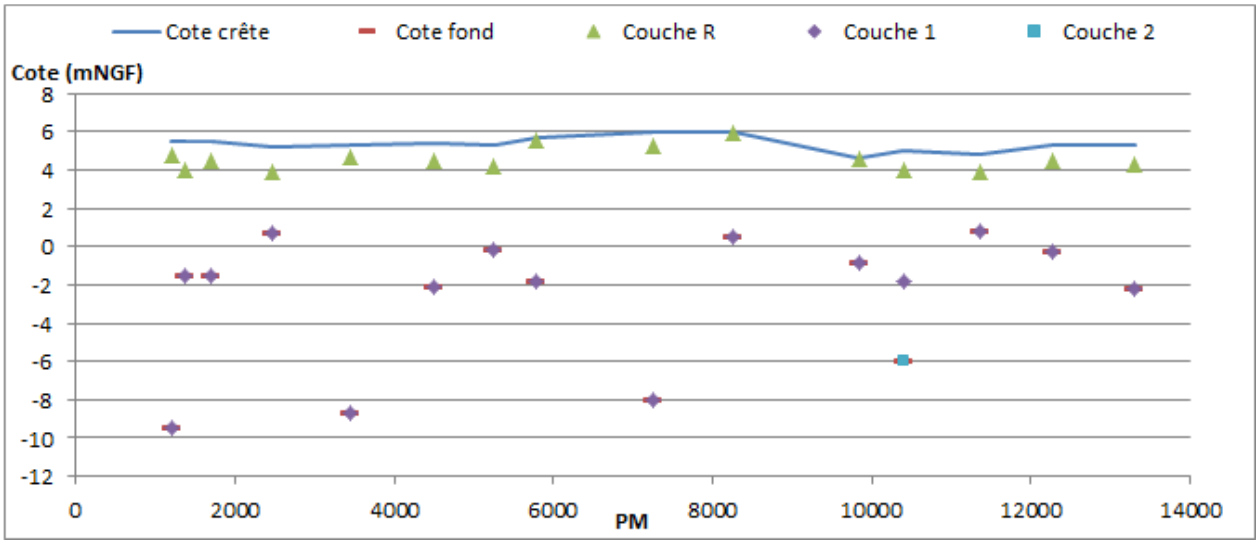


Figure 7-29 : Lithologie reconnue au droit des sondages

Résultats des essais en laboratoire

En laboratoire, il a été réalisé les essais suivants :

- 45 identifications GTR complètes comprenant chacune :
  - 1 teneur en eau (NFP 94-050),
  - 1 analyse granulométrique (NFP 94-056),
  - 1 essai au bleu de méthylène (NFP 94-068).
- 15 essais de cisaillement à la boite de Casagrande (NFP 94-070).

Couche de remblai (Couche R) :

Les matériaux sont classés A1 à A2 au sens du GTR. Il s'agit de matériaux limoneux à limono-argileux. Les teneurs en eau de ces matériaux sont sensiblement élevées.

Les analyses GTR mettent en avant des matériaux qui pourraient tout aussi bien correspondre à ceux de la formation alluvionnaire sous-jacente, la distinction n'étant pas évidente.

Complexe alluvionnaire (Couche 1) :

Les matériaux sont classés A1 à A3 ou encore B3 ou B5 au sens du GTR et ce même au droit d'un seul sondage. Cela est bien représentatif d'un complexe alluvionnaire, où l'on peut observer des matériaux limoneux à argileux ou au contraire sablo-graveleux.

Une tendance semble se dégager : la première moitié des sondages (de T1 à SC7) présente des passages plus sableux avec des matériaux classés B3 ou B5 tandis que pour le reste des sondages, les matériaux testés ressortent A1 à A3 (plus limono-argileux).

Dans la même logique, on remarque que l'argilosité des matériaux varie elle aussi sensiblement d'un prélèvement à l'autre.

La plupart des matériaux sont dans un état hydrique « h » à « th ».

N°	Prof (m)	Nature	GTR	W (%)
T1	1-4	Argile à tendance limono-sableuse	A2	39
	4-6	Argile limoneuse	A3th	49,3
	6-7,5	Sable argileux	A1	37,1
T2	0-0,8	Sable beige à cailloux divers	A1	18,9

N°	Prof (m)	Nature	GTR	W (%)
T9	0-1,1	Argile sableuse	A2	38,4
	1,1-3,6	Argile vaseuse	A3th	43,2
	3,6-5,5	Argile limoneuse	A2	58,3
T10	1-2,4	Sable argileux	A2	30,6

	0,8-1,4	Sable argileux	B5	24,6
	1,4-2,5	Argile +/- sableuse	A2	34,4
T3	0,9-1,3	Sable argileux à argile sableuse	B5	42,4
	1,3-2,9	Sable argileux	A1	34,9
	2,9-4	Sable fin argileux	B5	36,4
SC4	1,5-1,9	Sable à sable limoneux	B3	13,9
	4-4,5	Sable légèrement limoneux	B5	16
	7-8	Matrice sableuse à cailloutis de calcaire	C1B5	11
T5	0-1	Argile	A2	36,4
	1-1,7	Argile	A2	36,1
	1,7-3	Argile sableuse	A2	40,7
T6	0-1	Sable légèrement argileux	A1	16,8
	1,5-2,6	Argile	A2	35,8
	2,6-5,5	Sable argileux	A1	32,4
SC7	1-2	Sable	A1	28,5
	2,4-2,8	Limon argileux	A2	34,4
	7-8	Sable fin	B1	22,4
T8	1-1,6	Sable argileux	A1	25,2
	1,6-4	Argile	A3th	32,8
	4-7,5	Sable +/- argileux	A1	33,9
	2,4-4	Argile sableuse	A1	30
	4-7,5	Sable vaseux	A1	40
SC11	1-2	Argile limoneuse	A2	33,7
	4-5	Argile	A3th	60,8
	7-8	Argile à argile limoneuse	A2th	59,5
T12	1,3-2,5	Argile sableuse	A2	31,7
	2,5-3,7	Argile à tendance limono-sableuse	A2	33,8
	3,7-4,5	Argile sablo-vaseuse	A2	36
T13	1-2,1	Argile sableuse	A2	33,6
	2,1-4,5	Argile limoneuse	A2	34,2
	4,5-7	Vase sablo-argileuse	A1	35,7
T14	0-1,5	Argile sableuse	A2	27,9
	1,5-2,5	Argile bariolée	A2	34,1
	2,5-5	Limon vaseux	A2th	37,7
SC14	2-3	Argile à argile silteuse	A2	31,4
	4-5	Sable limoneux	A1	37,8
	7-8	Argile limoneuse	A1	42,1

Tableau 7-18 : Résultats des essais d'identification GTR.

Les différents échantillons intacts prélevés au droit des sondages carottés mettent en avant le caractère alluvionnaire de la couche 1, qui peut présenter une matrice assez variable dans sa granulométrie mais aussi dans son argilosité.

Attention, on remarque que les valeurs de cohésion ainsi que d'angle de frottement obtenues ont tendance à être parfois supérieures à ce que l'on peut imaginer pour ce(s) type(s) de matériaux comme par exemple sur les échantillons du sondage SC4 (1,50-1,93m ; 2,50m), SC7 (2,70m ; 7,50m) ou bien SC11 (2,50m ; 4,65m ; 7,90m).

Sondage	Profondeur (m)	Nature	c' (kPa)	φ' (°)
SC4	1,7	Sable gris à nombreux débris coquillés	6	36,7
	2,5	Sable gris	8	40,2
	4,5	Sable marron beige, gris clair à rare débris coquillés	0	38,2
SC7	1,5	Sable beige marbré gris bleu et brun	0	41,3
	2,6	Limon marneux marbré marron-clair, gris bleu à quelques traces noires	30	15,5
	4,2	Sable fin limoneux gris	0	40,7
	7,5	Sable gris	9	37,6

SC11	1,4	Argile limoneuse marron clair, beige	18	27,5
	2,5	Argile marbrée gris foncé, gris bleu à traces brunes	28	19,5
	4,65	Argile marbrée gris bleu, marron à traces brunes	26	15,8
	7,9	Silt gris à quelques cailloutis	27	19,6
SC14	1,5	Argile limoneuse marron	7	33,3
	2,3	Argile légèrement limoneuse marbrée gris-bleu marron clair	13	31,5
	4,1	Sable fin légèrement limoneux gris	0	40
	7,1	Limon sableux gris	1	36,2

Tableau 7-19 : Résultats des essais de cisaillement.

7.2.1.4 Ouvrages traversants

Sous-tronçon 6

Des ouvrages traversants sont relevés aux extrémités de ce sous-tronçon :

- à l'extrémité Nord en limite du ST5 : 1 buse avec sortie béton ;
- à l'extrémité Sud en limite du ST7 : 1 buse avec sortie béton et 1 conduit en PEHD.



Figure 7-30 : Ouvrages traversants relevés sur le sous-tronçon n°6

Ces ouvrages sont disposés en partie haute de la digue. Ils sont sans doute associés à l'assainissement pluvial de la plateforme.

Sous-tronçon 10

Les ouvrages traversants relevés sur le sous-tronçon n°10 sont les suivants :

- Au niveau d'un accès (passerelle), deux ouvrages traversants sont observés. Ces ouvrages correspondant à des buses traversant la digue au niveau de la passerelle, soit relativement en surface, depuis les terrains protégés en arrière.
- Au PM3070, au droit de l'appontement, les conduites de refoulement de la station de pompage située en arrière traversent l'ouvrage.




Figure 7-31 : Ouvrages traversants - ST10 Digue du canal

Sous-tronçon 13

Trois ouvrages traversants sont présents sur le linéaire du sous-tronçon 13 :

- PK 5,395 : 1 vanne – sortie côté canal non visible (vanne de beauregard) ;
- PK 6,440 : 3 vannes – sortie côté canal avec des planches en bois (vannes de Blainville) ;
- PK 9,160 : 1 vanne avec grille – sortie côté canal non visible (siphon de Bénouville).

La végétation et les accès très limités empêchent d'observer correctement ces ouvrages. Aucun désordre flagrant n'est repéré sur la digue au droit du passage de ces ouvrages.

Seul l'encadrement béton de la grille et de la vanne située au PK 9,160 présente des fissures et des zones d'affouillement à ses abords.

Dans la structure d'une digue, les ouvrages traversants sont des points particuliers et constituent des points faibles. Tout désordre y étant relevé doit être considéré comme majeur. L'ouvrage traversant situé au PK 9,160 présente un état général moyen avec des fissures de l'encadrement béton, qui peuvent être le signe de mouvements et avec des affouillements prononcés de chaque côté de l'ouvrage, qui sont le signe de départ de matériaux.



Siphon de Bénouville PK 9,160



Siphon de Bénouville PK 9,160 - Affouillement



Siphon de Bénouville PK 9,160 - Affouillement



Vannes de Blainville PK 6,440



Vannes de Blainville PK 6,440



Vannes de Blainville PK 6,440



Vanne de Beauregard PK 5,395



Vanne de Beauregard PK 5,395

Figure 7-32 : Ouvrages traversants – ST13 Digue du canal.

Sous-tronçon 21

Un ouvrage traversant est relevé sur le sous-tronçon n°21.

Cet ouvrage permet l'évacuation des eaux du fossé perpendiculaire et est équipé d'une vanne côté canal protégée par une grille.



Figure 7-33 : vanne des Blanchisseries – ST21 Digue du canal

7.2.2 PERRE DE OUISTREHAM, DIT « DIGUE DE OUISTREHAM »

7.2.2.1 Aperçu général

La digue de Ouistreham a été décomposée en 5 sous-tronçons. La Figure 7-34 localise ces 5 sous-tronçons :



Figure 7-34 : localisation des 5 sous-tronçons de la digue de Ouistreham.

La construction de la digue de Ouistreham a été réalisée en trois tranches suivant la même section type. L'historique des travaux est présenté ci-après d'après les documents d'archives transmis par la commune de Ouistreham.

Les travaux de construction de la digue de Ouistreham se sont étagés en 3 tranches :

- Tranche 1 : partie Ouest, correspondant aux sous-tronçons 1 et 2, soit 435 ml, livraison antérieure à 1978 ;

- Tranche 2 : partie centrale, correspondant aux sous-tronçons 3 et 4, soit 230 ml, livraison en 1980 ;
- Tranche 3 : partie Est, correspondant aux sous-tronçons 4 et 5, soit 274 ml, livraison en 1982.

7.2.2.2 Géométrie et structure

La digue de Ouistreham est implantée sur le talus du cordon dunaire d'Hermanville-sur-Mer à Ouistreham : le corps de digue est ainsi constitué de sable coquillier constituant la dune, plutôt grossier sur ce secteur.

La fondation est un platier rocheux dont le niveau n'est pas connu : ce platier est visible à basse mer, sont altitude peut être supposée entre -4 et -2 mNGF (0 à 2 mCM) environ.

La digue de Ouistreham présente une seule structure sur l'ensemble de son linéaire. Les sous-tronçons se distinguent par leur emplacement en plan et leur orientation, par leur niveau de crête qui est variable sur tout le linéaire de la digue et par le niveau de sable en pied.

La coupe-type de la section courante est donnée sur la Figure 7-35 :

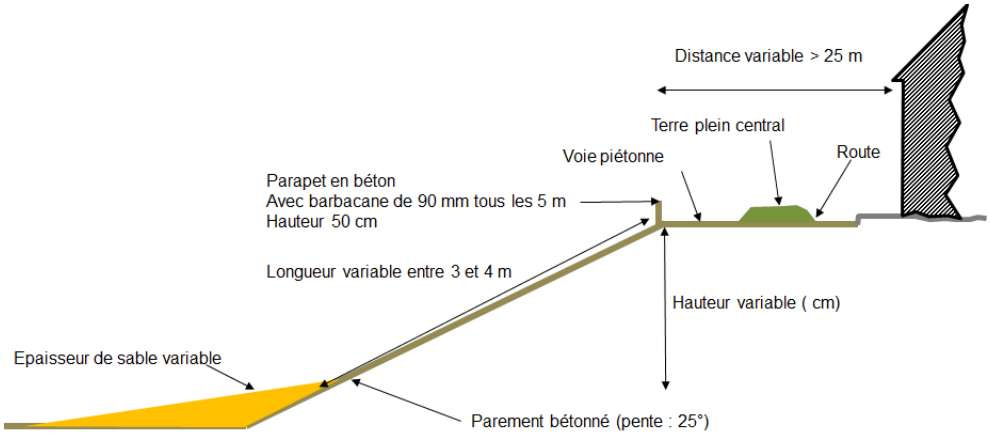


Figure 7-35 : coupe-type de la section courante de la digue de Ouistreham.

La digue comprend (de la mer vers l'intérieur) :

- Un parement coté mer bétonné avec un muret en crête de hauteur moyenne 50 cm ;
- Une voie piétonne goudronnée de largeur moyenne 3 m ;
- Un terre plein central en sable enherbé de largeur variable entre 10 et 20 m (à certains endroits une zone de parking est intégrée au terre plein) ;
- Une piste cyclable de largeur 2 m ;
- Une voirie de largeur 4 à 6 m ;
- Les propriétés privées qui s'étendent sur plusieurs dizaines de mètre. Le parement aval n'est ainsi pas visible. A priori, les terrains redescendent en altitude au niveau de la route départementale (plusieurs centaines de mètres en arrière du front de mer).

Les parcelles privées se situent a minima 25 m en arrière de l'axe du muret de crête : cette plus faible distance est observée le long du sous-tronçon n°3 entre l'avenue Delavigne et l'avenue de Verdun.

Le Tableau 7-20 synthétise les caractéristiques de chaque sous-tronçon :

Tronçon	Structure	Longueur	Niveau de crête (muret)	Délimitation
ST1	Courante	200 ml	6,9 à 7,2 mNGF 11,0 à 11,3 mCM	Débute à la limite communale avec Colleville-Montgomery jusqu'à l'avenue Malherbe
ST2	Courante	235 ml	7,2 à 7,5 mNGF 11,3 à 11,6 mCM	Jusqu'à la cale de l'avenue Delavigne
ST3	Courante	165 ml	7,5 à 7,0 mNGF 11,6 à 11,1 mCM	Jusqu'à l'avenue de Verdun
ST4	Courante	200 ml	7,0 mNGF 11,1 mCM	
ST5	Courante	160 ml	7,0 à 6,9 mNGF 11,1 à 11,0 mCM	Jusqu'au poste de secours

Tableau 7-20 : description des sous-tronçons de la digue de Ouistreham.

Le profil en long de la crête de digue est donné sur la Figure 7-36 :

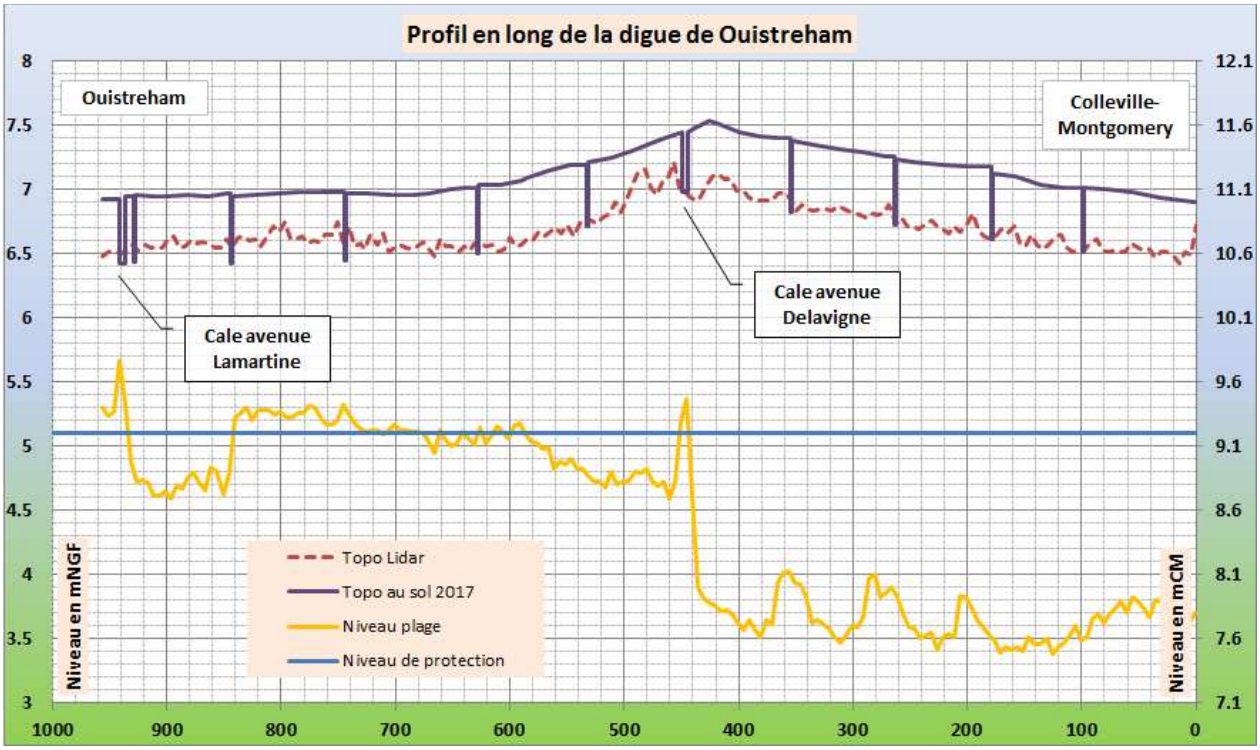


Figure 7-36 : profil en long de la crête de la digue de Ouistreham.

La Figure 7-36 donne le profil en long issu du relevé topographique au sol réalisé en 2017. Elle fait également apparaître le profil en long issu du MNT Lidar (2012) ainsi que le niveau de la plage en pied d'ouvrage. Le PM 0 est situé à droite du graphique : la digue est « vue » depuis la mer.

Le profil en long de 2017 correspond au relevé de la crête du muret. Les cales et escaliers sont reproduits sur le profil en long.

Le profil en long issu du MNT Lidar correspond au cheminement piéton en pied de muret. Les deux levés sont cohérents, le profil du MNT Lidar étant en moyenne 50 cm en-dessous du profil du muret et au niveau des escaliers.

Le profil en long est assez original dans la mesure où il présente une forme pyramidale avec un sommet à 7,54 mNGF [11,64 mCM] au centre de l'ouvrage, à l'extrémité du tronçon n°2.

Ainsi, deux parties peuvent être distinguées :

- Tronçons 1 et 2, du PM 0 au PM 435 : ces deux tronçons sont construits en avant du trait de côte « naturel ». Le niveau de la plage en pied se situe entre 3,5 et 4 mNGF [7,6 à 8,1 mCM] selon la distance aux épis. Le niveau du muret varie de 6,9 à 7,54 mNGF [11,0 à 11,64 mCM] d'Ouest en Est. Sur ces tronçons, la largeur des escaliers est de 1 m, le plus bas se situant à la cote 6,52 mNGF [10,62 mCM] ;
- Tronçons 3 à 5, du PM 435 au PM 955 : ces trois tronçons sont construits en retrait, dans l'alignement du trait de côte « naturel ». Le niveau de plage en pied d'ouvrage varie de 4,6 à 5,3 mNGF [8,7 à 9,4 mCM]. Le niveau du muret diminue de 7,54 mNGF à 6,93 mNGF [11,64 à 11,03 mCM] à l'extrémité Est. Sur ces tronçons, la largeur des escaliers est de 1,3 m, le plus bas se situant à la cote 6,43 mNGF [10,53 mCM].

Le niveau du cheminement piétonnier étant a minima à 6,5 mNGF [10,6 mCM], ce niveau est considéré comme le point bas de la digue de Ouistreham.

Les caractéristiques du parement bétonné sur la section courante sont les suivantes :

- Nature du parement : parement bétonné en béton dosé à 375 kg et ferraillé avec une nappe de treillis soudé inférieure, reposant sur un béton maigre d'épaisseur 8 cm ;
- Epaisseur du parement : 30 cm ;
- Fruit du parement : 2 H/1 V ;
- Parapet : hauteur moyenne de 50 cm pour une largeur de 45 cm
- Niveau de crête – chemin piétonnier : variable de 6,5 à 7,0 mNGF [10,6 à 11,1 mCM] ;
- Niveau de crête – muret : variable de 6,9 à 7,5 mNGF [11,0 à 11,6 mCM] ;
- Nature du pied : semelle en béton de 0,65 m de large pour 40 cm d'épaisseur ;
- Niveau de la semelle : 2,4 mNGF [6,5 mCM], niveau issu des plans d'avant-projet, non vérifié ;
- Parafouille : rideau de palplanches Larssen SL1 de 2 m de hauteur ancré en tête dans la semelle béton. Le niveau du pied du rideau parafouille peut ainsi être estimé à 0,4 mNGF [4,5 mCM].



Figure 7-37 : illustration de la section courante.

La hauteur totale du parement varie de 4,1 à 4,6 m. Lors des visites, seule la partie supérieure était visible. Le niveau de sable au droit du parement est variable :

- Tronçons 1 et 2 : ces deux sous-tronçons sont avancés par rapport au trait de côte « naturel », le niveau du haut de plage y est variable de 3,5 à 4,0 mNGF [7,6 à 8,1 mCM] ;
- Tronçons 3 à 5 : ces sous-tronçons suivent sensiblement le trait de côte « naturel », le niveau du haut de plage y est variable de 4,6 à 5,3 mNGF [8,7 à 9,4 mCM], soit plus d'un mètre de plus par rapport aux tronçons 1 et 2.

