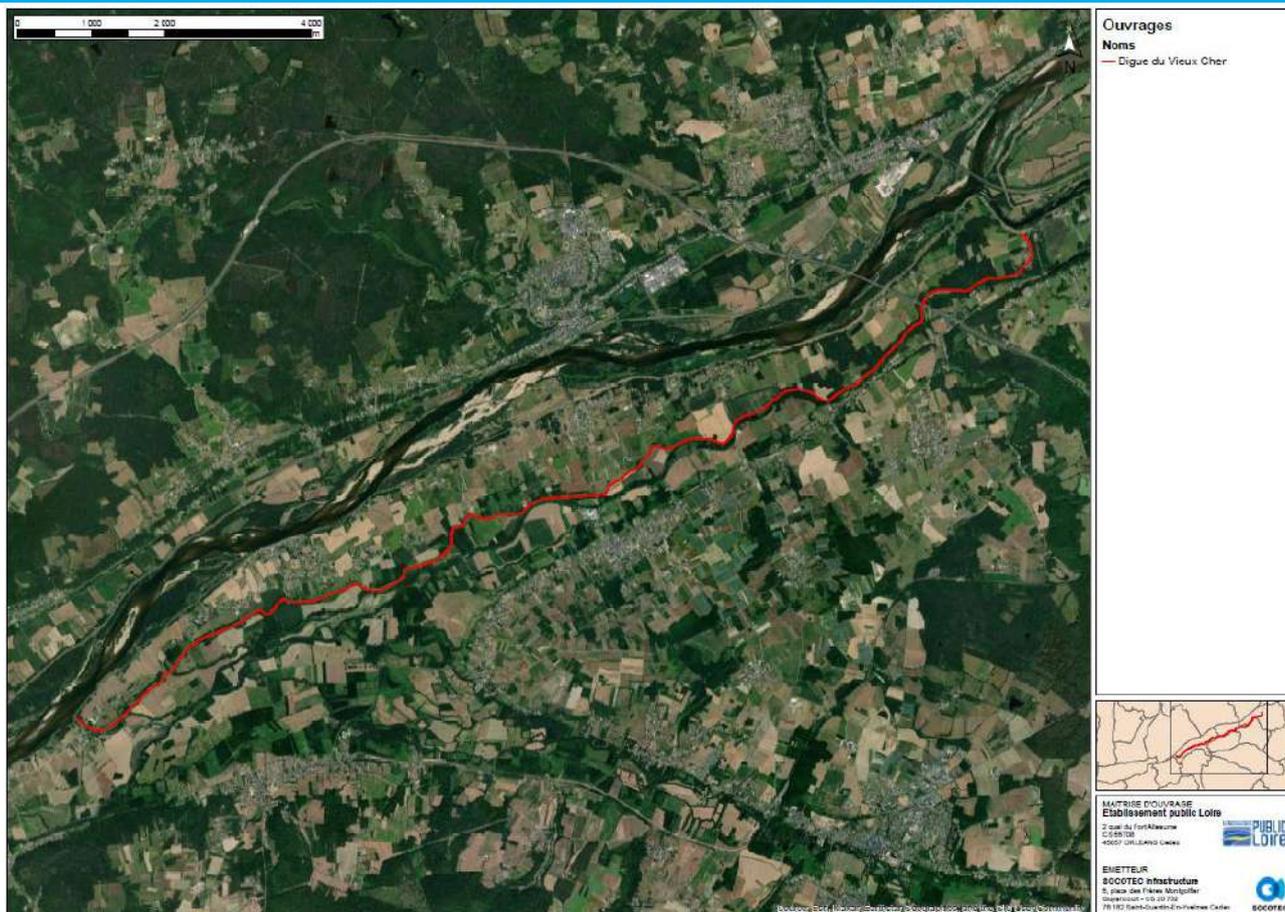


Étude de Dangers 2023

Systeme d'endiguement



Digue du Vieux Cher

Indre-et-Loire (37)

SOCOTEC Infrastructure

Pôle Maritime, Fluvial et Hydraulique

Immeuble Mirabeau
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt – CS 20 732
 78 182 Saint Quentin en Yvelines Cedex

Tél. : +33 1 30 12 80 00

Mail : infrastructure@socotec.com

Référence interne : 2206C1006_EDD_Digue_Vieux_Cher

Date	Indice	Origine des modifications	Rédacteur(s)	Vérificateur(s)	Approbateur(s)
11/05/2023	A	Première version	A.NAH		
19/06/2023	B	Mise à jour	A.NAH	L.BOU	L.BOU
26/06/2023	C	Mise à jour	A.NAH	L.BOU	L.BOU
30/06/2023	D	Annule et remplace Indices précédents Version finale	A.NAH	L.BOU	L.BOU

Sommaire

0. RÉSUMÉ NON TECHNIQUE.....	12
0.1. Description du Système d'Endiguement et des Aménagements Hydrauliques associés	12
0.2. Fonctionnement du Système d'Endiguement et des Aménagements Hydrauliques associés	14
0.3. Présentation de la Zone Protégée et niveaux de protection	15
0.4. Fonctionnement du Système d'Endiguement sous différents scénarios de montées des eaux	18
1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS.....	25
1.1. Gestionnaire du Système d'Endiguement, objet de l'Étude De Dangers	25
1.2. Organisme agréé en charge de l'Étude De Dangers pour le compte de l'autorité visée au 1.1	26
1.3. Autorisations existantes en lien avec le Système d'Endiguement	26
1.4. Date de remise officielle de l'Étude De Dangers au préfet	27
1.5. Identification des Aménagements Hydrauliques associés au Système d'Endiguement	27
1.6. Réglementation en vigueur	27
2. OBJET DE L'ÉTUDE.....	30
2.1. Descriptif du cadre général de l'Étude De Dangers	30
2.2. Communes concernées par la zone protégée et ses éventuelles sous-parties	30
2.3. Localisation et plan des limites de la zone protégée et ses éventuelles sous-parties	30
2.4. Localisation, plan et description sommaire des ouvrages concernés	31
3. DESCRIPTION DE LA ZONE PROTÉGÉE, DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT BÉNÉFICIAIRE LE CAS ÉCHÉANT D'AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES ET DE SON ENVIRONNEMENT ET DE SES FONCTIONS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET LES SUBMERSIONS	34
3.1. Zone protégée	34
3.2. Conditions naturelles pouvant conduire à des crues ou des tempêtes, conditions de fondation des ouvrages et sollicitations s'exerçant sur ces fondations	35
3.3. Éléments composant le Système d'Endiguement et leurs fonctions hydrauliques	37
3.4. Analyse du fonctionnement du Système d'Endiguement	44
4. CARACTÉRISATION DES ALÉAS NATURELS.....	50
4.1. Hydrologie et hydraulique globale du cours d'eau ou du secteur hydro-sédimentaire maritime à l'échelle du Système d'Endiguement, en tenant compte, le cas échéant, de la présence de l'Aménagement Hydraulique autorisé conjointement avec le Système d'Endiguement	50
4.2. Hydrologie et hydraulique locale au droit de chaque élément composant le Système d'Endiguement, en tenant compte, le cas échéant, de la présence de l'Aménagement Hydraulique autorisé conjointement avec le Système d'Endiguement	57
4.3. Morphodynamique	57
4.4. Embâcles et leurs effets potentiels	63
4.5. Transports solides lorsqu'ils ont un impact significatif	65
4.6. Impacts combinés des niveaux marins, de la houle, des vagues, des dépressions atmosphériques et du vent, sur le littoral	66
4.7. Laves torrentielles et leurs effets potentiels, si leur survenue est plausible	66
4.8. Autres aléas naturels hydrauliques	66
4.9. Aléas naturels climatiques	71
4.10. Aléas naturels géologiques et géotechniques	75

4.11. Arrêtés de catastrophes naturelles	82
4.12. Synthèse de la caractérisation des aléas naturels	83
5. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT	84
5.1. Ouvrages existants	84
5.2. Ouvrages à construire ou à modifier	102
5.3. Description fonctionnelle du Système d'Endiguement	102
5.4. Fonctionnement du système d'endiguement	104
5.5. Niveaux de protection	105
5.6. Zone de dissipation d'énergie/Bande de précaution	107
5.7. Dispositifs de suivi des crues	109
6. RETOUR D'EXPÉRIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTÉGÉE ET LE SYSTÈME D'ENDIGUEMENT.....	111
6.1. Liste et la description des incidents et accidents survenus sur le Système d'endiguement	111
6.2. Exemples connus d'incidents et d'accidents survenus sur des ouvrages de même type	114
6.3. Scénarios potentiels de défaillance du Système d'Endiguement	117
7. DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES	121
7.1. Méthodologie	121
7.2. Remblai de la digue du Vieux Cher	126
7.3. Autres éléments constitutifs du système d'endiguement	132
8. ÉTUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTÉGÉE.....	135
8.1. Identification des scénarios d'inondation étudiés	135
8.2. Évaluation du risque d'inondation	136
8.3. Application au Système d'endiguement	138
8.4. Description de la Zone Protégée	152
9. PRÉSENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS.....	162
9.1. Préambule	162
9.2. Organisation du gestionnaire pour ce qui concerne les aspects liés aux performances du Système et à la sécurité (y compris la coordination que le gestionnaire est amené à mettre en œuvre avec d'autres responsables d'ouvrages)	162
9.3. Consignes écrites qui traduisent les modalités opérationnelles de mise en œuvre de cette organisation	162
9.4. Définition des principales procédures	162
9.5. Moyens d'information sur les crues ou les tempêtes	162
9.6. Procédures d'information et de communication avec les autorités compétentes pour la mise en sécurité de la population en période de crue ou de tempête, adaptées aux différents cas et à leurs cinétiques	163
9.7. Dispositions prises par le responsable pour s'assurer en permanence du respect des procédures, auditer et réviser son organisation de gestion du système d'endiguement, associé le cas échéant à un aménagement hydraulique, dans le cadre de son amélioration continue	163
9.8. Rôle(s) de barrières de sécurité pouvant être assuré(s) par certains éléments de son organisation et de sa démarche de prévention des accidents	163
9.9. Bilan	163

9. BIS RECOMMANDATIONS.....	164
9.1. Gestion des ouvrages	164
9.2. Confortement des ouvrages	164
9.3. Entretien des ouvrages	165
9.4. Diagnostic des ouvrages	165
9.5. Instrumentation	165
9.6. Amélioration de la connaissance	165
10. CARTOGRAPHIES.....	166
10.1. Carte administrative	166
10.2. Cartes des venues d'eau	166
10.3. Cas du système d'endiguement nouveau au profit de territoires précédemment dépourvus de toute protection	166
11. ANNEXES	167

Liste des figures

Figure 0-1 : Ouvrages de protection du val et casiers	12
Figure 0-2 : Localisation des ouvrages	13
Figure 0-3 : Fonctionnement des ouvrages.....	14
Figure 0-4 : Enjeux dans la Zone Protégée.....	15
Figure 0-5 : Secteurs de la digue du Vieux Cher.....	16
Figure 0-6 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection	17
Figure 0-7 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection	17
Figure 0-8 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection	17
Figure 0-9 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 1 (fonctionnement normal) – Vieux Cher	19
Figure 0-10 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 1 (fonctionnement normal) – Indre.....	19
Figure 0-11 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 1 (fonctionnement normal) – Loire.....	20
Figure 0-12 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 2 (dysfonctionnement fonctionnel) – Vieux Cher	20
Figure 0-13 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 2 (dysfonctionnement fonctionnel) – Indre.....	21
Figure 0-14 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 2 (dysfonctionnement fonctionnel) – Loire.....	21
Figure 0-15 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 3 (Brèche) – Vieux Cher	22
Figure 0-16 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 3 (Brèche) – Indre.....	22
Figure 0-17 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 3 (Brèche) – Loire.....	23
Figure 0-18 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 4 (PPRI).....	23
Figure 2-1 : Limite de la zone protégée.....	30
Figure 2-2 : Communes traversées par l'ouvrage	31
Figure 2-3 : Localisation des ouvrages de la digue du Vieux Cher	32
Figure 2-4 : Fonctionnement des ouvrages.....	33
Figure 3-1 : Cartographie administrative	34
Figure 3-2 : Fonctionnement des ouvrages.....	36
Figure 3-3 : Localisation des ouvrages de la digue domaniale.....	38
Figure 3-4 : Vue du remblai de la digue du Vieux Cher.....	39
Figure 3-5 : Ouvrages traversant de la digue de l'amont à l'aval	40
Figure 3-6 : Localisation du Système d'Endiguement et de la référence du niveau de protection	41
Figure 3-7 : Profil en long global de la structure complète du Système d'Endiguement.....	41
Figure 3-8 : Secteurs de la digue du Vieux Cher.....	42
Figure 3-9 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection	43
Figure 3-10 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection	43
Figure 3-11 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection	43
Figure 3-12 : Fonctionnement des ouvrages.....	45
Figure 3-13 : Secteurs de la digue du Vieux Cher.....	46
Figure 3-14 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection	47
Figure 3-15 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection	47
Figure 3-16 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection	47
Figure 4-1 : Fonctionnement des ouvrages.....	50
Figure 4-2 : Déversoir du Vieux Cher.....	53
Figure 4-3 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher	54
Figure 4-4 : Lignes d'eau – crues de l'Indre	54
Figure 4-5 : Lignes d'eau – crue de la Loire	54
Figure 4-6 : Vue du point bas (à la limite entre Villandry et Vallères).....	55
Figure 4-7 : Dignes et Bardeaux dans le val de Villandry/Bréhémont	56
Figure 4-8 : Carte de Cassini (IGN).....	58
Figure 4-9 : Carte de l'État-major 1820-1866 (IGN)	59
Figure 4-10 : Photo 1950-1965 (IGN).....	60
Figure 4-11 : Photo 2000-2005 (IGN).....	61
Figure 4-12 : Photo 2006-2010 (IGN).....	61
Figure 4-13 : Cours d'eau (rouge) et digue du Vieux Cher (bleu).....	62
Figure 4-14 : Distance Digue – cours d'eau	63
Figure 4-15 : Zones avec probabilités de débordements par remontée de nappe (Géorisques).....	68
Figure 4-16 : Valeur de base de la vitesse de référence et du Coefficient de direction de vent en France métropolitaine (NF EN 1991-1-4/NA, mars 2008).....	69
Figure 4-17 : Fetch et profondeur du plan d'eau (Recommandations CFBR, 2013)	69
Figure 4-18 : Effet du vent selon l'échelle de Beaufort (Météo France)	71
Figure 4-19 : Valeur de base de la vitesse de référence et du Coefficient de direction de vent en France métropolitaine (NF EN 1991-1-4/NA, mars 2008).....	72
Figure 4-20 : Régions de neige sur le territoire national métropolitain (NF EN 1991-1-3/NA, mai 2007)	73

Figure 4-21 : Zone de sismicité	76
Figure 4-22 : Mouvements de terrain répertorié (Géorisques)	78
Figure 4-23 : Carte des zones présentant des aléas de retrait / gonflement des argiles.....	79
Figure 4-24 : Carte hydrogéologique des formations karstifiables	80
Figure 4-25 : Sensibilité à l'aléa karstique des levées de la Loire (source BRGM)	81
Figure 5-1 : Localisation de la digue du Vieux Cher.....	84
Figure 5-2 : Tronçons de la digue du Vieux Cher.....	85
Figure 5-3 : Profil en long de la digue du Vieux Cher (MNT1m lissé sur 50 ml)	85
Figure 5-4 : Tronçon 1 de la digue – vue générale (amont avec revêtement et aval sans revêtement)	86
Figure 5-5 : Tronçon 1 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 ml).....	86
Figure 5-6 : Tronçon 2 de la digue – vue côté terre	87
Figure 5-7 : Tronçon 2 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 ml).....	87
Figure 5-8 : Tronçon 3 de la digue en zone agricole – vue côté terre	88
Figure 5-9 : Tronçon 3 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 ml).....	88
Figure 5-10 : Tronçon 4 de la digue avec revêtement bitumineux en crête – vue générale	89
Figure 5-11 : Tronçon 4 de la digue– vue générale.....	89
Figure 5-12 : Tronçon 4 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 ml)	89
Figure 5-13 : Profil géotechnique de la digue.....	90
Figure 5-14 : Localisation des réseaux sensibles (issues des DT DICT)	91
Figure 5-15 : Ouvrages hydrauliques de la digue du Vieux Cher	92
Figure 5-16 : Vannage Port Baudin –côté rivière	93
Figure 5-17 : Vannage Port Baudin –côté terre.....	93
Figure 5-18 : Vannage Port Baudin – en crête	93
Figure 5-19 : Vannage Port Bailby – côté rivière.....	94
Figure 5-20 : Vannage Port Bailby – côté terre	94
Figure 5-21 : Dalot Hay – côté rivière.....	95
Figure 5-22 : Dalot Hay – côté terre	95
Figure 5-23 : Dalot C312 –côté rivière	96
Figure 5-24 : Dalot C312 –côté terre – zone inaccessible.....	96
Figure 5-25 : Vannage Les Batailleaux – côté rivière.....	97
Figure 5-26 : Vannage Les Batailleaux – côté terre	97
Figure 5-27 : Vannage Les Batailleaux – crête	97
Figure 5-28 : Vannage des Foucaults – côté rivière.....	98
Figure 5-29 : Vannage des Foucaults – côté terre	98
Figure 5-30 : Vannage Milly – côté rivière	99
Figure 5-31 : Vannage Milly – côté terre	99
Figure 5-32 : Vannage La Guilmenerie – côté rivière.....	100
Figure 5-33 : Vannage La Guilmenerie – côté terre	100
Figure 5-34 : Vannage La Guilmenerie – crête	100
Figure 5-35 : Clapet anti-retour les Boudres	101
Figure 5-36 : Clapet les Boudres – côté rivière	101
Figure 5-37 : Clapet les Boudres – côté terre.....	101
Figure 5-38 : Secteurs de la digue du Vieux Cher.....	105
Figure 5-39 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection	106
Figure 5-40 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection	106
Figure 5-41 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection	106
Figure 5-42 : Bande de sécurité d'une digue ou d'un ouvrage de protection (Modalités d'application du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019).....	107
Figure 5-43 : Largeur de la bande de sécurité (Modalités d'application du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019)	108
Figure 5-44 : Largeur de la bande de sécurité (Modalités d'application du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019)	108
Figure 5-45 : Localisation des stations hydrométriques à proximité sur les 3 cours d'eau	109
Figure 6-1 : Premier affaissement mai 2012 et Affaissement après première réparation début août – Évolution du talus de la levée de Villandry (source : DDT 37).....	113
Figure 6-2 : Piste d'accès dans le lit du Cher, enrochements sur la partie affaissée – Évolution du talus de la levée de Villandry (source : DDT 37).....	113
Figure 6-3 : Levée de Beffes-Herry – réparations d'urgence lors de la crue de 2003 (crédit photo DREAL Centre).....	114
Figure 6-4 : Brèche dans la digue de Mauboux à Livry - crue de 2003 (source : crédit photo DREAL Centre).....	115
Figure 6-5 : Déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre aujourd'hui et lors de la crue de décembre 2003 (source : Google Earth et crédit photo DREAL Centre).....	115
Figure 6-6 : Effondrement karstique sur la digue à Jargeau en 2009 et proche de la digue Saint-Pryvé-Saint-Mesmin en 2010 (source : crédit photo DREAL Centre).....	116

Figure 7-1 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par surverse	123
Figure 7-2 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par surverse	123
Figure 7-3 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté val	123
Figure 7-4 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté cours d'eau.....	124
Figure 7-5 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par érosion externe en pied de talus	124
Figure 7-6 : Secteurs de la digue	127
Figure 7-7 : Probabilité de rupture : Crue du Vieux Cher Q10000.....	129
Figure 7-8 : Probabilité de rupture : Crue de l'Indre Q100.....	129
Figure 7-9 : Probabilité de rupture : Crue de la Loire Q500.....	130
Figure 7-10 : Secteurs de la digue du Vieux Cher.....	130
Figure 7-11 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection	131
Figure 7-12 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection	131
Figure 7-13 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection	132
Figure 8-1 : Les différents niveaux caractéristiques d'un segment de digue (Y. Deniaud, Cerema)	135
Figure 8-2 : Secteurs de la digue du Vieux Cher.....	139
Figure 8-3 : Scénario 1.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Vieux Cher	141
Figure 8-4 : Scénario 1.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Indre.....	141
Figure 8-5 : Scénario 1.3 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire	142
Figure 8-6 : Scénario 2.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Vieux Cher	143
Figure 8-7 : Scénario 2.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Indre.....	143
Figure 8-8 : Scénario 2.3.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire	144
Figure 8-9 : Scénario 2.3.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire	144
Figure 8-10 : Scénario 2.3.3 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire	145
Figure 8-11 : Scénario 2.3.4 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire	145
Figure 8-12 : Scénario 3.1.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Vieux Cher	146
Figure 8-13 : Scénario 3.1.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Vieux Cher	146
Figure 8-14 : Scénario 3.2.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Indre.....	147
Figure 8-15 : Scénario 3.2.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Indre.....	147
Figure 8-16 : Scénario 3.3.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire	148
Figure 8-17 : Scénario 3.3.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire	148
Figure 8-18 : Scénario 4 – hauteur d'eau maximale atteinte – Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 2	149
Figure 8-19 : Scénario 4 – hauteur d'eau maximale atteinte – Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 5	149
Figure 8-20 : Infrastructures dans la Zone Protégée	157
Figure 8-21 : Logements dans la Zone Protégée	159
Figure 8-22 : Population résidente dans la Zone Protégée	160

Nota : en l'absence de précision sur la source de la photographie, il s'agit de photographies prises lors de la VTA

Liste des tableaux

Tableau 0-1 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations	16
Tableau 0-2 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher.	16
Tableau 1-1 : Classes des barrages (Décret du 12 mai 2015) et systèmes d'endiguement (Décret 28 août 2019).....	28
Tableau 1-2 : Documents réglementaires sur les ouvrages hydrauliques (Décret du 12 mai 2015 modifié par le Décret du 28 août 2019).....	29
Tableau 1-3 : Obligation d'un Système d'endiguement de classe C	29
Tableau 2-1 : Cadre général de l'Étude De Dangers	30
Tableau 3-1 : Liste des communes de l'autorité compétente	35
Tableau 3-2 : Références sur la partie hydrologie et hydraulique	36
Tableau 3-3 : Références sur la partie géologie.....	37
Tableau 3-4 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations	42
Tableau 3-5 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher .	42
Tableau 3-6 : Références sur la partie topographie	44
Tableau 3-7 : Références sur la partie comportement structurel.....	44
Tableau 3-8 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations	46
Tableau 3-9 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher .	47
Tableau 4-1 : Débits de pointe théoriques de crue du Vieux Cher retenus	51
Tableau 4-2 : Débits de pointe théoriques de crue de l'Indre retenus	51
Tableau 4-3 : Débits de pointe théoriques de crue de la Loire retenus	52
Tableau 4-4 : Débits de pointe théoriques de crue du Cher retenus	52
Tableau 4-5 : Distance crête de digue – cours d'eau	63
Tableau 4-6 : Données sur le vent https://fr.windfinder.com/windstatistics/tours et Records des rafales de vent enregistrés sur la période du 01/01/81 au 02/12/2020 (Météo France)	72
Tableau 4-7 : Zones de gel en France (NF EN 206-1 / CN).....	73
Tableau 4-8 : Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur la commune de Vallères	77
Tableau 4-9 : Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur les communes traversées par l'ouvrage ..	82
Tableau 4-10 : Synthèse des aléas pris en compte dans l'EDD.....	83
Tableau 5-1 : Localisation de la digue du Vieux Cher	84
Tableau 5-2 : Description des différents tronçons constituant la digue	85
Tableau 5-3 : Caractéristiques géométriques du tronçon 1 (MNT 1m).....	86
Tableau 5-4 : Caractéristiques géométriques du tronçon 2 (MNT 1m).....	87
Tableau 5-5 : Caractéristiques géométriques du tronçon 3 (MNT 1m).....	88
Tableau 5-6 : Caractéristiques géométriques du tronçon 4 (MNT 1m).....	89
Tableau 5-7 : Modèle géotechnique du tronçon 1 retenu	90
Tableau 5-8 : Modèle géotechnique du tronçon 3 retenu	90
Tableau 5-9 : Modèle géotechnique du tronçon 3 retenu	90
Tableau 5-10 : Modèle géotechnique du tronçon 4 retenu	90
Tableau 5-11 : Caractéristiques principales du vannage Port Baudin.....	93
Tableau 5-12 : Caractéristiques principales du Vannage Port Bailby.....	94
Tableau 5-13 : Caractéristiques principales du Dalot Hay.....	95
Tableau 5-14 : Caractéristiques principales du Dalot C312	96
Tableau 5-15 : Caractéristiques principales du Vannage Les Batailleaux.....	97
Tableau 5-16 : Caractéristiques principales du Vannage des Foucaults.....	98
Tableau 5-17 : Caractéristiques principales du Vannage Milly.....	99
Tableau 5-18 : Caractéristiques principales du Vannage La Guilmenerie.....	100
Tableau 5-19 : Caractéristiques principales du Clapet anti-retour les Boudres.....	101
Tableau 5-20 : Récapitulatif des éléments du système d'endiguement et fonctions associées	103
Tableau 5-21 : Famille de fonctions géotechniques des composants d'un profil en travers type de digue (INRAE – ex-IRSTEA).....	103
Tableau 5-22 : Famille de fonctions géotechniques des composants du remblai	104
Tableau 5-23 : Famille de fonctions géotechniques des composants du remblai	104
Tableau 5-24 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations	105
Tableau 5-25 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher	105
Tableau 5-26 : Caractéristiques des stations sur l'Indre (Hydroportail).....	109
Tableau 5-27 : Stations hydrométriques sur la Loire (Hydroportail)	110
Tableau 5-28 : Caractéristiques de la station de Tours Pont Saint Sauveur (Hydroportail)	110
Tableau 6-1 : Principales crues historiques de l'Indre (EDD Villandry/Bréhémont, Antéa, 2017).....	111
Tableau 6-2 : Principales crues recensées à Tours (www.vigicrues.gouv.fr)	112
Tableau 6-3 : Principales crues historiques de la Loire observées à Langeais	112

Tableau 6-4 : Crues historiques de la Loire à Langeais	112
Tableau 6-5 : Caractéristiques des crues de référence du PPRi (PPRi Bréhémont-Langeais, 2002)	114
Tableau 6-6 : Principaux enseignements issus de retours d'expérience issus d'autres systèmes d'endiguement (source DREAL Centre)	117
Tableau 7-1 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par surverse	123
Tableau 7-2 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par érosion interne	123
Tableau 7-3 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par glissement.	124
Tableau 7-4 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par érosion externe	124
Tableau 7-5 : Grille d'analyse des probabilités événementielles utilisées pour caractériser la probabilité de défaillance pour une crue donnée	125
Tableau 7-6 : Grille d'analyse des probabilités de rupture annuelles (EDD des digues de classe A / DREAL Centre) ...	125
Tableau 7-7 : Secteurs de la digue	127
Tableau 7-8 : Probabilité par zone vis-à-vis des crues du Vieux Cher	128
Tableau 7-9 : Probabilité par zone vis-à-vis des crues de l'Indre	128
Tableau 7-10 : Probabilité par zone vis-à-vis des crues de la Loire	128
Tableau 7-11 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations	131
Tableau 7-12 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher	131
Tableau 7-13 : Grille d'échelle de probabilité pour l'évaluation des événements (arrêté du 29 septembre 2005).....	132
Tableau 7-14 : Désordres majeurs relevés sur les ouvrages hydrauliques	133
Tableau 7-15 : Exploitant des ouvrages	133
Tableau 7-16 : Probabilités de défaillance sur les dispositifs de régulation des écoulements	134
Tableau 8-1 : Classes de gravité des scénarios d'inondation. (Guide de lecture des EDD des digues)	137
Tableau 8-2 : Matrice de criticité (EDD des digues de classe A / DREAL Centre)	138
Tableau 8-3 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations ..	139
Tableau 8-4 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher	139
Tableau 8-5 : Liste des activités agricoles par parcelles	156
Tableau 8-6 : Nombre de logements par commune en fonction de la taille de bâtiments	159
Tableau 8-7 : Répartition par typologie de bâtiment de la population résidente dans la zone protégée	159
Tableau 8-8 : Population résidente – estimation 1	160
Tableau 8-9 : Population résidente – estimation 2	160
Tableau 8-10 : Population touristique.....	161
Tableau 8-11 : Population salariée.....	161
Tableau 9-1 : Obligation d'un Système d'endiguement de classe C	165

Résumé

0. RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

0.1. Description du Système d'Endiguement et des Aménagements Hydrauliques associés

0.1.1. Système d'endiguement

0.1.1.1. Contexte

Le val de Villedary/Bréhémont dans le département de l'Indre-et-Loire (37) est protégé contre les inondations par crues grâce à plusieurs ouvrages de protection contre les crues.

En première ligne, se trouve la digue domaniale de Villedary Bréhémont. Celle-ci commence dans la commune de Villedary et borde le lit mineur du cher, longe ensuite la Loire en rive gauche sur les communes de Villedary, la Chapelle-aux-Naux, Bréhémont, Rigny-Ussé, Huismes, la Chapelle-sur-Loire, et se termine dans la commune d'Avoine à proximité de la confluence de l'Indre avec la Loire.

Cette digue présente 2 déversoirs fusibles de sécurité sur la commune de Villedary, le déversoir du Vieux Cher et le déversoir La Chapelle-aux-Naux. Ces déversoirs ont pour but de contrôler les surverses sur la digue domaniale.

À l'aval de la digue domaniale du val de Villedary/Bréhémont, d'autres ouvrages protègent plus ou moins contre les crues de la Loire mais aussi d'autres cours d'eau comme l'Indre et le Vieux Cher :

- La digue du Vieux Cher ;
- Les bardeaux de l'Indre.

Ces ouvrages avec la digue domaniale du val de Bréhémont/Villedary permettent de définir des casiers.

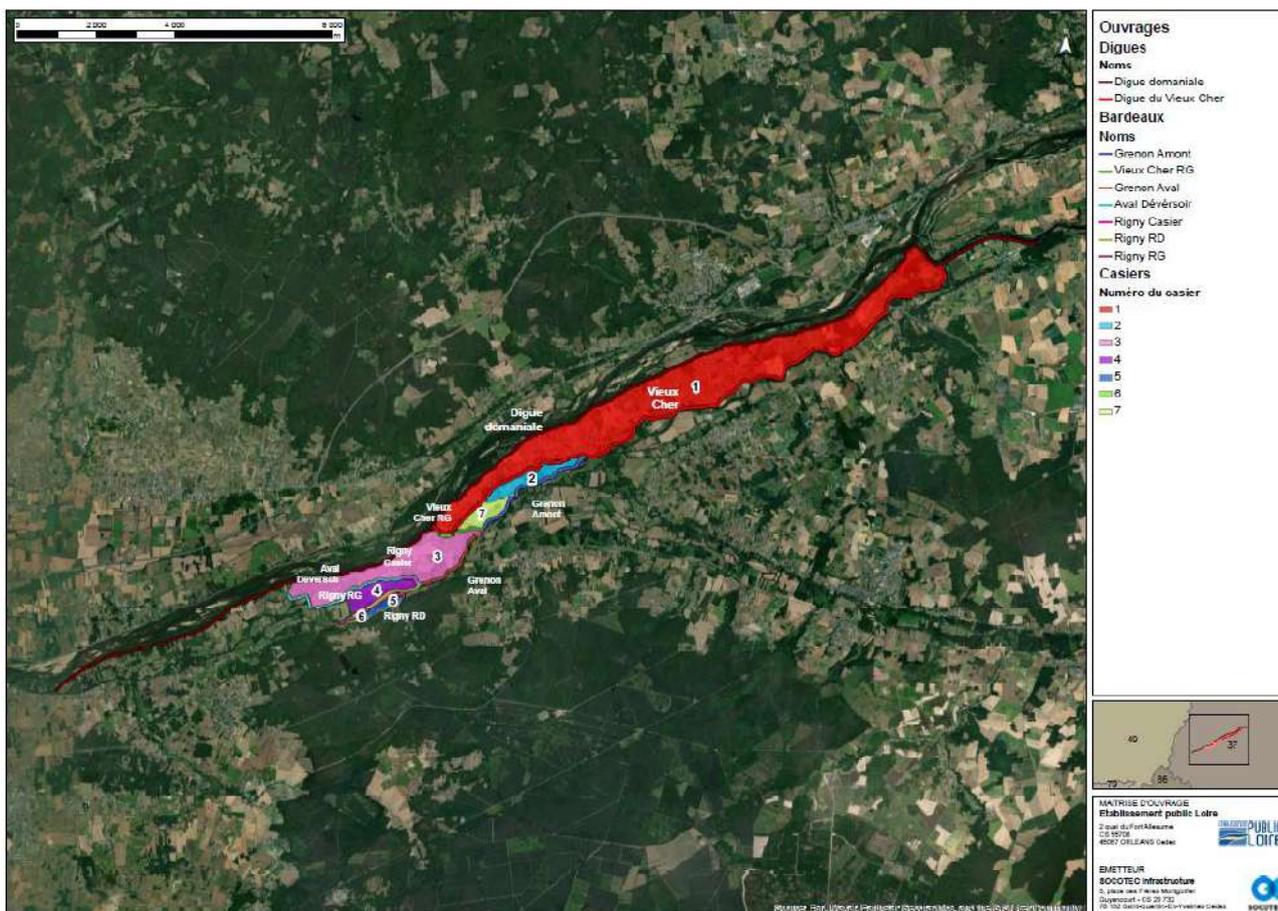


Figure 0-1 : Ouvrages de protection du val et casiers

La digue domaniale du Val de Bréhémont Villedary a fait l'objet d'une EDD en 2015. Le résumé non technique de cette étude est en annexe [1].

Les bardeaux de l'Indre ont fait l'objet d'une analyse technique concernant leur devenir en 2022.

La présente EDD s'intéresse à la digue du Vieux Cher qui ferme le casier 1 (Cf. figure ci-avant) avec la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont. Elle sera intégrée au dossier de régularisation de la digue domaniale du val de Villandry / Bréhémont.

0.1.1.2. Digue du Vieux Cher

La digue du Vieux Cher appartenant aux ouvrages de protection du val de Villandry/Bréhémont, localisée dans le département d'Indre-et-Loire (37), est constituée des ouvrages suivants :

- Les digues et ouvrages contributifs faisant office de digues tels que remblais d'infrastructures et murs :
 - Le remblai du Vieux Cher ;
- Les ouvrages supplémentaires fermant les digues ou assurant le niveau de protection :
 - /
- Les dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques suivants :
 - 6 vannages ;
 - 1 clapet anti-retour ;
 - 2 dalots/buses (ouvrage traversant sans organe mobile permettant de fermer le conduit).

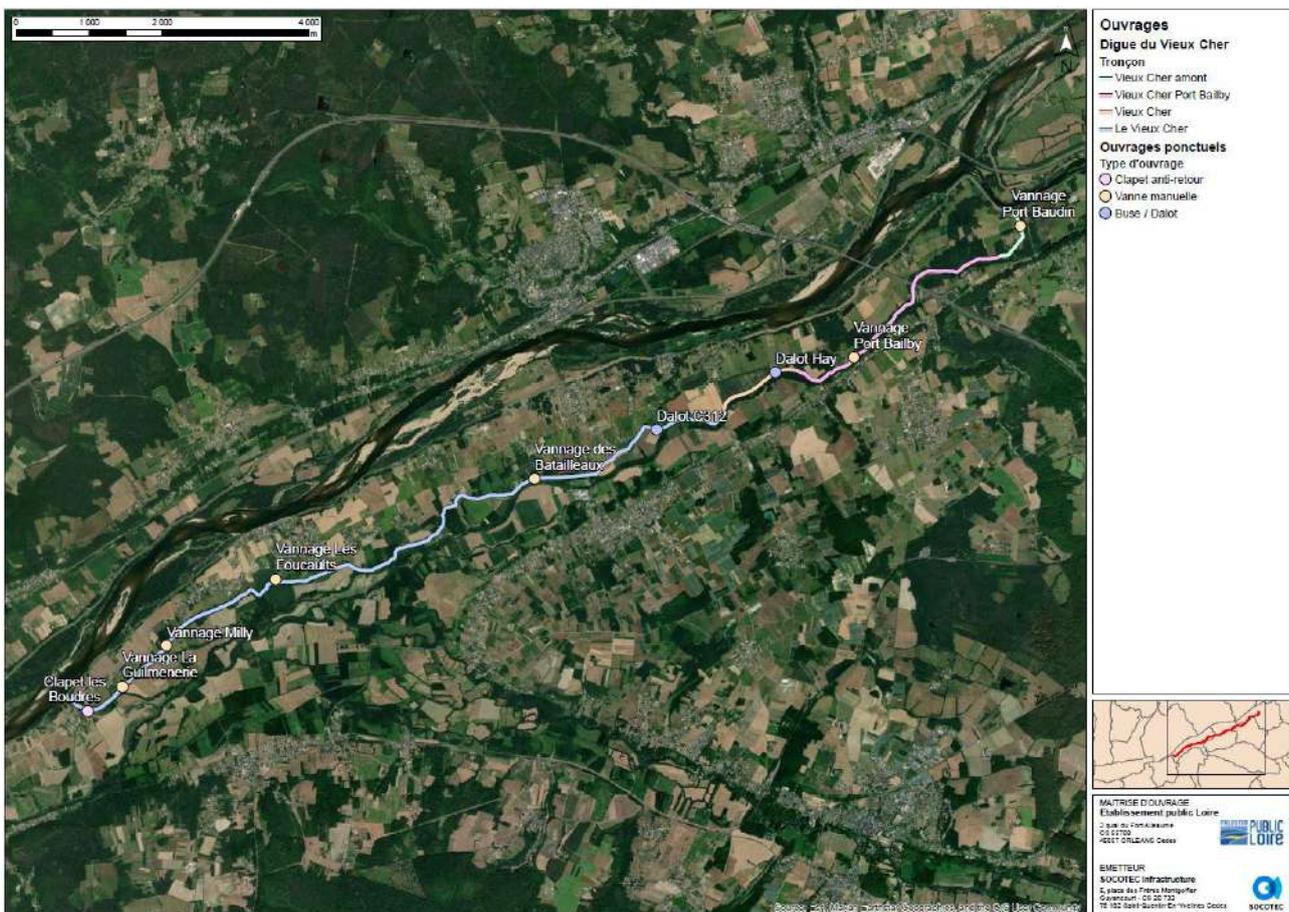


Figure 0-2 : Localisation des ouvrages

0.1.2. Aménagements hydrauliques associés

Il n'y a pas d'aménagement hydraulique associé à ce SE.

0.2. Fonctionnement du Système d'Endiguement et des Aménagements Hydrauliques associés

La digue du Vieux Cher est un ouvrage de protection du val de Villandry/Bréhémont contre les crues des cours d'eau suivants :

- Le Vieux Cher ;
- L'Indre ;
- Le Cher au nord :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
- La Loire :
 - Au nord :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont après remous de la Loire dans le Cher ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
 - Au sud
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par remous.

Le fonctionnement est le suivant :

- Le remblai permet de maintenir les eaux des cours d'eau dans leur lit mineur ou moyen ;
- Les dispositifs de régulation permettent d'empêcher le reflux des cours d'eau dans la Zone Protégée, puis contribuent au ressuyage de la zone en cas d'inondation (par surverse ou défaillance de l'ouvrage).

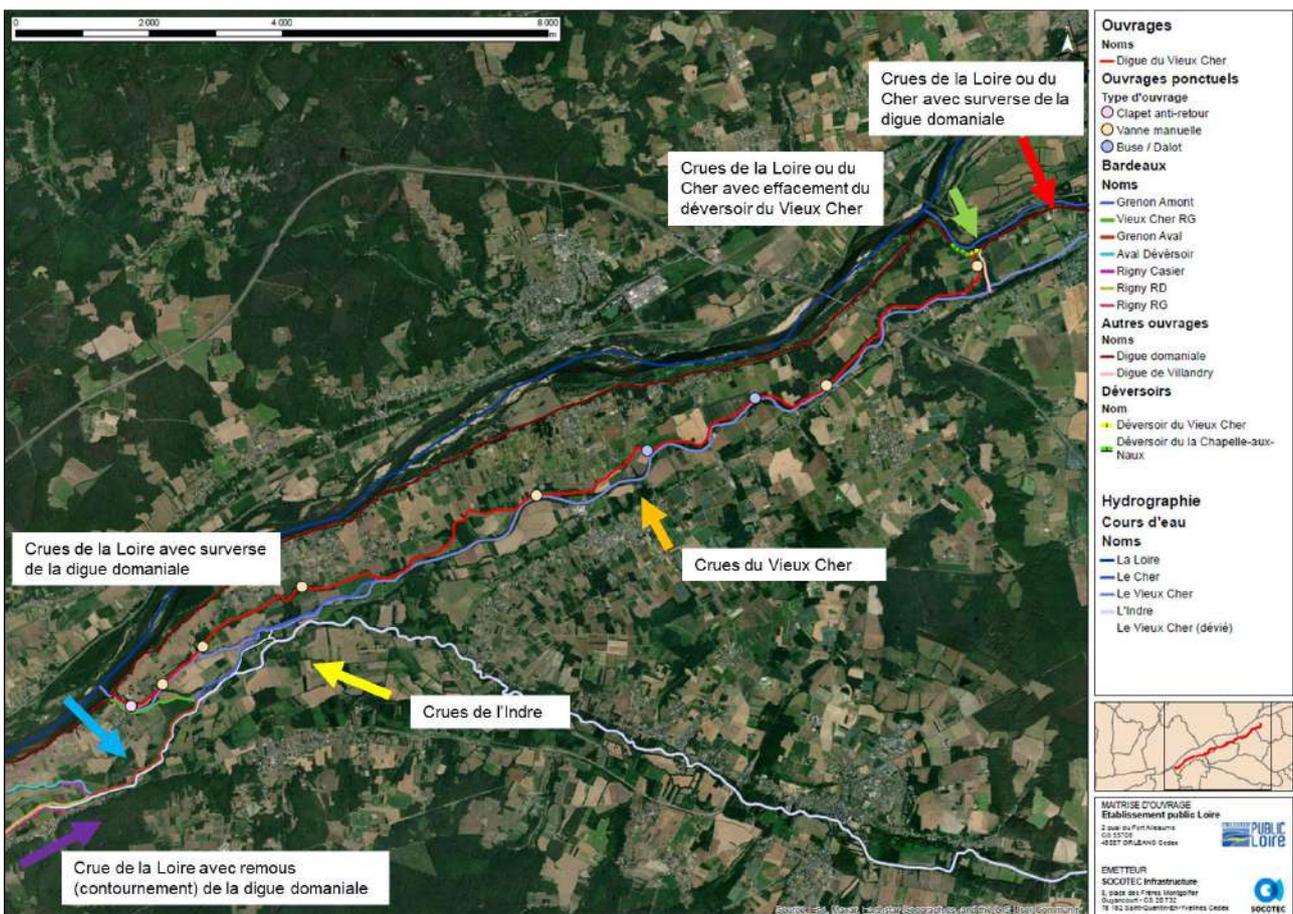


Figure 0-3 : Fonctionnement des ouvrages

0.3. Présentation de la Zone Protégée et niveaux de protection

L'objectif d'un Système d'Endiguement (SE) est la protection d'un territoire et ses enjeux (personnes, biens, activités économiques), appelé Zone Protégée (ZP) contre le risque d'inondation provenant d'un cours d'eau ou de la mer, et cela jusqu'à un certain niveau d'événement, appelé « niveau de protection ».

0.3.1. Zone Protégée

La ZP de la digue du Vieux Cher, localisée dans le val de Villandry/Bréhémont, est délimitée par les éléments suivants :

- Au nord-ouest, la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
- Au sud-est, la digue du Vieux Cher.

Cette zone est caractérisée par :

- 2661 bâtiments ;
- 683 logements ;
- 518 hectares de parcelles agricoles ;
- 107 640 m d'infrastructures routières ;
- Et une population estimée à 1853 personnes ;

La cartographie suivante montre les principaux enjeux de la zone protégée :

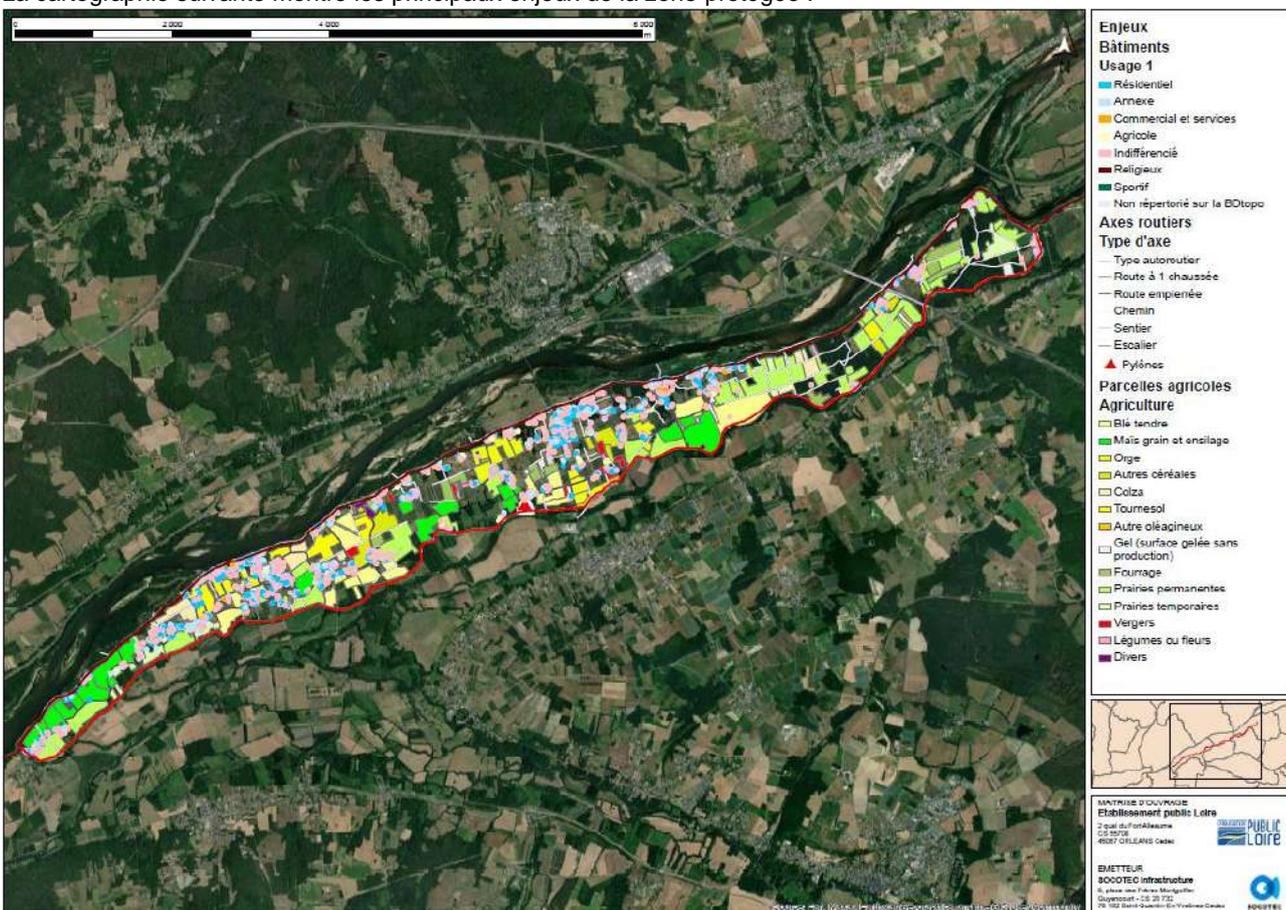


Figure 0-4 : Enjeux dans la Zone Protégée

0.3.2. Niveaux de protection

Les niveaux de référence de Systèmes d'Endiguement sont ainsi définis :

Niveau de référence	Définition
Niveau de Protection	Pas d'entrée d'eau dans le système avec risque de rupture limité à 5% ou présence d'un déversoir
Niveau de Sûreté	Entrées d'eau par rupture avec risque de rupture limité à 5%
Niveau de Danger	Entrées d'eau par rupture avec risque de rupture de l'ordre de 50%
Niveau de Submersion	Niveau de protection apparent

Tableau 0-1 : Niveaux de référence des systèmes d'endiguement

La digue du Vieux Cher apporte différents niveaux de protection selon le secteur (cf. figure ci-après) et les cours d'eau desquels elle subit des sollicitations.

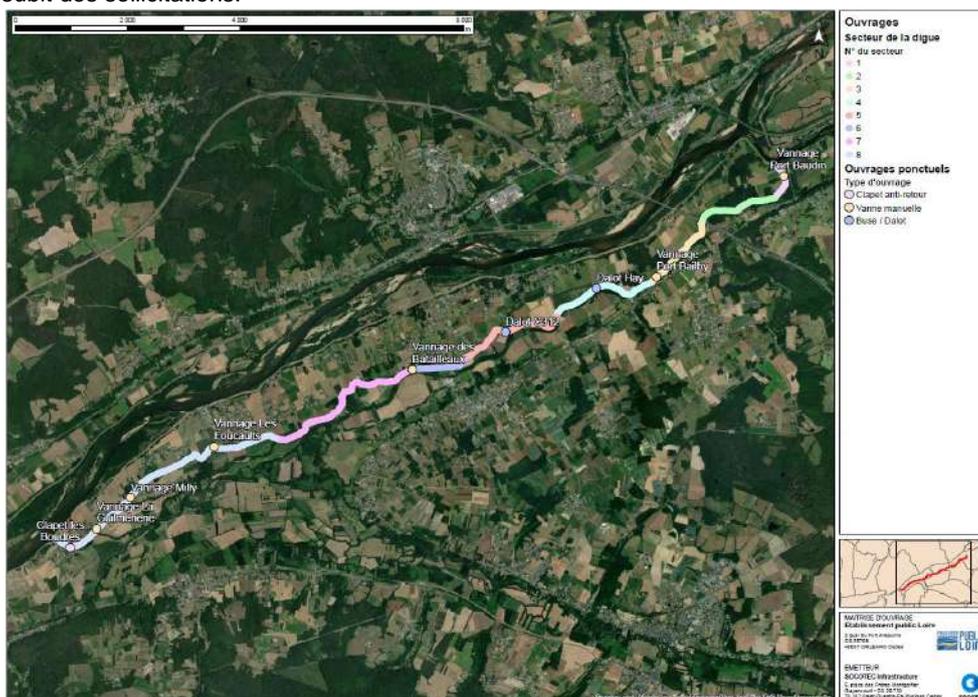


Figure 0-5 : Secteurs de la digue du Vieux Cher

Les niveaux caractéristiques de la digue du Vieux Cher par secteur sont les suivants :

Secteurs	Crues du Vieux Cher (VC)			Crues de l'Indre (I)			Crues de la Loire (L)			
	Niveau	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse
1	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 200
2	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
3	VC 2	VC 5	VC 5	VC 5	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
4	VC 30	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
5	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 50	L 100	L 100
6	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
7	VC 50	VC 100	> VC 10000	> VC 10000	I 2	I 5	> I 100	L 10	L 50	L 500
8	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	< I 2	I 2	I 50	L 10	L 50	L 100

Tableau 0-1 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations

Ces périodes de retour correspondent aux niveaux de référence suivants :

Cours d'eau	Vieux Cher					Indre			Loire		
	Période de retour	Q2	Q30	Q50	Q1000	Q10000	Q2	Q5	Q100	Q10	Q20
Débits de pointe	6.0	17.5	20.2	36.2	48.6	138	215	530	3122	4682	4948
Niveau de référence [m]	/	/	/	/	/	4.86	5.40	7.53	4.26	5.81	6.02
Niveau de référence [mNGF]	/	/	/	/	/	49.12	49.66	51.79	40.76	42.31	42.52
Pluies sur 24h [m]	41.8	60.2	63.2	83.0	98.3	/	/	/	/	/	/
Lieux de référence	Pluie à Tours					Indre à Monts			Loire à Langeais		

Tableau 0-2 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher

Les graphiques suivants montrent les lignes d'eau des différents niveaux de protection projetées le long de la digue du Vieux Cher selon les différents scénarios étudiés.

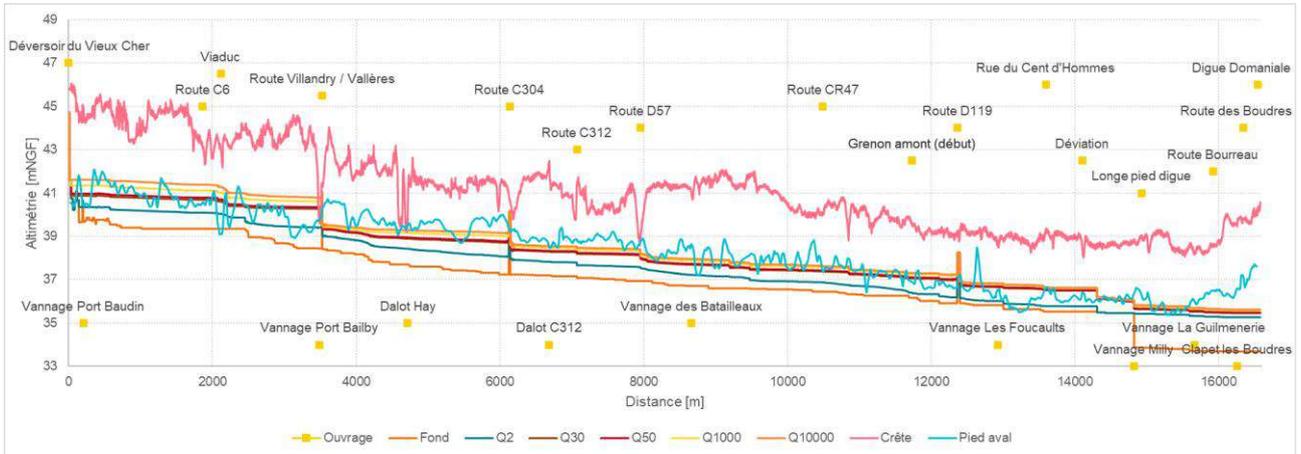


Figure 0-6 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection

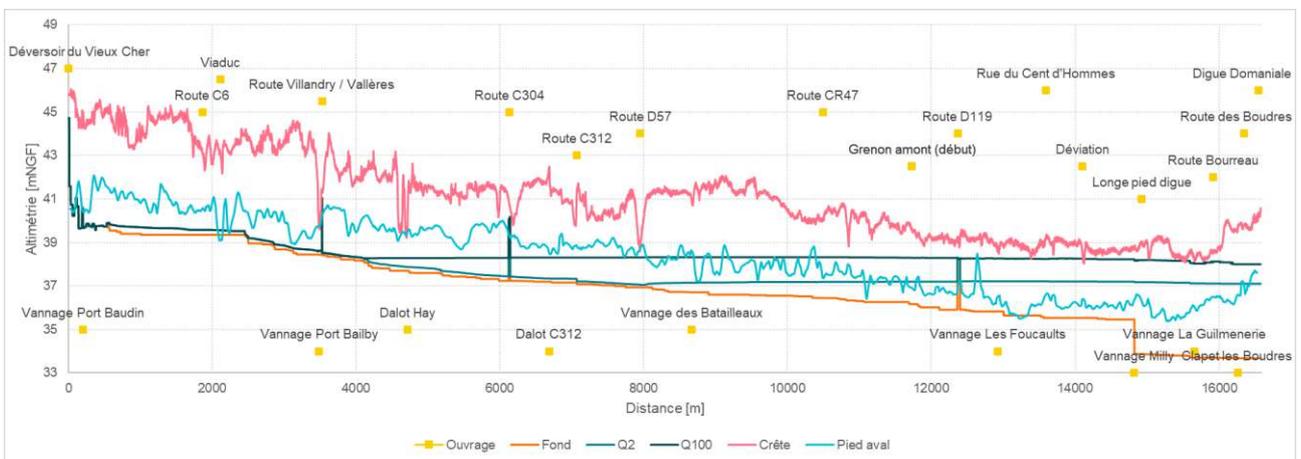


Figure 0-7 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection

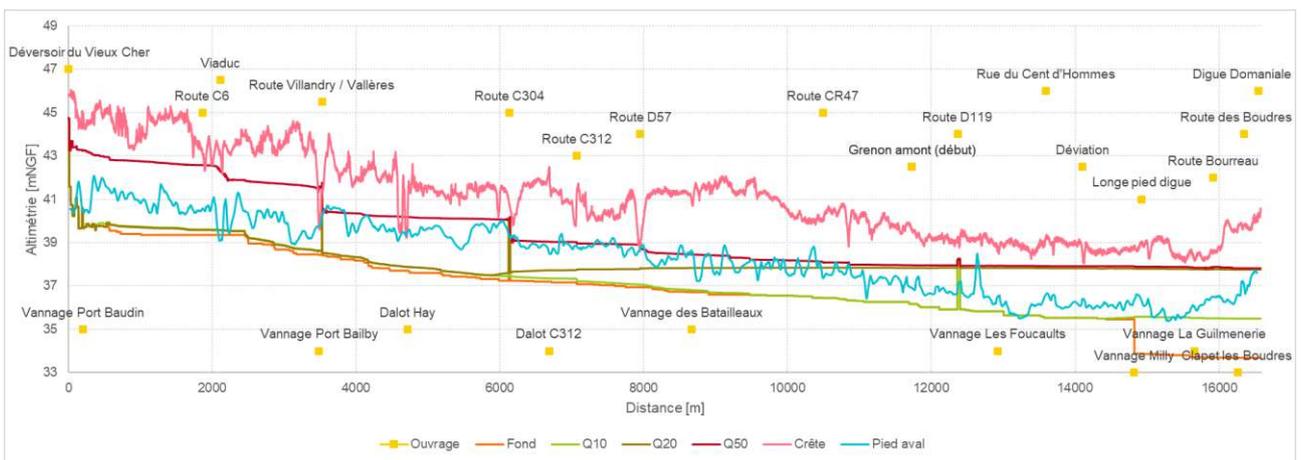


Figure 0-8 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection

0.4. Fonctionnement du Système d'Endiguement sous différents scénarios de montées des eaux

Le fonctionnement du SE de Thourotte, sous différents scénarios de montées des eaux, a été étudié après un diagnostic approfondi et la détermination des niveaux de référence.

Les scénarios à étudier, dans le cadre de la réglementation, sont les suivants :

- Scénario 1 – fonctionnement normal pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection ;
- Scénario 2 – défaillance fonctionnelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection ;
- Scénario 3 – défaillance structurelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de danger ;
- Scénario 4 – aléa de référence :
 - Niveau correspondant à l'aléa de référence dans le Plan de Prévention des Risques Inondations (ou Littoraux) correspondant à la crue statistique centennale ou la crue supérieure historique observée si l'aléa de référence du PPRI(L) est supérieur au niveau de protection du système d'endiguement ;
 - Intègre une défaillance structurelle si cet événement est supérieur ou égal au niveau de danger.

Les scénarios suivants ont été simulés :

Sc.	Crue	Période de retour	Défaillance
S1	Vieux Cher	2	Non
	Indre	2	Non
	Loire	10	Non
S2	Vieux Cher	10000	Vannage Port Baudin
	Indre	100	Vannage Bataillaux
	Loire	20	Clapet Boudres
		20	Vannage Guilmenerie
		20	Vannage Milly
20	Vannage Foucaults		
S3	Vieux Cher	1000	Brèche 3
		1000	Brèche 4
	Indre	5	Brèche 1
		5	Brèche 2
	Loire	20	Brèche 1
		20	Brèche 2
S4	PPRI : Crue 1856	200	Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 2 Profil 82
			Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 5 Profil 358

Tableau 0-2 : Scénarios simulés

Ce chapitre montre les cartographies des inondations, hauteurs d'eau maximales atteintes, pour un exemple de chaque scénario (S1, S2, S3, S4) étudié.

0.4.1. S1 – scénario de fonctionnement normal

Scénario 1 : fonctionnement normal pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection.

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q2 du Vieux Cher
- Défaillance : /

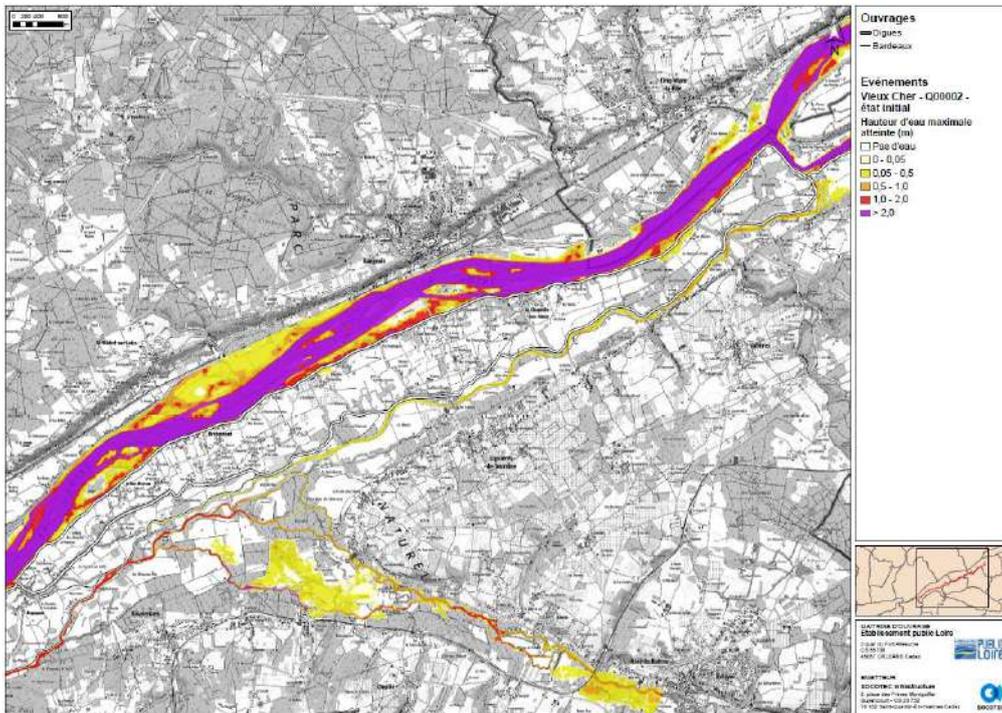


Figure 0-9 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 1 (fonctionnement normal) – Vieux Cher

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q2 de l'Indre
- Défaillance : /

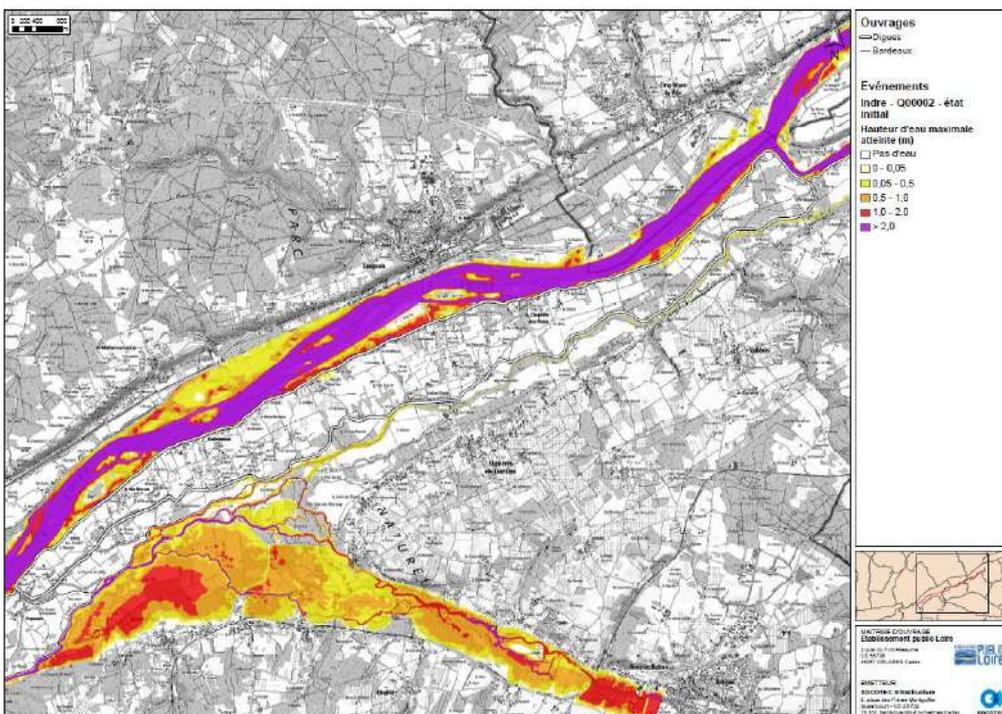


Figure 0-10 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 1 (fonctionnement normal) – Indre

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q10 de la Loire
- Défaillance : /

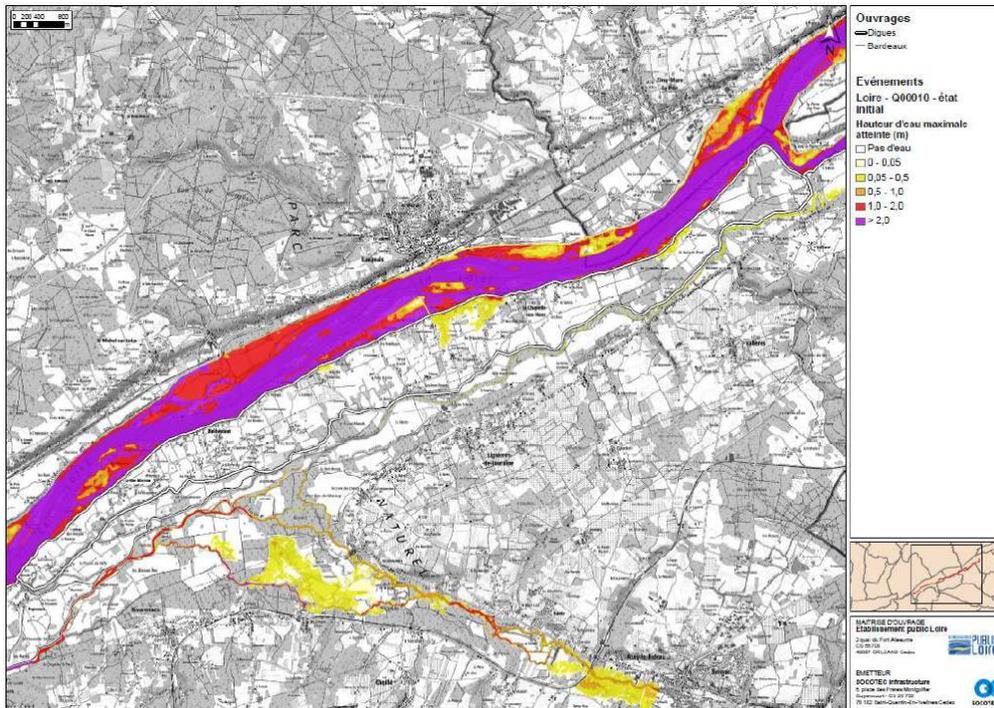


Figure 0-11 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 1 (fonctionnement normal) – Loire

0.4.2. S2 – Scénario de défaillance fonctionnelle

Scénario 2 : défaillance fonctionnelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection.

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q10000 du Vieux Cher
- Défaillance : Vannage du Port Baudin

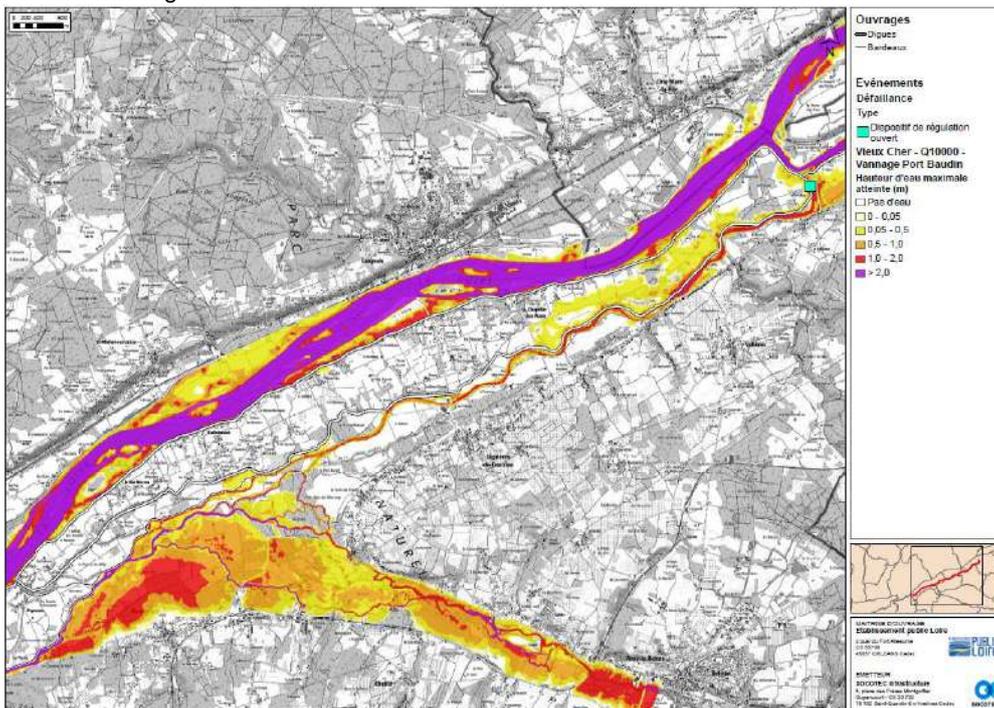


Figure 0-12 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 2 (dysfonctionnement fonctionnel) – Vieux Cher

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q100 de l'Indre
- Défaillance : Vannage Bataillaux

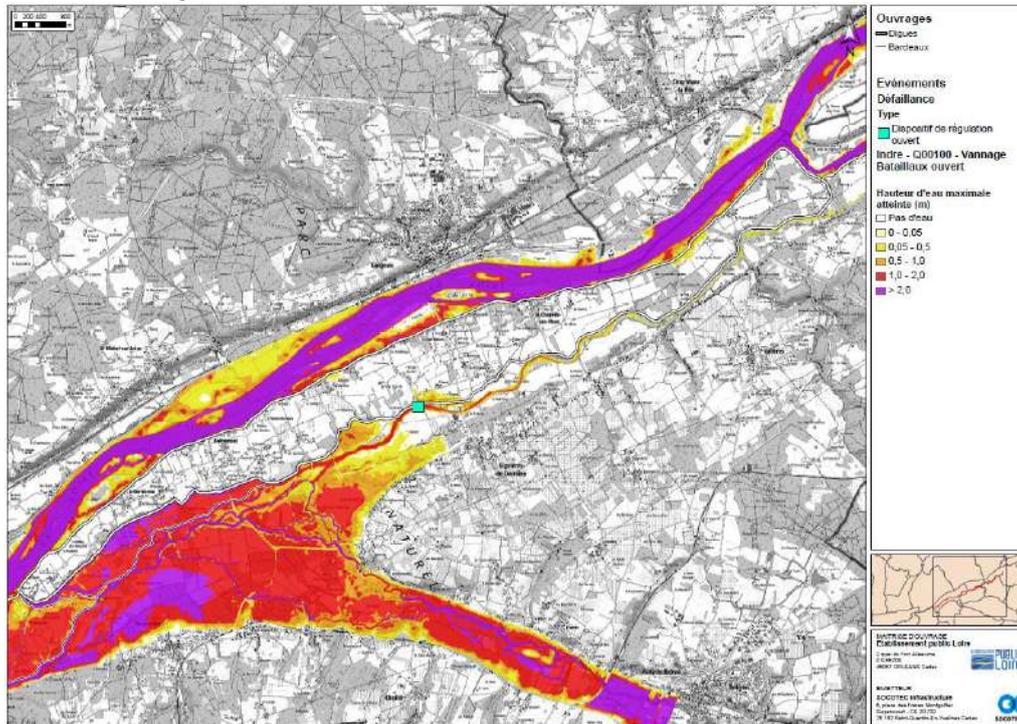


Figure 0-13 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 2 (dysfonctionnement fonctionnel) – Indre

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de l'Oise
- Défaillance : Vannage Guilmenerie

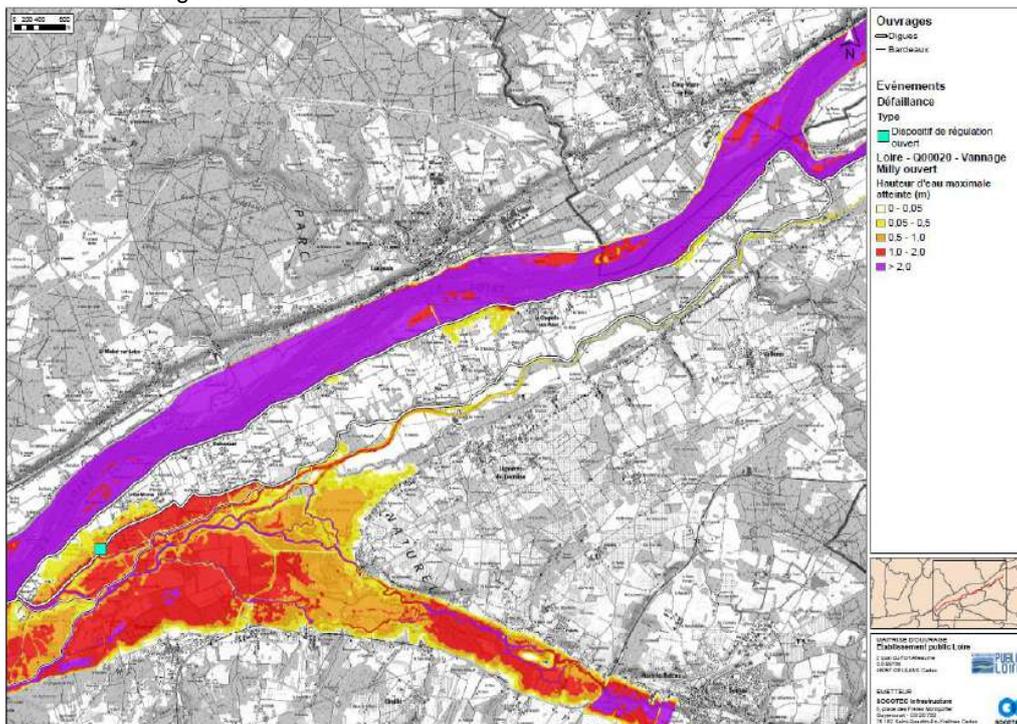


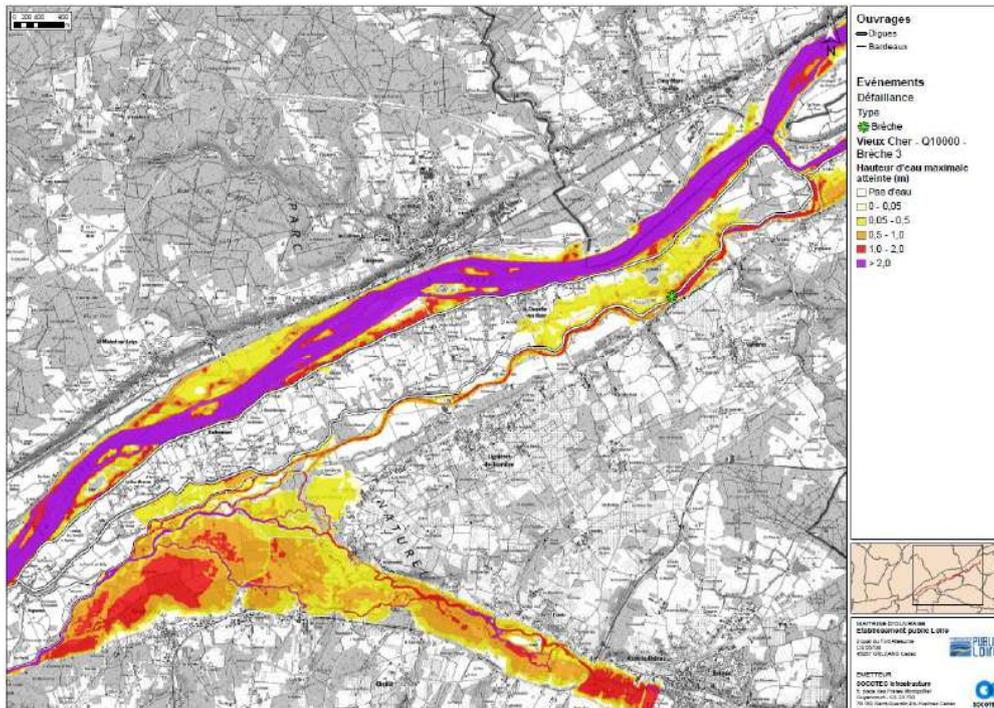
Figure 0-14 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 2 (dysfonctionnement fonctionnel) – Loire

0.4.3. S3 – Scénario de défaillance structurelle

Scénario 3 : défaillance structurelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de danger.

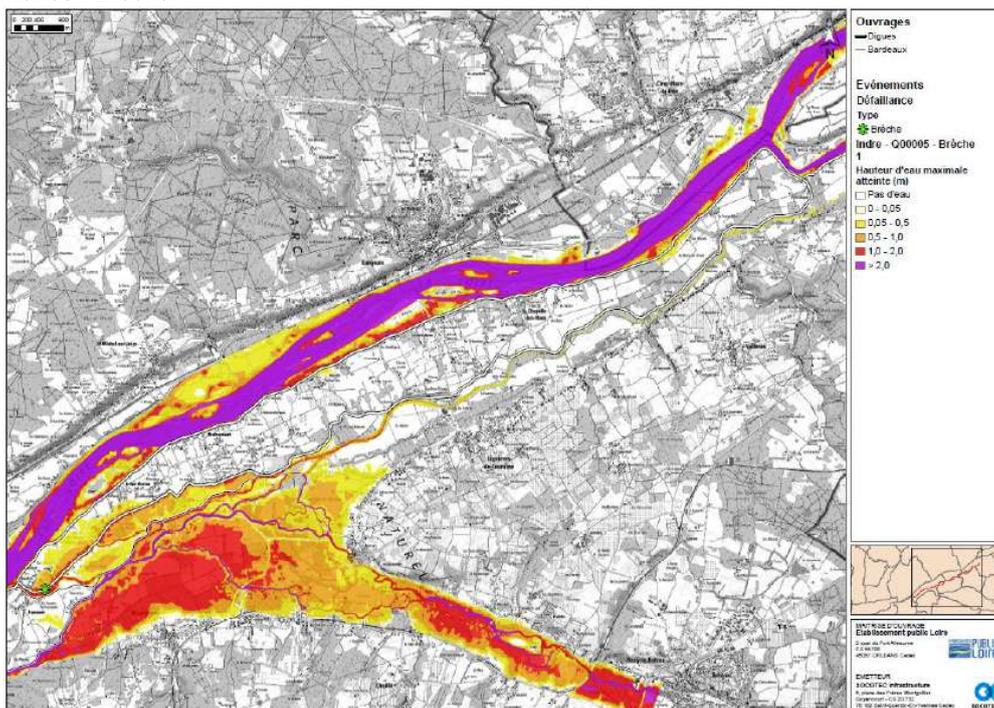
Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q10000 du Vieux Cher
- Défaillance : Brèche 3



Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q5 de l'Indre
- Défaillance : Brèche 1



Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de la Loire
- Défaillance : Brèche 2

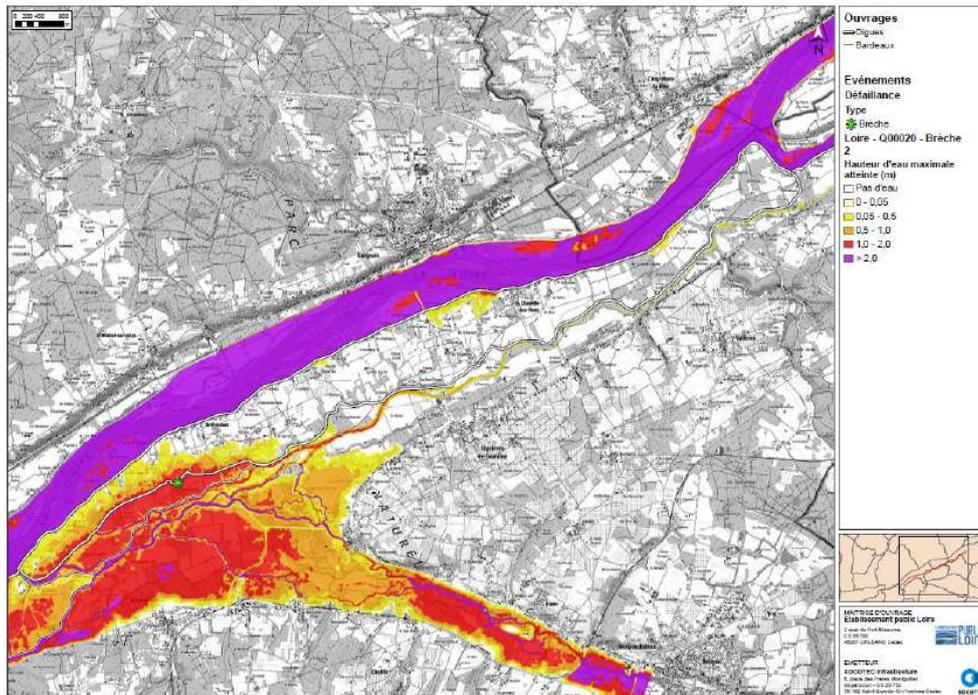


Figure 0-17 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 3 (Brèche) – Loire

0.4.4. S4 – Scénario correspondant à l'aléa de référence

Scénario 4 : aléa de référence PPRI(L) avec défaillance structurelle si c'est un événement hydraulique correspondant à un niveau supérieur ou égal au niveau de danger.

