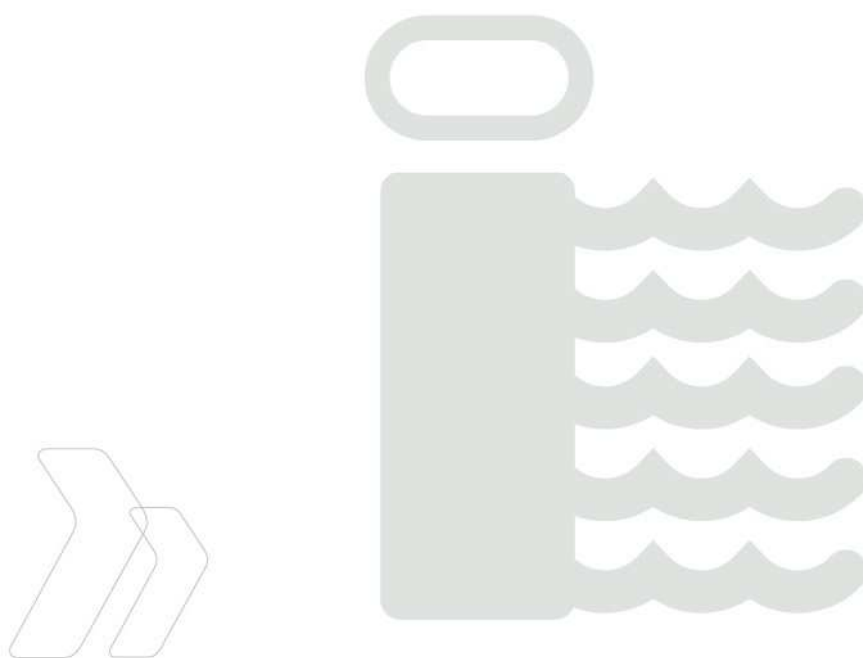


Infrastructures
Aménagements
hydrauliques



**Syndicat Mixte de Lutte
Contre les Inondations**

SYNDICAT MIXTE DE
LUTTE CONTRE LES
INONDATIONS

SYSTEMES D'ENDIGUEMENT DANS L'AGGLOMERATION
CAENNAISE

Rapport d'étude de dangers

LOUVIGNY

Rapport n° : 20F-201-RP-3

Révision n° : A

Date : 10/12/2021

Votre contact :
Olivier BARBET
barbet@isl.fr

Rapport

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 10/12/2021.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	10/12/2021	OBA	OBA	OBA	Version pour dépôt du dossier au 31 décembre 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	SYSTEMES D'ENDIGUEMENTS SUR LE TERRITOIRE DE LA CU CAEN LA MER	3
0.3.2	SYSTEME D'ENDIGUEMENT LOUVIGNY	3
0.4	LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE PROTECTION	5
0.4.1	FONCTIONNEMENT « NORMAL » - NIVEAU DE PROTECTION	5
0.4.2	SCENARIOS DE DEFAILLANCE	5
0.4.2.1	Défaillance fonctionnelle	5
0.4.2.2	Défaillance structurelle	6
1	CHAPITRE 1 : RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	10
1.1	IDENTIFICATION DU GESTIONNAIRE	10
1.1.1	SYSTEME D'ENDIGUEMENT	10
1.1.2	GESTIONNAIRE IDENTIFIE	10
1.2	IDENTIFICATION DE L'ORGANISME AGREE	10
1.3	RAPPEL DES AUTORISATIONS EXISTANTES	11
1.4	DATE DE REMISE OFFICIELLE DE L'EDD AU PREFET	12
1.5	AUTRES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES (ARTICLE R 562-18)	12
2	OBJET DE L'ETUDE	13
2.1	CADRE DANS LEQUEL L'EDD EST REALISEE	13
2.2	LISTE DES COMMUNES CONCERNEES PAR LA ZONE PROTEGEE ET SES EVENTUELLES SOUS-PARTIES	14
2.3	LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE ET DE SES EVENTUELLES SOUS PARTIES	14
2.4	LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES	15
2.4.1	LOCALISATION	15
2.4.2	DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES	16
2.4.2.1	Tronçon LOU_01	16
2.4.2.2	Tronçon LOU_02 – « Jardin Rouge »	16

2.4.2.3	Tronçon LOU_03	16
2.4.2.4	Tronçons LOU_04 et LOU_05 – « petite digue »	16
2.4.2.5	Tronçons LOU_06, LOU_07 et LOU_08 – « grande digue »	17
2.4.2.6	Tronçons LOU_09 – carrefour RD202b et RD202c	17
2.4.2.7	Emissaire pluvial	17

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	18
3.1.1	CARTOGRAPHIES	18
3.1.2	COMMUNES DE LA ZONE PROTEGEE	19
3.1.3	COMMUNES RELEVANT DE L'AUTORITE COMPETENTE POUR LA PREVENTION DES INONDATIONS	19
3.1.4	DEFINITION DE LA ZONE PROTEGEE	20
3.1.4.1	Estimation de la population protégée	20
3.1.4.2	Estimation du nombre de salariés dans la zone protégée	21
3.1.4.3	Estimation du nombre de personnes dans les établissements recevant du public (ERP)	22
3.1.4.4	Synthèse – population protégée totale	22
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	23
3.2.1	SYNTHESE DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	23
3.2.1	SYNTHESE DE L'ETUDE GEOLOGIQUE	23
3.3	DESCRIPTION DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES	24
3.3.1	CELLULE HYDRO-SEDIMENTAIRE CONCERNEE	24
3.3.2	ELEMENTS CONSTITUANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT	24
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	43
3.4.1	DONNEES HISTORIQUES	43
3.4.2	ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	43
3.4.3	ANALYSE DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES COMPLEMENTAIRES	44
3.4.4	NIVEAU DE PROTECTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	44

3.4.5	ANALYSE DES SITUATIONS DEPASSANT LE NIVEAU DE PROTECTION	44
3.4.6	ANALYSE DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE	44
4	CHAPITRE 4 : CARACTERISATION DES ALEAS	47
4.1	HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET MORPHODYNAMIQUE GLOBALE DU COURS D'EAU OU DU SECTEUR HYDROSEDIMENTAIRE MARITIME	47
4.1.1	HYDRODYNAMIQUE GENERALE EN BAIE DE SEINE	47
4.1.2	MORPHODYNAMIQUE GENERALE EN BAIE DE SEINE	48
4.2	HYDROLOGIE, HYDRAULIQUE ET MORPHODYNAMIQUE LOCALE	50
4.2.1	HYDROLOGIE – LES CRUES DE L'ORNE	50
4.2.1.1	Ajustement statistique des débits de crues à la station de May-sur-Orne	50
4.2.1.2	Estimation des fréquences rares – méthode du Gradex	52
4.2.1.3	Application au bassin versant à Caen	52
4.2.2	MORPHODYNAMIQUE LOCALE	54
4.3	EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS	54
4.4	TRANSPORTS SEDIMENTAIRES	54
4.5	SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES	55
4.5.1	CONTEXTE GEOLOGIQUE	55
4.5.2	SEISMES	56
4.5.3	TSUNAMI	57
5	CHAPITRE 5 : DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	59
5.1	OUVRAGES EXISTANTS	59
5.2	OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER	78
5.2.1	AQUA-BARRIERES	78
5.2.2	MERLONS DE TERRE	78
5.2.3	DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	80
6	CHAPITRE 6 : RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE ET LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT	84
6.1	INCIDENTS ET ACCIDENTS CONNUS SUR LES OUVRAGES COMPOSANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT	84
6.1.1	CRUES DE JANVIER 1995 ET DE JANVIER 2001	84
6.1.2	CRUES APRES LES TRAVAUX DE PROTECTION MENES PAR LE SMLCI DE LA VALLEE DE L'ORNE	84
6.1.3	CARACTERISTIQUES DES CRUES HISTORIQUES SIGNIFICATIVES	85

6.2	EISH DU 24 DECEMBRE 2020	85
6.3	ACCIDENTOLOGIE GENERALE DES DIGUES EN REMBLAI	85
6.3.1.1	Rupture par surverse	85
6.3.1.2	Rupture par érosion externe	86
6.3.1.3	Rupture par érosion interne	87
6.3.1.4	Rupture par instabilité	90
7	CHAPITRE 7 : DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES	92
7.1	STRUCTURE ET CARACTERISTIQUE DES OUVRAGES	92
7.1.1	APERÇU GENERAL	92
7.1.2	GEOMETRIE ET STRUCTURE	94
7.1.2.1	Tronçon LOU_01	94
7.1.2.2	Tronçon LOU_02	95
7.1.2.3	Tronçon LOU_03	96
7.1.2.4	Tronçon LOU_04	97
7.1.2.5	Tronçon LOU_05	99
7.1.2.6	Tronçon LOU_06	101
7.1.2.7	Tronçon LOU_07	102
7.1.2.8	Tronçon LOU_08	104
7.1.2.9	Tronçon LOU_09	105
7.1.3	CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES	106
7.1.4	ETAT	107
7.1.5	OUVRAGES TRAVERSANTS	111
7.2	STRUCTURE ET CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS NATURELS	112
7.3	PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – METHODOLOGIE	113
7.3.1	GENERALITES	113
7.3.2	CARACTERISATION DES SCENARIOS ETUDIES	114
7.3.2.1	Rupture par surverse	114
7.3.2.2	Rupture par érosion interne	115
7.3.2.3	Rupture par glissement	118
7.3.2.4	Rupture par érosion externe côté Orne	119
7.4	PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	120
7.4.1	DEFINITION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE	120
7.4.2	DEFINITION DES SOLLICITATIONS	120

7.4.3	ANALYSE DE LA PERFORMANCE PAR SCENARIO DE RUPTURE	121
7.4.3.1	CL1 – rupture par surverse	121
7.4.3.2	CL2 – rupture par érosion interne	121
7.4.3.3	CL3 – rupture par glissement de talus côté terre	123
7.4.3.4	CL4 – rupture par glissement de talus côté Orne	125
7.4.3.5	CL5 – rupture par érosion externe	126
7.4.3.6	Synthèse – niveau de sûreté et niveau de danger	127
7.5	PERFORMANCES DES ELEMENTS NATURELS	128
7.6	DEFINITION DES NIVEAUX DE PROTECTION	128
8	CHAPITRE 8 : ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE	129
8.1	PREAMBULE	129
8.2	SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	129
8.3	SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	131
8.3.1	SCENARIO 2-F-J	131
8.4	SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	133
9	PRESENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS	135
9.1	DESCRIPTION DES MOYENS MIS EN PLACE POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN COURANT AVEC L'OBJECTIF DE PROTECTION GARANTI	135
9.2	RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE QUI REALISE L'ETUDE DE DANGERS	135
9.2.1	RECOMMANDATIONS POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN	135
9.2.1.1	Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période d'exploitation normale	135
9.2.1.2	Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période de crue/tempête	136
9.2.2	RAPPEL DES RECOMMANDATIONS DE LA VISITE TECHNIQUE APPROFONDIE	136
10	CHAPITRE 10 : CARTOGRAPHIE	137
10.1	CARTES ADMINISTRATIVES	137
10.2	CARTES DES VENUES D'EAU	137

11 BIBLIOGRAPHIE 138

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 venues d'eau possibles jusqu'au niveau de protection et avec défaillances des ouvrages annexes.	6
Figure 0-3 : carte des venues d'eau possibles au-delà du niveau de protection et avec rupture des ouvrages.	7
Figure 2-1 : délimitation de la zone protégée – Louvigny.	14
Figure 2-2 : carte de situation générale des ouvrages constituant le système d'endiguement.	15
Figure 2-3 : carte de localisation des ouvrages constituant le système d'endiguement.	16
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.	18
Figure 3-2 : délimitation de la zone protégée.	19
Figure 3-3 : enjeux habitats et populations dans la zone protégée.	21
Figure 4-1 : bassin versant de l'Orne.	50
Figure 4-2 : ajustement à une loi de Gumbel des débits de crues à la station de May-sur-Orne.	51
Figure 4-3 : débits de pointe des crues fréquentes à la station de May-sur-Orne.	51
Figure 4-4 : débits de pointe de l'Orne à May-sur-Orne.	52
Figure 4-5 : débits de pointe de l'Orne à Caen.	53
Figure 4-6 : hydrogrammes de crues de l'Orne à Caen.	53
Figure 4-7 : contexte géologique (extrait de la carte géologique de France au 1/50 000 ^{ème} , feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre)).	55
Figure 5-1 : dispositif Aqua-barrières.	78
Figure 5-2 : localisation des brèches du système d'endiguement de Louvigny.	79
Figure 6-1 : maxima annuels de débits enregistrés aux stations de Thury-Harcourt et May-sur-Orne sur l'Orne.	84
Figure 6-2 : Mécanisme de rupture par surverse.	86
Figure 6-3 : Rupture de digue par surverse du Vidourle à Marsillargues lors de la crue de septembre 2002 (source : mairie de Marsillargues).	86

Figure 6-4 : Mécanisme de rupture par érosion externe. _____	86
Figure 6-5 : Mobilité fluviale du Var ayant "emporté" un linéaire de la digue de Guillaumes (source : ONF Alpes Maritimes) _____	87
Figure 6-6 : Illustration d'un chablis sur la digue de l'Agly Maritime (ISL, 2019) _____	87
Figure 6-7 : Illustration de la suffusion _____	88
Figure 6-8 : Illustration de l'érosion régressive _____	88
Figure 6-9 : Illustration de l'érosion de conduit _____	88
Figure 6-10 : Illustration de l'érosion de contact _____	88
Figure 6-11 : Mécanisme de rupture par érosion interne Erreur ! Source du renvoi introuvable. _	89
Figure 6-12 : Dignes de l'Agly – Erosion de talus et débouché du fontis (source : ISL) _____	89
Figure 6-13 : Renard le long d'une conduite sur la digue de Cuxac-d'Aude lors de la crue de novembre 1999 (source : IRSTEA), ayant occasionné un écoulement de plusieurs centaines de litres secondes à travers la digue - brèche en cours de formation _____	89
Figure 6-14 : Fontis dans la digue de la station INRA de Saint Pée sur Nivelles (source : ISL) _____	90
Figure 6-15 : Glissement superficiel affectant un corps de digue en terre. _____	90
Figure 6-16 : Glissement rotationnel profond affectant un corps de digue en terre et sa fondation. _____	91
Figure 6-17 : Illustration des différents modes de rupture associés à un mur posé sur une digue en remblai. _____	91
Figure 7-1 : localisation des tronçons du système d'endiguement de Louvigny. _____	93
Figure 7-2 : profil en long – Louvigny. _____	93
Figure 7-3 : profils du tronçon LOU_01. _____	94
Figure 7-4 : altimétrie le long du tronçon LOU_01 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	95
Figure 7-5 : profils du tronçon LOU_02. _____	96
Figure 7-6 : altimétrie le long du tronçon LOU_02 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	96
Figure 7-7 : profils du tronçon LOU_03. _____	97
Figure 7-8 : altimétrie le long du tronçon LOU_03 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	97
Figure 7-9 : profils du tronçon LOU_04. _____	98
Figure 7-10 : vues générales du tronçon LOU_04. _____	98
Figure 7-11 : altimétrie le long du tronçon LOU_04 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	99
Figure 7-12 : profils du tronçon LOU_05. _____	100
Figure 7-13 : vues générales du tronçon LOU_05. _____	100
Figure 7-14 : aperçu du montage du dispositif d'Aqua-barrières lors du test de 2019. Détail de la jonction sur le mur en béton (LOU_06). _____	100
Figure 7-15 : altimétrie le long du tronçon LOU_05 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	101

Figure 7-16 : profils du tronçon LOU_06. _____	102
Figure 7-17 : altimétrie le long du tronçon LOU_06 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	102
Figure 7-18 : profils du tronçon LOU_07. _____	103
Figure 7-19 : altimétrie le long du tronçon LOU_07 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	103
Figure 7-20 : profils du tronçon LOU_08. _____	104
Figure 7-21 : altimétrie le long du tronçon LOU_08 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	105
Figure 7-22 : profils du tronçon LOU_09. _____	105
Figure 7-23 : altimétrie le long du tronçon LOU_09 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection). _____	106
Figure 7-24 : position des sondages à Louvigny. _____	106
Figure 7-25 : extrait de la fiche de déclaration d'EISH. _____	109
Figure 7-26 : compte-rendu photographique des travaux de réparation – octobre 2021. _____	110
Figure 7-27 : localisation des ouvrages traversants. _____	111
Figure 7-28 : clapets n°3 et 4 – clapet n°5. _____	111
Figure 7-29 : clapets n°6 et 7. _____	112
Figure 7-30 : caractéristiques des couches du modèle géotechnique. _____	123
Figure 7-31 : application de la charge transmise par les Aqua-barrières. _____	124
Figure 7-32 : confortement des berges en enrochements. _____	127
Figure 8-1: définition des venues d'eau pour la représentation cartographique. _____	129
Figure 8-2 : carte des venues d'eau – scénario 1. _____	130
Figure 8-3 : carte des venues d'eau – scénario 2. _____	132
Figure 8-4 : carte des venues d'eau – scénario 3. _____	134

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 0-1 : proposition de niveau de protection – Louvigny.	5
Tableau 1-1 : éléments constituant le système d'endiguement – Louvigny.	10
Tableau 1-2 : renseignements administratifs – Digue de Louvigny.	11
Tableau 2-1 : cadre de l'étude de dangers.	13
Tableau 2-2 : liste des communes concernées par la zone protégée.	14
Tableau 3-1 : liste des communes de la Communauté Urbaine Caen la mer.	20
Tableau 3-2 : principaux établissements employeurs dans la zone protégée.	22
Tableau 3-3 : principaux établissements employeurs dans la zone protégée.	22

Tableau 3-4 : débits de pointe de l'Orne à Caen.	23
Tableau 3-5 : hauteurs d'eau de différentes périodes de retour à l'échelle d'annonce des crues de Thury-Harcourt.	23
Tableau 3-6 : analyse fonctionnelle générale.	43
Tableau 3-7 : proposition de niveau de protection – Louvigny.	44
Tableau 4-1 : courant pendant un cycle de marée en Manche (GEOMER – MIMEL / DREAL de basse-Normandie, 2010).	47
Tableau 4-2 : transit sédimentaire le long des côtes normandes (EDF R&D - LCHF, 1986).	49
Tableau 4-3 : zonage sismique de la France.	56
Tableau 4-4 : épicerie 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).	57
Tableau 4-5 : liste des tsunamis observés sur les côtes de Normandie.	57
Tableau 4-6 : tsunamis constatés sur les côtes de France.	58
Tableau 4-7 : liste de faux tsunamis sur les côtes de Normandie.	58
Tableau 5-1 : analyse fonctionnelle générale.	80
Tableau 5-2 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_01.	80
Tableau 5-3 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_02.	81
Tableau 5-4 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_03.	81
Tableau 5-5 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_04.	81
Tableau 5-6 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_05.	81
Tableau 5-7 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_06.	82
Tableau 5-8 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_07.	82
Tableau 5-9 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_08.	82
Tableau 5-10 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_09.	82
Tableau 6-1 : caractéristiques des principales crues historiques.	85
Tableau 7-1 : typologie des tronçons constituant le système d'endiguement de Louvigny.	92
Tableau 7-2 : paramètres intrinsèques des sols.	107
Tableau 7-3 : synthèse des désordres – Louvigny.	108
Tableau 7-4 : présentation de la méthode multi-scénario (<i>P</i> désigne la probabilité de rupture). ...	113
Tableau 7-5 : rappel des différents niveaux caractéristiques à définir.	113
Tableau 7-6 : approche à dire d'expert basée sur le retour d'expérience.	114
Tableau 7-7 : mécanisme de rupture par érosion externe côté terre.	114
Tableau 7-8 : grille de résistance à la surverse en fonction de la nature des ouvrages.	115
Tableau 7-9 : mécanisme de rupture par érosion interne.	116
Tableau 7-10 : gradients critiques d'érosion selon Bligh (1927) et Lane (1935).	117
Tableau 7-11 : appréciation du gradient moyen (H en m et L en m).	117
Tableau 7-12 : grille de résistance à l'érosion interne.	118

Tableau 7-13 : mécanisme de rupture par glissement.....	118
Tableau 7-14 : mécanisme de rupture par érosion externe côté fleuve ou côté mer.....	119
Tableau 7-15 : scénarios de rupture et d'inondation – Louvigny.....	120
Tableau 7-16 : définitions des sollicitations – Louvigny.	120
Tableau 7-17 : probabilité de rupture par surverse.....	121
Tableau 7-18 : facteurs correctifs appliqués.....	122
Tableau 7-19 : probabilité de rupture par érosion interne.	123
Tableau 7-20 : probabilité de glissement.....	124
Tableau 7-21 : probabilité de rupture par glissement de talus côté terre.	125
Tableau 7-22 : probabilité de rupture par glissement de talus côté Orne.....	126
Tableau 7-23 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le système d'endiguement de Louvigny.	127
Tableau 7-24 : proposition de niveau de protection – Louvigny.....	128

|

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 Louvigny contre les inondations de l'Orne.

Cette autorisation a pour objet de déclarer le système d'endiguement pour la protection contre 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 1^{er} janvier 2018.

Par convention relative à l'exercice de la compétence GEMAPI en date du 21 février 2020, le Département du Calvados et la CU Caen la mer, tous deux membres du SMLCI, ont formalisé le transfert de compétence GEMAPI au SMLCI pour les ouvrages dont le SMLCI est propriétaire et/ou le gestionnaire « historique ».

Le Syndicat Mixte de Lutte Contre Les Inondations dans la vallée de l'Orne et son bassin versant (SMLCI) est donc le demandeur de la présente autorisation.

0.3 LA DEMANDE DE DECLARATION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

0.3.1 SYSTEMES D'ENDIGUEMENTS SUR LE TERRITOIRE DE LA CU CAEN LA MER

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 du système d'endiguement dit « Louvigny » contre les inondations de l'Orne.

La demande d'autorisation est portée par le **Syndicat Mixte de Lutte Contre les Inondations (SMLCI)**.

0.3.2 SYSTEME D'ENDIGUEMENT LOUVIGNY

La « petite digue » et la « grande digue » de Louvigny, qui constituent 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 inondations de l'Orne, le système de protection est défini par plusieurs tronçons d'ouvrages. Au total, 9 tronçons ont été définis.

Des ouvrages contributifs sont présents pour assurer le bon fonctionnement du système ; ce sont 9 exutoires du réseau d'eaux pluviales qui assurent l'évacuation des eaux de pluies dans la zone protégée. Ces 9 exutoires sont munis de clapets anti-retour pour éviter le reflux des eaux de l'Orne.

Ce système d'endiguement a pour vocation de protéger un territoire contre les inondations de l'Orne ; ce territoire est appelé « **zone protégée** ».

La zone protégée définie s'étend sur 16,5 ha sur la commune de Louvigny. Elle correspond aux terrains qui pourraient être inondés si l'on considérait l'absence des digues.

La population exposée est estimée à **766 personnes [507 ; 1 433]** dans cette zone.

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

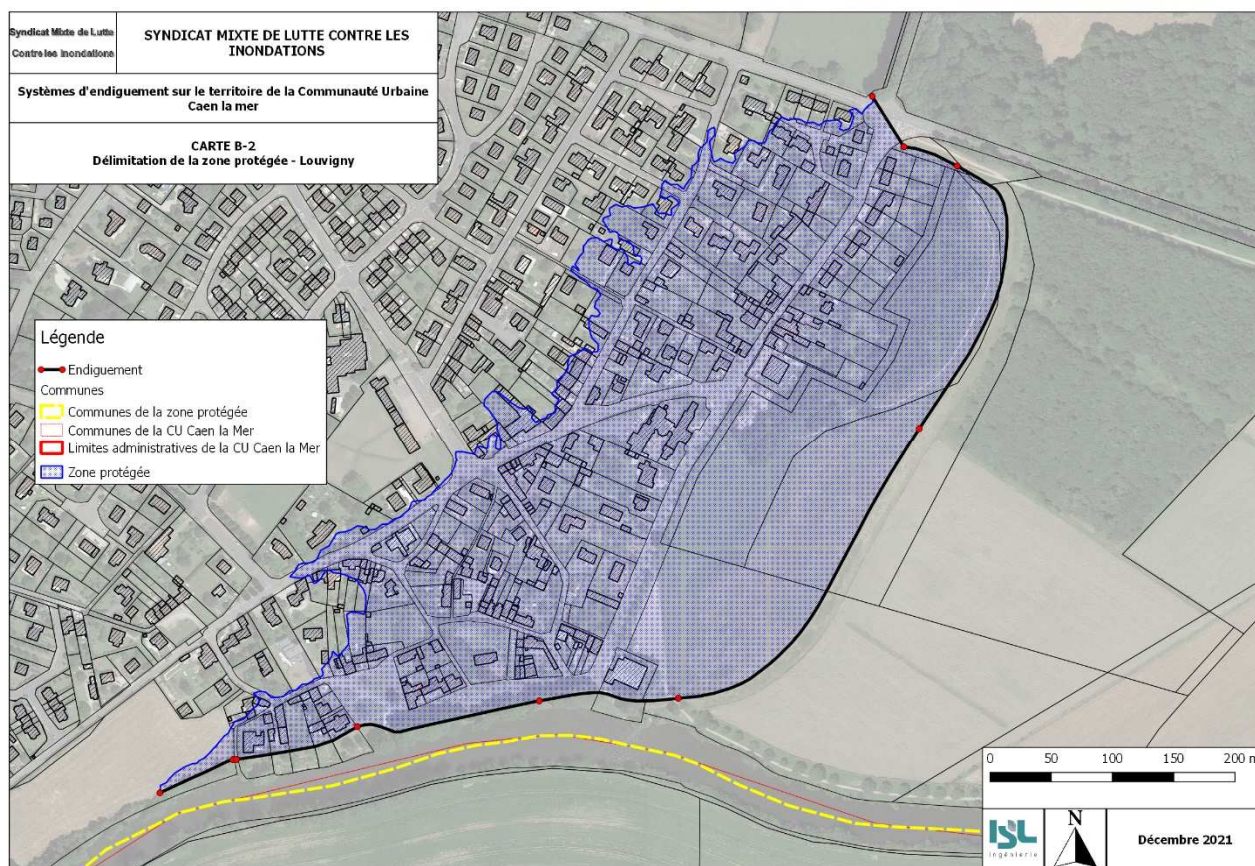


Figure 0-1 : carte des ouvrages du système de protection et de la zone protégée.

Le gestionnaire du système d'endiguement, le SMLCI, 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 SMLCI s'appuie sur la commune de Louvigny 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 d'eau de l'Orne en crue jusqu'auquel les digues sont en mesure d'empêcher toute inondation dans la zone protégée. Si ce niveau est dépassé, cela veut dire que les eaux de l'Orne peuvent 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).

0.4 LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE PROTECTION

0.4.1 FONCTIONNEMENT « NORMAL » - NIVEAU DE PROTECTION

Le niveau de protection retenue par le gestionnaire est défini par un niveau d'eau de l'Orne mesurable au niveau de la station d'annonce de crue de Louvigny.

Ce niveau est défini à 7,4 mNGF, qui correspond au niveau atteint pour la crue de référence du PPRI de la basse vallée de l'Orne.

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

Louvigny	
Lieu de mesure	Echelle de crue de Louvigny ¹
Niveau correspondant au point de mesure	3,9 m lu à l'échelle
Niveau de protection au droit des ouvrages	7,4 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Crue de l'Orne de période de retour environ 100 ans, équivalent à l'évènement de référence du PPRI basse vallée de l'Orne
Incertitude prise en compte	20 cm

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

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

0.4.2 SCENARIOS DE DEFAILLANCE

0.4.2.1 Défaillance fonctionnelle

Le système d'endiguement intègre de nombreux ouvrages amovibles.

Les scénarios de défaillance simulent les conséquences d'un défaut de mise en place de ces ouvrages amovibles.

Dans ce cas, des venues d'eau sont possibles. L'ensemble de la zone protégée peut être inondée par des venues d'eau qualifiées pouvant être qualifiées de dangereuses compte tenu des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulements (à proximité des digues).

¹ Observations consultables en temps réel sur le site Vigicrues : <https://www.vigicrues.gouv.fr/niv3-station.php?CdEntVigiCru=4&CdStationHydro=I362102001&GrdSerie=H&ZoomInitial=3>

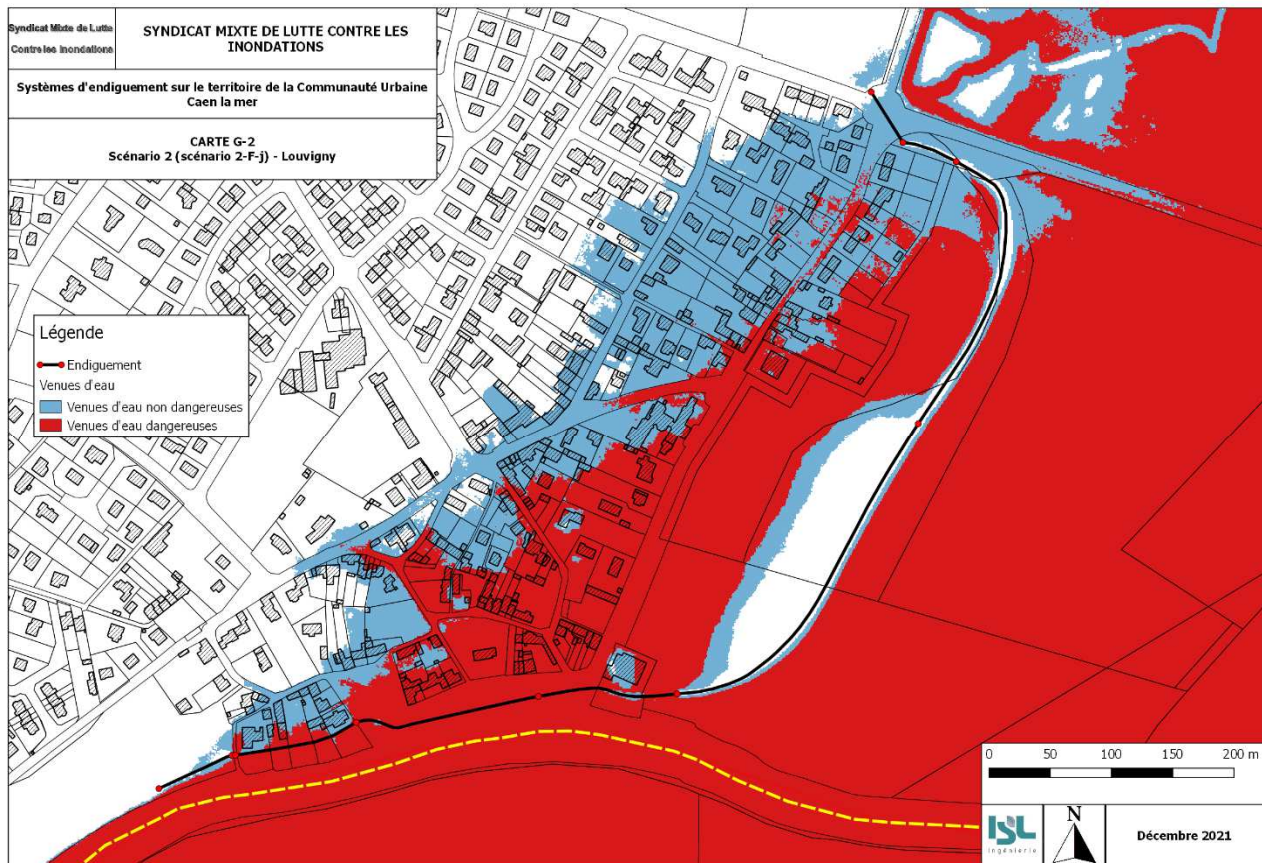


Figure 0-2 : carte des venues d'eau possibles jusqu'au niveau de protection et avec défaillances des ouvrages annexes.