Concernant les tronçons 3 à 5, les relevés au sol de 2017 et le relevé Lidar de 2012 sont cohérents.

Pour ce qui concerne les tronçons 1 et 2, les niveaux de sable en pied de parement relevés en 2017 sont de l'ordre de 4,5 mNGF [8,6 mCM]. Ces deux tronçons, plus avancés, sont soumis à de plus fortes sollicitations, les mouvements de sable y sont sans doute plus importants. A noter également que la semelle en pied de parement était visible en février 2017 : cela donne une appréciation de l'amplitude des mouvements de sable le long de ces deux sous-tronçons.

7.2.2.3 Caractéristiques géotechniques

Les reconnaissances géotechniques sont en cours au moment de la rédaction de la présente étude de dangers.

7.2.2.4 Etat

La dernière visite technique approfondie a été réalisée par ISL-Ingénierie en février 2021.

Lors de cette visite, 31 désordres ont été relevés : 11 désordres de type linéaire et 20 désordres ponctuels.

Les désordres relevés sont rappelés dans le Tableau 7-21 :

	Nombre	Principales natures	Action
Gravité 1	12	- Fissure transversale, - Déjointoiement entre les dalles de béton, - Reprise d'épaufrure,	Désordre de faible amplitude à surveiller
Gravité 2	14	- Altération de l'enrobé au contact avec le muret, - Fissuration à l'angle avec la cale de mise à l'eau, - Léger affaissement de type ornière, - Epaufrures importantes (< 1 cm de profondeur) - Fissures transversales sur joint entre dalles béton,	Désordre pouvant amener à être de taille plus importante : à surveiller activement
Gravité 3	5	- Fissure transversale (ouverture importante plusieurs cm) - Epaufrures profondes (>1cm) avec aciers apparents corrodés,	A traiter pour éviter un problème structurel de la digue
Gravité 4	0		A traiter de toute urgence. Désordre portant atteinte à la stabilité de la digue
TOTAL	31		

Tableau 7-21 : synthèse des désordres.

7.2.2.5 Ouvrages traversants

Absence d'ouvrage traversant sur cette partie d'ouvrage.

7.2.3 PERRE D'HERMANVILLE-SUR-MER, DIT « DIGUE D'HERMANVILLE-SUR-MER »

7.2.3.1 Aperçu général

La digue d'Hermanville-sur-Mer a été décomposée en 8 sous-tronçons suivant les différentes descentes à la mer. La Figure 7-38 localise ces 8 sous-tronçons :



Figure 7-38 : localisation des 8 sous-tronçons de la digue d'Hermanville-sur-Mer.

La digue dite de « Tanagra », représentée par le sous-tronçon 2 a été construite antérieurement à 1955 : la date n'est pas précisément connue mais des photos antérieures à cette date atteste de la présence de la digue.

Les travaux de construction de la digue d'Hermanville-sur-Mer se sont étagés en 2 tranches :

- Tranche 1 : partie Ouest, correspondant aux sous-tronçons 1, 3, 4, 5 et 6, soit livraison en 1965 ;
- Tranche 2 : partie Est, correspondant aux sous-tronçons 7 et 8, livraison en 1972.

7.2.3.2 Géométrie et structure

La digue d'Hermanville-sur-Mer est implantée sur le talus du cordon dunaire d'Hermanville-sur-Mer à Ouistreham : le corps de digue est ainsi constitué de sable coquillier constituant la dune, plutôt grossier sur ce secteur.

La fondation est un platier rocheux dont le niveau n'est pas connu : ce platier est visible à basse mer, sont altitude peut être supposée entre -4 et -2 mNGF (0 à 2 mCM) environ.

La digue d'Hermanville-sur-Mer présente deux structures distinctes :

- La structure courante qui concerne la grande majorité du linéaire de l'ouvrage, soit 1 720 ml ;
- La structure dite de « Tanagra » qui concerne un tronçon d'environ 44 ml.

Le tronçon dit de « Tanagra » a été construit face à la villa du même nom. Il s'agit du tronçon le plus ancien de la digue, construit juste après la seconde guerre mondiale. La coupe-type de ce tronçon est donnée sur la Figure 7-39 :

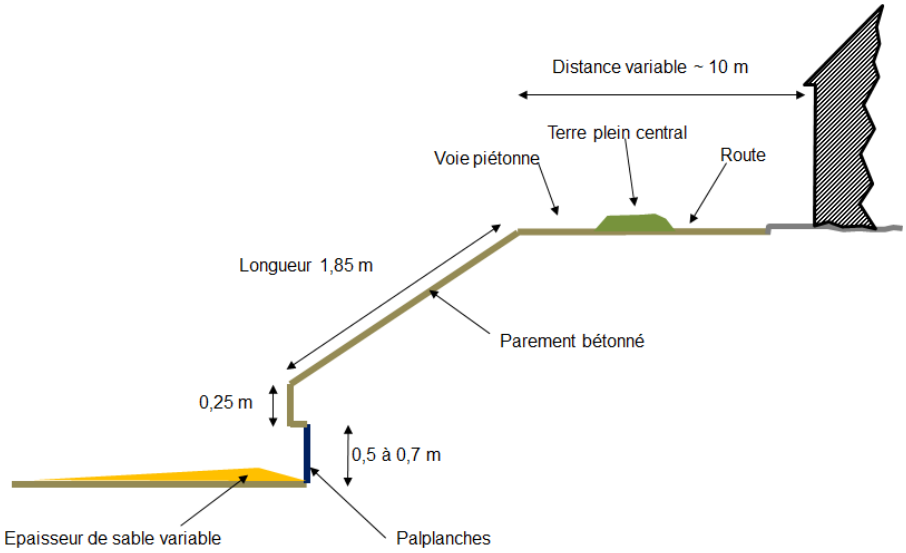


Figure 7-39 : coupe-type du tronçon dit de « Tanagra ».

La section courante de la digue a quant à elle était construite en deux étapes, la première achevée en 1965 sur 1 280 ml, la seconde achevée en 1972 pour les 440 ml restant jusqu'à la limite de Colleville-Montgomery. La coupe-type de la section courante est donnée sur la Figure 7-40 :

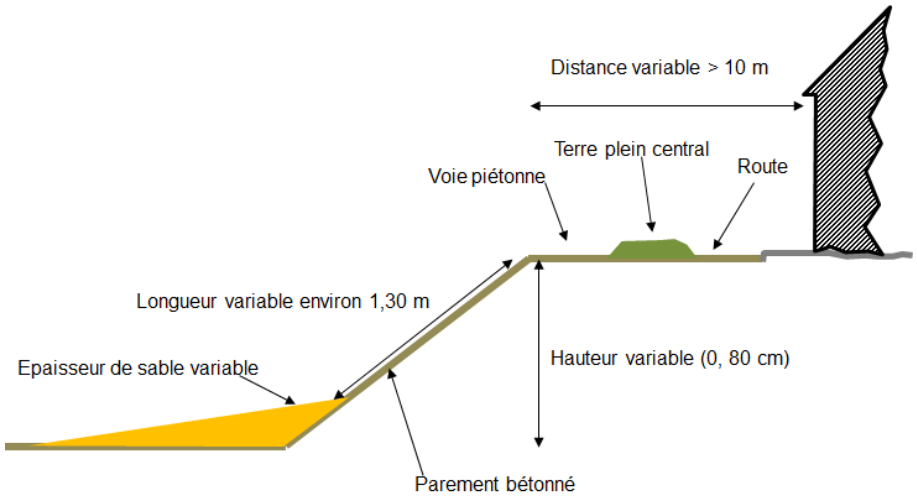


Figure 7-40 : coupe-type de la section courante de la digue d'Hermanville-sur-Mer.

Le tronçon dit de « Tanagra » présente la particularité d'avoir un niveau de crête diminuant d'Ouest en Est, passant de 6,5 mNGF [10,6 mCM] à 6,2 mNGF [10,3 mCM].

En raccord avec le tronçon dit de « Tanagra », la section courante de la digue d'Hermanville-sur-Mer présente ainsi un niveau de crête à 6,5 mNGF [10,6 mCM] à son extrémité Ouest, puis une crête à 6,2 mNGF [10,3 mCM] sur les 1 700 ml restant.

La digue comprend (de la mer vers l'intérieur) :

- Un parement côté mer bétonné avec un rebord en crête de largeur 50 cm,
- Une voie piétonne goudronnée de largeur moyenne 3 m,

- Un terre-plein central en sable enherbé de largeur variable (2 m côté Lion pour atteindre env. 20 m côté Colleville),
- Une voirie (par endroit fermée à la circulation) de largeur 4 à 6 m,
- Les propriétés privées qui s'étendent sur plusieurs dizaines de mètres. Le parement aval n'est ainsi pas visible. A priori, les terrains redescendent en altitude au niveau de la route départementale RD514 (à 100 m environ en arrière du front de mer).

Le Tableau 7-22 synthétise les caractéristiques de chaque sous-tronçon :

Tronçon	Structure	Longueur	Niveau de crête	Délimitation
ST1	Courante	13 ml	6,5 mNGF 10,6 mCM	Débute à la limite communale avec Lion-sur-Mer
ST2	Tanagra	44 ml	6,5 à 6,2 mNGF 10,6 à 10,3 mCM	Digue de Tanagra
ST3	Courante	220 ml	6,2 mNGF 10,3mCM	Jusqu'à la rue Armand Fichot
ST4	Courante	339 ml		Jusqu'à la brèche d'Hermanville
ST5	Courante	362 ml		Jusqu'au boulevard Carnot
ST6	Courante	343 ml		Jusqu'à la place de la 3ème DIR
ST7	Courante	285 ml		Jusqu'à la rue de Fécamp
ST8	Courante	155 ml		Jusqu'à la limite communale avec Colleville-Montgomery

Tableau 7-22 : description des sous-tronçons de la digue d'Hermanville-sur-Mer.

Le profil en long de la crête de digue est donné sur la Figure 7-41 :

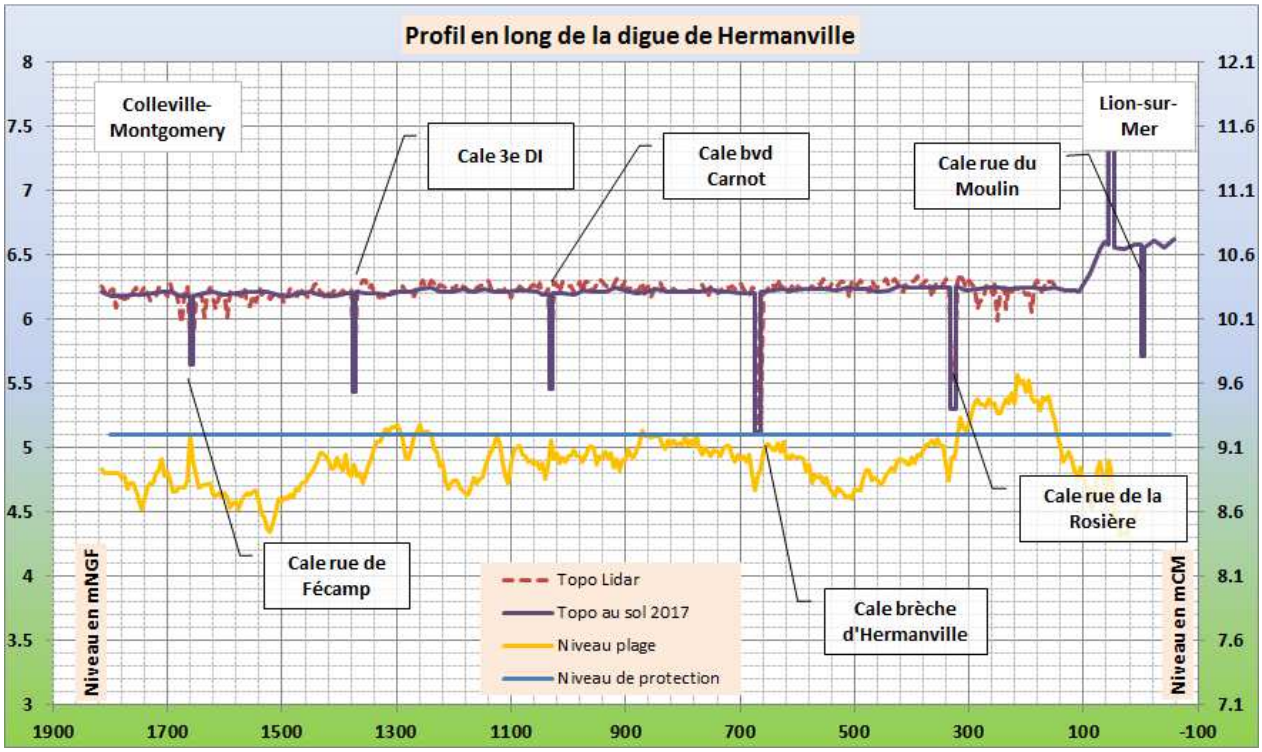


Figure 7-41 : profil en long de la crête de la digue d'Hermanville-sur-Mer.

La Figure 7-41 donne le profil en long issu du relevé topographique au sol réalisé en 2017. Elle fait également apparaître le profil en long issu du MNT Lidar (2012) ainsi que le niveau de la plage en pied d'ouvrage. Le PM 0 est situé à droite du graphique : la digue est « vue » depuis la mer.

Les profils en long de 2017 et MNT Lidar sont cohérents.

Trois parties peuvent être distinguées :

- Tronçons 1, du PM 0 au PM 63 : ce tronçon comprend la partie fondée sur la commune de Lion-sur-Mer. La crête de la digue est nivelée à 6,55 mNGF [10,65 mCM], avec une partie plus élevée au droit du bâtiment à 7,34 mNGF [11,44 mCM] ;
- Tronçons 2, du PM 63 au PM 107 : ce tronçon correspond à la digue dite de « Tanagra ». le niveau de la crête décroît régulièrement vers l'Est de 6,55 mNGF [10,65 mCM] à 6,22 mNGF [10,32 mCM] ;
- Tronçons 3 à 8, du PM 107 au PM 1815 : ces tronçons correspondent à la section courante de la digue de Hermanville-sur-Mer. Le niveau de crête est assez régulier, entre 6,15 [10,25 mCM] et 6,25 mNGF [10,35 mCM]. Il est en moyenne de 6,2 mNGF [10,3 mCM]. Le profil de 2017 met en évidence les différentes cales. Seule celle de la brèche d'Hermanville présente un sommet inférieur au niveau moyen de la digue à 6,1 mNGF [10,2 mCM] : cette cale constitue le point bas de la digue d'Hermanville-sur-Mer.

Nota : le profil en long de la digue suit la crête en ligne droite. Ainsi, sur la Figure 7-41, les cales d'accès apparaissent comme des points bas dans le profil en long. Il doit être précisé que la continuité du niveau de crête à 6,2 mNGF [10,3 mCM] est bien assurée au droit de chaque cale (cf. Figure 7-42) hormis celle de la brèche d'Hermanville qui constitue le point bas de l adigue à la cote 6,1 mNGF [10,2 mCM].



Figure 7-42 : illustration de la continuité du niveau de crête au droit des cales.

Section courante – structure 1

Les caractéristiques du parement bétonné sur la section courante sont les suivantes :

- Nature du parement : parement bétonné en béton dosé à 400 kg et ferraillé avec une nappe de treillis soudé inférieure, reposant sur un béton maigre d'épaisseur 5 cm ;
- Epaisseur du parement : 40 cm ;
- Fruit du parement : 1,5 H/1 V ;
- Niveau de crête : 6,5 mNGF [10,6 mCM] pour le sous-tronçon 1, 6,2 mNGF [10,3 mCM] pour les sous-tronçons 3 à 8 ;
- Nature du pied : semelle en béton de 1,1 m de large pour 40 cm d'épaisseur ;
- Niveau de la semelle : 2,7 mNGF [6,8 mCM], niveau issu des plans d'avant-projet, non vérifié ;
- Parafouille : rideau de palplanches Larssen 00 de 2 m de hauteur ancré en tête dans la semelle béton. Le niveau du pied du rideau parafouille peut ainsi être estimé à 0,7 mNGF [4,8 mCM].



Figure 7-43 : illustration de la section courante – structure 1.

La Figure 7-44 présente la coupe issue de l'avant-projet des travaux de la digue d'Hermanville-sur-Mer.

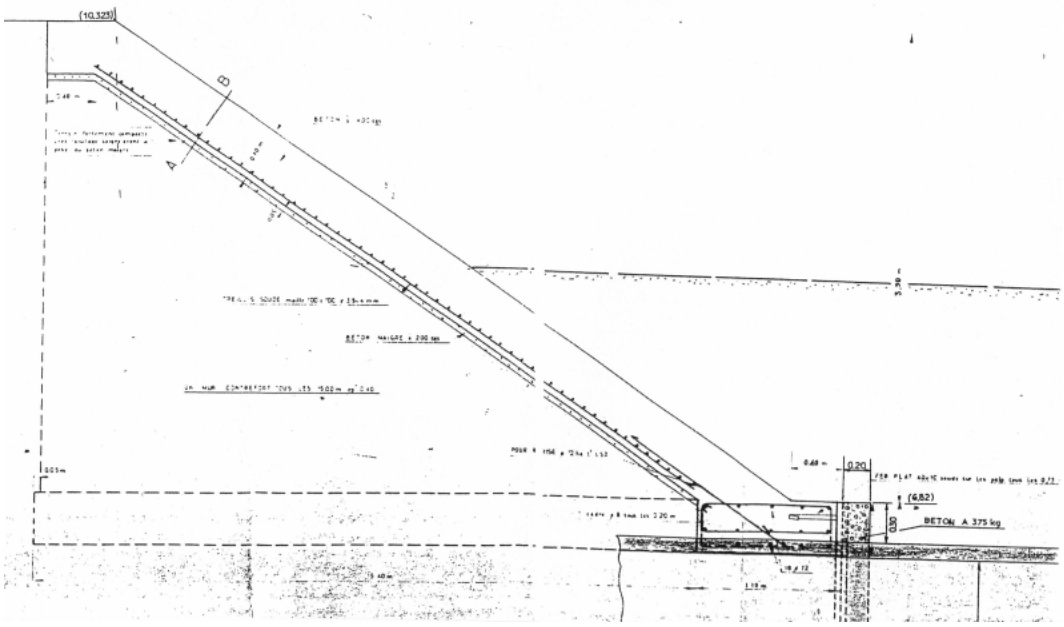


Figure 7-44 : coupe de la digue d'Hermanville-sur-Mer (type de plan et date inconnus).

La hauteur totale du parement est de 3,5 m (3,8 m pour le sous-tronçon 1). Lors des visites, seule la partie supérieure était visible. Le niveau de sable au droit du parement varie entre 4,5 et 5,5 mNGF [8,6 à 9,6 mCM]. Ce niveau est celui observé lors du relevé Lidar de 2012. Les relevés terrestres de 2017 confirment ces niveaux du sable en pied de parement.

Autrement dit, le niveau de sable se situe au moins 2 mètres au-dessus de la semelle et 4 m au-dessus du pied du parafouille.



Figure 7-45 : vues du parement lors de la construction de deux épis en 2011.

D'après les plans d'avant-projet, le parement est soutenu par des contreforts en béton d'épaisseur 40 cm positionnés tous les 10 m. Des joints verticaux de construction sont relevés régulièrement sur le parement, en moyenne tous les 10 m (mais variable entre 5 et 20 m).

Section courante – structure 2, digue de Tanagra

Peu de documents ont pu être récupérés et/ou consultés concernant ce tronçon : seules des photos anciennes et les visites renseignent sur la constitution de l'ouvrage.

La digue de Tanagra présente la particularité de reposer sur un rideau de palplanches. Les caractéristiques du parement et du rideau de palplanches ne sont pas connues.

A noter que la longrine en tête du rideau de palplanche a été en partie refaite en 2014.



Figure 7-46 : illustration de la digue de Tanagra – structure 2.

7.2.3.3 Caractéristiques géotechniques

Les reconnaissances géotechniques sont en cours au moment de la rédaction de la présente étude de dangers.

7.2.3.4 Etat

La dernière visite technique approfondie a été réalisée par ISL-Ingénierie en février 2021.

Lors de cette visite, 39 désordres ont été relevés : 7 désordres de type linéaire et 32 désordres ponctuels.

Les désordres relevés sont rappelés dans le Tableau 7-23

	Nombre	Principales natures	Action
Gravité 1	11	- Epaufrures légères - Fissures verticales dans les dalles béton - Déformation de la rambarde en acier de deux escalier	Désordre de faible amplitude à surveiller
Gravité 2	20	- Epaufrures de taille importante (quelques cm) - Altération au niveau de la reprise des joints entre deux dalles béton - Epaufrures en limite de crête	Désordre pouvant amener à être de taille plus importante : à surveiller activement
Gravité 3	8	- Fissuration importante au niveau des murs latéraux des cale de mise à l'eau, - Epaufrure en limite de crête avec désolidarisation du béton,	A traiter pour éviter un problème structurel de la digue
Gravité 4	0		A traiter de toute urgence. Désordre portant atteinte à la stabilité de la digue
TOTAL	39		

Tableau 7-23 : synthèse des désordres.

7.2.3.5 Ouvrages traversants

L'émissaire d'Hermanville-sur-Mer se situe dans l'axe de l'avenue Felix Faure.

Cet émissaire comprend deux conduites dont les caractéristiques sont les suivantes :

- La conduite la plus à l'Ouest est de diamètre 700 mm ;
- La conduite la plus à l'Est est de diamètre 1 600 mm ;
- La longueur visible des conduites est de 90 m ;
- Les conduites sont en béton préfabriqué ;
- Les deux exutoires sont des ouvrages en béton armé avec des grilles de protection ;
- Les deux conduites sont équipées de clapets anti-retour ;
- Des enrochements sont disposés pour protéger les ouvrages bétonnés.

La Figure 7-47 illustre l'ouvrage :




Figure 7-47 : conduites de rejet constituant l'émissaire d'Hermanville-sur-Mer.

7.3 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS NATURELS – SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

7.3.1 « TERTRE » DE OUISTREHAM

La continuité du système d'endiguement entre la partie canal maritime et la partie littorale est assurée par le terrai naturel (« tertre ») au nord de Ouistreham, incluant la zone portuaire et ses terre-pleins.

Ce point haut naturel présente une largeur minimale d'environ 80 m au niveau du terminal ferry, pour des niveaux de terrain naturel dépassant les 6 mNGF.

7.3.2 MASSIF DUNAIRE

7.3.2.1 Aperçu général

Le massif dunaire s'étend sur plus de 4,5 km pour la partie intéressant la zone protégée, depuis la commune de Lion-sur-Mer jusqu'au terminal ferry de Ouistreham.

7.3.2.2 Historiques des travaux récents

Le massif dunaire a connu plusieurs aménagements :

- Construction du perré d'Hermanville-sur-Mer sur la commune d'Hermanville-sur-Mer. Les travaux ont été finalisés dans les années 1970 ;
- Le profilage complet de la dune de Colleville-Montgomery sur la commune de Colleville-Montgomery en 2006 ;
- Construction du perré de Ouistreham sur la commune de Ouistreham-Riva Bella entre 1978 et 1982.

7.3.2.3 Géométrie

La géométrie de la dune est étudiée sur la base des données LIDAR :

- RGE Alti® relevé en 2012 ;
- MNT Lidar du Réseau d'Observation du Littoral datant de 2018.

Les deux relevés LIDAR montrent peu d'évolution du profil du massif dunaire dont la largeur n'a quasiment pas varié.