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Crue de 1856 (crue Q200)
- Défaillance : Brèche de la digue domaniale nord

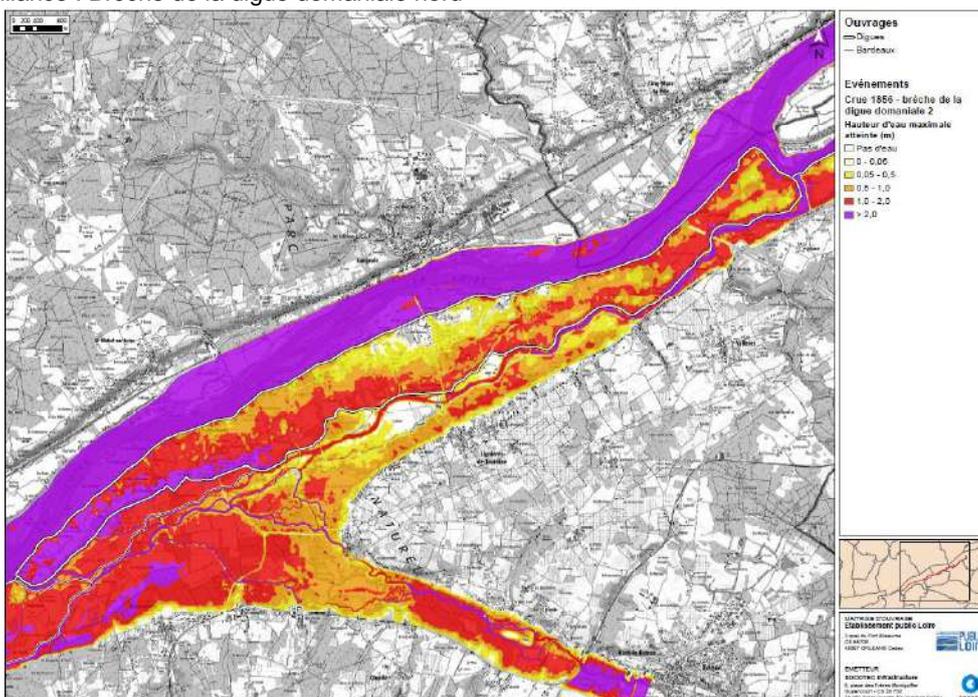


Figure 0-18 : Hauteurs d'eau maximales atteintes du scénario 4 (PPRI)

Document A

Présentation générale du système d'endiguement, associé le cas échéant contre les inondations et les submersions

1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

1.1. Gestionnaire du Système d'Endiguement, objet de l'Étude De Dangers

1.1.1. Gestionnaires

La digue du Vieux Cher appartenant au Système d'Endiguement (SE) du val de Villandry/Bréhémont, objet de la présente Étude de Dangers (EDD) se situe sur le territoire de deux EPCI gémapiens :

- Tours Métropole Val de Loire (TMVL) sur la partie nord ;
- La Communauté de communes Touraine Vallée de l'Indre (CCTVI) sur la partie sud.

	<p>Tours Métropole Val de Loire (TMVL) Adresse : 60, avenue Marcel Dassault CS 30651 37 206 Tours Cedex 03 Courriel : https://www.tours-metropole.fr/formulaire-de-contact Téléphone : +33 2 47 80 11 11 Contact(s) : Mme Marjorie SAINT DIZIER Responsable Pôle GEMAPI Courriel : m.saintdizier@tours-metropole.fr Téléphone : +33 2 47 21 64 26 / +33 6 11 14 80 12</p>
---	--

Tours Métropole Val de Loire est située à l'ouest du département d'Indre-et-Loire (37) de la région Centre-Val de Loire. TMVL regroupe 22 communes et compte près de 300 000 habitants. Elle possède la compétence « Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations » (GEMAPI) sur son territoire.

	<p>Communauté de Communes Touraine Vallée de l'Indre (CCTVI) Adresse : 6, place Antoine de Saint Exupéry 37 250 Sorigny Courriel : contact@tourainevalleedelindre.fr Téléphone : +33 2 47 34 29 00 / +33 2 47 34 29 09 Contact(s) : M. Anseric LÉON Directeur Général Adjoint Courriel : Anseric.LEON@tourainevalleedelindre.fr Téléphone : +33 2 47 34 29 00</p>
---	---

La Communauté de Communes Touraine Vallée de l'Indre est située à l'ouest du département d'Indre-et-Loire (37) de la région Centre-Val de Loire. La CCTVI regroupe 22 communes, compte près de 51 000 habitants et son territoire s'étend sur une surface de 485 km².

Elle possède la compétence « Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations » (GEMAPI) sur son territoire.

1.1.2. Propriétaire

Le propriétaire de la digue du Vieux Cher est la DDT37.

	<p>Direction départementale des territoires d'Indre-et-Loire (DDT37) Adresse : 61, avenue de Grammont - TOURS 37 250 Sorigny Courriel : ddt@indre-et-loire.gouv.fr Téléphone : +33 2 47 64 37 37 ou +33 2 47 70 80 90</p>
---	--

1.1.3. Maîtrise d'Ouvrage

Dans le cadre de la mission d'appui technique proposée par l'EPLoire, ces EPCI GEMAPIen lui ont confié par voie de délégation la MOA de cette étude de dangers.

	Établissement public Loire Adresse : 2 quai du Fort Alleaume CS 55708 45057 ORLÉANS Cedex Courriel : https://www.eptb-loire.fr/contact/ Téléphone : ++33 2 46 47 03 21
	Contact(s) : Mme Camille Uguen Chargée de mission Dignes Courriel : camille.basset@eptb-loire.fr Téléphone : +33 6 74 13 48 12

1.2. Organisme agréé en charge de l'Étude De Dangers pour le compte de l'autorité visée au 1.1

AUTEUR DE L'ÉTUDE DE DANGERS

	SOCOTEC Infrastructure Pôle Maritime, Fluvial et Hydraulique Adresse : 5, place des Frères Montgolfier Guyancourt – CS 20732 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex Courriel : infrastructure@socotec.com Téléphone : +33 1 30 12 15 72
	Contact(s) : M. Loïc BOURDON Responsable du Département Maritime, Fluvial et Hydraulique

SOCOTEC Infrastructure dispose, par arrêté du 20 avril 2020 portant agrément des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques par le Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires de l'agrément « Dignes et petits barrages de classe C – études et diagnostics », nécessaire à la réalisation de la présente étude de dangers, conformément aux dispositions du décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques.

1.3. Autorisations existantes en lien avec le Système d'Endiguement

Les autorisations existantes concernant la digue du Vieux Cher sont les suivantes :

Nom	Date
Arrêté de classement	
-	-
Acte de propriété	
-	-
Convention signée entre propriétaires et gestionnaires	
-	-
Servitudes	
-	-
Autres	
-	-

Tableau 1-1 : Autorisations existantes

1.4. Date de remise officielle de l'Étude De Dangers au préfet

La date à laquelle l'EDD est officiellement remise au préfet est prévue le 30/06/2023.

1.5. Identification des Aménagements Hydrauliques associés au Système d'Endiguement

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

1.6. Réglementation en vigueur

1.6.1. Références réglementaires

Les principales références réglementaires concernant les Obligations réglementaires sur les ouvrages hydrauliques sont listées ci-après :

- Arrêté du 8 août 2022 précisant les obligations documentaires et la consistance des vérifications et visites techniques approfondies des ouvrages hydrauliques autorisés ou concédés
- Arrêté du 20 avril 2020 portant agrément de la société SOCOTEC Infrastructure en tant qu'organisme intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques
- Décret n° 2019-895 du 28 août 2019 portant diverses dispositions d'adaptation des règles relatives aux ouvrages de prévention des inondations
- Arrêté du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions
- Décret n° 2019-119 du 21 février 2019 portant diverses dispositions d'adaptation des règles relatives aux ouvrages hydrauliques
- Arrêté du 3 septembre 2018 modifiant l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des aménagements et des digues et en précisant le contenu
- Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des aménagements
- Arrêté du 15 novembre 2017 précisant les catégories et les critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance
- Arrêté du 7 avril 2017 précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions
- Note du 11 juillet 2016 relative à la mise en œuvre de l'organisation du contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques en France métropolitaine
- Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques
- Arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un aménagement ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration
- Circulaire du 16 avril 2010 relative aux études de dangers des digues de protection contre les inondations fluviales
- Guide de lecture des études de dangers des digues de protection contre les inondations pluviales (annexé à la circulaire du 16 avril 2010) – Avril 2010
- Circulaire du 31 juillet 2009 relative à l'organisation du contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques
- Arrêté du 16 juin 2009 modifiant l'arrêté du 29 février 2008 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques
- Circulaire du 8 juillet 2008 relative au contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques au titre des dispositions mises en place par le décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 (art. R.214-112 à R.214-147 du code de l'environnement)
- Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des aménagements et en précisant le contenu
- Arrêté du 29 février 2008 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques
- Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des aménagements et des ouvrages hydrauliques.
- Code de l'Environnement, articles R214-115 à 214-117, R214-122 à 214-125, R214-140 à R214-144.

1.6.2. Classement du Système d'Endiguement et obligations

Type d'ouvrages hydrauliques

Le décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques et le Décret n° 2019-895 du 28 août 2019 portant diverses dispositions d'adaptation des règles relatives aux ouvrages de prévention des inondations précisent les classifications des ouvrages hydrauliques comme suit :

- « Barrages » : les barrages de retenue et ouvrages assimilés, les digues de canaux ;
- « Systèmes d'endiguements » (Article R562-13) : systèmes composés d'une ou plusieurs digues ainsi que tout ouvrage nécessaire à son efficacité et à son bon fonctionnement notamment ;
 - Ouvrages, autres que des barrages qui, eu égard à leur localisation et à leurs caractéristiques, complètent la prévention ;
 - Dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques tels que vannes et stations de pompage ;
 - Ne sont toutefois pas inclus dans le système d'endiguement réglementaire, les éléments naturels situés entre des tronçons de digues ou à l'extrémité d'une digue ou d'un ouvrage composant le système et qui en forment l'appui ;
- « Aménagements hydrauliques » (Article R562-18) :
 - Ensembles d'ouvrages qui permettent :
 - Soit de stocker provisoirement des écoulements provenant d'un bassin, sous-bassin ou groupement de sous-bassins hydrographiques ;
 - Soit le ressuyage de venues d'eau en provenance de la mer ;
 - Si :
 - Un des ouvrages relève des critères de classement prévus par l'article R. 214-112 (classement des barrages et ouvrages assimilés) ;
 - Ou si le volume global maximal pouvant être stocké est supérieur ou égal à 50 000 mètres cubes.

Classement des ouvrages

Classe Critères	Barrage	Système d'endiguement
	Caractéristiques géométriques (Art R. 214-112) H en m et V en 10 ⁶ m ³	Population protégée (Art R. 214-113) H en m
A	<ul style="list-style-type: none"> • $H \geq 20$ • Et $H^2 \times V \geq 1\,500$ 	Population > 30 000 personnes
B	Ouvrage non classé en A pour lequel : <ul style="list-style-type: none"> • $H \geq 10$ • Et $H^2 \times V \geq 200$ 	3 000 personnes ≤ population < 30 000 personnes
C	a) Ouvrage non classé en A ou B pour lequel : <ul style="list-style-type: none"> • $H \geq 5$ • Et $H^2 \times V \geq 20$ b) Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a) ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après : <ul style="list-style-type: none"> • $H \geq 2$ • $V \geq 0.05$ • Il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 m. 	Population ≤ 3 000 personnes Si le système d'endiguement comporte essentiellement une ou plusieurs digues établies antérieurement à la date de publication du décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques Ou, pour les autres systèmes d'endiguement : 30 personnes ≤ Population ≤ 3 000 personnes

Tableau 1-1 : Classes des barrages (Décret du 12 mai 2015) et systèmes d'endiguement (Décret 28 août 2019)

Précisions sur les critères :

- Barrage :
 - H, la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel à l'aplomb de ce sommet ;
 - V, le volume retenu exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume qui est retenu par le barrage à la cote de retenue normale. Dans le cas des digues de canaux, le volume considéré est celui du bief entre deux écluses ou deux ouvrages vannés ;
- Système d'endiguement :
 - La population protégée correspond à la population maximale, exprimée en nombre de personnes, qui est susceptible d'être exposée dans la zone protégée.

Obligations selon le type d'ouvrages

Selon les décrets en vigueur, les délais suivants s'appliquent :

Ouvrage Classe	Référence	Barrage			Système d'endiguement		
		A	B	C	A	B	C
Dossier d'ouvrage	Art. R. 214-122	Obligatoire			Obligatoire		
Document décrivant l'organisation mise en place pour assurer l'exploitation de l'ouvrage, son entretien et sa surveillance en toutes circonstances	Art. R. 214-122	Obligatoire			Obligatoire		
Registre de l'ouvrage	Art. R. 214-122	Obligatoire			Obligatoire		
Rapport de surveillance	Art. R. 214-126	1 an	3 ans	5 ans	3 ans	5 ans	6 ans
Visite Technique Approfondie	Art. R. 214-125	Entre 2 rapports de surveillance À l'issue de tout événement ou évolution déclaré en application du premier alinéa et susceptible de provoquer un endommagement de l'ouvrage					
Rapport d'auscultation	Art. R. 214-126	2 ans	5 ans	5 ans	Non concerné		
Étude de Dangers (incluant la revue périodique de sûreté) *	Art. R. 214-117	10 ans**	15 ans	Non concerné	10 ans	15 ans	20 ans
Déclaration EISH (Événements Importants pour la Sûreté Hydraulique)							
Événement rouge	Arrêté du 21 mai 2010	Immédiate sans excéder une semaine					
Événement orange		Dans les meilleurs délais					
Événement jaune		Dans le mois			Annuellement		
Déclaration PSH (Événements ou évolutions Précurseurs pour la Sûreté Hydraulique)	Arrêté du 21 mai 2010	Déclaration annuelle			Non concerné		

Tableau 1-2 : Documents réglementaires sur les ouvrages hydrauliques (Décret du 12 mai 2015 modifié par le Décret du 28 août 2019)

(*) s'applique aux aménagements hydrauliques (Art. R.214-117) :

- 1° Tous les 10 ans pour les aménagements hydrauliques qui comportent au moins un barrage de classe A ;
- 2° Tous les 15 ans pour les aménagements hydrauliques autres que ceux mentionnés au 1° qui comportent au moins un barrage de classe B ;
- 3° Tous les 20 ans pour les aménagements hydrauliques autres que ceux mentionnés au 1° et au 2°.

(**) s'applique aux conduites forcées (Art. R.214-117)

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La digue du Vieux Cher protège une population de moins de 3000 personnes.

Les obligations réglementaires pour les Systèmes d'Endiguement de classe C sont les suivantes :

Dossier d'ouvrage	Document d'organisation	Registre de l'ouvrage	Rapport de surveillance	VTA	Rapport d'auscultation	Étude de Dangers	Déclaration EISH
Obligatoire	Obligatoire	Obligatoire	6 ans	6 ans	Non concerné	20 ans	Obligatoire

Tableau 1-3 : Obligation d'un Système d'endiguement de classe C

2. OBJET DE L'ÉTUDE

2.1. Descriptif du cadre général de l'Étude De Dangers

Le descriptif du cadre de la demande est précisé dans le tableau ci-après :

Contexte général de l'Étude De Dangers	
<input checked="" type="checkbox"/> Cas 1	Autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux. Le contenu de l'Étude De Dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 2 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> Cas 2	Autorisation initiale du système d'endiguement, avec travaux. Le contenu l'Étude De Dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 3 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> Cas 3	Modification substantielle d'un système d'endiguement déjà autorisé. Le contenu de l'Étude De Dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 4 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> Cas 4	Mise à jour de l'Étude De Dangers du système d'endiguement exigée par arrêté préfectoral de prescription complémentaire en application des articles R. 181-45 et R. 214-117-III en raison d'une modification non substantielle du système d'endiguement. La mise à jour de l'étude de dangers est conforme aux dispositions de l'article 5 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> 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 du présent arrêté.

Tableau 2-1 : Cadre général de l'Étude De Dangers

2.2. Communes concernées par la zone protégée et ses éventuelles sous-parties

Les communes concernées par la Zone Protégée (ZP) de la digue du Vieux Cher, et ses éventuelles sous parties, sont les suivantes :

- Villandry (37 510) ;
- Vallères (37 190) ;
- La Chapelle-aux-Naux (37 130) ;
- Bréhémont (37 130).

2.3. Localisation et plan des limites de la zone protégée et ses éventuelles sous-parties

La Zone Protégée de la digue du Vieux Cher est délimitée par :

- Au nord, la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
- Au sud, la digue du Vieux Cher.



Figure 2-1 : Limite de la zone protégée

2.4. Localisation, plan et description sommaire des ouvrages concernés

La digue du Vieux Cher traverse les communes suivantes de l'amont à l'aval :

- Villandry ;
- Vallères ;
- La Chapelle-aux-Naux
- Et Bréhémont.

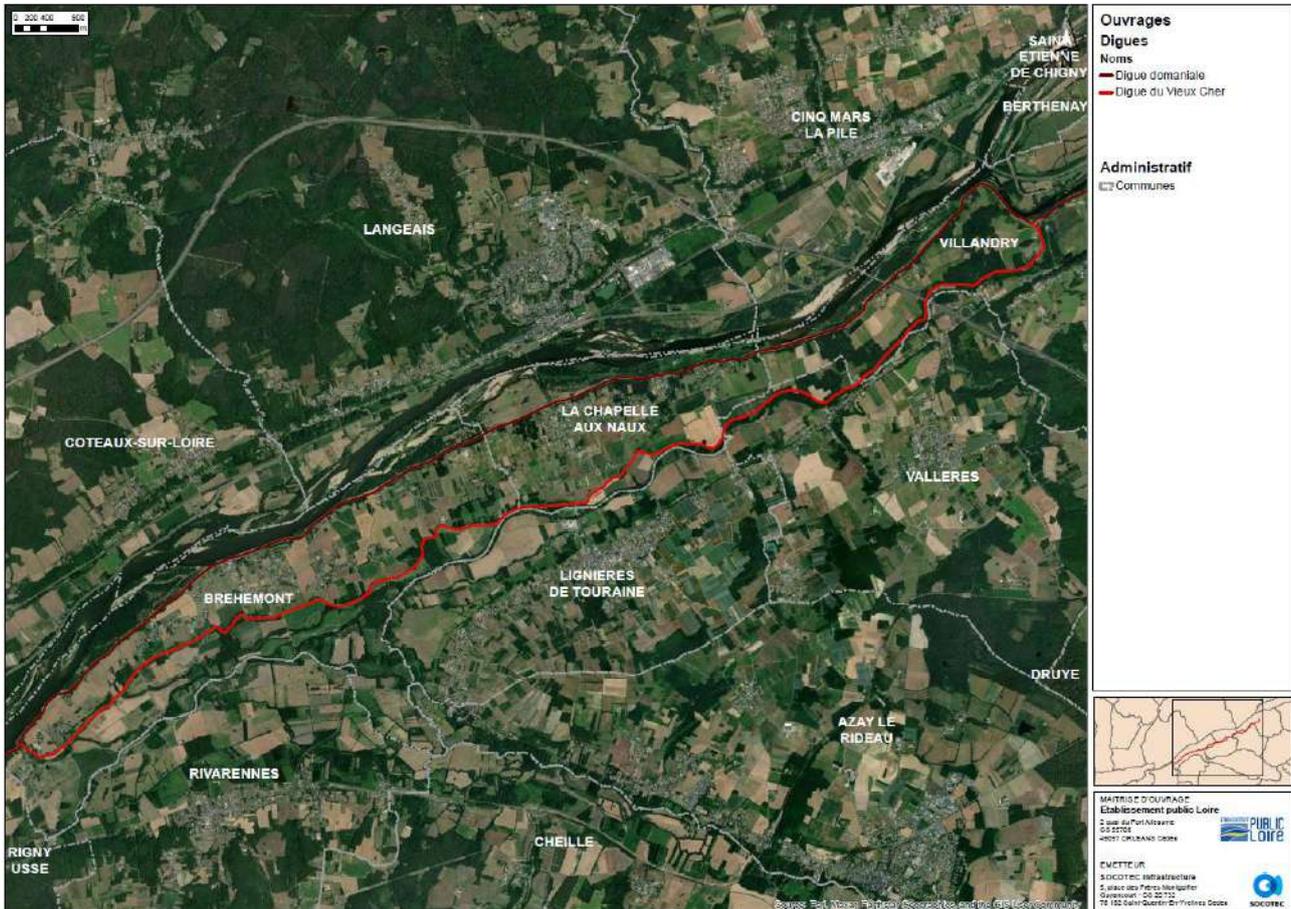


Figure 2-2 : Communes traversées par l'ouvrage

La digue du Vieux Cher est composée des ouvrages suivants :

- Le remblai du Vieux Cher ;
- 9 dispositifs de régulation des écoulements :
 - 6 vannages ;
 - 1 clapet anti-retour ;
 - 2 dalots/buses (ouvrage traversant sans organe mobile).

La digue protège contre les diverses sollicitations hydrauliques des 4 cours d'eau listés précédemment.

Hors période de crue, les dispositifs de régulation permettent d'évacuer les eaux de la ZP vers le Vieux Cher.

En période de crue, ils empêchent la rentrée d'eau des cours d'eau en cours dans la ZP (dispositifs avec organes mobiles) puis ils permettent le ressuyage de la zone en cas d'inondation (par surverse ou défaillance de l'ouvrage).

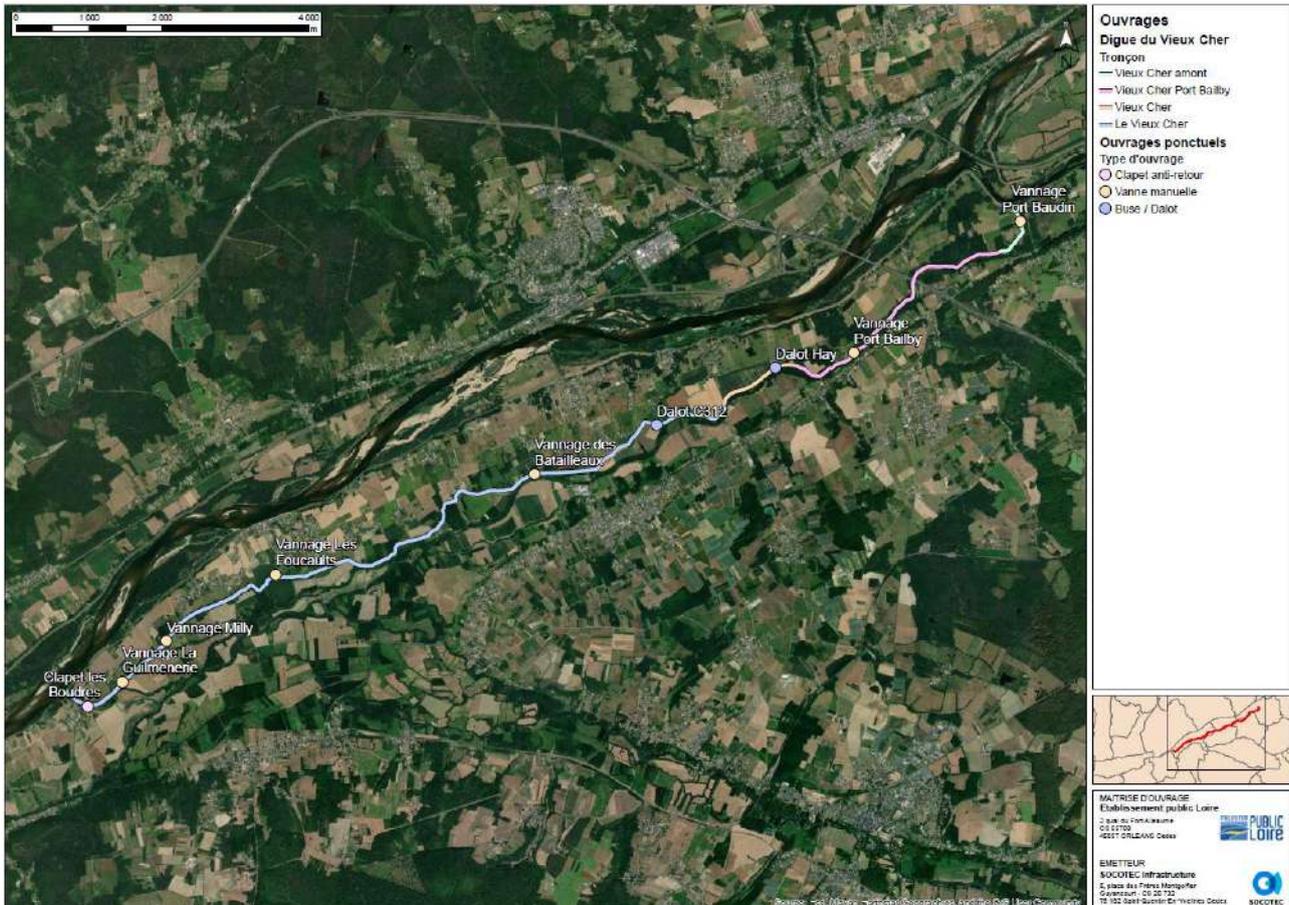


Figure 2-3 : Localisation des ouvrages de la digue du Vieux Cher

La digue du Vieux Cher est un ouvrage de protection contre les crues des cours d'eau suivants :

- Le Vieux Cher ;
- L'Indre ;
- Le Cher au nord :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
- La Loire :
 - Au nord :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont après remous de la Loire dans le Cher ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
 - Au sud
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par remous.

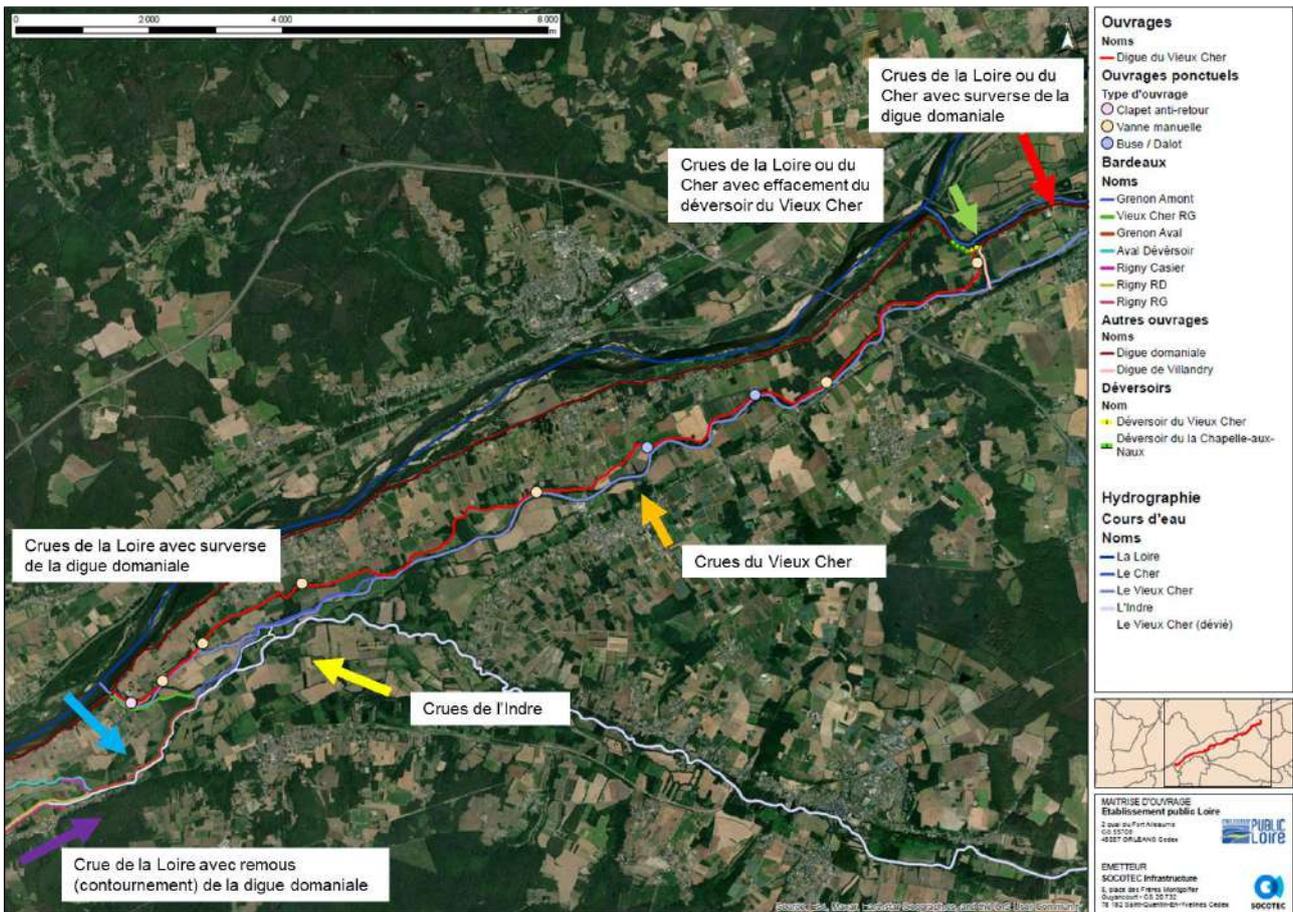


Figure 2-4 : Fonctionnement des ouvrages

3. DESCRIPTION DE LA ZONE PROTÉGÉE, DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT BÉNÉFICIAIRE LE CAS ÉCHÉANT D'AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES ET DE SON ENVIRONNEMENT ET DE SES FONCTIONS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET LES SUBMERSIONS

3.1. Zone protégée

3.1.1. Cartographie de la zone protégée

La cartographie ci-après représente :

- Les limites administratives du territoire relevant de l'autorité ;
- Les limites de la zone protégée qui est inscrite dans ce territoire, et ses éventuelles sous-parties ;
- Le ou les niveaux de protection et le ou les lieux de référence où sont mesurés les paramètres représentant le niveau de protection.

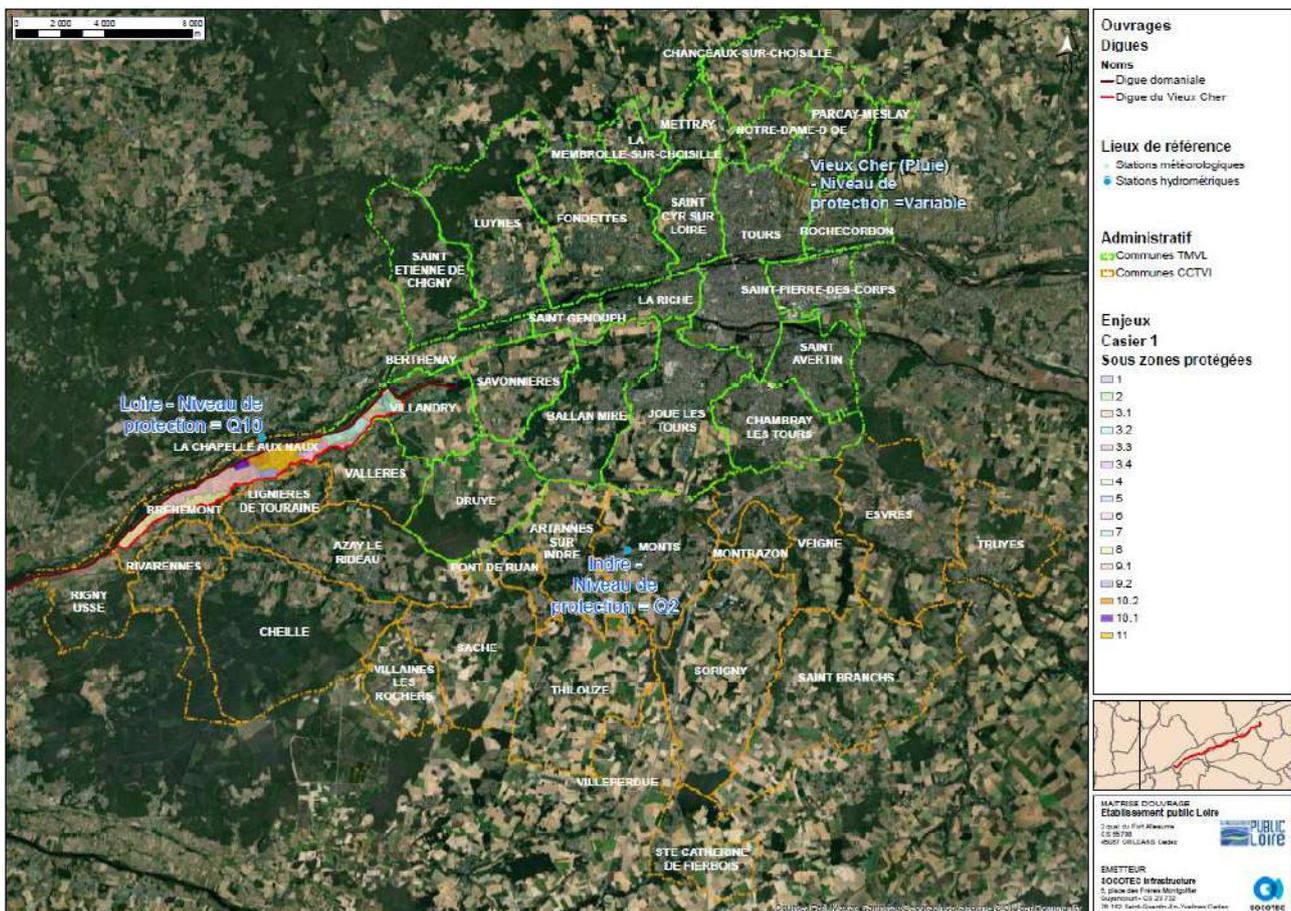


Figure 3-1 : Cartographie administrative

3.1.2. Communes dont le territoire est intégré en tout ou en partie dans la zone protégée

La Zone Protégée de la digue du Vieux Cher est située sur les communes du département Indre-et-Loire (37) suivantes :

- Villandry (37 510) ;
- Vallères (37 190) ;
- La Chapelle-aux-Naux (37 130) ;
- Bréhémont (37 130).

3.1.3. Autres communes qui relèvent de l'autorité compétente pour la prévention des inondations

Les communes relevant des 2 autorités gémapiennes concernées sont les suivantes :

Communes TMVL	Code INSEE	Communes CCTVI	Code INSEE
Ballan-Miré	37018	Artannes-sur-Indre	37006
Berthenay	37025	Azay-le-Rideau	37014
Chambray-lès-Tours	37050	Bréhémont	37038
Chanceaux-sur-Choisille	37054	Cheillé	37067
Druye	37099	Esvres	37104
Fondettes	37109	La Chapelle-aux-Naux	37056
Joué-lès-Tours	37122	Lignières-de-Touraine	37128
La Membrolle-sur-Choisille	37151	Montbazon	37154
La Riche	37195	Monts	37159
Luynes	37139	Pont-de-Ruan	37186
Metray	37152	Rigny-Ussé	37197
Notre-Dame-d'Oé	37172	Rivarennnes	37200
Parçay-Meslay	37179	Saché	37205
Rochechouart	37203	Saint-Branches	37211
Saint-Avertin	37208	Sainte-Catherine-de-Fierbois	37212
Saint-Cyr-sur-Loire	37214	Sorigny	37250
Saint-Étienne-de-Chigny	37217	Thilouze	37257
Saint-Genouph	37219	Truyes	37263
Saint-Pierre-des-Corps	37233	Vallères	37264
Savonnières	37243	Veigné	37266
Tours	37261	Villaines-les-Rochers	37271
Villandry	37272	Villeperdue	37278

Tableau 3-1 : Liste des communes de l'autorité compétente

3.2. Conditions naturelles pouvant conduire à des crues ou des tempêtes, conditions de fondation des ouvrages et sollicitations s'exerçant sur ces fondations

3.2.1. Principaux facteurs naturels déterminant les risques contre lesquels le Système d'Endiguement apporte une protection

Les différents facteurs naturels déterminant les risques contre lesquels la digue du Vieux Cher apporte une protection sont les suivants :

- Crue des cours d'eau.

Ces facteurs conditionnent le risque principal suivant : inondations par crue des cours d'eau suivants :

- Crues du Vieux Cher ;
- Crues de l'Indre ;
- Crues du Cher :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
- Crues de la Loire :
 - Au nord :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont après remous de la Loire dans le Cher ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
 - Au sud
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par remous.

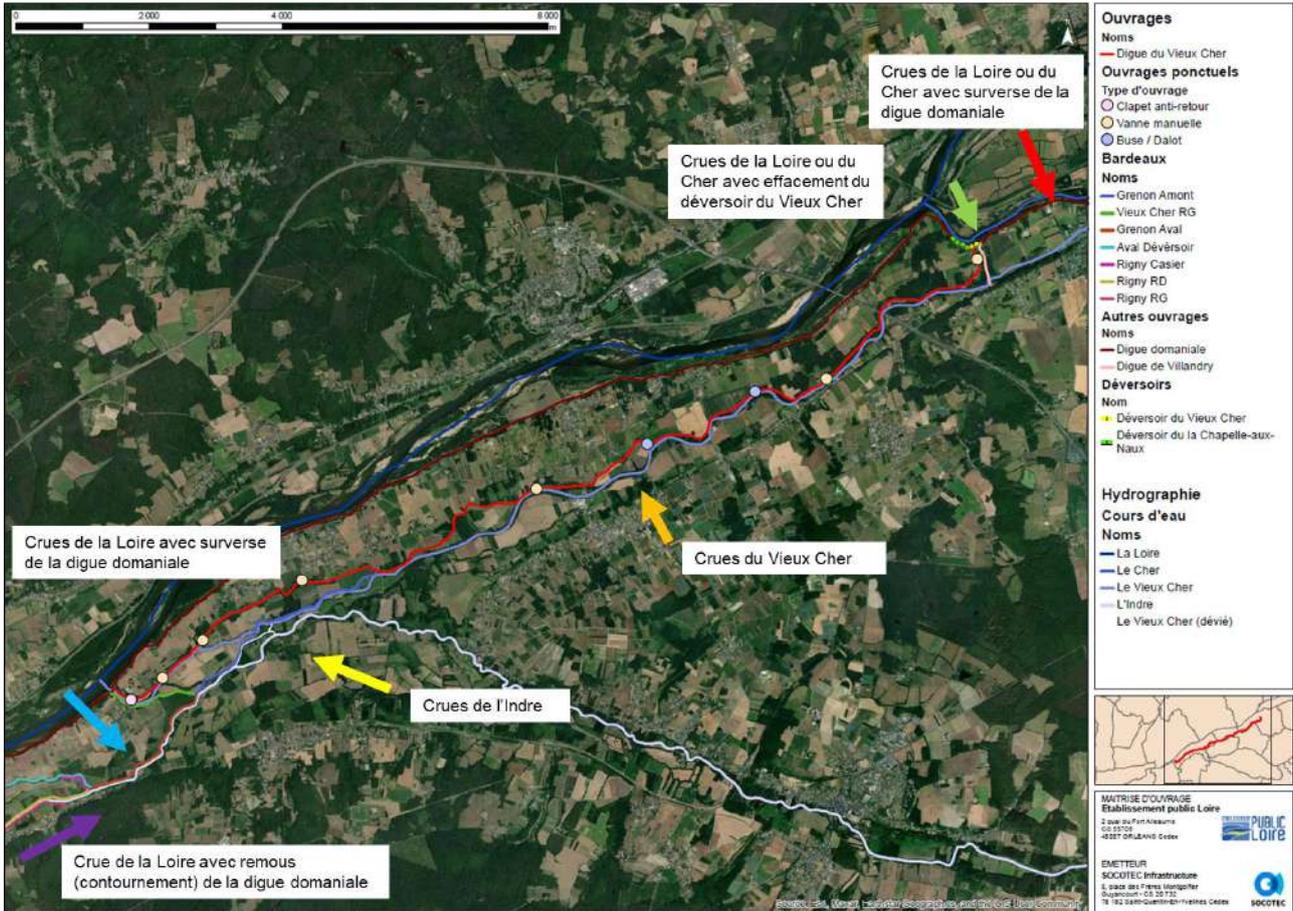


Figure 3-2 : Fonctionnement des ouvrages

3.2.2. Références scientifiques qui ont permis de décrire ces facteurs et leur évolution prévisible

Les documents référents concernant les aléas hydrologiques / hydrauliques sont les suivants :

Réf.	Titre	Auteur	Date
Études			
1	Étude de préfiguration des systèmes d'endiguement de l'Indre	ISL	01/04/2021
2	Étude de dangers du système d'endiguement du Cher – Digue Tours Sud Saint-Avertin (37)	ANTEA	02/07/2020
3	Étude de cas Digue de Grenon amont	CEREMA / EP Loire	01/07/2020
4	Étude de cas Digue de Grenon aval	CEREMA / EP Loire	01/07/2020
5	Étude de cas Digue de Rigny-Ussé rive gauche	CEREMA / EP Loire	01/07/2020
6	Étude sur la mise en transparence de la digue de Bois Chétif	ANTEA	01/06/2020
7	Notification de l'avis de la DREAL sur l'étude de dangers du val de Bréhémont-Villandry	DREAL	29/04/2019
8	Étude de dangers des digues domaniales de la Loire et de ses affluents – département d'Indre-et-Loire – Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont	ANTEA	01/05/2017
9	Étude des vals de Bréhémont et du Vieux Cher – Phase 4 – Propositions Techniques	Sogreah	01/08/2010

Tableau 3-2 : Références sur la partie hydrologie et hydraulique

3.2.3. Données historiques essentielles connues expliquant l'analyse scientifique de ces facteurs

L'EDD de la digue du Vieux Cher s'appuie sur les documents historiques suivants :

- Les documents listés ci-avant ;
- De l'Hydroportail : données des stations à proximité de la zone d'étude.

3.2.4. Synthèse de l'étude géologique explicitant les caractéristiques essentielles des fondations des ouvrages du Système d'Endiguement et les éventuelles particularités sismiques concernant l'implantation de ces ouvrages

3.2.4.1. Documents référents

Les documents référents concernant la partie géologique de l'ouvrage sont les suivants :

Réf.	Titre	Auteur	Date
Études			
1	Étude de stabilité de la digue du Vieux Cher	SOCOTEC Infrastructure	
2	Étude de dangers des digues domaniales de la Loire et de ses affluents – département d'Indre-et-Loire – Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont	ANTEA	01/05/2017

Tableau 3-3 : Références sur la partie géologie

3.2.4.2. Synthèse

La digue du Vieux Cher se situe sur une seule formation géologique : FZ, alluvions modernes de la Loire. Leurs épaisseurs moyennes varient de 4 à 6 ou 7 m (pouvant atteindre 8 m à Langeais). De bas en haut les faciès varient : niveau argileux discontinu (épaisseur inférieure à 1 m), graviers et galets, sables (1 à 4 m), limons argilo-sableux (1 à 3 m).

Au vu des résultats de l'étude de stabilité, les caractéristiques géotechniques de la digue assurent une certaine stabilité de l'ouvrage vis-à-vis des différents phénomènes pouvant fragiliser ce type d'ouvrage.

3.2.4.3. Particularités sismiques

La digue du Vieux Cher n'est pas soumise à des particularités sismiques.

En effet, d'après le zonage sismique actuel de la France, les communes sur lesquelles la digue se trouve, sont classées en zone 1 : zone de sismicité très faible.

3.3. Éléments composant le Système d'Endiguement et leurs fonctions hydrauliques

3.3.1. Identification du cours d'eau ou de la cellule hydro-sédimentaire maritime concernée, et l'indication si le système protège contre un seul aléa ou contre plusieurs

La digue du Vieux Cher protège une partie de la zone du val de Villandry/Bréhémont contre plusieurs aléas :

- Crues du Vieux Cher ;
- Crues de l'Indre ;
- Crues du Cher :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
- Crues de la Loire :
 - Au nord :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont après remous de la Loire dans le Cher ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
 - Au sud
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par remous.

3.3.2. Plan d'ensemble localisant et identifiant les différents éléments constituant le Système d'Endiguement

La figure ci-après recense les ouvrages composant la digue du Vieux Cher :



Figure 3-3 : Localisation des ouvrages de la digue domaniale

3.3.3. Localisation, caractéristiques des différents éléments du Système d'Endiguement et description de leurs voies d'accès

3.3.3.1. Digues et ouvrages contributifs faisant office de digues tels que remblais d'infrastructures et murs

Le remblai du Vieux Cher est un remblai de près de 16 600 m de long et d'une hauteur moyenne de 2 m.

Voies d'accès :

- Par le nord : D16 / Rue le Barrage, Villandry ;
- Par le sud : D16 / Rue des Boudres, Bréhémont



Figure 3-4 : Vue du remblai de la digue du Vieux Cher

3.3.3.2. Dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques tels que vannes et stations de pompage

Sept dispositifs de régulation des écoulements avec organes mobiles sont situés le long du remblai.

Ils permettent :

- Hors période de crue, de laisser les eaux pluviales de ruissellement collectées par le réseau d'assainissement ou les cours d'eau de rejoindre le Vieux Cher au travers du remblai ;
- Et en cas de crue, de fermer le remblai pour éviter le reflux des cours d'eau vers la zone protégée.

L'ouvrage est également traversé par 2 dalots/buses (ouvrages sans organe mobile).

Voies d'accès :

- Par le nord : D16 / Rue le Barrage, Villandry ;
- Par le sud : D16 / Rue des Boudres, Bréhémont.



Vannage Port Baudin



Vannage Port Bailby



Dalot Hay



Dalot C312



Vannage les Batailleaux



Vannage les Foucaults



Vannage Milly



Vannage la Guilmerie



Clapet les Boudres

Figure 3-5 : Ouvrages traversant de la digue de l'amont à l'aval

3.3.4. Cartographie et profil en long global de la structure complète du Système d'Endiguement

La cartographie de la structure complète de la digue du Vieux Cher est la suivante :

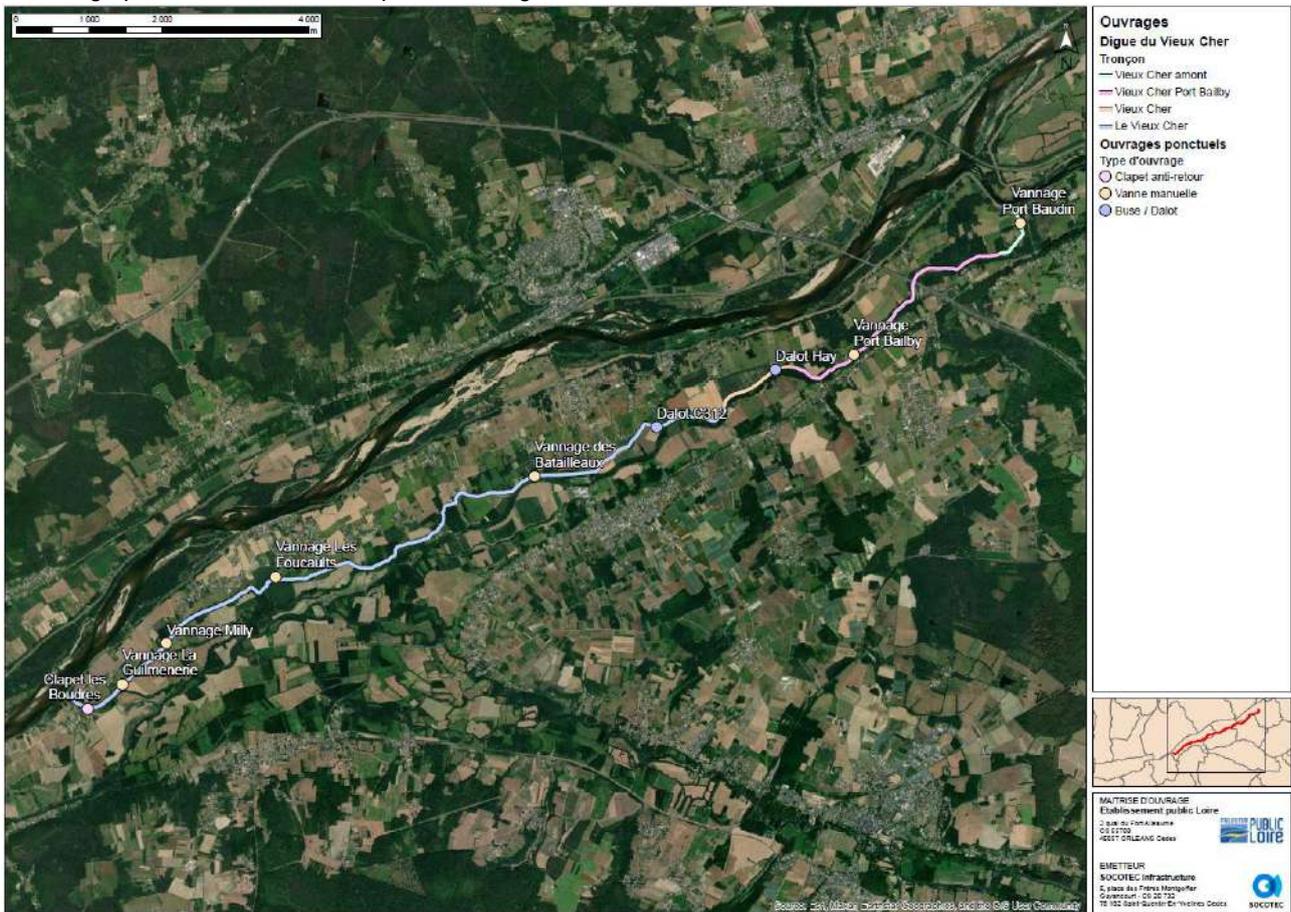


Figure 3-6 : Localisation du Système d'Endiguement et de la référence du niveau de protection

Le profil en long global de la structure complète de la digue du Vieux Cher est le suivant :

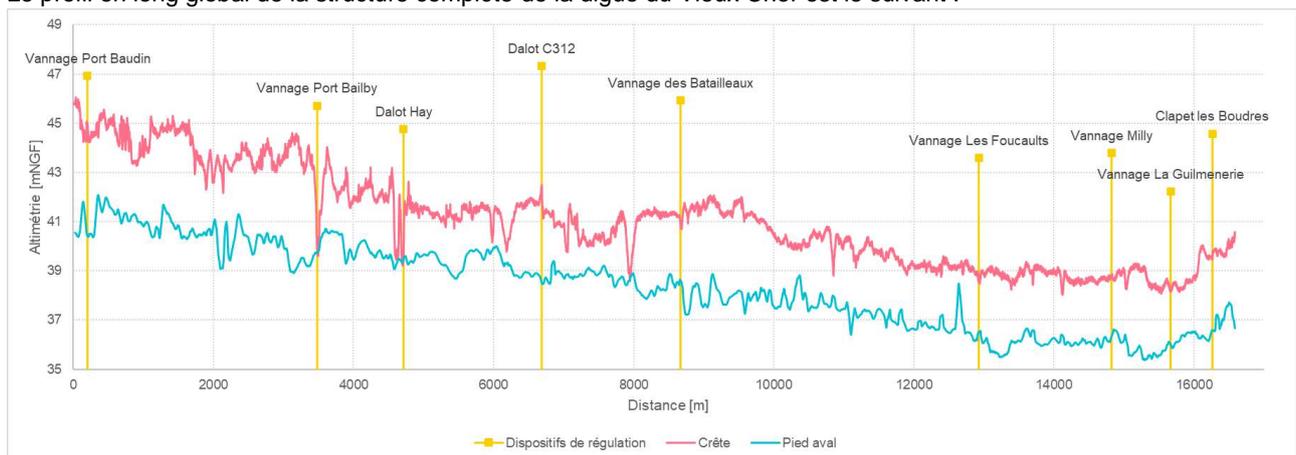


Figure 3-7 : Profil en long global de la structure complète du Système d'Endiguement

La digue du Vieux Cher apporte différents niveaux de protection selon le secteur (cf. figure ci-après) et les cours d'eau desquels elle subit des sollicitations.

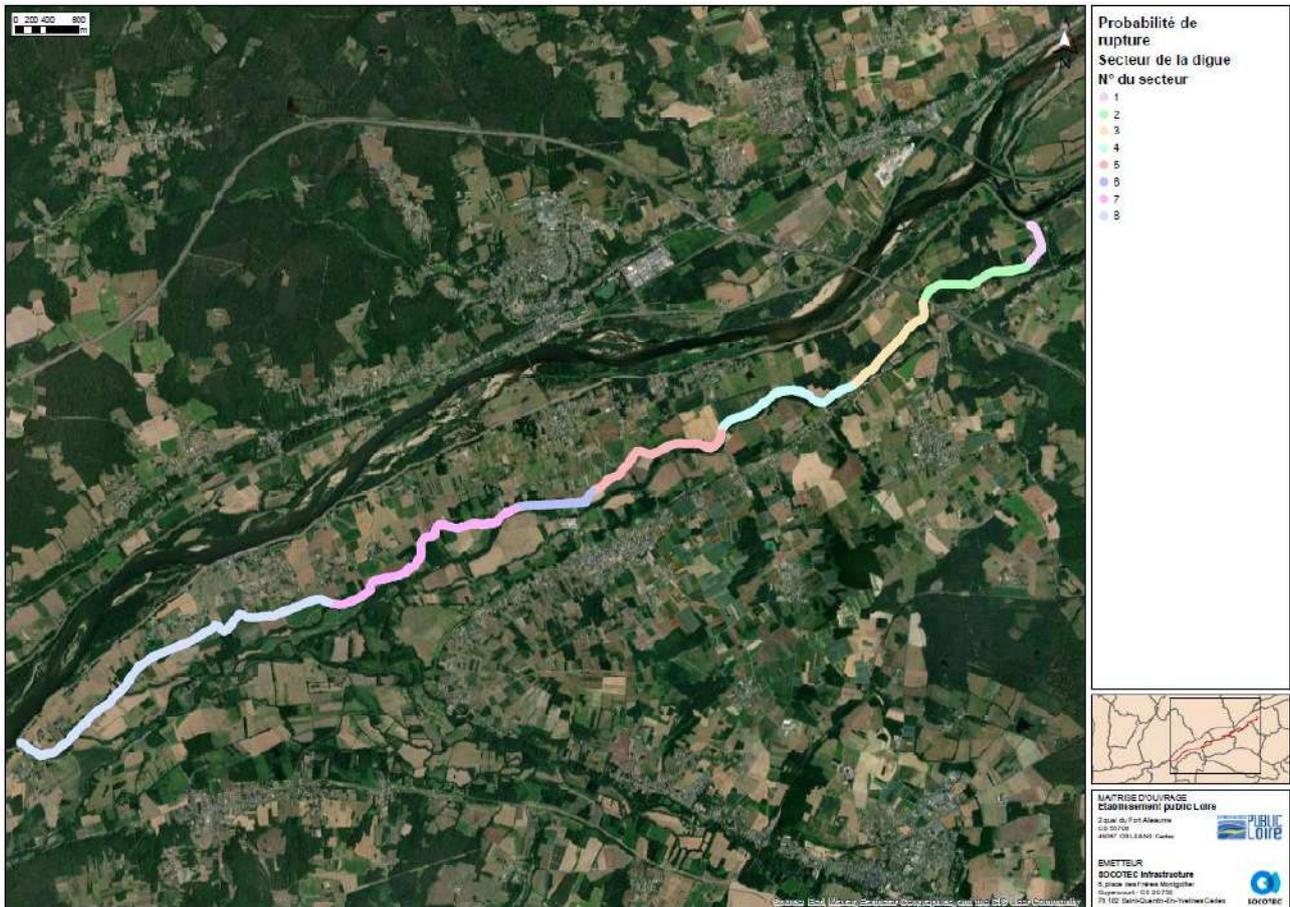


Figure 3-8 : Secteurs de la digue du Vieux Cher

Les niveaux caractéristiques de la digue du Vieux Cher par secteur sont les suivants :

Secteurs	Crues du Vieux Cher (VC)			Crues de l'Indre (I)			Crues de la Loire (L)		
	Niveau	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers
1	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 200
2	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
3	VC 2	VC 5	VC 5	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
4	VC 30	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
5	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 50	L 100	L 100
6	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
7	VC 50	VC 100	> VC 10000	I 2	I 5	> I 100	L 10	L 50	L 500
8	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	< I 2	I 2	I 50	L 10	L 50	L 100

Tableau 3-4 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations

Ces périodes de retour correspondent aux niveaux de référence suivants :

Cours d'eau	Vieux Cher					Indre			Loire			
	Période de retour	Q2	Q30	Q50	Q1000	Q10000	Q2	Q5	Q100	Q10	Q20	Q50
Débits de pointe		6.0	17.5	20.2	36.2	48.6	138	215	530	3122	4682	4948
Niveau de référence [m]	/	/	/	/	/	/	4.86	5.40	7.53	4.26	5.81	6.02
Niveau de référence [mNGF]	/	/	/	/	/	/	49.12	49.66	51.79	40.76	42.31	42.52
Pluies sur 24h [m]		41.8	60.2	63.2	83.0	98.3	/	/	/	/	/	/
Lieux de référence		Pluie à Tours					Indre à Monts			Loire à Langeais		

Tableau 3-5 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher

Les graphiques suivants montrent les lignes d'eau des différents niveaux de protection projetées le long de la digue du Vieux Cher selon les différents scénarios étudiés.

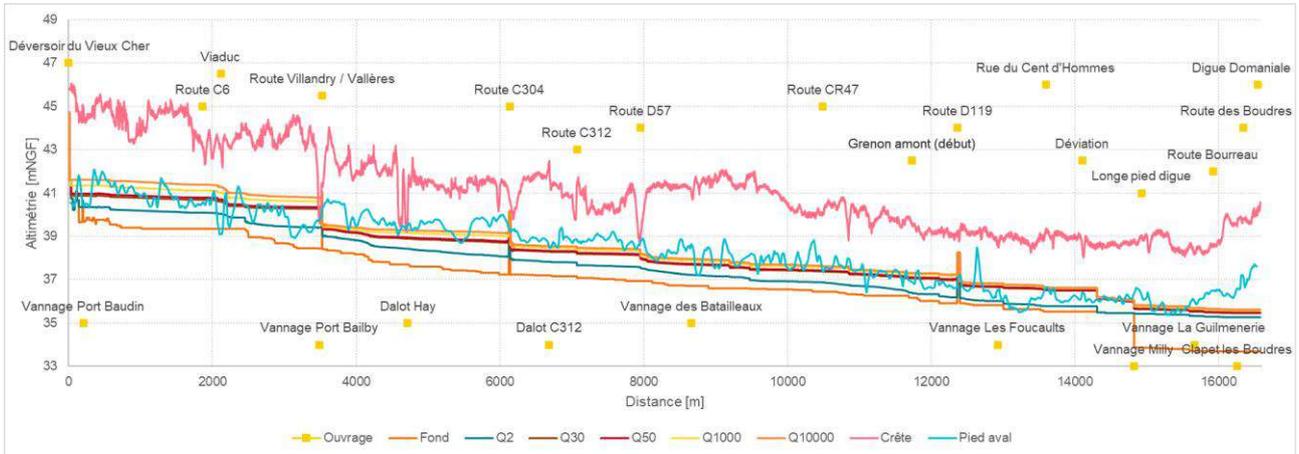


Figure 3-9 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection

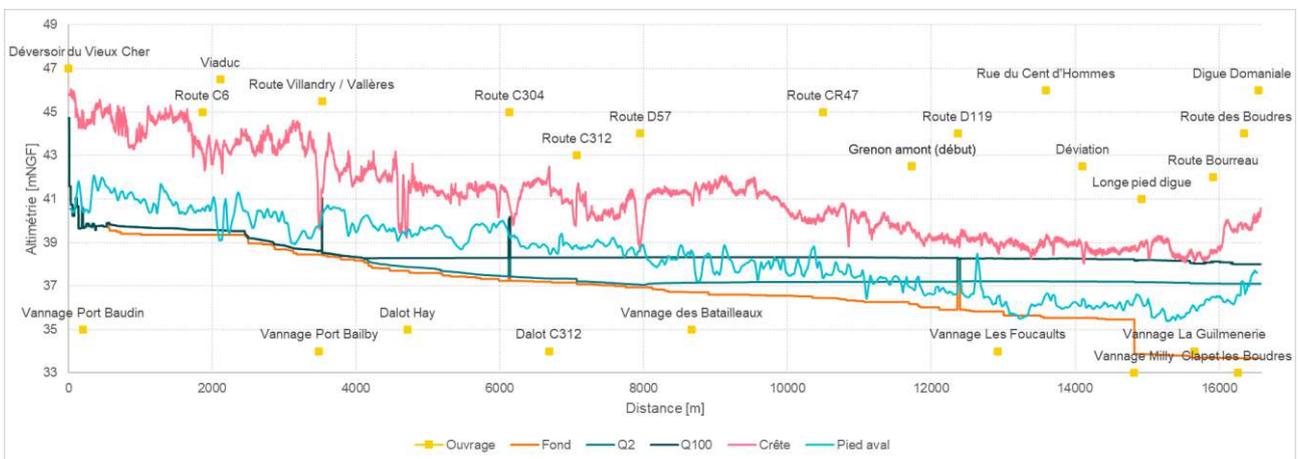


Figure 3-10 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection

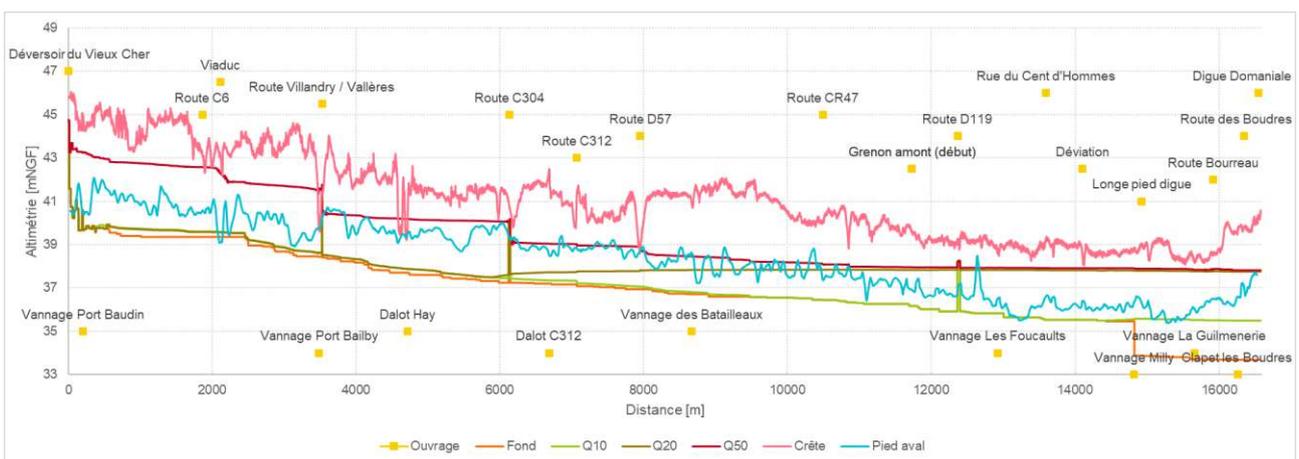


Figure 3-11 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection

3.3.5. Cartographie et profil en long des éléments constitutifs du Système d'Endiguement

Cf. chapitre précédent.

3.3.6. Localisation des Aménagements hydrauliques complétant le Système d'Endiguement et description succincte de leurs modalités de fonctionnement en ce qui concerne la protection des territoires contre les inondations

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

3.3.7. Analyse critiques des données topographiques disponibles et leur précision

Les documents référents concernant les données topographiques sont les suivants :

Réf.	Titre	Auteur	Date
Étude			
1	Étude de dangers des digues domaniales de la Loire et de ses affluents – département d'Indre-et-Loire – Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont	ANTEA	01/05/2017
Base de données SIG			
1	MNT1m	IGN	2022

Tableau 3-6 : Références sur la partie topographie

Les données topographiques des ouvrages de protection contre les inondations sont issues du MNT1m de l'IGN.

Les données topographiques des cours d'eau (la Loire) sont issues du modèle hydraulique 2D utilisé dans le cadre de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont.

Les données topographiques de la zone protégée sont issues du MNT1m de l'IGN.

Les données sont jugées d'une précision suffisante pour la réalisation de cette EDD.

3.4. Analyse du fonctionnement du Système d'Endiguement

3.4.1. Données historiques essentielles sur le comportement structurel

Les documents référents concernant la partie comportement structurel de l'ouvrage sont les suivants :

Réf.	Titre	Auteur	Date
Gestions des ouvrages			
1	Notice explicative du fonctionnement des vannes du réseau hydraulique de la commune de Bréhémont gérées par la commune	Bréhémont	Non précisé
Inspections ouvrages			
1	Localisation des désordres majeurs sur le Bardeau Grenon Amont et la digue du Vieux Cher	Bréhémont	Non précisé

Tableau 3-7 : Références sur la partie comportement structurel

3.4.2. Description et indication de la fonction structurelle de chaque composant des éléments du Système d'Endiguement et présentation du fonctionnement d'ensemble du Système d'Endiguement

3.4.2.1. Fonction structurelle de chaque composant des éléments du Système d'Endiguement

La fonction de chaque composant de la digue du Vieux Cher est la suivante :

Éléments constituant le SE	Fonction
Digues et ouvrages contributifs faisant office de digues tels que remblais d'infrastructures et murs es	
Remblai du Vieux Cher	Protéger contre les inondations des cours d'eau
Ouvrages supplémentaires fermant les digues ou assurant le niveau de protection	
/	
Dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques	
Vannages (x6)	Empêcher le reflux d'eau des cours d'eau vers la ZP
Clapet anti-retour (x1)	Empêcher le reflux d'eau des cours d'eau vers la ZP via le réseau d'eaux pluviales
Dalots/Buse (x2)	Évacuer les eaux de la ZP

Tableau 3-1 : Fonction des éléments constitutifs du SE

3.4.2.2. Fonctionnement d'ensemble du Système d'Endiguement

Lors de la montée des eaux

Lorsque le niveau des cours d'eau augmente :

- Le remblai du Vieux Cher protège la zone protégée contre l'inondation par débordement de cours d'eau ;
- Les dispositifs de régulation des écoulements protègent la zone protégée contre l'inondation par reflux de l'eau des cours d'eau.

Lors de la décrue

Lorsque le niveau des cours d'eau redescend :

- Le remblai du Vieux Cher voit sa mise en charge diminuer ;
- Les dispositifs de régulation des écoulements permettent l'évacuation des eaux de ruissellement de la zone protégée vers le Vieux Cher.

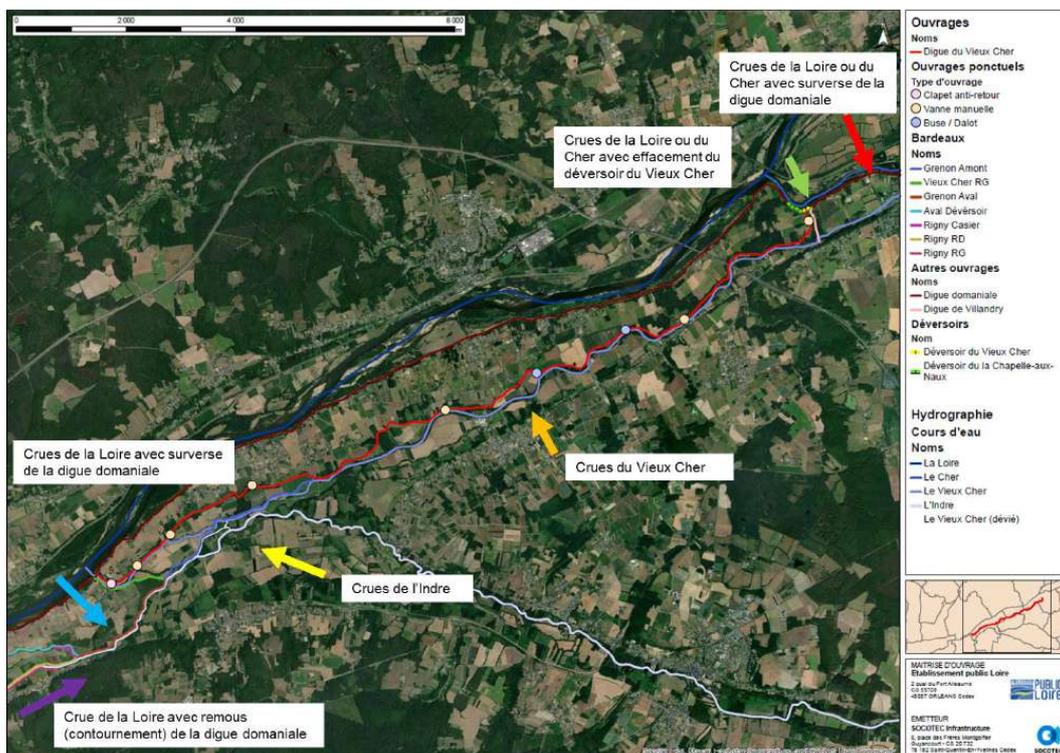


Figure 3-12 : Fonctionnement des ouvrages

3.4.3. Impact des Aménagements Hydrauliques – Description de la transformation des phénomènes hydrauliques résultant du fonctionnement des Aménagements Hydrauliques autorisés conjointement avec le Système d’Endiguement

La digue du Vieux Cher n’est pas concernée.

3.4.4. Présentation des niveaux caractéristiques du Système d’Endiguement

Les niveaux de référence de la digue du Vieux Cher sont ainsi définis :

Niveaux de référence	Définition
Niveau de Protection	Pas d’entrée d’eau dans le système avec risque de rupture limité à 5% ou présence d’un déversoir
Niveau de Sûreté	Entrées d’eau par rupture avec risque de rupture limité à 5%
Niveau de Danger	Entrées d’eau par rupture avec risque de rupture de l’ordre de 50%
Niveau de Submersion	Niveau de protection apparent

Tableau 3-2 : Niveaux caractéristiques des systèmes d’endiguement

La digue du Vieux Cher apporte différents niveaux de protection selon le secteur (cf. figure ci-après) et les cours d’eau desquels elle subit des sollicitations.

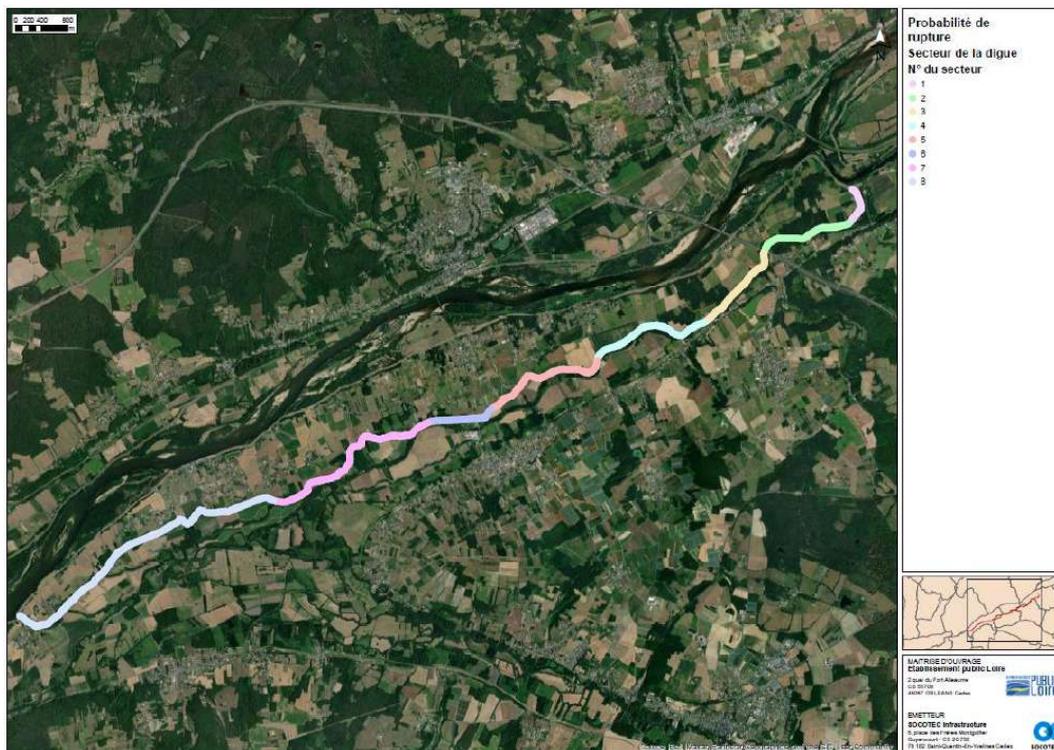


Figure 3-13 : Secteurs de la digue du Vieux Cher

Les niveaux caractéristiques de la digue du Vieux Cher par secteur sont les suivants :

Secteurs	Crues du Vieux Cher (VC)			Crues de l’Indre (I)			Crues de la Loire (L)			
	Niveau	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse
1	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 200
2	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
3	VC 2	VC 5	VC 5	VC 5	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
4	VC 30	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
5	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 50	L 100	L 100
6	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
7	VC 50	VC 100	> VC 10000	> VC 10000	I 2	I 5	> I 100	L 10	L 50	L 500
8	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	< I 2	I 2	I 50	L 10	L 50	L 100

Tableau 3-8 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations

Ces périodes de retour correspondent aux niveaux de référence suivants :

Cours d'eau	Vieux Cher					Indre			Loire		
Période de retour	Q2	Q30	Q50	Q1000	Q10000	Q2	Q5	Q100	Q10	Q20	Q50
Débits de pointe	6.0	17.5	20.2	36.2	48.6	138	215	530	3122	4682	4948
Niveau de référence [m]	/	/	/	/	/	4.86	5.40	7.53	4.26	5.81	6.02
Niveau de référence [mNGF]	/	/	/	/	/	49.12	49.66	51.79	40.76	42.31	42.52
Pluies sur 24h [m]	41.8	60.2	63.2	83.0	98.3	/	/	/	/	/	/
Lieux de référence	Pluie à Tours					Indre à Monts			Loire à Langeais		

Tableau 3-9 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher

Les graphiques suivants montrent les lignes d'eau des différents niveaux de protection projetées le long de la digue du Vieux Cher selon les différents scénarios étudiés.

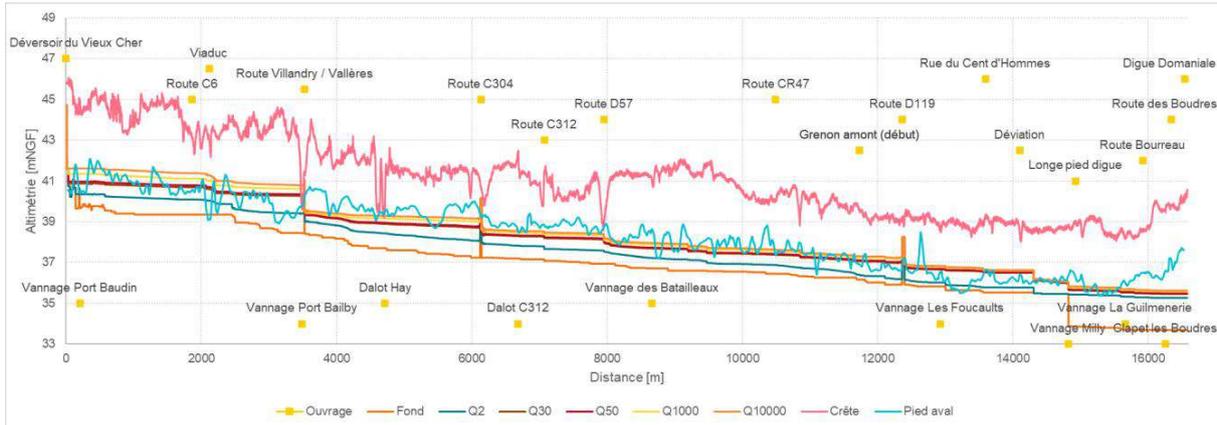


Figure 3-14 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection

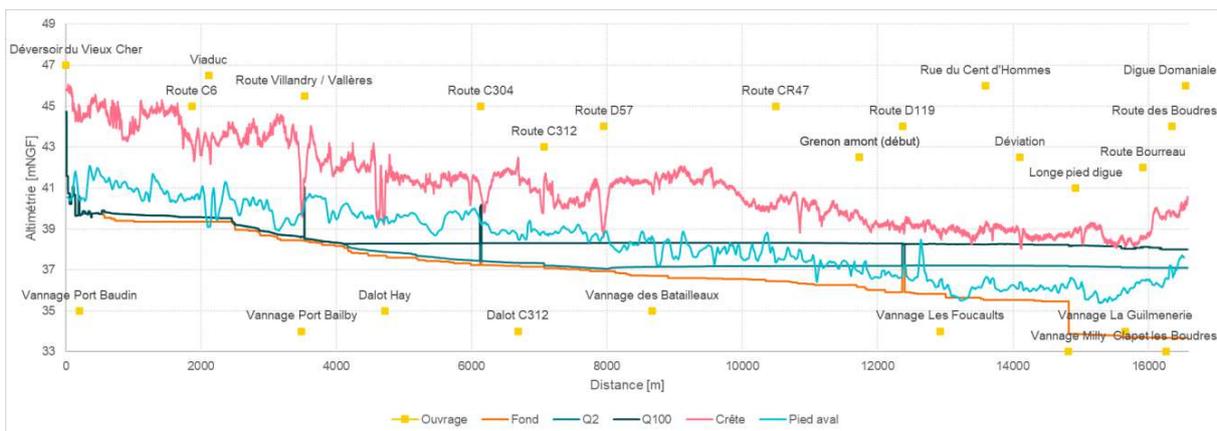


Figure 3-15 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection



Figure 3-16 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection

3.4.5. Présentation des situations pouvant survenir pour des niveaux dépassant les performances du Système d'Endiguement

Pour des niveaux d'eau dépassant les performances du SE, les situations suivantes peuvent survenir :

- Remblai :
 - Fuite à travers le remblai ;
 - Brèche du remblai ;
 - Surverse sur le remblai ;
 - Surverse et brèche du remblai ;
- Dispositifs de régulation des écoulements :
 - Dysfonctionnement :
 - Fuite ;
 - Maintien en position ouverte ;
 - Obstruction ;
 - Maintien en position fermée ;
 - Défaillance humaine.