0.4.2.2 Défaillance structurelle

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 « grande digue ». 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.

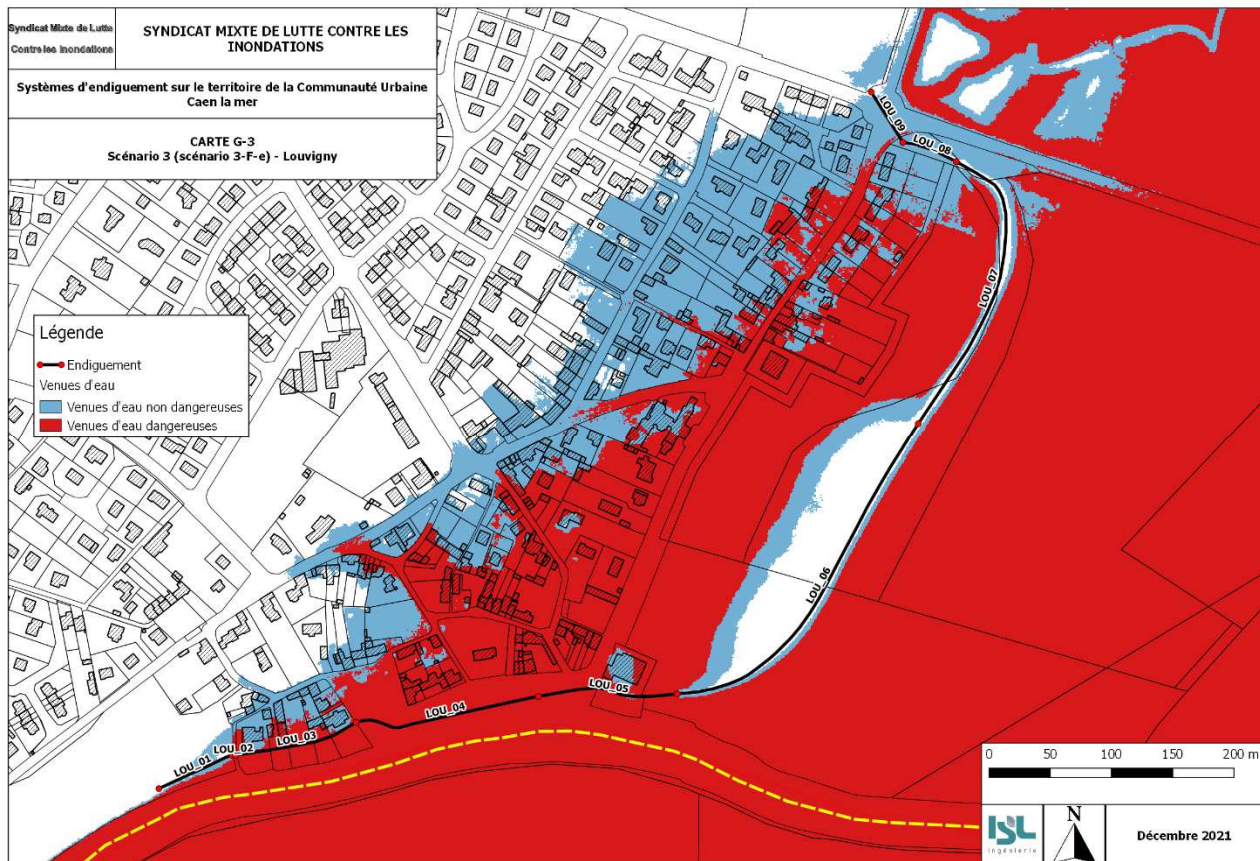


Figure 0-3 : carte des venues d'eau possibles au-delà du niveau de protection et avec rupture des ouvrages.

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

Dans la mesure où le niveau d'eau dépasse le niveau de protection, le SMLCI alerte la mairie de Louvigny 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

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

Désignation	Type	Propriétaire / gestionnaire
« Jardin Rouge »	Aqua-barrières	Commune / SMLCI
Propriétés privées	Aqua-barrières	Privés / SMLCI
« petite digue »	Endiguement Aqua-barrières	SMLCI / SMLCI
« grande digue »	Endiguement	SMLCI / SMLCI
Carrefour RD202b/202c	Merlon provisoire	CD14 / SMLCI

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

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

1.1.2 GESTIONNAIRE IDENTIFIE

Le gestionnaire identifié pour ce système d'endiguement :

Syndicat Mixte de Lutte Contre les Inondations de la vallée de l'Orne et son
bassin versant
16, rue Rosa Parks
14000 CAEN

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

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

Identification de l'ouvrage	Digue de Louvigny
Gestionnaire de l'ouvrage	SMLCI
Communes	Louvigny
Longueur	920 m
Arrêté de Classement	Arrêté préfectoral d'autorisation de travaux du 07 août 2003 Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 04 août 2009
Décision de classement	Classe C

Tableau 1-2 : renseignements administratifs – Digue de Louvigny.

L'arrêté préfectoral de classement de la digue de Louvigny est présenté en ANNEXE 1.

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 du système d'endiguement de Louvigny, géré par le Syndicat Mixte de Lutte Contre les Inondations (SMLCI).

2.1 CADRE DANS LEQUEL L'EDD EST REALISEE

Le cadre de l'étude de dangers du système d'endiguement soumis à autorisation est le suivant :

<i>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.</i>	
☒ 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

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

Commune	Code INSEE	Superficie protégée par le système d'endiguement
Louvigny	14 383	165 000 m ² (16,5 ha)

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

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

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

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

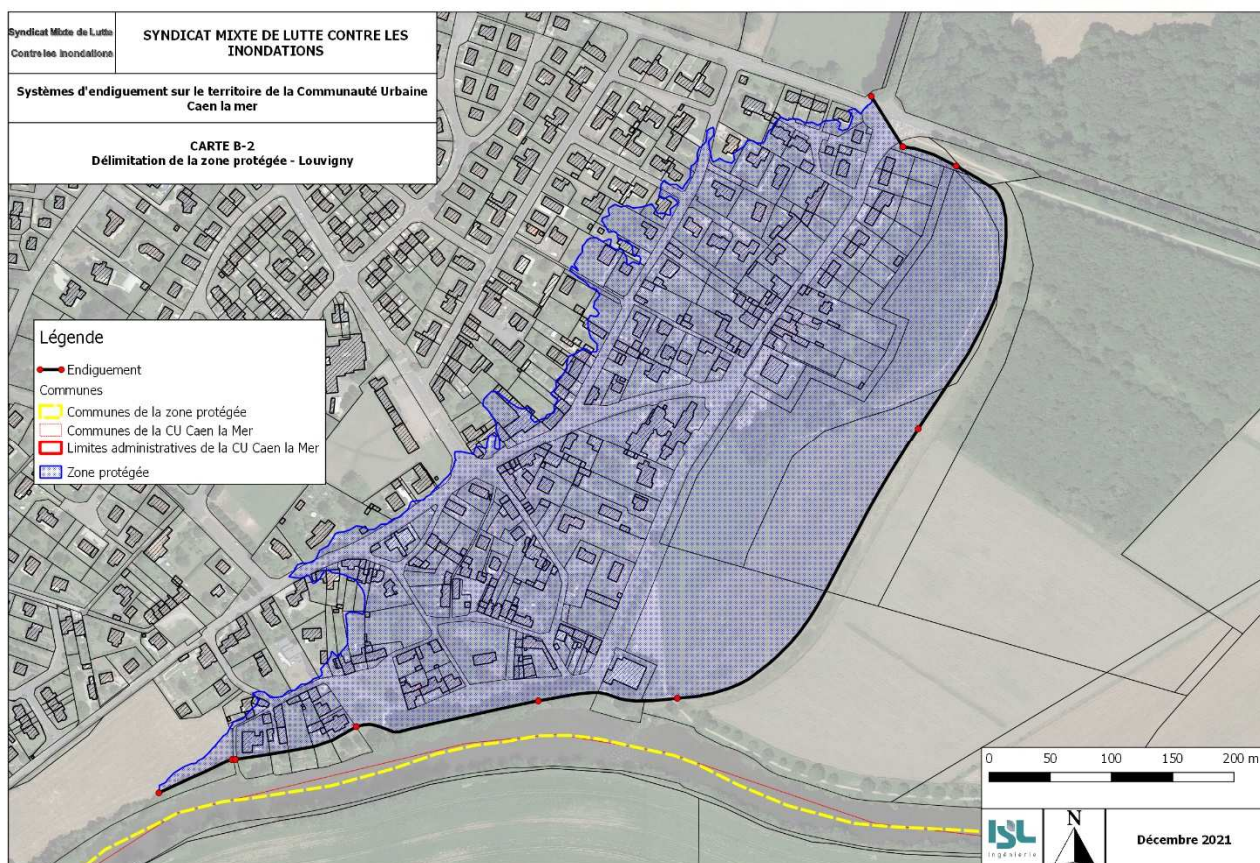


Figure 2-1 : délimitation de la zone protégée – Louvigny.

2.4 LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES

2.4.1 LOCALISATION

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

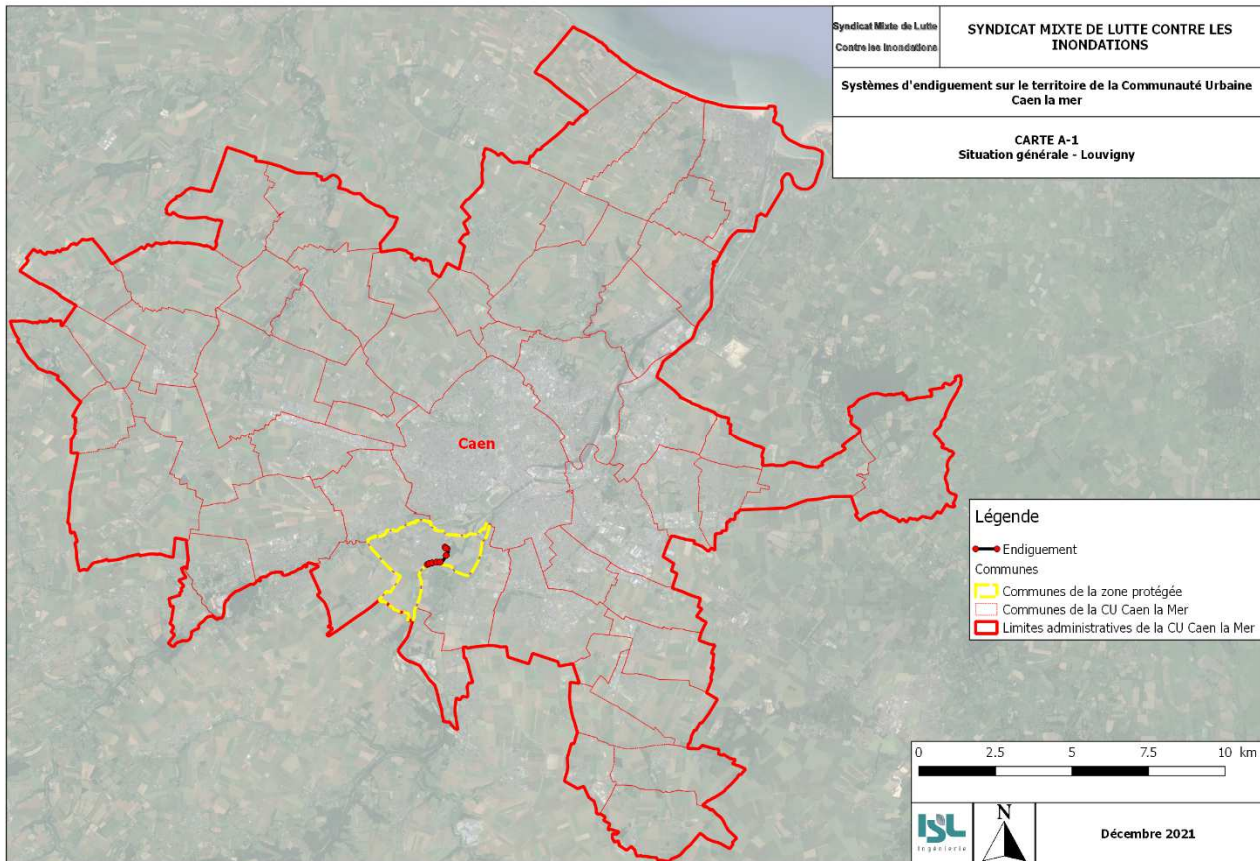


Figure 2-2 : carte de situation générale des ouvrages constituant le système d'endiguement.

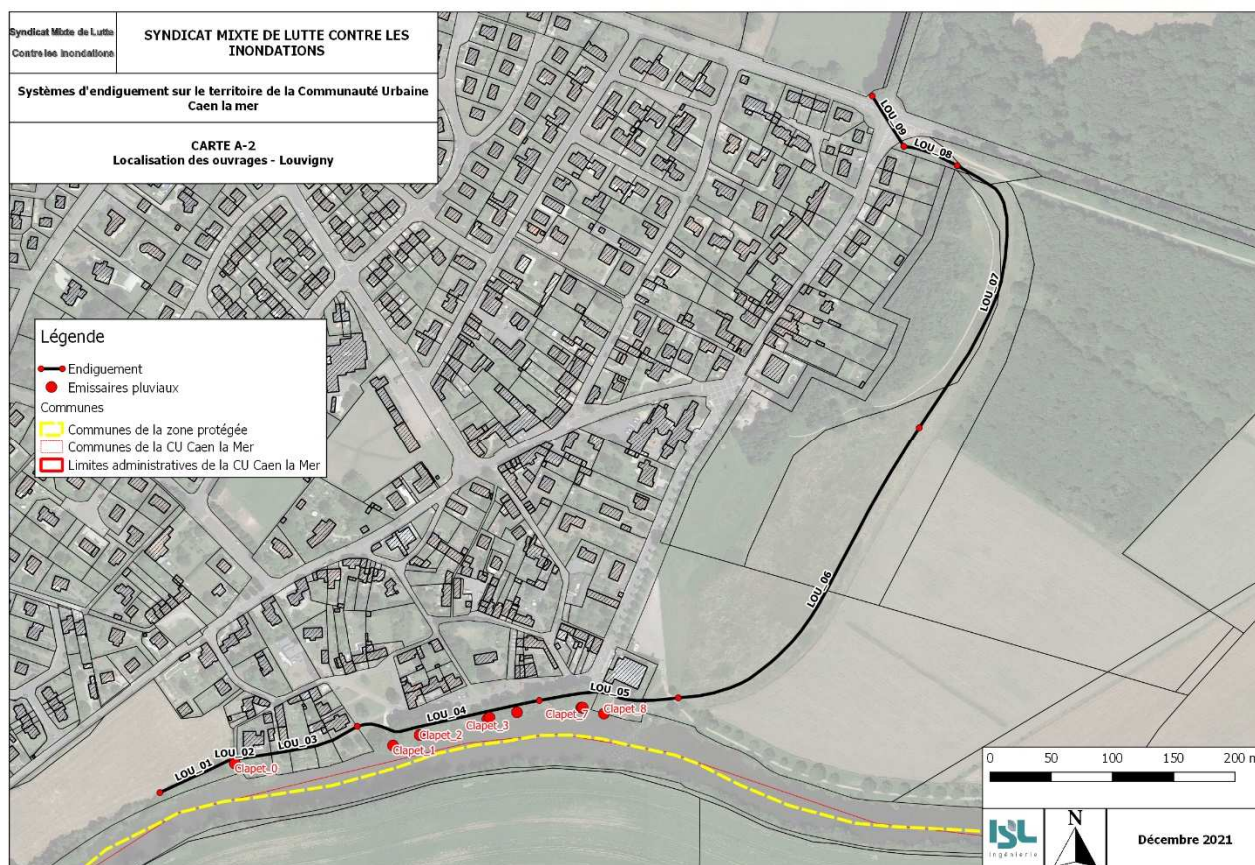


Figure 2-3 : carte de localisation des ouvrages constituant le système d'endiguement.

2.4.2 DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES

Le système d'endiguement de Louvigny a été décomposé en 9 tronçons, succinctement décrits dans les sous-chapitres suivants.

2.4.2.1 Tronçon LOU_01

Le tronçon LOU_01 se situe à l'extrémité amont du système d'endiguement. Il s'agit d'un tronçon naturel permettant la fermeture amont du système d'endiguement.

2.4.2.2 Tronçon LOU_02 – « Jardin Rouge »

Ce tronçon, très court, correspond au chemin communal. Ce tronçon est aménagé pour accueillir plusieurs éléments du système amovible Aqua-barrières. Le dispositif est posé à hauteur du terrain naturel.

La jonction avec le tronçon LOU_01 est assurée par un mur vertical en béton armé sur lequel viennent s'appuyer les éléments amovibles.

2.4.2.3 Tronçon LOU_03

Ce tronçon, dans la continuité du tronçon LOU_02, est aménagé pour accueillir le système amovible Aqua-barrières. Le dispositif est posé à hauteur du terrain naturel.

2.4.2.4 Tronçons LOU_04 et LOU_05 – « petite digue »

Ces deux tronçons constituent l'ouvrage communément appelé « petite digue ».

Ils sont constitués d'une digue en remblai construite sur la berge, d'une hauteur moyenne de 1,5 m, de largeur 5 à 6 m en crête et avec des talus de pente 2 à 2,5H/1V.

2.4.2.5 Tronçons LOU_06, LOU_07 et LOU_08 – « grande digue »

Ces trois tronçons constituent l'ouvrage communément appelé « grande digue ».

Ils sont constitués d'une digue en remblai construite en retrait du lit de l'Orne, d'une hauteur moyenne de 2 à 2,5 m, de largeur très variable.

2.4.2.6 Tronçons LOU_09 – carrefour RD202b et RD202c

Ce tronçon correspond à un ouvrage amovible de type merlon en terre, positionné en travers du carrefour en cas d'alerte de crue.

2.4.2.7 Emissaire pluvial

Neuf émissaires pluviaux sont recensés sur le système d'endiguement.

Il s'agit de conduites de rejets pluviaux de diamètre 300 mm pour la plupart, deux conduites présentant un diamètre de 400 mm.

Les conduites sont toutes disposées en fondation et ne traversent pas le corps de remblai.

Tous ces rejets sont équipés de clapets anti-retour.

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 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.

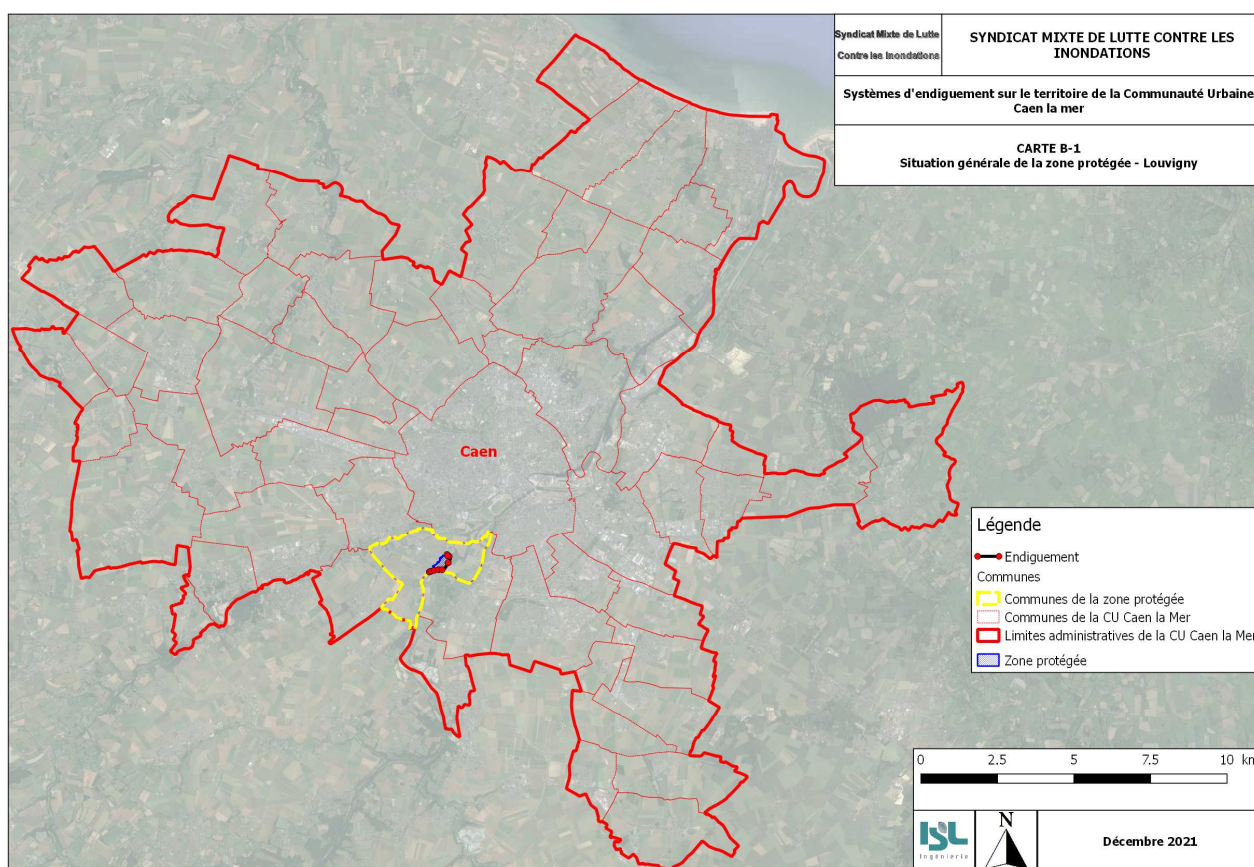


Figure 3-1 : limites administratives de la Communauté urbaine Caen la mer et situation de la zone protégée au sein du territoire de Caen la mer.

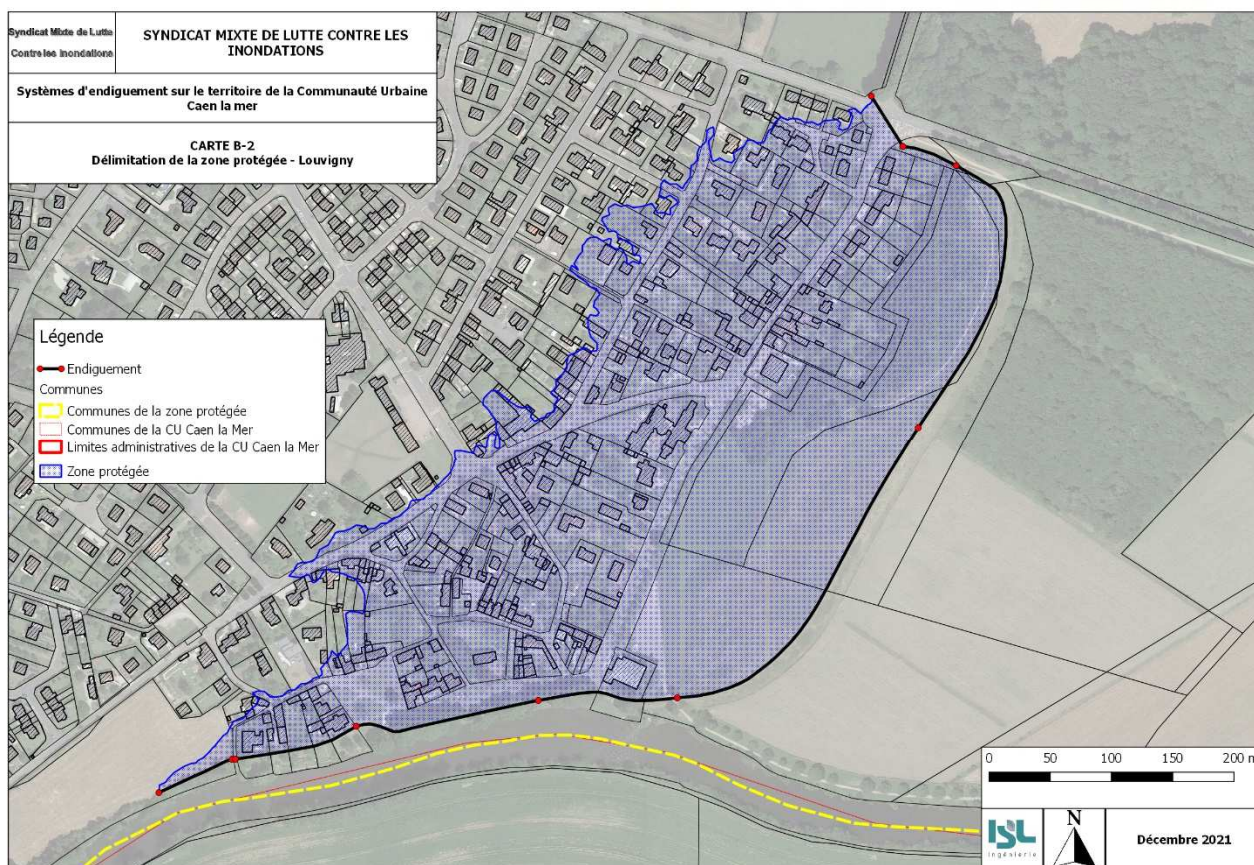


Figure 3-2 : délimitation de la zone protégée.

3.1.2 COMMUNES DE LA ZONE PROTEGEE

La zone protégée s'étend entièrement sur la commune de Louvigny.

3.1.3 COMMUNES RELEVANT DE L'AUTORITE COMPETENTE POUR LA PREVENTION DES INONDATIONS

Par convention relative à l'exercice de la compétence GEMAPI en date du 21 février 2020, le Département du Calvados et la CU Caen la mer, tous deux membres du SMLCI, ont formalisé le transfert de compétence GEMAPI au SMLCI pour les ouvrages dont le SMLCI est propriétaire et/ou le gestionnaire « historique ».

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	Iffs	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.

3.1.4 DEFINITION DE LA ZONE PROTEGEE

La zone protégée est délimitée par modélisation hydrodynamique : la crue correspondant au niveau de protection retenu est simulée en enlevant les ouvrages de protection. La zone inondée sans les ouvrages de protection définit la zone protégée par le système d'endiguement.

La zone protégée est quasi équivalente à la zone protégée qui aurait été délimitée par projection des niveaux d'eau sur la topographie.

3.1.4.1 Estimation de la population protégée

L'estimation de la population résidente dans la zone protégée est basée sur le carroyage INSEE.

Plusieurs carreaux sont entièrement inclus dans la zone protégée. La population totale de chaque carreau est prise en compte, soit 79 personnes.

Cinq carreaux interceptent la zone protégée sans être entièrement inclus dans celle-ci. La population totale de ces cinq carreaux est de 499 personnes. Pour ces carreaux, un pourcentage de la population est pris en compte selon le nombre de bâtiments inclus dans la zone protégée. Les pourcentages pris en compte varient de 10 % à 90 % selon les carreaux. La population ainsi estimée est de 245 personnes.

Au final, la population résidente dans la zone protégée est estimée à 324 personnes [79 ; 578].

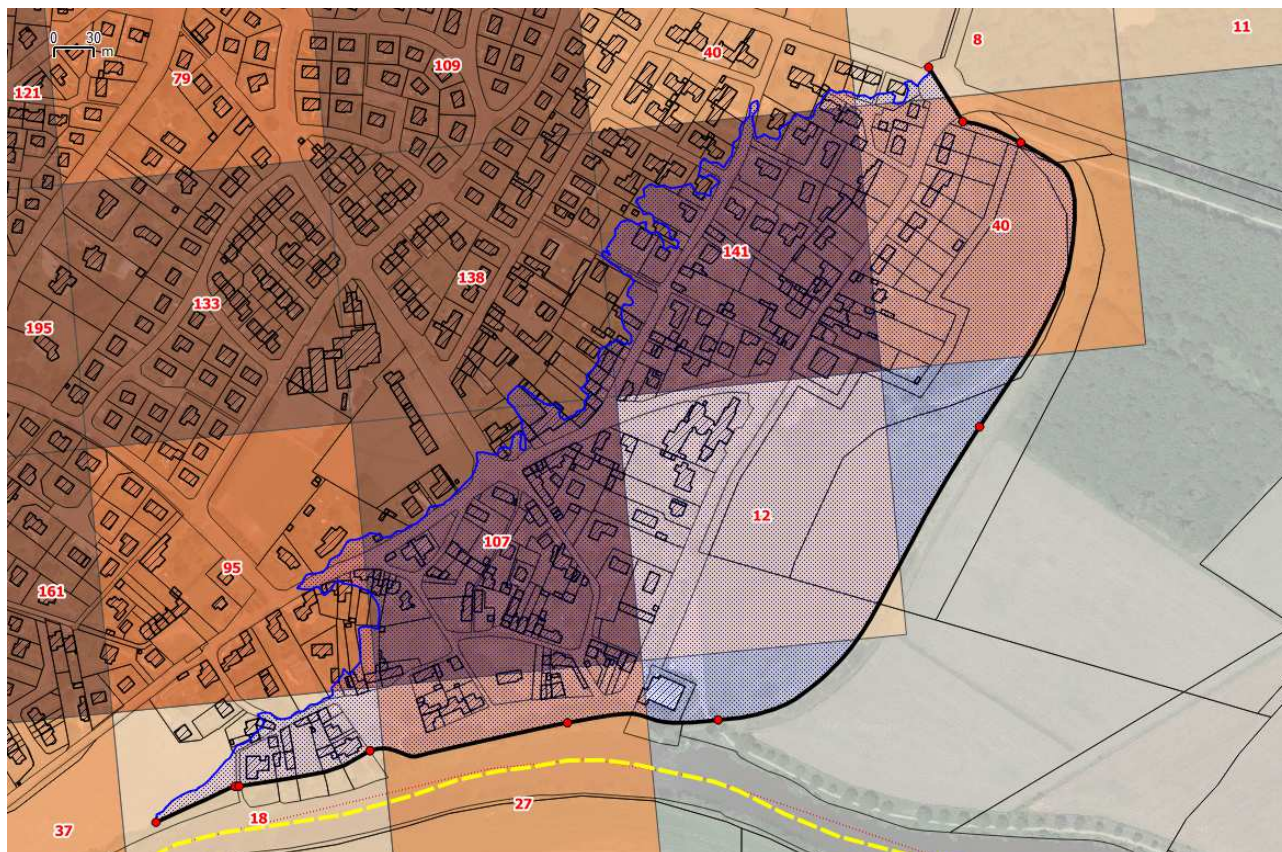


Figure 3-3 : enjeux habitats et populations dans la zone protégée.