Le massif dunaire présente une largeur très importante. Le massif est plus « fin » à l'Ouest vers Hermanville-sur-Mer et plus « large » à l'Est vers Ouistreham-Riva Bella.

Niveau	Largeur de la dune
4,0 mNGF	210 à 1 100 m
5,0 mNGF	95 à 670 m
6,0 mNGF	60 à 300 m

Tableau 7-24 : largeur de la dune de Colleville-Montgomery pour différents niveaux altimétriques.

L'altitude de la dune est variable, entre 5,8 et 8,0 mNGF.

7.3.2.4 Profils de plage

Les données lidar permettent de mettre en évidence les évolutions du profil de plage entre 2012 et 2018.

Globalement, ces évolutions sont modérées et tiennent plus en une redistribution des volumes de sable sur la plage, soit transversalement entre la haute plage et l'avant plage, soit longitudinalement de l'Ouest vers l'Est.

Entre 2012 et 2018, le front dunaire a peu évolué sur la partie naturelle à Colleville-Montgomery : une légère évolution favorable peut être notée avec une avancée du pied de dune pouvant atteindre 5 m environ

7.3.2.5 Niveaux de sûreté envisagé

L'étude de dangers ne fixe pas de niveau de sûreté pour les ouvrages naturels.

Toutefois, compte tenu de la largeur du cordon dunaire, une rupture totale par érosion régressive apparaît comme très improbable.

Ce point est étudié au chapitre 7.7.

Le cas de la rupture totale du cordon dunaire n'est pas étudié dans les scénarios de venues d'eau dans la zone protégée : ce scénario est hautement improbable et implique des évènements dépassant très largement le niveau de protection du système d'endiguement.

7.4 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – METHODOLOGIE

7.4.1 GENERALITES

L'analyse des performances du système d'endiguement est étudiée par la méthode multi-scénario proposée par la réglementation. Cette démarche vise à analyser le croisement de la sollicitation et de la capacité de résistance de l'ouvrage. Le Tableau 7-25 illustre la méthode multi-scénario :

Mode d'inondation de la zone protégée envisagé par secteur		**Sollicitation** Définition du niveau de la sollicitation				
		Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Extrême
Capacité de résistance : capacité de l'ouvrage à résister à la rupture	Découpage soit par localisation, soit par mécanismes de dégradation ou facteurs aggravants	Risque limité (P<5 %)		Risque conséquent (5 %<P<50 %)		Risque aigu (P>50 %)

Tableau 7-25 : présentation de la méthode multi-scénario (*P* désigne la probabilité de rupture).

L'objectif de la méthode est de définir les niveaux de sollicitation associés à une capacité de résistance de l'ouvrage de :

- Probabilité de rupture < 5 %, qualifiée de risque limité ;
- Probabilité de rupture comprise entre 5 et 50 %, qualifiée de risque conséquent ;
- Probabilité de rupture > 50 %, qualifiée de risque aigu.

Ces probabilités permettent ainsi de définir les niveaux de sûreté et de danger. Le niveau de protection est ensuite un choix de la collectivité gestionnaire. **Le niveau de protection doit être inférieur ou égal au niveau de sûreté défini par l'étude de dangers**.

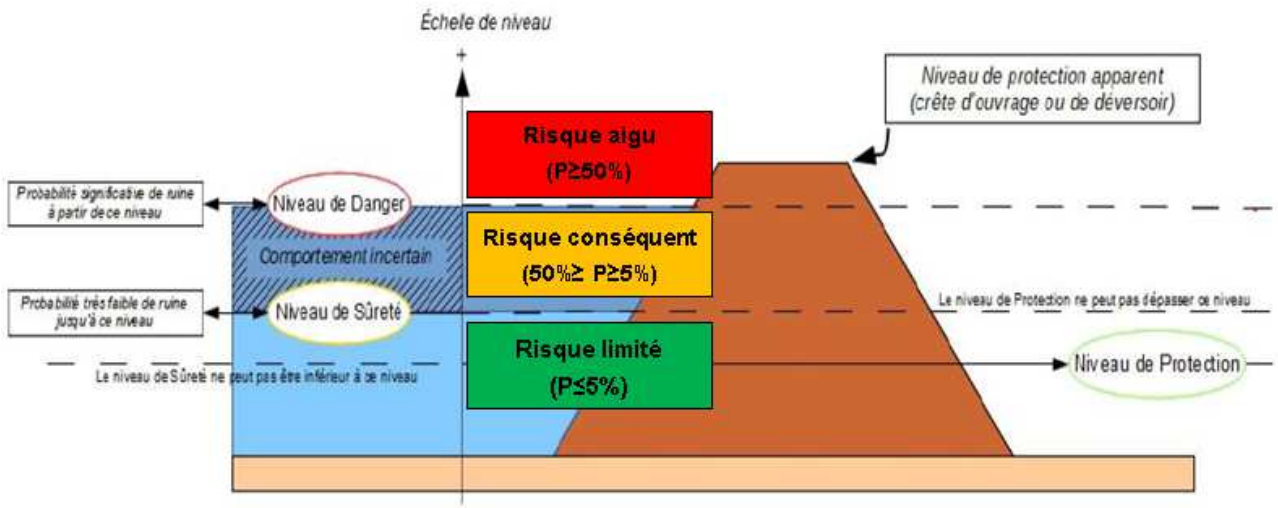


Tableau 7-26 : rappel des différents niveaux caractéristiques à définir.

Des scénarios contrastés sont définis sur chaque tronçon d'ouvrage. Ces scénarios définissent les différentes conditions de rupture qui peuvent se produire.

Les différents modes de rupture envisagés pour l'ensemble des ouvrages sont :

- Rupture par surverse ;
- Rupture par érosion interne ;
- Rupture par glissement de talus ;
- Rupture par érosion externe du talus côté Orne maritime, ou côté canal, ou côté mer ;
- Rupture par érosion externe sous l'effet des franchissements ;
- Rupture de mur/muret.

L'évaluation de chaque risque de rupture est faite au regard d'éléments techniques de calculs, ou le cas échéant à dire d'expert, en se basant sur le retour d'expérience.

Dans ce dernier cas, il est considéré un risque limité pour les cas connus historiquement et un risque conséquent pour les cas pour lesquels nous ne disposons pas de retour d'expérience.

Cette logique est synthétisée dans le tableau suivant :

Niveau de sollicitation observé n'ayant pas entraîné de défaillance	Risque limité (P<5 %)
Niveau de sollicitation non observé (à moduler selon l'observation de défaillance ou non)	Risque conséquent (5 %<P<50 %)
Niveau de sollicitation observé ayant entraîné une défaillance (à moduler si travaux de confortement postérieurs à l'évènement)	Risque aigu (P>50 %)

Tableau 7-27 : approche à dire d'expert basée sur le retour d'expérience.

Le cordon dunaire est un élément naturel inclus dans le système de protection. L'analyse de sa performance est menée au chapitre

Le « tertre » de Ouistreham est également un élément naturel : il ne fait pas l'objet d'une analyse de performance.

7.4.2 CARACTERISATION DES SCENARIOS ETUDIES

7.4.2.1 Rupture par surverse

Description du phénomène

La rupture par déversement sur la crête de la digue constitue le mécanisme le plus fréquent de ruine des digues. La rupture commence par l'érosion du pied de la digue lors d'une surverse où les vitesses sont les plus fortes. Cette érosion se propage ensuite de manière régressive vers le fleuve jusqu'à atteindre le point de surverse. L'ouverture d'une brèche est alors rapide.

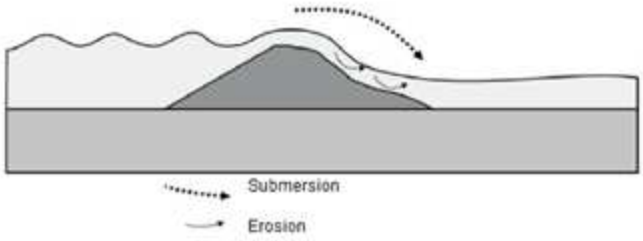


Tableau 7-28 : mécanisme de rupture par érosion externe côté terre.

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

Moyens de détection

Le système d'alerte mis en place par la commune dans le cadre du PCS permet d'anticiper une éventuelle surverse par-dessus les digues. Il comprend notamment :

- Le suivi des cotes (http://www.vigicrues.gouv.fr/ et http://syndicat-inondations-orne.fr) ;
- Le suivi des conditions météorologiques (MétéoFrance) ;
- Le suivi des conditions maritimes (annuaire des marées et capitainerie d'Ouistreham).

Ces éléments conduisent à considérer que le phénomène de surverse peut être anticipé avec un horizon de plusieurs heures et qu'une mise en sécurité (comme prévue au PCS) est possible.

Barrières de sécurité

La barrière de sécurité en ce qui concerne le phénomène de surverse est la revanche disponible entre la ligne d'eau et la crête de digue.

Les lignes d'eau sont issues du modèle hydraulique mis en œuvre dans le cadre de l'étude de dangers.

Probabilité d'ouverture d'une brèche par surverse

La surverse fait intervenir la probabilité de survenance du niveau statique.

Les paramètres retenus pour définir la probabilité d'ouverture d'une brèche par surverse sont :

- la hauteur de surverse « h » ou la revanche « R » ;
- la géométrie de la digue (largeur en crête, pente des talus) ;
- la nature du revêtement ;
- la présence d'eau dans le val.

La grille d'analyse suivante est proposée pour la caractérisation du risque de rupture par surverse :

Lame d'eau en surverse	**Nature du talus arrière ou de l'ouvrage**			
	Talus enherbé bon état	**Talus enherbé mauvais état**	**Talus protégé (crête bitumée)**	**Mur maçonné ou béton**
h < -20 cm	P < 5 %	P < 5 %	P < 5 %	P < 5 %
-20 < h < 0 cm	P < 5 %	5 % < P < 50 %	P < 5 %	P < 5 %
0 < h < +20 cm	5 % < P < 50 %	P > 50 %	P < 5 %	P < 5 %
20 < h < 40 cm	P > 50 %	P > 50 %	5 % < P < 50 %	5 % < P < 50 %
h > 40 cm	P > 50 %	P > 50 %	P > 50 %	P > 50 %

Tableau 7-29 : grille de résistance à la surverse en fonction de la nature des ouvrages.

L'intégration de hauteurs de surverse négatives dans la grille d'analyse (c'est-à-dire que le niveau d'eau est inférieur au point bas de la digue) vise à prendre en compte les incertitudes dans l'estimation des niveaux d'eau, incertitudes pouvant être liées aux méthodes de calculs, à la présence d'embâcles, au clapot levé par le vent,…

7.4.2.2 Rupture par érosion interne

Description du phénomène

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.

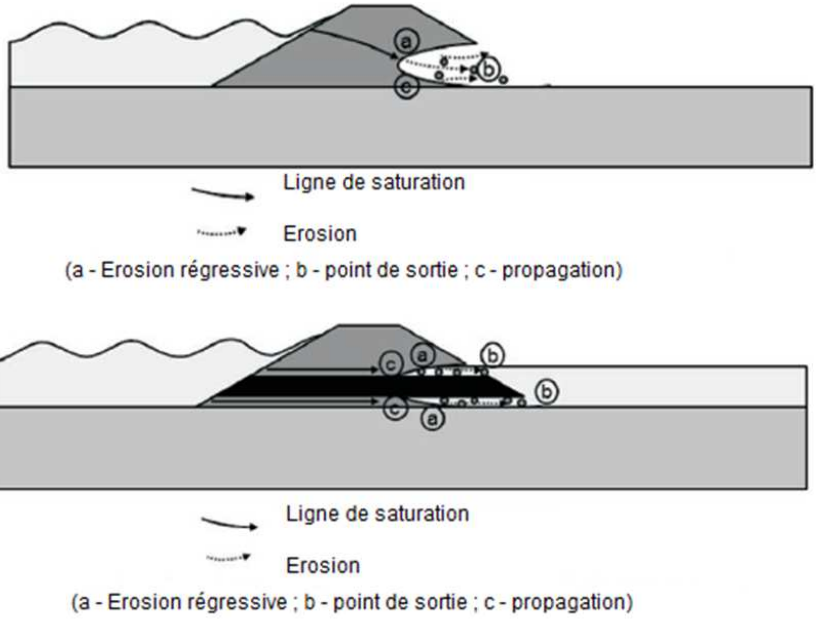


Tableau 7-30 : mécanisme de rupture par érosion interne.

Moyens de détection

L'érosion interne est un phénomène évolutif dont il est possible de déceler l'initiation lors des inspections régulières réalisées dans le cadre des visites techniques approfondies : résurgences, apparition de fontis, dépression, tassements …

Observations en crue

Les consignes écrites de gestion de l'ouvrage auront comme objectif de présenter les inspections à réaliser en période de crue. En effet l'inspection de l'ouvrage en période de crue est une donnée importante vis-à-vis de l'érosion interne.

Barrières de sécurité et prise en compte de facteurs défavorables

Le risque d'apparition de l'érosion interne peut être apprécié par les méthodes de Bligh et de Lane qui s'appuient sur le gradient hydraulique dans la digue.

La méthode de Bligh est appliqué aux tronçons courants de digue, tandis que la méthode de Lane est plutôt adaptée au cas des ouvrages traversants et autres discontinuités (par exemple, interface entre deux couches de matériaux).

	BLIGH (1927)		LANE (1935)	
Expression du gradient critique	$i_c=\Delta H/L$ où L = longueur de ligne d'écoulement mesurée le long de la base de la digue ΔH = perte de charge totale		$i_c = \Delta H / (H/3+V)$ où H = distance le long des contacts horizontaux (<45°), V = distance le long des contacts verticaux (>45°)	
Valeurs limites suggérées	Type de sol	i_c	Type de sol	i_c
	silt	0,06	sable très fin	0,12
	sable fin	0,07	sable fin	0,14
			sable moyen	0,17
	sable grossier	0,08	sable grossier	0,20
	mélange gravier +sable	0,10-0,20	gravier fin	0,25
			gravier moyen	0,29
			gravier grossier	0,33
			blocs et graviers	0,40
			argile dure	0,56

Tableau 7-31 : gradients critiques d'érosion selon Bligh (1927) et Lane (1935).

Le graphique suivant illustre la méthode de calcul du gradient moyen ($i = \frac{H}{L}$).

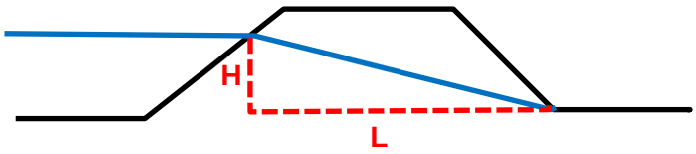


Tableau 7-32 : appréciation du gradient moyen (H en m et L en m).

Probabilité d'ouverture de brèche par érosion interne

Les méthodes de Bligh et Lane renseignent sur l'apparition du phénomène : si le gradient dans l'ouvrage est supérieur au gradient critique, alors le phénomène d'érosion interne apparaît. Toutefois, l'apparition du phénomène ne conduit pas nécessairement à la formation d'une brèche.

La probabilité que le phénomène d'érosion interne conduise à l'ouverture d'une brèche est jugée en affectant l'aléa de survenance de l'érosion interne de coefficients liés à :

- La présence de végétation et/ou de terriers ;
- L'action du gestionnaire en crue ou lors d'un évènement tempétueux ;
- La présence de renforcement côté zone protégée sur le tronçon étudié.

La grille d'analyse suivante est proposée pour la caractérisation du risque de rupture par érosion interne. Elle s'appuie sur l'estimation du gradient hydraulique dans le corps de remblai.

Gradient hydraulique	Probabilité de rupture
$i < 0,75\ i_c$	P < 5 %
$0,75\ i_c < i < 1,25\ i_c$	5 % < P < 50 %
$i > 1,25\ i_c$	P > 50 %

Tableau 7-33 : grille de résistance à l'érosion interne.

7.4.2.3 Rupture par glissement

Description du phénomène

Les instabilités à considérer sur les digues sont :

- glissement du talus côté val : 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 côté fleuve : 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.

La stabilité est fonction de la pente du talus, des caractéristiques mécaniques des matériaux et de la piézométrie affectant l'ouvrage.

Pour statuer sur la stabilité des ouvrages, les résultats de l'étude géotechnique et la note de calcul réalisées dans le cadre des travaux de confortement des berges de 2015 sont utilisés.

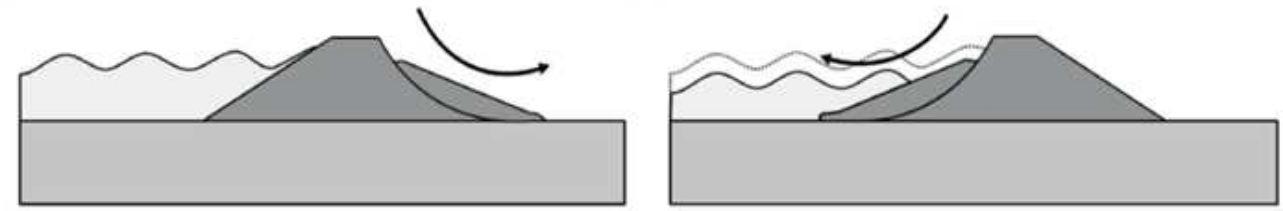


Tableau 7-34 : mécanisme de rupture par glissement.

Moyens de détection

A l'heure actuelle, seules les observations visuelles des digues permettent de détecter un glissement. Cette détection ne peut se faire qu'après ou en cours de développement du phénomène.

Probabilité d'ouverture d'une brèche côté val par instabilité

L'ouverture d'une brèche suite à une instabilité du talus côté val dépend de l'importance relative du volume du cercle au regard du volume de la digue. En effet, ce phénomène n'entraîne pas forcément la rupture, mais en modifiant la géométrie de la digue un glissement aggrave le risque d'érosion interne.

7.4.2.4 Rupture par érosion externe côté Orne maritime, ou côté canal, ou côté mer

Description du phénomène

Le mode de rupture par érosion externe côté « eau » (mer ou fleuve) nécessite une approche particulière puisque le développement d'une brèche dans certains tronçons est conditionné à une défaillance en chaîne des structures constitutives de l'ouvrage.

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

- L'érosion ou déstructuration d'un talus de la digue sous sollicitations hydrodynamiques (déplacement des enrochements en cas de sous-dimensionnement, érosion en arrière des enrochements s'il n'y a pas de couche filtre, érosion au sein d'un perré s'il y a des fissures ouvertes, etc.) ;
- L'affouillement en pied de digue, qui peut conduire à une instabilité d'ensemble de la digue côté mer.

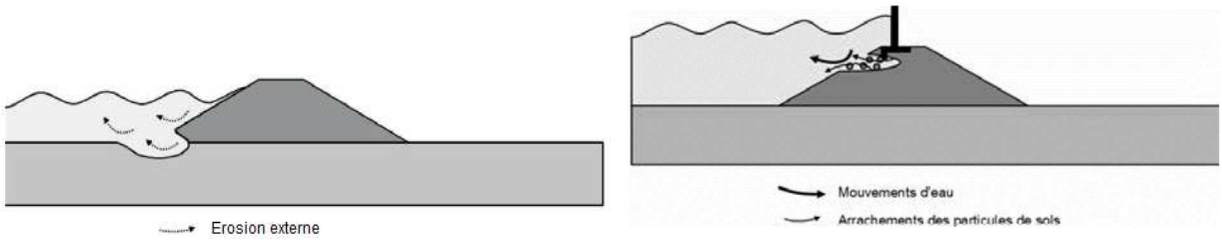


Tableau 7-35 : mécanisme de rupture par érosion externe côté fleuve ou côté mer.

Moyens de détection

L'érosion externe est un phénomène évolutif dont il est possible de déceler l'initiation lors des inspections régulières réalisées par le maître d'ouvrage.

Le suivi de la bathymétrie peut également apporter un éclairage complémentaire concernant le risque de sapement du pied de digue.

Barrières de sécurité

L'apparition de l'érosion externe est liée à la largeur du franc bord. Cette probabilité est affectée de facteurs correctifs améliorants ou aggravants :

- La présence de protection et/ou de renforcement du pied de la digue ;
- La détection de désordre de nature à aggraver le phénomène d'érosion externe ;
- La durée de l'évènement.

Probabilité d'ouverture d'une brèche par érosion externe

Même dans l'hypothèse d'un glissement de talus côté fleuve, la probabilité d'ouverture d'une brèche avec la libération d'un volume d'eau vers la zone protégée est réduite car le cas critique correspond à la décrue.

L'analyse des résistances est abordée au cas par cas selon les ouvrages.

7.4.2.5 Rupture par érosion externe côté terre sous l'effet des franchissements

Description du phénomène

Les franchissements par paquets de mer correspondent à un niveau marin statique associé à une houle entrainant un « run-up » dépassant ponctuellement la crête des ouvrages.

L'effet du passage de paquets de mer peut engendrer soit l'érosion de la crête et/ou du talus arrière.

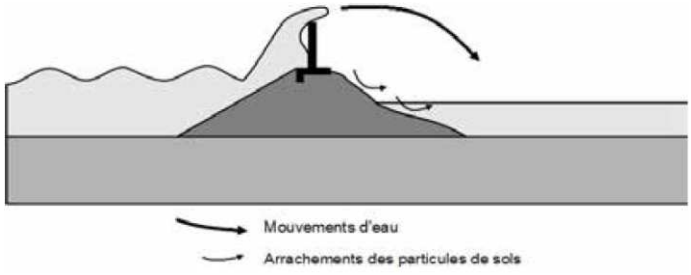


Tableau 7-36 : mécanisme de rupture par érosion externe côté terre.

Moyens de détection

De la même manière que pour l'aléa surverse, le système d'alerte mis en place par la commune permet d'anticiper le passage de paquets de mer par-dessus les digues. Il comprend notamment :

- Le suivi des conditions météorologiques (MétéoFrance – Alerte Vagues-Submersion),
- Le suivi des conditions maritimes (annuaire des marées et capitainerie d'Ouistreham).

Ces éléments conduisent à considérer que le phénomène de franchissement de paquets de mer peut être anticipé avec un horizon de plusieurs heures et qu'une mise en sécurité est possible.

Barrières de sécurité

La barrière de sécurité en ce qui concerne le phénomène de franchissement par paquets de mer est la revanche disponible entre la ligne d'eau à laquelle est ajouté le run-up et la crête de digue.

La houle en pied d'ouvrage est estimée par modélisation numérique par propagation des états de mer du large à la côte.

Les données de houle au large sont issues de la base de données HOMERE développée par l'IFREMER. Ces houles sont propagées par le modèle d'états de mer TOMAWAC de la suite TELEMAC (développée par le LNHE d'EDF R&D).

L'aléa franchissement est caractérisé par les calculs du « run-up » R_u et des débits de franchissement. Les formulations retenues sont les relations proposées dans la dernière version de l'Eurotop de 2016 (Van der Meer J.W, 2016).

Probabilité d'ouverture d'une brèche par franchissement

Le franchissement de paquets de mer fait intervenir la probabilité de survenance du niveau statique et de la houle entrainant un dépassement de la crête de l'ouvrage.

Les paramètres retenus pour définir la probabilité d'ouverture d'une brèche par franchissement de paquets de mer sont :

- la hauteur de « run-up » ou la revanche « R » ;
- le débit de franchissement ;
- la géométrie de la digue (largeur en crête, pente des talus) ;
- la nature du revêtement ;
- la présence d'eau dans le val.

Différentes références proposent des valeurs de débits de franchissement admissibles en fonction de la nature de la crête et du talus arrière ((CIRIA/CUR/CETMEF, 2009) ou (Van der Meer J.W, 2016) par exemple).