Ces situations à risque pouvant survenir peuvent avoir comme résultat :

- L'entrée d'eau dans la zone protégée : inondation ;
- Ou le stockage d'eau dans la zone protégée : l'impossible ressuyage de la ZP dans le cas du maintien des dispositifs de régulation des écoulements en position fermée après inondation.

3.4.6. Description et évaluation de l'organisation du gestionnaire intégrant celles de ses consignes de surveillance, d'entretien et de surveillance en crue ou lors de tempêtes, notamment pour répondre aux situations entraînant un dépassement des performances du Système d'Endiguement.

Conformément à l'Arrêté du 8 août 2022 précisant les obligations documentaires et la consistance des vérifications et visites techniques approfondies des ouvrages hydrauliques autorisés ou concédés, le Document d'Organisation de l'ouvrage doit décrire l'organisation du gestionnaire et préciser :

- L'organisation du gestionnaire ;
- L'exploitation hors événement particulier ;
- La surveillance hors événement particulier ;
- L'exploitation et la surveillance en période de crue ;
- L'exploitation et la surveillance en cas d'événement particulier ;
- Les suites à donner après constatations d'anomalie ;
- Le traitement des Événements Importants pour la Sécurité Hydraulique (EISH) ;
- L'entretien et la restauration.

L'analyse de SOCOTEC Infrastructure s'est donc appuyée sur les documents de gestion existante. SOCOTEC Infrastructure a jugé l'organisation du gestionnaire à *améliorer*.

Document B

Analyse des risques et justification des performances

4. CARACTÉRISATION DES ALÉAS NATURELS

La digue du Vieux Cher se situe dans la même zone d'intérêt que la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont qui a fait l'objet d'une EDD en 2017. Les sortants de cette EDD de 2017 sont utilisés pour les sections communes aux 2 ouvrages.

4.1. Hydrologie et hydraulique globale du cours d'eau ou du secteur hydro-sédimentaire maritime à l'échelle du Système d'Endiguement, en tenant compte, le cas échéant, de la présence de l'Aménagement Hydraulique autorisé conjointement avec le Système d'Endiguement

La zone d'étude se situe entre :

- La Loire au nord-ouest, longeant la Zone Protégée (ZP) côté opposé à la digue du Vieux Cher ;
- La confluence du Cher avec la Loire, à l'amont ;
- Le lit du Vieux Cher le long de l'ouvrage sur la partie nord ;
- Et la confluence du Vieux Cher avec l'Indre au droit de l'ouvrage sur la partie sud ;
- Et la confluence de l'Indre avec la Loire à l'aval.

Les différents facteurs naturels déterminant les risques contre lesquels la digue du Vieux Cher apporte une protection sont les suivants :

- Crues du Vieux Cher ;
- Crues de l'Indre ;
- Crues du Cher :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher (cf. 4.1.2.2) ;
- Crues de la Loire :
 - Au nord :
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont après remous de la Loire dans le Cher ;
 - Par effacement du déversoir fusible du Vieux Cher ;
 - Au sud
 - Par surverse de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont ;
 - Par remous.

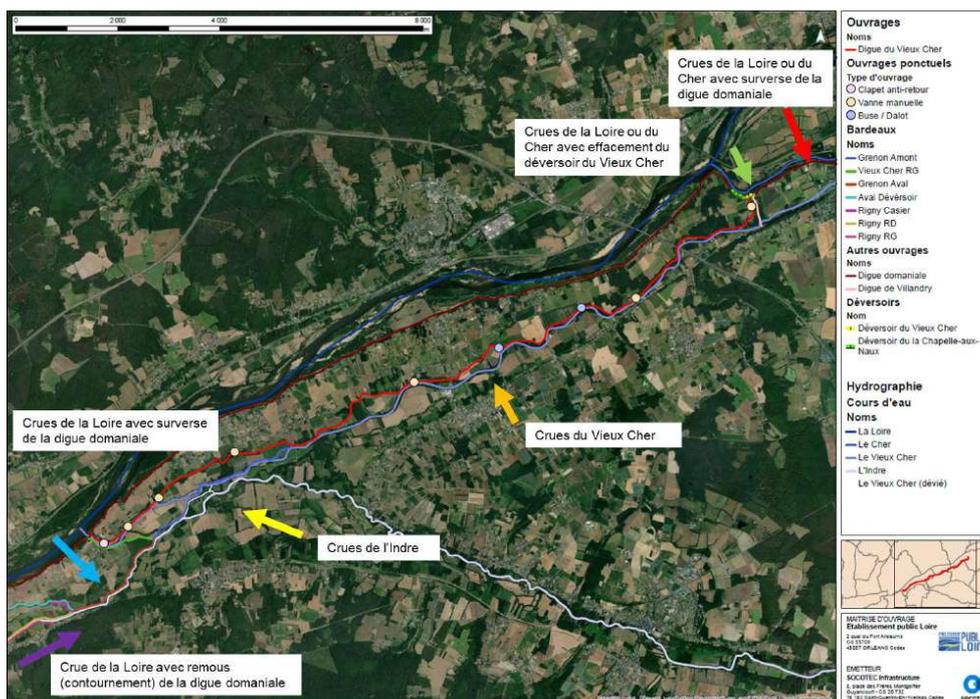


Figure 4-1 : Fonctionnement des ouvrages

4.1.1. Hydrologie

La partie hydrologique a fait l'objet d'une étude hydrologique présentée dans l'annexe dédiée [1].

Les chapitres suivants reprennent un résumé des bassins versants drainés par les cours d'eau étudiés et des débits de pointe conservés dans le cadre de l'étude.

4.1.1.1. Crues du Vieux Cher

Ce bassin versant draine une surface de 55.5 km².

Sa topographie varie entre 34 mNGF et 100 m NGF (dénivelé de 6 m) et présente une pente peu marquée (2%).

Le bassin versant est principalement rural avec 71% des terres agricoles et 24% de terres boisées.

Son climat est de type océanique dégradé.

Le régime hydrologique est purement pluvial.

Le tableau liste les données de débits de pointe considérés dans le cadre de l'étude :

Période de retour	Débits de pointe du Vieux Cher [m ³ /s]
2 ans	6.0
5 ans	9.6
10 ans	12.0
20 ans	15.4
30 ans	17.5
50 ans	20.2
100 ans	23.8
1 000 ans	36.2
10 000 ans	48.6

Tableau 4-1 : Débits de pointe théoriques de crue du Vieux Cher retenus

4.1.1.2. Crues de l'Indre

Ce bassin versant draine une surface de 3 429 km².

Sa topographie varie entre 30 mNGF et 501 m NGF et présente une faible pente moyenne de 3.5%.

Le bassin versant est principalement rural avec 77% des terres agricoles et 18.6% de terres boisées.

Son climat est de type océanique dégradé.

Le régime hydrologique est purement pluvial.

Le tableau liste les données de débits de pointe considérés dans le cadre de l'étude :

Période de retour	Débits de pointe de l'Indre [m ³ /s]
2 ans	138
5 ans	215
10 ans	265
20 ans	346
50 ans	456
100 ans	530

Tableau 4-2 : Débits de pointe théoriques de crue de l'Indre retenus

Ces débits sont issus d'une analyse de l'évolution du débit décennal des trois affluents de la Loire (Indre, Cher, Vienne) en fonction des superficies des bassins versants. Une formule a ensuite été appliquée pour obtenir ces débits.

4.1.1.3. Crues de la Loire

La Loire à Langeais, au droit de la zone d'étude, draine une surface de 56 480 km² correspondant à une partie du bassin versant de la Loire Moyenne. Sa topographie varie entre 36 mNGF (à Langeais) et plus de 1 404 mNGF (altitude de sa source).

Le régime hydrographique est conditionné par la localisation des massifs montagneux du Massif central et du Morvan, provoquant de fortes précipitations en particulier en hiver et en début du printemps. Une partie du bassin versant est également influencé par le climat méditerranéen ce qui peut se traduire par des épisodes cévenols du début de l'automne jusqu'au début de l'hiver ainsi qu'au printemps. La Loire peut ainsi avoir différentes formes de crues selon leurs causes.

Le tableau liste les données de débits de pointe considérés dans le cadre de l'étude :

Période de retour de la crue de la Loire	Débits de pointe [m ³ /s] de chaque cours d'eau			Débit de pointe à Langeais (Loire + Cher)
	Loire	Cher	Indre	
2 ans	1 500	280	15.7	1712
5 ans	2 000	400	15.7	2304
10 ans	3 030	92 (constant)	15 (constant)	3122
20 ans	3 740	980	290	4682
50 ans	3 990	1 235	333	4948
100 ans	5 030	1 235	333	5775
200 ans	5 490	1 235	333	6183
500 ans	6 410	1 235	333	7071

Tableau 4-3 : Débits de pointe théoriques de crue de la Loire retenus

Ces crues sont appelées : crues de la Loire, même si celles-ci sont définies avec des crues des 2 affluents du Cher et de l'Indre.

4.1.1.4. Crues du Cher

Le Cher à Tours, dernière station avant sa confluence avec la Loire, qui se situe au droit de la zone d'étude, draine une surface de 13 615 km².

Les crues du bassin versant du Cher et du territoire d'étude peuvent être regroupées en deux types :

- Les crues océaniques, les plus fréquentes, qui surviennent principalement en hiver. Elles sont causées par des précipitations sur l'ensemble du bassin venant de fronts pluvieux de l'océan Atlantique ;
- Les crues mixtes, moins probables, causées par de fortes pluies sur le bassin amont avec des précipitations océaniques en aval.

Le tableau liste les données de débits de pointe considérés dans le cadre de l'étude :

Période de retour	Débits de pointe du Cher [m ³ /s]
2 ans	480
5 ans	690
10 ans	830
20 ans	960
50 ans	1100
Entre 70 et 200 ans	1200
Entre 200 et 700 ans	1500

Tableau 4-4 : Débits de pointe théoriques de crue du Cher retenus

4.1.2. Hydraulique

La partie hydraulique a fait l'objet d'une étude hydraulique présentée dans l'annexe dédiée [1].

4.1.2.1. Scénarios étudiés

Les scénarios étudiés sont les suivants :

- Les crues du Vieux Cher :
 - « Vieux Cher » : avec l'Indre et la Loire en crue faible (Q2) ;
 - « Vieux Cher seul » : avec la Loire en crue faible (Q2) et l'Indre au module ;
- Les crues de l'Indre :
 - Avec la Loire en crue faible (Q2) ;
- Les crues de la Loire :
 - Selon les scénarios définis dans l'annexe dédiée, c'est-à-dire prenant en compte des débits du Cher et de l'Indre ;
- Les crues du Cher vis-à-vis du fonctionnement du déversoir du Vieux Cher :
 - Avec la Loire au module (hors crue) ;
 - Et l'Indre en crue concomitante de la même période de retour ou proche.

4.1.2.2. Fonctionnement des déversoirs fusibles

Les déversoirs fusibles du Vieux-Cher et de La Chapelle-aux-Naux sont décrits d'après les levés topographiques réalisés en 2009.

Dans l'EDD de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont, les conditions de déclenchement et d'ouverture des déversoirs fusibles étaient programmées de la manière suivante :

- Début d'ouverture dès que le niveau d'eau côté Cher est strictement supérieur à la cote du déversoir ;
- Ouverture simultanée de toute la longueur du déversoir, même si le critère précédent n'est pas vérifié sur toute la longueur ;
- Ouverture du fusible depuis la cote du déversoir jusqu'à la cote finale de manière linéaire et continue sur une durée de 10 h.

Avec ces conditions, les déversoirs fusibles s'effacent dès surverse :

- Q100 pour le déversoir du Vieux Cher ;
- Q500 pour le déversoir de la Chapelle-aux-Naux.

Ce fonctionnement, effacement à partir de la surverse, est le « fonctionnement normal » des déversoirs.

Toujours selon l'EDD de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont de 2017, le déversoir du Vieux Cher a une probabilité de rupture supérieure à 5% pour la crue Q50 de la Loire. Il a donc été considéré que pour cette crue, le déversoir du Vieux Cher s'efface également.

Le paramétrage n'est pas modifié pour l'autre déversoir fusible.

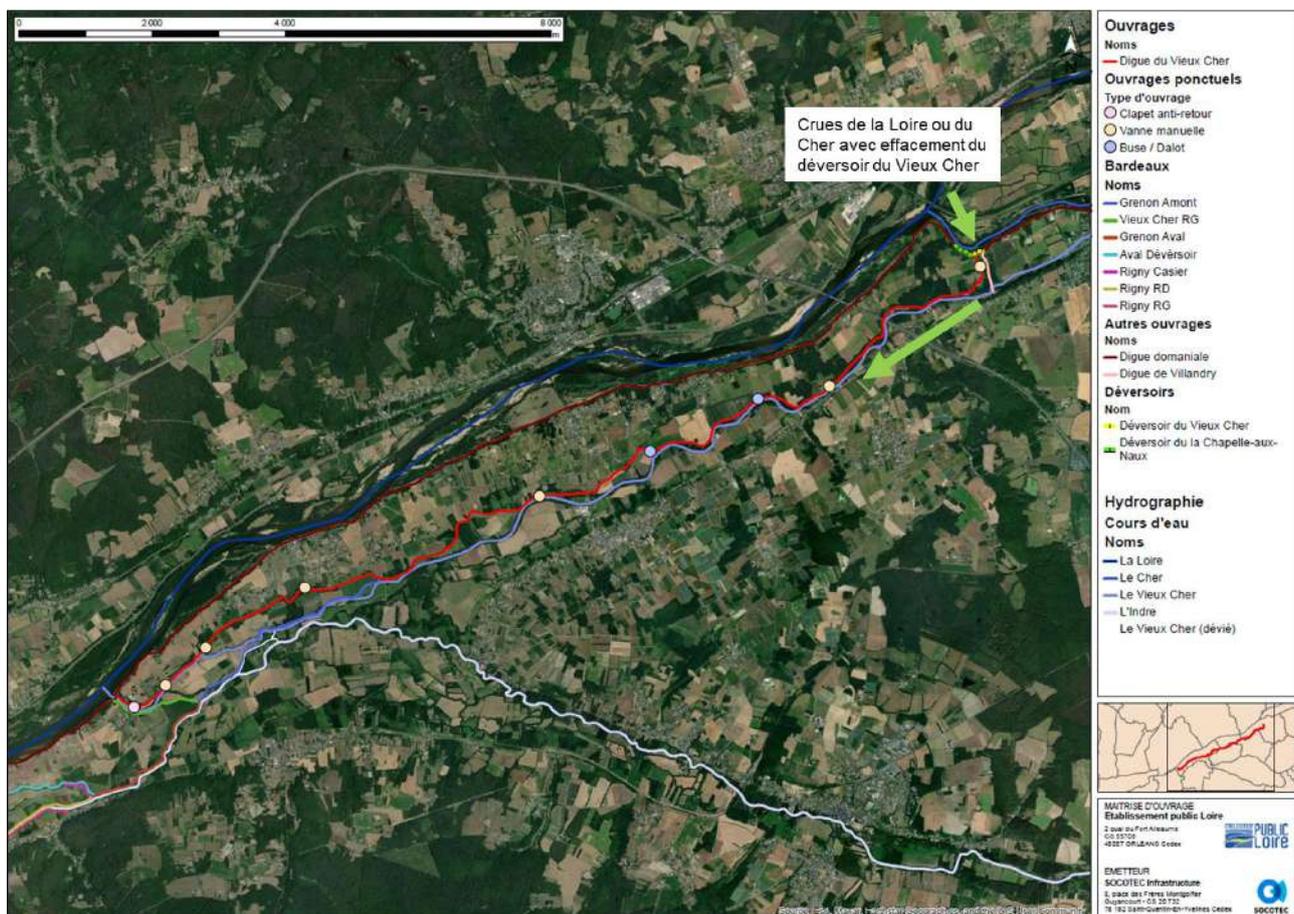


Figure 4-2 : Déversoir du Vieux Cher

4.1.2.3. Lignes d'eau

Les graphiques suivants montrent les lignes d'eau projetées le long de la digue du Vieux Cher selon les différents scénarios étudiés.

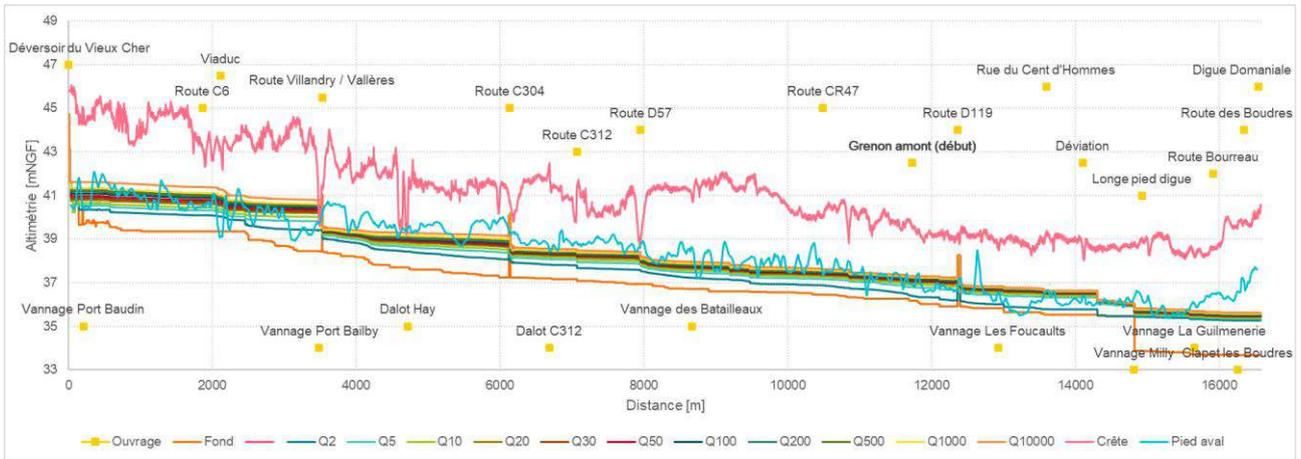


Figure 4-3 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher

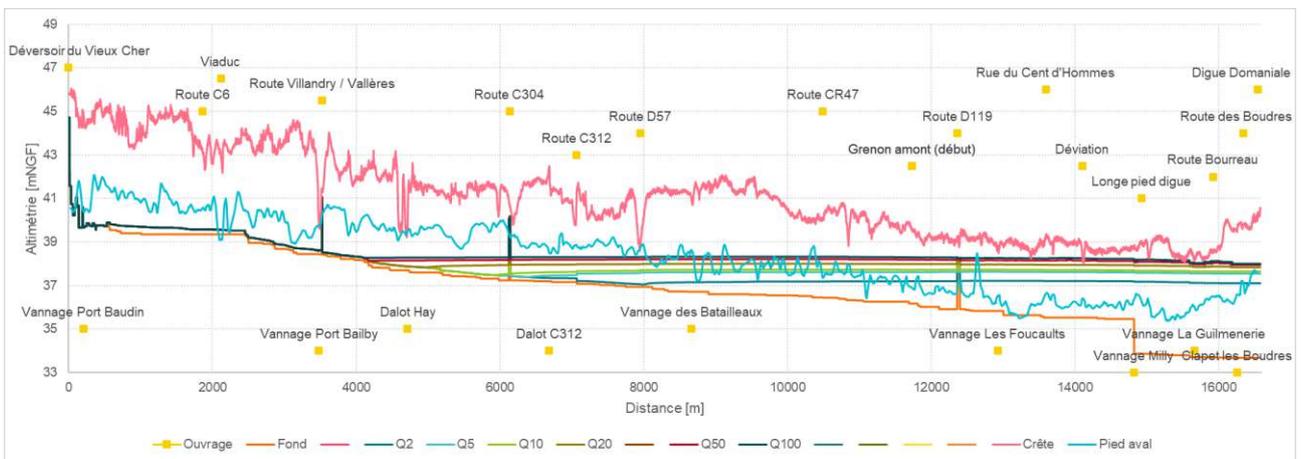


Figure 4-4 : Lignes d'eau – crues de l'Indre

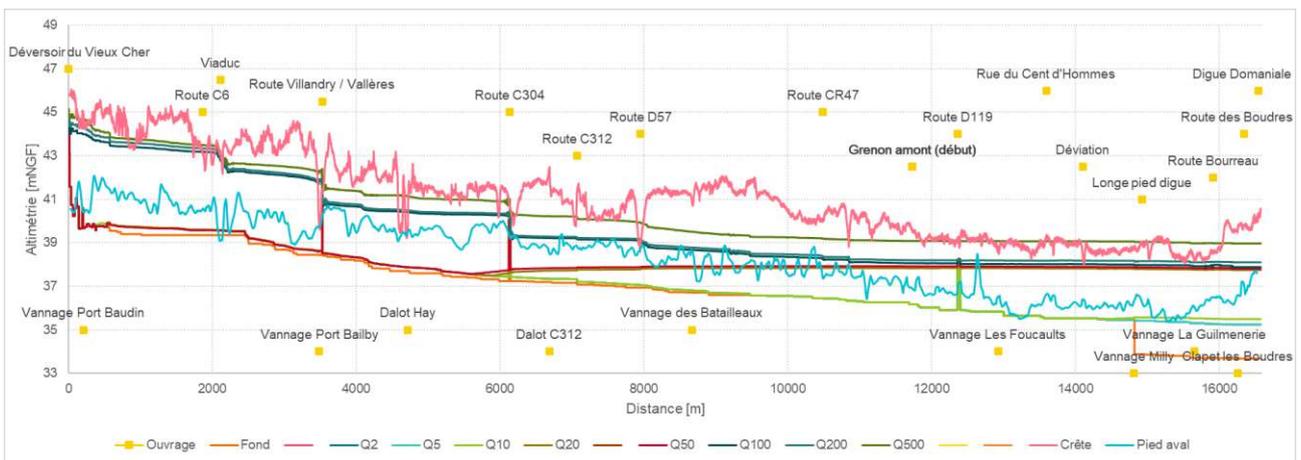


Figure 4-5 : Lignes d'eau – crue de la Loire

Pour les crues du Cher, le déversoir du Vieux Cher n'est pas surversé donc les crues du Cher ne créent pas de sollicitations hydrauliques au droit de la digue du Vieux Cher.

4.1.2.4. Conclusions

Il est tout d'abord rappelé que selon l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) :

- Les niveaux de protection de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont sont les suivant :
 - Niveau de protection apparent : Q100 de la Loire ;
 - Niveau de protection réel : Entre Q5 et Q20 de la Loire selon les tronçons.
- Les déversoirs fusibles de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont s'effacent dès surverse (fonctionnement nommé normal) :
 - Q100 pour le déversoir du Vieux Cher ;
 - Q500 pour le déversoir de la Chapelle-aux-Naux.

Dans la présente étude, le déversoir de la Chapelle-aux-Naux n'est pas étudié car il est sur une section de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont fermant le casier 1 (enclave délimitée par la digue du Vieux Cher et la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont). Si celui-ci s'efface ou casse, l'eau inonde le casier 1.

La présente étude ne s'intéresse ainsi qu'au déversoir du Vieux Cher qui modifie les sollicitations hydrauliques subies par la digue du Vieux Cher selon son fonctionnement. Cette même EDD de 2017 indique que le niveau de protection réel du déversoir du Vieux Cher se situerait à la Q20, étant donné qu'un profil sur le déversoir du Vieux Cher a une probabilité de rupture de plus de 5% pour la Q50.

Lors de cette présente étude hydraulique, les défaillances sur cette digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont n'ont pas été étudiés ; il a été pris uniquement l'effacement du déversoir du Vieux Cher pour la crue Q50.

Lors des crues du Vieux Cher,

La digue est principalement sollicitée dans la partie nord.

À partir de la Q5, la digue du Vieux Cher est surversée au niveau d'un point bas sur la partie amont qui inonde la partie au nord du casier 1. Aucun enjeu de type bâtiment n'est touché. Il n'y a pas d'autre entrée d'eau dans le casier 1.

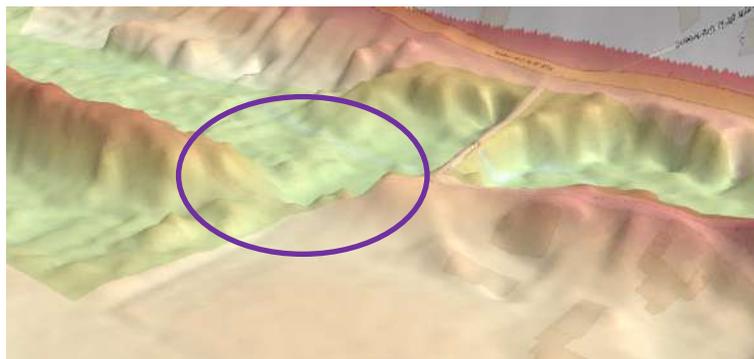


Figure 4-6 : Vue du point bas (à la limite entre Villandry et Vallères)

À partir de la Q20, la surverse sur ce point bas touche les bâtiments à proximité immédiate. Il n'y a pas d'autres entrées d'eau dans le casier 1.

Si le bardeau Grenon amont est conservé, la partie sud est protégée par cet ouvrage qui fait office de « digue de premier rang ». Son impact est cependant plus visible sur les crues de l'Indre (cf. § suivant).

Lors des crues de l'Indre,

La digue n'est sollicitée que dans la partie sud sur la moitié de son linéaire (Bréhémont et la Chapelle-aux-Naux), l'eau ne remontant pas jusqu'à l'extrémité nord de l'ouvrage (Vallères et Villandry).

Si les bardeaux, notamment celui de Grenon amont, qui font office de « digues de premier rang », sont conservés, la digue du Vieux Cher n'est pas sollicitée pour les crues inférieures ou égales à Q2.

Jusqu'à la Q50, la digue du Vieux Cher n'est pas surversée.

Elle est en limite de surverse pour la crue Q100.

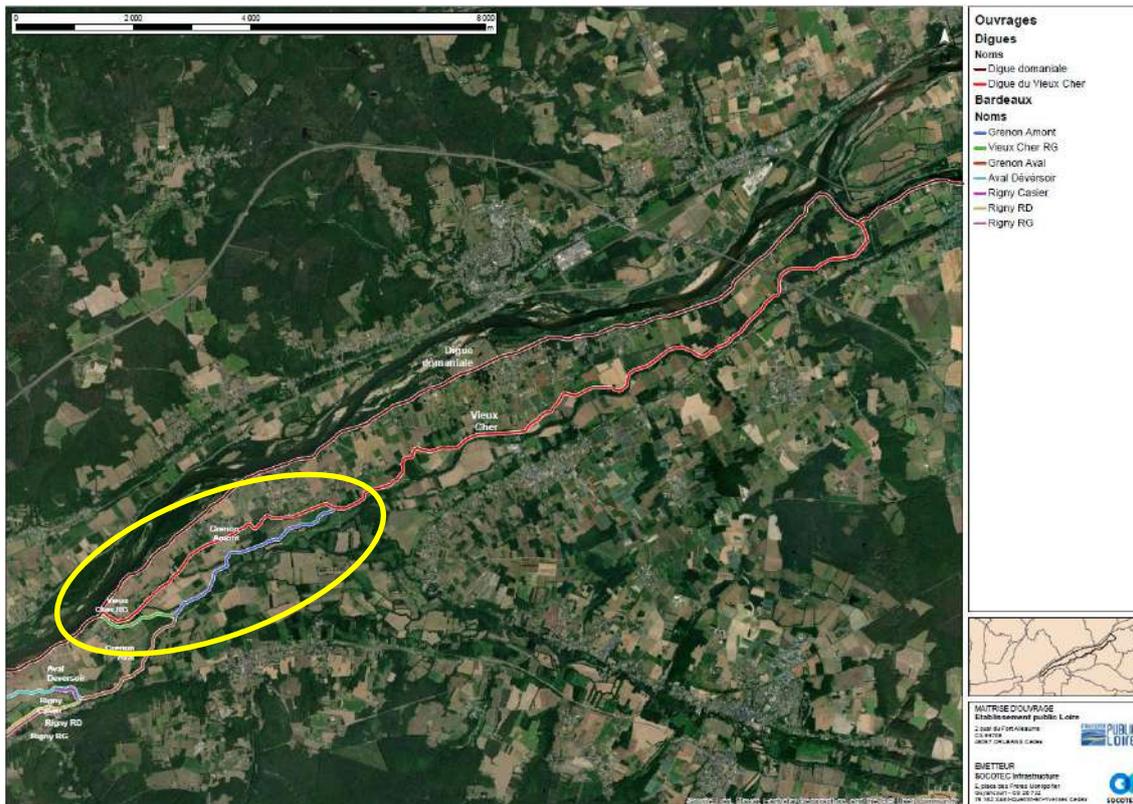


Figure 4-7 : Dignes et Bardeaux dans le val de Villandry/Bréhémont

Lors des crues de la Loire,

Jusqu'à la Q10, la digue du Vieux Cher n'est pas sollicitée.

À partir de la Q20, elle est sollicitée sur sa partie sud à cause du remous de la Loire qui contourne la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont.

À partir de la Q100, l'inondation diffère s'il y a ou non effacement des déversoirs fusibles.

En cas d'effacement des déversoirs fusibles (fonctionnement normal) :

- À partir de la Q100, la digue du Vieux Cher est surversée sur les points bas amont ; la majeure partie du casier est inondée.

En cas de non-effacement des déversoirs fusibles :

- À partir de la Q100, le déversoir du Vieux Cher est légèrement surversé. Il n'y a pas d'entrée d'eau dans le casier ;
- À partir de la Q200, la digue du Vieux Cher est surversée :
 - Sur sa partie sud avec l'inondation de la partie sud du casier ;
 - Sur les premiers points bas à l'amont avec une surverse limitée de la partie nord du casier ;
- À partir de la Q500, la quasi-totalité du casier est inondée.

En cas d'effacement du déversoir du Vieux Cher pour Q50, la digue du Vieux Cher est surversée sur les points bas amont ; la majeure partie du casier est inondée.

Lors des crues du Cher,

Pour toutes les crues du Cher simulées, le niveau d'eau au droit du déversoir du Vieux Cher est en-dessous du niveau de surverse.

Donc, en fonctionnement normal, pour les crues du Cher, le déversoir du Vieux Cher ne s'efface pas : il n'y a donc pas d'entrée d'eau pouvant solliciter la digue du Vieux Cher.

Selon l'EDD de 2017, le niveau de protection du déversoir du Vieux Cher est cependant la crue de la Loire Q20. Le niveau d'eau au droit du déversoir du Vieux Cher pour la crue du Cher la plus importante simulée est inférieur à celui obtenu pour cette crue Q20 de la Loire. Le risque de défaillance du déversoir du Vieux Cher pour une crue du Cher est donc écarté. Ainsi pour l'EDD de la digue du Vieux Cher, n'ont été conservées que les crues du Vieux Cher, de l'Indre et de la Loire.

Nota : par la suite de l'EDD, il a été considéré que :

- Le déversoir du Vieux Cher s'effaçait à partir de la crue de la Loire Q50 (incluse) ;
- Les bardeaux étaient effacés (transposition des niveaux d'eau côté amont des bardeaux en pied de la digue du Vieux Cher).

4.2. Hydrologie et hydraulique locale au droit de chaque élément composant le Système d'Endiguement, en tenant compte, le cas échéant, de la présence de l'Aménagement Hydraulique autorisé conjointement avec le Système d'Endiguement

Se rapporter au chapitre ci-avant.

4.3. Morphodynamique

Le morphodynamisme est l'étude de l'évolution du lit d'un cours d'eau sous l'effet du transport liquide (déplacement de l'eau dans le sens amont-aval et dans le sens transversal) et du transport solide (déplacement et dépôt des matériaux).

Il n'a pas été fourni de données sur le cours d'eau du Vieux Cher.

Le cours d'eau du Vieux Cher tient son nom du fait qu'il s'agit d'un ancien bras du Cher dévié pour protéger contre les crues de la Loire avec la construction de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont. La construction de la digue du Vieux Cher et du Bardeau Grenon amont a ensuite protégé la zone d'étude des crues du cours d'eau du Vieux Cher et de l'Indre.

Si le cours d'eau du Vieux Cher n'est pas un bras mort, il est tout de même moins sollicité par les crues qu'il n'a pu l'être à l'époque avec un bassin versant collecteur moins important.

Le pied de digue longeant parfois le cours d'eau, mais généralement assez éloigné. Il présente une végétation importante mais pas d'indice d'érosion externe.

4.3.1. Évolution du tracé du Vieux Cher du 18^e siècle à aujourd'hui

Pour l'étude de l'évolution du lit du Vieux Cher, les cartographies suivantes ont été utilisées :

- La carte de Cassini (IGN) datant du 18^e siècle ;
- Les photographies aériennes de 1950-1965, de 2000-2005 et de 2006-2010 (IGN).

Les figures ci-après présentent les principales évolutions morphologiques identifiables en plan sur la période du 18^e siècle à 2010.

4.3.1.1. Carte de Cassini

La carte de Cassini (Carte de Cassini en couleur (feuilles gravées et aquarellées), issue de l'exemplaire dit de « Marie-Antoinette » du XVIII^e siècle) permet de rendre compte du tracé du lit mineur du Vieux Cher. À l'époque, le Cher présentait une diffluence avec une section se jetant dans la Loire comme actuellement au nord et un second bras rejoignant la Loire en aval. Le casier délimité actuellement par la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont et la digue du Vieux Cher était une « île » délimitée par la Loire au nord et le Cher au sud. Actuellement les deux sections encerclées en rouge sont bloquées par la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont protégeant la zone contre les crues de la Loire. La section en vert est également bloquée par le bardeau Grenon amont.



Figure 4-8 : Carte de Cassini (IGN)

4.3.1.2. Carte de l'État-Major 19^e siècle

La carte du 19^e siècle (Carte française en couleurs du XIX^e siècle en couleurs superposable aux cartes et données modernes.) montre :

- La création de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont qui coupe le bras du Cher à la diffuence au nord et à sa confluence avec la Loire au sud ;
- Et le tracé de la digue du Vieux Cher longeant le cours d'eau du Vieux Cher.

Actuellement les deux sections encadrées en rouge sont bloquées par la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont protégeant la zone contre les crues de la Loire. Les deux sections en vert sont également bloquées par le bardeau Grenon amont.

Les sections en violet indiquent les zones où la digue du Vieux Cher présente un franc bord important (sections éloignées du lit mineur du cours d'eau).

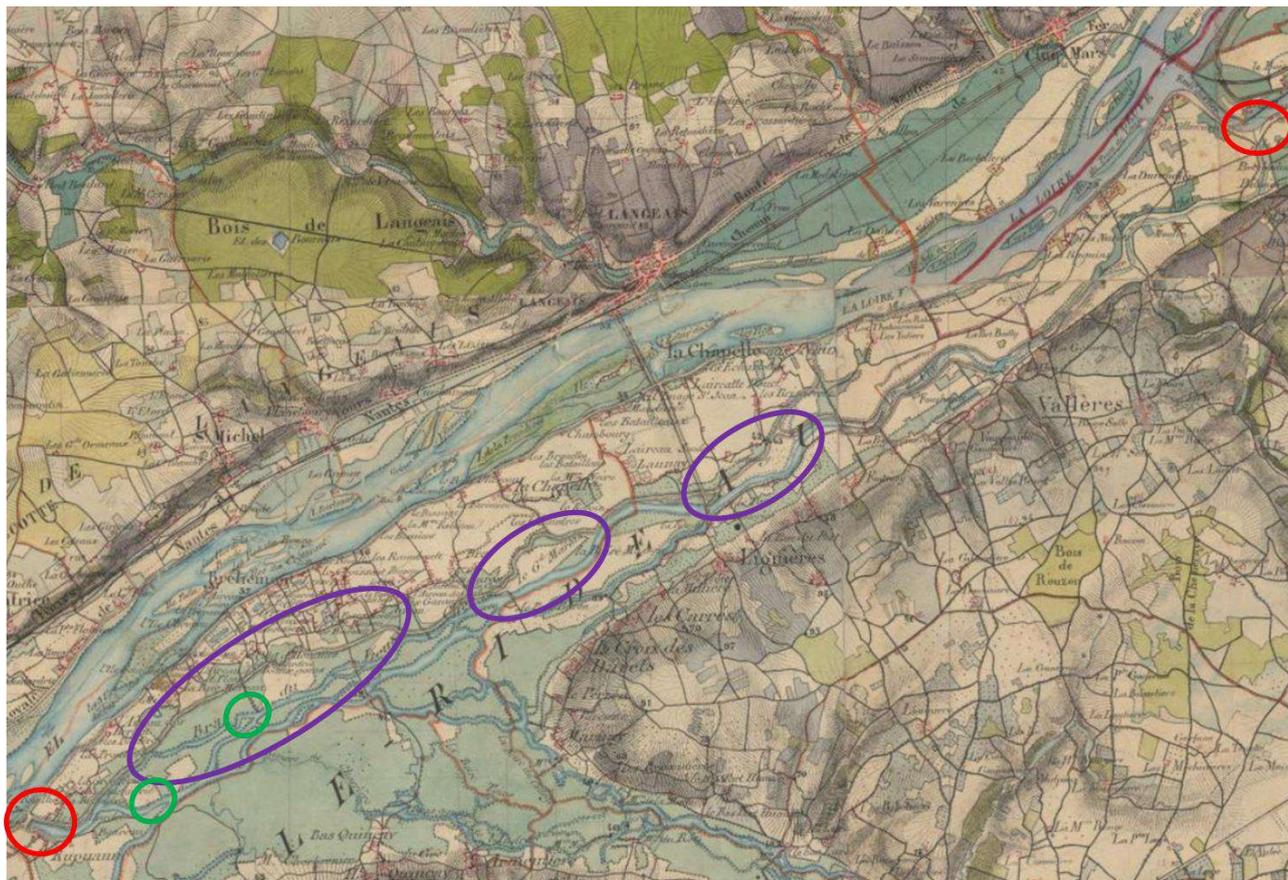


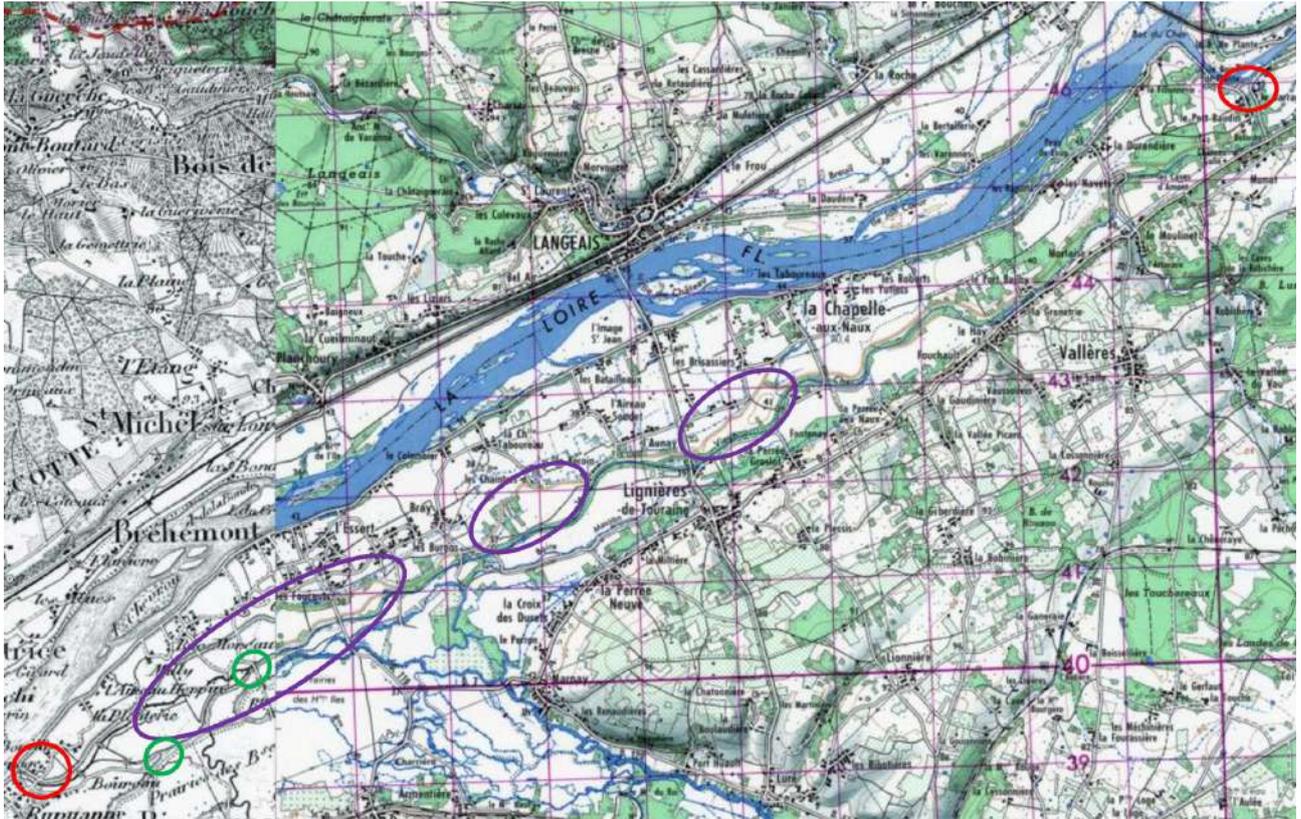
Figure 4-9 : Carte de l'État-major 1820-1866 (IGN)

4.3.1.3. Carte de 1950

La carte des années 1950 (Images cartographiques numériques du territoire métropolitain produites par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) dans les années 1950) montre la création du bardeau Grenon amont qui agit comme digue de premier rang vis-à-vis des crues de l'Indre pour la zone d'étude sur une section sud.

Actuellement les deux sections encerclées en rouge sont bloquées par la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont protégeant la zone contre les crues de la Loire. Les deux sections en vert sont également bloquées par le bardeau Grenon amont.

Les sections en violet indiquent les zones où la digue du Vieux Cher présente un franc bord important (sections éloignées du lit mineur du cours d'eau).



4.3.1.4. Cartes de la seconde moitié du 20^e siècle et du 21^e siècle

Les cartes récentes ne montrent plus d'évolution majeure sur le tracé du cours d'eau du Vieux Cher.

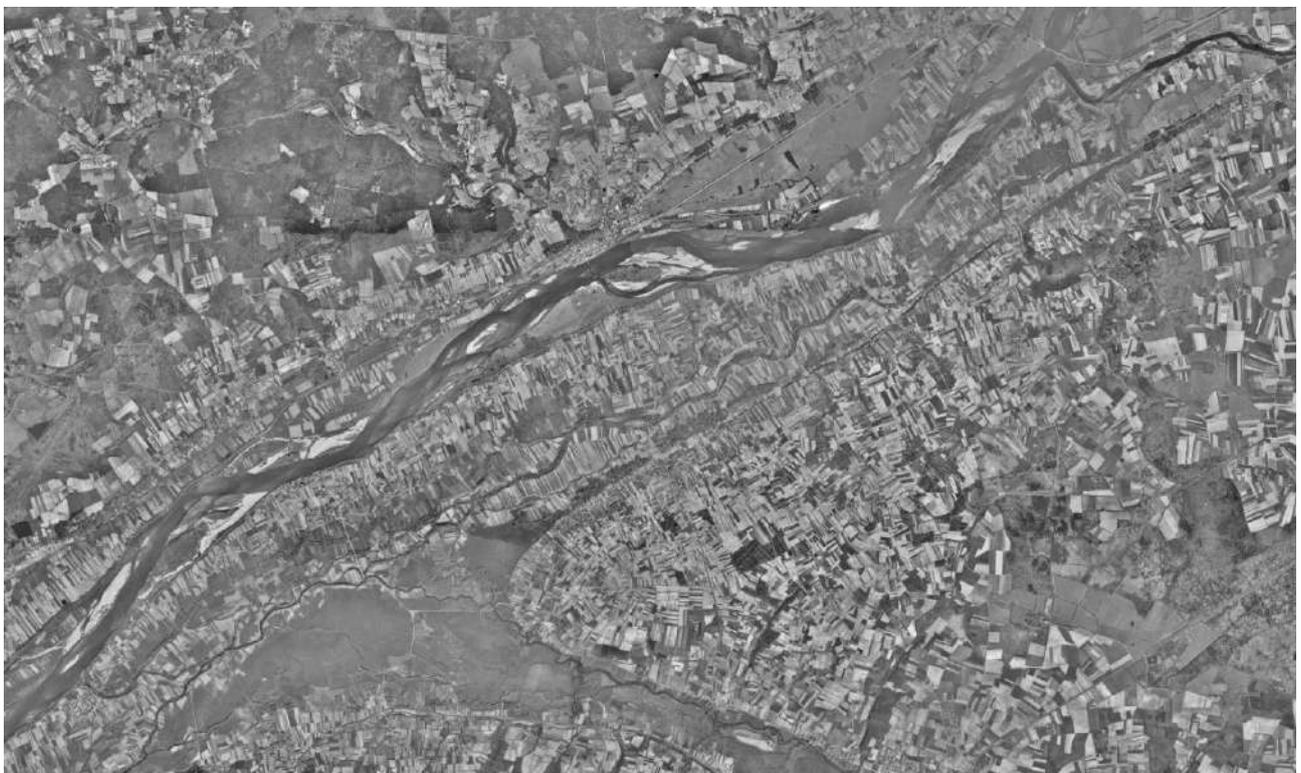


Figure 4-10 : Photo 1950-1965 (IGN)



Figure 4-11 : Photo 2000-2005 (IGN)

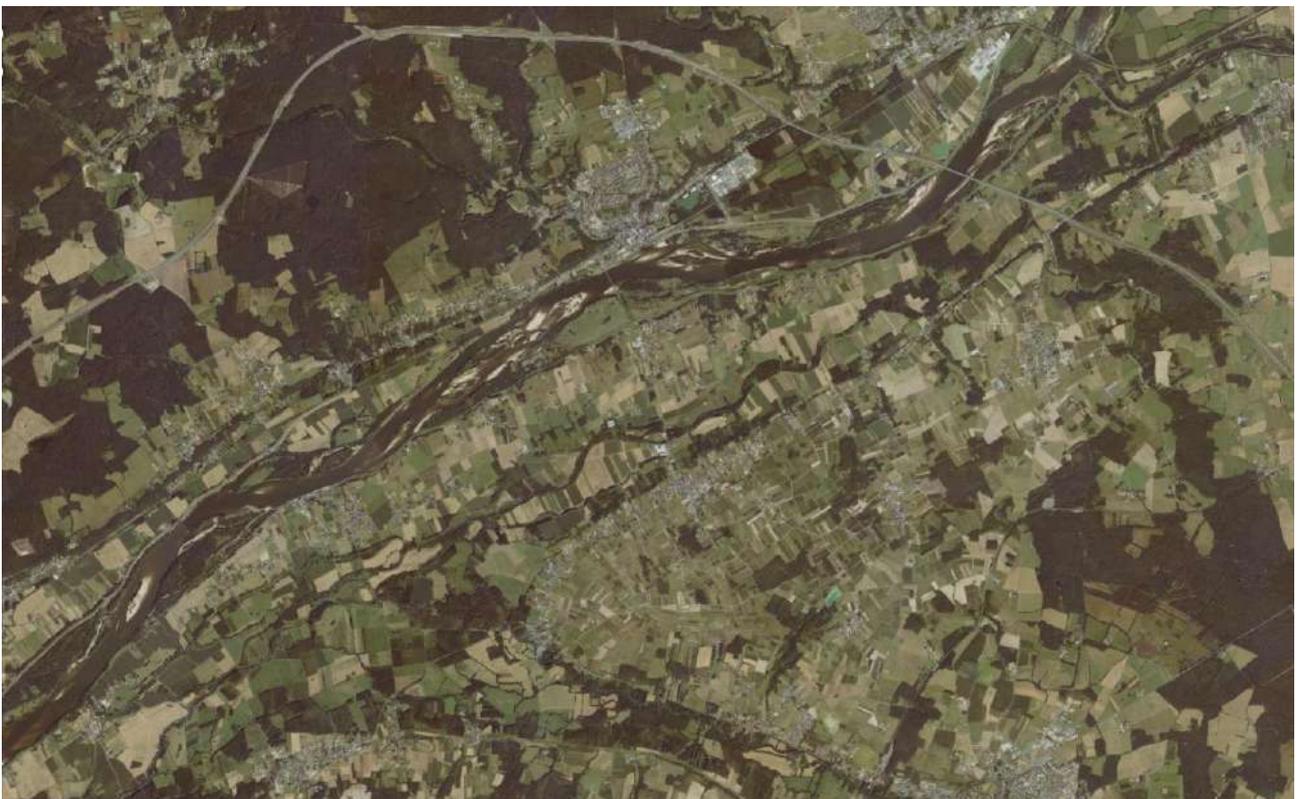


Figure 4-12 : Photo 2006-2010 (IGN)

4.3.2. État du lit du Vieux Cher

Selon le SAVI, Syndicat d'Aménagement de la Vallée de l'Indre, le lit du Vieux Cher fait l'objet d'une restauration à Vallères. « Ancien lit principal du Cher, le Vieux Cher est devenu une zone marécageuse. Il récupère les eaux de quelques affluents et se jette dans l'Indre à Bréhémont.

Le Vieux Cher fait également office de bras de décharge en cas de fortes crues du Cher aval (Secteur de Savonnière et Villandry).

Ce cours d'eau souffre d'un manque d'entretien de la végétation qui provoque une fermeture du milieu ainsi qu'un frein au libre écoulement de l'eau.

Depuis 2014, le SAVI mène un programme d'entretien des parcelles communales situées le long du Vieux Cher. Après les communes de la Chapelle-aux-Naux et Lignièrès de Touraine, le SAVI est intervenu en 2016 sur la commune de Vallères.

En partenariat avec cette dernière, un chantier d'entretien des parcelles communales situées à proximité du pont de l'autoroute A85 a été mené dans un premier temps avec un abattage mécanique par pelleteuse. Peu concluante, cette technique a été complétée par plusieurs jours de bûcheronnage. Les arbres poussant dans la zone marécageuse ont été retirés à l'aide d'un treuil.

Au total, plus de 16 jours d'abattage ont été nécessaires.

Un entretien régulier de la zone restaurée sera assuré dans les années à venir par un agent du SAVI afin de limiter la repousse des souches. »

4.3.3. Pied de la digue du Vieux Cher

4.3.3.1. Distance avec le Vieux Cher

Le lit mineur du Vieux Cher se trouve à proximité immédiate du pied de digue à certains points. La distance entre la digue et le cours d'eau varie entre 0 m (digue longeant le cours d'eau) et plus de 500 m.

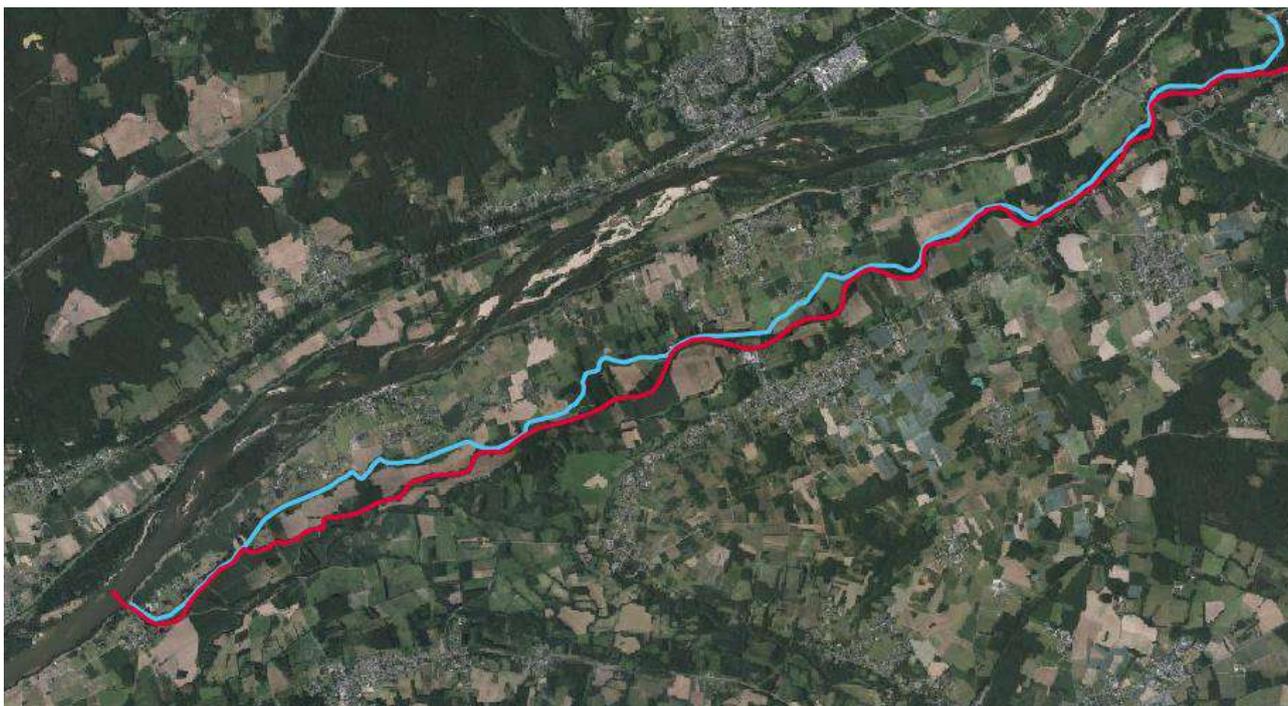


Figure 4-13 : Cours d'eau (rouge) et digue du Vieux Cher (bleu)

Le graphique suivant montre la distance entre les cours d'eau et la crête de la digue :

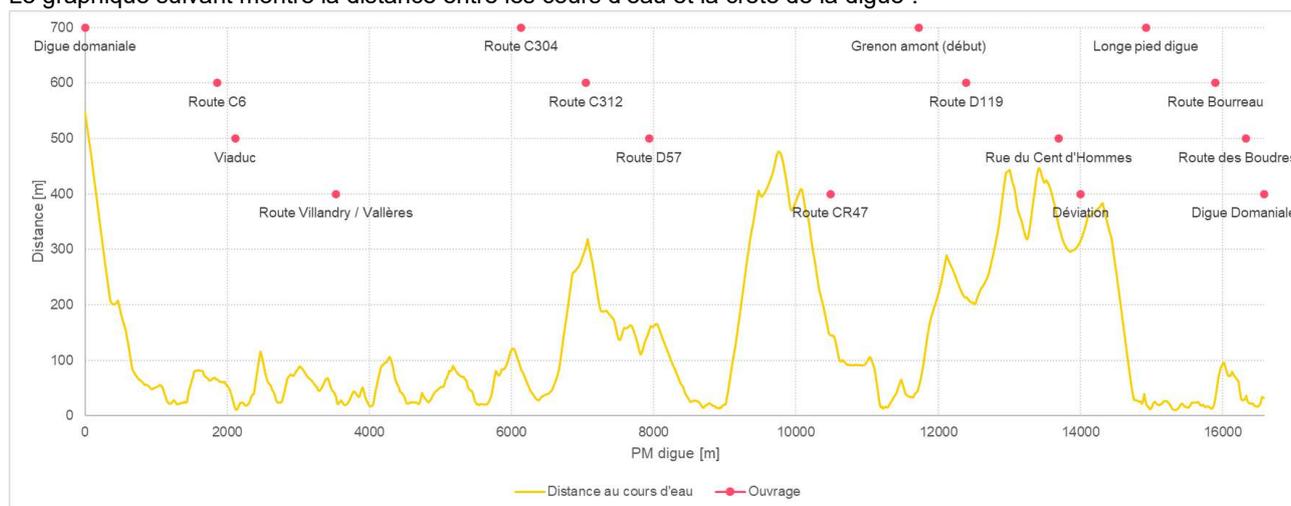


Figure 4-14 : Distance Digue – cours d'eau

Donnés	Minimal	Maximal	Moyenne	Médiane
Distance crête de digue – cours d'eau [m]	10	550	140	80

Tableau 4-5 : Distance crête de digue – cours d'eau

4.3.3.2. Pied de digue

Le pied de la digue du Vieux Cher présente une végétation très abondante sur l'ensemble de son linéaire. Il ne présente pas de trace d'érosion externe.

4.3.4. Évolution

Les modifications anthropiques représentent la principale source de modification du tracé du lit du Vieux Cher avec l'établissement d'obstacles à l'écoulement par construction de digue et de bardeaux, transformant ce lit mineur actif du Cher en zone plus marécageuse soumis à des crues moins conséquentes.

4.4. Embâcles et leurs effets potentiels

4.4.1. Présentation générale

Un embâcle naturel est une accumulation naturelle de matériaux apportés par l'eau. Il peut s'agir de :

- Matériaux rocheux issus de l'érosion ;
- Branches mortes, de feuilles mortes, de bois flottés ;
- Plantes aquatiques ;
- Sédiments (traité dans le chapitre §4.5) ;
- Embâcle de glace (au moment de la débâcle : Rupture subite de la couche de glace (d'un cours d'eau) dont les morceaux sont emportés par le courant).

Les embâcles naturels sont emportés par les crues après quelques mois ou années.

Les embâcles peuvent se retrouver bloqués et s'accumuler sous un pont, un siphon, une conduite canalisant un cours d'eau (ponceau, dalot, etc.), un barrage ou un goulot d'étranglement de cours d'eau.

Ils peuvent donc :

- Faire obstacle à tout ou partie de l'écoulement d'un cours d'eau ;
 - Risque de débordement du lit mineur en amont de l'embâcle ;
 - Risque de rupture des piles de pont ou autre ouvrage sous l'action de l'eau associée au risque de libération soudaine en aval d'un volume important d'eau ;
 - Interférer dans le bon fonctionnement de vannage, prise d'eau, turbine, pompe ;
 - Risque de blocage de la manœuvre pour fermer ou ouvrir une vanne ;
 - Risque de blocage d'un clapet en position ouverte ;
 - Etc. ;
- Gêner la navigation ;
 - Quand ils se rompent ;
 - Risque de libération soudaine en aval d'un volume important d'eau stocké par l'embâcle.

Les crues des torrents présentent un certain nombre de spécificités par rapport aux inondations de plaines. Elles sont notamment influencées par des phénomènes propres au milieu montagnard ; transport de flottants, embâcles, débris rocheux.

4.4.2. Cas particulier de la digue du Vieux Cher

4.4.2.1. Risque d'embâcles (végétation)

La digue du Vieux Cher est soumise aux inondations de type « plaine ». Les berges du Vieux Cher sont plus ou moins végétalisées pouvant induire des chutes de branches dans le lit mineur ce peut présenter un risque d'embâcle. Ce risque est d'autant plus important si l'entretien des berges est négligé ou mal réalisé.

Le risque d'embâcle est particulièrement problématique par rapport à la présence des dispositifs de régulation des écoulements vis-à-vis du fonctionnement de l'ouvrage (risque de défaillance).

L'aléa Embâcle est à risque.

4.4.2.2. Risque d'embâcles de glace

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

Un embâcle de glace est un phénomène qui se produit lorsque la température est très basse pendant une longue période. On estime que le risque d'embâcle est réel lorsque la somme des températures moyennes négatives par jour atteint la valeur de $-70^{\circ}\text{C} : \sum T(j) = -70^{\circ}\text{C} \times \text{Jours}$.

Dans le cadre des études de dangers des digues de la Loire de classe A, une étude particulière [Glaces et embâcles-Risques associés, préconisations-Conséquences du changement climatique, Rapport 08-21-10-v2a-Hydro Expertise, Mai 2011] sur ce thème a été confiée à Zbigniew Gasowski, du bureau d'études Hydro Expertise.

La caractérisation du phénomène d'embâcle de glace sur le secteur du val de Villandry/Bréhémont se base sur cette étude. L'étude sur les embâcles de glace montre que ce phénomène, depuis le XV^{ème} siècle, se reproduit en Loire moyenne 6 à 8 fois par siècle sans destruction et 1 fois avec destruction.

Ce phénomène apparaît donc relativement fréquemment. Les derniers exemples récents datent de 1985, 1986 et 1987 où des embâcles importants se sont formés en Loire moyenne. On pourra noter cependant qu'en février 2012, une période de gel intensif a dépassé le seuil de -70°C , sans toutefois entraîner un embâcle de la Loire. Cela montre que ce phénomène est complexe et fait intervenir d'autres paramètres que la température de l'air pendant la durée de la période de gel (ensoleillement notamment).

Si l'eau du fleuve après un embâcle sévère venait à se réchauffer rapidement à l'amont de celui-ci, à la faveur d'une brusque remontée des températures, la débâcle généralisée qui s'ensuivrait pourrait avoir des conséquences aggravées par le cumul de la descente de l'onde de crue et du dégel, assimilable à un phénomène de résonance.

Ce phénomène dangereux reste difficilement quantifiable. Les paragraphes ci-après décrivent les conséquences de ce phénomène, qu'il conviendra de garder en mémoire lors de l'analyse des risques de défaillance de la ligne de défense principale du système d'endiguement du val de Villandry/Bréhémont.

Par ailleurs, si la Loire moyenne a fait l'objet d'une étude spécifique sur ce sujet, ce n'est pas le cas du Cher sur lequel la connaissance de ce phénomène est très réduite. L'analyse des textes d'archives n'a pas fait remonter la présence d'embâcles de glace au niveau du secteur de Villandry lors des crues historiques.

Enfin, l'étude menée par Zbigniew Gasowski met évidence que les embâcles de glaces commencent le plus souvent par se former dans le cours aval de la Loire, puis se propagent vers l'amont. Il est donc probable que ce phénomène soit plus rare sur le Cher, affluent de la Loire, que sur la Loire moyenne.

Conséquences hydrauliques

Dans la première phase, la glace présente une forme de banquise. Elle se comporte comme un couvercle qui freine les écoulements avec un coefficient de frottement relativement fort, la glace étant très rugueuse au niveau de son interface avec l'eau.

Dans une deuxième phase, la glace se disloque en formant des blocs qui s'entassent les uns sur les autres.

Lors de la débâcle, l'eau qui a été retenue par les embâcles est libérée rapidement, ce qui provoque une crue. La capacité d'évacuation peut être notablement diminuée à la débâcle par l'effet d'amoncellement des blocs de glace.

Le cumul de la crue et des freins à l'écoulement peut donc provoquer localement des remontées importantes du niveau d'eau, ce qui peut mettre les digues en charge, voire provoquer des surverses.

Conséquences morphodynamiques

Le phénomène général d'embâcle se superpose surtout avec des phénomènes locaux beaucoup plus prégnants. Lors d'un embâcle ou lors d'obstruction à la débâcle, la courantologie locale est modifiée. Il peut en résulter de fortes agressions du lit, des berges et même des digues.

Conséquences mécaniques

L'embâcle et les accumulations de glaces induisent des forces considérables qui peuvent provoquer des dégâts sur les ouvrages de protection contre les inondations. Les glaces à la débâcle présentent, compte tenu des forces mises en œuvre, une capacité importante d'agression des berges et des digues. De plus, en cas de brèche dans une levée, les blocs de glace se comporteraient comme des béliers sur les enjeux contenus dans le val. La force destructrice de l'eau sur les constructions serait alors fortement augmentée.

À noter que le gel, avec ou sans embâcle, peut avoir un effet direct sur le fonctionnement des ouvrages annexes. La présence de glaces ou d'un embâcle est susceptible d'engendrer le dysfonctionnement d'ouvrages mobiles tel que les vannages, les clapets anti-retours ou les prises d'eau.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

Sur la digue du Vieux Cher, aucun désordre, défaillance ou EISH causé par cet aléa n'a été déclaré sur les ouvrages.

L'aléa Embâcle de glace est à risque.

4.5. Transports solides lorsqu'ils ont un impact significatif

Présentation générale

Le transport solide désigne le transport des sédiments par les cours d'eau. En effet, les cours d'eau déplacent et transportent et déposent des sédiments selon leur taille. Ce transport solide prend 2 formes :

- Le charriage : transport des sédiments plutôt grossiers sur le fond du lit par :
 - Roulement : Les grains ne décollent pas du fond, ils roulent sur le fond ;
 - Saltation : les grains avancent par bond successif ;
- La suspension : transport des sédiments généralement moins grossiers dans la masse d'eau ;
 - Les grains sont assez légers pour flotter dans l'eau.

Les caractéristiques du cours d'eau et des sédiments influencent directement le transport solide :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Le cours d'eau : <ul style="list-style-type: none"> ○ La hauteur d'eau ; ○ La vitesse d'écoulement ; ○ La pente d'énergie ; ○ La largeur du lit ; ○ La densité de l'eau. | <ul style="list-style-type: none"> • Les sédiments : <ul style="list-style-type: none"> ○ Le diamètre des sédiments ; ○ La densité des sédiments ; ○ La géométrie des sédiments. |
|--|---|

Au niveau des zones d'érosion, le transport solide crée des zones d'affouillement, creuse le fond du lit mineur des cours d'eau.

Au niveau des zones de dépôts de sédiments, le transit sédimentaire forme au contraire des zones de sédimentation, de bancs de galets, de sable ou gravier.

Ces déplacements de sédiments produisent des méandres, des tresses et des îlots qui peuvent ensuite ralentissement du flux sédimentaire.

Les différents aménagements sur les cours d'eau peuvent entraver le transport solide qui crée donc un déficit de transport solide. Le cours d'eau compense le manque de sédiments par une érosion accrue à l'aval et donc un enfoncement du lit.

Les conséquences sont multiples :

- L'enfoncement du lit peut entraîner des affouillements de pied de berges et leur glissement.
- Avec l'enfoncement du lit, le niveau du cours d'eau diminue. Les zones de sédimentation se situant à des niveaux plus élevés sont moins soumises à l'érosion et s'installent donc. La largeur du lit se trouve rétrécie. Les débordements du lit mineur sont donc plus fréquents.

À l'amont des ouvrages au contraire, se situe une zone d'envasement affectant la hauteur d'eau dans le lit du cours d'eau et pouvant créer des défaillances sur l'obstacle (blocage des organes de manœuvres par sédimentation par exemple).

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

L'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont de 2017 ne mentionne pas ce phénomène.

Sur le cours d'eau du Vieux Cher, le transport solide ne semble pas avoir un effet significatif sur le cours d'eau du Vieux Cher.

L'Aléa Transports solide n'est pas considéré à risque.

4.6. Impacts combinés des niveaux marins, de la houle, des vagues, des dépressions atmosphériques et du vent, sur le littoral

Présentation générale

Les submersions marines sont des inondations se produisant sur la zone côtière par la mer lors de conditions météorologiques et océaniques défavorables. Elles inondent généralement les zones dont le niveau est sous celui des plus hautes eaux de mer.

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La zone d'étude est à plus de 175 km de la mer.

L'impact des niveaux marins, de la houle, des vagues, des dépressions atmosphériques et du vent, sur le littoral n'est pas étudié.

L'aléa Submersion marine n'est pas considéré à risque.

4.7. Laves torrentielles et leurs effets potentiels, si leur survenue est plausible

Présentation générale

Les laves torrentielles est une coulée rapide dans le lit d'un cours d'eau ou talweg d'un mélange d'eau de sédiments et de matériaux plus ou moins gros se produisant généralement en montagne à la suite de précipitations soudaines, importantes et concentrées.

Les précipitations déstabilisent des éléments solides dans une pente ce qui déclenche des vagues violentes pouvant éroder berges et zones de passage très rapidement et brutalement.

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

L'altitude de la zone d'étude culmine à 45 mNGF hors zone montagnarde.

Aucun événement de lave torrentielle n'a été référencé sur la zone.

L'aléa Lave torrentielle n'est pas considéré à risque.

4.8. Autres aléas naturels hydrauliques

4.8.1. Ruissellement

Présentation générale

L'inondation par ruissellement se produit lorsque les apports de pluie ne peuvent pas ou plus s'infiltrer dans le sol.

Un événement pluvieux exceptionnel (une pluie de très forte intensité ou un cumul important de pluie sur plusieurs jours) peut conduire à une inondation par ruissellement.

Les principaux signes précurseurs sont des écoulements d'eau importants en dehors :

- Du réseau hydrographique dans les zones habituellement sèches ou dans des cours d'eau intermittents ;
- Du réseau d'évacuation des eaux pluviales ou unitaire, c'est-à-dire dans les rues.

Le ruissellement peut avoir des impacts sur :

- Les remblais, digues et ouvrages assimilés : la présence de réseaux d'assainissement eaux pluviales / réseau unitaire traversant les ouvrages pourrait causer des défaillances de l'ouvrage à cause de fuites des réseaux ;
- Le réseau d'assainissement dans la Zone Protégée : des inondations peuvent se produire dans la ZP en cas de dépassement du dimensionnement du réseau sans lien avec les ouvrages étudiés ;
- Les sollicitations hydrauliques sur les cours d'eau dans la Zone protégée : le cas de concomitance d'une crue du cours d'eau contre lequel le SE protège et d'une pluie intense sur la ZP peut entraîner des inondations si le SE n'est pas équipé d'ouvrage de type pompage pour évacuer ces écoulements.

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La présence de réseaux d'eaux pluviales pourrait causer des entrées d'eau dans la digue à cause de fuites dans le réseau ; Le cas de concomitance d'une crue des cours d'eau sollicitant la digue (Vieux Cher, Cher, Indre et Loire) et d'une pluie intense sur la zone protégée ne peut être exclu et pourrait engendrer une inondation. En effet les dispositifs de régulation ouverts hors période de crue des cours d'eau seraient fermés pour empêcher le reflux ces cours d'eau – Vieux Cher, Cher, Indre et Loire – dans la ZP.

L'aléa Ruissellement est à risque.

4.8.2. Remontée de nappes

Présentation générale

L'inondation par remontée de nappes se produit lorsque le niveau de la nappe phréatique monte jusqu'à la surface du sol.

Les nappes phréatiques (nappe d'eau dans le sol à plus ou moins faible profondeur) sont alimentées par l'infiltration d'une partie de la pluie. Leur niveau varie (battement de la nappe) selon les saisons :

- Période hivernale : saison pendant laquelle la nappe se recharge car l'infiltration est favorisée par :
 - Des précipitations plus importantes ;
 - Des températures faibles réduisant l'évaporation ;
 - La végétation peu active prélève moins d'eau dans le sol ;
- Période estivale : saison pendant laquelle la recharge est faible.

Lors d'événements pluvieux exceptionnels (une pluie de très forte intensité ou un cumul important de pluie sur plusieurs jours), la nappe phréatique peut se recharger et atteindre le niveau du terrain naturel et provoquer une inondation « par remontée de nappe ».

Les principaux signes précurseurs sont la pluviométrie, les affleurements de nappe et les caves inondées.

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La cartographie nationale des zones sensibles aux inondations par remontée de nappe permet de localiser les zones où il y a de fortes probabilités d'observer des débordements par remontée de nappe. La représentation est la suivante :

- « Zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est négative ;
- « Zones potentiellement sujettes aux inondations de cave » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est comprise entre 0 et 5 m ;
- « Pas de débordement de nappe ni d'inondation de cave » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est supérieure à 5 m.

Cette cartographie apporte des indications sur des tendances (Géorisques).

Selon cette cartographie, la zone d'étude est dans une zone potentiellement sujette aux débordements de nappe :

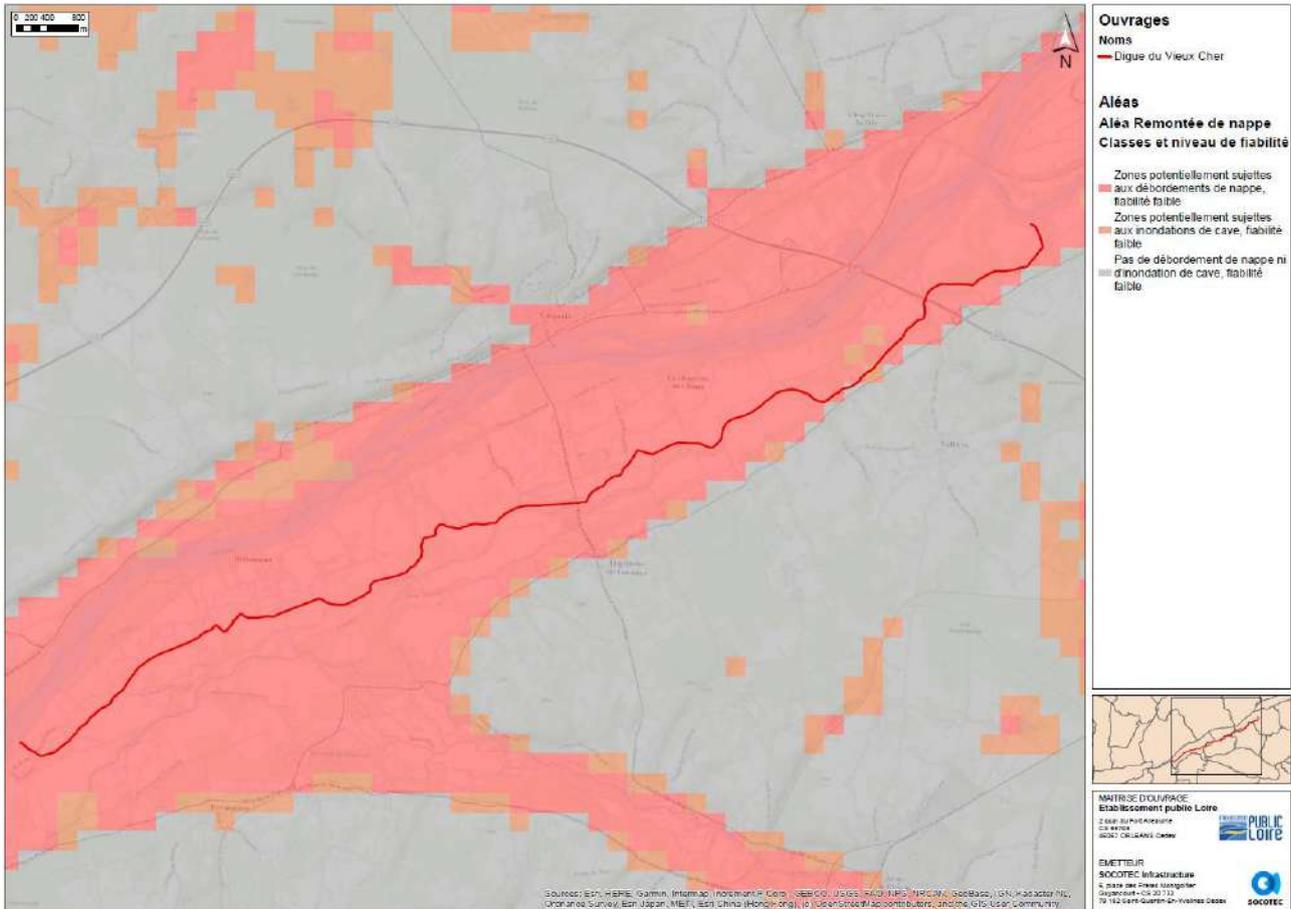


Figure 4-15 : Zones avec probabilités de débordements par remontée de nappe (Géorisques)

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

La nappe d'accompagnement de la Loire a tendance à suivre les évolutions du niveau du fleuve en cas de crue de celui-ci. Il peut être observé des remontées au-dessus du niveau du terrain naturel, en particulier dans les zones basses et où la perméabilité du sous-sol est importante. Selon la carte des remontées de nappe du BRGM, la zone protégée du val de Villandry/Bréhémont présente une sensibilité variable à ce phénomène (de sensibilité très faible à zone de nappe sub-affleurante selon les secteurs).

La zone protégée est donc potentiellement exposée à des inondations par remontée de nappe. Ce type d'inondation est difficilement quantifiable. Il s'agit toutefois de phénomènes relativement lents, et dont les conséquences sont a priori limitées aux parties basses de la zone protégée. Les hauteurs d'eau et vitesses attendues restent limitées. On peut noter que l'on observe souvent un décalage entre le pic de la crue fluviale et le phénomène de remontée de nappe.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

L'aléa Remontée de nappe est à risque.

4.8.3. Vent

Présentation générale

Cet aléa naturel peut aggraver les sollicitations hydrauliques sur les ouvrages hydrauliques. Généralement associé à l'aléa de submersion marine pour les zones littorales, il est présenté ici car le phénomène de « surcote » peut également se trouver sur les barrages et aménagements hydrauliques à cause de la création de vagues par le vent (phénomène de Fetch).

Le vent peut entraîner la formation de vagues dans les retenues d'eau selon leurs caractéristiques (généralement altitude et géométrie). À la surface de l'eau, le vent provoque l'apparition d'ondulations plus ou moins marquées en fonction de sa force, par la vitesse du vent et de la surface du lac.

Ces vagues peuvent se propager en direction de l'ouvrage hydraulique (barrage ou aménagement hydraulique). En supposant que le vent souffle en direction de l'ouvrage, les vagues formées se réfléchissent sur le remblai. Certaines vagues peuvent passer par-dessus la crête et ruisseler sur le parement aval pour engendrer une érosion plus ou moins importante de la crête, du parement aval et du pied de l'ouvrage.

La carte suivante, provenant de l'Eurocode 1, découpe la France en 4 régions, avec des vitesses de vent allant de 22 m/s à 28 m/s par palier de 2 m/s.