3.1.4.2 Estimation du nombre de salariés dans la zone protégée

Le nombre de salariés des entreprises situées dans la zone protégée est estimé à partir de la base de données SIRENE de l'INSEE.

Au total, 39 établissements sont répertoriés dans la zone protégée. Parmi ces établissements figurent de nombreuses entreprises « non employeuses », c'est-à-dire sans employé (auto-entrepreneurs par exemple).

Pour les autres établissements, la base de données SIRENE propose des fourchettes du nombre d'employés, qui est ainsi estimé entre 17 et 30 personnes.

Les principaux établissements employeurs situés dans la zone protégée sont donnés dans le tableau suivant :

Etablissement	Effectif minimum	Effectif maximum
Mairie de Louvigny	10	19
Ecole maternelle	6	9

Tableau 3-2 : principaux établissements employeurs dans la zone protégée.

Ces 2 établissements représentent la quasi-totalité des emplois dans la zone protégée.

3.1.4.3 Estimation du nombre de personnes dans les établissements recevant du public (ERP)

Le nombre de personnes accueillies par les ERP dans la zone protégée est estimé à partir des données du SDIS 14. Les ERP sont classés par catégories, pour lesquelles une fourchette estimative est proposée.

Il est à noter que l'école maternelle n'apparaît pas dans la base fournie : la capacité d'accueil de l'école est d'environ 80 élèves.

Le nombre de personnes ainsi estimé varie de 411 à 825.

Les principaux ERP situés dans la zone protégée sont donnés dans le tableau suivant :

Etablissement	Effectif minimum	Effectif maximum	Données recueillies ²
Salle des fêtes	301	700	300
Ecole maternelle			80
Mairie et annexes	15	15	
Association amis de Jean Bosco (SASEP)	15	15	
En direct du Terroir	15	15	

Tableau 3-3 : principaux établissements employeurs dans la zone protégée.

En prenant en compte une valeur moyenne des effectifs et les données recueillies par ailleurs, la population comprise dans les ERP est estimée à 418 personnes.

3.1.4.4 Synthèse – population protégée totale

En sommant l'ensemble des personnes, la population protégée totale est estimée à 766 personnes [507 ; 1 433].

² D'après sites internet des établissements.

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 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

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 3-4 :

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 3-4 : 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 Louvigny 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 Louvigny. Les hauteurs à l'échelle de Thury-Harcourt sont données dans le Tableau 3-5 :

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 3-5 : hauteurs d'eau de différentes périodes de retour à l'échelle d'annonce des crues de Thury-Harcourt.

Les valeurs données dans le Tableau 3-5 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 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE

L'étude géologique montre que les terrains d'assises des ouvrages sont constitués d'alluvions récentes de l'Orne.

L'épaisseur de ces alluvions est variable, elle est de l'ordre de 3 m sous la « petite digue ».

Cette couche repose sur une couche d'alluvions plus anciennes, composée de sables et graviers, d'environ 2 m d'épaisseur.

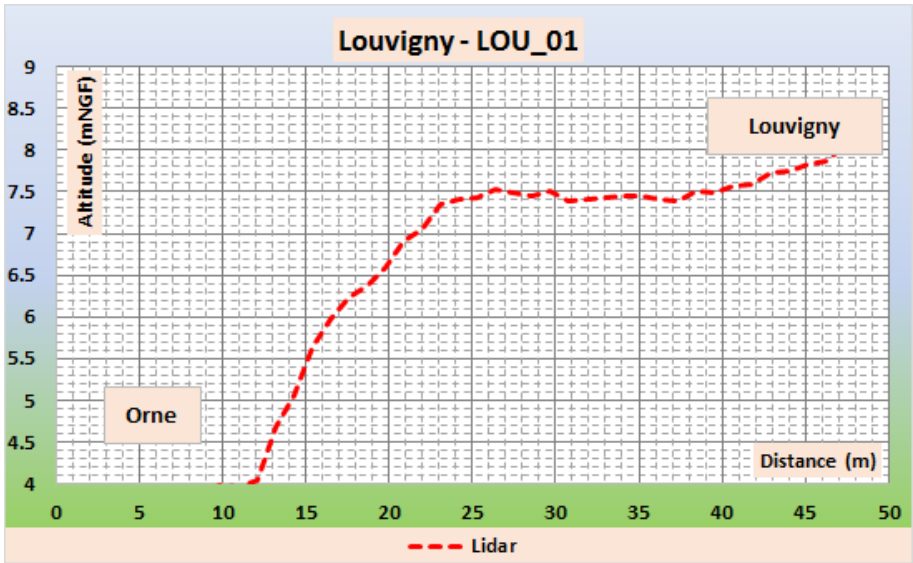
Les calcaires sont rencontrés sous cette couche d'alluvions anciennes.

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

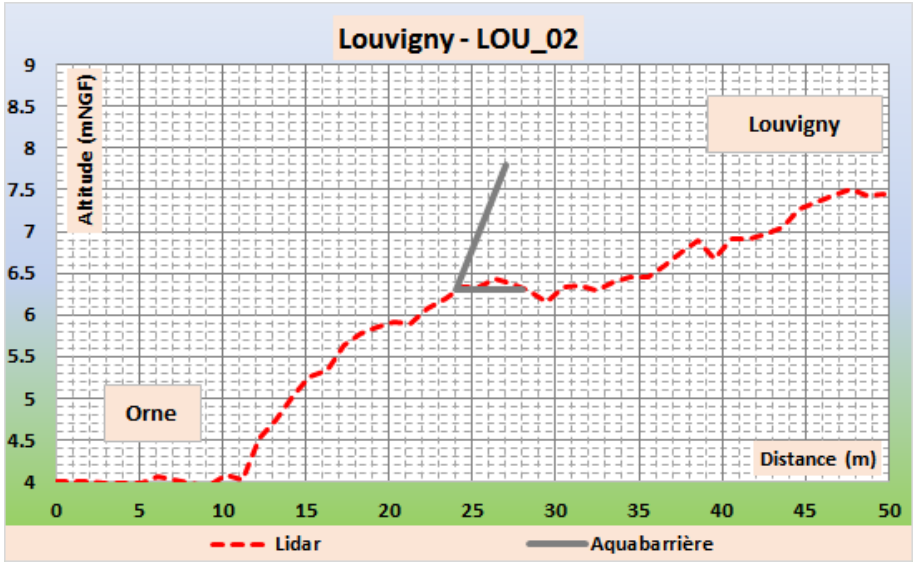
3.3.1 CELLULE HYDRO-SEDIMENTAIRE CONCERNEE

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

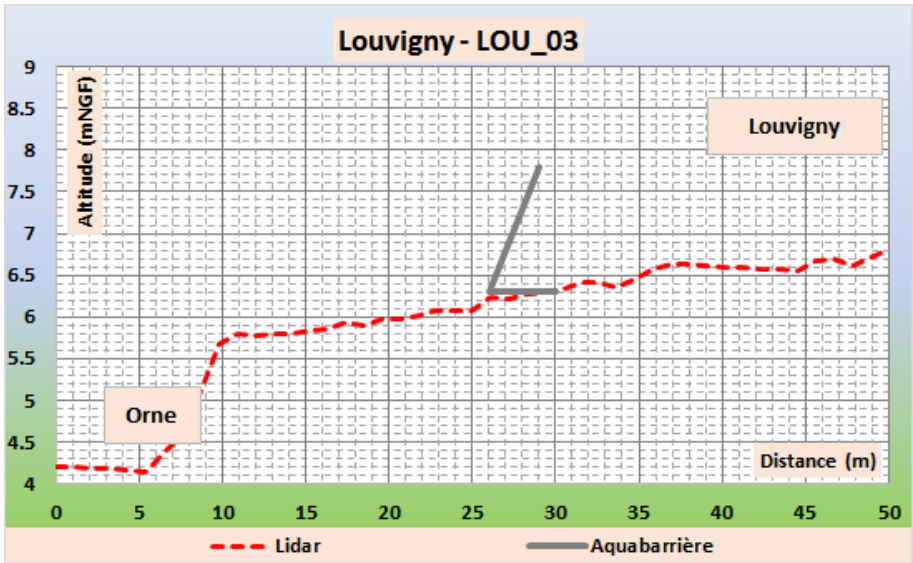
3.3.2 ELEMENTS CONSTITUANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Louvigny – sous-tronçon 1	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	65 ml Extrémité 1 : X = 452 388 m – Y = 6 900 223 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 448 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93)
Date de construction et travaux	
Description de la structure et géométrie	

	Partie du système d'endiguement s'apparentant à un élément naturel permettant la fermeture du SE : ▪ Lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 2,0 à 2,5H/1V, ▪ Le terrain naturel avec un merlon ou bourrelet de berge, ▪ Un champ cultivé.
Cote (mNGF)	Cote pied de berge : 4,1 mNGF, Cote merlon : 7,5 mNGF, présence de points bas, Cote zone protégée : 7,4 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage traversant recensé.
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur une propriété privée
Gestion	Partie du système d'endiguement non reconnue comme ouvrage.
Etat général	Non accédé lors de la VTA

Louvigny – sous-tronçon 2	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	2,85 ml Extrémité 1 : X = 452 448 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 450 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Aménagement et construction du mur en béton en 2004
Description de la structure et géométrie	

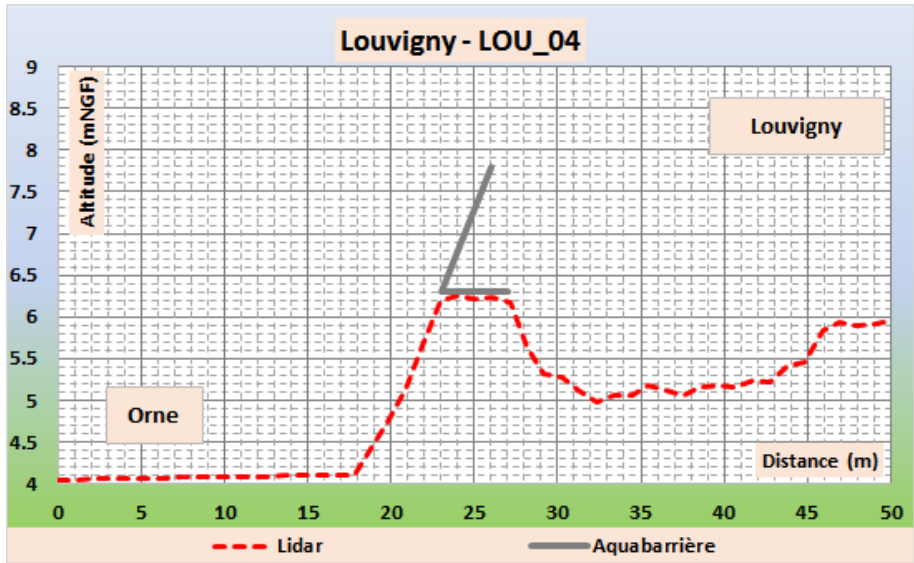
	La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 4,5H/1V, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Chemin communal remontant en pente douce.
Cote (mNGF)	Cote de la base des aquabarrières : 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Un émissaire pluvial muni d'un clapet anti-retour passe dans la fondation.
Propriété et parcelles cadastrales	Domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Non accédé lors de la VTA

Louvigny – sous-tronçon 3	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	105 ml Extrémité 1 : X = 452 450 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 549 m – Y = 6 900 227 m (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Aménagement en 2004
Description de la structure et géométrie	

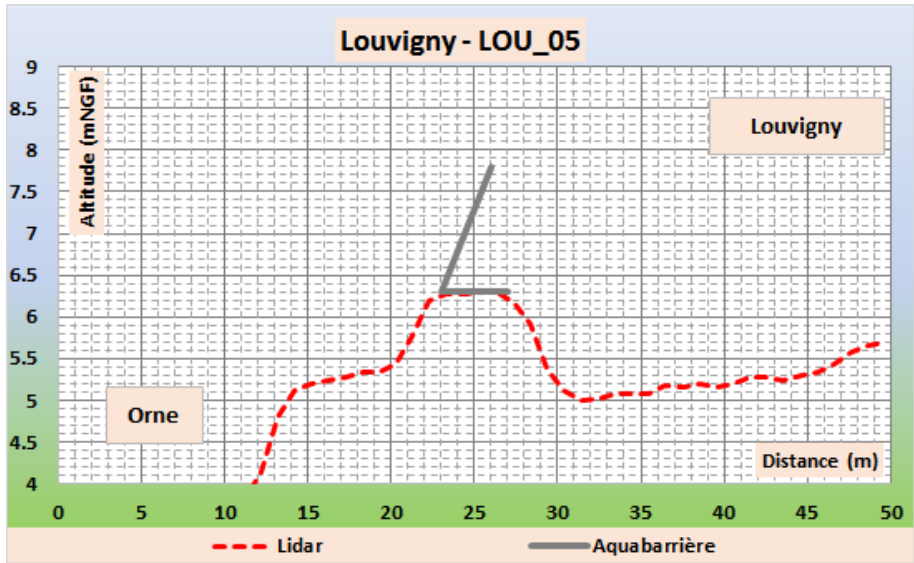
	La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ Jardin privé, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Jardin privé et habitation.
Cote (mNGF)	Cote de la base des aquabarrières : 6,2 à 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage traversant recensé.
Propriété et parcelles cadastrales	5 parcelles privés – jardins des habitations
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Non accédé lors de la VTA

Louvigny – sous-tronçon 4

Localisation	
Photo	
Longueur utile	150 ml Extrémité 1 : X = 452 549 m – Y = 6 900 227 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 698 m – Y = 6 900 298 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ La rue de la Haule.
Cote (mNGF)	Cote pied de digue côté Orne : 4,0 mNGF, Cote de la digue : 6,2 à 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >5,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Cinq ouvrages traversant munis de clapet anti-retour sont recensés (exutoires pluviaux).
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct de la digue (VTA, ISL 2021) Ouvrage amovible non observé

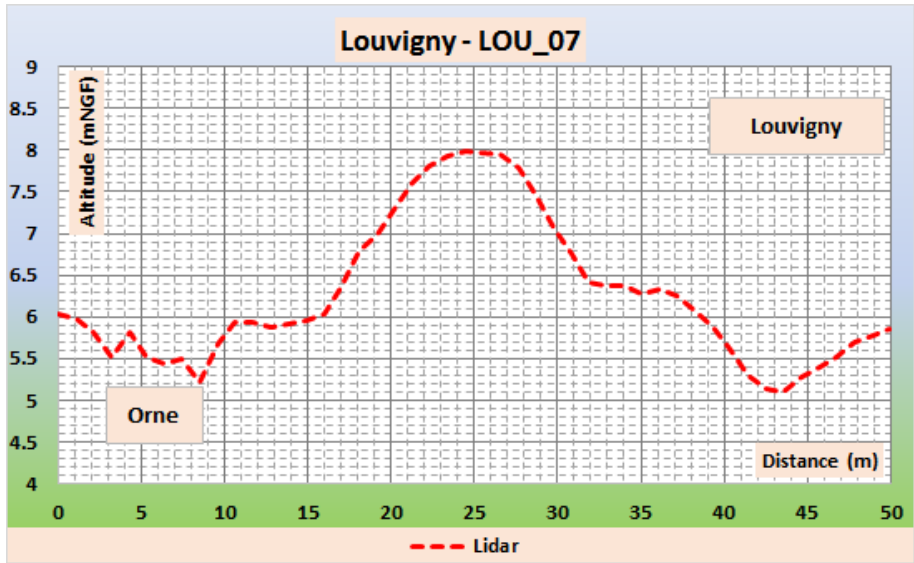
Louvigny – sous-tronçon 5	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	115 ml Extrémité 1 : X = 452 698 m – Y = 6 900 298 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 811 m – Y = 6 900 300 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004 Travaux d'enlèvement d'un arbre en octobre 2021
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Une risberme de largeur variable en pied de digue, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ La rue de la Haule.
Cote (mNGF)	Cote pied de digue côté Orne : 5,0 à 5,3 mNGF, Cote de la digue : 6,2 à 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >5,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Trois ouvrages traversant munis de clapet anti-retour sont recensés (exutoires pluviaux).
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021) Ouvrage amovible non observé Arbre tombé en décembre 2020, enlevé en octobre 2021 avec dessouchage et restauration du corps de digue – EISH du 24 décembre 2020

Louvigny – sous-tronçon 6	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	310 ml Extrémité 1 : X = 452 811 m – Y = 6 900 300 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 453 008 m – Y = 6 900 521 m (Lambert 93)

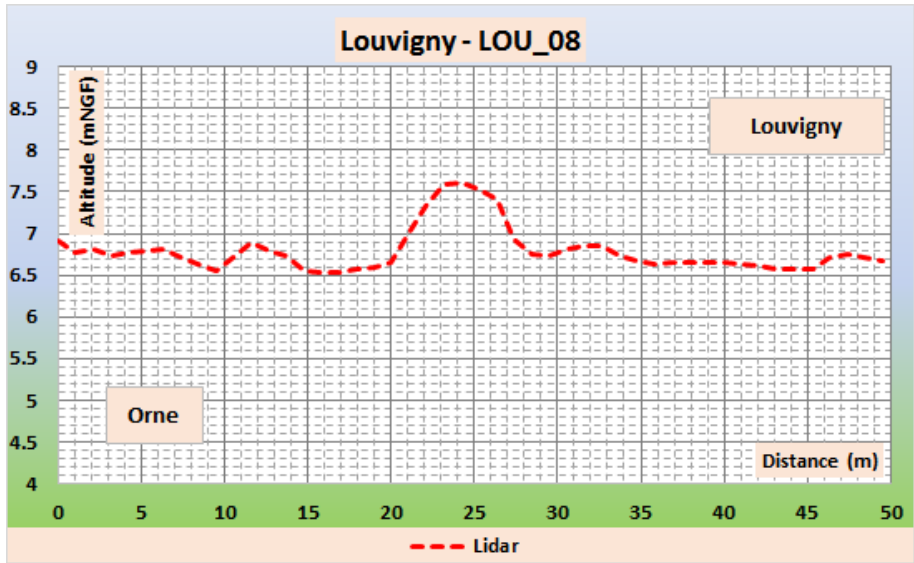
Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Prairie, ▪ Un talus de pente 2,5H/1V, ▪ Crête de largeur variable, 3 m a minima, ▪ Un talus de pente très douce. Seule l'extrémité amont du tronçon présente un talus aval à 4H/1V, ▪ Prairie.
Cote (mNGF)	Cote prairie : 5,5 mNGF, Cote de la crête : 7,6 à 8,0 mNGF, Cote zone protégée : 5,5 à 6,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021)

Louvigny – sous-tronçon 7	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	250 ml Extrémité 1 : X = 453 008 m – Y = 6 900 521 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 453 039 m – Y = 6 900 735 m (Lambert 93)

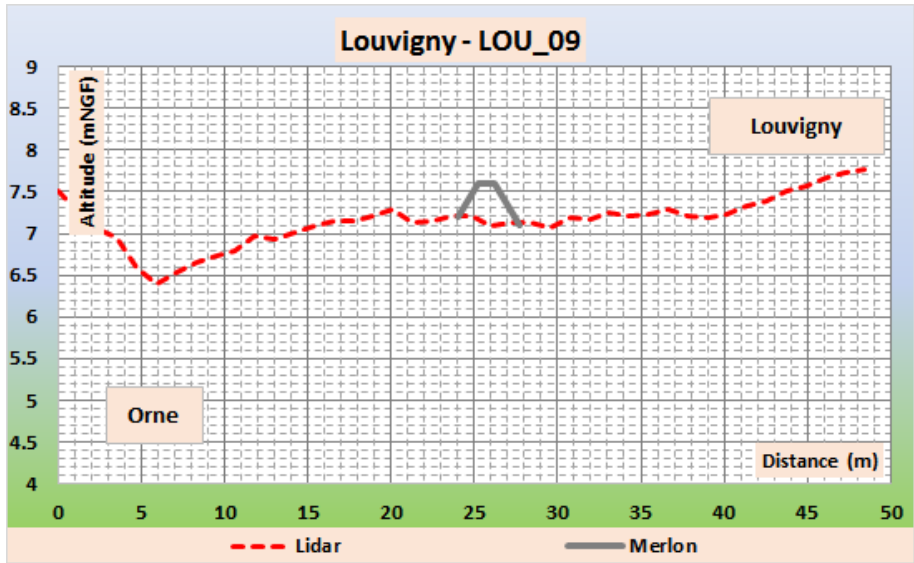
Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Prairie, ▪ Un talus de pente 3 à 4H/1V, ▪ Crête de largeur 4 à 6 m, ▪ Un talus de pente 2,5 à 4H/1V, ▪ Zone humide.
Cote (mNGF)	Cote prairie : 5,5 à 6,0 mNGF, Cote de la crête : 7,6 à 8,0 mNGF, Cote zone protégée : 5,5 à 6,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021)

Louvigny – sous-tronçon 8

Localisation	
Photo	
Longueur utile	45 ml Extrémité 1 : X = 453 039 m – Y = 6 900 735 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 996 m – Y = 6 900 751 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Prairie, ▪ Un talus de pente 3 à 4H/1V, ▪ Crête de largeur 3 à 4 m, ▪ Un talus de pente 2 à 2,5H/1V, ▪ Jardins privés.
Cote (mNGF)	Cote prairie : 6,5 mNGF, Cote de la crête : 7,5 à 7,8 mNGF, Cote zone protégée : 6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021)

Louvigny – sous-tronçon 9	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	50 ml Extrémité 1 : X = 452 996 m – Y = 6 900 751 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 970 m – Y = 6 900 792 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Construction de la voirie non datée, merlon amovible
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend les voiries du carrefour des RD202b et RD202c
Cote (mNGF)	Cote de la route : 7,1 mNGF, Cote de la protection : 7,6 mNGF, Cote zone protégée : 6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Ouvrage provisoire non reconnu

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 DONNEES HISTORIQUES

La digue de Louvigny a été construite en 2004. Elle n'a pas connu de sollicitation significative depuis sa construction.

Le dispositif d'Aqua-barrières a été installé de manière préventive en :

- Janvier 2004 ;
- Février/mars 2010 (tempête Xynthia) (2,04 m à l'échelle) ;
- Décembre 2013 (1,88 m à l'échelle) ;

Le dernier montage, pour exercice, remonte à janvier 2019. Seule la partie sur le domaine public avait été installée.

3.4.2 ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTEME 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 inondations	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
				Enrochements en berge
				Risberme côté Orne
				Talus côté terre
			Assurer l'étanchéité et le maintien du remblai	Végétation
				Enrochements en berge
				Talus côté terre
			Permettre l'accès pour entretien	Risberme côté Orne
				Chemin piétonnier en crête
	Evacuer les eaux terrestres	Emissaires	Transférer l'eau	Canalisation
			Empêcher les eaux de passer en arrière de la digue	Clapets

Tableau 3-6 : analyse fonctionnelle générale.

3.4.3 ANALYSE DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES COMPLEMENTAIRES

Sans objet

3.4.4 NIVEAU DE PROTECTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le niveau de protection proposé pour le système d'endiguement de Louvigny est présenté dans le Tableau 3-7 :

Caen-Prairie	
Lieu de mesure	Echelle de crue de Louvigny ³
Niveau correspondant au point de mesure	3,9 m lu à l'échelle
Niveau de protection au droit des ouvrages	7,4 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Crue de l'Orne de période de retour environ 100 ans, équivalent à l'évènement de référence du PPRi basse vallée de l'Orne
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 3-7 : proposition de niveau de protection – Louvigny.

3.4.5 ANALYSE DES SITUATIONS DEPASSANT LE NIVEAU DE PROTECTION

En cas de dépassement du niveau de protection, des surverses sont possibles sur la « grande digue » qui présente quelques points bas. Ces surverses, intervenant sur des tronçons où la largeur de la « grande digue » est plus réduite, peut entraîner la formation de brèche dans l'ouvrage en conséquence de l'érosion du talus aval.

Un remplissage brusque et rapide de la zone protégée serait la conséquence d'une telle défaillance.

3.4.6 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 09 avril 2009 par le SMLCI.

Un suivi topographique du niveau de crête de l'ouvrage est assuré annuellement sur la partie du domaine public.

³ Observations consultables en temps réel sur le site Vigicrues : <https://www.vigicrues.gouv.fr/niv3-station.php?CdEntVigiCru=4&CdStationHydro=I362102001&GrdSerie=H&ZoomInitial=3>

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 fluviale dans la traversée de Caen. Les régimes d'écoulements y sont très complexes et dépendent des débits de l'Orne et de l'influence maritime.

Néanmoins, lors des grandes crues de l'Orne, l'influence maritime sur les niveaux d'eau est très modérée, voire négligeable : l'influence de la marée haute est par exemple de quelques centimètres (< 5 cm) au moment du pic de crue pour une crue de l'ordre de la crue centennale.

Les niveaux d'eau sur la zone d'étude sont fortement influencés par les manœuvres des différents ouvrages de gestion des niveaux de l'Orne et du canal de Caen à la mer.

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).

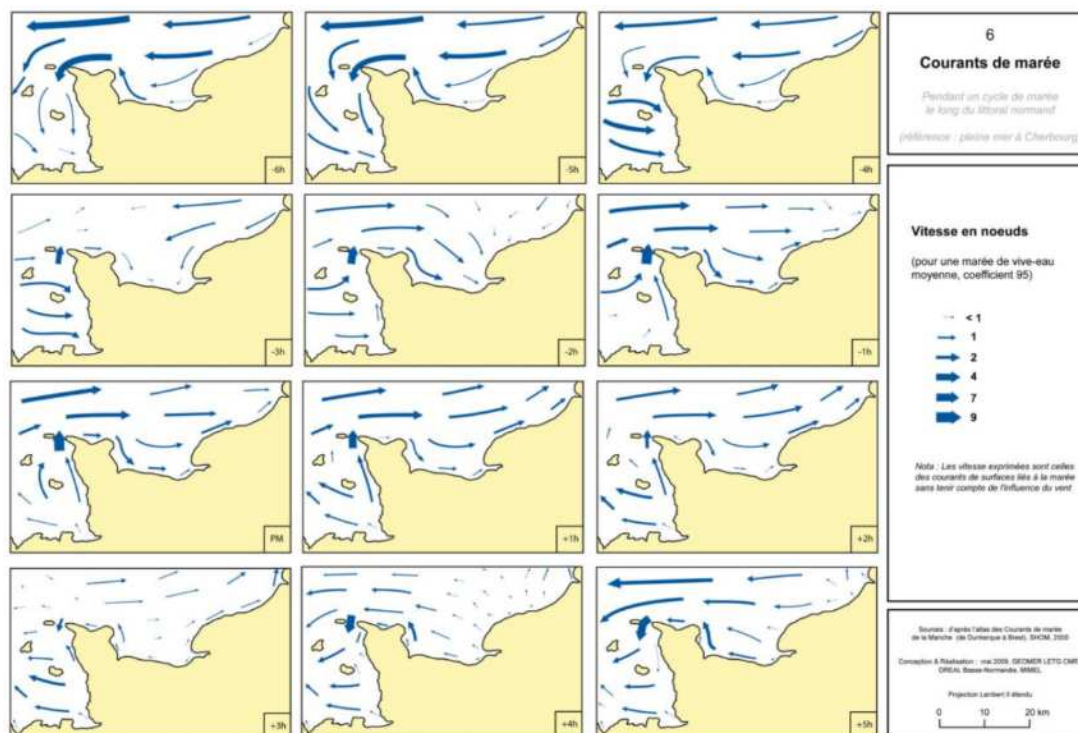


Tableau 4-1 : courant pendant un cycle de marée en Manche (GEOMER – MIMEL / DREAL de basse-Normandie, 2010).

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).

