

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre

Étude de dangers des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy



HFG 23585W

Décembre 2015

Table des matières

0.	Résumé de l'Étude de dangers du val de Nevers, Sermoise et Challuy	22
0.1	Contexte et objectifs de l'Étude de dangers	22
0.2	Systèmes de protection contre les inondations et composition des levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy	23
0.3	Dangers liés aux levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy	25
0.4	Niveau de protection et niveau de sûreté des levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy.....	26
0.4.1	Niveau de protection apparent	26
0.4.2	Défaillance du système de protection et niveaux de sûreté	28
0.4.3	Description du fonctionnement probable du système d'endiguement dans son état actuel.....	30
0.5	Caractérisation de la gravité du risque associé à la défaillance du système de protection	31
0.5.1	A l'échelle du val.....	31
0.5.2	A l'arrière immédiat des digues	33
0.6	Mesures de réduction des risques.....	33
0.6.1	Mesures de gestion de l'ouvrage	33
0.6.2	Mesures de gestion du risque	34
0.6.3	Améliorations structurelles et fonctionnelles de la digue	34
0.6.4	Améliorations des connaissances.....	37
1.	Renseignements administratifs	38
1.1	Identification des parties.....	38
1.1.1	Porteur de l'étude	38
1.1.2	Propriétaire de l'ouvrage	38
1.1.3	Gestionnaire de l'ouvrage.....	38
1.1.4	Rédacteurs et organismes ayant participé à l'élaboration de l'étude.....	39

1.2	Classement de l'ouvrage	40
1.2.1	Rappel de l'article R.214-113 du Code de l'Environnement	40
1.2.2	Arrêté préfectoral.....	40
2.	Objet de l'étude	42
2.1	Contexte réglementaire	42
2.2	La digue et son environnement	43
2.2.1	La Loire	43
2.2.2	La Loire bourguignonne	43
2.2.3	Périmètre de l'ouvrage	45
3.	Analyse fonctionnelle de l'ouvrage et son environnement	48
3.1	Description de l'ouvrage	48
3.1.1	Principe de discrétisation du système de protection	48
3.1.2	Description du système de protection	49
3.1.2.1	Localisation des levées du val de Nevers	49
3.1.2.2	Caractéristiques des levées du val de Nevers.....	50
3.1.2.3	Définition de la ligne de défense principale.....	54
3.1.2.4	Définition des ouvrages secondaires	60
3.1.2.5	Définition de l'objectif de protection	67
3.1.3	Définition des milieux extérieurs	68
3.2	Analyse fonctionnelle interne	69
3.2.1	Analyse fonctionnelle hydraulique	69
3.2.1.1	Méthode	69
3.2.1.2	Caractérisation du niveau de protection apparent des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy.....	70
3.2.1.3	Décomposition en sous-systèmes homogènes	73
3.2.2	Analyse fonctionnelle géotechnique	76
3.2.2.1	Composition de la levée.....	76
3.2.2.2	Les fonctions des composants géotechniques	83

3.2.2.3	Analyse structurelle et fonctionnelle des profils en travers	84
3.2.3	Désordres constatés dans les systèmes de protection	87
3.2.3.1	Ouvrages inclus	87
3.2.3.2	Végétation et animaux fouisseurs	90
3.3	Analyse fonctionnelle externe	91
3.3.1	Analyse du milieu extérieur « cours d'eau »	91
3.3.1.1	Géomorphologie de la Loire	91
3.3.1.2	Conséquences de l'activité humaine	95
3.3.1.3	Système de protection en rive opposée	95
3.3.1.4	Réseau hydrographique secondaire	97
3.3.2	Analyse du milieu extérieur « zone protégée »	97
3.3.2.1	Raccordements amont/aval	98
3.3.2.2	Milieu extérieur « zone protégée » du système de protection	100
3.4	Classement des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy	108
4.	Présentation de la politique de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité (SGS)	109
4.1	Prescriptions réglementaires	109
4.2	Organisation des gestionnaires de la digue	110
4.3	Consignes écrites	112
4.4	Surveillance	112
4.4.1	Surveillance continue	113
4.4.2	Surveillance périodique	113
4.4.3	Surveillance en crue	114
4.4.3.1	Préambule	114
4.4.3.2	Situation actuelle	114
4.4.4	Surveillance post-crue	116
4.4.5	Surveillance exceptionnelle	117
4.4.6	Perspectives à moyen terme	117
4.5	Actions en cas d'urgence	117

4.6	Procédures d'évaluation du risque	118
4.6.1	Diagnostic initial	118
4.6.2	Études de dangers.....	118
4.6.3	Revue de sûreté	118
4.7	Exercices	118
4.8	Prévention des risques	118
4.8.1	Prévention des risques majeurs	118
4.8.2	Prévention des risques d'inondation.....	119
4.8.2.1	Prévision des crues.....	119
4.8.2.2	Seuil de vigilance.....	119
4.8.2.3	Organisation de la mise en sécurité des populations	120
4.9	Dossier d'ouvrage.....	123
4.10	Avis du rédacteur de l'étude de dangers.....	123
5.	Identification et caractérisation des potentiels de dangers	124
5.1	Ouverture d'une brèche partielle ou totale sur un tronçon de levée	125
5.2	Charges hydrauliques en crue de la Loire s'appliquant sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy	127
5.3	Première surverse au-dessus de la crête d'un tronçon de levée.....	131
5.4	Défaut de fermeture des protections amovibles.....	132
5.5	Dysfonctionnement des clapets anti-retour ou entrée d'eau par les canalisations traversant la levée.....	133
5.6	Remontée de nappe dans le val en arrière de la levée.....	134
5.7	Inondation par les affluents et ruissellement urbain.....	136
5.8	Inondations par remous de la Loire en partie aval ouverte du val.....	137
6.	Caractérisation des aléas naturels	138
6.1	Hydrologie : crues de la Loire	138
6.1.1	Présentation générale	138
6.1.2	Types de crues.....	139
6.1.2.1	Les crues « cévenoles »	139

6.1.2.1	Les crues « océaniques »	139
6.1.2.2	Les crues « mixtes »	139
6.1.3	Détermination des débits de pointe et des hydrogrammes de la Loire	139
6.1.4	Prise en compte du risque de rupture des digues de Loire en amont du val de Nevers, Sermoise et Challuy	142
6.1.5	Influence de la rupture du barrage du Villerest	142
6.2	Embâcles et débâcles de glace	143
6.2.1	Conséquences hydrauliques	144
6.2.2	Conséquences morphodynamiques	144
6.2.3	Conséquences mécaniques	144
6.3	Impact du changement climatique	145
6.4	Géologie et morphodynamique de la Loire	146
6.4.1	Géologie et morphodynamique de la Loire de Roanne à Angers	146
6.4.2	Géologie et morphodynamique de la Loire au droit du val de Nevers, Sermoise et Challuy	147
6.5	Aléa sismique	149
6.6	Risque karstique	151
6.7	Synthèse de la caractérisation des aléas naturels	155
7.	Étude accidentologique et retour d'expérience	156
7.1	Historique des crues de la Loire	156
7.2	Étude des brèches historiques	157
7.2.1	Étude des brèches historique sur la levée de Nevers	157
7.2.2	Enseignement des autres brèches sur les levées de la Loire	158
7.2.2.1	Enseignements généraux sur les brèches en Loire moyenne	158
7.2.2.2	Les brèches historiques des levées d'Orléans	159
7.3	Incidents récents	161
7.3.1	Evolution de la crue de la Loire en 2003	161
7.3.2	Les conséquences de la crue de 2003 sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy	162

7.3.3	Les conséquences de la crue de 2003 sur d'autres levées de Loire.....	162
7.3.4	Les incidents hors crue sur la levée de Nevers	163
7.3.5	Les incidents hors crue sur les autres levées de la Loire.....	164
7.4	Retour d'expérience sur d'autres systèmes de protection.....	165
8.	Identification et caractérisation des risques en terme de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences	168
8.1	Objectifs	168
8.2	Description et principes de la méthodologie	170
8.2.1	Principe général.....	170
8.2.2	La caractérisation du potentiel de rupture des tronçons de digues	171
8.2.2.1	Identification des scénarios de rupture envisageables.....	171
8.2.2.2	Estimation de la probabilité de rupture des tronçons de digues.....	172
8.2.3	Estimation du risque d'inondation par défaillance du système de protection	174
8.2.3.1	Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilités d'occurrence	174
8.2.3.2	Caractérisation des scénarios d'inondation en termes d'intensité et de cinétique des phénomènes dangereux.....	176
8.2.3.3	Estimation de la vulnérabilité des enjeux et de la gravité des scénarios d'inondation	177
8.2.4	Evaluation de la criticité des scénarios d'inondation.....	180
8.3	Détermination des scénarios de défaillance	181
8.3.1	Mode ou circonstance de défaillance	181
8.3.1.1	Rupture par surverse.....	181
8.3.1.2	Rupture par érosion interne	183
8.3.1.3	Rupture par érosion externe.....	185
8.3.1.4	Rupture par défaut de stabilité de la digue ou de sa fondation.....	186
8.3.1.5	Rupture du mur digue au droit de l'ancienne piscine.....	188
8.3.2	Principales causes des défaillances.....	188

8.3.2.1	Les bâtiments encastrés	188
8.3.2.2	La végétation ligneuse	188
8.3.2.3	Les canalisations	189
8.3.2.4	Les terriers d'animaux fouisseurs	189
8.3.2.5	Les désordres du talus côté val	190
8.3.2.6	Les désordres du talus côté Loire	190
8.3.2.7	Les surverses non contrôlées	192
8.3.2.8	Autres causes : géométrie ou localisation de la levée	192
8.3.3	Niveaux de sûreté des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy	193
8.4	Estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy	194
8.4.1	Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilités d'occurrence.....	194
8.4.1.1	Scénario d'inondation 1 : rupture du mur de l'ancienne piscine pour la crue T100.....	196
8.4.1.2	Scénario d'inondation 2 : rupture de la banquette initiée par érosion interne au profil 11 puis rupture de la levée par surverse (T = 200 ans)	196
8.4.1.3	Scénario d'inondation 3 : rupture initiée par érosion interne au profil 37 (T = 50 ans).....	197
8.4.1.4	Scénario d'inondation 4 : rupture initiée par érosion interne au profil 87 (T = 70 ans).....	198
8.4.2	Intensité et cinétique des scénarios	200
8.4.2.1	Construction du modèle hydraulique	200
8.4.2.2	Résultats des modélisations hydrauliques 2D	200
8.4.3	Gravité et criticité des scénarios d'inondation.....	212
8.4.3.1	Exploitation des résultats de l'étude d'enjeux	212
8.4.3.2	L'aléa d'inondation	212
8.4.3.3	Vulnérabilité des enjeux contenant des populations – indicateur de danger.....	217
8.4.3.4	Estimation de la gravité des scénarios	219
8.4.3.5	Evaluation de la criticité des scénarios d'inondation.....	220
9.	Étude de réduction des risques	221

9.1	Caractéristiques du système d'endiguement actuel	221
9.2	Réduction du risque par des mesures de gestion.....	223
9.2.1	Consignes écrites	223
9.2.2	Surveillance de l'ouvrage	223
9.2.3	Entretien de l'ouvrage	223
9.2.4	Entretien et restauration du lit de la Loire	224
9.2.5	Gestion de l'usage des digues	224
9.2.6	Action d'urgence en crue.....	226
9.2.7	Gestion du dossier d'ouvrage.....	226
9.2.8	Exercices	226
9.3	Mesures à mettre en œuvre sur le territoire.....	226
9.3.1	Sécurité des populations	226
9.3.2	Plans communaux de sauvegarde.....	227
9.3.3	Plan de prévention des risques inondations	228
9.3.4	Prévision des crues.....	228
9.4	Réduction du risque par des mesures sur le système d'endiguement ...	228
9.4.1	Mesures structurelles.....	228
9.4.2	Mesures fonctionnelles.....	230
9.4.3	Travaux à réaliser sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy	232
9.4.4	Priorité 1 : travaux permettant de garantir l'intégrité des ouvrages et d'atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T200 (niveau de protection apparent « théorique » du val).....	232
9.4.4.1	Travaux à réaliser sur la levée de Sermoise 1ère section amont	232
9.4.4.2	Travaux à réaliser sur la levée de Sermoise 1ère section aval	233
9.4.4.3	Travaux à réaliser sur la levée du canal de la Jonction.....	235
9.4.4.4	Travaux à réaliser sur la levée de la Blanchisserie.....	236
9.4.4.5	Travaux à réaliser sur la levée du Plateau de la Bonne Dame	237
9.4.5	Priorité 2 - travaux supplémentaires permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent « théorique » du val (T200)	238

9.4.5.1	Travaux à réaliser sur la levée de Sermoise 1ère section	238
9.4.5.2	Travaux à réaliser sur la levée du canal de la Jonction.....	238
9.4.5.3	Travaux à réaliser sur la levée de la Blanchisserie.....	239
9.4.5.4	Travaux à réaliser sur la levée du Plateau de la Bonne Dame	239
9.4.5.5	Synthèse des mesures structurelles et fonctionnelles préconisées	239
9.5	Réduction du risque en améliorant la connaissance	241
9.5.1	Connaissance des ouvrages	241
9.5.1.1	Connaissance historique des digues	241
9.5.1.2	Connaissance des levées secondaires	241
9.5.1.3	Connaissance géotechniques des digues	242
9.5.1.4	Connaissance des ouvrages traversant la digue	242
9.5.1.5	Connaissance des fondations sous-jacentes.....	242
9.5.2	Amélioration des connaissances au niveau du bassin	243
9.5.2.1	Détermination des aléas de rupture de la digue par mécanisme de rupture à l'aide d'un outil de calcul	243
9.5.2.2	Connaissance du phénomène d'embâcles de glace.....	243
9.5.2.3	Connaissance des phénomènes induits par le changement climatique.....	243
9.5.2.4	Connaissance de la formation des brèches	243
9.5.2.5	Connaissance du phénomène d'érosion interne dans les digues.....	243
9.5.3	Transmission de la connaissance	243
9.6	Conclusion sur l'étude de réduction du risque	244
10.	Cartographie.....	245
11.	Annexes	246
11.1	Abréviations des types de désordres et ouvrages selon SIRS Digues ...	246
11.2	Arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009.....	249

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy	23
Figure 2 : Analyse fonctionnelle hydraulique du système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy	24
Figure 3 : Profil en long de la crête de digue et de la rehausse, et lignes d'eau associées à différentes périodes de retour de crues de la Loire – zones vulnérables à la surverse T200	27
Figure 4 : Localisation des brèches et travaux entrepris sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy suite aux grandes crues du XIXème siècle	29
Figure 5 : Localisation des scénarios d'inondation étudiés	32
Figure 6 : Carte de la somme des probabilités de rupture annuelle	35
Figure 7 : Loire bourguignonne (source : SANDRE)	44
Figure 8 : Localisation des levées du val de Nevers	47
Figure 9 : Localisation des levées du val de Nevers	50
Figure 10 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée de Sermoise 1 ^{er} section (haut) et zoom sur la banquette (bas) (photos : Egis Eau, 2013)	51
Figure 11 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée du canal de la Jonction (haut) et zoom sur la banquette (bas) (Egis Eau, 2013)	52
Figure 12 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée de la Blanchisserie (haut) et zoom sur la banquette (bas) (photos : Egis Eau, 2013)	52
Figure 13 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée du Plateau de la Bonne Dame : août 2013 (gauche) et décembre 2013 (droite) (photos : Egis Eau, 2013)	53
Figure 14 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée de Sermoise 2 ^{er} section (gauche) et la levée de Gimouille (droite) (photos : Egis Eau, 2013)	53
Figure 15 : Ancienne écluse du port de la Jonction (Source : Egis Eau, 2014)	55
Figure 16 : Vues en plan et coupes des ouvrages du port de la Jonction (source : DDT58)	56
Figure 17 : Localisation des remblais renforçant la levée de Nevers mais non inclus dans la ligne de défense.	60
Figure 18 : Topographie dans le val « Nord »	62
Figure 19 : Bathymétrie à proximité de la levée de Gimouille aval	63
Figure 20 : Analyse des hauteurs d'eau (de deux points de bathymétrie proche) – crue 200 ans	63
Figure 21 : Analyse des vitesses à proximité de la levée de Gimouille (crue 200 ans)	64
Figure 22 : Ouvrages secondaires retenus et non retenus sur le val de Nevers, Sermoise et Challuy	65
Figure 23 : Ligne de défense principale du val de Nevers, Sermoise et Challuy	66
Figure 24 : Evolution des profils en travers « type » des levées de la Loire au début du XXème siècle (Source : R.Dion, 1934)	67
Figure 25 : Profil en long du système de protection de Nevers – identification de la cote de protection ...	71

Figure 26 : Sous-systèmes de digues (numérotation des tronçons homogènes) val de Nevers, Sermoise et Challuy	75
Figure 27 : Profil non renforcé sans assise imperméable (F1)	85
Figure 28 : Profil non renforcé, avec assise perméable (F1).....	86
Figure 29 : Exemple d'ouvrages inclus : bouchure, vannes, canalisation PVC et béton (Source : Egis Eau, 2014).....	87
Figure 30 : Maisons encastrées sur les levées de Sermoise 2 ^e section et de Gimouille.....	88
Figure 31: Bâtiments encastrés de l'ancienne piscine de la Jonction (Egis Eau, 2014).....	88
Figure 32 : Ouvrages inclus au système de protection	89
Figure 33 : Débouchés de terriers (en haut) et végétation sur la digue (en bas) (Egis Eau, 2014).....	90
Figure 34 : Schéma localisant le « franc-bord »	91
Figure 35 : Illustration du franc-bord au droit de la levée du canal de la jonction (Nevers)	92
Figure 36 : Cartographie de l'étude morphologique de la Loire au droit des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy	94
Figure 37 : Le système de protection du val de Nevers rive droite (Source : Etude EGRIAN).....	96
Figure 38 : Réseau hydrographique secondaire du val de Nevers, Sermoise et Challuy (fond de carte : géoportail)	97
Figure 39 : Raccordement amont et aval du val de Nevers, Sermoise et Challuy.....	98
Figure 40 : Carte de la zone protégée et des zones de remous pour les crues T50 à T200 – val de Nevers, Sermoise et Challuy.....	99
Figure 41 : Zone protégée de Nevers rive gauche	100
Figure 42 : Densité de la population dans le val de Nevers, Sermoise et Challuy (carroyage INSEE 2010)	101
Figure 43 : Localisation des enjeux de la zone protégée de Nevers	103
Figure 44 : à gauche : installations en lit majeur pour "Nevers plage", à droite : camping de Nevers entre la Loire et la levée de la Blanchisserie.....	106
Figure 45 : Enjeux non protégés par le système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy ...	106
Figure 46 : Illustration du pont de Loire (décembre 2003)	107
Figure 47 : Organigramme de la subdivision gestion de la Loire.....	111
Figure 48 : Dispositif global de gestion de crise, de la prévision de crue à l'évacuation	121
Figure 49 : Echelle de surveillance du PSL de Nevers	122
Figure 50 : Mur-digue (vue côté Loire – egis eau, vue côté ancienne piscine – ANTEA)	126
Figure 51 : Plan du mur de l'ancienne piscine de la Jonction (comblement du tirant d'air)	127
Figure 52 : Localisation des profils en travers sur les levées de second rang.....	130
Figure 53 : Bouchure levée du canal de la Jonction face à la piscine du canal – val de Nevers, Sermoise et Challuy (Source : Egis Eau, 2014)	133
Figure 54 : Vannes au niveau de l'ancienne écluse de la Jonction.....	134

Figure 55 : A gauche : conduite sur la levée du canal de la Jonction (profil 63), à droite : conduite sur la levée de Sermoise 2 ^e section (profil 107).....	134
Figure 56 : Schéma illustrant la remontée de nappe (source : Hydratec, 2004).....	135
Figure 57 : Zones de sensibilité à la remontée de nappes à Nevers (Source : www.inondationsnappes.fr, BRGM).....	135
Figure 58 : Réseau hydrographique secondaire du val de Nevers, Sermoise et Challuy (fond de carte : géoportail)	136
Figure 59 : forme théorique des hydrogrammes de crue de la Loire amont	140
Figure 60 : position des principaux barrages de la Loire et de ses affluents (Source : EdD du val de Tours)	143
Figure 61 : Etat du dépôt sableux au niveau de la levée de Sermoise 1 ^{ère} section (Géoportail 2011).....	147
Figure 62 : Absence de franc-bord au droit de l'ancienne écluse de la Jonction (Egis Eau, 2014).....	148
Figure 63 : Dépôt et exhaussement au niveau de l'embouchure de la Nièvre (Egis Eau, 16/05/2014)	148
Figure 64 : Banc alluvionnaire en pied de digue de la levée du Plateau de la Bonne Dame (Egis Eau, 16/05/2014).....	149
Figure 65 : Carte du zonage sismique en région Bourgogne	150
Figure 66 : Sensibilité à l'aléa karstique des levées de Loire (source : BRGM).....	152
Figure 67 : Schéma de propagation d'un fontis de taille limitée (EdD de la digue d'Orléans).....	153
Figure 68 : Schéma d'un effondrement karstique (EdD de la digue d'Orléans)	154
Figure 69 : Localisation et caractéristiques des brèches sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy (fond de plan : orthophotos 2011)	158
Figure 70 : Position des brèches lors des crues du XIX ^{ème} siècle (Source : LR Blois)	160
Figure 71 : Fosse d'érosion des brèches de Jargeau suite aux crues de 1856 et 1866 (Source : EdD du val d'Orléans)	161
Figure 72 : Montée des eaux à Decize lors de la crue 2003 (source : équipe pluridisciplinaire Plan Loire grandeur Nature).....	161
Figure 73 : Répartition des désordres recensés lors de la VTA 2013 (cf rapport VTA)	164
Figure 74 : Destructuration d'une maison à Fourques (source : CETE méditerranée).....	166
Figure 75 : Brèche sur la digue à Saint-laurent-d'Aigouze (source : CETE méditerranée)	166
Figure 76 : Diagramme simplifié de la démarche d'analyse du risque (source : EdD du val de Tours).....	169
Figure 77 : démarche de l'analyse du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement (diagramme Irstea).....	171
Figure 78 : Grille d'intensité de l'aléa d'inondation.....	177
Figure 79 : Densité de population dans le val de Nevers, Sermoise et Challuy	178
Figure 80 : Grille de criticité des scénarios	180
Figure 81 : Schéma explicatif des scénarios de défaillance par surverse en cas de banquettes non résistante à la surverse	182
Figure 82 : Hauteurs de surverse et probabilité de rupture par surverse pour les profils concernés (les valeurs négatives correspondent à des revanches).....	183

Figure 83 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion interne (probabilités > 1%)	184
Figure 84 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion interne (probabilités > 1%)	185
Figure 85 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion externe (probabilités >1%).....	186
Figure 86 : Probabilité de rupture des profils soumis au glissement du talus côté val (probabilités >1%)	187
Figure 87 : Probabilité de rupture des profils soumis au glissement du talus côté val (probabilités >1%)	187
Figure 88 : causes principales des risques sur l'ensemble des profils CARDigue de la levée de Nevers	192
Figure 89 : Localisation des scénarios étudiés – val de Nevers, Sermoise et Challuy	195
Figure 90 : Scénario d'inondation n°1 - carte de localisation de la brèche (profil 62).....	196
Figure 91 : Scénario d'inondation n°2 - carte de localisation de la brèche (profil 11).....	197
Figure 92 : Scénario d'inondation n°3 - carte de localisation de la brèche (profil 37).....	198
Figure 93 : Scénario d'inondation n°4 - carte de localisation de la brèche (profil 87).....	199
Figure 94 : Carte des hauteurs d'eau maximales pour le scénario 1	201
Figure 95 : Vitesses d'écoulement maximales pour le scénario 1	202
Figure 96 : Carte des hauteurs d'eau maximales pour le scénario 2	203
Figure 97 : Vitesses d'écoulement maximales pour le scénario 2	204
Figure 98 : Carte des hauteurs d'eau maximales pour le scénario 3	205
Figure 99 : Vitesses d'écoulement maximales pour le scénario 3	206
Figure 100 : Carte des hauteurs d'eau maximales pour le scénario 4	207
Figure 101 : Vitesses d'écoulement maximales pour le scénario 4	208
Figure 102 : Cartographie de la situation dans le val inondé avant ouverture de la brèche au profil 11 ...	209
Figure 103 : Cartographie de la situation dans le val inondé avant ouverture de la brèche au profil 37 ...	210
Figure 104 : Cartographie de la situation dans le val inondé avant ouverture de la brèche au profil 87 ..	211
Figure 105 : Aléa inondation pour le scénario 1	213
Figure 106 : Aléa inondation pour le scénario 2	214
Figure 107 : Aléa inondation pour le scénario 3	215
Figure 108 : Aléa inondation pour le scénario 4	216
Figure 109 : Implantation des déversoirs de sécurité sur les digues des vals de Nevers rives droite et gauche (Source : étude EGRIAN – Renforcement des digues).....	231
Figure 110 : Cause de défaillance sur la levée de Sermoise 1 ^{ère} section amont A77 (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles).....	233
Figure 111 : Cause de défaillance sur la levée de Sermoise 1 ^{ère} section aval A77 (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles).....	234
Figure 112 : Cause de défaillance sur la levée du Canal de la Jonction (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles).....	235
Figure 113 : Cause de défaillance sur la levée de la Blanchisserie (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles)	236

Figure 114 : Cause de défaillance sur la levée du Plateau de la Bonne Dame (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles) 237

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des crues modélisées	27
Tableau 2 : Niveaux de protection apparent des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy	28
Tableau 3 : Niveaux de sûreté des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy	30
Tableau 4 : Probabilité de rupture annuelle, gravité et criticité de chacun des scénarios d'inondation testé	32
Tableau 5 : Classement des digues selon l'article R.214-113	40
Tableau 6 : Les fonctions hydrauliques génériques des sous-systèmes de digues (source annexe 4 analyse fonctionnelle EdD Tours- DREAL Centre)	70
Tableau 7 : Analyse hydraulique des sous-systèmes composant le système de protection de Nevers	74
Tableau 8 : Niveaux de protection apparents des sous-systèmes de protection de Nevers	76
Tableau 9 : les familles de fonctions des composants géotechniques (source : EdD du val de Tours)	83
Tableau 10 : Analyse fonctionnelle du profil en travers type.....	85
Tableau 11 : Risques liés à l'évolution morphologique du lit de la Loire au droit des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy	93
Tableau 12: Estimation de la population au niveau de sites à enjeux sensibles	104
Tableau 13: Récapitulatif des caractéristiques de la zone protégée.....	107
Tableau 14 : Obligations réglementaires pour les digues de classe B	109
Tableau 15 : Evénements possibles et facteurs de sensibilité associés sur les digues en terre (source : EdD de Tours)	124
Tableau 16 : Charges hydrauliques s'appliquant aux différents tronçons des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy.....	128
Tableau 17 : Charges hydrauliques au droit des profils des levées secondaires.....	131
Tableau 18 : Débits de pointe à l'amont du val de Nevers, Sermoise et Challuy selon la période de retour T	141
Tableau 19 : Vérification du risque de liquéfaction	151
Tableau 20 : Recensement des crues mesurées à l'échelle de Nevers	157
Tableau 21 : Fréquence des différents mécanismes de brèches en Loire moyenne.....	159
Tableau 22 : Brèches caractéristiques de la levée d'Orléans (Source : EdD du val d'Orléans).....	160
Tableau 23 : Evènements climatologiques et enseignements pour l'EdD (source : EdD de Tours, 2013)	165
Tableau 24 : Retours d'expérience sur des digues en terre – caractéristiques des brèches et travaux entrepris	167
Tableau 25 : Qualification des probabilités annuelles utilisées pour caractériser les scénarios de défaillance	176
Tableau 26 : qualification des probabilités événementielles utilisées pour caractériser la probabilité de défaillance pour un évènement de crue donné.....	176

Tableau 27 : Synthèse des niveaux de sûreté des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy	193
Tableau 28 : Scénarios d'inondation retenus.....	195
Tableau 29 : Echelle de dangers pour les habitats	217
Tableau 30 : Gravité des scénarios d'inondation.....	219
Tableau 31 : Criticité des scénarios d'inondation.....	220
Tableau 32 : Caractéristiques des niveaux de sûreté des différentes levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy	227
Tableau 33 : Mesures structurelles de priorité 1 sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy ...	240
Tableau 34 : Mesures structurelles de priorité 2 sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy ...	240

Préambule

Sur la structure de la présente étude de dangers

L'Étude de dangers des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy est constituée du présent rapport et de ses annexes.

Le **chapitre 0** constitue le résumé de l'étude de dangers

Le **chapitre 1** apporte des renseignements d'ordre administratif sur l'ouvrage et la présente étude.

Le **chapitre 2** précise les éléments de contexte.

Le **chapitre 3** décrit les digues et leur environnement.

Le **chapitre 4** présente les éléments de gestion de la sécurité des ouvrages.

Le **chapitre 5** identifie et caractérise les potentiels de dangers liés à la présence des digues.

Le **chapitre 6** détaille les aléas naturels auxquels sont soumis les ouvrages de protection contre les inondations.

Le **chapitre 7** propose une description et une analyse des accidents passés.

Le **chapitre 8**, cœur de l'Étude de dangers, présente l'analyse des risques liés à la rupture ou à la surverse des ouvrages.

Le **chapitre 9** propose des mesures pour réduire les risques.

Le **chapitre 10** constitue l'atlas des cartes. La plupart des cartes sont déjà insérées dans le corps de texte pour une meilleure compréhension.

Des études spécifiques viennent approfondir certains sujets abordés dans l'Étude de dangers. Ces études regroupent :

- S2 - Étude hydraulique locale via l'utilisation d'un modèle hydraulique 2D
- S3 - Rapport de l'étude morphodynamique
- S4 - Rapport de l'étude sur les brèches historiques
- S5 - Étude des ouvrages inclus
- S6 - Étude géotechnique
- S7 - Diagnostic de l'aléa de rupture des digues
- S8 - Étude des enjeux
- S10 - Exploitation des données topographiques du système endigué
- S11 - Étude de la végétation

Les études spécifiques S9 - Analyse fonctionnelle et S12 - Étude des risques divers et facteurs aggravants pour la sûreté des digues sont incluses dans les chapitres 3, 6 et 7 du rapport.

Sur la qualité des données utilisées et les incertitudes associées

Une grande quantité de données ont été collectées et analysées pour alimenter la présente Étude de dangers.

On peut citer :

- Référentiels IGN :
 - Scan 25 ®
 - BD ORTHO ®
 - BD TOPO ®
 - BD PARCELLAIRE ®
- Autres référentiels externes :
 - Bases de données de l'INSEE (recensement de population : données infracommunales (RGP de 1999 et RP de 2007 à 2011 suivant les communes), données carroyées 2011)
 - CORINE LAND COVER 2006
 - Banque de données du Sous-Sol (<http://infoterre.brgm.fr/>)
 - Documents historiques des archives départementales
- Données de la DREAL Centre disponibles via le site Internet SIEL (Système d'information sur l'Évolution du Lit de la Loire <http://www2.centre.ecologie.gouv.fr/SIEL/index-0.htm>)
 - Mosaïques aériennes de la Loire de 1955 à 2005
 - Cartes de 1850 surchargées
 - Cartes de végétation
 - Cartes de morphologie
 - Cartes d'évolution de la végétation
- Données des propriétaires / gestionnaires de digue :
 - Dossier d'ouvrage
 - Plan de fauchage des levées des départements 58 et 18, registre de surveillance,
 - Rapports de Visite Technique Approfondie, cartographies comprises, de 2010, 2011 et 2012 ;
 - Plan de surveillance des levées,
 - Etude de diagnostic et d'Avant-Projet de SOGREAH de 2002,
 - Levés géomètres.
- Modèles hydrauliques :
 - Modèle hydraulique bidimensionnel du val de Nevers d'ISL

L'équipe de rédaction tient à mettre en garde le lecteur sur les incertitudes associées aux données et résultats affichés dans la présente Étude de dangers. Elles sont de plusieurs ordres et concernent divers domaines. On retiendra en particulier celles liées à la topographie, à l'hydrologie, à l'hydraulique qui ont pu être quantifiées (cf. tableau ci-dessous) et celles liées aux probabilités de rupture mais aussi au recensement des désordres dans les digues qui restent indéterminées. Des

incertitudes sont à noter également par rapport au nombre d'habitants dans la zone protégée (+/- 1% à l'échelle du val avec les données INSEE, beaucoup plus pour le calcul de l'indicateur de dangers compte-tenu des données topographiques manquantes et des incertitudes sur le type d'habitats, identifiés ici uniquement par rapport à la taille du bâtiment). Ces incertitudes sont listées dans le tableau ci-dessous :

Domaine	Donnée utilisée ou résultat produit dans l'Étude de dangers	Incertitudes
Topographie	Levé Lidar - MNT Loire Bourguignonne 2009	+/- 15 cm en altimétrie +/- 30 cm en planimétrie
Hydrologie	Débit de point de l'hydrogramme de crue pour une période de retour donnée	+/- 10%
Hydraulique bidimensionnelle	Hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement maximales dans la zone protégée en cas d'entrée d'eau	Entre 30 et 60cm pour les hauteurs +/- 0,1m/s pour les vitesses

Sur l'utilisation des pourcentages dans le calcul des probabilités de rupture des ouvrages

Une probabilité est toujours comprise entre zéro (0) et un (1). Pour un événement donné, une probabilité de zéro correspond à l'impossibilité de se produire et une probabilité de un, à la certitude qu'il survienne.

Pour présenter des probabilités, différents formats de nombre ou de notion peuvent être utilisés :

Format de la probabilité	Exemple 1	Exemple 2
Notation décimale	0,01	0,2
Notation en puissance de 10	10^{-2}	$2 \cdot 10^{-1}$
Notation scientifique	1 E-02	2 E-01
Notation en pourcentage	1%	20%
Notation fractionnaire	1/100	1/5
Temps de retour *	100 ans	5 ans

* Le temps de retour ne s'utilise que pour une probabilité annuelle

La notion de temps de retour, souvent utilisée en hydrologie, est très difficile à manier. Un événement de temps de retour 100 ans, dit « centennal », a une probabilité de survenir chaque année de 1% (1/100, 0.01, 10^{-2} , 1 E-02). Il ne faut pas confondre cette notion avec la probabilité d'avoir l'événement considéré sur 100 ans puisque cette probabilité devient égale à 63%, soit 63 pour cent de chances d'avoir l'événement en 100 ans.

Ce dernier résultat est issu de l'application de la formule de Poincaré utilisée pour la combinaison d'événements indépendants qui permet de combiner les non-événements. En effet, l'événement peut se produire une ou plusieurs fois en 100 ans. Il est donc plus facile de calculer la probabilité qu'il ne se produise pas en 100 ans, soit jamais tous les ans. On suppose que chaque année l'événement a 1 chance sur 100 de se produire et donc 99 chances sur 100 de ne pas se produire. La probabilité qu'il ne se produise pas en 100 ans, est le produit des probabilités annuelles : $(99\%)^{100}$. Aussi, la probabilité que l'évènement survienne en 100 ans est de $1-(99\%)^{100}$, soit 0,63 (63%, $6,3 \cdot 10^{-1}$, 1/1,59 ou $6.3 \cdot 10^{-1}$). Mais on ne parlera pas de temps de retour puisque la probabilité n'est plus annuelle.

Les mathématiciens, statisticiens n'utilisent généralement pas les pourcentages mais plutôt la notation décimale, en puissance de dix ou en notation scientifique. Pour une raison de lisibilité et de facilité de compréhension, nous utilisons le plus souvent, dans le corps du rapport d'étude de dangers, la notation des pourcentages, ou les décimales. En revanche, dans le modèle d'aléa de rupture, les probabilités sont le plus souvent en puissance de dix ou notation scientifique.

Sur l'évolution de la réglementation sur les digues

L'équipe de rédaction tient à avertir le lecteur sur l'évolution de la réglementation applicable aux digues, lors de la période d'élaboration de cette présente Étude de dangers.

L'émergence de la nouvelle compétence "Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations" (Gemapi), attribuée aux communes, entraîne la prise en compte d'un nouveau cadre territorial pour les acteurs en charge des actions de gestion intégrée de l'eau. Celle-ci s'est précisée avec la publication au Journal Officiel du 14 mai 2015 du décret "digues", relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques.

Le décret digue du 14 mai 2015 procède à un certain nombre de clarifications et simplifications des règles relatives à la sécurité des ouvrages hydrauliques (barrages et digues) qui avaient été fixées par le décret du 11 décembre 2007. Les dispositions nouvelles à retenir notamment sont les suivantes :

- Nouvelle règle de classement des digues, basée sur la population protégée (la population protégée correspond à la population maximale exprimée en nombre d'habitants qui résident et travaillent dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières) et suppression de la classe D :

CLASSE	POPULATION PROTÉGÉE par le système d'endiguement ou par l'aménagement hydraulique
A	Population > 30 000 personnes
B	3 000 personnes population 30 000 personnes
C	30 personnes population 3 000 personnes

- Définition du niveau de protection des digues : « le niveau de protection d'une zone exposée au risque d'inondation ou de submersion marine assuré par un système d'endiguement au sens de l'article R. 562-13 ou par un aménagement hydraulique au sens de l'article R. 562-18 est déterminé par la hauteur maximale que peut atteindre l'eau sans que cette zone soit inondée en raison du débordement, du contournement ou de la rupture des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer. Lorsque la taille et les caractéristiques de la zone exposée le justifient, plusieurs niveaux de protection peuvent être déterminés, chacun étant associé à une partie délimitée de la zone protégée. Le niveau de protection d'un système d'endiguement ou d'un aménagement hydraulique est apprécié au regard soit d'un débit du cours d'eau en crue considéré ou d'une cote de niveau atteinte par celui-ci, soit d'un niveau marin pour le risque de submersion marine. »

Cette Étude de dangers a été rédigée selon les dispositions mises en place par le décret du 11 décembre 2007.

0. Résumé de l'Étude de dangers du val de Nevers, Sermoise et Challuy

0.1 Contexte et objectifs de l'Étude de dangers

La DREAL Centre, département Étude et Travaux Loire, a confié les études de dangers des systèmes d'endiguement de classe B et C et les visites techniques approfondies 2013 des systèmes de classe A et B sur la Loire à des bureaux d'études agréés au titre du décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007.

L'Étude de dangers du val de Nevers, Sermoise et Challuy a été réalisée par le bureau d'études Egis Eau. Les investigations géophysiques nécessaires à l'élaboration de cette étude ont été réalisées par Soldata et les investigations géotechniques par Hydrogéotechnique.

Cette étude de dangers répond aux objectifs suivants :

- Déterminer les niveaux de sûreté et de protection des ouvrages constituant les levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy ;
- Définir et préciser la surveillance des ouvrages et équipements qui composent les levées, notamment en période de crue,
- Identifier l'ensemble des risques existants,
- Caractériser les risques en termes de probabilité d'occurrence (probabilité événementielle), déterminer des probabilités d'occurrence de scénarios d'inondation par rupture de digue (probabilité annuelle), et en évaluer les conséquences en termes de danger pour la population protégée,
- Proposer une démarche de réduction des risques, portant sur :
 - des mesures de gestion et d'entretien des levées,
 - une mise à jour des documents liés à la mise en sécurité des populations (PCS, PPRI, RIC) ;
 - des travaux de renforcement, hiérarchisés, à programmer ;

L'analyse menée dans la présente étude porte sur les levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy qui ont été classées en digues de classe B par l'arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009.

Le système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy rive gauche s'étend sur un linéaire cumulé de 5,9 km. Il est composé de six levées dont une ramification : les levées de Sermoise 1^{er} section, du canal de la Jonction, de la Blanchisserie, du Plateau de la Bonne Dame constituent la ligne de défense principale ; à laquelle s'ajoute une ramification formée par la levée de Sermoise 2^{er} section et la levée de Gimouille (caractérisés d'ouvrage secondaire). Il protège les communes de Nevers, Sermoise sur Loire et Challuy, en rive gauche de la Loire.

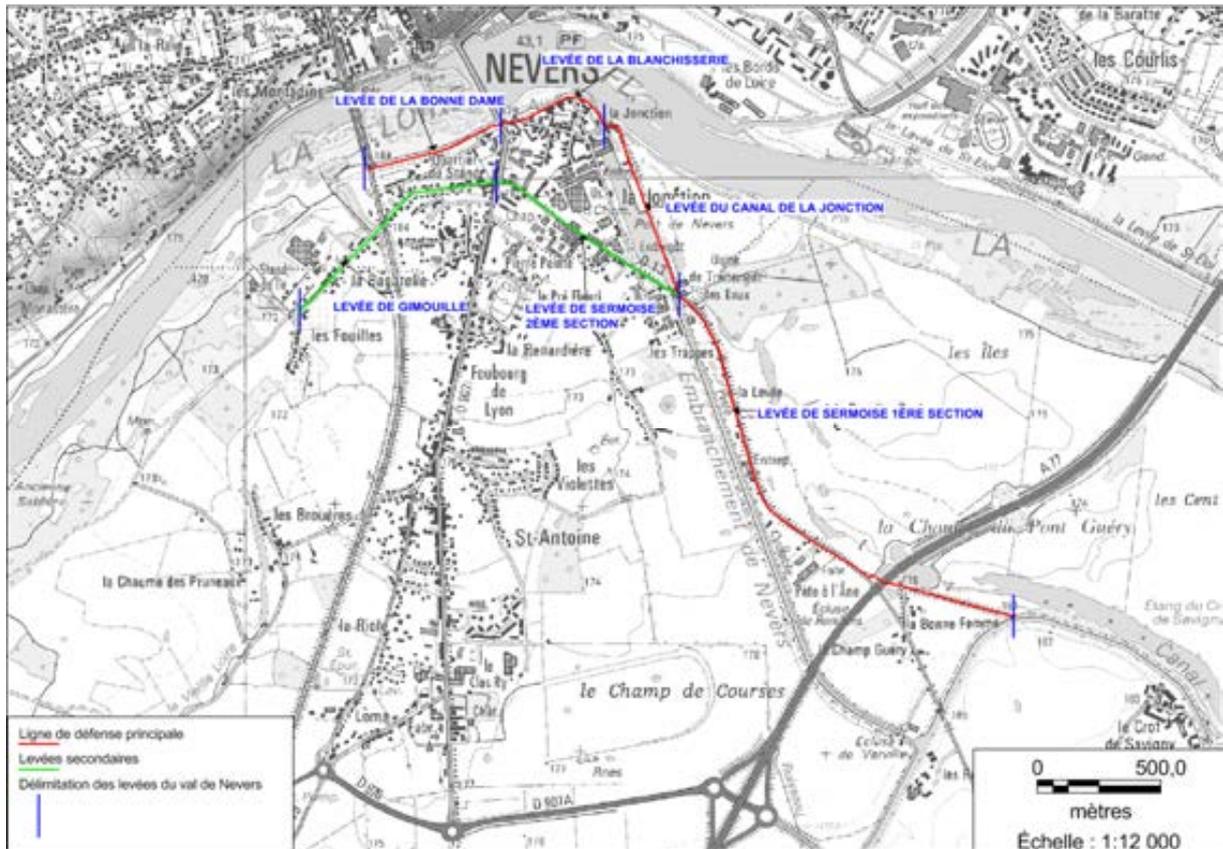


Figure 1 : Localisation des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Ce système d'endiguement qui participe à la protection contre les inondations est propriété de l'État au titre du Domaine Public Fluvial ainsi que les terrains sur lesquels leurs fondations sont assises. Il est géré, par délégation du préfet de la Nièvre, par la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58).

La zone protégée par le système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy rassemble 2372 habitants permanents. Le classement en digue de classe B des levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy n'est donc pas remis en cause.

0.2 Systèmes de protection contre les inondations et composition des levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Le terme « levée » s'utilise pour désigner une digue construite en terre par élévation successive. À l'exception de quelques tronçons, la majeure partie des digues du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont des levées.

La **ligne de défense principale** de Nevers est composée des levées de Sermoise 1^{ère} section, du canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame. La bouchure sur la rehausse de la levée du canal de la Jonction et le mur et vannages de l'ancienne écluse du port de la jonction sont inclus dans la ligne de défense principale.

Les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille n'ont pas de réel rôle de protection contre les inondations directes de la Loire. Néanmoins elles influencent les écoulements dans le val inondé. Elles sont caractérisées d'**ouvrages secondaires**.

A l'amont, la ligne de défense principale est directement connectée au terrain naturel, ce qui protège le val des inondations par contournement de la ligne de défense principale. **A l'aval, le val est ouvert**. En effet, la ligne de défense principale vient se raccorder au remblai de la voie ferrée, qui présente plusieurs ouvrages de transparence, et n'a donc pas un réel rôle de protection. Le val est inondé par les eaux qui transitent par ces ouvrages de transparence, notamment l'ouvrage du ruisseau de Peuilly et l'ouvrage de Brouères.

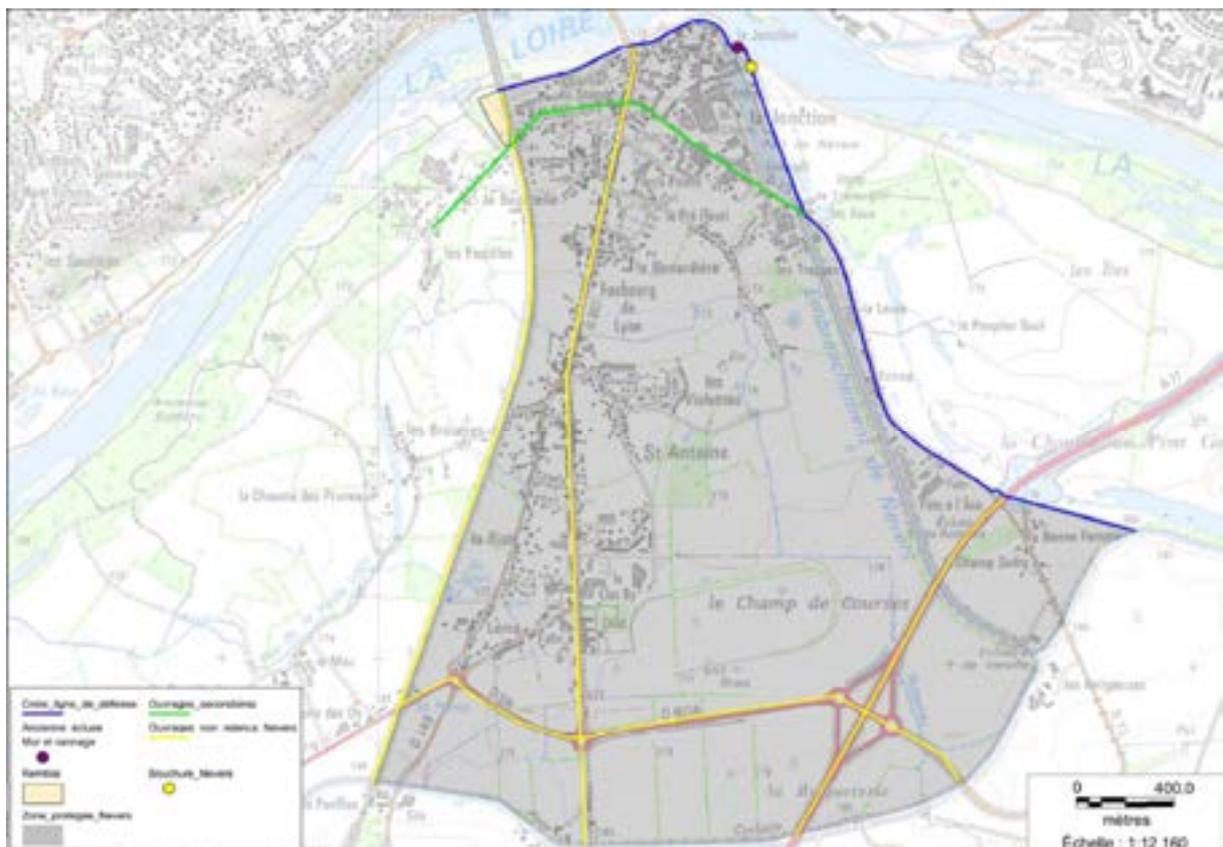


Figure 2 : Analyse fonctionnelle hydraulique du système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Comme les autres levées de la Loire, les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont des ouvrages anciens qui ont été construits et reconstruits par élévations et élargissements successifs depuis le Moyen Âge. Il s'agit, pour la plupart du linéaire, d'ouvrages en terre, non résistants à la surverse.

La connaissance initiale des ouvrages, les Visites Techniques Approfondies réalisées en 2013 et les investigations complémentaires menées dans le cadre de l'Étude de dangers ont permis de mettre en évidence de nombreux désordres pouvant influencer sur la tenue des ouvrages en cas de crue :

- canalisations incluses dans les levées ;
- bâtiments encastrés dans les digues ;
- végétation sur et aux abords des levées ;

- terriers d'animaux fouisseurs ;
- obstacles sur les talus de digue.

Les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy composant la ligne de défense principale sont surmontées, sur 80% du linéaire, d'une rehausse côté Loire (banquette en terre ou muret en maçonnerie). La levée de Sermoise 1^{ère} section présente une banquette en terre perreyée d'une hauteur importante (1,7m en moyenne).

L'analyse des documents d'archives concernant les grandes crues de la Loire de 1846, 1856 et 1866 a montré le faible rôle de protection apporté par les banquettes en terre côté cours d'eau (rupture dès lors qu'une charge de 20 cm d'eau s'applique sur ces ouvrages). Il est considéré, dans la plupart des cas, une hauteur d'influence de rehausses de 20cm maximum sur le niveau de protection. Les caractéristiques spécifiques de la rehausse de la levée de Sermoise 1^{ère} section ont permis de définir une hauteur d'influence supérieure, établie suite à des calculs de résistance à l'érosion interne.

Ainsi, les hauteurs d'influence des rehausses fixées sont les suivantes :

- 0.9m pour la levée de Sermoise 1^e section,
- 0.2m pour la levée du Canal de la Jonction,
- 0.15m pour la levée de la Blanchisserie.

0.3 Dangers liés aux levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy

De ces premiers constats et considérant que les dangers afférents aux levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy résultent principalement de l'irruption accidentelle d'eau à l'intérieur du val lors d'une crue de la Loire, les différentes situations qui pourraient être à l'origine d'entrées d'eau dans la zone protégée sont les suivantes (par ordre de gravité décroissante) :

- l'ouverture d'une brèche totale ou partielle sur un tronçon de levée ;
- la première surverse au-dessus de la crête d'un tronçon de levée ;
- l'intrusion d'eau dans la zone protégée par des canalisations traversant une levée ou le dysfonctionnement des clapets anti-retour si celles-ci en sont pourvues ;
- l'inondation par remous en aval du système d'endiguement ;
- l'inondation par les affluents ;
- l'intrusion d'eau par remontée de nappe ou ruissellement urbain (ce danger n'a pas été pris en compte dans l'Étude de dangers).

0.4 Niveau de protection et niveau de sûreté des levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Pour caractériser le degré de protection d'un système d'endiguement, la définition de deux notions de base est nécessaire.

Le niveau de protection est le niveau d'eau du cours d'eau au-dessus duquel la zone protégée commence à être inondée sans rupture préalable de la digue, par débordement au-dessus du sommet de la digue ou par un déversoir ;

Le niveau de sûreté se définit comme le niveau d'eau du cours d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de l'ouvrage n'est plus considérée comme négligeable.

La notion de sûreté renvoie au risque de rupture, la notion de protection à la surverse. Dans un système d'endiguement parfaitement fiable, le niveau de sûreté est supérieur ou égal au niveau de protection. Cela revient à dire que la rupture avant surverse est improbable. Le risque de rupture n'apparaît que lorsque la lame d'eau débordante atteint une hauteur significative ou, dans le cas de digue équipée d'un déversoir, que ce dernier a atteint sa capacité maximale.

Dans le cas des digues de Loire, le risque de rupture avant surverse ou avant fonctionnement des déversoirs ne pouvant être considéré comme négligeable, le niveau de sûreté est généralement inférieur au niveau de protection. Pour ne pas entretenir l'illusion d'une protection efficace pour un tel niveau d'eau dans le fleuve, on parlera de **niveau de protection apparent**.

Dans le cas spécifique du système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy qui présentent pour la levée de Sermoise 1^{ère} section une banquette importante jouant un rôle non négligeable sur le niveau de protection de la levée, les notions de **hauteur d'influence de la banquette et de niveau de protection apparent « théorique »** sont introduites. En effet, il est considéré qu'une surverse « théorique » peut avoir lieu une fois que le niveau d'eau dépasse le **niveau défini à partir duquel la banquette présente un risque de rupture par érosion interne**. Cette hauteur avant rupture par érosion interne est définie comme hauteur d'influence de la banquette. **Le niveau de protection apparent « théorique » de la levée est défini au niveau de la crête de digue additionné de la hauteur d'influence de la banquette.**

0.4.1 Niveau de protection apparent

Les niveaux de protection apparents du système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy ont été estimés par le biais d'un modèle hydraulique bidimensionnel, construit par ISL à l'aide du logiciel TELEM2D et exploité par Egis Eau pour plusieurs scénarios de crue.

Sept crues de périodes de retour 50 ans, 70 ans, 100 ans, 170 ans, 200 ans, 500 ans et 1000 ans ont été modélisées sous Telemac 2D pour déterminer les zones de surverse du système de protection contre les inondations et par conséquent les niveaux de protection apparents. Chaque crue a été qualifiée par son débit de pointe et sa hauteur estimée au droit de l'échelle de Nevers, échelle de référence du Règlement d'Information sur les Crues (RIC).

Tableau 1 : Caractéristiques des crues modélisées

Crues modélisées	T50	T70	T100	T170	T200	T500	1000
Débit de pointe (m³/s)	2300	2620	3280	3500	3870	4500	5000
Cote à l'échelle de Nevers (m NGF)	175.57	175.88	176.53	176.72	177.06	177.57	177.95
Hauteur d'eau estimée (m)	4.12	4.43	5.08	5.27	5.61	6.12	6.5

Les lignes d'eau sont comparées au profil en long de la crête de levée. La zone vulnérable à la surverse est identifiée sur le profil en long ci-dessous (rond rouge) :

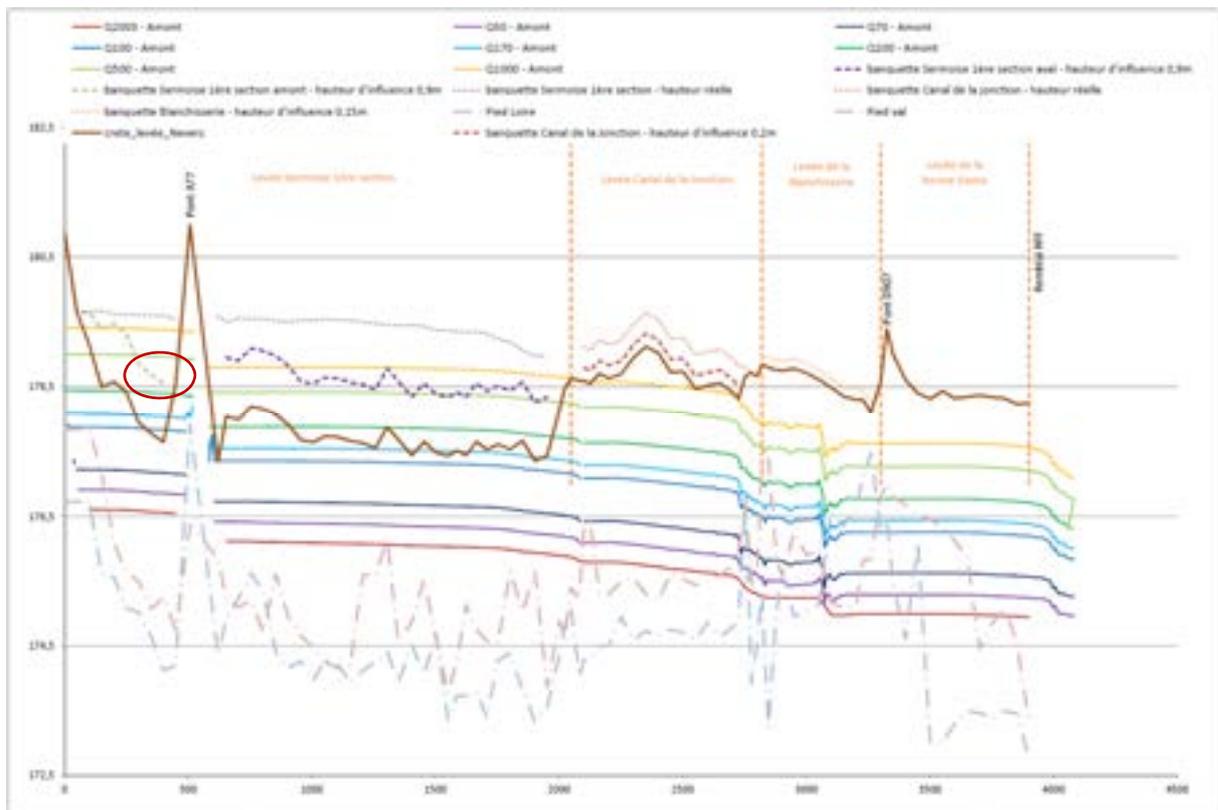


Figure 3 : Profil en long de la crête de digue et de la rehausse, et lignes d'eau associées à différentes périodes de retour de crues de la Loire – zones vulnérables à la surverse T200

Deux types de surverse sont possibles dans le cas des digues étudiées :

- Lorsqu'il n'y a pas de banquette, la surverse intervient lorsque le niveau des eaux dépasse le niveau du sommet de la digue. C'est une surverse « réelle ».
- Lorsqu'il y a une banquette, la surverse intervient lorsque le niveau des eaux dépasse la hauteur d'influence de la banquette. Il est considéré qu'à partir d'une certaine charge hydraulique, il y a rupture de la banquette initiée par érosion interne et donc ensuite surverse. C'est une surverse « théorique ».

En considérant les hauteurs d'influence rappelées au § 0.2, les premières surverses apparaissent de manière localisée sur la levée de Sermoise 1ère section en amont de l'A77 pour une crue de période de retour comprise entre 200 et 500 ans.

Le niveau de protection apparent global du val de Nevers, Sermoise et Challuy est donc la T200, ce qui correspond à un débit de pointe de 3870 m³/s.

Ensuite, il est défini un niveau de protection apparent par levée :

Tableau 2 : Niveaux de protection apparent des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Levée	Niveau de protection	Cote à l'échelle de Nevers (m NGF)	Hauteur d'eau estimée (m)	Débit de pointe (m ³ /s)
Sermoise 1 ^{ère} section (amont A77)	Niveau de la crue T200	177,06	5,61	3870
Sermoise 1 ^{ère} section (aval A77)	Niveau de la crue T500	177,57	6,12	4500
Canal de la Jonction	Niveau de la crue T1000	177,95	6,5	5000
Blanchisserie				
Plateau de la Bonne Dame				

0.4.2 Défaillance du système de protection et niveaux de sûreté

Les premières traces d'édification des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy remontent à 1606, date de construction de la levée Saint Antoine. Cette digue avait été établie pour protéger le chemin reliant Plagny au pont de Nevers (RN7) des crues.

A la fin du XVIII^{ème} siècle, le gouvernement royal exerce un véritable contrôle sur la construction et l'entretien des levées sur toute la Loire. Sur Nevers, des grands travaux d'endiguement sont entrepris, avec la **réalisation des levées de Sermoise et de Gimouille en 1767**.

Les grandes crues du XIX^{ème} siècle perturbent fortement la stabilité de la digue et des dysfonctionnements apparaissent. Au total, huit brèches se produisent sur les levées de Nevers et ses ramifications : 3 en 1846, 3 en 1856 et 2 en 1866.

Cette période est donc marquée par d'importants travaux de construction, surélévation et élargissement de levées dont notamment :

- L'édification de la **levée du Plateau de la Bonne Dame en 1850**,
- Le prolongement de la **levée de Sermoise** jusqu'au canal latéral à la Loire,
- La construction des **levées du canal de la Jonction et de la Blanchisserie entre 1853 et 1860**,
- L'exhaussement et la consolidation de la levée de Sermoise,
- Le comblement des affouillements produit entre le pont de Nevers et la voie de chemin de fer,
- La mise en place de canaux de dérivation comme il en est le cas sur la rivière Nièvre.

L'ensemble de ces travaux permettent de créer ce qui constitue aujourd'hui la ligne de défense principale (levées de Sermoise 1^{ère} section, du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame) ainsi que la ramification de cette ligne de défense principale (levées de Sermoise 2^{ème} section et de Gimouille).

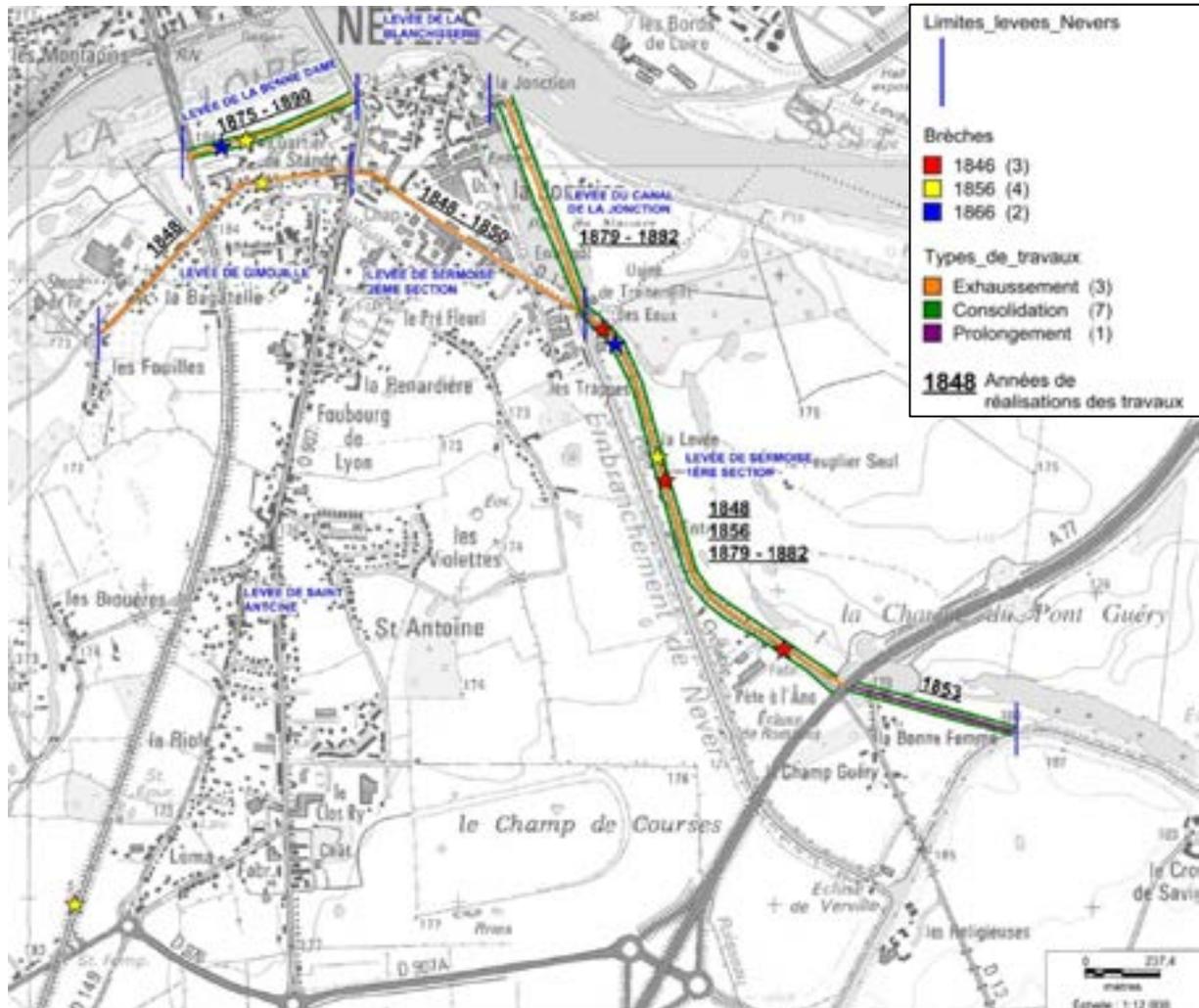


Figure 4 : Localisation des brèches et travaux entrepris sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy suite aux grandes crues du XIX^{ème} siècle

L'analyse des fonctions de chaque composant du système d'endiguement, l'examen de leur défaillance et des effets engendrés ont permis de mettre en évidence cinq modes de rupture de digues :

- la rupture liée à la surverse par érosion du talus côté val ;
- la rupture liée au glissement de talus côté val ;
- la rupture liée au soulèvement hydraulique ;
- la rupture liée à l'érosion interne ;
- la rupture liée à l'érosion externe.