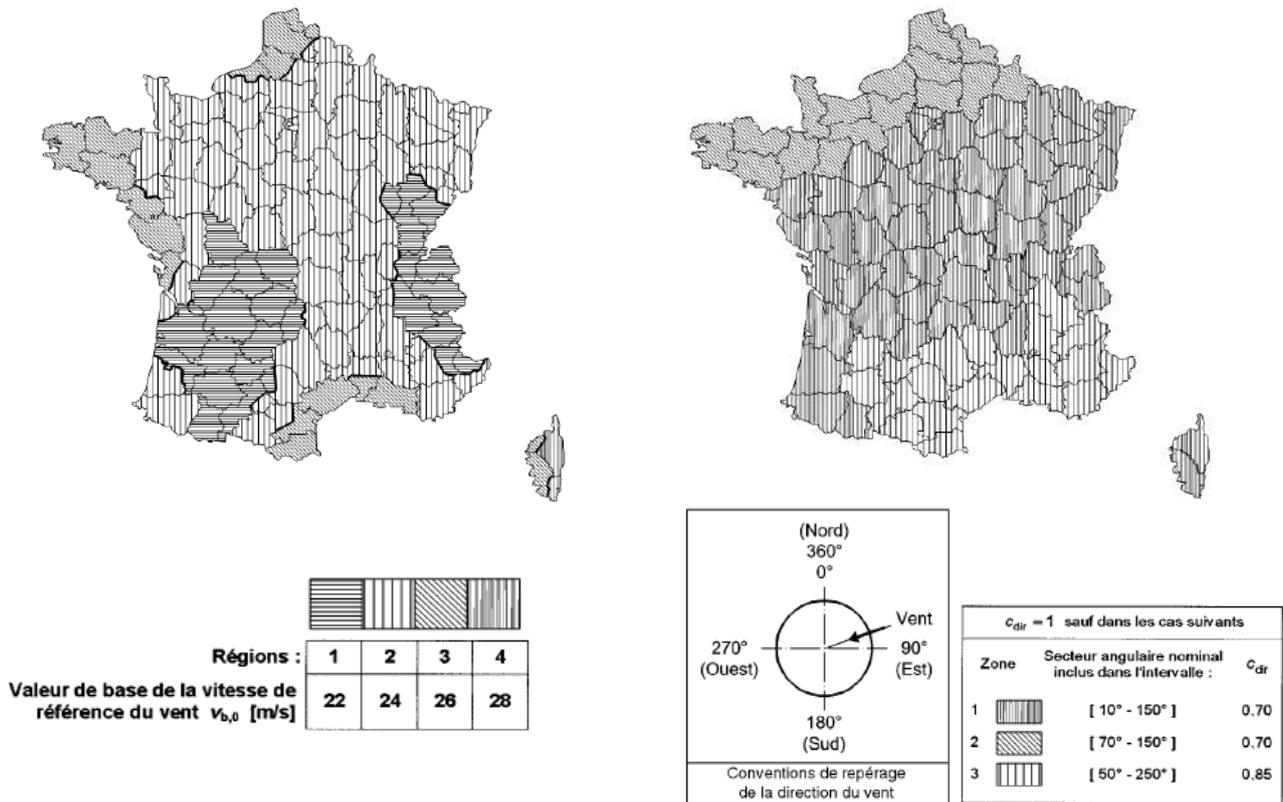


Figure 4-16 : Valeur de base de la vitesse de référence et du Coefficient de direction de vent en France métropolitaine (NF EN 1991-1-4/NA, mars 2008)

Pour l'estimation de la hauteur de vagues, le Comité Français des Grands Barrages CFBR propose de retenir la formule de Bretschneider adaptée aux retenues modestes (superficie < 100 ha). Cette formule tient compte de la profondeur de l'eau D à proximité de l'ouvrage :

$$h = 0.26 * \tanh \left[0.578 * \left(\frac{g * D}{U^2} \right)^{3/4} \right] * \tanh \left[\frac{0.01 * \left(\frac{g * F}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[0.578 * \left(\frac{g * D}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right] * \frac{U^2}{g}$$

Avec :

- h [m] : hauteur de vague ;
- U [m/s] : vitesse du vent trentenaire de durée 1 heure ;
- D [m] : profondeur de l'eau ;
- F [m] : longueur du Fetch ;
- g [m/s²] : accélération de la pesanteur.

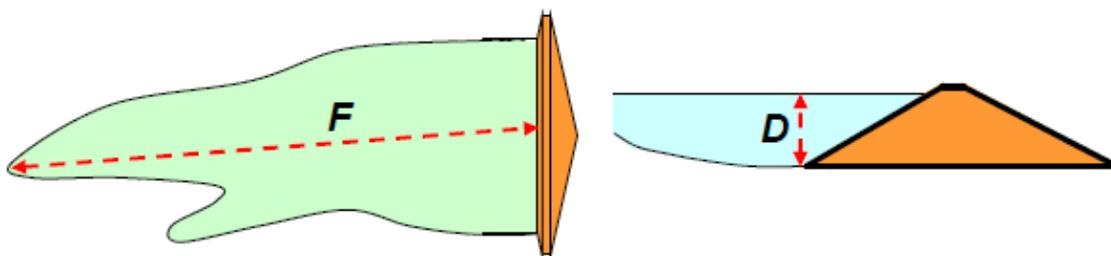


Figure 4-17 : Fetch et profondeur du plan d'eau (Recommandations CFBR, 2013)

Le calcul de revanche minimale se fait via les recommandations du CFBR issues du guide Petits-barrages, recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi (CFBR, 2002) :

- L'estimation de la vitesse de propagation des vagues est réalisée avec la formule de Gaillard :

$$v = 1.5 + 2 * h$$

- L'estimation de la revanche minimale à prendre en compte est :

$$R_{\min} = 0.75 * h + \frac{v^2}{2 * g}$$

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

Si ce risque ne peut être exclu pour les digues, il s'applique davantage pour les barrages et aménagements hydrauliques.

L'aléa Vent n'est donc pas considéré à risque.

4.8.4. Vague solitaire

Présentation générale

Deux phénomènes peuvent engendrer une vague solitaire, une onde de submersion soudaine et haute sur les enjeux étudiés :

- Un glissement / un effondrement de versant dans une retenue d'eau (réservoir de remblai) ou dans un cours d'eau en amont de la zone d'intérêt ;
- Une rupture brusque d'ouvrages de régulation (tel qu'un remblai, seuil) ou de passage généralement après obstruction de l'écoulement (par exemple pont avec embâcles) en amont de la zone d'intérêt.

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

Sur le cours d'eau de la Loire, l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont présente le risque lié au barrage de Villerest.

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

Influence de la rupture du barrage de Villerest

Le barrage de Villerest est le principal ouvrage pour lequel une rupture accidentelle pourrait avoir un impact sur l'hydrologie du fleuve au droit du val de Villandry/Bréhémont.

Le risque de rupture du barrage de Villerest a été étudié par EDF en 1974 (EDF LNH, 1974), puis révisé en 2001 par ISL (ISL, 2001) pour le compte de l'Établissement Public Loire (les études liées au barrage de Villerest intègrent la défaillance du barrage de Grangent en amont de celui-ci). Le linéaire de cette étude n'intègre cependant pas le val de Villandry/Bréhémont. Les résultats à Nevers, situé environ 300 km en amont du secteur d'étude, sont ainsi présentés.

L'objectif de ces études a été de déterminer l'hydrogramme provoqué par la rupture de l'ouvrage et les conditions de propagation de l'onde de crue qui lui est associée en vue d'établir le Plan Particulier d'Intervention.

Les calculs ont été menés dans le cas d'une rupture sur front sec (débit initial faible à l'aval du barrage) et dans le cas d'une rupture lors d'une crue forte, de type 1846. Ils ont été réalisés depuis la retenue jusqu'en aval de la confluence avec l'Allier, et permettent ainsi de caractériser l'impact de la rupture de Villerest sur l'hydrologie en Loire moyenne.

L'étude conclut que l'onde de rupture sur front sec se propage en 18 h entre Villerest et Nevers, soit une vitesse moyenne de 8.7 m/s. Le maximum de l'onde arrive à Nevers en 36 h. Le débit de pointe à Nevers est d'environ 4 100 m³/s.

Dans le cas d'une onde de rupture sur front humide (crue de type 1846), les temps de propagation de l'onde de crue et de l'onde de rupture sont difficilement distinguables après plusieurs kilomètres. La vitesse de propagation de la pointe est augmentée et le maximum est atteint à Nevers en 27 h au lieu de 36 h sur front sec.

Une telle rupture du barrage de Villerest est cependant très improbable. Il a été conçu de façon à résister à la crue de temps de retour théorique 10 000 ans. Il est équipé d'un système de détection interne d'éventuelles déstabilisations et, si ce système détectait un désordre, la retenue serait vidangée avant l'atteinte du niveau de rupture.

La probabilité de rupture du barrage de Villerest est donc plus faible qu'une crue de même ampleur et largement inférieure aux probabilités de rupture des levées du val de Villandry/Bréhémont. La rupture de ce barrage n'a donc pas été prise en compte spécifiquement dans la présente étude de dangers.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

Sur les autres cours d'eau, les obstacles à l'écoulement sont présents le long des cours d'eau. Dans le Référentiel des Obstacles à l'Écoulement, il est référencé :

- 2293 obstacles sur le bassin versant du Cher ;
- 792 sur le bassin versant de l'Indre en amont de la zone d'intérêt ;
- 1 sur le bassin versant de Vieux Cher.

Comme barrages de plus de 2 m, il est référencé :

- 499 obstacles sur le bassin versant du Cher, dont 3 sur le Cher ;
- 57 sur le bassin versant de l'Indre en amont de la zone d'intérêt.

L'aléa Vague solitaire est à risque.

4.9. Aléas naturels climatiques

4.9.1. Tempête

Présentation générale

Cet aléa naturel peut causer des désordres notamment engendrer le déracinement des arbres à partir de la Force 10 « tempête » correspondant à une vitesse de 24.5 m/s (ou 89 km/h).

« L'échelle de Beaufort

L'échelle imaginée par l'amiral britannique Beaufort au début du XIXème siècle estime la vitesse du vent selon ses effets sur la marche d'un voilier, l'état de la mer, la fumée des cheminées et les arbres à terre.

Pour concevoir cette échelle, l'amiral utilisa la voile de la frégate qu'il commandait comme instrument de mesure et détermina 12 degrés ou intervalles de vitesse de vent.

En 1874, l'utilisation de l'échelle de Beaufort est adoptée internationalement comme unité de mesure de la force du vent dans les observations météorologiques en mer.

Elle sera utilisée jusqu'en 1946, date à laquelle l'Organisation Météorologique Mondiale décide que les observateurs en mer utiliseront le nœud comme unité de mesure de la vitesse du vent.

L'échelle de Beaufort continue d'être utilisée en météorologie marine, en particulier dans la rédaction des bulletins de prévision marine. On parle alors de force du vent. Ainsi la force 4 correspond à la jolie brise et la force 10 correspond à la tempête. »

Degré Beaufort	Termes descriptifs français (anglais)	Vitesse	Etat de la mer au large	Effets à terre (activité humaine, végétaux et oiseaux et invertébrés)
0	Calm (Calm)	nœud : < 1 km/h : < 1 m/s : 0 - 0.2	La mer est comme un miroir.	La fumée s'élève verticalement. Immobilité. Tous en vol ; fils de la Vierge dans l'air.
1	Très légère brise (light air)	nœud : 1 à 3 km/h : 1 à 5 m/s : 0.3 à 1.5	Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson mais sans aucune crête d'écume.	Dérive de la fumée à peine perceptible. Immobilité. Les oiseaux planent dans les ascendances thermiques ; pucerons en vol ; les araignées décollent.
2	Légère brise (light breeze)	nœud : 4 à 6 km/h : 6 à 11 m/s : 1.6 à 3.3	Vaguelettes, courtes encore mais plus accusées ; leurs crêtes ont une apparence vitreuse, mais elles ne déferlent pas.	Vent tout juste perçu au visage ; fumée à 80° Les feuilles frémissent. Toutes les espèces en vol.
3	Petite brise (gentle breeze)	nœud : 7 à 10 km/h : 12 à 19 m/s : 3.4 à 5.4	Très petites vagues ; les crêtes commencent à déferler ; écume d'aspect vitreux ; parfois quelques moutons épars.	Fumée à 70° ; poussière soulevée. Brindilles agitées. Sauterelles, pucerons et araignées au sol.
4	Jolie brise (moderate breeze)	nœud : 11 à 16 km/h : 20 à 28 m/s : 5.5 à 7.9	Petites vagues devenant plus longues ; moutons franchement nombreux.	Fumée à 50° ; cheveux dérangés et vêtements qui claquent. Petites branches agitées. Pic d'activité pour le vol plané en mer ; coléoptères au sol ; les moustiques cessent de piquer.
5	Bonne brise	nœud : 17 à 21 km/h : 29 à 38 m/s : 8.0 à 10.7	Vagues modérées prenant une forme plus nettement allongée ; naissance de nombreux moutons (éventuellement des embruns).	Fumée à 30° ; yeux gênés par les suspensions dans l'air ; sensations de picotement sur le visage si température négative ; le gréement commence à siffler/cheveux dérangés et vêtements qui claquent. Petits arbres feuillus agités.
6	Vent frais	nœud : 22 à 27 km/h : 39 à 49 m/s : 10.8 à 13.8	Des lames commencent à se former ; les crêtes d'écume blanche sont partout plus étendues (habituellement quelques embruns).	Arrêt des oiseaux migrateurs nocturnes ; mouches au sol ; sauf les taons. Fumées à 15° ; marches portées par les côtes. Petits percheurs au sol ; abeilles au sol.
7	Grand frais	nœud : 28 à 33 km/h : 50 à 61 m/s : 13.9 à 17.1	La mer grossit ; l'écume blanche qui provient des lames déferlantes commence à être soufflée en très nettes traînées orientées dans le lit du vent.	Fumée à 5 ou 10° ; picotement au visage par température inférieure à 3° ; la marche devient difficile.
8	Coup de vent	nœud : 34 à 40 km/h : 62 à 74 m/s : 17.2 à 20.7	Lames de hauteur moyenne et plus allongées ; du bord supérieur de leurs crêtes commencent à se détacher des tourbillons d'embruns ; l'écume est soufflée en très nettes traînées orientées dans le lit du vent.	Progression impossible en général. Les brindilles cassent. Grandes branches agitées. Martinet, canard, hirondelles et quelques rapaces encore en vol ; parmi les invertébrés, seules les libellules sont en vol.
9	Fort coup de vent	nœud : 41 à 47 km/h : 75 à 88 m/s : 20.8 à 24.4	Grosses lames ; épaisse traînée d'écume dans le lit du vent ; les crêtes des lames commencent à vaciller, s'écrouler et déferler en rouleaux ; les embruns peuvent réduire la visibilité.	Enfant renversés. Les branches cassent. Martinet seuls en vol ; tous les insectes au sol.
10	Tempête	nœud : 48 à 55 km/h : 89 à 102 m/s : 24.5 à 28.4	Très grosses lames à longues crêtes en panache ; l'écume produite s'agglomère en larges bancs et est soufflée dans le lit du vent en épaisses traînées blanches ; dans son ensemble, la surface des eaux semble blanche ; le déferlement en rouleaux devient intense et brutal ; la visibilité est réduite.	Adultes renversés. Arbres déracinés. Tous au sol.
11	Violente tempête	nœud : 56 à 63 km/h : 103 à 117 m/s : 28.5 à 32.6	Lames exceptionnellement hautes (les navires de petit et de moyen tonnage peuvent par instants être perdus de vue) ; la mer est complètement recouverte de bancs d'écume blanche allongés dans la direction du vent ; partout le bord des crêtes des lames et donne de la mousse ; la visibilité est réduite.	Les équivalences degrés Beaufort, nœuds, km/h, m/s, ainsi que les effet du vent sur la mer proviennent des document de l'OMM. Les effets sur les activités humaines, les végétaux et le monde animal sont extraits de "Le souffle d'Éole, Lyall Watson, Londres". Les effets du vent sur la fumée et sur les visages sont extraits d'une étude effectuée à bord d'un navire météo canadien, parue dans The Marine Observer n°152, 1951.
12	Ouragan	nœud : >= 64 km/h : >= 118 m/s : 32.7 et plus	L'air est plein d'écume et d'embruns ; la mer est entièrement blanche du fait des bancs d'écumes dérivante ; la visibilité est très fortement réduite	Les vitesses indiquées concernent le vent moyen sur 10 min (et non les rafales) mesuré à 10 m de hauteur.

Figure 4-18 : Effet du vent selon l'échelle de Beaufort (Météo France)

La carte suivante, provenant de l'Eurocode 1, découpe la France en 4 régions, avec des vitesses de vent allant de 22 m/s à 28 m/s par palier de 2 m/s.

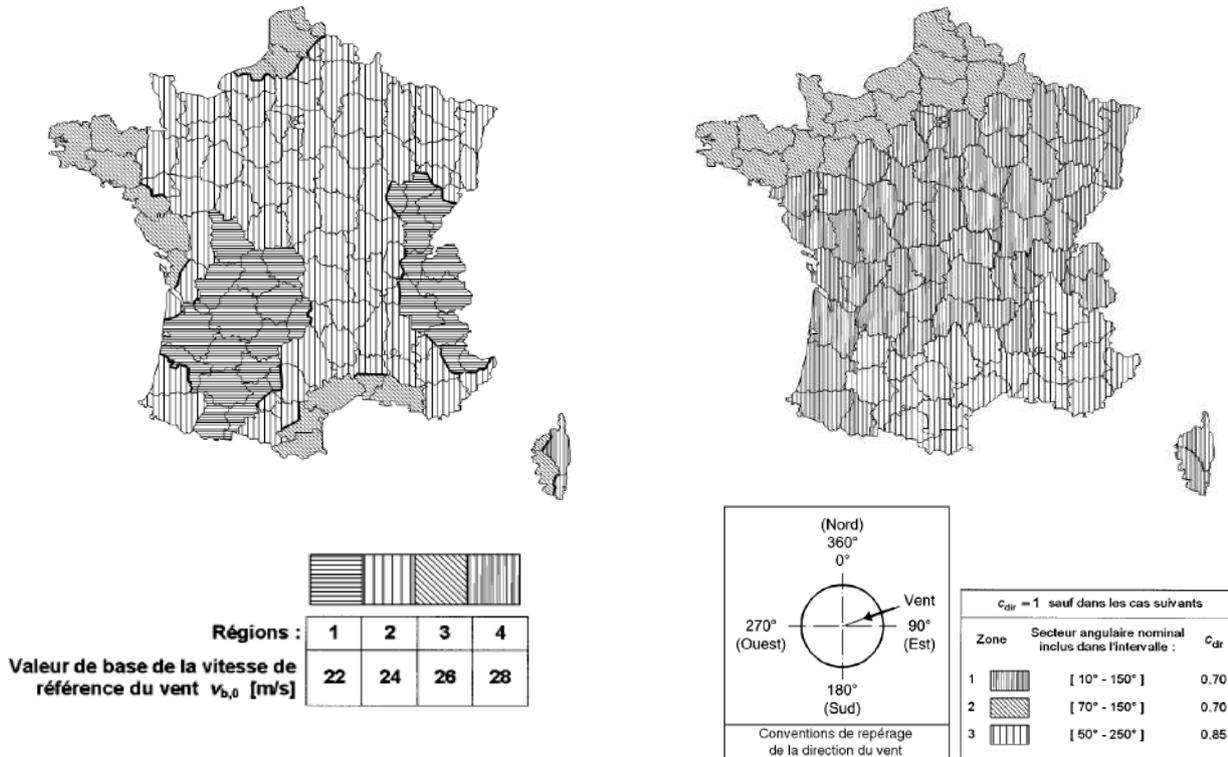


Figure 4-19 : Valeur de base de la vitesse de référence et du Coefficient de direction de vent en France métropolitaine (NF EN 1991-1-4/NA, mars 2008)

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La zone d'étude se situe en Région 2 selon l'Eurocode 1. La vitesse de référence du vent définie pour cette région de vent est de $v_{b,0} = 24$ m/s.

Cela correspond à un niveau de fort coup de vent.

Les vitesses maximales de vent sur Tours sont enregistrées en général en hiver (entre décembre et mars).

Mois	Direction dominante du vent	Vitesse moyenne [m/s]	Rafale maximale [m/s]	Date
1	SO	21	32	02-1998
2	SO	23	34	03-1990
3	O	22	31	25-1988
4	NE	18	26	01-1994
5	ONO	17	25	13-2002
6	O	18	24	07-1987
7	OSO	16	36	15-2003
8	OSO	16	33	08-1992
9	NNO	16	29.4	13-2016
10	S	16	29	16-1987
11	SSO	18	29	13-1987
12	SSO	21	36	26-1999

Tableau 4-6 : Données sur le vent <https://fr.windfinder.com/windstatistics/tours> et Records des rafales de vent enregistrés sur la période du 01/01/81 au 02/12/2020 (Météo France)

Les éléments présentés dans le Tableau 4-6 montrent que les vitesses de rafales ont déjà dépassé 24.5 m/s.

Aucun désordre, défaillance ou EISH causé par cet aléa n'a été déclaré sur les ouvrages.

Cependant sur une majeure partie de la digue, il y a des arbres qui pourraient être arrachés par des tempêtes et endommager la digue.

L'aléa Tempête est à risque.

4.9.2. Chute de neige

Présentation générale

Les effets de la neige sur un ouvrage hydraulique dépendent de la région, de l'altitude et du type d'ouvrage. La neige peut par exemple affecter la stabilité des ouvrages hydrauliques car elle exerce une charge supplémentaire sur les ouvrages.

La carte ci-après présente les zones de chute de neige en France métropolitaine :

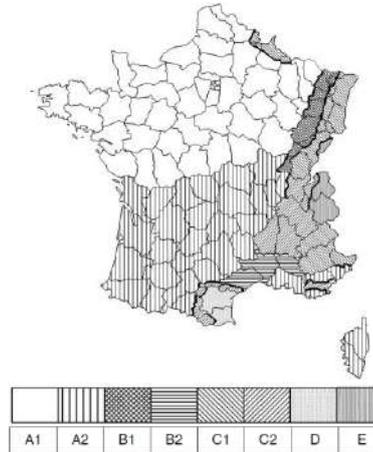


Figure 4-20 : Régions de neige sur le territoire national métropolitain (NF EN 1991-1-3/NA, mai 2007)

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La zone d'étude se situe en région A1 d'après la carte des zones de neige en France métropolitaine (Figure 4-20). Les chutes de neige sont peu importantes et épisodiques dans la zone d'étude. Par ailleurs, aucun désordre, défaillance ou EISH causé par cet aléa n'a été déclaré sur les ouvrages.

L'aléa Chutes de neige n'est pas considéré à risque.

4.9.3. Gel et verglas

Présentation générale

Le gel peut affecter les ouvrages hydrauliques de 2 manières :

- Leur stabilité via des désordres structurels sur leurs matériaux consécutifs aux variations gel/dégel ;
- Les sollicitations hydrauliques qui leur sont appliquées : gel de l'eau stockée par l'ouvrage.

Le phénomène de gel/dégel apparaît quand la température de l'air s'abaisse d'une valeur supérieure à une valeur inférieure ou égale à 0°C.

La carte ci-contre présente les zones de gel en France métropolitaine :

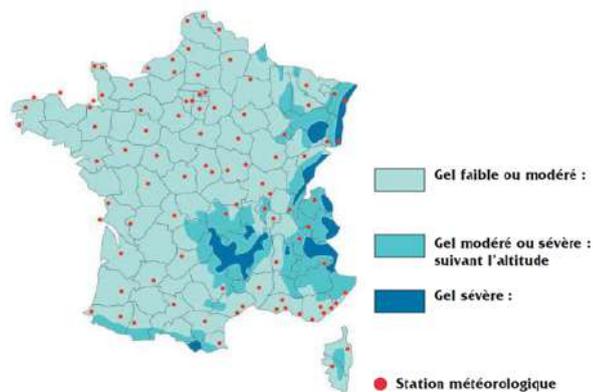


Tableau 4-7 : Zones de gel en France (NF EN 206-1 / CN)

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La zone d'étude se situe dans une zone classée région de gel faible ou modéré. Par ailleurs, aucun désordre, défaillance ou EISH causé par cet aléa n'a été déclaré sur les ouvrages.

L'aléa Gel et verglas n'est pas considéré à risque.

4.9.4. Avalanche

Présentation générale

« Une avalanche correspond à un déplacement rapide d'une masse de neige sur une pente, provoqué par une rupture du manteau neigeux. Cette masse varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes, pour des vitesses comprises entre 10 km/h et 400 km/h, selon la nature de la neige et les conditions d'écoulement. Les pentes favorables au départ des avalanches sont comprises entre 30 et 55°. La pente avalancheuse typique est raide, à l'ombre, proche d'une crête et couverte de neige soufflée. » Géorisques

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

Le val de Villandry/Bréhémont n'est pas en zone montagnarde.

L'aléa Avalanche n'est pas considéré à risque.

4.9.5. Feu de forêts

Présentation générale

« On parle d'incendie de forêt lorsque le feu couvre une surface minimale de 0.5 hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés est détruite. Le terme incendie vaut aussi pour les formations subforestières de plus petites tailles que sont le maquis, la garrigue et les landes. » Géorisques

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

Le risque de feux de forêt n'est pas listé dans les risques majeurs au val de Villandry/Bréhémont. Aucun désordre, défaillance ou EISH n'a été déclaré causé par cet aléa sur les ouvrages.

L'aléa Feu de forêt n'est pas considéré à risque.

Il est à noter que certains tronçons de la digue sont dans des secteurs boisés très denses.

4.9.6. Changement climatique

Concernant la Loire, l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont de 2017 a conclu cela :

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

Dans le cadre des études de dangers des digues de la Loire de classe A, une étude particulière visant à analyser les conséquences potentielles du changement climatique sur les phénomènes de crues a été confiée à Zbigniew Gasowski, du bureau d'études Hydro Expertise.

L'analyse ne met pas en évidence de preuves formelles traduisant une évolution de la nature des crues liée au changement climatique.

Toutefois, un faisceau de présomptions laisse apparaître un accroissement de l'intensité des crues qui résulterait d'intrusions plus profondes dans le haut bassin de phénomènes pluvieux d'origine méditerranéenne. Ces phénomènes se traduiraient par des crues plus intenses au Bec d'Allier, mais présentant des morphologies similaires à celles qui ont été vécues et retenues pour l'analyse hydrologique. Il n'est pas possible de quantifier l'évolution de la probabilité des crues engendrées par le changement climatique.

Il est notamment signalé que, sur la Loire Moyenne à Gien, les dernières périodes de 10 et 20 ans se situent parfaitement au niveau de la moyenne de l'ensemble de l'échantillon.

La nature des crues ne paraissant pas être modifiée dans le futur, il n'apparaît pas nécessaire de mener des tests de sensibilité sur leur typologie (test sur la morphologie des hydrogrammes ou de leur déphasage).

Sur les embâcles de glace, les conséquences du réchauffement climatique pourraient sembler favorables. Or, les simulations sur l'évolution climatique montrent des augmentations de température en été, mais beaucoup moins l'hiver. Le phénomène d'embâcle reste donc un phénomène dangereux dont la probabilité ne devrait pas diminuer.

En conclusion, si aucun indice ne permet aujourd'hui de prévoir si l'influence du changement climatique aura des conséquences sur les crues de la Loire, il convient de continuer à surveiller les évolutions hydrologiques du fleuve et de ses affluents. Si le réchauffement climatique devait augmenter la violence des crues cévenoles et surtout retarder dans la saison leur apparition, les conséquences sur les crues en Loire moyenne pourraient être importantes. En effet, les phénomènes cévenols sont plutôt automnaux et les phénomènes océaniques hivernaux. Une dérive des événements cévenols en fin d'année pourrait augmenter la probabilité de concomitance des deux phénomènes. Ainsi, les crues mixtes, qui sont les plus dangereuses, seraient plus fréquentes.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

Concernant le cours d'eau du Vieux Cher,

Une étude hydraulique menée sur les cours d'eau affluents de la Loire de Langeais a montré qu'il y avait une augmentation des pluies :

La comparaison de la pluviométrie à Tours entre 2006 et 2021, considéré représentative de celle du bassin versant montre une augmentation de l'intensité des pluies pour toutes les durées d'événement entre 1 et 24 h.

Durée de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Montana a*	/	669	879	1130	1296	1528	1886
Montana b	/	0.802	0.824	0.846	0.859	0.875	0.896
1 h	/	25.1	30.1	35.4	38.5	42.5	48.1
3 h	/	31.2	36.5	41.9	44.9	48.7	53.9
6 h	/	35.8	41.3	46.6	49.5	53.2	58.0
12 h	/	41.0	46.6	51.9	54.6	58.0	62.3
24 h	/	47.1	52.7	57.7	60.2	63.2	67.0

Tableau 4-1 : Hauteur de pluie en mm selon la durée de la pluie et la période de retour de l'événement (Météo France, 2021)

Durée de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Montana a*	5.78	9.86	12.69	15.41	19.05	21.77
Montana b	0.75	0.80	0.80	0.83	0.84	0.84
1 h	16.6	24.1	29.1	33.9	40.1	44.7
3 h	21.1	28.6	33.6	38.4	44.6	49.2
6 h	24.5	31.3	35.8	40.2	45.8	50
12 h	28.8	37.3	42.8	48.2	55.1	60.3
24 h	34.8	44.2	50.4	56.4	64.1	69.9

Tableau 4-2 : Hauteur de pluie en mm selon la durée de la pluie et la période de retour de l'événement (Sogreah, 2006)

Durée de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	Moyenne par durée
1 h	4%	3%	4%	6%	8%	5%
3 h	9%	9%	9%	9%	10%	9%
6 h	14%	15%	16%	16%	16%	16%
12 h	10%	9%	8%	5%	3%	7%
24 h	6%	5%	2%	-1%	-4%	2%
Moyenne par période de retour	9%	8%	8%	7%	6%	8%

Tableau 4-3 : Différence des Hauteurs de pluie selon la durée de la pluie et la période de retour de l'événement entre 2006 et 2020

(*) les coefficients de Montana « a » ne sont pas comparables car associés à deux équations d'unité différente.

Les précipitations moyennes annuelles annoncées en 2006 est de 684 mm (Sogreah, 2006) en 2006 et elles étaient de 695 mm en 2021, soit une augmentation de 1.7 point. Les événements pluvieux des périodes de retour entre 5 et 100 ans pour des durées de 1 à 24 heures ont augmenté entre 2006 et 2021 de 8 points.

Ces changements sur les 15 dernières années peuvent se traduire par une augmentation de l'intensité des crues liée au changement climatique sur le cours d'eau du Vieux Cher.

De même la température moyenne annoncée en 2006 est de 11.2°C (Sogreah, 2006) en 2006 et elle est de 11.8°C en 2021, soit une augmentation de 5%.

Sur le risque d'embâcles de glace, les conséquences du réchauffement climatique pourraient sembler favorables avec une augmentation de la température. Cependant celle-ci reste trop faible pour pouvoir en conclure un changement de probabilité d'occurrence.

L'aléa Changement climatique est à risque et est traité par les mises à jour régulières réglementaires de l'EDD.

4.10. Aléas naturels géologiques et géotechniques

4.10.1. Séisme et son effet potentiel

Présentation générale

Les séismes peuvent affecter la stabilité des ouvrages hydrauliques.

Un séisme est une fracturation brutale des roches en profondeur, créant des failles dans le sol et parfois en surface et se traduisant par des vibrations du sol transmises aux bâtiments. Les dégâts observés sont fonction de l'amplitude, de la durée et de la fréquence des vibrations.

Un séisme se caractérise par :

- Son foyer : point de départ du séisme ;
- Son épicentre : projection à la surface de la Terre de l'hypocentre (ou foyer) ;
- Sa magnitude : énergie libérée par le séisme ;
- Son intensité : dégâts occasionnés (variable en un lieu donné selon sa distance au foyer) ;
- La fréquence et la durée des vibrations : ces deux paramètres ont une incidence fondamentale sur les effets en surface ;
- La faille provoquée (verticale ou inclinée) : elle peut se propager en surface.

Le zonage sismique de la France (entré en vigueur le 1^{er} mai 2011) figurant en annexe des articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les décrets n°2010-1254 et n°2010-125 5 du 22 octobre 2010 ainsi que par l'arrêté du 22 octobre 2010 hiérarchise les zones plus ou moins exposées au risque sismique.

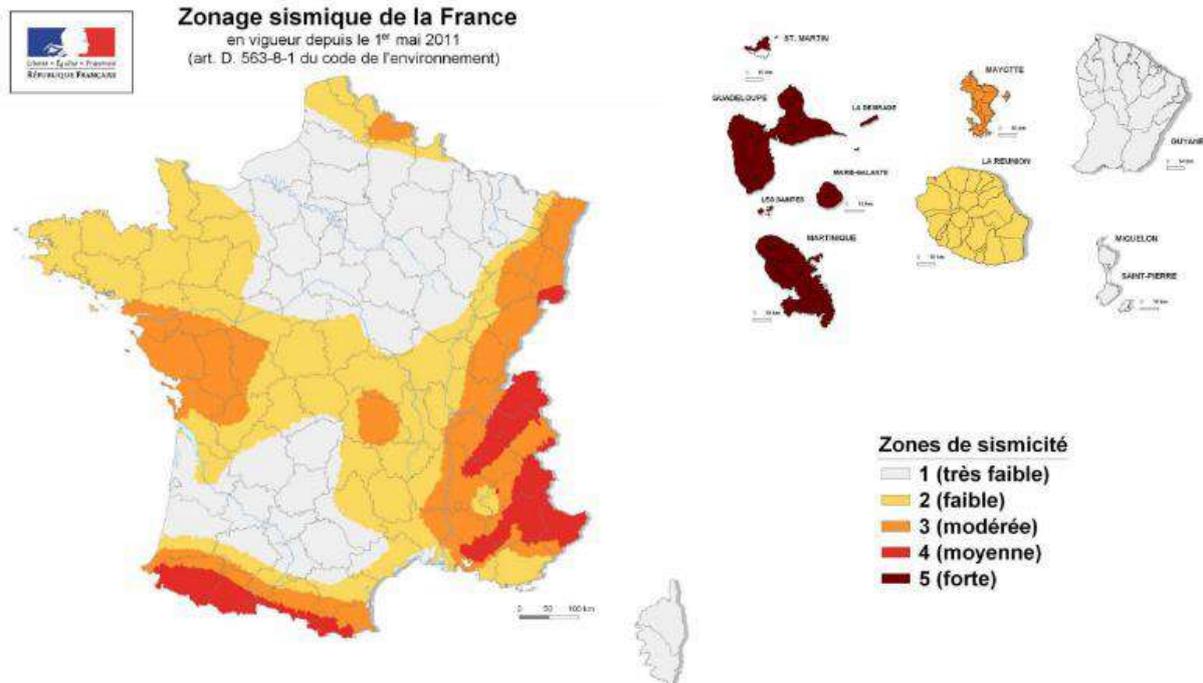


Figure 4-21 : Zone de sismicité

Un séisme peut avoir un effet important sur un ouvrage hydraulique et sur le risque inondation dans les cas suivants :

- Concomitance d'un séisme et d'une crue ;
- Survenue d'une crue après séisme ayant entraîné des désordres non traités sur les ouvrages hydrauliques au moment de la crue.

La première situation est la plus critique pour la digue. Les phénomènes à craindre sont dans ce cas :

- La liquéfaction des ouvrages ou leur fondation sous l'effet combiné de la saturation d'eau et de la secousse sismique ;
- La ruine des ouvrages par glissement des talus du fait des accélérations sismiques entraînant une augmentation du champ de la pesanteur et donc des contraintes (horizontales et/ou verticales).

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La zone d'étude est classée dans une zone de sismicité très faible de niveau 1.

Selon l'Eurocode 8, une vérification au séisme n'est pas à réaliser pour les ouvrages étudiés.

Aucun désordre, défaillance ou EISH causé par cet aléa n'a été déclaré sur les ouvrages.

Bien que l'aléa sismique puisse être la cause de la ruine des ouvrages, la probabilité d'apparition d'un séisme et que celui-ci provoque une défaillance structurelle de la digue reste faible.

L'aléa Séisme reste considéré à risque.

4.10.2. Mouvement de terrain

Présentation générale

Il existe plusieurs types de mouvements de terrain :

- Les mouvements lents, qui entraînent une déformation progressive des terrains :
 - Les affaissements, les tassements ;
 - Le retrait gonflement des argiles (cf. §4.10.3) ;
 - Les érosions de berges ;
- Les mouvements rapides, qui surviennent de manière brutale et soudaine :
 - Les glissements de terrain (pouvant être plus ou moins rapides) ;
 - Les chutes de pierres et de blocs, les éboulements ;
 - Les coulées de boues ;
 - Les effondrements.

Les mouvements de terrain peuvent affecter les ouvrages hydrauliques de 2 manières :

- Leur stabilité via des désordres au droit de leur fondation : affaissements, tassements, cavités, retrait gonflement des argiles ;
- Les sollicitations hydrauliques : effondrement de versants, éboulements, coulée de boues créant une/des vagues.

Type	Définition	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravant
Glissements de terrain	Déplacement plus ou moins brutal de terrains meubles ou rocheux le long d'une surface de rupture	Sols Massifs fracturés Formations meubles Géométrie des discontinuités par rapport à la topographie	Eau Séisme (+liquéfaction) Occupation du sol Facteurs anthropiques
Chutes de blocs et éboulements	Chute rapide et localisée d'éléments rocheux d'une pente abrupte à une zone de dépôt	Massifs rocheux, Conglomérats Discontinuités : stratigraphiques, tectoniques, hétérogénéités, etc. Géométrie des discontinuités par rapport à la topographie	Eau Gel/dégel Séisme Occupation du sol (végétation) Facteurs anthropiques
Coulées de boues	Glissement de terrain plus liquide	Matériaux (très) remaniés	Eau Séisme (tectonique ou volcanique)
Effondrements	Rupture du toit d'une cavité souterraine (dissolution, mine, etc.)	Existence de cavité (extraction, dissolution, etc.) Proximité surface	Eau Séisme Facteurs anthropiques
Érosions de berges	Phénomène régressif d'ablation de matériaux	Berge de cours d'eau Côte maritime	Écoulement d'eau turbulent (fluviale ou marin)

Tableau 4-4 : Types de mouvements de terrain

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

Le site Géorisques recense 2 arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur la commune de Vallères :

Code national CATNAT	Début le	Sur le Journal Officiel du
Mouvement de terrain : 2		
INTE0100649A	09/05/2001	01/12/2001
INTE9900627A	25/12/1999	30/12/1999

Tableau 4-8 : Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur la commune de Vallères

Il n'a été répertorié aucun mouvement de terrain à proximité de la digue du Vieux Cher.

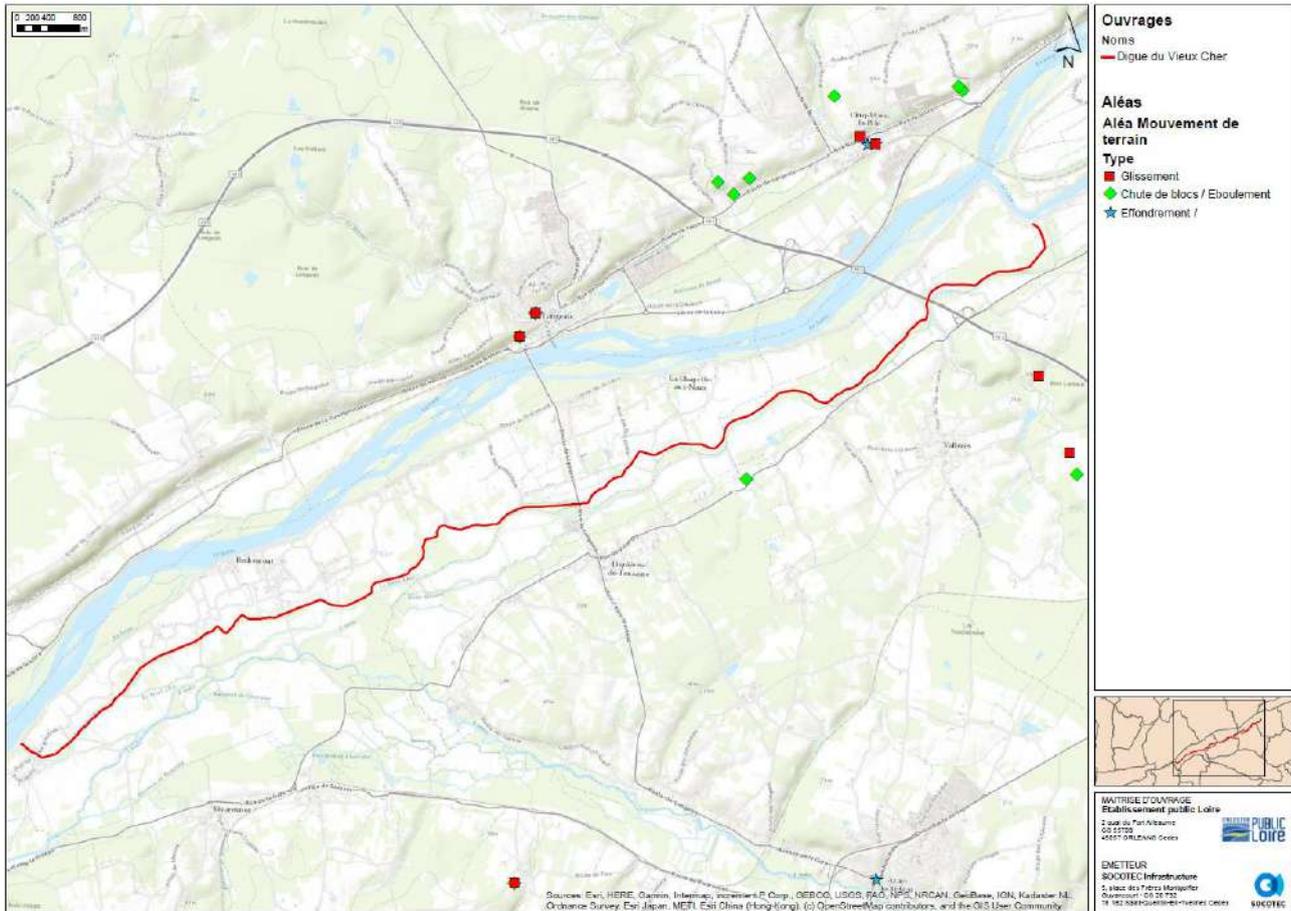


Figure 4-22 : Mouvements de terrain répertoriés (Géorisques)

L'aléa Mouvement de terrain n'est pas considéré à risque.

4.10.3. Retrait-gonflement des argiles

Présentation générale

Le retrait/gonflement d'argile peut affecter la stabilité des ouvrages hydrauliques.

Le retrait-gonflement des argiles est une variation du volume des terrains argileux créant des mouvements alternatifs de retrait et de gonflement du sol respectivement associés aux phases de sécheresse et réhydratation de sols argileux. L'intensité des déformations dépendra de :

- La nature du sol ;
- L'épaisseur de la couche argileuse ;
- La composition de l'argile (minéraux gonflants) ;
- La présence de drain et de végétation (arbres notamment) ;
- Son état de saturation.

Cette variation du volume du sol aura comme conséquence des tassements de terrains, des glissements de terrain, ou encore des effondrements.

Ce phénomène peut affecter la stabilité des ouvrages deux manières :

- Tassement différentiel ou fissuration du sol d'assise ;
- Tassement différentiel dans le sol de fondation des ouvrages génie civil connexes ou annexes induisant leur fissuration ou rupture.

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

Selon la cartographie d'aléa Retrait-gonflement des argiles, la zone est en aléa moyen :

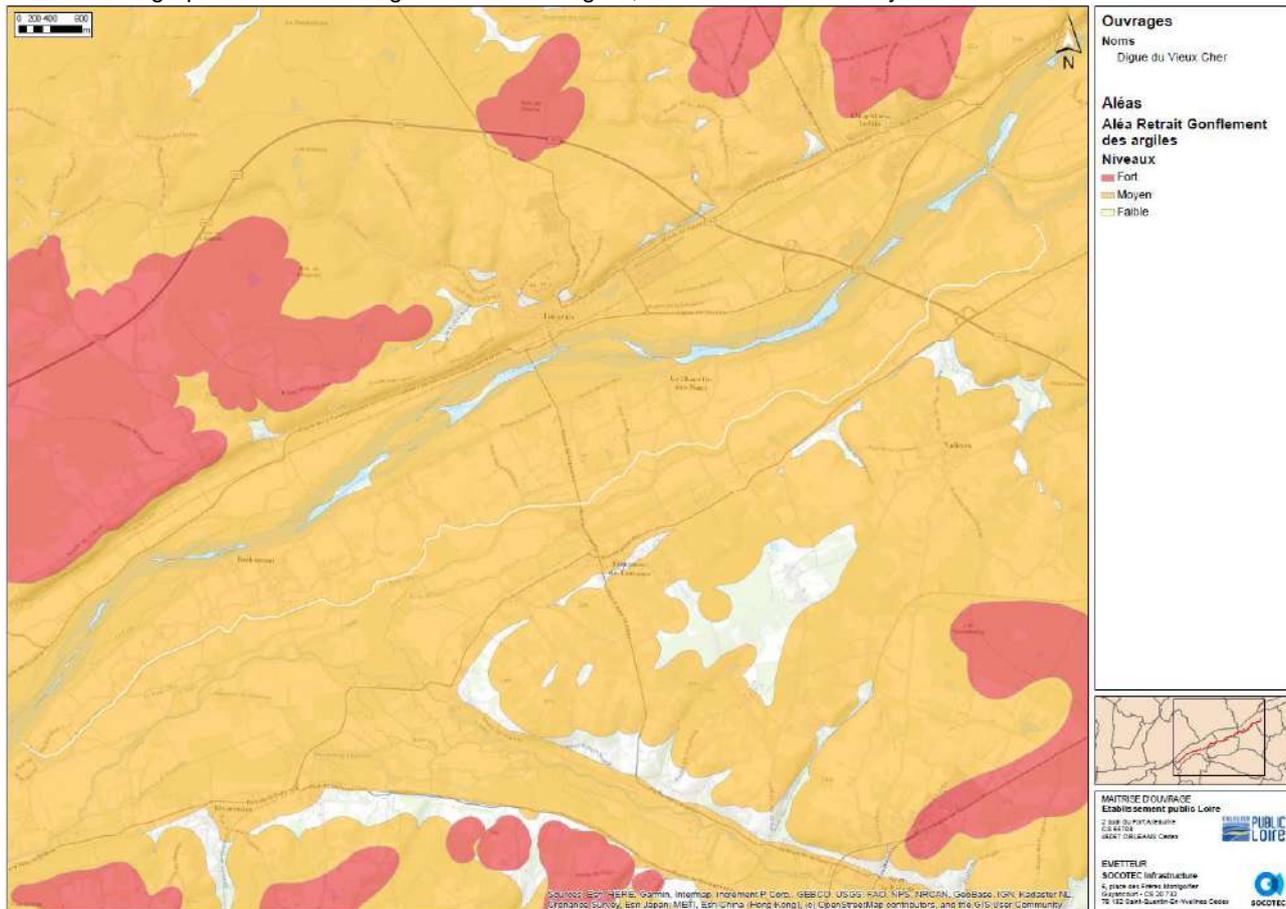


Figure 4-23 : Carte des zones présentant des aléas de retrait / gonflement des argiles

Les résultats des investigations géotechniques ont montré que :

- Le sol d'assise et fondation au droit du tronçon 1 est une argile classée A4 d'après le GTR 92 ;
- Le sol de fondation au droit des tronçons 2 et 3 est une argile classée A3 d'après le GTR 92 ;
- Le sol d'assise et fondation au droit du tronçon 4 est une argile classée A3 d'après le GTR 92.

Ce type de sol est fortement sensible au Retrait-Gonflement des argiles.

Au vu de l'ancienneté de l'ouvrage, il a été considéré que la consolidation de la couche d'assise a été consommée et que des tassements additionnels ne sont pas à prévoir. Cependant, les variations des niveaux d'eau suite aux crues peuvent induire des tassements de retrait-gonflement.

L'aléa Retrait/gonflement des argiles reste considéré à risque.

4.10.4. Cavité souterraine – karst

Présentation générale

On distingue deux types de cavités :

- Les cavités naturelles, divisées en trois catégories :
 - Les cavités de dissolution ou cavité karstique (majorité des cavités naturelles) ;
 - Les cavités de suffosion ;
 - Les cavités volcaniques ;
- Les cavités anthropiques :
 - Les carrières ;
 - Les installations troglodytiques et les caves ;
 - Les ouvrages civils ;
 - Les ouvrages militaires enterrés (sapes, tranchées et galeries).

Les cavités de dissolution

La circulation des eaux d'infiltration légèrement acide à cause de leur charge en gaz carbonique dissout les roches alcalines (érosion) et crée des réseaux souterrains appelés cavités de dissolution, ou cavités karstiques. Ces conduits peuvent atteindre plusieurs kilomètres de boyaux et comporter des « salles » dont la hauteur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres et la surface plusieurs dizaines de mètres carrés avec l'effondrement des roches par gravité. Ces « karsts » peuvent être vides, noyés ou obstrués/comblés par des sédimentations secondaires. Ils résultent de la dissolution des roches alcalines souterraines par les eaux d'infiltration que leur charge en gaz carbonique rend légèrement acides.

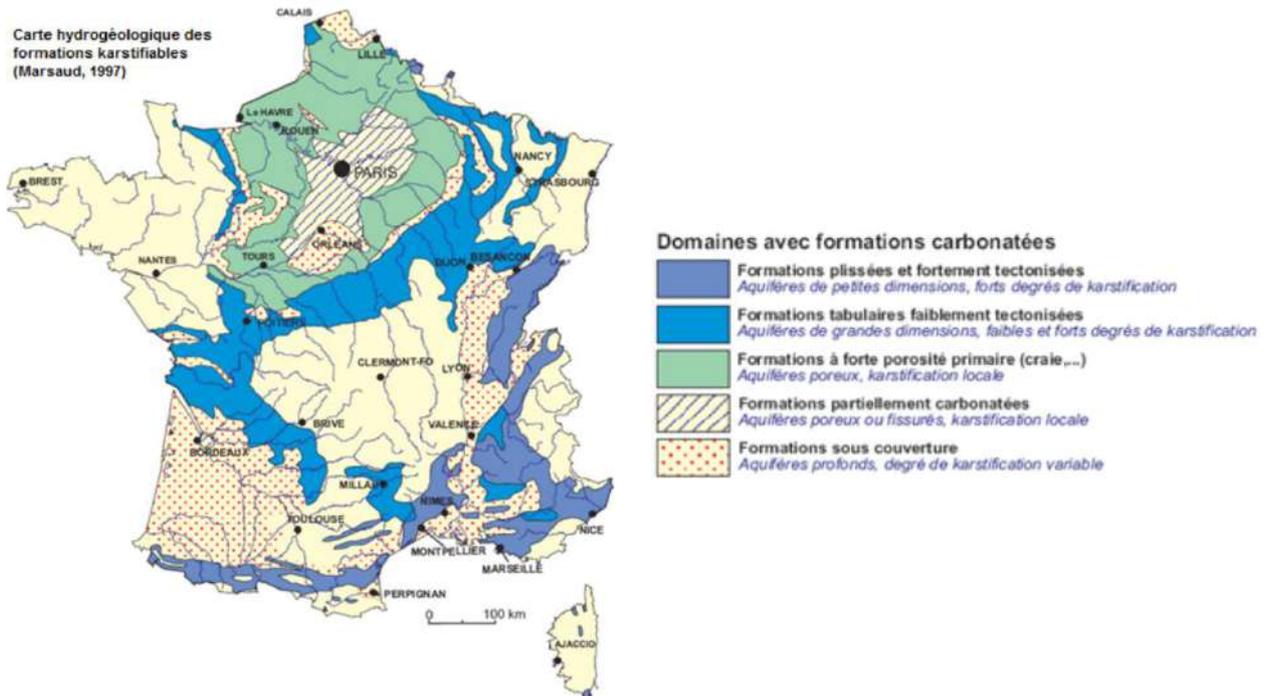


Figure 4-24 : Carte hydrogéologique des formations karstifiables

Les cavités de suffosion

Causées par l'érosion due à la circulation de l'eau, les cavités de suffosion pouvant atteindre plusieurs mètres cubes se développent particulièrement dans les formations sédimentaires meubles.

Les cavités volcaniques

Les cavités volcaniques sont de dimensions plus modestes que les cavités karstiques. Contrairement aux deux premiers types de cavités, elles n'évoluent pas dans le temps.

Mécanisme de rupture

Le mécanisme de rupture de l'ouvrage est évident en cas d'effondrement généralisé si le fontis est situé en dessous ou à quelques mètres de celle-ci.

Dans le cas d'une remontée de taille limitée, la présence d'un fontis pourrait déstabiliser l'ouvrage :

- Effondrement de l'ouvrage sur lui-même si la cavité est assez grande ;
- Érosion interne de la fondation de l'ouvrage.

Cas particulier de la digue du Vieux Cher

La zone d'étude est localisée dans une zone sous couverture de la Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de la Loire du Cosson à la Maine (bassin Loire-Bretagne), potentiellement sensible au risque karstique.

La caractérisation de l'aléa karstique au droit des ouvrages se base sur celle réalisée dans l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont de 2017. Celle-ci a été déterminée sur la base des informations fournies par un document du BRGM sur la présence de karst sous les levées domaniales du bassin de la Loire.

D'après ce document, le risque karstique est identifié comme un risque d'importance moyenne pour les levées du val de Villandry/Bréhémont.

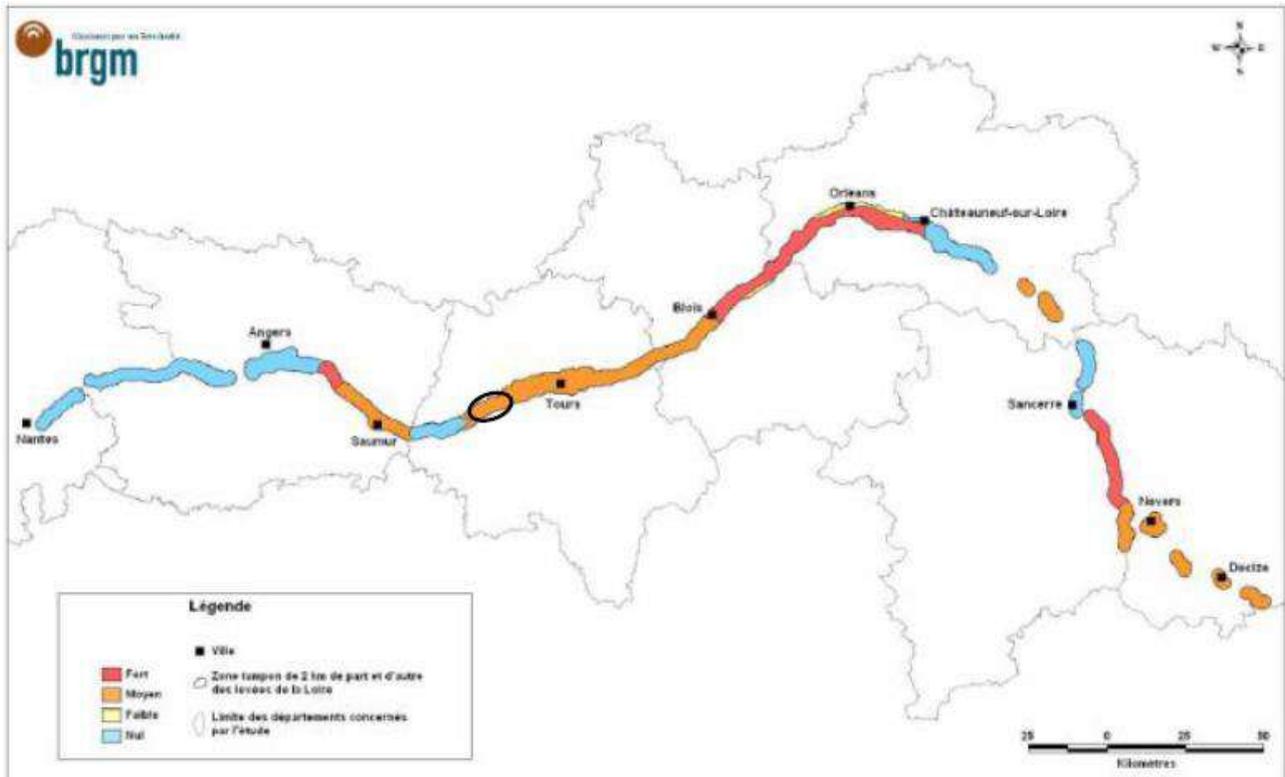


Figure 4-25 : Sensibilité à l'aléa karstique des levées de la Loire (source BRGM)

Le risque d'apparition d'un effondrement général ou d'un fontis ne peut pas être exclu. Et la concomitance d'un fontis/effondrement général en période de crue est également possible. Compte tenu des connaissances et du niveau de la recherche dans le domaine, il est impossible de quantifier ce risque en termes de probabilité ni en termes de conséquences directes pour l'ouvrage.

Aucun fontis n'a été identifié sur la digue du Vieux cher ni répertorié à proximité des ouvrages et aucun fontis avéré n'a été repéré la Visite Technique Approfondie de 2022. Par ailleurs, aucun désordre, défaillance ou EISH causé par cet aléa n'a été déclaré sur les ouvrages.

L'Aléa Cavités est à risque.

4.10.5. Volcanisme

L'aléa Volcanisme n'est pas considéré à risque.

4.11. Arrêtés de catastrophes naturelles

Le site Géorisques recense 29 arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur les 4 communes :

	Code national CATNAT	Début le	Sur le Journal Officiel du
Bréhémont	Inondations et coulées de boue : 4		
	INTE1615488A	28/05/2016	06/09/2016
	INTE9900627A	25/12/1999	30/12/1999
	NOR19830516	04/01/1983	18/05/1983
	NOR19830111	12/08/1982	13/01/1983
	Sécheresse : 1		
	INTE1820388A	01/01/2017	08/12/2018
La Chapelle-aux-Naux	Inondations et coulées de boue : 2		
	INTE9900627A	25/12/1999	30/12/1999
	NOR19830111	12/08/1982	13/01/1983
	Sécheresse : 2		
	INTE9800404A	05/01/1993	13/11/1998
	INTE9400220A	06/01/1989	06/10/1994
Vallères	Inondations et coulées de boue : 4		
	INTE9900627A	25/12/1999	30/12/1999
	INTE9400539A	08/09/1994	24/11/1994
	INTX9210273A	31/08/1991	15/08/1992
	NOR19830111	12/08/1982	13/01/1983
	Mouvement de terrain : 1		
	INTE0100649A	05/09/2001	12/01/2001
	Sécheresse : 1		
	IOCE0804637A	07/01/2005	22/02/2008
Villandry	Inondations et coulées de boue : 4		
	INTE1615488A	28/05/2016	06/09/2016
	INTE9900627A	25/12/1999	30/12/1999
	INTX9210273A	31/08/1991	15/08/1992
	NOR19830111	12/08/1982	13/01/1983
	Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols : 1		
	IOME2218165A	31/12/2020	25/07/2022
	Mouvement de terrain : 2		
	INTE0300095A	30/04/2001	03/09/2003
	INTE0200080A	09/01/2001	16/03/2002
	Sécheresse : 7		
	INTE1820388A	01/01/2017	08/12/2018
	INTE1228647A	04/01/2011	17/07/2012
	IOCE0811914A	07/01/2005	22/05/2008
	INTE9800404A	01/01/1997	13/11/1998
	INTE9700269A	01/01/1992	19/07/1997
	INTE9300001A	12/01/1990	02/07/1993
INTE9100354A	03/01/1990	30/08/1991	

Tableau 4-9 : Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur les communes traversées par l'ouvrage

4.12. Synthèse de la caractérisation des aléas naturels

Source	Aléa	Qualification du risque	Prise en compte dans l'EDD	Caractérisation de l'aléa
Hydraulique	Crue	Fort	Oui	Prise en compte d'une crue d'occurrence comprise entre 2 et minimum 100 ans
	Submersion marine	Écarté	Non	/
	Ruissellement	Fort	Oui	Surveillance
	Remontée de nappe	Fort	Non	Surveillance
	Vent	Moyen	Non	Surveillance
	Vague solitaire	Faible	Non	Surveillance
Mixte	Morphodynamique	Moyen	Non	Géré par la mise à jour de l'EDD
	Embâcle	Fort	Oui	Scénario de défaillance (dispositifs de régulation)
	Transport sédimentaire	Faible	Non	Surveillance
	Lave torrentielle	Écarté	Non	/
Climatique	Tempête	Moyen	Non	Surveillance
	Chute de neige	Faible	Non	Surveillance
	Gel et verglas	Faible	Non	Surveillance
	Avalanche	Écarté	Non	/
	Feu de forêt	Faible	Non	Surveillance
	Changement climatique	Moyen	Non	Constaté sur les pluies entre 2006 et 2021 sur la zone d'étude (impact sur le ruissellement) Non décelable sur la Loire Géré par la mise à jour de l'EDD
Géologique	Séisme	Faible	Non	Surveillance
	Mouvement de terrain	Faible	Non	Surveillance
	Retrait gonflement argile	Moyen	Non	Surveillance
	Cavité souterraine / effondrement karstique	Moyen	Non	Surveillance
	Volcanisme	Écarté	Non	/

Tableau 4-10 : Synthèse des aléas pris en compte dans l'EDD

5. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT

5.1. Ouvrages existants

5.1.1. Digos et ouvrages contributifs faisant office de digue

5.1.1.1. Localisation

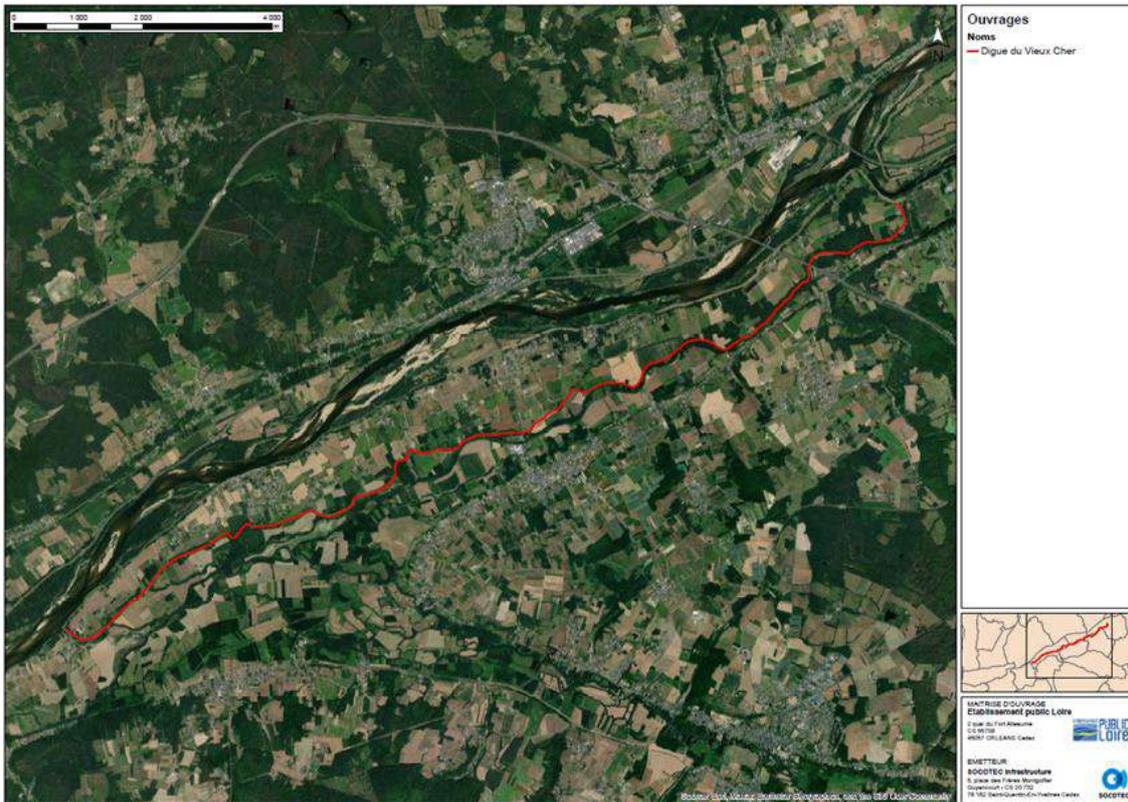


Figure 5-1 : Localisation de la digue du Vieux Cher

Localisation	
Commune	Villandry, Vallères, La Chapelle-aux-Naux et Bréhémont
Coordonnées	Amont : 47°20'15.0"N 0°29'17.2"E // 47.337504, 0.488100 Aval : 47°16'25.7"N 0°19'14.9"E // 47.273807, 0.320802
Parcelles cadastrales	Domaine public 37264000ZB0003, 37264000ZB0004, 37264000ZB0005, 37264000ZB0006, 37264000ZB0007, 37264000ZB0008, 37264000ZB0009, 37264000ZB0010, 37264000ZB0011, 37264000ZB0013, 37264000ZB0014, 37264000ZB0015, 37264000ZB0016, 37264000ZB0017, 37264000ZB0018, 37264000ZB0020, 37264000ZB0021, 37264000ZB0022, 37264000ZB0023, 37264000ZB0028, 37264000ZB0252, 37264000ZB0253, 37264000ZB0259, 37264000ZB0260
Accès	Amont : D16, depuis le déversoir du Vieux Cher sur la digue domaniale Aval : D16 depuis la digue domaniale
Cours d'eau	Le Vieux Cher, l'Indre, la Loire et le Cher
Territoire concerné	Tours Métropole Val de Loire (Villandry) Communauté de Communes Touraine Vallée de l'Indre (Vallères, La Chapelle-aux-Naux et Bréhémont)

Tableau 5-1 : Localisation de la digue du Vieux Cher

5.1.1.2. Caractéristiques

Le remblai de la digue du Vieux Cher est divisé en 4 tronçons selon le référencement existant :

N°	Nom	Longueur	Villes traversées	Description
1	Vieux cher amont	811 m	Villandry	Remblai situé dans une zone semi-urbaine (Villandry)
2	Vieux Cher port Bailby	3 644 m	Villandry Vallères	Remblai situé dans une zone rurale, boisée et agricole, avec passage sur terrains agricoles privés
3	Vieux Cher	1 151 m	Vallères	Remblai situé dans une zone rurale boisée ou agricole
4	Le Vieux Cher	10 974 m	La chapelle-aux-Naux Bréhémont	Remblai situé dans une zone rurale, boisée et agricole, fin en zone semi-urbaine (Bréhémont)

Tableau 5-2 : Description des différents tronçons constituant la digue

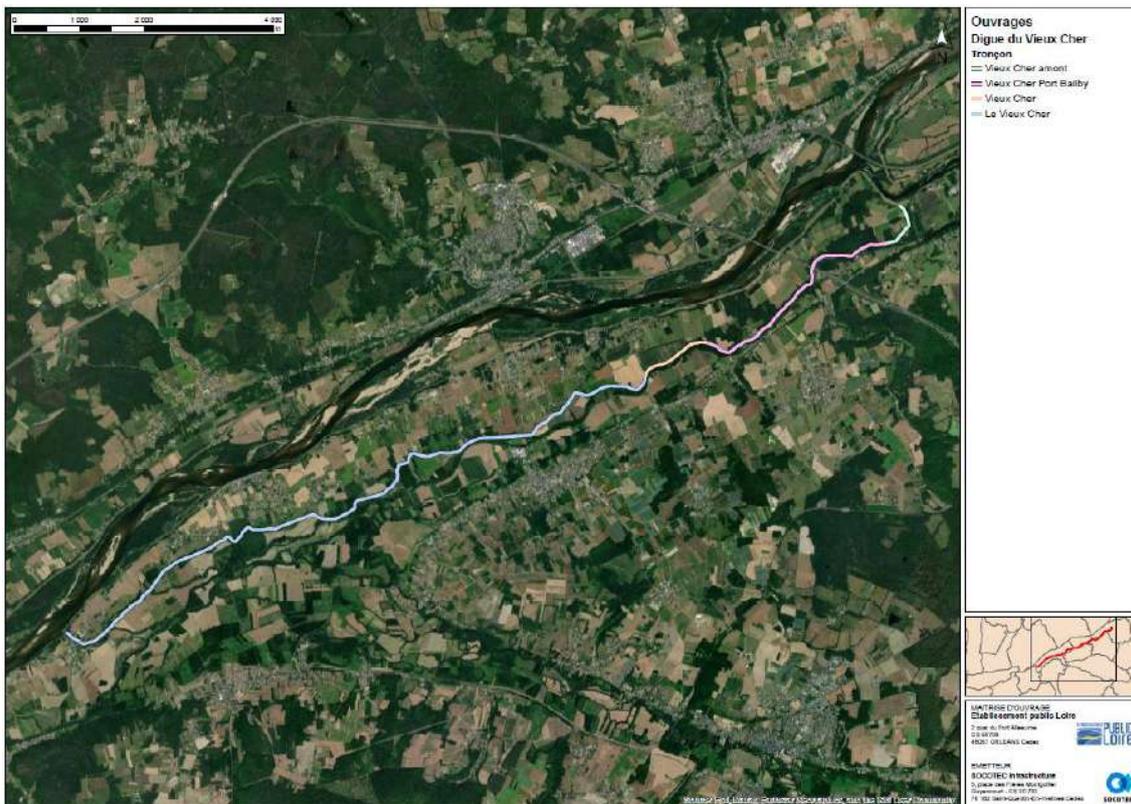


Figure 5-2 : Tronçons de la digue du Vieux Cher

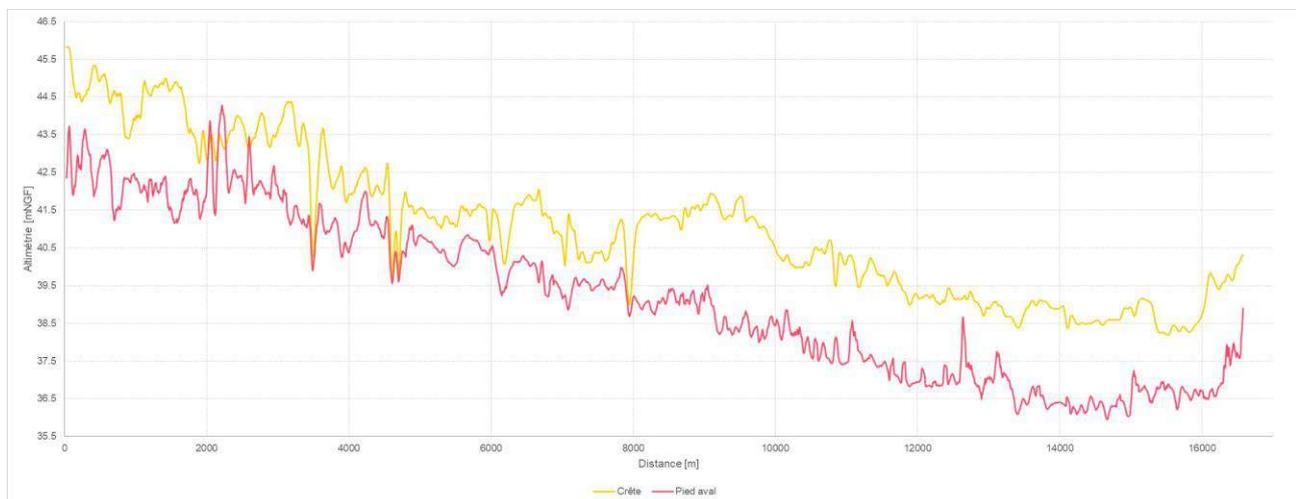


Figure 5-3 : Profil en long de la digue du Vieux Cher (MNT1m lissé sur 50 m)

5.1.1.2.1. Géométrie

Tronçon Vieux cher amont

Les caractéristiques géométriques et altimétriques sont les suivantes :

Caractéristiques géométriques et altimétriques			
Tronçon 1	Nature	Remblai	
	Géométrie	Longueur	811 ml (PM0 à 811)
		Hauteur moyenne	2.3 m
		Largeur moyenne en crête	De 5 m à 10 m
	Altimétrie	Crête de l'ouvrage	De 43.86 mNGF à 46.06 mNGF
OH	1 ouvrage hydraulique traversant		

Tableau 5-3 : Caractéristiques géométriques du tronçon 1 (MNT 1m)



Figure 5-4 : Tronçon 1 de la digue – vue générale (amont avec revêtement et aval sans revêtement)

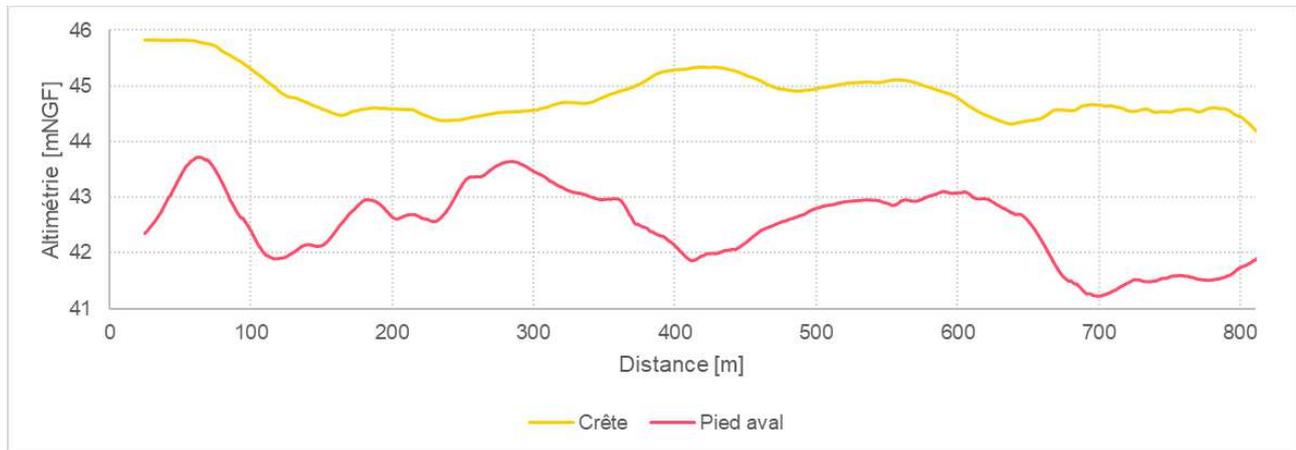


Figure 5-5 : Tronçon 1 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 ml)

Tronçon Vieux Cher port Bailby

Les caractéristiques géométriques et altimétriques sont les suivantes :

Caractéristiques géométriques et altimétriques			
Tronçon 2	Nature	Digue en remblai	
	Géométrie	Longueur	3644 ml (PM811 à 4455)
		Hauteur moyenne	1.6 m
		Largeur moyenne en crête	De 5 m à 10 m
	Altimétrie	Crête de l'ouvrage	De 39.61 mNGF à 45.3 mNGF
OH	1 ouvrage hydraulique traversant		

Tableau 5-4 : Caractéristiques géométriques du tronçon 2 (MNT 1m)



Figure 5-6 : Tronçon 2 de la digue – vue côté terre

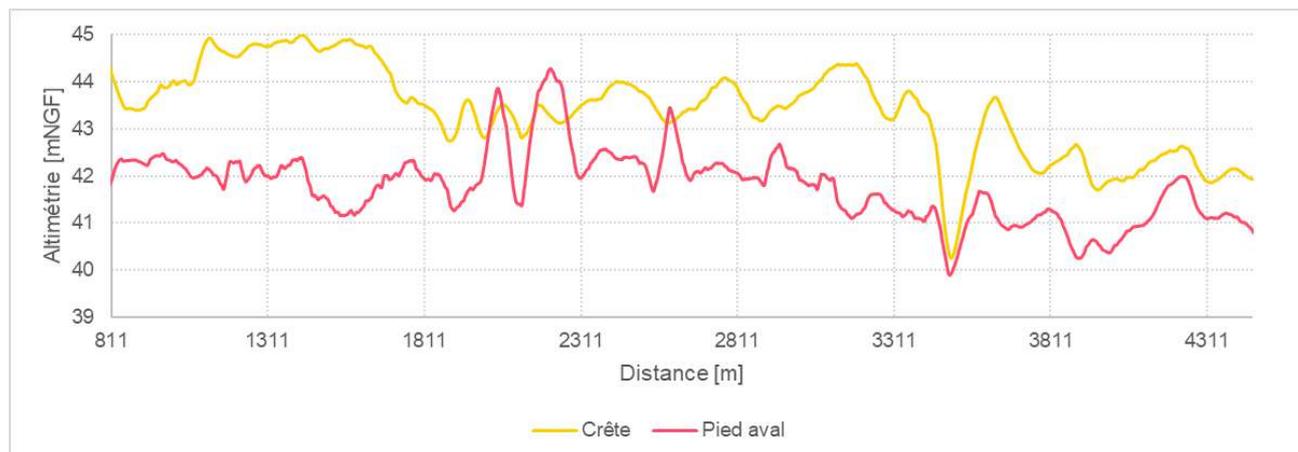


Figure 5-7 : Tronçon 2 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 ml)

Tronçon Vieux Cher

Les caractéristiques géométriques et altimétriques sont les suivantes :

Caractéristiques géométriques et altimétriques			
Tronçon 3	Nature	Digue en remblai	
	Géométrie	Longueur	1151 ml (PM4455 à 5606)
		Hauteur moyenne	0.85 m
		Largeur moyenne en crête	De 5 m à 10 m
	Altimétrie	Crête de l'ouvrage	De 39.21 mNGF à 43.19 mNGF
OH	Aucun		

Tableau 5-5 : Caractéristiques géométriques du tronçon 3 (MNT 1m)



Figure 5-8 : Tronçon 3 de la digue en zone agricole – vue côté terre

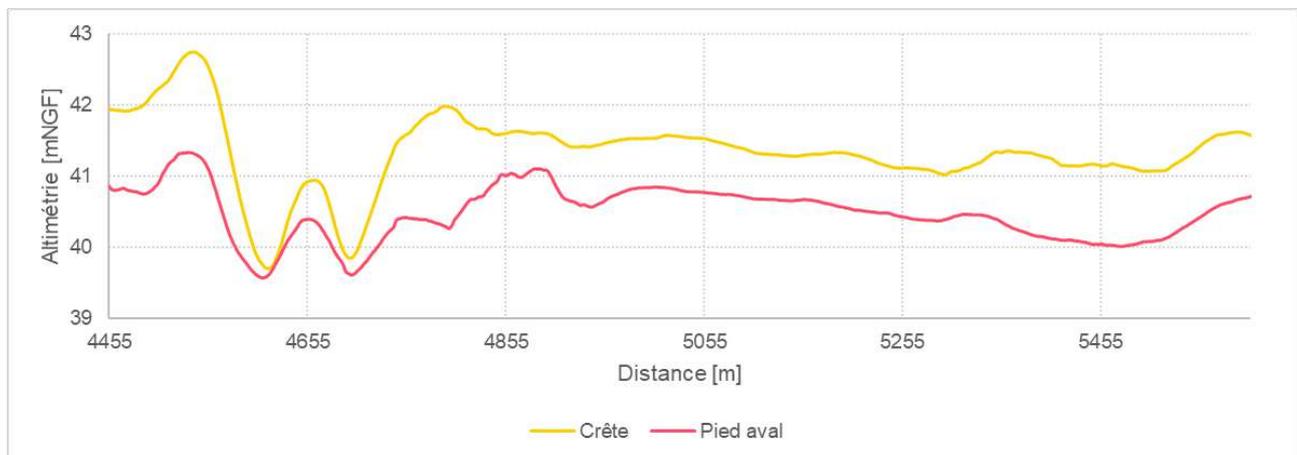


Figure 5-9 : Tronçon 3 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 ml)

Tronçon Le Vieux Cher

Les caractéristiques géométriques et altimétriques sont les suivantes :

Caractéristiques géométriques et altimétriques			
Tronçon 4	Nature	Digue en remblai	
	Géométrie	Longueur	10974 m (PM 16580 à 5606)
		Hauteur moyenne	2.0 m
		Largeur moyenne en crête	De 2.5 m à 10 m
	Altimétrie	Crête de l'ouvrage	De 38.16 mNGF à 42.49 mNGF
OH	6 ouvrages hydrauliques traversant		

Tableau 5-6 : Caractéristiques géométriques du tronçon 4 (MNT 1m)



Figure 5-10 : Tronçon 4 de la digue avec revêtement bitumineux en crête – vue générale



Figure 5-11 : Tronçon 4 de la digue– vue générale

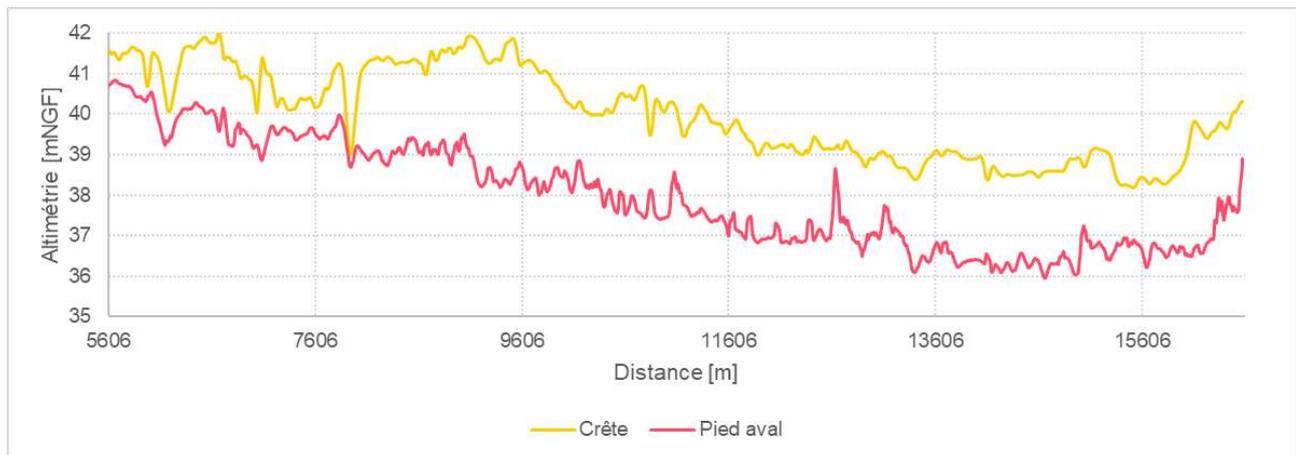


Figure 5-12 : Tronçon 4 de la digue – profil en long (MNT1m lissé sur 50 m)

5.1.1.2.2. Géotechnique

La digue du Vieux Cher a fait l'objet d'investigations géotechniques présentées dans l'annexe dédiée [4].