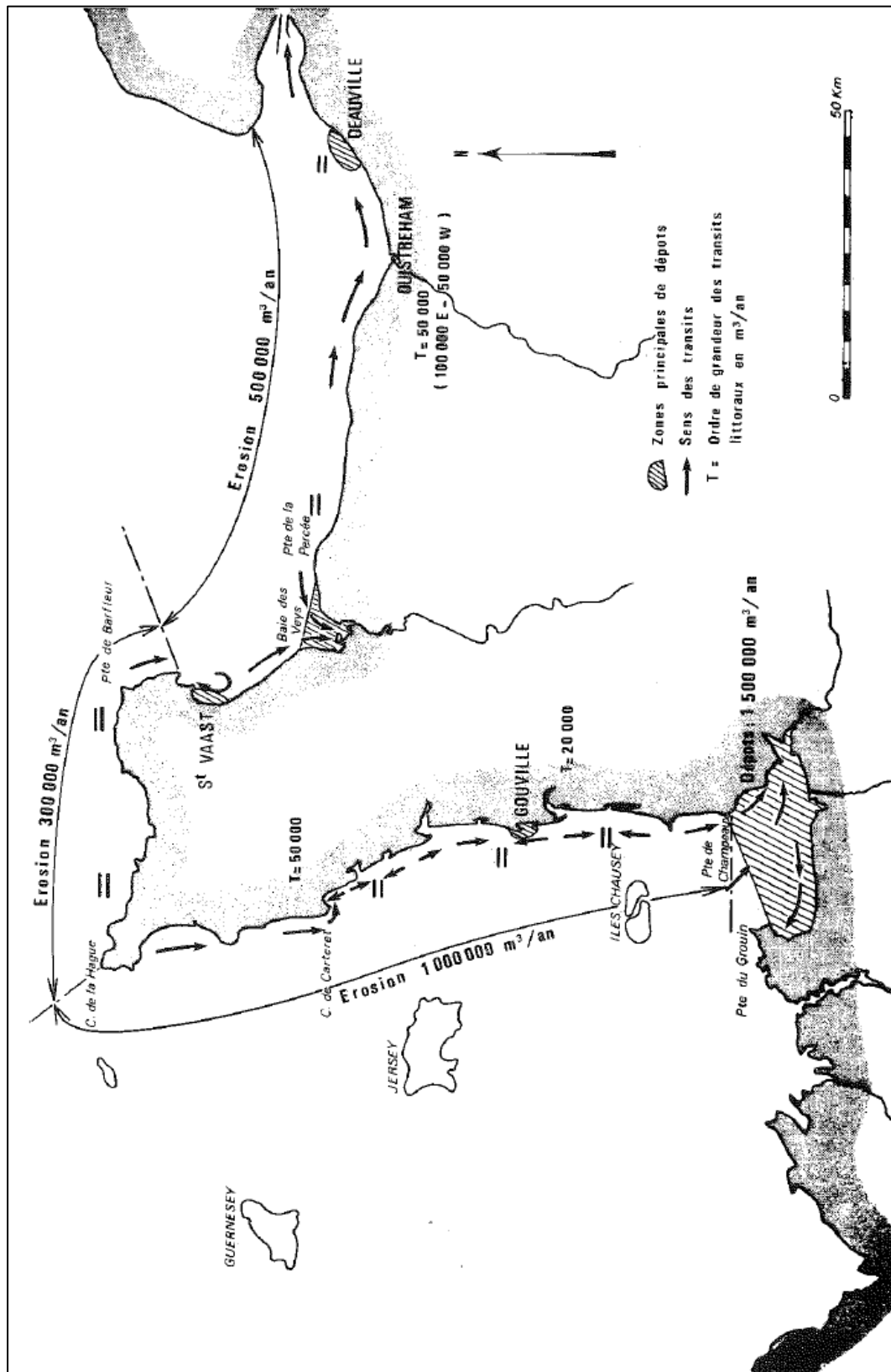


Tableau 4-2 : transit sédimentaire le long des côtes normandes (EDF R&D - LCHF, 1986).

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.

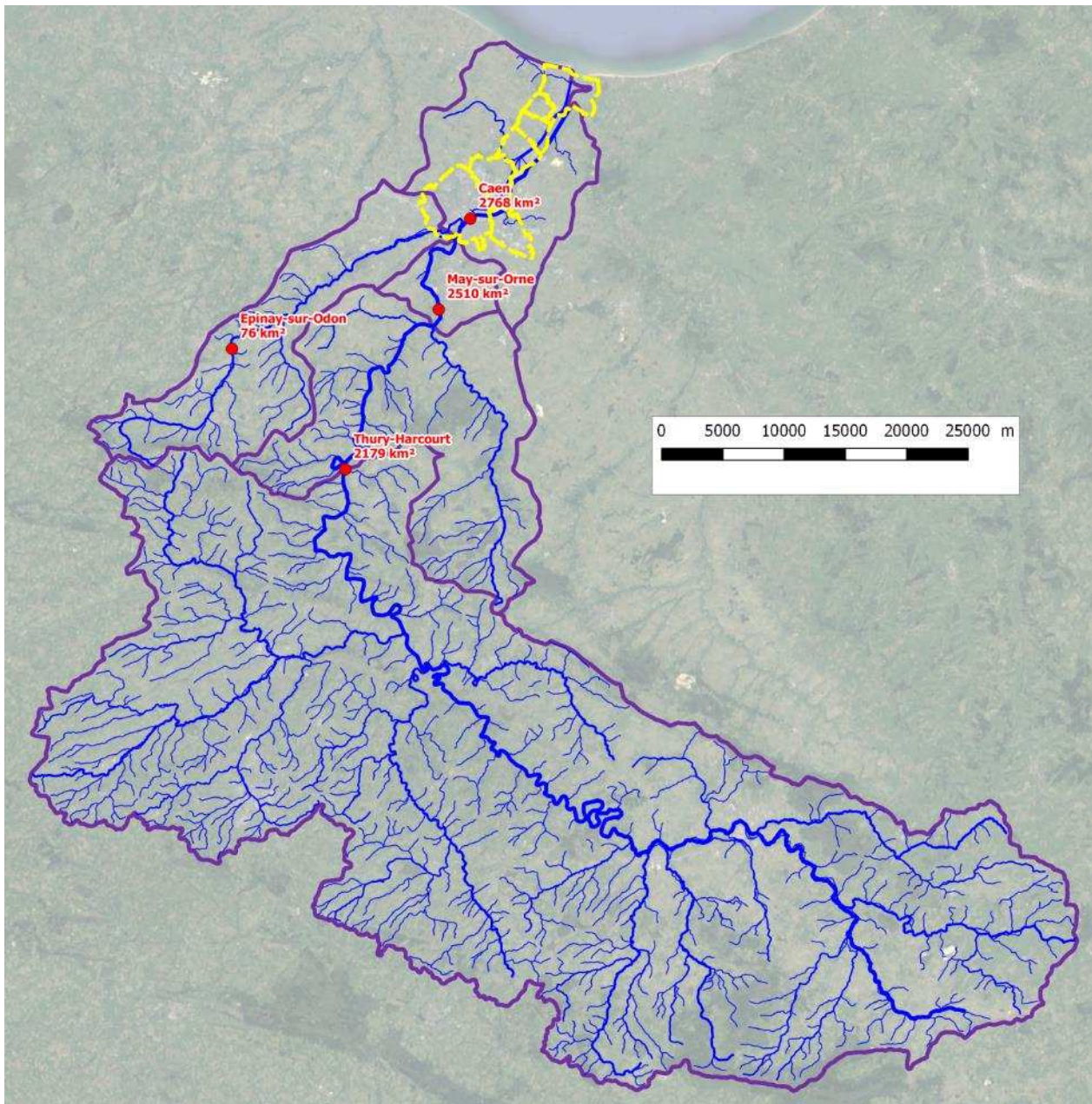


Figure 4-1 : bassin versant de l'Orne.

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 :

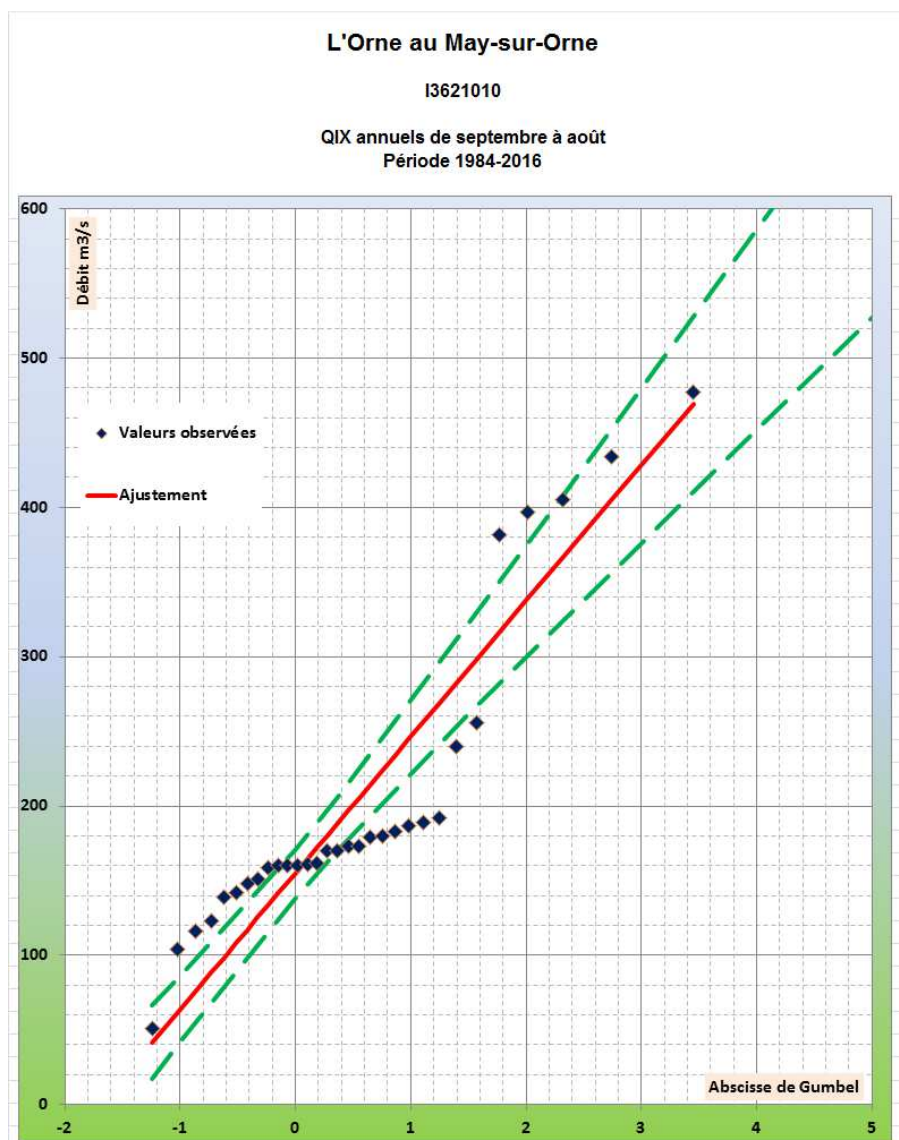


Figure 4-2 : ajustement à une loi de Gumbel des débits de crues à la station de May-sur-Orne.

L'ajustement est assez médiocre. Les observations montrent une rupture de pente pour des débits d'environ 200 m³/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 m³/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 m³/s, un débit de fréquence 20 ans de 400 m³/s et un débit de fréquence 50 ans de 487 m³/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 événement 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 :

$$Q_{pT} = Q_{p50} + r \cdot G_p \cdot \frac{S_{BV}}{3,6 \times 24 \times D} \cdot \Delta u$$

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 m ³ /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 :

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

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 m³/s pour la crue de période de retour 10 ans et 640 m³/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 m³/s pour la crue de période de retour 100 ans, 990 m³/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).

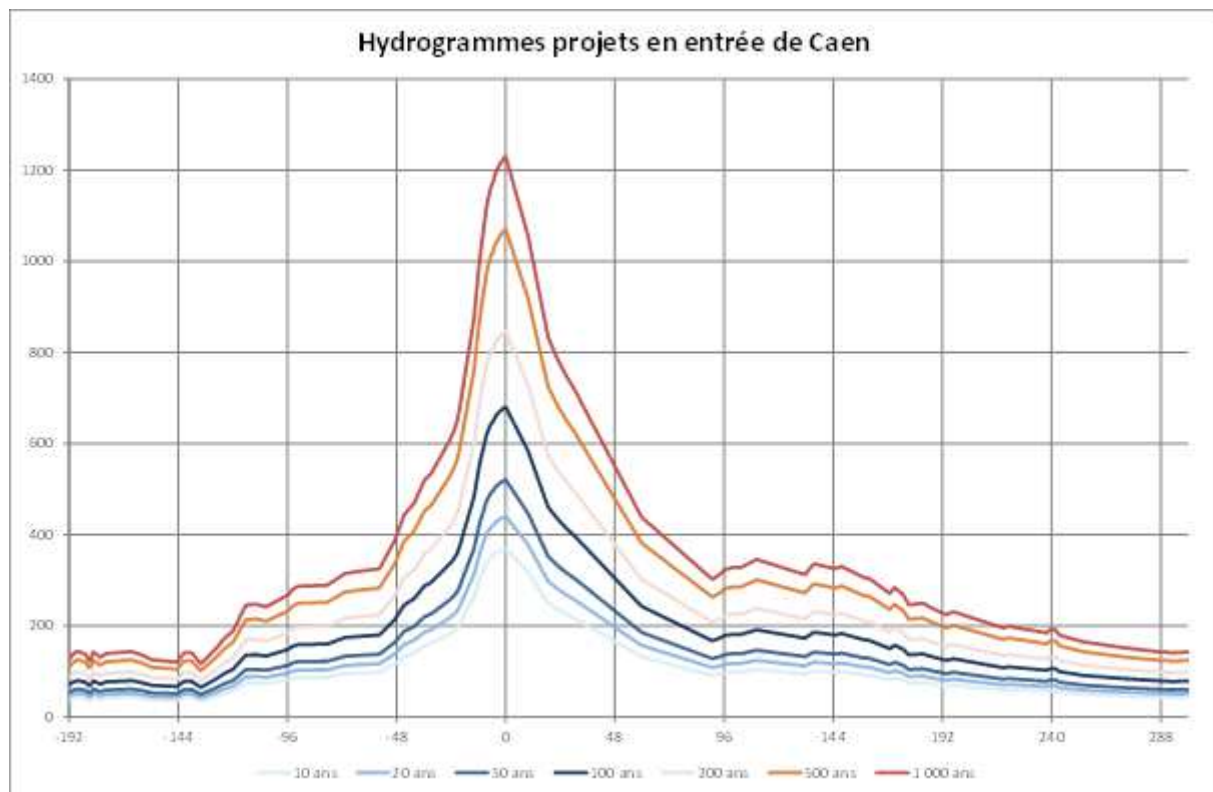


Figure 4-6 : hydrogrammes de crues de l'Orne à Caen.

4.2.2 MORPHODYNAMIQUE LOCALE

Le cours de l'Orne le long de la Prairie est fortement contraint par les aménagements en berge qui limite les possibilités de divagation du cours d'eau.

Par ailleurs, les ouvrages constituant le système d'endiguement de Caen-Prairie sont situés très en retrait du lit de l'Orne.

4.3 EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS

Juste en aval de la Prairie de Caen, l'Orne compte quatre ouvrages de franchissement :

- Le pont de Bir Hakeim ;
- Le pont de Vaucelles ;
- Le pont Winston Churchill ;
- Le pont Alexandre Stirn.

Ces quatre ouvrages comptent chacun 3 travées avec 2 piles dans le lit de l'Orne.

Aucune coupe de ces ponts n'a été fournie et la revanche du tablier par rapport aux hautes eaux n'est pas connue.

4.4 TRANSPORTS SEDIMENTAIRES

Il est rapporté dans le rapport de phase 1 du PPRI (Alp'Géorisques - IMDC, 2014) que le flux sédimentaire apporté par l'Orne dans l'estuaire est d'environ 50 000 m³/an.

4.5 SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES

4.5.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

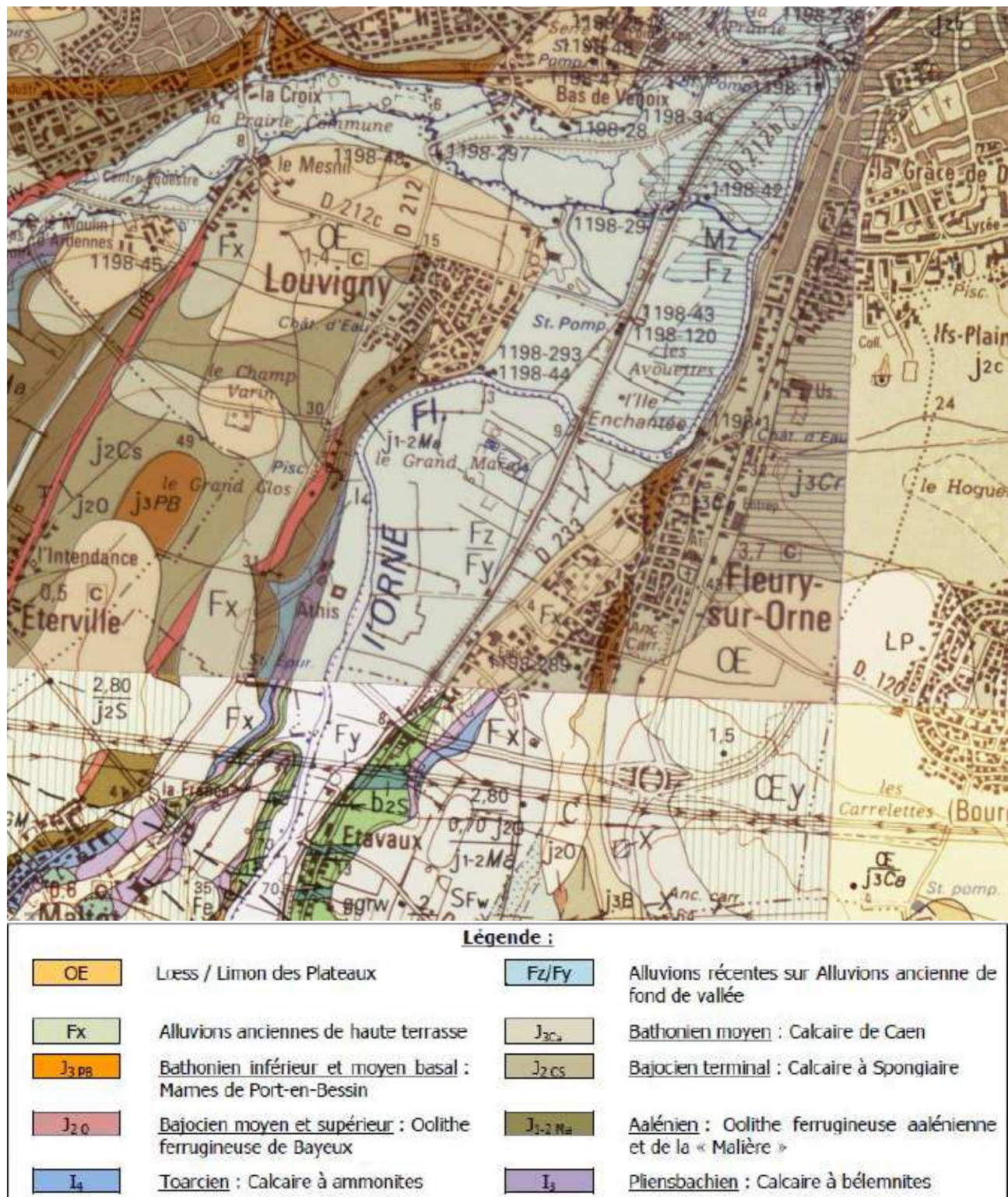


Figure 4-7 : contexte géologique (extrait de la carte géologique de France au 1/50 000^{ème}, feuille de Caen éditée par le BRGM (source : Infoterre)).

L'ensemble des ouvrages et de la zone protégée reposent sur les alluvions de la vallée de l'Orne.

4.5.2 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 C, aucune étude du risque sismique n'est donc nécessaire.

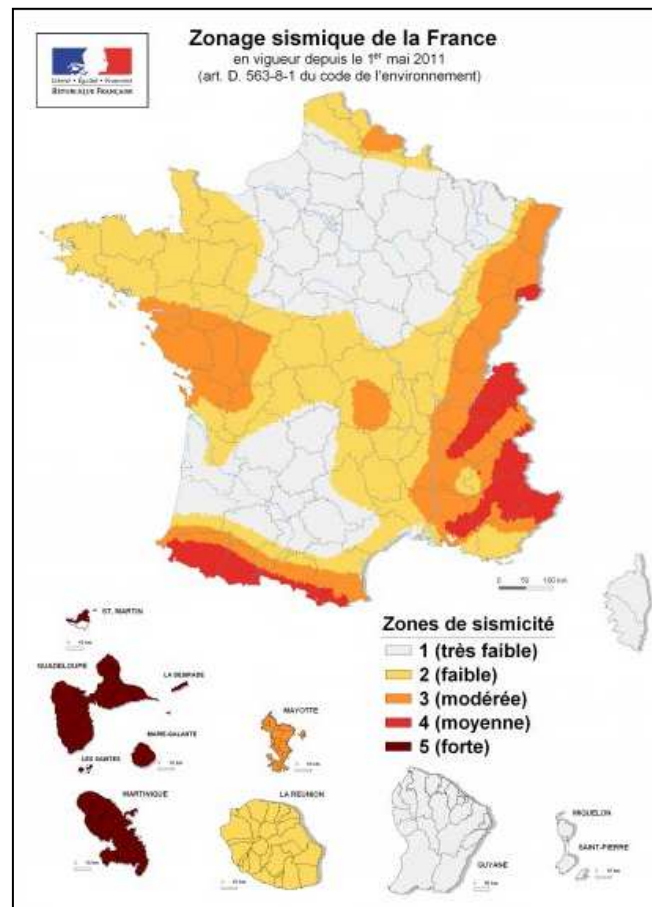


Tableau 4-3 : zonage sismique de la France.

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.

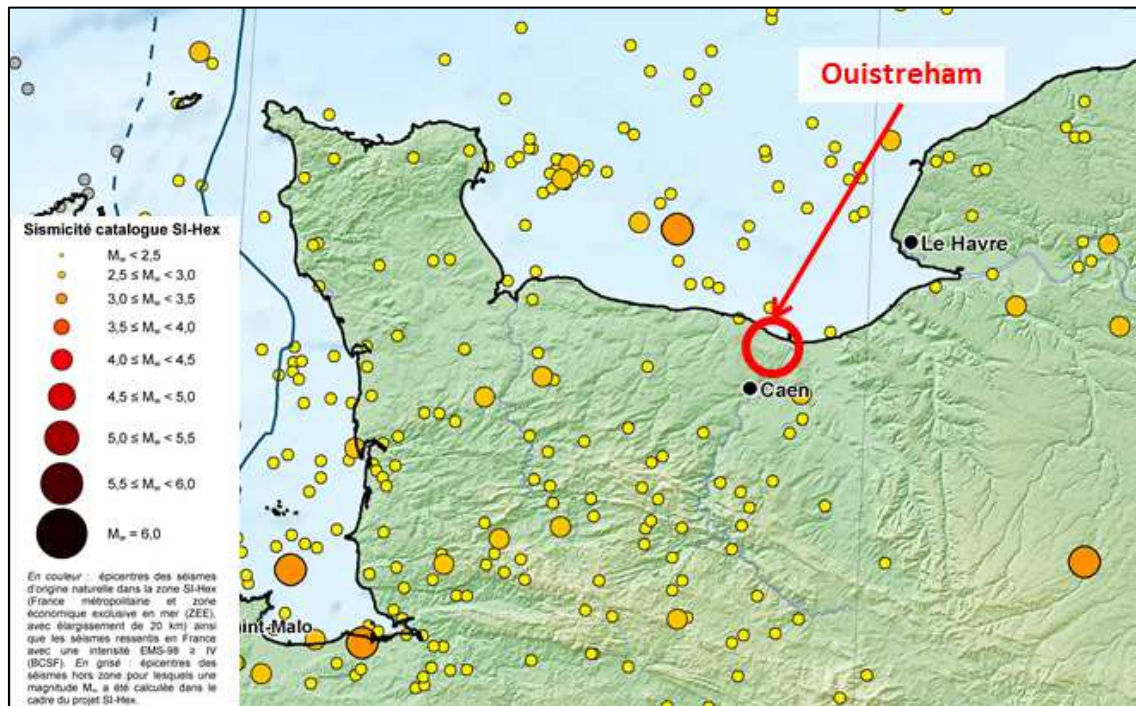


Tableau 4-4 : épicentre des séismes observés entre 1962 et 2009 à proximité de la zone d'étude. La couleur des points figure la magnitude du séisme (source : www.franceseisme.fr).

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 C⁴.

4.5.3 TSUNAMI

La Tableau 4-6 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 4-5 : liste des tsunamis observés sur les côtes de Normandie.

⁴ : cf. Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques, MEDDE-DGPR, octobre 2014.

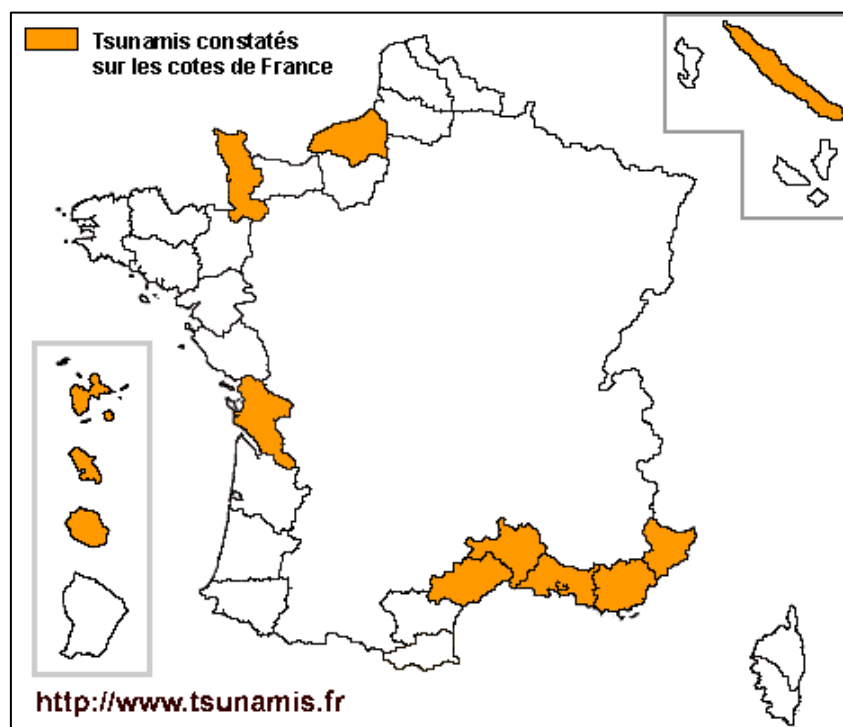


Tableau 4-6 : tsunamis constatés sur les côtes de France.

Le site www.tsunamis.fr informe d'une liste de faux tsunamis (événements 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 4-7 : liste de faux tsunamis sur les côtes de Normandie.

5 CHAPITRE 5 : DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le système d'endiguement de Louvigny constitue une protection contre les inondations liées aux crues de l'Orne. La cote de protection apparente de l'ouvrage est 7,70 mNGF. La zone protégée s'étend en totalité sur la commune de Louvigny.

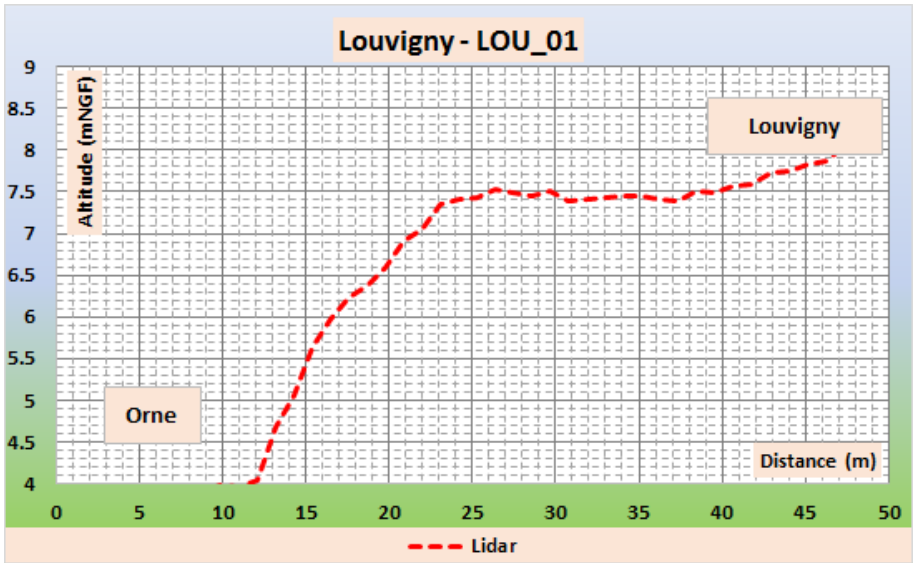
Les terrains protégés sont nivelés au-dessus de 4,8 à 4,9 mNGF.

Le système d'endiguement de Louvigny compte deux ouvrages principaux de protection, la « petite digue » et la « grande digue », complétés par d'autres ouvrages assurant la continuité de la protection.

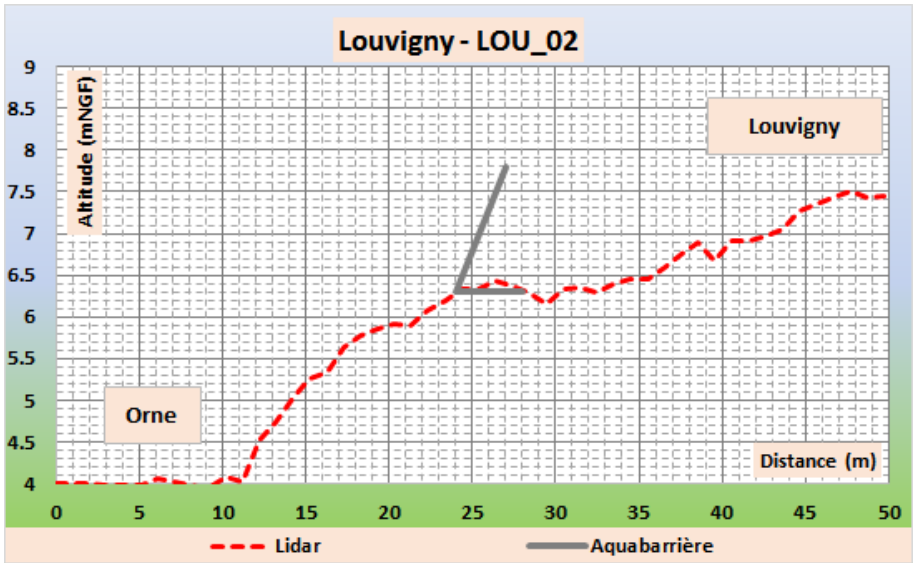
Les ouvrages constitutifs du système d'endiguement de Louvigny sont ainsi décomposés en 9 sous-tronçons.