De plus, dans le cas où la crête de l'ouvrage n'est pas protégée, les franchissements peuvent induire des infiltrations d'eau au sein de l'ouvrage puis, par des phénomènes d'érosion interne, conduire à sa déstructuration.

La grille d'analyse suivante est proposée pour la caractérisation du risque de rupture par franchissement :

Débit de franchissement	**Nature du talus arrière ou de l'ouvrage**		
	Crête et talus protégés	**Crête protégée, talus non protégé**	**Crête et talus non protégés**
0 l/s	P < 5 %	P < 5 %	P < 5 %
2 à 5 l/s	P < 5 %	P < 5 %	5 % < P < 50 %
5 à 10 l/s	P < 5 %	P < 5 %	P > 50 %
10 à 20 l/s	P < 5 %	5 % < P < 50 %	P > 50 %
20 à 40 l/s	5 % < P < 50 %	P > 50 %	P > 50 %
> 40 l/s	P > 50 %	P > 50 %	P > 50 %

Tableau 7-37 : grille de résistance aux franchissements en fonction de la nature des ouvrages.

7.4.2.6 Rupture de mur béton

Les modes de rupture des murs en béton peuvent être de deux types :

- Ceux qui dépendent de la résistance de la structure en elle-même (rupture) ;
- Ceux qui dépendent de l'interaction avec l'ouvrage sous-jacent (glissement, renversement) ;

Lorsque les données sont suffisantes, l'estimation des probabilités de rupture est basée sur le calcul des efforts qui s'exercent sur l'ouvrage.

En l'absence de données sur le mur, l'estimation des probabilités de rupture est menée à dire d'expert en fonction de la charge qui s'exerce sur l'ouvrage.

L'état de l'ouvrage, observé lors des visites techniques approfondies, est également pris en compte.

7.5 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

7.5.1 DEFINITION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE

Le sous-système de Colombelles compte trois sous-tronçons : la digue de Colombelles, le merlon aval et le mur en béton qui assure la fermeture aval du système d'endiguement.

Les scénarios de rupture étudiés pour les deux premiers sous-tronçons sont identiques et traités de la même façon.

Sous-système Colombelles			Description	Scénario retenu
Capacité de résistance : de l'ouvrage à résister à une **rupture**	Co1	Rupture par surverse	La surverse se produit sur l'ouvrage et érode le talus aval et la crête entraînant la formation d'une brèche.	Retenu
	Co2	Rupture par érosion interne	De l'eau s'infiltre dans le corps de digue et entraîne des matériaux en ressortant vers le côté terre. Une brèche se développe.	Retenu
	Co3	Rupture par glissement de talus côté terre	La rupture du talus aval entraîne la formation d'une brèche	Retenu
	Co4	Rupture par glissement de talus côté Orne	La rupture du talus amont entraîne la formation d'une brèche	Retenu
	Co5	Rupture par érosion côté Orne : affouillement en pied	La berge en pied d'ouvrage s'abaisse soit de manière progressive, soit brutalement lors d'une tempête. Le parement amont peut être déchaussé par affouillement.	Retenu
	Co6	Rupture par érosion côté Orne : destructuration du parement/talus	La protection du parement est déstabilisée par l'action successive des marées entrainant une rupture du parement puis l'ouverture d'une brèche.	Retenu
	Co7	Rupture du mur	La rupture du mur entraîne des entrées d'eau dans la zone protégée	Retenu

Tableau 7-38 : scénarios de rupture et d'inondation – sous-système.

7.5.2 DEFINITION DES SOLLICITATIONS

Les sollicitations retenues pour l'analyse des scénarios correspondent à un niveau d'eau dans l'Orne maritime le long des ouvrages. Le niveau d'eau retenu pour l'analyse est pris juste en aval du pont de Colombelles.

	Niveau de l'Orne à Colombelles	Evènement correspondant
Faible	4,4 mNGF	~janvier 2018
Moyenne	4,6 mNGF	~février 2010 (Xynthia)
Forte	4,8 mNGF	Evènement référence PPRL
Très forte	5,0 mNGF	T > 100 ans
Extrême	5,2 mNGF	T > 1 000 ans

Tableau 7-39 : définitions des sollicitations – sous-système Colombelles.

Les modélisations permettent de rattacher le niveau à Colombelles avec celui observé au marégraphe de Ouistreham. Les niveaux à Colombelles sont ainsi, en moyenne, 10 cm supérieurs aux niveaux observés au marégraphe de Ouistreham.

7.5.3 ANALYSE DE LA PERFORMANCE PAR SCENARIO DE RUPTURE

7.5.3.1 Co1 – rupture par surverse

L'évènement fort, caractérisé par un niveau de 4,8 mNGF au droit des ouvrages, correspond à la limite de probabilité de rupture à 5 %. Au-delà, la revanche de la digue par rapport au niveau dans l'Orne maritime ne permet pas de garantir l'absence de surverse sur l'ouvrage.

Sous-tronçon	Profil	Sollicitation				
		Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
		4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
COL_01	1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	2	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	3	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	4	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	6	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	7	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	8	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	9	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_02	Merlon	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_03	Mur béton	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%

Tableau 7-40 : probabilité de rupture par surverse.

7.5.3.2 Co2 – rupture par érosion interne

La rupture par érosion interne est envisagée uniquement pour les tronçons en remblai, soit la digue de Colombelles et le merlon aval.

Comme décrit au 7.4.2.2, la méthodologie repose sur l'estimation du gradient hydraulique dans le remblai et la comparaison avec le gradient critique selon Bligh (cas courant) ou selon Lane (au droit d'ouvrage traversant).

Des coefficients correcteurs sont appliqués afin de tenir compte de la végétation, de la présence de terriers, de la mise en œuvre des consignes de surveillance, …

Les coefficients retenus sont donnés dans les tableaux suivants :

Facteur correctif	Coefficient correcteur
Présence de maison encastrée côté terre	1,05
Présence de terrier	1,05
Végétation ligneuse isolée	1,05
Végétation ligneuse clairsemée	1,1
Végétation ligneuse généralisée	1,67
Paroi étanche	0,1
Absence de surveillance et/ou organisation non adaptée	1
Surveillance mais organisation non adaptée	0,9
Surveillance et organisation adaptée	0,5
Surveillance et organisation adaptée et renforcée	0,1

Tableau 7-41 : facteurs correctifs appliqués.

Il s'agit de coefficients multiplicateurs appliqués au gradient hydraulique selon Bligh et/ou selon Lane. Un coefficient supérieur à 1 caractérise un facteur défavorable pour l'érosion interne, un coefficient inférieur à 1 caractérise un facteur favorable contre le développement de l'érosion interne.

Les résultats issus de la mise en œuvre de la méthodologie sont répertoriés dans le Tableau 7-42. Concernant le mur en béton, une probabilité inférieure à 5% lui est affectée quelque soit la sollicitation.

Sous-tronçon	Profil	Sollicitation				
		Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
		4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
COL_01	1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	2	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	3	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	4	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%	P>50%
COL_01	6	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%	P>50%
COL_01	7	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%	P>50%
COL_01	8	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%	P>50%
COL_01	9	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_02	Merlon	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_03	Mur béton	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%

Tableau 7-42 : probabilité de rupture par érosion interne.

7.5.3.3 Co3 – rupture par glissement de talus côté terre

Compte tenu de la faible hauteur de la digue (inférieure à 1 m), le phénomène de glissement côté terre (zone protégée) n'est pas considéré.

La probabilité associée est inférieure à 5 % pour tous les tronçons et toutes les sollicitations étudiées.

7.5.3.4 Co4 – rupture par glissement de talus côté Orne

Le cas de rupture par glissement côté Orne ne concerne que le sous-tronçon 1.

Dans le cadre des études d'exécution des travaux de confortement de la berge, les calculs de stabilité au glissement de la digue ont été réalisés pour un cas courant et un cas de décrue rapide après une crue trentennale (niveau de 3,8 mNGF) pour différents profils type de la digue.

Le cas le plus défavorable (décrue rapide et profil 1) correspond au facteur de sécurité suivant : FS=1,050.

Les probabilités de glissement associées aux différentes valeurs du facteur de sécurité du calcul de stabilité sont données dans le tableau suivant.

Facteur de sécurité	Probabilité de glissement
0 < FS < 1	1
1 < FS < 1,1	0,7
1,1 < FS < 1,3	0,3
1,3 < FS < 1,5	0,1
1,5 < FS	0,01

Tableau 7-43 : correspondance entre facteur de sécurité et probabilité du glissement.

Le calcul de stabilité du système de peigne (pieux reliés par des tirants) mis en œuvre a mis en évidence que les critères de stabilité de la berge ne sont pas respectés pour une descente rapide du niveau d'eau dans l'Orne. Les travaux de confortement de berge n'ont donc pas vocation à soutenir la berge contre les glissements mais à lutter contre l'érosion du fleuve.

Sur cette base, la probabilité de glissement côté Orne est évaluée seulement en fonction du facteur de sécurité des calculs de stabilité au glissement. Cette probabilité correspond à un grand glissement recoupant de manière importante la crête de digue. De fait, en première approche, la probabilité que le glissement entraine la rupture peut être estimée à 1.

Cependant, il est proposé de moduler l'analyse dans la mesure où la situation critique pour le glissement correspond à l'abaissement du niveau d'eau dans l'Orne (marée descendante) :

- Les calculs de stabilité supposent la saturation de la berge ce qui est une hypothèse sécuritaire dans un contexte maritime ;
- Le retour d'expérience montre que des niveaux de l'ordre de 4,5 à 4,6 mNGF ont pu être atteints en 2010 lors de la tempête Xynthia sans occasionner de glissement. Plus récemment, les niveaux marins ont dépassé 4,2 à 4,3 mNGF à plusieurs reprises depuis 2017 sans occasionner là non plus de désordre ;
- Le glissement se produisant à marée descendante, la surveillance mise en œuvre par le gestionnaire permet d'identifier le désordre qui peut intervenir avant la marée suivante.

En conséquence, pour tous les niveaux ne dépassant pas la crête de digue, la probabilité de rupture suite à un glissement est considérée comme faible, inférieure à 5 %.

Sous-tronçon	Profil	Sollicitation				
		Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
		4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
COL_01	1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	2	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	3	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	4	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	6	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	7	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	8	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	9	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%

Tableau 7-44 : probabilité de rupture par glissement.

7.5.3.5 Co5 – rupture par érosion externe côté Orne : affouillement en pied de berge

Le cas de rupture par érosion côté Orne ne concerne que le sous-tronçon 1.

Les vitesses d'écoulement sont les plus fortes sur la partie amont de la digue de Colombelles, juste en aval du pont. Les vitesses en pied de berge sont de l'ordre de 1 à 1,5 m/s en crues, lors de la marée descendante. Lors de la pleine mer, les vitesses n'excèdent pas 0,5 m/s.

Ces valeurs sont peu variables selon l'intensité de la sollicitation : ainsi, la probabilité de rupture dépend peu de l'intensité de la sollicitation.

Un suivi bathymétrique du profil de digue et de la berge est assuré par le gestionnaire. Ce suivi ne montre pas de tendance affirmée dans l'évolution de la bathymétrie du pied de berge : sur l'amont, une légère tendance à l'érosion est mesurée sans être pour autant significative, sur le reste du tronçon une légère tendance au dépôt est mesurée sans être significative elle non plus.

Les observations de terrain n'ont pas mis en évidence d'érosion du pied de la berge.

Par ailleurs, les consignes de surveillance impliquent des visites sur site lorsque la survenue d'un évènement est prévue : une érosion du pied de berge peut ainsi être repérée avant la survenue de l'évènement et/ou entre deux marées.

Sur la base de ces éléments, la probabilité de rupture par érosion du pied de berge côté Orne est jugé comme faible pour toutes les sollicitations considérées.

Sous-tronçon	Profil	Sollicitation				
		Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
		4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
COL_01	1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	2	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	3	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	4	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	6	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	7	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	8	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	9	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%

Tableau 7-45 : probabilité de rupture par érosion du pied de berge.

7.5.3.6 Co6 – rupture par érosion externe côté Orne : déstructuration de la protection de berge

Le cas de rupture par érosion côté Orne ne concerne que le sous-tronçon 1.

Les vitesses d'écoulement sur la berge sont inférieures à 1 m/s. Compte tenu des protections mises en œuvre, ces vitesses ne sont pas de nature à initier une érosion notable du talus de berge.

Les observations de terrain n'ont pas mis en évidence d'érosion du talus de berge.

Par ailleurs, les consignes de surveillance impliquent des visites sur site lorsque la survenue d'un évènement est prévue : une érosion de la berge peut ainsi être repérée avant la survenue de l'évènement et/ou entre deux marées.

Sur la base de ces éléments, la probabilité de rupture par érosion du pied de berge côté Orne est jugé comme faible pour toutes les sollicitations considérées.

Sous-tronçon	Profil	Sollicitation				
		Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
		4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
COL_01	1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	2	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	3	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	4	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	6	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	7	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	8	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
COL_01	9	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%

Tableau 7-46 : probabilité de rupture par érosion de la berge.

Nota : des érosions très localisées ont pu être observées au droit des débouchés des ouvrages traversants. Ces érosions et leur évolution sont à surveiller. Toutefois, elles ne sont pas de nature à causer une déstabilisation d'ensemble de la berge.

7.5.3.7 Co7 - rupture du mur en béton

La conception du mur en béton n'est pas connue. La visite technique approfondie n'a pas mis en évidence de désordre particulier sur ce mur.

La probabilité de rupture du mur sous la pression de l'eau est approchée selon la grille du tableau en fonction de la charge s'appliquant sur le mur :

Charge sur le mur	Probabilité de rupture
H < 30 cm	P < 5 %
30 < H < 50 cm	5 % < P < 50 %
H > 50 cm	P > 50 %

Tableau 7-47 : probabilité de rupture du mur en béton.

Les résultats sont donnés dans le Tableau 7-48 :

Sous-tronçon	Profil	Sollicitation				
		Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
		4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
COL_03	Mur béton	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%

Tableau 7-48 : probabilité de rupture du mur (sous-tronçon 3).

7.5.3.8 Synthèse – niveau de sûreté et niveau de danger

Sur le système d'endiguement de Colombelles, le cas de défaillance le plus défavorable est le risque de glissement en grand de la berge.

Cependant, ce risque est modulé par le retour d'expérience et par la surveillance mise en place.

Sur la plupart des profils en remblai, le risque de rupture lié d'érosion interne ressort comme le plus important.

Le Tableau 7-49 synthétise les probabilités de rupture pour chaque sous-tronçon et sollicitation :

Sous-tronçon	Profil	Sollicitation				
		Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
		4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
COL_01	1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
COL_01	2	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	3	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_01	4	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%	P>50%
COL_01	6	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%	P>50%
COL_01	7	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%	P>50%
COL_01	8	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%	P>50%
COL_01	9	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_02	Merlon	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
COL_03	Mur béton	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%

Tableau 7-49 : probabilité de rupture sur le système d'endiguement de Colombelles.

Le niveau de sûreté est défini comme le niveau de sollicitation pour lequel le risque de rupture est inférieur à 5 %. Ce niveau de sûreté est atteint pour un niveau de sollicitation compris entre 4,6 et 4,8 mNGF, la valeur retenue est arrondie à 4,7 mNGF.

Le niveau de danger est défini comme le niveau de sollicitation pour lequel le risque de rupture est supérieur à 50 %. Ce niveau de danger est atteint pour un niveau de sollicitation de 5,0 mNGF.

Le Tableau 7-50 donne ces deux niveaux et leur correspondance aux points de mesure. Cette correspondance fait intervenir le niveau marin observé au marégraphe de Ouistreham et la hauteur d'eau observée à l'échelle de Thury-Harcourt sur l'Orne.

Système d'endiguement de Colombelles		
	Niveau au droit de l'ouvrage	**Niveau correspondant au(x) point(s) de mesure**
Niveau de sûreté	4,7 mNGF (pont de Colombelles)	4,6 mNGF au marégraphe de Ouistreham
Niveau de danger	5,0 mNGF (pont de Colombelles)	4,9 mNGF au marégraphe de Ouistreham

Tableau 7-50 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le système d'endiguement de Colombelles.

7.6 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

7.6.1 DEFINITION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE

Le sous-système canal-littoral compte 21 sous-tronçons constitutifs de la digue du canal de Caen à la mer.

Les scénarios de rupture étudiés sont répertoriés dans le Tableau 7-51.

Sous-système canal-littoral			Description	Scénario retenu
Capacité de résistance : de l'ouvrage à résister à une **rupture**	Ca1	Rupture par surverse	La surverse se produit sur l'ouvrage et érode le talus aval et la crête entraînant la formation d'une brèche.	Retenu
	Ca2	Rupture par érosion interne	De l'eau s'infiltre dans le corps de digue et entraîne des matériaux en ressortant vers le côté terre. Une brèche se développe.	Retenu
	Ca3	Rupture par glissement de talus côté terre	La rupture du talus aval entraîne la formation d'une brèche	Retenu
	Ca4	Rupture par glissement de talus côté Orne	La rupture du talus amont entraîne la formation d'une brèche	Retenu
	Ca5	Rupture par érosion côté canal	La protection du parement est déstabilisée par l'action des courants entrainant une rupture du parement puis l'ouverture d'une brèche.	Retenu

Tableau 7-51 : scénarios de rupture et d'inondation – sous-système canal-littoral.

7.6.2 DEFINITION DES SOLLICITATIONS

Les sollicitations retenues pour l'analyse des scénarios correspondent à un niveau d'eau dans le canal à Ouistreham.

	Niveau du canal à Ouistrehalm	Evènement correspondant
Faible	3,8 mNGF	crue courante
Moyenne	4,0 mNGF	crue courante
Forte	4,2 mNGF	Evènement référence PPR
Très forte	4,6 mNGF	T > 100 ans
Extrême	5,0 mNGF	T > 1 000 ans

Tableau 7-52 : définitions des sollicitations – sous-système canal-littoral.

Les modélisations permettent de rattacher le niveau d'eau dans le canal avec un débit de crue de l'Orne en supposant le fonctionnement normal de l'ensemble des ouvrages de gestion des niveaux du canal.

L'influence de la marée est assez limitée sur le niveau maximal dans le canal : l'incertitude sur la cote du canal à Ouistreham inclut l'influence de la marée.

7.6.3 ANALYSE DE LA PERFORMANCE PAR SCENARIO DE RUPTURE

7.6.3.1 Ca1 – rupture par surverse

L'évènement fort, caractérisé par un niveau de 4,2 mNGF dans le canal à Ouistreham, correspond environ à l'évènement de crue centennale de l'Orne.

Pour ce niveau, la probabilité de rupture par surverse est inférieure à 5 %.

Le niveau pour lequel la probabilité de rupture dépasse les 5 % est d'environ 4,4 mNGF dans le canal à Ouistreham.

L'évènement très fort correspond à l'évènement limite de surverse pour lequel le risque de rupture atteint 50 % : cet évènement correspond au niveau de danger.

Sous-tronçon	Sollicitation				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
	3.80	4.00	4.20	4.60	5.00
ST-1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-2	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-3	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-4	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-5	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-6	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-7	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-8	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-9	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-10	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-11	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-12	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-13	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-14	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-15	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-16	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-17	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-18	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-19	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-20	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-21	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%

Tableau 7-53 : probabilité de rupture par surverse.

7.6.3.2 Ca2 – rupture par érosion interne

La rupture par érosion interne est envisagée sur la digue du canal de Caen à la mer.

Comme décrit au 7.4.2.2, la méthodologie repose sur l'estimation du gradient hydraulique dans le remblai et la comparaison avec le gradient critique selon Bligh (cas courant) ou selon Lane (au droit d'ouvrage traversant).

Des coefficients correcteurs sont appliqués afin de tenir compte de la végétation, de la présence de terriers, de la mise en œuvre des consignes de surveillance, …

Les coefficients retenus sont donnés dans les tableaux suivants :

Facteur correctif	Coefficient correcteur
Présence de maison encastrée côté terre	1,05
Présence de terrier	1,05
Végétation ligneuse isolée	1,05
Végétation ligneuse clairsemée	1,1
Végétation ligneuse généralisée	1,67
Paroi étanche	0,1
Absence de surveillance et/ou organisation non adaptée	1
Surveillance mais organisation non adaptée	0,9
Surveillance et organisation adaptée	0,5
Surveillance et organisation adaptée et renforcée	0,1

Tableau 7-54 : facteurs correctifs appliqués.

Il s'agit de coefficients multiplicateurs appliqués au gradient hydraulique selon Bligh et/ou selon Lane. Un coefficient supérieur à 1 caractérise un facteur défavorable pour l'érosion interne, un coefficient inférieur à 1 caractérise un facteur favorable contre le développement de l'érosion interne.

Les résultats issus de la mise en œuvre de la méthodologie sont répertoriés dans le Tableau 7-42. Le niveau de sûreté associé à une probabilité de rupture de 5 % est atteint pour une cote dans le canal à Ouistreham de 4,4 mNGF environ. Le sous-tronçon le plus défavorable, vis-à-vis du risque d'érosion interne, est le sous-tronçon n°7.

Sous-tronçon	Sollicitation				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
	3.80	4.00	4.20	4.60	5.00
ST-1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-2	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-3	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-4	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-5	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-6	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-7	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	5%<P<50%
ST-8	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-9	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	5%<P<50%
ST-10	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-11	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-12	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-13	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-14	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-15	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-16	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-17	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-18	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-19	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-20	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-21	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%

Tableau 7-55 : probabilité de rupture par érosion interne.

La méthodologie mise en œuvre dans la présente étude diffère quelque peu de la méthodologie mise en œuvre lors de l'étude de dangers initiale (ISL-Ingénierie, 2017). Dans l'étude de dangers initiale, la méthode ERINOH avait été mise en œuvre.

7.6.3.3 Ca3 – rupture par glissement de talus côté terre

Dans le cadre de l'étude de dangers initiale de la digue du canal de Caen à la mer (ISL-Ingénierie, 2017), des calculs de stabilité ont été réalisés. Les résultats de ces calculs sont repris pour la présente étude.

Les sollicitations n'étant pas tout à fait identiques, les coefficients de sécurité calculés sont interpolés pour être associés aux sollicitations définies dans la présente étude.

Les probabilités de glissement associées aux différentes valeurs du facteur de sécurité du calcul de stabilité sont données dans le tableau suivant.

Facteur de sécurité	Probabilité de glissement
0 < FS < 1	1
1 < FS < 1,1	0,7
1,1 < FS < 1,3	0,3
1,3 < FS < 1,5	0,1
1,5 < FS	0,01

Tableau 7-56 : correspondance entre facteur de sécurité et probabilité du glissement.

Pour l'ensemble des sollicitations étudiées, les probabilités de rupture sont inférieures à 5 %.

Pour plusieurs sous-tronçons, la stabilité du talus côté terre n'est pas analysée :

- ST-1, ST-12, ST-14, ST-21 : absence de talus côté terre, le terrain naturel se situant au niveau de la crête de digue ;
- ST-4, ST-6 : rideaux de palplanches côté canal, limitant la saturation de la digue.

Sous-tronçon	Sollicitation				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
	3.80	4.00	4.20	4.60	5.00
ST-1					
ST-2	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-3	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-4					
ST-5	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-6					
ST-7	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-8	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-9	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-10	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-11	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-12					
ST-13	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-14					
ST-15	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-16	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-17	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-18	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-19	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-20	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-21					

Tableau 7-57 : probabilité de rupture par glissement côté terre.

7.6.3.4 Ca4 – rupture par glissement de talus côté Canal

De la même manière que pour le glissement côté terre, le glissement côté canal a été étudié dans le cadre de l'étude de dangers initiale de la digue du canal de Caen à la mer.