Les tableaux suivants synthétisent les modèles géotechniques retenus pour chaque tronçon géotechnique de la digue, en se basant à la fois sur la géométrie variable de la digue, sur les investigations géotechniques réalisées et corrélations associées, ainsi que la prise en compte des désordres constatés lors de la visite technique approfondie (VTA) qui induisent à réduire les paramètres mécaniques du sol en place.

- Modèle géotechnique 1 :

PK	Faciès	Hauteur de la couche [m]	γ [kN/m³]	Caractéristiques mécaniques	
				c' [kPa]	φ' [kPa]
Entre PK1 et P1666	Remblai : Sable fin gris	Jusqu'à 5.40 m	18	0	32
	Assise et fondation : Argile grise	> 1 m	19	35	12

Tableau 5-7 : Modèle géotechnique du tronçon 1 retenu

- Modèle géotechnique 2 :

PK	Faciès	Hauteur de la couche [m]	γ [kN/m³]	Caractéristiques mécaniques	
				c' [kPa]	φ' [kPa]
Entre PK 1667 et PK 9060	Remblai : Sable fin	Jusqu'à 5.30 m	18	0	32
	Assise : Sable moyen	Jusqu'à 1.10 m	18	0	34
	Fondation : Argile grise	-	19	35	12

Tableau 5-8 : Modèle géotechnique du tronçon 3 retenu

- Modèle géotechnique 3 :

PK	Faciès	Hauteur de la couche [m]	γ [kN/m³]	Caractéristiques mécaniques	
				c' [kPa]	φ' [kPa]
Entre PK 9061 et PK 12860	Remblai : Limon sableux	Jusqu'à 3.60 m	18	5	26
	Assise : Sable fin	Jusqu'à 1.20 m	18	0	32
	Fondation : Argile grise	> 2 m	19	30	20

Tableau 5-9 : Modèle géotechnique du tronçon 3 retenu

- Modèle géotechnique 4 :

PK	Faciès	Hauteur de la couche [m]	γ [kN/m³]	Caractéristiques mécaniques	
				c' [kPa]	φ' [kPa]
Entre PK 12861 et PK 16550	Remblai : Argile grise	4 m	19	15	20
	Assise et fondation : Argile grise	3 m	19	20	20

Tableau 5-10 : Modèle géotechnique du tronçon 4 retenu

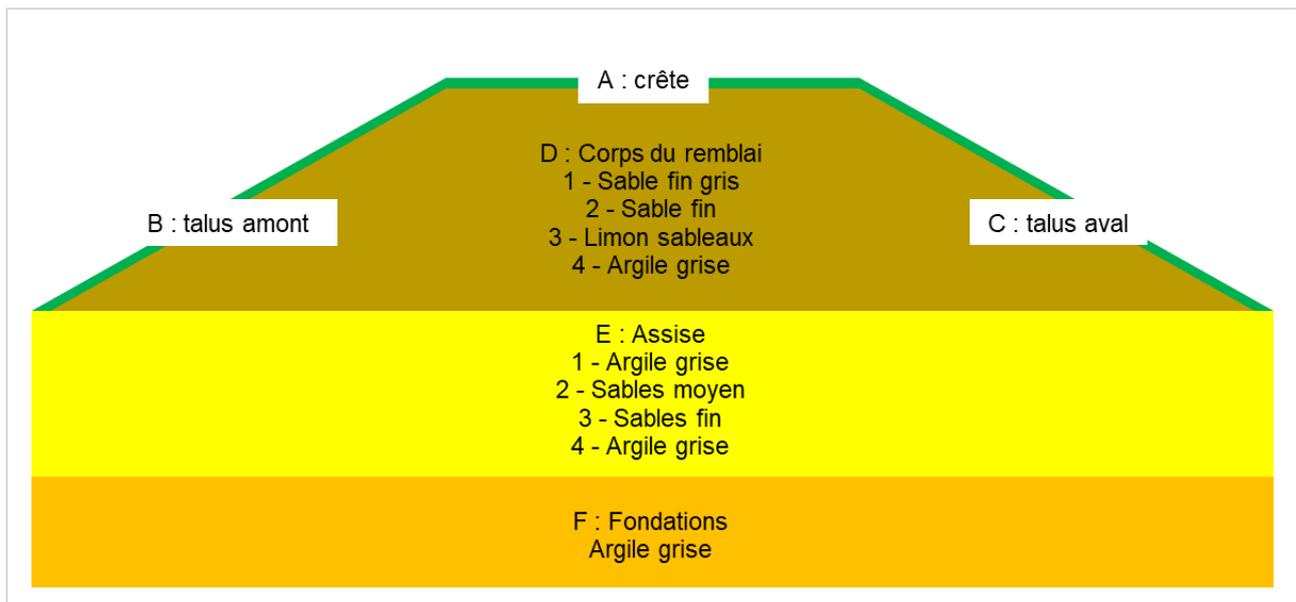


Figure 5-13 : Profil géotechnique de la digue

5.1.1.3. Ouvrages annexes

Les réseaux traversants identifiés sont des concessionnaires suivants :

- Réseaux souterrains :
 - Bouygues ;
 - Enedis ;
 - Orange ;
 - TDF ;
 - Véolia ;
- Réseaux aériens :
 - CITEOS,
 - Enedis ;
 - Orange ;
 - RTE ;
 - TDF.

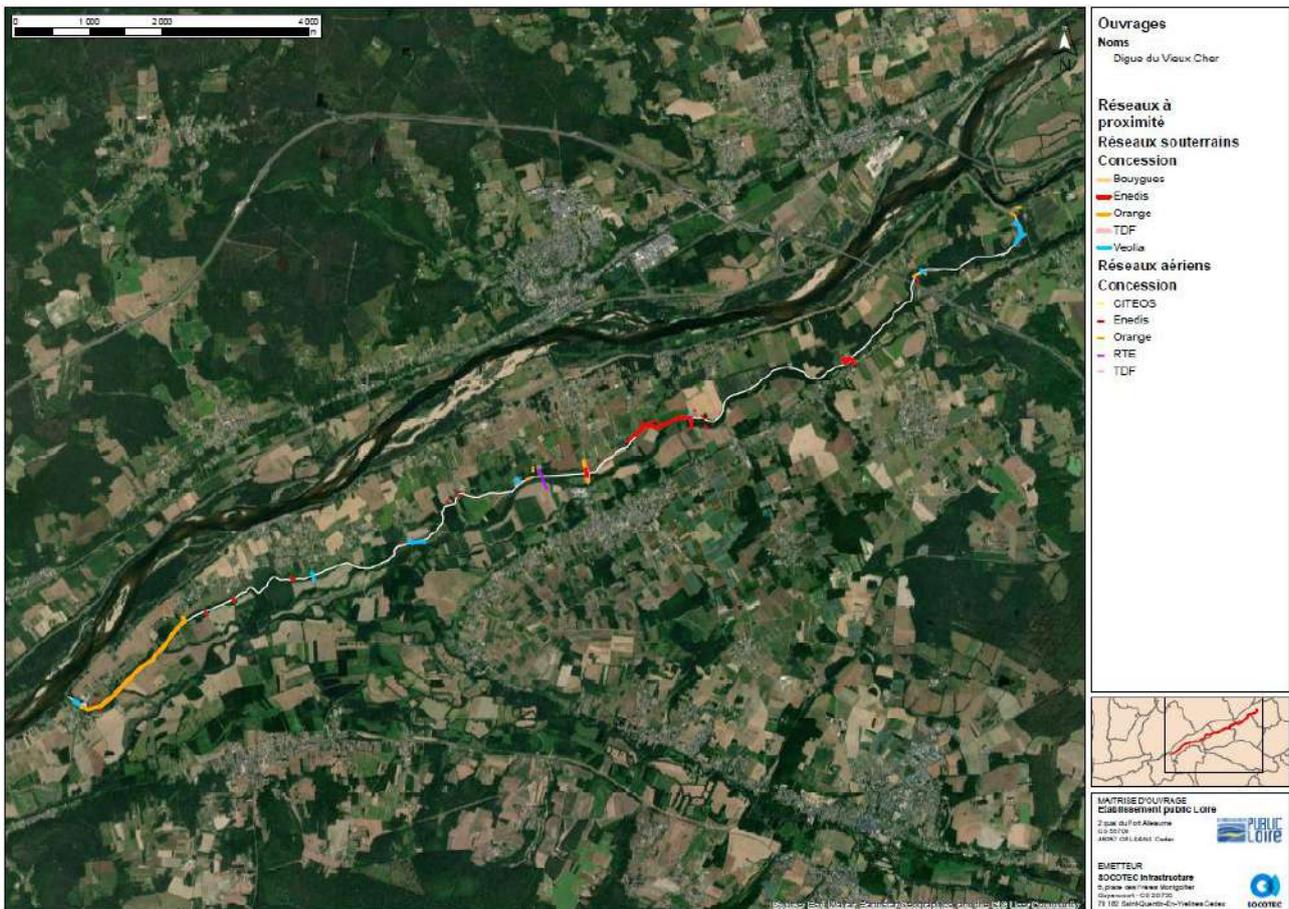


Figure 5-14 : Localisation des réseaux sensibles (issues des DT DICT)

5.1.2. Ouvrages supplémentaires fermant les digues ou assurant le niveau de protection

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

5.1.3. Dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques

La digue du Vieux Cher présente 9 ouvrages hydrauliques :

- 6 vannages ;
- 1 clapet anti-retour ;
- 2 dalots/buses (passages sans organe mobile de régulation).

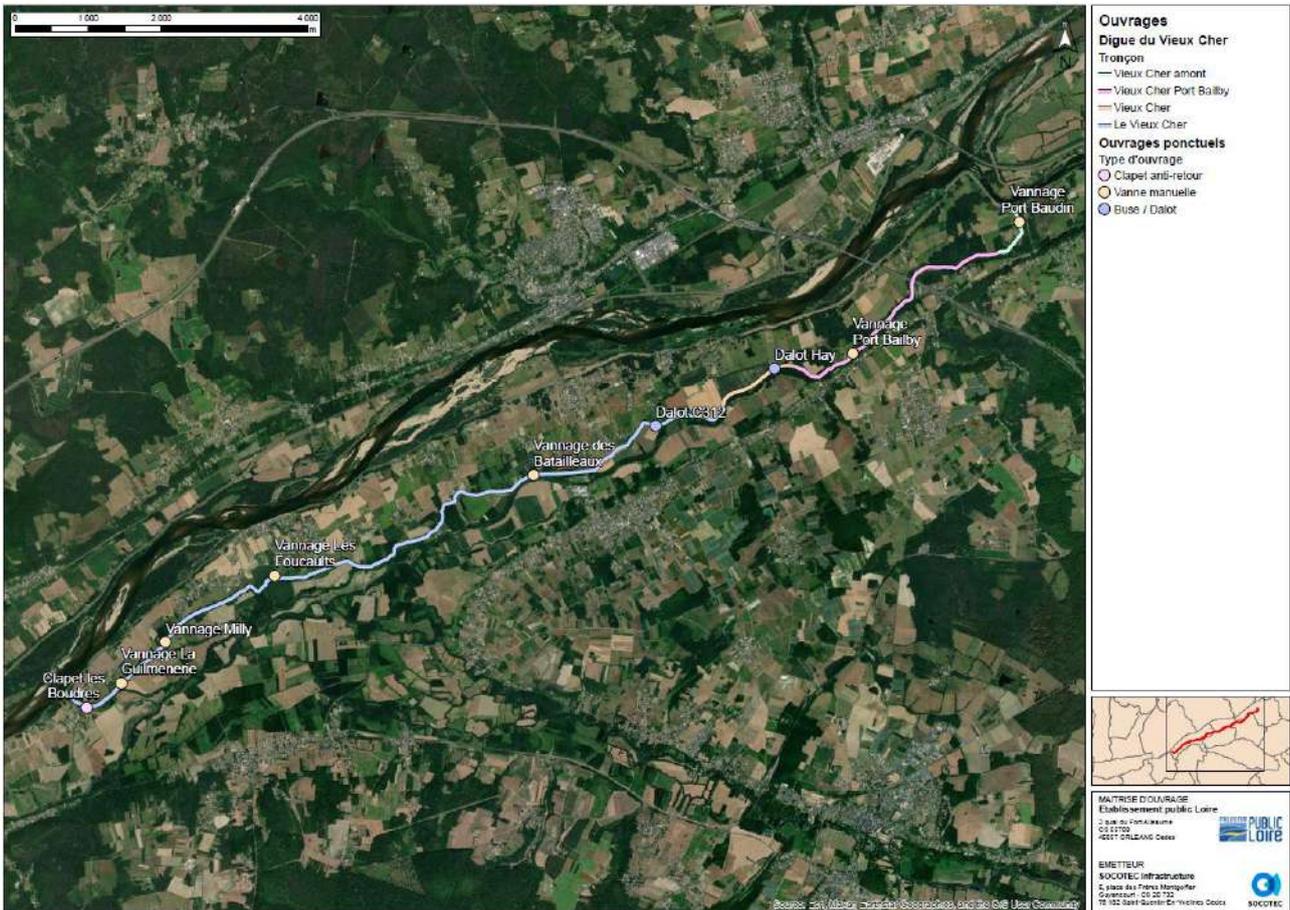


Figure 5-15 : Ouvrages hydrauliques de la digue du Vieux Cher

5.1.3.1. Vannage Port Baudin

Les caractéristiques principales de l’ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage maçonné voûté	
Géométrie	Longueur	Non connue
	Largeur	1.50 m
	Hauteur	5.40 m
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Vanne guillotine manœuvrable manuellement	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Rectangulaire : L 0.85 m x H 1.60 m
Altimétrie	Seuil / fil d’eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	/
	État de base	20 cm d’ouverture
	Niveau d’eau – Alerte crue	Non précisé
	Niveau d’eau – Retour à la normale	Non précisé

Tableau 5-11 : Caractéristiques principales du vannage Port Baudin



Figure 5-16 : Vannage Port Baudin –côté rivière



Figure 5-17 : Vannage Port Baudin –côté terre



Figure 5-18 : Vannage Port Baudin – en crête

5.1.3.2. Vannage Port Bailby

Les caractéristiques principales de l’ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage béton	
Géométrie	Longueur	Non connue
	Largeur	Non connue
	Hauteur	Non connue
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Vanne guillotine manœuvrable manuellement	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Rectangulaire : non connue
Altimétrie	Seuil / fil d’eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	/
	État de base	Environ 20 cm d’ouverture
	Niveau d’eau – Alerte crue	Non précisé
	Niveau d’eau – Retour à la normale	Non précisé

Tableau 5-12 : Caractéristiques principales du Vannage Port Bailby



Figure 5-19 : Vannage Port Bailby – côté rivière



Figure 5-20 : Vannage Port Bailby – côté terre

5.1.3.3. Dalot Hay

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage béton	
Géométrie	Longueur	Non connue
	Largeur	Non connue
	Hauteur	Non connue
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Ouverture	Nombre	1
	Dimension	Carré

Tableau 5-13 : Caractéristiques principales du Dalot Hay



Figure 5-21 : Dalot Hay – côté rivière



Figure 5-22 : Dalot Hay – côté terre

5.1.3.4. Dalot C312

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage maçonné voûté	
Géométrie	Longueur	Non connue
	Largeur	Non connue
	Hauteur	3.70 m
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Aucun	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Rectangulaire : L 0.65 m x H 1.60 m
Altimétrie	Seuil / fil d'eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	/
	État de base	Ouverture à moitié obstruée par l'accumulation de sédiments côté terre
	Niveau d'eau – Alerte crue	Non précisé
	Niveau d'eau – Retour à la normale	Non précisé

Tableau 5-14 : Caractéristiques principales du Dalot C312



Figure 5-23 : Dalot C312 –côté rivière



Figure 5-24 : Dalot C312 –côté terre – zone inaccessible

5.1.3.5. Vannage Les Batailleaux

Les caractéristiques principales de l’ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage maçonné voûté	
Géométrie	Longueur	Environ 9.50 m
	Largeur	Non connue
	Hauteur	3.70 m
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Vanne guillotine manœuvrable manuellement	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Rectangulaire : L 0.75 m x H 2.20 m
Altimétrie	Seuil / fil d’eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	/
	État de base	60 cm d’ouverture
	Niveau d’eau – Alerte crue	Non précisé
	Niveau d’eau – Retour à la normale	Non précisé

Tableau 5-15 : Caractéristiques principales du Vannage Les Batailleaux



Figure 5-25 : Vannage Les Batailleaux – côté rivière



Figure 5-26 : Vannage Les Batailleaux – côté terre



Figure 5-27 : Vannage Les Batailleaux – crête

5.1.3.6. Vannage des Foucaults

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage maçonné voûté	
Géométrie	Longueur	Non connue
	Largeur	Non connue
	Hauteur	3.70 m
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Vanne guillotine manœuvrable manuellement	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Rectangulaire L 1.20 m x H 2.10 m
Altimétrie	Seuil / fil d'eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	Drainage de la partie est de la zone protégée
	État de base	1.60 m d'ouverture
	Niveau d'eau – Alerte crue	Non précisé
	Niveau d'eau – Retour à la normale	Non précisé

Tableau 5-16 : Caractéristiques principales du Vannage des Foucaults



Figure 5-28 : Vannage des Foucaults – côté rivière



Figure 5-29 : Vannage des Foucaults – côté terre

L'ouvrage est monté à l'envers (vanne côté terre) : le maire de Bréhémont a indiqué qu'en cas de crue, un batardeau est mis en place côté rivière.

5.1.3.7. Vannage Milly

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage maçonné voûté	
Géométrie	Longueur	Environ 10 m
	Largeur	Non connue
	Hauteur	3.80 m
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Vanne glissante manœuvrable manuellement par un cric à crémaillère	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Rectangulaire : L 0.73 m x H 1.54 m
Altimétrie	Seuil / fil d'eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	Drainage de la partie ouest du centre urbain jusqu'au lieu-dit de Milly
	État de base	0.80 cm d'ouverture
	Niveau d'eau – Alerte crue	Non précisé
	Niveau d'eau – Retour à la normale	Non précisé

Tableau 5-17 : Caractéristiques principales du Vannage Milly



Figure 5-30 : Vannage Milly – côté rivière



Figure 5-31 : Vannage Milly – côté terre

5.1.3.8. Vannage la Guilmerie

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage maçonné voûté	
Géométrie	Longueur	Environ 9.70 m
	Largeur	Non connue
	Hauteur	3.80 m
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Vanne glissante manœuvrable manuellement par un cric à crémaillère	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Rectangulaire : L 1.26 m x H 1.60 m
Altimétrie	Seuil / fil d'eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	Drainage du val de Bréhémont
	État de base	Ouvert
	Niveau d'eau – Alerte crue	Non précisé
	Niveau d'eau – Retour à la normale	Non précisé

Tableau 5-18 : Caractéristiques principales du Vannage La Guilmerie



Figure 5-32 : Vannage La Guilmerie – côté rivière



Figure 5-33 : Vannage La Guilmerie – côté terre



Figure 5-34 : Vannage La Guilmerie – crête

5.1.3.9. Clapet les Boudres

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Caractéristiques principales		
Génie civil	Ouvrage béton	
Géométrie	Longueur	Non connue
	Largeur	Non connue
	Hauteur	1.60 m
Altimétrie	Crête	Non connue
	Radier	Non connue
Dispositif de régulation	Clapet anti-retour	
Géométrie	Nombre	1
	Dimension	Diamètre : 800 m
Altimétrie	Seuil / fil d'eau	Non connue
	Génératrice supérieure	Non connue
Fonction	Fonction première	Drainage de la partie terminale du val de Bréhémont
	État de base	Fermé
	Niveau d'eau – Alerte crue	/
	Niveau d'eau – Retour à la normale	/

Tableau 5-19 : Caractéristiques principales du Clapet anti-retour les Boudres



Figure 5-35 : Clapet anti-retour les Boudres



Figure 5-36 : Clapet les Boudres – côté rivière



Figure 5-37 : Clapet les Boudres – côté terre

5.1.4. État des ouvrages

Ces ouvrages ont fait l'objet d'une VTA en octobre 2022 dont le rapport est dans l'annexe dédiée [3]

5.1.5. Voies d'accès

L'accès à la digue du Vieux Cher se fait par les voies suivantes :

- Amont : D16, depuis le déversoir du Vieux Cher sur la digue domaniale ;
- Aval : D16 depuis la digue domaniale.

5.2. Ouvrages à construire ou à modifier

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

5.2.1. Description fonctionnelle des dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques, y compris les canaux de dérivation, à créer ou des dispositifs existants qui font l'objet de modification

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

5.2.2. Mise à jour des documents fournis au 5.1 reflétant la nouvelle configuration dans laquelle le système d'endiguement se trouvera une fois les travaux achevés

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

5.2.3. Mesures prises pendant la réalisation des travaux pour limiter les conséquences des crues ou des tempêtes pouvant survenir pendant les travaux

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

5.3. Description fonctionnelle du Système d'Endiguement

L'analyse fonctionnelle permet d'appréhender le système d'endiguement du point de vue des fonctions de ses composants. Elle est de plus en plus détaillée selon les différentes échelles :

- Le système d'endiguement complet ;
- Les éléments formant le système d'endiguement, définis par leurs fonctions hydrauliques ;
- Les composants géotechniques qui constituent la structure des différents tronçons de digues (découpage en profils en travers, types de digues) et se définissent par leurs fonctions géotechniques (corps de digue, protection, recharge étanche, drain, etc.).

Cette analyse à différentes échelles, qui vise la description fonctionnelle du système d'endiguement au travers des nombreuses interactions qui le lient à son environnement, constitue la base sur laquelle est ensuite menée le diagnostic approfondi au chapitre §7.

5.3.1. À l'échelle du Système d'Endiguement complet

La digue du Vieux Cher permet d'empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée et ainsi protéger la ZP contre les inondations par crue des cours d'eau suivants :

- Le Vieux Cher ;
- L'Indre ;
- Le Cher ;
- La Loire.

5.3.2. À l'échelle des éléments de la digue

L'analyse fonctionnelle hydraulique des éléments de la digue du Vieux Cher est la suivante :

Élément du SE	Type	Fonction hydraulique (crues)	Fonctionnement hydraulique	Autre fonction
Digues et ouvrages contributifs faisant office de digues tels que remblais d'infrastructures et murs				
Digue	Tronçon	Maintenir les cours d'eau en crue dans leur lit	Passif	Voie routière Remblai pour réseaux traversant
Ouvrages supplémentaires fermant les digues ou assurant le niveau de protection				
/	/	/	/	/
Dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques				
Vannages	Ponctuel (x6)	Empêcher le reflux des cours d'eau dans la ZP	Actif	Assurer l'évacuation des eaux de la ZP vers le Vieux Cher
Clapet anti-retour	Ponctuel (x1)	Empêcher le reflux des cours d'eau dans la ZP	Passif	Assurer l'évacuation des eaux de la ZP vers le Vieux Cher
Dalots	Ponctuel (x2)	Assurer l'évacuation des eaux de la ZP vers le Vieux Cher	Passif	/

Tableau 5-20 : Récapitulatif des éléments du système d'endiguement et fonctions associées

En cas d'entrée d'eau dans la zone protégée, le ressuyage de la ZP se fait pour partie et dans un premier temps par l'intermédiaire des dispositifs de régulation des écoulements et/ou du linéaire de brèche le cas échéant.

5.3.3. À l'échelle des composants géotechniques de la digue

Les fonctions géotechniques des composants d'un profil type de digue sont les suivantes :

Sous composant		
1	Stabilité mécanique d'ensemble	Conditionne la stabilité mécanique du tronçon
2	Étanchéité	Limite les écoulements vers les autres composants
3	Drainage	Capte les écoulements internes au tronçon et les évacue
4	Non-entraînement des particules en interface	Empêche la migration des particules à l'interface des composants granulaires
5	Auto-filtration	Empêche la migration des particuliers, au sein d'un composant granulaire
6	Résistance à l'érosion externe	Protège contre l'érosion externe (eau, autres agents)
7	Résistance aux agressions externes intrusives	Protège contre les agressions externes intrusives (animaux fouisseurs, racines, etc.)
8	Écoulement	Laisse passer l'eau

Tableau 5-21 : Famille de fonctions géotechniques des composants d'un profil en travers type de digue (INRAE – ex-IRSTEA)

Les fonctions des sous-composants du remblai de la digue du Vieux Cher sont les suivantes :

Sous composant		Fonctions géotechniques permettant d'assurer la fonction technologique du remblai	Contact
A	Crête bitumineuse ou enherbée	Résistance à l'érosion externe	Atmosphère Couches B, C, D
B	Talus amont enherbé	Résistance à l'érosion externe	Cours d'eau / Atmosphère Couches A, D, E
C	Talus aval enherbé	Résistance à l'érosion externe	Atmosphère Couches A, D, E
D	Corps du remblai	Stabilité mécanique d'ensemble Étanchéité Auto-filtration	Couches A, B, C, E
E	Assise	Stabilité mécanique d'ensemble Étanchéité Auto-filtration	Couches D, F
F	Fondation	Stabilité mécanique d'ensemble Étanchéité Auto-filtration	Couche E

Tableau 5-22 : Famille de fonctions géotechniques des composants du remblai

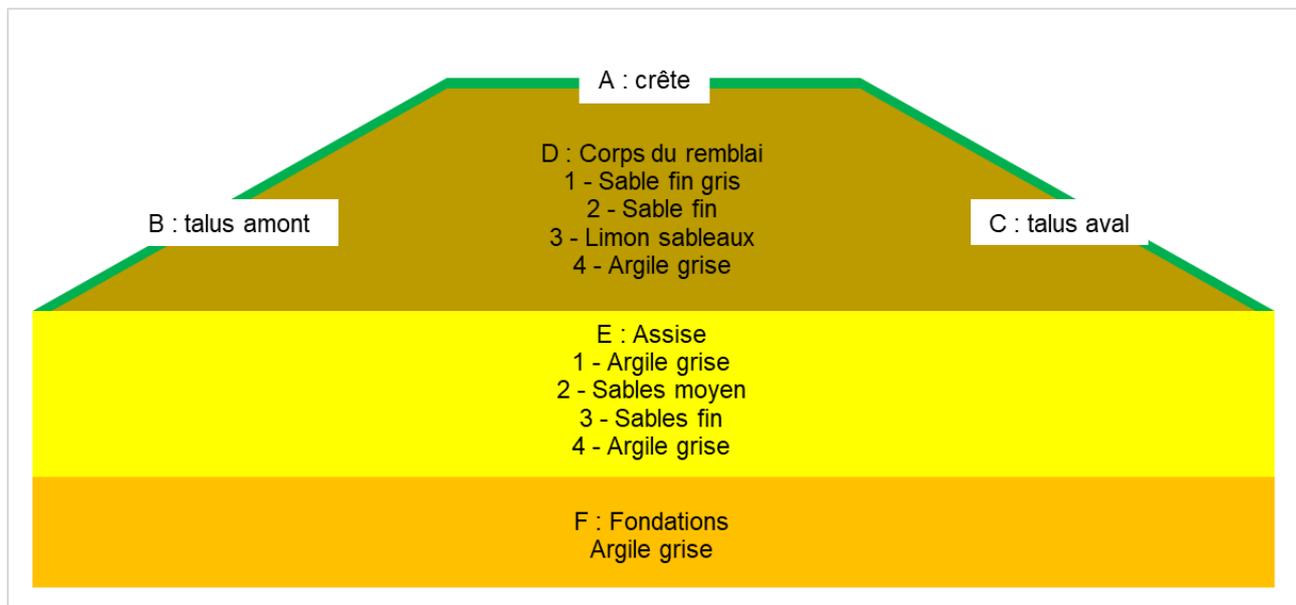


Tableau 5-23 : Famille de fonctions géotechniques des composants du remblai

5.4. Fonctionnement du système d'endiguement

Lors de la montée des eaux

Lorsque le niveau d'eau au droit de l'ouvrage augmente :

- Le remblai permet de maintenir les eaux des cours d'eau dans leur lit mineur ou moyen ;
- Les dispositifs de régulation permettent d'empêcher le reflux des cours d'eau dans la Zone Protégée.

Lors de la décrue

Lorsque le niveau d'eau au droit de l'ouvrage redescend :

- Le remblai voit sa mise en charge diminuer ;
- Les dispositifs de régulation permettent l'évacuation des eaux de la zone protégée voire le ressuyage de la zone en cas d'inondation (par surverse ou défaillance de l'ouvrage).

5.5. Niveaux de protection

Les niveaux de référence de Systèmes d'Endiguement sont ainsi définis :

Niveaux de référence	Définition
Niveau de Protection	Pas d'entrée d'eau dans le système avec risque de rupture limité à 5% ou présence d'un déversoir
Niveau de Sûreté	Entrées d'eau par rupture avec risque de rupture limité à 5%
Niveau de Danger	Entrées d'eau par rupture avec risque de rupture de l'ordre de 50%
Niveau de Submersion	Niveau de protection apparent

Tableau 5-1 : Niveaux caractéristiques des systèmes d'endiguement

La digue du Vieux Cher apporte différents niveaux de protection selon le secteur (cf. figure ci-après) et les cours d'eau desquels elle subit des sollicitations.

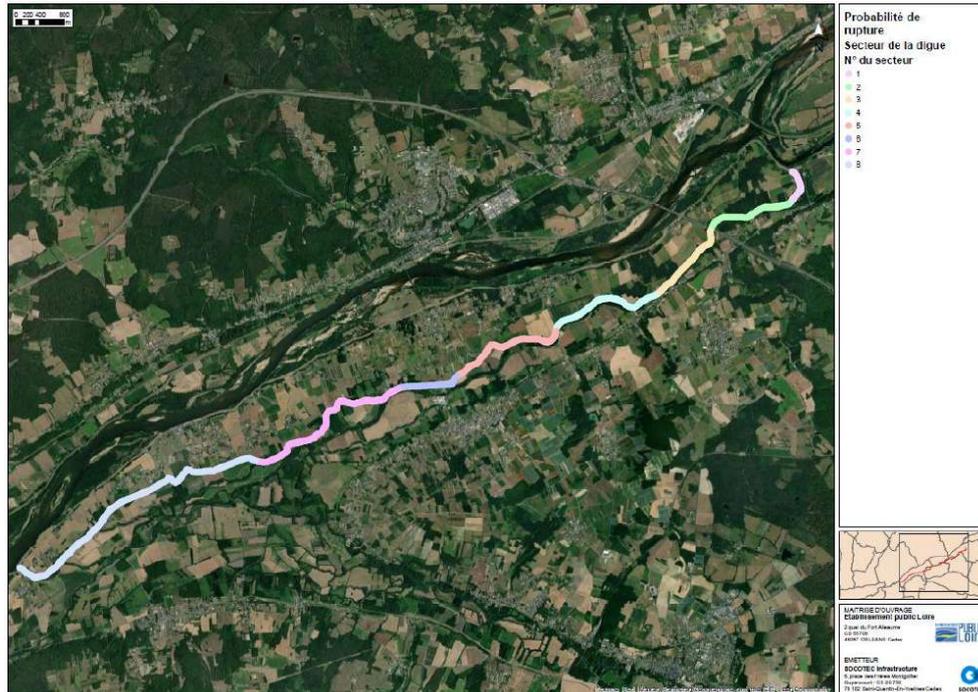


Figure 5-38 : Secteurs de la digue du Vieux Cher

Les niveaux caractéristiques de la digue du Vieux Cher par secteur sont les suivants :

Secteurs	Crues du Vieux Cher (VC)			Crues de l'Indre (I)			Crues de la Loire (L)		
	Niveau	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers
1	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 200
2	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
3	VC 2	VC 5	VC 5	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
4	VC 30	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
5	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 50	L 100	L 100
6	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
7	VC 50	VC 100	> VC 10000	I 2	I 5	> I 100	L 10	L 50	L 500
8	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	< I 2	I 2	I 50	L 10	L 50	L 100

Tableau 5-24 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations

Ces périodes de retour correspondent aux niveaux de référence suivants :

Cours d'eau	Vieux Cher					Indre			Loire			
	Période de retour	Q2	Q30	Q50	Q1000	Q10000	Q2	Q5	Q100	Q10	Q20	Q50
Débits de pointe		6.0	17.5	20.2	36.2	48.6	138	215	530	3122	4682	4948
Niveau de référence [m]		/	/	/	/	/	4.86	5.40	7.53	4.26	5.81	6.02
Niveau de référence [mNGF]		/	/	/	/	/	49.12	49.66	51.79	40.76	42.31	42.52
Pluies sur 24h [m]		41.8	60.2	63.2	83.0	98.3	/	/	/	/	/	/
Lieux de référence		Pluie à Tours				Indre à Monts			Loire à Langeais			

Tableau 5-25 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher

Les graphiques suivants montrent les lignes d'eau des différents niveaux de protection projetées le long de la digue du Vieux Cher selon les différents scénarios étudiés.

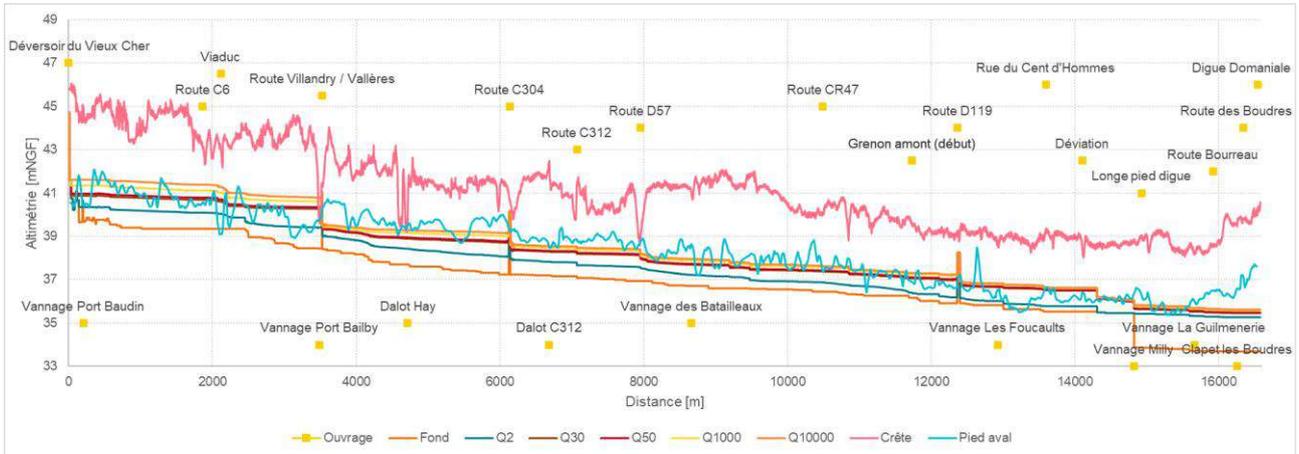


Figure 5-39 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection

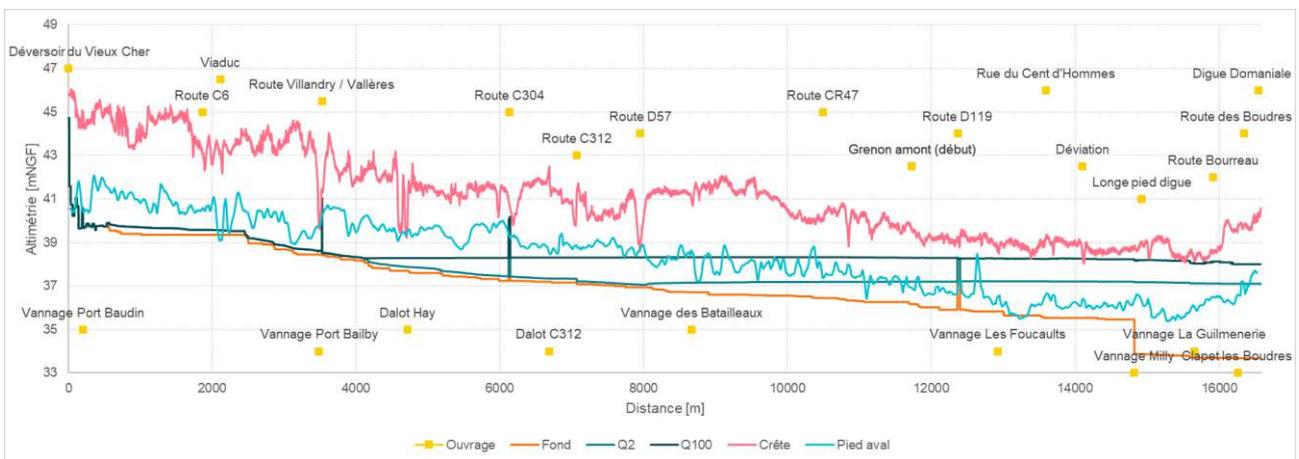


Figure 5-40 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection

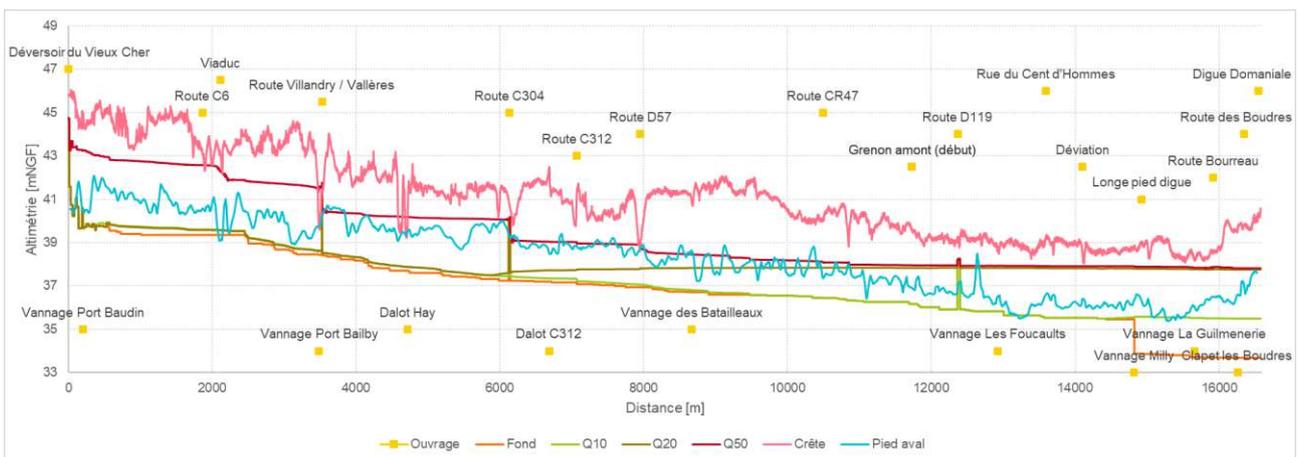


Figure 5-41 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection

5.6. Zone de dissipation d'énergie/Bande de précaution

5.6.1. Définition

À l'arrière des digues et autres ouvrages de protection contre les inondations, est définie une zone particulièrement exposée en cas de rupture de ce type d'ouvrage. Cette zone particulièrement exposée peut prendre plusieurs noms selon les documents :

- Zone de sur-aléa ;
- Zone de Dissipation d'Énergie (ZDE) ;
- Zone de destruction du bâti ;
- Bande de précaution.

Selon l'EDD du système d'endiguement de Villandry/Bréhémont de 2017, « Les études historiques menées sur la Loire ont montré qu'en cas de brèche, la longueur de l'affouillement en arrière de la levée (fosse d'érosion) avait pour ordre de grandeur cent fois la hauteur d'eau au moment de la rupture. »

5.6.1.1. Zone de Dissipation d'Énergie

La définition de la Zone de Dissipation d'Énergie peut varier :

- Dans un document de la DDT37 « PPRI Val de Tours, Val de Luynes PPR, concertation sur l'aléa, la zone de sur-aléa derrière les digues » de 2014, la ZDE est calculée ainsi :

$$L = 100 * h$$

Avec h, la différence d'altitude entre le pied aval de digue côté val et le niveau de submersion de la digue.

- Dans certaines EDD, la ZDE est calculée ainsi :

$$L = 100 * h$$

Avec h, la différence d'altitude entre le pied aval de digue côté val et le niveau de sûreté de l'ouvrage.

5.6.1.2. Bande de précaution

La définition de la bande de précaution est la suivante :

$$L = 100 * h$$

Avec h, la différence d'altitude entre le pied aval de digue côté val et le niveau d'eau atteint pour l'aléa de référence.

Le décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 précise les critères de définition de la bande de sécurité d'une digue ou d'un ouvrage de protection contre les inondations :

- Règle générale (en vert sur la Figure 5-43) :
 - 100 fois la distance entre le niveau d'eau maximal atteint à l'amont de l'ouvrage et le terrain naturel immédiatement derrière lui (h sur la Figure 5-42) du fait de la survenance de l'aléa de référence, comptés à partir du pied de la digue ou de l'ouvrage de protection ;
 - Sans être inférieure à 50 mètres ;
 - Sauf dans le cas où le terrain naturel atteint la cote NGF de la hauteur d'eau de l'aléa de référence ;
- Adaptation possible de cette largeur :
 - Quelle que soit la hauteur de la digue ;
 - Sur la base d'éléments techniques de l'ouvrage fournis par son propriétaire ou son gestionnaire ;
 - Elle ne peut toutefois pas être inférieure à une largeur minimale de 50 mètres ;
- Exception pour les tronçons de système d'endiguement d'une hauteur inférieure à 1.5 mètre (en rouge sur la Figure 5-43) :
 - Cette largeur minimale de 50 mètres peut être ramenée à 33 fois la différence entre le niveau d'eau maximal qui serait atteint à l'amont de l'ouvrage du fait de la survenance de l'aléa de référence et le terrain naturel immédiatement derrière lui ;
 - Sans pouvoir être inférieure à 10 mètres.

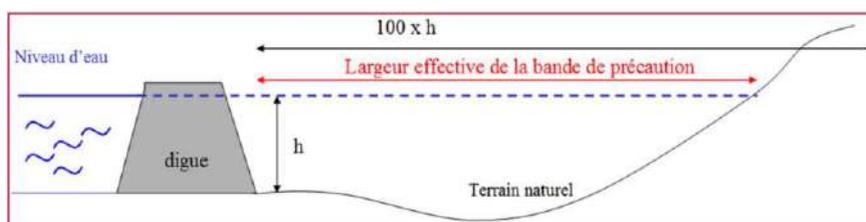


Figure 5-42 : Bande de sécurité d'une digue ou d'un ouvrage de protection (Modalités d'application du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019)

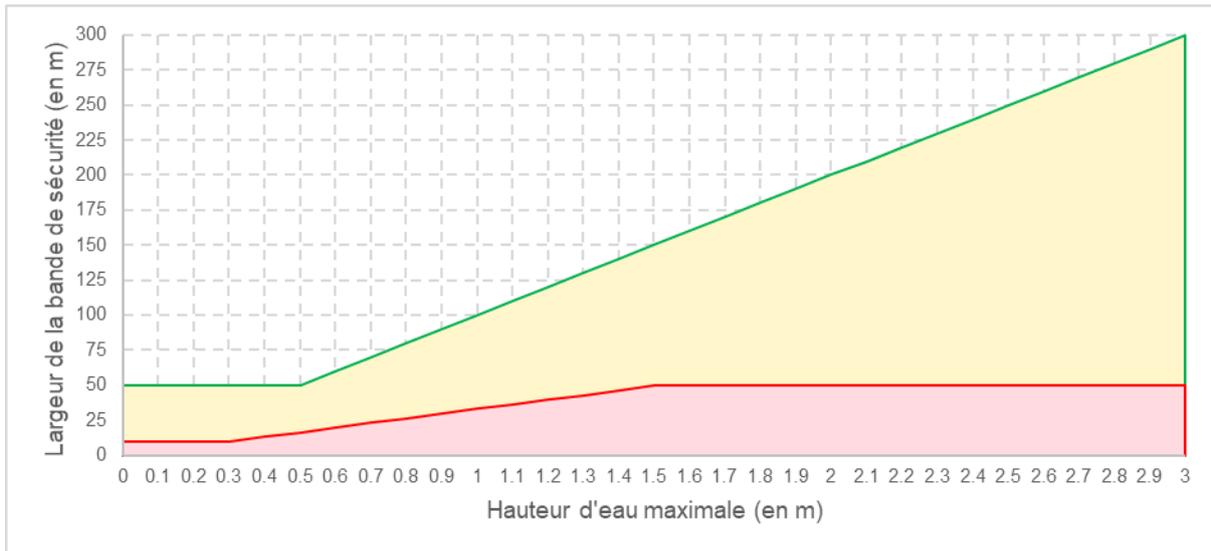


Figure 5-43 : Largeur de la bande de sécurité (Modalités d'application du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019)

5.6.2. Tracé de la bande de précaution du Système d'Endiguement

Il a été choisi de considérer comme ZDE ou bande de précaution la définition du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019, document le plus récent. Étant donné que le niveau atteint par l'aléa de référence est supérieur au niveau de submersion (niveau de protection apparent) de la digue, la hauteur h a été calculée selon la définition du document PPRI de 2014.

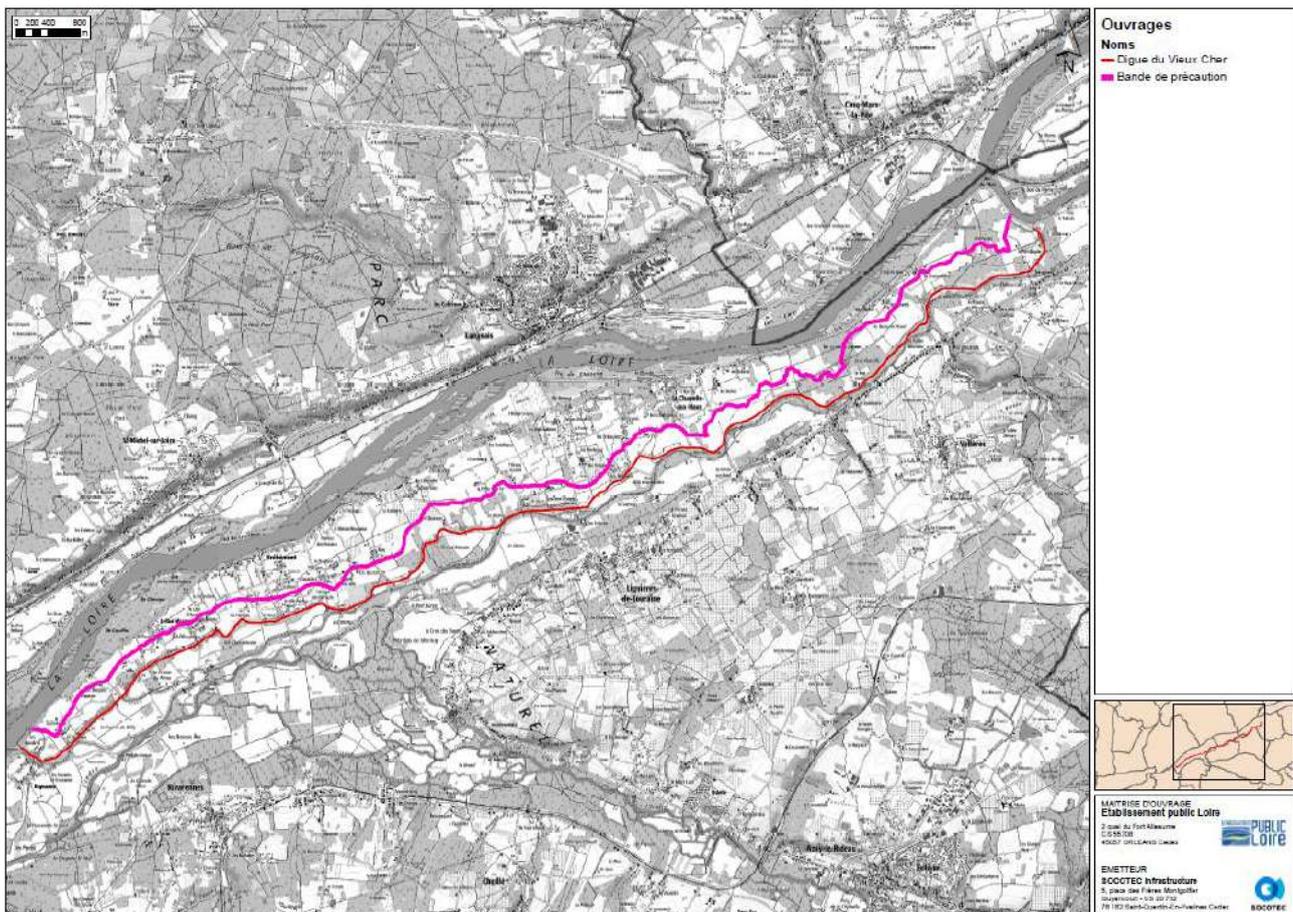


Figure 5-44 : Largeur de la bande de sécurité (Modalités d'application du décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019)

5.7. Dispositifs de suivi des crues

La cartographie suivante indique la localisation des stations hydrométriques à proximité de la digue du Vieux Cher sur les 3 cours d'eau :



Figure 5-45 : Localisation des stations hydrométriques à proximité sur les 3 cours d'eau

5.7.1. Indre

Il existe 8 capteurs de niveaux d'eau référencés sur l'Hydroportail et Vigicrues sur l'Indre :

Le tableau ci-après récapitule les données principales de ces stations :

Numéro de la station	1	2	3	4	5	6	7	8
Commune	Montgivray	Ardentes	Châteauroux	Buzançais	Saint-Cyran-du-Jambot	Perrusson	Cormery	Monts
Code commune (INSEE)	36127	36005	36044	36031	36188	37183	37083	37159
Latitude	6611633	6627518	6635637	6645502	6659092	6668866	6687713	6689152
Longitude	621868	610722	599730	579364	557741	549727	536306	520655
Altitude [mNGF]	191	152	138	107	85	71 (IGN)	58	44
Surface de bassin versant topographique [km²]	227	685	964	1243	1712	1880	2661	3010
Date de début	2008	2013	2005	2007	1968	2012	2005	2005
Données sur les crues théoriques	Module Q-X QJ-X	/	/	Module	Module Q-X QJ-X	Module Q-X QJ-X	/	Module QJ-X

Tableau 5-26 : Caractéristiques des stations sur l'Indre (Hydroportail)

5.7.2. Loire

Il existe 3 capteurs de niveaux d'eau référencés sur l'Hydroportail et Vigicrues dans la zone d'intérêt étendue :

- En amont :
 - Langeais ;
 - Tours ;
- En aval : Saumur.

Le tableau ci-après récapitule les données principales de ces stations :

Numéro de la station	1	2	3
Commune	Tours	Langeais	Saumur
Code commune (INSEE)	37261	37123	49328
Latitude	6702253	6694279	6689207
Longitude	526372	504041	467503
Altitude [mNGF]	47	36	24
Surface de bassin versant topographique [km²]	42 130	56 480	81 200
Date de début	1996	1985	1916
Données sur les crues théoriques	Module, Q-X, QJ-X	Module, Q-X, QJ-X	Module, Q-X, QJ-X

Tableau 5-27 : Stations hydrométriques sur la Loire (Hydroportail)

5.7.3. Cher

La station à proximité est la station de Tours Pont Saint Sauveur (au niveau de la station de Tours sur la Loire).

Le tableau ci-après récapitule les données principales de cette station :

Numéro de la station	1
Commune	Tours
Code commune (INSEE)	37261
Latitude	6 699 550
Longitude	524 804
Altitude [mNGF]	47
Surface de bassin versant topographique [km²]	13 615
Date de début	1985
Données sur les crues théoriques	Module, Q-X, QJ-X

Tableau 5-28 : Caractéristiques de la station de Tours Pont Saint Sauveur (Hydroportail)

5.7.4. Vieux Cher

Le Vieux Cher ne fait pas l'objet d'un suivi des crues.

Il n'y a pas d'échelle limnimétrique référencée le long du cours d'eau.

Pour les crues du vieux Cher, la pluviométrie peut être suivie à la station de Tours.

6. RETOUR D'EXPÉRIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTÉGÉE ET LE SYSTÈME D'ENDIGUEMENT

Depuis 2017, date de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont, les 4 communes de la zone d'étude n'ont plus connu de crue.

Le retour d'expérience se base donc sur l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont de 2017.

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

Depuis décembre 2003, le système d'endiguement du val de Villandry/Bréhémont n'a pas connu d'événements susceptibles de le mettre réellement à l'épreuve.

En conséquence, les enseignements sont à rechercher dans les archives des crues historiques anciennes survenues au niveau du secteur d'étude, voire plus généralement à l'échelle de la Loire. On retiendra toutefois que le système de protection a évolué au fur et à mesure des crues de la Loire, du Cher et de l'Indre, dans une volonté de protéger les populations exposées.

L'ensemble des informations historiques ayant pu être collectées sur les levées du val de Villandry/Bréhémont sont présentées dans la note spécifique intitulée « Étude accidentologique des systèmes endigués et retour d'expérience », consultable en Annexe 3.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

6.1. Liste et la description des incidents et accidents survenus sur le Système d'endiguement

6.1.1. Défaillances fonctionnelles ou structurelles des ouvrages composant le Système d'Endiguement

D'après les informations fournies par le gestionnaire, aucune défaillance fonctionnelle ou structurelle n'a été identifiée sur la digue du Vieux Cher autre que ceux identifiés lors de la VTA.

6.1.2. Crues historiques recensées

6.1.2.1. Crues du Vieux Cher

Il n'y a aucune donnée de crues historiques sur le Vieux Cher recensée.

Il n'y a aucun moyen de mesures (débit, hauteur d'eau, etc.) permettant d'identifier des crues historiques passées.

6.1.2.2. Crues de l'Indre

Le tableau suivant présente la liste des principales crues historiques de l'Indre :

Crues	Période de retour associée
Novembre 1770	> 100 ans
Novembre 1910	-
Décembre 1982	≈ 100 ans

Tableau 6-1 : Principales crues historiques de l'Indre (EDD Villandry/Bréhémont, Antéa, 2017)

Le site Vigicrues liste les crues historiques suivantes sur la station de Monts (la plus en aval sur le cours d'eau qui est également la plus proche de la zone d'étude) :

- Crue du 2 juin 2016 : 236 m³/s ;
- Crue du 6 mars 2007 : 159 m³/s.

6.1.2.3. Crues du Cher

Les crues historiques du Cher relevées à Tours sont les suivantes :

Date de la crue	Débits de pointe à Tours Pont Saint Sauveur [m ³ /s]	Hauteurs d'eau à Tours Pont Saint Sauveur (aval) [m]	Période de retour selon l'EDD de Villandry/Bréhémont de 2017
Février 1977	835	4.94	
Janvier 1982	935	-	
Mars 1988	875	-	
Mai 2001	807	4.84	~10 ans
Février 2003	745	4.61	5 ans < T < 10 ans
Juin 2016	839	4.98	
Janvier 2018	460	3.31	

Tableau 6-2 : Principales crues recensées à Tours (www.vigicrues.gouv.fr)

6.1.2.4. Crues de la Loire

6.1.2.4.1. Listes des crues

Le tableau suivant présente la liste des principales crues historiques de la Loire observées à Langeais.

Crues	Cote à l'échelle de Langeais (m)	Crues	Cote à l'échelle de Langeais (m)
Janvier 1843	4.85	Avril 1932	5.01
Mars 1845	4.71	Mai 1940	5.01
Octobre 1846	6.30	Janvier 1941	4.91
Avril 1847	4.76	Décembre 1944	5.21
Octobre 1855	4.99	Février 1945	4.66
Juin 1856	6.65	Décembre 1952	5.05
Septembre 1866	6.80	Mars 1957	5.05
Octobre 1872	5.24	Décembre 1968	5.22
Mars 1895	4.71	Janvier 1969	5.01
Février 1897	4.66	Mars 1970	4.88
Mars 1901	4.54	Juin 1977	4.76
Avril 1902	4.88	Décembre 1981	4.85
Octobre 1907	5.35	Janvier 1982	5.56
Décembre 1910	4.99	Mai 1983	4.66
Avril 1919	4.91	Mai 1985	4.66
Mars 1923	5.09	Mars 1988	4.76
Janvier 1924	5.38	Mai 2001	4.54
Mai 1926	5.08	Décembre 2003	4.19
Mars 1927	4.80	Janvier 2018	2.92

Tableau 6-3 : Principales crues historiques de la Loire observées à Langeais

L'altitude du zéro de l'échelle limnimétrique de Langeais est de 36.37 mNGF.

La plus forte crue connue sur le secteur d'étude est celle du 3 juin 1856, avec une hauteur d'eau à l'échelle de Langeais de 6.65 m et un débit de l'ordre de 7 090 m³/s. Plus récemment, la crue de décembre 2003 a atteint un débit de 3 180 m³/s à Langeais.

Crues	Débits estimés à Langeais	Hauteur à l'échelle de Langeais (m)	Occurrence associée
Octobre 1846	5 775 m ³ /s	6.30	70 ans < T < 100 ans
Juin 1856	7 090 m ³ /s	6.65	T ≈ 200 ans
Septembre 1866	6 750 m ³ /s	6.80	170 ans < T < 200 ans
Janvier 1982	-	5.55	
Mai 2001	-	4.51	
Décembre 2003	3 180 m ³ /s	4.19	T ≈ 10 ans

Tableau 6-4 : Crues historiques de la Loire à Langeais

6.1.2.4.2. Crue de 2003

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

La crue récente de 2003 n'a quasiment pas mis en charge la ligne de défense principale du val de Villandry/Bréhémont. Seul le tronçon de « Bois chétif aval » a été sollicité par surverse et par remous à son extrémité aval au niveau de la confluence avec l'Indre.

L'état de vigilance orange avait été toutefois déclenché. Il n'a pas été constaté de dégâts sur la levée ni d'évolution morphologique de la Loire.

Par ailleurs, suite aux fortes pluies de mai 2012, le talus de la digue du Cher à Villandry s'est affaissé sur une longueur d'environ 40 m en rive gauche côté rivière en amont du lieu-dit « les Hucaudières ». Une réparation par apport de matériaux argileux a été réalisée fin juillet de la même année mais un second affaissement est apparu quelques jours après l'intervention.

Une étude géotechnique a alors été réalisée par le Centre d'Étude Techniques de l'Équipement (CETE) d'Angers qui indique que cet affaissement s'est produit dans une zone fragilisée par la pluviométrie, la forme concave du lit du Cher à cet endroit, la composition hétérogène des matériaux constituant le corps de digue et l'hydrologie pouvant potentiellement affouiller le pied de digue.

Compte tenu des conditions de saturation des matériaux de la digue et des conditions climatiques lors de la remise des conclusions de l'étude géotechnique, la DREAL Centre a demandé de ne pas réaliser de travaux de réparation du corps de la digue dans l'immédiat. En attendant la réalisation de travaux définitifs, la solution retenue a été de stabiliser le glissement par le pied par un massif d'enrochement 60/300 kg et de protéger des eaux de ruissellement la partie de digue mise à nue par une géomembrane.



Figure 6-1 : Premier affaissement mai 2012 et Affaissement après première réparation début août – Évolution du talus de la levée de Villandry (source : DDT 37)



Figure 6-2 : Piste d'accès dans le lit du Cher, enrochements sur la partie affaissée – Évolution du talus de la levée de Villandry (source : DDT 37)

Cet événement illustre l'importance de traiter les affouillements en pied de levée en priorité, puisqu'ils sont capables d'entraîner un glissement partiel ou total de la levée en dehors des périodes de crues. Après le glissement, la levée est fragilisée, ce qui la rend plus vulnérable en cas de nouvel épisode au risque d'érosion externe (destruction du perré) et au risque d'érosion interne (la levée ayant été amputée d'une partie de sa largeur).

Cet exemple met également en évidence l'importance de la présence de chemins de service en pied de levée, indispensables pour entretenir mais aussi pour intervenir en urgence sur un tronçon de digue.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

6.1.2.5. PPRI

Le PPRI de Bréhémont indique les débits des crues de la Loire pour les crues historiques les plus importantes et les hauteurs d'eau correspondantes au droit des échelles de crues :

Crue	Débit maximal de la Loire à Langeais [m ³ /s]	Hauteur maximale [m]			
		Cinq-Mars-la-Pile	Langeais	La Chapelle sur Loire	Port Boulet
1846	5 500	6.33	6.3	/	5.84
1856	6 000	6.25	6.65	7.03	6.25
1866	6 000	6.85	6.8	6.83	6.08

Tableau 6-5 : Caractéristiques des crues de référence du PPRI (PPRI Bréhémont-Langeais, 2002)

6.2. Exemples connus d'incidents et d'accidents survenus sur des ouvrages de même type

6.2.1. Crues de la Loire : conséquences de la crue de 2003 sur d'autres levées

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

On peut citer quelques incidents qui se sont produits sur d'autres levées de la Loire lors de la crue de décembre 2003 :

- La découverte de terriers de blaireaux traversant les digues de Beffes et Herry, aux lieux-dits les Rapins, les Barreaux et les Butteaux. Alors que la crue était annoncée, dans la nuit du 6 au 7 décembre 2003, une pelle mécanique a été mobilisée pour fermer les terriers et empêcher la formation quasi-certaine d'une brèche. L'intervention a été faite en urgence alors que la crue était déjà en cours. Le chauffeur de la pelle et le contrôleur de la DDE ont dû être évacués par les pompiers. Une semaine après la crue, les terriers étaient déjà réapparus ;



Figure 6-3 : Levée de Beffes-Herry – réparations d'urgence lors de la crue de 2003 (crédit photo DREAL Centre)

- Deux brèches se sont produites sur des endiguements plus modestes que les levées domaniales de la Loire :
 - Une sur une digue en bordure de la Loire à Montrond-les-Bains, dans le département de la Loire (brèche de 20 mètres) ;

- Une sur la digue de Mauboux en bordure de l'Allier, à Livry, dans le département de la Nièvre (digue de 2 m de hauteur, brèche de 40 m, fosse d'érosion de 50 m de diamètre, ce qui a causé la mort d'un troupeau de 130 bêtes) ;



Figure 6-4 : Brèche dans la digue de Mauboux à Livry - crue de 2003 (source : crédit photo DREAL Centre)

- Sur l'ensemble du linéaire où les digues ont été en eau, il a été noté des remontées de nappe quasi-systématiques en arrière immédiat de la digue ;
- Les déversoirs de Passy, Léré et Saint-Martin-sur-Ocre ont fonctionné. Les deux premiers sont établis au niveau du terrain naturel, le troisième est en maçonnerie sans fusible. Les hauteurs d'eau au-dessus des déversoirs ont été respectivement de 0.50 m, 0.60 m et 0.20 m. Le déversoir du Bec d'Allier a été à la limite du fonctionnement. Les autres déversoirs n'ont pas fonctionné (cotes de fonctionnement supérieures à la crue de 2003).



Figure 6-5 : Déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre aujourd'hui et lors de la crue de décembre 2003 (source : Google Earth et crédit photo DREAL Centre)

6.2.2. Incidents hors crue sur d'autres systèmes d'endiguement de la Loire

Plusieurs ouvertures de fontis, vraisemblablement d'origine karstique, se sont produites dans la levée d'Orléans et celle de Bou ces dernières années. En 2010, l'effondrement total d'une maison s'est produit à 100 mètres d'une ancienne digue, à Saint-Pryvé-Saint-Mesmin en aval d'Orléans.



Figure 6-6 : Effondrement karstique sur la digue à Jargeau en 2009 et proche de la digue Saint-Pryvé-Saint-Mesmin en 2010 (source : crédit photo DREAL Centre)

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

6.2.3. Retour d'expérience sur d'autres systèmes d'endiguement

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

Ce paragraphe ne constitue pas un retour d'expérience à proprement parler, mais plutôt un examen rapide des enseignements que peuvent apporter les événements récents survenus sur d'autres systèmes d'endiguement dont certaines caractéristiques sont proches de celles des levées de la Loire.

Accident	Nombre victime	Année	Enseignement pour l'Étude de dangers
Tempête en mer du Nord et rupture de digues en Hollande	1 800	1953	L'évacuation du val est indispensable à partir d'un certain niveau d'eau
Crues du Rhône et rupture des digues de la Camargue	-	1993-1994	Formation de brèches au niveau des canalisations d'irrigation
Crue de l'Oder en Pologne et en Allemagne	-	1997	- Trace d'un réseau de trous laissés par les racines d'un ancien boisement à la périphérie d'une brèche - Techniques de réparation d'urgence
Crue de l'Agly et rupture de la digue	35	1999	Rupture suite à une surverse au niveau de la station d'épuration de Saint-Laurent-de-la-Salanque
Crue du Gard et rupture de digues	8	2002	Danger à proximité de la rupture
Crue du Rhône et rupture d'un cordon de digue près d'Arles au niveau d'une trémie sous la voie ferrée	-	2003	- Protection d'urgence pour éviter le passage de l'eau sur la trémie conduisant à la surverse de la digue. - Relogement d'une centaine de personnes pendant 1 an
Cyclone Katrina et rupture des digues du Mississippi à La Nouvelle-Orléans	1 500	2005	Nombreuses victimes derrière des brèches malgré la décision d'évacuer
Tempête Xynthia et surverse des digues par la mer	50	2010	- Pas de brèche mais une surverse d'un mètre sur la digue de La Faute-sur-Mer ; formation d'un renard hydraulique lors du retour de l'eau à la mer - Certaines brèches liées à des canalisations
Crues de la Vistule en Pologne et rupture des digues sur un très long linéaire	-	2010	- 2 crues centennales consécutives (1 mois d'intervalle) - Phénomène déjà observé sur la Loire (trois pics de crue) en 1856 - Nombreuses brèches liées à la présence de terriers d'animaux fouisseurs

Accident	Nombre victime	Année	Enseignement pour l'Étude de dangers
Crue de l'Agly et rupture de la digue	-	2013	<ul style="list-style-type: none"> - Forte diminution de la capacité hydraulique du lit mineur en raison de la présence abondante de végétation : débit de surverse bien inférieur à celui estimé théoriquement - Brèche sur environ 100 m de large, a priori déclenchée par la surverse - Fosse de 4 m de profondeur en aval de la brèche

Tableau 6-6 : Principaux enseignements issus de retours d'expérience issus d'autres systèmes d'endiguement (source DREAL Centre)

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

6.3. Scénarios potentiels de défaillance du Système d'Endiguement

6.3.1. Défaillances potentielles

Pour les systèmes d'endiguement, les potentiels de dangers à considérer résultent d'une inondation à la suite de :

- Une défaillance fonctionnelle du SE : dysfonctionnement d'un organe du SE : vanne, pompage, clapet, etc. ;
- Une défaillance structurelle du SE : brèche ;
- Une surverse du SE sans défaillance (ni structurelle ni fonctionnelle) de l'ouvrage ;
- Une surverse avec défaillance généralement structurelle.

Dans ce chapitre sont détaillés les mécanismes d'inondation dans la zone protégée et les facteurs de sensibilité associés, l'objectif étant d'identifier les potentiels de dangers susceptibles de se produire sur l'ouvrage étudié.

6.3.1.1. Défaillance structurelle : mécanismes de rupture

Les principaux mécanismes de rupture observables sur les ouvrages sont les suivants :

- Rupture par instabilité d'ensemble de la digue ;
 - Grand glissement ;
 - Tassement ;
 - Liquéfaction ;
 - Soulèvement hydraulique du pied côté terre ;
- Rupture par érosion interne ;
 - Érosion régressive (renard hydraulique) ;
 - Érosion de conduit ;
 - Suffusion ;
 - Érosion de contact ;
 - Boulance ;
- Rupture par érosion externe :
 - Érosion de talus ;
 - Affouillement en pied côté eau ;
- Rupture par surverse.

6.3.1.1.1. Rupture par instabilité d'ensemble

En général, le profil et les caractéristiques des ouvrages et de leurs fondations (pentes de talus, largeur crête, matériaux, protection, fondations) assurent la stabilité d'ensemble a minima en situation courante pour tous les ouvrages et en situation de crue et décrue pour l'événement de dimensionnement pour les ouvrages de protection contre les inondations.

Les phases de rupture par instabilité d'ensemble sont :

La charge d'une crue et sa décharge (décrue), les tassements, les actions (charge d'exploitation) et la liquéfaction (séisme) peuvent entraîner un grand glissement brusque et l'effondrement sur toute sa hauteur d'un ouvrage.

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- La **géométrie** : un profil avec des pentes de talus fortes (largeur de crête faible, fruits supérieurs 1.5H/1V) ne favorise pas la stabilité de l'ouvrage ;
- Les **caractéristiques géotechniques** : les faibles caractéristiques mécaniques des matériaux (faible compacité) ;
- Les **caractéristiques structurelles** : l'absence de protection, de confortement ;

- La nature et l'état des **fondations** : la présence d'une couche argileuse sous-consolidée au niveau de la fondation contribue à l'instabilité d'ensemble de l'ouvrage ;
- Une **piézométrie élevée** dans l'ouvrage : absence de drainage, présence de couches hétérogènes ;
- Les caractéristiques de la **crue** :
 - La **hauteur** de charge de la crue ;
 - La **durée** de la crue.

6.3.1.1.2. Rupture par soulèvement hydraulique

Mécanisme de rupture par érosion interne :

L'instabilité par soulèvement du pied aval apparaît lorsque l'ouvrage repose sur une couche mince imperméable, reposant elle-même sur une couche très perméable (alluvions).

Les fortes pressions interstitielles créent alors un soulèvement en pied aval.

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- Les caractéristiques **géotechniques** (dont nature des matériaux constitutifs) ;
- Les caractéristiques de la **crue** :
 - La **hauteur** de charge de la crue ;
 - La **durée** de la crue.

6.3.1.1.3. Rupture par érosion interne

Mécanisme de rupture par érosion interne :

Suivant la perméabilité des terrains rencontrés, il se produit des écoulements dans l'ouvrage. L'érosion interne intervient lorsque la force d'écoulement est supérieure à la somme des autres forces appliquées sur les grains (pesanteur, forces de contact) soit lorsque le gradient hydraulique H/L est supérieur à un seuil appelé gradient critique des matériaux constituant l'ouvrage.

De manière générale, l'érosion interne ne se développe que si deux conditions nécessaires sont réunies :

- L'arrachement des particules ;
- Leur transport.

La rupture à la suite d'un mécanisme d'érosion interne peut se produire dans le corps de l'ouvrage ou dans sa fondation (suffusion, développement d'un renard) ou aux interfaces (au contact de la fondation, d'un organe traversant, ou entre deux matériaux différents).

Les quatre phases de l'érosion interne sont :

- Phase 1 : Initiation : arrachement de particules ;
- Phase 2 : Filtration : selon la distribution de taille des particules du matériau et du filtre, l'érosion peut se poursuivre ;
- Phase 3 : Progression : agrandissement du conduit et l'augmentation de la pression interstitielle et des fuites ;
- Phase 4 : Formation d'une brèche : provenant de 4 phénomènes :
 - Agrandissement du conduit (renard hydraulique) ;
 - Instabilité de la pente aval (instabilité générale) ;
 - Instabilité locale ou glissement de peau ;
 - Surverse du fait du tassement de la crête.

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- Les caractéristiques **géotechniques** (dont nature des matériaux constitutifs) : le phénomène est favorisé par l'hétérogénéité dans les couches de matériaux constitutifs de l'ouvrage ou de la fondation ;
- La présence de **zones de circulations préférentielles** dans le corps de l'ouvrage
 - Les **ouvrages traversants** : mauvaise étanchéité à la jonction entre ouvrages et ouvrages transversaux (ex : canalisations et galeries traversant l'ouvrage de part en part) ;
 - Les **excavations ou galeries** réduisant la longueur du chemin hydraulique entre amont et aval ;
 - Terriers d'**animaux** fouisseurs ;
 - Conduits racinaires d'arbres morts, **végétation** ;
- Les caractéristiques de la **crue** :
 - La **hauteur** de charge de la crue ;
 - La **durée** de la crue.

6.3.1.1.4. Rupture par érosion externe

Mécanisme de rupture par érosion externe :

L'effet des variations du niveau d'eau et du courant (crues et décrues), du marnage (marée), du batillage (vagues produites par le sillage des bateaux et qui déferlent contre les berges) conduisent à dégrader le pied de l'ouvrage et des glissements de masse se produisent alors dans les matériaux saturés.

Au fil du temps, l'eau érode le parement et le phénomène s'aggrave jusqu'à ce que le talus devienne abrupt et instable, ce qui peut aboutir à la formation de brèche dans l'ouvrage.

Les phases de l'érosion externe de talus et affouillements en pied côté eau sont :

- Phase 1 : Initiation : agressions extérieures du pied de l'ouvrage ;
- Phase 2 : Érosion de la fondation par le pied côté eau ou du talus côté eau ;
- Phase 3 : Extension progressive sous l'action de l'eau, se propageant dans le matériau d'assise du parement ;
- Phase 4 : Extension importante se propageant dans le corps de l'ouvrage ;
- Phase 5 : Formation d'une brèche : l'ouvrage s'effondre car le parement n'est plus soutenu.

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- La morphologie du cours d'eau :
 - La **modification naturelle** du tracé du cours d'eau : les cours d'eau sont dynamiques, leur lit bouge au cours du temps, ce qui peut inciser de façon très importante les ouvrages sans que le cours d'eau puisse être maîtrisé ;
 - La **vitesse moyenne** de l'eau le long du talus : les ouvrages en bordure immédiate du lit mineur ou situés en zones de rétrécissement du lit mineur sont particulièrement exposés ;
- Les **perturbations hydrauliques locales** : dues à des racines d'arbres, piliers de ponts ou constructions sur le parement côté fleuve ou des variations prononcées du cours d'eau. Les perturbations hydrauliques peuvent entraîner des courants et tourbillons avec des vitesses locales plus élevées que la vitesse moyenne sur le linéaire considéré ;
- La nature et l'état de la **protection** du pied de l'ouvrage :
 - Un pied d'ouvrage trop élevé par rapport au niveau moyen du cours d'eau ;
 - Une protection du pied d'ouvrage en mauvais état ou sous-dimensionné ;
 - Une fondation d'ouvrage sous-dimensionnée (nature, profondeur...) ;
- La nature et l'état de la protection du talus côté eau de l'ouvrage ;
- Les caractéristiques de la **crue** :
 - La **hauteur** de charge de la crue ;
 - La **vitesse** de la crue ;
 - La **durée** de la crue.

6.3.1.1.5. Rupture par surverse

Mécanisme de rupture par surverse :

Les ouvrages ne sont généralement pas conçus pour résister à la surverse.

Ce type de phénomène apparaît d'autant plus lorsque le profil de l'ouvrage comporte un point bas sur lequel se concentrent les écoulements.

Lors d'une surverse, la rupture de l'ouvrage peut être provoquée par deux phénomènes différents :

- Une érosion régressive arrière, qui est d'autant plus rapide que le talus est saturé par plusieurs jours d'imbibition :
 - Le niveau d'eau atteint la crête de l'ouvrage à la montée de la crue et l'eau déborde naturellement sur l'ouvrage ;
 - Le mécanisme d'érosion régressive s'amorce alors à partir du parement aval puis attaque la crête jusqu'à ce qu'une brèche soit ouverte ;
- La déstabilisation du talus côté eau de l'ouvrage, du fait à la fois de la poussée de l'eau depuis l'aval et de la vidange « rapide » lors de la décrue.

Le phénomène peut durer de quelques minutes à quelques heures selon la granulométrie des matériaux, leur cohésion, le revêtement de la crête et la hauteur de la lame d'eau.

Les phases de l'érosion régressive arrière lors d'une surverse sont :

- Phase 1 : Initiation : cours d'eau en crue débordant sur l'ouvrage au(x) point(s) bas ;
- Phase 2 : Début de l'érosion du corps de l'ouvrage par ruissellement des eaux ;
- Phase 3 : Extension progressive sous l'action de l'eau, se propageant dans le matériau d'assise du parement ;
- Phase 4 : Extension importante se propageant dans le corps de l'ouvrage ;
- Phase 5 : Formation d'une brèche : l'ouvrage s'effondre, principalement par le haut, et crée une brèche visible.

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- Le **profil en long** de la crête : un profil en long irrégulier de la crête avec présence de points bas qui concentrent localement les débits de surverse ;
- Les caractéristiques **géotechniques** du corps de l'ouvrage c'est-à-dire :
 - Le caractère localement plus ou moins sableux des matériaux constitutifs des remblais ;
 - Leur hétérogénéité dans la compacité ;
- La nature et le profil :
 - Du talus aval ;
 - De la crête ;
- L'**érosion interne** dans l'ouvrage ;
- Les caractéristiques de la **crue** :
 - La **hauteur** de charge de la crue ;
 - La **durée** de la crue.

6.3.1.2. Défaillance fonctionnelle : dysfonctionnement d'un organe hydraulique

Il s'agit ici des ouvrages hydrauliques liés aux systèmes d'endiguement et intervenant dans la fonction de protection contre les crues :

- Les vannages ;
- Le clapet anti-retour.

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- Les **événements extérieurs** : embâcles, retours de courant, etc.
- La défaillance (électro-) **mécanique** : selon notamment l'âge et l'état des ouvrages hydrauliques ;
- La défaillance de **gestion** : l'organisation et la gestion humaine quant à la manipulation de ces ouvrages hydrauliques.

6.3.1.3. Surverse sans rupture

La surverse sans rupture correspond à un débordement de l'eau au-dessus de la crête de l'ouvrage.

Les facteurs de sensibilité associés à ce mode de défaillance sont :

- Le **profil en long** de la crête :
 - Profil en long irrégulier de la crête de digue avec présence de points bas ;
 - Absence de déversoir ;
- Les caractéristiques de la **crue** :
 - La **hauteur** de charge de la crue.

6.3.2. Défaillances potentielles du Système d'endiguement

Au vu des caractéristiques (géométrie, nature, constitution) des digues et des éléments constitutifs de la digue du Vieux Cher, les potentiels de dangers à considérer sur l'ouvrage sont :

- Défaillance structurelle :
 - Rupture par instabilité d'ensemble ;
 - Grand glissement ;
 - Soulèvement hydraulique ;
 - Rupture par érosion interne ;
 - Rupture par érosion externe ;
 - Rupture par surverse ;
- Défaillance fonctionnelle :
 - Dysfonctionnement d'un dispositif de régulation ;
 - Défaillance de gestion d'un dispositif de régulation ;
- Surverse sans rupture.

7. DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES

Afin de conserver une cohérence entre les EDD des ouvrages de protection hydrauliques du val de Villandry Bréhémont, la méthodologie appliquée dans le cadre de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont de 2017 a été conservée et appliquée.

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

La méthodologie développée dans les paragraphes suivants s'appuie sur celle utilisée dans les études de dangers des digues de classe A de la Loire moyenne. Elle présente de manière concise tous les éléments utiles à la compréhension de l'analyse de risques. Le modèle de calcul de rupture de digue en remblai est l'outil CARDigue dans sa version 28.

Le lecteur est alerté sur les valeurs des probabilités de rupture de digue présentées dans le présent chapitre. Celles-ci restent des estimations liées à une approche semi-probabiliste qui intègre une part non négligeable de dires d'experts. Aussi, les valeurs de 0 % et de 100 % sont indicatives et ne doivent en aucun cas être comprises comme étant des certitudes.

7.1. Méthodologie

7.1.1. Principe général

La méthodologie adoptée pour l'analyse de risques repose sur les étapes suivantes :

- L'analyse fonctionnelle (chapitre [§5.3] de la présente étude de dangers) ;
- L'identification des scénarios de défaillance pouvant provoquer la ruine de l'ouvrage [...] ;
- La modélisation des scénarios d'inondation par défaillance de l'ouvrage après avoir caractérisé le ou les mécanisme(s) initiateur(s) (brèche ou autre provoquant une ouverture dans le système d'endiguement) [...] ;
- La détermination de la gravité des scénarios d'inondation par défaillance étudiés [...] ;
- L'analyse de la criticité des scénarios d'inondation par défaillance résultant du croisement de la gravité et de la probabilité d'apparition de chaque scénario [...].

[Les 3 derniers points sont étudiés dans le chapitre 8].

Théoriquement, la démarche d'analyse des risques doit permettre l'identification exhaustive des scénarios de défaillance du système que l'on étudie. Il existe plusieurs méthodes de modélisation de ces scénarios : méthode des arbres des causes, méthode des arbres d'événements, méthode du nœud papillon, etc. Toutefois, ces méthodes restent, à l'heure actuelle, difficilement applicables aux systèmes d'endiguement dont les composants hydrauliques et géotechniques présentent une grande variabilité.

En effet, l'analyse fonctionnelle réalisée au chapitre 3 met en relief une certaine variabilité des caractéristiques de l'ouvrage, notamment du fait de la présence de multiples singularités et / ou anomalies sur ce dernier (ouvrages traversants, végétation, etc.). Une approche « macroscopique » ne suffirait pas à conclure sur la localisation de secteurs susceptibles de présenter une défaillance.

En conséquence, il n'a pas été possible dans la présente étude de dangers d'aboutir à la mise en pratique d'une méthode intégrant toute la complexité des processus de rupture des digues. Il a donc été fait le choix de rester centré sur la méthode de diagnostic « classique » considérant les 5 « modes de rupture » de digue habituels : surverse, érosion interne, glissement de talus, érosion externe et soulèvement hydraulique.

Ces scénarios sont détaillés dans les paragraphes suivants sous la forme d'arbres de défaillance simplifiés et traduits en termes de fonctions et de composants géotechniques associés pour chaque profil en travers fonctionnel du système d'endiguement.

Dans les paragraphes suivants, nous nous attachons à évaluer la probabilité de rupture annuelle (en considérant que l'ouvrage est soumis à une gamme de sollicitations hydrauliques) pour chaque tronçon de 50 m de digue. Ainsi, sans présumer du ou des modes de défaillance de la digue, cette méthode dresse le bilan des caractéristiques intrinsèques de la digue par tronçon de 50 m sur lesquelles elle appuie son raisonnement probabiliste.

Le calcul de la probabilité de rupture est réalisé en tenant compte des éléments suivants :

- Les caractéristiques géométriques de la digue (hauteur, largeur en crête, etc.) déterminées à partir des points caractéristiques de chaque profil en travers [...] ;

- Les dispositions constructives présentes, susceptibles de réduire ou non la probabilité de rupture (présence d'enrochements, de palplanches, etc. sur le talus côté Loire par exemple) ;
- Les irrégularités et anomalies présentes sur l'ouvrage (ouvrage traversant, végétation arbustive, etc.) mentionnées en particulier dans l'analyse fonctionnelle [...] ;
- La géotechnique des terrains d'assise, caractérisés par les essais réalisés dans le cadre de l'étude de dangers ;
- La charge hydraulique s'exerçant sur la digue pour différentes occurrences d'après les résultats du modèle hydraulique.

7.1.2. Caractérisation du potentiel de rupture

La caractérisation du potentiel de rupture de chaque tronçon de digue s'appuie sur deux étapes successives :

- L'identification des scénarios de défaillance potentielle ;
- L'estimation de la probabilité de défaillance de chaque tronçon de digue.

7.1.2.1. Identification des scénarios de défaillance envisageables

Cette étape passe par l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE) du système d'endiguement. Celle-ci permet de passer de l'analyse fonctionnelle de chacun des profils en travers types de digue à la détermination des scénarios de défaillance qui lui sont attachés. Il s'agit pour cela d'identifier les potentialités de défaillance d'un ou de plusieurs composants géotechniques qui conduirait le système d'endiguement à ne plus satisfaire ses fonctions hydrauliques (identifiées lors de l'analyse fonctionnelle hydraulique).

Les interactions possibles entre les différents composants géotechniques doivent être étudiées afin, théoriquement, d'aboutir à l'identification exhaustive de tous les scénarios de défaillance possibles.

Comme évoqué précédemment, cette démarche théorique est difficilement applicable aux systèmes d'endiguement linéaires qui présentent une géométrie et des caractéristiques très variées (solicitation hydraulique, désordres de tous types, renforcements et protections, structure géotechnique, etc.).

Il a donc été fait le choix de rester centré sur la méthode de diagnostic classique considérant les cinq « modes de rupture » de digues habituels : surverse, érosion interne, glissement de talus, érosion externe, soulèvement hydraulique.

Plus précisément, les modes de défaillance ont été qualifiés par leur mécanisme initial. Ils mettent en évidence le plus souvent plusieurs mécanismes de détérioration :

- La rupture par surverse correspond à une surverse suivie d'une érosion externe de la crête et du talus côté zone protégée (côté val) ;
- La rupture par érosion interne (entraînement de particules soumis à un écoulement d'eau interne à la levée ou à sa fondation) ;
- La rupture par glissement de talus suivi d'une érosion interne ;
- La rupture par érosion externe (affouillement) de la fondation de la digue, suivie d'un glissement de talus côté fleuve puis d'une érosion interne ;
- La rupture par soulèvement hydraulique (claquage de la fondation en pied de digue côté zone protégée) puis érosion interne.

Ces scénarios distinguent, d'un côté, le mécanisme initiateur du mode de rupture (par exemple la surverse, l'affouillement, le soulèvement hydraulique) et, de l'autre, le ou les mécanismes responsables de la rupture. Cette distinction est au cœur du modèle d'aléa de rupture CARDigue développé par le LRPC de Blois / Irstea / DREAL Centre et utilisé dans la présente étude de dangers.

On notera que seules la surverse et l'érosion interne sont susceptibles d'entraîner à elles seules une brèche sur la digue.

7.1.2.2. Arbre de défaillance simplifié

7.1.2.2.1. Rupture par surverse

Le phénomène de surverse survient lorsque le niveau d'eau devant la digue dépasse le niveau de la crête.

La rupture d'un tronçon de digue due à une surverse est conditionnée par les éléments suivants :

- D'une part, par l'aléa hydraulique (lame d'eau déversant sur la digue) ;
- D'autre part, par les caractéristiques de la digue et notamment sa nature, la largeur de la crête de l'ouvrage et la pente du talus de la digue côté val.

Ces deux paramètres influent sur la capacité d'érosion externe de la digue. Plus la pente du talus côté zone protégée sera importante, plus les vitesses d'écoulement seront grandes et le risque d'érosion important. À cela, seule l'importance de la largeur de la crête de digue pourra « venir s'opposer » à l'ouverture d'une brèche.



Figure 7-1 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par surverse

Le tableau ci-dessous présente les fonctions géotechniques sollicitées lors de l'apparition de ce mode de défaillance et les composants correspondants.

Phénomène	Fonctions géotechniques	Composants
Résistance à l'érosion externe	Protection	<ul style="list-style-type: none"> • Crête enherbée ou goudronnée • Talus enherbé côté zone protégée • Talus et crête maçonnée sur les déversoirs

Tableau 7-1 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par surverse

7.1.2.2. Rupture par érosion interne

L'érosion interne traduit le phénomène d'entraînement des matériaux les plus facilement mobilisables du corps de digue par l'action d'un écoulement se produisant en son sein. Ce phénomène est ainsi lié à la capacité qu'aura le corps de digue à laisser transiter les écoulements en son sein, mais également au potentiel qu'aura l'écoulement à mobiliser et entraîner les particules du corps de digue.

L'érosion interne peut prendre plusieurs formes, de l'érosion généralisée ou suffusion, à l'érosion localisée (de contact, de conduit ou régressive). L'érosion généralisée se produit lorsque la digue est saturée en eau et lorsque les matériaux sont sensibles à l'érosion interne. L'érosion localisée se produit à partir d'une irrégularité dans la perméabilité du corps de digue. Elle est souvent liée à des facteurs extérieurs tels que les terriers des animaux fouisseurs, les racines d'arbres, les ouvrages traversant ou inclus, etc.

L'érosion interne désigne une famille de mécanismes qui, par expérience, peuvent provoquer à eux seuls la rupture totale ou partielle de digue. Ils peuvent néanmoins être associés à d'autres mécanismes (érosion par glissement, etc.), mais ils constituent toujours le mécanisme de rupture final.



Figure 7-2 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par surverse

Le tableau ci-dessous présente les fonctions géotechniques sollicitées lors de l'apparition de ce mode de défaillance ainsi que les composants correspondants.

Phénomène	Fonctions géotechniques	Composants
Résistance à l'érosion interne	Imperméabilité	• Corps de digue en remblai
	Filtration	• Corps de digue
	Auto-filtration	• Cors de digue (+ drain côté val)
	Protection	<ul style="list-style-type: none"> • Talus enherbé côté cours d'eau • Empierrements, enrochement

Tableau 7-2 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par érosion interne

7.1.2.3. Rupture par glissement

Le phénomène de glissement survient lorsque l'équilibre entre les forces et moments moteurs et les forces et moments stabilisateurs appliqués à l'ouvrage est rompu. Le bilan des forces et moments sur la digue fait état du poids des terrains, de l'action interne et externe de l'eau et de la résistance au cisaillement des sols (fonction de la cohésion et de l'angle de frottement interne).

Deux types de glissement sont susceptibles de se produire sur la digue objet de la présente étude de dangers :

- Glissement de type circulaire côté zone protégée ;



Figure 7-3 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté val

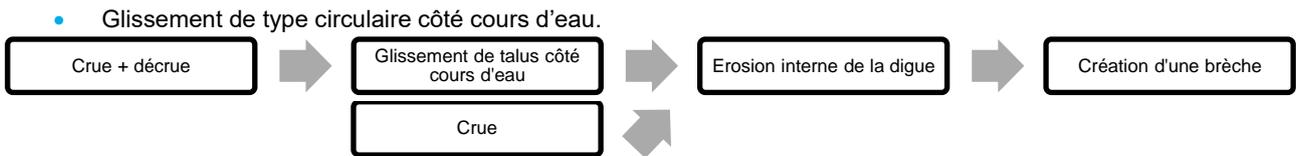


Figure 7-4 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par glissement côté cours d'eau

Dans le modèle d'aléa de rupture CARDigue utilisé dans la présente étude, le scénario de rupture par glissement de talus côté cours d'eau n'est pas considéré directement mais comme un mécanisme élémentaire d'un scénario de défaillance de type érosion externe en pied de talus, présenté dans le paragraphe suivant.

Le tableau ci-dessous présente les fonctions géotechniques sollicitées lors de l'apparition de ce mode de défaillance ainsi que les composants correspondants.

Phénomène	Fonctions géotechniques	Composants
Résistance au glissement	Stabilité d'ensemble	• Corps de digue, sol support
Résistance à l'érosion interne	Imperméabilité	• Corps de digue en remblai
	Filtration	• Corps de digue
	Auto-filtration	• Corps de digue (+ drain côté val)

Tableau 7-3 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par glissement

7.1.2.4. Rupture par érosion externe

À l'exception du cas des surverses, où l'érosion externe est la cause directe de la rupture, l'érosion externe est rarement capable de générer à elle seule la défaillance de l'ouvrage. Elle peut cependant initier un glissement, qui associé à l'érosion interne, provoque la rupture de l'ouvrage.

On distingue deux localisations possibles de l'action érosive des écoulements non surversants, susceptibles d'engendrer une défaillance de la digue :

- L'érosion externe au niveau du talus côté cours d'eau ;
- L'érosion externe au niveau du pied côté cours d'eau de la digue.

L'érosion externe étant directement causée par l'action érosive du cours d'eau, elle ne peut être observée que côté cours d'eau (pas d'érosion externe côté val).

Par ailleurs, l'apparition du phénomène d'érosion externe en pied de digue sera d'autant moins probable que la largeur du franc-bord (distance entre le pied de digue et le lit du cours d'eau) sera grande et que le pied présentera une protection. L'affouillement du pied venant déstabiliser la digue côté cours d'eau, un glissement sera alors susceptible d'apparaître. Puis, de façon similaire au scénario de défaillance par glissement décrit dans les paragraphes précédents, l'érosion interne sera accrue, ce qui pourra provoquer la création d'une brèche dans l'ouvrage.

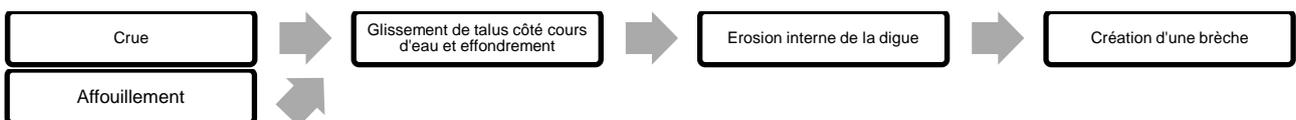


Figure 7-5 : Arbre de défaillance simplifié d'un scénario de rupture de digue par érosion externe en pied de talus

Le tableau ci-dessous présente les fonctions géotechniques sollicitées lors de l'apparition de ce mode de défaillance ainsi que les composants correspondants.

Phénomène	Fonctions géotechniques	Composants
Résistance à l'affouillement	Protection	• Empierrements, enrochements
Résistance à au glissement	Stabilité d'ensemble	• Corps de digue, sol support
Résistance à l'érosion interne	Imperméabilité	• Corps de digue en remblai
	Filtration	• Corps de digue
	Auto-filtration	• Cors de digue (+ drain côté val)

Tableau 7-4 : Fonctions et composants géotechniques sollicités dans le cas d'un scénario de rupture par érosion externe

7.1.2.3. Estimation de la probabilité de rupture des tronçons de digue

L'estimation du potentiel de rupture a été conduite dans la présente étude de dangers en mettant en œuvre le modèle d'aléa de rupture CARDigue (LRPC de Blois / Irstea / DREAL Centre) pour tous les profils en travers définis sur le système

d'endiguement [...] présentant un espacement de 50 m. Chaque profil est considéré représentatif du tronçon de 50 m (notion d'homogénéité à l'échelle du tronçon) au milieu duquel il est implanté (25 m de part et d'autre).

Par ailleurs, la rupture de chaque tronçon est considérée comme indépendante de celle des autres tronçons (ce qui veut dire que la rupture d'un tronçon n'a pas de conséquence sur la probabilité de rupture des autres tronçons). En pratique, cette notion d'indépendance n'est pas totalement réelle puisque la rupture d'un tronçon va modifier les conditions hydrauliques devant les autres tronçons et donc la probabilité de rupture associée. On notera toutefois que non seulement cette hypothèse est acceptable pour le calcul des probabilités de rupture, mais aussi que cela permet plus facilement, via le modèle d'aléa de rupture, de comparer les profils les uns aux autres et de mettre en évidence les secteurs de fragilité du système d'endiguement.

7.1.2.3.1. Fonctionnement du modèle d'aléa de rupture : éléments fondamentaux de compréhension

Le calcul de la probabilité de défaillance géotechnique est réalisé par CARDigue pour chacun des 5 principaux scénarios susceptibles d'être rencontrés sur les levées du val de Villandry/Bréhémont :

- Surverse ;
- Érosion interne ;
- Glissement ;
- Érosion externe par affouillement du pied de talus côté cours d'eau ;
- Soulèvement hydraulique.

Le modèle d'aléa de rupture permet de quantifier la probabilité de défaillance d'un tronçon de digue tous modes de défaillance confondus (surverse, érosion interne, glissement, érosion externe et soulèvement hydraulique) pour un événement de crue donné. On parlera alors de **probabilité événementielle**, pour laquelle la grille suivante sera utilisée.

Probabilité	Probabilité événementielle [%]		
Quasi-nulle		P <	0.1%
Négligeable	0.1%	< P <	1%
Moyenne	1%	< P <	20%
Forte	20%	< P <	80%
Très forte	80%	< P <	99%
Quasi-certaine	99%	< P	100%

Tableau 7-5 : Grille d'analyse des probabilités événementielles utilisées pour caractériser la probabilité de défaillance pour une crue donnée

Le modèle d'aléa de rupture permet également d'évaluer la **probabilité annuelle de défaillance d'un tronçon de digue** pour un scénario de défaillance donné (1 mode de rupture) ou en agglomérant l'ensemble des scénarios envisagés (prise en compte conjointement des différents modes de rupture possibles). On parlera alors de probabilité de rupture annuelle, pour laquelle la grille suivante sera utilisée :

Risque	Probabilité [%]			Temps de retour
Très improbable		P <	0.01%	T ≥ 10 000 ans
Improbable	0.01%	< P <	0.1%	1 000 ans ≤ T < 10 000 ans
Très peu probable	0.1%	< P <	0.2%	500 ans ≤ T < 1 000 ans
Peu probable	0.2%	< P <	0.5%	200 ans ≤ T < 500 ans
Moyennement probable	0.5%	< P <	1%	100 ans ≤ T < 200 ans
Probable	1%	< P <	10%	10 ans ≤ T < 100 ans
Très probable	10%	P =	100%	T < 10 ans

Tableau 7-6 : Grille d'analyse des probabilités de rupture annuelles (EDD des digues de classe A / DREAL Centre)

Cette grille traduit, par exemple, qu'un tronçon de digue présentant une probabilité annuelle de rupture de 1 % présente une chance sur 100 de se rompre chaque année, ce que l'on peut également exprimer en associant une occurrence centennale au scénario de défaillance envisagé.

La probabilité de rupture annuelle se calcule en sommant le produit de la probabilité événementielle pour chaque crue par la probabilité de la crue, ceci pour une gamme de crues choisie.

La gamme des crues considérées est limitée au niveau de protection apparent du système d'endiguement (niveau correspondant aux premières surverses sur la digue). En effet, la probabilité de rupture est proche de 1 dès lors que la digue, non résistante à la surverse, est surversée. Les crues supérieures à la crue déterminant le niveau de protection

apparent ne font pas partie de la plage de fonctionnement de l'ouvrage. Les probabilités annuelles de défaillance seront donc calculées jusqu'à la crue définissant le niveau de protection apparent du système d'endiguement considéré.

Comme indiqué précédemment, les valeurs de probabilités annoncées restent des estimations. Les valeurs de 0 % et de 100 % sont indicatives et ne doivent pas être considérées comme des zones pour lesquelles le risque de rupture est nul ou certain.

7.1.2.3.2. Paramètres pris en compte dans CARDigue

CARDigue a été alimenté avec :

- La géométrie de chaque tronçon de 50 mètres de digue ;
- Les observations réalisées lors des VTA [...] : bâtiments encastrés, végétation, canalisations traversantes, terriers, obstacles sur les talus, traces d'érosion, présence d'ouvrages de protection contre l'érosion (enrochements, palplanches, etc.) ;
À noter que ces observations sont décrites globalement sous CARDigue par le biais de coefficients pondérateurs majorant ou minorant la probabilité de rupture ;
- Les travaux de renforcement ayant été menés sur la digue, d'après les plans et informations disponibles ;
- La géologie des sols supports et les caractéristiques de la digue qui est représentée via des profils types ;
- Les informations disponibles sur la gestion des digues en cas de crue ;
- Les niveaux d'eau attendus sur la digue, côté cours d'eau et côté val, selon les résultats de l'étude hydraulique (prise en compte du remous) ;
- La probabilité des crues considérées.

7.1.2.3.3. Paramètres pris en compte dans CARDigue

Le niveau de protection, correspondant au niveau d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de la digue n'est plus négligeable, est déterminé comme suit : niveau d'eau, et occurrence de crue associée, pour lequel le (les) tronçon(s) le(s) plus fragile(s) du système présente(nt) :

- Une probabilité événementielle de rupture supérieure ou égale à 1 % ;
- Une probabilité annuelle de rupture supérieure ou égale à 0.1 %.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

Selon la nouvelle réglementation, le niveau de sûreté est défini par une probabilité événementielle de rupture supérieure ou égale à 5 %. C'est ce seuil qui sera conservé pour la présente étude.

7.1.2.3.4. Calage du modèle d'aléa de rupture

Le calage du modèle fourni par Antéa lors de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont en 2017 a été conservé (Cf. annexe [5]).

7.2. Remblai de la digue du Vieux Cher

7.2.1. Probabilités de défaillance

7.2.1.1. Secteurs de la digue

Le remblai a été divisé en plusieurs sections liées à :

- La différence des sollicitations subies par la digue entre l'amont (nord-ouest) et l'aval (sud-est) ;
- Les EPCI couvertes : TMVL et CCTVI ;
- Et les communes traversées.

Les résultats de l'évaluation des probabilités de rupture du remblai de la digue du Vieux cher sont présentés par ces secteurs dans la situation actuelle c'est-à-dire en prenant en compte :

- Ses caractéristiques intrinsèques géométriques et géotechniques ;
- Son état actuel :
 - Ses désordres (végétation, terriers, etc.) ;
 - Les risques dus à la présence d'ouvrages traversant l'ouvrage ;
 - Les points bas ;
- Sa gestion actuelle : ASONA (Absence de Surveillance et Organisation Non Adaptée) ;
- Les sollicitations hydrauliques telles que présentées et évaluées dans l'étude hydraulique.

Les secteurs sont les suivants :

Secteur	Profil amont	Profil aval	Communes	EPCI	Sollicitations hydrauliques particulières	Commentaire
1	1	13	Villandry	TMVL	Vieux Cher Loire par le déversoir du Vieux Cher	
2	13	43	Villandry	TMVL	Vieux Cher	
3	43	73	Villandry	TMVL	Vieux Cher	Point bas
4	73	112	Vallères	CCTVI		
5	112	153	La Chapelle-aux-Naux	CCTVI		
6	153	174	La Chapelle-aux-Naux	CCTVI	Indre et Loire par remous	
7	174	235	Bréhémont	CCTVI	Indre et Loire par remous	
8	235	332	Bréhémont	CCTVI	Indre et Loire par remous	Renon amont

Tableau 7-7 : Secteurs de la digue



Figure 7-6 : Secteurs de la digue

7.2.1.2. Résultats

Les résultats détaillés des probabilités de défaillance par tronçon, par mode de défaillance, selon les différentes sollicitations hydrauliques et selon la situation (actuelle ou améliorée) sont présentés dans l'annexes dédiées [6] et [7].

En situation actuelle, les probabilités de défaillance tout mode confondu selon les différentes sollicitations hydrauliques sont les suivantes :

Crues du Vieux Cher

Vieux Cher	Q2	Q5	Q10	Q20	Q30	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q10000
1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	1.0%	1.0%	1.0%	2.0%	2.0%
2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
3	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	6.5%	6.5%	10.4%	10.4%	10.4%	13.0%
5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
8	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Tableau 7-8 : Probabilité par zone vis-à-vis des crues du Vieux Cher

Pour les crues du Vieux Cher, les modes de rupture à risque sont les suivants :

- Secteur 3 : surverse ;
- Secteur 4 : surverse ;
- Secteur 7 : érosion interne due à la présence de terriers.

Crues de l'Indre

Indre	Q2	Q5	Q10	Q20	Q30	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q10000
1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%				
2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%				
3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%				
4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%				
5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%				
6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%				
7	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	100.0%				
8	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	100.0%				

Tableau 7-9 : Probabilité par zone vis-à-vis des crues de l'Indre

Pour les crues de l'Indre, le mode de rupture à risque est l'érosion interne due à la présence de terriers.

Crues de la Loire

Loire	Q2	Q5	Q10	Q20	Q30	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000	Q10000
1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		
2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		80.0%	95.0%	99.0%	99.0%		
3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		
4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		
5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	10.4%	10.4%	13.0%		
6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		
7	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		
8	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		

Tableau 7-10 : Probabilité par zone vis-à-vis des crues de la Loire

Pour les crues de la Loire, les modes de rupture à risque sont les suivants :

- Secteur 1 : glissement ;
- Secteur 2 : érosion interne (présence de végétation et de terriers) ;
- Secteur 3 : surverse ;
- Secteur 4 : surverse ;
- Secteur 5 : surverse ;
- Secteur 6 : surverse ;
- Secteur 7 : érosion interne due à la présence de terriers.
- Secteur 8 : érosion interne due à la présence de terriers.

7.2.1.3. Cartographies

Les cartographies suivantes montrent les probabilités de rupture pour la plus grosse crue de chaque cours d'eau :



Figure 7-7 : Probabilité de rupture : Crue du Vieux Cher Q10000



Figure 7-8 : Probabilité de rupture : Crue de l'Indre Q100

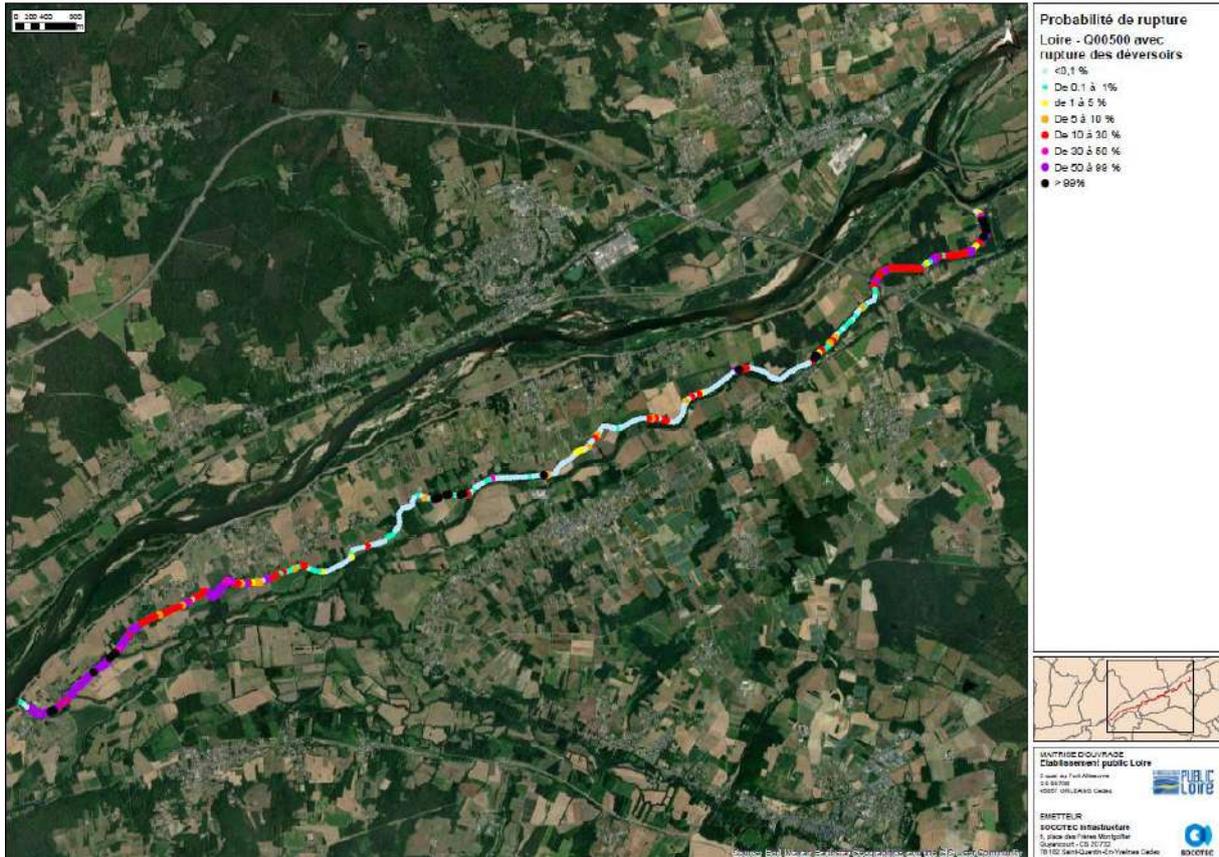


Figure 7-9 : Probabilité de rupture : Crue de la Loire Q500

7.2.2. Niveaux de référence

La digue du Vieux Cher apporte différents niveaux de protection selon le secteur (cf. figure ci-après) et les cours d'eau desquels elle subit des sollicitations.



Figure 7-10 : Secteurs de la digue du Vieux Cher

Les niveaux caractéristiques de la digue du Vieux Cher par secteur sont les suivants :

Secteurs	Crues du Vieux Cher (VC)			Crues de l'Indre (I)			Crues de la Loire (L)		
	Niveau	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers
1	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 200
2	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
3	VC 2	VC 5	VC 5	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
4	VC 30	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
5	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 50	L 100	L 100
6	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
7	VC 50	VC 100	> VC 10000	I 2	I 5	> I 100	L 10	L 50	L 500
8	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	< I 2	I 2	I 50	L 10	L 50	L 100

Tableau 7-11 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations

Ces périodes de retour correspondent aux niveaux de référence suivants :

Cours d'eau	Vieux Cher					Indre			Loire			
	Période de retour	Q2	Q30	Q50	Q1000	Q10000	Q2	Q5	Q100	Q10	Q20	Q50
Débîts de pointe		6.0	17.5	20.2	36.2	48.6	138	215	530	3122	4682	4948
Niveau de référence [m]	/	/	/	/	/	/	4.86	5.40	7.53	4.26	5.81	6.02
Niveau de référence [mNGF]	/	/	/	/	/	/	49.12	49.66	51.79	40.76	42.31	42.52
Pluies sur 24h [m]	41.8	60.2	63.2	83.0	98.3	/	/	/	/	/	/	/
Lieux de référence	Pluie à Tours					Indre à Monts			Loire à Langeais			

Tableau 7-12 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher

Les graphiques suivants montrent les lignes d'eau des différents niveaux de protection projetées le long de la digue du Vieux Cher selon les différents scénarios étudiés.

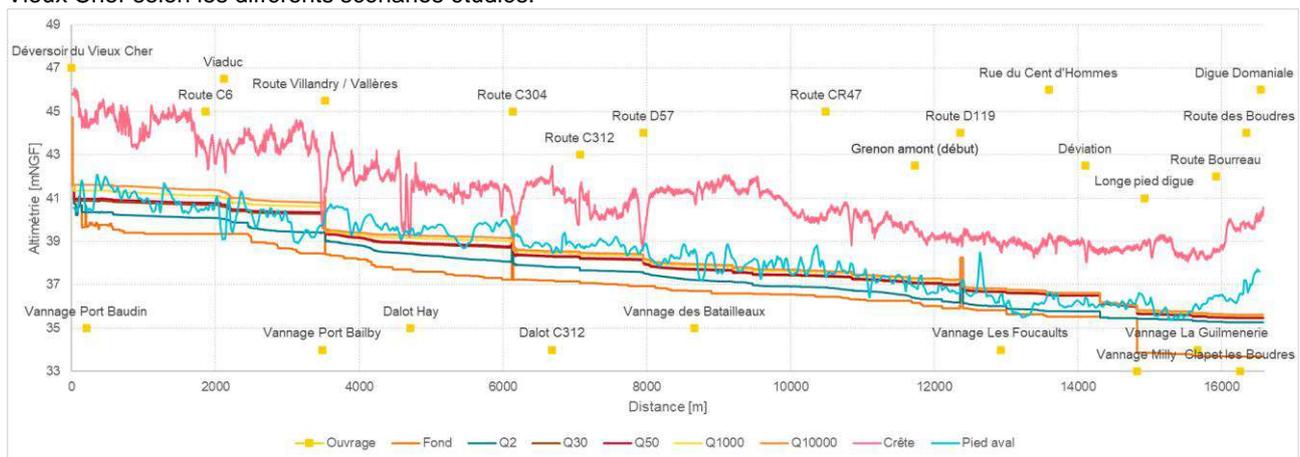


Figure 7-11 : Lignes d'eau – crues du Vieux Cher – niveaux de protection

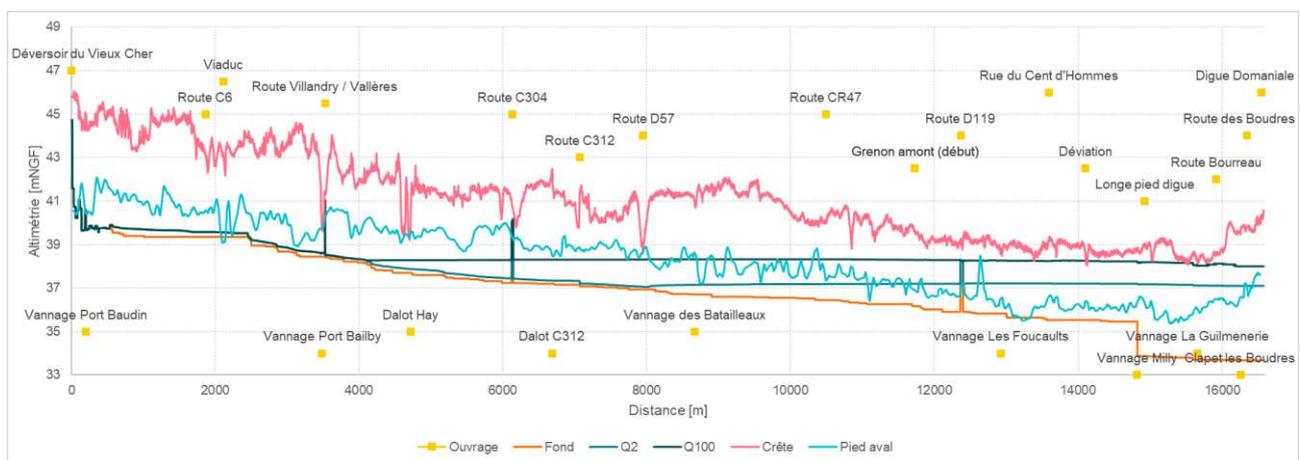


Figure 7-12 : Lignes d'eau – crues de l'Indre – niveaux de protection

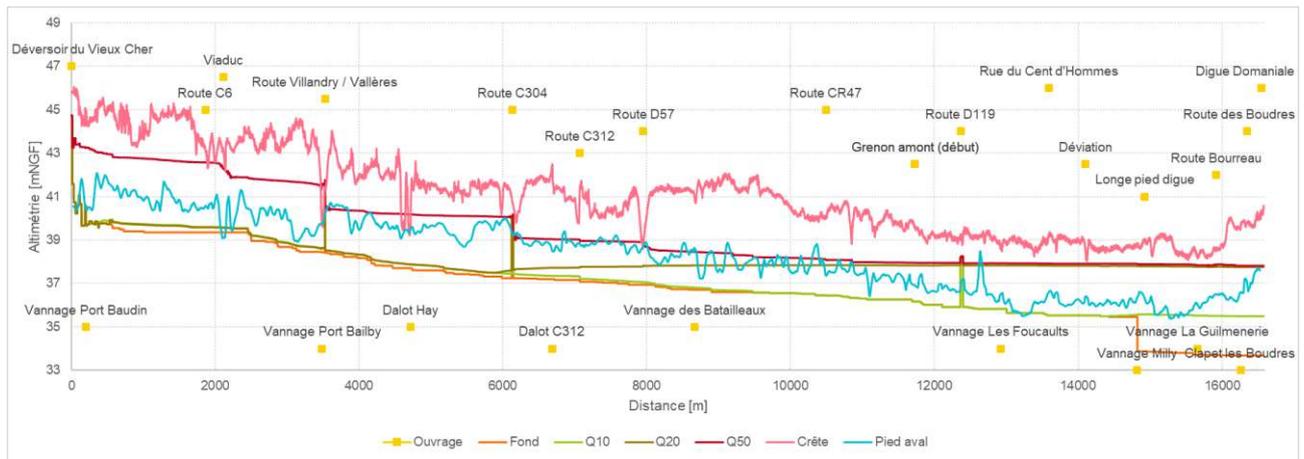


Figure 7-13 : Lignes d'eau – crue de la Loire – niveaux de protection

7.3. Autres éléments constitutifs du système d'endiguement

Pour les défaillances des autres éléments constitutifs du SE, l'attribution des probabilités est basée sur la grille de probabilité introduite par l'Arrêté du 29/09/05 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation pour caractériser la probabilité des défaillances suivante :

Classe de probabilité / Type d'appréciation	Type d'appréciation				
	E	D	C	B	A
Qualitative (Les définitions entre guillemets ne sont valables que si le nombre d'installations et le retour d'expérience sont suffisants)	« Événement possible mais extrêmement peu probable »	« Événement très improbable »	« Événement improbable »	« Événement probable »	« Événement courant »
	<i>N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installation</i>	<i>S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité</i>	<i>Un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité</i>	<i>S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation</i>	<i>S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctives</i>
Quantitative (Par unité et par an)		0.000 01 10 ⁻⁵	0.000 1 10 ⁻⁴	0.001 10 ⁻³	0.01 10 ⁻²

Tableau 7-13 : Grille d'échelle de probabilité pour l'évaluation des événements (arrêté du 29 septembre 2005)

7.3.1. Éléments fermant les digues

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

7.3.2. Dispositifs de régulation des écoulements

Les dispositifs de régulation des écoulements concernent ouvrages traversant de régulation.

La VTA des ouvrages présente les résultats suivants :

Ouvrage	Génie civil	Régulation	Manœuvre	Abords
Vannage Port Baudin	Bon état général	Structure métallique légèrement corrodée	Non manœuvré	Végétation très dense surtout côté terre (zone inaccessible)
Vannage Port Bailby	État général moyen (peu visible)	/	Absence de crémaillère. Ouvrage supposé non fonctionnel	Végétation très dense (zone côté terre inaccessible)
Dalot Hay	État général moyen (peu visible)	/	/	Végétation très dense aux abords de l'ouvrage
Dalot C312	Bon état général Ouverture à moitié obstruée par l'accumulation de sédiments côté terre	/	/	Végétation très dense surtout côté terre (zone inaccessible)
Vannage Les Batailleaux	Bon état général		Non manœuvré, a priori fonctionnel	Végétation au niveau des murs latéraux
Vannage les Foucaults	Bon état général Disjointoiement de pierres maçonnerie (superficiel)	Crémaillère graissée Traces de corrosion sur la structure métallique	Non manœuvré, a priori fonctionnel (entretien effectué autour des ouvrages, crémaillère graissée)	
Vannage Milly	Bon état général Quelques altérations béton	Crémaillère graissée Traces de corrosion sur la structure métallique	Non manœuvré, a priori fonctionnel (entretien effectué autour des ouvrages, crémaillère graissée)	
Vannage la Guilmenerie	État général moyen	Traces de corrosion sur la structure métallique	Non manœuvré, a priori fonctionnel (entretien effectué autour des ouvrages, crémaillère graissée)	
Clapet les Boudres	État général moyen Aciers apparents corrodés,		Non manœuvré	

Tableau 7-14 : Désordres majeurs relevés sur les ouvrages hydrauliques

Les exploitants des ouvrages n'ont pas tous été identifiés :

Ouvrage	Communes	Exploitant
Vannage Port Baudin	Villandry	A priori TMVL
Vannage Port Bailby	Villandry	Non identifié
Dalot Hay	Vallères	Non identifié
Dalot C312	La Chapelle-aux-Naux	Non identifié
Vannage Les Batailleaux	La Chapelle-aux-Naux	Non identifié
Vannage les Foucaults	Bréhémont	Services Techniques de la Mairie de Bréhémont
Vannage Milly	Bréhémont	Services Techniques de la Mairie de Bréhémont
Vannage la Guilmenerie	Bréhémont	Services Techniques de la Mairie de Bréhémont
Clapet les Boudres	Bréhémont	Services Techniques de la Mairie de Bréhémont

Tableau 7-15 : Exploitant des ouvrages

Il n'a pas été référencé de défaillance par le passé sur ces dispositifs.

Avec ces éléments, les probabilités qualitatives de défaillance des ouvrages sont les suivantes :

Ouvrage	Probabilité de défaillance	Probabilité quantitative correspondante
Vannage Port Baudin	B – Probable	1%
Vannage Port Bailby	A – Courant	>1%
Dalot Hay	Pas d'organe mobile	/
Dalot C312	Pas d'organe mobile	/
Vannage Les Batailleaux	B – Probable	1%
Vannage les Foucaults	C – Improbable	0.1%
Vannage Milly	C – Improbable	0.1%
Vannage la Guilmererie	C – Improbable	0.1%
Clapet les Boudres	D – Très improbable	0.01%

Tableau 7-16 : Probabilités de défaillance sur les dispositifs de régulation des écoulements

8. ÉTUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTÉGÉE

La méthodologie adoptée pour l'analyse de risques repose sur les étapes suivantes :

- L'analyse fonctionnelle (chapitre [§5.3] de la présente étude de dangers) ;
- L'identification des scénarios de défaillance pouvant provoquer la ruine de l'ouvrage [...] ;
- La modélisation des scénarios d'inondation par défaillance de l'ouvrage après avoir caractérisé le ou les mécanisme(s) initiateur(s) (brèche ou autre provoquant une ouverture dans le système d'endiguement) [...] ;
- La détermination de la gravité des scénarios d'inondation par défaillance étudiés [...] ;
- L'analyse de la criticité des scénarios d'inondation par défaillance résultant du croisement de la gravité et de la probabilité d'apparition de chaque scénario [...].

Les 2 premiers points ont été exposés dans le chapitre §7.

L'étude des risques des venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée s'intéresse aux 3 derniers points.

La réglementation actuelle impose les critères de choix des scénarios obligatoires.

Le chapitre §8.1 détaille la méthodologie du choix des scénarios étudiés.

Le chapitre §8.2 détaille la méthodologie du risque inondation sur ces scénarios.

8.1. Identification des scénarios d'inondation étudiés

8.1.1. Détermination des niveaux de référence du Système d'Endiguement

Les scénarios de l'EDD dépendent des niveaux de référence du système d'endiguement. Ces niveaux de référence intègrent le risque résiduel de rupture dans leur définition.

- Niveau de protection :
 - Il correspond au niveau à partir duquel des entrées d'eau dans le système doivent être prises en compte :
 - Par brèche ;
 - Ou par déversement sur les digues (cas des déversoirs de sécurité ou digue résistante à la surverse) ;
 - Ce niveau est confondu avec le niveau de sûreté quand :
 - La probabilité de brèche est supérieure à 5 % au moment des premiers débordements sur le déversoir ;
 - Quand le système ne comporte pas de déversoirs de sécurité ;
 - Jusqu'à ce niveau, il y a la garantie « pieds secs » ;
- Niveau de sûreté :
 - Il correspond au niveau à partir duquel des entrées d'eau par brèche doivent être prises en compte ;
 - Ce niveau correspond à une probabilité résiduelle de rupture au plus de 5 % ;
- Niveau de danger :
 - Il correspond à une probabilité de brèche de 50 % ;
- Niveau de submersion :
 - Il s'agit du niveau de protection apparent de la digue. Il correspond à l'atteinte par le cours d'eau du niveau de la crête de digue.

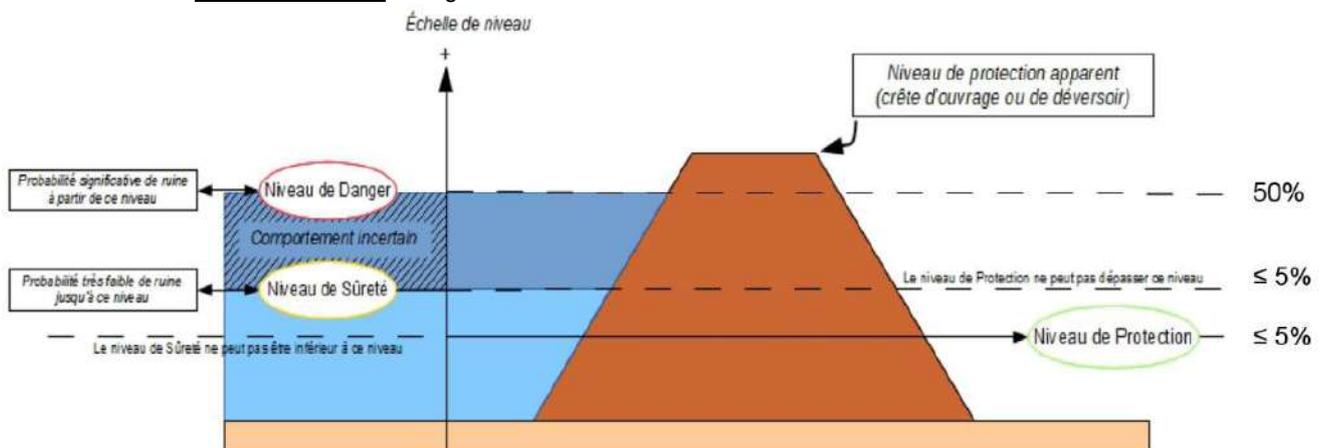


Figure 8-1 : Les différents niveaux caractéristiques d'un segment de digue (Y. Deniaud, Cerema)

Selon cette définition, la probabilité de défaillance des autres organes d'un SE ne rentre pas dans la définition des niveaux de référence du SE.

8.1.2. Risque résiduel de rupture

Le risque résiduel de rupture correspond à la Probabilité événementielle étudiée dans le diagnostic approfondi (cf. §7).

8.1.3. Choix des scénarios

8.1.3.1. Réglementation

Les scénarios obligatoires à étudier, dans le cadre de la réglementation, sont les suivants :

- Scénario 1 – fonctionnement normal pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection ;
- Scénario 2 – défaillance fonctionnelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection ;
- Scénario 3 – défaillance structurelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de danger ;
- Scénario 4 – aléa de référence :
 - Niveau correspondant à l'aléa de référence dans le Plan de Prévention des Risques Inondations (ou Littoraux) correspondant à la crue statistique centennale ou la crue supérieure historique observée si l'aléa de référence du PPRI(L) est supérieur au niveau de protection du système d'endiguement ;
 - Intègre une défaillance structurelle si cet événement est supérieur ou égal au niveau de danger.

Scénarios	Niveau de l'eau au lieu de référence	Défaillance	Risque résiduel de rupture
S1	Niveau de protection	Non	Choix du maître d'ouvrage dans la limite maximale de 5%
S2		Fonctionnelle uniquement : Dispositif de régulation	
S3	Niveau de danger	Structurelle : Brèche	De l'ordre de 50%
S4	Aléa de référence du PPRI(L)	Seulement si Aléa de référence du PPRI(L) > niveau de protection	À déterminer

Tableau 8-1 : Étude De Dangers de systèmes d'endiguement – Concepts et principes de réalisation des études (Cerema, Juin 2018)

8.1.3.2. Autres critères de choix

Tout en respectant les critères de définition des scénarios d'études (niveau d'eau, défaillance et risque résiduel de rupture), il est également possible de définir les scénarios en les combinant avec les préférences suivantes :

- La défaillance peut avoir lieu dans un secteur identifié comme particulièrement vulnérable pour la sécurité publique (par exemple au droit d'une zone très habitée) ;
- La défaillance peut avoir lieu dans un secteur qui conduit à l'inondation de toute la zone protégée.

8.2. Évaluation du risque d'inondation

8.2.1. Gravité de l'inondation

Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) ----

L'évaluation de la gravité des scénarios d'inondation passe par l'estimation de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux exposés.

Dans le cadre de l'étude de dangers du système d'endiguement du val de Villandry/Bréhémont, il est proposé de retenir la grille présentée sur la figure ci-après pour la caractérisation de l'aléa inondation. Cette grille considère les paramètres hydrauliques « hauteur d'eau » et « vitesse d'écoulement ».

Dynamique Hauteur	Dynamique lente $V < 0.2 \text{ m/s}$	Dynamique moyenne $0.2 \text{ m/s} \leq V < 0.5 \text{ m/s}$	Dynamique rapide $0.5 \text{ m/s} \leq V$	Au droit de la brèche
$H < 0.5 \text{ m}$	1. Faible	2. Modéré	3. Fort	5. Zone de destruction du bâti
$0.5 \leq H < 1 \text{ m}$				
$1 \leq H < 2 \text{ m}$	3. Fort	4. Très fort		
$H \geq 2 \text{ m}$				

Tableau 8-2 : Grille d'intensité de l'aléa inondation (EDD des digues de classe A / DREAL Centre)

[...]

Remarque concernant la zone de destruction du bâti :

Les outils de modélisation hydraulique existants et utilisés dans le cadre de la présente étude de dangers ne sont pas en mesure de décrire le phénomène local de dissipation d'énergie observable derrière une brèche. Les approches historiques menées sur la Loire par exemple montrent les effets destructeurs de ce type de phénomène sur le bâti situé à proximité. Pour prendre en compte cette zone de dangers liée à la rupture de la digue, une zone de destruction du bâti a été intégrée dans la cartographie de l'aléa. Cette zone est définie selon une demi-ellipse de petit axe égal à la largeur de la brèche et de grand axe égal à 100 fois la charge hydraulique au moment de la rupture au droit de la brèche (soit la différence entre la hauteur d'eau au moment de la rupture et le niveau du terrain naturel côté zone protégée). L'exposition à un risque implique que le territoire potentiellement touché prenne des dispositions visant à limiter la vulnérabilité des biens et des personnes : évacuation de la population, consignes de replis dans les étages supérieurs, etc.

8.2.2. Vulnérabilité des enjeux

La grille ci-dessous présente un cadre pour le calcul de la population en danger lors d'une inondation en fonction de la typologie des bâtiments. Ces valeurs sont celles retenues pour les études de dangers des digues de classe A de la Loire et sont données à dire d'expert. Elles n'ont pas vocation à refléter la réalité même du nombre précis de personnes en danger, mais à permettre la comparaison et la hiérarchisation des différents scénarios d'inondation retenus.

Intensité de l'aléa inondation	Habitat « R0 » (RDC uniquement)	Habitat « R1 » (RDC + 1 étage)	Habitat « R2 » et plus (RDC + 2 étages au moins)	
5. Zone de destruction du bâti	95%	95%	95%	Du total
4. Très fort	70%	30%	10%	De la population totale du RDC et du 1 ^e étage
3. Fort	30%	5%	1%	
2. Moyen	5%	1%	0.5%	
1. Faible	0%	0%	0%	

Tableau 8-3 : Calcul de l'indicateur de population susceptible d'être en danger selon la typologie de bâtiment et l'intensité de l'aléa inondation

Sur les axes de circulation, la grille de calcul de l'indicateur « usager en danger » sera la suivante :

Intensité de l'aléa inondation	Usagers susceptibles d'être en danger « axes routiers »
5. Zone de destruction du bâti	95%
4. Très fort	80%
3. Fort	40%
2. Moyen	10%
1. Faible	1%

Tableau 8-4 : Calcul de l'indicateur « usagers susceptibles d'être en danger » sur les axes routiers

La gravité d'un accident sur l'ouvrage est directement fonction des conséquences qu'il engendre. La gravité des conséquences des scénarios d'inondation est ici estimée par le nombre de personnes en danger. Le tableau suivant qualifie le degré de gravité des scénarios d'inondation.

Gravité du scénario d'inondation	Nombre de personnes en danger
5. Désastreux	Nombre > 10 000
4. Catastrophique	1000 < Nombre ≤ 10 000
3. Important	100 < Nombre ≤ 1 000
2. Sérieux	10 < Nombre ≤ 100
1. Modéré	Nombre ≤ 10

Tableau 8-1 : Classes de gravité des scénarios d'inondation. (Guide de lecture des EDD des digues)

La population susceptible d'être en danger constitue l'indicateur le plus pertinent compte tenu de la typologie des enjeux situés dans la zone protégée. Cependant, la vulnérabilité d'autres types d'enjeux sera également étudiée et pourra conduire au surclassement éventuel de la gravité d'un scénario d'inondation.

8.2.3. Criticité des scénarios

L'évaluation de la criticité des scénarios d'inondation constitue l'aboutissement de l'analyse des risques. Elle consiste à qualifier le risque en fonction de la probabilité du scénario d'inondation et de la gravité des conséquences qu'il engendre.

Criticité du scénario		Probabilité du scénario						
		10%	1%	0.5%	0.2%	0.1%	0.01%	
		Très probable	Probable	Moyenne probable	Peu probable	Très peu probable	Improbable	Très improbable
Gravité du scénario	5 - Désastreux	Risque intolérable			Risque acceptable			
	4 - Catastrophique	Risque intolérable			Risque acceptable			
	3 - Important	Risque intolérable			Risque préoccupant		Risque acceptable	
	2 - Sérieux	Risque intolérable		Risque préoccupant			Risque acceptable	
	1 - Modéré	Risque intolérable		Risque préoccupant			Risque acceptable	

Tableau 8-2 : Matrice de criticité (EDD des digues de classe A / DREAL Centre)

Conformément au guide de lecture sur les études de dangers, les différentes zones de la matrice de criticité sont associées aux éléments suivants :

- La **zone rouge** signifie que le risque est inacceptable. Des solutions adaptées permettant de sortir de la zone rouge devront être mises en œuvre pour réduire le risque. Certaines « barrières de sécurité » peuvent être proposées à titre transitoire dans l'attente de la réalisation de mesures structurelles lourdes. Le Préfet avertira les maires des communes concernées, notamment afin qu'ils prennent en compte le niveau de risque de rupture de l'ouvrage dans le Plan Communal de Sauvegarde lorsqu'il existe ;
- La **zone orange** signifie que la sûreté de l'ouvrage ne peut pas être considérée par le service de contrôle comme satisfaisante. Dans cette hypothèse, le service de contrôle doit s'assurer de la présence de mesures de réduction de risques adaptées à la situation de l'ouvrage. Les actions à conduire par le responsable de l'ouvrage s'inscrivent sur le principe ALARP (« As Low As Reasonably Possible »), c'est-à-dire pour conduire à un niveau de risque aussi bas qu'il est raisonnablement possible y compris par des interventions en crue ou par l'information des autorités chargées de la mise en sécurité de la population ;
- La **zone verte** signifie que l'ouvrage est réputé « sûr », au sens du concept anglo-saxon « As Low As Reasonably Possible » et que le maintien des conditions nominales de sûreté devra être vérifié par le service de contrôle.

Fin de l'Extrait de l'EDD des digues domaniales de la Loire du Système d'endiguement de Villandry/Bréhémont (Antéa, 2017) -----

8.3. Application au Système d'endiguement

8.3.1. Niveaux de référence

Les niveaux de référence du Système d'Endiguement sont ainsi définis :

Niveaux de référence	Définition
Niveau de Protection	Pas d'entrée d'eau dans le système avec risque de rupture limité à 5% ou déversoir
Niveau de Sûreté	Entrées d'eau par rupture avec risque de rupture limité à 5%
Niveau de Danger	Entrées d'eau par rupture avec risque de rupture de l'ordre de 50%
Niveau de Submersion	Niveau de protection apparent

Tableau 8-5 : Niveaux caractéristiques des systèmes d'endiguement

La digue du Vieux Cher apporte différents niveaux de protection selon le secteur (cf. figure ci-après) et les cours d'eau desquels elle subit des sollicitations.



Figure 8-2 : Secteurs de la digue du Vieux Cher

Les niveaux caractéristiques de la digue du Vieux Cher par secteur sont les suivants :

Secteurs	Crues du Vieux Cher (VC)			Crues de l'Indre (I)			Crues de la Loire (L)		
	Niveau	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers	Surverse	Sûreté	Dangers
1	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 200
2	VC 1000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
3	VC 2	VC 5	VC 5	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
4	VC 30	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
5	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 50	L 100	L 100
6	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	I 100	> I 100	> I 100	L 20	L 50	L 50
7	VC 50	VC 100	> VC 10000	I 2	I 5	> I 100	L 10	L 50	L 500
8	VC 10000	> VC 10000	> VC 10000	< I 2	I 2	I 50	L 10	L 50	L 100

Tableau 8-3 : Périodes caractéristiques par secteur de la digue du Vieux Cher vis-à-vis des différentes sollicitations

Ces périodes de retour correspondent aux niveaux de référence suivants :

Cours d'eau	Vieux Cher					Indre			Loire		
	Période de retour	Q2	Q30	Q50	Q1000	Q10000	Q2	Q5	Q100	Q10	Q20
Débits de pointe	6.0	17.5	20.2	36.2	48.6	138	215	530	3122	4682	4948
Niveau de référence [m]	/	/	/	/	/	4.86	5.40	7.53	4.26	5.81	6.02
Niveau de référence [mNGF]	/	/	/	/	/	49.12	49.66	51.79	40.76	42.31	42.52
Pluies sur 24h [m]	41.8	60.2	63.2	83.0	98.3	/	/	/	/	/	/
Lieux de référence	Pluie à Tours					Indre à Monts			Loire à Langeais		

Tableau 8-4 : Niveaux de référence correspondant aux périodes caractéristiques de sûreté de la digue du Vieux Cher

8.3.2. Choix des scénarios

Les scénarios choisis sont les suivants :

Sc.	Crue	Période de retour	Probabilité de la crue	Défaillance	Probabilité de la défaillance	Probabilité du scénario
S1	Vieux Cher	2	½	Non	/	50%
	Indre	2	½	Non	/	50%
	Loire	10	1/10	Non	/	50%
S2	Vieux Cher	10000	1/10000	Vannage Port Baudin	1%	0.0001%
	Indre	100	1/100	Vannage Bataillaux	1%	0.01%
	Loire	20	1/20	Clapet Boudres	0.01%	0.001%
		20	1/20	Vannage Guilmerie	0.1%	0.005%
		20	1/20	Vannage Milly	0.1%	0.005%
		20	1/20	Vannage Foucaults	0.1%	0.005%
S3	Vieux Cher	10000 ¹	1/10000	Brèche 3	100%	0.01%
		10000	1/10000	Brèche 4	13%	0.0013%
	Indre	5	1/5	Brèche 1	100%	20%
		5 ²	1/5	Brèche 2	20%	4%
	Loire	20	1/20	Brèche 1	100%	5%
		20 ³	1/20	Brèche 2	20%	1%
S4	PPRI : Crue 1856	200	1/200	Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 2 Profil 82	25% pour Q100 Considéré 100%	0.5%
				Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 5 Profil 358	50% pour Q50 0,1% pour Q100 Considéré 100%	0.5%

Tableau 8-6 : Scénarios simulés

¹ Pour la crue du Vieux Cher, le tronçon dont la probabilité de défaillance dépasse les 50% se situe au droit du point bas. La probabilité de défaillance est 100% parce que le profil est surversé. Étant donné que la hauteur de digue est faible, la crue prise en compte a été augmenté pour avoir une brèche.

² Pour la crue de l'Indre, il a été utilisé la même crue pour voir les conséquences de 2 brèches à différents endroits pour une même crue.

³ Pour la crue de la Loire, il a été utilisé la même crue pour voir les conséquences de 2 brèches à différents endroits pour une même crue. Par ailleurs, la crue de danger Q50 inonde une majeure partie du casier à cause des points bas.

8.3.3. Outil mis en œuvre

Les scénarios étudiés ont été simulés sur un modèle hydraulique bidimensionnel sur le logiciel Télémac2D existant qui a été adapté pour la présente étude. Il a permis de simuler la propagation des inondations dans la zone protégée et d'en évaluer les paramètres d'écoulement : zone inondée, hauteur d'eau et vitesse d'écoulement. Il permet de simuler des défaillances fonctionnelles (vannages ouverts par exemple) et des défaillances structurelles (brèches).

8.3.4. Simulation hydraulique

Les scénarios ont été simulés de la même façon que pour l'étude hydraulique.

- Défaillance fonctionnelle : le vannage/clapet défaillant est ouvert durant toute la durée de simulation ;
- Défaillance structurelle – Brèche :
 - Linéaire : la largeur peut varier en fonction des tronçons étudiés ;
 - Hauteur : il a été considéré que la digue rompait sur toute sa hauteur ;
 - Durée d'ouverture de la brèche : il a été considéré une durée d'ouverture de 30 min.

8.3.5. Résultats des scénarios

Les chapitres suivants montrent les cartographies des hauteurs d'eau maximales atteintes.

8.3.5.1. Scénario 1

Scénario 1 : fonctionnement normal pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection.

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q2 du Vieux Cher
- Défaillance : /

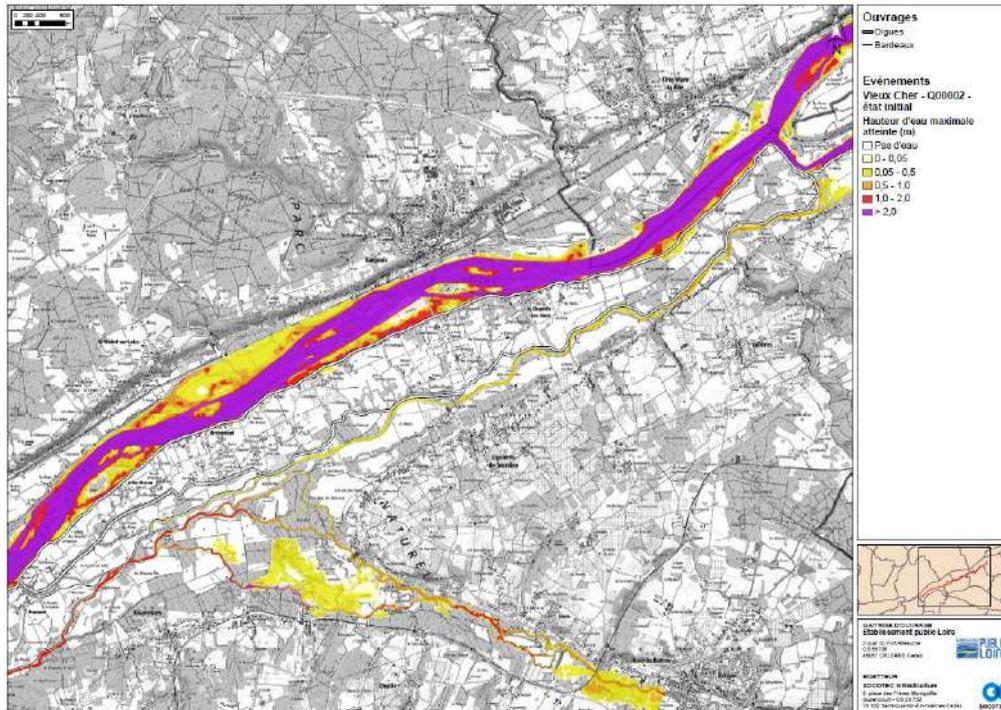


Figure 8-3 : Scénario 1.1 – hauteur d’eau maximale atteinte – Vieux Cher

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q2 de l’Indre
- Défaillance : /

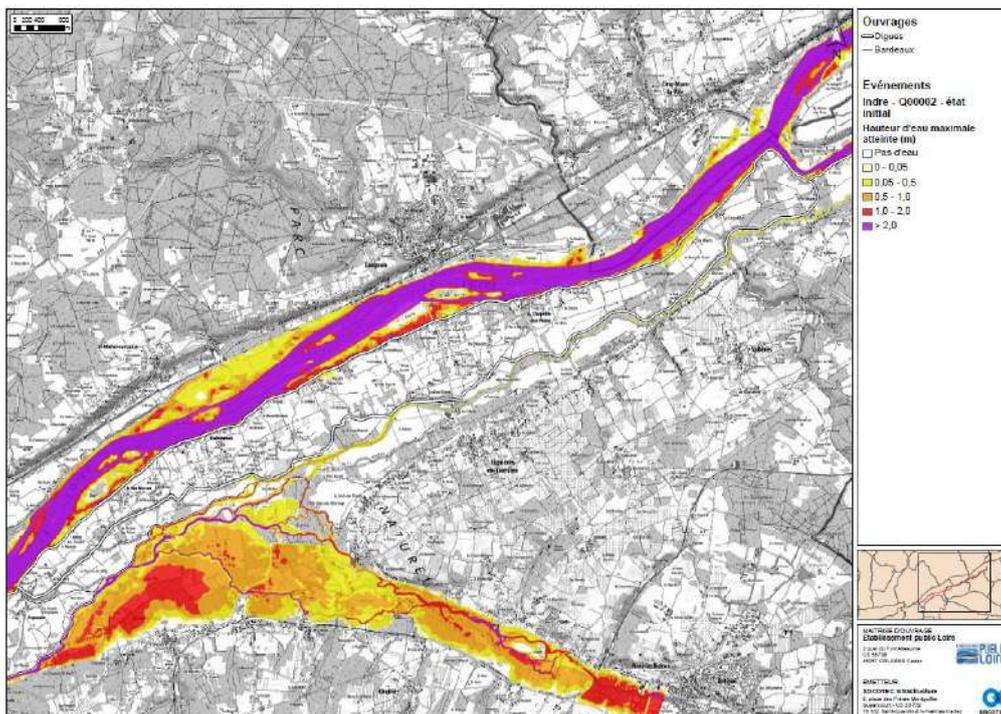


Figure 8-4 : Scénario 1.2 – hauteur d’eau maximale atteinte – Indre

- Caractéristiques du scénario :
- Crue : Q10 de la Loire
 - Défaillance : /

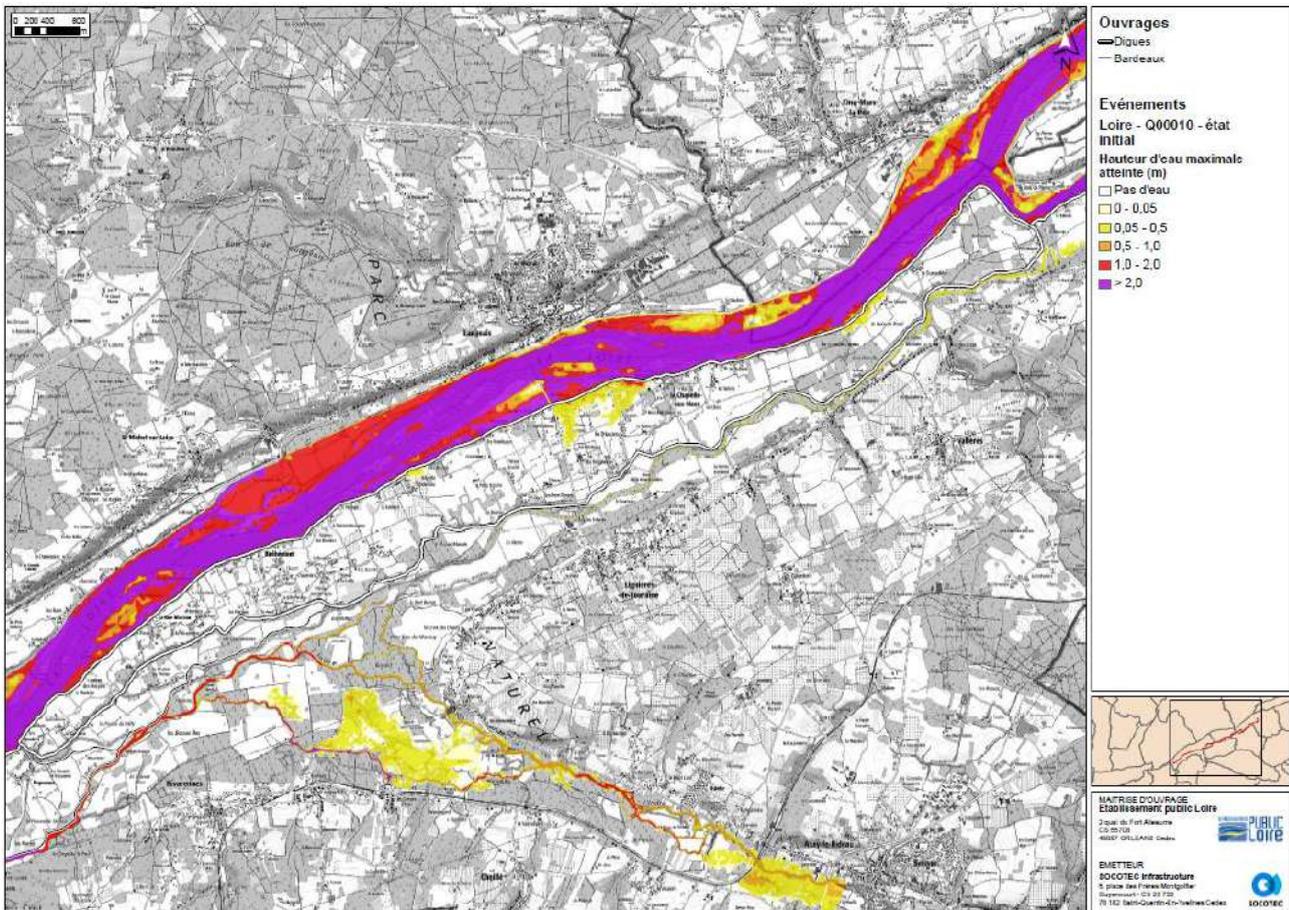


Figure 8-5 : Scénario 1.3 – hauteur d’eau maximale atteinte – Loire

SC1 : ce scénario montre l’effet de la protection de l’ouvrage pour le niveau de protection. Il n’y a pas d’entrée d’eau dans la zone protégée.

8.3.5.2. Scénario 2

Scénario 2 : défaillance fonctionnelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de protection.

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q10000 du Vieux Cher
- Défaillance : Vannage du Port Baudin

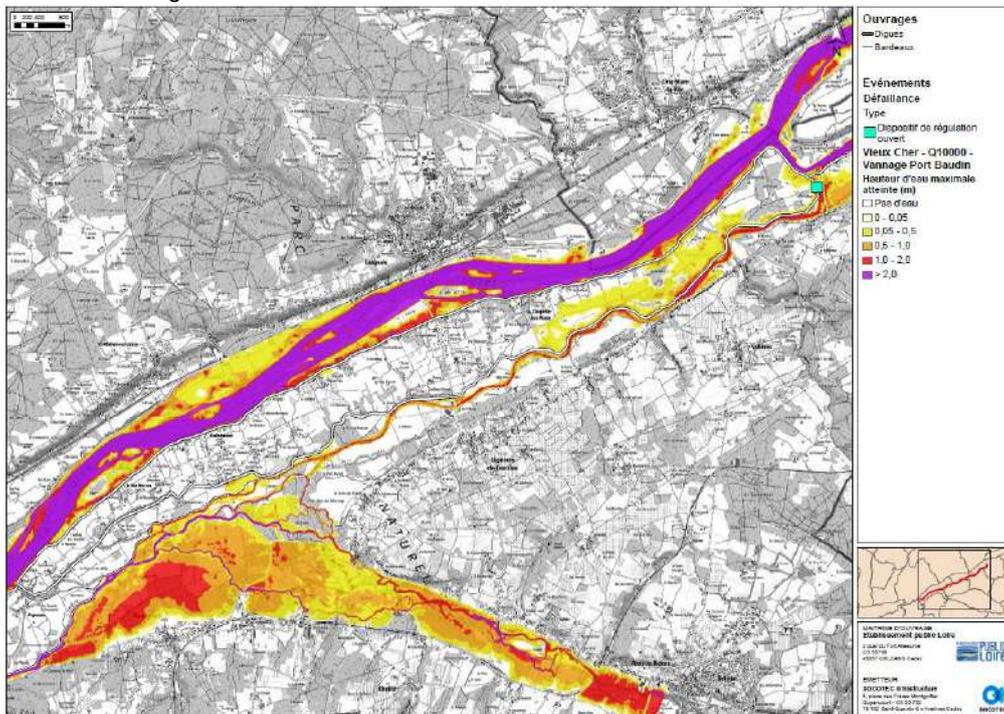


Figure 8-6 : Scénario 2.1 – hauteur d’eau maximale atteinte – Vieux Cher

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q100 de l’Indre
- Défaillance : Vannage Bataillaux

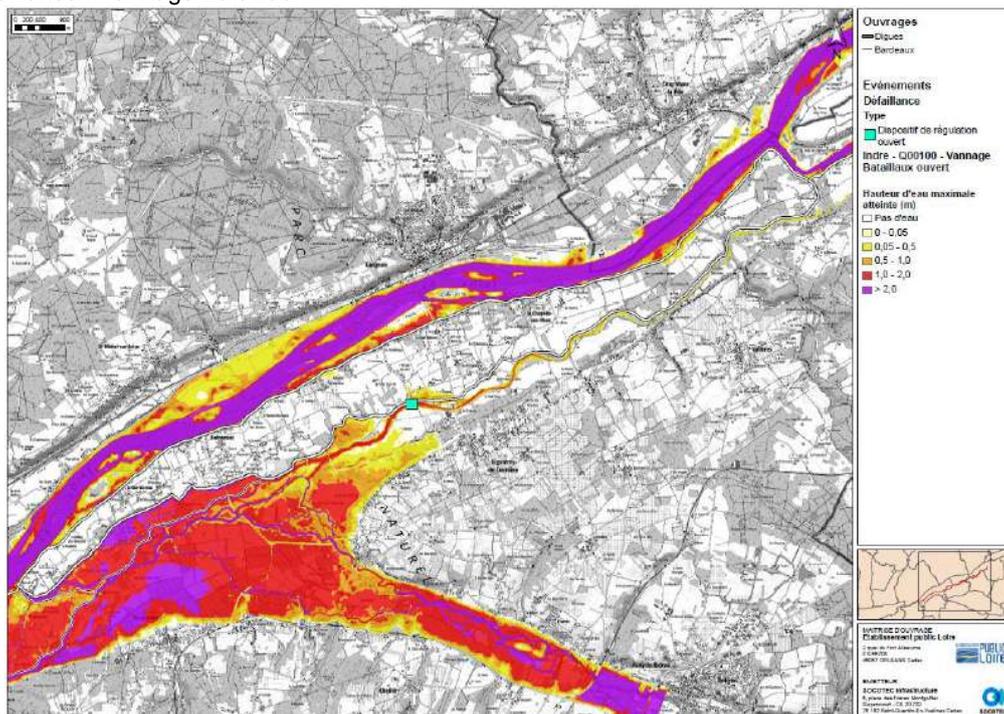


Figure 8-7 : Scénario 2.2 – hauteur d’eau maximale atteinte – Indre

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de la Loire
- Défaillance : Clapet Boudres

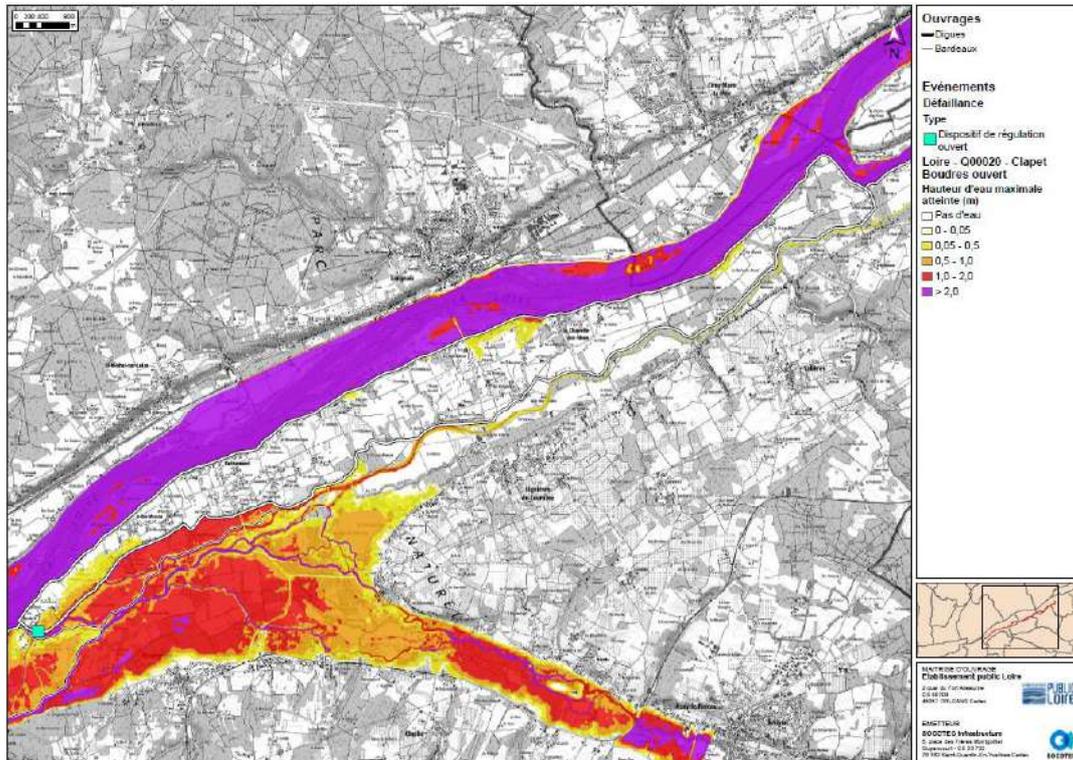


Figure 8-8 : Scénario 2.3.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de la Loire
- Défaillance : Vannage Guilmenerie

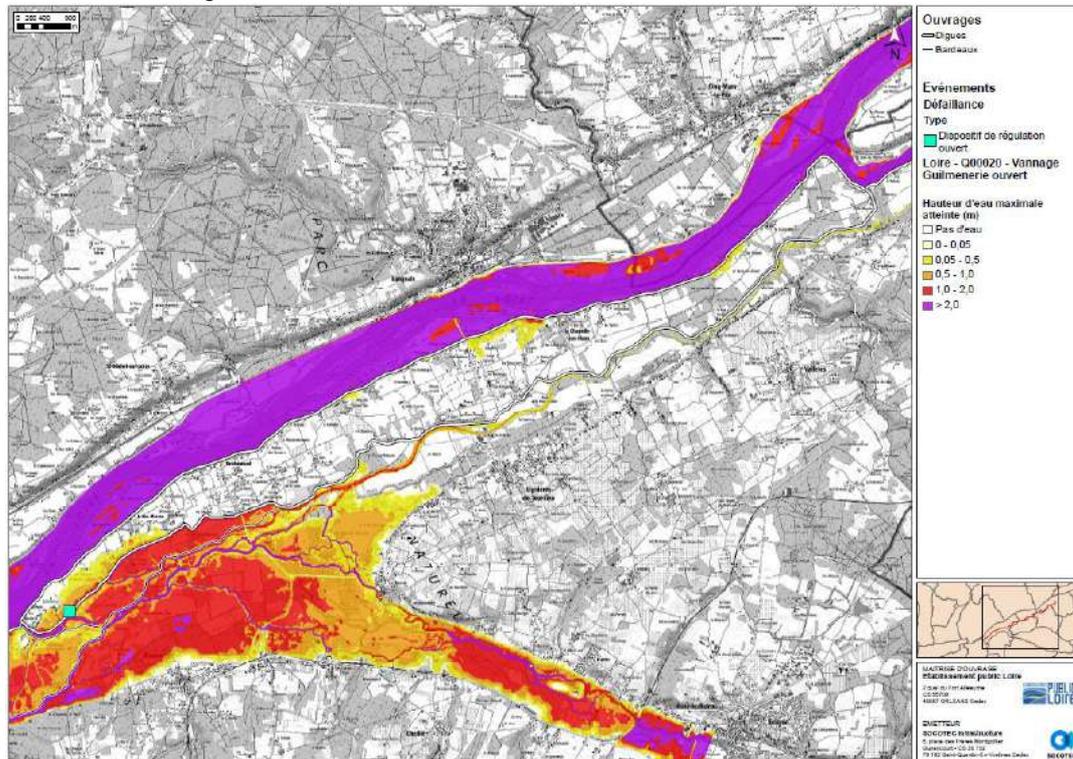


Figure 8-9 : Scénario 2.3.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de la Loire
- Défaillance : Vannage Milly

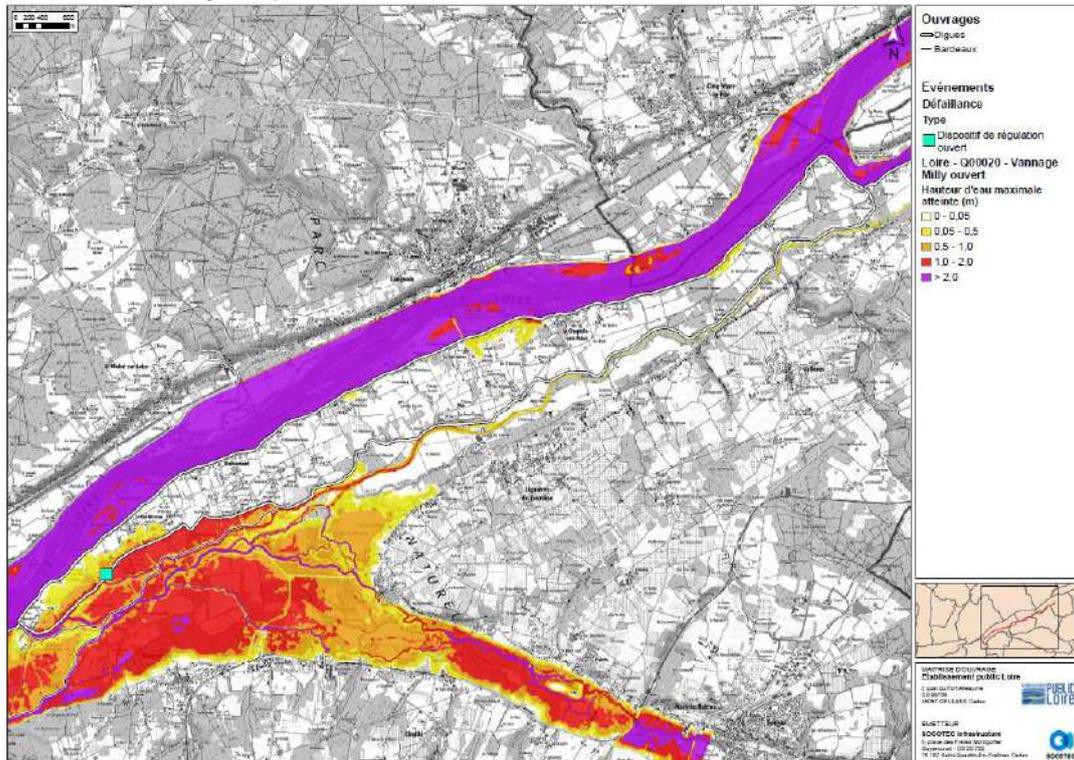


Figure 8-10 : Scénario 2.3.3 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de la Loire
- Défaillance : Vannage Foucaults

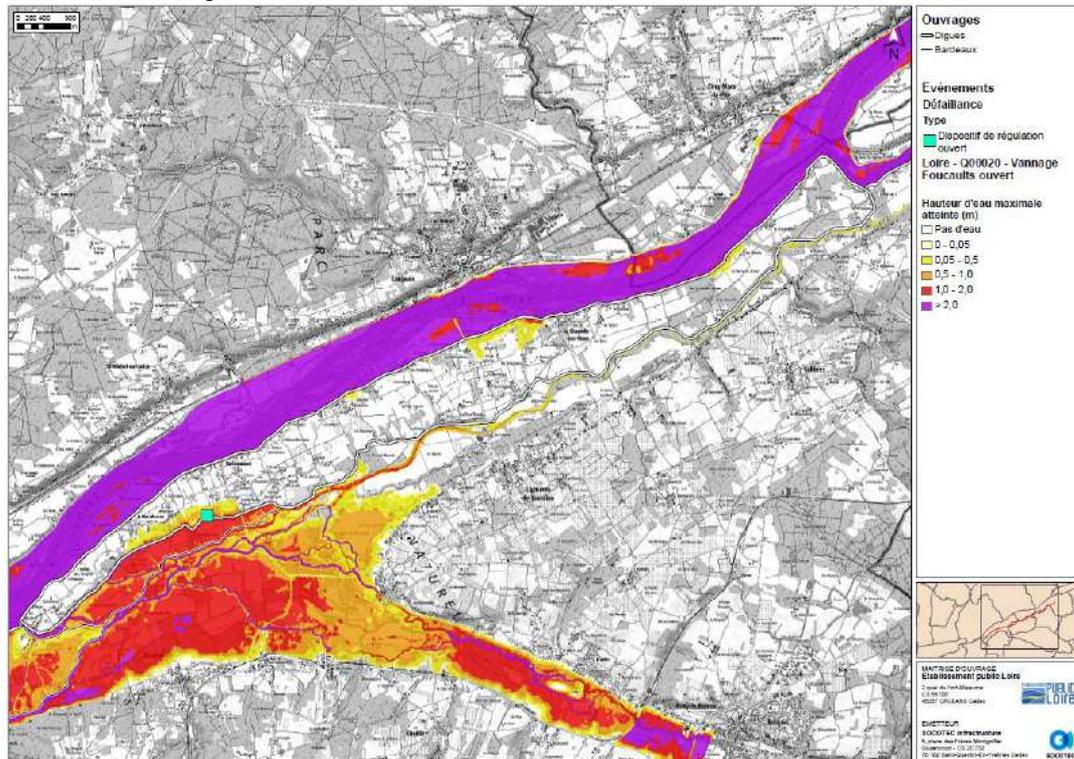


Figure 8-11 : Scénario 2.3.4 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire

8.3.5.3. Scénario 3

Scénario 3 : défaillance structurelle pour un événement hydraulique correspondant au niveau de danger.