L'ensemble de ces tronçons sont classés par un arrêté préfectoral de classement en date du 14/08/2009.

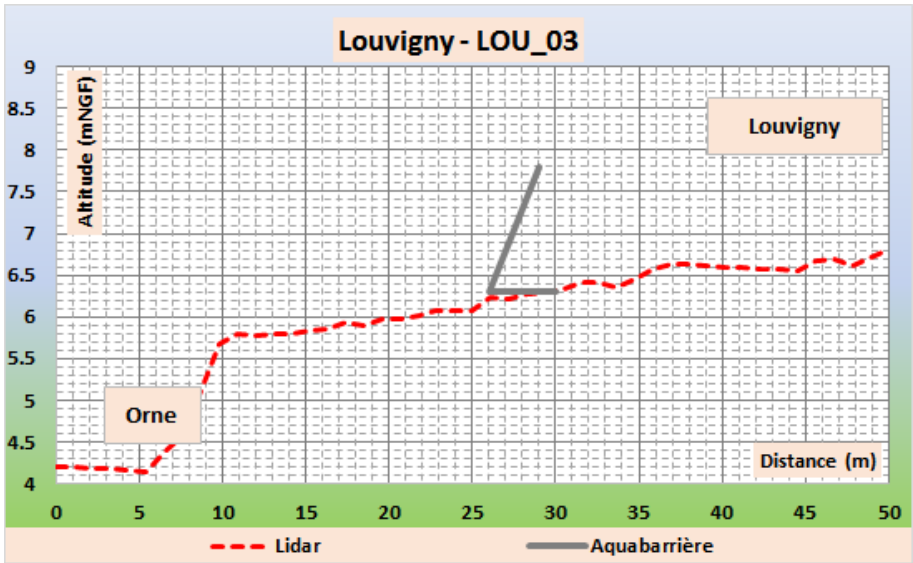
5.1 OUVRAGES EXISTANTS

Louvigny – sous-tronçon 1	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	65 ml Extrémité 1 : X = 452 388 m – Y = 6 900 223 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 448 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93)
Date de construction et travaux	
Description de la structure et géométrie	

	Partie du système d'endiguement s'apparentant à un élément naturel permettant la fermeture du SE : ▪ Lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 2,0 à 2,5H/1V, ▪ Le terrain naturel avec un merlon ou bourrelet de berge, ▪ Un champ cultivé.
Cote (mNGF)	Cote pied de berge : 4,1 mNGF, Cote merlon : 7,5 mNGF, présence de points bas, Cote zone protégée : 7,4 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage traversant recensé.
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur une propriété privée
Gestion	Partie du système d'endiguement non reconnue comme ouvrage.
Etat général	Non accédé lors de la VTA

Louvigny – sous-tronçon 2	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	2,85 ml Extrémité 1 : X = 452 448 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 450 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Aménagement et construction du mur en béton en 2004
Description de la structure et géométrie	

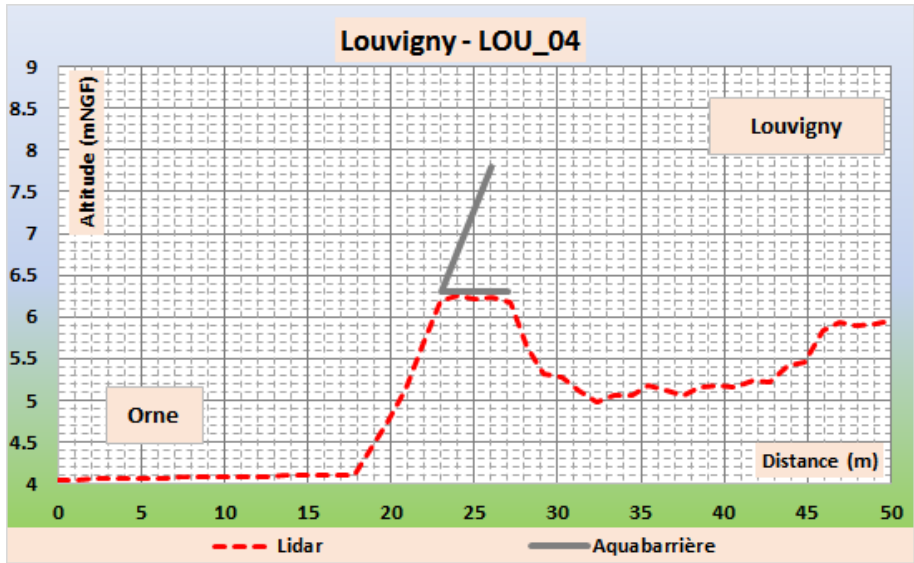
	La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 4,5H/1V, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Chemin communal remontant en pente douce.
Cote (mNGF)	Cote de la base des aquabarrières : 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Un émissaire pluvial muni d'un clapet anti-retour passe dans la fondation.
Propriété et parcelles cadastrales	Domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Non accédé lors de la VTA

Louvigny – sous-tronçon 3	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	105 ml Extrémité 1 : X = 452 450 m – Y = 6 900 250 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 549 m – Y = 6 900 227 m (Lambert 93)
Date de construction et travaux	Aménagement en 2004
Description de la structure et géométrie	

	La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ Jardin privé, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Jardin privé et habitation.
Cote (mNGF)	Cote de la base des aquabarrières : 6,2 à 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage traversant recensé.
Propriété et parcelles cadastrales	5 parcelles privés – jardins des habitations
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Non accédé lors de la VTA

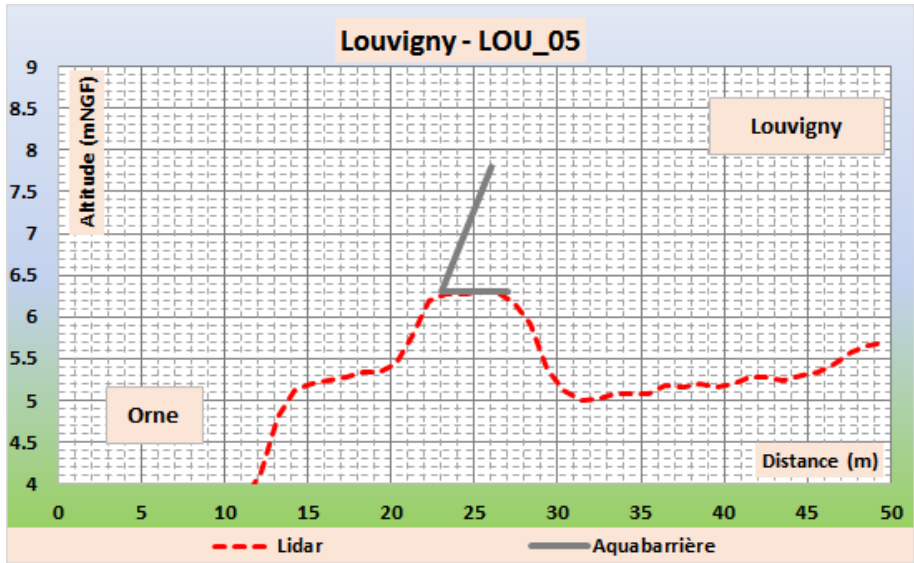
Louvigny – sous-tronçon 4

Localisation	
Photo	
Longueur utile	150 ml Extrémité 1 : X = 452 549 m – Y = 6 900 227 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 698 m – Y = 6 900 298 m (Lambert 93)

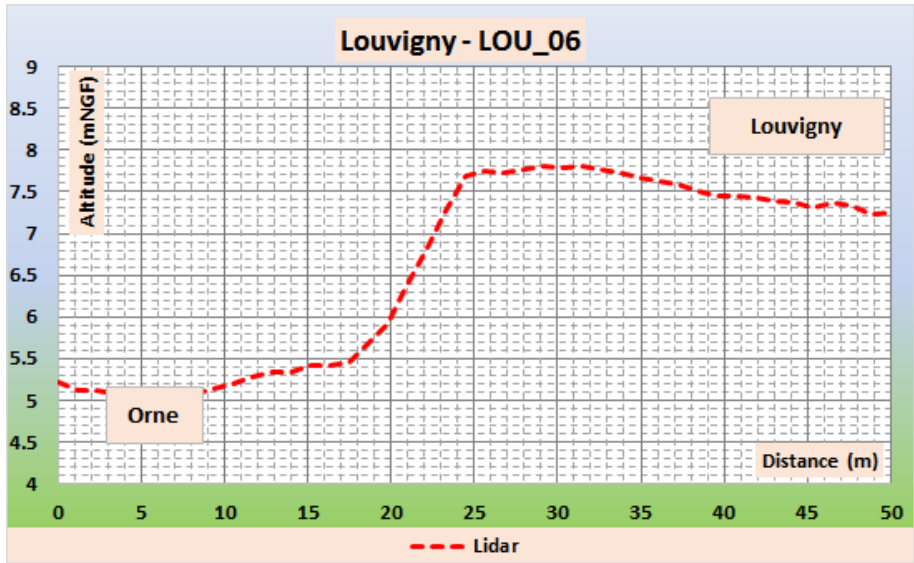
Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ La rue de la Haule.
Cote (mNGF)	Cote pied de digue côté Orne : 4,0 mNGF, Cote de la digue : 6,2 à 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >5,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Cinq ouvrages traversant munis de clapet anti-retour sont recensés (exutoires pluviaux).
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct de la digue (VTA, ISL 2021) Ouvrage amovible non observé

Louvigny – sous-tronçon 5

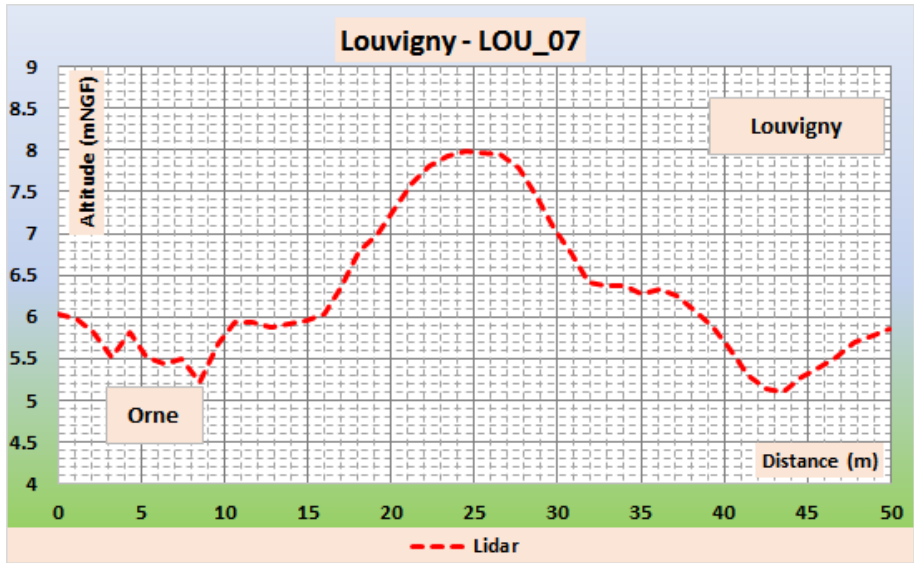
Localisation	
Photo	
Longueur utile	115 ml Extrémité 1 : X = 452 698 m – Y = 6 900 298 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 811 m – Y = 6 900 300 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004 Travaux d'enlèvement d'un arbre en octobre 2021
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Le lit de l'Orne, ▪ Une risberme de largeur variable en pied de digue, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ Plateforme pour installation des aquabarrières, ▪ Un talus de pente 2H/1V, ▪ La rue de la Haule.
Cote (mNGF)	Cote pied de digue côté Orne : 5,0 à 5,3 mNGF, Cote de la digue : 6,2 à 6,3 mNGF, Cote sommet des aquabarrières : 7,8 mNGF Cote zone protégée : >5,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Trois ouvrages traversant munis de clapet anti-retour sont recensés (exutoires pluviaux).
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021) Ouvrage amovible non observé Arbre tombé en décembre 2020, enlevé en octobre 2021 avec dessouchage et restauration du corps de digue – EISH du 24 décembre 2020

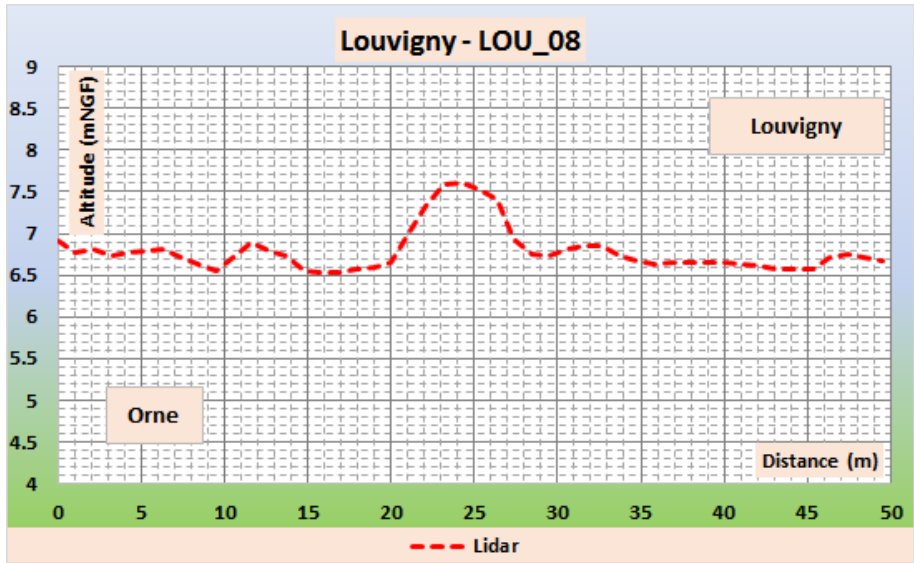
Louvigny – sous-tronçon 6	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	310 ml Extrémité 1 : X = 452 811 m – Y = 6 900 300 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 453 008 m – Y = 6 900 521 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Prairie, ▪ Un talus de pente 2,5H/1V, ▪ Crête de largeur variable, 3 m a minima, ▪ Un talus de pente très douce. Seule l'extrémité amont du tronçon présente un talus aval à 4H/1V, ▪ Prairie.
Cote (mNGF)	Cote prairie : 5,5 mNGF, Cote de la crête : 7,6 à 8,0 mNGF, Cote zone protégée : 5,5 à 6,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021)

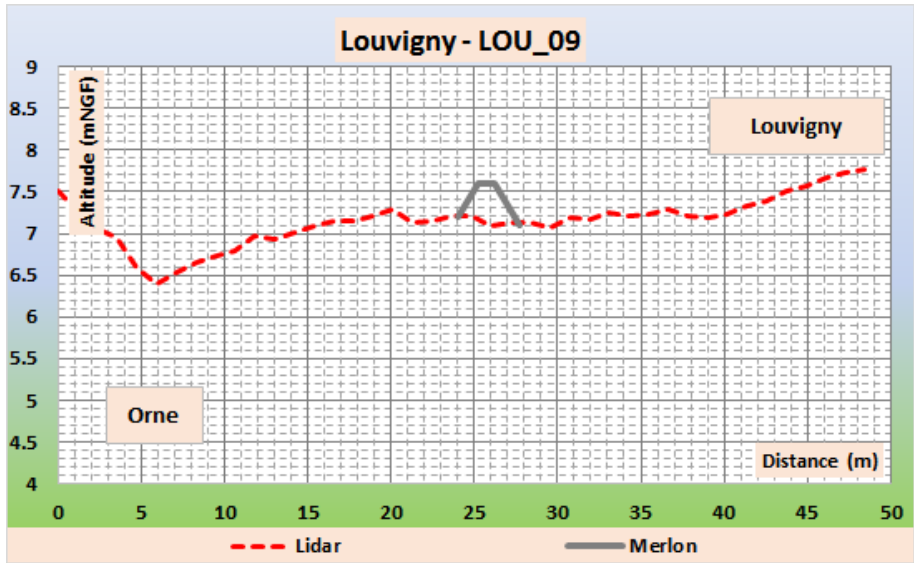
Louvigny – sous-tronçon 7	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	250 ml Extrémité 1 : X = 453 008 m – Y = 6 900 521 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 453 039 m – Y = 6 900 735 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Prairie, ▪ Un talus de pente 3 à 4H/1V, ▪ Crête de largeur 4 à 6 m, ▪ Un talus de pente 2,5 à 4H/1V, ▪ Zone humide.
Cote (mNGF)	Cote prairie : 5,5 à 6,0 mNGF, Cote de la crête : 7,6 à 8,0 mNGF, Cote zone protégée : 5,5 à 6,0 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021)

Louvigny – sous-tronçon 8	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	45 ml Extrémité 1 : X = 453 039 m – Y = 6 900 735 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 996 m – Y = 6 900 751 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Aménagement et construction de la digue en 2004
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend (de l'Orne vers la ville) : ▪ Prairie, ▪ Un talus de pente 3 à 4H/1V, ▪ Crête de largeur 3 à 4 m, ▪ Un talus de pente 2 à 2,5H/1V, ▪ Jardins privés.
Cote (mNGF)	Cote prairie : 6,5 mNGF, Cote de la crête : 7,5 à 7,8 mNGF, Cote zone protégée : 6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Etat général correct (VTA, ISL 2021)

Louvigny – sous-tronçon 9	
Localisation	
Photo	
Longueur utile	50 ml Extrémité 1 : X = 452 996 m – Y = 6 900 751 m (Lambert 93) Extrémité 2 : X = 452 970 m – Y = 6 900 792 m (Lambert 93)

Date de construction et travaux	Construction de la voirie non datée, merlon amovible
Description de la structure et géométrie	 La structure de l'ouvrage comprend les voiries du carrefour des RD202b et RD202c
Cote (mNGF)	Cote de la route : 7,1 mNGF, Cote de la protection : 7,6 mNGF, Cote zone protégée : 6,5 mNGF.
Ouvrages annexes	Aucun ouvrage recensé
Propriété et parcelles cadastrales	L'ouvrage de protection est situé sur le domaine public.
Gestion	Arrêté préfectoral de reconnaissance d'existence, de classement et de prescriptions spécifiques du 14 août 2009.
Etat général	Ouvrage provisoire non reconnu

5.2 OUVRAGES A CONSTRUIRE OU A MODIFIER

Le système d'endiguement, afin d'assurer la continuité du niveau de protection, nécessite la mise en place de plusieurs tronçons amovibles afin de boucher les « brèches ». Au total, 2 brèches sont identifiées :

- La « petite digue », comprenant le linéaire de la « petite digue » (LOU_04 et LOU_05), les jardins de 5 propriétés privés (LOU_03) et le tronçon dit de « Jardin Rouge » (LOU_02) ;
- Le carrefour des RD202b et RD202c.

La brèche de la « petite digue » est bouchée par un dispositif de batardeaux auto-stables mis en place par la société Aqua-barrières.

La brèche du carrefour des RD202b et RD202c est bouchée par la mise en œuvre d'un merlon de terre en travers de la chaussée par les services de la ville de Louvigny.

5.2.1 AQUA-BARRIERES

Le dispositif d'Aqua-barrières est mis en place sur les tronçons LOU_02 à LOU_05. A ses deux extrémités, deux murs en béton armé assurent la transition avec les tronçons avoisinant.

Le dispositif est constitué de modules auto-stables d'environ 1,5 m de hauteur, recouvert de plaques de bois et d'une géo-membrane assurant l'étanchéité.



Figure 5-1 : dispositif Aqua-barrières.

Trois entreprises sont mobilisées pour le montage du dispositif : la SADE à Giberville, la SAUR à Grentheville et FLORO TP à Bretteville-sur-Laize.

Le compte rendu de l'essai de montage de janvier 2019 est fourni en ANNEXE 3.

5.2.2 MERLONS DE TERRE

Le tronçon LOU_09, situé au carrefour RD202b et RD202c, comprend l'édification d'un merlon de terre en cas d'alerte de crues.

Le merlon comprend les caractéristiques suivantes :

- Corps de remblai en matériaux argileux compacté ;
- Pente des talus à 3H/1V ;

- Largeur en crête : 1,5 à 2 m ;
- Nivellement de la crête : 7,6 mNGF, soit une hauteur d'environ 70 cm sur la chaussée.

Afin d'assurer l'étanchéité, le merlon est recouvert par une géomembrane lestée en pied et en crête par des sacs de sable et/ou des chaînes.



Figure 5-2 : localisation des brèches du système d'endiguement de Louvigny.

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.

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 inondations	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
				Enrochements en berge
				Risberme côté Orne
				Talus côté terre
			Assurer l'étanchéité et le maintien du remblai	Végétation
				Enrochements en berge
				Talus côté terre
			Permettre l'accès pour entretien	Risberme côté Orne
	Evacuer les eaux terrestres	Emissaires	Transférer l'eau	Canalisation
			Empêcher les eaux de passer en arrière de la digue	Clapets

Tableau 5-1 : analyse fonctionnelle générale.

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

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_01	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai

Tableau 5-2 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_01.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_02	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Dispositif Aqua-barrière	Augmentation du niveau de protection
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai
	Ouvrage traversant	Transfert des eaux terrestres vers l'Orne

Tableau 5-3 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_02.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_03	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Dispositif Aqua-barrière	Augmentation du niveau de protection
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai

Tableau 5-4 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_03.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_04	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Dispositif Aqua-barrière	Augmentation du niveau de protection
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Prévenir l'érosion côté Orne
	Géomembrane	Structural, améliore l'étanchéité du corps de remblai
	Ouvrages traversants	Transfert des eaux terrestres vers l'Orne
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai

Tableau 5-5 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_04.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_05	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Risberme	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Dispositif Aqua-barrière	Augmentation du niveau de protection
	Enrochements	Structural, améliore la stabilité au glissement de l'ouvrage Prévenir l'érosion côté Orne
	Géomembrane	Structural, améliore l'étanchéité du corps de remblai
	Ouvrages traversants	Transfert des eaux terrestres vers l'Orne
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai

Tableau 5-6 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_05.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_06	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai

Tableau 5-7 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_06.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_07	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai

Tableau 5-8 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_07.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_08	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Végétation du parement	Protection contre l'érosion du corps de remblai

Tableau 5-9 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_08.

Ouvrage	Composants	Fonctions
LOU_09	Corps de remblai	Structural, améliore la stabilité de l'ouvrage
	Géomembrane	Etanchéité du remblai

Tableau 5-10 : Analyse fonctionnelle par composants d'ouvrage – LOU_09.

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 CRUES DE JANVIER 1995 ET 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

La crue de janvier 1995 a eu des conséquences très importantes à Louvigny qui a été fortement inondé.

6.1.2 CRUES APRES LES TRAVAUX DE PROTECTION MENES PAR LE SMLCI DE LA VALLEE 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 :

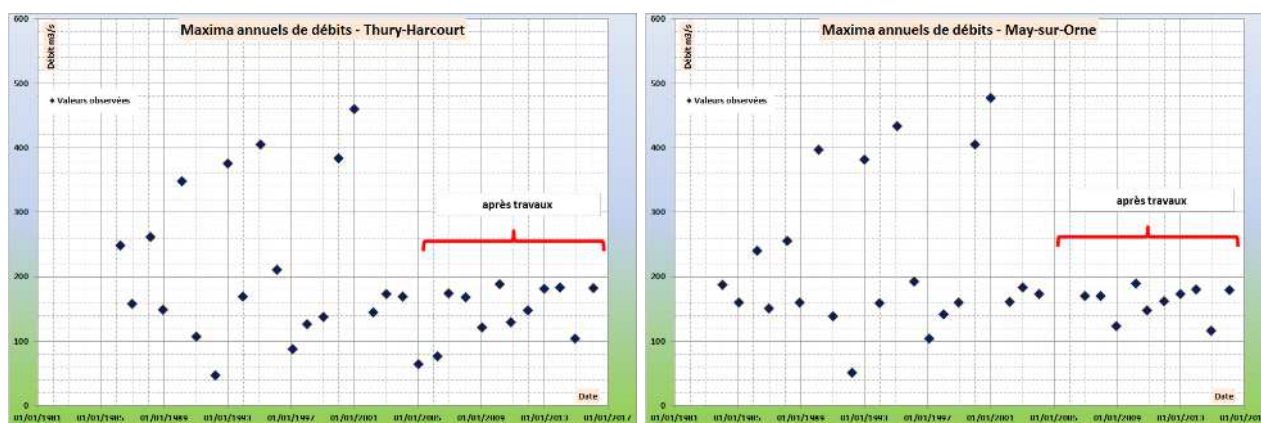


Figure 6-1 : maxima annuels de débits enregistrés aux stations de Thury-Harcourt et May-sur-Orne sur l'Orne.

La décennie 1990-2000 est marquée par 5 crues majeures avoisinant ou dépassant les 400 m³/s à la station de May-sur-Orne : février 1990, janvier 1993, janvier 1995, décembre 1999 et janvier 2001. Depuis 2001, aucune crue n'a dépassé les 200 m³/s à cette station.

Depuis la réalisation des travaux, les ouvrages constituant le système d'endiguement de Louvigny n'ont pas été sollicités par les crues.

Le dispositif d'Aqua-barrières a été mis en place à plusieurs reprises à titre préventif. Toutefois, les eaux de crue n'ont pas sollicité le dispositif.

6.1.3 CARACTERISTIQUES 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 m ³ /s	~100 ans
Janvier 1995	4,22 m	460 m ³ /s	~20 ans
Janvier 2001	4,48 m	500 m ³ /s	~40 ans

Tableau 6-1 : caractéristiques des principales crues historiques.

6.2 EISH DU 24 DECEMBRE 2020

Le 24 décembre 2020, lors d'un fort coup de vent, un arbre situé dans le talus amont de la « petite digue », en face de la salle des fêtes, s'est abattu dans l'Orne.

Cet évènement a fait l'objet d'une déclaration EISH.

L'enlèvement de la souche a mis en évidence la présence de champignons sur les racines qui ont pu fragiliser l'arbre.

La souche a été enlevée en octobre 2020 et le corps de digue a été reconstitué.

Le gestionnaire prévoit un diagnostic de l'état des arbres sur l'ensemble de la digue.

6.3 ACCIDENTOLOGIE GENERALE DES DIGUES EN REMBLAI

On distingue quatre mécanismes de rupture d'une digue en remblai :

- rupture par surverse,
- rupture par érosion externe côté cours d'eau,
- rupture par érosion interne du corps de la digue ou de la fondation, en partie courante ou au droit des franchissements,
- rupture par instabilité.

Les sections suivantes illustrent les principaux modes de défaillance.

6.3.1.1 Rupture par surverse

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 cours d'eau jusqu'à atteindre le point de surverse. L'ouverture d'une brèche est alors rapide.

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

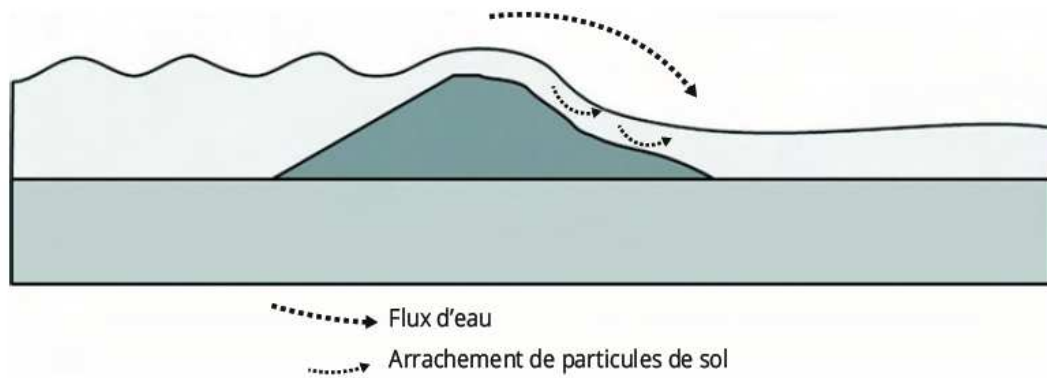


Figure 6-2 : Mécanisme de rupture par surverse.



Figure 6-3 : Rupture de digue par surverse du Vidourle à Marsillargues lors de la crue de septembre 2002 (source : mairie de Marsillargues).

6.3.1.2 Rupture par érosion externe

Deux phénomènes peuvent être différenciés concernant la rupture d'une digue par érosion externe :

- l'érosion du parement du côté du cours d'eau au contact de l'écoulement,
- le sapement de la berge sur laquelle repose la digue.

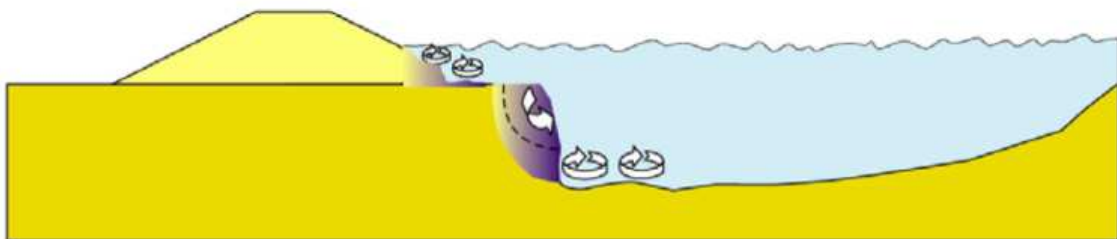


Figure 6-4 : Mécanisme de rupture par érosion externe.



Figure 6-5 : Mobilité fluviale du Var ayant "emporté" un linéaire de la digue de Guillaumes (source : ONF Alpes Maritimes)



Figure 6-6 : Illustration d'un chablis sur la digue de l'Agly Maritime (ISL, 2019)

6.3.1.3 Rupture par érosion interne

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

- l'entraînement des particules les plus fines d'un matériau à travers ses particules les plus grossières (couramment nommé suffusion interne ou érosion volumique),



Figure 6-7 : Illustration de la suffusion

- l'érosion régressive d'une couche de matériau érodable continue d'amont vers l'aval sous l'effet d'un écoulement affectant cette couche,

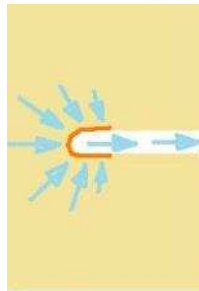


Figure 6-8 : Illustration de l'érosion régressive

- l'érosion des parois d'un conduit d'écoulement existant tel un terrier traversant, une fissure, l'interface avec un ouvrage traversant,

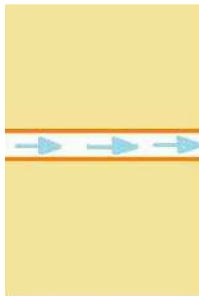


Figure 6-9 : Illustration de l'érosion de conduit

- l'érosion d'un matériau érodable au contact d'un matériau grossier, siège de l'écoulement.