L'estimation des probabilités de rupture pour chaque mode et chaque crue considérée a été conduite par pas d'espace de 50 m environ (pas d'espace plus faible dans les zones hétérogènes) sur

l'ensemble du système d'endiguement de la ligne de défense principale du val de Nevers, Sermoise et Challuy, via le modèle CARDigue, un modèle de calcul spécifique qui intègre les désordres évoqués ci-avant.

Un niveau de sûreté est défini pour chacune des levées, suivant les probabilités de rupture obtenues pour chacun des profils. Le niveau de sûreté est fixé au niveau de la crue à partir de laquelle plusieurs profils dépassent le seuil de négligeabilité de 1%. Les niveaux de sûreté sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Niveaux de sûreté des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Levée	Niveau de sûreté	Cote à l'échelle de Nevers (m NGF)	Hauteur d'eau estimée (m)	Débit de pointe (m ³ /s)
Sermoise 1 ^{ère} section (amont A77)	Niveau de la crue T170	176,72	5,27	3500
Sermoise 1 ^{ère} section (aval A77)	Niveau de la crue T50	175,57	4,12	2300
Canal de la Jonction	Niveau de la crue T70	175,88	4,43	2620
Blanchisserie	Niveau de la crue T100	176,53	5,08	3280
Plateau de la Bonne Dame	Niveau de la crue T70	175,88	4,43	2620

Le niveau de sûreté global du val de Nevers, Sermoise et Challuy est fixé au niveau de la crue de période de retour T50.

Il faut noter que ce niveau de sûreté est dépendant de certaines méconnaissances de la digue telles que la présence et position de certaines canalisations et la présence d'anciens systèmes racinaires, par exemple. De même, il est dépendant des incertitudes, encore indéterminées, du modèle CARDigue.

0.4.3 Description du fonctionnement probable du système d'endiguement dans son état actuel

Les analyses fonctionnelles et structurelles du système de protection contre les inondations réalisées pour la présente Étude de dangers conduisent à qualifier les niveaux de protection apparents et de sûreté des ouvrages, comme rapporté précédemment. Ce faisant, elles permettent d'imaginer le fonctionnement probable du système dans son état actuel.

Pour des hauteurs d'eau correspondant au niveau de la crue T50, la digue pourrait être défaillante et céder, sans pour autant que l'on observe des surverses sur les ouvrages.

Les secteurs fragilisés de la digue sont des zones présentant plusieurs désordres (végétation ancienne, canalisations, bâtiments encastrés, ...) mais présentant également des caractéristiques structurelles différentes (amincissement de la digue, pentes de talus plus importantes, largeur de

franc-bord réduite), tous ces facteurs étant susceptibles de déclencher et d'amplifier les processus d'érosion interne.

Pour des hauteurs d'eau supérieures à la ligne d'eau de la crue T200 simulée, le système d'endiguement pourrait être mis en péril avec des surverses entraînant la rupture de l'ouvrage. Une zone de surverse « théorique » a été identifiées pour la T200 ; elle se situe sur la levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77 (cf analyse fonctionnelle hydraulique).

En conclusion, le système de protection constitué par les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy présenterait probablement, aujourd'hui, un mode de fonctionnement préoccupant et anormal pour des crues supérieures en débit à une crue type T50 de la Loire. Ce résultat est néanmoins encore une fois à associer à certaines méconnaissances de la digue telles que la présence et position de certaines canalisations et la présence d'anciens systèmes racinaires, par exemple. De même, il est dépendant des incertitudes, encore indéterminées, du modèle CARDigue.

0.5 Caractérisation de la gravité du risque associé à la défaillance du système de protection

0.5.1 A l'échelle du val

L'Étude de dangers évalue la gravité du risque d'inondation dans le val, à travers différents scénarios d'inondation qui ont été simulés avec des outils de modélisation hydraulique.

Ces scénarios ont vocation à approcher la gravité (nombre de personnes touchées par l'inondation) et la criticité (gravité combinée à la probabilité de rupture de la digue) pour différents cas de brèches des levées ou dysfonctionnements d'ouvrages.

Le choix des scénarios d'inondation à étudier s'appuie sur plusieurs critères :

- les résultats de l'analyse des composants du système de protection et de leur défaillance ;
- le constat des désordres recensés ;
- la localisation des enjeux ;
- la connaissance du comportement hydraulique global de la zone protégée ;
- les probabilités de rupture du système d'endiguement.

Au total, quatre scénarios d'inondation ont été simulés par modélisation hydraulique bidimensionnelle et analysés.

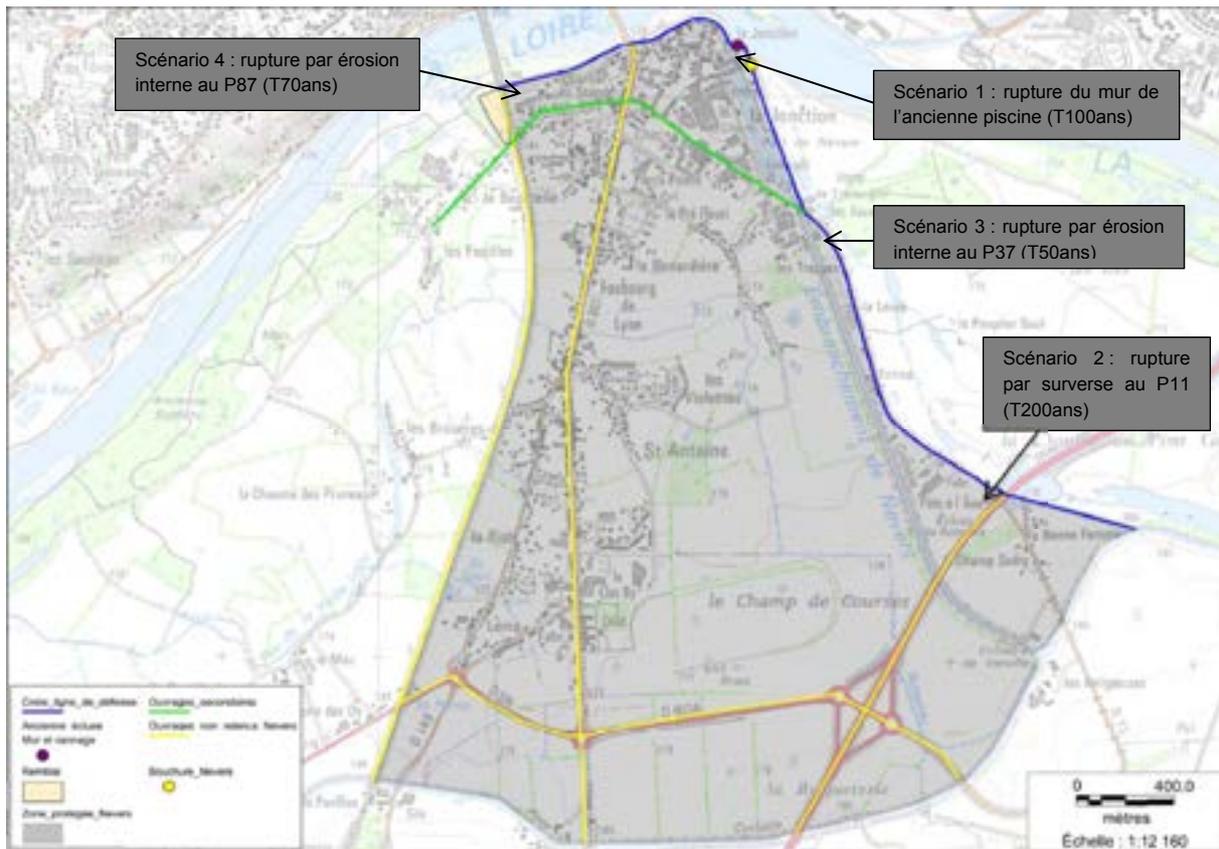


Figure 5 : Localisation des scénarios d'inondation étudiés

Les résultats pour chacun des 4 scénarios testés sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Probabilité de rupture annuelle, gravité et criticité de chacun des scénarios d'inondation testé

N°	Scénario d'inondation	Probabilité de rupture annuelle	Gravité du scénario			Criticité
			Population inondée (nb hab)	Indicateur de danger	Gravité	
1	Rupture mur-digue (T=100ans)	Peu probable	1248	43	2. Sérieux	Risque préoccupant
2	Rupture banquettes P11 (T=200ans)	Improbable	1728	695	3. Important	Risque préoccupant
3	Rupture levée P37 (T=50ans)	Peu probable	1304	86	3. Important	Risque préoccupant
4	Rupture levée P87 (T=70ans)	Très peu probable	458	31	3. Important	Risque préoccupant

La gravité du scénario est définie selon l'indicateur de danger, suivant une grille de classement par niveau de gravité (5 classes : modéré, sérieux, important, catastrophique, désastreux).

La criticité est donnée par croisement de la probabilité de rupture annuelle et de la gravité, suivant une grille de criticité (3 types de risque : risque acceptable, risque préoccupant ou risque catastrophique).

La présente étude de dangers indique qu'il n'y a pas, dans les scénarios testés, de risque intolérable. En effet, le nombre d'habitants potentiellement en danger dans le val est limité. Néanmoins, tous les scénarios ont une **criticité préoccupante**. Dans ces conditions, les défauts et conditions qui concourent à ce niveau de risque doivent être traités pour le réduire afin qu'il devienne acceptable.

Cependant, il n'a pas été testé de forte crue dans les scénarios, qui pourraient créer des scénarios catastrophiques (plus de 1000 habitants en danger).

0.5.2 A l'arrière immédiat des digues

Au-delà des simulations hydrauliques, l'analyse des brèches historiques et des fosses d'érosion engendrées par celles-ci amène à considérer une zone de destruction du bâti en arrière des digues liée à la rupture possible des ouvrages de protection. Dans cette zone, la force liée à l'entrée d'eau brutale dans la zone protégée détruirait toute construction et éroderait les terrains.

0.6 Mesures de réduction des risques

Les secteurs de défaillance des levées de Loire du val de Nevers, Sermoise et Challuy, mis en évidence dans la présente étude, les conséquences de ces défaillances et l'analyse des modes de gestion existants permettent d'élaborer un plan de mesures de réduction des risques.

Celui-ci distingue :

- les **mesures de gestion de l'ouvrage** qui tiennent compte des connaissances apportées par l'Étude de dangers et visent notamment, à court terme, à consolider l'organisation pour le maintien du service et pour l'intervention d'urgence en cas de crue ;
- les **mesures de gestion du risque** à l'échelle du territoire qui tiennent compte de la sauvegarde de la population ;
- les **améliorations structurelles et fonctionnelles du système d'endiguement** basées, en premier lieu, sur la garantie de l'intégrité de la digue puis sur la résorption des désordres constatés et hiérarchisées de manière à augmenter le niveau de sûreté des levées jusqu'à ce que ceux-ci dépassent le niveau de protection apparent (tronçons de digue résistants à la surverse).
- l'**amélioration des connaissances** des ouvrages et des phénomènes (hydrologiques, liés à la formation des brèches, topographie, etc.) ;

Les principales mesures de ces différents volets sont présentées ci-après.

0.6.1 Mesures de gestion de l'ouvrage

L'Étude de dangers permet d'améliorer la gestion des digues :

- le gestionnaire doit définir et prioriser les actions de surveillance des ouvrages notamment en période de crue, par la mise à jour des consignes écrites ;
- les responsables doivent s'assurer d'une certaine capacité d'intervention pour des réparations d'urgence : il est nécessaire de mettre au point un plan d'actions et sa procédure d'activation en lien avec les procédures de gestion de crise. Il est également proposé de mettre au point

des fiches réflexes sur les différentes procédures et solutions à mettre en place pour les interventions d'urgence, ces fiches devant être élaborées à l'échelle du bassin.

L'Étude de dangers rappelle aussi l'importance de l'entretien régulier et de la restauration du lit de la Loire, avec notamment :

- la surveillance de l'évolution physique et des actions d'entretien de l'Île Saint Charles à l'amont et à l'aval de la confluence avec la rivière Nièvre ;
- l'opportunité du renforcement du pied de berge/digue sur la levée de la Blanchisserie ;
- la surveillance de l'évolution des bancs de sable et leur végétalisation en rive gauche, notamment entre le pont de Loire et le pont de la voie ferrée.

Enfin, l'Étude de dangers aborde la gestion des usages de l'ouvrage, avec :

- La réalisation de fiches descriptives pour chacun des ouvrages traversant afin de garantir un suivi régulier et efficace de ces canalisations,
- La mise en place d'une coordination entre la DDT 58 et les gestionnaires des ouvrages (mise à jour des documents administratifs).
- A moyen terme, définition d'un programme de résorption des canalisations non indispensables ;

0.6.2 Mesures de gestion du risque

A ce jour, il existe sur le secteur plusieurs mesures de gestion du risque. L'Étude de dangers conforte les connaissances sur les enjeux situés dans la zone théoriquement protégée par les digues. Elle apporte en outre des éléments pour qualifier les aléas liés à la rupture des ouvrages. Ces éléments de connaissance complémentaires doivent être intégrés dans :

- le Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) ;
- la détermination des seuils d'alerte pour déclencher la mise en sécurité des personnes dans le val ;
- les Plans Communaux de Sauvegarde (PCS) des communes Nevers, Sermoise-sur-Loire et Challuy ;
- le Règlement d'Information sur les Crues (RIC).

0.6.3 Améliorations structurelles et fonctionnelles de la digue

Les analyses fonctionnelles et structurelles ont permis d'identifier les secteurs fragilisés du système d'endiguement et les causes de défaillance et de rupture. La carte ci-dessous donne la somme des probabilités de rupture annuelle sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy.



Figure 6 : Carte de la somme des probabilités de rupture annuelle

On distingue les mesures structurelles qui portent sur l'intégrité physique de la digue et visent à modifier le niveau de sûreté, des mesures fonctionnelles qui se rapportent à l'objectif de protection du système d'endiguement.

Il est souhaitable de mettre en place des projets globaux et sectorisés qui traiteront plusieurs défauts.

Pour les mesures fonctionnelles, une réflexion concernant la gestion des surverses sur les levées de Nevers en rive droite et de Nevers, Sermoise et Challuy en rive gauche devra être menée de manière concertée entre les différents gestionnaires de digues.

L'élaboration d'une stratégie locale, dans le cadre de la mise en œuvre de la directive inondation, en constitue le cadre adéquat.

Une stratégie d'intervention sur les levées en deux temps est proposée, afin d'éviter la défaillance des ouvrages dans leur configuration actuelle :

- Priorité 1 : travaux permettant de garantir l'intégrité de l'ouvrage et d'atteindre un niveau de sûreté égal au niveau de protection apparent « théorique » du val (lié à la crue type T200) ;
- Priorité 2 : travaux permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent « théorique » du val.

Les travaux de priorité 1 et 2 sont présentés dans les tableaux suivants

PRIORITE 1 : travaux à réaliser pour garantir l'intégrité de l'ouvrage et atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T200						
Profils	PK	Linéaire (m)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/ restaurer	Exemple de travaux
P6 à P8	275 - 425	150	Sermoise 1ère section - amont A77	Rupture de la banquette par érosion interne	stabilité étanchéité	
P17 - P23	878 - 1231	350	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue et bâtiments encastrés, végétation, mouvements, (érosion interne et glissement)	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches Restauration du perré de la banquette côté val
P26 - P30	1325 - 1525	200	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue, végétation, terriers (érosion interne, glissement)		
P32	1600 - 1650	50	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue (érosion interne, glissement)		
P34	1683 - 1733	50	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue (érosion interne)		
P37 - P41	1825 - 2050	225	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue, végétation (érosion interne, glissement) brèche historique au P37-38		
P46 - P58	2138 - 2753	615	Canal de la Jonction	Géométrie de la digue, végétation (érosion interne et glissement)	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches
P59 - P63	2753 - 2821	68	Canal de la Jonction	Secteur de la piscine : géométrie de la digue et bâtiments encastrés, mur de l'ancienne écluse (érosion interne)	stabilité étanchéité	Suppression des bâtiments encastrés de l'ancienne piscine de la Jonction Reprise du mur de l'ancienne écluse
P65, P69 à P72	2901 puis 3051-3253	257	Blanchisserie	Géométrie de la digue, végétation, désordres côté val (érosion interne)	stabilité / étanchéité	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches et/ou Reconstruction du mur de soutènement côté val ou Mise en place d'un rideau de palplanches
P83 et P87	3701 et 3901	200	Plateau de la Bonne Dame	Géométrie de la digue (érosion interne, glissement) pour P83 et P87	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation Gestion des animaux fouisseurs Comblement de la fosse côté val aux profils 86 - 87 Recharge côté val (compte-tenu de l'absence de franc bord) ou Mise en place d'une paroi coulé en partie centrale

PRIORITE 2 : travaux permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent "théorique" T200						
Profils	PK	Linéaire (m)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/ restaurer	Exemple de travaux
P1 à P11	25 - 650	625	Sermoise 1ère section - amont A77	Rupture de la banquette par érosion interne	stabilité / étanchéité jusque T500	Rehausse de la crête de digue ou restauration et élargissement de la banquette
P11 - P40	600 - 2025	1425	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue (érosion interne, glissement) Rupture de la banquette par érosion interne	stabilité/étanchéité jusque T500 ou jusque crue dimensionnante pour revanche résistance à la surverse	étude hydraulique pour déterminer faisabilité d'une section résistante à la surverse dimensionnée pour crue T200
P24 - P28	1225 - 1425	200	Sermoise 1ère section - aval A77		gestion des surverses	Concertation et réalisation d'une étude hydraulique pour la création d'un déversoir de sécurité pour la T200
P65 - P69	2901 - 3051	150	Blanchisserie	Affouillements (érosion externe) - P65 à 68	résistance à l'érosion externe	Etude sur l'opportunité d'une protection du pied de berge/digue
P63 - P72	2821 - 3253	175 (non traité en P1)	Blanchisserie	Géométrie de la digue, végétation, désordres côté val (érosion interne)	stabilité / étanchéité au-delà du niveau de protection apparent "théorique" du val	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches Reconstruction du mur de soutènement côté val Mise en place d'un rideau de palplanches
P78 - P87	3401 - 3901	400 (non traité en P1)	Plateau de la Bonne Dame	Géométrie de la digue, végétation, terriers, désordres côté val (érosion interne, glissement) P78 à P87	stabilité / étanchéité au-delà du niveau de protection apparent "théorique" du val	Suppression de la végétation Gestion des animaux fouisseurs Comblement de la fosse côté val aux profils 86 - 87 Recharge côté val (compte-tenu de l'emprise) Mise en place d'une paroi moulée en partie centrale

0.6.4 Améliorations des connaissances

Les levées de Sermoise 2^{ème} section et de Gimouille ont été définies comme ouvrages secondaires dans le cadre de cette présente étude de dangers. Elles sont néanmoins classées par arrêté préfectoral du 10 novembre 2009.

Il est proposé, dans le cadre de la nouvelle réglementation, de revoir la prise en compte de ces levées dans le système de protection et de poursuivre la surveillance sur ces levées. A ce titre, il est préconisé un recensement exhaustif (nombre, position, encastrement, état, ...) de l'ensemble des ouvrages traversants et bâtiments encastrés sur ces levées. Des actions de restauration et de suppression d'ouvrages pourront ensuite être proposées.

La levée de Saint-Antoine est également classée. Néanmoins, la présente étude de dangers a montré sa faible influence dans les scénarios d'inondation. Il est proposé de revoir le classement de la levée de Saint-Antoine, voire le déclassement de cette levée « transparente ».

Il est également proposé d'améliorer les connaissances sur les canalisations et les ouvrages inclus dans les levées composant la ligne de défense principale (recensement des ouvrages, création de fiches descriptive par ouvrage) ainsi, qu'à moyen terme, sur les ouvrages secondaires.

De manière plus générale, l'amélioration de la connaissance sur les digues est à poursuivre à l'échelle du bassin (aléa de rupture, phénomène d'embâcles, phénomène d'érosion interne, formation de brèches, ...).

1. Renseignements administratifs

1.1 Identification des parties

1.1.1 Porteur de l'étude

ÉTAT : PRÉFECTURE DE LA NIÈVRE
Direction Départementale des Territoires de la Nièvre, par délégation
 2, rue des Pâtis – BP 30069
 58020 NEVERS Cedex

1.1.2 Propriétaire de l'ouvrage

Les digues qui constituent le système de protection contre les inondations du val de Nevers sont propriété de l'État.

La digue domaniale est considérée comme faisant partie du domaine Public Fluvial (DPF) de l'État, ainsi que les terrains d'assiette de l'ouvrage.

Le préfet de la Nièvre est le représentant du propriétaire des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy et, à ce titre, il est porteur de l'Étude de dangers.

Les lois de décentralisation ont prévu la possibilité, pour les collectivités locales, de demander la session du Domaine Public Fluvial à leur profit. La Loire bourguignonne est exclue du dispositif.

1.1.3 Gestionnaire de l'ouvrage

La Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58) est gestionnaire des levées du Domaine Public Fluvial pour le compte du préfet de département.

Elle est chargée de la gestion des levées domaniales de la Loire dans le département de la Nièvre ainsi que de la maîtrise d'ouvrage des opérations d'entretien et de renforcement des digues.

La gestion consiste notamment en :

- la surveillance de la levée ;
- l'entretien et la maintenance en bon état du Domaine Public Fluvial ;
- la conservation du domaine et sa police.

La maîtrise d'ouvrage consiste en la conduite des travaux d'entretien et de restauration du lit, d'entretien et de confortement des ouvrages de protection contre les crues (digues, vannes, clapets, etc.).

Les terrains d'assiette et la levée sont utilisés pour d'autres fonctions (voiries publiques, pistes cyclables, canalisations, etc.) que celle dévolue à l'ouvrage qui est de protéger contre les inondations. Ces usages sont autorisés par le gestionnaire sous forme d'Autorisations d'Occupation Temporaire

(AOT) du Domaine Public Fluvial ou de Conventions de superposition d'affectation ou de gestion. Dans ces conditions, l'entretien et le suivi des ouvrages concernés sont alors délégués à l'occupant.

De plus, la DDT 58 est, par délégation, porteur de l'étude.

1.1.4 Rédacteurs et organismes ayant participé à l'élaboration de l'étude

L'étude de dangers des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy a été réalisée par le bureau d'études



Egis Eau est agréé au titre du décret du 11 décembre 2007 sous le N°19-a « Dignes et petit barrages – étude et diagnostic » par arrêté du 7 avril 2011 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques, publié au journal officiel de la république française le 13 mai 2011.

L'étude de dangers a été pilotée par Daniela Calvar, directeur de projet en hydraulique fluviale, France Nord.

Les principaux rédacteurs et intervenants dans la présente Étude de dangers sont :

- Christelle Tison ;
- Céline Boittin ;
- Soizic Heuzé ;
- Arianna Ferrara ;
- Corinne Denizot ;
- Thomas Abintou ;
- Audrey Marty ;
- Eva Hato ;
- Pierre Frappin (Soldata) ;
- Jean-Christophe Boisseau (Soldata) ;
- Florent Robin (Hydrogéotechnique).

1.2 Classement de l'ouvrage

1.2.1 Rappel de l'article R.214-113 du Code de l'Environnement

Le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques modifie le code de l'environnement. Il établit un classement des digues de la classe A à la classe D en fonction de leur hauteur et de la population résidant de façon permanente ou temporaire dans la zone protégée et fixe des dispositions concernant l'organisation et la mise en place des moyens de protection.

L'arrêté du 29 février 2008 modifié par l'arrêté du 16 juin 2009 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques reprend et précise ces dispositions.

Rappel de l'article R.214-113 du code de l'environnement (décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007) :

« Les classes des digues de protection contre les inondations et submersions et des digues de rivières canalisées, ci-après désignées « digues », sont définies dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Classement des digues selon l'article R.214-113

Classe	Caractéristiques de l'ouvrage et populations protégées
A	Ouvrage pour lequel $H \geq 1$ et $P \geq 50000$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel : $H \geq 1$ et $1000 \leq P < 50000$
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel : $H \geq 1$ et $10 \leq P < 1000$
D	Ouvrage pour lequel soit $H < 1$, soit $P < 10$

Au sens du présent article, on entend par :

- « 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 du côté de la zone protégée à l'aplomb de ce sommet ;
- « P », la population maximale exprimée en nombre d'habitants résidant dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières.

1.2.2 Arrêté préfectoral

Les digues du val de Nevers n'ont pas fait l'objet d'une autorisation préalable au titre de l'article R.214-113 du code de l'environnement compte tenu de leur ancienneté. Elles ont été classées en digues de classe B par l'arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009.

Cet arrêté indique que la digue doit être rendue conforme aux dispositions des articles R.214-122, R.214-123, R.214-125, R.214-140 à R.214-242 et R.214-147 du code de l'environnement et à l'arrêté du 16 juin 2009 modifiant l'arrêté du 29 février 2008 suivant les délais et modalités ci-après :

- constitution du dossier d'ouvrage avant le 31 décembre 2009 ;

- description de l'organisation mise en place pour assurer l'exploitation et la surveillance de l'ouvrage avant le 31 décembre 2009 ;
- production et transmission pour approbation par le préfet des consignes écrites avant le 31 décembre 2010 ;
- transmission au service de police de l'eau du compte rendu des visites techniques approfondies avant le 31 décembre 2011 puis tous les ans ;
- transmission au service de police de l'eau du rapport de surveillance avant le 31 décembre 2011 puis tous les 5 ans ;
- production d'un diagnostic de sûreté avant le 31 décembre 2009 ;
- production d'une revue de sûreté avant le 31 décembre 2012 ;
- production d'une étude de dangers avant le 31 décembre 2012, puis actualisée tous les 10 ans.

L'arrêté est joint à la présente *étude de dangers* en *annexe n°2*.

2. Objet de l'étude

2.1 Contexte réglementaire

La présente étude concerne le système de protection du val de Nevers. Il se situe en rive gauche de la Loire, sur les communes de Nevers, Challuy et Sermoise.

L'étude de dangers du système de protection de Nevers répond à une **obligation réglementaire**. Elle était requise avant le 31 décembre 2012 par l'arrêté du préfet de la Nièvre délivré le 10 novembre 2009, conformément au décret du 11 décembre 2007, en tant qu'ouvrage existant à la date du 1^{er} janvier 2008.

Cette édition constitue la version initiale de l'étude de dangers réalisée pour le système de protection de Nevers, ouvrage existant.

La présente étude de dangers répond aux articles du code de l'environnement suivants :

- article R.214-115 stipulant l'obligation de réalisation d'une étude de dangers sur les ouvrages existant à la date du 1er janvier 2008 et ce, avant le 31 décembre 2012 pour les ouvrages de classe A et avant le 31 décembre 2014 pour les ouvrages d'autres classes ;
- article R.214-216 stipulant le contenu de principe de l'étude de dangers ;
- article R.214-217 stipulant la fréquence de réalisation de l'étude de dangers.

Elle s'appuie également sur :

- le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques, et modifiant le code de l'environnement ;
- l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues, et en précisant le contenu.

Elle a pour objectif d'être un outil opérationnel :

- pour déterminer les niveaux de sûreté et de protection des ouvrages ;
- pour définir et préciser la surveillance des ouvrages et équipements qui composent les levées, notamment en période de crue ;
- pour définir et hiérarchiser les travaux de renforcement et de réparation à programmer ;
- pour alimenter les porter à connaissance des Plans de Prévention du Risque Inondation et les réflexions liées à la gestion de crise.

2.2 La digue et son environnement

2.2.1 La Loire

La Loire, qui prend source à 1400 m d'altitude, au pied du mont Gerbier-de-Jonc (Ardèche), est le plus long fleuve de France (1012 km). C'est aussi le seul grand fleuve dont le cours est entièrement compris dans le territoire français. Son bassin hydrographique s'étend sur 117 800 km², du Massif central au Massif armoricain, en passant par la partie méridionale du Bassin parisien. Bien que soulevé par la surrection des Alpes et des Pyrénées, le Massif central est un massif ancien qui, pour la partie qui intéresse la Loire, ne dépasse guère en moyenne 1000 m en partie sud, 300 à 400 m en partie nord, l'altitude des plus hauts sommets étant comprise entre 1400 m et 1900 m (1886 m pour le Sancy). Le relief du Massif armoricain est, de son côté, pour la seule partie Loire, beaucoup plus modeste. L'ensemble relatif au Bassin parisien forme une vaste plaine d'origine sédimentaire, sans relief particulier.

C'est notamment à cette échelle que sont abordées les influences climatiques à l'origine des différentes formes de crues (océanique, cévenole et mixte) précisées dans le paragraphe 6.1., et que sont décrits les mécanismes d'inondation possibles sur la Loire (*Évaluation préliminaire des risques d'inondation du bassin Loire-Bretagne*, DREAL Centre, 2011).

2.2.2 La Loire bourguignonne

Les levées du val de Nevers se situent en Loire bourguignonne, c'est-à-dire la partie de la Loire qui s'étend du barrage de Villerest au bec d'Allier sur environ 200km. Ces levées se trouvent en amont de la confluence de la Loire avec l'Allier et au droit de la confluence de la Nièvre avec le Loire, affluents qui conditionnent de façon importante l'hydrologie de la Loire.

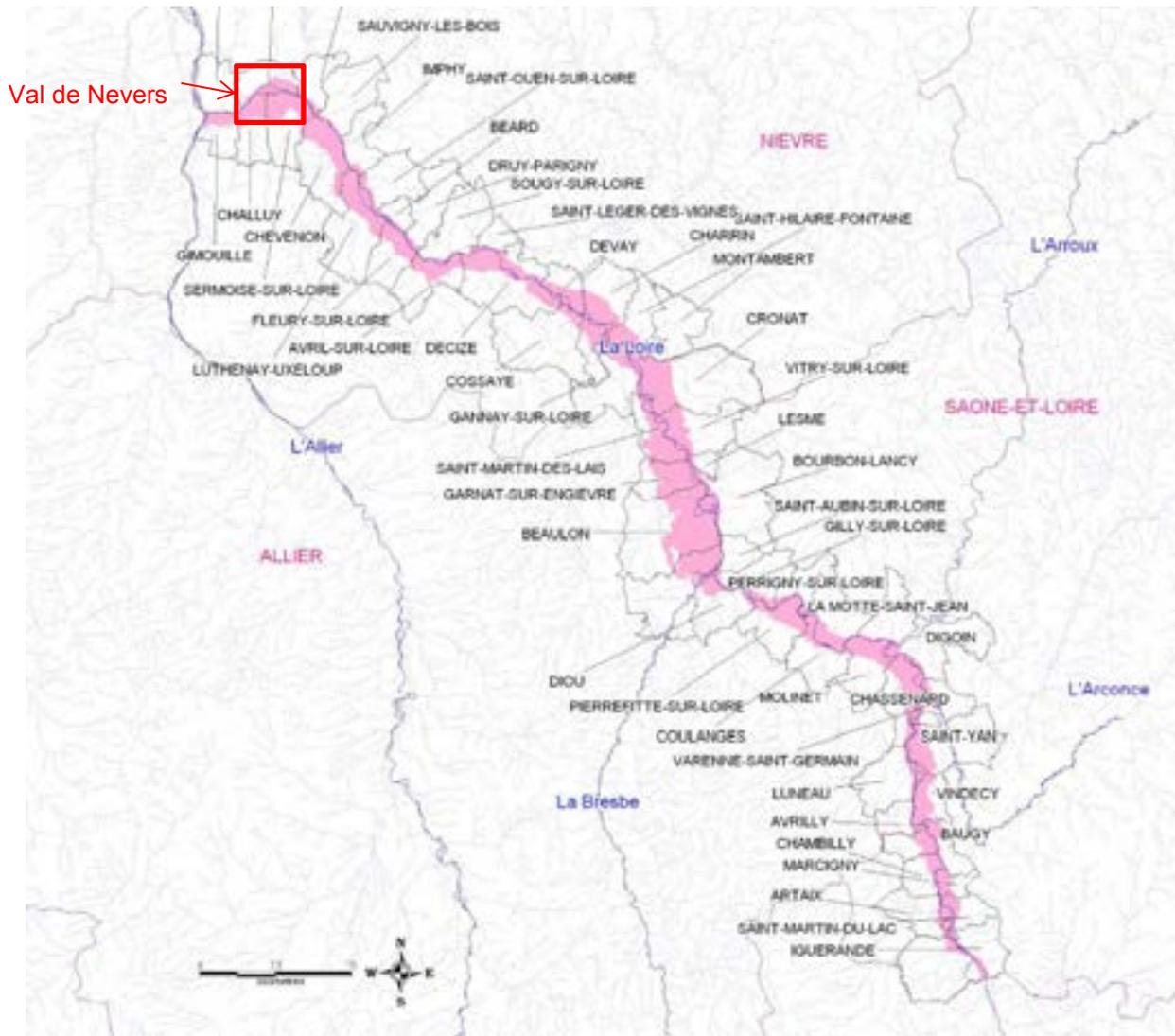


Figure 7 : Loire bourguignonne (source : SANDRE)

Le val de Nevers marque la transition entre la Loire bourguignonne, secteur de Loire qui présente encore une dynamique fluviale naturelle relativement bien conservée car peu de contraintes hydrauliques (barrages, ouvrages, digues, ...) et la Loire moyenne, secteur de Loire caractérisé par un endiguement quasi-continu sur chacune de ses rives. Il faut noter la construction en 1984 du barrage de Villerest qui a entraîné une modification considérable du régime hydrogéologique de la Loire.

2.2.3 Périmètre de l'ouvrage

D'après l'arrêté du 12 juin 2008 : « le périmètre de l'ouvrage inclut a minima la digue, ses déversoirs de sécurité, les portions du cours d'eau susceptibles d'avoir un impact sur la digue suite à une évolution morphologique globale ou une érosion de berges et, s'il y a lieu, les digues transversales délimitant un casier avec la digue principale. »

Dans la présente étude de dangers, le périmètre de l'ouvrage se compose de :

- le **système de protection de Nevers** qui s'étend sur un linéaire cumulé de 5,9 km en rive gauche de la Loire. Il est composé de six levées dont une ramification : les levées de Sermoise 1^e section, du canal de la Jonction, de la Blanchisserie, du Plateau de la Bonne Dame constituent la ligne de défense principale ; à laquelle s'ajoute une ramification formée par la levée de Sermoise 2^e section et la levée de Gimouille. Suite à une analyse des écoulements des eaux lors des inondations par remous de la Loire en crue, détaillée dans l'étude S02, cette ramification a été caractérisée d'**ouvrage secondaire**.

Les raccords amont et aval se situent donc respectivement à l'amont de la levée de Sermoise 1^e section et à l'aval de la levée du Plateau de la Bonne Dame. Ces raccords sont définis de manière précise au chapitre 3.

Les limites amont et aval de levées, issus de l'arrêté de classement et de l'étude de dangers sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Levée	Source	Linéaire (km)	Coordonnées amont (Lambert 93)	Coordonnées aval (Lambert 93)
Sermoise 1 ^e section	Arrêté de classement	2,07	X _{am} = 714 229.2 Y _{am} = 6 651 535.5	X _{av} = 712 912.1 Y _{av} = 6 652 835.3
	Etude de dangers (ligne de défense)	2,07	X _{am} = 714 259.4 Y _{am} = 6 651 527	X _{av} = 712 897.6 Y _{av} = 6 652 837
Canal de la Jonction	Arrêté de classement	0,735	X _{am} = 712 893.4 Y _{am} = 6 652 867.8	X _{av} = 712 622.3 Y _{av} = 6 653 537.9
	Etude de dangers (ligne de défense)	0,76	X _{am} = 712 897.6 Y _{am} = 6 652 837	X _{av} = 712 597.8 Y _{av} = 6 653 526
Blanchisserie	Arrêté de classement	0,5	X _{am} = 712 597.9 Y _{am} = 6 653 535.1	X _{av} = 712 193.3 Y _{av} = 6 653 544.9
	Etude de dangers (ligne de défense)	0,52	X _{am} = 712 597.8 Y _{am} = 6 653 523	X _{av} = 712 179.6 Y _{av} = 6 653 538
Plateau de la Bonne Dame	Arrêté de classement	0,5	X _{am} = 712 155 Y _{am} = 6 653 542.8	X _{av} = 711 670.2 Y _{av} = 6 653 353.3
	Etude de dangers (ligne de défense)	0,685	X _{am} = 712 179.6 Y _{am} = 6 653 538	X _{av} = 711 537.7 Y _{av} = 6 653 360
Sermoise 2 ^e section	Arrêté de classement	0,86	X _{am} = 712 879.9	X _{av} = 712 175.2

			$Y_{am} = 6\,652\,849.7$	$Y_{av} = 6\,653\,299.5$
	Etude de dangers	0,87	$X_{am} = 712\,897.6$ $Y_{am} = 6\,652\,837$	$X_{av} = 712\,159.4$ $Y_{av} = 6\,653\,298$
Gimouille	Arrêté de classement	0,96	$X_{am} = 712\,122.2$ $Y_{am} = 6\,653\,305.4$	$X_{av} = 711\,371.4$ $Y_{av} = 6\,652\,797.9$
	Etude de dangers	0,995	$X_{am} = 712\,159.4$ $Y_{am} = 6\,653\,298$	$X_{av} = 711\,365.7 /$ $Y_{av} = 6\,665\,779 /$

- le **remblai** de la voie ferrée reliant l'aval de la levée du Plateau de la Bonne Dame à la levée de Gimouille.
- la **zone protégée (ZP)** qui concerne le territoire des communes de Sermoise-sur-Loire, Nevers et Challuy. Elle a une superficie de 589,4 hectares. Ses délimitations sont justifiées dans le chapitre 3.2.

La zone protégée est incluse dans le « Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRi) du val de Nevers » approuvé par arrêté préfectoral en date du 17 décembre 2001.

- les **ouvrages traversants** (canalisations d'assainissement des eaux pluviales de la route départementale n°13, canalisations AEP, ...).
- la **bouchure** située sur la levée du canal de la Jonction.
- la **Loire** le long de la digue.
- les **berges de Loire** le long de la digue.

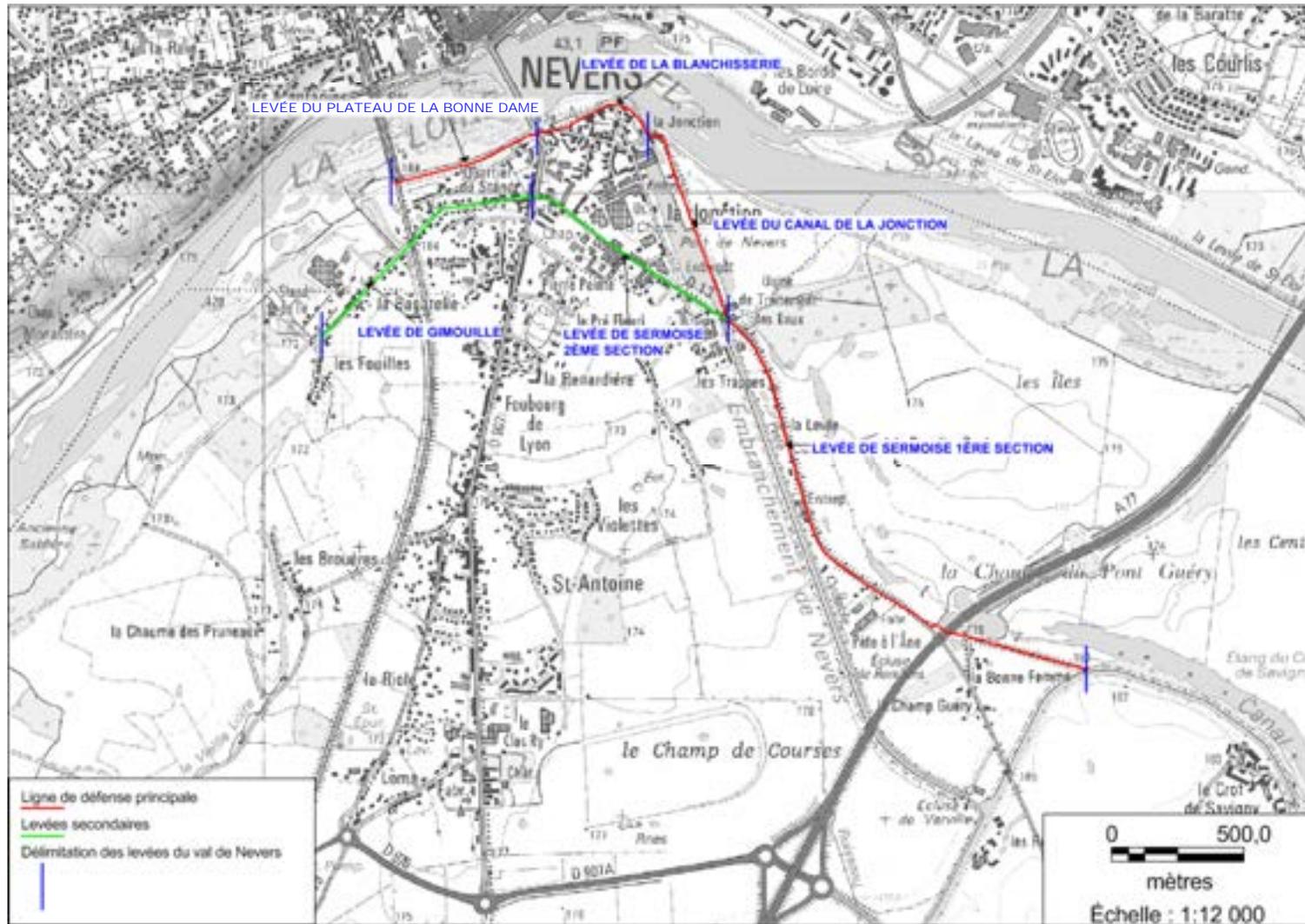


Figure 8 : Localisation des levées du val de Nevers

3. Analyse fonctionnelle de l'ouvrage et son environnement

L'analyse fonctionnelle constitue la base d'une analyse de risque. Sa qualité conditionne notamment la mise en œuvre des méthodes d'analyse des défaillances et de construction des scénarios.

L'analyse fonctionnelle permet d'appréhender le système de protection du point de vue des fonctions qui accomplissent ses composants et des interactions de celui-ci avec son environnement.

Sa description peut être réalisée à différents échelles d'analyse ou granularité :

- **Granularité 1** : Le système de protection dans son ensemble
- **Granularité 2** : Les sous-systèmes de digues formant le système de protection (découpage du système de protection en tronçons), définis par leurs fonctions hydrauliques (digue, déversoir, passages batardables, etc..) ;
- **Granularité 3** : Les composants géotechniques (corps de digue, recharge étanche, etc..) qui constituent la structure des différents tronçons de digues (découpage en profils en travers type de digues) et se définissant par leurs fonctions géotechniques (étanchéité, résistance à l'érosion interne et externe, stabilité, etc..).

Dans le cadre, de la présente étude, l'analyse fonctionnelle a été menée en trois phases successives :

- **La définition du système** (identification du système de protection et ses milieux extérieurs) ;
- **L'analyse fonctionnelle externe** qui permet de lister tous les ouvrages constitutifs du système de protection, de repérer leur position géographique au sein de l'aménagement et de déterminer leurs interactions avec les milieux extérieurs. Elle permet d'identifier toutes les fonctions principales et techniques du système de protection ;
- **L'analyse fonctionnelle interne** qui permet de lister exhaustivement le rôle et la participation des composants du système, chacun d'entre eux assurant des fonctions contribuant au fonctionnement global de l'ouvrage. L'analyse fonctionnelle interne d'un système de protection comprend une analyse fonctionnelle interne hydraulique et une analyse géotechnique.

3.1 Description de l'ouvrage

3.1.1 Principe de discrétisation du système de protection

Les levées du val de Nevers ont été discrétisées en profils en travers espacés de 50m. Chaque profil étudié est considéré représentatif du tronçon constitué des 25m de linéaire de digue situés en amont et en aval dudit profil.

A chaque profil en travers est associé un numéro et un point kilométrique (PK).

Ainsi, les **levées du val de Nevers comptent 131 profils, allant de P1 à P131** (cf. cartes du chapitre 10). Les **89 premiers profils correspondent à la ligne de défense principale**, à savoir les levées de Sermoise 1^{ère} section, Canal de la jonction, Blanchisserie et Plateau de la Bonne Dame.

Ce pas de 50m permet une description fine des levées du système de protection et correspond au degré de précision souhaité pour le renseignement de la base de données CARDigue. Suite à l'exploitation du MNT et aux investigations terrains lors des VTA, des profils complémentaires ont été ajoutés au niveau de zones hétérogènes ou de zones de transition.

3.1.2 Description du système de protection

Les « tertres » sont les plus anciens ouvrages de protection contre les hautes eaux de la Loire ; ils servaient alors de support aux habitations isolées et aux petites agglomérations.

Les premières levées, nommées « turcies », se développent dès le Moyen-âge. Elles ont pour vocation la protection des terres fertiles agricoles. La physionomie et le rôle des levées se modifient au cours du temps : les turcies, constituées d'un mélange de fascine de bois et de terre renforçant localement le cordon alluvial et reliant des buttes insubmersibles, sont peu à peu remplacées par des levées plus modernes sous forme de remblais uniformes voués à la limitation des divagations naturelles de la Loire, à la préservation des ponts et des installations portuaires, puis à la protection des habitations.

Une succession de travaux d'exhaussement et de renforcement des levées marquent la fin du XVII^{ème} siècle et le début du XVIII^{ème} siècle. Mais les crues de 1846, 1856 et 1866 remettent en cause l'efficacité des digues alors dites « insubmersibles ».

L'ingénieur Comoy démontre en 1868 les effets pervers de l'endiguement excessif et préconise la construction de déversoirs qui permettraient l'expansion de la crue dans des espaces réservés à cet effet. 7 déversoirs sur les 20 initialement prévus sont construits entre 1870 et 1891. Au XX^{ème} siècle, les digues de la Loire font l'objet d'un premier programme de renforcement général (épaississement côté Loire et/ou côté val). Puis, le plan décennal appelé « Plan Loire Grandeur Nature » visant à concilier la sécurité des personnes, la protection de l'environnement et le développement économique est décidé par le gouvernement. Ce plan Loire permet l'accélération du renforcement des levées dans la continuité du programme de 1970 et la reprise de l'entretien du lit de la Loire.

La Loire amont compte peu de systèmes endigués.

Le val de Nevers est un système endigué situé en rive gauche de la Loire.

Une note historique (étude spécifique S04), détaillant les grandes étapes de construction et de confortement des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy et de Decize est fournie dans le dossier de l'étude de dangers.

3.1.2.1 Localisation des levées du val de Nevers

Le système de protection du **val de Nevers** s'étend en rive gauche de la Loire sur un linéaire cumulé de **5,9 km**, sur les communes de Nevers, Challuy et Sermoise-sur-Loire.

Les levées du val de Nevers ont été classées par arrêté préfectoral du 10 novembre 2009 **en classe B** du fait de la hauteur de ses ouvrages (> 1m) et du nombre d'habitants permanents que compte sa zone protégée :

1000 < Population estimée = **2372 personnes** < 50 000

La superficie du val de Nevers est de **589.4 hectares**. Sa largeur est variable, d'environ 2,75 km au niveau de la Bonne Femme (secteur amont du système de protection) et 1 km au niveau de la Jonction.

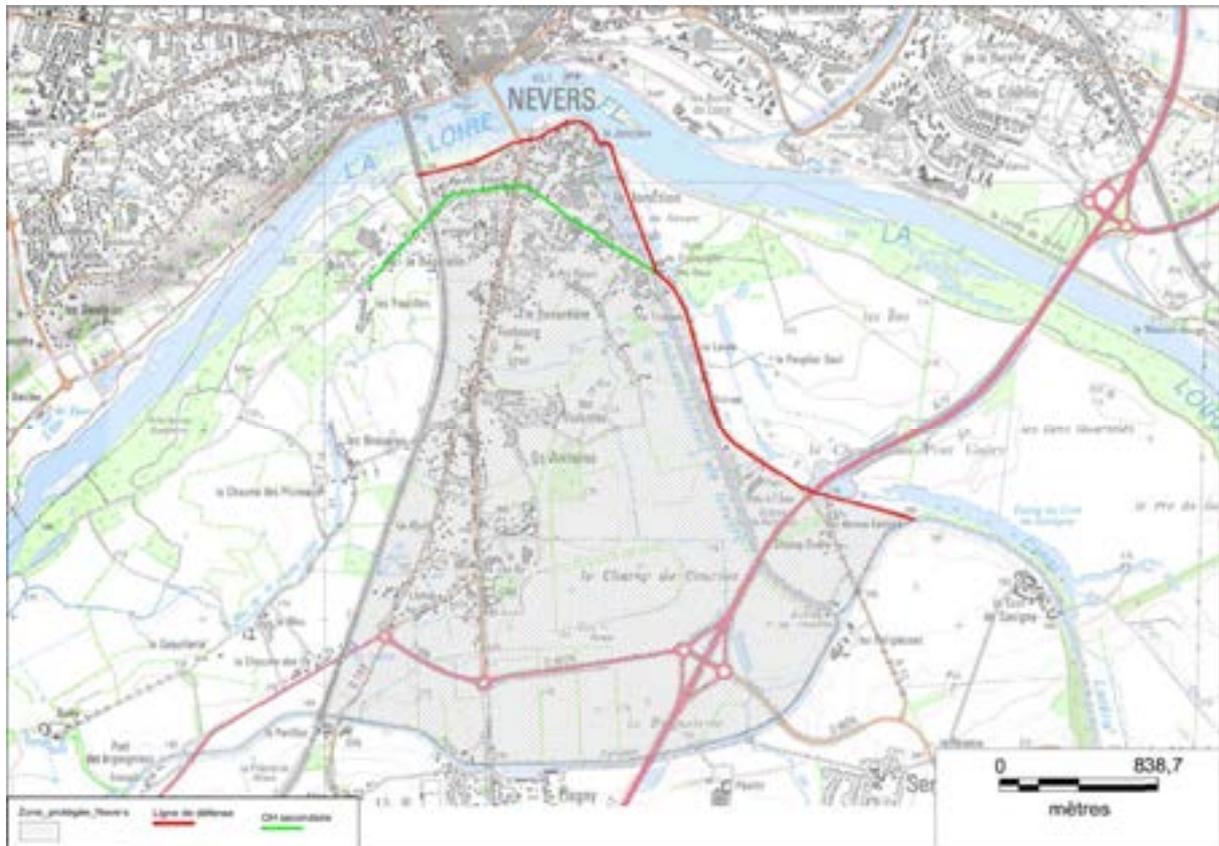


Figure 9 : Localisation des levées du val de Nevers

3.1.2.2 Caractéristiques des levées du val de Nevers

Les **levées de premier rang**, à savoir les levées de Sermoise 1^e section, du canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame (du profil 1 au profil 88) forment un système de protection hétérogène :

- La levée de Sermoise 1^e section est caractérisée par une banquette particulièrement haute (1,7m de haut en moyenne), un talus côté Loire perreyé et enherbé et un franc-bord de largeur importante (de 500 m à 1 km).



Chapeau en pierres jointées sur une hauteur de 70cm environ

Banquette en terre (argilo limoneuse en amont de l'A77 et sablo-argileuse en aval de l'A77) perreyée côté val et perreyée et jointée côté Loire

Figure 10 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée de Sermoise 1^{ère} section (haut) et zoom sur la banquette (bas) (photos : Egis Eau, 2013)

- La levée du canal de la Jonction présente une banquette de 1 m de hauteur, un talus côté Loire perreyé et enherbé, la présence du bassin portuaire du canal de l'embranchement de Nevers et l'ancienne piscine de la Jonction.





Figure 11 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée du canal de la Jonction (haut) et zoom sur la banquette (bas) (Egis Eau, 2013)

- La levée de la Blanchisserie a une banquette de très faible hauteur (environ 10 à 20cm), un talus côté Loire perreyé et enherbé, un mur de soutènement en pied de digue côté val et un franc-bord très réduit, voire absent.



Figure 12 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée de la Blanchisserie (haut) et zoom sur la banquette (bas) (photos : Egis Eau, 2013)

- La levée du Plateau de la Bonne Dame ne présente pas de banquette, son talus côté Loire est perreyé et végétalisé. Le franc-bord est très étroit voire absent. Des ouvrages de stabilisation ou de renforcement du pied de digue (mur de soutènement, perré, ...) sont localement présents côté val.



Figure 13 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée du Plateau de la Bonne Dame : août 2013 (gauche) et décembre 2013 (droite) (photos : Egis Eau, 2013)

Les **levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille (du profil 89 au profil 122)**, constituent une ramification secondaire du système d'endiguement. Sur leurs linéaires, les digues sont très souvent masquées par les constructions urbaines (maisons encadrées, zones remblayées, ...). Les talus côté Loire et côté val sont donc rarement visibles. La route de Sermoise et la rue du Stand sont situées en crête de levée. Ces levées de 2^e rang ont été caractérisées d'ouvrage secondaire.



Figure 14 : Vues d'ensemble de la digue sur la levée de Sermoise 2^e section (gauche) et la levée de Gimouille (droite) (photos : Egis Eau, 2013)

De plus, le système de protection de Nevers comprend deux singularités :

- **1 bouchure** située sur la banquette de la levée du canal de la Jonction,
- **1 mur et 4 vannes** situés à l'emplacement de la tête aval de l'ancienne écluse du port de la Jonction.

Les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont de classe B. Le système de protection est composé d'un linéaire de digues de 1er rang et d'une ramification (digues de second rang). La ramification ainsi que la partie aval de la levée de Gimouille ont été caractérisées d'ouvrage secondaire.

Comme la plupart des levées de la Loire, les formes actuelles des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy résultent de nombreux travaux d'exhaussement et de renforcement successifs faisant suite aux événements de crues sur la Loire.

3.1.2.3 Définition de la ligne de défense principale

La **ligne de défense principale** est définie comme la séparation entre le cours d'eau et la zone protégée. Elle participe à la protection directe des populations face aux crues de la Loire.

La ligne de défense principale du système de protection de Nevers a une longueur de 4 km. Elle correspond à la ligne formée par les levées de Sermoise 1^e section, du canal de la jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame.

A l'amont, la ligne de défense principale est directement connectée au terrain naturel (voir chapitre sur les raccordements amont/aval), ce qui protège le val des inondations par contournement de la ligne de défense principale. A l'aval, le val est ouvert. La ligne de défense principale vient se raccorder au remblai de la voie ferrée. Ce remblai présente plusieurs ouvrages de transparence, celui-ci n'a donc pas un réel rôle de protection. Le val est inondé par les eaux qui transitent par ces ouvrages de transparence, notamment l'ouvrage du ruisseau de Peuilly et l'ouvrage de Brouères.

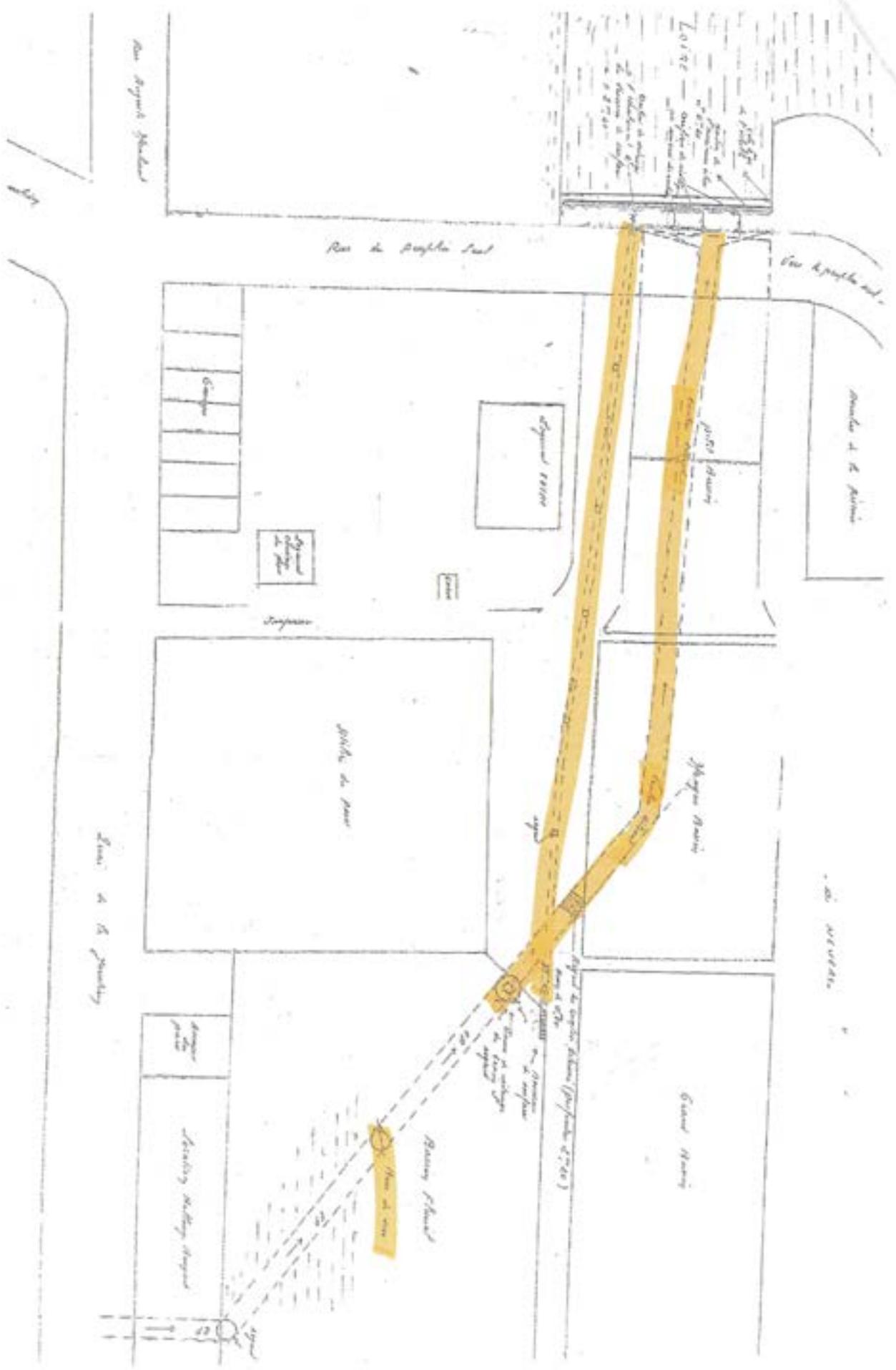
Un ouvrage particulier est inclus dans la ligne de défense principale. Il s'agit de l'ancien débouché en Loire du Port de la Jonction (ancienne écluse). Celui-ci a été comblé par un mur béton, dans lequel se situent 4 vannages.

Ces vannes permettent la vidange des eaux pluviales du secteur ainsi que du bassin fluvial du port de la Jonction et de son trop-plein. Les plans des ouvrages sont donnés ci-après.





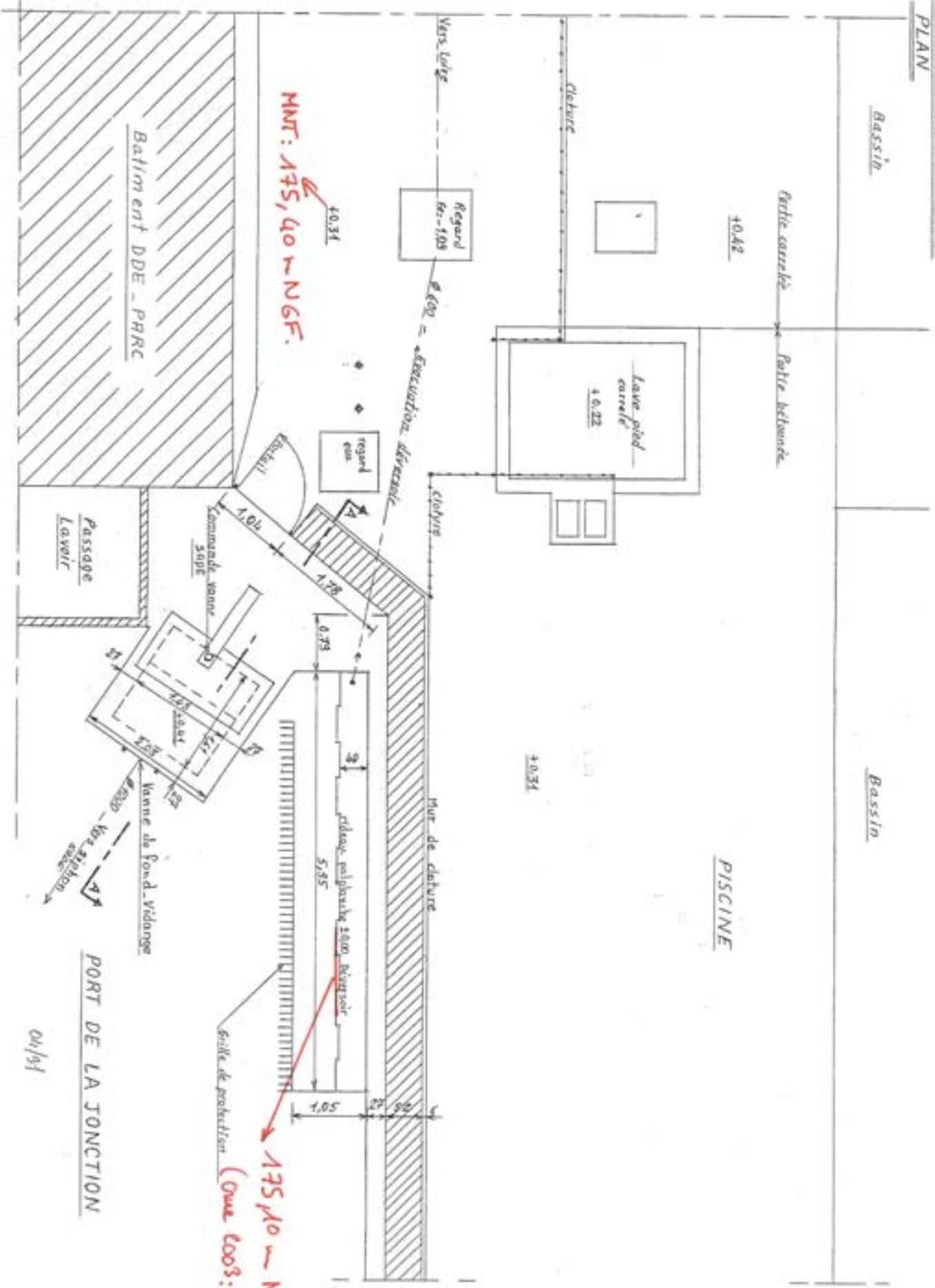
Figure 15 : Ancienne écluse du port de la Jonction (Source : Egis Eau, 2014)



5.01.88

PORT DE LA JONCTION - DEVERSOIR

PLAN



MNT: 175,40 ~ NGF.

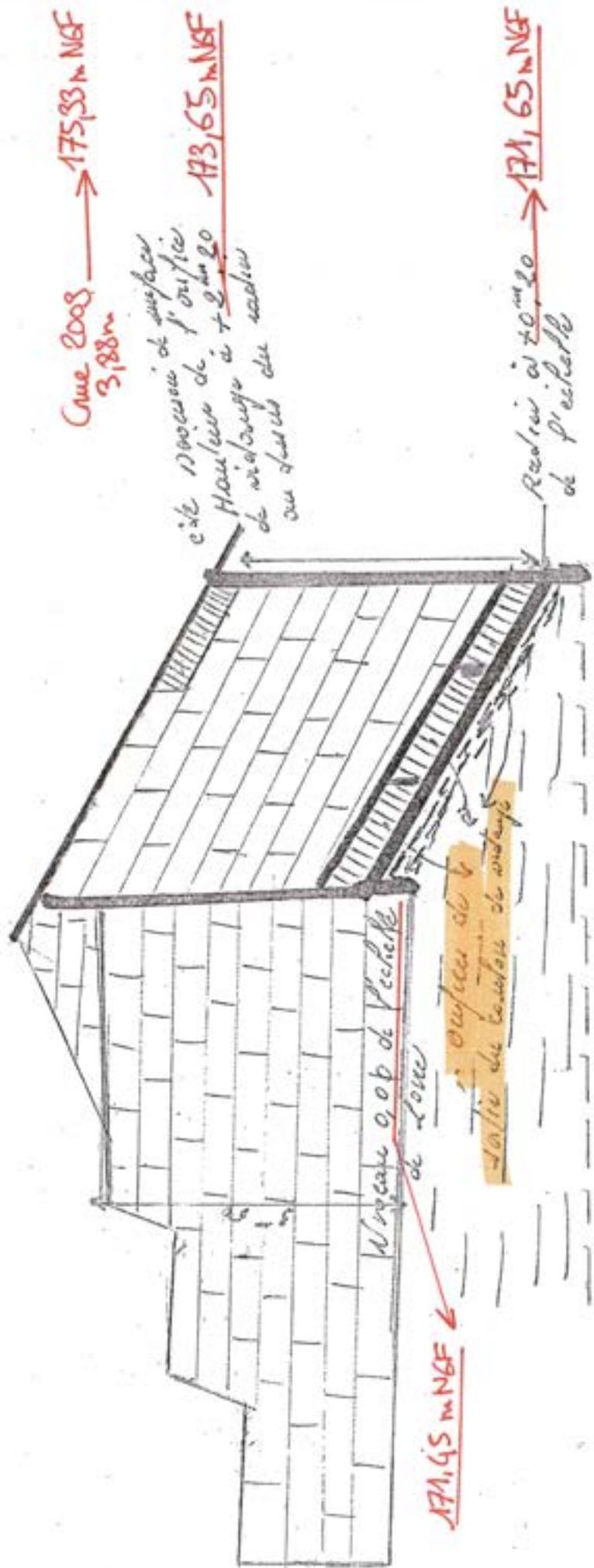
175,10 ~ NGF
(Ouvr. Coos: 17535)

Echelle = 1/50ème

04/94

PORT DE LA JONCTION

Organon de vintange sortie Loire



4 vannes de sortie sont présentes sur le mur-digue :

- Les trois vannes inférieures sont reliées, par une conduite, à deux vannes situées au niveau du bassin fluvial du port de la jonction: une vanne automatique VEOLIA, reliée aux évacuations eaux pluviales du secteur et une vanne VNF de vidange du bassin fluvial. Ces 3 vannes de sortie ne sont pas utilisées. Seules les vannes VEOLIA ET VNF sont utilisées. La vanne VEOLIA est automatique, en cas de crue, la vanne se ferme et le dispositif de pompage des eaux pluviales est activé (la vanne est fermée pour une cote de 174,95mNGF). La vanne VNF n'est utilisée qu'en cas de vidange du bassin.
- La quatrième vanne de sortie (vanne supérieure) est reliée, par une autre canalisation, à l'aval du déversoir du port de la Jonction.