Le cas défavorable correspond à un abaissement soudain du plan d'eau. Pour ce scénario, le coefficient de sécurité est compris entre 1,1 et 1,15 ce qui est relativement faible.

Néanmoins, plusieurs éléments conduisent à moduler la probabilité de rupture suite à un glissement côté canal :

- Les calculs ne prennent pas en compte l'effet stabilisateur des enrochements sur le talus côté canal ;
- La largeur de la digue est importante : il est très peu probable qu'un glissement puisse entrainer toute la crête de l'ouvrage ;
- L'abaissement soudain du niveau du canal ne peut se faire qu'hors période de crue et à marée descendante ;
- Le suivi continu des niveaux dans le canal depuis la capitainerie du port de Ouistreham permet de détecter une telle situation en temps réel, permettant une intervention rapide du gestionnaire.

Considérant l'ensemble de ces éléments modérateurs, la probabilité d'une rupture de la digue suite à un glissement côté canal est estimée inférieure à 5 %.

7.6.3.5 Ca5 – rupture par érosion externe côté Orne : déstructuration de la protection de berge

De manière générale, les vitesses d'écoulement dans le canal sont inférieures à 1 m/s.

Des vitesses supérieures peuvent être observées :

- Sur la partie amont du canal, en aval du pont des Fonderies et en aval de la confluence avec le canal de la presqu'île ;
- Au droit des ponts de Bénouville et Colombelles ;
- A proximité du barrage du Maresquier, en rive droite uniquement.

Au niveau des ponts, les berges sont protégées par des rideaux de palplanches : le risque d'érosion y est faible.

Sur le reste du linéaire, la berge du canal est protégée par des enrochements, hormis quelques tronçons avec palplanches.

Le dimensionnement des enrochements est vérifié par la formule d'Isbach.

Ainsi, la protection en enrochements est stable pour toutes les sollicitations étudiées. La probabilité de rupture de la protection en enrochement apparaît faible pour toutes les sollicitations.

De la même manière que pour le glissement, la surveillance mise en œuvre par le gestionnaire en période de crue permet de détecter les érosions de berge côté canal et de prévenir la formation d'une brèche.

Considérant ces éléments, la probabilité d'une rupture de la digue en conséquence d'une érosion de la berge côté canal est estimée inférieure à 5 %.

7.6.3.6 Synthèse – niveau de sûreté et niveau de danger

Sur le système d'endiguement de canal-littoral, les cas de défaillance les plus défavorables sont le risque d'érosion interne et le risque de surverse.

Le Tableau 7-49 synthétise les probabilités de rupture pour chaque sous-tronçon et sollicitation :

Sous-tronçon	Sollicitation				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
	3.80	4.00	4.20	4.60	5.00
ST-1	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-2	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-3	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-4	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-5	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-6	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-7	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-8	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-9	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-10	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-11	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%	P>50%
ST-12	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-13	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-14	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
ST-15	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-16	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-17	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-18	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-19	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
ST-20	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
ST-21	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%

Tableau 7-58 : probabilité de rupture sur le système d'endiguement canal-littoral.

Le niveau de sûreté est défini comme le niveau de sollicitation pour lequel le risque de rupture est inférieur à 5 %. Ce niveau de sûreté est atteint pour un niveau de sollicitation compris entre 4,2 et 4,6 mNGF, la valeur retenue est arrondie à 4,4 mNGF.

Le niveau de danger est défini comme le niveau de sollicitation pour lequel le risque de rupture est supérieur à 50 %. Ce niveau de danger est atteint pour un niveau de sollicitation de 4,6 mNGF, correspondant à la surverse sur la digue.

Le Tableau 7-50 donne ces deux niveaux et leur correspondance au point de mesure. Cette correspondance fait intervenir la hauteur d'eau observée à l'écluse de Ouistreham.

Système d'endiguement canal-littoral		
	Niveau au droit de l'ouvrage	**Niveau correspondant au(x) point(s) de mesure**
Niveau de sûreté	4,4 à 4,6 mNGF	8,5 mCM à l'écluse de Ouistreham amont
Niveau de danger	4,6 à 4,8 mNGF	8,7 mCM à l'écluse de Ouistreham amont

Tableau 7-59 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le système d'endiguement canal-littoral.

7.7 PERFORMANCES DES ELEMENTS NATURELS – MASSIF DUNAIRE

L'étude de dangers ne fixe pas de niveau de sûreté pour les ouvrages naturels.

Néanmoins, le cordon dunaire étant un élément essentiel du système de protection sur la partie littorale, un diagnostic simplifié a été mis en œuvre sur ce secteur.

L'évolution récente de la plage entre Hermanville-sur-Mer et Ouistreham met en évidence met en évidence un contexte sédimentaire plutôt favorable avec un stock sédimentaire important et un niveau de plage relativement haut. Ce niveau va descendant de l'Ouest vers l'Est.

Ainsi, sur Hermanville-sur-Mer, la mer arrive à peine au pied du perré lors des grandes marées et atteint le perré uniquement lors de fortes tempêtes (par exemple lors de la tempête Xynthia en 2010).

A l'Est, à Ouistreham, le pied du perré est atteint plus régulièrement.

La stabilité des perrés d'Hermanville-sur-Mer et Ouistreham a été analysée dans le cadre de l'étude de dangers menée sur ces deux ouvrages.

Il ressort que les probabilités de défaillance sur ces deux perrés sont faibles jusqu'à un évènement marin centennal.

Des franchissements sont possibles par-dessus les deux perrés :

- Sur le perré de Ouistreham, les franchissements sont faibles, ils sont néanmoins retenus côté terre par la présence du parapet. Des écoulements sont possibles sur les chaussées pouvant atteindre quelques cuvettes topographiques en front de mer (hauteurs d'eau faibles) ;
- Sur le perré d'Hermanville-sur-Mer, les franchissements sont plus importants. Par contre, en l'absence de parapet, ils retournent vers la mer en suivant la pente du terrain. Des écoulements demeurent néanmoins possibles localement vers quelques cuvettes topographiques en front de mer (hauteurs d'eau faibles).

Ces franchissements ne sont pas de nature à initier une érosion régressive de la dune et ne sont pas suffisants pour atteindre les zones basses situés en arrière du cordon dunaire (marais de Colleville).

Pour envisager une rupture totale du cordon dunaire, il faut considérer un évènement extrême conduisant à une surverse continue sur le cordon dunaire : seul un tel évènement est capable d'éroder totalement un cordon dunaire de plus de 50 m de large[6].

Ainsi, au regard des niveaux du cordon dunaire, les niveaux de sûreté et de danger sont définis dans le Tableau 7-60 :

[6] cf. dune de la Belle Henriette à la Faute-sur-Mer lors de la tempête Xynthia : le niveau marin a dépassé le niveau de crête de la dune au droit de plusieurs points bas entrainant la surverse continue et l'érosion rapide et totale du cordon dunaire compte tenu des fortes vitesses d'écoulement.

Cordon dunaire		
	Niveau sur la plage	**Niveau correspondant au(x) point(s) de mesure**
Niveau de sûreté	5,8 mNGF	5,5 mNGF au marégraphe de Ouistreham
Niveau de danger	6,2 mNGF	5,8 mNGF au marégraphe de Ouistreham

Tableau 7-60 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le cordon dunaire.

Le cas de la rupture totale du cordon dunaire n'est pas étudié dans les scénarios de venues d'eau dans la zone protégée : ce scénario est hautement improbable et implique des évènements dépassant très largement le niveau de protection associé à la zone protégée.

7.8 DEFINITION DES NIVEAUX DE PROTECTION

7.8.1 SOUS SYSTEME COLOMBELLES

Le niveau de protection proposé pour le système d'endiguement de Colombelles est présenté dans le Tableau 7-61 :

Colombelles	
Lieu de mesure	Marégraphe du port de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	4,6 mNGF
Niveau de protection au droit des ouvrages	4,7 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement marin de **niveau cinquantennal** en tenant compte du changement climatique à court terme (+20 cm)
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 7-61 : proposition de niveau de protection – Colombelles.

7.8.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

Deux niveaux de protection sont définis pour ce système d'endiguement :

- Un niveau de protection associé à l'aléa marin et qui concerne le front de mer ;
- Un niveau de protection associé à l'aléa fluvial et qui concerne la digue du canal de Caen à la mer.

Les deux niveaux de protection sont présentés dans le Tableau 7-62 et le Tableau 7-63 :

Canal-Littoral – aléa marin	
Lieu de mesure	Marégraphe du port de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	4,7 mNGF
Niveau de protection au droit des ouvrages	5,0 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement marin de **niveau centennal** en tenant compte du changement climatique à court terme (+20 cm)
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 7-62 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa marin.

Canal-Littoral – aléa fluvial	
Lieu de mesure	Echelle amont écluse de Ouistreham
Niveau correspondant au point de mesure	8,3 mCM
Niveau de protection au droit des ouvrages	4,2 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Evènement fluvial de période de retour **centennale**
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 7-63 : proposition de niveau de protection – Canal-littoral – aléa fluvial.

8 CHAPITRE 8 : ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE

8.1 PREAMBULE

La représentation cartographique des venues d'eau demandée dans le cadre de la réglementation sur les études de dangers est réalisée sur la base d'une analyse experte par ISL des modélisations présentées en annexe 4.

Ces représentations sont données dans les chapitres suivants.

La dangerosité des venues d'eau est définie par l'arrêté du 07/04/2017 et rappelée ci-après.

	Définition de l'arrêté du 07/04/2017	**Définition retenue dans le cadre de cette EDD**
Venues d'eau peu dangereuses	H<1 m	H<1 m
Venues d'eau dangereuses	H>1 m ou V>0,5 m/s	H>1 m ou V>0,5 m
Venues d'eau particulièrement dangereuses	zone de point bas, cuvette ou zone de dissipation d'énergie	Au droit des brèches

Figure 8-1: définition des venues d'eau pour la représentation cartographique.

8.2 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

8.2.1 SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 1 : fonctionnement nominal du système d'endiguement
Définition	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.
Aléa de référence	Niveau marin maximal : 4,70 mNGF au droit du système d'endiguement
Cycle de marée	4 marées hautes simulées. La première marée pour l'initialisation, le max est atteint lors de la 3ème marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-2 :

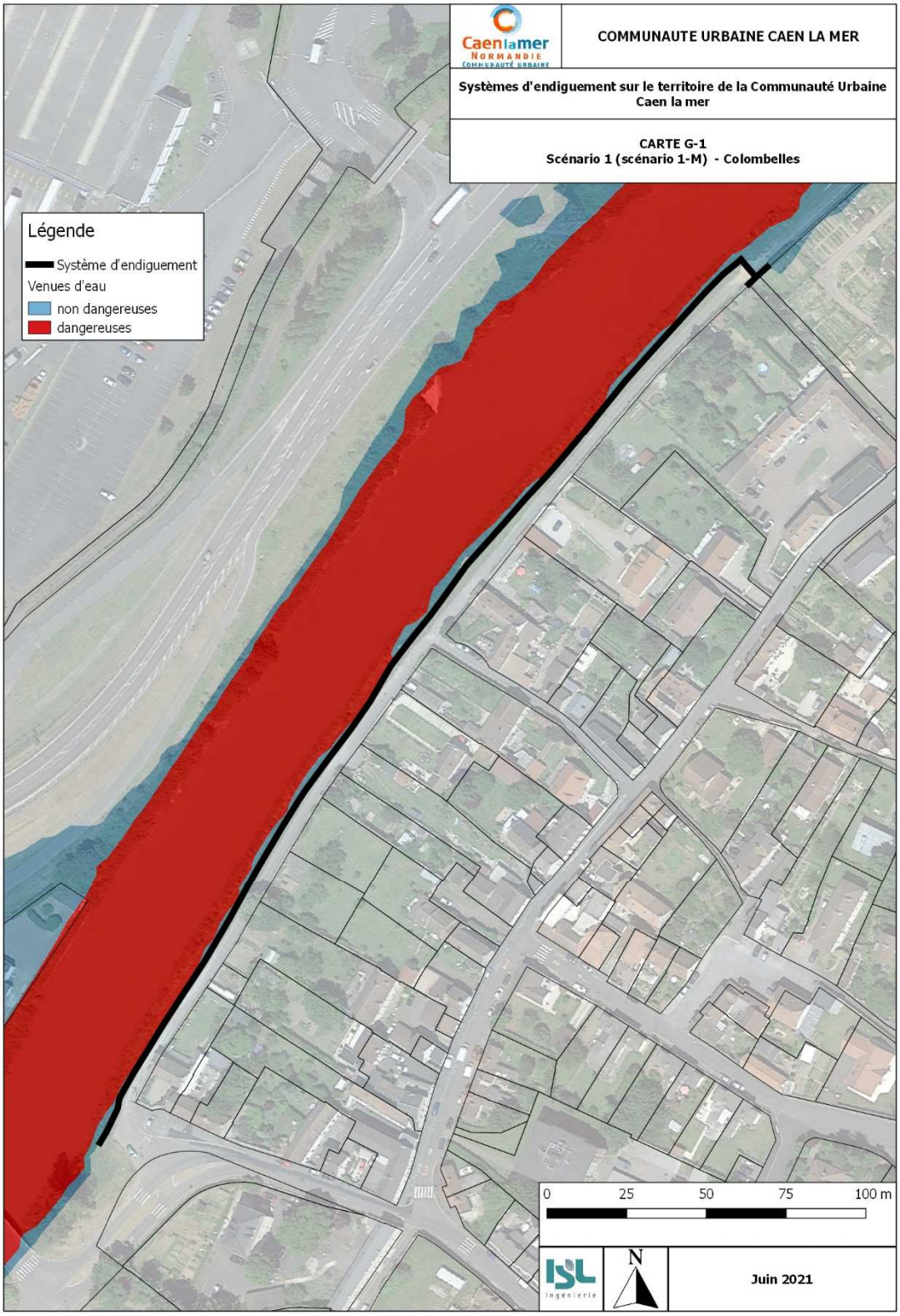


Figure 8-2 : carte des venues d'eau – scénario 1 – Colombelles.

8.2.2 SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 2 : représentatif d'une défaillance fonctionnelle du SE
Définition	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.
Aléa de référence	Idem scénario 1 avec : ▪ Ouverture de tous les clapets pendant les 4 marées successives
Cycle de marée	4 marées hautes simulées. La première marée pour l'initialisation, le max est atteint lors de la 3ème marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-3.

Des venues d'eau sont simulées pour ce scénario. Les hauteurs d'eau demeurent inférieures à 1 m.

Le remplissage se faisant de manière progressive par remontée par les réseaux d'eaux pluviales, les vitesses d'écoulement sont faibles.

Les venues d'eau sont considérées comme non dangereuses.

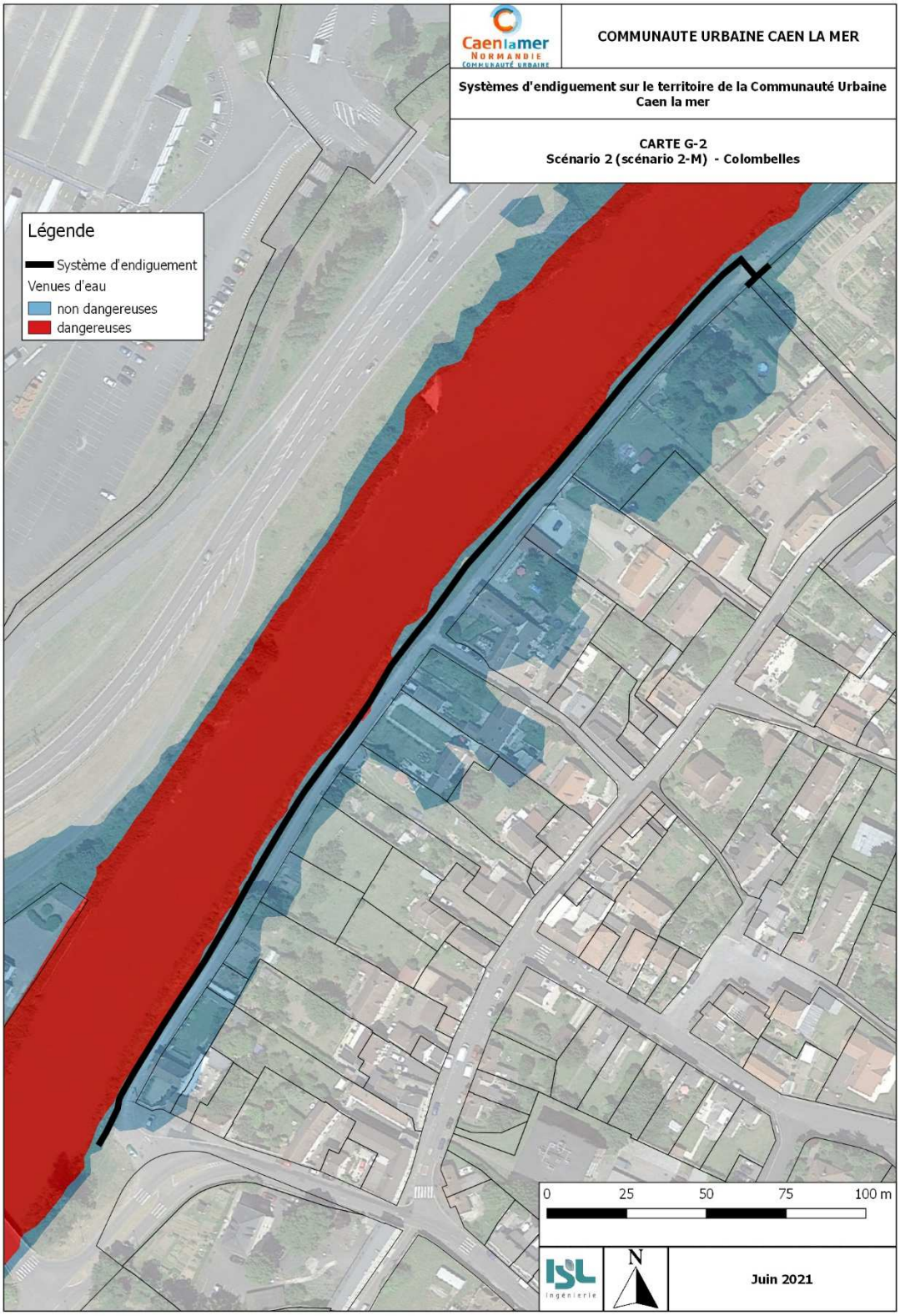


Figure 8-3 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Colombelles.

8.2.3 SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 3 : représentatif d'une défaillance structurelle du SE
Définition	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 %.
Aléa de référence	Niveau marin de 5,1 mNGF, dépassant le niveau de crête de la digue. Brèche dans la partie aval sur toute la hauteur et sur une longueur de 20 m. Ouverture rapide en 30 minutes. L'ouverture débute dès la surverse, soit pour une cote atteinte de 5,0 mNGF.
Cycle de marée	4 marées hautes simulées. La première marée pour l'initialisation, le max est atteint lors de la 3ème marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-4.

Les venues d'eau envahissent toute la zone protégée et légèrement au-delà : l'étendue inondée est légèrement plus grande que l'emprise de la zone protégée puisque le niveau d'eau maximal dépasse le niveau de protection.

Les hauteurs d'eau demeurent inférieures à 1 m.

Les vitesses peuvent dépasser 0,5 m/s en arrière de la brèche et, plus généralement, le long du chemin de halage. Le long des propriétés privées, des clôtures, murs et haies sont susceptibles de freiner les écoulements : les vitesses sont ainsi réduites au-delà du chemin de halage.

Les venues d'eau sont considérées comme non dangereuses hormis sur le chemin de halage.

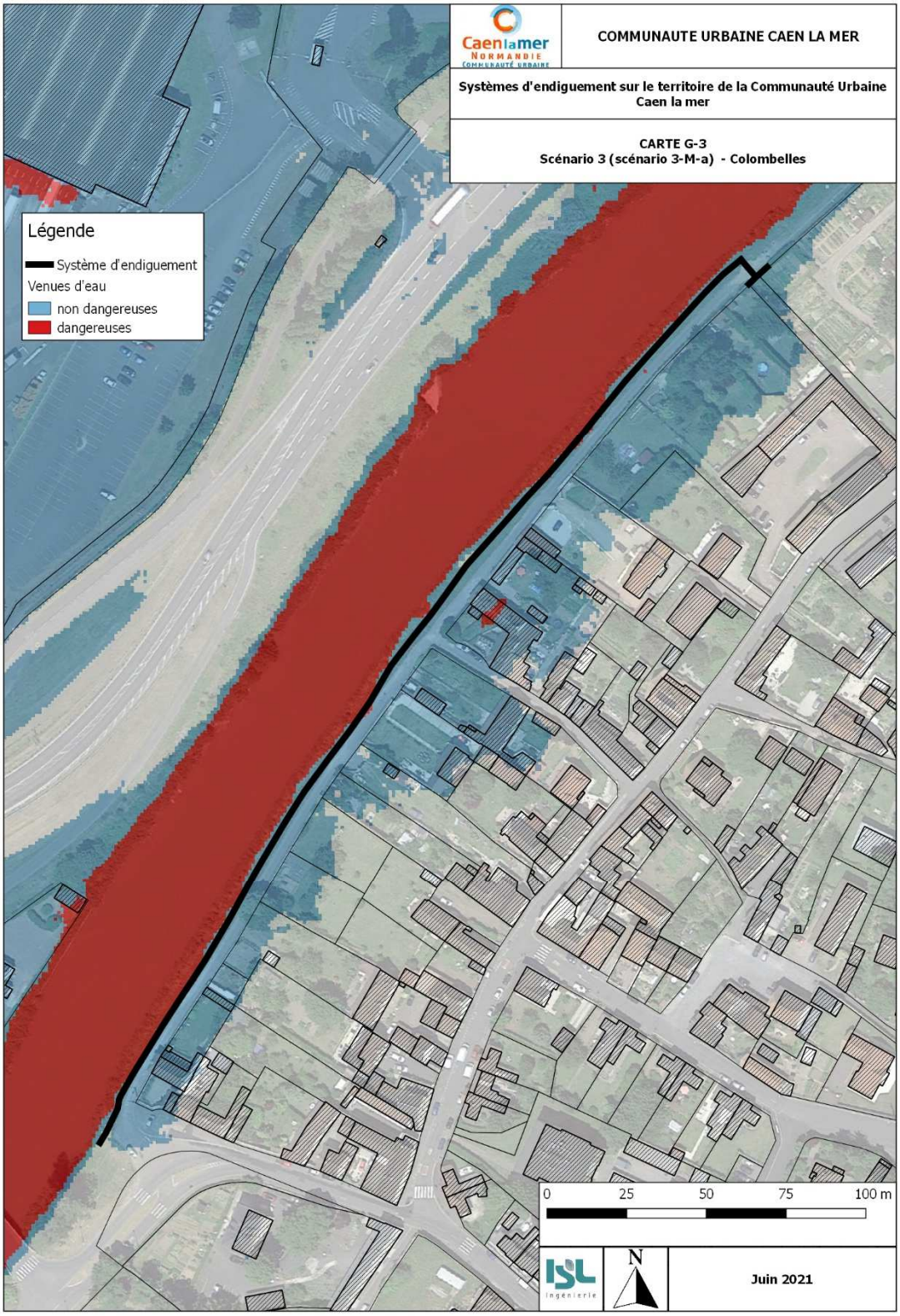


Figure 8-4 : carte des venues d'eau – scénario 3 – Colombelles.