Figure 6-10 : Illustration de l'érosion de contact

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

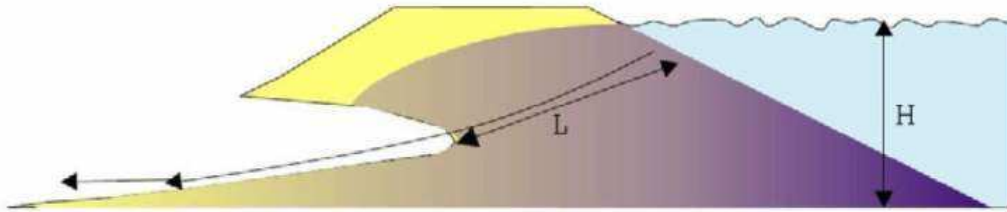


Figure 6-11 : Mécanisme de rupture par érosion interne Erreur ! Source du renvoi introuvable.



Figure 6-12 : Dignes de l'Agly – Erosion de talus et débouché du fontis (source : ISL)



Figure 6-13 : Renard le long d'une conduite sur la digue de Cuxac-d'Aude lors de la crue de novembre 1999 (source :IRSTEA), ayant occasionné un écoulement de plusieurs centaines de litres secondes à travers la digue - brèche en cours de formation



Figure 6-14 : Fontis dans la digue de la station INRA de Saint Pée sur Nivelles (source : ISL)

6.3.1.4 Rupture par instabilité

Les instabilités à considérer sur les digues sont :

- glissement du talus côté terre (A) : le cas le plus critique est atteint lorsque la ligne piézométrique est la plus haute, au voisinage du pic de la crue ;
- glissement du talus du côté du cours d'eau (B) : 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 :
 - o le niveau d'eau amont n'exerce plus une poussée stabilisante ;
 - o la cohésion des matériaux est réduite par la saturation ;
 - o le poids des terres est augmenté par la saturation ;

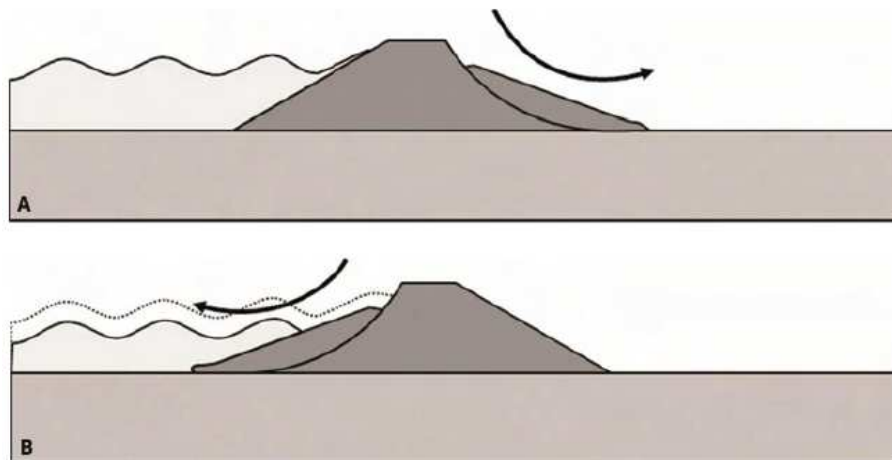


Figure 6-15 : Glissement superficiel affectant un corps de digue en terre.

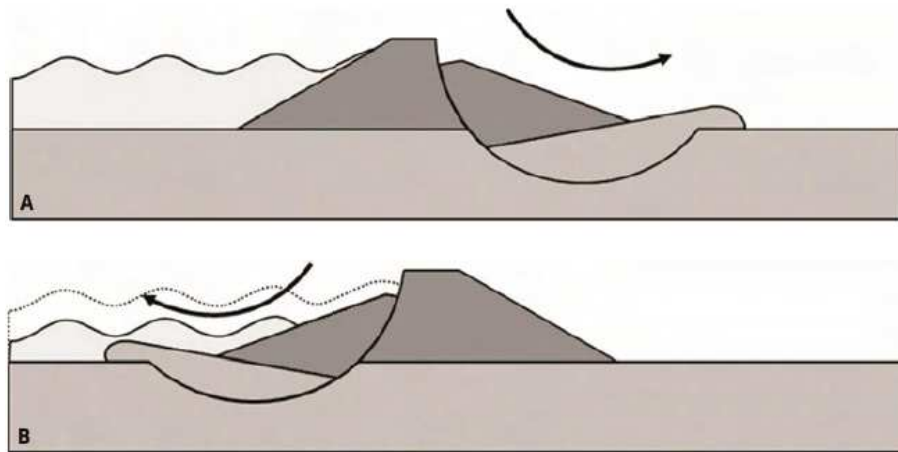


Figure 6-16 : Glissement rotationnel profond affectant un corps de digue en terre et sa fondation.

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

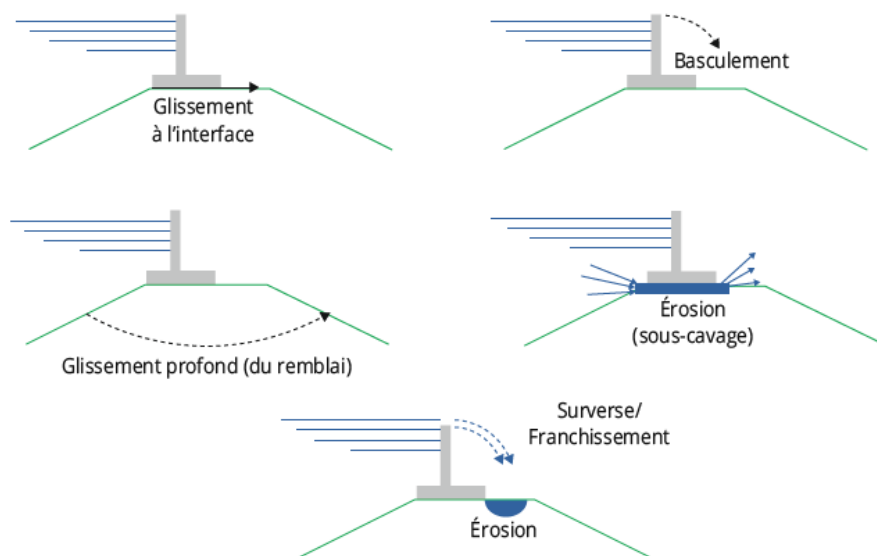


Figure 6-17 : Illustration des différents modes de rupture associés à un mur posé sur une digue en remblai.

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

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

7.1 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUE DES OUVRAGES

7.1.1 APERÇU GENERAL

Le système d'endiguement de Louvigny s'étend sur un linéaire total de 1 100 ml environ. Il présente plusieurs typologies d'ouvrages présentés d'amont en aval dans le Tableau 7-1 :

Tronçon	Longueur (m)	Typologie
LOU_01	65	Terrain naturel avec merlon de berge
LOU_02	3	Batardeaux amovibles (Aqua-barrières)
LOU_03	105	Batardeaux amovibles (Aqua-barrières) sur propriétés privées
LOU_04	150	Batardeaux amovibles (Aqua-barrières) sur digue en remblai
LOU_05	115	Batardeaux amovibles (Aqua-barrières) sur digue en remblai
LOU_06	310	Digue en remblai
LOU_07	250	Digue en remblai
LOU_08	45	Digue en remblai
LOU_09	50	Merlon en terre

Tableau 7-1 : typologie des tronçons constituant le système d'endiguement de Louvigny.



Figure 7-1 : localisation des tronçons du système d'endiguement de Louvigny.

Le profil en long de la digue est donné sur la Figure 7-2 :

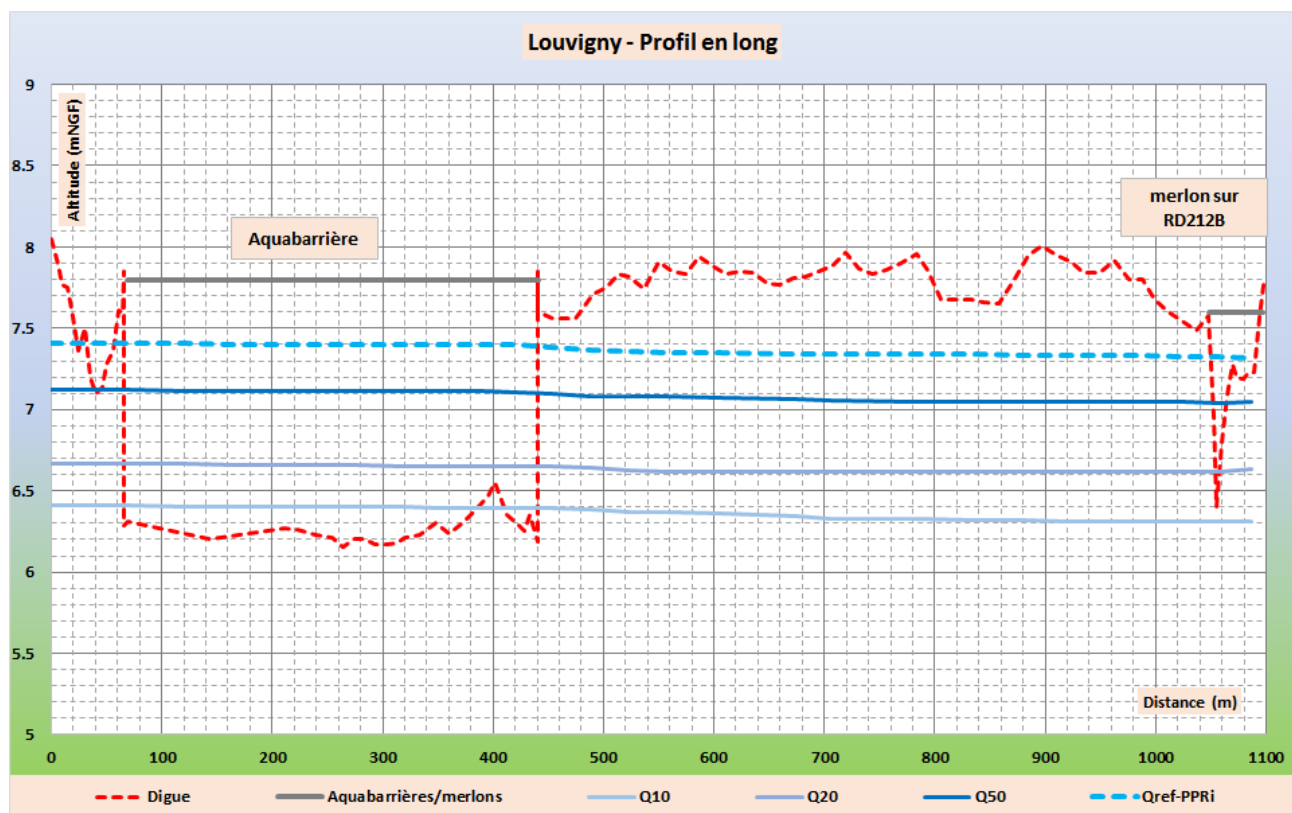


Figure 7-2 : profil en long – Louvigny.

Le niveau de crête du système d'endiguement est variable, de 6,2 mNGF à 8,0 mNGF.

Les points bas sont situés sur les parties accueillant les dispositifs amovibles de protection.

A l'extrémité amont du système d'endiguement, le terrain naturel présente plusieurs points bas en berge.

Un suivi topographique annuel est assuré par le gestionnaire sur l'ensemble du domaine public.

7.1.2 GEOMETRIE ET STRUCTURE

7.1.2.1 Tronçon LOU_01

Le tronçon LOU_01 s'étend sur environ 65 ml. Il s'agit d'un élément naturel fermant le système d'endiguement à son extrémité Ouest.

Il comprend :

- Lit de l'Orne,
- Un talus de pente 2,0 à 2,5H/1V,
- Le terrain naturel avec un merlon ou bourrelet de berge,
- Un champ cultivé.

La figure ci-dessous présente la coupe type du tronçon :

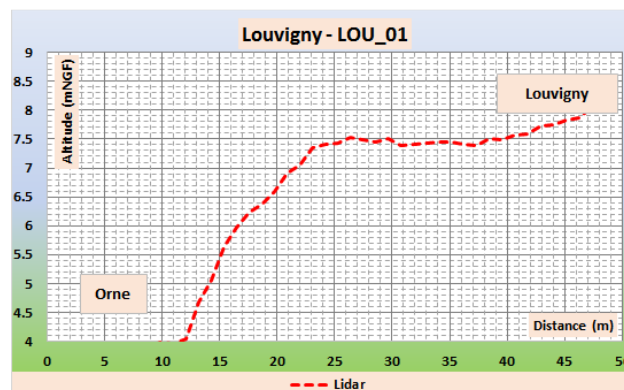


Figure 7-3 : profils du tronçon LOU_01.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est d'environ 7,5 mNGF avec quelques points bas autour de 7,0 à 7,1 mNGF.

La Figure 7-4 montre que le niveau de protection est tout juste assuré, sans revanche, le long du tronçon LOU_01 : des points bas sont localisés sur la berge mais la topographie du terrain en arrière de la berge assure tout juste la continuité du niveau de protection.



Figure 7-4 : altimétrie le long du tronçon LOU_01 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.2 Tronçon LOU_02

Le tronçon LOU_02 s'étend sur environ 3 ml.

Ce tronçon est aménagé pour accueillir le dispositif d'Aqua-barrières. Il est bordé à l'Ouest par un mur en béton armé faisant la jonction avec le tronçon LOU_01.

La structure de l'ouvrage comprend :

- Le lit de l'Orne,
- Un talus de pente 4,5H/1V,
- Plateforme pour installation des Aqua-barrières,
- Chemin communal remontant en pente douce.

Les figures ci-dessous présentent la coupe type de la protection, comprenant le remblai et le dispositif d'Aqua-barrières :

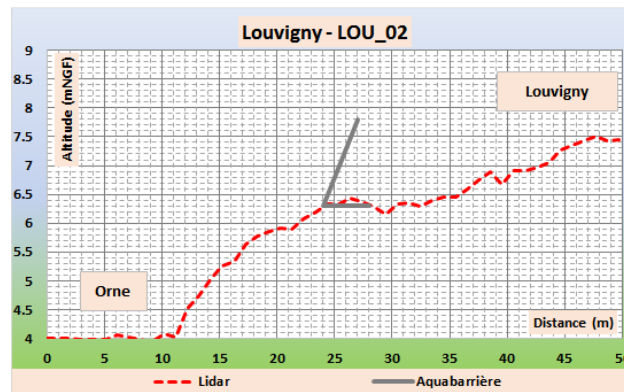


Figure 7-5 : profils du tronçon LOU_02.

Le dispositif d'Aqua-barrières n'étant pas en place, il n'a pu être observé.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est supérieure à 6,5 mNGF.



Figure 7-6 : altimétrie le long du tronçon LOU_02 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.3 Tronçon LOU_03

Le tronçon LOU_03 s'étend sur environ 105 ml.

Ce tronçon est aménagé pour accueillir le dispositif d'Aqua-barrières.

La structure de l'ouvrage comprend :

- Le lit de l'Orne,
- Un talus de pente 2H/1V,

- Jardin privé,
- Plateforme pour installation des Aqua-barrières,
- Jardin privé et habitation.

Les figures ci-dessous présentent la coupe type de la protection, comprenant le remblai et le dispositif d'Aqua-barrières :

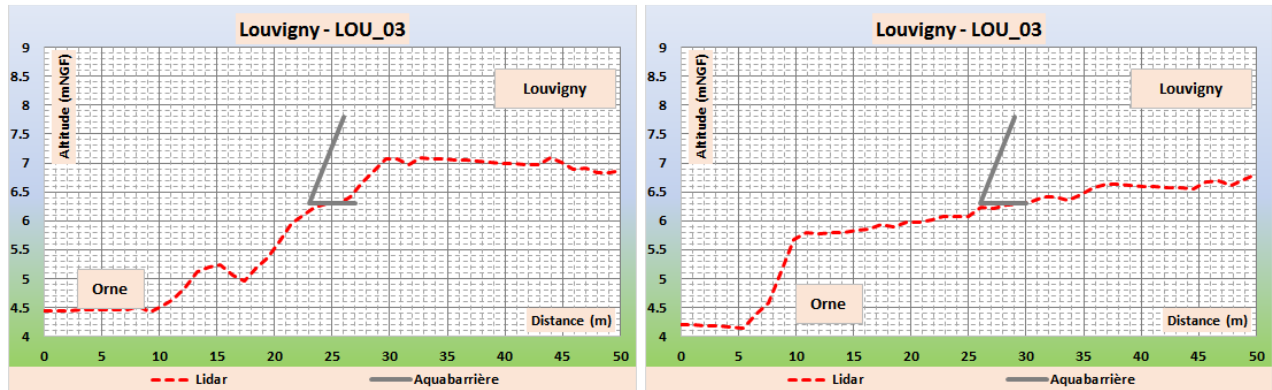


Figure 7-7 : profils du tronçon LOU_03.

Le dispositif d'Aqua-barrières n'étant pas en place, il n'a pu être observé.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est supérieure à 6,5 mNGF.



Figure 7-8 : altimétrie le long du tronçon LOU_03 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.4 Tronçon LOU_04

Le tronçon LOU_04 s'étend sur environ 150 ml.

Ce tronçon comprend une digue en remblai dont la crête est aménagée pour accueillir le dispositif d'Aqua-barrières.

La structure de l'ouvrage comprend :

- Le lit de l'Orne,
- Un talus de pente 2H/1V,
- Plateforme pour installation des Aqua-barrières,
- Un talus de pente 2H/1V,
- La rue de la Haule.

Les figures ci-dessous présentent la coupe type de la protection, comprenant le remblai et le dispositif d'Aqua-barrières :

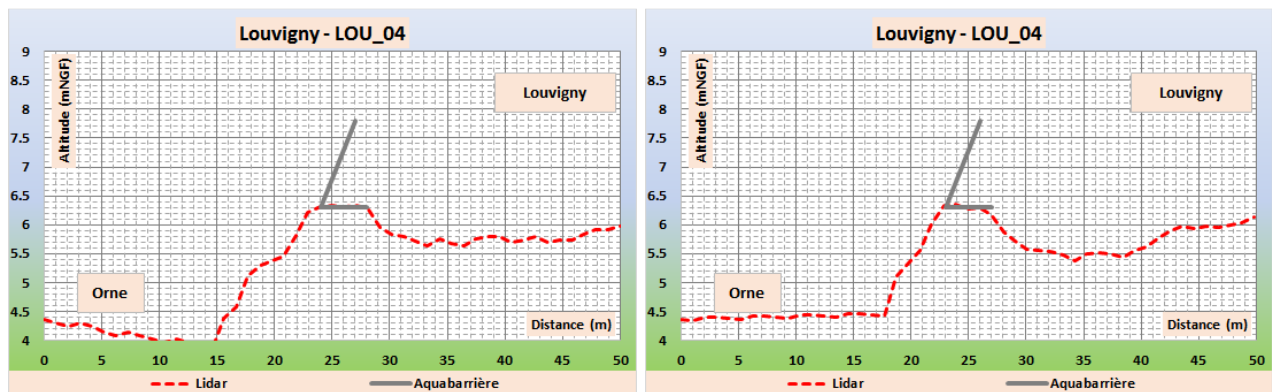


Figure 7-9 : profils du tronçon LOU_04.

La digue en remblai est dans un état global correct.

Elle est bordée par un alignement de grands arbres.



Figure 7-10 : vues générales du tronçon LOU_04.

Le dispositif d'Aqua-barrières n'étant pas en place, il n'a pu être observé.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est supérieure à 5,0 mNGF.

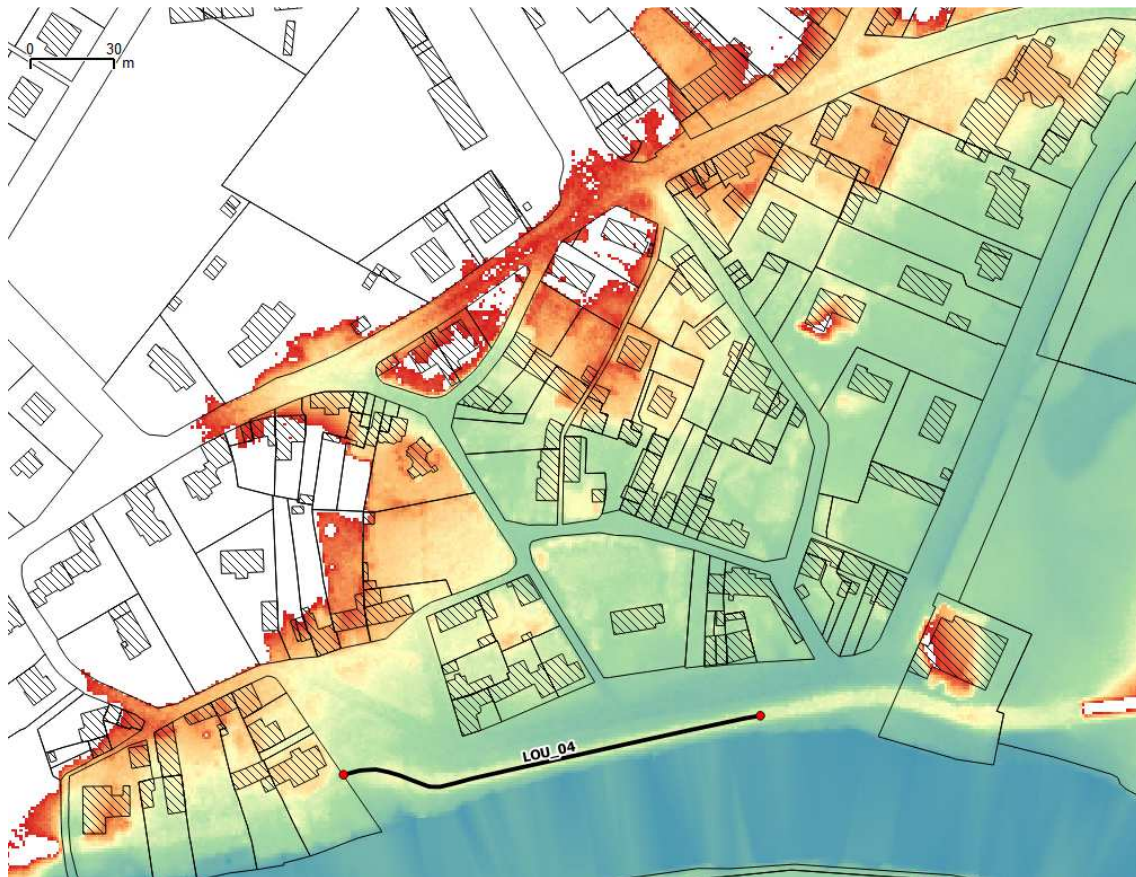


Figure 7-11 : altimétrie le long du tronçon LOU_04 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.5 Tronçon LOU_05

Le tronçon LOU_05 s'étend sur environ 115 ml.

Ce tronçon comprend une digue en remblai dont la crête est aménagée pour accueillir le dispositif d'Aqua-barrières. Il se distingue du tronçon LOU_04 par la présence d'une risberme en pied de digue, celui-ci n'étant pas en contact avec le lit de l'Orne.

La structure de l'ouvrage comprend :

- Le lit de l'Orne,
- Une risberme de largeur variable en pied de digue,
- Un talus de pente 2H/1V,
- Plateforme pour installation des Aqua-barrières,
- Un talus de pente 2H/1V,
- La rue de la Haule.

Les figures ci-dessous présentent la coupe type de la protection, comprenant le remblai et le dispositif d'Aqua-barrières :

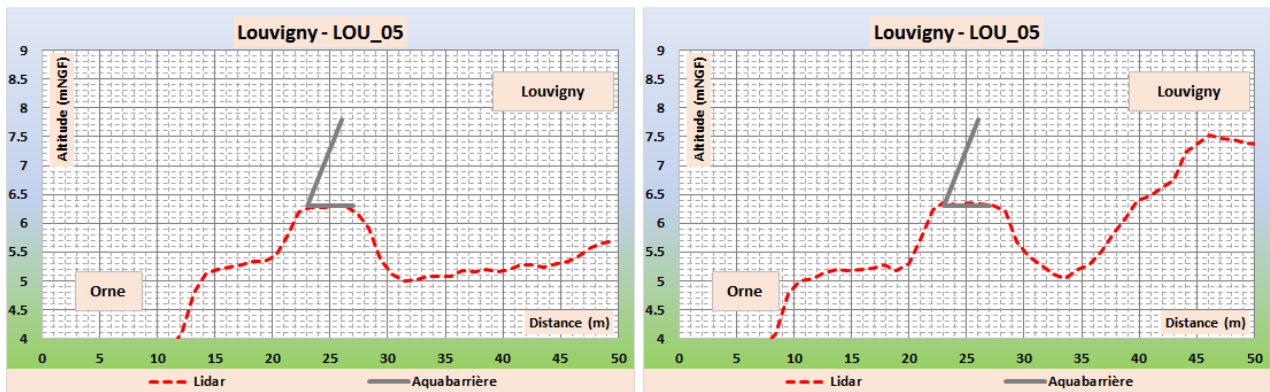


Figure 7-12 : profils du tronçon LOU_05.

La digue en remblai est dans un état global correct.

En décembre 2020, un arbre situé dans le talus côté rivière, face à la salle des fêtes, est tombé.



Figure 7-13 : vues générales du tronçon LOU_05.

Le dispositif d'Aqua-barrières n'étant pas en place, il n'a pu être observé.



Figure 7-14 : aperçu du montage du dispositif d'Aqua-barrières lors du test de 2019. Détail de la jonction sur le mur en béton (LOU_06).

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est supérieure à 5,0 mNGF.



Figure 7-15 : altimétrie le long du tronçon LOU_05 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.6 Tronçon LOU_06

Le tronçon LOU_06 s'étend sur environ 310 ml.

Ce tronçon comprend une digue en remblai présentant un talus côté Louvigny en pente très douce. La jonction avec le tronçon LOU_05 est assurée par un mur en béton armé.

La structure de l'ouvrage comprend :

- Prairie,
- Un talus de pente 2,5H/1V,
- Crête de largeur variable, 3 m a minima,
- Un talus de pente très douce. Seule l'extrémité amont du tronçon présente un talus aval à 4H/1V,
- Prairie.

Les figures ci-dessous présentent la coupe type de la protection :

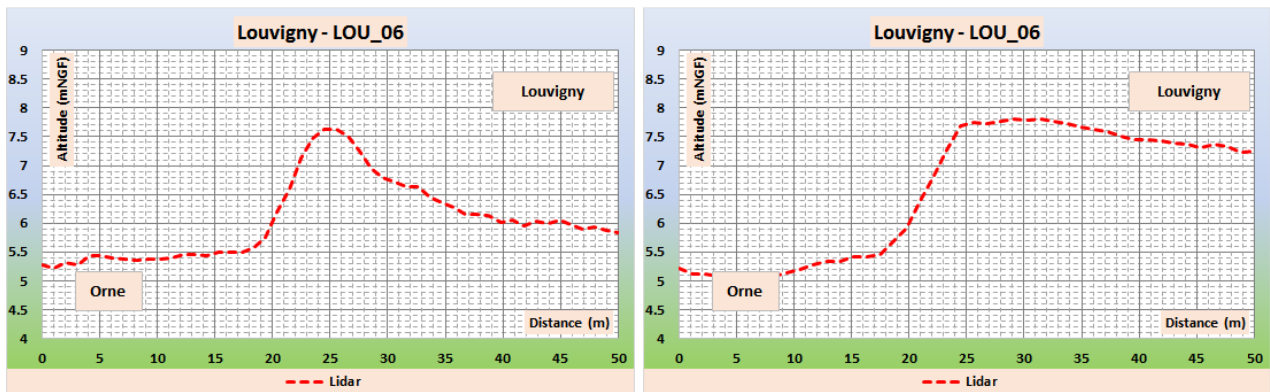


Figure 7-16 : profils du tronçon LOU_06.

Sur ses 20 premiers mètres, la digue présente un profil de digue « classique » avec un talus aval bien marqué.

La digue en remblai est dans un état global correct.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est supérieure à 6,0 mNGF.

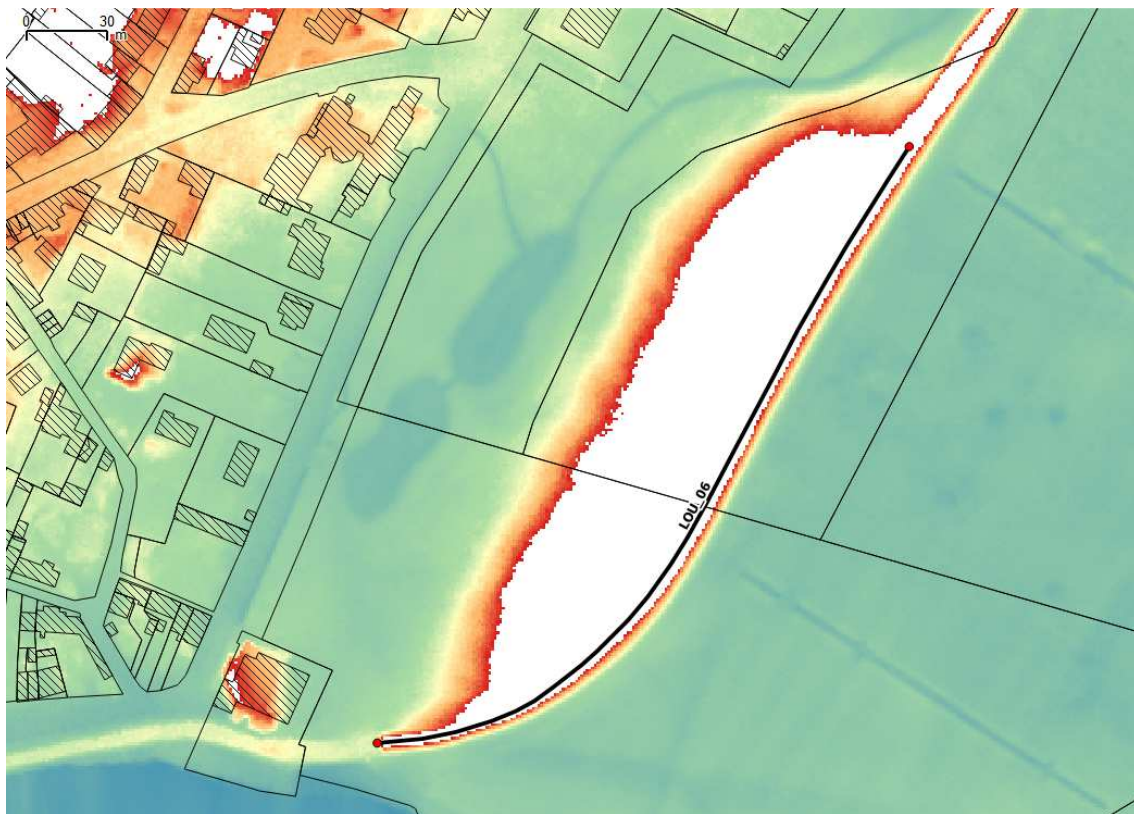


Figure 7-17 : altimétrie le long du tronçon LOU_06 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.7 Tronçon LOU_07

Le tronçon LOU_07 s'étend sur environ 250 ml.