Les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille ne sont pas retenues pour la définition des niveaux de protection. L'analyse hydraulique détaillée dans la S02 a permis de classer ces levées comme ouvrage secondaire (cf 3.1.2.4). **Ces deux levées ne feront pas l'objet d'une analyse d'aléa de rupture.**

Par ailleurs, il est à noter que la ligne de défense principale présente quelques surlargeurs, liées à des remblais ponctuels. Ces zones sont les suivantes :

- Du profil 29 au profil 35 le long du canal d'embranchement de Nevers (levée de Sermoise 1^e section).
- Le long de la levée de Sermoise 2^e section et de la levée de Gimouille. Il s'agit de remblais liés à l'urbanisation du secteur. Il y a des bâtiments ou des murs encastrés dans les levées.
- Au niveau du pont de la D907 (faubourg de Lyon), qui malgré sa structure et hauteur importante, est trop ponctuel pour être classé comme tertre. Cette zone assure la liaison entre la levée de la Blanchisserie et la levée du Plateau de la Bonne Dame.
- Plusieurs zones de remblai sont également présentes au niveau des raccords entre les levées et assurent la continuité entre elles (remblai ouvrage transversal A77, zone remblayée au niveau de l'usine de traitement des eaux).

N'étant que ponctuelles (zones de stationnement, chemin d'accès, ...), elles ne sont pas soustraites à l'analyse de l'aléa de rupture comme le serait un tertre ou un important remblai.

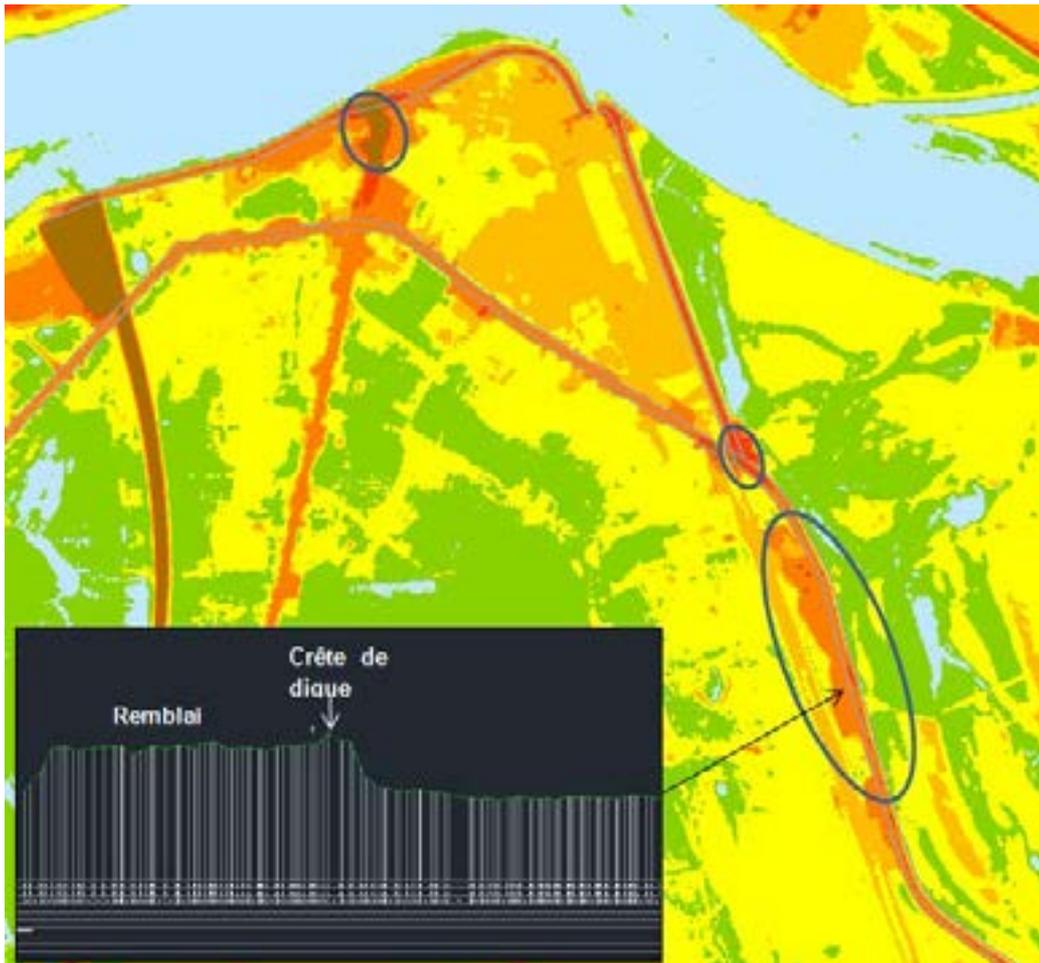


Figure 17 : Localisation des remblais renforçant la levée de Nevers mais non inclus dans la ligne de défense.

3.1.2.4 Définition des ouvrages secondaires

L'ensemble des ouvrages ne composant pas la ligne de défense principale constituent les **ouvrages secondaires**. Généralement en remblais, ils constituent des ramifications de la ligne de défense principale.

Dans la démarche d'analyse fonctionnelle, seuls les ouvrages présentant un potentiel de rupture et ayant un rôle de protection avéré ou formant une continuité dans la protection contre les crues sont à considérer. Ils peuvent être inclus dans le système de protection lorsqu'ils sont supposés impliquer de fortes différences dans les scénarios de propagation des inondations dans la zone protégée selon qu'ils rompent ou non, ou si la pérennité de la protection dépend indirectement de leur intégrité.

Les ouvrages ne composant pas la ligne de défense principale constituent les ouvrages secondaires.

Généralement en remblais, ils constituent des **ramifications de la ligne de défense principale**. Parmi les ouvrages secondaires, on distingue les ouvrages à retenir, c'est à dire ceux qui ont une forte implication avec la ligne de défense principale, et les ouvrages non retenus, étudiés dans ce cas vis-à-vis de leur interaction avec le système de protection.

Les ouvrages secondaires du système de protection de Nevers sont situés dans la zone protégée. Ils ont été mis en évidence à partir de la topographie, des études hydrauliques et des visites de terrain.

Les remblais à intégrer dans le système de protection ont été définis en deux étapes :

- Identifications des ouvrages à partir des données disponibles (topographie, études hydrauliques), des visites de terrain et données gestionnaires ;
- Caractérisation et définition du rôle de ces ouvrages, notamment du point de vue de la protection des enjeux.

Les cartes ci-après résultent d'une analyse de la topographie du terrain naturel en arrière de la ligne de défense principale. Elles identifient les ouvrages secondaires présents.

Ouvrages retenus

Les ouvrages retenus sont les suivants :

- Les levées de second rang, c'est-à-dire la levée de Sermoise 2^e section et la levée de Gimouille amont.

Ces levées n'ont pas de réel rôle de protection du val endigué. En effet, en cas de brèches dans la levée de premier rang, le val situé en aval des digues de second rang sera déjà inondé par remous pour des crues supérieures ou égales à la crue cinquantennale. Ce linéaire de digue a un effet de protection inverse : il empêche l'eau qui entre par remous en aval de la levée d'atteindre le secteur situé entre la ligne de défense principale et ces levées de second rang.

Jusqu'à une crue de période de retour 170 ans, les eaux restent contenues derrière les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille amont : ces levées jouent un rôle de protection du val Nord. Au-delà, les eaux atteignent le val nord par le canal et le port de la Jonction car les eaux contenues dans le val endigué franchissent les digues du canal.



Figure 18 : Topographie dans le val « Nord »

- La levée de Gimouille en aval du remblai SNCF : il s'agit du premier remblai à être atteint par les eaux. Le secteur situé derrière la levée est inondé assez rapidement par remous, c'est pourquoi elle n'est pas intégrée à la ligne de défense principale.

Néanmoins, le tronçon aval de la levée de Gimouille a une légère influence sur les hauteurs d'eau (différence d'environ 10 à 30 cm selon les crues), les temps de propagation et les vitesses d'écoulement (le secteur situé derrière la levée de Gimouille est inondé environ 4h après le côté Loire). **Dans ces conditions, ce tronçon peut être retenu comme ouvrage secondaire.** Il a un rôle de protection indirecte puisque les eaux de Loire le contournent avant d'entrée dans le val.

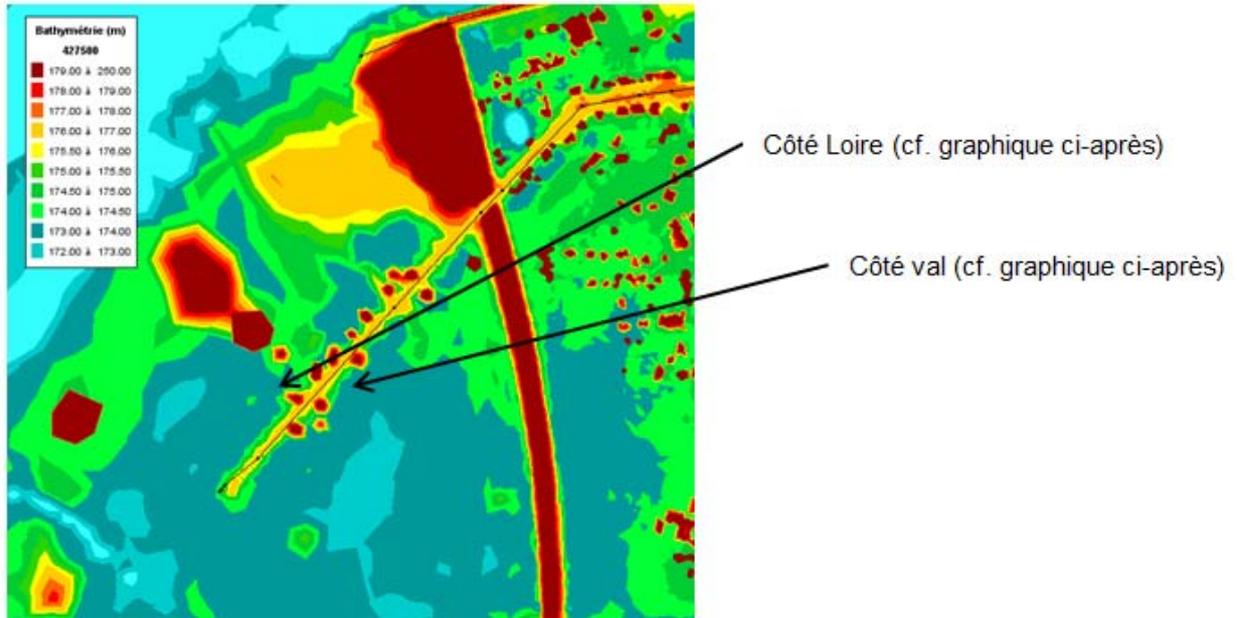


Figure 19 : Bathymétrie à proximité de la levée de Gimouille aval

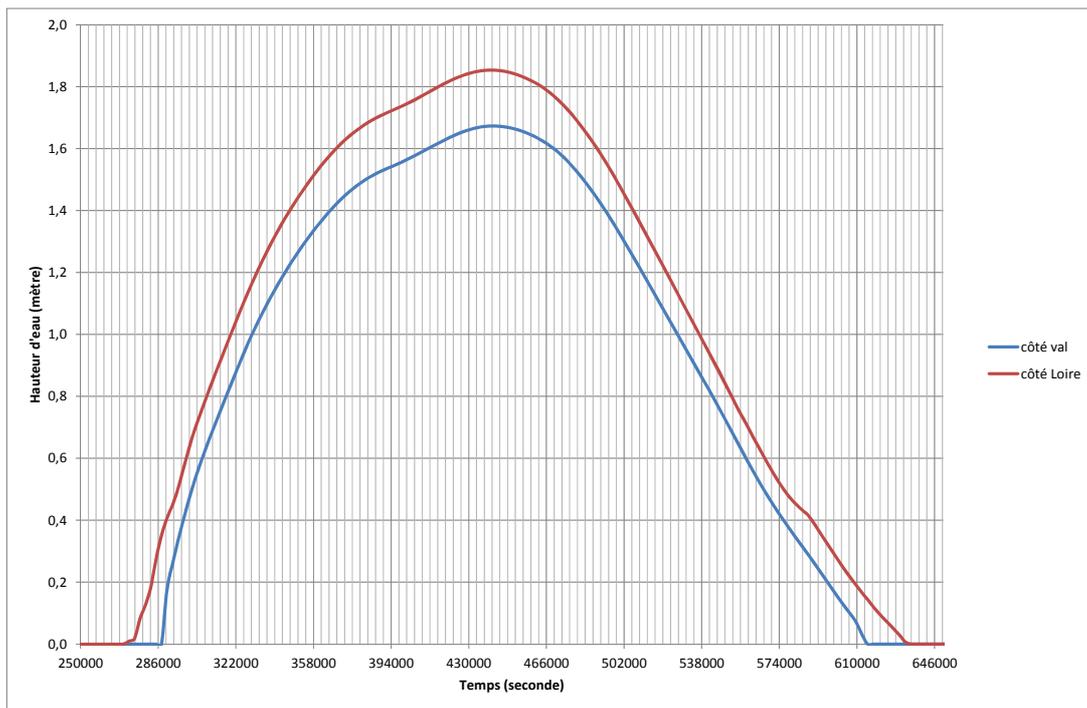


Figure 20 : Analyse des hauteurs d'eau (de deux points de bathymétrie proche) – crue 200 ans

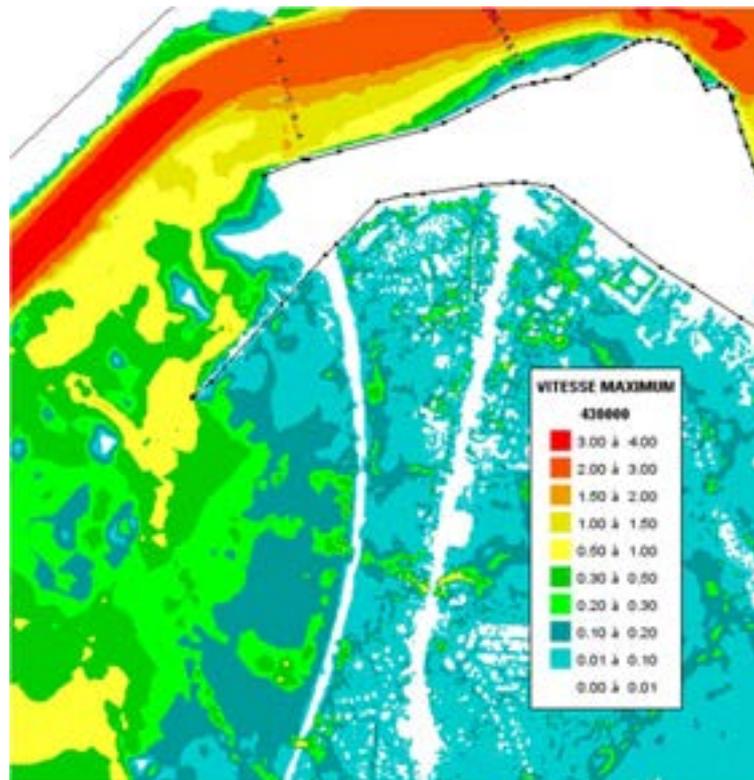


Figure 21 : Analyse des vitesses à proximité de la levée de Gimouille (crue 200 ans)

Ouvrages non retenus

Comme détaillée dans l'étude spécifique S02, les ouvrages suivants ne sont pas retenus comme ouvrages secondaires :

- Le remblai SNCF : ce remblai dispose de 8 ouvrages de petites dimensions et 3 ouvrages de franchissement qui ont un réel rôle de transparence,
- L'ancienne levée de Saint Antoine : ce remblai dispose de 3 ouvrages hydrauliques de petites dimensions ayant un rôle de transparence. Il est démontré (étude spécifique S02) que l'influence de la levée de Saint-Antoine sur les écoulements n'est pas suffisante pour impliquer de fortes différences dans les scénarios de propagation des inondations. C'est principalement la topographie du val endigué qui a une influence sur les écoulements (zone sud inondée en dernier, ainsi que les zones situées à proximité de l'ancienne levée Saint-Antoine),
- Les digues du canal : ce remblai se situe en limite Est de la zone protégée, le long de la levée de Sermoise 1ère section. Cette zone comporte peu d'enjeux. En outre, compte-tenu de la topographie du site, lorsque les eaux atteignent les digues du canal au nord (là où se trouvent les quelques enjeux), il y a déjà une submersion des digues du canal au sud puis les digues du canal au nord sont également submergées. Le rôle de protection des digues du canal ne permet pas de créer des réelles différences dans les scénarios de propagation des eaux dans le val. Dans ces conditions, on peut considérer que les digues du canal ne sont pas des ouvrages secondaires.

- L'A77 : cet important remblai se situe au sud de la zone protégée. Cette zone comporte peu d'enjeux. En outre, il comporte deux grands ouvrages de transparence dans la zone protégée. Sa présence n'a pas d'incidence sur les écoulements. Il n'est pas retenu comme ouvrage secondaire.
- la D907A/D976 : ce remblai est très peu surélevé par rapport au terrain naturel (voir figure ci-après) et se situe au sud de la zone protégée. Cette zone comporte peu d'enjeux. Il ne participe pas réellement à la protection du val. Il n'est pas retenu comme ouvrage secondaire.

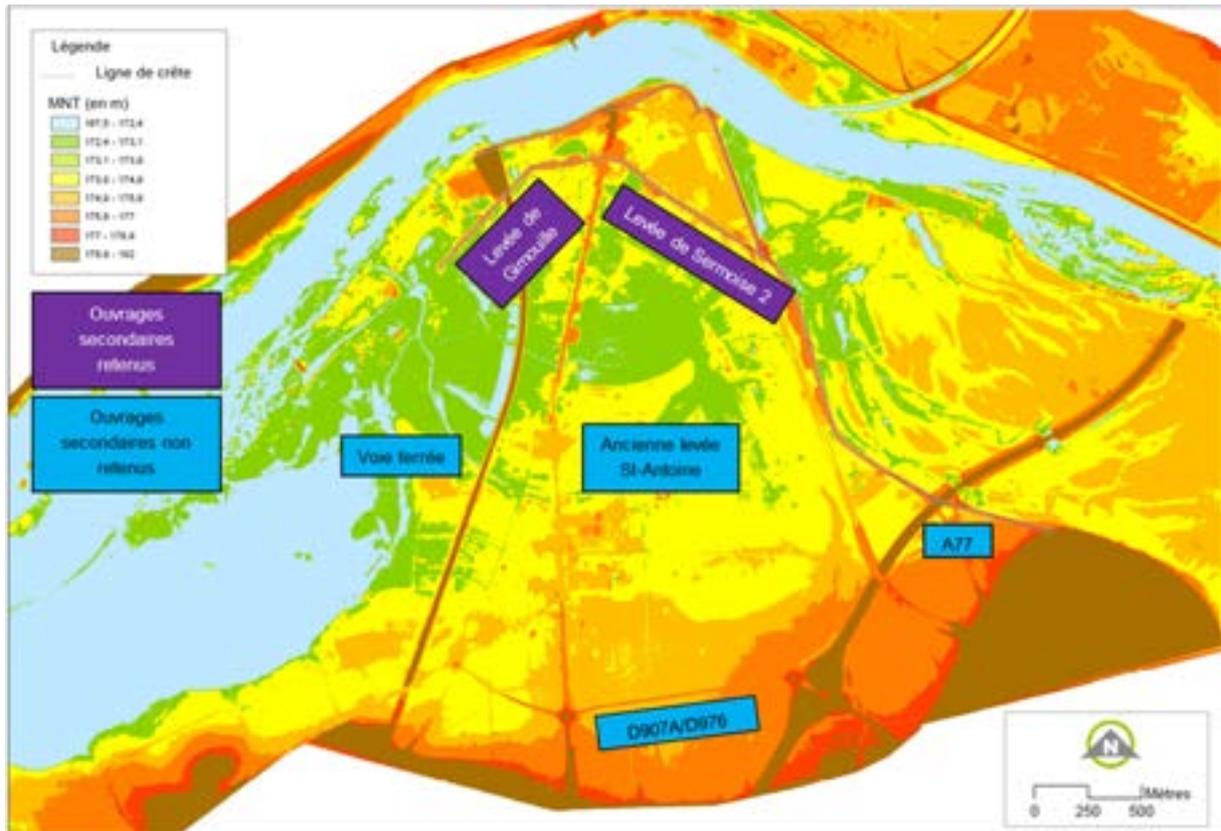
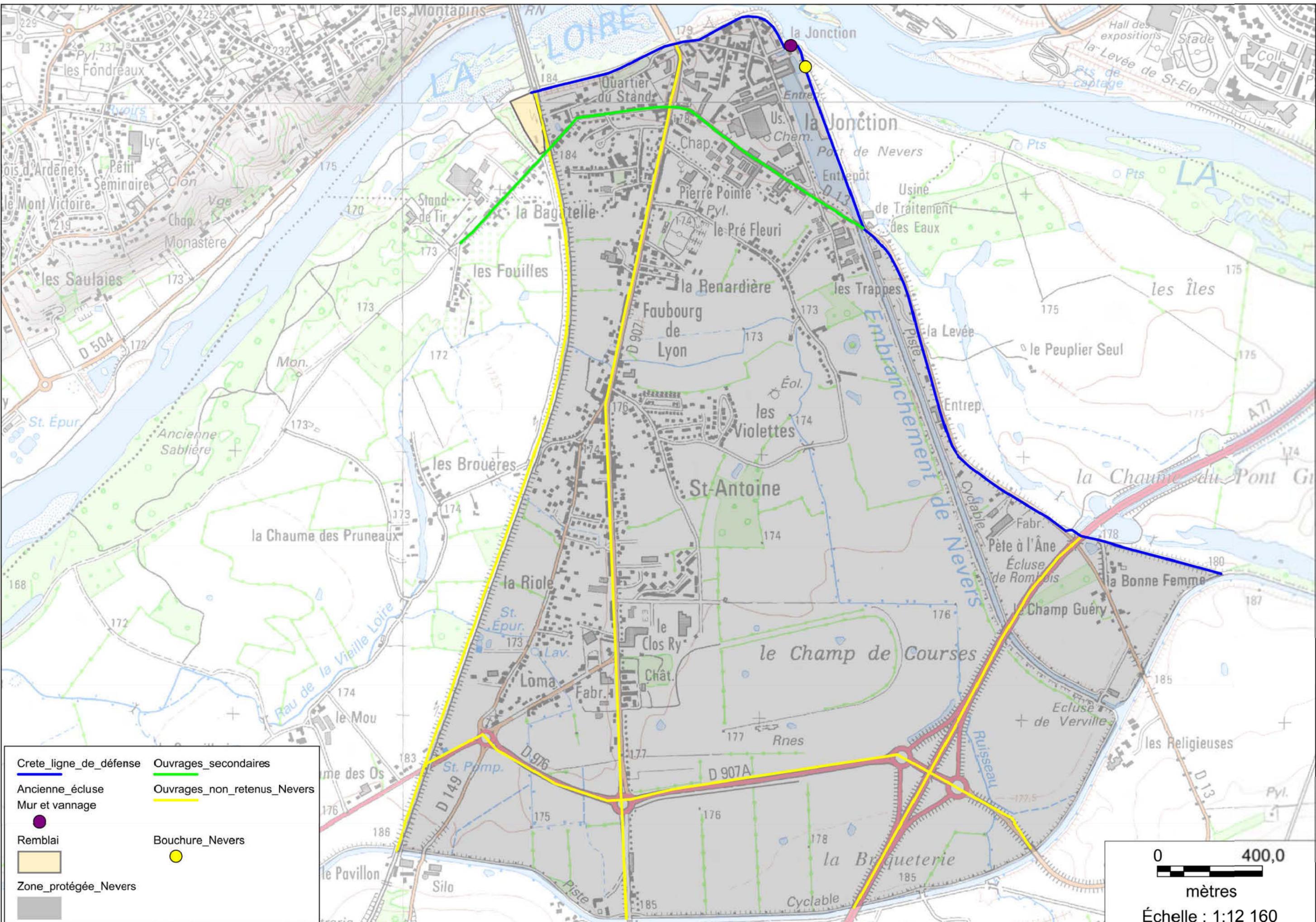


Figure 22 : Ouvrages secondaires retenus et non retenus sur le val de Nevers, Sermoise et Challuy

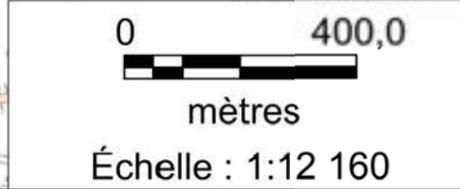
La ligne de défense principale de Nevers est composée des levées de Sermoise 1^{ère} section, du canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame. L'ancienne écluse du port de la jonction est incluse dans la ligne de défense principale.

Les levées de Sermoise 2^{ème} section et de Gimouille n'ont pas de réel rôle de protection contre les inondations directes de la Loire. Néanmoins elles influencent les écoulements dans le val inondé. Elles sont caractérisées d'ouvrages secondaires

Le remblai de la voie ferrée, l'ancienne levée de Saint Antoine, les digues du canal, le remblai de l'A77 et la D907A/976 ne sont pas retenus comme ouvrages secondaires.



Crête ligne de défense	Ouvrages secondaires
Ancienne écluse	Ouvrages non retenus Nevers
Mur et vannage	
Remblai	Bouchure Nevers
Zone protégée Nevers	



3.1.2.5 Définition de l'objectif de protection

Les levées de la Loire sont des ouvrages linéaires anciens construites dans le but de protéger les vals contre les inondations. Issues de surélévations successives, elles présentent de très fortes hétérogénéités qui leur confèrent une fragilité structurelle les rendant dangereuses bien avant que le niveau de l'eau en crue n'est atteint leur crête.

Ceci s'explique par deux notions importantes en matière de digues et de protection :

Le **niveau de sureté** se définit comme le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de l'ouvrage n'est plus considérée comme négligeable.

Le **niveau de protection** est le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la zone protégée commence à être inondée sans rupture préalable de la digue, par débordement du sommet de la digue ou par un déversoir.

La notion de sûreté renvoie au risque de rupture, la notion de protection à la surverse.

Dans un système de protection fiable, le niveau de sûreté est supérieur ou égal au niveau de protection. Cela revient à dire que la rupture avant la surverse est improbable. Le risque de rupture n'apparaît que lorsque la lame d'eau débordante atteint une hauteur significative ou, dans le cas de digue équipée d'un déversoir, que ce dernier a atteint sa capacité maximale.

Les ouvrages anciens, comme il en est le cas pour les digues de la Loire, n'ont pas été conçus ainsi. Ils résultent d'un savoir empirique, déterminé par l'expérience et l'observation des phénomènes : après chaque crue destructrice les autorités ont reconstruit des ouvrages un peu plus solides et un peu plus hauts (Figure 11). Ceci résulte en une **hétérogénéité importante** dans le profil en travers de la digue.

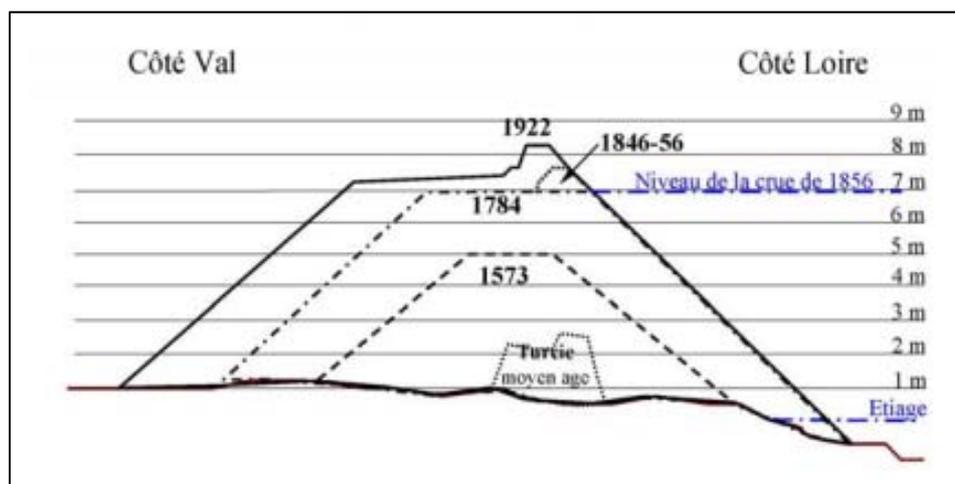


Figure 24 : Evolution des profils en travers « type » des levées de la Loire au début du XXème siècle (Source : R.Dion, 1934)

De plus, les travaux d'exhaussement et de confortement du XIXème siècle sont souvent réalisés dans des conditions difficiles (présence d'eau dans la fosse), augmentant ainsi les possibilités de rupture. A ceci s'ajoute l'exploitation massive du sable de la Loire entre 1950 et 1990 (enfouissement du lit mineur et mise à nu des soubassements des levées en contact avec la Loire) et la construction de nombreux ouvrages traversant, pouvant également être à l'origine de ruptures de digues.

Ainsi, dans le cas des digues de la Loire, le risque de rupture avant surverse ou avant fonctionnement des déversoirs ne peut être considéré comme négligeable. Le niveau de sûreté est donc généralement inférieur au niveau de protection.

Pour ne pas entretenir l'illusion d'une protection efficace pour un tel niveau d'eau dans le fleuve, on parlera de niveau de protection apparent.

3.1.3 Définition des milieux extérieurs

Les milieux extérieurs à considérer sont les milieux localement en interaction avec le système de protection objet de l'analyse fonctionnelle. Ce sont principalement :

- le ou les **milieux** extérieurs « **cours d'eau** » sources des principales sollicitations hydrauliques sur le système de protection (les écoulements en crues et hors crues, la morphodynamique, ...)
- le milieu **extérieur** « **zone protégée** » que le système de protection protège des inondations provoquées par les crues (défini à ce stade par ses limites, sa configuration et la nature des enjeux potentiellement exposés qu'elle contient).

Le système endigué du val de Nevers, Sermoise et Challuy est composé de deux milieux extérieurs : un milieu extérieur « cours d'eau » (la Loire pour les deux systèmes de protection) et un milieu extérieur « zone protégée ».

Le milieu extérieur « cours d'eau » Loire est délimité en rive gauche par la ligne de défense principale des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy et en rive droite par la ligne de défense des levées de Nevers rive droite.

La zone protégée est délimitée par le système de protection de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame au Nord, la piste cyclable longeant le canal latéral de la Loire au Sud, le remblai de la voie ferrée à l'Est et le système de protection de Sermoise à l'Ouest.

3.2 Analyse fonctionnelle interne

L'analyse fonctionnelle interne permet de lister exhaustivement le rôle et la participation des composants du système, chacun d'entre eux assurant des fonctions contribuant au fonctionnement global de l'ouvrage. L'analyse fonctionnelle interne d'un système de protection comprend une analyse fonctionnelle interne hydraulique et une analyse géotechnique.

3.2.1 Analyse fonctionnelle hydraulique

L'analyse fonctionnelle hydraulique repose sur les résultats du modèle hydraulique 2D, réalisé par ISL à l'aide du logiciel TELEMAC2D et exploité par Egis Eau pour plusieurs scénarios de crue. (cf. étude spécifique S02).

3.2.1.1 Méthode

Niveau de protection de la levée

Dans un premier temps, il a été analysé le niveau de protection des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy sur l'ensemble du linéaire de la ligne de défense principale, soit 4 km.

Niveau de protection : niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la zone protégée commence à être inondé sans rupture préalable de la digue, par débordement au-dessus du sommet de la digue ou par un déversoir.

Pour cela, sept crues de périodes de retour 50 ans, 70 ans, 100 ans, 170 ans, 200 ans, 500 ans et 1000 ans ont été modélisées sous Telemac 2D. Le croisement des lignes d'eaux de chaque crue avec le profil de crête de la levée a permis de mettre en évidence les zones de surverses et de définir un niveau de protection pour chaque tronçon de niveau de protection équivalent.

Découpage en sous-systèmes

Une digue est un ouvrage de grand linéaire qui peut être composée d'ouvrages linéaires (tronçon de digue, déversoir) et d'ouvrages ponctuels (passages batardables). Ces ouvrages faisant partie intégrante du système de protection remplissent certaines fonctions hydrauliques liées à leur nature.

Dans l'analyse fonctionnelle interne, le découpage du système de protection repose sur l'identification et la caractérisation des **fonctions hydrauliques** des éléments intégrés dans le système de protection de la zone protégée et participant à sa défense.

Le tableau 2 définit 12 fonctions hydrauliques types. Le découpage du système de protection en sous-systèmes s'appuie sur ces définitions ainsi que sur les niveaux de protection (en ce qui concerne les ouvrages linéaires).

Les sous-systèmes mis en évidence sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont les suivants :

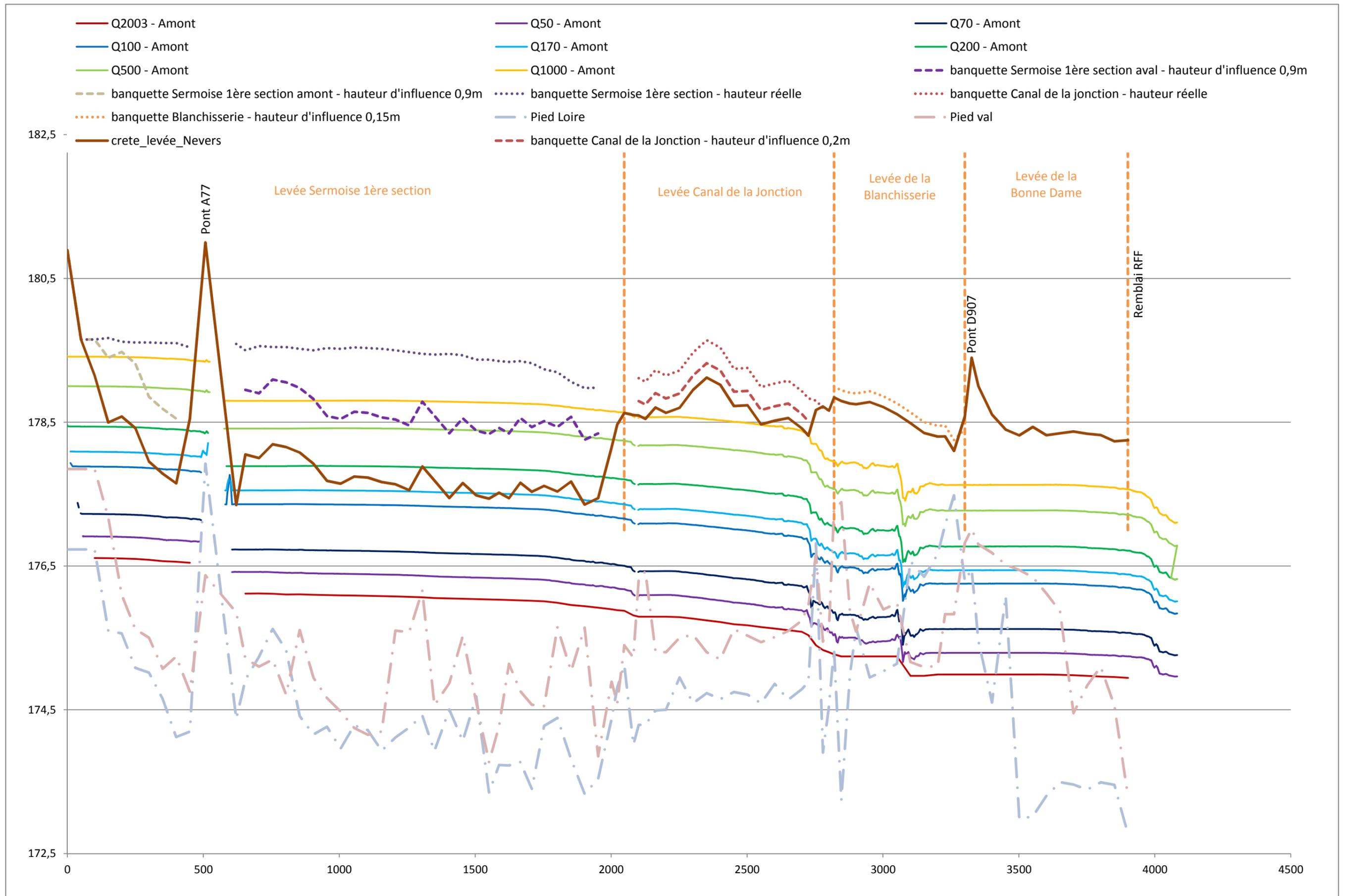
- Digues,
- Remblais sans vocation de protection,
- Mur-digue (ancienne écluse du canal de la Jonction),
- Ouvrages de transparence.

Tableau 6 : Les fonctions hydrauliques génériques des sous-systèmes de digues (source annexe 4 analyse fonctionnelle EdD Tours- DREAL Centre)

N°	Fonction hydraulique	Caractérisation de la fonction	Paramètres du sous-système	Type de sous-système
1	Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée ou le casier situé en arrière du tronçon, jusqu'à sa crête	- niveau de la crête du tronçon (crue ; hauteur d'eau)	- cote de la crête du tronçon - cote du TN - longueur	Tronçon
2	Contrôler les inondations dans la zone protégée ou le casier situé en arrière du tronçon, après le dépassement de sa crête	- niveau de la crête du tronçon (crue ; hauteur d'eau)	- cote de la crête du tronçon - cote du TN - longueur	Tronçon
3	Écrêter les crues	- niveau de la crête du tronçon (crue)	- cote de la crête du tronçon	Tronçon
4	Permettre l'évacuation de l'eau d'inondation, de la ZP vers un cours d'eau, après le dépassement de la crête du tronçon	- niveau de la crête du tronçon (hauteur d'eau ; crue)	- cote de la crête du tronçon - longueur	Tronçon
5	Résister à la surverse	- niveau de sûreté de la fonction de résistance à la surverse		Tronçon
6	Ne pas résister à la surverse et être érodable par surverse jusqu'à un niveau résistant donné	- niveau de la crête résistante (crue ; hauteur d'eau)	- cote de la crête résistante - cote du TN	Tronçon
7	Ne pas résister à la surverse et être érodable par surverse jusque sous la fondation du tronçon			Tronçon
8	Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée ou le casier situé en arrière du tronçon, jusqu'à un niveau de crête fixe, prévu pour être élevé temporairement jusqu'à un niveau de crête haut donné	- niveau de la crête fixe (crue ; hauteur d'eau) - niveau de la crête amovible (crue ; hauteur d'eau)	- cote de la crête fixe - cote de la crête amovible - cote du TN - longueur	Tronçon / ponctuel
9	Fractionner hydrauliquement le territoire et influencer la propagation de l'eau dans la ZP (fonction de fait, différente de la vocation de l'ouvrage)	- niveau de la crête du tronçon (hauteur d'eau) - fonction du tronçon (autoroute, voie ferrée, route...)	- cote de la crête du tronçon - cote du TN - longueur	Tronçon
10	Permettre un écoulement d'eau ponctuel, d'un côté à l'autre d'un sous-système de digues linéaire	- dimension ouverture (Q max) - niveau de fonctionnement (crue ; hauteur d'eau) selon le sens d'écoulement	- géométrie - cote de l'ouvrage - cote du TN	Ponctuel
11	Maîtriser l'écoulement d'eau ponctuel (débit, sens d'écoulement, niveau de fonctionnement)	- maîtrise du niveau de fonctionnement (crue ; hauteur d'eau) - maîtrise du sens d'écoulement - contrôle du débit	- type d'installation - conditions de fonctionnement	Ponctuel
12	Contrôler la charge hydraulique sur un tronçon	- Efficacité de l'installation (en fonction du remblai et des conditions hydrauliques)	- géométrie - débit max - débit de mise en charge du remblai	Ponctuel

3.2.1.2 Caractérisation du niveau de protection apparent des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Le graphique ci-dessous permet d'identifier les cotes de protection du système de protection de Nevers.



Prise en compte des rehausses dans la définition du niveau de protection apparent

Afin de justifier la prise en compte ou non de la banquette sur certaines levées, on introduit un **niveau de protection efficace** correspondant au niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de la banquette n'est plus considérée comme négligeable. Ce niveau se rattache à la hauteur d'influence de la banquette. On introduit également un **niveau de protection visuel** qui correspond au niveau de surverse au-dessus de la crête de banquette (quel que soit son état) ; ce niveau se rapporte au caractère « physique ». Ainsi, le niveau de protection apparent correspond :

- soit au niveau de protection visuel, si on considère une banquette en bon état, continue, homogène. Dans ce cas, on estime qu'hydrauliquement la banquette peut jouer un rôle de protection pour la surverse pour l'ensemble de sa hauteur réelle ;
- soit au niveau de protection efficace si la banquette est dégradée, discontinue, hétérogène...

Banquette sur la levée de Sermoise 1^{ère} section

La banquette de la levée de Sermoise 1^{ère} section est une banquette en terre perreyée côté Loire et côté val. Elle présente un chapeau en pierres jointées sur une hauteur de 70cm environ en tête de banquette. Sa hauteur est importante, de 1,7m en moyenne.

Une série de tests, réalisée dans le cadre de l'étude spécifique S07, ont permis de fixer la hauteur d'influence de cette banquette à 0,9m. Ainsi, le niveau de protection apparent de la levée de Sermoise 1^{ère} section est :

- compris entre Q200 et Q500 juste en amont de l'A77 (point bas),
- supérieur à Q1000 en aval de l'A77 sur un linéaire de 500m environ,
- compris entre Q500 et Q1000 sur le restant du linéaire (1350ml au total).

Banquette sur levée du canal de la Jonction

La banquette de la levée du canal de la Jonction est une banquette en terre perreyée d'une hauteur de 1m maximum. Elle présente une bouchure sur la partie aval de son linéaire (au droit de la piscine de la Jonction). Les données historiques et les caractéristiques de cette rehausse (bon état) permettent de définir une hauteur d'influence faible de 20cm.

Rehausse en pierres sur levée de la Blanchisserie

La rehausse sur la levée de la Blanchisserie est continue sur l'ensemble de son linéaire. Elle est constituée de pierres faisant entre 15 et 30cm de hauteur. A l'aval de la levée, la rehausse forme un muret d'environ 50cm de hauteur. Cette rehausse de composition minérale est retenue pour la définition du niveau de protection apparent : la hauteur d'influence est définie au niveau des points bas, soit 15cm.

Les hauteurs d'influence des rehausses fixées sont les suivantes :

- **0.9m pour la levée de Sermoise 1^e section,**
- **0.2m pour la levée du Canal de la Jonction,**
- **0.15m pour la levée de la Blanchisserie.**

Caractérisation des niveaux de protection

Deux types de surverse sont possibles dans le cas des digues étudiées :

- Lorsqu'il n'y a pas de banquette, la surverse intervient lorsque le niveau des eaux dépasse le niveau du sommet de la digue. C'est une surverse « réelle ».

- Lorsqu'il y a une banquette, la surverse intervient lorsque le niveau des eaux dépasse la hauteur d'influence de la banquette. Il est considéré qu'à partir d'une certaine charge hydraulique, il y a rupture de la banquette initiée par érosion interne et donc ensuite surverse. C'est une surverse « théorique ». La hauteur d'influence d'une éventuelle rehausse est de 20cm pour une banquette en terre simple, 30 à 80cm pour des murets. Les hauteurs d'influence des banquettes des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy ont été définies précédemment.

La juxtaposition des profils en long des lignes d'eau modélisées avec la crête de digue (et la hauteur d'influence des rehausses, si existante) permet d'identifier différentes zones de surverses « réelles » ou « théoriques ». Les premières surverses « théoriques » apparaissent pour une crue de période de retour de 500 ans, au niveau du point bas situé en amont de l'autoroute A77 sur la levée de Sermoise 1^e section.

La zone de surverse « théorique » T500 (ligne verte claire sur le graphique ci-dessus) est localisée au secteur suivant :

- Linéaire juste en amont du pont de l'autoroute A77 (PK 250 à PK 400),
Pour ce secteur le niveau de protection apparent « théorique » retenu est : $T200 < Q < T500$.

Les zones de surverses « théoriques » T1000 (ligne jaune sur le graphique ci-dessus) sont localisées aux secteurs suivants :

- Linéaire amont (PK 0 à PK 250),
- La moitié aval du linéaire de digue de la levée de Sermoise 1^e section (PK900 à PK 2000).
Pour ces secteurs le niveau de protection apparent « théorique » retenu est: $T500 < Q < T1000$.

Pour les autres secteurs où aucune surverse « réelle » n'est constatée, le niveau de protection apparent est T1000 : il s'agit du linéaire en aval du pont de l'autoroute A77 (PK 400 à PK 900) et du linéaire des levées du canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame (PK 2000 à PK 3900).

3.2.1.3 Décomposition en sous-systèmes homogènes

Suite à la description du système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy, différents éléments (tronçons de levée : levée, objets ponctuels ...) ont été mis en évidence, et caractérisés selon leurs rôles dans la protection de la zone protégée.

Pour le système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy, le découpage selon les fonctions hydrauliques types (Tableau 2) aboutit à la mise en évidence des sous-systèmes suivants :

- Levée (rôle n°1)
- Remblais sans vocation de protection (rôle n°9)
- Bouchure (rôle 8)
- Mur digue de l'ancienne écluse (rôle n°1)
- Ouvrages transparent (rôle n°12)

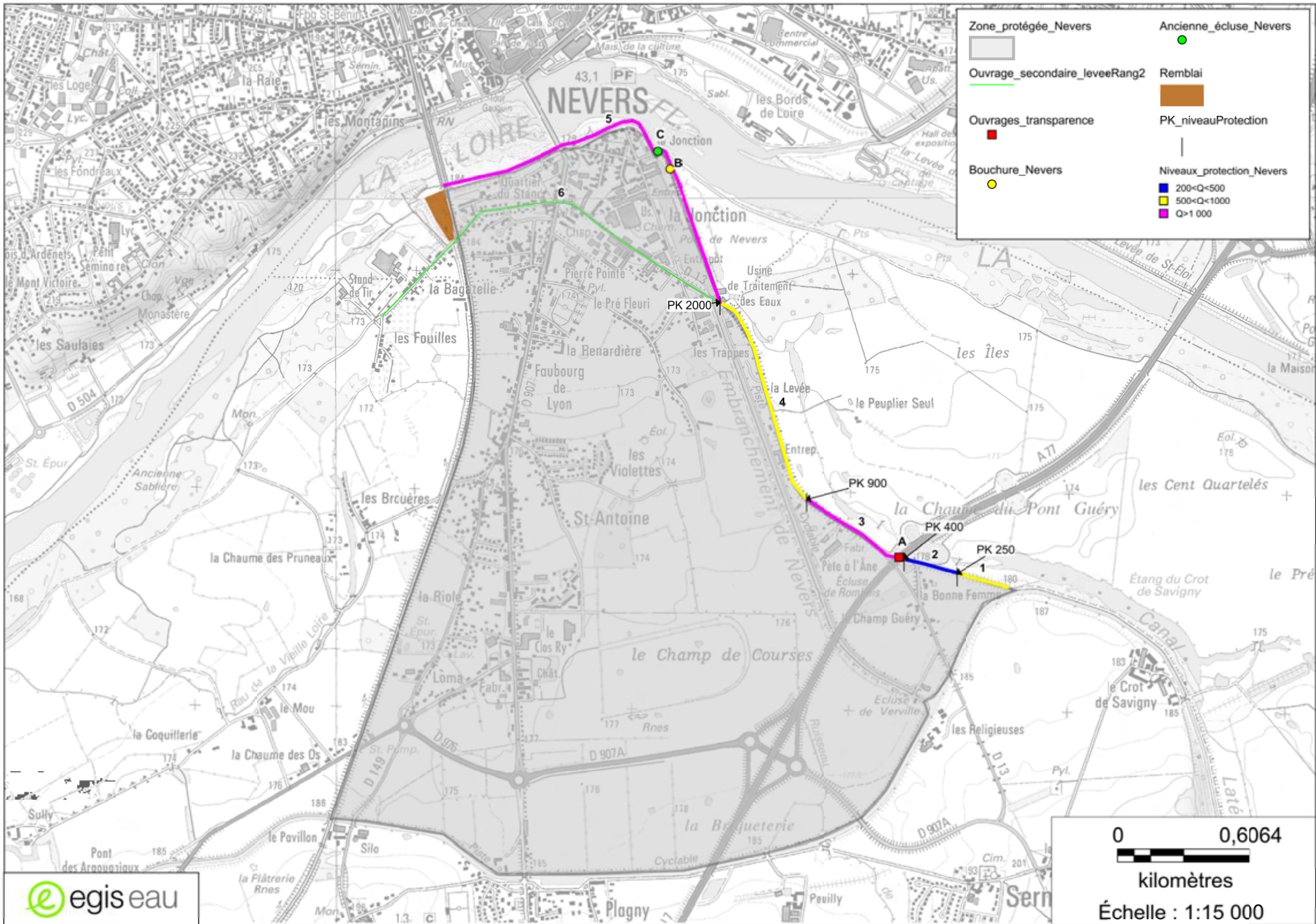
Tableau 7 : Analyse hydraulique des sous-systèmes composant le système de protection de Nevers

N° tronçon	N° objet ponctuel	Sous-systèmes	Fonctions hydrauliques	Caractéristiques
1		Levée de Sermoise 1 ^{ère} section amont A77	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête et banquette. Linéaire : PK 0 à 250 Niveau de protection apparent : banquette $H_i = 0,9\text{m}$ Protection : $500 < Q < 1000$ ans Physique : support RD
2		Levée de Sermoise 1 ^{ère} section amont A77	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête et banquette. Linéaire : PK 250 à 400 Niveau de protection apparent : banquette $H_i = 0,9\text{m}$ Protection : $200 \text{ ans} < Q < 500 \text{ ans}$ Physique : supporte RD
3		Levée de Sermoise 1 ^{ère} section aval A77	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête et banquette. Linéaire : PK 400 à 900 Niveau de protection apparent : banquette $H_i = 0,9\text{m}$ Protection : $Q > 1000$ ans Physique : Supporte RD
4		Levée de Sermoise 1 ^{ère} section aval A77	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête et banquette. Linéaire : PK 900 à 2000 Niveau de protection apparent : banquette $H_i = 0,9\text{m}$ Protection : $500 < Q < 1000$ ans Physique : Supporte RD
	A	Ouvrage transparent : écoulement sous le pont de l'A77	12. Contrôler la charge hydraulique sur un tronçon	Section de passage max : hauteur (Tablier-Crête)*largeur Rôle : Crête de la levée, RD952 sous le pont A77
5		Levée du Canal de la jonction et de la Blanchisserie	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête (et banquette) Linéaire : PK 2000 à 3900 Niveau de protection apparent : crête ou banquette $H_{i\text{canalJonction}} = 0,2\text{m}$ et $H_{i\text{Blanchisserie}} = 0,15\text{m}$ Protection : $Q > 1000$ ans Physique : RAS
	B	Bouchure	8. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée, peut être élevé temporairement.	Localisation : banquette Cote seuil : 178.31 mNGF Hauteur : 0.90 m Niveau de sûreté : banquette amovible
	C	Mur et vannage de l'ancienne écluse	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Localisation : PK 2825 Altitude point bas : 171.65 mNGF Altitude point haut : 178.85 mNGF
6		Levée de Sermoise 2 ^{ème} section et levée de Gimouille	9. Fractionner hydrauliquement le territoire et influencer la propagation de l'eau dans la zone protégée.	Niveau du remblai moyen : 177.25 mNGF Largeur crête moyen : 22 m Physique : Supporte la RD13 et l'avenue du Stand

Avec H_i = hauteur d'influence de la rehausse

Un graphique localisant les zones de surverse et une carte résumant l'ensemble des niveaux de protection sont présentées ci-après.

Sur cette carte, les tronçons de levées de niveaux de protection apparents équivalents sont tracés et localisés par leur PK amont et aval. La numérotation numérique et alphabétique reprend le classement des sous-systèmes vu dans le tableau 4. Le type de levée en présence (terre végétalisée, mur, ...) est également précisé.



Sur le val de Nevers, Sermoise et Challuy, les premières surverses « théoriques » ont lieu pour une crue de période de retour comprise entre 200 et 500 ans, au niveau d'un point bas situé en amont du pont de l'A77. Les niveaux de protection correspondant à chacun des sous-systèmes identifiés sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Le niveau de protection apparent global du val de Nevers, Sermoise et Challuy est la T200, ce qui correspond à un débit de pointe de 3870 m³/s.

Tableau 8 : Niveaux de protection apparents des sous-systèmes de protection de Nevers

Niveau de protection apparent	Sous-systèmes concernés
200<Q<500 5,61m< Hauteur d'eau à l'échelle de Nevers <6,12m	2 (PK 250 à 400)
500<Q<1000 6,12m< Hauteur d'eau à l'échelle de Nevers <6,5m	1 (PK 0 à 250) et 4 (PK 900 à 2000)
Q>1000 Hauteur d'eau à l'échelle de Nevers >6,5m	3 (PK 400 à 900) et 5 (PK 2000 à 3900)

3.2.2 Analyse fonctionnelle géotechnique

L'objectif de l'analyse structurelle est d'identifier la nature des composants géotechniques constitutifs des digues, pour ensuite analyser les fonctions géotechniques (corps de digue, recharge étanche, drain,...) associées à chaque composant. Les composants forment la structure des différents tronçons de digues (découpage profils en travers types de digues en composants) et se définissent par leurs fonctions. Suite aux investigations menées sur les digues (relevés géophysiques et sondages), il est possible d'identifier et de caractériser les fonctions géotechniques des différents éléments constitutifs des levées. Les levées sont ensuite décomposées en tronçons homogènes, pour chacun desquels est défini un profil en travers type.

3.2.2.1 Composition de la levée

Les rapports de prospections géophysique et géotechnique, réalisé par Soldata et Hydrogéotechnique, sont fournis dans le dossier de l'étude de dangers.

Les données exploitées pour l'analyse fonctionnelle géotechnique sont les suivantes :

- Résultats de la campagne géophysique 2015, à savoir les :
 - mesures **électromagnétiques EM34** sur 1824ml (levée de Sermoise 2^e section et levée de Gimouille) ;
 - mesures par **radar de surface** sur 1815ml (levée de Sermoise 2^e section et levée de Gimouille).
- Résultats des investigations géotechniques 2015, à savoir :
 - 2 sondages au pénétromètre statique à 10m de profondeur (ou jusqu'au refus) au niveau du profil 12-13 (levée de Sermoise 1^e section) et du profil 70 (levée de la Blanchisserie) ;
 - 1 sondage carotté à 15m de profondeur au niveau du profil 87 (levée du Plateau de la Bonne Dame), suivis d'essais en laboratoire (analyses GTR);

- 3 sondages à la tarière dans la banquette de la levée de Sermoise 1^e section avec essai de pénétration PANDA.

- Résultats de la campagne géophysique réalisée par SOGREAH en 2002, à savoir :
 - Mesures électromagnétiques EM31 au pas de 1m et EM34 au pas de 5m sur les levées du Plateau de la Bonne Dame, de la Jonction et de la Blanchisserie.
 - 2 panneaux électriques : PE1 sur la levée du Plateau de la Bonne Dame et PE2 sur la levée du canal de la Jonction.
- Résultats de la campagne géotechnique réalisée par SOGREAH en 2002, à savoir :
 - 10 sondages à la pelle mécanique en pied de talus de digue (PM1 à PM10),
 - 6 sondages carottés (SC1 à SC4 et SC7 à SC8) avec prélèvements d'échantillons intacts,
 - 12 essais de perméabilité Lefranc à raison de 2 essais par sondages,
 - 6 piézomètres posés dans les sondages carottés réalisés,
 - 5 essais au pénétromètre dynamique (PD1 à PD5),
 - Des analyses en laboratoire GTR et 3 essais de cisaillement à la boîte de Casagrande ;
- Les données existantes disponibles sur la Banque du Sous-Sol.

La localisation des sondages géotechniques est donnée page suivante.

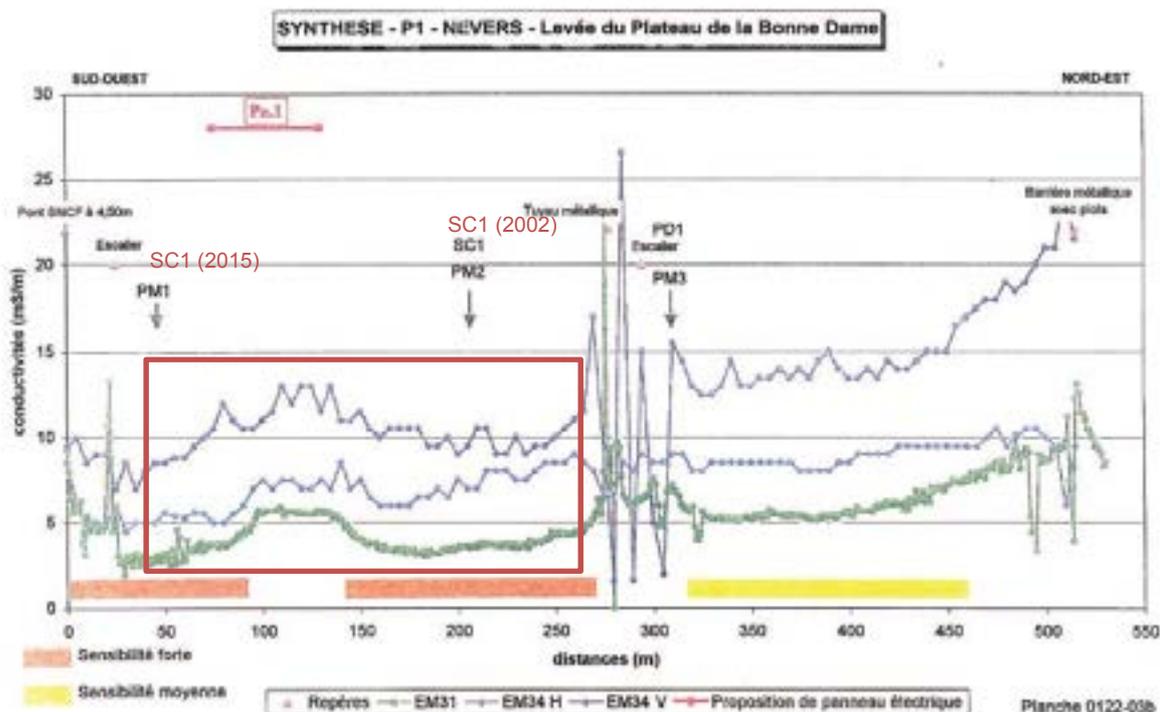


- Crete_Nevers**
- Profils_en_travers**
- Sondages_Sogreah2002**
- Pelle mécanique (10)
 - Pénétromètre dynamique (5)
 - Sondage carotté (6)
- Sondages_Hydrogeotechnique2015**
- Sondages Carottés (1)
 - Pénétromètres (2)
 - Tarières (et essais PANDA sur T2) (3)
- Sondages_BanqueSousSol**
-

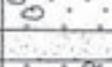
Emplacements des sondages géotechniques - Nevers

Pour les levées de la ligne de défense principale, une corrélation entre les résultats de la campagne géophysique et les sondages géotechniques réalisés en 2002 (par SOGREAH) avait déjà été mise en évidence. Aucune investigation géophysique complémentaire n'a été réalisée sur ces levées de premier rang.

Pour ce qui concerne les investigations géotechniques complémentaires, celles-ci se corrélient également bien avec les campagnes de 2002. Par exemple, le sondage SC1 (2015) présente des caractéristiques similaires au sondage SC1 (2002). Ces sondages se situent en effet sur un même secteur homogène identifié lors de la campagne géophysique (voir encadré rouge sur graphique ci-dessous).





Cote IGN69	Prof.	Nature du terrain	Echantillons	Eau	Outil	Tubage	Equipement	% CAR (%)	% RQD (%)	perméabilité m/s	Date
178.300	0,00	 remblai: sable à graviers et blocs avec un passage à matrice argileuse entre 2.80m et 3.20m	EI		ECH 114	119 128	Pose d'un piézomètre Long. 12.00m crépiné de 0.00m à 12.00m, tête de protection 				
173.30	5.00		 sable gris-marron à graviers et blocs	EI							
168.70	9.60	 sable noir-marron			9.70m						
168.30	10.00		 sable ocre à graviers et rares blocs								
166.30	12.00										

Observations :



HYDROGÉOTECHNIQUE CENTRE
 Ingénierie géotechnique, géologie, hydrogéologie et géologie
 appliquée à l'habitat, l'industrie, l'agriculture et l'environnement
 Services : Essais de sols in situ et en laboratoire

Etude des dangers des digues de Loire - Nevers (58)

Contrat C.14.13040

Date début : 16/03/2015

Machine : Hydrofore 750

Profondeur : 0,00 - 15,00 m

X : 715715.596

Y : 2221189.351

1/75

Forage : SC1

EXGTE 3.15/GTE

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Niveau d'eau (m)	% Récupération	Observations
0,13 m	Cailloux, cailloutis à matrice sableuse grise et quelques radicles	Carottier Ø116mm	Pas notoire lors de la foration		
0,32 m	Sable limoneux marron brun à cailloux et cailloutis				
1	Sable limoneux marron gris à cailloux et cailloutis				
2,00 m	EI				
3,00 m	Sable moyen à grossier marron brun à galets, cailloux et cailloutis				
5,00 m	EI				
6,00 m	Sable moyen marron brun à cailloux et cailloutis				
6,67 m	Sable argileux marron brun à cailloux et cailloutis				
7,00 m	Argile légèrement sableuse gris brun				
7,28 m	Sable argileux marron brun à cailloux et cailloutis				
7,47 m	Argile légèrement sableuse gris brun				
7,67 m	Sable argileux marron à brun à cailloutis				
8,00 m	Sable grossier marron brun à cailloux, cailloutis et quelques galets				
10,00 m	Sable grossier à passées argilo-limoneuses marron à blocs, cailloux et cailloutis				
12,00 m	EI				
13,00 m	Sable légèrement argileux gris marron à cailloux et cailloutis				
13,38 m	Sable légèrement argilo-limoneux induré ocre orange à passées marron				
14,14 m	Sable légèrement argileux marron brun				
14,50 m	Sable +/- argileux marron				
15,00 m					

En résumé, le corps de digue sur l'ensemble du linéaire de la ligne de défense principale est de type sablo-limoneux ou sablo-argileux à cailloux ou cailloutis.

Les essais de pénétration statique ainsi que les sondages carottés mettent en évidence des passages imperméables de quelques mètres d'épaisseur sur la partie amont de la levée de Sermoise 1^e section.

La campagne géophysique menée sur les levées de 1^{er} rang montre une certaine homogénéité sur l'ensemble du linéaire et une conductivité plus importante en profondeur, caractérisant la présence importante de matériaux fins. Ceci se corrèle parfaitement avec les essais de pénétration statique, indiquant une résistance de pointe croissante avec la profondeur et ainsi des caractéristiques mécaniques satisfaisantes. Certains linéaires (levée du Plateau de la Bonne Dame aval et de la Blanchisserie notamment) présentent néanmoins quelques faiblesses géotechniques (conductivités et résistance de pointe faibles).