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q10000 du Vieux Cher
- Défaillance : Brèche 3

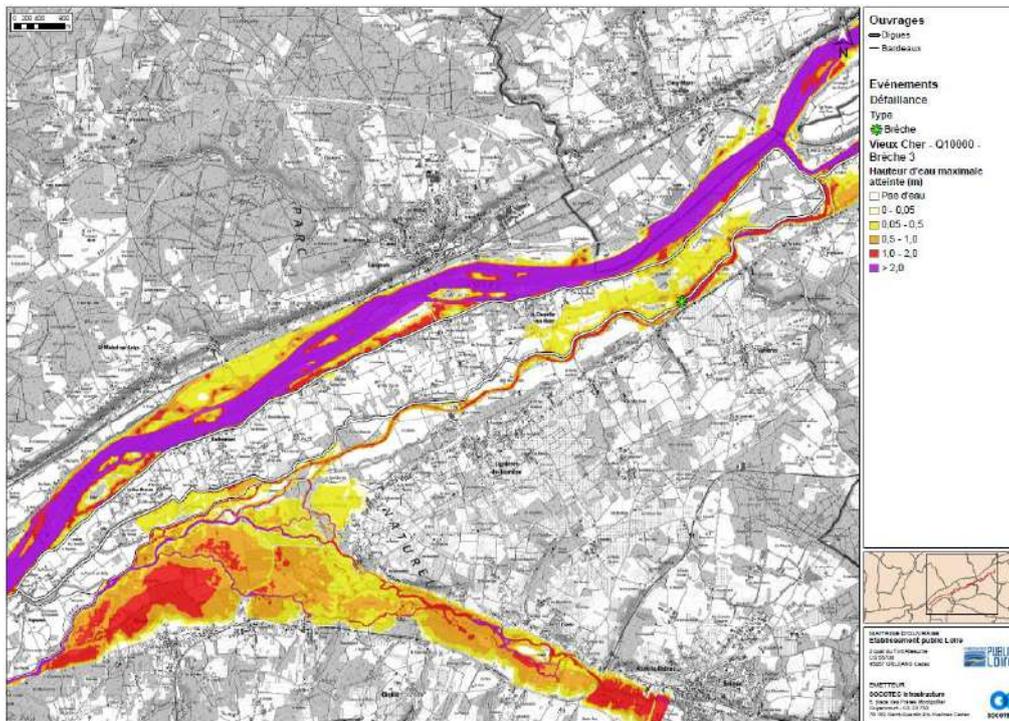


Figure 8-12 : Scénario 3.1.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Vieux Cher

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q10000 du Vieux Cher
- Défaillance : Brèche 4

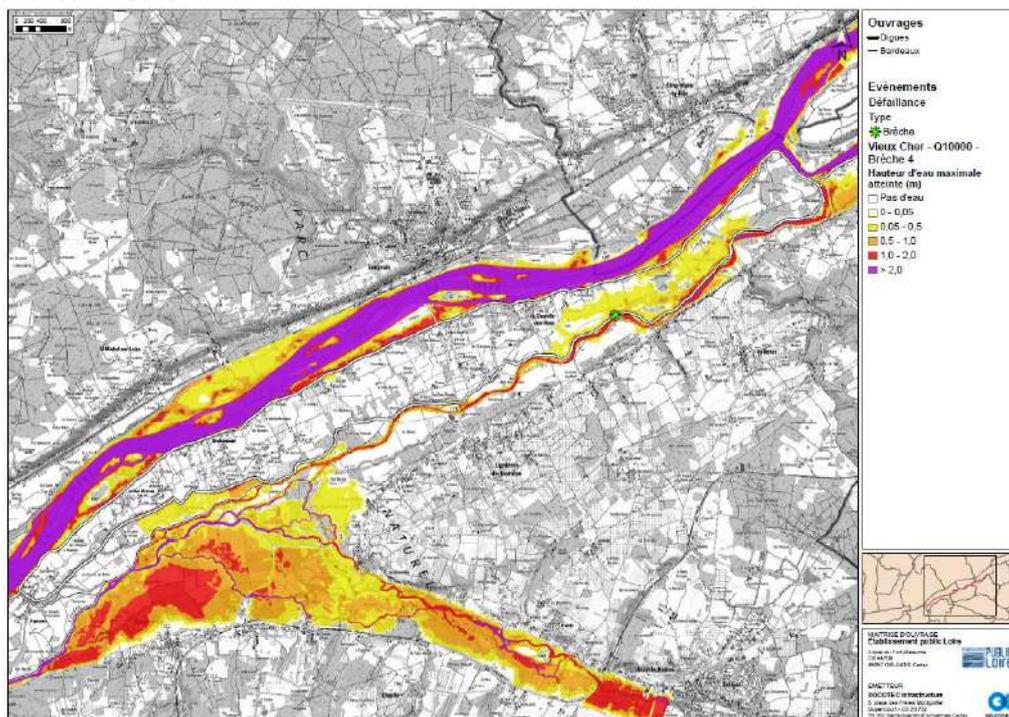


Figure 8-13 : Scénario 3.1.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Vieux Cher

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q5 de l'Indre
- Défaillance : Brèche 1

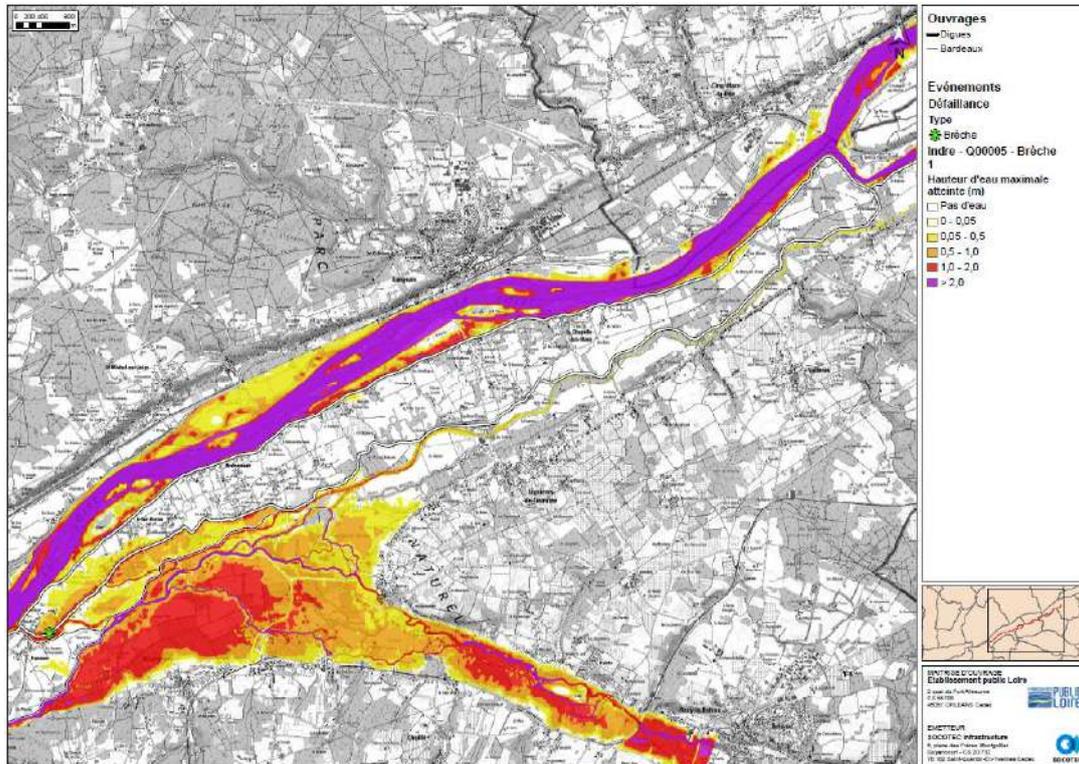


Figure 8-14 : Scénario 3.2.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Indre

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q5 de l'Indre
- Défaillance : Brèche 2

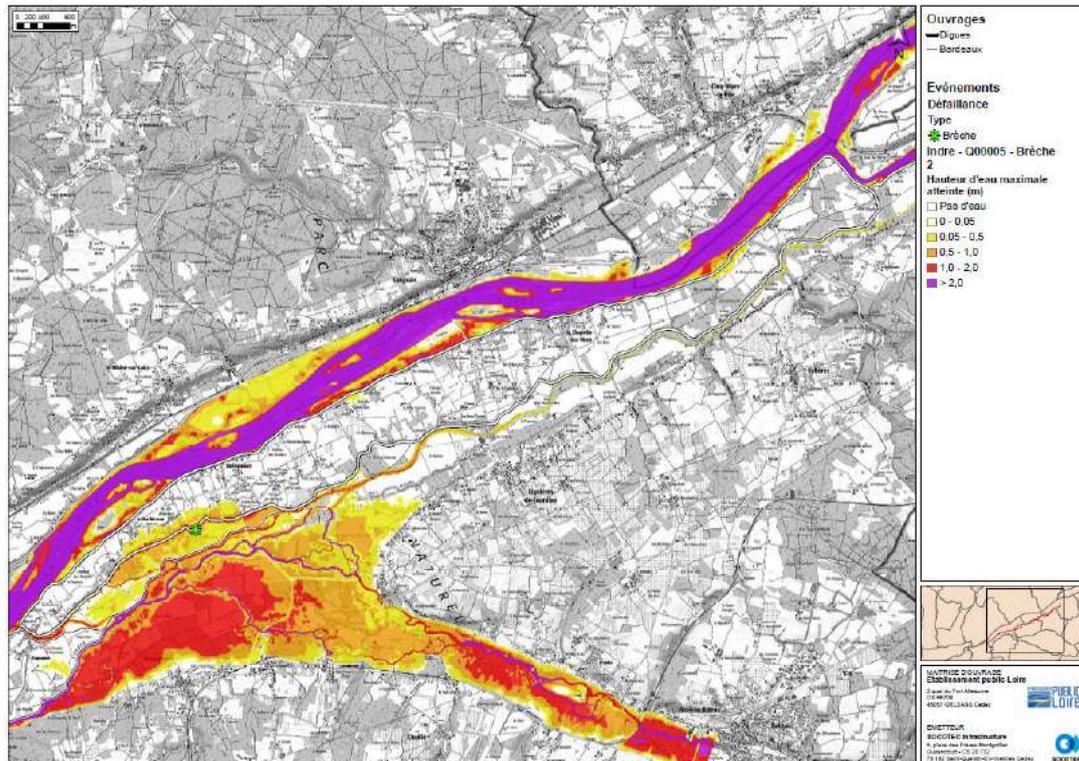


Figure 8-15 : Scénario 3.2.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Indre

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de la Loire
- Défaillance : Brèche 1

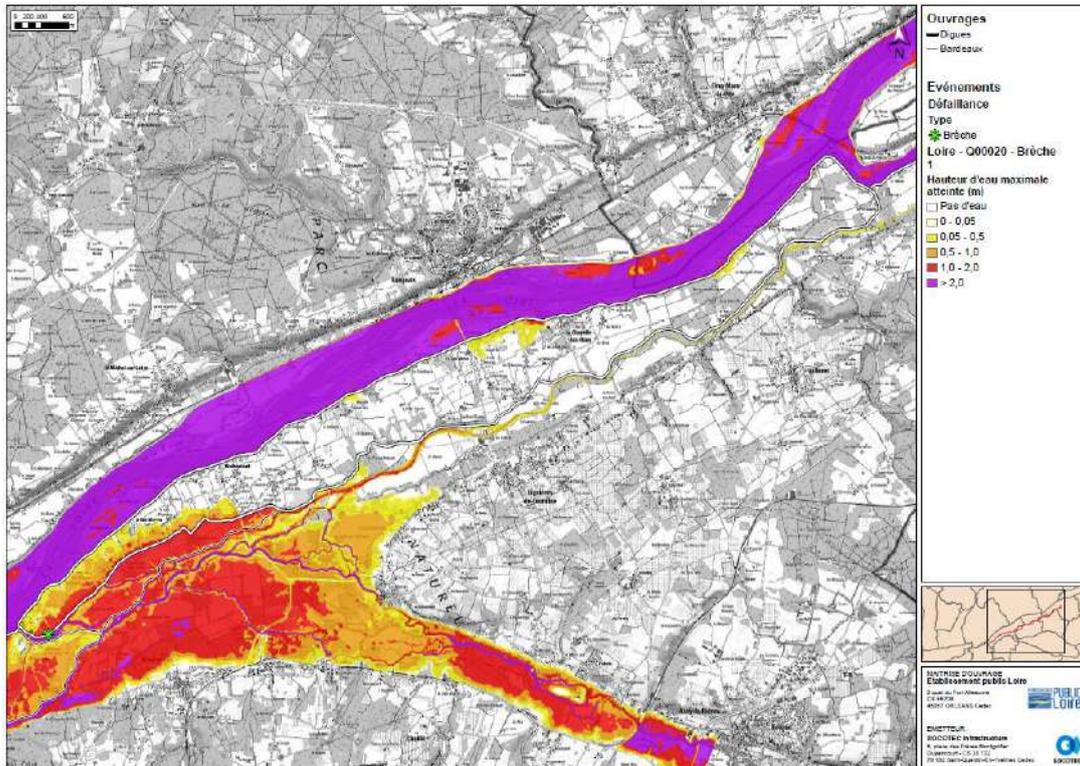


Figure 8-16 : Scénario 3.3.1 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Q20 de la Loire
- Défaillance : Brèche 2

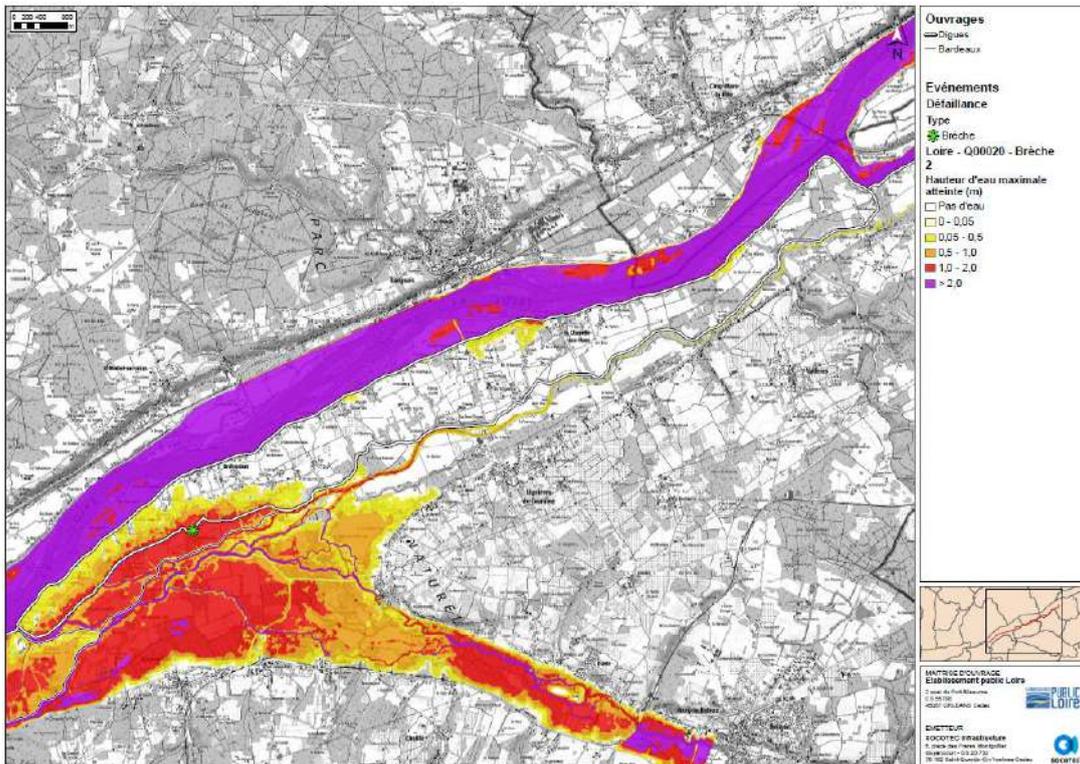


Figure 8-17 : Scénario 3.3.2 – hauteur d'eau maximale atteinte – Loire

8.3.5.4. Scénario 4

Scénario 4 : aléa de référence PPRI(L) avec défaillance structurelle si c'est un événement hydraulique correspondant à un niveau supérieur ou égal au niveau de danger.

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Crue de 1856
- Défaillance : Brèche de la digue domaniale nord (RG2)

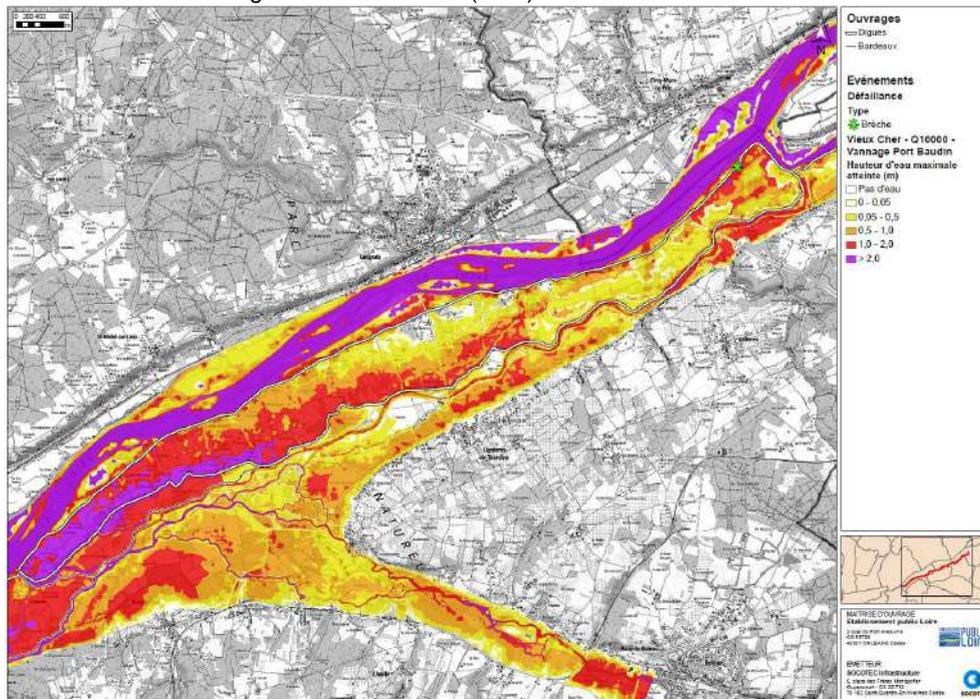


Figure 8-18 : Scénario 4 – hauteur d'eau maximale atteinte – Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 2

Caractéristiques du scénario :

- Crue : Crue de 1856
- Défaillance : Brèche de la digue domaniale sud (RG5)

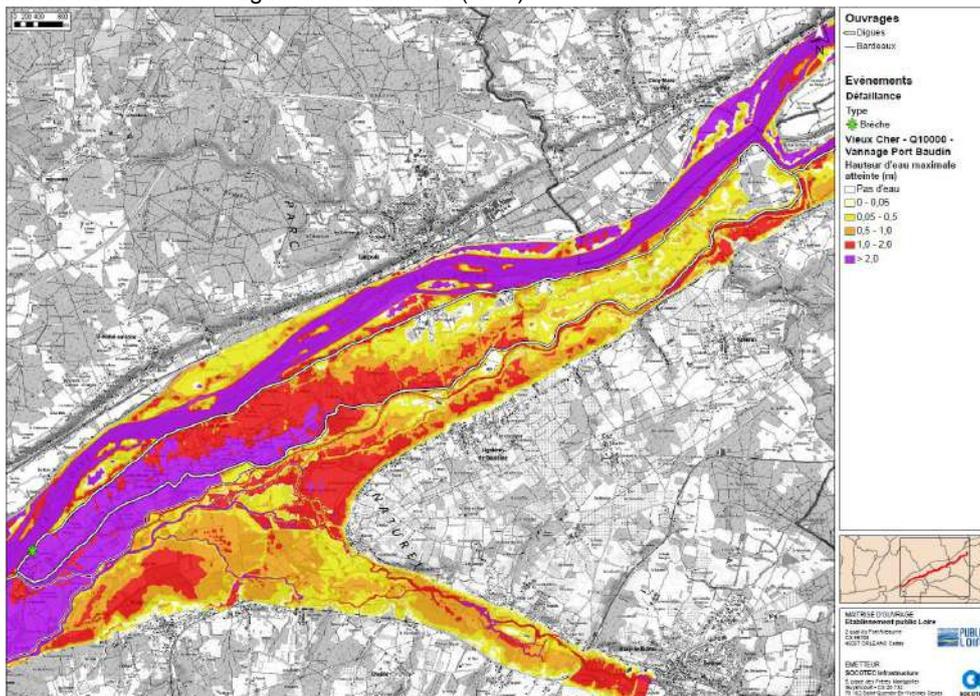


Figure 8-19 : Scénario 4 – hauteur d'eau maximale atteinte – Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 5

8.3.5.5. Analyse

SC2 : ce scénario montre les entrées d'eau dans la zone protégée par un dysfonctionnement d'un dispositif de régulation des écoulements pour le niveau de protection :

- Pour le scénario 1, crue du Vieux Cher, la défaillance de vannage Port Baudin inonde l'ensemble de la zone aval ;
- Pour le scénario 2, crue de l'Indre, la défaillance n'a pas beaucoup d'impact avec une zone inondée restreinte au niveau de la zone aval immédiate. Cela est dû au fait que l'ouvrage est assez au nord et est peu impacté par les crues de la Loire et de l'Indre par remous ;
- Pour les scénarios 3, crue de la Loire, les défaillances de dispositifs de régulation touchent la partie à proximité de la digue et ne s'étendent pas jusqu'à la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont. La plus grosse inondation est celle due à l'ouverture du vannage Milly (3^e ouvrage en partant du sud). La défaillance du Vannage des Foucaults plus au nord (4^e ouvrage en partant du sud) impacte une zone moins importante et ne s'écoule pas jusqu'au sud de la zone protégée.

SC3 : ce scénario montre les entrées d'eau dans la zone protégée par une brèche pour un niveau de danger.

- Pour le scénario 1, crue du Vieux Cher, les brèches simulées ne changent pas de manière significative l'emprise de l'inondation par rapport à la situation actuelle étant donnée la proximité avec le point bas.
- Pour le scénario 2, crue de l'Indre, les inondations sont similaires mais légèrement plus importantes que dans le cas de défaillance des ouvrages hydrauliques où les brèches sont localisées ;
- Pour les scénarios 3, crue de la Loire, les inondations sont similaires mais plus importantes que dans le cas de défaillance des ouvrages hydrauliques où les brèches sont localisées ;

S4 : ce scénario montre les entrées d'eau dans la zone protégée pour l'aléa de référence supérieur au niveau de protection Q20. Pour ce scénario, l'ensemble de la zone protégée est inondé.

8.3.6. Criticité des scénarios

8.3.6.1. Vulnérabilité des enjeux

Les enjeux impactés par chaque scénario sont les suivants :

	Crue	Défaillance	Bâtiments	Commerces / services	Bâtiments agricoles	Parcelles agricoles	Logements	Population*
S1	VC2	/	0	0	0	0	0	0
	I2	/	0	0	0	0	0	0
	L10	/	0	0	0	0	0	0
S2	VC10000	Port Baudin	107	0	1	66	29	67
	I100	Bataillaux	7	0	0	6	4	7
	L20	Boudres	28	0	0	15	11	19
	L20	Guilmenerie	87	1	0	17	35	60
	L20	Milly	34	0	0	16	15	26
	L20	Foucaults	64	0	0	7	26	45
S3	VC10000	Brèche 3	88	0	1	64	23	53
	VC10000	Brèche 4	87	0	1	59	23	53
	I5	Brèche 1	45	0	0	16	19	33
	I5	Brèche 2	64	0	0	8	28	48
	L20	Brèche 1	269	1	0	25	94	160
	L20	Brèche 2	414	3	0	43	139	237
S4	1856	Brèche RG2	1885	26	18	231	614	1162
		Brèche RG5	1825	23	19	221	593	1115

Tableau 8-7 : Nombre d'enjeux impactés par les inondations selon les scénarios

Nota : La population correspond ici à la population résidente.

8.3.6.2. Gravité des scénarios

La gravité des scénarios est la suivante :

Sc	Crue	Population	Gravité				
			5 – Désastreux > 10 000	4 – Catastrophique > 1 000	3 – Important > 100	2 – Sérieux > 10	1 – Modéré ≤ 10
S2	VC1000	67				X	
	I100	7					X
	L20	19				X	
		60				X	
		26				X	
S3	VC1000	53				X	
		53				X	
	I5	33				X	
		48				X	
	L20	160			X		
237				X			
S4	Crue 1856	1162		X			
		1115		X			

Tableau 8-8 : Gravité des scénarios

8.3.6.3. Criticités des scénarios

La probabilité et la gravité des scénarios sont rappelées ci-après :

Scénarios	Crue	Défaillance	Probabilité du scénario	Gravité des scénarios	
S1	1.1	Vieux Cher	Non	50%	/
	1.2	Indre	Non	50%	/
	1.3	Loire	Non	50%	/
S2	2.1	Vieux Cher	Vannage Port Baudin	0.0001%	2
	2.2	Indre	Vannage Bataillaux	0.01%	1
	2.3.1	Loire	Clapet Boudres	0.001%	2
	2.3.2		Vannage Guilmererie	0.005%	2
	2.3.3		Vannage Milly	0.005%	2
	2.3.4		Vannage Foucaults	0.005%	2
S3	3.1.1	Vieux Cher	Brèche 3	0.0013%	2
	3.1.2		Brèche 4	0.01%	2
	3.2.1	Indre	Brèche 1	20%	2
	3.2.2		Brèche 2	4%	2
	3.3.1	Loire	Brèche 1	5%	3
	3.3.2		Brèche 2	1%	3
S4	4.1	PPRI : Crue 1856	Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 2	0.5%	4
	4.2		Brèche de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont 5	0.5%	4

La criticité des scénarios étudiés est la suivante :

Criticité du scénario		Probabilité du scénario						
		10%	1%	0.5%	0.2%	0.1%	0.01%	
		Très probable	Probable	Moyenne probable	Peu probable	Très peu probable	Improbable	Très improbable
Gravité du scénario	5 - Désastreux	S4						
	4 - Catastrophique	S4						
	3 - Important	S3.3						
	2 - Sérieux	S3.2.1	S3.2.2			S3.2	S3.1.2	S2.1 S2.3 S3.1.1
	1 - Modéré						S2.2	

Tableau 8-9 : Criticité des scénarios d'inondation

8.4. Description de la Zone Protégée

8.4.1. Zone protégée réglementaire

Il est rappelé que la finalité d'un système d'endiguement est la protection d'un territoire, appelé Zone Protégée, contre les inondations provenant d'un cours d'eau ou de la mer, et cela jusqu'à un certain niveau d'événement, appelé Niveau de protection.

Le niveau de protection de la digue du Vieux Cher est variable selon les secteurs avec des profils défaillant dès les premières crues.

Il a donc été considéré que la Zone Protégée caractérisée ci-après (et dans l'intégralité de l'EDD) était le casier délimité par la digue du Vieux Cher au sud et la digue domaniale au nord du val de Villandry/Bréhémont.

Ce casier a été divisé en plusieurs sous-zones caractéristiques :

Sous zone	Commune	Événement contre lequel l'ouvrage protège des enjeux bâtis
1	Villandry	Vieux Cher VC10
2	Villandry	Vieux Cher VC10000
3.1	Villandry	Vieux Cher VC10000
3.2	Villandry	Vieux Cher VC10000
3.3	Vallères	Vieux Cher VC10000
3.4	La Chapelle-aux-Naux	Vieux Cher VC10000
4	Villandry	Loire L50 avec effacement déversoir VC
5	Villandry	Loire L50 avec effacement déversoir VC + brèche sud A85
6	Villandry	Loire L50 avec effacement déversoir VC + brèche nord A85
7	Villandry	Loire L100 avec effacement déversoir VC
8	Bréhémont	Indre I10
9.1	Bréhémont	Indre I100
9.2	La Chapelle-aux-Naux	Indre I100
10.1	Bréhémont	Loire si effacement déversoir à L100 (pas d'eau)
10.2	La Chapelle-aux-Naux	Loire si effacement déversoir à L100 (pas d'eau)
11	La Chapelle-aux-Naux	/

Tableau 8-10 : Sous zones dans la Zone Protégée

Ces zones sont définies par effacement de la digue du Vieux Cher. Elle ne prene pas en compte la digue domaniale dont le niveau de protection varie entre Q5 et Q20.

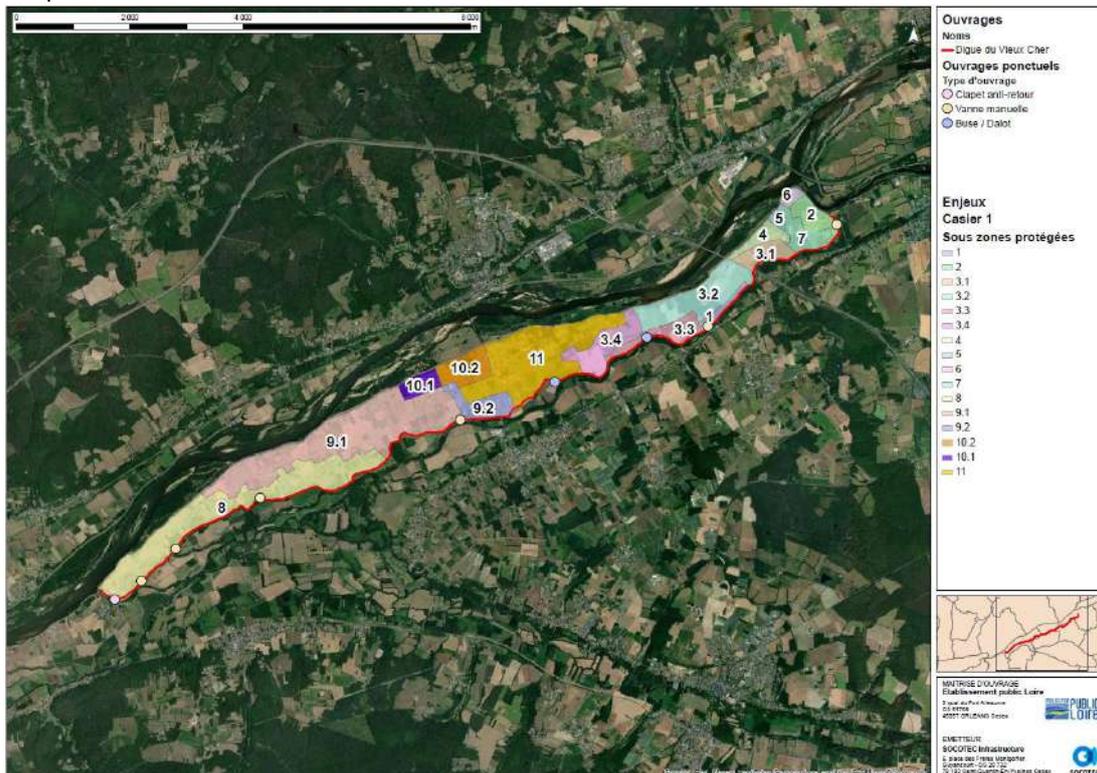


Tableau 8-11 : Sous zones dans la Zone Protégée

8.4.2. Type de bâtiments

Selon les données de la BDTopo, la répartition des bâtiments est la suivante :

Usage1	Usage2	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4	5	6	7	8	9.1	9.2	10.1	10.2	11
Résidentiel		2	3	0	7	0	2	10	1	0	0	117	156	11	4	28	144
	Commercial et services	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	4
	Annexe	0	4	0	3	0	0	3	1	0	0	38	36	3	0	4	44
Annexe		1	2	0	4	0	2	3	1	0	0	80	94	8	2	8	77
	Résidentiel	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	7	2	0	1	8
Commercial et services		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Résidentiel	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	0	0	1	2
Agricole		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Résidentiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Serre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Religieux		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sportif	Commercial et services	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Indifférencié		4	9	1	20	3	10	29	2	9	3	258	290	44	11	64	263
Indifférencié (Issu du cadastre)		4	4	1	2	0	1	8	0	4	0	19	45	2	2	7	34
Total			12	22	2	37	3	16	53	5	13	3	518	640	70	19	114

Tableau 8-12 : Décompte des bâtiments pas usage (selon la BD topo)

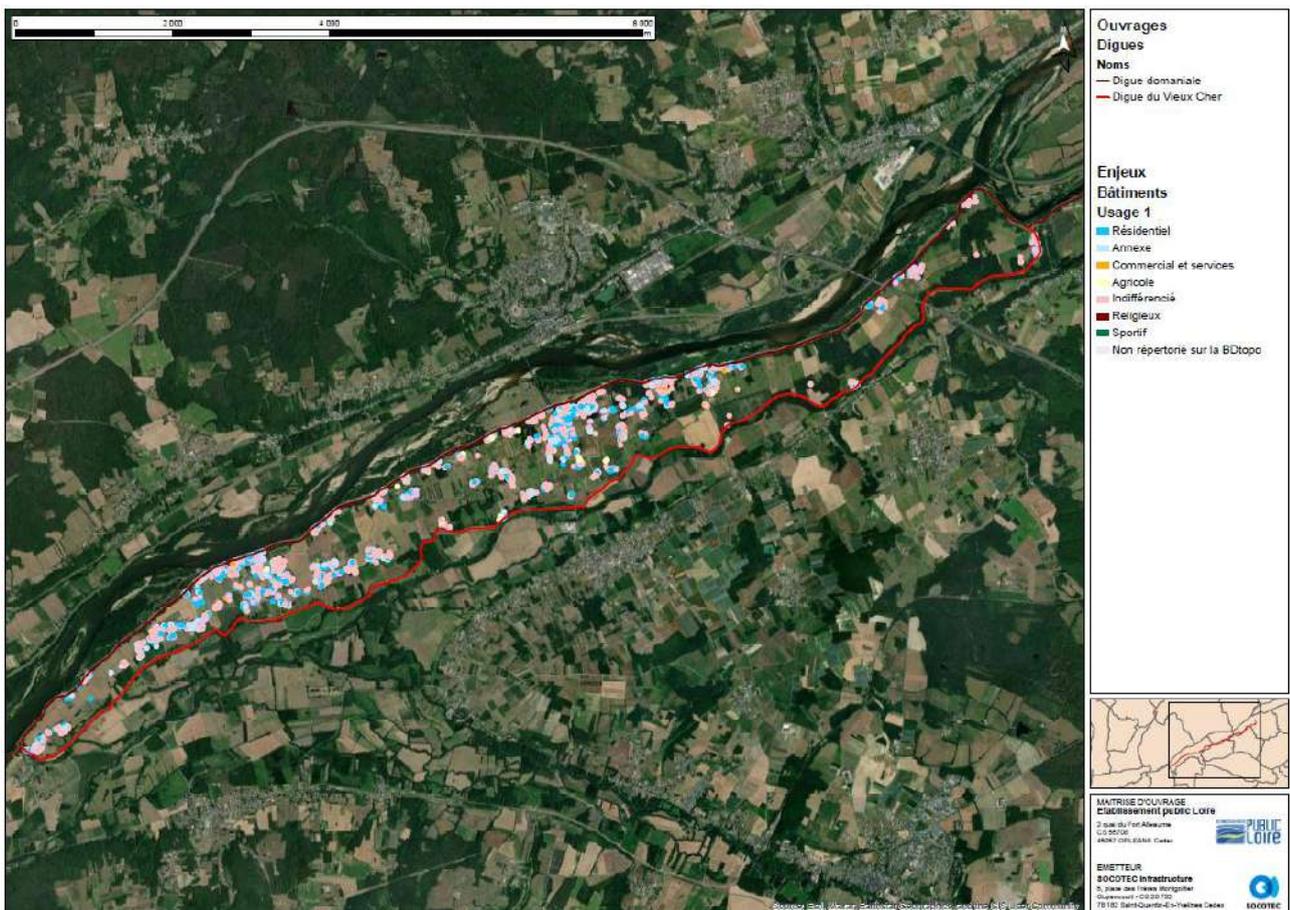


Tableau 8-13 : Bâtiments dans la Zone Protégée

8.4.3. Activités sensibles

8.4.3.1. Gestion de crise

Les établissements participant à la gestion de crise présents dans la zone protégée sont les suivants :

Communes	Type d'établissement	Détail	Adresse
Villandry	/	/	
Vallères	/	/	
La Chapelle-aux-Naux	Mairie	Mairie	8, Rue Principale
	Salle de fêtes	Salle des fêtes	Rue de l'école
Bréhémont	Mairie	Mairie	1, Place du 8 Mai 1945
		Hôtel de ville	1, Place du 8 Mai 1945

Tableau 8-14 : Liste des établissements participant à la gestion de crise

8.4.3.2. Bâtiments sensibles

Les établissements sensibles présents dans la zone protégée sont les suivants :

Communes	Type	Détail	Adresse	Capacité
Villandry	/	/		
Vallères	/	/		
La Chapelle-aux-Naux	Enseignement	École élémentaire publique	1 Rue de l'école	48 élèves
Bréhémont	Enseignement	École primaire publique	7 Place du 8 Mai 1945	66 élèves

Tableau 8-15 : Liste des établissements sensibles

8.4.3.3. ICPE

Selon Géoriques, aucune activité répertoriée en tant qu'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) n'est présente au sein de la zone protégée par la digue du Vieux Cher.

8.4.4. Activités

8.4.4.1. Commerces et services

Les établissements commerciaux et de services présents dans la zone protégée sont les suivants :

Communes	Type	Nom	Adresse	Salariés
Villandry	Boulangerie	Le pain de la levée	La Fillonnerie	1 à 2
Vallères	/	/	/	
La Chapelle-aux-Naux	Société des transports	André Guy	4 Route de Lignièrès	Radié
	Plomberie	SANI-PLOMB SAS	8 Route de Lignièrès	Radié
	Garde-meubles en libre-service	Aux garde-meubles de Touraine	4 Rte de Lignièrès	A priori 2
	Stand alimentaire sur marché	Madame Sallai Rachida	3 Rue des Blanchetièrès	A priori 1
	Ferme pédagogique	La ferme d'Adeline	Rue de la Noux	A priori 1
	Restaurant	La cabane	Rue des Brisacièrès	
	Centre équestre	Touraine Cheval	2 rue des Brisacièrès	
	Fleuriste	Courteau Fleurs	1Bis Rue des Avanrièrès	3 à 5
	Magasin bio	Histoire de fruits	7 Rue des Avanrièrès	1 à 2
	Pas d'information (x6)*	Pas d'information		
Bréhémont	Restaurant	Les Pêcherièrès Ligérièrès / La Cabane à Matelot	19 Avenue du 11 Novembre	
	Boulangerie	Ronde des Pains	11 avenue du 11 Novembre	Fermé
	Service de location de vélo	Loire Vélo Nature	3 avenue du 11 Novembre	A priori 1
	Location de canoës et kayaks	Kryzalid'Nature	4 bis Rue des Déportés	
	Association bénévole	Amis de la Boule de fort	2 Rue Ridet	
	Service de soutien au spectacle vivant	Madame Cécile Herbaux	1 A Rue des Déportés	
	Bibliothèque	Bibliothèque	3 Rue des Déportés	

Communes	Type	Nom	Adresse	Salariés
	Cabinet infirmier	Infirmières Bréhémont	2A Place du 8 Mai 1945	2
	Restaurant	La Clef d'or - Odélices de Sarah	6 Avenue du 11 Novembre	
	Banque Postale	Agence Postale Communale	1 Place du 8 Mai 1945	
	Boucherie	Loire Valley Inspiration	20 Avenue du 11 Novembre	
	Entreprise d'aérogommage	MAGIC GOM	3 le Boulardin	1 à 2
	Maraîcher	La Ferme de Bréhémont	8 Rue Moreau	A priori 2
	Pas d'information (x4)	Pas d'information		

Tableau 8-16 : Liste des établissements commerciaux et de services

(*) : pas d'information signifie que seule la BDTopo indique que le bâtiment a une fonction commerciale ou de service.

8.4.4.2. Tourisme

Les établissements touristiques présents dans la zone protégée sont les suivants :

Communes	Type	Nom	Adresse	Accueil
Villandry		/	/	/
Vallères		/	/	/
La Chapelle-aux-Naux	Hôtel	La Toue Reine, cabane sur la Loire, La Batelière sur Loire	24 Levée de la Loire	4 personnes
	Chambre d'Hôtes	Fraysse Nathalie	3 Rue des Taboureaux	
	Gîte	Gîte La Longère	20 Rue des Brisaciers	10 chambres - 25 Personnes
	Gîte	Gîte La Petite Maison - La Loire en Touraine	Rue des Brisaciers	2 chambres - 4 Personnes
	Gîte	Gîte Le Logis – La Loire en Touraine	Rue de la Plaine	6 chambres - 15 Personnes
Bréhémont	Camping	Loire et châteaux	7, Le Stade	75 emplacements
	Camping	Villa Cottage	Le Stade	A priori 8 emplacements
	Chambre d'hôtes	Castel De Bréhémont	10 Rue Ridet	5 chambres - 15 Personnes
	Chambre d'hôtes	La Clef d'or - Odélices de Sarah	6 Avenue du 11 Novembre	5 chambres - 15 Personnes
	Chambre d'hôtes	Au gré de la Loire, Renault Catherine	30 Rue Moreau	1 Chambre - 2 Personnes
	Gîte	La chaumière	4, La Chaumière	2 chambres - 5 personnes
	Gîte	La Chaumière	1, La Chaumière	7 Personnes
	Gîte	L'Arbaselle	1 Rue du Cent d'Hommes	6 Personnes
	Gîte	« La Moire » Dumont Claudie Et Stéphane	3 Rue de la Moiré	8 Personnes
	Gîte	Étape Communale	Place du 8 Mai	25 personnes
	Gîte	Chevalier Nicole	16 Rue Moreau	4 Personnes
	Gîte	Sundheimer Amélie	48 Rue Moreau	4 Personnes
	Gîte	« La parenthèse »	1 L'Aireau des Besniers	4 Personnes
	Gîte	Bord de Loire	24 Rue des Boudres	12 Personnes
	Gîte	La Grange	7 Rue de la Moire	6 Personnes
	Gîte	Au gré de la Loire, Renault Catherine	30 Rue Moreau	1 Chambre - 4 Personnes
	Gîte	M. Et Mme Stab Johnny	19 Rue de l'Essert	2 Personnes
	Gîte	Lelievre Yves	1 le Plessis	5 Personnes
Gîte	« La closerie du patis »	2 Le Patis Grandin	14 Personnes	
Gîte	THIZY HERVÉ	1 Rue du Croissant	4 Personnes	

Tableau 8-17 : Liste des établissements touristiques

8.4.4.3. Agriculture

Selon le Registre des Parcelles Agricoles (RPG) de 2021, la zone protégée compte 231 parcelles agricoles pour une surface totale de 518 ha soit 43% de la surface totale.

Les parcelles sont majoritairement composées de prairies permanentes à 31% de la superficie agricole, suivies des parcelles de maïs et de blé tendre.

Type de cultures	Nombre de parcelles agricoles	Surface [ha]	Part [%]	Part du casier [%]
Blé tendre	20	76	15%	6%
Maïs grain et ensilage	19	85	16%	7%
Orge	7	25	5%	2%
Autres céréales	10	26	5%	2%
Colza	7	21	4%	2%
Tournesol	15	38	7%	3%
Protéagineux	2	2	0%	0%
Gel (surfaces gelées sans production)	27	13	3%	1%
Fourrage	15	30	6%	3%
Prairies permanentes	58	160	31%	13%
Prairies temporaires	21	28	5%	2%
Vergers	11	8	2%	1%
Légumes ou fleurs	12	3	1%	0%
Divers	7	3	1%	0%
Total	231	518	100%	43%

Tableau 8-5 : Liste des activités agricoles par parcelles

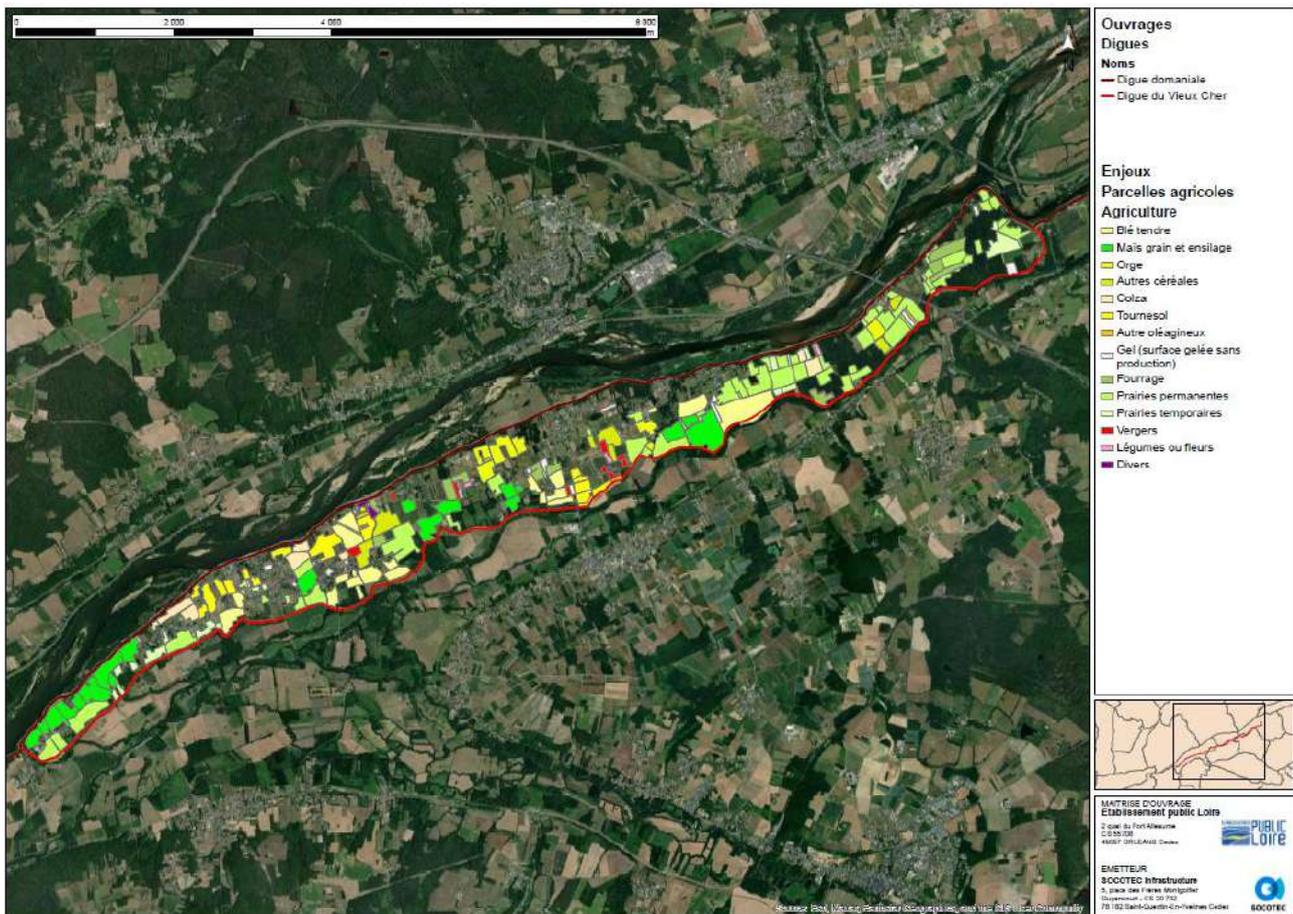


Tableau 8-18 : Parcelles agricoles dans la Zone Protégée

8.4.4.4. Lieux de culte

Les lieux de culte présents dans la zone protégée sont les suivants :

Communes	Type d'établissement	Détail	Adresse
Villandry	/	/	
Vallères	/	/	
La Chapelle-aux-Naux	Église	Église Saint-Clément	6, Rue Principale
Bréhémont	Église	Église Sainte-Marie-Madeleine	1D Rue des Déportés
	Institution religieuse	Centre De Séminaires De Loire	Rue des Déportés

Tableau 8-19 : Liste des établissements sensibles

8.4.5. Infrastructures

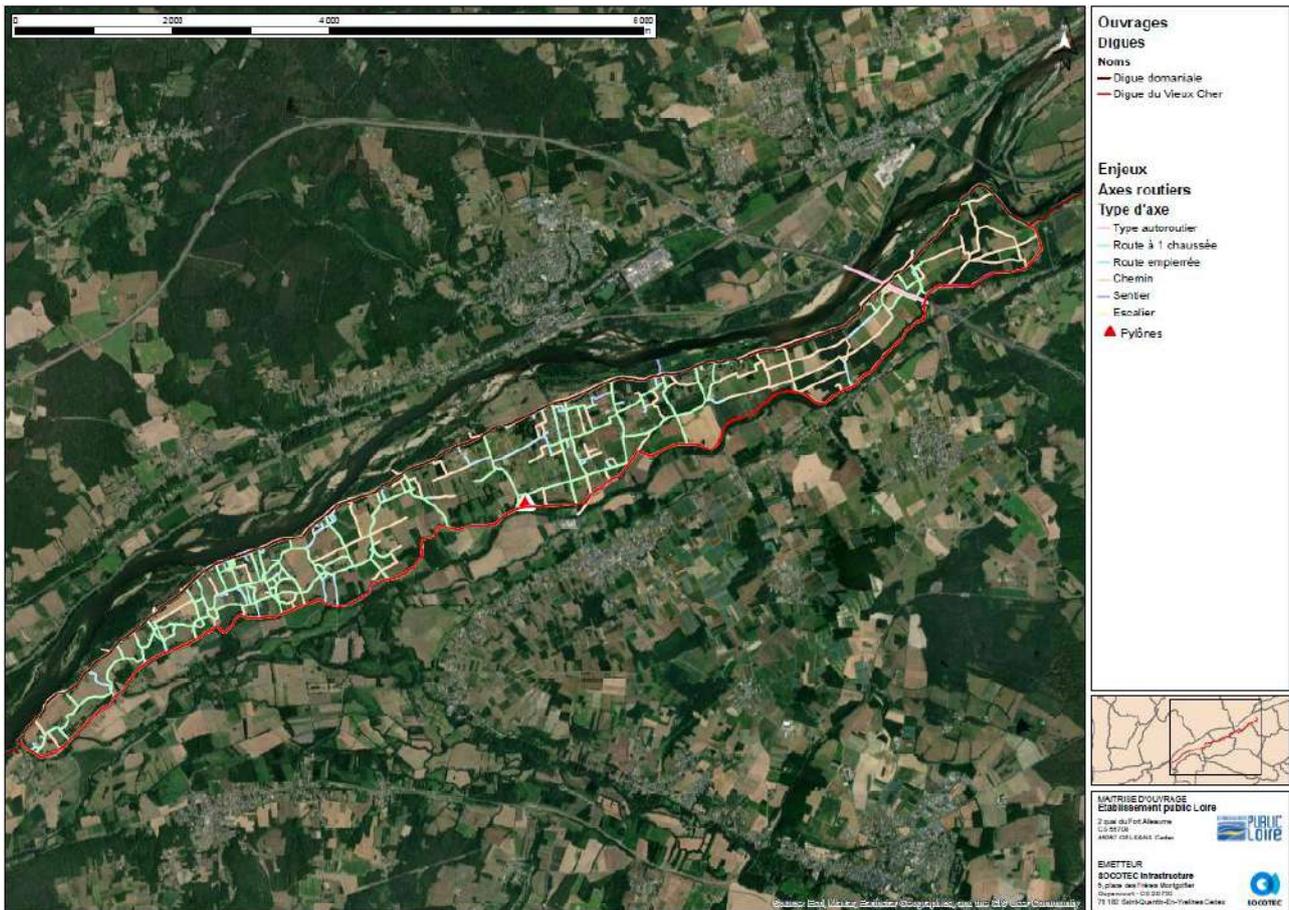


Figure 8-20 : Infrastructures dans la Zone Protégée

8.4.5.1. Énergie

On décompte une ligne électrique principale.

8.4.5.2. Axes ferroviaires

Il n'y a aucun axe ferroviaire dans la zone protégée.

8.4.5.3. Axes routiers

Le linéaire total des axes routiers est de 107 640 m.

La répartition selon le type d'axes est le suivant :

Numéro	Linéaire [m]	Proportion [%]
Type autoroutier	1100	1.0%
Route à 1 chaussée	53 800	50.0%
Route empierrée	1 140	10.6%
Chemin	38 860	36.1%
Sentier	2 410	2.2%
Escalier	70	0.1%

Tableau 8-20 : Liste des axes routiers principaux dans la zone protégée (et axes sur digues)

Les principaux axes routiers sont répertoriés dans le tableau suivant :

Numéro	Nom	Linéaire [m]
D16	Total	15360
	Av Du 11 Novembre	930
	La Fillonnerie	1050
	L'Aireau Des Besniers	560
	L'Aireau Des Herpins	170
	Le Passage	340
	Les Brunets	370
	Les Dunières	220
	Levé De La Loire	2500
	L'Ouche Marquet	410
	Peau De Loup	220
	R De Chambourg	780
	Rte De Bréhémont	940

Numéro	Nom	Linéaire [m]
A85	Total	1100
D57	Total	1330
	Rte De Lignièrès	1270
D119	Total	900
	La Grande Maison	350
	Rte De Rivarennès	400

Tableau 8-21 : Liste des axes routiers principaux dans la zone protégée (et axes sur digues)

8.4.5.4. Sports et loisirs

Les infrastructures de sports et loisirs présents dans la zone protégée sont les suivants :

Communes	Type d'établissement	Détail	Adresse
Villandry	/	/	/
Vallères	/	/	/
La Chapelle-aux-Naux	Terrain de tennis	Terrain de tennis	11-9 Rue des Avanries
Bréhémont	Centre équestre	Les écuries de Bréhémont	Chambourg
	Stade municipal	Stade Rodophe Henri	Le stade
	Bâtiment	Amis de la Boule de fort	2 Rue Ridet
	Terrain de tennis	Terrain de tennis	Rue des Déportés

Tableau 8-22 : Liste des axes routiers principaux dans la zone protégée (et axes sur digues)

8.4.6. Logements

La zone protégée comporte 683 logements dans 663 bâtiments.
 Les bâtiments ont au maximum 4 niveaux et ils ont maximum 4 logements.

Le tableau suivant donne le nombre de logements par ville et le nombre de bâtiments ayant 1,2,3 ou 4 logements :

Commune	Nombre de logements	Par bâtiment			
		1 logement	2 logements	3 logements	4 logements
Villandry	36	36	0	0	0
Vallères	/	0	0	0	0
La Chapelle-aux-Naux	261	248	5	1	0
Bréhémont	386	362	10	0	1
Total	683	646	15	1	1
Répartition		95%	2%	0%	0%

Tableau 8-6 : Nombre de logements par commune en fonction de la taille de bâtiments

La zone protégée est principalement composée d'habitation individuelle (95%).

Le tableau suivant donne le nombre de bâtiments avec logement par ville et la répartition par typologie de bâtiment de la population résidente :

Commune	Nombre de bâtiments avec logements	Habitat R0 (RDC uniquement)	Habitat R+1 (RDC + 1 étage)	Habitat R+2 (RDC + 2 étages au moins)
Villandry	36	14	21	1
Vallères	0	0	0	0
La Chapelle-aux-Naux	254	132	121	1
Bréhémont	373	192	171	10
Total	663	338	313	12
Répartition	100%	51%	47%	2%

Tableau 8-7 : Répartition par typologie de bâtiment de la population résidente dans la zone protégée

La zone protégée est principalement composée d'habitation de plain-pied ou habitation avec 1 seul étage.

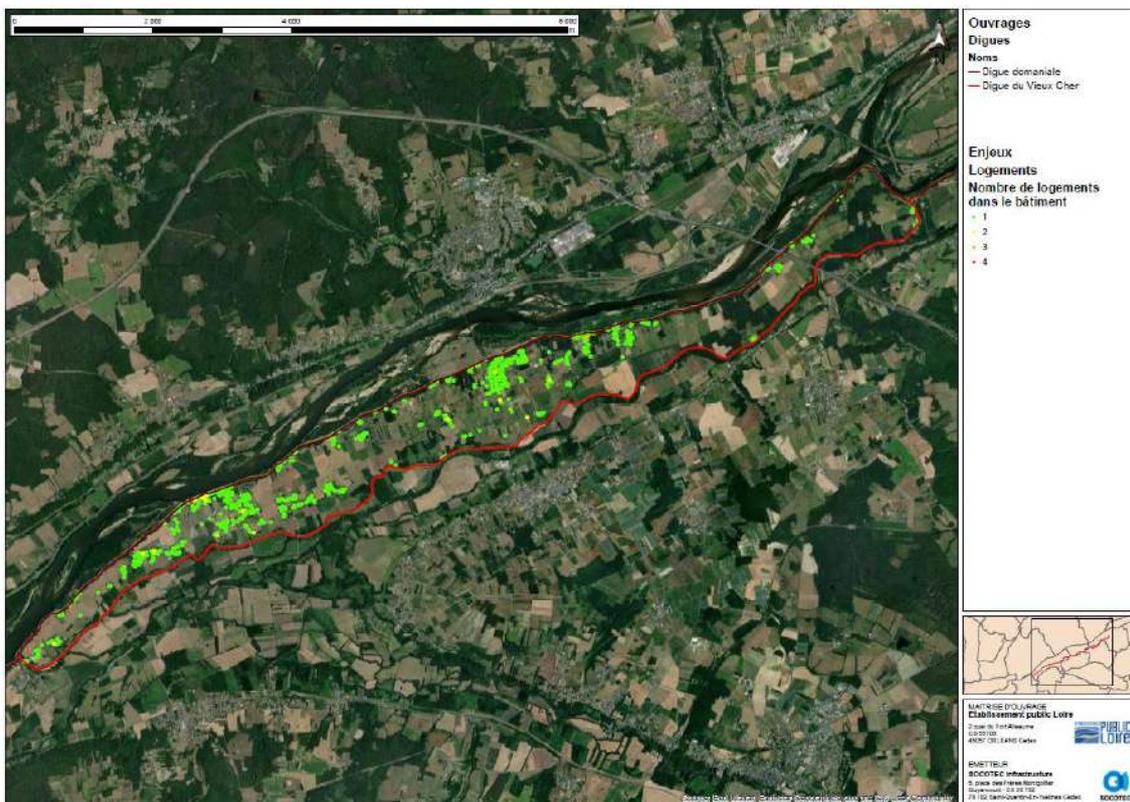


Figure 8-21 : Logements dans la Zone Protégée

8.4.7. Population

8.4.7.1. Population résidente

Une première estimation de la population résidente a été réalisée sur les données suivantes :

- La BDtopo ;
- Le recensement de la population par ville de l'INSEE (2020).

Commune	Commune			Dans la Zone Protégée	
	Population	Logements	Habitants par logement	Logements	Population estimée
Villandry	1170	519	2.3	36	82
Vallères	1338	520	2.6	/	/
La Chapelle-aux-Naux	578	261	2.2	261	578
Bréhémont	746	432	1.7	386	667
Total				683	1327

Tableau 8-8 : Population résidente – estimation 1

Une deuxième estimation de la population résidente a été réalisée sur les données suivantes :

- La BDtopo ;
- Les données carroyées de l'INSEE (2017).

Commune	Population sur les carrés couvrant la ZP	Population dans la ZP
Villandry	64	55.5
Vallères	0	0
La Chapelle-aux-Naux	563.5	563.5
Bréhémont	645.5	645.5
Total	1273	1264.5

Tableau 8-9 : Population résidente – estimation 2

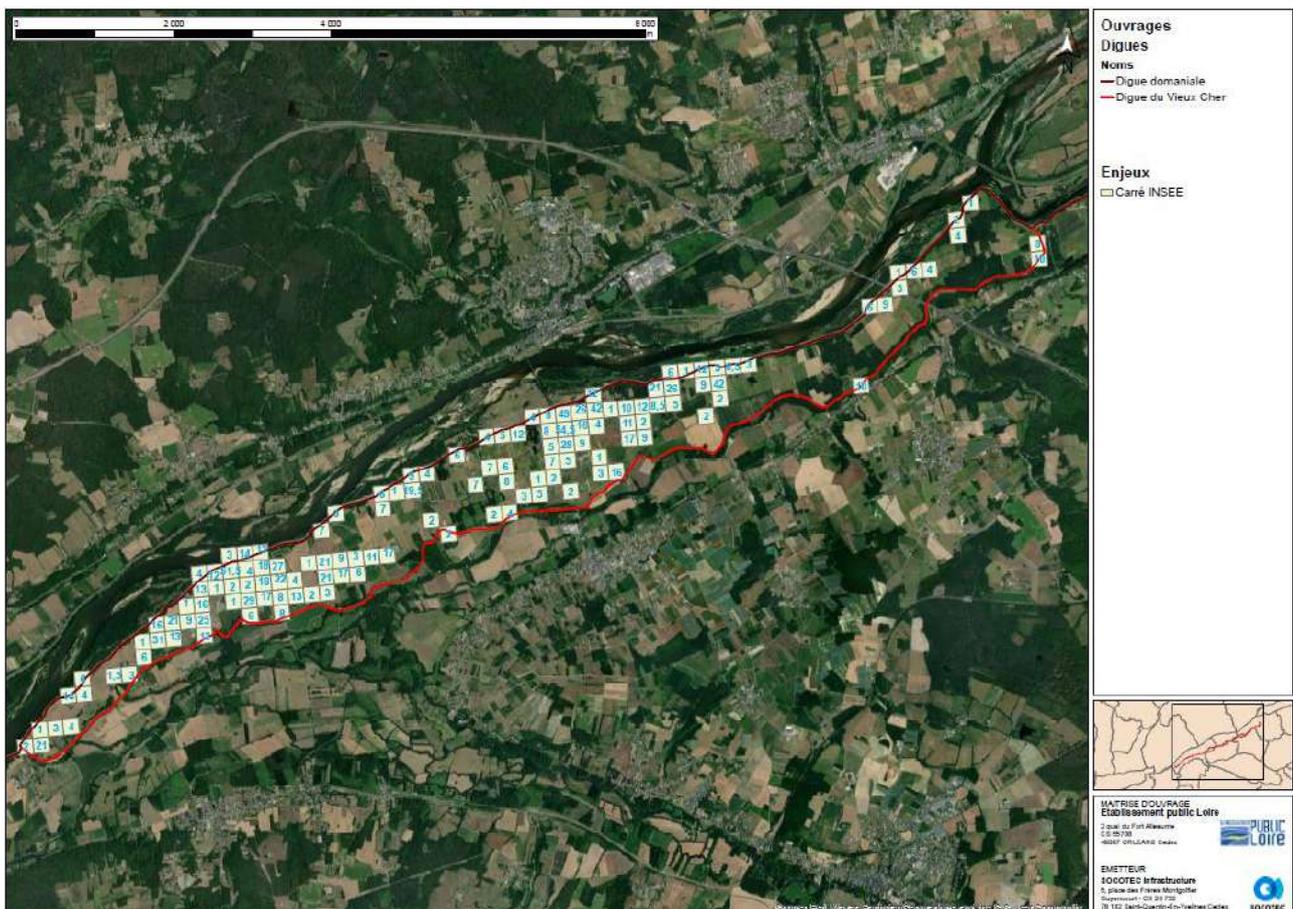


Figure 8-22 : Population résidente dans la Zone Protégée

La population résidente de la ZP est donc estimée entre 1265 et 1328 personnes.

La répartition par sous-zone est la suivante :

Sous zone	Commune	Événement contre lequel l'ouvrage protège des enjeux bâtis	Population
1	Villandry	Vieux Cher VC10	7
2	Villandry	Vieux Cher VC10000	16
3.1	Villandry	Vieux Cher VC10000	0
3.2	Villandry	Vieux Cher VC10000	25
3.3	Vallères	Vieux Cher VC10000	0
3.4	La Chapelle-aux-Naux	Vieux Cher VC10000	7
4	Villandry	Loire L50 avec effacement déversoir VC	29
5	Villandry	Loire L50 avec effacement déversoir VC + brèche sud A85	5
6	Villandry	Loire L50 avec effacement déversoir VC + brèche nord A85	0
7	Villandry	Loire L100 avec effacement déversoir VC	0
8	Bréhémont	Indre I10	287
9.1	Bréhémont	Indre I100	373
9.2	La Chapelle-aux-Naux	Indre I100	38
10.1	Bréhémont	Loire si effacement déversoir à L100 (pas d'eau)	7
10.2	La Chapelle-aux-Naux	Loire si effacement déversoir à L100 (pas d'eau)	78
11	La Chapelle-aux-Naux	/	456

Tableau 8-23 : Répartition de la population dans les sous zones de la Zone Protégée

8.4.7.2. Population touristique

Selon le référencement des activités touristiques, il est estimé que la population touristique est la suivante :

Communes	Populations touristiques
Villandry	0
Vallères	0
La Chapelle-aux-Naux	52
Bréhémont	474
Total	526

Tableau 8-10 : Population touristique

La population touristique est estimée à 526 personnes.

8.4.7.3. Population salariée

La population salariée a été estimée avec les données de l'EDD de 2017 :

Communes	Population salariée EDD 2017	Part de commerces et services de la ZP	Population salariée de la ZP
Villandry	43	0	0
Vallères	0	0	0
La Chapelle-aux-Naux	46	100%	46
Bréhémont	88	17/18	84
Total			130

Tableau 8-11 : Population salariée

La population salariée est estimée à 130 personnes.

8.4.7.4. Bilan : population exposée

La population exposée au risque d'inondation est la population totale dont :

- La population résidente ;
- La population touristique ;
- La population salariée.

Les entreprises présentes sur la Zone Protégée sont des commerces de proximité.

Il est donc considéré que la population salariée est incluse dans la population résidente.

La population protégée de la ZP est donc estimée à 1853 personnes.

9. PRÉSENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS

9.1. Préambule

La digue du Vieux Cher est domaniale : elle appartient à la DDT37.
La digue étant déclassée, elle ne fait pas l'objet d'un suivi par son propriétaire.

Les dispositifs de régulation situés sur les communes de Bréhémont et de Villandry dans les zones urbaines font l'objet d'un suivi :

- Sur Bréhémont : avec des consignes d'exploitation, par les Services techniques de la commune ;
- Sur Villandry : sans document écrit, par TMVL.

L'analyse est menée sur le Document d'organisation, en annexe [8], qui précise les consignes écrites existantes sur les ouvrages.

9.2. Organisation du gestionnaire pour ce qui concerne les aspects liés aux performances du Système et à la sécurité (y compris la coordination que le gestionnaire est amené à mettre en œuvre avec d'autres responsables d'ouvrages)

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.3. Consignes écrites qui traduisent les modalités opérationnelles de mise en œuvre de cette organisation

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.4. Définition des principales procédures

9.4.1. Identification et évaluation des principaux risques

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.4.2. Surveillance des ouvrages en toutes circonstances

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.4.3. Gestion des situations d'urgences

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.4.4. Gestion du retour d'expérience

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.5. Moyens d'information sur les crues ou les tempêtes

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.6. Procédures d'information et de communication avec les autorités compétentes pour la mise en sécurité de la population en période de crue ou de tempête, adaptées aux différents cas et à leurs cinétiques

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.7. Dispositions prises par le responsable pour s'assurer en permanence du respect des procédures, auditer et réviser son organisation de gestion du système d'endiguement, associé le cas échéant à un aménagement hydraulique, dans le cadre de son amélioration continue

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.8. Rôle(s) de barrières de sécurité pouvant être assuré(s) par certains éléments de son organisation et de sa démarche de prévention des accidents

Cette partie n'est pas traitée par les documents existants.

9.9. Bilan

Le contenu des documents existants sur l'ouvrage ont conduit au choix de gestion suivant :

- **ASONA : Absence de Surveillance et Organisation Non Adaptée ;**
- SONA : Surveillance et Organisation Non Adaptée ;
- SOA : Surveillance et Organisation Adaptée ;
- SOAR : Surveillance et Organisation Renforcée.

Le gestionnaire de l'ouvrage devra se mettre en conformité avec la réglementation en vigueur notamment l'Arrêté du 8 août 2022 précisant les obligations documentaires et la consistance des vérifications et visites techniques approfondies des ouvrages hydrauliques autorisés ou concédés.

Le Document d'Organisation de l'ouvrage devra décrire l'organisation du gestionnaire et préciser :

- L'organisation du gestionnaire ;
- L'exploitation hors événement particulier ;
- La surveillance hors événement particulier ;
- L'exploitation et la surveillance en période de crue ;
- L'exploitation et la surveillance en cas d'événement particulier ;
- Les suites à donner après constatations d'anomalie ;
- Le traitement des Événements Importants pour la Sûreté Hydraulique (EISH) ;
- L'entretien et la restauration.

9. BIS RECOMMANDATIONS

9.1. Gestion des ouvrages

9.1.1. Organisation

Les documents existants sur la gestion de la digue du Vieux Cher ne répondent pas à l'ensemble des obligations de la réglementation en vigueur.

Il est préconisé de procéder à une refonte du Document d'organisation conformément à l'Arrêté du 8 août 2022 précisant les obligations documentaires, et la consistance des vérifications et visites techniques approfondies des ouvrages hydrauliques autorisés ou concédés. Cela inclut notamment :

- L'identification du gestionnaire, exploitant et propriétaire de chaque composant de la digue du Vieux Cher ;
- Le détail de l'organisation du gestionnaire ;
- Les consignes écrites ;
- Les moyens d'informations sur les crues.

Délais : **urgent**

9.1.2. Surveillance des ouvrages

La digue du Vieux Cher ne fait pas l'objet d'une surveillance.

Il est préconisé de mettre en place une stratégie de surveillance cohérente avec l'état actuel de la digue, des enjeux et des sollicitations hydrauliques. Les fréquences minimales suivantes sont préconisées :

- Visite de surveillance : annuelle ;
- Visite Technique Approfondie : respect des obligations des ouvrages classés SE de catégorie C :
 - Entre 2 rapports de surveillance : tous les 6 ans ;
 - Après EISH ;
- Visites après événements particuliers programmés : sur le secteur concerné, 1 visite avant et 1 visite après événement ;
- Visites en période de crues : 1 fois par jour sur les secteurs concernés ;
- Visites après événements exceptionnels : 1 fois dans les 14 jours post événement ;

Délais : **court terme**

9.1.3. Liens avec les autres autorités

Le gestionnaire devra porter à connaissance les résultats de l'EDD :

- Aux Mairies, en charge de la Sécurité Civile, des communes concernées (Villandry, Vallères, La-Chapelle-aux-Naux et Bréhémont) pour qu'elles puissent mettre à jour les Plans Communaux de Sauvegarde notamment en prenant en compte le niveau de protection de l'ouvrage.
- Au Préfet pour la mise à jour du PPRI (notamment l'intégration de la bande de précaution).

Délais : **moyen terme**

9.1.4. Coûts

Selon le retour d'expérience, sur les digues de la Loire, les coûts de gestion relevés sur la période de 2007 à 2013 s'élevaient par an et par km à 2 000 €HT.

9.2. Confortement des ouvrages

Les zones nécessitant des travaux sont les suivantes : les zones impactées par les terriers et galeries des animaux fouisseurs. Ces zones sont à restructurer. Le linéaire concerné est de 485 m (30 m, 430 m, 25 m).

Délais : **court terme**

9.3. Entretien des ouvrages

La digue du Vieux Cher ne fait pas l'objet d'un entretien régulier.

Il est préconisé de mettre en place une stratégie d'entretien cohérente avec l'état actuel de la digue, les sollicitations hydrauliques subies par l'ouvrage et les enjeux identifiés :

- Entretien de la végétation : un plan de gestion est à mettre en place ;
 - Linéaire concerné est de 8200 m ;
- Traitement des terriers : les désordres liés à la présence des animaux fouisseurs sont à traiter (Les zones spécifiques les plus touchées par les fouisseurs qui sont à restructurer sont traitées dans le chapitre précédent) ;
 - Linéaire concerné est de 420 m ;
- Entretien des dispositifs de régulation : certains ouvrages n'ont pas été entretenus. Tous ces ouvrages doivent faire l'objet d'un entretien courant et d'une maintenance : génie civil, dispositifs de régulation, organes mobiles.

Selon le retour d'expérience, sur les digues de la Loire, les coûts d'entretien relevés sur la période de 2007 à 2013 s'élevaient par an et par km à 8 500 €HT.

Délais : **moyen terme**

9.4. Diagnostic des ouvrages

Afin d'écartier tout risque lié aux ouvrages traversants, notamment réseaux hydrauliques, il est préconisé de procéder à des investigations complémentaires sur ces ouvrages. Il s'agit de :

- Inspections en situation de crues pour contrôler l'absence de fuites dans et autour de ces ouvrages ;
- Recherche relative aux modalités de réalisation de ces ouvrages ;
- Diagnostics des réseaux ;

L'enregistrement de la digue sur INERIS permettra également de s'assurer pour la suite que toutes les dispositions pour les interventions sur ces ouvrages respectent l'usage de ce remblai comme ouvrage de protection contre les inondations.

Délais : **moyen terme**

9.5. Instrumentation

Afin de connaître les sollicitations hydrauliques du Vieux Cher, il peut être envisagé d'installer une échelle limnimétrique afin de procéder à des relevés de niveaux d'eau lors des événements particuliers.