8.3 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

8.3.1 SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 1 : fonctionnement nominal du système d'endiguement
Définition	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.
Aléa de référence	Aléa fluvial : crue centennale de l'Orne Aléa marin : évènement marin
Cycle de marée	4 marées hautes simulées. La première marée pour l'initialisation, le max est atteint lors de la 3ème marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-5 :

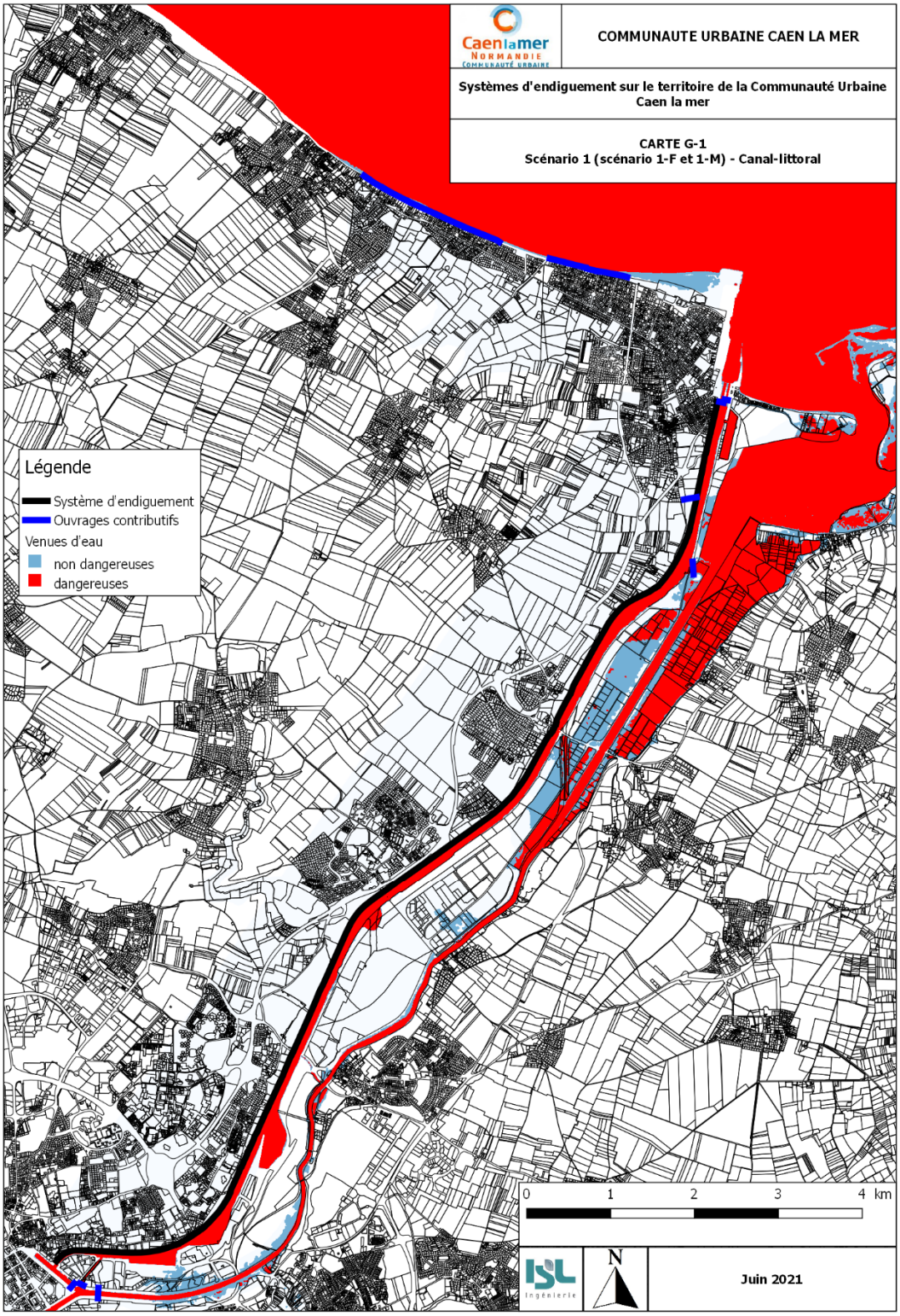


Figure 8-5 : carte des venues d'eau – scénario 1 – Canal-littoral.

8.3.2 SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

8.3.2.1 Scénario 2-M-a

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 2-M-a : représentatif d'une défaillance fonctionnelle du SE
Définition	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.
Aléa de référence	Idem scénario 1 marin avec : ▪ Ouverture de tous les clapets en front de mer
Cycle de marée	4 marées hautes simulées. La première marée pour l'initialisation, le max est atteint lors de la 3ème marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-6.

Des venues d'eau sont simulées pour ce scénario. Les hauteurs d'eau demeurent inférieures à 1 m.

Le remplissage se faisant de manière progressive par remontée par les réseaux, les vitesses d'écoulement sont faibles.

Les venues d'eau sont considérées comme non dangereuses.

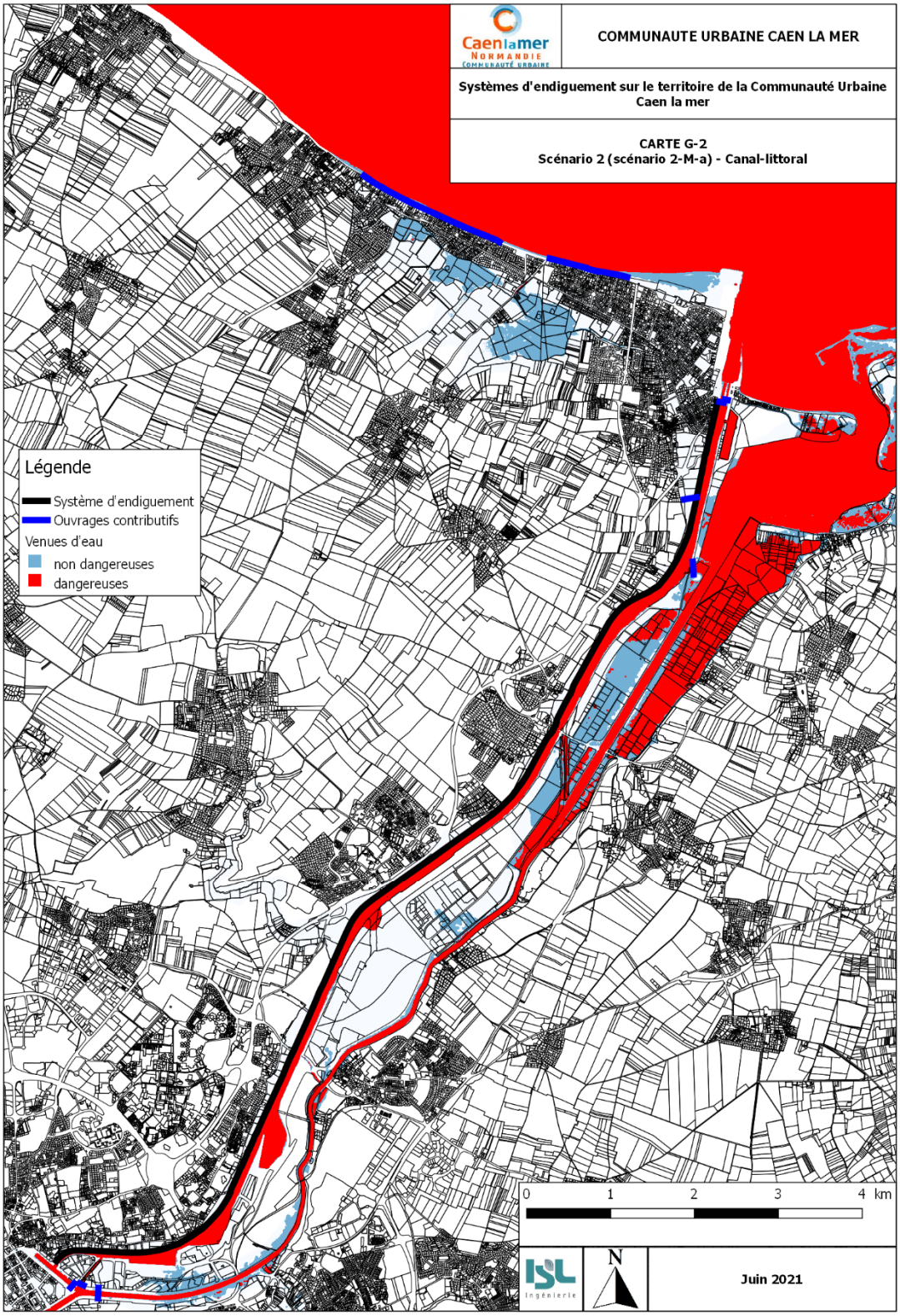


Figure 8-6 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral.

8.3.2.2 Scénario 2-M-b

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 2-M-b : représentatif d'une défaillance fonctionnelle du SE
Définition	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.
Aléa de référence	Idem scénario 1 marin avec : ▪ Evènement de crues des bassins versants ▪ Non ouverture de tous les clapets en front de mer
Cycle de marée	4 marées hautes simulées. La première marée pour l'initialisation, le max est atteint lors de la 3ème marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-7.

Des venues d'eau sont simulées pour ce scénario. Les hauteurs d'eau demeurent inférieures à 1 m.

Le remplissage se faisant de manière progressive par remontée, les vitesses d'écoulement sont faibles.

Les venues d'eau sont considérées comme non dangereuses.

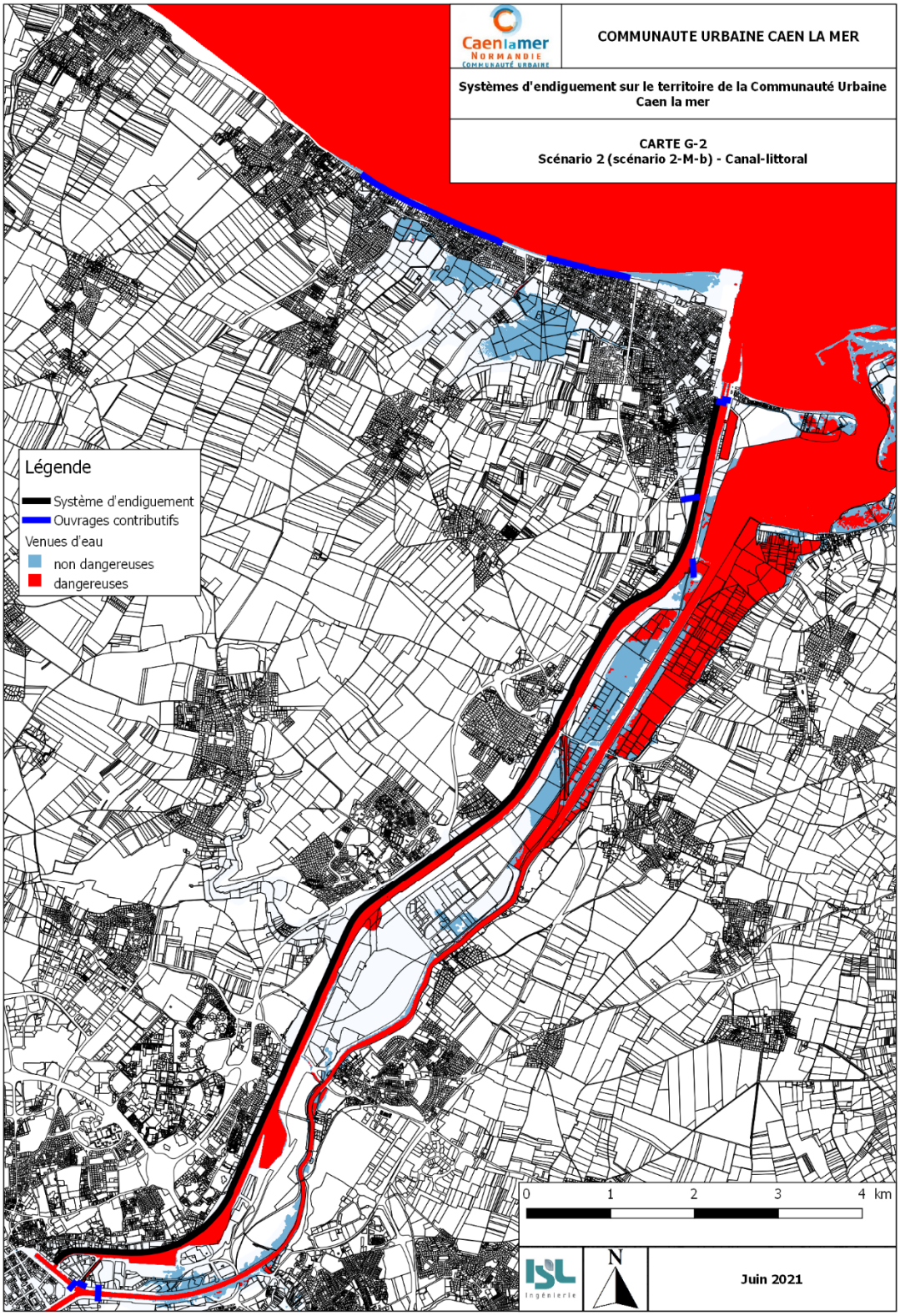


Figure 8-7 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral.

8.3.2.3 Scénario 2-M-c

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 2-M-c : représentatif d'une défaillance fonctionnelle du SE
Définition	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.
Aléa de référence	Idem scénario 1 marin avec : ▪ Ouverture brusque des portes de l'écluse Ouest ▪ Ouverture pendant la marée centennale au moment où la charge sur les portes est maximale
Cycle de marée	4 marées hautes simulées. La première marée pour l'initialisation, le max est atteint lors de la 3ème marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-8.

Compte tenu de l'ouverture des portes, la marée remonte par le canal jusqu'au bassin Saint-Pierre. Les niveaux dans le canal peuvent dépasser 4,6 mNGF et ainsi surverser la digue du canal.

Des venues d'eau par surverse sont simulées entre le pont de Bénouville et la digue des Pommiers à Ouistreham.

Par endroits, les hauteurs d'eau dépassent 1 mètre : les venues d'eau sont alors considérées comme dangereuses.

Les vitesses sont globalement faibles hormis au droit des surverses.

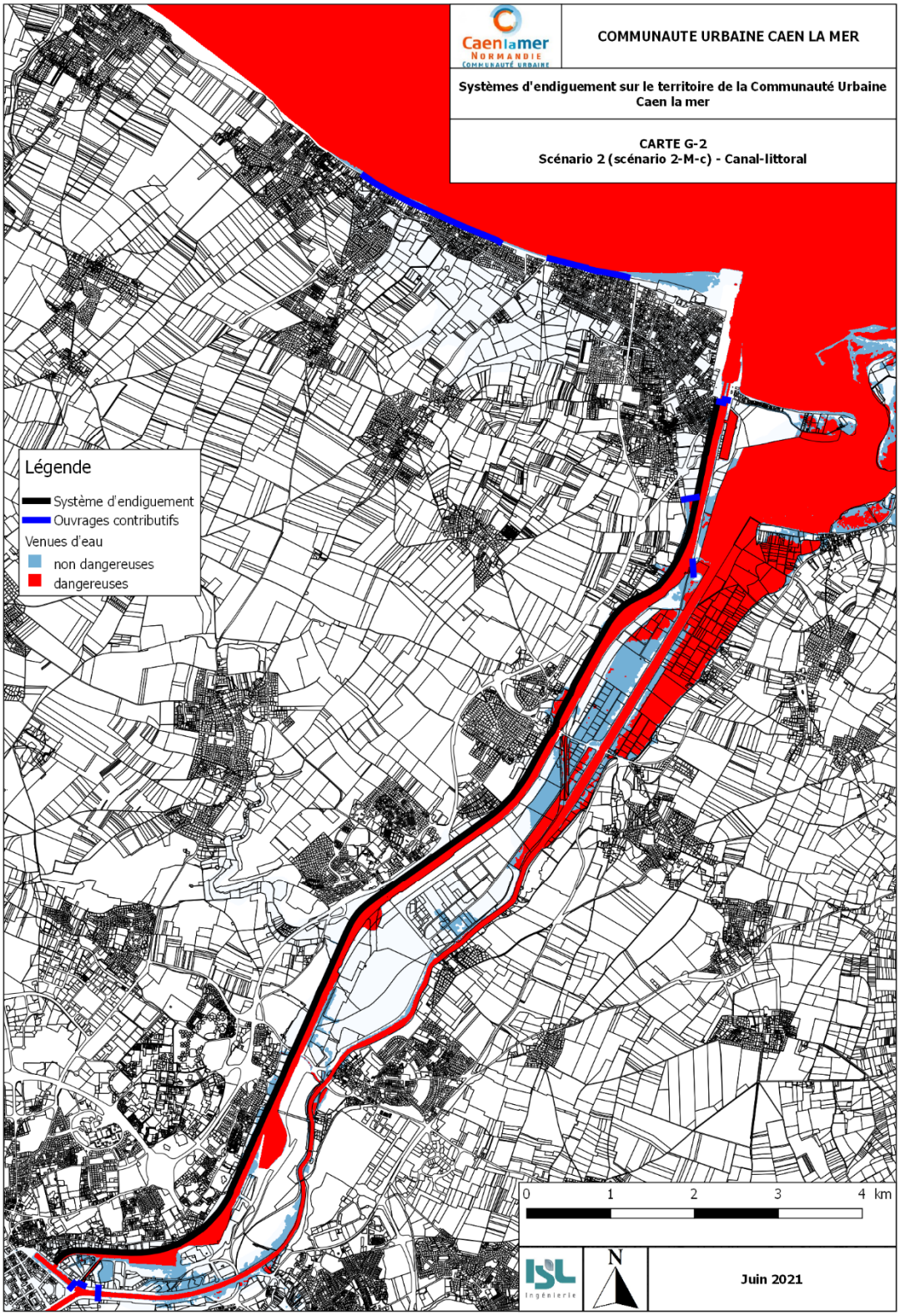


Figure 8-8 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral.

8.3.2.4 Scénario 2-F-b

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 2-F-b : représentatif d'une défaillance fonctionnelle du SE
Définition	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.
Aléa de référence	Idem scénario 1 fluvial avec : ▪ Défaillance du barrage de Maresquier qui reste en position totalement fermée

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-9.

Des venues d'eau importantes sont simulées tout du long de la digue du canal de Caen à la mer.

La situation simulée se rapproche de la situation avant travaux d'aménagements. Les surverses sur la digue sont simulées quasiment sur tout le linéaire de la digue. L'ensemble de la zone protégée est ainsi submergé compte tenu des volumes très importants (pour rappel, pas de brèche prise en compte dans ce scénario).

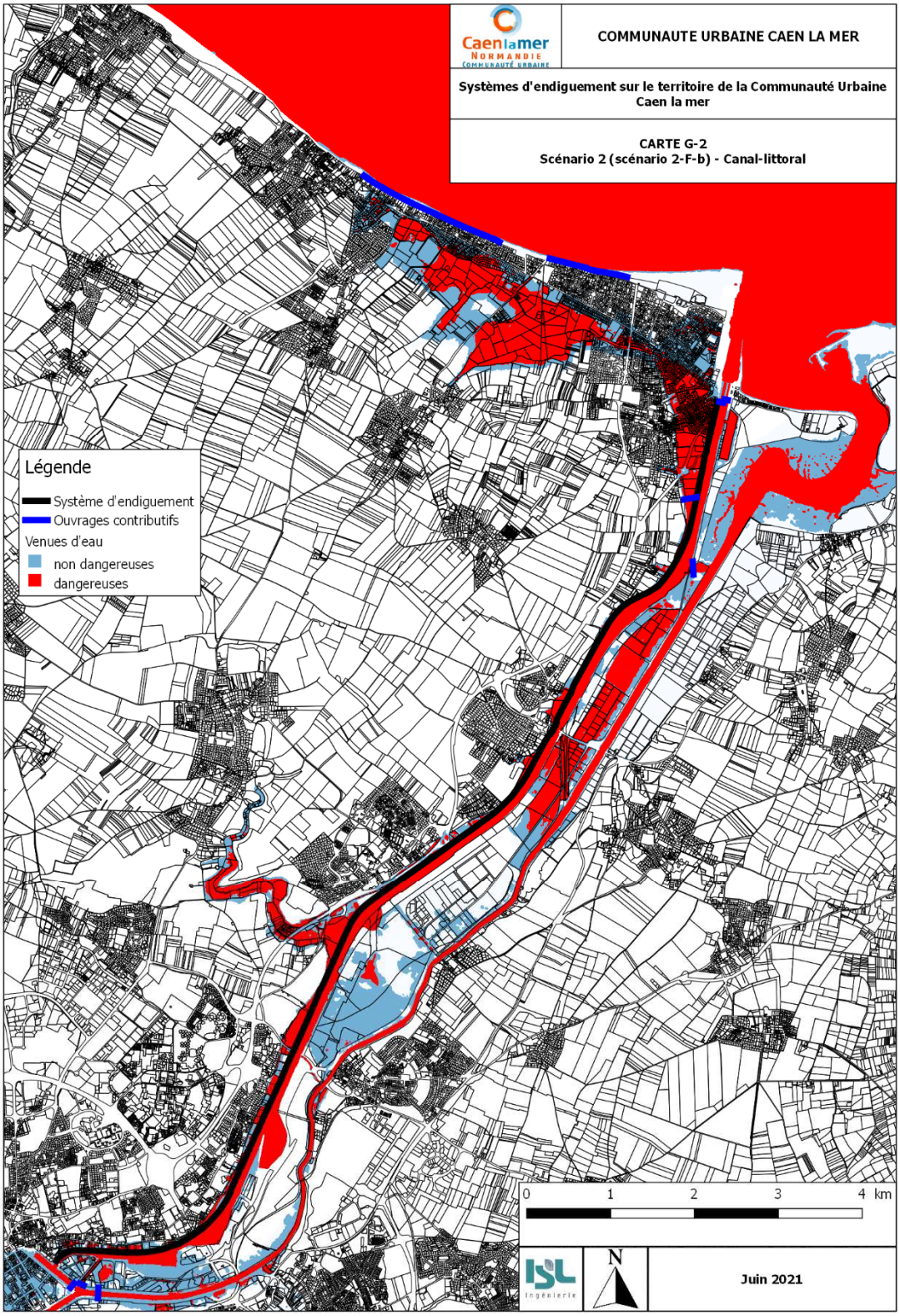


Figure 8-9 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral.

8.3.2.5 Scénario 2-F-c

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 2-F-c : représentatif d'une défaillance fonctionnelle du SE
Définition	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.
Aléa de référence	Idem scénario 1 fluvial avec : ▪ Défaillance du barrage de Montalivet qui reste en position totalement fermée

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-9.

Pour ce scénario, aucune venue d'eau dans la zone protégée n'est simulée.

Les niveaux dans le canal demeurent tout juste sous le niveau de surverse (à ~5cm près).