Ce tronçon comprend une digue en remblai.

La structure de l'ouvrage comprend :

- Prairie,

- Un talus de pente 3 à 4H/1V,
- Crête de largeur 4 à 6 m,
- Un talus de pente 2,5 à 4H/1V,
- Zone humide.

Les figures ci-dessous présentent la coupe type de la protection :

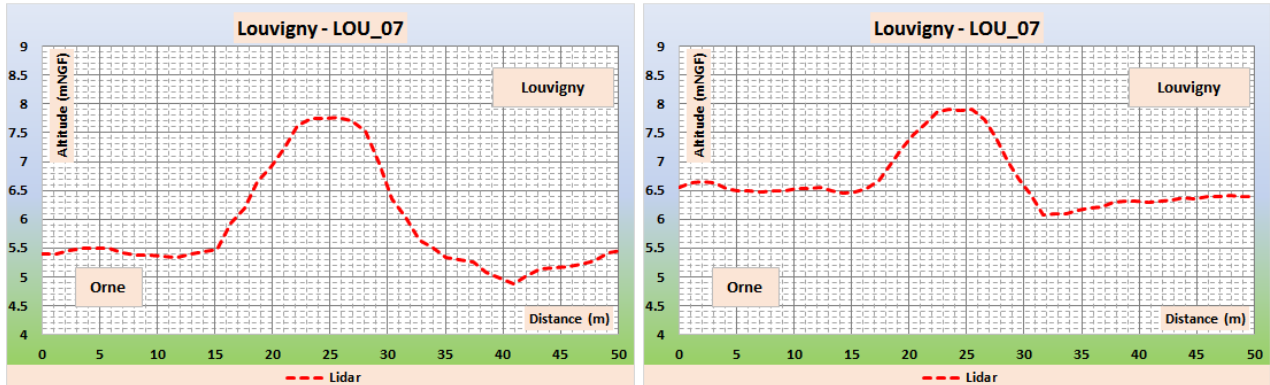


Figure 7-18 : profils du tronçon LOU_07.

La digue en remblai est dans un état global correct.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est de 5,5 à 6,0 mNGF.



Figure 7-19 : altimétrie le long du tronçon LOU_07 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.8 Tronçon LOU_08

Le tronçon LOU_08 s'étend sur environ 45 ml.

Ce tronçon comprend une digue en remblai.

La structure de l'ouvrage comprend :

- Prairie,
- Un talus de pente 3 à 4H/1V,
- Crête de largeur 3 à 4 m,
- Un talus de pente 2 à 2,5H/1V,
- Jardins privés.

Les figures ci-dessous présentent la coupe type de la protection :

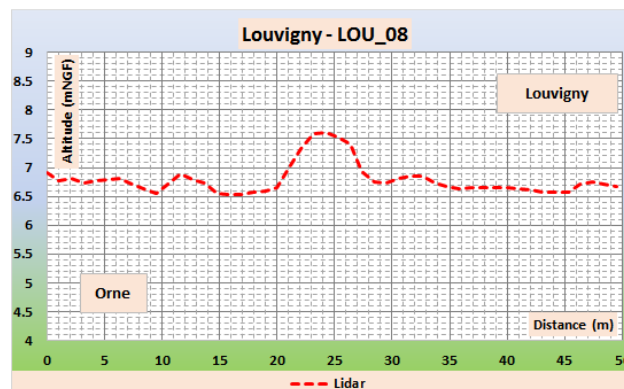


Figure 7-20 : profils du tronçon LOU_08.

La digue en remblai est dans un état global correct.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est supérieure à 6,5 mNGF.

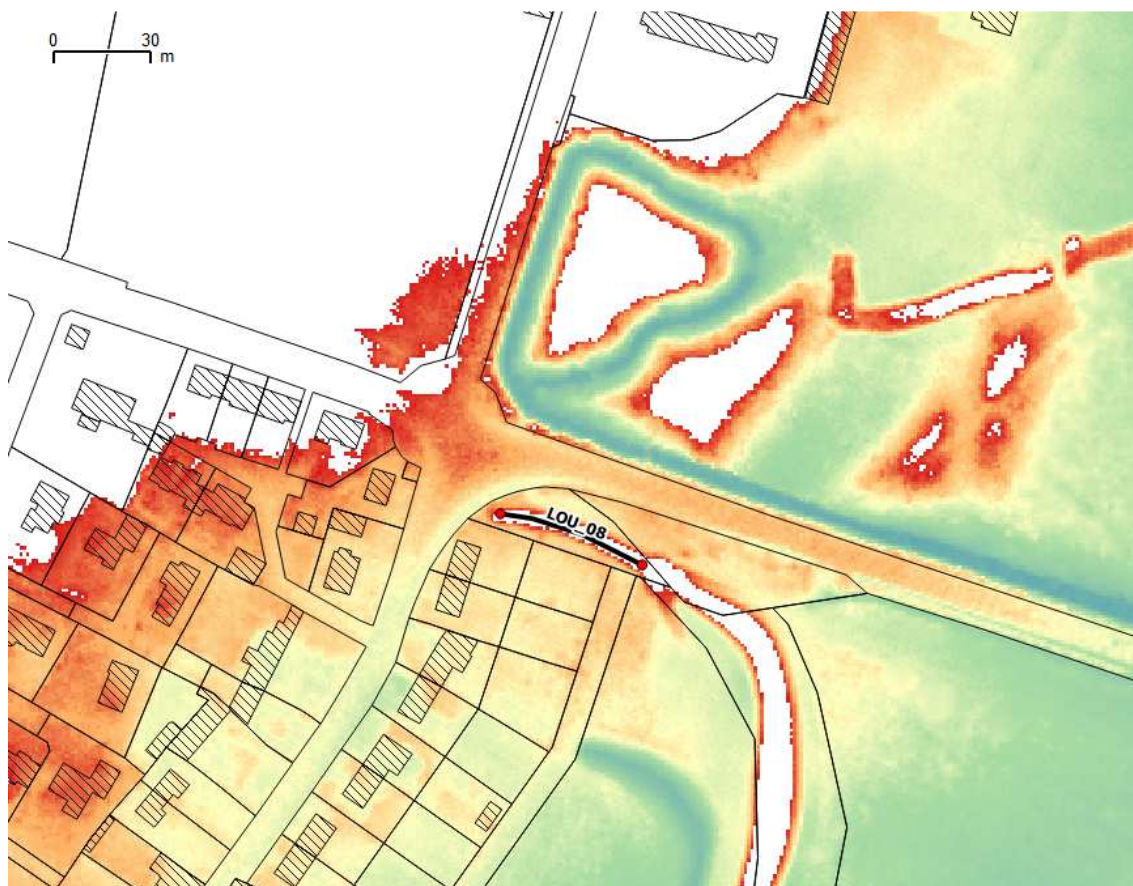


Figure 7-21 : altimétrie le long du tronçon LOU_08 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.2.9 Tronçon LOU_09

Le tronçon LOU_09 s'étend sur environ 50 ml. Il s'agit d'un merlon en terre mis en place lors d'une alerte crue.

Le merlon est édifié en travers du carrefour des RD202b et RD202c.

La figure ci-dessous présente la coupe type de la protection, comprenant le terrain naturel et le merlon :

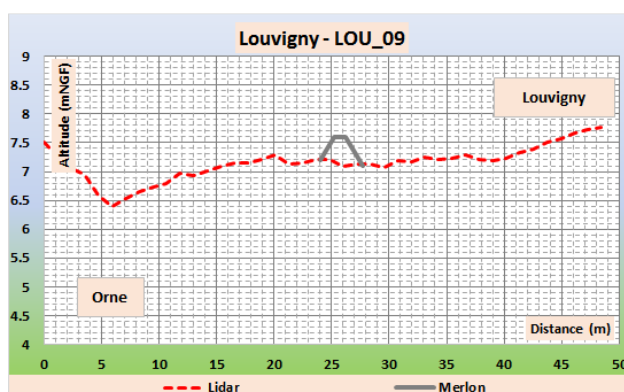


Figure 7-22 : profils du tronçon LOU_09.

Le merlon n'étant pas en place, il n'a pu être observé.

L'altitude de la zone protégée en arrière immédiat de l'ouvrage est supérieure à 6,5 mNGF.



Figure 7-23 : altimétrie le long du tronçon LOU_09 (en blanc ; altitude dépassant le niveau de protection).

7.1.3 CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

Des carottages et des analyses de sol ont été réalisés en 2014 dans le cadre des études de confortement des berges.

Les sondages ont été descendus à une profondeur supérieure à 10 m et ont fait l'objet de prélèvement d'échantillons intacts.

Les sondages sont localisés sur la figure suivante :

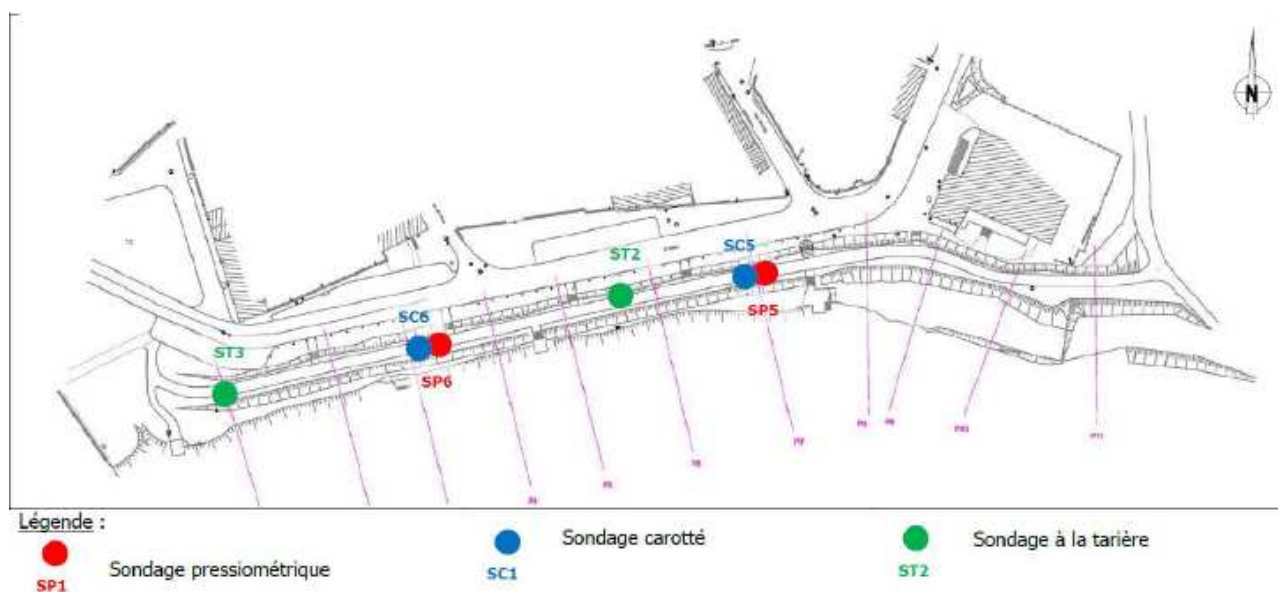


Figure 7-24 : position des sondages à Louvigny.

Les conclusions de l'étude géotechnique sont rappelées ci-après :

Profil	Sondage	Stratigraphie	Z base (NGF)	PI (MPa)	EM (MPa)	α	φ (°)	C (kPa)	γ (kN/m ³)
1 à 6	SP6 SC6 ST2 ST3	Remblais	4,8	0,76	5,7	2/3	24	4	18
		Alluvions modernes	1,8	0,50	5,2	1/2	20	5	18
		Alluvions anciennes	- 0,5	2,64	42,2	1/2	30	2	20
		Formations du Toarcien	-	1,96	19,7	2/3	30	20	20
7 à 11	SC5 SP5	Remblais	4,8	0,76	5,7	2/3	24	4	18
		Alluvions modernes	1,8	0,50	5,2	1/2	20	5	18
		Alluvions anciennes	- 0,1	2,64	42,2	1/2	30	2	20
		Formations du Toarcien	-	1,96	19,7	2/3	30	20	20

Tableau 7-2 : paramètres intrinsèques des sols.

Les résultats des essais sont relativement homogènes le long de la digue. L'ouvrage est ainsi constitué :

- D'une couche de remblai de hauteur 1,5 m environ, comprenant une couche de sables et graviers formant la plate-forme pour le déploiement des Aqua-barrières, sur une couche de sable argileux avec blocs de calcaires et graviers ;
- D'une couche d'alluvions modernes de hauteur 3 m environ, constituant la fondation du remblai et comprenant une couche d'argile limoneuse.

Les matériaux constituant le corps de digue et la fondation sont réputés peu sensibles à l'eau et au phénomène de renard hydraulique.

7.1.4 ETAT

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

Les tronçons LOU_01, LOU_02 et LOU_03 n'ont pu être inspectés du fait des restrictions d'accès sur les propriétés privées.

Les ouvrages amovibles n'ont pu être inspectés puisque non installés.

Lors de cette visite, 15 désordres ont été relevés.

Les désordres relevés sont rappelés dans le Tableau 7-3 :

	Nombre	Principales natures	Action
Gravité 1	9	- Déstructuration des marches des escaliers de la Petite Digue - Piétinements de la digue - Avaloir au niveau de la Petite Digue	Désordre de faible amplitude à surveiller
Gravité 2	5	- 2 rangées d'arbres sur le talus de la Petite Digue - Débouchés de terrier sur tout le linéaire des deux digues - Altération de l'enrobé au contact entre le trottoir et la route	Désordre pouvant amener à être de taille plus importante : à surveiller activement
Gravité 3	1	- Arbre tombé au niveau de la Petite Digue	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 7-3 : synthèse des désordres – Louvigny.

De nombreux désordres sont associés aux escaliers en béton situés sur la « petite digue » : compte tenu des mouvements de terrains, des fissures apparaissent sur ces escaliers.

Un désordre de gravité 3 est relevé : il s'agit de l'arbre tombé en décembre 2020 en face de la salle des fêtes. Cet incident a fait l'objet d'une déclaration d'EISH. Le désordre a été traité par le gestionnaire en octobre 2021.

L'intervention a été menée en deux temps :

- Février 2021 : tronçonnage et évacuation du tronc, maintien de la souche en place ;
- Octobre 2021 : enlèvement de la souche et du système racinaire, remise en état de la digue.

Fiche ANALYSE d'événement important pour la sûreté hydraulique (EISH) d'une DIGUE	
Date de l'EISH	24/12/2020
Nom de l'ouvrage / aménagement	Digue de Louvigny
Code identifiant de l'ouvrage (renseigné par le service de contrôle)	
Société / Entité responsable de l'ouvrage	Syndicat Mixte de Lutte Contre les Inondations
Date de rédaction	08/11/2021
Rédacteur	Carine Falempin
Relecture effectuée le	Par
ANALYSE DES CAUSES et RETOUR D'EXPERIENCE	
Types de causes / circonstances (cocher les cases concernées) : ☐ crue « normale » (inférieure à la crue de protection) ☐ crue « exceptionnelle » (supérieure à la crue de protection) ☐ érosion interne (digue ou fondation) ☐ surverse ☐ fontis ☒ chute d'arbres ☐ autres mécanismes de rupture ☐ travaux (en cours ou en préparation) ☐ non-respect de consignes (dans le cas d'ouvrages batardables ou de déversoirs vannés) ☐ géologie (couches érodables, paléo-chenaux...) ☐ ouvrages traversants (conduite, galerie...) ☐ accident de circulation	Préciser les composants concernés de l'ouvrage et les modes de défaillance rencontrés (possibilité de joindre un rapport d'analyse des causes) : L'arbre a basculé côté Orne et puis est resté en place. Cela n'a pas entraîné de matériau susceptible de détruire la digue (cet arbre existait avant la construction de la digue, ce qui explique la présence très limitée du système racinaire dans le corps de digue). Néanmoins, le talus de la digue a bougé. Par ailleurs, l'arbre est dans le lit de la rivière (risque d'embâcles)
Retour d'expérience / Enseignements tirés / Mesures prises ou envisagées : - tronçonnage et évacuation de l'arbre le 09/02/2021. maintien de la souche en place (pas d'intervention en période à risque fort de crue) - travaux de réparation de la digue semaine 40 (du 04/10 au 08/10/2021) : - enlèvement de la souche et du système racinaire - remise en état de la digue : compactage noyau étanche par couche + pose membrane étanche, grillage antifouisseur + terre végétale et natte coco avec ensemencement Constat : le système racinaire était anormalement réduit pour un arbre de ce type, probablement à cause des champignons qui se sont développés à la base des racines (voir photos). Cela peut expliquer la faible stabilité de l'arbre et sa chute. Une veille sanitaire du patrimoine arboré au niveau du talus aval côté salle des fêtes est envisagée.	
A envoyer au service du contrôle : E-mail : sri.dreal-normandie@developpement-durable.gouv.fr et nathalie.desruelles@developpement-durable.gouv.fr	

Figure 7-25 : extrait de la fiche de déclaration d'EISH.

DIGUE LOUVIGNY – REPARATIONS SUITE à la CHUTE D'UN ARBRE

Figure 7-26 : compte-rendu photographique des travaux de réparation – octobre 2021.

7.1.5 OUVRAGES TRAVERSANTS

Neuf ouvrages traversants sont recensés : ils sont tous situés sur la partie amont du système d'endiguement.

Le premier se situe au niveau du tronçon LOU_02 (« Jardin Rouge »), les huit autres le long de la « petite digue ».

Il s'agit d'émissaires pluviaux de diamètre 300 mm à 400 mm, ils sont tous munis de clapets anti-retour.

Tous ces ouvrages sont implantés dans la fondation de la digue et non dans le corps de remblai.

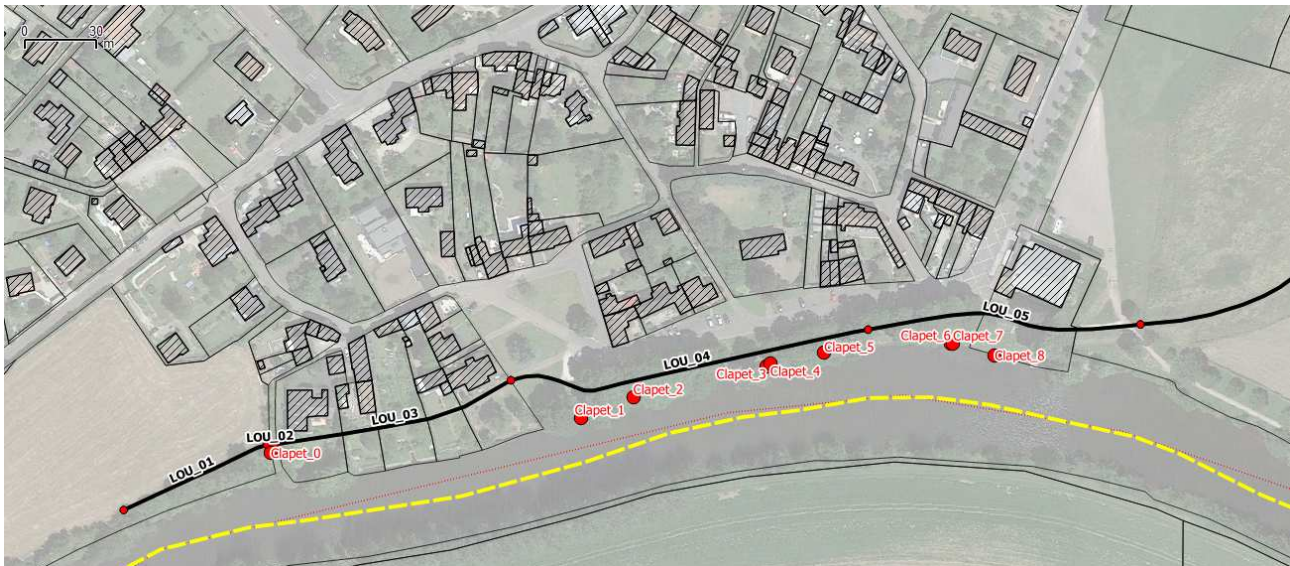


Figure 7-27 : localisation des ouvrages traversants.

Tous n'ont pu être observés lors de la VTA, compte tenu du niveau de l'Orne : seuls les clapets 3, 4, 5, 6 et 7 ont pu être observés.

Les clapets observés sont en bon état apparent.



Figure 7-28 : clapets n°3 et 4 – clapet n°5.



Figure 7-29 : clapets n°6 et 7.

7.2 STRUCTURE ET CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS NATURELS

Sans objet.

7.3 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT – METHODOLOGIE

7.3.1 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 7-4 illustre la méthode multi-scénario :

Mode d'inondation de la zone protégée envisagé par secteur		Sollicitation				
		Définition du niveau de la sollicitation				
Capacité de résistance : capacité de l'ouvrage à résister à la rupture	Découpage soit par localisation, soit par mécanismes de dégradation ou facteurs aggravants	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Extrême
		Risque limité ($P < 5\%$)		Risque conséquent ($5\% < P < 50\%$)		Risque aigu ($P > 50\%$)

Tableau 7-4 : 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.**

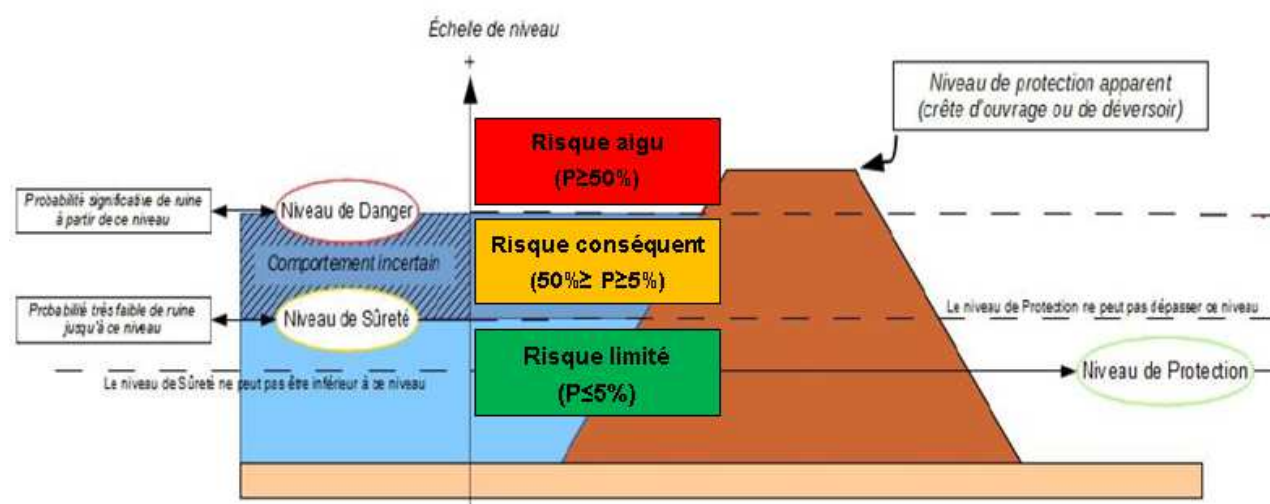


Tableau 7-5 : rappel des différents niveaux caractéristiques à définir.

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.

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 7-6 : approche à dire d'expert basée sur le retour d'expérience.

7.3.2 CARACTERISATION DES SCENARIOS ETUDIES

7.3.2.1 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.

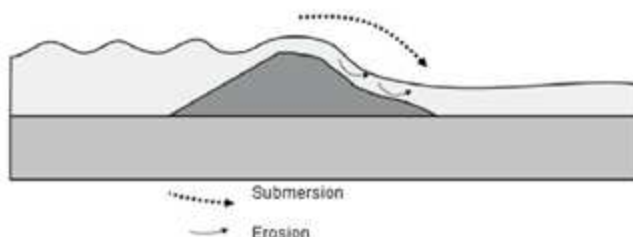


Tableau 7-7 : mécanisme de rupture par érosion externe côté terre.

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 7-8 : 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, ...

7.3.2.2 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.

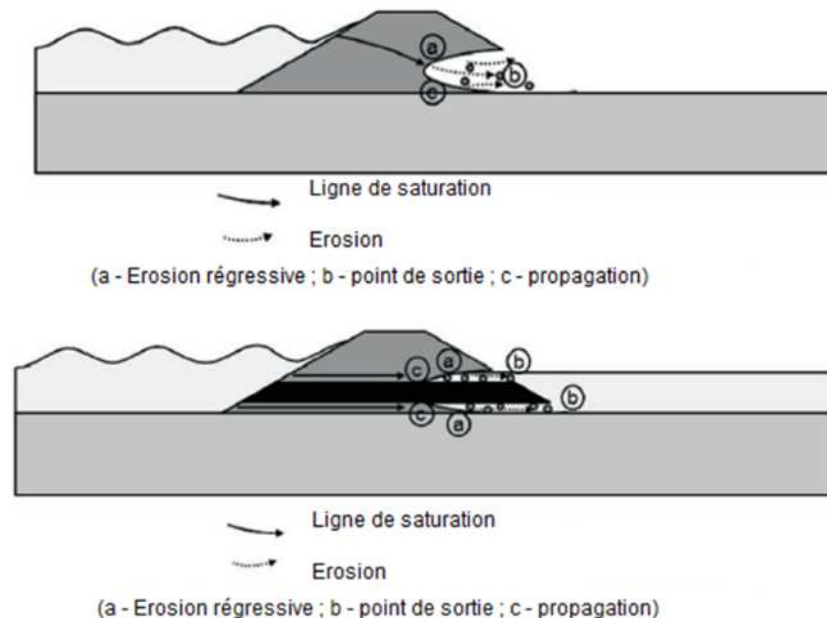


Tableau 7-9 : mécanisme de rupture par érosion interne.

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 appliquée 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 ($<45^\circ$), V = distance le long des contacts verticaux ($>45^\circ$)	
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		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 7-10 : gradients critiques d'érosion selon Bligh (1927) et Lane (1935).

Le graphique suivant illustre la méthode de calcul du gradient moyen ($i = \frac{H}{L}$).

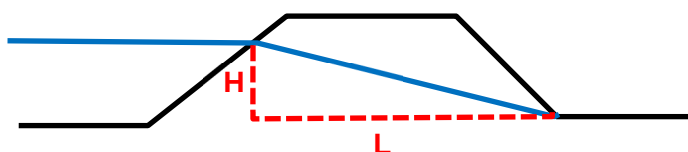


Tableau 7-11 : appréciation du gradient moyen (H en m et L en m).

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 7-12 : grille de résistance à l'érosion interne.

7.3.2.3 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 :
 - o le niveau d'eau amont n'exerce plus une poussée stabilisante,
 - o la cohésion des matériaux est réduite par la saturation,
 - o 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.

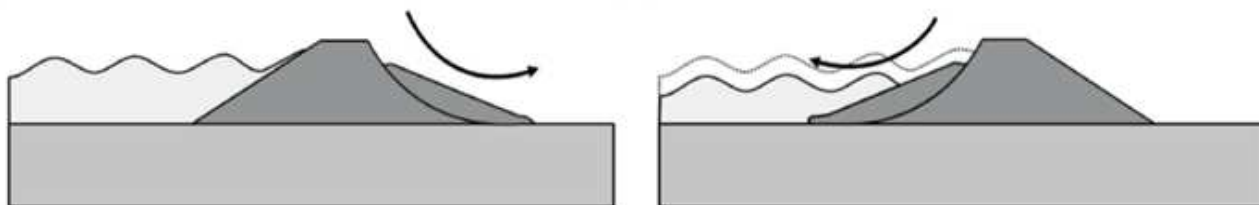


Tableau 7-13 : mécanisme de rupture par glissement.

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.

7.3.2.4 Rupture par érosion externe côté Orne

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.

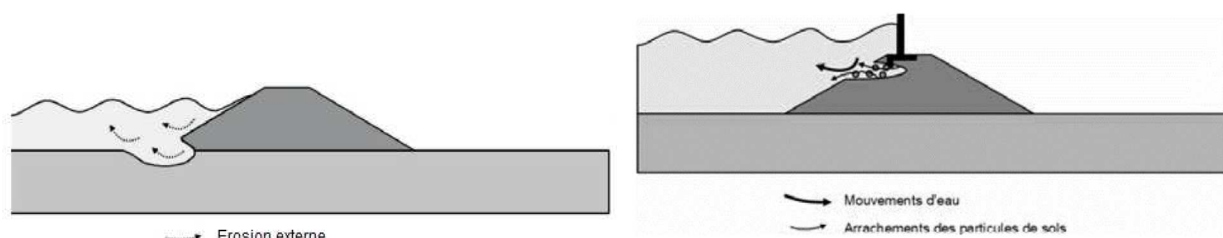


Tableau 7-14 : mécanisme de rupture par érosion externe côté fleuve ou côté mer.

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 PERFORMANCES DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

7.4.1 DEFINITION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE

Le système d'endiguement de Louvigny compte 9 sous-tronçons.