La campagne géophysique menée sur les levées secondaires décrit un corps de digue plus hétérogène en surface, présentant plusieurs excavations (correspondant vraisemblablement aux passages de canalisations traversantes) et un horizon très conducteur en profondeur juste en amont du remblai de la voie ferrée (présence de vides ou de matériaux conducteurs).

3.2.2.2 Les fonctions des composants géotechniques

La pérennité d'un tronçon de digue donné et donc la réalisation de ses fonctions hydrauliques, dépend directement de la réalisation des fonctions géotechniques que portent les composants de ce profil en travers. Ces fonctions géotechniques peuvent être classées en plusieurs familles et se caractérisent par les différents seuils qui décrivent leur état de fonctionnement (voir tableau ci-après).

Tableau 9 : les familles de fonctions des composants géotechniques (source : EdD du val de Tours)

N°	Famille de fonction géotechnique
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 particules, au sein d'un composant granulaire)
6	Résistance à l'érosion externe (eau, autres agents)
7	Résistance aux agressions externes intrusives (animaux fouisseurs, racines...)
8	Écoulement (laisser passer l'eau)

3.2.2.3 Analyse structurelle et fonctionnelle des profils en travers

L'objectif de l'analyse structurelle est d'identifier la nature des composants géotechniques constitutifs des digues, pour ensuite permettre l'analyse de leurs fonctions géotechniques. Elle consiste d'abord en la mise en évidence des différents profils en travers types, présentant les organisations structurelles de composants géotechniques, qui constituent les sous-systèmes de digues. Seuls les composants définissant des tronçons conséquents sont retenus dans cette analyse. Les points particuliers (ouvrages traversants...) sont décrits dans le § 3.2.3 – désordres constatés dans les systèmes de protection et seront notamment pris en compte dans la phase diagnostic de la potentialité de rupture des tronçons de digues.

Les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy comptent 2 profils en travers types, présentés ci-dessous. Les tableaux accompagnant chacun des profils en travers sont une analyse fonctionnelle de chacun d'entre eux.

- Profil non renforcé, sans assise perméable :

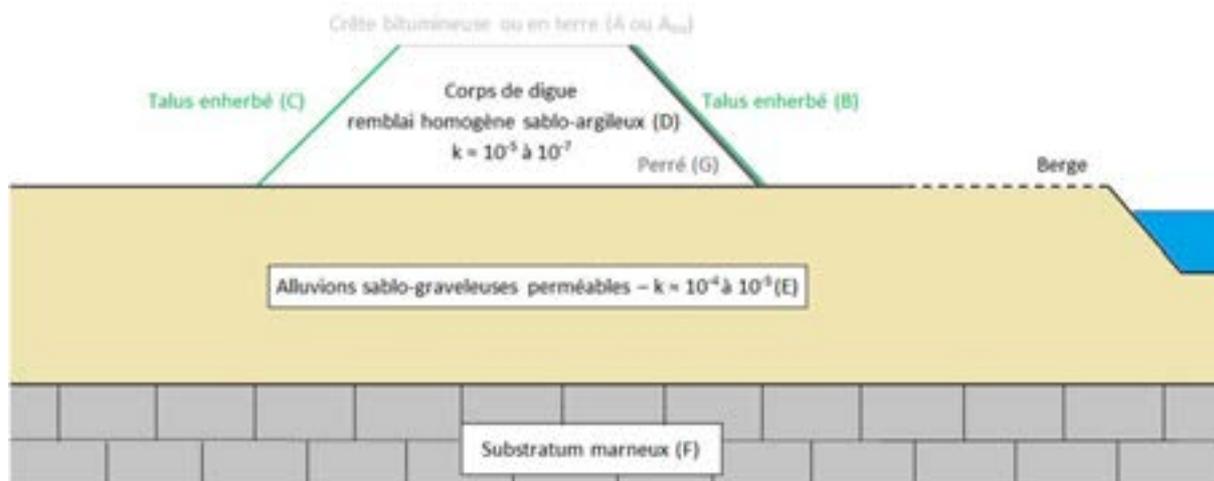


Figure 27 : Profil non renforcé sans assise imperméable (F1)

Tableau 10 : Analyse fonctionnelle du profil en travers type

N° comp.	Composant géotechnique	Fonctions géotechniques	Contacts
A	Crête bitumineuse	6. Résistance à l'érosion externe	Atmosphère ; D
Abis	Crête en terre	6. Résistance à l'érosion externe	Atmosphère ; D
B	Talus enherbé sur perré côté Loire	6. Résistance à l'érosion externe	Loire ; atmosphère ; D
C	Talus enherbé côté val	6. Résistance à l'érosion externe	Zone protégée ; atmosphère ; D
D	Corps de digue – remblai homogène sablo-argileux	1. Stabilité mécanique d'ensemble 2. Etanchéité 3. Drainage 5. Auto-filtration	A ou Abis ; B et G ; C ; E
E	Alluvions sablo-graveleux perméables	1. Stabilité mécanique d'ensemble 5. Auto-filtration	Loire ; zone protégée ; atmosphère ; D ; F
F	Substratum marneux	1. Stabilité mécanique d'ensemble	E
G	Perré	1. Stabilité mécanique d'ensemble 2. Etanchéité 6. Résistance à l'érosion externe	B ; D

Ce profil correspond au profil type des levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie, du Plateau de la Bonne Dame et la partie aval de la levée de Sermoise 1^e section (profils 25 à 43).

- Profil non renforcé, avec assise imperméable :

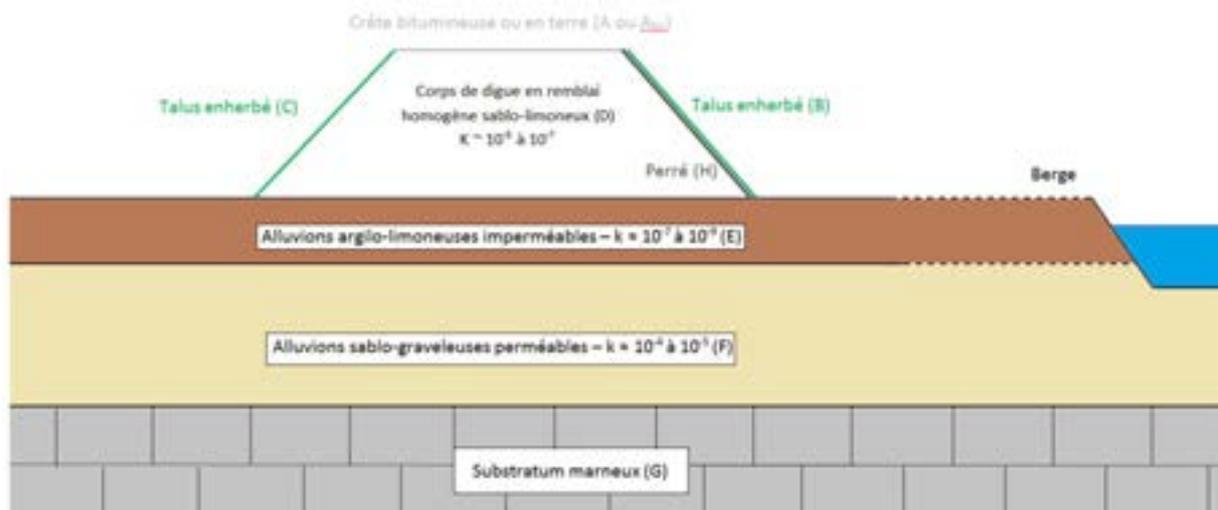


Figure 28 : Profil non renforcé, avec assise perméable (F1)

N° composant	Composant géotechnique	Fonctions géotechniques	Contacts
A A _{bis}	Crête bitumineuse Crête en terre	6. Résistance à l'érosion externe	Atmosphère ; D Atmosphère ; D
B	Talus enherbé sur perré côté Loire	6. Résistance à l'érosion externe	Loire ; Atmosphère ; D ; H
C	Talus enherbé côté zone protégée	6. Résistance à l'érosion externe	Zone protégée ; Atmosphère ; D
D	Corps de digue en remblai homogène sablo-argileux	1. Stabilité mécanique d'ensemble 2. Etanchéité 3. Drainage 5. Auto-filtration	A ou A _{bis} ; B ; C ; E ; H
E	Alluvions argilo-limoneuses imperméables	1. Stabilité mécanique d'ensemble 2. Etanchéité 5. Auto-filtration	Loire ; Atmosphère ; Zone protégée ; D ; F
F	Alluvions sablo-graveleuses perméables	1. Stabilité mécanique d'ensemble 5. Auto-filtration	Loire ; E ; G
G	Substratum marneux	1. Stabilité mécanique d'ensemble	F
H	Perré	1. Stabilité mécanique d'ensemble 2. Etanchéité 6. Résistance à l'érosion externe	B ; D

Ce profil correspond au profil type de la partie amont de la levée de Sermoise 1^{er} section (profils 1 à 24).

L'ensemble des levées constituant la ligne de défense principale du val de Nevers, Sermoise et Challuy ont un profil non renforcé (F1). Le linéaire amont de la levée de Sermoise 1^{er} section présente une assise imperméable sous le corps de digue.

3.2.3 Désordres constatés dans les systèmes de protection

3.2.3.1 Ouvrages inclus

Au total, **18 ouvrages inclus (hors bâtiments encastrés)** ont été recensés dans les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy, dont 13 conduites, 1 bouchure et 4 vannes (vannes au niveau de l'ancienne écluse de la Jonction). Il s'agit d'ouvrages repérés lors des VTA et/ou recensés suite à l'analyse des Déclarations de projet de Travaux (DT).



Figure 29 : Exemple d'ouvrages inclus : bouchure, vannes, canalisation PVC et béton (Source : Egis Eau, 2014)

Les canalisations dans le corps des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont une menace pour la sûreté de la digue. Points de fragilité identifiés, elles sont des lieux de passage d'eau au travers de la digue et peuvent entraîner sa rupture par érosion interne, comme le montrent les retours d'expérience des crues du Rhône, en 1993 et 1994, ainsi que les ruptures occasionnées par la tempête Xynthia (voir chapitre 7).

La prise en compte des canalisations dans la modélisation des aléas de rupture est traitée au chapitre 8 et est abordée dans le chapitre 9 (gestion, traitement du problème, reconnaissance des canalisations non connues). Les ouvrages qui seront pris en compte dans l'aléa de rupture (érosion interne) sont les ouvrages ayant un débouché côté Loire. Pour les autres, ils seront pris en compte comme anomalies dans le corps de digue.

A ces ouvrages s'ajoutent les bâtiments encastrés dans le corps des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy, autre menace pour la sûreté de la digue. En effet, ils réduisent la largeur au niveau de leur implantation et favorisent l'érosion interne. Les VTA 2013 et

l'analyse des DT recensent **15 maisons encastrées** implantées principalement sur les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille. Sur la levée du Canal de la Jonction (levée de rang 1), les vestiaires de l'ancienne piscine constituent également un bâtiment encastré à prendre en compte pour la définition de l'aléa de rupture.



Figure 30 : Maisons encastrées sur les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille



Figure 31: Bâtiments encastrés de l'ancienne piscine de la Jonction (Egis Eau, 2014)

La prise en compte de ce phénomène dans la modélisation des aléas de rupture est traitée au chapitre 8. Les possibilités de réduction du risque lié à la présence des bâtiments sont abordées dans le chapitre 9.

Les ouvrages inclus sur la levée de Nevers sont détaillés dans l'étude spécifique S05.

0 20,00
mètres
Échelle : 1:1 229

Zoom au niveau de l'ancienne écluse

Crete	Vannes
Batiments_encastrés	Bouchure
Ouvrages_traversants	Réseau_ERDF



0 300,0
mètres
Échelle : 1:7 500

3.2.3.2 Végétation et animaux fouisseurs

Les VTA (Visite Technique Approfondie) ont permis de faire un état des lieux de la levée et notamment de l'impact de la faune et de la flore sur les levées. Des marques témoignant la présence d'animaux fouisseurs ont été recensées (grattage, terriers, galeries, ...). Lors des VTA, les terriers visibles ont été localisés ; une estimation du nombre de terriers (s'il y en a plusieurs) et de leurs diamètres est précisée en commentaire sur les fiches tronçon. De plus, sur certains linéaires la végétation est très présente en pied et en talus de digue, ce qui menace sa stabilité et limite la bonne visibilité de la digue. Les linéaires de végétation, la végétation ponctuelle ainsi que les souches ont été recensées.

Le recensement et la localisation de ces désordres est fourni dans le rapport des VTA 2013. Ce rapport décrit l'impact que peut avoir chacun des désordres sur la stabilité du système de protection et sur l'entrée d'eau dans le val. L'étude spécifique S11 apporte également des éléments complémentaires sur le développement de la végétation sur et à proximité de la digue.



Figure 33 : Débouchés de terriers (en haut) et végétation sur la digue (en bas) (Egis Eau, 2014)

3.3 Analyse fonctionnelle externe

3.3.1 Analyse du milieu extérieur « cours d'eau »

3.3.1.1 Géomorphologie de la Loire

Dans ce paragraphe, le fleuve est abordé uniquement en tant que milieu extérieur en contact ou à proximité du système de protection de Nevers.

Au niveau de Nevers, le milieu extérieur « cours d'eau » Loire est délimité en rive gauche par la ligne de défense principale des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy et en rive droite par la ligne de défense des levées de Nevers rive droite.

La Loire forme des méandres à Nevers et en aval de Nevers. Les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy se situent en effet au droit d'une rive convexe. Au niveau des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy :

- Le lit majeur de la Loire a une largeur moyenne de 3 km ;
- Le lit endigué a une largeur qui varie de 300 à 1500 m ;
- Le lit vif a une largeur qui varie de 200 à 350 m.

Les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy ont été construites proches, voire en bordure, de la Loire. Il existe sur certains tronçons un espace plus ou moins plat, appelé « **franc-bord** » qui sépare les berges de la levée.

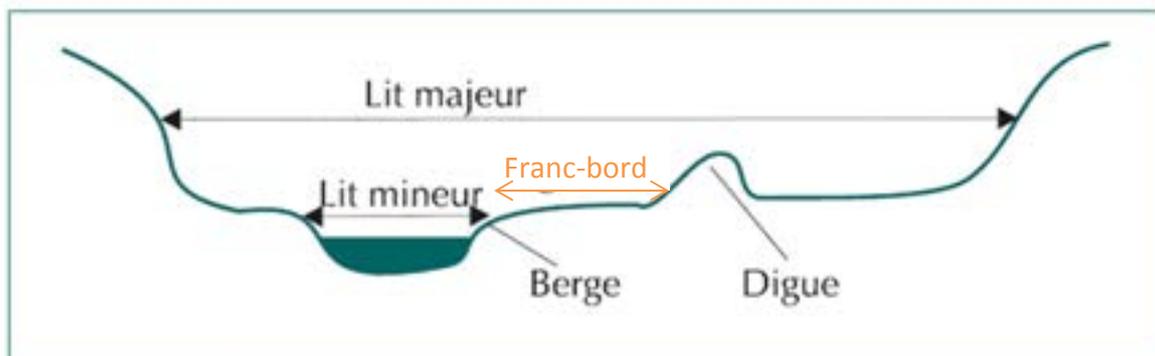


Figure 34 : Schéma localisant le « franc-bord »

Cette plateforme est présente sur les levées amont du système de protection de 1^{er} rang de Nevers, à savoir la levée de Sermoise 1^e section et la levée du canal de la Jonction. Elle a une largeur variant de 70 m à 1200 m.

Cette avancée de terre permet d'atténuer l'impact de l'activité de la Loire sur les levées, notamment en protégeant le pied de digue des affouillements.



Figure 35 : Illustration du franc-bord au droit de la levée du canal de la jonction (Nevers)

Les tronçons en contact direct avec la Loire (levée de la Blanchisserie et levée du Plateau de la Bonne Dame) sont quant à eux davantage sollicités. En effet, les pieds de talus peuvent être soumis à d'importantes érosions, pouvant fortement dégrader les levées.

Par ailleurs, le tracé est caractérisé par le développement de nombreux atterrissements se végétalisant progressivement, créant par endroit des rétrécissements du lit vif de la Loire, ou des fermetures de chenaux secondaires. Ce phénomène naturel induit principalement par le transport solide, la pente et le débit du fleuve, peut conduire :

- à une augmentation des sollicitations sur la rive opposée dû au rétrécissement du lit d'étiage,
- à un rétrécissement de la bande active de la Loire et donc de sa section d'écoulement, par végétalisation de ces bancs sédimentaires. Ceci résulte en une augmentation de la ligne d'eau et favorise l'érosion de la berge opposée.

L'ensemble des risques liés à l'évolution morphologique du lit de la Loire sont résumés et hiérarchisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Risques liés à l'évolution morphologique du lit de la Loire au droit des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Evolutions morphologiques qui influent sur la stabilité du système d'endiguement	Risque	Entretien nécessaire
Végétalisation de bancs sédimentaires situés en rive gauche	- Risque moindre de dynamique latérale rive gauche - Risque élevé en ce qui concerne la réduction de la bande active, et donc le rehaussement de la ligne d'eau → augmentation de l'aléa de rupture par érosion interne ou par surverse.	Déboisement des bancs sédimentaires à prévoir sur les secteurs concernés : en amont de l'A77, au droit de lieu-dit Les îles et prioritairement sur le secteur des anciennes gravières situé entre le pont de Loire et l'aval du pont de la voie ferrée (secteur de franc-bord quasi-inexistant).
Exhaussement sédimentaire (formation d'îlots)	- Risque moyen à élevé en ce qui concerne la dynamique latérale rive gauche (orientation des courants sécants vers la rive gauche) → augmentation de l'aléa de rupture par érosion du pied de digue	Surveillance / anticiper une éventuelle fermeture par sédimentation en rive droite. L'attention doit particulièrement être portée sur l'îlot situé juste en aval de la confluence de la Nièvre, secteur où des érosions de berge sont observées en rive gauche et où le franc-bord est plus réduit (20-30m)
Fermeture de chenaux et végétalisation en rive droite	- Risque élevé en ce qui concerne la dynamique latérale rive gauche et la réduction de la bande active. Le pied de digue rive gauche est en contact direct avec le lit vif de la Loire.	Surveillance Empêcher la végétalisation des bancs sédimentaires en rive droite

La carte page suivante illustre les observations majeures liées à l'étude spécifique sur l'évolution de la morphologie au droit des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

L'étude spécifique S03 apporte des précisions sur l'évolution de la morphologie de la Loire sur ce secteur.

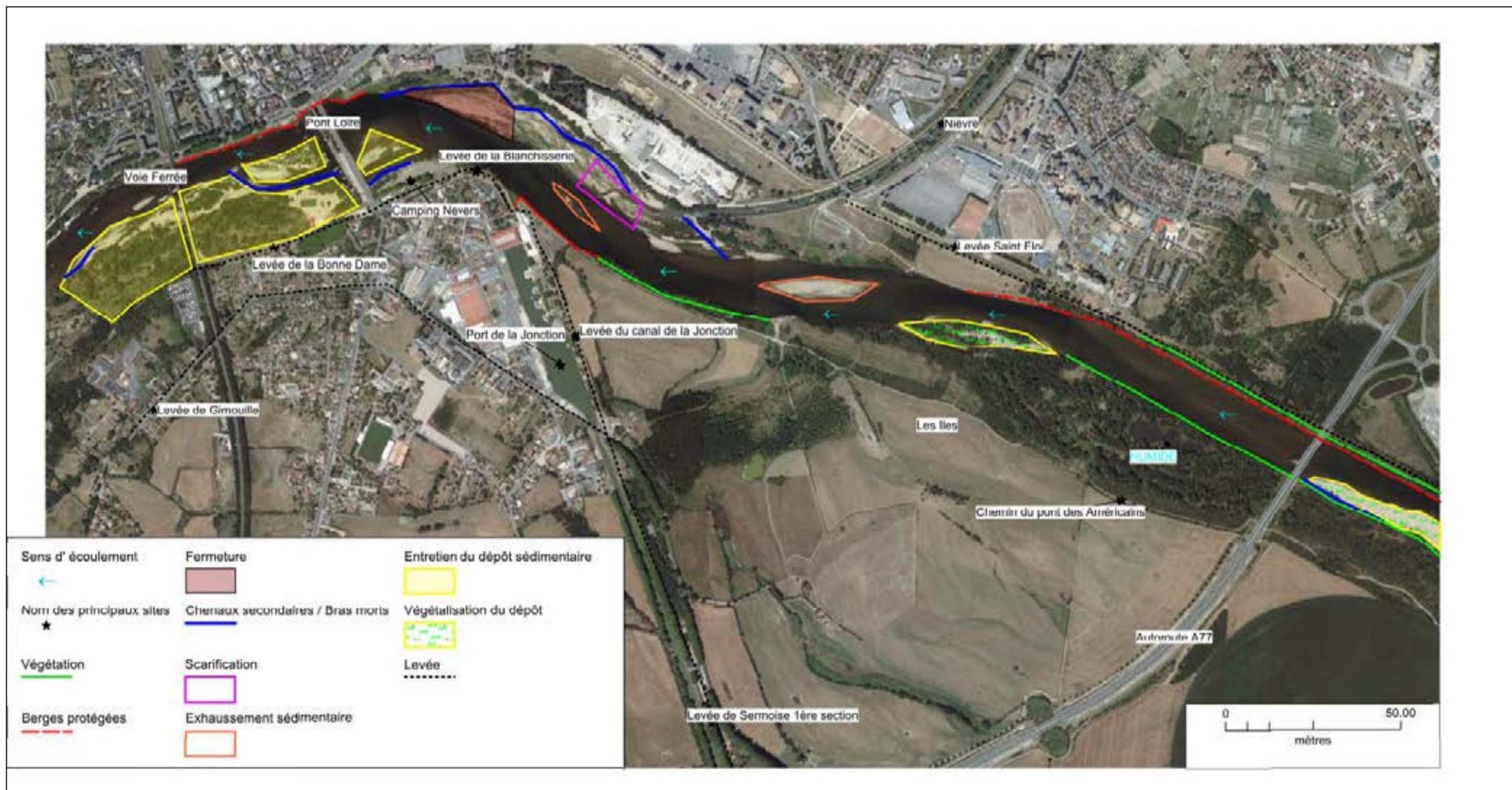


Figure 36 : Cartographie de l'étude morphologique de la Loire au droit des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy

3.3.1.2 Conséquences de l'activité humaine

Ouvrages hydrauliques traversant la Loire

Trois ponts existent sur le périmètre du val de Nevers, Sermoise et Challuy :

- Le pont Pierre Bérégovoy sur lequel passe l'autoroute A77, situé à l'amont du périmètre de l'ouvrage ;
- Le pont de Loire sur lequel passe la RN7/D907 ;
- Le pont de la voie ferrée.

L'espace entre les piles de ponts en Loire semble être suffisant pour ne pas créer de risque d'embâcle. Le développement et la végétalisation des dépôts sédimentaires de part et d'autre des ponts restent néanmoins à surveiller.

Navigation sur la Loire

La navigation sur la Loire à Nevers est, de nos jours, uniquement de loisir et touristique (canoës, kayaks, gabares, ...). L'aménagement si important des berges de la Loire trouve son origine dans la volonté de naviguer sur celle-ci : on trouve notamment le port de la Jonction à Nevers.

Aménagements des levées

De nombreux ouvrages tels que des escaliers, des sentiers de promenades ou de services, ou encore des routes témoignent de l'aménagement des levées.

3.3.1.3 Système de protection en rive opposée

Le système de protection du val de Nevers rive droite est situé en rive opposée des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Les levées qui s'étendent sur un linéaire total de 4,2 km du lieu-dit « la Maison Rouge » (commune de Saint-Eloi) au Pont de Nevers (commune de Nevers) sont les suivantes :

- la levée de la « Maison Rouge » en amont du système de protection de la rive opposée ;
- la levée de « Saint-Eloi » en rive opposée de la levée de Sermoise ;
- la levée de « Médine » en rive opposée de la levée de la Blanchisserie.

La Figure page suivante localise l'ensemble des levées du secteur d'étude, en rive gauche et en rive droite de la Loire.

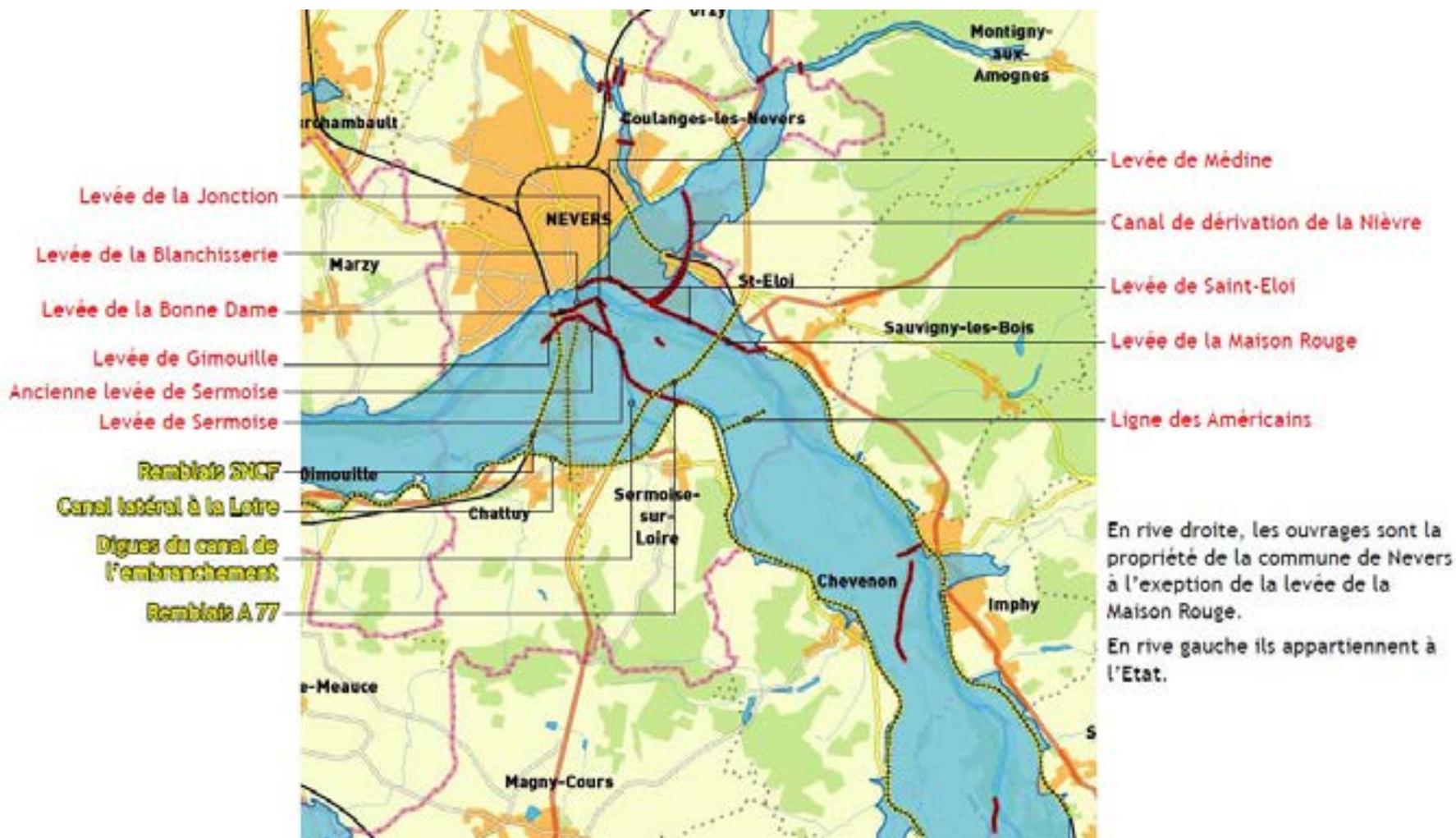


Figure 37 : Le système de protection du val de Nevers rive droite (Source : Etude EGRIAN)

3.3.1.4 Réseau hydrographique secondaire

Le val protégé de Nevers, Sermoise et Challuy est traversé par le réseau hydrographique suivant :

- le canal latéral à la Loire qui marque la limite sud du val de Nevers, Sermoise et Challuy ;
- l'embranchement de Nevers, connexion entre le canal latéral à la Loire et la Loire ;
- le ruisseau de Peully.

Deux ruisseaux, le ruisseau du Crot de Savigny et le ruisseau de la Gougnière, se situent à proximité des levées de Sermoise 1^{er} section et du canal de la Jonction, à l'est du val protégé.

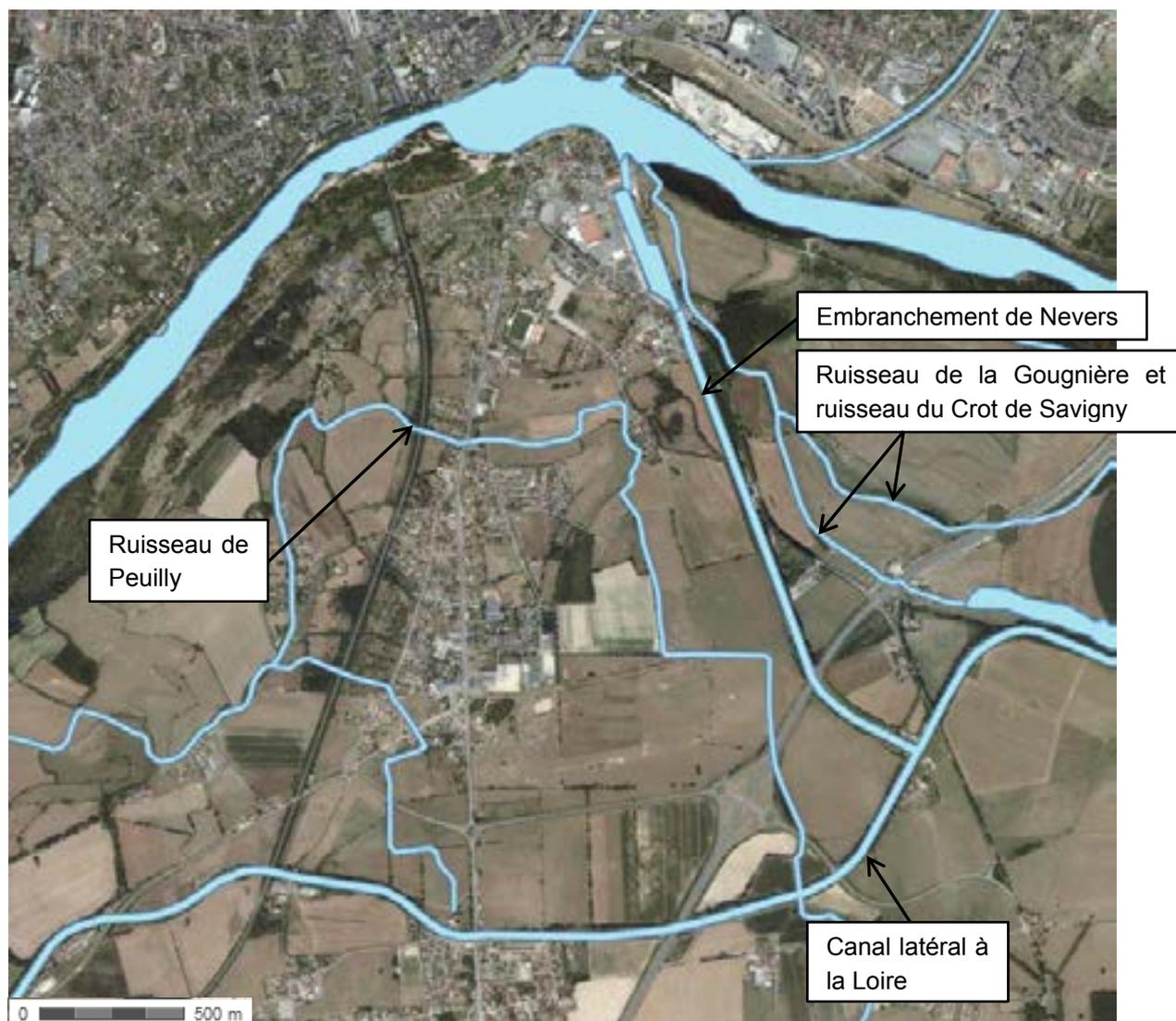


Figure 38 : Réseau hydrographique secondaire du val de Nevers, Sermoise et Challuy (fond de carte : géoportail)

3.3.2 Analyse du milieu extérieur « zone protégée »

Les objectifs sont d'identifier les éléments qui composent la zone protégée et d'analyser les interactions avec le système de protection.

La zone protégée est par définition la zone qui serait inondée en cas de dysfonctionnement du système de protection : « (...) la zone protégée est la zone soustraite à l'inondation qui serait causée par la crue de projet de protection de l'ouvrage (...) » (annexe I de la circulaire du 08 juillet 2008).

Elle est délimitée par le tracé de la ligne de défense principale du système de protection, les fermetures amont/aval (si elles existent) et par la ligne de niveau correspondant à la cote de protection de la digue côté lit majeur.

3.3.2.1 Raccordements amont/aval

Le raccord amont est situé au niveau de la levée de Sermoise 1^e section. Le système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy se raccorde en amont au niveau du terrain naturel, en rejoignant le bord du canal latéral de la Loire. La cote de raccordement est de 181 mNGF. Le val est fermé, ce qui le protège des inondations par contournement amont de la ligne de défense principale.

Le raccord aval est situé à la limite aval de la levée du Plateau de la Bonne Dame. Cette levée se raccorde directement à la zone de remblai située le long de la voie ferrée. Le val est ouvert à l'aval.

Il est donc soumis au phénomène de remous aval de la Loire en crue. Une identification de la zone susceptible d'être inondée par remous est donc nécessaire pour la distinguer au sein de la zone protégée. Les résultats du modèle hydraulique 2D des crues de période de retour 50 à 200 ans ont été projetées sur la topographie du val protégé pour définir la zone de remous. La crue de période de retour 200 ans a été choisie pour cartographier l'extension maximale du remous car elle correspond au niveau de protection apparent « théorique » de la levée de Sermoise 1^{re} section et que pour cette crue, le val est déjà quasiment complètement inondé. La carte est donnée ci-après.

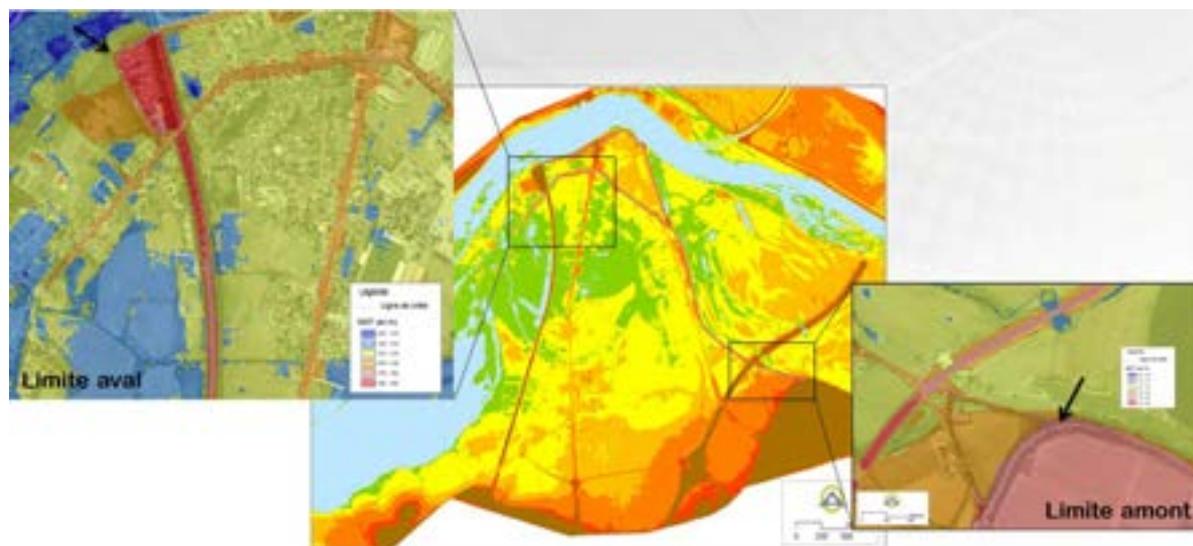


Figure 39 : Raccordement amont et aval du val de Nevers, Sermoise et Challuy

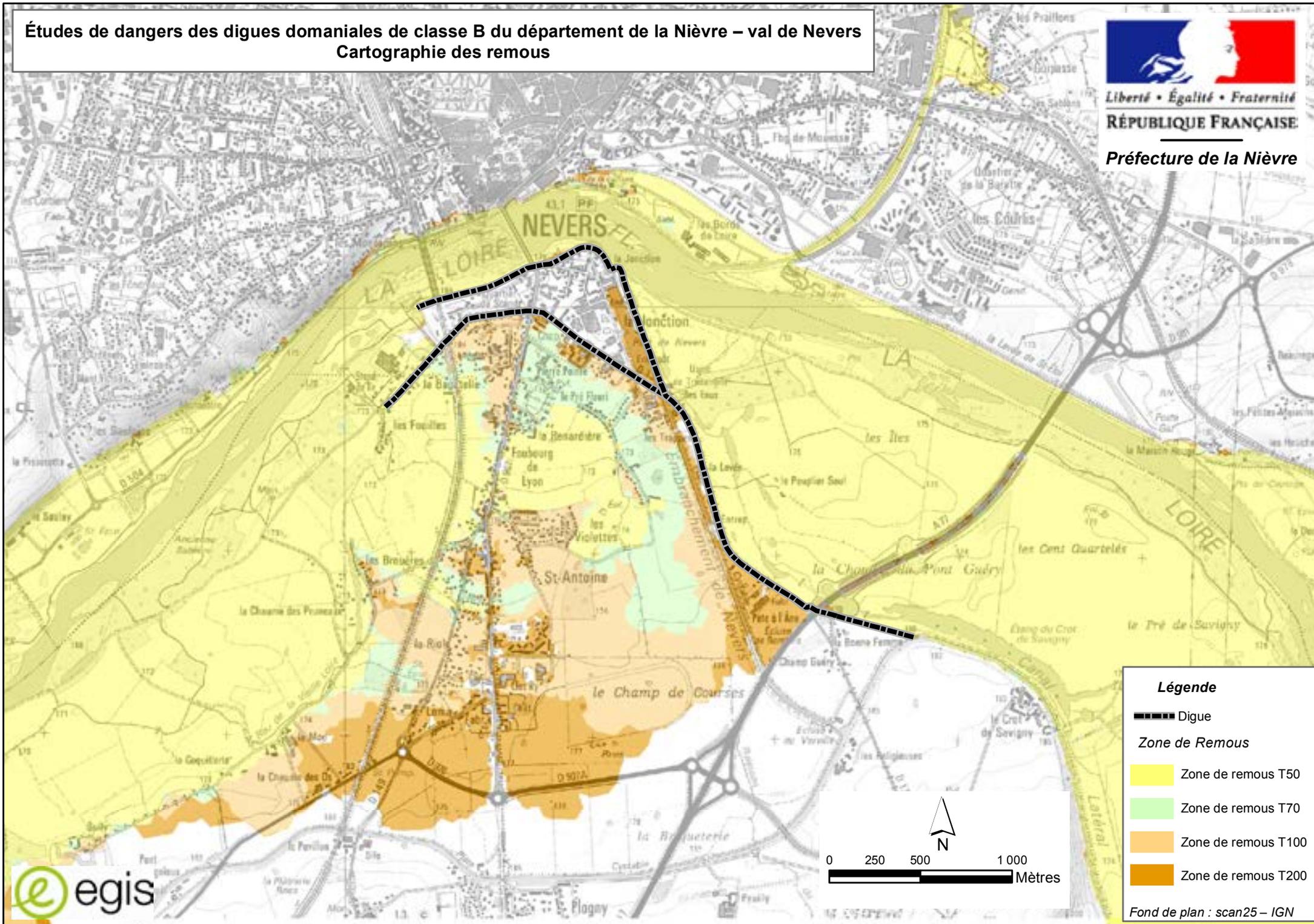
Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Cartographie des remous



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

----- Digue

Zone de Remous

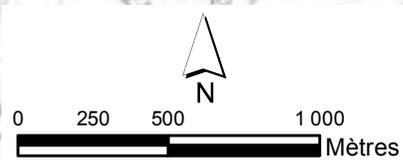
Zone de remous T50

Zone de remous T70

Zone de remous T100

Zone de remous T200

Fond de plan : scan25 – IGN



3.3.2.2 Milieu extérieur « zone protégée » du système de protection

Délimitation de la zone protégée

La zone protégée du val de Nevers, Sermoise et Challuy a une superficie de **589,4** hectares, sa largeur est de 2750 m au niveau de la Bonne Femme et de 1000 m au niveau de la Jonction.

Elle est délimitée :

- Au nord par le système de protection de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame,
- Au sud, par le canal latéral à la Loire,
- A l'est par le remblai de la voie ferrée,
- A l'ouest par le système de protection de Sermoise.

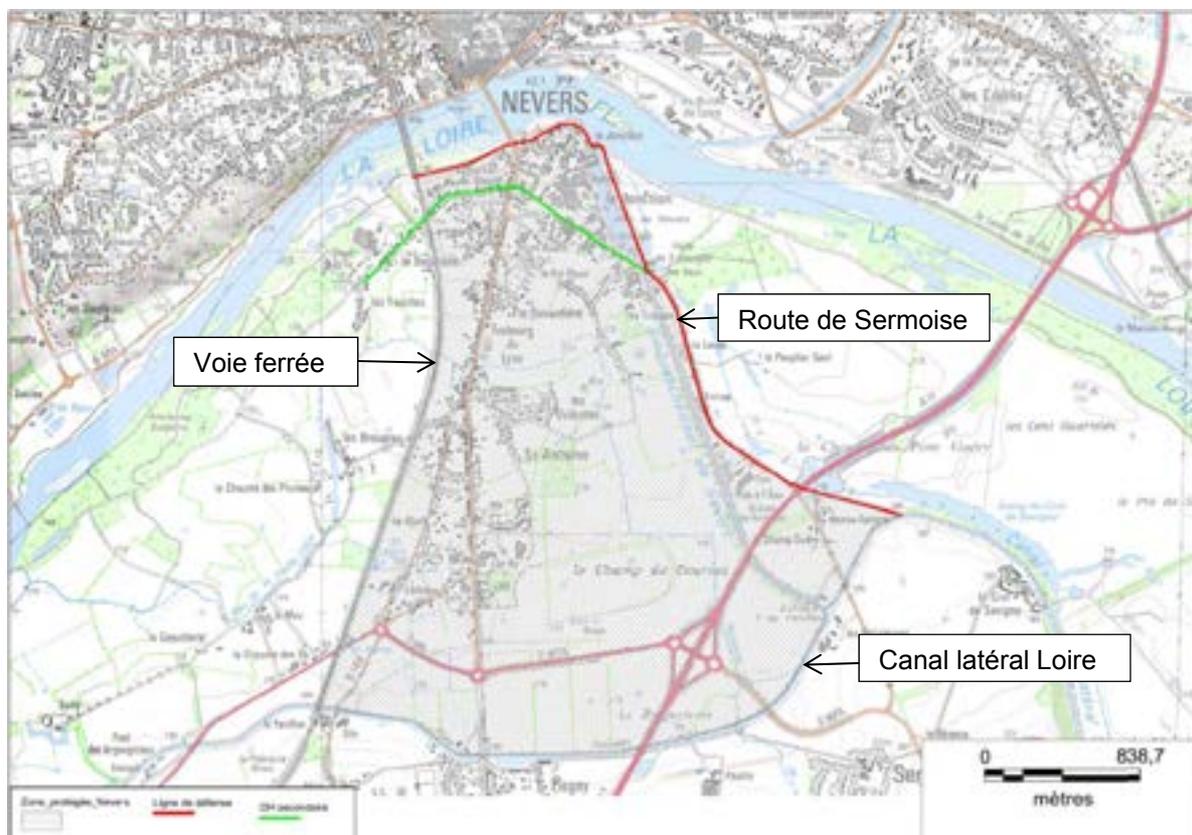


Figure 41 : Zone protégée de Nevers rive gauche

Cependant, le remblai de la voie ferrée est traversé par de nombreux ouvrages, ce qui constitue de nombreux points de passage de l'eau par l'ouest (Etude hydraulique EGRIAN). Cette remontée d'eau dans le val se fait à partir d'une crue de période de retour environ trente ans telle que la crue de 2003.

Estimation de la population présente dans la zone protégée

La zone protégée de Nevers concentre **2372 habitants** (estimation faite à partir des données INSEE – carroyage de densité de population permanente sur des zones de 200 m x 200 m).

La répartition de la population est fortement hétérogène. Certains îlots sont densément peuplés d'autres ne présentent aucune population.

Les îlots fortement densifiés sont localisés de part et d'autres du faubourg de Lyon (D907) et entre les levées de la Blanchisserie-Plateau de la Bonne Dame et Sermoise 2^e section-Gimouille. A contrario, les zones peu peuplées se situent au sud-est du val, dans des zones vouées à l'agriculture.

De plus, les populations regroupées autour du faubourg de Lyon sont les premières exposées au risque d'inondations par remous de la Loire.

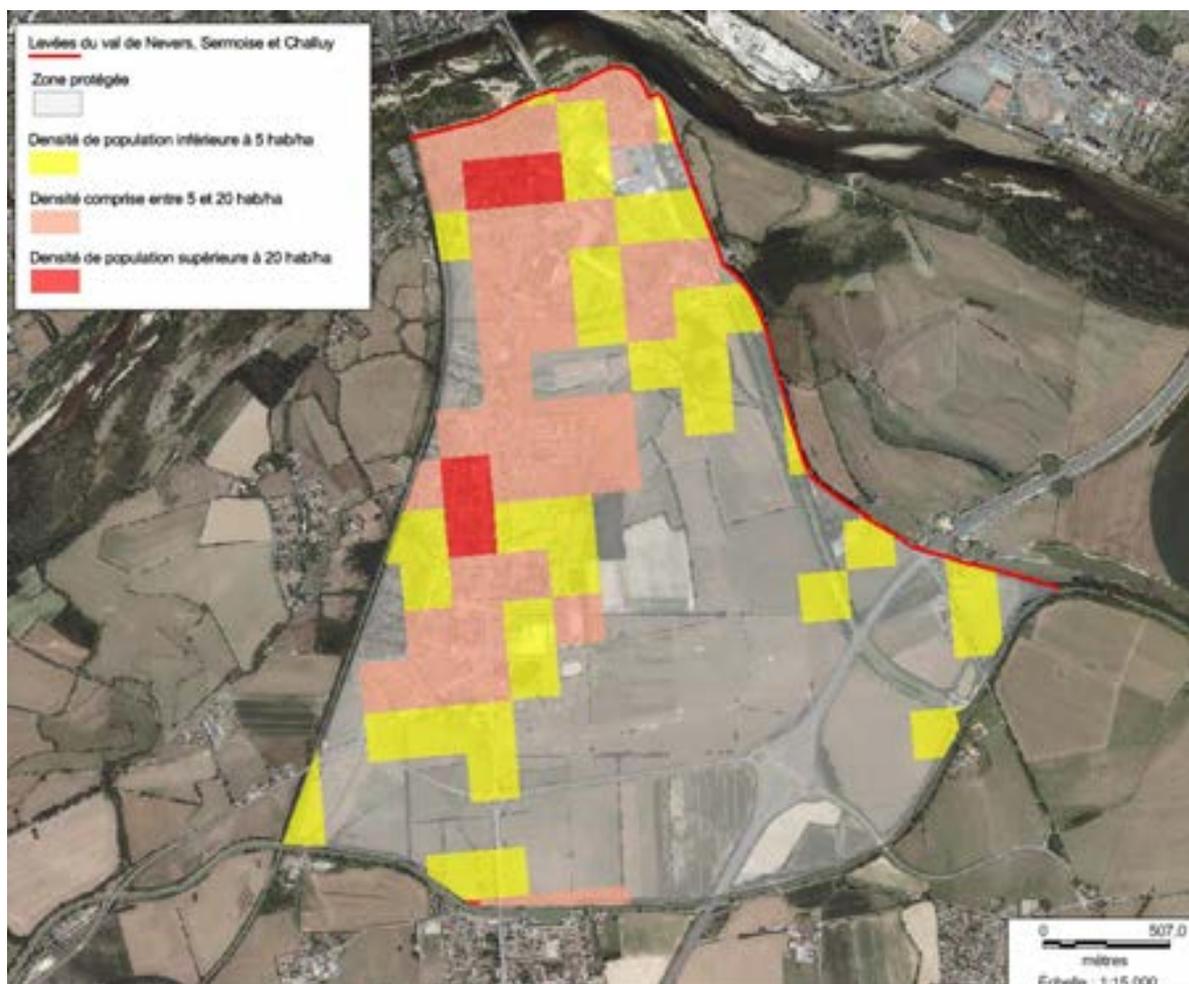


Figure 42 : Densité de la population dans le val de Nevers, Sermoise et Challuy (carroyage INSEE 2010)

Activités industrielles, agricoles, touristiques, commerciales

Les données EGRIAN de 2008 font état de 18 entreprises employant plus de 10 salariés. Parmi ces entreprises, il y a des garages ou concessionnaires automobiles, un hôtel, un centre commercial, une auto-école, ...

Les grandes entreprises sont « U shin » (ex valéo) (installée depuis 1974 à Nevers) qui emploie 500 salariés (source EGRIAN 2008), et « Intermarché » rue du faubourg de Lyon, regroupant un grand nombre de personnes. L'entreprise « U shin » est classée ICPE.

Les entreprises de plus de 10 salariés sont regroupées avant tout au niveau de la ZAC des Trappes, au niveau du canal de la Jonction et le long du faubourg de Lyon.

Par ailleurs, sont recensés des petits commerces de proximités, des restaurants-bars, des petites entreprises... qui participent également à la dynamique économique du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Une vingtaine de petits commerces ont été comptabilisés (alimentation, mode beauté, bars-cafés-restaurants...)

Aucun établissement n'est classé SEVESO.

Enjeux sensibles

Les enjeux « sensibles » sont les enjeux ayant une vulnérabilité importante. Pour définir les enjeux « sensibles » sur le val de Nevers, Sermoise et Challuy, deux classes d'enjeux ont été définis. Dans un premier temps les enjeux impactant directement la population, à savoir :

- Les lieux rassemblant du public :
 - Les lieux d'enseignements (écoles primaires, secondaires...)
 - Les infrastructures sportives
 - Etablissements recevant du public

Dans un second temps les enjeux à fortes valeurs, à savoir :

- Les lieux à enjeux décisionnels, notamment dans la gestion de crise.
 - Les administrations
 - Les casernes de pompiers
- Les lieux à enjeux patrimoniaux et points de gestion de l'eau.

Le val de Nevers, Sermoise et Challuy présente un nombre important d'enjeux sensibles directement liés à la population. Il a été quantifié, dans la mesure du possible, le nombre de personnes potentiellement en danger. Les chiffres de personnes exposées présentés ci-après ont été calculés à partir de chiffres réels et d'estimations.

Les sites cités ci-dessous ont été retenus dans la mesure où ils réunissent à la fois une forte densité de personnes, des personnes souvent vulnérables (enfants en bas âges...) et présentent des difficultés d'évacuation.

Tableau 12: Estimation de la population au niveau de sites à enjeux sensibles

Typologie de l'établissement	Localisation	Caractéristiques	Nombre de personnes impactées	Source
Enseignement et formations	AFPA 7-15 route de Sermoise	Etablissement, permettant la formation professionnelle pour les jeunes adultes	Données non trouvées – moins de 100 personnes	Estimations
	IME de Vauban, rue de la Bagatelle	Ecole pour enfants et adolescent handicapés	20 places	Site internet
Sportif	Le stade du pré fleuri (stade de rugby)	Enceinte sportive avec tribunes	7 600 personnes	Site internet du stade
	Terrain de sport au clos du Ry	Terrain multi sport de rue	30 personnes	Estimations

Typologie de l'établissement	Localisation	Caractéristiques	Nombre de personnes impactées	Source
Religieux	Centre évangélique protestant, rue de Sermoise	Lieu de culte	Données non disponibles	
Administratif	Centre social de la préfecture de la Nièvre, 8 route de Sermoise	Fédération des centres sociaux de la Nièvre	9 employés	Site internet
Autres ERP	Le long de la D907	2 Hôtels - 56 chambres Nevers - 28 chambres à Sermoise	150 personnes maximum à Nevers, 85 personnes maximum à Sermoise	Site internet + estimations
	Le long de la D907	Commerces (2 boulangeries, 1 snack et 1 supermarché)		
	4 bars et 1 restaurant sur la D907 et 1 restaurant sur la D13	Restaurants et bars (6)		

L'hippodrome de Sermoise sur Loire (fermé en 1965) et la piscine du canal de la Jonction (fermée et à l'abandon) n'ont pas été comptabilisés.

Certaines installations peuvent occasionner des problèmes en cas de crues. Il convient de les signaler en zones inondables non protégées par les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Il s'agit des installations suivantes :

- le camping de la Blanchisserie en lit majeur (directement exposé aux crues de la Loire) ;
- la station de traitement des eaux située à l'embranchement de la levée de Sermoise 2^e section et la levée du canal de la Jonction ;
- les populations et l'entreprise localisées rue du stand, entre la Loire et la levée de Gimouille ;
- des installations de loisirs type « Nevers plage » sont signalées à l'aval du pont de Loire ;
- un emplacement pour les gens du voyage à proximité de la levée de Gimouille.

Ces installations peuvent entraîner des dangers pour les populations et créer des embâcles pouvant empêcher le bon écoulement des eaux en période de crue.



Figure 44 : à gauche : installations en lit majeur pour "Nevers plage", à droite : camping de Nevers entre la Loire et la levée de la Blanchisserie

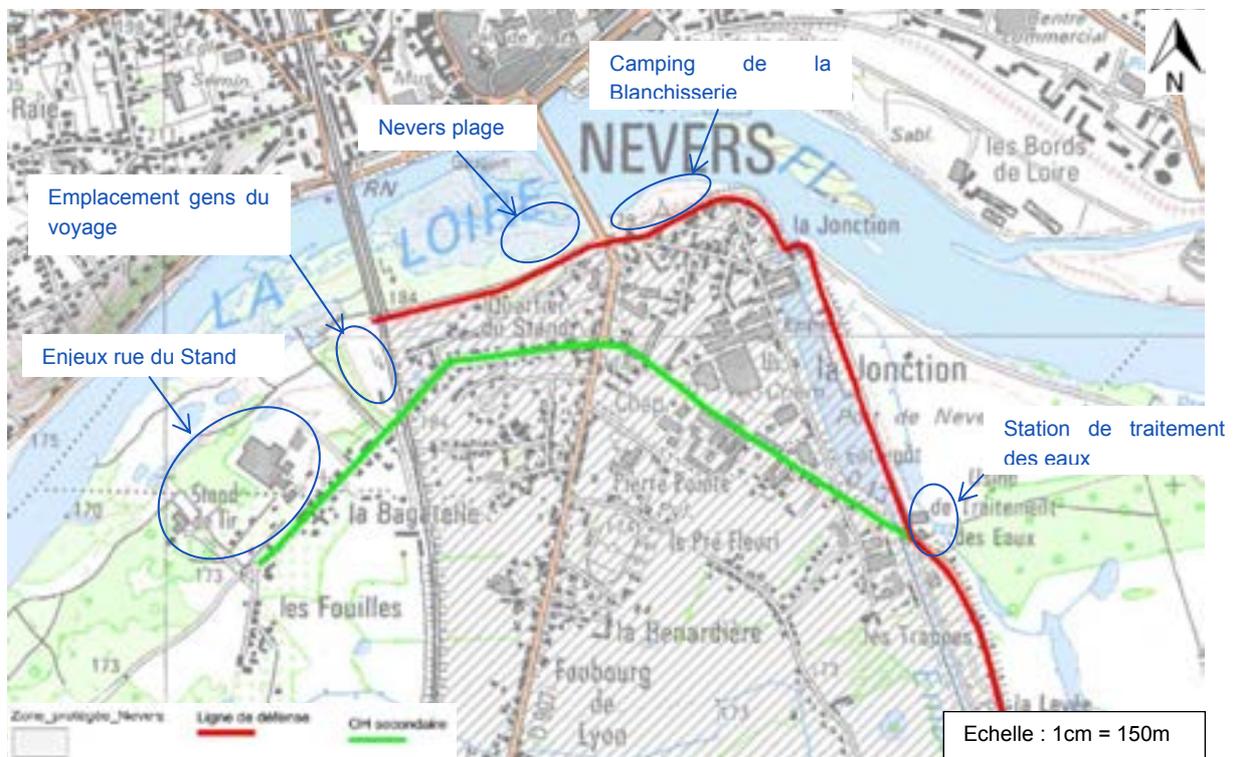


Figure 45 : Enjeux non protégés par le système de protection du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Infrastructures

Les infrastructures critiques du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont :

- des routes et autoroutes : D907, D13, D907a et A77 ;
- les ponts : le pont de Loire et le pont de la voie ferrée ;
- la voie ferrée ;
- le port du canal de la Jonction.



Figure 46 : Illustration du pont de Loire (décembre 2003)

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques principales de la zone protégée du val de Nevers, Sermoise et Challuy :

Tableau 13: Récapitulatif des caractéristiques de la zone protégée

Système de protection	Superficie du val	Délimitation	Population estimée (hab)	Activités	Enjeux	Infrastructures
Nevers	589,4 ha	Nord : levées de la Blanchisserie et Plateau de la Bonne Dame, Sud : canal latéral Loire, Est : remblai de la voie ferrée, Ouest : levée de Sermoise 1.	2372	Logements, Commerces, Entreprises	ERP, Ecoles, Infrastructures sportives, Loisirs (camping, Nevers plage)	D907, D13, D907a et A77 Ponts Voie ferrée Port de la Jonction

3.4 Classement des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

La zone protégée du val de Nevers, Sermoise et Challuy rassemble **2372 habitants**. La population protégée est bien comprise entre 1000 et 50000 habitants, fourchette pour le classement en digue de classe B.

La levée a une hauteur bien supérieure à 1 m.

Le classement en digue de classe B par arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009 pour les levées de Sermoise 1^{ère} section, Canal de le Jonction, Blanchisserie et Plateau de la Bonne Dame n'est donc pas remis en cause (classement au titre du décret de 2007).

Les levées de Sermoise 2^{ème} section et Gimouille ont été caractérisée d'ouvrages secondaires. Leur classement en digue de protection est, par conséquent, à revoir.

4. Présentation de la politique de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité (SGS)

4.1 Prescriptions réglementaires

Les démarches et documents à produire par les gestionnaires des digues de classe B sont synthétisés dans le tableau suivant (conformément au décret n°2007-1035 du 11 décembre 2007).

Tableau 14 : Obligations réglementaires pour les digues de classe B

	Ouvrage neuf	Ouvrage existant
Projet de réalisation ou de modification substantielle	Conçu par un organisme agréé, réalisé par un maître d'œuvre agréé unique	
Dossier de l'ouvrage	Dès le début de la construction	Avant le 31 décembre 2012
Registre de l'ouvrage	Pas obligatoire (conseillé)	Pas obligatoire (conseillé)
Diagnostic de sûreté (ou diagnostic initial)		Obligatoire
Consignes écrites de surveillance, d'exploitation et en temps de crue	Obligatoire dès la conception et approbation préalable par le préfet	Obligatoire et approbation préalable par le préfet
Visite technique approfondie	Tous les ans maximum après la construction et compte-rendu transmis au préfet	Tous les ans maximum et compte-rendu transmis au préfet
Rapport de surveillance	Tous les 5 ans maximum après la construction et transmis au préfet	Tous les 5 ans maximum et transmis au préfet
Revue de sûreté	5 ans maximum après la mise en service (fixée par le préfet) et ensuite tous les 10 ans maximum (réalisée par un organisme agréé) et transmission du rapport de sûreté au préfet	Tous les 10 ans maximum (réalisée par un organisme agréé) et transmission du rapport de sûreté au préfet

	Ouvrage neuf	Ouvrage existant
Étude de dangers	À la conception et actualisée au moins tous les 10 ans (réalisée par un organisme agréé)	Avant le 31 décembre 2014 (notification de l'obligation par le préfet) actualisée au moins tous les 10 ans (réalisée par un organisme agréé)
Diagnostic de sûreté dit de révision spéciale		À la demande du préfet (réalisé par un organisme agréé)

4.2 Organisation des gestionnaires de la digue

Par arrêté du premier ministre du 12 janvier 2010, la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT58) assure, sous l'autorité fonctionnelle des préfets des départements concernés, la gestion du domaine public fluvial sur la Loire et l'Allier dans les départements suivants :

- l'Allier
- le Cher
- la Nièvre
- la Saône et Loire

Elle assure les missions de gestionnaire du domaine public fluvial dont la surveillance et l'exploitation des digues domaniales de protection contre les inondations.

Les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont gérées par la DDT 58.

Le service en charge de la gestion de la Loire et des levées est le « Service Sécurité Prévention des Risques » qui comprend 6 unités dont la « Subdivision gestion de la Loire », l'unité « Sécurité routière et réglementation de la circulation » et l'unité « Connaissance et prévention des risques » chargées de la gestion des crises.

Une unité dédiée à la gestion du domaine public fluvial appelée subdivision gestion de la Loire assure les fonctions du gestionnaire et de l'exploitant.

La Subdivision gestion de la Loire comprend, en 2014, 19 agents dont le détail est donné sur l'organigramme ci-après. Les agents sont répartis sur trois sites.

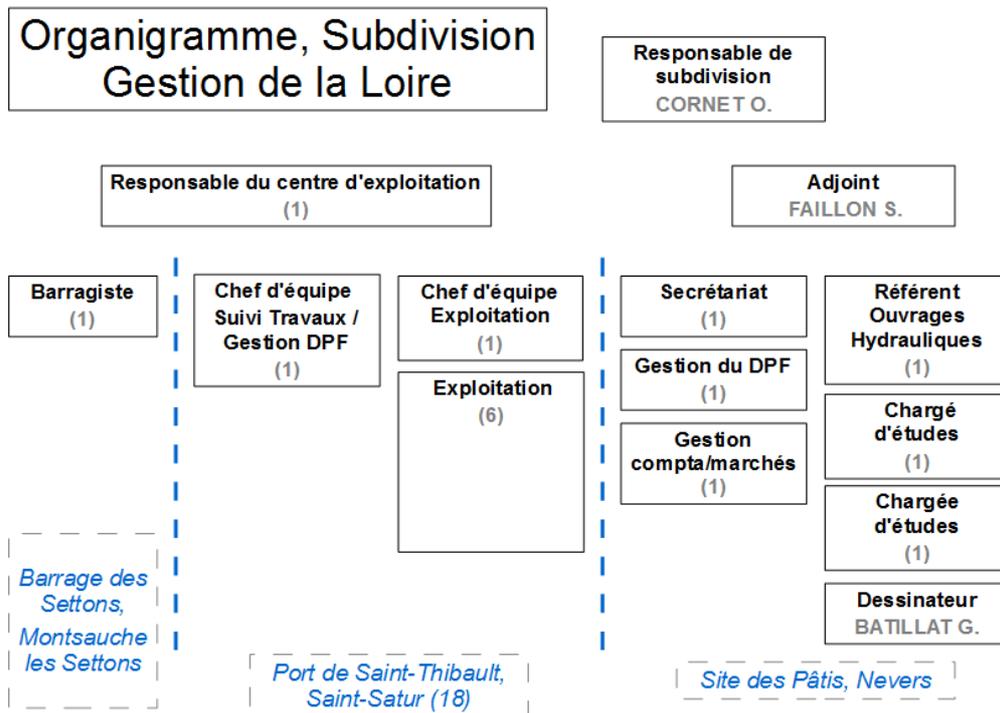


Figure 47 : Organigramme de la subdivision gestion de la Loire

Le val de Nevers, Sermoise et Challuy fait partie du secteur d'intervention dit « secteur Nevers ».

La Subdivision gestion de la Loire est en charge de l'entretien et de la surveillance au quotidien pour le val de Nevers, Sermoise et Challuy.

Pour les situations de crue, les agents de la DDT58 sont mobilisés. Dans ces conditions, jusqu'à une cinquantaine de personnes pourraient être mobilisées pour assurer la surveillance en crue (un binôme par secteur, 5 équipes par jour), auxquelles s'ajoutent des agents pour la coordination.

Le gestionnaire dispose aujourd'hui d'un Plan de Surveillance des Levées (PSL). C'est une description de l'organisation mise en place pour la surveillance de l'ensemble des systèmes de protection de la Loire dont il a la charge.