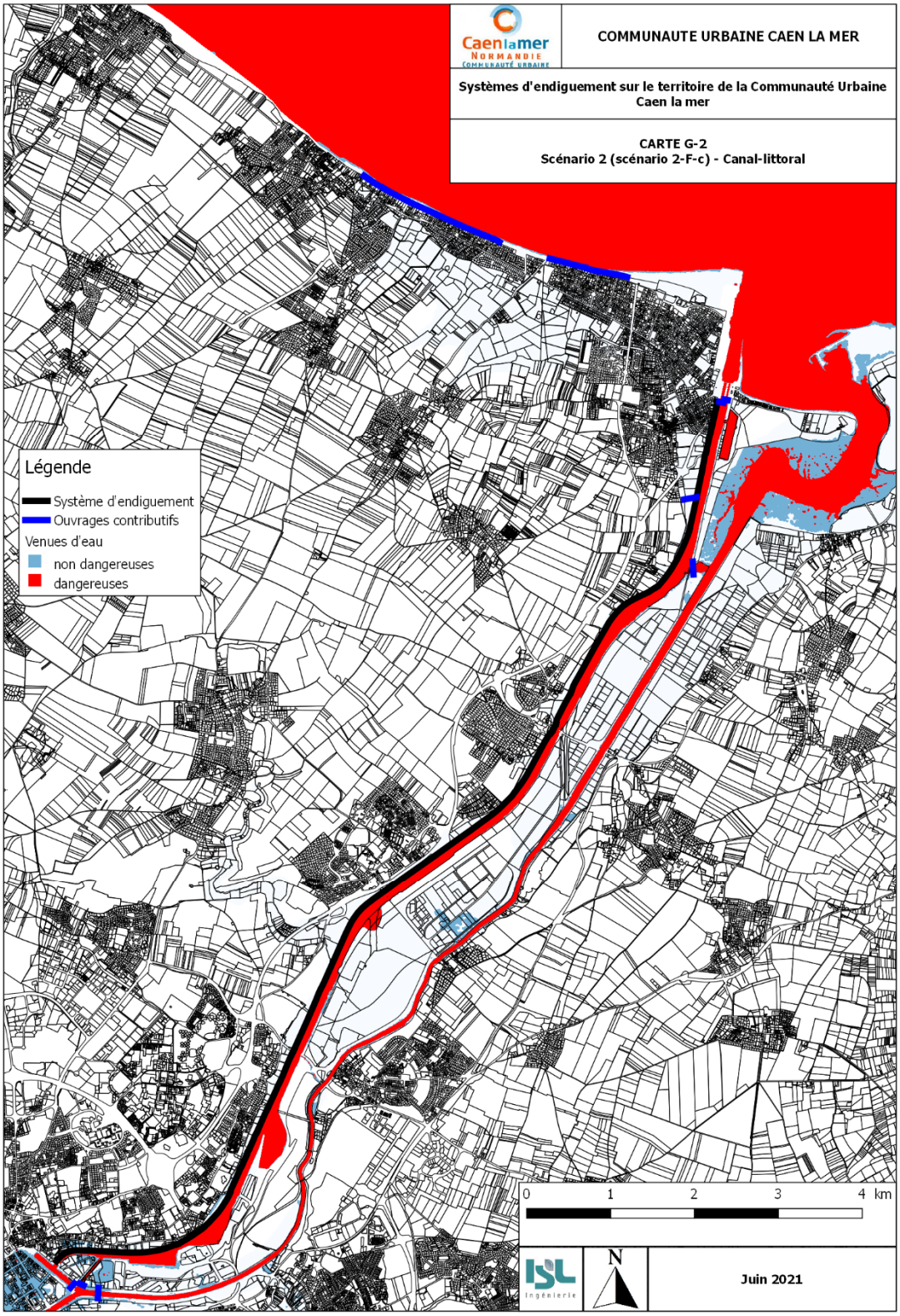


Figure 8-10 : carte des venues d'eau – scénario 2 – Canal-littoral.

8.3.3 SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

	Scénario 3 : représentatif d'une défaillance structurelle du SE
Définition	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 %.
Aléa de référence	Crue de l'Orne de période de retour supérieure à 200 ans Brèche au niveau du tronçon n°7 par surverse, en aval de la digue des Pommiers. Longueur de la brèche 200 m, durée de formation 2 heures.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-11.

Les venues d'eau envahissent une partie de la ville de Ouistreham. L'emprise est très proche de l'emprise de la crue de janvier 1995.

Des surverses sont également simulées sur plusieurs tronçons en amont de la digue des Pommiers.

Les hauteurs d'eau peuvent dépasser 1 m.

Les vitesses sont importantes en arrière de la brèche.

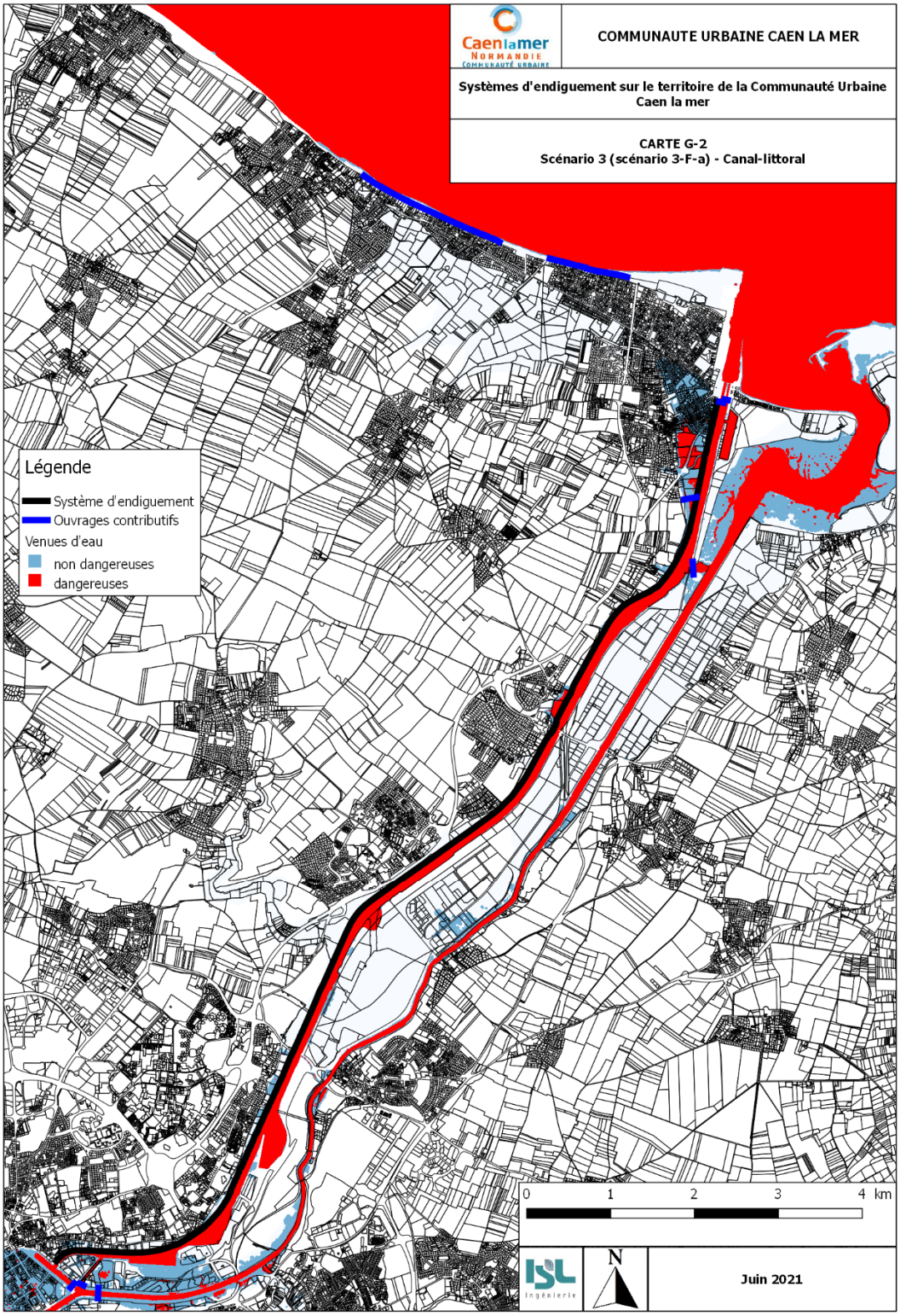


Figure 8-11 : carte des venues d'eau – scénario 3 – Canal-littoral.

9 PRESENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS

Ce chapitre se base sur les documents des consignes écrites de surveillance et d'exploitation de la CU Caen la mer, de Ports Normands et de l'ASA d'Hermanville-sur-Mer.

9.1 DESCRIPTION DES MOYENS MIS EN PLACE POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN COURANT AVEC L'OBJECTIF DE PROTECTION GARANTI

9.1.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

La surveillance réalisée sur l'ouvrage est formalisée par le document des consignes de surveillance et d'exploitation établi le 20 novembre 2017 par la CU Caen la mer.

Un suivi topographique et bathymétrique de la digue et de l'Orne est réalisé annuellement.

9.1.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

9.1.2.1 Digue du canal et ouvrages hydrauliques associés

La digue du canal berge Ouest ainsi que les ouvrages hydrauliques associés sont gérés par PNA.

Des consignes ont été élaborées par le gestionnaire.

Procédure des inspections d'ouvrages – mise à jour le 13/06/2016

Les ouvrages gérés par PNA font l'objet de visites régulières :

- Ponts de franchissement du canal de Caen-Ouistreham :
  - Télé-conduits
  - Sous surveillance permanente
  - Alarmes automatiques
  - Visite hebdomadaire avec contrôles
  - Inspection mensuelle avec entretien (graissage)
- Ecluses d'Ouistreham :
  - Inspection mensuelle avec entretien (graissage, câbles inspectés, pompes de fosse de bielles essayées)
  - Inspection annuelle des vannes
- Vannes de gestion hydraulique :
  - Ouvrages de Montalivet, Porte de l'Orne, Victor Hugo et Maresquier télé-surveillés
  - Sous surveillance permanente
  - Alarmes automatiques
  - Inspection semestrielle
  - test de bon fonctionnement est réalisé sur le barrage du Maresquier et vannes Victor Hugo en septembre (avant la période des crues)
  - Visites ponctuelles sont organisées lors des crues
  - Visite annuelle par le SMLCI sur ses ouvrages (Maresquier, Vannes Victor Hugo)
  - Visite structurelle par PNA tous les cinq ans sur Montalivet et Porte de l'Orne
- Digues de protection des crues
  - inspectée tous les cinq ans. La visite et le rapport s'appuie sur l'inspection précédente et se fait sur le même modèle.
  - visites ponctuelles lors des crues
- Clapets de l'Orne
  - inspection de maintenance annuelle

- Vannes du fossé de ligne
  - inspection de maintenance annuelle
  - visites ponctuelles organisées lors des crues.

Consignes concernant la manœuvre des ouvrages de gestion de l'eau du port de Caen-Ouistreham – Mise à jour le 17/12/2015

L'ensemble de l'exploitation est guidé par 3 paramètres :

- Paramètre TH = Hauteur de l'Orne mesurée en mètre au-dessus de la côte 21.00 m (NGF 1984 du 01/10/85 12:00) par la station hydrométrique I3521020 de la DREAL Basse Normandie, située à Thury-Harcourt.
- Paramètre CV = Côte carte marine de l'Orne mesurée par la station « Vendeuvre » du S.M.L.C.I. (cote nominale 7,90)
- Paramètre CC = Côte carte marine du canal de Caen à la mer mesurée par la station « Berthelot » du S.M.L.C.I. (cote nominale 7,80).

Les principaux ouvrages (barrage de l'Orne – vanne secteur « Porte de l'Orne » - vannes secteurs « Victor Hugo » - vannes secteurs du « Maresquier ») sont réglés automatiquement depuis une centrale de commande située au Poste Central de Conduite des ouvrages de Ouistreham en fonction de la cote marine du canal désirée. Les ouvrages annexes, qui ne sont manœuvrés que dans des conditions d'exploitation exceptionnelles, sont manuels.

Les phases d'exploitation sont au nombre de cinq :

	TH (CM)	**CV (CM)**	**CC (CM)**
Phase 0 – Faible débit	Inférieure à 0,60	Variable mais < 8,10	Variable de 7,60 à 8,00
Phase 1 – Débit normal	Comprise entre 0,60 et 2,50	Variable de 7,60 à 8,10	Variable de 7,60 à 8,00
Phase 2 – Crue	Comprise entre 2,50 et 3,00	Variable de 7,60 à 8,10	Variable de 7,40 à 8,10
Phase 3 – Crue forte	Comprise entre 3,00 et 4,00		Inférieur à 8,30
Phase 4 – Crue très forte	Supérieure à 4,00		Inférieur à 8,50

Pour les phases 0, 1 et 2, une cote de consigne peut être imposée à la cote CC (consigne C2) et à la cote CV (consigne C1) pour obtenir le niveau du canal souhaité. Les consignes sont fixées par le Responsable du Centre Opérationnel de Ouistreham et renseignées sur le poste central par les conducteurs d'ouvrages du Poste Central de Conduite de Ouistreham.

		Barrage	Porte de l'Orne	Victor Hugo	Maresquier
Phases 0 et 1	Fermé	Cote amont < C1	Cote aval > C2	Verrouillé fermé	Verrouillé fermé
	Ouvert	Cote amont > C1	Cote aval < C2		
Phase 2	Fermé	Cote amont < C1	Cote aval > 8,10	Cote aval > 8,10	Cote amont < C2
	Ouvert	Cote amont > C1	Cote aval < 8,10	Cote aval < 8,10	Cote amont > C2
Phase 3	Fermé	Cote amont < 6,80	Cote aval > 8,30	Cote aval > 8,30	Cote amont < 7,70
	Ouvert	Cote amont > 6,80	Cote aval < 8,30	Cote aval < 8,30	Cote amont > 7,70
Phase 4	Fermé	Cote amont < 6,80	Cote aval > 8,50	Cote aval > 8,50	Cote amont < 7,40
	Ouvert	Cote amont > 6,80	Cote aval < 8,50	Cote aval < 8,50	Cote amont > 7,40

Les consignes présentent également pour chaque phase :

- Le fonctionnement automatique – Normal ;
- Le fonctionnement en mode dégradé – automatisme local ;
- Le fonctionnement en mode dégradé – fonctionnement manuel ;

Consignes concernant l'organisation en temps de crues – mise à jour le 19/01/2016

Phases de régulation

Les phases de régulation sont celles présentées ci-dessus (Phases 1 à 4).

Cotes de l'Orne à Thury-Harcourt

La cote de l'Orne à Thury-Harcourt peut être obtenue sur le site http://www.vigicrues.ecologie.gouv.fr/.

Elle peut également être obtenue sur le site http://www.donnees.basse-normandie.developpement-durable.gouv.fr/hydro/stations_hydrog_cotes.htm.

Elle est également recopiée en temps réel sur le système de régulation situé au Poste de Conduite Centralisé (PCC) d'Ouistreham.

Consignes

Les consignes à appliquer en termes de transmission d'information, de gestion des ouvrages hydrauliques et d'actions à mettre en œuvre sont présentées pour 10 critères différents qui se réfèrent aux 4 phases de régulation.

1. Dès que la hauteur d'eau à Thury-Harcourt a atteint 2,20 m
   - Seuil de vigilance
2. Dès que la hauteur d'eau à Thury-Harcourt a atteint 2,50 m
   - Seuil d'alerte Phase 2 – Niveau du canal entre 7,40 et 8,10 CM
3. Dès que la hauteur d'eau à Thury-Harcourt a atteint 3,00 m
   - Seuil d'alerte Phase 3 – Niveau du canal entre 7,70 et 8,30 CM
4. Dès que le canal (Ouistreham) a atteint 8,30 CM
5. Dès que l'Orne (Vendeuvre) a atteint 8,70 CM
6. Dès que la hauteur d'eau à Thury-Harcourt a atteint 4,00 m
   - Seuil d'alerte Phase 4 – Niveau du canal entre 7,40 et 8,50 CM
7. Dès que l'Orne (Vendeuvre) a atteint 9,00 CM
8. Dès que le canal (Ouistreham) a atteint 8,50 CM et qu'il y a risque de ne plus maitriser son niveau
9. Dès la consignation du grand sas
10. Dès que le canal (Ouistreham) a atteint 8,70 CM

Les télécopies de transmission sont fournies en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Les actions réalisées, autres que gestion des ouvrages hydrauliques, sont les suivantes :

6. Dès que la hauteur d'eau à Thury-Harcourt a atteint 4,00 m :
   Barrer la rue du quai Charcot entre le giratoire et la tête amont des écluses
   Barrer la rue du canal
   Mettre en œuvre deux pompes thermiques de 750 m3 rue du quai Charcot à Ouistreham
   Mettre en œuvre une pompe de relèvement sur le fossé de ligne face au club d'aviron
8. Dès que le canal (Ouistreham) a atteint 4,4 mNGF [8,50 CM] et qu'il y a risque de ne plus maitriser son niveau
   Condamner le franchissement des écluses d'Ouistreham
   Mise en place des batardeaux (sacs de sable) devant Nauti-Plaisance
   Dépose et isolation des moyens de manouvre des ponts des Colombelles et de la Fonderie

   Mise en place des batardeaux (sacs de sable) au niveau de l'amont des écluses côté Ouest
10. Dès que le canal (Ouistreham) a atteint 4,6 mNGF [8,70 CM]
    Mettre en service l'éclairage sur le canal
    Fermeture du batardeau sur la voir départementale d'accès à la rue du quai Charcot
    Surveillance par les pompiers des berges Ouest du canal en amont de la vanne du camping des pommiers

9.1.2.2 Digue de Ouistreham

Lors de la rédaction de la présente étude de dangers, la surveillance est réalisée de manière informelle par la commune de Ouistreham. Le document réglementaire d'organisation et consignes écrites a été rédigé par ISL en parallèle de la rédaction de la présente EDD. Les éléments présentés ci-dessous sont extraits de ce document.

Les consignes écrites fixent les dispositions mises en œuvre pour surveiller l'ensemble de l'endiguement en période normale et en période de vigilance, à savoir :

- Les dispositions de surveillance en période normale : visites de surveillance programmées ; visites techniques approfondies et rapport de surveillance ;
- Les dispositions de surveillance en période de vigilance : en début de tempête, pendant la tempête et post-tempête ;
- Les dispositions de surveillance en période dégradée : visites consécutives à un évènement particulier.

Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période d'exploitation courante

L'objectif de la surveillance en période normale est d'assurer un entretien soigné et permanent de la digue et de ses abords permettant de maintenir les ouvrages à un niveau satisfaisant de sécurité et de détecter de manière précoce des amorces de désordres.

Surveillance et entretien courant

Le tableau suivant liste les tâches à réaliser et leur fréquence. Le chargé d'exploitation est désigné par le gestionnaire de l'ouvrage.

Intervention	Fréquence	Opérateur	Observations
Vie de l'ouvrage			
Registre	En continu	Chargé d'exploitation	A mettre à jour en continu
Dossier de l'ouvrage	En continu	Gestionnaire	A conserver sur support papier et placer dans un endroit accessible en toute circonstance
Surveillance courante			
Inspection visuelle	Bi-annuelle	Chargé d'exploitation	Inspection de toutes les parties visibles de l'ouvrage – selon fiche et procédure Inscrite dans le registre
Entretien			
Entretien de la végétation	Bi-annuelle	Chargé d'exploitation	Nettoyage de la végétation dans les joints du parement béton

Tableau 9-1 : entretien en période courante.

Inspection visuelle

Il est prévu une visite de surveillance bi-annuelle réalisée suite à l'entretien de la végétation afin de bénéficier de conditions de visibilité optimale. Elles sont réalisées durant la marée basse.

Le principe général de la surveillance consiste à parcourir intégralement à pied le linéaire de la digue en répertoriant toutes les informations visuelles sur les désordres ou les présomptions de désordres.

En annexe aux consignes est proposée une méthode pour la conduite de cette opération ainsi que les documents types pouvant servir de support.

Entretien et exploitation en période normale

L'entretien « normal » de l'ouvrage comprend :

- Entretien des perrés et parapets : reprises de béton au niveau des épaufrures et/ou fissures, débouchage des barbacanes, entretien/remplacement des mains courantes des escaliers.
- Entretien des épis : remplacement de fixation écrou/boulon, remplacement/renforcement de pieux et/ou palplanches bois, remplacement de moise, réfection/réalisation de liaison digue-épi, confortement des longrines de têtes.

Contrôle de la végétation

Deux interventions d'entretien de la végétation sont prévues par an au printemps et à l'automne afin de réduire la présence de végétation. Le contrôle de la végétation doit permettre :

- De maintenir des conditions de visibilité optimale des talus et des pieds de digue ;
- D'éviter le développement de racines et de dissuader les animaux fouisseurs d'élire domicile dans les digues.

Dans l'état actuel du système d'endiguement, la végétation est très peu développée sur la digue : quelques herbes peuvent se développer dans les joints entre les dalles béton. En crête, des espaces verts sont implantés : l'entretien consiste à éviter le développement de toute végétation ligneuse en crête.

Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période de tempête

Contraintes et objectifs à respecter

Les différents niveaux d'alerte donnés ci-après correspondent aux niveaux d'alerte retenus par la commune dans la gestion de l'évènement tempétueux en attendant les résultats de l'EDD.

En cas de constatation d'une inadaptation des seuils de déclenchement au déroulé des évènements, une concertation avec la commune pourra être menée afin d'affiner ces seuils (prise en compte de la force du vent, du coefficient de marée, de la phase de la marée, de la surcote, de la violence du déferlement…).

Au regard de la sécurité des agents sur site, il conviendra qu'ils adaptent leur intervention (niveau d'alerte pris en référence) en fonction des conditions réelles observées sur place. Il est de plus rappelé que les conditions climatiques peuvent évoluer très rapidement et qu'il est nécessaire d'en tenir compte lors des interventions sur l'ouvrage.

Définitions des scénarii de mise en alerte des acteurs

Trois niveaux d'alerte sont définis : jaune, orange, rouge, en fonction de l'alerte fournie par Météo France.

Afin de mieux se préparer, il est également recommandé au MOA d'être attentif aux marées d'équinoxes dont les dates sont fournies par les annuaires des marées où elles sont calculées à l'échelle régionale et nationale.

Sur la base des évènements passés, les mois d'octobre à mars ressortent comme les plus critiques**.**

Niveaux d'alerte	Conditions météorologiques associées	Fiabilité de l'ouvrage
1	Vigilance vagues-submersion Jaune Coefficient de marée compris entre 90 et 100	Légers franchissements sur la digue n'occasionnant pas d'inquiétude
2	Vigilance vagues-submersion Orange Coefficient de marée > 100 Vent de secteur Nord-Ouest à Nord-Est	Franchissements moyens pouvant rendre l'accès à l'ouvrage dangereux
3	Vigilance vagues-submersion Rouge Coefficient de marée > 110 Vent fort de secteur Nord-Ouest à Nord-Est Tout autre évènement local laissant craindre une aggravation du risque	Franchissements plus importants rendant l'accès à l'ouvrage dangereux et pouvant entraîner des écoulements vers les zones habitées

Tableau 9-2 : niveau d'alerte en fonction du type d'évènement météorologique.

Organisation de l'information

Réception des alertes

Le MOA est mis en alerte par la préfecture lorsque le département est mis en vigilance.

Sources d'information complémentaires à disposition du MOA

A réception de l'alerte de niveau jaune avec mise en vigilance du département par la préfecture, le MOA s'organise pour consulter régulièrement les sources d'informations complémentaires disponibles pour obtenir des informations sur :

- L'intensité du phénomène attendu : vitesse du vent ;
- Les conditions maritimes l'accompagnant : coefficient de marée, surcote, niveau de la houle … ;
- Les délais disponibles avant l'atteinte du pic d'intensité de l'évènement.