Les scénarios de rupture étudiés sont répertoriés dans le Tableau 7-15 :

Caen-Prairie			Description	Scénario retenu
Capacité de résistance : de l'ouvrage à résister à une <u>rupture</u>	CL1	Rupture par surverse	La surverse se produit sur l'ouvrage et érode le talus aval et la crête entraînant la formation d'une brèche.	Tous tronçons
	CL2	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.	Tronçons LOU_04 à LOU_09
	CL3	Rupture par glissement de talus côté terre	La rupture du talus aval entraîne la formation d'une brèche	Tronçons LOU_04 à LOU_09
	CL4	Rupture par glissement de talus côté Orne	La rupture du talus amont entraîne la formation d'une brèche	Tous tronçons
	CL5	Rupture par érosion externe côté Orne	La rupture du mur entraîne des entrées d'eau dans la zone protégée	Tronçons LOU_01 à LOU_05

Tableau 7-15 : scénarios de rupture et d'inondation – Louvigny.

7.4.2 DEFINITION DES SOLLICITATIONS

Les tronçons de digues constituant le système d'endiguement de Louvigny sont situés le long de l'Orne.

Les modélisations hydrauliques montrent que les niveaux d'eau varient très peu d'amont en aval, le long de la protection : la différence entre l'extrémité amont et l'extrémité aval est de l'ordre de 10 cm.

En conséquence, il est proposé d'appliquer une sollicitation homogène tout du long du système d'endiguement, correspondant au niveau d'eau à l'extrémité amont. Cette sollicitation est légèrement plus sécuritaire pour les tronçons aval.

La hauteur d'eau lue à l'échelle de Louvigny, est données entre crochets.

	Niveau de l'Orne	Evènement correspondant
	Tous tronçons	
Faible	6,40 mNGF [2,9 m]	T = 10 ans
Moyenne	6,70 mNGF [3,2 m]	T = 20 ans
Forte	7,10 mNGF [3,6 m]	T = 50 ans
Très forte	7,40 mNGF [3,9 m]	Evènement PPRI
Extrême	8,00 mNGF [4,5 m]	T = 200 ans

Tableau 7-16 : définitions des sollicitations – Louvigny.

Les modélisations permettent de rattacher le niveau d'eau le long du système d'endiguement avec celui observé à l'échelle de crue de Louvigny.

7.4.3 ANALYSE DE LA PERFORMANCE PAR SCENARIO DE RUPTURE

7.4.3.1 CL1 – rupture par surverse

La limite de probabilité de rupture à 5 % est atteinte pour un niveau d'eau légèrement supérieur à l'évènement très fort.

Pour l'évènement extrême, les hauteurs de surverses sur les ouvrages en terre sont importantes et susceptible d'entraîner l'érosion forte et rapide du talus aval.

Sous-tronçon	Sollicitation				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
	6.40	6.70	7.10	7.40	8.00
LOU_01	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
LOU_02	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_03	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_04	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_05	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_06	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
LOU_07	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
LOU_08	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%
LOU_09	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%

Tableau 7-17 : probabilité de rupture par surverse.

7.4.3.2 CL2 – rupture par érosion interne

La rupture par érosion interne est envisagée uniquement pour les tronçons en remblai, soit les tronçons LOU_04 à LOU_08 et au niveau du merlon du tronçon LOU_09.

Comme décrit au 7.3.2.2, 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 (traversants), 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 7-18 : 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 7-19. Pour la « petite digue », la présence d'une géo-membrane sur le talus amont est intégrée comme paroi étanche.

Sous-tronçon	Sollicitation				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Extrême
	6.40	6.70	7.10	7.40	8.00
LOU_01					
LOU_02					
LOU_03					
LOU_04	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_05	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_06	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_07	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
LOU_08	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	5%<P<50%
LOU_09	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%	P>50%

Tableau 7-19 : probabilité de rupture par érosion interne.

7.4.3.3 CL3 – rupture par glissement de talus côté terre

Le risque de rupture par glissement de talus est étudié à partir d'un modèle géotechnique de la digue.

Les caractéristiques des couches sont schématisées sur la Figure 7-30 :

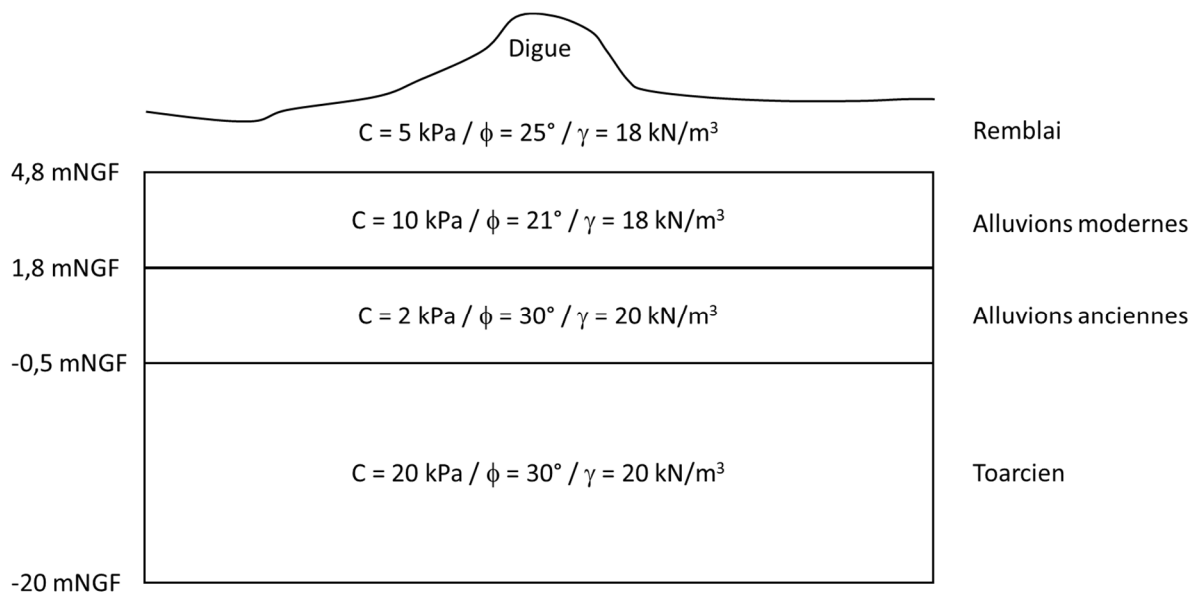


Figure 7-30 : caractéristiques des couches du modèle géotechnique.

Les situations étudiées sont : les situations de crue rare et les situations de crues exceptionnelles. Pour chaque situation de crue, les coefficients de sécurité appliqués sont les suivants :

- Situation de crue rare (6,4 à 6,7 mNGF) : 1,2 sur la cohésion et sur l'angle de frottement ;
- Situation de crue exceptionnelle (7,1 à 7,4 mNGF) : 1,2 sur la cohésion et sur l'angle de frottement.

Pour le calcul de la stabilité côté terre, on se positionne en situation de crue avec mise en charge du remblai par l'Orne

Le traitement des tronçons avec Aqua-barrières est particulier : seule la ligne d'eau est modélisée. Elle est déterminée de manière à répartir la charge sur la digue comme illustré sur la Figure 7-31 :

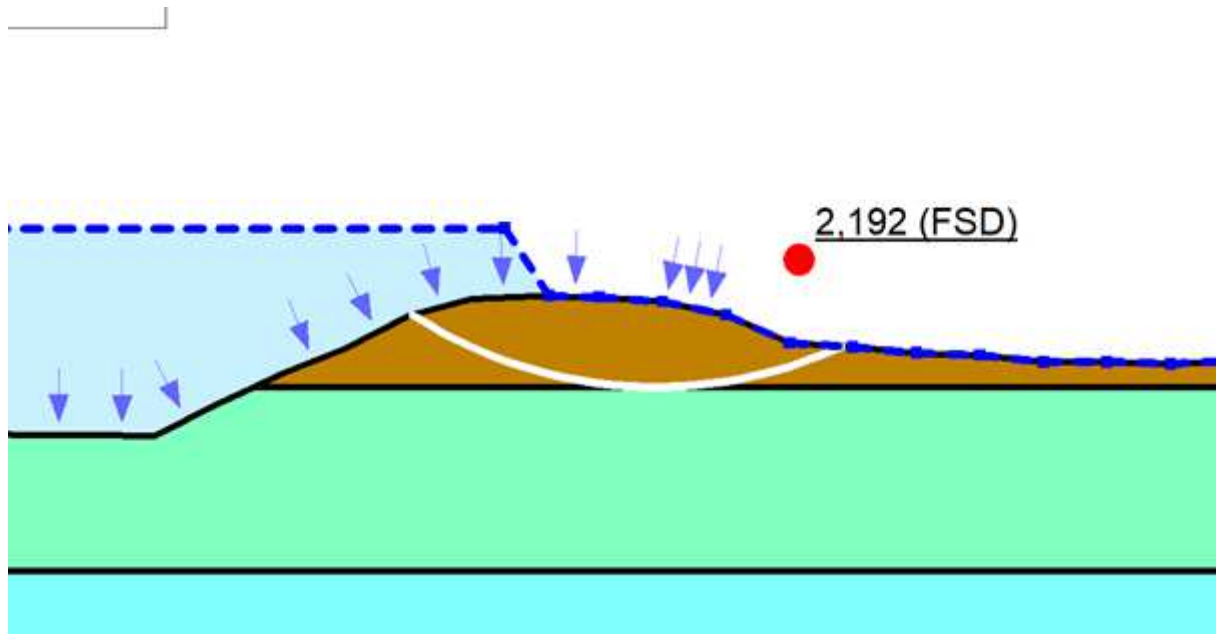


Figure 7-31 : application de la charge transmise par les Aqua-barrières.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant. Les tronçons LOU_01 à LOU_03 ne sont pas étudiés compte tenu de l'absence de talus côté terre.

La grille de probabilité est rattachée au coefficient de sécurité obtenu par la modélisation pour chaque situation étudiée :

Ratio R/P	Probabilité de glissement
FS > 1,5	0,01
1,3 < FS < 1.5	0,1
1,1 < FS < 1.3	0,3
1,0 < FS < 1.1	0,7
FS < 1	1

Tableau 7-20 : probabilité de glissement.

Sous-tronçon	Sollicitation			
	Faible	Moyen	Fort	Très fort
	6.40	6.70	7.10	7.40
LOU_01				
LOU_02				
LOU_03				
LOU_04	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_05	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_06	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_07	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_08	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%

Tableau 7-21 : probabilité de rupture par glissement de talus côté terre.

7.4.3.4 CL4 – rupture par glissement de talus côté Orne

La méthodologie reprend l'étude du glissement côté terre.

Pour le talus côté Orne, l'ensemble des tronçons est concerné.

Pour le calcul de la stabilité côté Orne, on se positionne en situation de décrue.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant.

Sous-tronçon	Sollicitation			
	Faible	Moyen	Fort	Très fort
	6.40	6.70	7.10	7.40
LOU_01	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_02	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_03	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_04	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_05	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_06	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_07	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%
LOU_08	P<5%	P<5%	P<5%	P<5%

Tableau 7-22 : probabilité de rupture par glissement de talus côté Orne.

7.4.3.5 CL5 – rupture par érosion externe

Le cas de rupture par érosion externe concerne les tronçons amont en contact avec le lit mineur de l'Orne, et en particulier le tronçon LOU_04.

Les modélisations hydrauliques montrent que la vitesse maximale dans le lit n'est pas atteinte pour le pic de crue, mais plutôt en début de crue et en fin de décrue.

Les vitesses maximales atteintes sont de l'ordre de 1,3 à 1,5 m/s au centre du lit mineur et de 0,9 à 1,0 m/s en pied de berge rive gauche, le long de la digue.

Des enrochements ont été disposés le long de la « petite digue » en confortement de la berge :

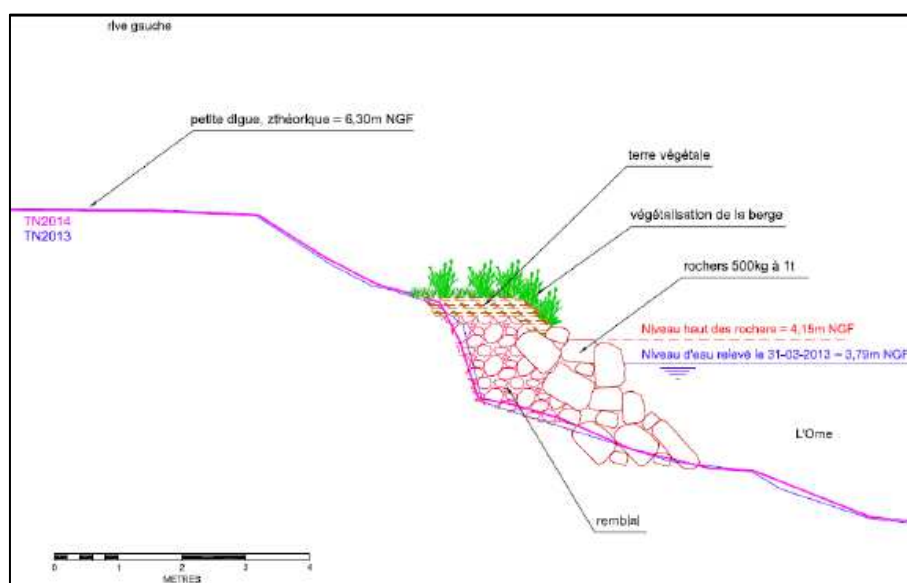


Figure 7-32 : confortement des berges en enrochements.

Compte tenu de ces protections, le risque de rupture par érosion de la berge est jugé comme faible.

7.4.3.6 Synthèse – niveau de sûreté et niveau de danger

Sur le système d'endiguement de Louvigny, le cas de défaillance le plus défavorable est le risque lié à la surverse.

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 7,5 et 7,6 mNGF, la valeur retenue est arrondie à 7,5 mNGF, soit juste en-dessous du point bas de l'ensemble du système d'endiguement.

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 7,7 mNGF.

Le Tableau 7-23 donne ces deux niveaux et leur correspondance au point de mesure. Cette correspondance fait intervenir la hauteur d'eau observée à l'échelle de Louvigny.

Système d'endiguement de Caen-Prairie		
	Niveau au droit de l'ouvrage	Niveau correspondant au(x) point(s) de mesure
Niveau de sûreté	7,5 mNGF	4,0 m à l'échelle de crue de Louvigny
Niveau de danger	7,7 mNGF	4,2 m à l'échelle de crue de Louvigny

Tableau 7-23 : définition des niveaux de sûreté et de danger pour le système d'endiguement de Louvigny.

7.5 PERFORMANCES DES ELEMENTS NATURELS

Sans objet.

7.6 DEFINITION DES NIVEAUX DE PROTECTION

Le niveau de protection proposé pour le système d'endiguement de Louvigny est présenté dans le Tableau 7-24 :

Louvigny	
Lieu de mesure	Echelle de crue de Louvigny ⁵
Niveau correspondant au point de mesure	3,9 m lu à l'échelle
Niveau de protection au droit des ouvrages	7,4 mNGF
Qui correspond à un évènement type	Crue de l'Orne de période de retour environ 100 ans, équivalent à l'évènement de référence du PPRI basse vallée de l'Orne
Incertitude prise en compte	20 cm

Tableau 7-24 : proposition de niveau de protection – Louvigny.

⁵ Observations consultables en temps réel sur le site Vigicrues : <https://www.vigicrues.gouv.fr/niv3-station.php?CdEntVigiCru=4&CdStationHydro=I362102001&GrdSerie=H&ZoomInitial=3>

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 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 <u>scénario 1</u> 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 3 ^{ème} marée haute.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-2 :

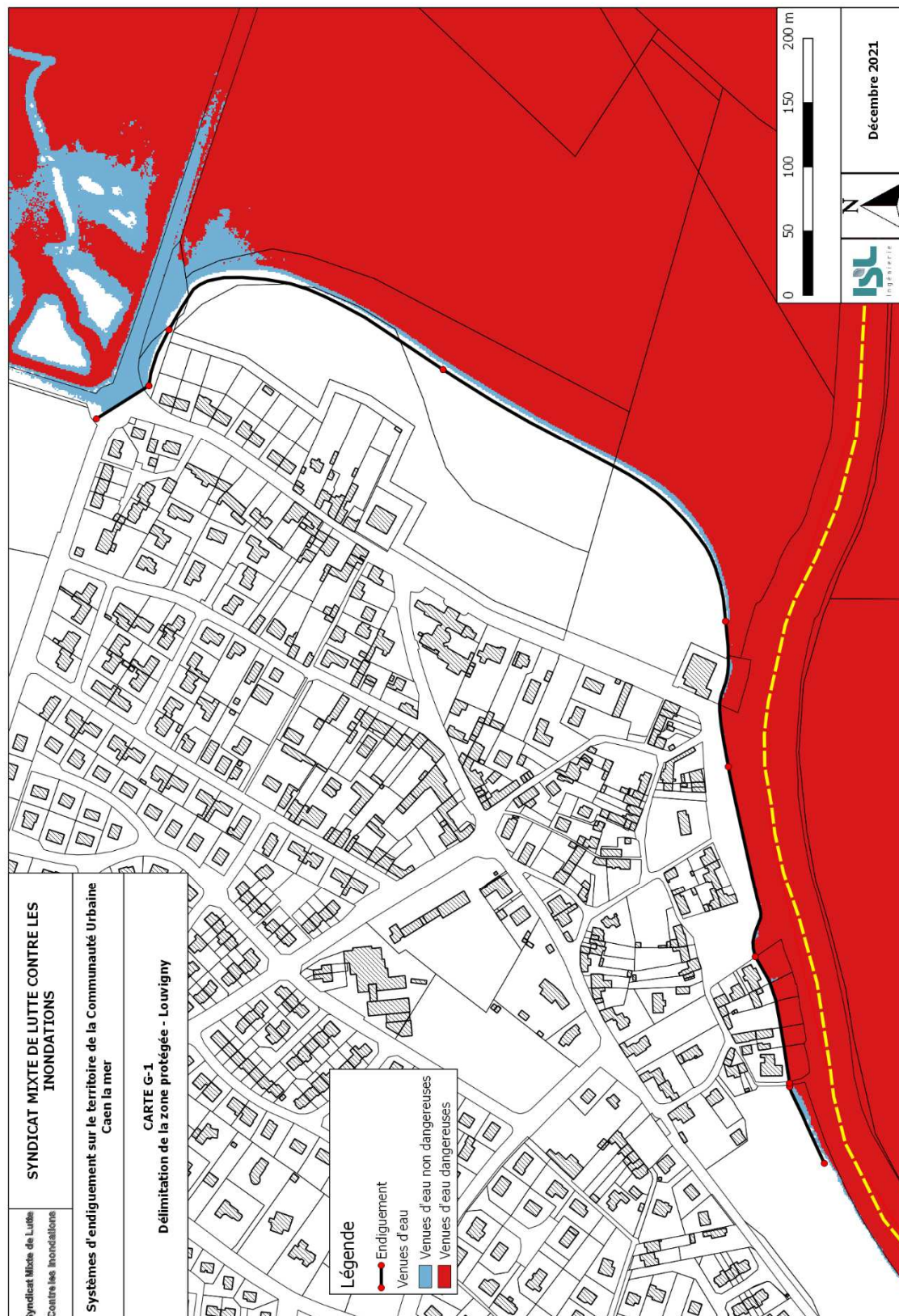


Figure 8-2 : carte des venues d'eau – scénario 1.

8.3 SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

8.3.1 SCENARIO 2-F-J

Les hypothèses de ce scénario sont définies dans le tableau suivant.

Scénario 2-F-j : représentatif d'une défaillance fonctionnelle du SE	
Définition	Le <u>scénario 2</u> est représentatif d'une défaillance fonctionnelle du système d'endiguement au moment où se produit un aléa dont l'intensité équivaut à l'intensité <u>de l'aléa correspondant au niveau de protection</u> . 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 : ▪ Non mise en place du système d'Aqua-barrières

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-3.

Des venues d'eau importantes sont simulées, l'ensemble de la zone protégée étant inondée.

La situation simulée se rapproche d'une situation sans ouvrages de protection.

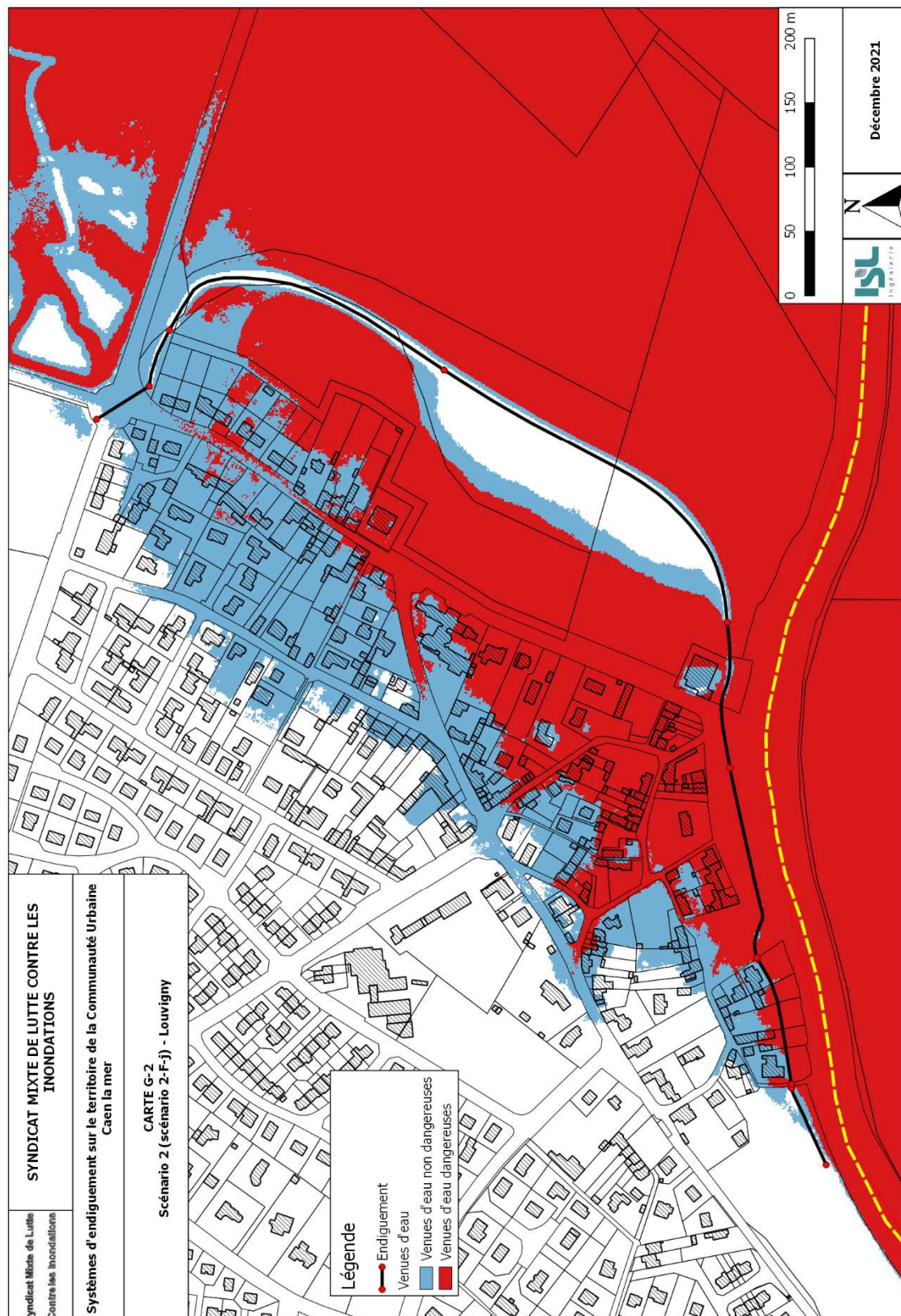


Figure 8-3 : carte des venues d'eau – scénario 2.

8.4 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 <u>scénario 3</u> 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 environ 200 ans Brèche au niveau du tronçon LOU_06. Longueur de la brèche 60 m, durée de formation 2 heures.

La cartographie des venues d'eau est présentée sur la Figure 8-4.

Les venues d'eau envahissent l'ensemble de la zone protégée, et même au-delà (l'évènement de crue retenu dépasse l'évènement de crue correspondant au niveau de protection).

Les vitesses sont importantes en arrière de la brèche.

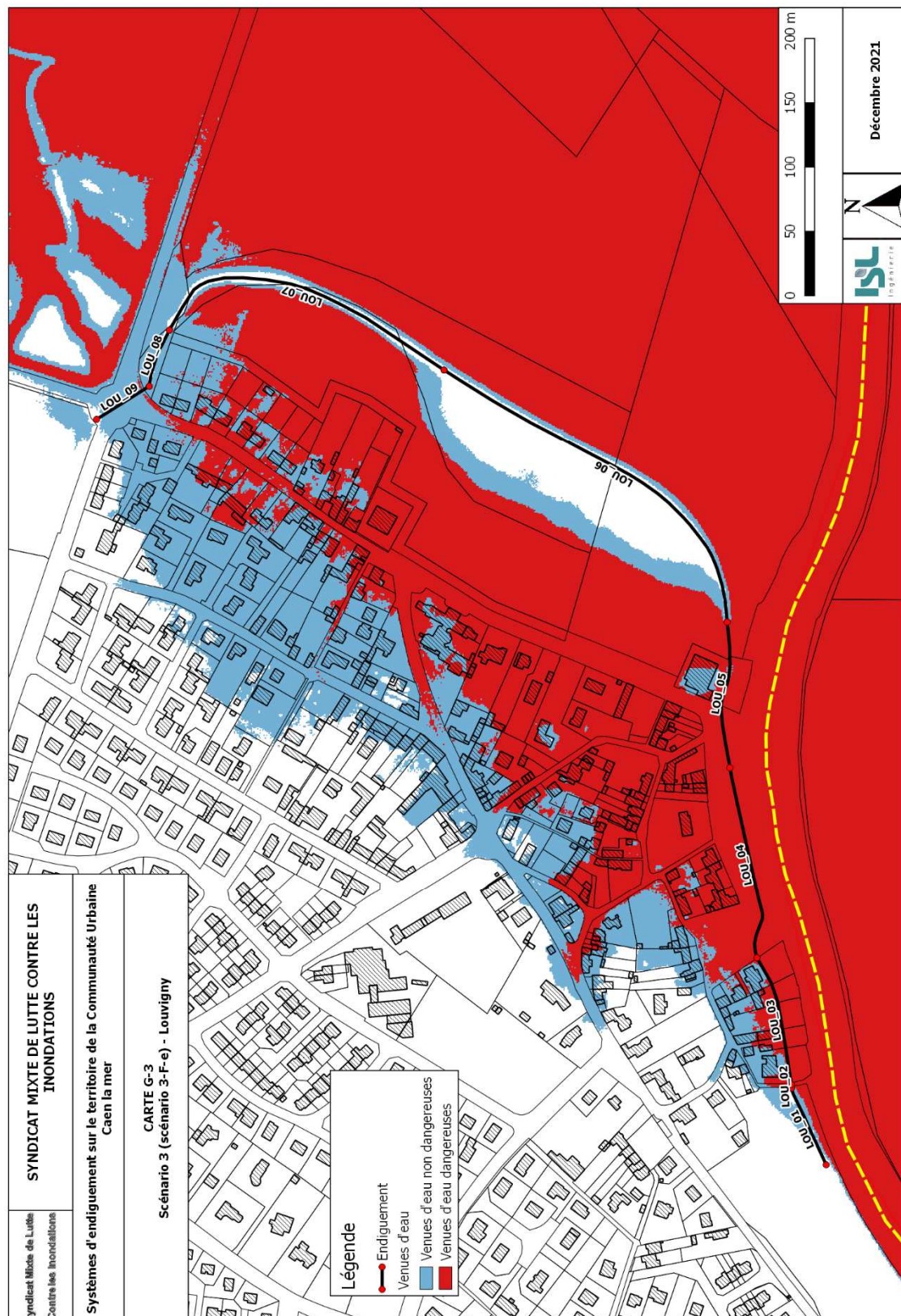


Figure 8-4 : carte des venues d'eau – scénario 3.

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 du SMLCI.

9.1 DESCRIPTION DES MOYENS MIS EN PLACE POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN COURANT AVEC L'OBJECTIF DE PROTECTION GARANTI

La surveillance réalisée sur l'ouvrage est formalisée par le document des consignes de surveillance et d'exploitation établi le 09/04/2019 par le SMLCI.

Un suivi topographique et bathymétrique des digues est réalisé annuellement.

9.2 RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE QUI REALISE L'ETUDE DE DANGERS

9.2.1 RECOMMANDATIONS POUR LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN

Les consignes de surveillance et d'entretien doivent comprendre les éléments suivants :

- Élément de cadrage de l'organisation :
 - o Cadre réglementaire ;
 - o Gestion des ouvrages ;
 - o Description des ouvrages.
- Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période d'exploitation normale :
 - o Définition des modalités des visites de surveillance (parcours, points particuliers, fiches type à remplir,...) ;
 - o Modalités de l'entretien courant (petits travaux, végétation,...).
- Dispositions relatives à la surveillance de l'ouvrage en période de crue
 - o 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 ;
 - o Préciser les moyens d'intervention en cas de détection d'un désordre important en période de tempête ;
 - o Préciser les sources d'informations utilisées pour le suivi de l'évènement ;
 - o 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.

9.2.1.1 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.

9.2.1.2 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.

9.2.2 RAPPEL DES RECOMMANDATIONS DE LA VISITE TECHNIQUE APPROFONDIE

La visite technique approfondie réalisée en 2021 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 entraîner un problème structurel sur la digue.

Pour rappel, l'unique désordre de gravité 3 rencontré correspond à l'arbre tombé en décembre 2020.

Le traitement et la réparation de ce désordre de gravité 3 a été assurée par le gestionnaire en octobre 2021.

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.
- 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*.
- 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'Orne - Grande Rue à Louvigny - Rapport d'étude géotechnique préalable et rapport d'étude projet*. SMLCI.
- 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 de la digue de Louvigny*. SMLCI.
- 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

ANNEXE 3 CR DE L'ESSAI DE MONTAGE DES AQUA-BARRIERES DE JANVIER 2019

ANNEXE 4 EISH DECEMBRE 2020