4.3 Consignes écrites

Conformément à l'article 5 de l'arrêté du 29 février 2008, modifié par l'article 1 de l'arrêté du 16 juin 2009, le gestionnaire a élaboré des consignes écrites qui fixent les dispositions qu'il met en œuvre pour surveiller l'ensemble des systèmes de protection de la Loire dont il a la charge, notamment les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy et dont le plan est le suivant :

- 1 – Les dispositions relatives aux visites de surveillance programmées et aux visites consécutives à des événements particuliers, notamment les crues et les séismes.
- 2 – Les dispositions relatives aux mesures d'auscultation
- 3 – Les dispositions relatives aux visites techniques approfondies
- 4 – Les dispositions spécifiques à la surveillance de l'ouvrage en période de crue (PSL)
- 5 – Les dispositions à prendre par l'exploitant en cas d'événement particulier
- 6 – Le contenu du rapport de surveillance

Seules les dispositions relatives aux mesures d'auscultation ne sont pas traitées dans le document. Les digues ne disposent pas de dispositif d'auscultation permettant leur surveillance.

Par contre, les autres volets sont traités et renvoient à d'autres documents, comme la description de l'organisation et le Plan de Surveillance des Levées (PSL).

La dernière version des consignes écrites a été rédigée en février 2014 et a été transmise au préfet de la Nièvre ainsi qu'au service de contrôle.

4.4 Surveillance

Comme précisé ci-dessus, la surveillance des levées dans le département de la Nièvre est organisée et décrite dans les consignes écrites qui précisent les différents types s'y rapportant : surveillance continue, annuelle, en crue (PSL) et post-crue.

Les informations recueillies lors des missions de surveillance sont répertoriées dans deux bases de données, qui permettent d'en faire une exploitation rapide et de conserver l'ensemble des informations sur les levées.

- Base de données cartographiques de la DDT58 (SIG des désordres, de la végétation, ...);
- Base de données SIRS Dignes mise au point par Irstea et utilisé par deux autres gestionnaires de digues : l'Association Départementale Isère Drac Romanche (AD Isère Drac Romanche) et le Syndicat Mixte interrégional d'Aménagement des digues du Delta du Rhône Et de la Mer (SYMADREM).

La surveillance est réalisée par le gestionnaire, par tous les agents de la Subdivision gestion de la Loire.

Cette organisation fait l'objet d'un document spécifique intitulé « Description de l'organisation », complété par le document sur la gestion des ouvrages traversants.

La subdivision gestion de la Loire s'appuie sur son centre d'exploitation basé à Saint-Satur (18) pour réaliser en régie les opérations d'entretien et de surveillance des digues.

Le suivi, la programmation et la supervision des opérations d'entretien et de surveillance des ouvrages est réalisé au siège de la subdivision située à Nevers.

4.4.1 Surveillance continue

Elle est aussi appelée **surveillance de routine**.

Elle est exercée par chaque agent amené à intervenir sur les digues, dans le cadre de son activité quotidienne sur le terrain (fauchage, visite de chantier, contrôle, ...). Il s'agit d'une surveillance visuelle, hors crue, qui consiste à repérer l'apparition de désordres afin de programmer des travaux préventifs.

La personne qui a observé le désordre ou l'événement le signale au centre de St-Satur qui se déplace sur site, contrôle l'information et le notifie dans le registre le cas échéant.

Les gestionnaires d'ouvrages portés par la digue, notamment les communes, participent également à cette surveillance continue sur les tronçons qui les concernent.

4.4.2 Surveillance périodique

La surveillance périodique se décompose en deux volets :

1- **les Visites Techniques Approfondies (VTA), réalisées chaque année conformément à la réglementation.**

La DDT58 a confié la réalisation des VTA à un prestataire extérieur de 2010 à 2014 (soit par un bureau d'études agréé, soit dans le cadre des études de dangers).

A partir de 2015, les VTA seront réalisées par une équipe pluridisciplinaire composée de personnel de la subdivision gestion de la Loire et d'un prestataire externe qui apportera une expertise sur la stabilité des ouvrages.

Leur compte-rendu précise, pour chaque partie de l'ouvrage et de ses abords, les constatations, les éventuels désordres observés, leurs origines possibles et les suites à donner en matière de surveillance, d'exploitation, d'entretien, d'auscultation, de diagnostic ou de confortement.

Les relevés détaillés des désordres font l'objet d'une saisie sur tableurs qui servent ensuite de supports pour renseigner le logiciel SIRS Digues.

En parallèle, la DDT58 a une base de données SIG qu'elle alimente avec les résultats des VTA.

2- **les visites de surveillance programmées réalisées par le gestionnaire 2 fois par an.**

La subdivision gestion de la Loire assure 2 visites annuelles de tous les ouvrages.

Ces visites sont réalisées par des agents du centre d'exploitation ayant une connaissance des digues. 2 agents parcourent les digues à pied.

Les visites font l'objet d'un report des observations et désordres sur un registre de surveillance, annexé au dossier d'ouvrage.

Un rapport de surveillance est réalisé annuellement en tenant compte des informations du registre de surveillance, de la main courante des événements particuliers (crues, incidents, EISH). - Art 6 de l'arrêté du 19/2/2008.

Deux inspections par an des ouvrages sont également programmées (vannes, bouchures, clapets). Lors de ces inspections, ils réalisent un essai des organes mobiles des ouvrages dont la

DDT58 a la gestion. La gestion de ces ouvrages hydrauliques domaniaux fait l'objet d'un document spécifique. Il reprend la surveillance en toute circonstance, la périodicité des visites et des actions d'entretien.

4.4.3 Surveillance en crue

4.4.3.1 Préambule

L'objectif de la surveillance des digues en temps de crue est de détecter tout désordre lié à la mise en charge de la digue et susceptible d'engendrer une défaillance, voire sa rupture, et d'en suivre l'évolution.

La surveillance en crue est visuelle et est à faire en véhicule et à pied, en continu ou ponctuellement, en allant successivement sur les sites sensibles.

Elle peut conduire à déclencher les actions nécessaires : travaux d'urgence, évacuation partielle ou totale de population de la zone protégée.

La situation de crue présentant par nature un caractère prévisible à court terme, il convient d'abord d'identifier les secteurs qui feront prioritairement l'objet d'inspection(s) et ce, en fonction de la connaissance que le service gestionnaire a de l'état des digues (grâce à la reconnaissance initiale et aux surveillances de routine).

Une surveillance est maintenue à la décrue afin de repérer les désordres spécifiques à cette période, qui peuvent remettre en cause la stabilité de la digue, même une fois le pic de crue passé.

4.4.3.2 Situation actuelle

La surveillance des levées en temps de crue dans le département de la Nièvre est organisée et décrite dans le Plan de Surveillance des Levées. Il a été établi à la suite des conclusions du groupe de travail *ad hoc* piloté par la DREAL de bassin réunissant les principales DDT gestionnaires de digues (DDT 58, 45, 41, 37, 49) et dont les conclusions ont été validées lors de la commission administrative de bassin Loire-Bretagne du 4 décembre 2012. Il répond à l'instruction du 28 août 2013 du préfet de bassin demandant la mise à jour des PSL.

C'est un document complet, composé de quatre parties (A-coordination, B-Surveillance, C-formation, D-annexes). Il est opérationnel est destiné à :

- décrire l'organisation de la surveillance en cas de crue ;
- décrire le suivi des crues ;
- organiser la surveillance des digues ;
- organiser la gestion des ouvrages vannés ;
- décrire les interventions sur l'ouvrage ;
- assurer la transmission d'information vers les autorités compétentes.

Les digues surveillées sont regroupées en 5 secteurs. Le linéaire de chacun des postes impose de concentrer l'attention des équipes sur les points singuliers connus, recensés dans les fiches secteurs (partie B1 du PSL) qui mentionnent les points de surveillance et les points de stationnement.

Cette surveillance peut être demandée de façon progressive selon le niveau d'eau prévu ou constaté, et être organisée en fonction de l'importance de la crue annoncée et des moyens en personnels et matériels disponibles, pour repérer au plus tôt l'apparition de désordres importants (pouvant engendrer l'ouverture d'une brèche et déclencher une éventuelle intervention d'urgence).

Le PSL est déclenché dès l'atteinte du premier niveau de vigilance jaune sur les tronçons Loire Bourguignonne ou Loire Giennoise.

On distingue deux niveaux de surveillance selon la gravité de la crue prévue par le service de prévision des crues compétent (SPC Loire-Cher-Indre) situé à la DREAL Centre.

- Le **premier niveau** (surveillance de niveau N1) correspond à une **surveillance de jour, 7j/7, aux heures ouvrables**, y compris durant les congés de fin de semaine et les jours fériés. Il est déclenché à des moments différents pour les différentes digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Pour Sermoise 1^e section, il est déclenché dès lors que la cote de 2,40 m est atteinte sur l'échelle de hauteur d'eau de Nevers (la Jonction). Cette hauteur correspond à une charge sur la digue de 0,50 m.
- Le **second niveau** correspond à une **surveillance jour et nuit, 7j/7, 24h/24, tous les jours** y compris durant les congés de fin de semaine et les jours fériés (principalement sur des points particuliers). Il est déclenché à des moments différents pour les différentes digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Pour Sermoise 1^e section, il est déclenché dès lors que la cote de 3,90 m est atteinte sur l'échelle de hauteur d'eau de Nevers (la Jonction). Cette hauteur correspond à une charge sur la digue de 2,00 m.
- Un troisième niveau est défini. Il correspond à l'arrêt de la surveillance. Il est déclenché dès lors que la cote de 4,80 m est atteinte sur l'échelle de hauteur d'eau de Nevers (la Jonction).

Tous les agents pouvant être mobilisés pour la surveillance en crue seront en priorité issus des corps techniques des différents services composant la DDT, devront être déclarés aptes par le médecin de prévention et auront reçu une formation préalable.

L'organisation générale de la surveillance est crue est décrite dans le document « Missions de coordination » (A1 du PSL).

La communication est primordiale, notamment pour la sécurité des agents et pour alerter en cas d'observation d'un désordre. Elle fait l'objet d'un fascicule dédié (A6 du PSL), complété par un annuaire de crise (A7).

Enfin, toutes les actions réalisées au cours de la crue sont indiquées dans la main courante (prévisions, observations, communications, actions, seuils dépassés, ...).

En cas de désordre nécessitant une information immédiate, la coordination informe la préfecture et les services concernés avec les fax de déclaration Evènement Important pour la Sûreté Hydraulique (EISH).

Les EISH ont été définis suite :

- au décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement ;
- à l'arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration.

L'arrêté fixe les délais de déclaration en fonction du niveau de l'évènement (niveau rouge pour accident, à transmettre immédiatement ; niveau orange pour incidents graves, à transmettre dans les meilleurs délais ; niveau jaune pour incidents, à transmettre dans l'année).

4.4.4 Surveillance post-crue

Des visites consécutives aux crues peuvent être réalisées en fonction des informations reportées dans la main courante du Plan de Surveillance des Levées.

Au regard des désordres observés et des conditions d'intervention à l'échelle du bassin de la Loire, le gestionnaire s'appuiera sur les compétences des services techniques centraux du MEEDE et de la DREAL de bassin (bureau d'études agréé) afin de procéder à des visites d'inspection.

Compte tenu de la propagation de la crue à l'échelle du bassin, une cellule d'expertise ne pourra pas être mise à disposition dès la fin de l'évènement. Dans le cas d'indisponibilité, le gestionnaire se tournera vers un bureau d'études agréé externe au ministère.

La visite post-crue consiste à examiner le linéaire de digue ayant été mis en charge lors de la crue. Elle permet notamment de vérifier et compléter les informations recueillies pendant la crue.

Les objectifs de la visite post-crue sont de :

- identifier et d'évaluer les dommages subis par les digues ;
- donner le relevé de l'ensemble des désordres résultant des contraintes hydrauliques ou mécaniques externes subies par la digue (charge hydraulique, surverse, vagues) ou des mécanismes internes déclenchés par la mise en eau (circulations d'eau à travers la digue ou sous le corps de digue), sans négliger les indices de surverse (herbe couchée, ravinement) ;
- estimer l'importance des désordres ;
- de définir les travaux à réaliser ;
- de définir les priorités des interventions en vue de l'engagement des travaux de réparation ;
- de définir les solutions techniques de réparation d'urgence ;
- de définir une estimation financière des dépenses ;
- de remettre en état les digues avant la prochaine crue.

4.4.5 Surveillance exceptionnelle

Une surveillance exceptionnelle doit être mise en place en cas de survenance d'un événement exceptionnel qui pourrait avoir un impact sur la résistance de la digue.

Les événements qui pourraient déclencher une telle surveillance sont :

- un séisme ;
- un embâcle de fort tonnage ;
- un mouvement de terrain (effondrement karstique...).

Il est indiqué dans le PSL que :

- les visites après tempêtes consistent à un parcours en véhicule sur les digues visant à vérifier des désordres sur les végétaux qui pourraient obstruer le passage d'engins sur l'ouvrage. Le déblaiement est réalisé en régie.
- les visites consécutives à un séisme seront des VTA réalisées avec un bureau d'études agréé.

Pour les autres événements, cette surveillance devrait également prendre la forme et l'organisation d'une visite technique approfondie sur la totalité de la digue, ou localement si l'évènement n'affecte qu'une partie de celle-ci. C'est le cas notamment des mouvements de terrain.

L'évènement sera déclaré comme EISH et sera classé conformément à l'arrêté du 21 mai 2010 « définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptible de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration ».

4.4.6 Perspectives à moyen terme

Les documents produits sur la surveillance ne mentionnent pas si le gestionnaire est en mesure actuellement d'assurer une surveillance précise et exhaustive des levées en crue. A priori, comme il n'y a que 5 secteurs, le vivier des agents techniques de la DDT58 est suffisant.

Néanmoins, la surveillance de niveau 2 (7j/7, 24h/24) n'est réalisée que sur les points particuliers et pas sur l'ensemble des digues.

4.5 Actions en cas d'urgence

Il n'est pas fait mention dans le PSL d'actions à mener en cas d'urgence. Or, en cas de dégradations avérées ou d'indices de rupture, le gestionnaire doit pouvoir intervenir de façon mesurée.

La DDT 58 ne possède pas de marché de travaux d'urgence.

En outre, dès qu'un événement se produit, la procédure d'EISH permet, en cas d'accident, de prévenir immédiatement le préfet. Si nécessaire, celui-ci peut alerter les populations et déclencher le dispositif d'Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC) avec mise en place d'une cellule de crise.

4.6 Procédures d'évaluation du risque

4.6.1 Diagnostic initial

Le diagnostic initial des digues du val de Nevers, Sermoise et Challuy a été réalisé en septembre 2012.

4.6.2 Études de dangers

La présente étude constitue la première étude de dangers du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Elle sera, au plus tard, actualisée dans les dix ans, soit en 2024. Elle pourra faire l'objet d'une actualisation avant cette date si la situation l'exige, notamment en cas de crue forte ou de séisme important.

4.6.3 Revues de sûreté

La revue de sûreté permettra d'évaluer l'impact des préconisations de l'étude de dangers issues de la rubrique 9. La première revue de sûreté de la digue de Nevers est demandée par l'arrêté de classement du 10 novembre 2009 avant le 31 décembre 2012, puis tous les dix ans. A ce jour, aucune revue de sûreté n'a été réalisée.

4.7 Exercices

Des exercices sont mis en œuvre par les services de l'Etat, au moins une fois par an, pour tester le dispositif du PSL. Ces exercices servent de formation pour les agents chargés de la coordination ou de la surveillance. La formation pour la mise en œuvre du PSL est détaillée dans le fascicule C du PSL.

4.8 Prévention des risques

4.8.1 Prévention des risques majeurs

La prévention des risques majeurs commence par l'information et, en ce qui concerne le risque d'inondation, elle est essentiellement réalisée par :

- la préfecture, via le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) ;

C'est une première étape d'information du citoyen. Il précise, pour chacune des communes concernées du département, le ou les risques naturels ou technologiques auxquels ses habitants peuvent un jour être exposés. Il mentionne les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde, et décrit les actions engagées. Il relate également les événements les plus marquants survenus dans le département.

Ce document est établi par le préfet et transmis aux maires de chaque commune concernée.

Il constitue enfin une aide pour l'élaboration de documents communaux liés au recensement des risques tels que les Dossiers d'information communaux sur les risques majeurs (DICRIM) et les Plans communaux de sauvegarde (PCS).

- la mairie, via le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) ;

Chaque commune impactée par un risque majeur doit réaliser ce document qui constitue la deuxième étape d'information du citoyen. Ce document établi par le maire est consultable en mairie.

Le DICRIM fournit des consignes individuelles de sécurité en cas d'évènement majeur (signal d'alerte, mise à l'abri, consignes en cas d'évacuation...).

Les communes de Nevers, Sermoise-sur-Loire et Challuy disposent chacune d'un DICRIM, actualisé en 2013.

- la mairie, via le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) ;

Obligatoire pour les communes dotées d'un Plan de Prévention des Risques Naturels, l'objectif est de mettre en œuvre une organisation prévue à l'avance, au niveau communal, en cas de survenance d'un évènement. L'organisation prévue va coordonner les moyens et les services pour optimiser la réactivité de la commune. Le Plan Communal de Sauvegarde est consultable à la Mairie.

Chacune des communes concernées dispose d'un PCS, avec une mise à jour en février 2010 pour Nevers, juin 2014 pour Sermoise-sur-Loire et septembre 2011 pour Challuy.

4.8.2 Prévention des risques d'inondation

4.8.2.1 Prévision des crues

La loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, prévoit dans son article 41, que l'organisation de la surveillance, de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues est assurée par l'État.

Sur chaque grand bassin hydrographique est élaboré un Schéma Directeur de Prévision des Crues (SDPC) et nommé un Service de Prévision des Crues (SPC) qui établit un Règlement de surveillance, de prévision et de transmission de l'Information sur les Crues (RIC).

Le Service de Prévision des Crues (SPC) concentre les moyens d'expertise et approche, autant que possible, les activités de prévision des crues et d'hydrométrie.

Le secteur d'étude est concerné par le SPC Loire - Cher – Indre (DREAL Centre).

Le Règlement de surveillance, de prévision et de transmission de l'Information sur les Crues du secteur Loire-Cher-Indre a été approuvé le 23 décembre 2013.

4.8.2.2 Seuil de vigilance

Une carte de vigilance nationale est élaborée deux fois par jour par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI), sur la base des informations fournies par chaque SPC (hydrométrie, pluviométrie...) et mise en ligne sur le site internet : www.vigicrues.ecologie.gouv.fr.

La carte représente les cours d'eau du linéaire d'intervention de l'État dont chaque tronçon se voit affecté une couleur représentative du degré de vigilance qu'il convient d'adopter compte tenu de la situation hydrométéorologique la plus probable à l'horizon de l'échéance d'anticipation.

- Rouge : risque de crue majeure. Menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens.
- Orange : risque de crue génératrice de débordements importants susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective et la sécurité des biens et des personnes.
- Jaune : risque de crue ou de montée rapide des eaux n'entraînant pas de dommages significatifs, mais nécessitant une vigilance particulière dans le cas d'activités saisonnières et/ou exposées.
- Vert : pas de vigilance particulière requise.

Le secteur de Nevers/Decize se situe dans le grand bassin hydrographique Loire-Bretagne et dans le tronçon « Loire nivernaise » (la Loire du confluent de l'Arroux au confluent de l'Allier).

La station de référence pour les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy est l'échelle située à l'ancienne écluse de la Jonction.

Les seuils de vigilance, mesurés à la échelle de Nevers, sont donnés dans le paragraphe ci-après.

4.8.2.3 Organisation de la mise en sécurité des populations

Les différentes études réalisées sur les crues de la Loire concluent à un risque très important de rupture des levées. Les populations présentes dans les vals protégés par ces ouvrages, seront mises en danger si une crue exceptionnelle du fleuve survient. Face à ce risque, l'État se doit de préserver la sécurité des habitants et, en conséquence, prévoir l'évacuation préventive des vals endigués.

Le gestionnaire a alors élaboré un document pour la **gestion des crises d'inondation**, qui identifie les seuils d'évacuation rattachés aux stations de prévision des crues, en utilisant les résultats des différentes études réalisées sur les digues.

Ce document traite uniquement des niveaux d'évacuation des populations soumises à un risque de rupture de digue. Les secteurs inondés directement, les modalités pratiques et l'hébergement ne sont pas étudiés.

La présente étude de dangers permettra de préciser le niveau de sûreté à prendre en compte pour l'activation d'un plan de mise en sécurité des populations.

La surveillance des digues s'inscrit dans un dispositif global de gestion de crise, rappelé dans le fascicule A1 du PSL.

La chaîne qui va de la prévision des crues, en amont, jusqu'à une éventuelle décision d'évacuation passe par la mise en œuvre progressive de dispositions contenues dans les plans de communaux de sauvegarde, le plan ORSEC et le plan de surveillance des levées (PSL).



Figure 48 : Dispositif global de gestion de crise, de la prévision de crue à l'évacuation

Le seuil d'évacuation préventive du val de Nevers, Sermoise et Challuy est fixé à 4,80 m à l'échelle de crues.

Le graphique ci-après récapitule tous les niveaux (seuils vigilance, niveaux PSL, niveau d'évacuation).

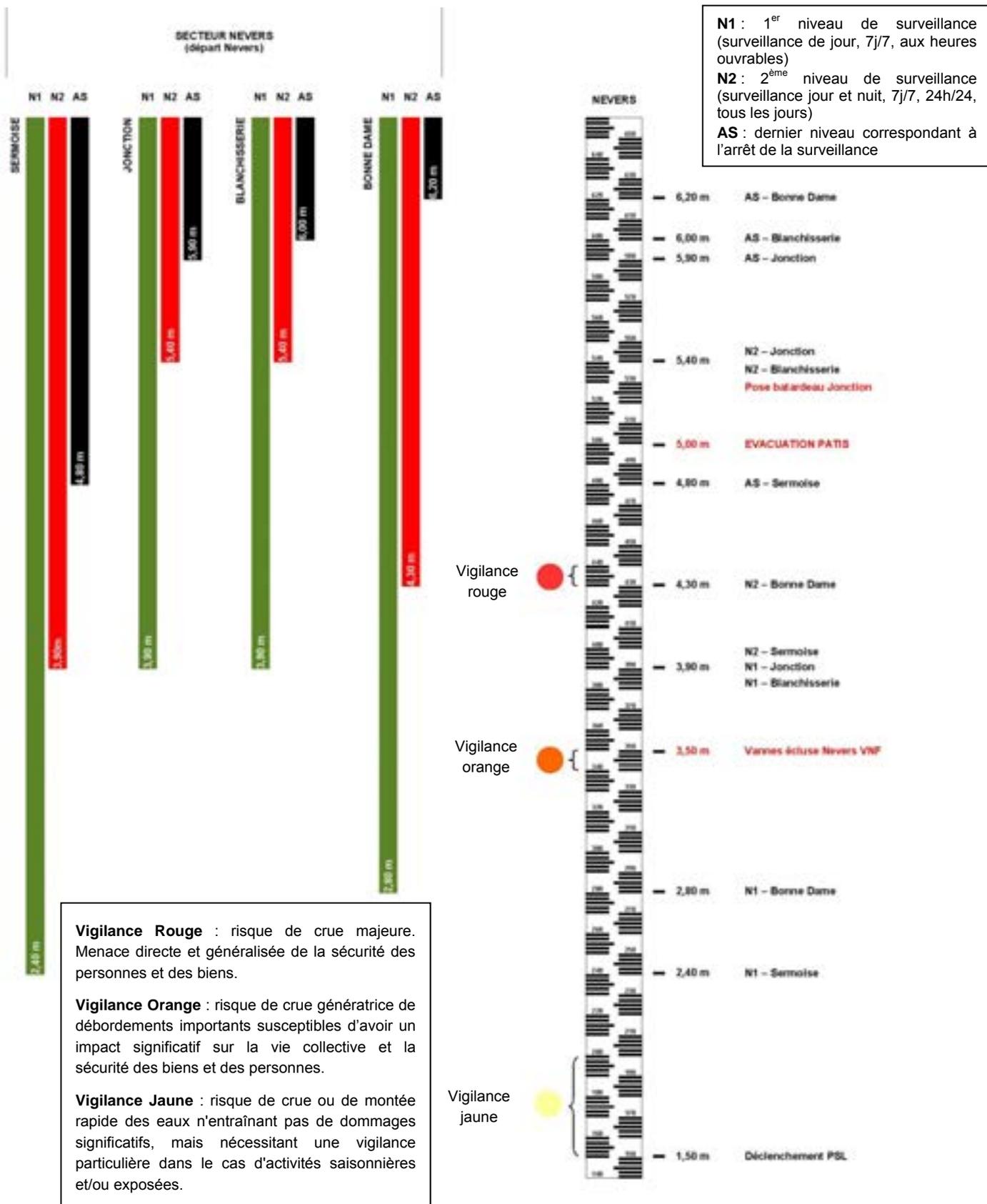


Figure 49 : Echelle de surveillance du PSL de Nevers

4.9 Dossier d'ouvrage

La DDT58 a commencé à élaborer les dossiers d'ouvrage.

Un classement par tronçon de digue a été adopté.

Il s'agit d'extraire, de regrouper et de classer toutes les informations sur les digues dont le gestionnaire dispose dans les archives et dossiers divers :

- plans ;
- études ;
- travaux réalisés ;
- autorisations d'occupation temporaire, etc.

Ce classement est fait selon les chapitres suivants :

- A-Documents relatif à l'ouvrage (présentation de l'ouvrage, éléments techniques des ouvrages, occupation du DPF)
- B-Description de l'organisation (organigramme, organisation)
- C-Consignes écrites,
- D-Annexes.

4.10 Avis du rédacteur de l'étude de dangers

La DDT58 dispose de consignes écrites et d'un Plan de Surveillance des Levées complet et bien organisé. La gestion des ouvrages est satisfaisante pour l'ensemble des missions.

Le linéaire de digues est d'environ 60 km et la bonne surveillance nécessite d'avoir un vivier d'au moins 50 personnes, formées et déclarées aptes par le médecin de prévention.

La particularité du val de Nevers, Sermoise et Challuy est qu'il est inondé bien avant le risque de rupture d'une digue, à l'exception des habitations situées entre les lignes de défense principales et secondaires. Il est donc nécessaire de bien prévoir les évacuations des personnes.

L'amélioration du niveau de sûreté ne permettra pas de retarder l'évacuation préventive de la population.

5. Identification et caractérisation des potentiels de dangers

Selon l'arrêté du 12 juin 2008 précisant le contenu de l'étude de dangers, pour les digues, les potentiels de dangers à considérer résultent de la libération accidentelle d'eau dans le lit majeur suite à :

- Une rupture d'une partie de la digue ;
- Un déversement sur la digue, sans qu'elle ne rompe ;
- Un dysfonctionnement ou une manœuvre d'un organe de cette digue.

Ces potentiels de dangers sont, d'une façon générale, propres à l'ouvrage étudié. Ils sont également liés à la quantité d'eau que l'ouvrage peut libérer. Les potentiels de dangers sont ainsi caractérisables par des facteurs de sensibilité intrinsèques aux digues considérées et aux mécanismes de ruptures susceptibles de se produire, l'objectif étant de définir le débit libérable par rupture des digues en fonction des mécanismes de rupture plausibles. Les modes de ruptures et accidents dépendent étroitement de la sensibilité de la digue aux désordres potentiels affectant un ou plusieurs des paramètres, comme décrit dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15 : Evénements possibles et facteurs de sensibilité associés sur les digues en terre (source : EdD de Tours)

Accident potentiel	Facteurs de sensibilité associés
Surverse sans rupture	L'importance de la crue La capacité d'endiguement La présence de déversoirs et leur fonctionnalité
Rupture par surverse	L'importance de la crue La capacité d'endiguement La présence de déversoirs et leur fonctionnalité Les caractéristiques géotechniques et la nature du revêtement côté plaine
Rupture par érosion externe	L'importance de la crue La morphologie de la rivière La nature et l'état de la protection du talus de la digue côté rivière La vitesse moyenne de l'eau le long du talus
Rupture par érosion interne	L'importance de la crue Les caractéristiques géotechniques (dont nature des matériaux constitutifs) La présence de zones de circulations préférentielles dans le corps de la digue
Rupture d'ensemble (ou Grand glissement)	L'importance de la crue Le profil de la digue en remblais La piézométrie Les caractéristiques géotechniques (dont nature des matériaux constitutifs) Présence d'ouvrages encastrés dans le corps de digue

Pour la levée de Nevers, les potentiels de dangers résultent principalement de l'irruption accidentelle d'eau à l'intérieur de la zone protégée. Les situations d'entrée d'eau, par ordre de gravité décroissante, sont les suivantes :

- Ouverture d'une brèche partielle ou totale sur un tronçon de levée ;
- Première surverse au-dessus de la crête d'un tronçon de levée ;
- Défaut ou absence de fermeture des protections amovibles (bouchures) ;
- Dysfonctionnement des clapets anti-retour des ouvrages traversants la levée ;
- Entrée d'eau par remous en aval du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

Deux autres phénomènes, qui ne sont pas liés aux digues, peuvent être responsables d'inondations dans les vals lors de crues de la Loire :

- Remontée de nappe dans le val en arrière des levées ;
- Inondation par les affluents et ruissellement urbain.

Rappel (cf note historique) : Le val de Nevers, Sermoise et Challuy est inondé à plusieurs reprises lors des 3 épisodes de crues du XIXème siècle suite à l'ouverture de brèches. En effet, la levée de Sermoise 1^{ère} section est rompue au cours des 3 grandes crues : 5 brèches s'ouvrent dans la levée en 1846, puis une brèche de 100m de long et 9m de profondeur en 1856 et une brèche de 150m de long en 1866. La levée du Plateau de la Bonne Dame est rompue par une brèche de 200m de long en 1856 et par une brèche de 100m de long en 1866. La levée de Gimouille est rompue par une brèche de 300m de long et un affouillement de 75m se crée en pied de digue suite à la crue de 1856.

5.1 Ouverture d'une brèche partielle ou totale sur un tronçon de levée

La libération de l'eau de la Loire vers le val, en cas de brèche dans le système de protection, dépend de l'importance de la crue ou autrement dit de la hauteur de charge au niveau de la digue et des caractéristiques de la brèche qui affecte le système de protection (longueur et hauteur de la brèche). Elle sera d'autant plus violente que :

- Le niveau d'eau de la Loire sera plus haut par rapport au niveau des terrains dans la zone protégée ;
- La brèche sera plus importante.

La hauteur d'une digue est définie par la dénivellation entre le sommet de la levée (sans banquettes) et le niveau moyen du terrain naturel côté val à proximité. **La hauteur moyenne des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy atteint 2,70 mètres.**

Avec prise en compte de la hauteur d'influence de la rehausse de la levée de Sermoise 1^{ère} section, la hauteur moyenne des digues s'élève à 3,6 mètres.

Cette situation est potentiellement dangereuse car elle conduirait à une inondation d'une intensité très forte en arrière immédiat de la digue en cas de brèche. La libération de l'eau serait brutale, les vitesses des écoulements libérés seraient très importantes, ce qui induirait une mobilisation des matériaux du corps de digue, de la fondation de l'ouvrage et du terrain naturel du val, entraînant la création d'une fosse d'érosion. **La partie du val en arrière immédiat de la digue est, de ce fait, considérée comme une zone de danger extrême du fait de la dissipation d'énergie de la brèche.**

Cas particulier du mur-digue de l'ancienne écluse de la Jonction

Un mur-digue fait partie de la ligne de défense principale du système d'endiguement de Nevers. Il se situe au droit de la piscine de Nevers, entre les levées du canal de la Jonction et de la Blanchisserie.

Comme indiqué dans le rapport d'ANTEA (démolition de la piscine de Nevers), « L'ouvrage d'art au voisinage du dernier bassin situé en aval de l'écoulement semble être composé de maçonnerie. La chronologie de la construction des ouvrages permet d'établir que l'ouvrage d'art était déjà réalisé lors de la construction des bassins. Ainsi il semble que la structure de fermeture du tirant d'air de l'ouvrage soit indépendante de la structure de l'ouvrage. »

La structure inférieure a vraisemblablement été réalisée en béton armé et les zones d'interface entre la levée en terre et l'ouvrage ne présentent pas de défaillance particulière.

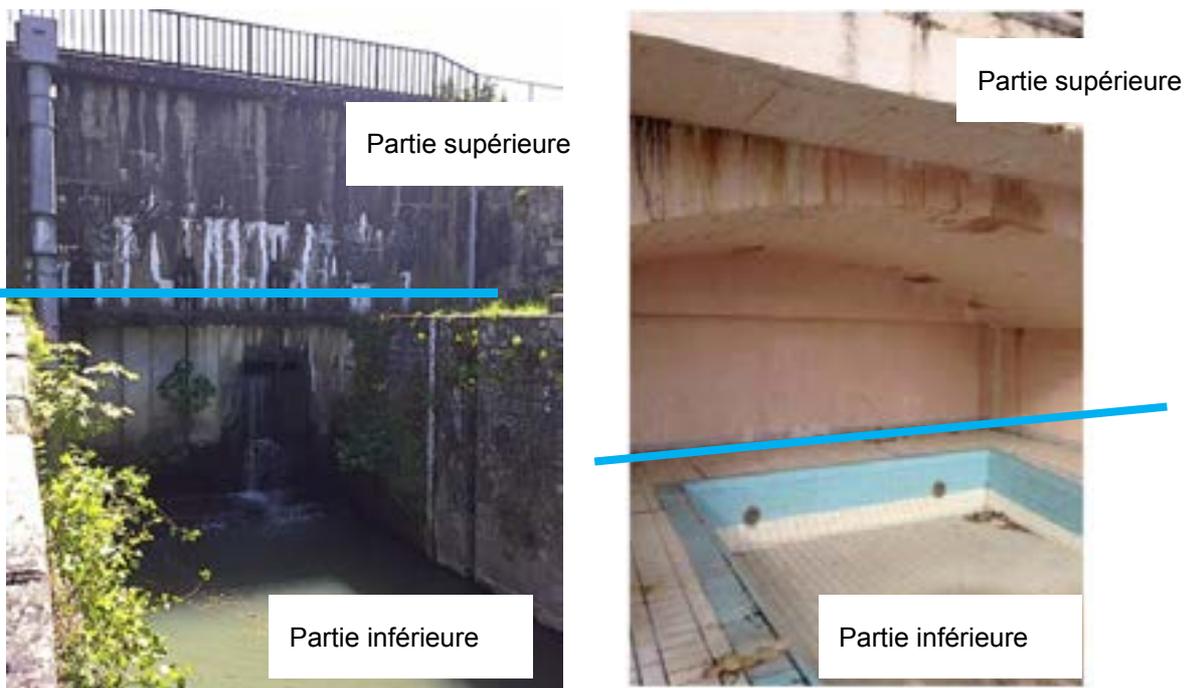


Figure 50 : Mur-digue (vue côté Loire – egis eau, vue côté ancienne piscine – ANTEA)

Le risque de défaillance concerne donc la partie supérieure du mur, pour laquelle peu de données sur sa composition sont disponibles. **Cette section de mur a une hauteur de 2,6m et une largeur en pied de 8,1m.** La cote du bas du mur est de 175,10mNGF ce qui correspond à la cote du déversoir du port.

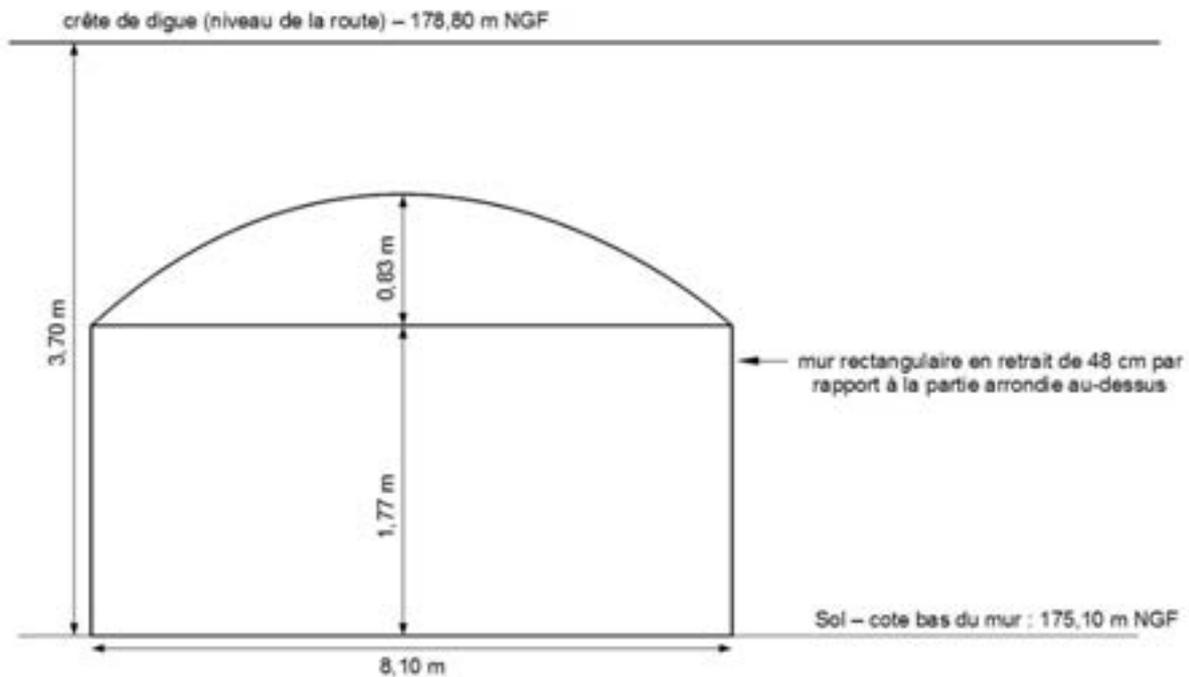


Figure 51 : Plan du mur de l'ancienne piscine de la Jonction (comblement du tirant d'air)

5.2 Charges hydrauliques en crue de la Loire s'appliquant sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Afin de faciliter la lecture des tableaux pages suivantes, les hauteurs d'eau estimées pour chacune des crues testées sont données ci-dessous :

Crue testée	Crue 2003	T50	T70	T100	T170	T200	T500	T1000
Hauteur d'eau estimée (m)	4,88	4,12	4,43	5,08	5,27	5,61	6,12	6,5

Les tableaux pages suivantes donnent les charges hydrauliques par tronçon pour chacune des crues testées. Des charges hydrauliques supérieures à 2m sont observées dès la crue T50 sur plusieurs profils de la levée de Sermoise 1^{ère} section.

Une charge hydraulique supérieure à 2m est atteinte pour plusieurs profils pour des crues T70 ou supérieures, sur les levées de Sermoise 1^{ère} section et du Plateau de la Bonne Dame.

Ces charges hydrauliques élevées sont un des critères qui permettent d'expliquer des probabilités de rupture évènementielles élevées pour certains profils.

Tableau 16 : Charges hydrauliques s'appliquant aux différents tronçons des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy

N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Localisation	Ldigue	Hauteur de la digue	2003,00	50,00	70,00	100,00	170,00	200,00	500,00	1000,00
1	50,115	La Bonne Femme	-	-								
2	100,002	La Bonne Femme	16,35	1,30	-1,24	-0,94	-0,63	0,03	0,24	0,59	1,15	2,09
3	150,057	La Bonne Femme	18,53	1,32	-0,57	-0,27	0,05	0,71	0,91	1,26	1,82	2,20
4	200,057	La Bonne Femme	18,20	2,48	0,51	0,81	1,12	1,78	1,99	2,34	2,90	2,20
5	250,080	La Bonne Femme	19,63	2,80	0,98	1,28	1,59	2,25	2,46	2,81	2,68	2,19
6	300,083	La Bonne Femme	20,54	2,45	1,09	1,39	1,70	2,36	2,57	2,92	3,48	2,19
7	350,085	La Bonne Femme	22,17	2,71	1,50	1,80	2,11	2,78	2,98	3,34	3,74	2,18
8	400,250	La Bonne Femme	36,39	2,41	1,32	1,62	1,93	2,60	2,81	3,16	3,73	2,17
9	450,271	La Bonne Femme	46,26	3,80	1,79	2,09	2,41	3,07	3,28	3,63	4,20	2,15
10	507,823	La Bonne Femme	19,07	4,63	0,17	0,47	0,79	1,45	1,70	1,99	2,56	2,14
11	621,024	te de Sermoise D13 / Pête à	63,97	1,49	0,26	0,56	0,87	1,50	1,70	2,49	2,53	2,60
12	654,761	te de Sermoise D13 / Pête à	31,56	2,84	0,91	1,21	1,52	2,15	2,34	2,49	2,53	2,60
13	704,653	te de Sermoise D13 / Pête à	25,14	2,90	1,02	1,32	1,63	2,26	2,45	2,49	2,53	2,60
14	754,668	te de Sermoise D13 / Pête à	19,52	3,00	0,92	1,22	1,53	2,16	2,35	2,49	2,53	2,60
15	804,719	te de Sermoise D13 / Pête à	21,21	3,44	1,39	1,69	2,01	2,65	2,84	2,45	2,53	2,60
16	854,734	te de Sermoise D13 / Pête à	38,18	2,47	0,50	0,80	1,12	1,75	1,95	2,28	2,53	2,60
17	904,964	te de Sermoise D13 / Pête à	21,86	2,97	1,15	1,45	1,77	2,41	2,53	2,50	2,53	2,60
18	954,977	te de Sermoise D13 / Pête à	20,34	3,02	1,43	1,73	2,05	2,69	2,53	2,50	2,53	2,60
19	1005,026	te de Sermoise D13 / Pête à	20,70	3,17	1,62	1,92	2,24	2,88	2,53	2,50	2,53	2,61
20	1055,196	te de Sermoise D13 / Pête à	21,97	3,50	1,84	2,14	2,47	3,11	2,52	2,49	2,53	2,61
21	1105,309	te de Sermoise D13 / Pête à	22,64	3,58	1,93	2,23	2,56	3,20	2,52	2,49	2,53	2,61
22	1156,050	te de Sermoise D13 / Pête à	18,28	3,47	1,88	2,18	2,51	3,15	2,52	2,49	2,53	2,60
23	1206,407	ute de Sermoise D13 / la Lev	21,70	2,04	0,48	0,78	1,10	1,75	1,94	2,28	2,52	2,60
24	1256,952	ute de Sermoise D13 / la Lev	43,67	1,97	0,49	0,79	1,12	1,76	1,96	2,30	2,83	2,53
25	1305,589	ute de Sermoise D13 / la Lev	33,75	1,73	-0,09	0,21	0,53	1,18	1,37	1,72	2,25	2,64
26	1349,654	ute de Sermoise D13 / la Lev	43,71	3,13	1,49	1,79	2,12	2,77	2,97	3,31	3,84	4,23
27	1404,816	ute de Sermoise D13 / la Lev	19,98	2,58	1,18	1,48	1,81	2,46	2,65	2,47	2,51	2,59
28	1454,234	ute de Sermoise D13 / la Lev	18,21	2,13	0,52	0,82	1,15	1,79	1,99	2,47	2,51	2,59
29	1504,165	ute de Sermoise D13 / la Lev	56,98	2,88	1,44	1,74	2,06	2,71	2,91	3,25	3,79	4,18
30	1550,745	ute de Sermoise D13 / la Lev	59,67	3,66	2,26	2,56	2,89	3,54	3,74	4,08	4,61	5,00
31	1587,628	ute de Sermoise D13 / la Lev	50,66	3,25	1,76	2,06	2,38	3,03	3,23	1,50	1,95	2,28
32	1624,084	ute de Sermoise D13 / la Lev	37,83	2,30	0,89	1,19	1,52	2,16	2,36	2,45	2,49	2,57
33	1666,206	ute de Sermoise D13 / la Lev	54,22	2,90	1,27	1,57	1,89	2,54	2,74	3,08	2,03	2,34
34	1708,337	ute de Sermoise D13 / la Lev	65,47	2,96	1,45	1,75	2,07	2,72	2,92	3,26	178,36	178,75
35	1753,304	ute de Sermoise D13 / la Lev	68,39	3,06	1,46	1,76	2,08	2,73	2,93	3,27	1,75	2,06
36	1802,676	ute de Sermoise D13 / la Lev	69,53	1,89	0,34	0,64	0,97	1,62	1,82	2,16	2,69	178,73
37	1852,434	ute de Sermoise D13 / la Lev	18,36	2,64	0,92	1,22	1,55	2,20	2,40	2,74	3,27	2,51
38	1902,500	ute de Sermoise D13 / la Lev	18,68	1,95	0,54	0,84	1,17	1,82	2,02	1,79	2,14	2,41
39	1952,076	ute de Sermoise D13 / la Lev	23,84	3,59	2,07	2,37	2,69	3,35	3,54	2,35	2,39	2,47
40	2001,689	ute de Sermoise D13 / la Lev	21,41	3,26	1,01	1,31	1,63	2,29	2,49	2,33	2,37	2,45
41	2022,727	ute de Sermoise D13 / la Lev	27,43	3,88	1,30	1,60	1,92	2,58	2,78	3,12	3,66	2,45
42	2048,661	ute de Sermoise D13 / la Lev	47,33	3,23	0,48	0,78	1,11	1,76	1,96	2,31	2,85	3,24
43	2081,939	emin de halage / Route de S	54,92	3,38	0,59	0,89	1,22	1,88	2,08	2,43	2,97	3,36
44	2101,650	itement des eaux / Entrée pc	61,24	2,27	-0,53	-0,23	0,10	0,77	0,97	1,32	2,07	2,38
45	2126,058	itement des eaux / Entrée pc	36,00	2,12	-0,63	-0,33	0,00	0,67	0,87	2,25	2,29	2,38

classes hauteurs charge	
<0	
0-0,5	
0,5-1	
1-1,5	
1,5-2	
2-2,5	
>2,5	

N° du Profil utilisé	PK Digue (m/OrigineVa)	Localisation	Ldigue	Hauteur de la digue	2003,00	50,00	70,00	100,00	170,00	200,00	500,00	1000,00
46	2163,117	La Jonction	20,58	3,39	0,48	0,78	1,11	1,78	1,98	2,25	2,29	2,37
47	2201,648	La Jonction	23,69	3,33	0,49	0,79	1,13	1,79	1,99	2,26	2,30	2,38
48	2251,649	La Jonction	23,71	3,20	0,29	0,59	0,92	1,59	1,79	2,25	2,30	2,38
49	2301,648	La Jonction	24,02	3,41	0,23	0,53	0,86	1,53	1,73	2,24	2,28	2,36
50	2351,649	La Jonction	25,34	3,82	0,44	0,74	1,08	1,75	1,96	2,22	2,26	2,35
51	2401,653	La Jonction	25,05	3,82	0,52	0,82	1,16	1,83	2,04	2,28	2,25	2,33
52	2451,655	La Jonction	21,21	3,10	0,07	0,37	0,71	1,39	1,59	177,57	2,22	2,31
53	2501,655	La Jonction	23,20	3,21	0,14	0,44	0,78	1,46	1,67	2,37	2,21	2,29
54	2551,655	La Jonction	19,38	3,03	0,21	0,51	0,85	1,53	1,73	2,31	2,19	2,27
55	2601,655	La Jonction	20,41	3,01	0,12	0,42	0,76	1,44	1,64	2,00	2,17	2,25
56	2651,689	La Jonction	18,53	2,96	0,01	0,31	0,65	1,33	1,53	2,29	2,14	2,22
57	2701,697	Jonction / Piscine de la Jonc	17,18	2,67	-0,16	0,14	0,48	1,16	1,36	1,71	2,11	2,19
58	2725,947	Jonction / Piscine de la Jonc	15,90	2,35	-0,42	-0,12	0,21	0,88	1,09	1,44	1,98	2,37
59	2753,593	Jonction / Piscine de la Jonc	12,21	2,01	-1,26	-0,96	-0,67	0,00	0,21	0,59	1,14	1,54
60	2779,167	Jonction / Piscine de la Jonc	39,67	3,27	-0,12	0,18	0,49	1,12	1,31	1,65	1,75	1,84
61	2801,574	Jonction / Piscine de la Jonc	24,82	3,04	-0,32	-0,02	0,29	0,93	1,12	1,46	1,71	1,78
62	2820,075	La Jonction	10,28	1,56	-2,02	-1,72	-1,41	-0,76	-0,57	-0,23	1,69	1,76
63	2846,718	La Jonction	13,77	1,41	-2,15	-1,85	-1,50	-0,86	-0,67	-0,33	1,68	1,75
64	2878,138	Rue de la blanchisserie	16,91	2,89	-0,63	-0,33	0,01	0,66	0,85	1,18	1,67	1,74
65	2901,415	Rue de la blanchisserie	16,23	3,16	-0,35	-0,05	0,30	0,94	1,13	1,47	1,67	1,74
66	2951,411	Rue de la blanchisserie	14,08	2,52	-1,02	-0,72	-0,38	0,27	0,46	0,80	1,30	1,66
67	3001,388	Rue de la blanchisserie	15,88	2,82	-0,65	-0,35	-0,01	0,63	0,83	1,16	1,67	1,73
68	3051,361	Rue de la blanchisserie	14,16	2,63	-0,74	-0,44	-0,10	0,54	0,74	1,07	1,67	1,73
69	3101,276	la blanchisserie / Camping de	15,22	3,32	-0,19	0,11	0,43	1,06	1,25	1,58	1,36	1,41
70	3151,259	la blanchisserie / Camping de	14,73	3,26	-0,12	0,18	0,50	1,13	1,32	1,65	1,31	1,41
71	3201,258	la blanchisserie / Camping de	13,96	3,19	-0,12	0,18	0,51	1,14	1,33	1,66	2,16	2,52
72	3228,796	la blanchisserie / Camping de	10,15	2,47	-0,84	-0,54	-0,21	0,42	0,61	0,94	1,44	1,79
73	3261,016	ue de la Blanchisserie / Rue	29,04	2,27	-0,84	-0,54	-0,21	0,42	0,61	0,94	1,44	1,80
74	3301,270	Jonction / Entrée du Camping	31,55	1,76	-1,83	-1,53	-1,20	-0,57	-0,38	-0,05	0,45	0,81
75	3326,087	Rue de la Jonction	27,84	2,38	-2,02	-1,72	-1,39	-0,76	-0,57	-0,24	0,26	0,61
76	3351,267	Faubourg de Lyon / Rue de la	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
77	3401,235	e du Plateau de la Bonne Da	40,72	1,92	-1,69	-1,39	-1,06	-0,43	-0,24	0,09	0,59	0,95
78	3451,237	Quartier du Stand	14,47	1,88	-1,53	-1,23	-0,90	-0,26	-0,08	0,25	0,75	1,11
79	3501,237	Quartier du Stand	14,55	1,87	-1,45	-1,15	-0,82	-0,19	0,00	0,33	0,83	1,18
80	3551,235	Quartier du Stand	16,48	2,09	-1,35	-1,05	-0,72	-0,09	0,10	0,43	0,93	1,28
81	3601,259	Quartier du Stand	17,81	2,20	-1,13	-0,83	-0,49	0,14	0,33	0,66	1,16	1,51
82	3651,115	Quartier du Stand	18,75	2,48	-0,88	-0,58	-0,25	0,38	0,57	0,90	1,40	1,76
83	3701,116	Quartier du Stand	19,00	3,92	0,53	0,83	1,16	1,79	1,98	2,31	2,82	3,17
84	3751,109	Quartier du Stand	21,50	3,50	0,13	0,43	0,76	1,40	1,59	1,92	2,42	2,78
85	3801,109	Quartier du Stand	20,14	3,22	-0,14	0,16	0,49	1,13	1,31	1,65	2,15	2,51
86	3851,110	Quartier du Stand	21,96	3,68	0,40	0,70	1,03	1,66	1,84	2,18	2,68	3,03
87	3901,110	Quartier du Stand	21,71	4,96	1,65	1,95	2,28	2,91	3,09	3,42	3,92	4,28

classes hauteurs charge	
<0	
0-0,5	
0,5-1	
1-1,5	
1,5-2	
2-2,5	
>2,5	

Les levées de second rang (Sermoise 2^e section et Gimouille en amont de la voie ferrée) sont également soumises à des charges hydrauliques mais inversées. Compte-tenu de l'inondation par remous, il s'agit d'une charge du val sud vers le val nord (voir la carte des inondations par remous qui permet de bien visualiser les secteurs où les levées de second rang sont atteintes par les inondations).



Figure 52 : Localisation des profils en travers sur les levées de second rang

La topographie au droit de ces levées est donnée au chapitre 3.3.1.4 (Figure 18).

Dès la crue T70, un profil est soumis à une charge de 70 cm (profil 104). Ce secteur est un des points bas (profils 104 à 107).

Pour la crue T100, plusieurs profils ressortent comme étant soumis à une charge hydraulique, de 1,40m au maximum (au point bas profil 104). Un autre secteur apparaît au droit des profils 115-116

Pour la crue T200, les mêmes secteurs ressortent, avec des charges hydrauliques de 2m environ (profils 104/106 et 115) pour une hauteur de digue de 3 à 3,50m.

Tableau 17 : Charges hydrauliques au droit des profils des levées secondaires

N° du Profil utilisé	PK Digue (km/OrigineVal)	Commune	Localisation	Z50	Z70	Z100	Z170	Z200
90	48,533	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13 / Entrée du Port	0,00	0,00	0,12	0,27	0,00
91	74,758	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
92	99,841	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	-0,80	0,00
93	149,857	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	-1,46	-1,31	0,00
94	199,843	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
95	249,852	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	-0,76	-0,61	0,00
96	299,625	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	-0,31	-0,16	0,00
97	349,638	Sermoise-sur-Loire	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
98	399,651	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	-0,03	0,13	0,46
99	449,657	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	499,651	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,53	0,69	1,02
101	529,366	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	-0,42	-0,27	0,07
102	578,029	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06
103	616,65	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	0,00	2,12
104	649,591	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,67	1,36	1,51	1,85
105	675,794	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	-1,22	-0,53	-0,38	-0,04
106	708,662	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	-0,65	0,04	0,19	0,53
107	749,607	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	-1,02	-0,33	-0,18	0,16
108	781,14	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,93	1,08	1,42
109	813,02	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	-0,95	-0,62
110	846,507	Nevers	Route de Sermoise D13	0,00	0,00	-0,73	-0,58	-0,24
111	881,164	Nevers	Carrefour Faubourg de Lyon D907 / Route de Sermoise D13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
112	912,653	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
113	949,191	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99
114	999,194	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
115	1049,114	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	1,15	1,30	1,64
116	1099,03	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	0,28	0,43	0,77
117	1148,877	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	-0,13	0,02	0,36
118	1198,808	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	0,00	0,34	0,68
119	1248,683	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	-1,11	-0,96	-0,62
120	1298,687	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	0,56	0,71	1,05
121	1348,631	Nevers	Rue du Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77

classes hauteurs charge	
<0	
0-0,5	
0,5-1	
1-1,5	
1,5-2	
2-2,5	
>2,5	

5.3 Première surverse au-dessus de la crête d'un tronçon de levée

Les premières surverses représentent un danger assez faible au regard de la situation citée précédemment. En effet, en absence de banquette, l'écoulement se trouve limité à la lame d'eau dépassant la crête de l'ouvrage et s'apparente à un simple débordement du cours d'eau vers le val.

En présence de banquette, les premières surverses correspondent à des surverses « théoriques » qui ont lieu après rupture de la banquette initiée par érosion interne (au-dessus de la hauteur d'influence).

Les premières surverses « théoriques » apparaissent ponctuellement entre la T200 et la T500 au niveau de la levée de Sermoise 1^e section (en amont de l'autoroute A77). Elles définissent le niveau de protection apparent « théorique » des levées.

Le **niveau de protection apparent du val de Nevers, Sermoise et Challuy se situe** :

- entre **T200 et T500** pour le secteur suivant : du PK 250 au PK 400 ;
- entre **T500 et T1000** pour les secteurs suivants : du PK 0 au PK 250 et du PK 900 au PK 2000 ;
- à **T1000 (voire plus)** pour le restant du linéaire : PK 400 à PK 900 et PK 2000 à PK 3900.

Cette situation entraînerait des inondations limitées dans le val, qui pourraient être plus marquées au niveau des points bas. Par contre, il est courant qu'une telle situation évolue rapidement vers la création d'une brèche totale ou partielle du fait de l'action érosive des écoulements sur l'ouvrage et son pied côté val. Dans ce cas, le scénario devient celui de la brèche.

5.4 Défaut de fermeture des protections amovibles

Le phénomène intervient en cas de défaut dans les phases opérationnelles conduisant à la mise en œuvre partielle ou incorrecte des protections amovibles anti-crues et autorisant donc un déversement des eaux avant l'atteinte de la cote de crue de projet.

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- L'efficacité du système d'alerte ;
- Le nombre d'intervenants ;
- La qualité et la complexité des moyens matériels ;
- La qualité des éléments amovibles à mettre en œuvre ;
- La distance du lieu de mise en œuvre par rapport à la zone de stockage des éléments amovible ;
- La hauteur d'éléments amovible à mettre en œuvre.

A ce stade de l'étude, nous n'avons pas d'information sur le mode opérationnel d'installation des protections amovibles.

Il existe une bouchure sur la rehausse de la levée du canal de la Jonction. Celle-ci est en bon état. Elle présente les caractéristiques suivantes :

- Hauteur : 0.9m
- Largeur : 1.7m
- Type de batardement : poutres métalliques



Figure 53 : Bouchure levée du canal de la Jonction face à la piscine du canal – val de Nevers, Sermoise et Challuy (Source : Egis Eau, 2014)

Comme vu au chapitre 3, la hauteur d'influence de la rehausse retenue pour la banquette de la levée du canal de la Jonction est de 20cm. La défaillance liée au défaut de fermeture des protections amovibles de cet ouvrage ne concerne qu'une hauteur de 20 cm, elle n'est donc pas retenue pour les scénarios de défaillance.

5.5 Dysfonctionnement des clapets anti-retour ou entrée d'eau par les canalisations traversant la levée

Les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont traversées par des canalisations, notamment pour rejeter en Loire les eaux pluviales. Celles-ci sont normalement munies de dispositifs anti-retour, c'est-à-dire permettant l'écoulement vers le cours d'eau principal mais interdisant le passage d'eau du cours d'eau vers le val. Ces dispositifs peuvent connaître des dysfonctionnements voire être absents. Les débits en cause sont faibles et limités par la capacité de la canalisation. Ce phénomène peut avoir localement des conséquences importantes mais pas à l'échelle de l'ensemble du val.

Au total, 17 ouvrages traversants sont recensés sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy dont 13 conduites et 4 vannes (vannes situées au niveau de l'ancienne écluse de la Jonction, entre les levées du canal de la Jonction et de la Blanchisserie).



Figure 54 : Vannes au niveau de l'ancienne écluse de la Jonction



Figure 55 : A gauche : conduite sur la levée du canal de la Jonction (profil 63), à droite : conduite sur la levée de Sermoise 2^e section (profil 107)

Les 4 vannes de vidange de l'ancienne écluse de la Jonction sont incluses dans la ligne de défense principale.

5.6 Remontée de nappe dans le val en arrière de la levée

L'augmentation du niveau de la Loire en crue entraîne par corrélation une augmentation du niveau de sa nappe phréatique d'accompagnement. La remontée de nappe est possible au travers des calcaires et horizons sédimentaires graveleux perméables ($k = 10^{-4}$) du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Les digues participent également au phénomène en empêchant l'eau d'inonder les terrains côté val. La nappe peut remonter au-dessus de la surface des sols et ainsi inonder les sous-sols des bâtiments ainsi que les parties basses du val. Cependant, le niveau d'eau dans le val, dû aux remontées de nappe, reste inférieur au niveau d'inondation qu'il y aurait si les digues n'existaient pas.

Ces types d'inondations sont très difficilement quantifiables. Leur conséquence est cependant limitée aux parties basses du val, les hauteurs d'eau sont assez réduites de même que les vitesses. Il peut y avoir aussi un décalage dans le temps entre la crue et la remontée de nappe.

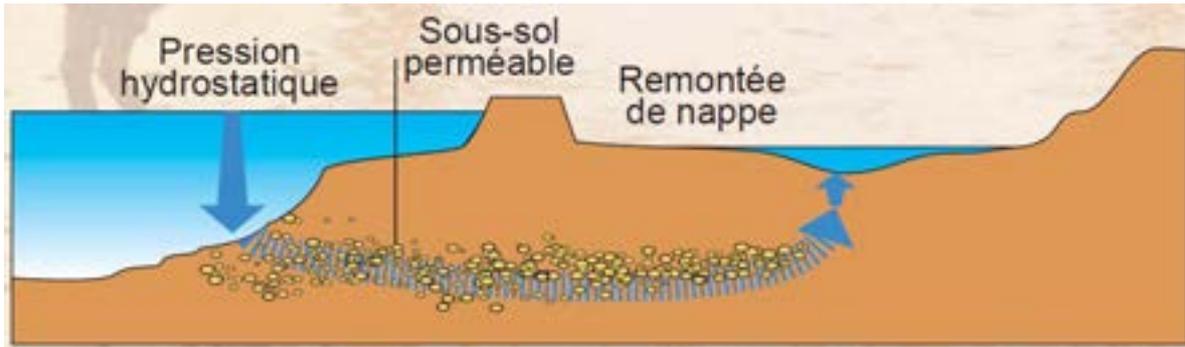


Figure 56 : Schéma illustrant la remontée de nappe (source : Hydratec, 2004)

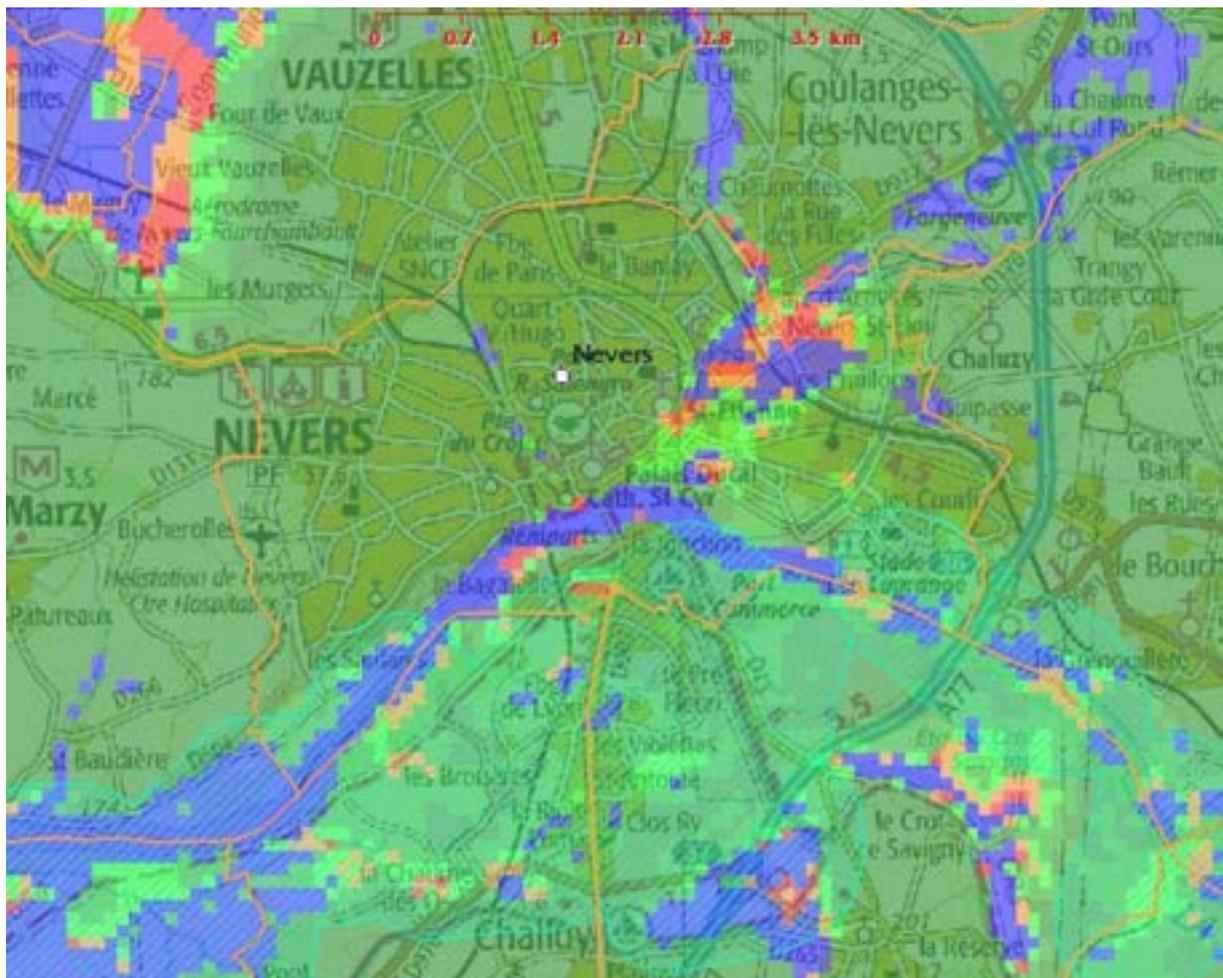


Figure 57 : Zones de sensibilité à la remontée de nappes à Nevers (Source : www.inondationsnappes.fr, BRGM)

5.7 Inondation par les affluents et ruissellement urbain

L'inondation de l'intérieur de la zone protégée peut être la conséquence de précipitations importantes sur les communes des vals protégés et les communes environnantes.