Plusieurs sources d'information complémentaire sont disponibles :

- Serveur internet Vigilance météo : meteofrance.com
- Il met à disposition une carte actualisée au moins deux fois par jour à 6h et 16h, ou plus fréquemment si un changement notable intervient. Elle signale si un danger menace un ou plusieurs départements dans les prochaines 24 heures et le type de danger : tempête, submersion, orage …. La carte s'accompagne de bulletins de vigilance pour les niveaux d'alerte orange et rouge ;
- Le site internet du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) (www.shom.fr) pour obtenir les informations sur les prévisions de marée (horaires et coefficients). L'annonce d'une marée à fort coefficient aggrave les conditions de hauteurs d'eau sur le site et peut conduire à modifier les interventions sur l'ouvrage. Les données du SHOM sont intégrées dans le niveau de vigilance météo correspondant au risque de submersion marine ;
- Le site internet du SHOM donne également des prévisions météo-marines et des prévisions d'états de mer à Ouistreham : http://data.shom.fr/oceanogramme/spot/OUISTREHAM
- Le site internet windguru sur la station de Ouistreham : https://www.windguru.cz/163 ;
- Le site internet de l'IFREMER pour obtenir les informations sur les prévisions de hauteur et de direction des vagues (http://marc.ifremer.fr).

Surveillance lors de la tempête

Des dispositions de surveillance de la digue sont formalisées afin :

- D'évaluer et suivre la sécurité des digues en situation de crise ;
- De recueillir des informations sur le comportement en charge des digues habituellement à sec.

Etat	Mesures mises en œuvre	Actions
Niveau 1	Suivi de l'évolution des conditions climatiques (1x/jour) Vérification des moyens humains et matériels disponibles	Consignation de l'évènement dans le registre
Niveau 2	Suivi de l'évolution des conditions climatiques (3X/jour) Visite de surveillance 1-2 h avant le pic d'intensité de l'évènement si possible avant la pleine mer, si coef. de marée > 100 Contrôle visuel des points les plus sensibles (points bas ou désordres connus) Vérification des moyens humains et matériels disponibles Evaluation de la nécessité d'interdire l'accès au public Visite de surveillance à marée basse lors du retour à la normale	Information des populations concernées par le risque Consignation de l'évènement dans le registre Compte-rendu au gestionnaire Information du public par affichage à chaque accès suite à la fermeture
Niveau 3	Suivi de l'évolution des conditions climatiques en continu Surveillance renforcée et intensifiée : - une visite complète pendant l'évènement, si possible (2 h avant la marée haute) ; - une visite complète après l'évènement (2 h après la marée haute). Fermeture de la promenade : voie piétonne, piste cyclable et boulevard Aristide Briand Visite de surveillance post-évènement	Information des populations concernées par le risque (évacuation sur décision du DOS) Contrôle intensifié des périmètres sensibles. Consignation de l'évènement dans le registre Compte-rendu au gestionnaire, aux maires et aux riverains Information du public par affichage à chaque accès suite à la fermeture

Tableau 9-3 : synthèse de la conduite à tenir selon le niveau d'alerte.

Règles de transmission d'information

L'exploitant communiquera les informations par téléphone, en fonction des niveaux d'état de vigilance, aux organismes mentionnés ci-dessous.

- Niveau 1 : Pas de transmission d'information ;
- Niveau 2 : Gestionnaire ;
- Niveau 3 :
  - Gestionnaire ;
  - Mairies et riverains ;
  - Service de protection civile de la Préfecture si anomalie grave constatée ;

- Service de contrôle (DREAL) à informer en fin d'événement (avec relevé d'observation).

Schéma de synthèse de la transmission et de la gestion de l'alerte entre les différents acteurs

Lorsque l'un des niveaux d'alerte est enclenché selon les états définis ci-avant, la procédure d'alerte suivante s'applique.

L'exploitant envoie une information mentionnant le nom de la digue, le niveau d'alerte, l'origine de l'alerte aux représentants du maître d'ouvrage qui transmettront aux services de l'Etat (Préfecture, DREAL).

Une fois l'information transmise l'exploitant et les représentants du maître d'ouvrage sont à la disposition des services de l'Etat concernés. Ces derniers assurent la gestion de l'alerte auprès des mairies via le Plan Communal de Sauvegarde.

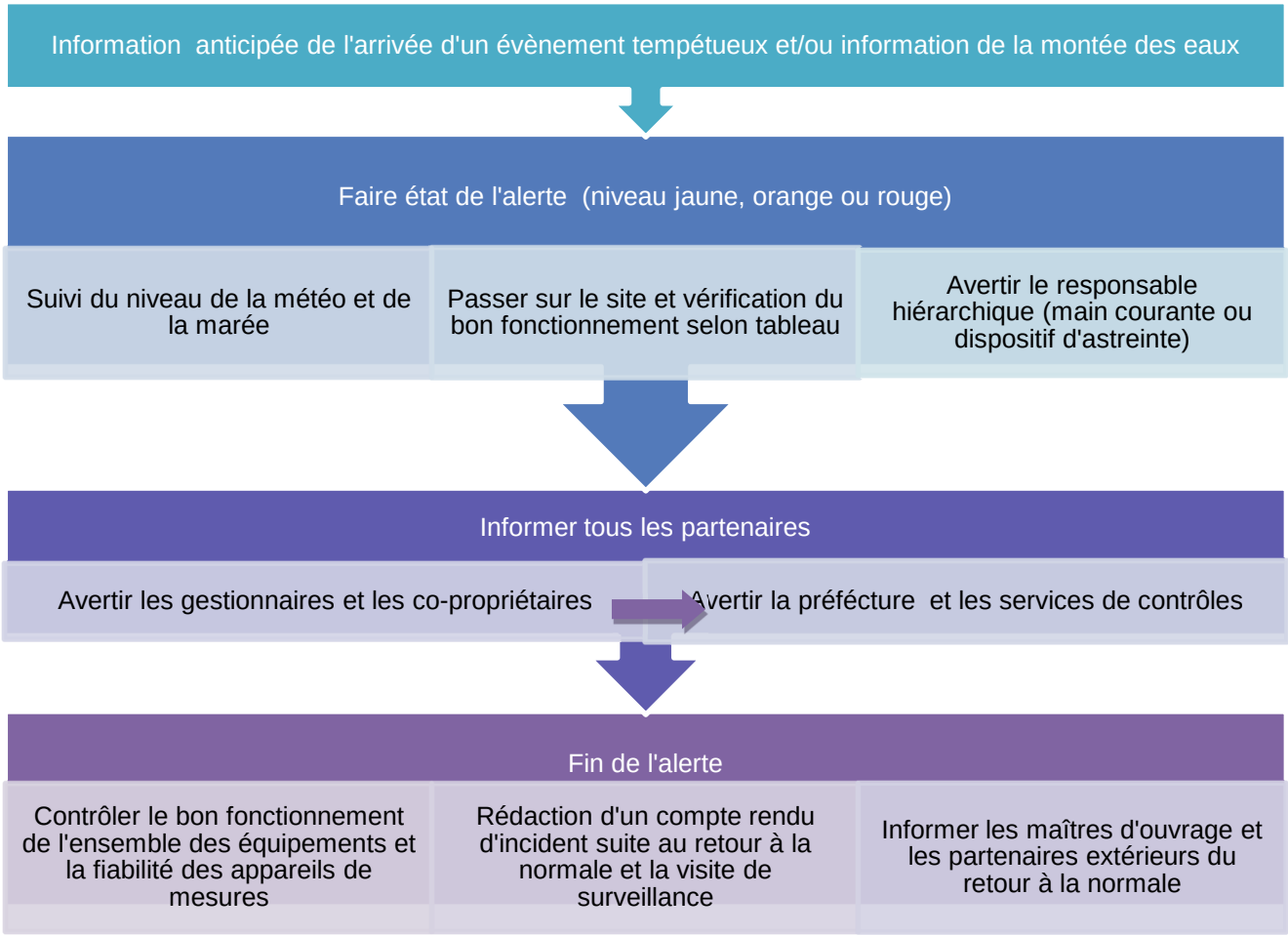


Figure 9-1 : organigramme du protocole de communication en cas d'alerte par l'exploitant.

Surveillance post-tempête

L'organisation mise en place lors de la montée en puissance de l'évènement climatique majeur doit rester mobilisée lors de la retombée de l'évènement en raison du risque persistant d'ouverture de brèche dans la digue.

Une surveillance de l'ouvrage est à conserver jusqu'à l'arrêt de la mise en alerte et, si besoin, au retrait des eaux au-delà du pied de la digue, permettant une observation de la totalité de l'ouvrage, si les conditions météorologiques le permettent.

La réalisation d'un rapport sur le déroulement de l'évènement et sa gestion par le personnel de l'exploitant est obligatoire lorsqu'il est atteint le niveau orange. Ce rapport est accompagné d'un compte rendu de visite de surveillance post-évènement qui est réalisée dans les 24 h suivant la fin de l'alerte.

Le rapport est complété par le relevé d'indice et de laisses de crues/mer permettant de connaître le niveau maximum atteint par l'eau (dépôt de branchage, traces sur les murs) et une vérification de l'état de l'ouvrage.

L'objectif est de répertorier, repérer et évaluer les désordres ou présomptions de désordres liées plus ou moins directement à l'état de charge que vient de supporter la digue. Le principe de la méthode est identique à l'inspection en période courante. Elle doit être réalisée dans les meilleurs délais après la tempête.

La coordination avec les services de l'Etat est à maintenir jusqu'à la levée de l'alerte par la préfecture.

Moyens d'intervention

Pour des raisons de sécurité du personnel, des travaux de confortement ou de colmatage de brèche sont à proscrire pendant l'évènement climatique et lors de sa montée en puissance.

Le MOA réalise les travaux rendus nécessaires par les constats effectués sur l'ouvrage en phase postérieure à l'évènement climatique majeur. Il a recours soit à une entreprise extérieure soit à ses propres moyens.

Ces travaux, a priori provisoires, ont pour objectif de :

- Stopper ou ralentir un processus de dégradation de la digue pouvant conduire à l'ouverture d'une brèche ;
- Colmater une ouverture pour stopper les venues d'eau.

En cas de réalisation de travaux touchant à la structure de l'ouvrage, il doit être fait appel à un bureau d'étude disposant de l'agrément pour leur suivi.

Les travaux sont conduits en prenant toutes les dispositions rendues nécessaires par la surcote de la mer et la présence éventuelle de grosses vagues et/ou de fortes rafales de vent. Si l'exécution des travaux ne peut être conduite dans des conditions de sécurité du personnel satisfaisantes, ils devront être immédiatement arrêtés et le site évacué.

Retour d'expérience suite à un évènement climatique majeur

Après chaque évènement majeur (tempête, séisme …) sur la côte Manche Est ayant déclenché une alerte, le MOA juge de la pertinence à mettre en place un retour d'expérience, en fonction du niveau de submersion atteint et des évènements vécus.

En cas de mise en place, ce REX est organisé par le MOA en impliquant l'ensemble des personnes ayant pris part à la gestion de l'alerte. Il est examiné entre autre :

- Les conditions météorologiques ;
- La chaîne d'information ;
- Les éventuelles difficultés rencontrées dans la mise en place de la surveillance tel que définie par la consigne ;
- L'efficacité de l'organisation ;
- …

Cette démarche est formalisée et ses conclusions sont transmises à tous les acteurs pour l'amélioration continue du processus.

Amélioration continue

En fonction des conclusions du retour d'expérience, la consigne d'exploitation de l'ouvrage sera révisée.

Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en cas d'évènements particuliers

En cas d'évènement particulier autre entraînant une anomalie, le propriétaire est tenu d'effectuer une inspection et de remettre dans les meilleurs délais un rapport des premières observations au Service de contrôle. Ce dernier décide de la nécessité d'une inspection exceptionnelle.

Les autres évènements peuvent être : séisme fort, désordres ou dysfonctionnements sur les ouvrages,…

Pour les évènements autres que les tempêtes : séisme, embâcle de glace, mouvement de terrain, pour lesquels le MOA recevrait un avis émis par la préfecture, une alerte de niveau orange sera déclenchée.

Le propriétaire (ou le représentant du maître d'ouvrage) d'une digue doit déclarer au préfet tout événement ou évolution concernant l'ouvrage ou son exploitation qui met en cause (ou est susceptible de mettre en cause) la sécurité des personnes ou des biens.

L'arrêté du 21 mai 2010 énumère ces évènements ou évolutions à déclarer (Arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration) notamment :

- Les Evénements Importants pour la Sûreté Hydraulique (E.I.S.H.) susceptibles d'entrainer : une atteinte à la sécurité des personnes (accident, mise en danger ou mise en difficulté) ; des dégâts aux biens (y compris lit et berges de cours d'eau et retenues) ou aux ouvrages hydrauliques ; etc. ;
- Toute déclaration d'un E.I.S.H. est adressée au préfet accompagnée d'une proposition de classification selon le niveau de gravité conforme aux échelles figurant à l'article 5 de l'arrêté du 21 mai 2010.pour une digue :
    - Immédiatement pour les EISH de couleur rouge : les évènements à caractère hydraulique ou consécutifs à une crue ayant entraîné :
        - Soit des décès ou des blessures graves aux personnes ;
        - Soit une inondation totale ou partielle de la zone protégée suite à une brèche ;
    - Dans un délai maximum d'une semaine pour les EISH de couleur orange : les évènements :
        - A caractère hydraulique ou consécutifs à une crue ayant entraîné une mise en danger des personnes sans qu'elles aient subi de blessures graves ;
        - Ayant entraîné des dégradations importantes de l'ouvrage, quelles que soient leurs origines, mettant en cause sa capacité à résister à une nouvelle crue et nécessitant une réparation en urgence.;
    - Dans une déclaration annuelle pour les EISH de couleur jaune :
        - Ayant conduit à une dégradation significative de la digue nécessitant une réparation dans les meilleurs délais, sans mise en danger des personnes.

En fonction du niveau de la gravité qu'il constate, le préfet peut demander au propriétaire ou à l'exploitant un rapport sur l'événement constaté.

- Déclaration à la DREAL lien vers les fiches déclaration / analyse des EISH Digues.

9.1.2.3 Digue d'Hermanville

Des consignes de surveillance existent depuis 2012 sur l'ouvrage. Elles ont été rédigées et mises à jour en septembre 2013 par l'Association Syndicale Autorisée.

Dispositions relatives aux visites de surveillance

Une visite de surveillance trimestrielle est assurée par les membres de l'ASA. C'est un contrôle visuel de l'état de la digue et du niveau d'ensablement.

Elle est assurée par un membre du bureau syndical.

Elle est réalisée tous les 3 mois et après chaque évènement exceptionnel (tempête avec forte dépression et grande marée).

L'observateur parcourra toute la longueur de l'ouvrage d'abord sur le sommet du perré en observant le sommet de la partie bétonnée et le bitume. Ensuite il fera un deuxième passage en contrôlant l'état de la pente et l'ensablement.

L'auditeur se servira du relevé précédent.

Les observations seront rapportées sur le registre d'ouvrage qui sera émargé. Des photographies des nouveaux désordres seront faites, ainsi que les évolutions notoires des désordres existants.

La fiche de visite datée et signée indiquera les conditions météorologiques, l'état de la marée et les éventuels évènements particuliers.

Si des travaux de réparation s'avèrent urgents, le président sera alerté pour lancer les actions.

Dispositions relatives aux visites techniques approfondies

Conformément à l'arrêté préfectoral, les visites techniques approfondies seront réalisées tous les ans.

Nota : *les consignes n'ont pas été mises à jour depuis la nouvelle réglementation qui a modifié la fréquence réglementaire des VTA. Dans le cas d'un ouvrage de classe B, la fréquence des visites techniques approfondies (VTA) doit désormais se faire tous les cinq ans ou à l'issue de tout évènement ou évolution déclarée et susceptible de provoquer un endommagement de l'ouvrage.*

Ces visites seront effectuées conjointement par un bureau d'étude agréé et par au moins un membre du bureau syndical.

L'état de l'ouvrage sera contrôlé dans les détails. On observera les éventuels mouvements relatifs des différents tronçons entre eux, le niveau de sable, les failles ou cassures diverses, l'état général du béton et l'évolution par rapport à l'année précédente.

Le rapport de VTA indiquera l'état de l'ouvrage avec des photographies des éléments remarquables. Il indiquera les risques que les éventuels désordres peuvent faire courir à la digue. Une liste de recommandations sera éditée.

Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en cas de risque de submersion

Présentation des états

1. Normal : temps cléments, marées normales
2. Veille : Fortes tempêtes avec forte dépression par marée haute avec gros coefficient
3. Alerte :
    - Tempête exceptionnelle avec niveau d'alerte rouge de météo-France, marée haute et fort coefficient
    - Erosion rapide du sable dégageant le pied de l'ouvrage

Moyens d'anticipation

Suivi météorologique, coordination avec les services de la préfecture

9.2 RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE QUI REALISE L'ETUDE DE DANGERS

9.2.1 SOUS-SYSTEME COLOMBELLES

9.2.1.1 Recommandations pour la surveillance et l'entretien

Les consignes de surveillance et d'entretien doivent comprendre les éléments suivants :

- Elément de cadrage de l'organisation :
  - Cadre réglementaire ;
  - Gestion des ouvrages ;
  - Description des ouvrages.
- Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période d'exploitation normale :
  - Définition des modalités des visites de surveillance (parcours, points particuliers, fiches type à remplir,…) ;
  - Modalités de l'entretien courant (petits travaux, végétation,…).
- Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période de crue
  - Définition des différents niveaux d'alerte et dispositions spécifiques à prendre en termes de surveillance, de transmission de l'information pour chaque niveau d'alerte ;
  - Préciser les moyens d'intervention en cas de détection d'un désordre important en période de tempête ;
  - Préciser les sources d'informations utilisées pour le suivi de l'évènement ;
  - Préciser l'organisation vis-à-vis du retour d'expérience de chaque évènement particulier.
- Note d'organisation propre au gestionnaire pour la mise en œuvre des consignes de surveillance et d'entretien ;
- Liste des contacts et coordonnées de l'ensemble des services concernés.

Ces consignes sont à mettre à jour régulièrement (tous les ans), notamment la liste des contacts.

Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période d'exploitation normale

La surveillance en période d'exploitation normale n'appelle pas de commentaires particuliers. Les intervenants sont identifiés mais il manque une liste de contacts annexée au document.

Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période de crue/tempête

Les consignes de surveillance abordent la phase d'exploitation en crue. Il en ressort :

- Le principal aléa déclenchant l'alerte est la crue de l'Orne, en particulier pour ce qui est de la vigilance orange et rouge ;
- De la même façon que pour l'exploitation en période normale, il manque une liste de contacts.

L'étude de dangers met en évidence qu'en état de fonctionnement normal, le principal aléa est l'aléa marin. Il conviendrait donc de rajouter le suivi des niveaux au port de Ouistreham (marégraphe exploité par Ports Normands).

Rappelons que les prévisions de niveaux marins demeurent encore complexes, qui plus est en milieu estuarien avec les apports fluviaux, même à courte échéance de quelques heures : la DREAL Normandie a lancé depuis 2015 une réflexion pour la définition d'un système de vigilance adapté au contexte local sur le littoral bas-normand.

9.2.1.2 Rappel des recommandations de la visite technique approfondie

La visite technique approfondie réalisée en 2017 par ISL avait mis en évidence un désordre de gravité 3 (dégradé mais n'affectant pas l'intégrité de l'ouvrage) dont la réparation avait été recommandée pour éviter toute dégradation pouvant entrainer un problème structurel sur la digue.

Pour rappel, l'unique désordre de gravité 3 rencontré correspond à un affaissement au niveau de la crête sur un ouvrage traversant.

La réparation de ce désordre de gravité 3 est donc préconisée également dans les présentes conclusions de l'étude de dangers.

9.2.2 SOUS-SYSTEME CANAL-LITTORAL

Les cordons dunaires ne sont pas explicitement inclus comme des ouvrages du système d'endiguement. Les perrés d'Hermanville-sur-Mer et de Ouistreham, qui assure la protection contre l'érosion du cordon dunaire sur les deux communes, sont ainsi intégrés comme ouvrages contributifs du système d'endiguement. Les mesures de surveillance mise en place sur ces deux ouvrages apparaissent adaptées au regard du faible risque de rupture du cordon dunaire.

10 CHAPITRE 10 : CARTOGRAPHIE

10.1 CARTES ADMINISTRATIVES

10.2 CARTES DES VENUES D'EAU

11 BIBLIOGRAPHIE

Alp'Géorisques - IMDC. (2014). *PPRL Bessin et Dives-Orne - Phase 1 : Analyse préalable des sites.* DDTM du Calvados.

Alp'Géorisques - IMDC. (2015). *PPRL Bessin et Dives-Orne - Cartographie des aléas littoraux - Secteur Dives-Orne.* DDTM du Calvados.

Boudiere Edwige, M. C.-G. (2013). A suitable metocean hindcast database for the design of Marine energy converters. *International Journal of Marine Energy, 3-4*, pp. e40-e52.

BRGM. (2014). *Méthodologie de détermination du recul maximal des dunes pour les évènements extrêmes - BRGM/RP-63157-FR.* BRGM.

Cerema. (Juin 2018). *Etude de dangers de systèmes d'endiguement - Concepts et principes de réalisation des études.*

CETMEF. (2013). *Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes - Environnements maritime et estuarien.* CETMEF.

Charier. (2015). *Note de calcul du rideau - Confortement de berges de l'Orne à Colombelles.*

CIRIA. (1996). *Beach Management Manual.* CIRIA.

CIRIA/CUR/CETMEF. (2009). *Guide Enrochement - L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques - Version française du Rock Manual.* CETMEF.

DREAL Basse-Normandie. (septembre 2014). *Territoire à risque important de Caen – Cartographie des aléas et des enjeux – Rapport explicatif.*

EDF R&D - LCHF. (1986). *Catalogue sédimentologique des côtes françaises - Côtes de la Mer du Nord et de la Manche.* Eyrolles.

GRESARC. (2002). *Suivi de l'évolution des côtes du département du Calvados - novembre 1995-février 2002 - Analyses.* Conseil Général du Calvados.

Institution Interdépartementale du Bassin de l'Orne. (septembre 2011). *Programme d'actions de prévention des inondations des bassins versants de l'Orne et de la Seulles – Diagnostic du territoire.*

ISL-Ingénierie. (2017). *Etude de dangers de la digue berge Ouest du canal de Caen à la mer.* PNA.

Météo France. (juillet 1999). *Estimation des hauteurs de précipitations d'occurrence rare pour des durées de cumul de 1 à 10 jours sur 3000 postes français.*

SEMOFI. (2015). *Confortement des berges de l'One - Chemin de Halage Colombelles - Rapport d'étude géotechnique préalable et rapport d'étude de conception.*

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. (2012). *Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique).* SHOM/CETMEF.

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. (2014). *Référence Altimétriques Maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée.* SHOM.

SOCOTEC. (2015). *Etude de dangers - Digue de Caffarelli.*

SOGREAH. (mars 1999). *Etude hydraulique sur modèles mathématique et physique des aménagements de lutte contre les inondations dans l'agglomération caennaise.* Syndicat Mixte de lutte contre les inondations dans la vallée de l'Orne et son bassin versant.

SOGREAH. (septembre 2005). *Modélisation comparative des aménagements préconisés en 1999 et de la situation réelle en 2005.* Syndicat Mixte de lutte contre les inondations dans la vallée de l'Orne et son bassin versant.

Van der Meer J.W, &. a. (2016). *Eurotop 2016 - Manual on wave overtopping of sea defences and related structures.*

ANNEXE 1 ARRETES PREFECTORAUX DE CLASSEMENT ET DE RECONNAISSANCE D'EXISTENCE

ANNEXE 2 ETUDE HYDRAULIQUE