Délais : **long terme**

9.6. Amélioration de la connaissance

L'EDD est à renouveler tous les 20 ans pour les ouvrages classés SE de catégorie C.

Le respect des obligations réglementaires permettra d'améliorer la connaissance sur l'ouvrage, son fonctionnement et les sollicitations qu'il subit :

Rappel des obligations :

Dossier d'ouvrage	Document d'organisation	Registre de l'ouvrage	Rapport de surveillance	VTA	Rapport d'auscultation	Étude de Dangers	Déclaration EISH
Obligatoire	Obligatoire	Obligatoire	6 ans	6 ans	Non concerné	20 ans	Obligatoire

Tableau 9-1 : Obligation d'un Système d'endiguement de classe C

10. CARTOGRAPHIES

10.1. Carte administrative

Cette carte représente :

- 1° Les limites administratives du territoire relevant de l'autorité ;
- 2° Les limites de la zone protégée qui est inscrite dans ce territoire.

10.2. Cartes des venues d'eau

I. - Dans le cas général, des cartes sont prévues pour chacun des aléas étudiés au §8. Elles représenteront, selon un code couleur approprié :

- 1° Les parties de territoires susceptibles d'être affectées par des venues d'eau non dangereuses ou modérément dangereuses ;
- 2° Les parties de territoires susceptibles d'être affectées par des venues d'eau dangereuses. Sont réputées dangereuses les venues d'eau telles que la hauteur d'eau atteint au moins 1 mètre ou le courant au moins 0,5 mètre par seconde ;
- 3° Les parties de territoires où les venues d'eau peuvent être particulièrement dangereuses en raison de l'existence de points bas ou d'un effet cuvette ou de l'existence d'une zone de dissipation d'énergie importante.

II. - Dans les cas où il n'est pas possible de distinguer précisément les parties du territoire en fonction de leur dangerosité et il est fait recours à une démarche multi-scénario telle que prévue par l'article 11 du présent arrêté, des cartes représenteront au regard des scénarios de débordement identifiés et selon un code couleur approprié :

- 1° les zones inondables probables ;
- 2° les zones inondables peu probables.

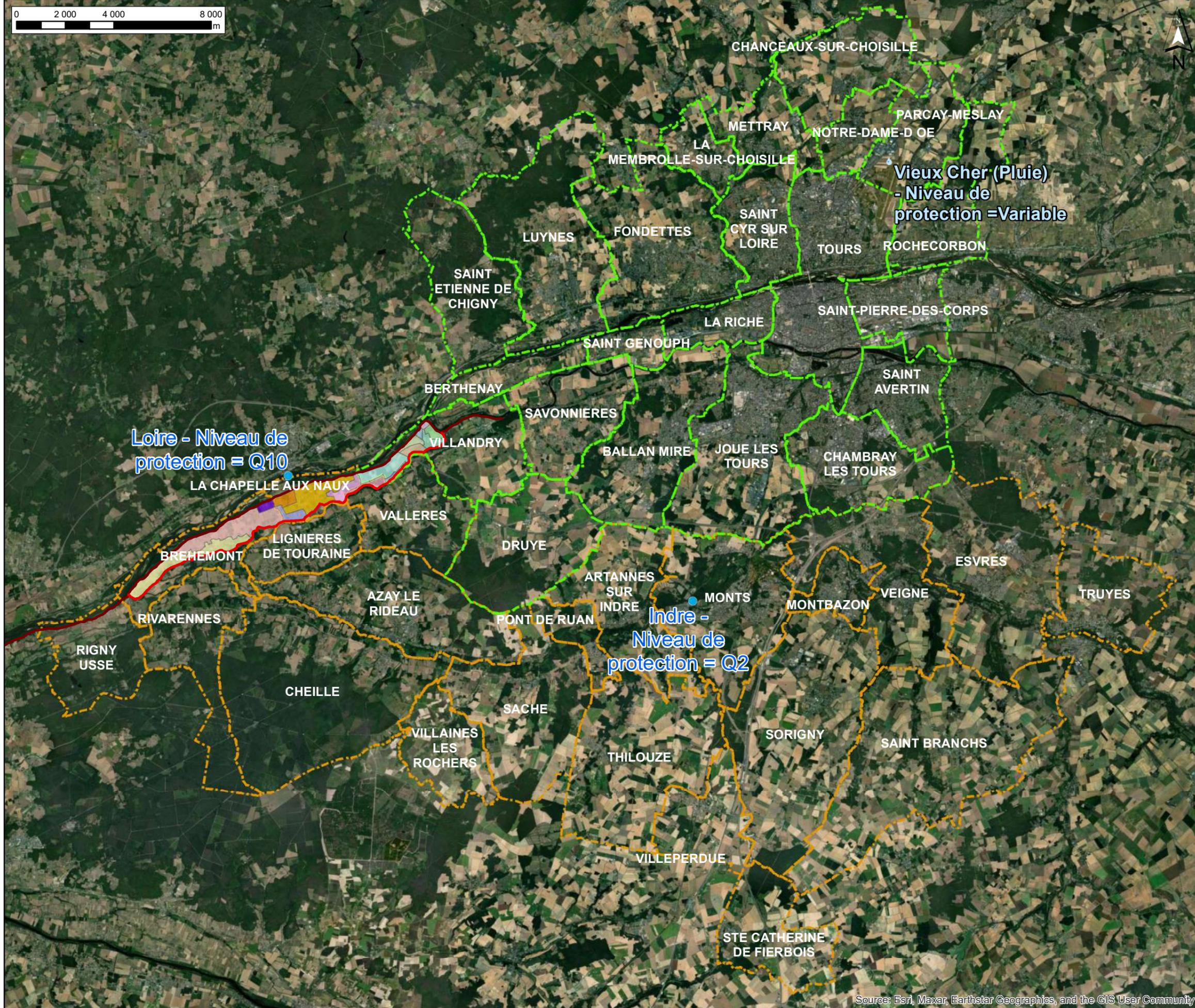
10.3. Cas du système d'endiguement nouveau au profit de territoires précédemment dépourvus de toute protection

Quand les dispositions de l'article R. 214-119-3 s'appliquent (cas du système d'endiguement nouveau au profit de territoires précédemment dépourvus de toute protection contre les inondations), une carte complémentaire est exigée. Cette carte représente les phénomènes hydrauliques dans la zone étudiée pour des événements dont la probabilité d'occurrence correspondant à la classe de l'ouvrage est mentionnée à l'article R. 214-119-3. Le fond de la carte est identique à celle prévue au §10.1. La carte représente les éventuelles portions du système d'endiguement dont la probabilité de rupture est supérieure au seuil prévu par l'article susvisé, et les parties de territoires qui sont affectées par des venues d'eau dangereuses ou particulièrement dangereuses ainsi qu'une indication de leur propagation dans la zone protégée à partir du moment où ce phénomène débute jusqu'à sa stabilisation.

La digue du Vieux Cher n'est pas concernée.

11. ANNEXES

- [1] Résumé non technique de l'EDD de 2017 de la digue domaniale du val de Villandry/Bréhémont
- [2] Étude hydraulique
- [3] Visite Technique Approfondie des ouvrages
- [4] Diagnostic géotechnique
- [5] Méthodologie d'analyse de risque
- [6] Évaluation des probabilités de défaillance
- [7] Évaluation des probabilités de défaillance – PV CARDigue – situation actuelle
- [8] Document d'organisation



Ouvrages

Digues

Noms

- Digue domaniale
- Digue du Vieux Cher

Lieux de référence

- Stations météorologiques
- Stations hydrométriques

Administratif

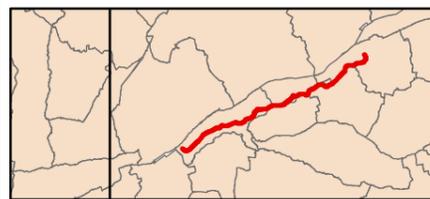
- Communes TMVL
- Communes CCTVI

Enjeux

Casier 1

Sous zones protégées

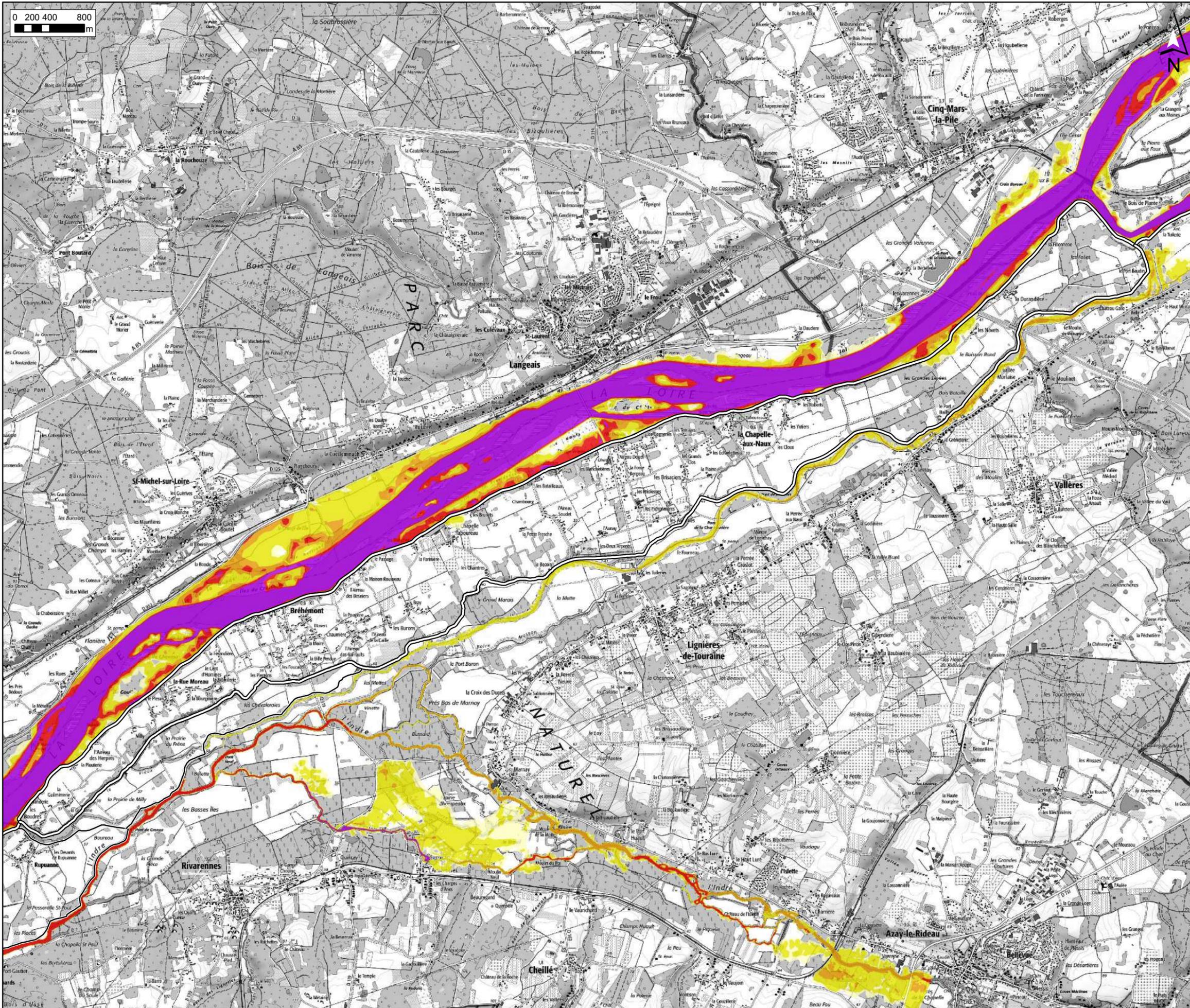
- 1
- 2
- 3.1
- 3.2
- 3.3
- 3.4
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9.1
- 9.2
- 10.2
- 10.1
- 11



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire
 2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex

Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community



Ouvrages

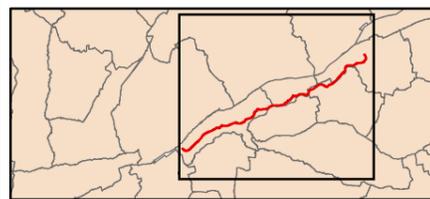
- Dignes
- Bardeaux

Événements

Vieux Cher - Q00002 - état initial

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE

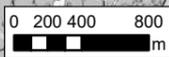
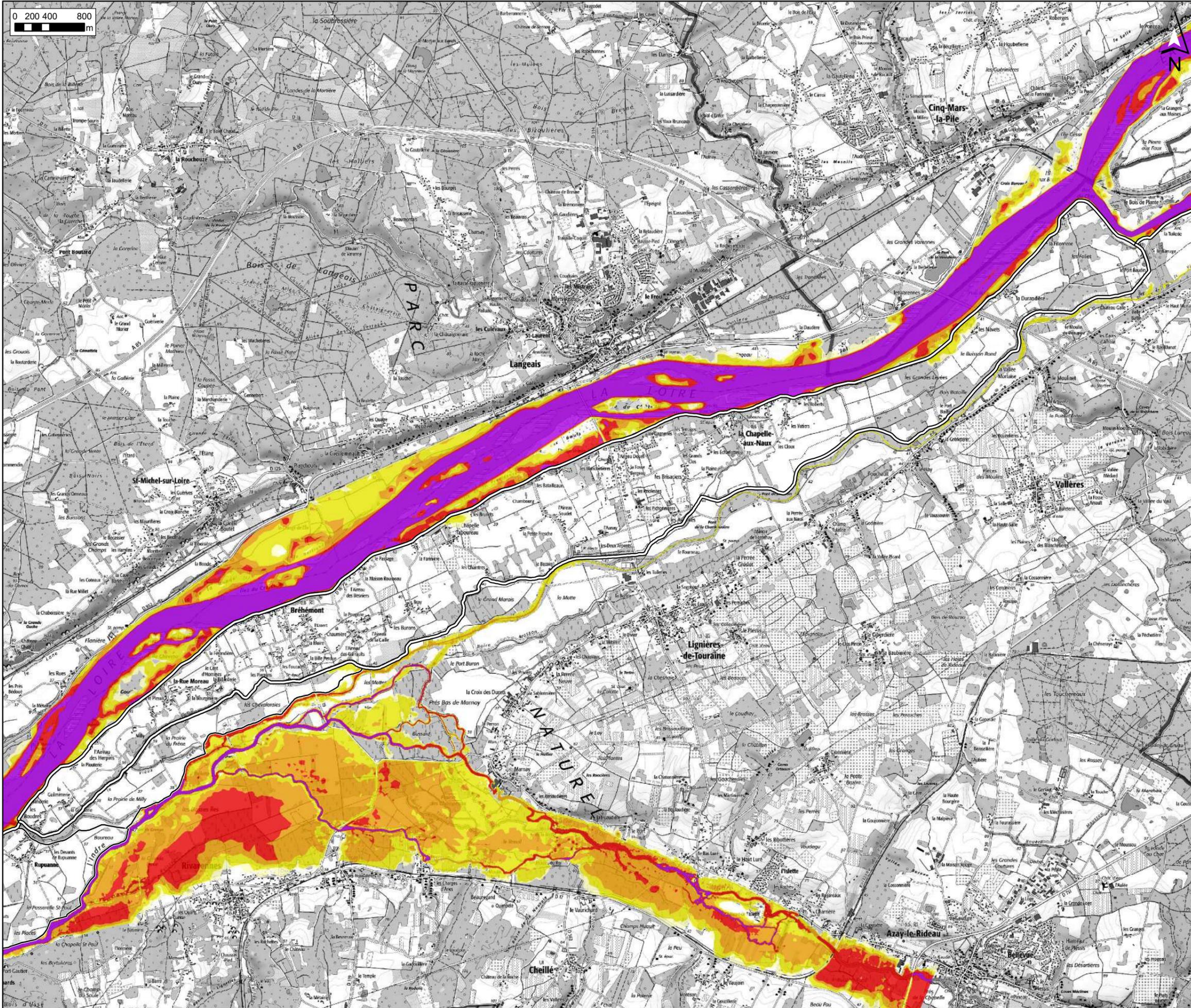
Etablissement public Loire
 2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR

SOCOTEC Infrastructure
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

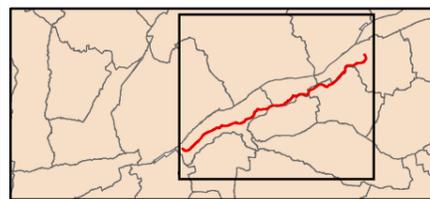
- Dignes
- Bardeaux

Evénements

Indre - Q0002 - état initial

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

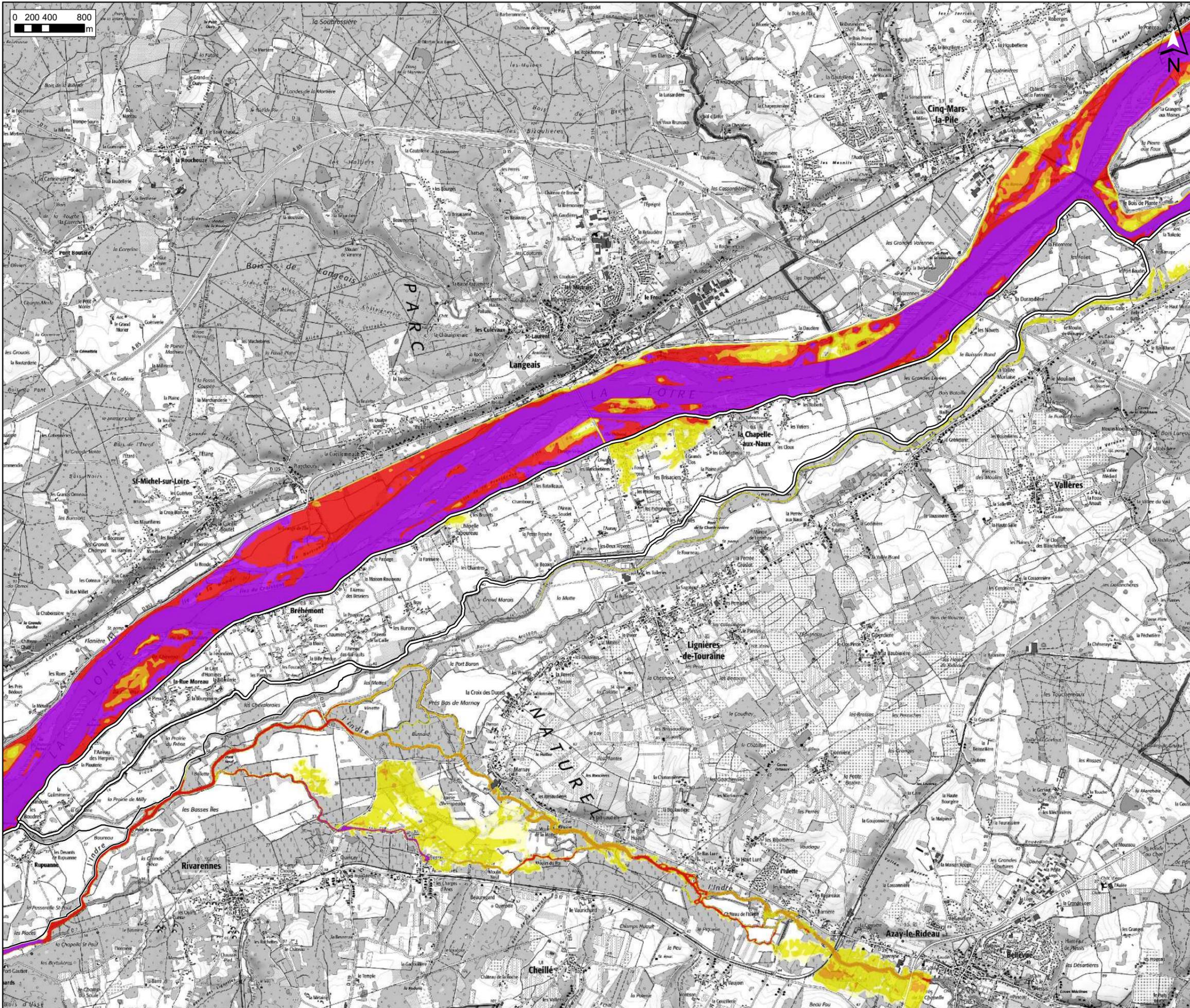
2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

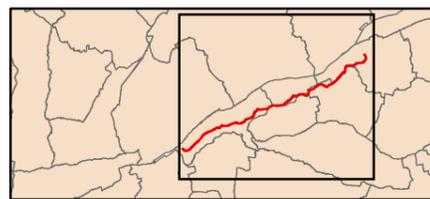
- Dignes
- Bardeaux

Événements

Loire - Q00010 - état initial

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0

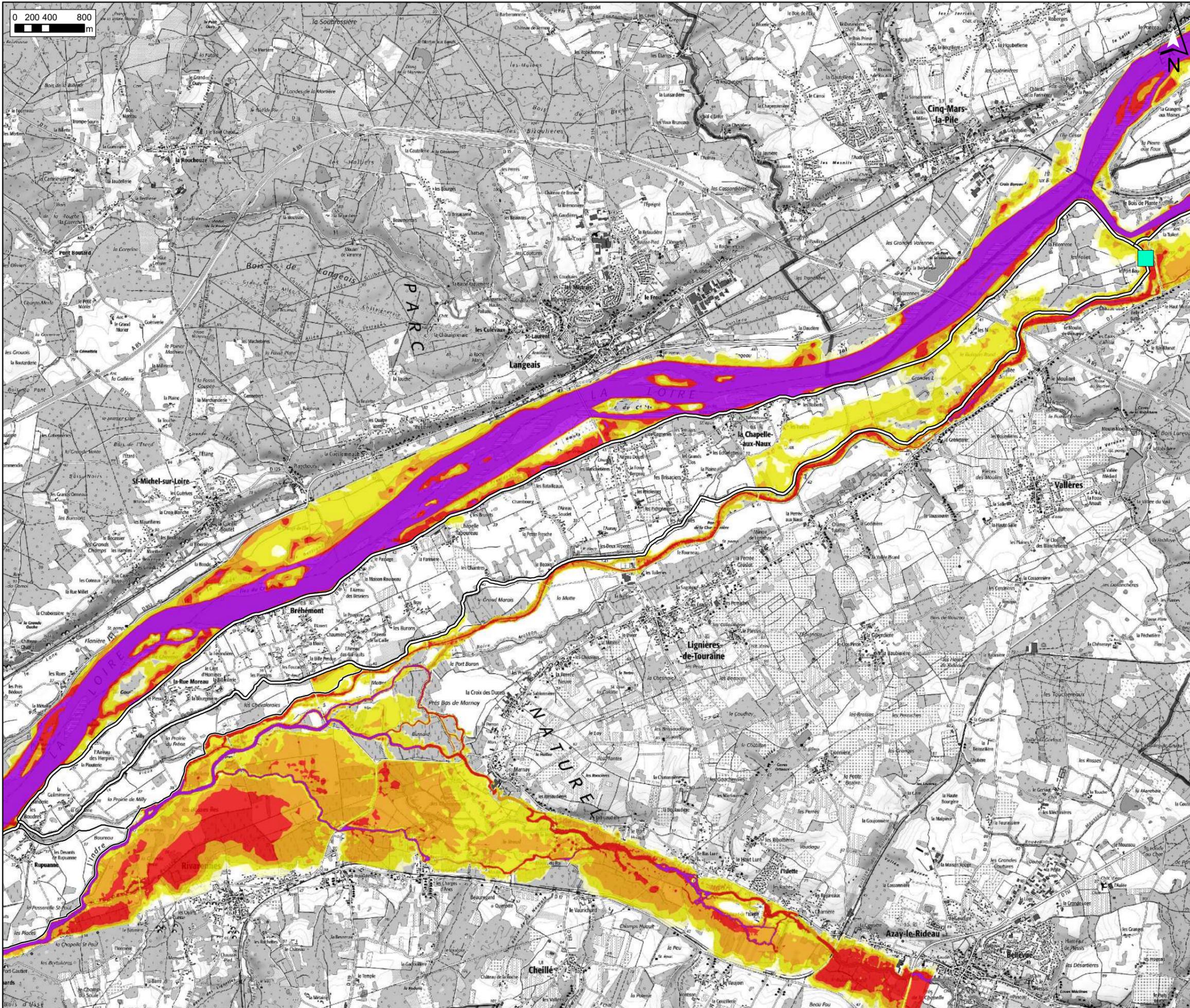


MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire
 2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

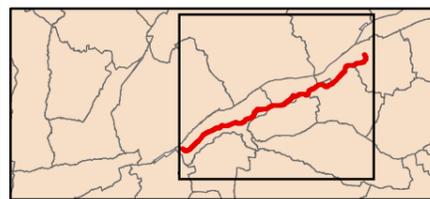
Type

- Dispositif de régulation ouvert

Vieux Cher - Q10000 - Vannage Port Baudin

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

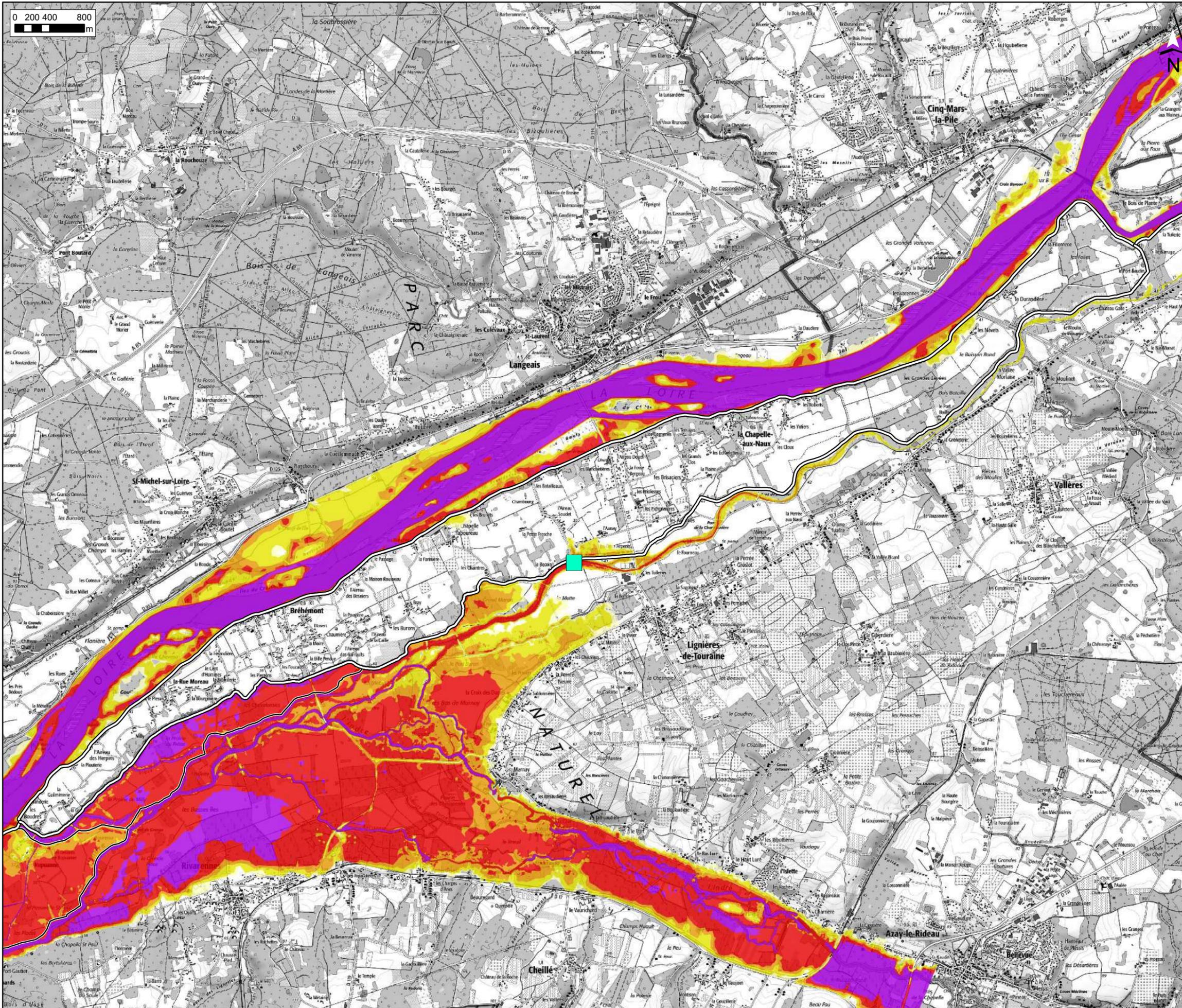
2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

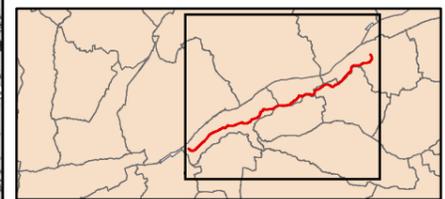
Type

- Dispositif de régulation ouvert

Indre - Q00100 - Vannage Bataillaux ouvert

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

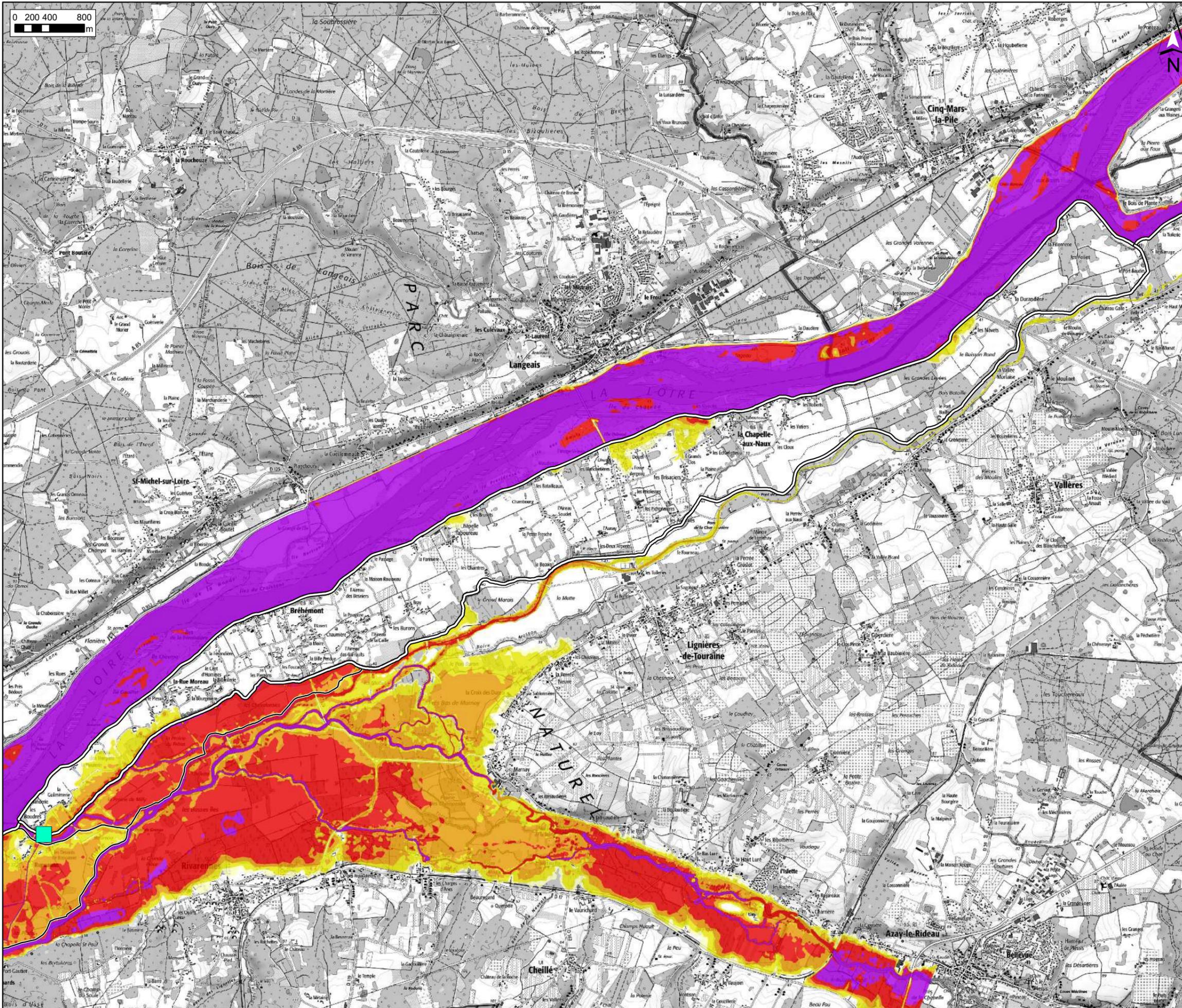
- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex



Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

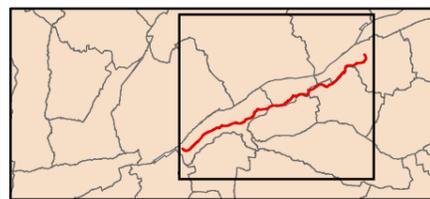
Type

- Dispositif de régulation ouvert

Loire - Q00020 - Clapet Boudres ouvert

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0

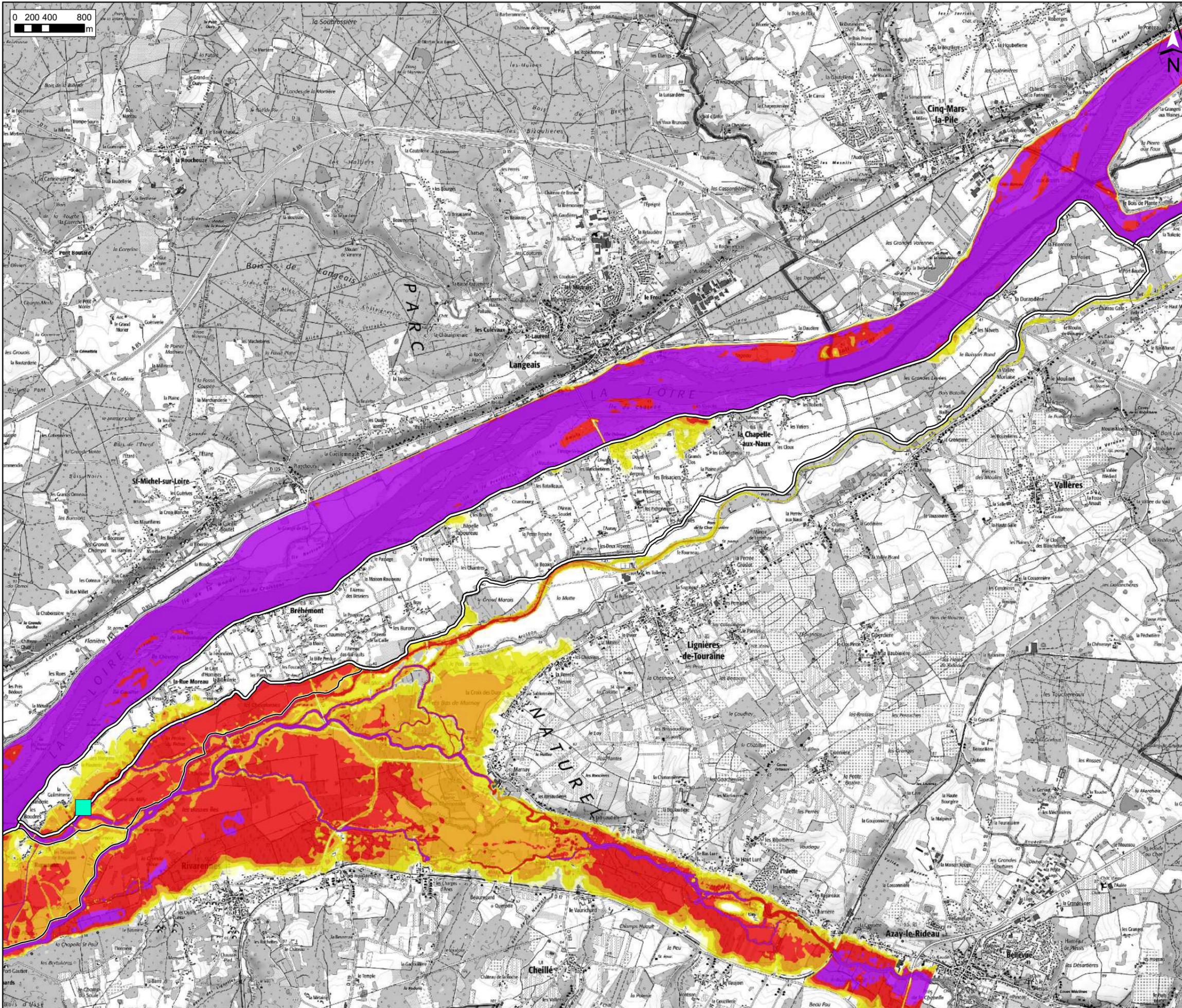


MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex



Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

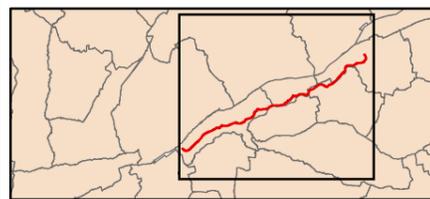
Type

- Dispositif de régulation ouvert

Loire - Q00020 - Vannage Guimenerie ouvert

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

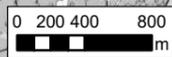
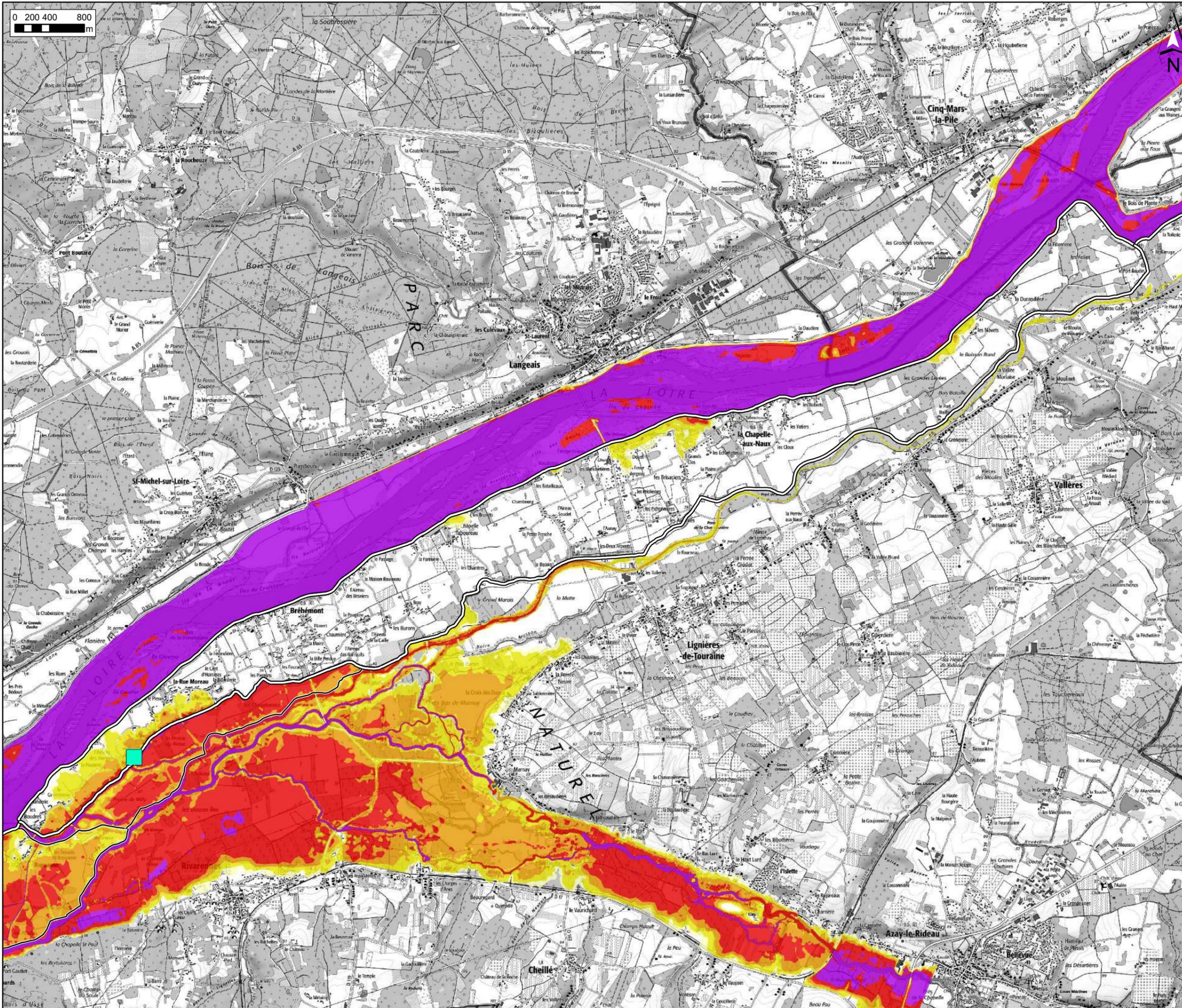
- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex



Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

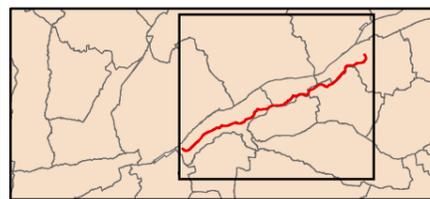
Type

- Dispositif de régulation ouvert

Loire - Q00020 - Vannage Milly ouvert

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0

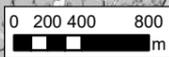
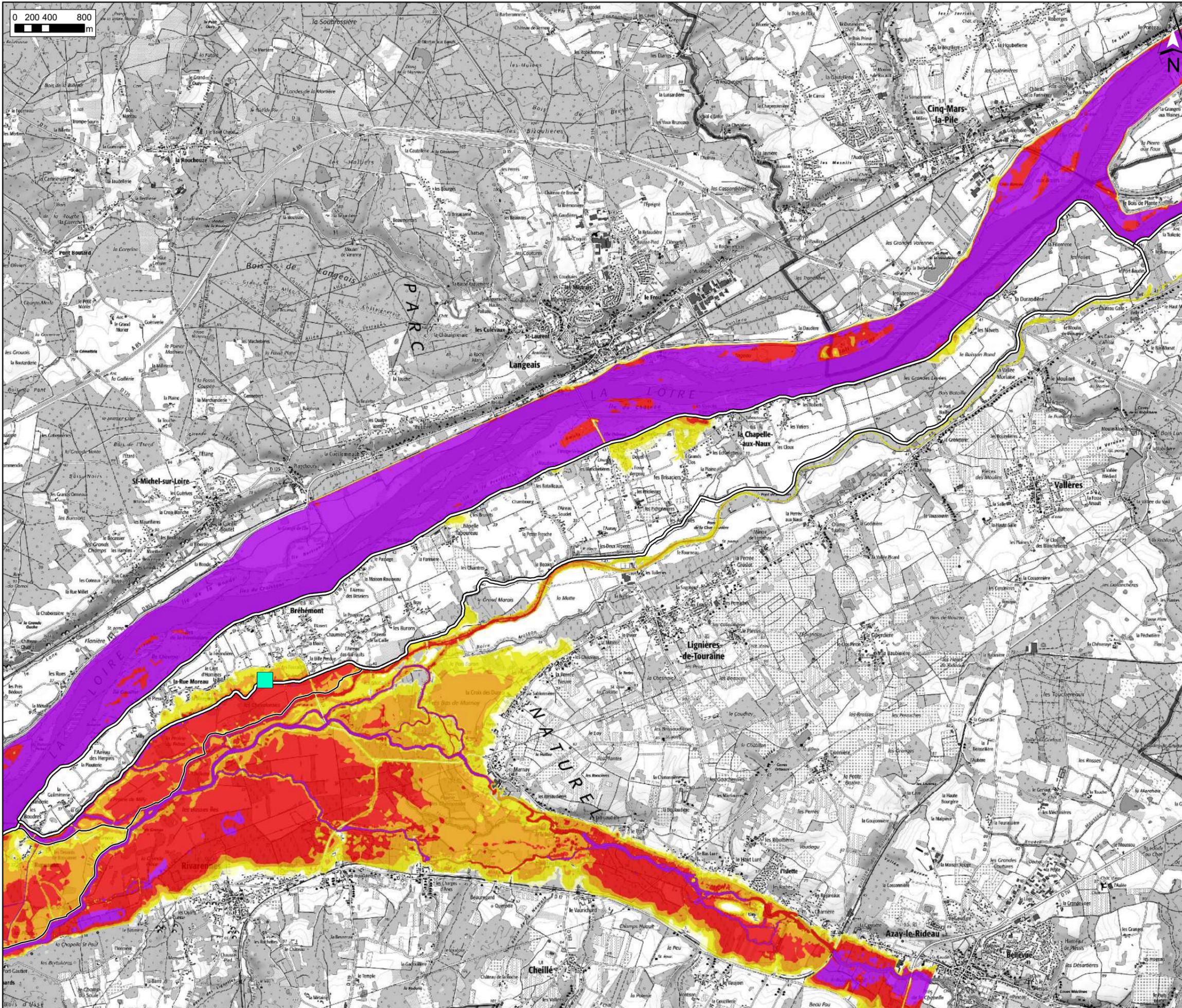


MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex



Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

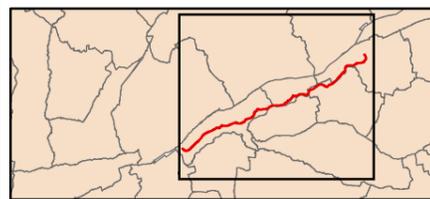
Type

- Dispositif de régulation ouvert

Loire - Q00020 - Vannage Foucaults ouvert

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

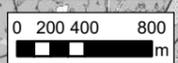
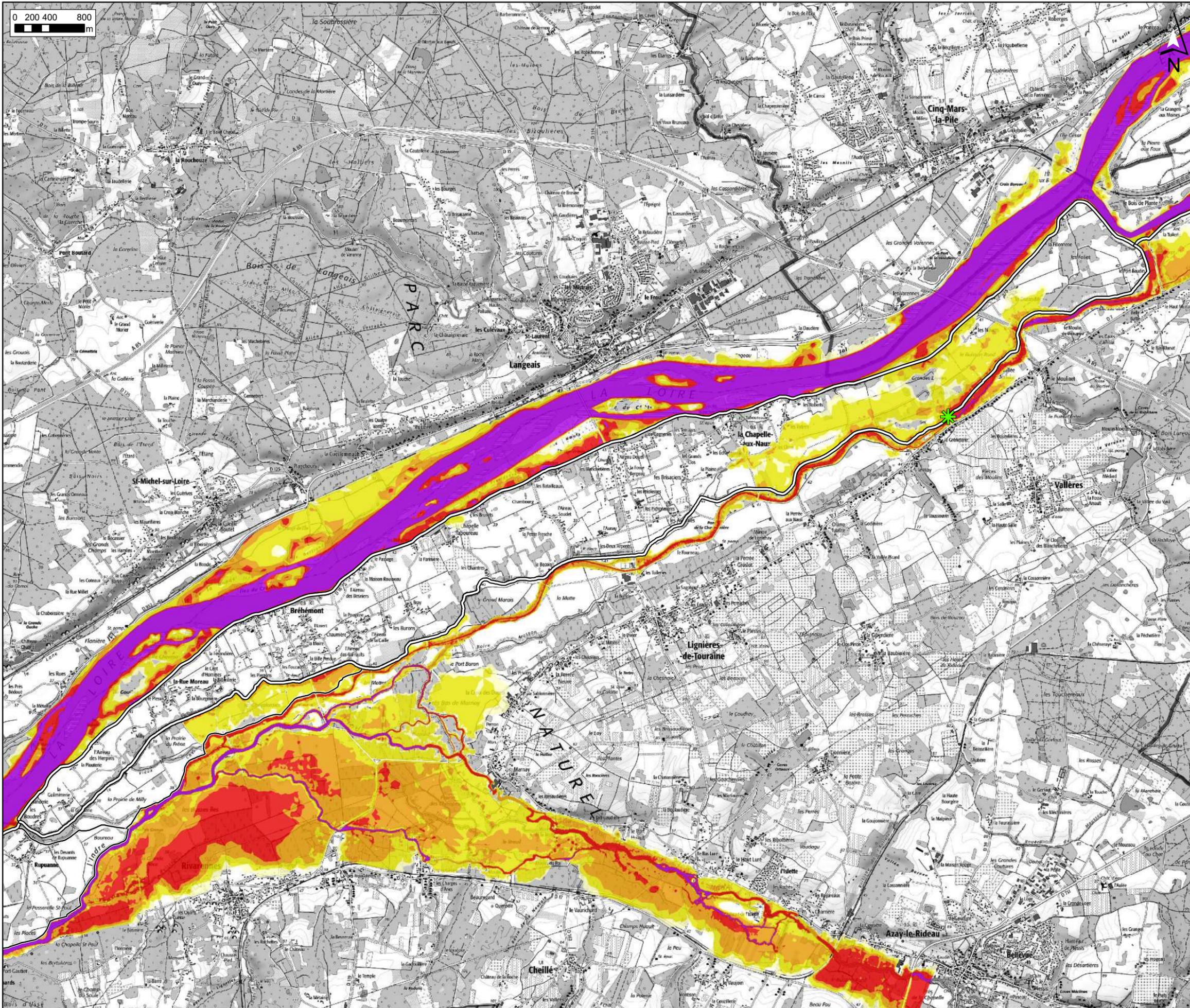
2 quai du Fort Alleaume
CS 55708
45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
Guyancourt - CS 20 732
78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

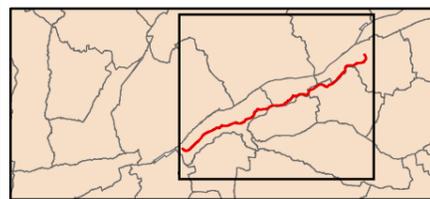
Type

- ★ Brèche

Vieux Cher - Q10000 - Brèche 3

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0

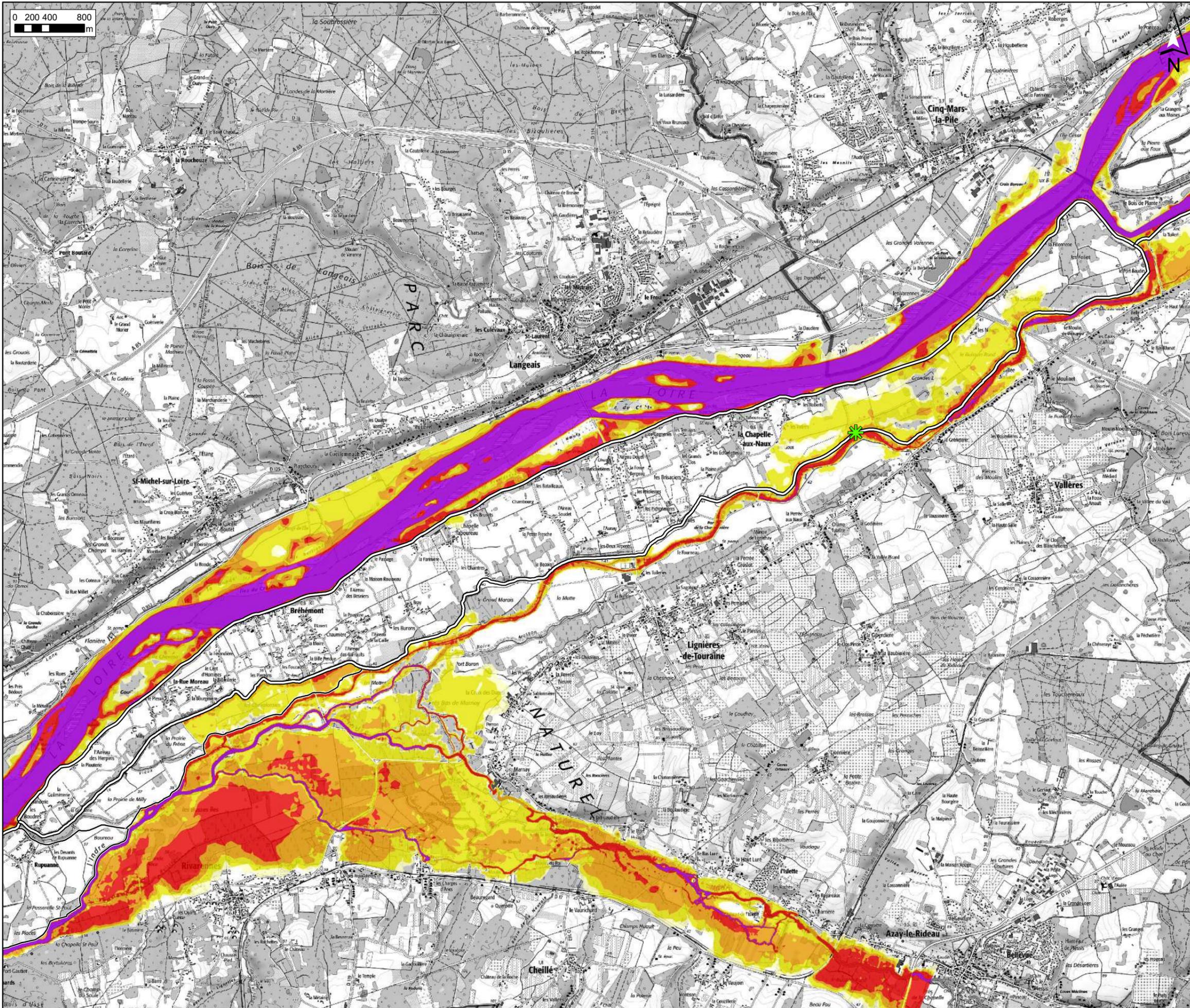


MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex



Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

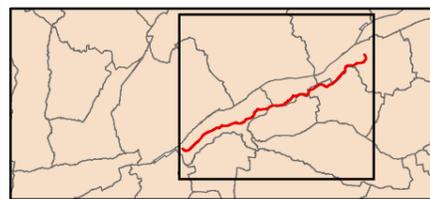
Type

- ★ Brèche

Vieux Cher - Q10000 - Brèche 4

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

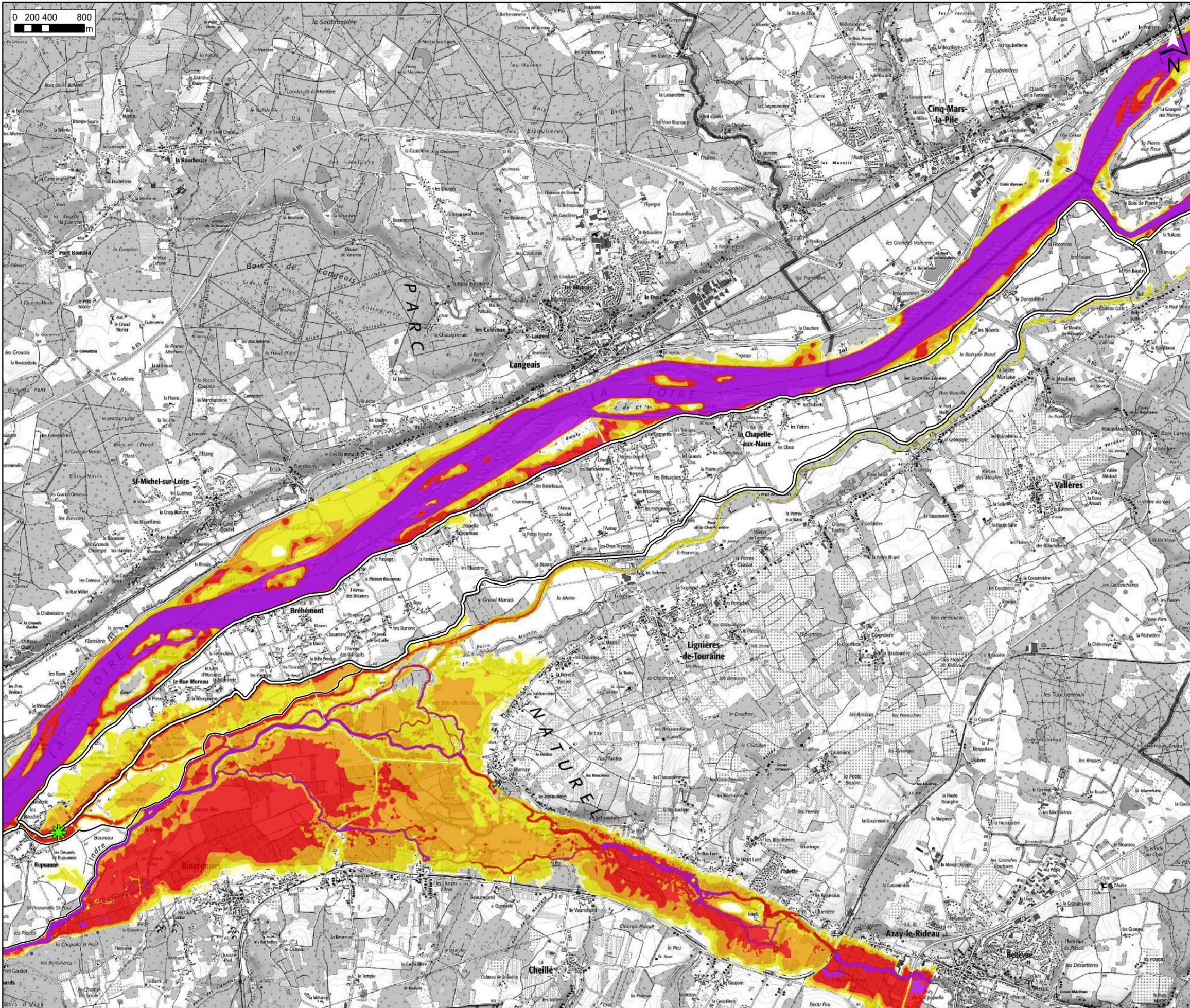
2 quai du Fort Alleaume
CS 55708
45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
Guyancourt - CS 20 732
78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

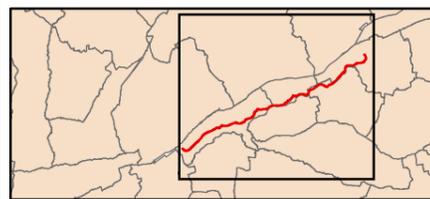
Type

- ★ Brèche

Indre - Q00005 - Brèche 1

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

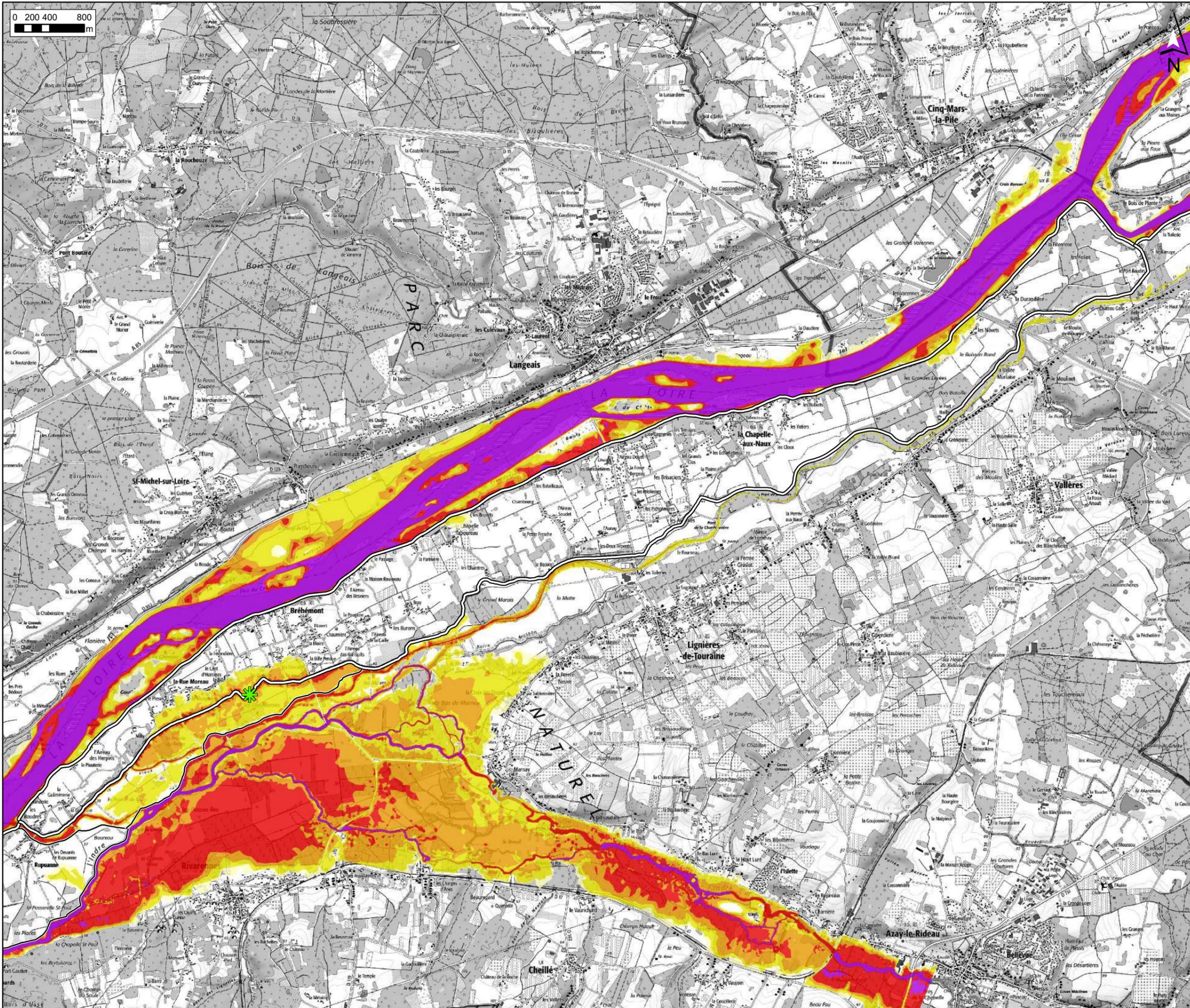
- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex



Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

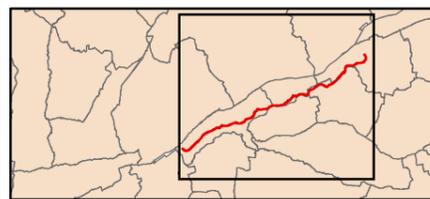
Type

- ★ Brèche

Indre - Q00005 - Brèche 2

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

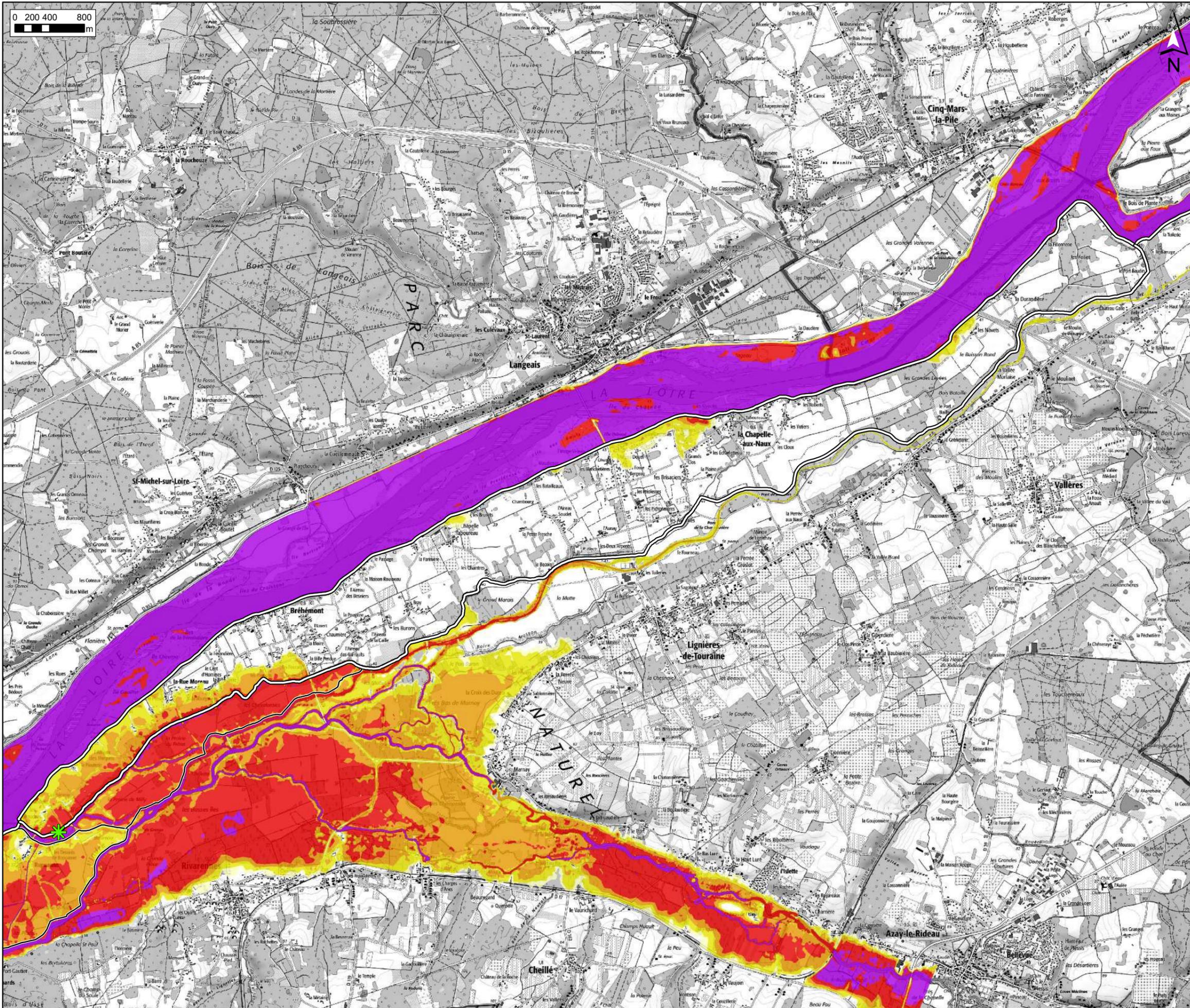
- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex

EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure
 5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex



Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

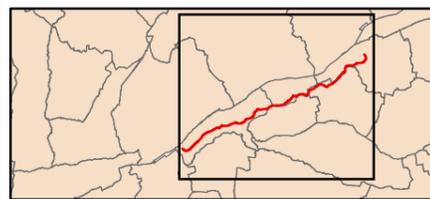
Type

- ✱ Brèche

Loire - Q00020 - Brèche 1

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

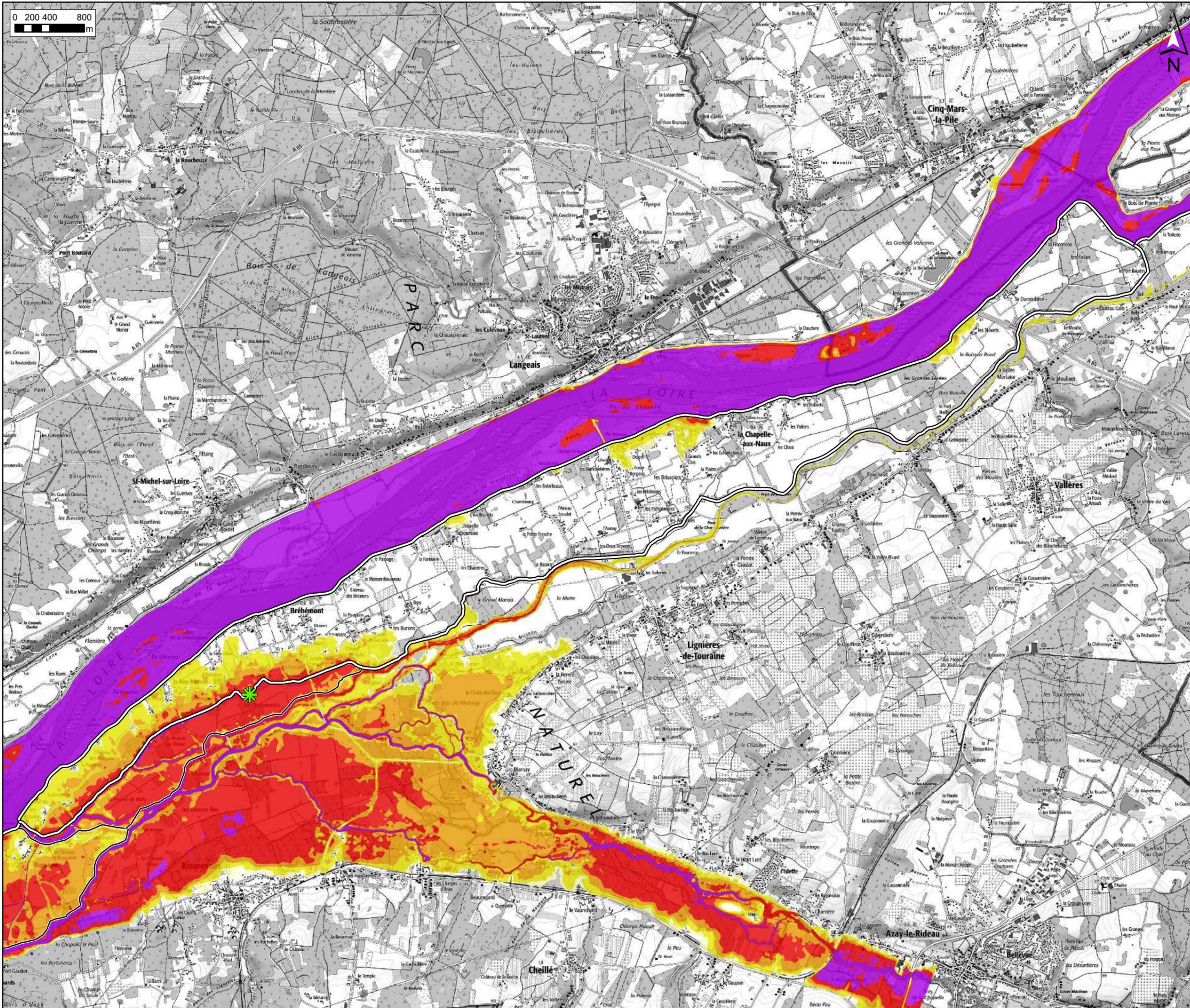
2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

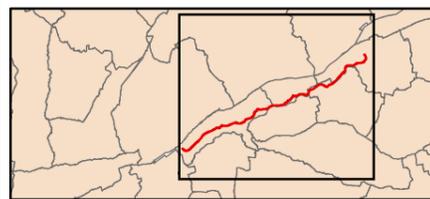
Type

- ★ Brèche

Loire - Q00020 - Brèche 2

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

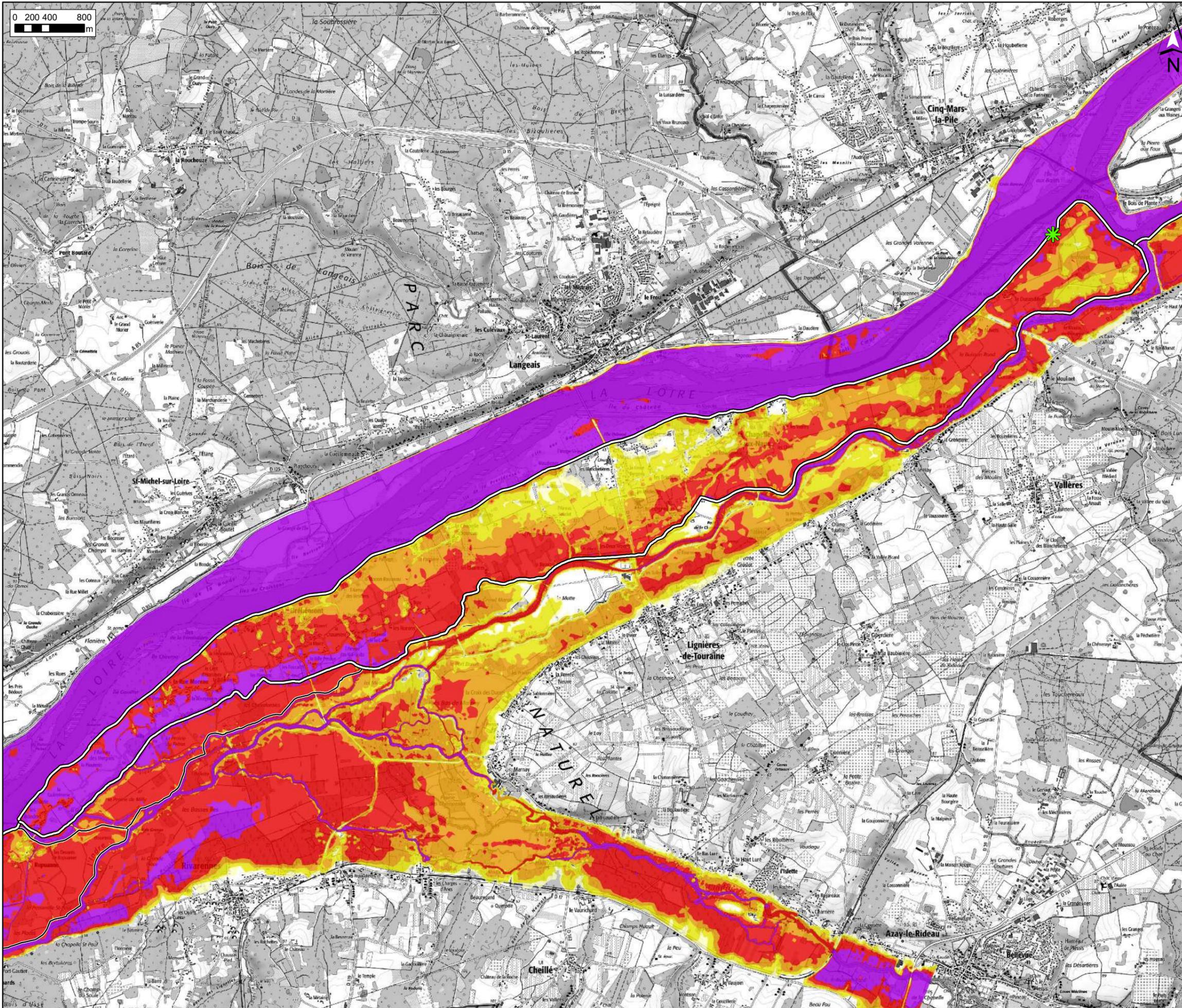
2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

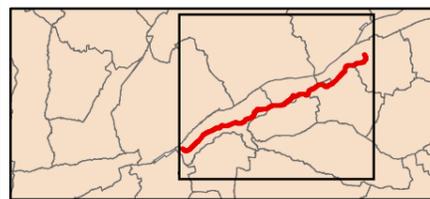
Type

- ★ Brèche

Crue 1856 - brèche de la digue domaniale 2

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

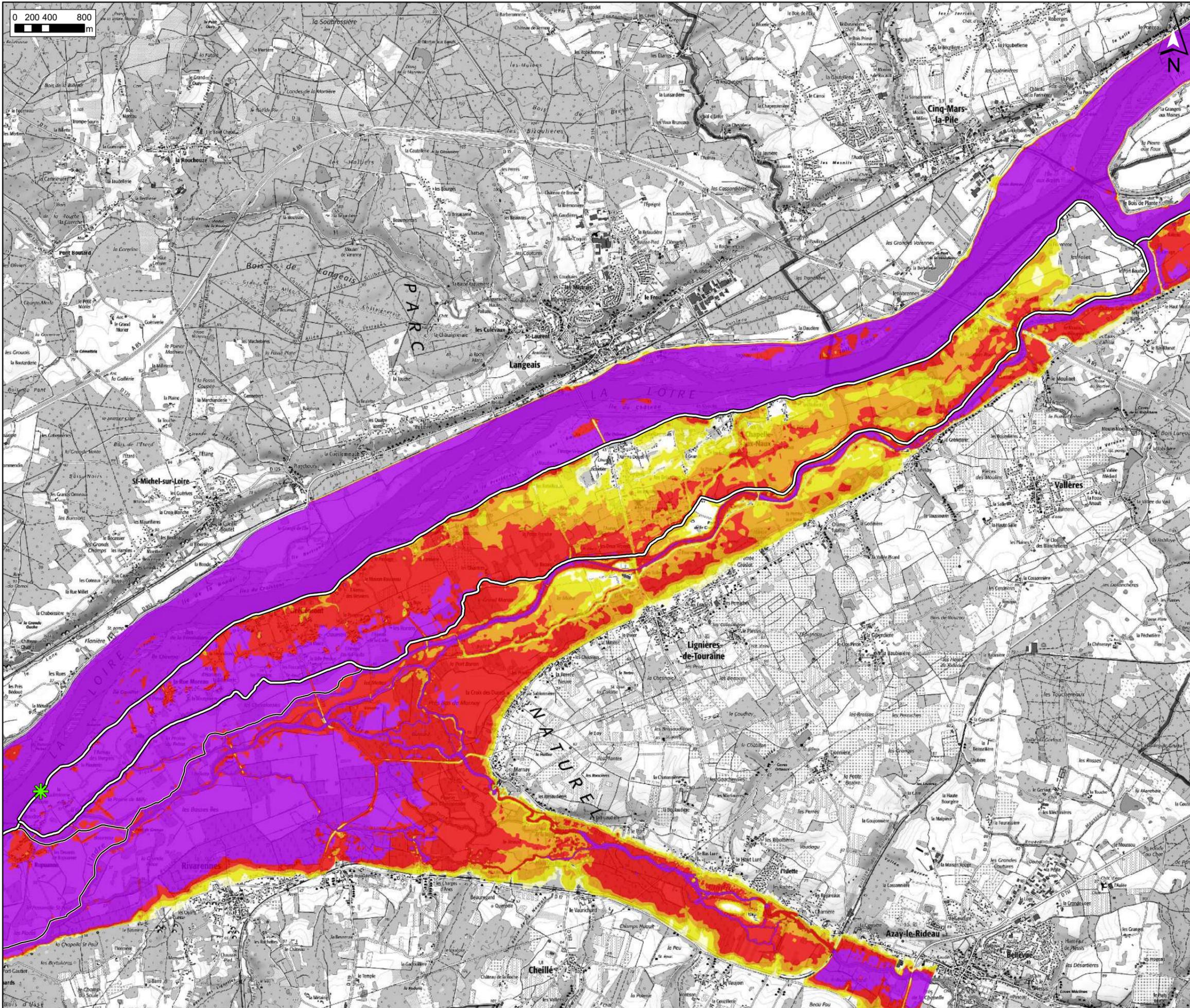
2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex





Ouvrages

- Dignes
- Bardeaux

Événements

Défaillance

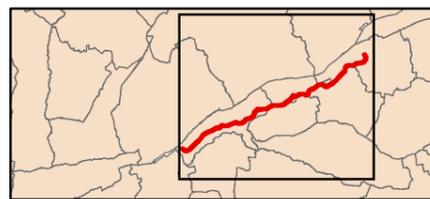
Type

- ★ Brèche

Crue 1856 - brèche de la digue domaniale 5

Hauteur d'eau maximale atteinte (m)

- Pas d'eau
- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,0
- > 2,0



MAITRISE D'OUVRAGE
Etablissement public Loire

2 quai du Fort Alleaume
 CS 55708
 45057 ORLEANS Cedex



EMETTEUR
SOCOTEC Infrastructure

5, place des Frères Montgolfier
 Guyancourt - CS 20 732
 78 182 Saint-Quentin-En-Yvelines Cedex