L'importance des zones imperméabilisées par l'urbanisation peut aggraver la situation. La présence de digues qui empêchent l'eau de s'échapper vers la Loire doit être compensée par la présence d'ouvrages de vidange. Le dysfonctionnement de ceux-ci peut être à l'origine d'inondations localisées.

Le val protégé de Nevers est traversé par le réseau hydrographique suivant :

- le canal latéral à la Loire qui marque la limite sud du val de Nevers, Sermoise et Challuy;
- l'embranchement de Nevers, connexion entre le canal latéral à la Loire et la Loire ;
- le ruisseau de Peully.

Deux ruisseaux, le ruisseau du Crot de Savigny et le ruisseau de la Gougnière, se situent à proximité des levées de Sermoise 1^e section et du canal de la Jonction, à l'est du val protégé.

Ces cours d'eau peuvent connaître des montées des eaux lors de forts épisodes de pluies et contribuer à l'inondation du val.

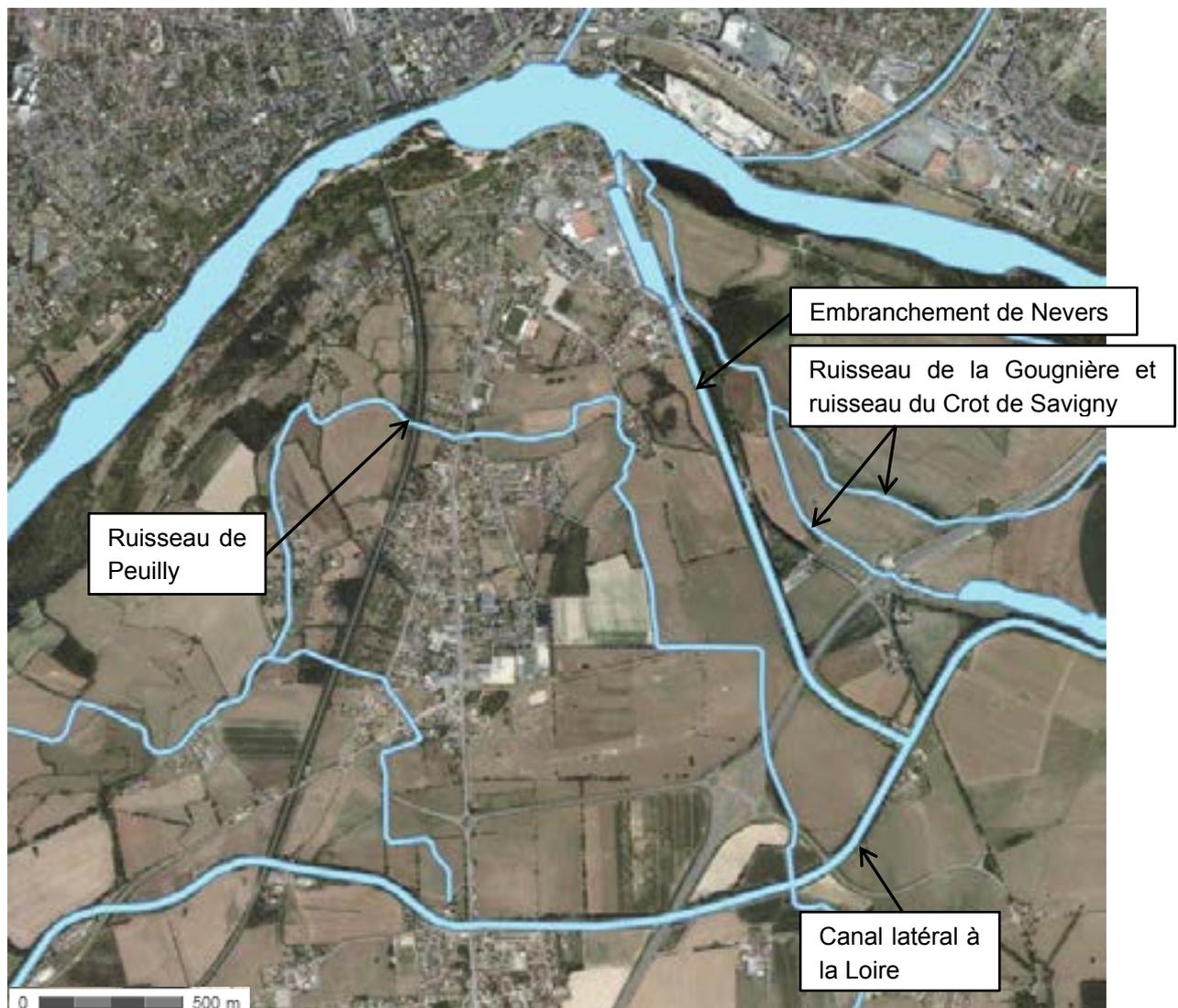


Figure 58 : Réseau hydrographique secondaire du val de Nevers, Sermoise et Challuy (fond de carte : géoportail)

5.8 Inondations par remous de la Loire en partie aval ouverte du val

Le val de Nevers, Sermoise et Challuy est un val ouvert vers l'aval puisque le remblai de la voie ferrée est muni d'ouvrages de transparence qui laissent la Loire remonter dans le val.

Un phénomène de remous par l'aval peut donc apparaître et entraîner une inondation de la zone protégée du fait de la remontée des eaux en crue de la Loire via les ruisseaux de Peuilley et des Brouères. L'emprise du remous a été cartographiée à partir des résultats du modèle hydraulique en situation actuelle et de la topographie du val protégé, ceci pour les crues T50 à T200. La Figure 40 présente une cartographie du remous aval de la Loire dans le val.

6. Caractérisation des aléas naturels

6.1 Hydrologie : crues de la Loire

6.1.1 Présentation générale

La Loire Bourguignonne s'étend du barrage de Villerest au Bec d'Allier, sur environ 200 km.

La Loire bourguignonne est marquée par une topographie de coteaux et de collines aux abords du Massif Central, ainsi que par la présence du massif du Morvan sur sa partie orientale. En aval du barrage écreteur de crues de Villerest, la Loire adopte un régime de plaine avec un lit majeur s'élargissant. Des apports importants se font par sa rive droite, avec de nombreux affluents issus du Morvan, et peuvent soutenir une crue provenant de l'amont.

Sur l'aval de ce secteur, les agglomérations de Decize et de Nevers sont protégées par des digues, dont la présence engendre des risques de nature comparable à ceux auxquels sont confrontés les vals endigués de la Loire moyenne.

La superficie du bassin de la Loire est de 6600 km² au barrage de Villerest, de 14700 km² à Decize et de 17570 km² à Nevers.

La Loire, à son entrée en Loire moyenne (Bec d'Allier), draine une superficie de 32 000 km² correspondant au sous-bassin de la Loire et à celui de l'Allier.

Le régime hydrographique de la Loire est marqué par la présence des massifs montagneux du Massif central et du Morvan qui bloquent les masses d'air humides océaniques, ce qui génère, en particulier en hiver et en début de printemps, de forts cumuls de précipitations. Une partie de ces massifs est aussi sous influence du climat méditerranéen, ce qui se traduit, du début de l'automne jusqu'au début de l'hiver ainsi qu'au printemps, par des orages cévenols, épisodes de précipitations très intenses sur un laps de temps très court. Le régime hydrographique, du fait de la faible altitude générale de ces massifs (peu de sommets dépassent les 1 500 m), est très peu soumis à l'influence nivale.

Ces influences climatiques engendrent différentes formes de crues qui peuvent être identifiées suivant leurs origines météorologiques. Elles peuvent être lentes ou rapides.

6.1.2 Types de crues

6.1.2.1 Les crues « cévenoles »

Ce sont les plus brutales. Elles sont dues aux précipitations qui accompagnent les orages cévenols, nés de la confrontation des masses d'air chaud et d'air froid au-dessus des Cévennes sur les hauts bassins de l'Allier et de la Loire, avec parfois des extensions sur le Livradois, le Pilat, les monts du Lyonnais et la partie sud du Morvan. Sans apport océanique, elles s'amortissent très rapidement, mais parfois, comme en 1907, si le front orageux remonte à l'intérieur du bassin, les crues acquièrent suffisamment de puissance pour se propager en Loire moyenne.

La dernière crue cévenole, ayant engendré des dégâts très importants, date de septembre 1980. Elle a été provoquée par des cumuls de pluies dépassant les 600 mm en 24 h. Sur le Haut Allier, à Langogne, la rivière a atteint un débit de 1 200 m³/s et l'eau est montée à 8,50 mètres en quelques heures. Sur la Haute-Loire, à Brives-Charensac, le débit a atteint 2 000 m³/s et l'eau est montée à 6,70 mètres, avec une vitesse de montée des eaux atteignant 6 cm par minute.

6.1.2.1 Les crues « océaniques »

Elles ont lieu surtout en hiver et au printemps. Elles sont provoquées par des fronts pluvieux venant de l'océan Atlantique. D'importance très variable, elles affectent l'ensemble du bassin. Les reliefs, notamment ceux du Morvan, jouent un rôle important dans la répartition des précipitations et de leur cumul.

Parmi les dernières crues marquantes de cette famille, on peut citer les crues du printemps 1983. La Loire à Nevers a atteint en avril un débit de 2230 m³/s alors qu'en amont de Roanne son débit était de 1450 m³/s, et en mai un débit de 2400 m³/s alors que son débit amont était de 1570 m³/s.

6.1.2.2 Les crues « mixtes »

Elles naissent de la conjonction, plus ou moins marquée, d'une crue cévenole et d'une crue océanique. Elles se traduisent par une montée généralisée des eaux sur l'ensemble du bassin accompagnée par des débits très importants de la Loire, de l'Allier et de leurs affluents. C'est à ce type de crue qu'appartiennent les crues de 1846, 1856 et 1866.

6.1.3 Détermination des débits de pointe et des hydrogrammes de la Loire

Les données hydrologiques de la Loire à Nevers proviennent de plusieurs sources :

- de l'*Étude Loire moyenne – Synthèse des connaissances hydrologiques* (Équipe Pluridisciplinaire PLGN, 2001) qui se base sur un modèle hydraulique 1D à casiers sur l'ensemble de la Loire moyenne, de Nevers à Montjean, et définit les hydrogrammes injectés au Bec d'Allier dans le modèle.
- De l'étude globale du risque inondation de l'agglomération de Nevers (EGRIAN), Hydratec.
- De l'étude hydraulique menée dans le cadre du modèle « Loire Moyenne », Hydratec. L'étude des différents scénarios de crue pour évaluer dans quelles conditions hydrologiques et hydrauliques le territoire Loire Moyenne est susceptible d'être inondé, a été menée durant la période 1997-1999 à l'aide du modèle numérique de propagation des crues de la Loire entre Nevers et Montjean - modèle "Loire moyenne" - établi par HYDRATEC pour le compte de l'Etat, de l'Epala et de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Le barrage de Villerest, mis en service en 1985 sur la Loire en amont de Roanne, à 200 km en amont du val de Nevers, Sermoise et Challuy, est le seul ouvrage du bassin de la Loire à avoir, dans ses fonctions, de participer à l'écrêtement des crues. Il s'agit d'un barrage poids arché en béton. Sa hauteur est de 60 mètres. Le volume total de sa retenue est de 238 millions de mètres cube. La capacité maximale de stockage des eaux pour l'écrêtement, vis-à-vis de ce volume, est de 130 millions de mètres cube.

Si les villes de Roanne et de Nevers en bénéficient directement ainsi que le réseau de petites villes riveraines inscrit dans cet espace, le barrage de Villerest a été construit pour accroître le niveau de protection en Loire moyenne, en complément du dispositif d'endiguement existant.

Il a une capacité d'écrêtement variable :

- Lorsque le débit de pointe entrant est compris entre 1 000 m³/s et 2000 m³/s, le débit sortant après écrêtement est de 1000 m³/s au pied du barrage à Roanne
- Lorsque le débit de pointe entrant est compris entre 2 000 et 4 000 m³/s, le débit sortant après écrêtement est de moitié au pied du barrage à Roanne.
- Au-delà d'un débit entrant de 4 000 m³/s, il écrête 2 000 m³/s dans des conditions idéales de prévision et de contexte.
- Lors de crues de fréquences très rares, l'ouvrage peut diminuer le débit à l'entrée de la Loire moyenne (Bec d'Allier) jusqu'à 1 000 m³/s dans les configurations les plus favorables, et de l'ordre de 500 m³/s à 700 m³/s pour des événements similaires à ceux du XIXe siècle.

Bien que la cote du déversoir de sécurité ait été fixée à 324 m NGF, l'exploitant n'a jamais été autorisé à dépasser la cote de 317,30 m depuis sa mise en service.

Une étude du Service Hydraulique Centralisateur (SHC) du bassin de la Loire, réalisée dans les années 1970, avait démontré que la forme des hydrogrammes naturels de la Loire amont et de l'Allier était bien décrite par une loi de Pearson III. Un modèle hydraulique avait ensuite été utilisé pour simuler l'impact du barrage de Villerest sur les hydrogrammes de la Loire amont

La forme des hydrogrammes de la Loire amont considérés dans l'Étude de dangers est alors de type PERSON III. La forme et la formule qui donnent le débit en fonction du temps sont les suivants :

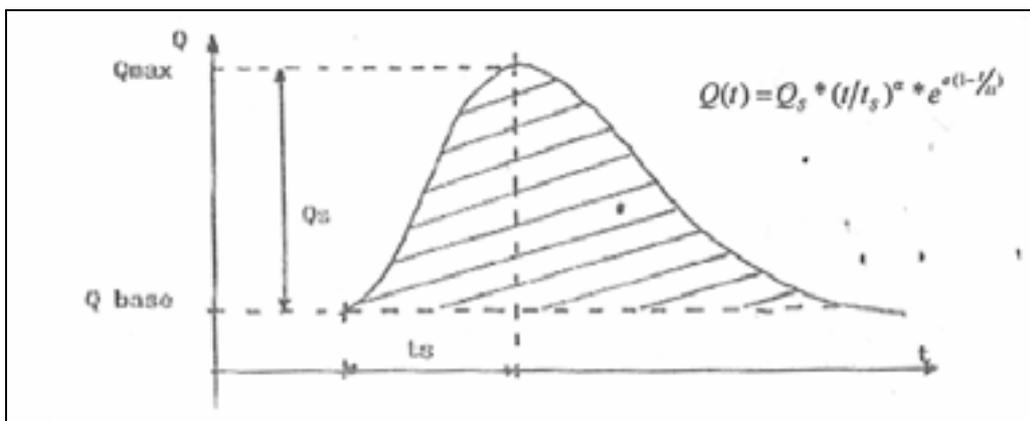


Figure 59 : forme théorique des hydrogrammes de crue de la Loire amont

L'ensemble des données hydrologiques a permis d'établir le tableau des débits de pointe suivant, dans le cas où le barrage pourrait être utilisé à sa cote maximale.

Les crues de projet utilisées dans le cadre de l'étude de dangers sont en cohérence avec l'hydrologie de l'étude Loire moyenne (débits amont du modèle LM10 – débits à Imphy).

Il s'agit de 6 crues de référence de période de retour 50, 70, 100, 170, 200 et 500 ans au Bec d'Allier qui ont été définies et validées par des experts hydrologues et l'Equipe Pluridisciplinaire. Ces crues ont également été utilisées dans le cadre des études EGRIAN.

Comme dans les études EGRIAN, il a été pris en compte l'apport de la Nièvre, dont la confluence se situe au droit de l'agglomération de Nevers (cru centennale retenue pour les simulations des crues de période de retour 50 à 500 ans).

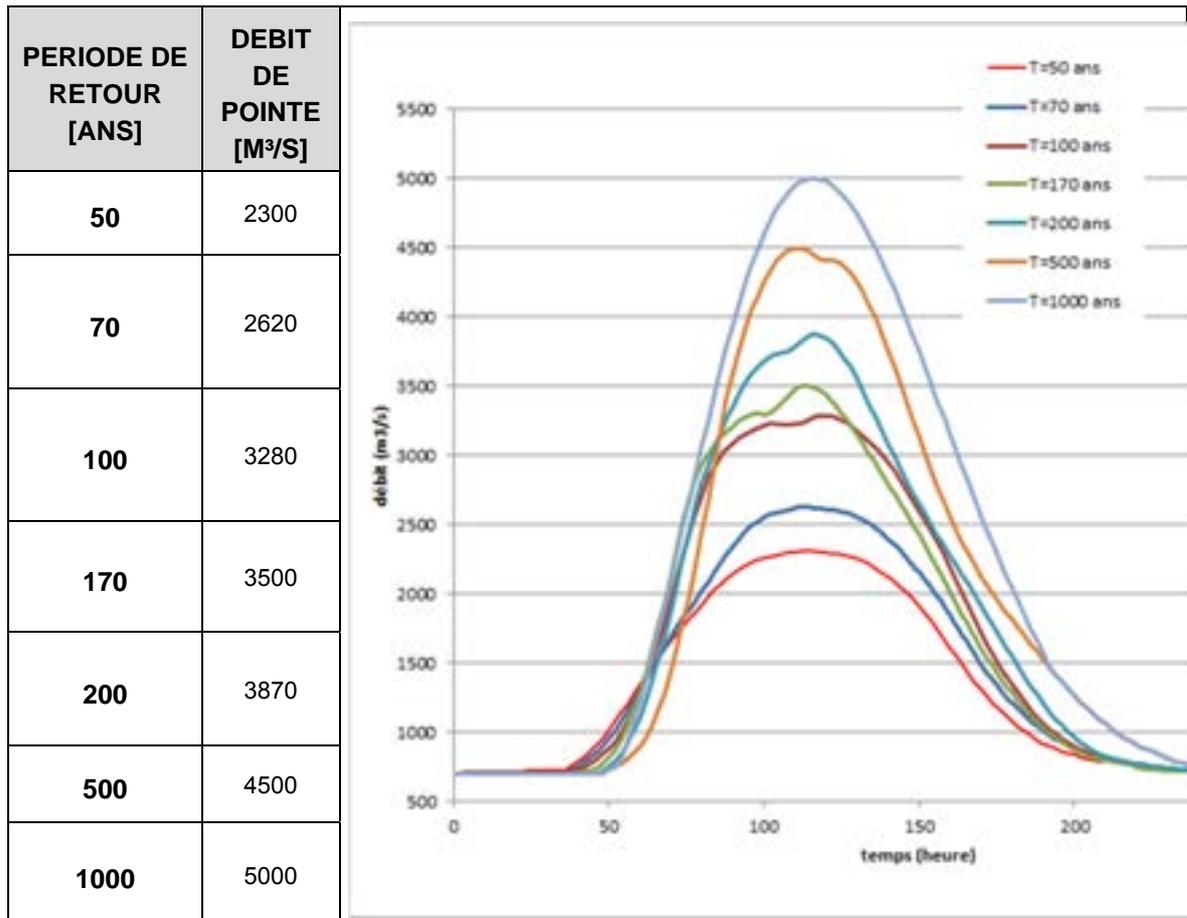


Tableau 18 : Débits de pointe à l'amont du val de Nevers, Sermoise et Challuy selon la période de retour T

Le débit de pointe de la crue millénaire a été choisi en cohérence avec les études réalisées sur Nevers, notamment dans le cadre de l'élaboration du TRI de Nevers (Identification des Territoires à Risque Important d'inondation). En effet, des études hydrologiques ont permis de quantifier une telle crue. Le débit retenu est de 5 000 m³/s à Nevers sur la Loire (incluant un écrêtement d'environ 1 000 m³/s par le barrage de Villerest).

L'hydrogramme T = 1000 ans, faute des données, a fait l'objet d'une construction spécifique sur la base d'une loi Pearson III. Le coefficient α correspond à celui de l'hydrogramme T = 500 ans à Nevers.

Pour les besoins de la présente étude de dangers, les modèles hydrauliques unidimensionnels à casiers Loire Bourguignonne LB11 ou Loire Moyenne LM10 n'ont pu être utilisés, de même que les modèles réalisés dans le cadre des études EGRIAN.

Un modèle 2D étant nécessaire pour les simulations des scénarios d'inondation, la DDT58 a lancé un appel d'offres pour une étude de modélisation hydraulique bidimensionnelle du val de Nevers, Sermoise et Challuy, qui comprenait la construction et le calage d'un modèle hydraulique bidimensionnelle du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

Ce modèle, réalisé par ISL, a été utilisé pour obtenir les lignes d'eau au droit des levées pour toutes les crues simulées.

Sept scénarios de crue ont été alors simulés.

6.1.4 Prise en compte du risque de rupture des digues de Loire en amont du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Le niveau d'eau à l'entrée du val de Nevers, Sermoise et Challuy sur la Loire dépend de l'hydrologie de la Loire amont mais aussi de l'inondation des vals amont entre le barrage de Villerest et Nevers, y compris Nevers rive droite. Ces vals étant en grande partie protégés par des digues, la tenue de celles-ci a une influence sur la ligne d'eau au droit de la levée.

Pour ne pas multiplier le nombre de scénarios de rupture de digues en amont, il a été fait l'hypothèse que les levées amont tenaient, quelles que soient les conditions de crues.

Cette hypothèse est a priori défavorable car elle n'intègre pas l'écrêtement lié à une rupture probable d'une digue en amont. Néanmoins, elle préfigure une situation future dans laquelle celles-ci seraient sécurisées.

6.1.5 Influence de la rupture du barrage du Villerest

La rupture accidentelle du barrage de Villerest pourrait avoir un impact sur l'hydrologie du fleuve au droit des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

Le risque de rupture du barrage de Villerest a été étudié par EDF en 1974 (EDF LNH, 1974), puis révisé en 2011 par ISL 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).

L'objectif de ces études a été de déterminer les hydrogrammes provoqués par la rupture des ouvrages et les conditions de propagation de l'onde de crue qui leur sont associées en vue d'établir le Plan Particulier d'Intervention.

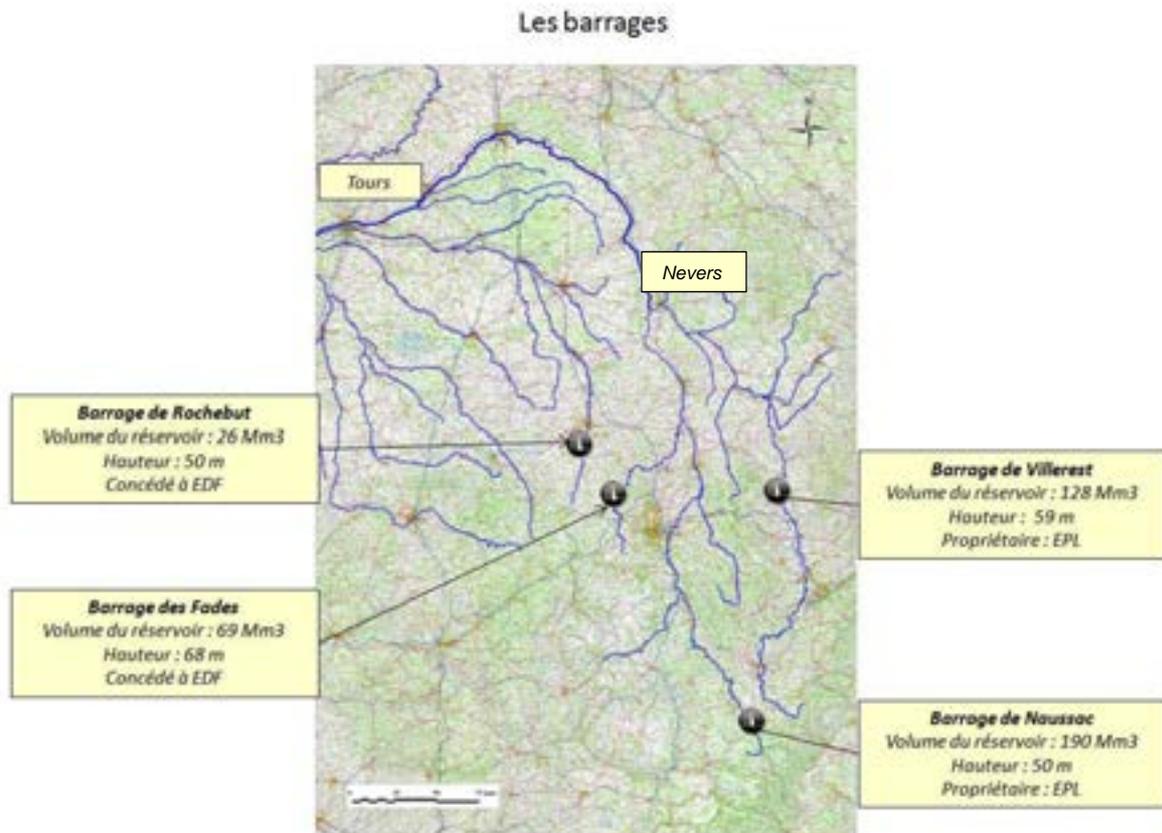
Pour Villerest, les calculs ont été menés, dans le cas d'une rupture sur front sec (débit initial faible à l'aval du barrage) et dans le cas d'une rupture lors d'une crue forte, de type 1846. Ils ont été réalisés depuis la retenue jusqu'à 7 km en aval de la confluence avec l'Allier et permettent ainsi 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 heures entre Villerest et Nevers. Le maximum de l'onde arrive à Nevers en 36 heures. Le débit de pointe y est alors de 4100 m³/s. Dans le cas d'une onde de rupture sur front humide (crue de type 1846), le maximum de l'onde se propage de Villerest à Nevers en 27 heures, pour un débit de pointe de 10 000 m³/s.

En Loire moyenne, la sur-inondation engendrée par l'onde de submersion atteint des sur-hauteurs supérieures à 1 mètre.

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 de 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.



Il est indiqué que seul le barrage de Villerest a un impact sur le val de Nevers, Sermoise et Challuy.

Figure 60 : position des principaux barrages de la Loire et de ses affluents (Source : EdD du val de Tours)

En termes d'hydrologie pour le val de Nevers, Sermoise et Challuy, la probabilité de rupture du barrage est plus faible qu'une crue de même ampleur. La rupture du barrage n'a donc pas été prise en compte spécifiquement dans cette Étude de dangers.

6.2 Embâcles et débâcles de glace

Source : Glaces et embâcles - Risques associés, préconisations, conséquences du changement climatique – HYDRO EXPERTISE, mai 2011

Un embâcle de glace est un phénomène qui se produit lorsque la température est très basse pendant une longue période.

On estime empiriquement que le risque d'embâcle est réel lorsque la somme des températures moyennes négatives par jour atteint la valeur de - 70°C.

Depuis le XV^{ème} siècle, ce phénomène se reproduit en Loire moyenne 6 à 8 fois par siècle sans destruction et 1 fois avec destruction (d'après l'étude réalisée par Zbigniew Gasowski, du bureau d'études Hydro Expertise). Il est donc à la fois relativement fréquent et dangereux, mais reste

difficilement quantifiable. En février 2012, une période de gel intense a dépassé le seuil de -70°C.j , 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.

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.

Le phénomène peut avoir des conséquences hydrauliques, morphodynamiques et mécaniques.

Sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy, les embâcles de glace sont notamment à l'origine d'une brèche d'environ 80 mètres de long en 1789 sur la levée du Plateau de la Bonne Dame en aval du pont. En effet, la débâcle de glace du 17 janvier 1789 répand une énorme quantité de glaces dans le val supérieur de Sermoise, rendant impraticable le chemin de halage et créant de larges ravins. La plupart des glaçons ont été repoussés par la levée de Sermoise et ont été très destructifs en rive droite (*Etude Egrian, Historique des grandes crues de la Loire*).

6.2.1 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 montées importantes du niveau d'eau, ce qui peut mettre les digues en charge, voire provoquer des surverses.

6.2.2 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 levées.

6.2.3 Conséquences mécaniques

L'embâcle et les accumulations de glaces induisent des forces considérables qui peuvent provoquer des dégâts sur les ouvrages. Les glaçons 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 tels que les vannages, les clapets anti-retour ou les prises d'eau.

Ce phénomène est également abordé dans le chapitre 9 « Étude de réduction du risque ».

6.3 Impact du changement climatique

Source : Etude des dangers des digues de classe A de la Loire, Incidence du changement climatique – HYDRO EXPERTISE, mai 2011.

L'analyse du bureau d'études hydro expertise ne met pas en évidence de preuve formelle 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.

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 températures en été mais beaucoup moins l'hiver. Le phénomène d'embâcles 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 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.

La surveillance des évolutions éventuelles est développée dans le chapitre 9 « Étude de réduction du risque ».

6.4 Géologie et morphodynamique de la Loire

6.4.1 Géologie et morphodynamique de la Loire de Roanne à Angers

Source : Etude géologique et morphologique de la Loire de Roanne à Angers – CETE Normandie Centre, décembre 2011.

À l'échelle des temps géologiques, le cours de la Loire moyenne est d'origine relativement récente. Il fait suite aux derniers mouvements tectoniques qui l'ont détourné vers l'ouest, lui donnant dans le même temps la capacité de capter les écoulements venant du nord-ouest du Massif central (Vienne...), et son débouché sur l'Atlantique.

L'alimentation en débit solide du bassin versant de la Loire a été importante pendant les périodes glacières. Le fleuve a recouvert toutes les formations d'une épaisseur variable d'alluvions, excepté peut-être de rares seuils. La Loire a donc un tracé guidé par la tectonique et la dureté du substratum.

Son lit s'est déplacé dans le val en fonction des mouvements néotectoniques. L'apport en débit solide est aujourd'hui réduit du fait de l'absence de grandes crues depuis le milieu du XIX^e siècle et de la construction des barrages hydroélectriques au XX^e siècle tels que Grangent sur la Loire amont, Les Fades sur la Sioule, Rochebut sur le Cher ou encore l'Isle- Jourdain sur la Vienne, ces derniers piégeant les sédiments.

En outre, les extractions de matériaux alluvionnaires sur tout son bassin versant, supérieures aux apports, sont à l'origine d'un abaissement du lit très important laissant le substratum à nu sur de grandes longueurs et faisant apparaître nombre de nouveaux seuils (abaissement du lit de la Loire pouvant atteindre par endroit plus de 3 mètres dans la traversée de l'agglomération de Tours).

Ces diverses atteintes, à l'origine de dysfonctionnements, n'empêchent pas le fait qu'une partie des débits solides se fasse aussi piéger par les îles qui s'engraissent en surface et en queue, que des bras se ferment, ou bien encore que de nouvelles îles se créent et que les rives s'étendent.

Pour cela, la Loire se charge en sédiments en vidangeant les sections alluvionnaires, en érodant les rives et en incisant son substratum quand il est tendre, ce qui a un impact direct sur les digues par abaissement du fond du lit : lorsqu'elles sont en contact avec le lit vif, il y a un fort risque d'affouillement de leurs fondations.

Aujourd'hui, on ne constate aucune remonté du niveau des sables en Loire et le transit est toujours en déficit. Il est nécessaire de maintenir l'interdiction des extractions de matériaux dans le lit et à proximité.

6.4.2 Géologie et morphodynamique de la Loire au droit du val de Nevers, Sermoise et Challuy

L'étude spécifique S03 détaille l'évolution de la morphologie du lit de la Loire à proximité des levées des vals de Nevers et de Decize.

4 secteurs sont décrits dans cette étude, compte tenu de leurs particularités morphologiques :

- Secteur en amont du pont de l'autoroute (levée de Sermoise 1^e section amont) : le tracé de la Loire y est rectiligne sur environ 1.6 km et un important franc-bord (1 km de large en moyenne) protège la levée de la Sermoise 1^e section des impacts de la Loire.

De par la présence d'importants atterrissements sableux alternés en lit mineur de la Loire, le lit vif de la Loire s'est positionné en rive gauche à l'extrémité amont du secteur d'étude puis en rive droite le long de la levée de Saint Eloi. Ce dépôt sableux est en cours de végétalisation (sujets d'un an à deux ans), comme l'indique la végétation pionnière visible depuis la rive gauche. Un bras secondaire, en cours de fermeture, est également notable entre le dépôt sableux et la berge en rive gauche.



Figure 61 : Etat du dépôt sableux au niveau de la levée de Sermoise 1^{ère} section (Géoportail 2011)

Au niveau du pont et en aval, le lit vif de la Loire est élargi par rapport au secteur amont. La protection de la berge en rive droite limite toute divagation latérale du chenal.

- Secteur allant du pont de l'autoroute jusqu'au port de la Jonction : sur ce secteur la largeur du franc-bord diminue progressivement de l'amont vers l'aval. Des restrictions du lit d'étiage voire de la bande active sont observées.

En amont, un banc sédimentaire est en cours de végétalisation en rive gauche. La levée de Sermoise 1^e section est protégée sur ce secteur amont par un large franc-bord. La réduction de la bande active et donc l'exhaussement de la ligne d'eau ont peu de répercussion sur le risque de rupture ou de surverse de la levée.

Plus en aval, la levée du canal de la Jonction est davantage exposée au risque de rupture par érosion du pied et au risque de surverse. En effet, le lit vif de la Loire se trouve en rive gauche où le franc-bord se réduit jusqu'à être inexistant au droit de l'ancienne écluse de la Jonction. Ce linéaire est à surveiller en rive gauche (évolution des érosions en berge) et en rive droite (sédimentation et végétalisation des bancs existants).



Figure 62 : Absence de franc-bord au droit de l'ancienne écluse de la Jonction (Egis Eau, 2014)

- Secteur allant de l'ancienne écluse de la Jonction jusqu'au pont de Loire (levée de la Blanchisserie) : une zone d'atterrissement est notée au droit de la confluence de la Nièvre avec la Loire. Cet apport en matériaux est dû au positionnement de l'embouchure de la Nièvre en intrados de méandre de la Loire (phénomène de sédimentation) et à un apport de matériaux par la Nièvre.

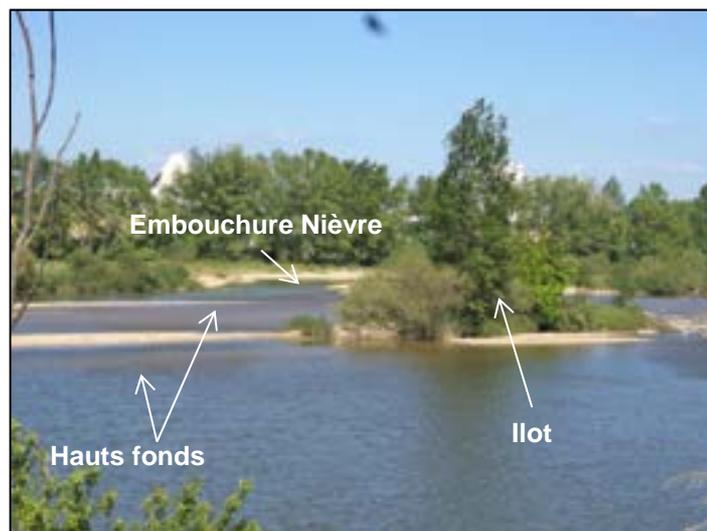


Figure 63 : Dépôt et exhaussement au niveau de l'embouchure de la Nièvre (Egis Eau, 16/05/2014)

Ces phénomènes participent à relever la ligne d'eau et à accélérer les écoulements.

Ce secteur demande une attention particulière : une accréation trop importante pourrait à moyen terme avoir un impact sur la stabilité de la levée de la Blanchisserie au vu de son contact direct avec la Loire (rétrécissement du lit de Loire et rehaussement de la ligne d'eau).

- Secteur allant du pont de Loire jusqu'au pont de la voie ferrée (levée du Plateau de la Bonne Dame) : ce linéaire est marqué par un important dépôt alluvionnaire entraînant un comblement du lit majeur de la Loire. Un bon entretien de la végétation se développant sur ce banc alluvionnaire permet aujourd'hui un contrôle de sa largeur et ainsi de limiter le rehaussement de la ligne d'eau.



Figure 64 : Banc alluvionnaire en pied de digue de la levée du Plateau de la Bonne Dame (Egis Eau, 16/05/2014)

6.5 Aléa sismique

Source : Rapport sur le risque sismique pour les levées de Loire (annexes de l'EdD des levées de Tours) – DREAL Centre SLBLB, Juin 2013.

Les séismes peuvent avoir des effets sur une digue. Les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont entièrement situées dans le département de la Nièvre qui est classé zone de sismicité très faible (sismicité 1) et faible (sismicité 2) (décrets N° 2010-1254 et N° 2010-1255 du 24 octobre 2010). **Les communes sur lesquelles se trouvent les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont classées en sismicité très faible (1).**

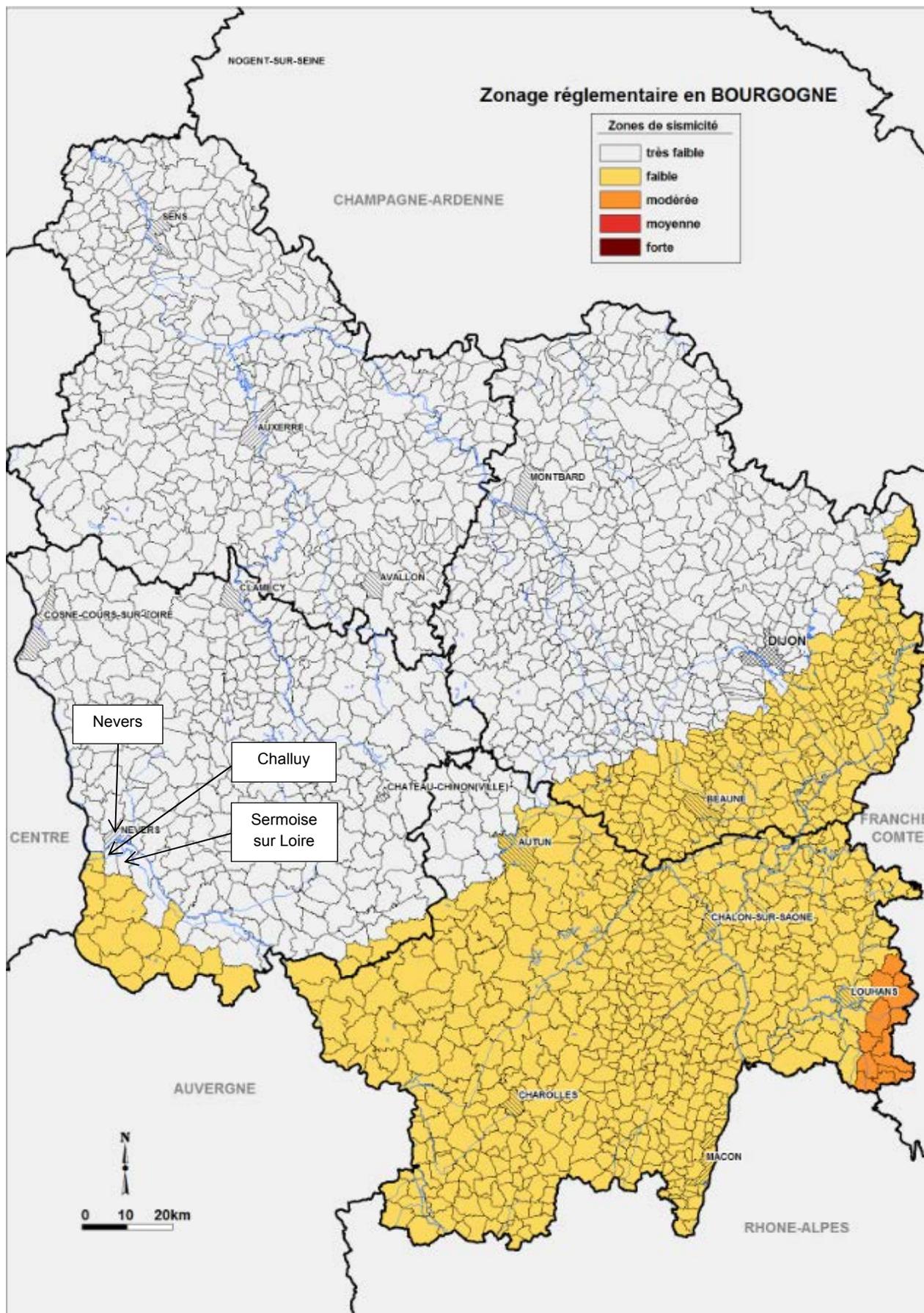


Figure 65 : Carte du zonage sismique en région Bourgogne

Un séisme peut avoir un effet important sur une digue. Deux conditions sont à prendre en compte :

- la simultanéité d'un séisme et d'une crue ;
- la survenue d'une crue après un séisme si les dégâts n'ont pas été réparés.

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

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

Un séisme survenant pendant une crue rare cumulerait les effets de l'inondation et de la secousse sismique. Toutefois la concomitance des deux événements (en prenant un temps de retour de 475 ans pour le séisme (MEDDTL-DGPR, 2010)) est très improbable, de l'ordre de 10^{-8} par an.

La deuxième situation est moins critique pour la digue mais plus probable. L'effet d'un séisme peut avoir des conséquences sur la structure de la digue, même en dehors d'une crue. Des tassements ou des modifications de la structure sont à craindre d'autant plus que celle-ci est ancienne et très hétérogène. La probabilité qu'une crue significative se produise dans le délai de 2 ans (délai de réparation des dégâts) après un séisme significatif est d'environ 10^{-5} .

La vérification de l'absence de risque de liquéfaction est **non imposée pour les digues de classe B** (Tableau ci-dessous). La liquéfaction des sols sous une sollicitation sismique est possible dans des sables fins de faible densité.

Tableau 19 : Vérification du risque de liquéfaction

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

En cas de séisme de magnitude supérieure ou égale à 4 sur l'échelle de Richter, une inspection post-sismique devra être effectuée et, si nécessaire, une visite technique approfondie qui devra s'étendre à l'ensemble des berges et des ouvrages annexes. En cas de dégradations avérées, une réparation rapide devra être entreprise.

6.6 Risque karstique

Le risque karstique est identifié comme un risque d'importance moyenne pour les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

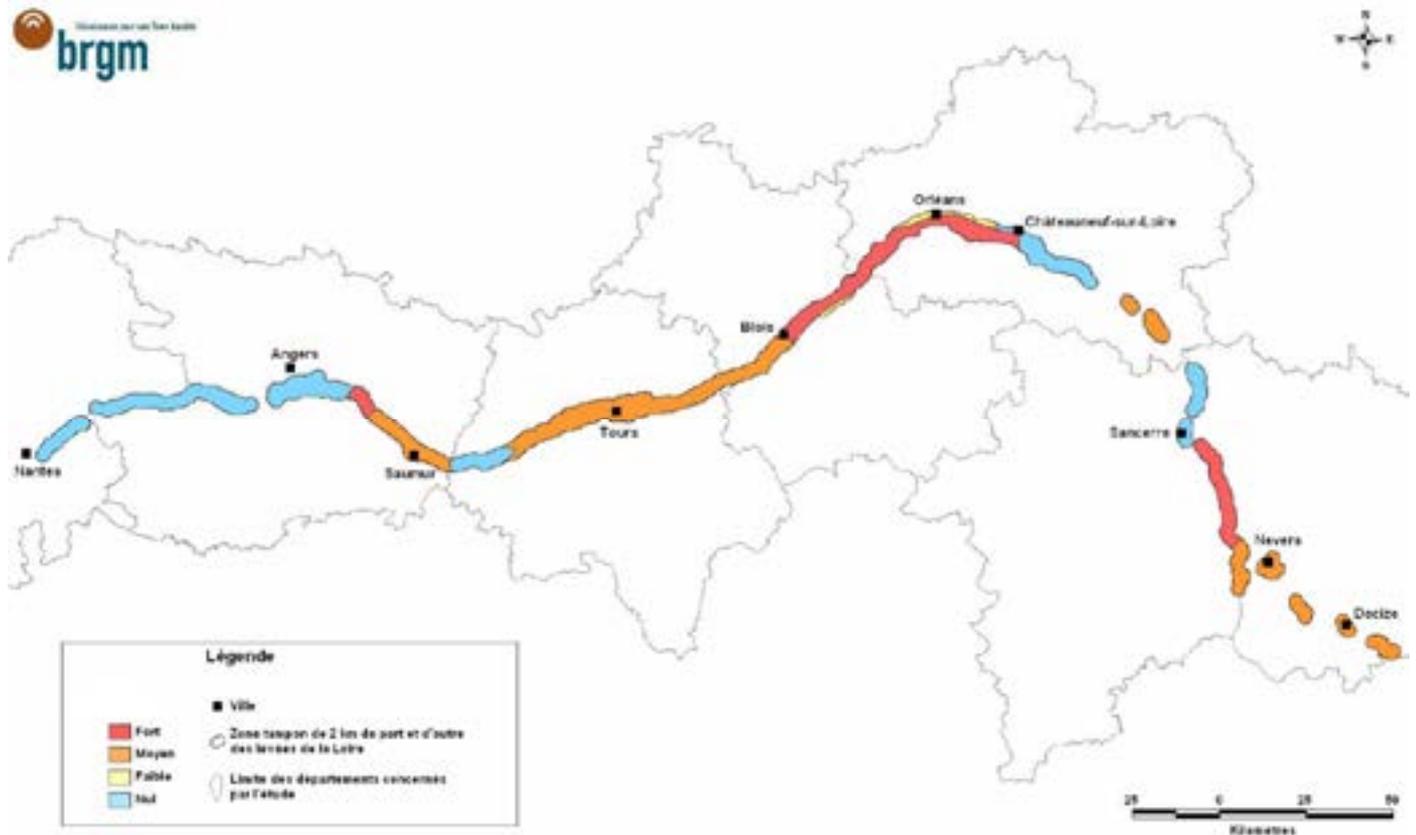


Figure 66 : Sensibilité à l'aléa karstique des levées de Loire (source : BRGM)

Le karst est un phénomène géologique affectant les formations calcaires. Il se manifeste par des conduits et cavités souterraines dans lesquelles l'eau circule. L'effet conjugué de l'érosion et de la gravité provoque des effondrements pouvant atteindre la surface.

Les événements récents (fin du XX^e siècle et début du XXI^e siècle, notamment dans le département du Loiret) ont alerté les gestionnaires. Si le phénomène karstique est assez bien connu, son impact sur les digues reste mal appréhendé.

Pour mieux qualifier cet impact, trois axes de recherche ont été engagés :

- détection et localisation des karsts ;
- connaissance des phénomènes de remontée de fontis dans la digue ou d'effondrement karstique et des scénarios de rupture de la digue ;
- spécificités du cas de la Loire.

Les connaissances actuelles permettent d'affirmer que le phénomène de remontée de karst dans les digues peut prendre deux formes principales :

1. **une remontée de taille limitée, dite « remontée de bulle »** : si la ponction des matériaux de l'horizon sablo-graveleux est limitée en volume, le vide de matériaux va se propager vers le haut par comblement du vide par les matériaux déstabilisés au-dessus. La progression peut être rapide dans les sols peu cohésifs, et beaucoup plus lente dans les horizons argileux, comme le corps de digue. Ce phénomène va décompacter les matériaux remobilisés mais aussi l'ensemble des matériaux adjacents en créant des fissurations et des arcs de décharge. Les risques pour la levée, liés à ce phénomène, sont l'érosion interne (par

augmentation de la perméabilité des matériaux affectés) et la surverse (les matériaux ont tendance à se re-compacter et à engendrer un tassement général de la digue).

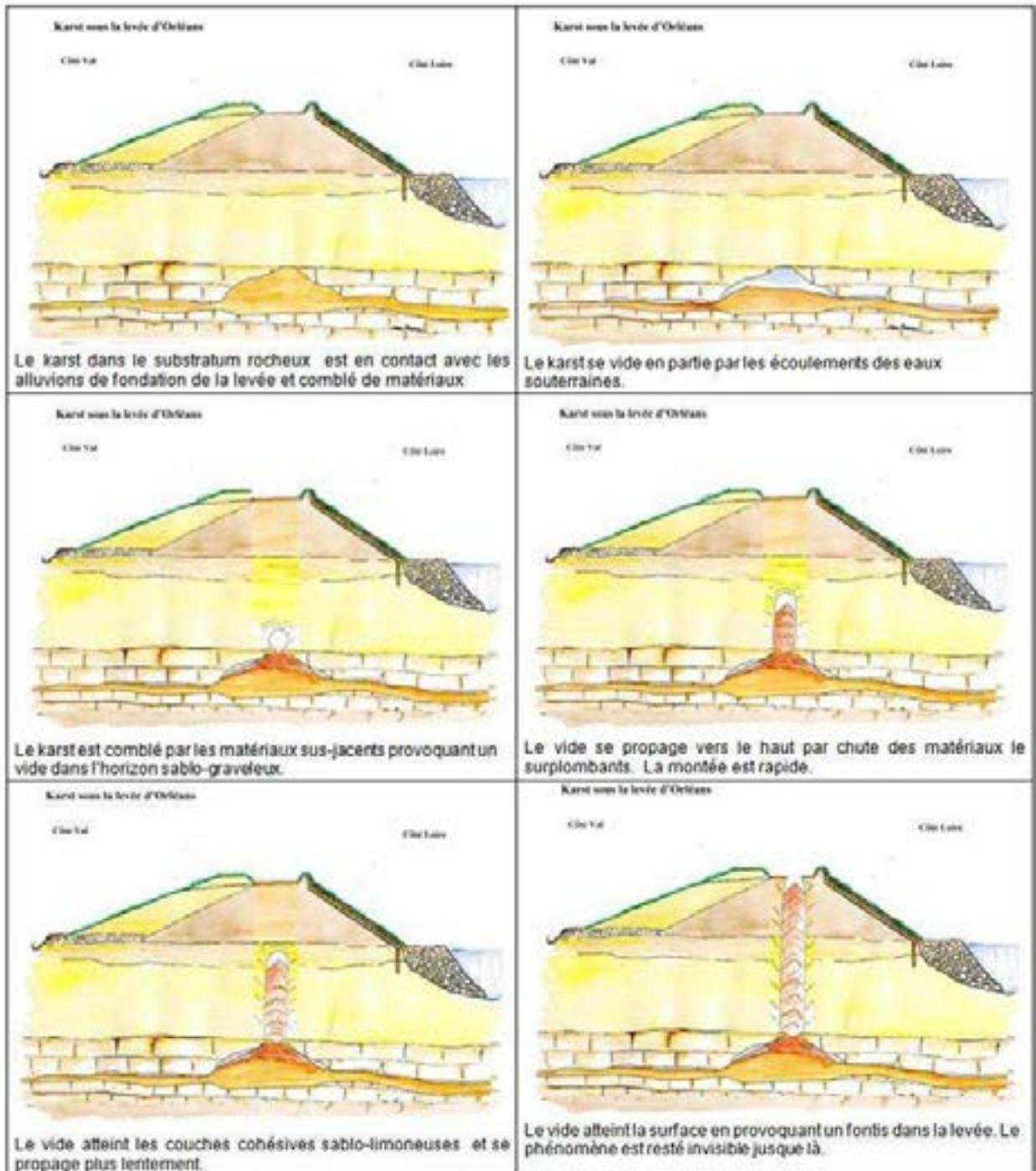


Figure 67 : Schéma de propagation d'un fontis de taille limitée (EdD de la digue d'Orléans)

- une remontée de taille importante**, générée par l'effondrement d'une dalle ou d'une voûte dans le calcaire : elle peut alors remplir une salle karstique de grandes dimensions. Ce phénomène est susceptible d'effondrer la digue en quasi-totalité, ce qui provoque la disparition locale de celle-ci. Le risque pour la levée, dans cette hypothèse, est l'apparition immédiate d'une brèche si l'événement se produit lors de la crue, ou juste avant.

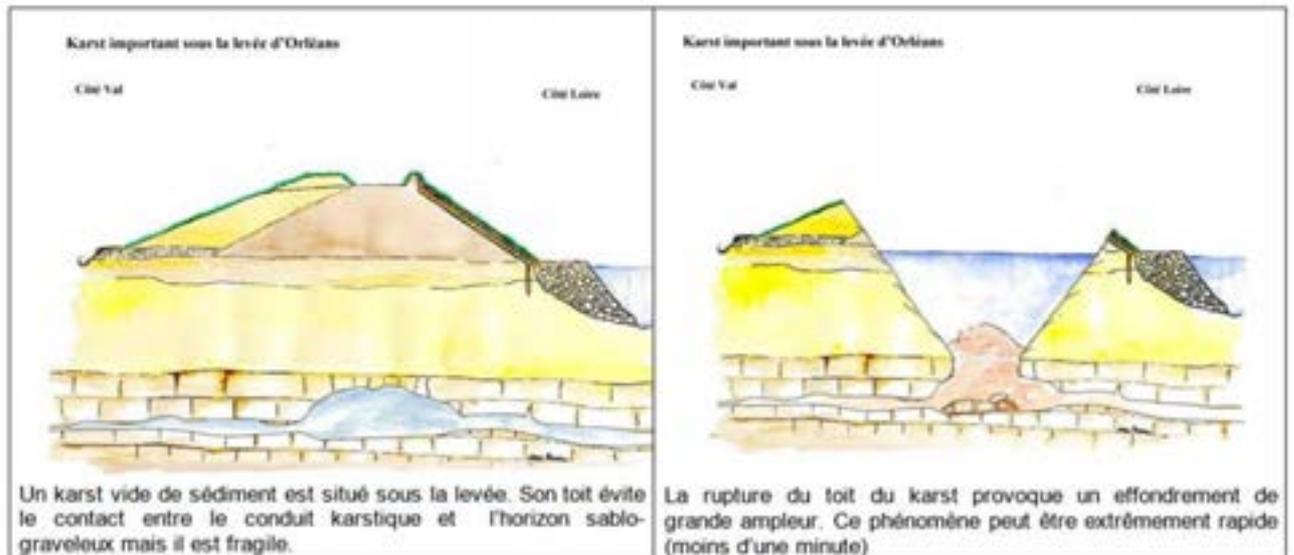


Figure 68 : Schéma d'un effondrement karstique (EdD de la digue d'Orléans)

Aucun fontis n'a été recensé sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

Le risque d'apparition d'un effondrement général ou d'un fontis lors d'une crue n'est toutefois pas à exclure, car il est possible que ces deux événements soient liés. Le mécanisme de rupture de la digue 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, le mode de rupture sera plus complexe.

Le phénomène de fontis n'est pas à lui seul susceptible de provoquer la rupture de la digue. Néanmoins, il est suffisamment déstabilisant pour générer une érosion interne de sa fondation qui, par un renard hydraulique, pourrait être à l'origine de sa rupture. Une autre hypothèse serait qu'un renard hydraulique puisse se produire entre le karst, dans lequel l'eau a quasiment la même charge que dans la Loire, et la base de la digue côté val (les pertes de charge dans le conduit karstique ouvert dans la Loire sont négligeables au regard de celles dans les matériaux). Si le renard en question ne serait pas capable a priori d'entraîner la rupture de la digue, un autre, venant de la Loire, pourrait par contre provoquer une brèche, et ce d'autant plus facilement que le fontis aurait déstabilisé l'ensemble de la fondation et de la digue en augmentant fortement la perméabilité des matériaux.

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 les levées. Il ne peut donc pas être pris en compte dans la présente étude. Le développement des connaissances et de la recherche à ce sujet est en cours (BRGM, groupes de travaux, ...).

6.7 Synthèse de la caractérisation des aléas naturels

Aléa naturel / anthropique	Qualification pour la levée de Nevers	Prise en compte dans l'Étude de dangers	Commentaires / caractérisation
Crues de la Loire	Fort	Oui	Débits de pointe et hydrogrammes (T50 à T1000)
Embâcle de glace	Fort	Non (pas directement)	Approche expérimentale en cours, les conséquences sont encore mal connues. Surveillance de la levée
Effondrement karstique	Moyen	Non (pas directement)	La quantification n'est pas faisable dans l'état des connaissances actuelles. Recherches en cours. Surveillance de la levée
Évolutions morphologiques	Moyen	Oui	Prise en compte de l'érosion des pieds de levée et de la fermeture du lit. Surveillance du lit et de la levée
Séisme	Très faible	Non (pas directement)	Pas d'obligation réglementaire pour les digues de classe B. Surveillance de la levée
Changement climatique	Non décelable	Non	Pourrait être approché en augmentant la probabilité de retour des crues mixtes. Surveillance des événements

7. Étude accidentologique et retour d'expérience

Les événements récents survenus sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy (crues de 2003 et 2008) ont surtout généré des incidents et ne sont pas suffisants pour réaliser un retour d'expérience intéressant sur le système de protection. Depuis 1907, le système de protection n'a pas connu d'évènement susceptible de le mettre réellement à l'épreuve.

Il s'agira donc de rechercher davantage d'informations dans les archives des crues historiques de la Loire, concernant tout d'abord les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy et plus généralement l'ensemble des levées de la Loire.

Il faut néanmoins noter que depuis ces événements, l'ouvrage ainsi que la zone protégée ont évolués ; il est donc nécessaire de compléter l'approche historique par l'examen de systèmes de protection de même type qui auraient connu des accidents plus récents.

La rédaction de ce chapitre s'est appuyée sur les documents suivants :

- *Archives départementales et archives de la DDT 58*
- *Retour d'expérience sur la crue de décembre 2003, SAFEGE 2005*
- *Retour d'expérience des crues de la Loire et de l'Allier de novembre 2008*
- *Etude Globale du Risque Inondation sur l'Agglomération de Nevers (EGRIAN), Agglomération de Nevers, 2008*
- *Etude de dangers des levées de Tours, DREAL Centre / SLBLB 2013*
- *Etude de dangers de la levée d'Orléans, DREAL Centre / SLBLB 2012*
- *Description de ruptures de digues consécutives aux crues de décembre 2003 dans les départements de Bouche du Rhône, du Gard et de l'Hérault, CETE méditerranée 2004*

7.1 Historique des crues de la Loire

La Loire a connu plusieurs grandes crues historiques dont notamment :

- La **crue de 1790**, qui endommage fortement le vieux pont de Nevers (cinq de ces arches sont détruites et la liaison entre les deux rives est coupée) et les levées existantes (levée de Sermoise, levée de Médine).
- La **crue de 1846**, crue **la plus forte en débit** du XIXème siècle : la Loire monte de plus de 4 mètres en quelques heures et finit par dépasser de 0.5 mètres le niveau atteint en 1790. Cette crue met en eau un tiers de la ville de Nevers.
- La **crue de 1856**, considérée comme **la plus dévastatrice** ; elle ouvre 150 brèches sur tout le cours de la Loire.
- La **crue de 1866**, enregistrée comme étant **la plus haute crue** sur Nevers.

La fréquence de grandes crues de la Loire diminue à partir du début du XIXème siècle, dû à un enchaînement météorologique d'années particulièrement clémentes. Ceci fait naître dans la population un faux sentiment de sécurité.

La crue de 1907 peut être citée ; les eaux atteignent 5,34 mètres à l'échelle de Nevers. Plusieurs quartiers (Jonction, Bagatelle, Bords de Loire) sont inondés par la remontée de nappes derrière les levées ou par les ouvrages de transparence (ponts de la voie ferrée).

D'autres crues surviennent ensuite mais sans atteindre les niveaux d'eaux des grandes crues du 19^{ème} siècle : décembre 1924, décembre 1968, mai 2001, décembre 2003.

Tableau 20 : Recensement des crues mesurées à l'échelle de Nevers

Date de la crue	Type de crue	Hauteur d'eau à l'échelle de Nevers
13 novembre 1790	Océanique	5.80
19 octobre 1846	Mixte	6.33
31 mai 1856	Mixte	6.13
27 novembre 1866	Mixte	6.36
19 octobre 1907	Cévenole	5.34
2003	Cévenole	3.88
2008	Cévenole	3.52

7.2 Étude des brèches historiques

7.2.1 Étude des brèches historique sur la levée de Nevers

Au-delà d'une hauteur de 6 m mesurée à l'échelle de Nevers, les crues ont été suffisamment puissantes pour créer des brèches dans certaines digues et ainsi ouvrir les vals à l'inondation. C'est notamment le cas des grandes crues historiques du XIX^{ème} siècle (1846, 1856, 1866). L'ouverture d'une brèche dans la digue et ses conséquences constituent l'accident de référence pour l'Etude de dangers.

Les grandes crues de la Loire du XIX^{ème} siècle ont en effet provoquées plusieurs brèches sur le système de protection de Nevers (cf Etude spécifique S04) :

- 1846 : 5 brèches ont été recensées sur la levée de Sermoise (rive gauche) ;
- 1856 : 3 brèches ont été recensées en rive gauche (1 sur la levée de Sermoise, 1 sur la levée du Plateau de la Bonne Dame et 1 sur la levée de Gimouille), et 2 en rive droite sur la levée de Saint Eloi ;
- 1866 : 3 brèches ont été recensées en rive gauche, 1 sur la levée de Sermoise et 1 sur la levée du Plateau de la Bonne Dame.

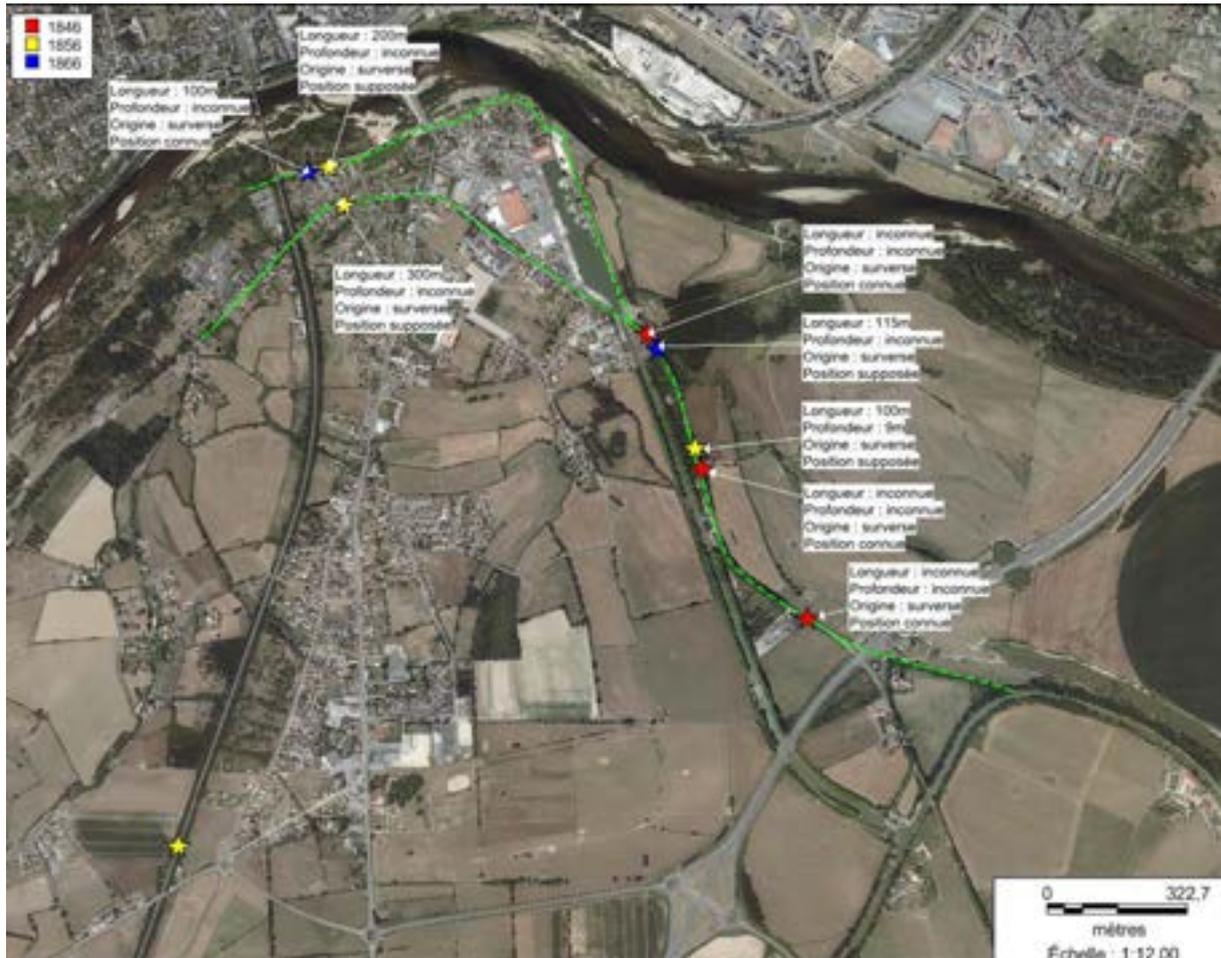


Figure 69 : Localisation et caractéristiques des brèches sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy (fond de plan : orthophotos 2011)

*Les deux brèches supplémentaires en 1846 mentionnées ci-dessus n'ont pas pu être identifiées dans les documents d'archives.

7.2.2 Enseignement des autres brèches sur les levées de la Loire

Certains éléments concernant les causes et caractéristiques des brèches historiques sur des digues alentours ou de structure comparable peuvent apporter des compléments à l'analyse des brèches historiques de la zone d'étude et permettre de mieux appréhender le comportement des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy en période de crue.

7.2.2.1 Enseignements généraux sur les brèches en Loire moyenne

Les études générales suivantes, menées sur les levées de la Loire, peuvent apporter des éléments sur la formation de brèches :

- *Etude des brèches des levées de Loire, Laboratoire Régional de Blois*
- *Approche géomorphologique des brèches dans les levées de la Loire, William Halbecq 1996*
- *Etude de reconnaissance et caractérisation des brèches anciennes dans les digues de la Loire, DESCAMPS-DIREN Centre 2008. Cette étude permet notamment d'estimer que la largeur de*

la zone de dissipation d'énergie à l'arrière de la digue surversée est égale à 100 fois sa hauteur.

Les causes directes de rupture des levées ont été analysées sur l'ensemble des 3 grandes crues du XIX^{ème} siècle. Le tableau suivant résume le taux d'apparition des différents types de ruptures des digues.

Tableau 21 : Fréquence des différents mécanismes de brèches en Loire moyenne

Cause de la brèche dans la digue	Taux d'apparition
Surverse du fleuve vers le val	48 %
Surverse de retour du val vers le fleuve	18 %
Rupture de Banquette	15,5 %
Erosion interne	4,5 %
Erosion externe	4,5 %
Autres causes	9,5 %

De plus, 88% des brèches d'entrées sont survenues en zone de rétrécissement local (c'est-à-dire qu'il y a moins de 200m entre le site de la brèche et un rétrécissement visible du lit entre levées), dont 47% lorsque la levée borde directement le lit mineur actif ou la bande de remaniement au niveau de l'un de ces rétrécissements locaux. Ces sites sont favorables à l'apparition de surverse et d'érosion en pied.

Sur les 9% ne présentant pas de rétrécissements ; les brèches sont dues à des surverse principalement au niveau de points bas, ou à des problèmes de renard à l'interface banquette/levée.

3% des brèches ne trouvent pas d'explication.

Le retour d'expérience sur les brèches des levées de la Loire permet également d'affirmer les éléments suivants :

- 2/3 des cas de surverse sont liés à l'existence d'un point bas dans le profil en long de la levée ;
- Les érosions et affouillements des levées de la Loire se produisent en bordure du lit mineur ;
- Le risque de renard hydraulique s'accroît avec la durée de la crue et le vieillissement des levées (présence de terriers, de racines d'arbres morts, ...) ;
- Le risque d'instabilité et de rupture de la levée apparaît pour des levées ayant une faible largeur en crête et de fortes pentes.
- L'importance des phénomènes d'infiltration dans les levées est fortement conditionnée par la période à laquelle survient la crue relative au cycle hydrologique de la Loire. (Ainsi, pour la crue de 1846, les phénomènes d'infiltration sont réduits, la crue arrivant après une période d'étiage important).

7.2.2.2 Les brèches historiques des levées d'Orléans

L'analyse des brèches des levées d'Orléans (cf Étude de dangers des levées d'Orléans) indique que la majorité des brèches du XIX^{ème} siècle se sont produites suite à une surverse. Il en est le cas pour 5 brèches sur 7 lors de la crue de 1846, 2 brèches sur 3 en 1856 et 4 brèches sur 4 en 1866. Les

dimensions caractéristiques des brèches varient de 50m à 800m de longueur et de 5m à 19m de profondeur à partir du sommet de la digue. L'étude précise également que les ruptures ont généralement eu lieu lorsque le niveau d'eau atteignait 20cm au-dessus du sommet de digue hors banquettes, même en présence de celles-ci. Ce constat a d'ailleurs conduit à ne pas prendre en compte les banquettes dans l'Étude de dangers des levées d'Orléans.



Figure 70 : Position des brèches lors des crues du XIXème siècle (Source : LR Blois)

Il existe 4 brèches historiques caractéristiques pour le val d'Orléans, qui ont permis de dresser une typologie des brèches dans la levée d'Orléans : la brèche de Sandillon en 1846, la brèche de Jargeau en 1856 et les brèches de Jargeau et du château de l'Isle à Saint-Denis –en-val en 1866. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 22 : Brèches caractéristiques de la levée d'Orléans (Source : EdD du val d'Orléans)

Crue	Brèche	Revanche ligne d'eau /crête hors banquettes	Longueur	Profondeur de la fosse d'érosion	
				moyenne	maximale
1846	Sandillon	- 0,20 m	400 m	-	5,00 m
1856	Jargeau	0,00 m	650 m	6,00 m	18,70 m
1866	Jargeau	0,20 m	250 m	6,30 m	8,65 m
1866	Château de l'Isle	0,25 m	300 m	6,80 m	11,15 m

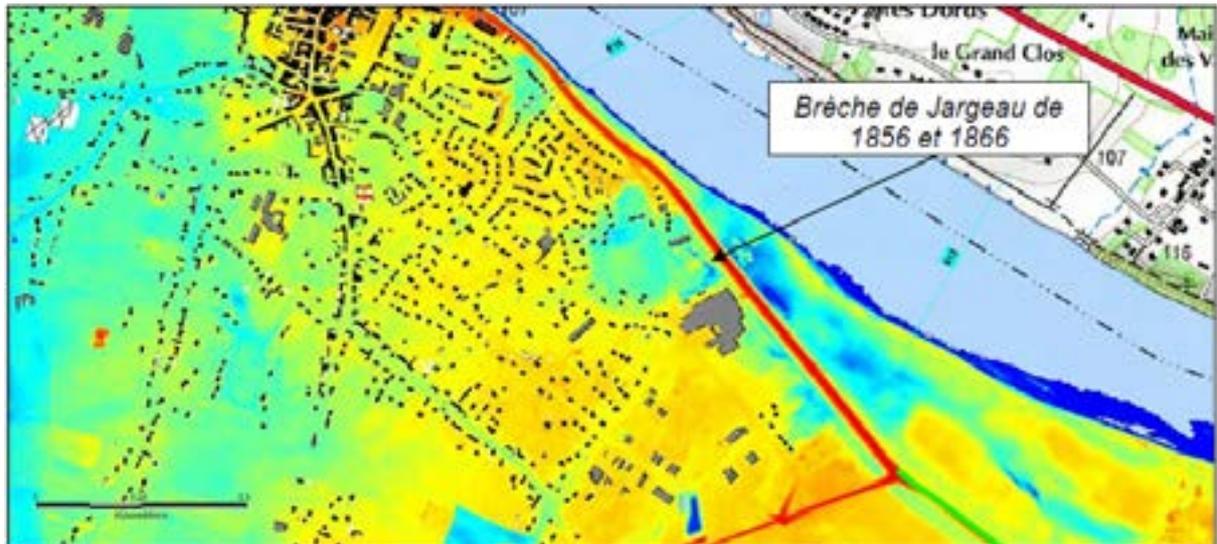


Figure 71 : Fosse d'érosion des brèches de Jargeau suite aux crues de 1856 et 1866 (Source : EdD du val d'Orléans)

7.3 Incidents récents

7.3.1 Evolution de la crue de la Loire en 2003

Avec une cote de 3,8 m, la crue de 2003 est la seule qui ait réellement mis les digues en eau depuis 1907. Elle est principalement marquée par **des retards dans l'annonce de la crue** (notamment pour les communes situées en Loire amont) et **des problèmes d'alimentation en eau potable**.

Les communes situées en amont du barrage de Villerest sont particulièrement touchées. La zone en aval directe de ce barrage subit quant à elle peu de dégâts, compte tenu d'un débit sortant limité (1600m³/s). En effet, ceci se traduit par un gain sur la hauteur d'eau de 0,5 - 1m sur la Loire bourguignonne, et jusqu'à 1,5m à Roanne.

Les dégâts sont de nouveau plus conséquents entre Digoin et Decize : quelques quartiers ont été inondés, et l'alimentation en eau potable est interrompue pour cause de pollution des captages.



Figure 72 : Montée des eaux à Decize lors de la crue 2003 (source : équipe pluridisciplinaire Plan Loire grandeur Nature)

La zone située entre le bec d'Allier et Gien est la zone la plus touchée lors de la crue de 2003. En effet, la confluence de la Loire et de l'Allier ne fait qu'augmenter les dommages. Le problème principal est encore une fois l'alimentation en eau potable, qui est coupée pour cause de trop forte turbidité.

On note cependant que les digues et déversoirs existants ont bien fonctionné, orientant les écoulements vers des zones d'expansion des crues. La levée de Léré se montre néanmoins submersible pour une cote supérieure à 3,30m.

En aval de Gien, la crue est moins dévastatrice, le lit peut contenir une crue de l'ordre de 3000m³/s et la crue s'est déjà bien répandue en amont.

7.3.2 Les conséquences de la crue de 2003 sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Les informations suivantes sont issues du rapport de Retour d'expérience sur la crue de 2003 de l'Etablissement Public Loire.

La crue de 2003 n'a pas provoqué de grands dommages à Nevers, seules quelques maisons ont été touchées. La Loire atteint en fait son maximum au bec d'Allier dans la nuit du 6 au 7 décembre avec un débit de 3350m³/s à Givry. Les autres affluents de la Loire (Cher, Vienne et Maine) n'étaient pas en crue ; la crue s'amortit donc progressivement vers l'aval et passe de 3250m³/s à Orléans à 3050m³/s à Tours. La vitesse moyenne de propagation est supérieure à 4km/h.

Le problème principal à Nevers est **l'alimentation en eau potable**, qui a touché toute l'agglomération. En effet, l'eau a été coupée pour cause de trop forte turbidité. La crainte de manquer d'eau a même entraîné des mouvements de panique de la population dans les supermarchés.

Par ailleurs, **l'annonce de la crue a été déficiente** ; il y a eu un décalage dans le temps et en hauteur. Pour le SIDPC, l'annonce de crue n'a pas posé de problème particulier mais pour certains services (DDASS, SDIS), l'alerte et les prévisions n'ont pas été diffusées assez rapidement. De plus, certaines communes n'ont pas eu d'information suffisante sur la situation hebdomadaire.

Plus particulièrement au niveau du port de la Jonction, il est à noter que le clapet de la canalisation, situé sous l'ancienne écluse, permettant l'évacuation du trop-plein du port n'a pas été fermé comme il est consigné de le faire à partir d'une hauteur de 3m50. En 2003, le port n'a pas débordé. Par contre il a été remarqué la présence de remous dans le port probablement dus à une remontée de nappe phréatique et une arrivée d'eau dans la canalisation par le clapet de l'ancienne écluse qui est resté ouvert.

Le retour d'expérience sur cette crue montre qu'il faudra prévoir un système plus efficace en cas de crue plus importante. Cette crue correspond à la limite supérieure de la capacité locale à gérer la situation. En effet, cette crue ne correspondait pas à une crue exceptionnelle, des améliorations doivent donc être apportées dans l'éventualité d'une évacuation de masse, compte tenu des axes routiers et ferrés majeurs coupés.

7.3.3 Les conséquences de la crue de 2003 sur d'autres levées de Loire

Comme indiqué précédemment, la crue de 2003 a été particulièrement dommageable en amont du barrage de Villerest ainsi que dans le département de la Nièvre.

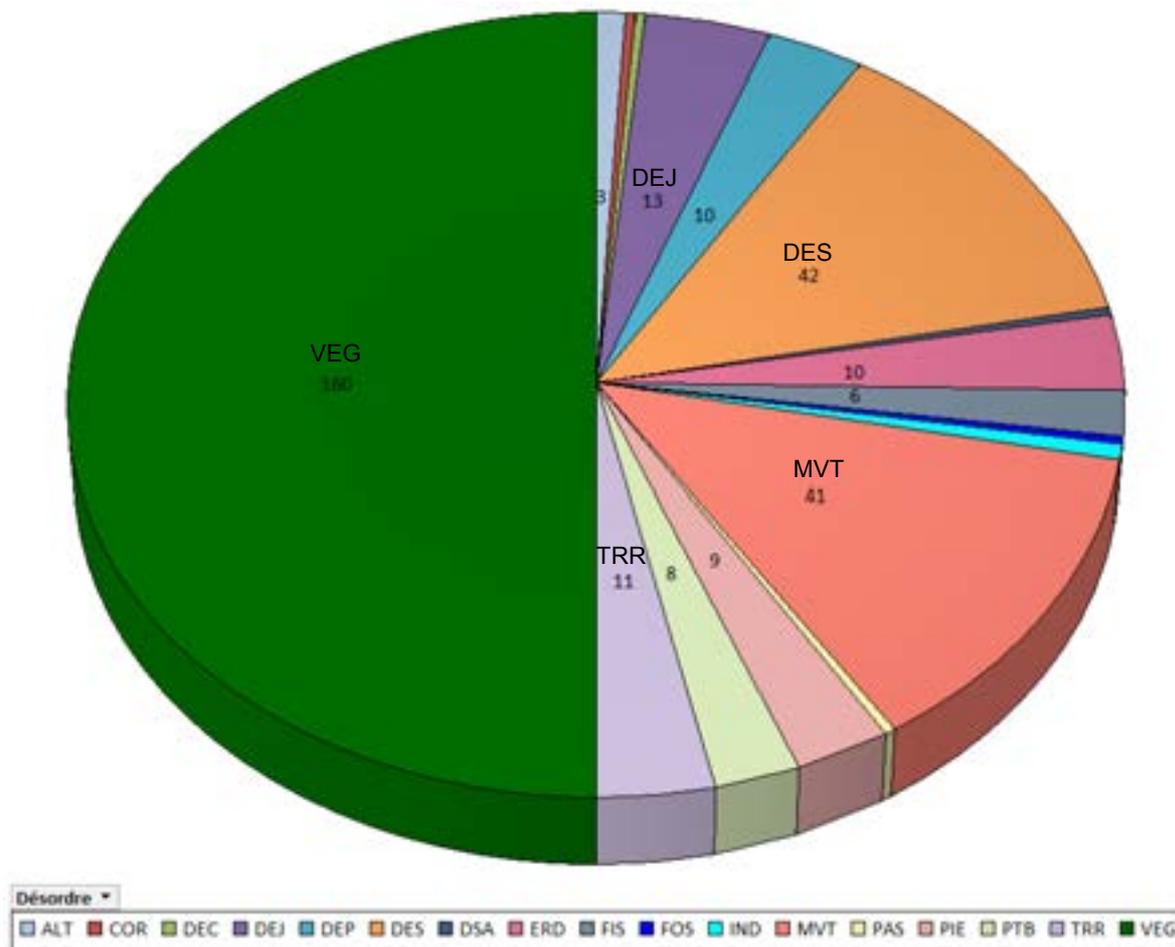
En effet, les événements suivants peuvent être retenus :

- Formation d'une brèche de 20m sur une digue de la commune de Montrond-les-Bains dans le département de la Loire (en amont du barrage de Villerest) ;
- Fonctionnement des déversoirs de Passy, Léré et Saint-Martin-sur-Ocre avec une hauteur d'eau au-dessus des déversoirs de respectivement 0,50m, 0,60m et 0,20m. Les autres déversoirs n'ont pas fonctionné car leurs cotes de fonctionnement étaient supérieures à la crue de 2003 ;
- Remontée de nappes en arrière immédiat des digues qui étaient en eau lors de la crue.

De plus, les digues de Beffes et de Herry étaient fragilisées par des terriers de blaireaux aux lieux-dits les Rapins, les Barreaux et les Butteaux. Une action d'urgence (fermeture des terriers à la pelle mécanique) a été mise en place dans la nuit du 6 au 7 décembre pour ainsi empêcher la formation quasi-certaine d'une brèche. La crue étant déjà en cours, le chauffeur de la pelle et le contrôleur de la DDE ont dû être évacués par les pompiers. Une annonce de crue moins tardive aurait peut-être permis de réagir de manière moins précipitée.

7.3.4 Les incidents hors crue sur la levée de Nevers

Lors de la VTA de 2013, 41 mouvements de terrain (MVT), 42 déstructurations d'ouvrages (DES) et 13 déjoindements (DEJ) ont été recensés ; témoignant du vieillissement de l'ouvrage. A ceci s'ajoutent la présence d'une végétation développée en digue (VEG), notamment sous forme d'alignement d'arbres en crête de digue, et de terriers d'animaux fouisseurs (TRR).



Les abréviations des types de désordres sont fournies en annexe.

Figure 73 : Répartition des désordres recensés lors de la VTA 2013 (cf rapport VTA)

7.3.5 Les incidents hors crue sur les autres levées de la Loire

La présence de terriers d'animaux fouisseurs peut être généralisée sur l'ensemble des levées de la Loire.

De plus, plusieurs événements d'origine karstique, se sont produits sur ou à proximité de la levée d'Orléans ces dernières années. A titre d'exemple peuvent être cités l'effondrement en pied de levée sur la limite entre Saint-Jean-le-Blanc et Saint-Denis-en-Val entre 2005 et 2007, l'effondrement en sommet de la levée à Jargeau en 2009 et 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 en 2010 (cf Étude de dangers du val d'Orléans).

Par ailleurs, la levée de Villandry (digue de classe B en rive gauche du Cher) a connu en 2012 un glissement de la totalité du talus côté Loire. Ceci s'est produit alors que le Cher était à l'étiage. Le talus de la digue était très raide à cet endroit et une fosse d'érosion de 2m existait. Cet effondrement rappelle l'importance de la stabilisation des pieds de digue au niveau de zones d'affouillement et l'importance des visites de surveillance qui permettent de déceler des premiers signes de fragilisation des levées.

7.4 Retour d'expérience sur d'autres systèmes de protection

Le tableau suivant liste des événements récents survenus sur d'autres systèmes de protection dont certaines caractéristiques sont proches de celles des levées de la Loire.

Tableau 23 : Evénements climatologiques et enseignements pour l'EdD (source : EdD de Tours, 2013)

Accident	Nombre victimes	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 réparations d'urgence
Crue de l'Agly et rupture de la digue		1999	Rupture suite à 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

L'étude de certains phénomènes de brèches qui se sont produits suite à la crue du Rhône en 2003 (crue historique de ce fleuve sur sa partie aval) est intéressante pour cette présente étude de dangers. En effet, les exemples présentés dans le tableau suivant concernent des digues en terre et illustrent des scénarios pouvant se produire sur les levées de la Loire.



Figure 74 : Destructuration d'une maison à Fourques (source : CETE méditerranée)



Figure 75 : Brèche sur la digue à Saint-laurent-d'Aigouze (source : CETE méditerranée)

Tableau 24 : Retours d'expérience sur des digues en terre – caractéristiques des brèches et travaux entrepris

Communes	Caractéristiques de la digue			Caractéristiques de la brèche			Réparations
	Dimensions	Largeur du franc-bord	Matériaux	Dimensions	Origine	Conséquences	
Fourques du Rhône (digue)	$H_{\text{rivière}} = 3\text{m}$ $h_{\text{val}} = 3,7\text{m}$ $l = 2\text{m}$	0- 5m	Profil datant du milieu du XIXème siècle, en terre	$L = 230\text{m}$ $P_{\text{fosse}} = 10\text{m}$	Surverse et facteurs aggravants (fossé profond en pied de digue, maison encastrée, indice d'instabilité)	Destructuration d'une maison (cf Figure 36), inondation de l'A54, inondation de Saint-Gilles	Mise en place d'un masque étanche côté rivière, engraissement côté val, assise en enrochement sous la digue
Codolet (digue du Lône-de-Codolet)	$H_{\text{rivière}} = 2\text{m}$ $h_{\text{val}} = 2\text{m}$ $l = 2\text{m}$	Quelques mètres	Digue en terre protégée par un perré maçonné ou bétonné, crête revêtue de béton	$L = 20\text{m}$	Surverse et facteurs aggravants (plusieurs glissements de terrain observés avant la crue)	Inondation du village puis de tout le casier de Codolet	Confortement côté rivière (perré bétonné) et côté val (enrochement bétonné) sur 300ml
Saint-laurent-d'Aigouze (digue du Vidourle)	$H_{\text{rivière}} = 3\text{m}$ $h_{\text{val}} = 3\text{m}$ $l = 3\text{m}$	0	Digue en terre	$L = 40\text{m}$	Renard hydraulique causé par un ou plusieurs terriers	Inondation de champs et de quelques maisons	Reconstitution à l'identique par un matériau argileux
Lattes (digue de la Mosson)	$H_{\text{rivière}} = 3\text{m}$ $h_{\text{val}} = 3\text{m}$ $l = 3\text{m}$	0	Digue en terre	2 brèches $L = 20$ et 40m	Non déterminé mais nombreux désordres relevés	Inondation du hameau des Marestrelles	Reconstitution à l'identique. Une visite de contrôle en 01/2004 identifie de nouveaux désordres (glissements, tassements) notamment dus à un mauvais compactage lors du comblement des brèches (cf Figure 38)

8. Identification et caractérisation des risques en terme de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences

8.1 Objectifs

Ce chapitre de l'Étude de dangers vise à identifier, choisir et caractériser différents scénarios de défaillance du système d'endiguement dans le but d'estimer le risque d'inondations qu'ils représentent pour la zone protégée.

Les scénarios retenus permettent de faire la synthèse des inondations possibles dans la zone considérée, de leurs causes et de leurs conséquences.

Le résultat de la démarche d'analyse de risque consiste en un positionnement des différents scénarios de défaillance sur une grille de criticité exprimant le croisement entre leur probabilité d'occurrence et la gravité de leurs conséquences.

Cette hiérarchisation des scénarios constitue la base sur laquelle a été conduite l'étude de réduction des risques (chapitre 9).

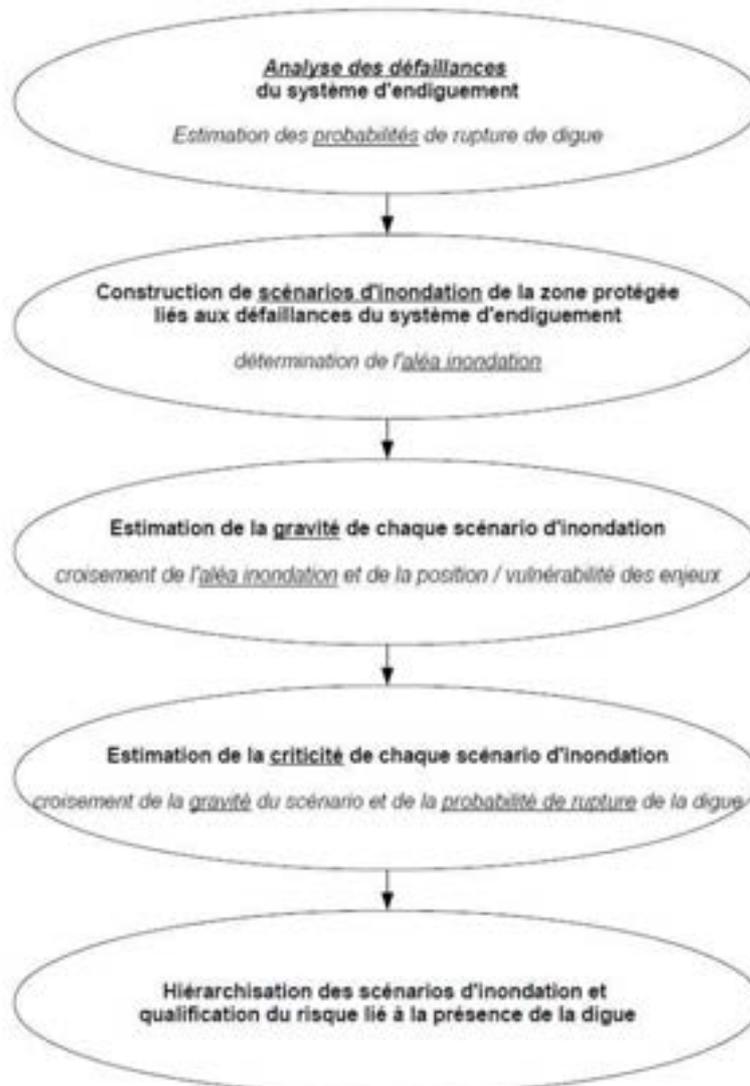


Figure 76 : Diagramme simplifié de la démarche d'analyse du risque (source : EdD du val de Tours)

Deux valeurs de probabilités de rupture de digue sont avancées dans la suite du document et définies plus précisément dans l'étude spécifique S7 :

- **les probabilités évènementielles** attachées à une crue donnée et qui permettent la détermination du niveau de sûreté de chaque système de protection ;
- **les probabilités annuelles** qui permettent de qualifier la probabilité de rupture de la digue pour toutes les crues jusqu'à la crue définissant le niveau de protection apparent.

Le lecteur est toutefois alerté sur les valeurs de ces probabilités. 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% ou de 100% affichées pour les probabilités évènementielles sont à interpréter comme indicatives et ne doivent en aucun cas être comprises comme étant des certitudes.

Pour simplifier les calculs, les profils en travers, représentant chacun un tronçon de 50 mètres des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy, ont été considérés comme

homogènes et indépendants les uns des autres (la rupture de l'un n'a pas de conséquence sur la rupture de l'autre). Cette notion d'indépendance n'est pas réelle puisque la rupture d'un tronçon va modifier dans le temps les conditions hydrauliques devant les autres tronçons de digues. Cette méthode de calcul s'intéresse, par conséquent, à la probabilité de première rupture de chaque système de protection. Aussi, un des principaux intérêts des probabilités calculées par le modèle d'aléa de rupture de digue réside dans la comparaison de ces tronçons les uns avec les autres, mettant ainsi en évidence les zones de fragilité du système d'endiguement.

8.2 Description et principes de la méthodologie

La méthodologie pour l'identification et la caractérisation des risques est détaillée dans l'étude spécifique S7.

8.2.1 Principe général

La démarche d'analyse de risques, appliquée aux études de dangers des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) ou aux barrages, comprend classiquement les quatre étapes suivantes issues de la sûreté de fonctionnement :

- l'analyse fonctionnelle de l'ouvrage, telle que traitée dans le chapitre 3 de la présente étude ;
- l'analyse de ses modes de défaillance, pouvant être effectuée sur la base d'une méthode de type AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) ;
- la modélisation de la sûreté de fonctionnement du système et des scénarios de défaillance. Ces scénarios peuvent être construits à partir d'une des méthodes de modélisation des scénarios de défaillance : la méthode de l'arbre des causes, la méthode de l'arbre d'événement ou méthode du nœud papillon ;
- l'analyse quantitative des scénarios de défaillance : évaluation en termes de probabilité d'occurrence et de conséquences.

L'application aux systèmes d'endiguement de cette démarche d'analyse de risques, aujourd'hui couramment utilisée dans les études de sûreté de fonctionnement des barrages, s'est heurtée, dans le cadre de sa mise en œuvre pour l'Étude de dangers, à un certain nombre de difficultés. Il a donc été fait un certain nombre d'adaptations aux cas particuliers des digues répondant aux mêmes critères et exigences.

Dans le cas présent, l'analyse de risque du système d'endiguement comprend :

- la caractérisation du potentiel de rupture des tronçons qui composent le système de digues ;
- l'estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement.

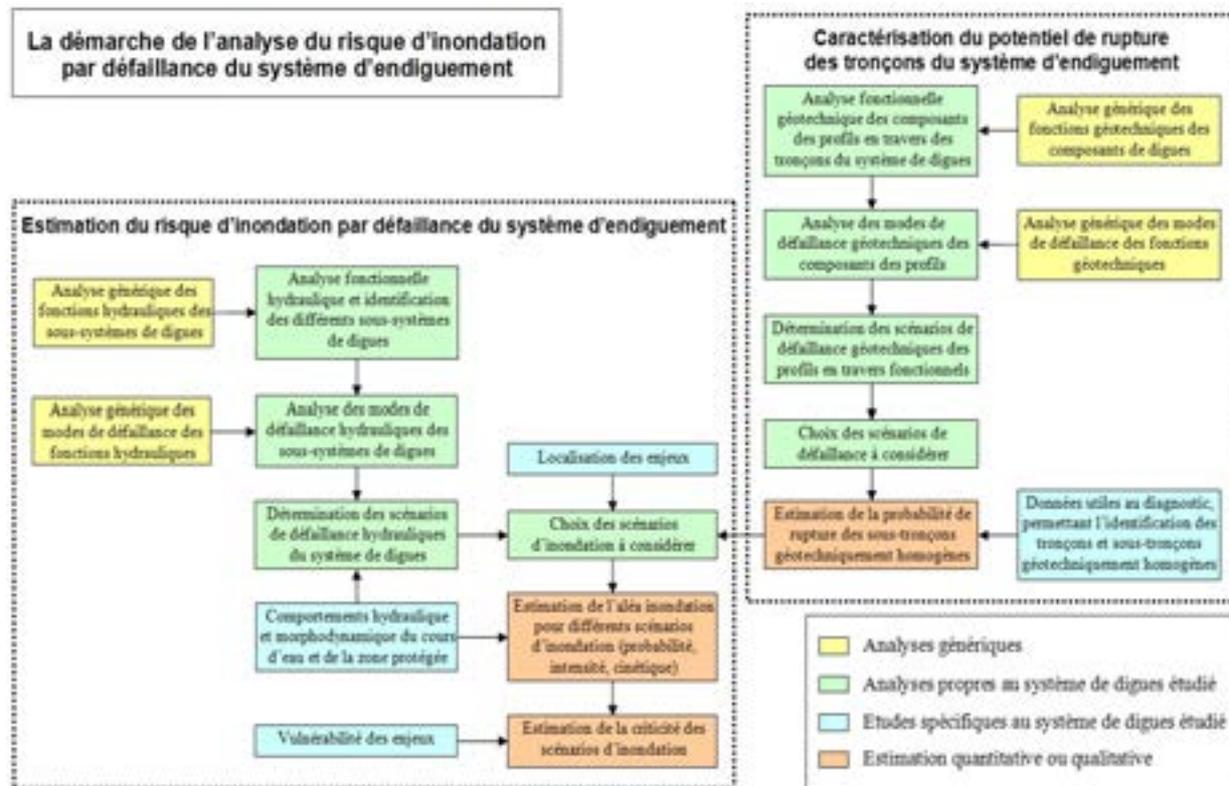


Figure 77 : démarche de l'analyse du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement (diagramme Irstea)

8.2.2 La caractérisation du potentiel de rupture des tronçons de digues

La démarche de caractérisation du potentiel de rupture des tronçons de digues repose sur les résultats de l'analyse fonctionnelle géotechnique du système d'endiguement (chapitre 3 de cette présente étude de dangers).

Elle est conduite en deux étapes successives :

- l'identification des scénarios de rupture envisageables ;
- l'estimation de la probabilité de rupture des tronçons de digues.

8.2.2.1 Identification des scénarios de rupture envisageables

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets permet de passer de l'analyse fonctionnelle de chacun des profils en travers types de digue étudié à la détermination des scénarios de défaillance qui lui sont attachés. L'objectif est d'identifier les modes de défaillance des fonctions géotechniques de chaque composant d'un profil en travers type ainsi que leurs causes et leurs effets dans le but de mettre en évidence des interactions possibles entre composants, en fonction de l'organisation de ces derniers au sein des profils. Les effets des défaillances des uns sont les causes des défaillances des autres, d'où des enchaînements possibles entre les causes et les effets des défaillances des fonctions géotechniques.

Théoriquement, la démarche d'analyse de risque 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 de causes, méthode des arbres d'événements, méthode du nœud papillon. Toutefois, l'application de ces méthodes aux systèmes d'endiguement, souvent

extrêmement complexes de par leur constitution très hétérogène et par leur étendue, est encore mal maîtrisée.

Dans la présente étude de dangers il n'a pas été possible 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 cinq « modes de rupture » de digues habituels : surverse, érosion interne, glissement de talus, érosion externe, soulèvement hydraulique.

Ces modes peuvent se décrire en termes de scénarios de rupture de digues. Sept types différents ont été distingués, définis par leurs mécanismes élémentaires de détérioration prépondérants :

- rupture par surverse ;
- rupture par érosion interne ;
- rupture par glissement de talus côté zone protégée (côté val);
- rupture par glissement de talus côté cours d'eau ;
- rupture par érosion externe (du pied de la levée), glissement du talus côté fleuve puis érosion interne ;
- rupture par affouillement et érosion interne ;
- rupture par soulèvement hydraulique (claquage) puis érosion interne.

Ces différents scénarios de rupture ont été classés à la suite en quatre groupes :

- rupture par défaut de stabilité de la digue ou de sa fondation, dans lequel on retrouve les modes de rupture élémentaires : rupture par déstabilisation générale ; par glissement côté val ; par glissement côté Loire ; par soulèvement hydraulique de la fondation côté val ;
- rupture par érosion interne ;
- rupture par surverse ;
- rupture par érosion externe.

Ces scénarios sont détaillés sous la forme d'arbres de défaillance simplifiés et traduits en termes de fonction et composants prépondérants pour chaque profil en travers fonctionnel du système d'endiguement (cf. étude spécifique S7).

8.2.2.2 Estimation de la probabilité de rupture des tronçons de digues

L'estimation du potentiel de rupture des tronçons de digues du système d'endiguement consiste en l'évaluation des probabilités des scénarios de défaillance géotechnique des profils en travers leur correspondant. Ce diagnostic est réalisé sur la base de l'ensemble des données disponibles pour le système de digues :

- Données géotechniques ;
- Données topographiques et géométriques ;
- Recensement des désordres (végétation, terriers d'animaux fouisseurs), et notamment des ouvrages inclus (canalisations et bâtiments encastrés).

Ces données sont complétées par les résultats des études spécifiques menées dans le cadre de cette étude de dangers :

- Étude spécifique S3 « morphodynamique locale »,
- Étude spécifique S2 « Étude hydraulique locale via l'utilisation d'un modèle hydraulique 2D »,
- Étude spécifique S4 « historique »,
- Études transversales (autres risques, retour d'expérience, ...).

La capacité du gestionnaire à agir en cas de problème constaté dans les levées, juste avant ou pendant une crue, est aussi prise en compte (coefficient lié à la gestion de l'ouvrage dans le logiciel CARDigue).

L'estimation du potentiel de rupture du système d'endiguement a ici été conduite pour des profils en travers pris à un pas fixe de 50 m, complétés si nécessaire par des profils spécifiques (au niveau de zones de transition hétérogènes). Le calcul de la fiabilité est mené sur la base des caractéristiques physiques des composants des profils, pour chacun des modes de rupture considérés et pour toute une gamme de lignes d'eau. Il a été choisi de modéliser les crues ayant la probabilité 1/50, 1/70, 1/100, 1/170, 1/200 et 1/500 par an, avec un débit de pointe et un hydrogramme défini au § 6.1. Cette gamme de crue théorique a été choisie pour couvrir une grande plage de débits tels qu'on peut les avoir en Loire.

Un modèle d'aléas de rupture a été construit pour croiser l'ensemble de ces données et simuler les probabilités liées à chaque phénomène de rupture et à chaque crue considérée (cf Notice CARDigue et étude spécifique S7).

Le modèle fait appel à des calculs directs et paramétriques ainsi qu'à des dires d'experts. Compte tenu des modes de calculs et des expertises, le modèle a une certaine marge d'erreur. Il est donc nécessaire de prendre les résultats disponibles avec prudence (les valeurs sont avant tout relatives). **Dans l'étude spécifique S7 « Diagnostic de l'aléa de rupture des digues », des études de sensibilités des différents coefficients ont néanmoins été menées afin de cibler les paramètres pondérateurs pour la définition de l'aléa de rupture.**

Le modèle d'aléa de rupture donne les probabilités de rupture pour chacun des profils en travers discrétisant le système de protection des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy :

- Pour chaque mode de rupture et pour chaque crue ;
- Pour un mode de rupture et pour l'ensemble des crues considérées ;
- Pour une crue et pour tous les modes considérés (probabilité événementielle).

Il permet également de combiner les probabilités pour obtenir la probabilité annuelle de rupture, pour un ou plusieurs modes jusqu'à la crue, déterminant le niveau de protection apparent du système de protection. Comme vu précédemment, le niveau de protection apparent peut être différent selon le sous-système de digue considéré.

Dans le cas du val de Nevers, Sermoise et Challuy, le système d'endiguement a été décomposé en trois parties de niveau de protection apparent homogène :

- Levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77 : le niveau lié à la crue **T200** est considéré comme le niveau de protection apparent « théorique »,
- Levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 : le niveau lié à la crue **T500** est considéré comme le niveau de protection apparent « théorique »,

- Levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame : le niveau lié à la crue **T1000** est considéré comme le niveau de protection apparent.

Le niveau de protection apparent « théorique » global du système d'endiguement est donc fixé à la T200.

8.2.3 Estimation du risque d'inondation par défaillance du système de protection

Cette seconde partie de l'analyse de risque se déroule en plusieurs étapes :

- Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilités d'occurrence ;
- Caractérisation des scénarios d'inondation en termes d'intensité et de cinétique des phénomènes dangereux ;
- Estimation de la vulnérabilité des enjeux et de la gravité des scénarios d'inondation ;
- Évaluation de la criticité des scénarios d'inondation.

8.2.3.1 Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilités d'occurrence

Un système d'endiguement est conçu pour avoir un certain mode de fonctionnement hydraulique garantissant la réalisation de l'objectif de protection recherché. L'analyse fonctionnelle hydraulique, menée au chapitre 3, a permis d'identifier les parties qui compensent l'aménagement hydraulique et de caractériser leurs fonctions hydrauliques au sein du système. Cette connaissance du système permet alors de mener l'AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets, comme décrit au 8.2.2) hydraulique du système de protection et son diagnostic hydraulique. On comprend ainsi comment les levées sont supposées fonctionner, on vérifie si ce fonctionnement est encore possible et on caractérise les dysfonctionnements hydrauliques éventuels (par exemple la modification relative des niveaux de crête des différents tronçons de digues du système).

L'initiation et l'aggravation de l'inondation de la zone protégée découlent des différents phénomènes provoquant l'entrée ou la rétention d'eau dans le val. Elles peuvent être le résultat du fonctionnement hydraulique normal du système de digues au-delà d'un certain niveau de crue (par exemple dans le cas du fonctionnement d'un déversoir, le dépassement du niveau de protection apparent du système de digues ou la remontée d'eau par remous à l'aval de l'endiguement), ou la conséquence de défaillances de fonctions hydrauliques de certains sous-systèmes de digues.

Les principaux modes de défaillance hydraulique d'un système de protection sont :

- les surverses sur des secteurs non prévus à cet effet, avant inondation du val par des secteurs prévus à cet effet, ou avant l'atteinte du niveau correspondant à l'objectif de protection du système de digues ;
- les défaillances d'ouvrages hydrauliques ponctuelles (écoulements non désirés) ;
- les brèches (entrées d'eau brutales et importantes).

Sur la base des résultats de l'analyse fonctionnelle et de la prise en compte des possibles défaillances du système de digues, une multitude de scénarios d'inondation peuvent être envisagés. Pour cette

raison, l'étude de dangers, qui n'a pas vocation à l'exhaustivité, n'a pris en considération qu'un nombre limité de scénarios (les plus représentatifs de la diversité des situations à étudier) pour faire le bilan (cause et conséquence) des inondations possibles dans la zone considérée.

Ces scénarios d'inondation correspondent aux situations les plus pénalisantes en termes de gravité des conséquences, aux situations les plus probables, ou encore à celles permettant de connaître la variabilité de l'aléa d'inondation envisageable dans la zone protégée.

Dans le cadre de cette présente étude de dangers, la définition et le choix des scénarios d'inondation à étudier sont faits de façon experte en fonction :

- Des résultats de l'analyse fonctionnelle hydraulique du système d'endiguement ;
- De certains éléments du diagnostic des digues ;
- De la localisation des enjeux ;
- De la connaissance du comportement hydraulique global de la zone protégée (mis en évidence par les premiers résultats de l'étude de modélisation hydraulique) ;
- Du résultat de la modélisation de l'aléa de rupture.

Ce travail a débuté par le choix des points et des conditions d'entrée d'eau dans la zone protégée ainsi qu'en celui du comportement des ouvrages secondaires présents dans la zone protégée (rupture ou non).

Pour chaque scénario, il est défini une largeur et une hauteur de brèche sur la base des données d'archives (cf. S04).

La probabilité associée à chacun des scénarios d'inondation dépend directement de la crue que l'on considère et, en cas de brèche, de la probabilité que cette crue provoque la rupture du tronçon choisi comme point d'entrée d'eau dans la zone protégée. Elle correspond à celle de l'aléa d'inondation et est exprimée, suivant l'éventualité de réalisation des scénarios d'inondation, pour une unité de temps donnée en cohérence avec la directive européenne sur l'évaluation et la gestion des risques d'inondation.

Dans le cadre de cette étude de dangers, on distingue différentes probabilités :

- La probabilité de défaillance d'un tronçon du système pour un événement de crue donnée, caractérisé par le niveau d'eau maximal dans le cours d'eau. Cette probabilité est aussi appelée « probabilité événementielle »,
- La probabilité de défaillance annuelle d'un tronçon du système intégrant l'ensemble des occurrences de crue jusqu'à celle déterminant le niveau de protection apparent. Ces deux types de résultat sont issus de l'outil CARDigue,
- La probabilité du scénario d'inondation, résultat de la combinaison de la probabilité de défaillance événementielle pour le niveau d'eau déclenchant la brèche et de l'occurrence de la crue simulée pour ce scénario.

Ces deux dernières probabilités s'inscrivent dans la matrice de probabilités suivante :

Tableau 25 : Qualification des probabilités annuelles utilisées pour caractériser les scénarios de défaillance

Qualification de la probabilité de rupture annuelle	Probabilité par année	
	en %	temps de retour
très probable	> 10%	<10 ans
probable	Entre 1% et 10%	10 - 100 ans
moyennement probable	entre 0,5% et 1%	100 - 200 ans
peu probable	entre 0,2% et 0,5%	200 - 500 ans
très peu probable	entre 0,1% et 0,2%	500 - 1 000 ans
improbable	entre 0,01% et 0,1%	1 000 - 10 000 ans
très improbable	< 0,01%	> 10 000 ans

Lorsqu'on évoque la probabilité pour un évènement donné, une crue avec sa probabilité propre, les niveaux de probabilité par crue ont une échelle de probabilités évènementielles différente de la probabilité annuelle. On utilisera la grille suivante, avec un **seuil de négligeabilité fixé à 1%**.

Tableau 26 : qualification des probabilités évènementielles utilisées pour caractériser la probabilité de défaillance pour un évènement de crue donné

Aléa	Probabilité qualitative	Probabilité quantitative
Quasi-nul	Quasi-nulle	$0 < P < 0.001$
Négligeable	Peu probable	$0.001 < P < 0.01$
Moyen	Improbable	$0.01 < P < 0.2$
Fort	Forte	$0.2 < P < 0.8$
Très fort	Très forte	$0.8 < P < 0.99$
Certain	Sûre	$0.99 < P < 1$

8.2.3.2 Caractérisation des scénarios d'inondation en termes d'intensité et de cinétique des phénomènes dangereux

L'aléa et la vulnérabilité des enjeux sont les deux composantes du risque. Un aléa est défini à la fois par sa probabilité de réalisation et par l'intensité des phénomènes dangereux qui le caractérisent. Ainsi, la caractérisation de l'aléa d'un scénario d'inondation de probabilité connue correspond à l'estimation zonale de la cinétique et de l'intensité des phénomènes dangereux qui accompagnent cette inondation. Dans le cas d'une étude de dangers de digues, ce travail doit être réalisé pour chacun des scénarios d'inondation considérés.

Pour l'étude de dangers du val de Nevers, Sermoise et Challuy, un modèle hydraulique bidimensionnel 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 maximale, vitesse horizontale maximale.

La caractérisation de l'aléa inondation est définie à partir du couple hauteur d'eau/vitesse. Les données quantitatives issues des modélisations de scénarios sont alors classées et combinées sur la base d'une grille d'intensité de l'aléa d'inondation prédéfinie. Elles sont ensuite représentées

graphiquement sous la forme de couches SIG surfaciques qui permettent ultérieurement d'estimer le risque associé à chacun des scénarios d'inondation, par croisement avec la vulnérabilité des enjeux présents dans la zone protégée.

La grille d'intensité de l'aléa inondation retenue dans le cadre de cette Étude de dangers est la grille définie par la DREAL Centre dans le cadre des EdD des digues de Loire de classe A. Elle est adaptée au PPRi de Nevers en ce qui concerne le seuil de hauteur d'eau avec l'aléa de plus important fixé à 2,5m.

		Vitesse en m/s			
		0 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 1,25	> 1,25
Hauteur d'eau en m	0 – 0,5	Faible	Moyen	Fort	Zone de destruction du bâti
	0,5 – 1	Moyen	Moyen	Fort	
	1 – 2,5	Fort	Fort	Très fort	
	> 2,5	Très fort	Très fort	Très fort	

Figure 78 : Grille d'intensité de l'aléa d'inondation

La zone de destruction du bâti est également définie pour chacun des scénarios d'inondation. Elle correspond à une ellipse centrée sur la brèche (le demi-grand axe de l'ellipse est égal à la largeur de la brèche).

8.2.3.3 Estimation de la vulnérabilité des enjeux et de la gravité des scénarios d'inondation

Par définition, la vulnérabilité d'un enjeu donné correspond au niveau de conséquences prévisibles que l'intensité d'un aléa peut lui imposer. Ainsi, la vulnérabilité d'une zone protégée par un système d'endiguement traduit la nature et l'importance des dommages auxquels les enjeux qui composent ce territoire se voient potentiellement exposés pour les différentes intensités d'événements d'inondation susceptibles de se réaliser. Ces dommages sont de natures variées et souvent difficilement assimilables. Ce constat conduit à la mise en évidence de différents types de vulnérabilités en fonction des types de dommages auxquels on s'intéresse et de la finesse avec laquelle on souhaite mener l'analyse de risque.

Pour l'étude de dangers du val de Nevers, Sermoise et Challuy, il a été fait le choix d'apprécier la gravité des scénarios étudiés à travers l'analyse de la vulnérabilité des populations présentes dans la zone protégée (vies humaines).

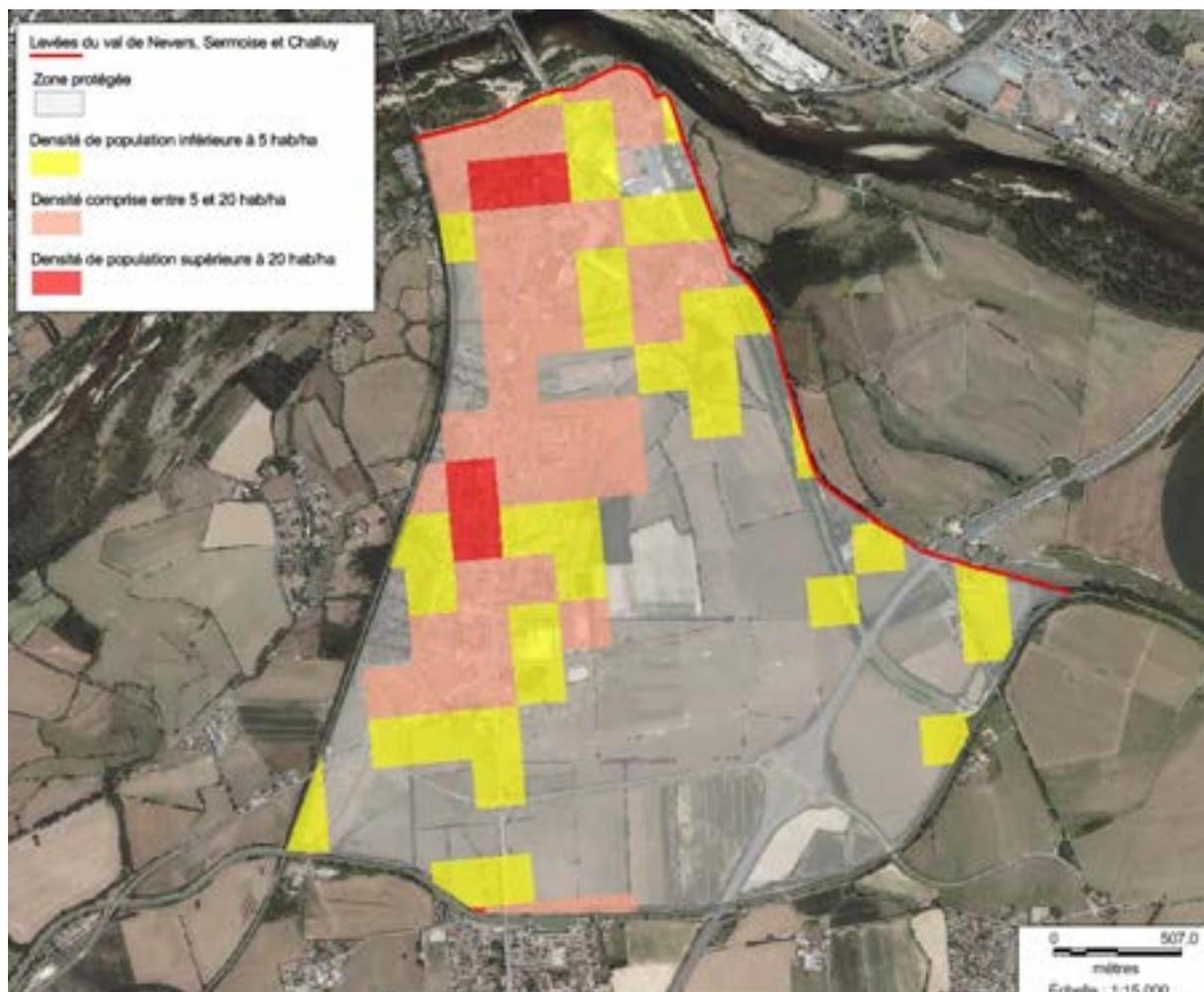


Figure 79 : Densité de population dans le val de Nevers, Sermoise et Challuy

La vulnérabilité des populations est estimée sur la base des cinq classes de la grille d'intensité de l'aléa d'inondation (définies au 8.2.3.2), pour différents types d'enjeu de la zone protégée contenant des populations : habitats, activités, voies de communication, enjeux sensibles et enjeux participant à la gestion de la crise.

Le croisement aléa – enjeux est effectué par l'intermédiaire d'un Système d'Information Géographique (SIG). Il permet d'associer une valeur d'aléa à chaque type d'enjeu en fonction de son implantation.

Chaque type d'enjeu peut ainsi se voir attribuer une échelle de danger traduisant sa réponse à chacune des cinq classes d'intensité de l'aléa d'inondation en termes de pourcentage de sa population potentiellement menacée. Ce danger est défini en fonction de la nature de l'enjeu considéré, et notamment de sa possibilité de mise à l'abri.

Dans un premier temps, la population est répartie par habitations par croisement des données INSEE et de la table des habitations. Ensuite la population impactée pour chacun des aléas est calculée par croisement de la carte d'aléa et des données de population calculée. Pour chacun des aléas, la population présente en habitat de plain-pied (rez-de-chaussée) et la population présente en habitant à étages est estimée.

Ensuite, un pourcentage de danger est introduit. Il prend en compte la mise en sécurité des populations et leur départ. Un indicateur de danger pour la population en habitat rez-de-chaussée d'une part, et pour la population en habitat à étage d'autre part est ainsi calculé.

Ces valeurs sont données à dire d'expert. Elles n'ont pas vocation à refléter la réalité du danger lié à l'ouvrage mais à permettre la comparaison et le classement des différents scénarios d'inondation dans le cadre de l'Étude de dangers.

Les pourcentages attribués en fonction de l'intensité de l'aléa d'inondation sont les suivants :

Table 1 : Echelle de dangers pour les habitats

	Aléa				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Destruction de bâti
Habitats de plain-pied	0%	5%	30%	70%	95%
Habitats avec étages	0%	1%	5%	30%	95%

La zone de destruction du bâti est définie pour chacun des scénarios d'inondation. Elle correspond à une ellipse centrée sur la brèche (le demi-grand axe de l'ellipse est égal à la largeur de la brèche), au sein de laquelle il est considéré que 95% de la population est en danger.

Le chiffre de la population en danger, pris en compte dans l'étude de dangers, a été considéré comme un **indicateur** et non comme un chiffre absolu d'une population réellement en danger. Il dépend en effet d'un grand nombre de facteurs (réussite d'une évacuation, perception de la crue par la population, etc.) qu'il est impossible d'intégrer dans le décompte.

Pour un scénario d'inondation donné, la somme des indicateurs de danger des populations permet d'en estimer la gravité, qu'il soit avec ou sans brèche.

Table 2 : classes de gravité des scénarios d'inondations

Niveau de gravité du scénario d'inondation	Indicateur de mise en danger de la population
5. Désastreux	Supérieur à 10 000 personnes
4. Catastrophique	Entre 1 000 et 10 000 personnes
3. Important	Entre 100 et 1 000 personnes
2. Sérieux	Entre 10 et 100 personnes
1. Modéré	Inférieur à 10 personnes

Les enjeux stratégiques et sensibles sont également repérés et listés (services de secours, centres de décision, hôpitaux, ERP, axes routiers...). Leur localisation dans une des classes d'intensité d'aléa d'inondation a permis de pondérer la gravité des conséquences humaines du scénario considéré. **Ainsi, selon le nombre et le type d'enjeux sensibles recensés, le niveau de gravité du scénario d'inondation peut être augmenté.**

8.2.4 Evaluation de la criticité des scénarios d'inondation

Cette évaluation consiste en leur classement en fonction du risque qui leur est associé, sur une grille de criticité ayant pour vocation de mettre en évidence les situations les plus préoccupantes en termes d'acceptabilité du risque.

Les données d'entrée de la grille de criticité sont :

- la probabilité de réalisation du scénario d'inondation ;
- la gravité des conséquences de ce scénario.

Les classes d'acceptabilité sont :

- risque acceptable ;
- risque préoccupant ou tolérable sous conditions ;
- risque intolérable.

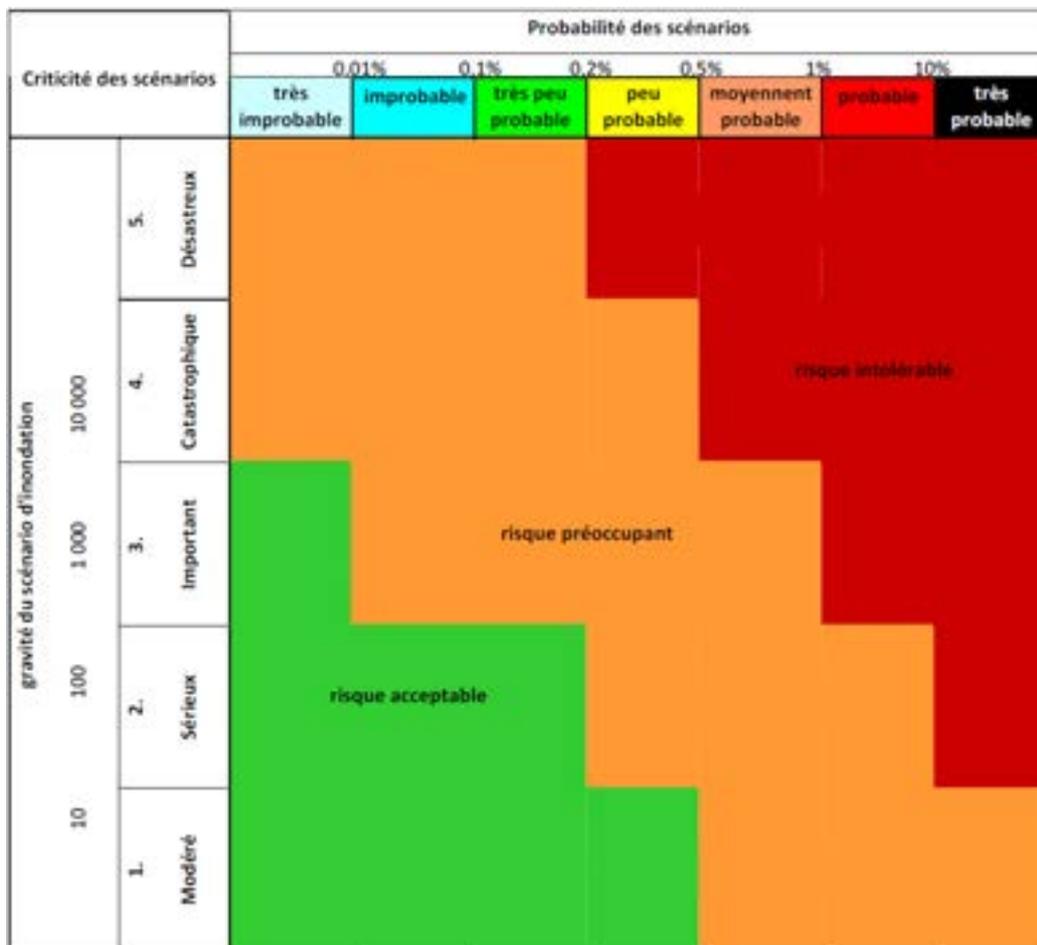


Figure 80 : Grille de criticité des scénarios

8.3 Détermination des scénarios de défaillance

Les probabilités de rupture ont été calculées pour toutes les crues modélisées et pour chacun des 87 profils rentrés dans CARDigue. Les surverses ont été étudiées afin de définir le niveau de protection apparent du système d'endiguement dans les conditions théoriques de tenue géotechnique de la digue. Il est vu au Chapitre 3 que le système d'endiguement pouvait être décomposé en trois parties de niveau de protection homogène :

- Levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77 : le niveau lié à la crue **T200** est considéré comme le niveau de protection apparent « théorique »,
- Levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 : le niveau lié à la crue **T500** est considéré comme le niveau de protection apparent « théorique »,
- Levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame : le niveau lié à la crue **T1000** est considéré comme le niveau de protection apparent.

Ainsi, les scénarios de rupture avant la surverse seront pris en compte jusqu'à ces paliers. Dans la suite du document, les probabilités annuelles de rupture sont calculées pour toutes les crues jusqu'à celle définissant le niveau de protection apparent de chacun des trois secteurs.

8.3.1 Mode ou circonstance de défaillance

Chaque profil en travers espacé de 50 mètres sur les zones hors berges protégées a fait l'objet d'une analyse par le modèle de calcul d'aléa de rupture et d'une fiche spécifique (CARDigue).

Afin de faciliter la lecture, seuls les profils présentant une probabilité de rupture événementielle supérieure à 1% sont présentés dans les tableaux suivants. Ce seuil de 1% est fixé au paragraphe 8.2.3.1.

8.3.1.1 Rupture par surverse

Deux types de surverse sont possibles dans le cas des digues étudiées :

- Lorsqu'il n'y a pas de banquette, la surverse intervient lorsque le niveau des eaux dépasse le niveau du sommet de la digue. C'est une surverse « réelle ».
- Lorsqu'il y a une banquette, la surverse intervient lorsque le niveau des eaux dépasse la hauteur d'influence de la banquette. Il est considéré qu'à partir d'une certaine charge hydraulique, il y a rupture de la banquette initiée par érosion interne et donc ensuite surverse. C'est une surverse « théorique ». La hauteur d'influence d'une éventuelle rehausse est de 20cm pour une banquette en terre simple, 30 à 80cm pour des murets.

Lorsqu'il y a surverse, l'eau qui passe alors par-dessus la crête de digue, coule dans le val et, en se déversant, érode le talus en entraînant les matériaux constitutifs de la digue. L'érosion s'accélère rapidement avec l'augmentation de la pente du talus érodé jusqu'à aboutir à une rupture totale de la digue. Ce phénomène est freiné par la qualité de l'enherbement du talus et par une faible pente. Au contraire, il est facilité par la concentration ou la perturbation des écoulements sur le talus.

Dans la suite du paragraphe, on appelle revanche la différence entre la cote des lignes d'eau pour les différentes crues simulées et le sommet des digues.

Dans le modèle CARDigue, une digue est sensible à la surverse si elle n'est pas protégée en amont par un système de contrôle des surverses. La **probabilité d'apparition** de la surverse est influencée par différents paramètres dont la présence d'une rehausse côté Loire (considérée fusible, comme

c'est le cas pour les banquettes en terre, ou non) et intègre également une incertitude sur les lignes d'eau et la topographie de la digue (probabilité non nulle si la revanche est comprise entre 0 et 50cm). Aussi, une **probabilité de rupture** par surverse peut être non nulle sur certains profils même si le calcul est réalisé jusqu'au niveau de protection apparent.

Sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy, les premières surverses « théoriques » au-dessus des 90cm de hauteur d'influence de la banquette ont lieu pour la crue T500 au niveau des profils 6 à 8 et 11, qui sont submergés d'une lame d'eau allant de 13 à 42cm. Des surverses « théoriques » d'une lame d'eau plus fine (inférieures à 5cm) sont également observées pour la crue T500 sur la partie aval de la levée de Sermoise 1^{ère} section. Ceci prend en compte une hauteur d'influence de 90cm pour la banquette de la levée de Sermoise 1^{ère} section. Les hauteurs d'eau surversantes sont plus importantes pour la crue T1000 où la surverse a lieu au droit de 28 profils.

Néanmoins, des profils dont la probabilité de rupture est supérieure à 1% ressortent pour des crues inférieures à la crue T500, notamment pour la crue T200. En effet, une probabilité d'apparition de la surverse est définie, même si le niveau d'eau n'atteint pas la hauteur d'influence de la banquette (probabilité de 0,1 ou de 0,8 lorsque le niveau est proche de la hauteur d'influence). Cette probabilité correspond à la probabilité de rupture par érosion interne de la banquette. Une fois l'apparition de la surverse, il est considéré que la banquette rompt et une probabilité de rupture par surverse est alors définie dès que la crête de digue est dépassée.

Les schémas ci-après résument cette démarche.

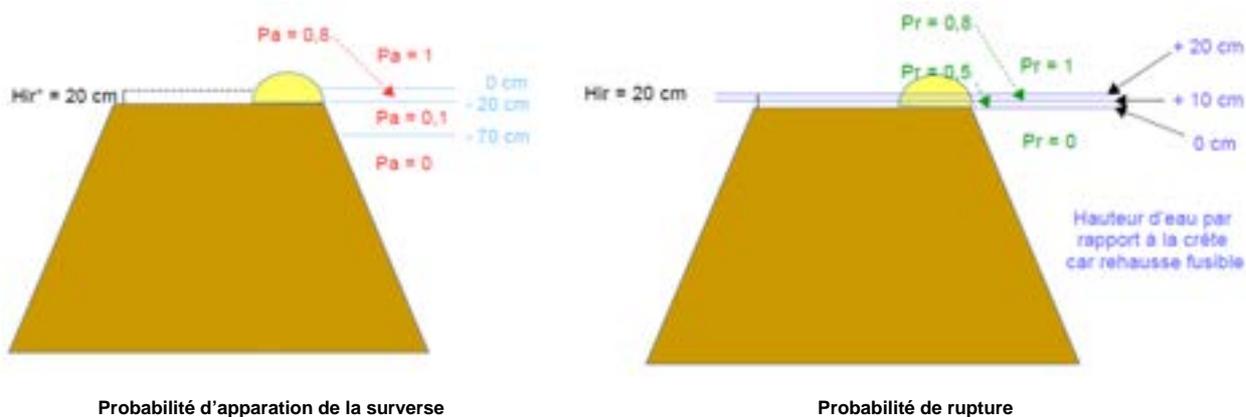


Figure 81 : Schéma explicatif des scénarios de défaillance par surverse en cas de banquette non résistante à la surverse

Profil	PK	2003	50	70	100	170	200	500	1000	2003 T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	T1000%	Σ probas ann	
2	100.002	-3.44	-3.14	-2.83	-2.17	-1.97	-1.62	-1.06	-0.64	0	0	0	0	0	0	7.2	0.0096	
3	150.057	-2.79	-2.49	-2.18	-1.52	-1.31	-0.96	-0.40	0.01	0	0	0	0	0	8	72	0.112	
4	200.057	-2.87	-2.57	-2.26	-1.60	-1.39	-1.04	-0.48	-0.07	0	0	0	0	0	0	8	0.0586667	
5	250.08	-2.72	-2.42	-2.11	-1.45	-1.24	-0.89	-0.33	0.09	0	0	0	0	0	0	5.6	0.0645333	
6	300.053	-2.27	-1.97	-1.66	-0.99	-0.78	-0.43	0.13	0.55	0	0	0	0	0	10	100	0.2359491	
7	350.085	-2.12	-1.82	-1.50	-0.84	-0.63	-0.28	0.29	0.70	0	0	0	0	8	8	72	0.1833333	
8	400.25	-1.99	-1.69	-1.37	-0.71	-0.50	-0.15	0.42	0.83	0	0	0	0	8	64	80	0.34807018	
9	450.271	-2.90	-2.60	-2.29	-1.63	-1.42	-1.06	-0.50	-0.08	0	0	0	0	0	0	10	9.6	0.0328
11	621.024	-2.13	-1.83	-1.52	-0.89	-0.70	-0.36	0.16	0.55	0	0	0	2.5	2.25	22.5	22.5	0.08285988	
12	654.761	-2.83	-2.53	-2.22	-1.59	-1.40	-1.06	-0.54	-0.15	0	0	0	0	0	4.48	35.84	0.05674667	
13	704.653	-2.78	-2.48	-2.17	-1.54	-1.35	-1.01	-0.49	-0.10	0	0	0	0	0	7	49	0.06733333	
14	754.688	-2.98	-2.68	-2.36	-1.73	-1.54	-1.20	-0.68	-0.30	0	0	0	0	0	7	7	0.02333333	
15	804.719	-2.95	-2.65	-2.33	-1.70	-1.50	-1.17	-0.64	-0.26	0	0	0	0	0	7.5	7.5	0.025	
16	854.734	-2.87	-2.57	-2.25	-1.62	-1.42	-1.09	-0.56	-0.18	0	0	0	0	0	7.2	44.8	0.07413333	
17	904.964	-2.73	-2.43	-2.10	-1.47	-1.27	-0.93	-0.41	-0.03	0	0	0	0	0	7	40	0.06733333	
18	954.977	-2.49	-2.19	-1.87	-1.23	-1.03	-0.69	-0.17	0.22	0	0	0	0	0	7	40	0.16017544	
19	1005.026	-2.45	-2.15	-1.83	-1.19	-1.00	-0.66	-0.13	0.25	0	0	0	0	0	10	90	0.23529625	
20	1055.186	-2.56	-2.26	-1.93	-1.29	-1.10	-0.76	-0.23	0.19	0	0	0	0	0	5	50	0.07566667	
21	1105.309	-2.54	-2.24	-1.92	-1.28	-1.08	-0.74	-0.22	0.17	0	0	0	0	0	7.5	15	0.035	
22	1156.05	-2.49	-2.19	-1.86	-1.22	-1.02	-0.68	-0.15	0.23	0	0	0	7.5	60	75	0.23447368		
23	1206.407	-2.46	-2.16	-1.84	-1.19	-1.00	-0.65	-0.13	0.26	0	0	0	0	10	100	0.31263158		
24	1256.952	-2.38	-2.08	-1.76	-1.11	-0.92	-0.58	-0.05	0.34	0	0	0	0	8	64	0.21810526		
25	1305.999	-2.72	-2.42	-2.09	-1.45	-1.25	-0.91	-0.38	0.01	0	0	0	0	0	8	80	0.12299991	
26	1349.654	-2.54	-2.24	-1.91	-1.26	-1.06	-0.72	-0.19	0.29	0	0	0	0	7.2	64	80	0.23466667	
27	1404.816	-2.30	-2.00	-1.67	-1.02	-0.82	-0.48	0.05	0.44	0	0	0	0	7	50	50	0.18017544	
28	1454.234	-2.51	-2.21	-1.88	-1.23	-1.04	-0.69	-0.16	0.23	0	0	0	0	7.2	57.6	56	0.2037614	
29	1504.165	-2.34	-2.04	-1.72	-1.07	-0.87	-0.53	0.00	0.36	0	0	0	0	5	50	50	0.17631579	
30	1550.745	-2.30	-2.00	-1.67	-1.02	-0.83	-0.48	0.05	0.44	0	0	0	0	5	50	50	0.17631579	
31	1587.628	-2.39	-2.09	-1.76	-1.11	-0.91	-0.57	-0.04	0.35	0	0	0	0.5	4	5	0.01563158		
32	1624.084	-2.32	-2.02	-1.69	-1.04	-0.84	-0.50	0.06	0.42	0	0	0	5.76	44.8	32	0.14538386		
33	1666.206	-2.54	-2.24	-1.91	-1.26	-1.06	-0.72	-0.19	0.29	0	0	0	0	0	20	25	0.07333333	
34	1708.337	-2.42	-2.12	-1.79	-1.14	-0.94	-0.60	-0.07	0.32	0	0	0	0	5	36	45	0.14164812	
35	1753.304	-2.51	-2.21	-1.88	-1.23	-1.03	-0.69	-0.16	0.23	0	0	0	1	0.8	1	0.00486316		
36	1802.676	-2.45	-2.15	-1.82	-1.17	-0.97	-0.63	-0.09	0.29	0	0	0	0.8	6.4	7.2	0.02394386		
37	1852.434	-2.62	-2.32	-1.99	-1.34	-1.14	-0.79	-0.26	0.13	0	0	0	0	0	10	75	0.12	
38	1902.5	-2.31	-2.01	-1.69	-1.03	-0.84	-0.49	0.03	0.43	0	0	0	0	7	70	70	0.24684211	
39	1952.076	-2.42	-2.12	-1.80	-1.14	-0.95	-0.60	-0.07	0.32	0	0	0	7.5	12	15	0.05847368		
40	2001.689	-3.15	-2.85	-2.53	-1.87	-1.67	-1.33	-0.79	-0.40	0	0	0	0	0	0	7.5	0.01	
45	2126.058	-2.95	-2.65	-2.32	-1.65	-1.45	-1.10	-0.57	-0.17	0	0	0	0	0	0	34.56	0.04808	
58	2725.947	-2.98	-2.68	-2.34	-1.67	-1.47	-1.11	-0.57	-0.18	0	0	0	0	0	0	40	0.05333333	

Figure 82 : Hauteurs de surverse et probabilité de rupture par surverse pour les profils concernés (les valeurs négatives correspondent à des revanches)

8.3.1.2 Rupture par érosion interne

L'érosion interne est un phénomène lié à la qualité des matériaux constitutifs de la digue. Elle se produit lorsque deux conditions sont réunies :

- quand l'eau est capable de traverser la digue lorsque celle-ci est en eau ;
- quand les matériaux constitutifs de l'ouvrage sont entraînés par l'eau circulant dans la digue vers l'extérieur. Les particules les plus fines sont capables de traverser le squelette constitué par les éléments les plus gros, puis les éléments de plus en plus gros sont mobilisés et entraînés à l'extérieur de la digue. Le phénomène s'accélère avec la perméabilité du matériau qui augmente avec le départ des éléments les plus fins, pouvant ainsi engendrer une brèche.

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 d'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 la digue. Ce phénomène est généralement appelé renard hydraulique. Il est souvent lié à des facteurs extérieurs tels que :

- les ouvrages traversants ou inclus tels que les canalisations ;
- les terriers d'animaux fouisseurs ;
- les racines d'arbres ;
- la conjugaison de plusieurs de ces phénomènes.

L'érosion interne est un phénomène capable de provoquer, à lui seul, la rupture d'une digue. Il peut être néanmoins associé à d'autres modes de rupture, l'érosion interne restant le mode final de la rupture.

Levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77 : profils 1 à 10

La probabilité de rupture par érosion interne est quasi-nulle ou négligeable pour l'ensemble des profils 1 à 10 pour les crues allant jusqu'à la T200.

Levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 : profils 11 à 41

La sensibilité à l'érosion interne de la levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 concerne 19 profils pour les crues allant jusqu'à la T500, crue correspondant au niveau de protection apparent « théorique ». Certains profils présentent néanmoins des probabilités de rupture par érosion interne importantes dès la crue T50 (10% pour le profil 37) ou T70 (20% pour les profils 22 et 39 et 50% pour le profil 37).

profil	PK	T0	T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	%
17	904,964	0,01	0,01	0,01	1	2	2	2	0,0155
18	954,977	0,01	0,1	1	10	10	2	10	0,08897807
19	1005,026	0,01	0,1	1	20	2	2	2	0,10619444
20	1055,196	0,01	1	1	20	2	2	2	0,11369444
21	1105,309	0,1	1	1	20	1	1	1	0,11061111
22	1156,05	1	2	20	80	20	20	20	0,615
23	1206,407	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	1	2	0,00650351
26	1349,654	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	1	0,00264035
27	1404,816	0,01	0,1	1	20	50	20	50	0,30429971
28	1454,234	0,01	0,01	0,01	2	10	50	50	0,21980409
29	1504,165	0,01	0,01	0,01	0,1	1	2	10	0,02609649
30	1550,745	0,01	0,1	0,1	2	10	20	50	0,16315936
32	1624,084	0,01	0,01	0,01	2	10	10	10	0,06261111
34	1708,337	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	1	100	0,20250351
37	1852,434	1	10	50	99	99	99	100	1,35611111
38	1902,5	0,01	0,1	10	95	95	80	99	0,96458041
39	1952,076	1	2	20	80	80	2	2	0,62847368
40	2001,689	0,01	0,01	0,1	10	20	10	10	0,11270175
41	2022,727	0,01	0,01	0,1	2	2	20	50	0,15118129

Figure 83 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion interne (probabilités > 1%)

Levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame : profils 42 à 89

La sensibilité à l'érosion interne pour les levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame concerne 35 profils pour les crues allant jusqu'à la T1000, crue correspondant au niveau de protection apparent. Certains profils présentent néanmoins des probabilités de rupture par érosion interne importantes dès la crue T70 (10% pour le profil 87) ou T100 (80% pour les profils 46, 10% pour le profil 48 et 50% pour le profil 87).

profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	T1000%	%
46	2163,117	0,01	0,01	1	80	80	95	95	99	0,97905848
47	2201,648	0,01	0,01	0,01	0,1	1	2	2	2	0,01276316
48	2251,649	0,01	0,01	0,01	10	20	80	80	95	0,51395614
49	2301,648	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	1	2	2	0,00917018
50	2351,649	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	1	1	1	0,00583684
51	2401,653	0,01	0,01	0,01	0,1	1	1	1	1	0,0075
52	2451,655	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	100	10	10	0,22688947
53	2501,655	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	10	2	2	0,0265386
54	2551,655	0,01	0,01	0,01	0,1	1	20	20	20	0,1075
55	2601,655	0,01	0,01	0,01	0,1	1	2	10	10	0,03942982
56	2651,689	0,01	0,01	0,01	0,1	1	20	20	20	0,1075
57	2701,697	0	0,01	0,01	0,01	0,1	2	20	50	0,11085
58	2725,947	0	0	0,01	0,01	0,01	1	50	80	0,20871053
59	2753,593	0	0	0	0,01	0,01	0,01	2	50	0,07074444
62	2820,075	0	0	0	0	0	0	95	95	0,31666667
63	2846,718	0	0	0	0	0	0	20	50	0,10666667
64	2878,138	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	2	10	0,01746667
65	2901,415	0	0	0,01	0,01	0,01	1	10	10	0,03537719
66	2951,411	0	0	0	0,01	0,01	0,01	1	20	0,02874444
67	3001,388	0	0	0	0,01	0,01	0,1	10	10	0,0335848
68	3051,361	0	0	0	0,01	0,01	0,1	20	20	0,06691813
69	3101,276	0	0,01	0,01	0,01	1	10	1	1	0,02421842
70	3151,259	0	0,01	0,01	0,1	1	20	1	2	0,04525
71	3201,258	0	0,01	0,01	1	2	20	80	95	0,33265351
72	3228,796	0	0	0	0,01	0,01	1	80	95	0,28865497
78	3451,237	0	0	0	0	0	0,01	1	50	0,06888596
79	3501,237	0	0	0	0	0	0,01	2	50	0,07068596
80	3551,235	0	0	0	0	0,01	0,01	1	50	0,0687
81	3601,259	0	0	0	0,003	0,003	0,003	3	15	0,02602333
82	3651,115	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,1	2	0,00294444
83	3701,116	0,01	0,01	0,01	2	10	20	80	95	0,34857602
84	3751,109	0,003	0,003	0,003	0,003	0,03	0,3	6	15	0,03275105
85	3801,109	0	0,003	0,003	0,003	0,003	0,3	3	15	0,02663816
86	3851,11	0,003	0,003	0,003	0,03	0,3	0,6	6	15	0,03382895
87	3901,11	0,1	1	10	50	80	80	95	99	0,87727778

Figure 84 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion interne (probabilités > 1%)

8.3.1.3 Rupture par érosion externe

L'érosion externe est un phénomène qui se produit quand un courant d'eau à l'extérieur de la digue est capable d'entraîner ses matériaux constitutifs ou ceux de sa fondation.

On rencontre 3 types principaux d'érosion externe :

- en contact avec le fleuve, la fondation peut être affouillée en pied de digue ;
- en crue, le talus côté cours d'eau peut être érodé par le courant ;
- en cas de surverse, le talus côté val peut être érodé par les écoulements.

Levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77 : profils 1 à 10

La probabilité de rupture par érosion externe est nulle pour l'ensemble des profils 1 à 10 pour les crues allant jusqu'à la T200.

Levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 : profils 11 à 41

La probabilité de rupture par érosion externe est nulle pour l'ensemble des profils 11 à 41 pour les crues allant jusqu'à la T500.

Levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame : profils 42 à 89

Le modèle CARDigue, tel qu'il est construit, met en évidence des zones de fragilité au niveau des levées de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame. Cette sensibilité à l'érosion externe concerne 6 profils.

Le profil 87 présente une probabilité événementielle de rupture de 1% dès la crue T100. Le profil 68 présente une probabilité événementielle de rupture de 30,8% à la T500 et la T1000.

Profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	T1000%	Σ probas annuelles (%)
63	2846,718	0	0	0	0	0	0	0,88	1	0,003093333
68	3051,361	0	0	0	0,0066	0,0066	0,066	30,8	30,8	0,102832632
79	3501,237	0	0	0	0	0	0,00044	0,088	1	0,001510182
80	3551,235	0	0	0	0	0,00044	0,00044	0,044	1	0,00142228
83	3701,116	0,000132	0,000132	0,000132	0,0616	0,308	0,616	1	1	0,005233297
87	3901,11	0,00308	0,0308	0,308	1	1	1	1	1	0,013155889

Figure 85 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion externe (probabilités >1%)

Il n'existe pas nécessairement de risque immédiat d'érosion externe. Il s'agit d'un risque « hors crue », du fait du contact continu du fleuve avec le pied de digue.

À l'exception du cas des surverses, où l'érosion externe est la cause directe de la rupture, l'érosion externe est rarement capable d'en produire une. Elle est, en revanche, initiatrice d'un glissement qui, associé à une érosion interne, peut provoquer la rupture de la digue à la crue suivante.

8.3.1.4 Rupture par défaut de stabilité de la digue ou de sa fondation

La défaillance de stabilité d'une digue ou de sa fondation peut prendre plusieurs formes qui relèvent soit :

- d'une déstabilisation d'ensemble lorsque la digue n'est pas capable de résister mécaniquement à la charge de l'eau, ce qui peut se traduire par un glissement sur sa base ou un basculement de l'ouvrage. Cette situation se rencontre souvent au niveau des superstructures telles que les parapets ou les murs construits au sommet des digues pour en relever le niveau de protection apparent ;
- d'une déstabilisation de talus par glissement, qui est favorisée par la saturation en eau des matériaux de la digue. Elle peut se produire côté val quand le corps de digue est saturé, ou côté fleuve à la décrue ;
- d'une déstabilisation de la fondation, qui peut se produire si celle-ci est très perméable et si elle est surmontée d'une couche imperméable. Si la pression hydrostatique de l'eau dans la fondation perméable est susceptible de soulever la couche imperméable, il peut y avoir claquage de cette couche, un phénomène appelé « soulèvement hydraulique côté val ».

Seule la déstabilisation d'ensemble est susceptible de provoquer directement la rupture de la digue, les autres défauts de stabilité n'en sont généralement pas capables. Celle-ci peut être initiée par ce type de défaillance, puis accentuée par d'autres phénomènes, le plus souvent par érosion interne. La digue, une fois affectée par un glissement, voit sa géométrie amputée et sa résistance à l'érosion interne diminuée au point d'en occasionner la rupture.

Dans le cas d'un substratum karstique sous la fondation de la digue, les effondrements ou fontis, en capacité de se produire, sont susceptibles de la déstabiliser. Aujourd'hui, les conditions et les modes de rupture en regard de cette éventualité ne sont pas encore connus. Cependant des études sont en cours pour améliorer la connaissance. Un premier volet, destiné à identifier les secteurs à forte probabilité de présence de cavités karstiques sous les levées, a été mené par le BRGM (DONSIMONI M., BERTHIER H., MARTIN J.-C., NACHBAUR A., 2008).

Les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy ne présentent pas de risque de déstabilisation d'ensemble, la largeur de leur base est suffisante par rapport à leur hauteur. Les rehausses présentes en tête des levées de Sermoise 1^{ère} section et du Canal de la Jonction sont quant à elles susceptibles de l'être. Ainsi, des hauteurs d'influence des rehausses sont fixées et prises en compte dans le niveau de protection apparent « théorique » : cette hauteur est de 90cm pour la levée de Sermoise 1^{ère} section et de 20cm pour la levée du canal de la Jonction. Concernant la

rehausse de la levée de la Blanchisserie, sa hauteur d'influence est fixée à 15cm, correspondant à la hauteur de la rehausse en son point le plus bas.

Glissement du talus côté val

Levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77 : profils 1 à 10

La probabilité de rupture par glissement du talus côté val est quasi-nulle pour l'ensemble des profils 1 à 10 pour les crues allant jusqu'à la T200.

Levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 : profils 11 à 41

La rupture par glissement du talus côté val concerne 14 profils sur la levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77. Des probabilités de rupture supérieures à 1% sont observées dès la crue T50 pour les profils 37 et 39.

profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	%
18	954,977	0,00011	0,0011	0,011	0,11	0,11	0,22	1,1	0,00334086
22	1156,05	0,011	0,022	0,22	8,8	2,2	2,2	6,6	0,061325
26	1349,654	0,0033	0,0033	0,0033	0,0077	0,0077	0,077	1,1	0,00252196
27	1404,816	0,0033	0,033	0,33	6,6	16,5	15,4	38,5	0,16140136
28	1454,234	0,00011	0,00011	0,00011	0,22	1,1	5,5	5,5	0,02413995
29	1504,165	0,0033	0,0033	0,0033	0,033	0,77	1,54	11	0,02632763
30	1550,745	0,0077	0,077	0,77	2,2	11	22	55	0,17893446
32	1624,084	0,00011	0,00011	0,0011	0,22	1,1	1,1	3,3	0,01125422
34	1708,337	0,0011	0,0033	0,0033	0,0033	0,033	0,33	30	0,06077116
37	1852,434	0,11	3,3	16,5	30	30	30	70	0,49525
38	1902,5	0,0011	0,011	3,3	30	30	26,4	70	0,38483846
39	1952,076	0,33	1,54	15,4	88	88	2,2	2,2	0,62990439
40	2001,689	0,0033	0,0033	0,033	7,7	15,4	7,7	11	0,09298924
41	2022,727	0,0033	0,0033	0,033	1,54	1,54	15,4	55	0,14901848

Figure 86 : Probabilité de rupture des profils soumis au glissement du talus côté val (probabilités >1%)

Levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame : profils 42 à 89

La rupture par glissement du talus côté val concerne 14 profils sur les levées du Canal de la Jonction, de la Blanchisserie et du Plateau de la Bonne Dame. Certains profils montrent des probabilités de rupture par glissement côté val non négligeable pour des crues bien inférieures à la T1000. En effet, le profil 87 a une probabilité de rupture de 3,3% dès la T70, et le profil 46 a une probabilité de rupture de 26,4% pour la T100.

profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	T1000%	%
46	2163,117	0,0011	0,0011	0,11	26,4	26,4	30	30	30	0,31292848
48	2251,649	0,00011	0,00011	0,00011	1,1	2,2	8,8	26,4	30	0,11776334
52	2451,655	0,00011	0,00011	0,00011	0,00011	0,011	10	1,1	1,1	0,02298512
54	2551,655	0,0011	0,0011	0,0011	0,033	0,33	6,6	6,6	6,6	0,03538944
55	2601,655	0,00011	0,00011	0,00011	0,0011	0,11	0,22	1,1	3,3	0,00718811
56	2651,689	0,00011	0,00011	0,0011	0,11	0,11	6,6	6,6	6,6	0,03494989
57	2701,697	0	0,0011	0,0011	0,0033	0,033	0,66	6,6	16,5	0,03654994
58	2725,947	0	0	0,0011	0,0011	0,0011	0,33	16,5	26,4	0,06884939
59	2753,593	0	0	0	0,0011	0,0011	0,0011	0,66	16,5	0,02332856
63	2846,718	0	0	0	0	0	0	0,22	5,5	0,00777333
64	2878,138	0	0	0,0011	0,0011	0,0011	0,0033	0,66	3,3	0,00573891
65	2901,415	0	0	0,0033	0,0033	0,0033	0,33	3,3	7,7	0,01754114
66	2951,411	0	0	0	0,0011	0,0011	0,0011	0,33	6,6	0,00946856
67	3001,388	0	0	0	0,0011	0,0011	0,011	3,3	3,3	0,01102766
68	3051,361	0	0	0	0,0011	0,0011	0,011	6,6	6,6	0,02202766
71	3201,258	0	0,0011	0,0011	0,11	0,22	6,6	26,4	30	0,10634978
72	3228,796	0	0	0	0,0011	0,0011	0,11	26,4	30	0,09301871
79	3501,237	0	0	0	0	0	0,0011	0,22	16,5	0,02244212
81	3601,259	0	0	0	0,000033	0,000033	0,000033	0,033	1,65	0,00226626
83	3701,116	0,0033	0,0033	0,0033	0,66	3,3	15,4	61,6	70	0,25394588
84	3751,109	0,000033	0,000033	0,000033	0,00033	0,0033	0,033	0,66	4,95	0,00799107
85	3801,109	0	0,000033	0,000033	0,00033	0,00033	0,033	0,33	1,65	0,00292607
86	3851,11	0,000033	0,000033	0,000033	0,0033	0,033	0,066	1,98	4,95	0,01074963
87	3901,11	0,033	0,33	3,3	16,5	26,4	61,6	70	70	0,48450482

Figure 87 : Probabilité de rupture des profils soumis au glissement du talus côté val (probabilités >1%)

La rupture par **glissement côté Loire** est possible, mais dans des conditions hydrauliques particulières. En effet, pour qu'il y ait rupture, il faut que le niveau d'eau soit redescendu à un niveau suffisamment bas après la crue, puis qu'une seconde crue sollicite à nouveau le système d'endiguement. La probabilité de rupture est donc très faible du fait des occurrences de crue. Ce phénomène n'a pu être intégré dans le modèle d'aléa de rupture qui n'est pas conçu pour affecter une

probabilité à un double évènement. Il est, en revanche, pris en compte dans le cadre de l'érosion externe en cas d'affouillement des fondations par le fleuve.

Soulèvement hydraulique

Les probabilités de rupture par soulèvement hydraulique sont quasi-nulles pour l'ensemble des profils du val de Nevers, Sermoise et Challuy pour les crues allant jusqu'à la T1000.

8.3.1.5 Rupture du mur digue au droit de l'ancienne piscine

Compte-tenu du peu d'élément connu sur le mur, on considère **une probabilité de rupture forte** si le mur est en charge sur plus de la moitié de la hauteur du mur soit $0.2 < P < 0.8$.

On a alors attribué une probabilité de 0% pour les évènements inférieurs à la crue centennale et de 50% pour les évènements supérieures à la crue centennale.

Profil	PK	2003	T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	T1000%	Σ probas annuelles (%)
62	2820,075	0	0	0	50	50	50	50	50	0,555555556

8.3.2 Principales causes des défaillances

L'ensemble des probabilités présenté ci-avant résulte d'une combinaison de données (géotechniques, morphologiques, topographiques et géométriques, désordres, hydrauliques, historiques).

Les désordres dans les levées, abordés plus en détail dans le chapitre 3 de la présente étude, font partie de ces données et affectent fortement les probabilités de rupture calculées dans le modèle CARDigue.

8.3.2.1 Les bâtiments encastrés

Les bâtiments encastrés augmentent le risque de rupture par érosion interne en diminuant, notamment, la largeur de la digue. Ils annulent, en revanche, le risque de glissement de talus.

Dans le tableau suivant, les bâtiments encastrés sont renseignés par leur présence côté val, côté Loire ou bien des deux côtés. La présence d'un bâtiment des deux côtés de la levée affecte fortement la sensibilité de la digue à l'érosion interne.

Des bâtiments encastrés sont recensés sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Plus particulièrement, les bâtiments de l'ancienne piscine de la Jonction ont un rôle non négligeable dans la dégradation des profils 60 à 62. En effet, la présence de ces bâtiments réduit la largeur de la digue en pied et rend la pente côté val quasi-verticale.

8.3.2.2 La végétation ligneuse

La végétation ligneuse diminue fortement la perméabilité de la digue par la présence de ses racines : plus les arbres sont nombreux, plus la levée est affectée et sensible à l'érosion interne.

Il est distingué 3 cas :

1. Végétation ligneuse isolée (VLI) : cette situation affecte modérément la sensibilité de la digue à l'érosion interne. Dans CARDigue, un coefficient aggravant de 0,95 est attribué à ce type de végétation pour le profil type non renforcé F1.

2. Végétation ligneuse clairsemée (VLC) : cette situation affecte moyennement la sensibilité de la digue à l'érosion interne. Dans CARDigue, un coefficient aggravant de 0,68 est attribué à ce type de végétation pour le profil type non renforcé F1.
3. Végétation ligneuse généralisée (VLG) : cette situation affecte fortement la sensibilité de la digue à l'érosion interne. Dans CARDigue, un coefficient aggravant de 0,34 est attribué à ce type de végétation pour le profil type non renforcé F1.

Les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy présentent une végétation ligneuse développée. Cette végétation est principalement sous forme d'alignements d'arbres (VLC). Sans être la cause principale de défaillance de l'ouvrage, ces désordres vont contribuer à la dégradation de certains profils sur des secteurs fragilisés.

8.3.2.3 Les canalisations

Les canalisations, dans le corps de la levée ou dans sa fondation, affectent fortement la sensibilité de la digue à l'érosion interne dès lors que la canalisation se retrouve sous le niveau d'eau de la Loire. Ainsi plus la canalisation est basse et plus le risque est grand. Dans le tableau suivant, les canalisations sont renseignées par leur position sur le talus côté Loire (la cote de la canalisation est renseignée ou une information est donnée sur sa position : haute (H), moyenne (M), ou basse (B)). Dans CARDigue, un coefficient aggravant est attribué aux profils contenant une canalisation : il est de 0,69 pour une canalisation en position haute, de 0,31 pour une canalisation en position moyenne et de 0,19 pour une canalisation en position basse dans le cas du profil type non renforcé F1.

Cinq canalisations sont recensés sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy : au droit des profils 42-43 (canalisation de la station de traitement d'eau potable), 62 (canalisations reliées aux vannes de sortie au niveau du port de la Jonction), 63 (canalisation haute juste en aval du mur du port de la Jonction), 70 (canalisation d'assainissement) et 82 (Canalisation grand diamètre en métal).

Les positions des canalisations de la station de traitement d'eau potable (profil 42-43) et de la canalisation assainissement (profil 70) ont été estimées à une position moyenne.

Au niveau des profils 42-43, la digue est assez large et la présence de la canalisation ne provoque pas de défaillance pour des crues moyennes (à partir d'une crue T500 uniquement).

De base, le profil 70 présente un risque de défaillance pour le phénomène d'érosion interne (caractéristiques géométriques, végétation) pour une crue type T170, non modifié par la présence de la canalisation.

Les canalisations des profils 63 et 82 sont situées en position haute, et au-dessus du niveau de la crue de période de retour T1000. Elles ne sont donc pas prises en compte par un coefficient aggravant pour le calcul de coefficient de Bligh.

Les canalisations reliées aux vannes de sortie au niveau du port de la Jonction (profil 62) font partie de la section de mur-digue ; l'analyse CARDigue de ce tronçon n'est donc pas significative.

Les canalisations situées sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy n'engendrent pas de risque de défaillance en cas de crues moyennes.

8.3.2.4 Les terriers d'animaux fouisseurs

Un terrier d'animal fouisseur dans le corps de la levée ou dans sa fondation affecte fortement la sensibilité de la digue à l'érosion interne lorsqu'il se trouve sous le niveau d'eau de la Loire. Si celui-ci est traversant, la rupture est quasi-certaine (ce cas de figure n'est pas rencontré sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy). De plus, plus le terrier est bas, plus

le risque est grand. Dans le tableau suivant, les terriers sont renseignés par leur position : haute (H), moyenne (M), ou basse (B). Dans CARDigue, un coefficient aggravant est attribué aux profils contenant un terrier : il est de 0,95 pour un terrier en position haute ou moyenne et de 0,71 pour un terrier en position basse dans le cas du profil type non renforcé F1.

Des terriers d'animaux fouisseurs ont été recensés. La plupart d'entre eux sont de diamètres réduits et en position haute ou médiane sur le talus de digue ; et ont donc peu d'influence sur la dégradation des profils de digue. Un terrier de diamètre plus important et en position basse du talus de digue côté val a été noté au profil 84 : il faut noter que ce terrier a aujourd'hui été comblé.

8.3.2.5 Les désordres du talus côté val

Le décapage (DECAP) de la végétation herbacée facilite la création de ravine par érosion externe lors des surverses. De même, la présence d'obstacle (OBSV) sur le talus côté val entraîne des perturbations des écoulements en cas de surverse, qui sont susceptibles de créer des ravines. La présence simultanée de décapage et d'obstacles (DECAP+OBSV) rend la probabilité de rupture par surverse encore plus forte.

Plusieurs profils présentent des désordres sur le talus côté val. Sans être la cause principale de défaillance de l'ouvrage, ces désordres vont contribuer à la dégradation de certains profils sur des secteurs fragilisés.

8.3.2.6 Les désordres du talus côté Loire

La présence de fosse d'érosion (FOL) en Loire ou d'érosion de la berge (ERL) sont susceptibles de provoquer un affouillement de la fondation de la levée. Celui-ci, à son tour, risque d'engendrer un glissement du talus côté Loire.

Un obstacle dans la Loire est susceptible de provoquer des tourbillons ou des vortex capables de provoquer une érosion externe de la levée.

8 profils présentent des désordres sur le talus côté Loire, de type déchaussement de maçonneries en pied de digue (DEC) ou obstacle/point dur en pied de digue (OBSL).

Au niveau du profil 30, il s'agit d'une zone de points bas côté val matérialisé par une fosse d'érosion.

N° du Profil utilisé	PK Digue (km/Origine/Val)	Présence et Position de Maison encastrée	Mur de soutènement au mur de Quai	Pont Bas sur la banquette (côté Loire) ou en crête	Végétation	Présence et Position canalisation	Présence et Position Terriers	le terrier est-il traversant?	Débris sur le talus Côté Val	Facteur aggravant l'affoulement de pied Côté Rivière
2	100.002				V.G					
3	150.067			e	V.U					
4	200.067				V.U					
5	218.09									DEC
6	300.083									
7	350.085				V.U					DEC
8	400.21				V.U					
9	450.271				V.C				OBSV	
10	507.823				V.C				OBSV	
11	621.024				V.C					
12	654.761									
13	704.653									
14	754.668									
15	804.719								OBSV	
16	854.734				V.U					
17	904.964				V.C					
18	954.977				V.C					
19	1005.026				V.C				OBSV	
20	1055.196				V.C					
21	1105.309				V.C				OBSV	
22	1156.01				V.C				OBSV	
23	1206.407		Val		V.C				OBSV	
24	1258.912	Val	Val							
25	1305.589	Val	Val							
26	1349.654				V.C					
27	1404.816				V.C					
28	1454.234				V.C					
29	1504.165				V.G		H			OBSL FOL
30	1550.745				V.G					
31	1607.828				V.G					
32	1624.094				V.G					
33	1666.206				V.G					
34	1708.337				V.G					
35	1753.304				V.G					
36	1802.676				V.G		H			
37	1852.434				V.G				OBSV	
38	1902.5				V.G					
39	1952.076				V.C				OBSV	
40	2001.689				V.C				OBSV	

N° du Profil étudié	PK Digue (km/Origine/Val)	Présence et Position de Maison encastrée	Mur de soutènement ou mur de Quai	Pont (bas sur la barge) (côté Loire) ou en crete	Végétation	Présence et Position canalisation	Présence et Position Terrier	le terrier est-il traversant?	Débris sur le talus Côté Val	Facteur aggravant l'affoulement de pied Côté Rivière
41	2022,727				VLC				OBSV	
42	2048,661				VLC	M			OBSV	OBSL
43	2081,939					M				
44	2101,65									
45	2126,058								OBSV	
46	2163,117				VLD				OBSV	OBSL
47	2201,648				VLC				DECAP+OBSV	OBSL
48	2251,649				VLD				DECAP	
49	2301,648				VLC				DECAP+OBSV	
50	2311,649				VLC				DECAP+OBSV	
51	2401,653				VLC				DECAP+OBSV	
52	2451,655				VLC				DECAP	
53	2501,655				VLC		M		DECAP+OBSV	
54	2551,655				VLC				DECAP+OBSV	
55	2601,655				VLC				DECAP+OBSV	
56	2651,689				VLC				OBSV	
57	2701,687									
58	2725,947									DEC
59	2753,583									
60	2779,167	Vvl							OBSV	
61	2801,574	Vvl							OBSV	
62	2828,075	Vvl				171,66				
63	2848,718				VLC	178,32			OBSV	
64	2878,138				VLC					
65	2901,455			e	VLC					
66	2951,411			e	VLC					
67	3001,388			e	VLC				DECAP+OBSV	
68	3051,381			e	VLC					
69	3101,276				VLC				OBSV	
70	3151,259			e	VLC	M				
71	3201,258				VLC					
72	3228,796				VLC					
73	3261,016				VJ				DECAP	
74	3301,27									
75	3328,887	Low								
77	3401,235									
78	3451,237				VLD				DECAP+OBSV	
79	3501,237				VLD				OBSV	
80	3551,235				VLD				OBSV	
81	3601,259				VLD				DECAP+OBSV	
82	3651,115				VJ	177,818				
83	3701,196									
84	3751,129			e	VJ		B		OBSV	
85	3801,129				VJ		M		OBSV	
86	3851,11						M			
87	3901,11				VJ					
88	3951,141									
89	4001,141									

Figure 88 : causes principales des risques sur l'ensemble des profils CARDigue de la levée de Nevers

8.3.2.7 Les surverses non contrôlées

Il n'existe pas de déversoir de sécurité sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy. Aussi, dès l'apparition d'une surverse, il y a possibilité de rupture, après érosion externe du talus côté val.

8.3.2.8 Autres causes : géométrie ou localisation de la levée

Les autres causes de défaillances peuvent être les suivantes :

- Un rapport trop faible entre la largeur de la base de la digue et sa hauteur constitue un risque d'érosion interne ;
- Une forte pente de talus présente un risque de glissement important ;

- La présence d'un franc-bord de faible dimension ou un contact entre le pied de la levée et la Loire, en l'absence de massif d'enrochement, constitue un risque fort d'érosion externe par affouillement du pied de digue. Ce risque d'affouillement a peu de probabilité de provoquer un glissement de la levée après la crue qui peut détériorer fortement le système et provoquer une brèche pour une crue suivante.

La géométrie de la digue est une cause majeure de défaillance pour les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy, et notamment au niveau de la levée de Sermoise 1^{ère} section qui présente des charges hydrauliques supérieures à 2,5 m dès la crue T100 et des pentes de talus plus raides que pour les autres levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

8.3.3 Niveaux de sûreté des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Le modèle d'aléa de rupture réalisé permet d'estimer la probabilité de défaillance (de rupture) d'un tronçon du système pour un événement de crue donné, caractérisé par le niveau d'eau maximal dans le cours d'eau. Cette probabilité est aussi appelée « probabilité événementielle ».

Le niveau de sûreté de la digue est ensuite défini à partir d'un seuil de probabilité événementielle de rupture pour chaque crue considérée, qualifié de négligeable.

Ce seuil, compte-tenu des incertitudes, encore indéterminées, du modèle CARDigue, a été fixé à 1% (cf. § 8.2.3.1). Ce seuil correspond généralement, selon le système d'endiguement, à la limite de probabilité d'une crue moyenne.

Ainsi, au-delà de ce seuil, la probabilité de rupture ne peut être considérée comme négligeable.

Les niveaux de sûreté des levées ont alors été définis pour les niveaux d'eau entraînant des probabilités de défaillance supérieures à 1% (résultats du modèle CARDigue). Ils sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 27 : Synthèse des niveaux de sûreté des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Levée	Niveau de sûreté	Cote à l'échelle de Nevers (m NGF)	Hauteur d'eau estimée (m)	Débit de pointe (m ³ /s)
Sermoise 1 ^{ère} section (amont A77)	Niveau de la crue T170	176,72	5,27	3500
Sermoise 1 ^{ère} section (aval A77)	Niveau de la crue T50	175,57	4,12	2300
Canal de la Jonction	Niveau de la crue T70	175,88	4,43	2620
Blanchisserie	Niveau de la crue T100	176,53	5,08	3280
Plateau de la Bonne Dame	Niveau de la crue T70	175,88	4,43	2620

Le niveau de sûreté global du val de Nevers, Sermoise et Challuy correspond donc au niveau de la crue T50.

8.4 Estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Cette estimation consiste en l'évaluation de la criticité de différents scénarios d'inondation de la zone protégée que constitue le val de Nevers, Sermoise et Challuy.

8.4.1 Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilités d'occurrence

L'Étude de dangers doit étudier des scénarios représentatifs de la diversité des situations pouvant être rencontrées, aussi bien en termes de probabilité d'occurrence, de type de défaillance en jeu (ou de fonctionnement normal) que de gravité. Il apparaît nécessaire d'étudier au moins les scénarios suivants :

- La première surverse,
- Le (ou les) scénarios les plus probables,
- Le scénario le plus pénalisant (qui provoquerait les dommages les plus importants),
- Le scénario qui conduit à l'inondation la plus étendue de la zone protégée,
- Le scénario de rupture initiée par surverse de la digue en son point le plus bas.

Afin d'obtenir une bonne représentativité de la multitude des cas de figure envisageables et dans un contexte où il n'est pas possible d'étudier en détail chacun des scénarios possibles, 4 scénarios de rupture ont été choisis selon les principes exposés au paragraphe 8.2.3.1 et les résultats du paragraphe 8.3. Les scénarios les plus probables ont ainsi été déterminés à partir de l'analyse statistique des risques de rupture. Les sites de brèches ont été choisis en fonction, d'une part de leur probabilité, et d'autre part de l'impact qu'aurait la rupture sur les enjeux.

D'après les éléments présentés au 8.3, on identifie les profils suivants :

- Surverse pour une crue T200 avec rupture de la digue au profil 11 (initiée par une rupture de la banquettes par érosion interne),
- Scénario le plus probable : rupture initiée par érosion interne au profil 37 pour une crue T50, qui correspond en outre à une zone de brèche historique,
- Scénario le plus pénalisant : brèche au profil 87 (inondation du val nord) sans remous préalable,
- Scénario qui conduit à l'inondation la plus étendue de la zone protégée : brèche au profil 37 pour une crue T50 (le val n'est pas encore trop inondé par remous pour la T50)

Les scénarios d'inondation retenus sont les suivants.

Tableau 28 : Scénarios d'inondation retenus

N°	Scénario d'inondation	N° profil	Crue	Probabilité de rupture événementielle	Probabilité du scénario	Qualification de la probabilité du scénario
1	Rupture du mur de l'ancienne piscine	P62	T100	50%	0,5%	Peu probable
2	Rupture de la banquette initiée par érosion interne au profil P11 puis rupture de la levée par surverse	P11	T200	2,25%	0,01%	Improbable
3	Rupture initiée par érosion interne au P37	P37	T50	10%	0,20%	Peu probable
4	Rupture initiée par érosion interne au P87	P87	T70	10%	0,14%	Très peu probable

La probabilité du scénario d'inondation est équivalente à la combinaison de la probabilité de défaillance événementielle pour le niveau d'eau déclenchant la brèche et de l'occurrence de la crue simulée pour ce scénario.

La localisation des scénarios d'inondation est donnée sur la carte ci-après.

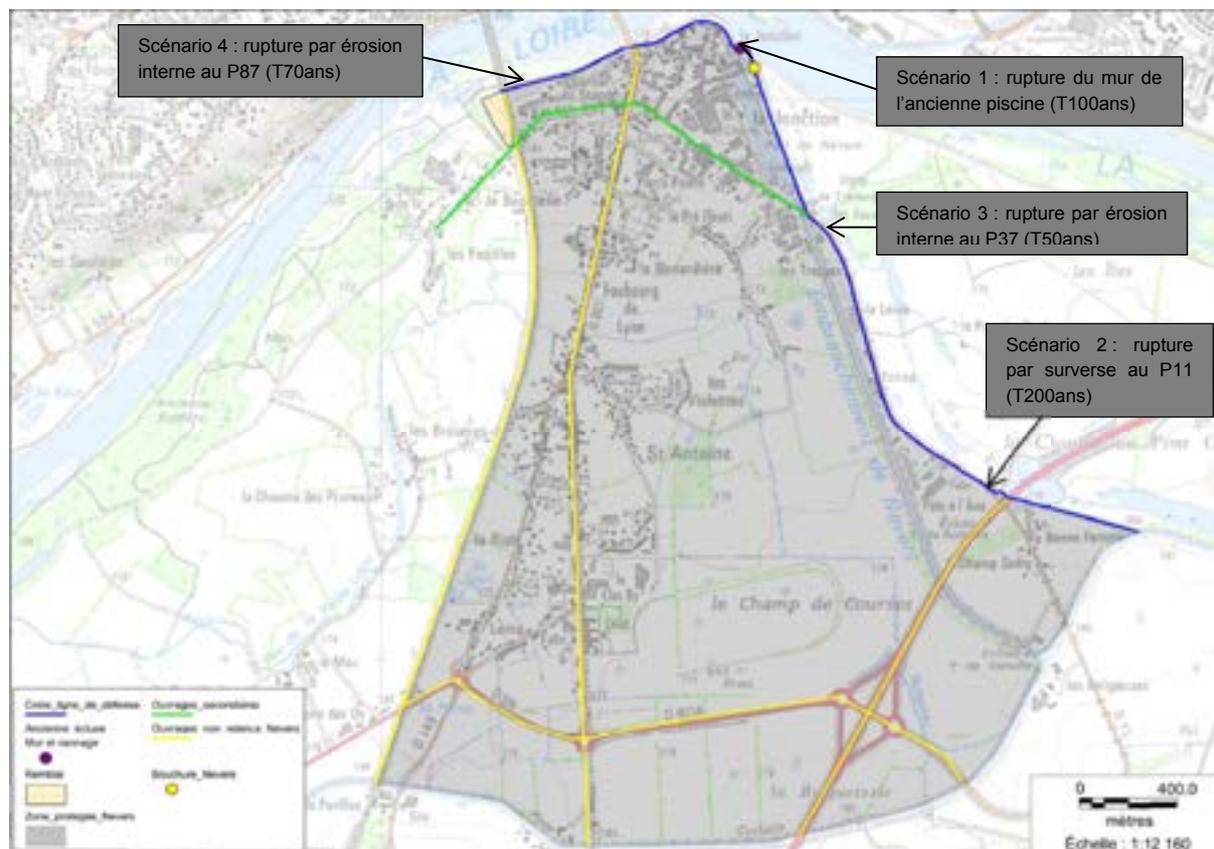


Figure 89 : Localisation des scénarios étudiés – val de Nevers, Sermoise et Challuy

8.4.1.1 Scénario d'inondation 1 : rupture du mur de l'ancienne piscine pour la crue T100

Le premier scénario est la défaillance du mur de l'ancienne piscine, qui correspond à la partie tirant d'air de l'ancienne écluse (cf. § 5.1), pour la crue centennale.

La brèche simulée pour ce scénario est une rupture du mur total (2,6m x 8,1m), au niveau du profil 62.

La brèche se situe sur la partie mur-digue de la levée du canal de la Jonction, juste avant la levée de la Blanchisserie.

Elle se produit au niveau de la zone nord du val protégé.

Ce scénario est défini pour une crue centennale, crue pour laquelle la probabilité est de 0,01.

Le scénario de défaillance pour cette crue a une probabilité événementielle de 50%. La brèche est déclenchée au pic de la crue.

Cette rupture a une probabilité annuelle estimée à 0,5% et est qualifiée de « peu probable ».

A noter que toute autre entrée d'eau dans le val n'est pas simulée.



Figure 90 : Scénario d'inondation n°1 - carte de localisation de la brèche (profil 62)

8.4.1.2 Scénario d'inondation 2 : rupture de la banquette initiée par érosion interne au profil 11 puis rupture de la levée par surverse (T = 200 ans)

La brèche simulée pour ce scénario est une rupture de la banquette de la levée de Sermoise 1^{re} section, initiée par érosion interne, puis d'une rupture de la levée, initiée par surverse.

Cette brèche se situe en aval de l'A77. Ce scénario a été préféré à une rupture de la levée au point le plus bas car ce dernier se situe en amont de l'A77, zone un peu isolée topographiquement du fait du remblai de l'A77.



Figure 91 : Scénario d'inondation n°2 - carte de localisation de la brèche (profil 11)

La brèche s'étend au niveau du profil 11, sur une largeur de 150m et sur une hauteur de 1,50m (hauteur totale de la levée).

Ce scénario est défini pour une crue T200, crue pour laquelle la probabilité est de 0,005. La hauteur d'eau au-dessus de la crête de la levée est de 55 cm.

Le scénario de défaillance pour cette crue a une probabilité événementielle de 2% (non négligeable). La brèche est déclenchée au pic de la crue.

Cette rupture a une probabilité annuelle estimée à 0,01% et est qualifiée de « improbable ».

A noter que toute autre entrée d'eau dans le val n'est pas simulée.

8.4.1.3 Scénario d'inondation 3 : rupture initiée par érosion interne au profil 37 (T = 50 ans)

La brèche simulée pour ce scénario est une rupture de la levée de Sermoise 1^{re} section, initiée par érosion interne au profil 37.

Cette brèche se situe sur une zone de brèche historique.



Figure 92 : Scénario d'inondation n°3 - carte de localisation de la brèche (profil 37)

La brèche s'étend au niveau du profil 37, sur une largeur de 150m et sur une hauteur de 2,00m (hauteur totale de la levée).

Ce scénario est défini pour une crue T50, crue pour laquelle la probabilité est de 0,02.

Le scénario de défaillance pour cette crue a une probabilité événementielle de 10% (non négligeable). La brèche est déclenchée au pic de la crue.

Cette rupture a une probabilité annuelle estimée à 0,2% et est qualifiée de « peu probable ».

A noter que toute autre entrée d'eau dans le val n'est pas simulée.

8.4.1.4 Scénario d'inondation 4 : rupture initiée par érosion interne au profil 87 (T = 70 ans)

La brèche simulée pour ce scénario est une rupture de la levée du Plateau de la Bonne Dame, initiée par érosion interne au profil 87.

Cette brèche se situe sur une zone de brèche historique.



Figure 93 : Scénario d'inondation n°4 - carte de localisation de la brèche (profil 87)

La brèche s'étend au niveau du profil 87, sur une largeur de 150m et sur une hauteur de 5,00m (hauteur totale de la levée). Il existe une fosse derrière la levée à cet endroit, qui peut correspondre à la fosse d'érosion de la brèche historique.

Ce scénario est défini pour une crue T70, crue pour laquelle la probabilité est de 0,014.

Le scénario de défaillance pour cette crue a une probabilité événementielle de 10% (non négligeable). La brèche est déclenchée au pic de la crue.

Cette rupture a une probabilité annuelle estimée à 0,14% et est qualifiée de « très peu probable ».

A noter que toute autre entrée d'eau dans le val n'est pas simulée.

8.4.2 Intensité et cinétique des scénarios

L'intensité et la cinétique des scénarios d'inondation de la zone protégée ont été évaluées au moyen du modèle hydraulique 2D de la Loire d'Imphy au bec d'Allier, construit sous le logiciel Telemac 2D dans le cadre des études de dangers.

8.4.2.1 Construction du modèle hydraulique

Les caractéristiques du modèle sont expliquées dans l'étude spécifique S02 Etude hydraulique locale via l'utilisation d'un modèle 2D.

8.4.2.2 Résultats des modélisations hydrauliques 2D

Le modèle a été modifié afin de pouvoir représenter les 4 scénarios d'inondation présentés précédemment.

Les résultats sont donnés, pour chaque scénario, en terme de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement.

Les phénomènes d'inondation par remontée de nappe ou par ruissellement urbain ne sont pas pris en compte et ne sont pas cartographiés.

Hauteurs d'eau

À l'intérieur du val, les hauteurs d'eau sont mesurées à chaque pas de temps sur tous les nœuds du modèle. Les résultats présentés dans le rapport sont les hauteurs maximales.

Vitesses d'écoulement

À l'intérieur du val, les vitesses de l'eau sont mesurées à chaque pas de temps sur tous les nœuds du modèle. Les résultats présentés dans le rapport sont les vitesses maximales.

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers

Scénario 1 : Rupture du mur-digue en cas de crue centennale

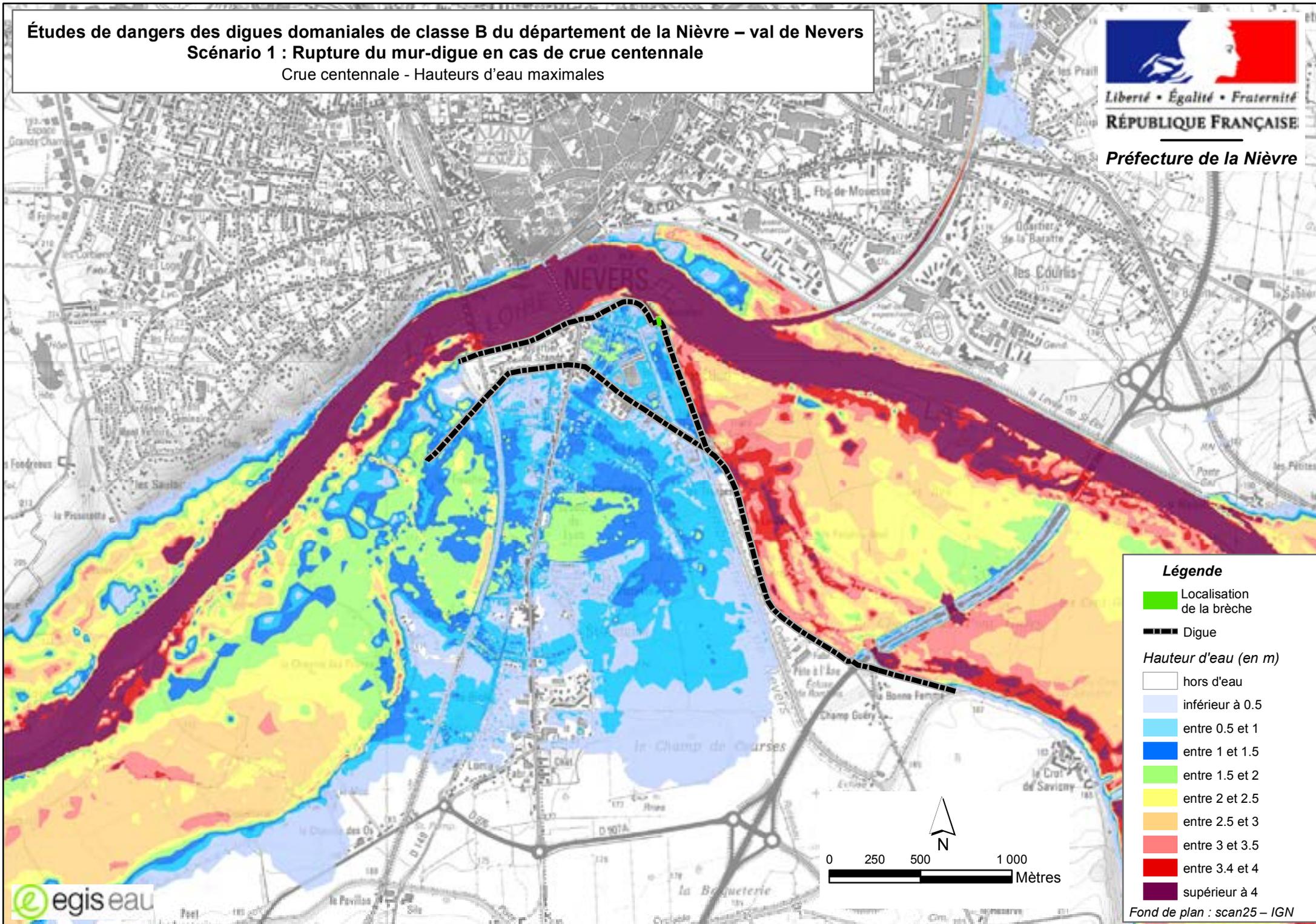
Crue centennale - Hauteurs d'eau maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

Localisation de la brèche

Digue

Hauteur d'eau (en m)

- hors d'eau
- inférieur à 0.5
- entre 0.5 et 1
- entre 1 et 1.5
- entre 1.5 et 2
- entre 2 et 2.5
- entre 2.5 et 3
- entre 3 et 3.5
- entre 3.4 et 4
- supérieur à 4

Fond de plan : scan25 – IGN

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers

Scénario 1 : Rupture du mur-digue en cas de crue centennale

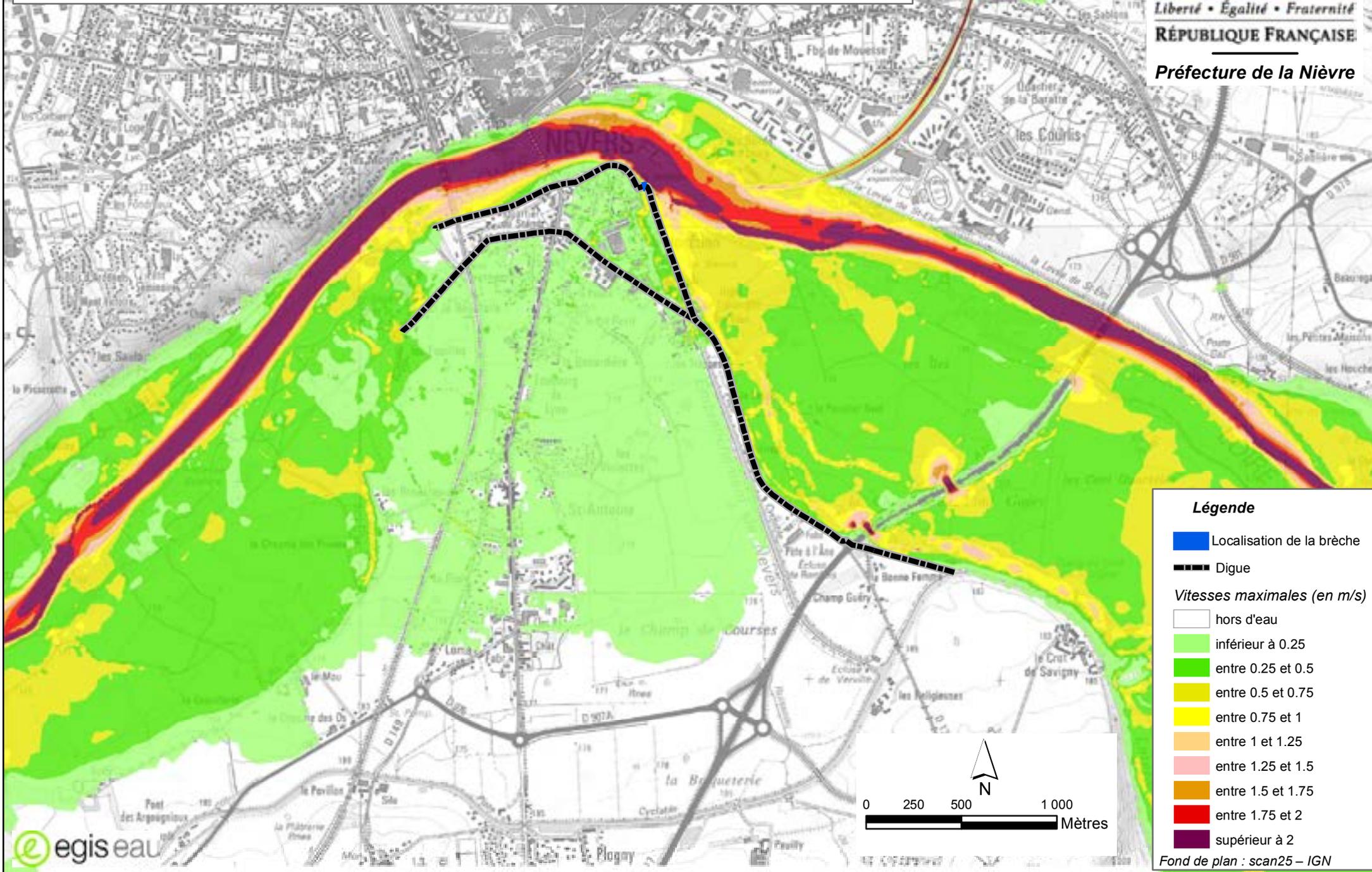
Crue centennale - Vitesses d'écoulement maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

Localisation de la brèche

Digue

Vitesses maximales (en m/s)

hors d'eau

inférieur à 0.25

entre 0.25 et 0.5

entre 0.5 et 0.75

entre 0.75 et 1

entre 1 et 1.25

entre 1.25 et 1.5

entre 1.5 et 1.75

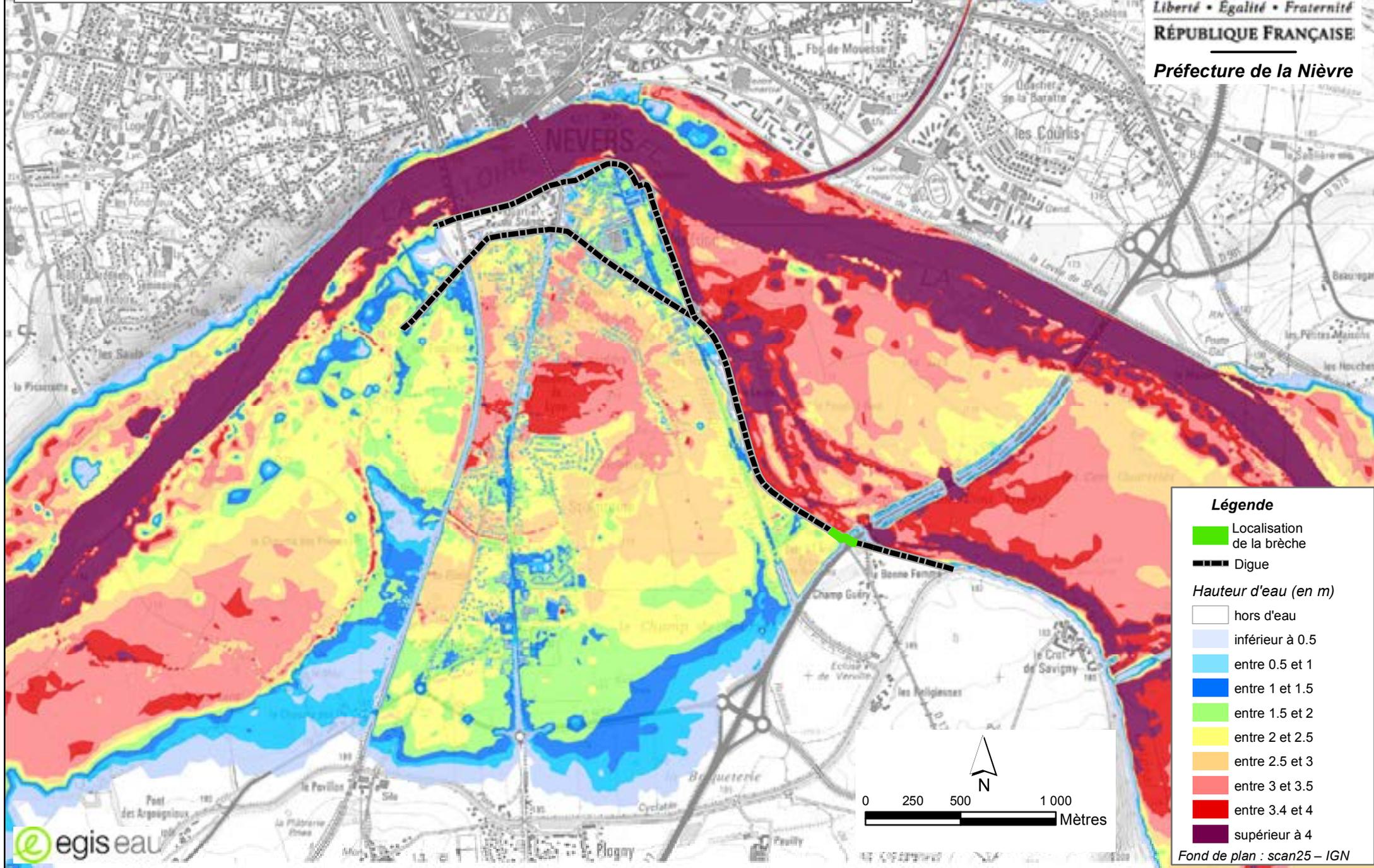
entre 1.75 et 2

supérieur à 2

Fond de plan : scan25 – IGN

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 2 : Rupture initiée par surverse au profil 11 (T = 200 ans)

Hauteurs d'eau maximales



Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers

Scénario 2 : Rupture initiée par érosion interne au profil 11 (T = 200 ans)

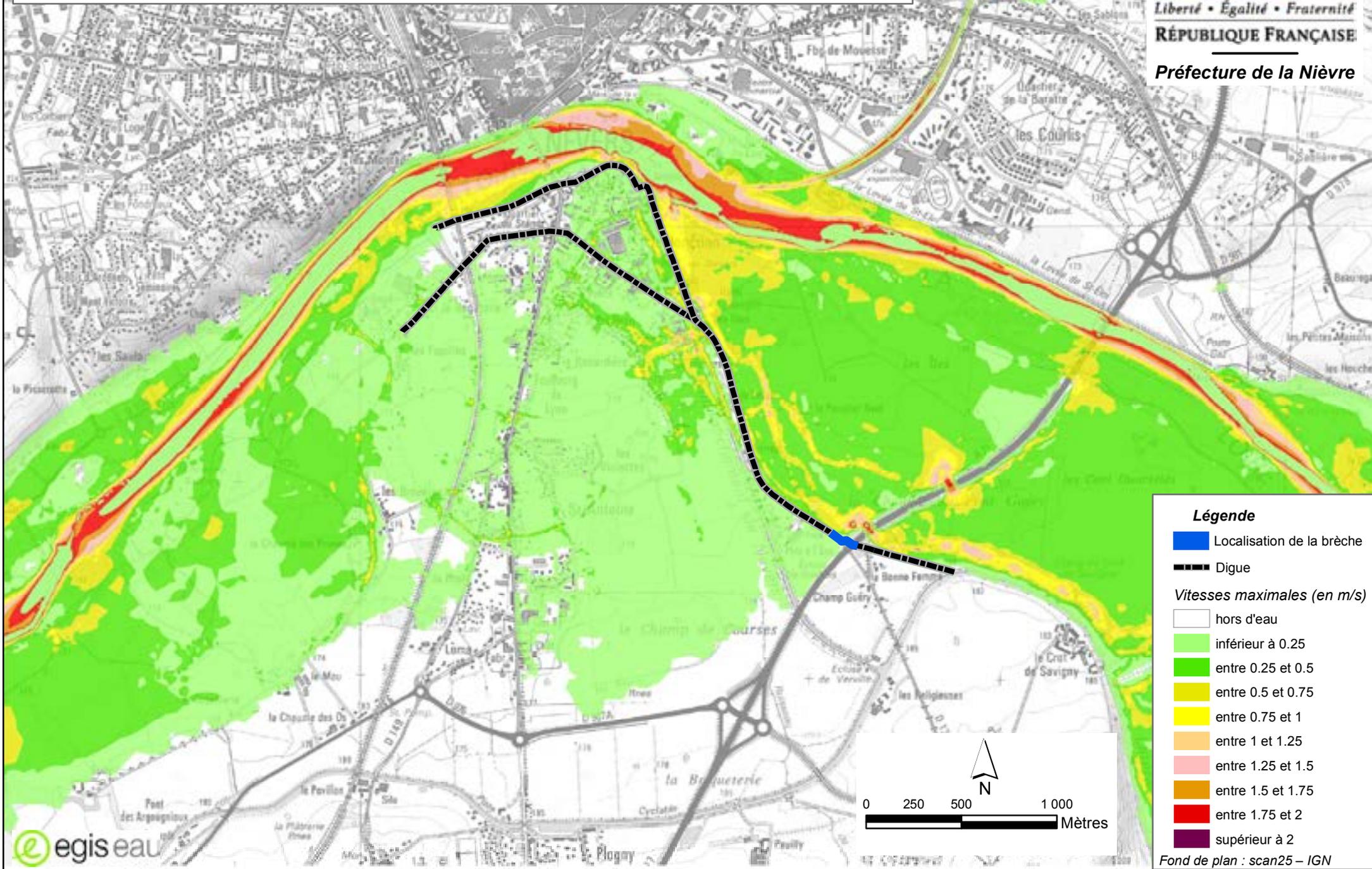
Vitesses d'écoulement maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

Localisation de la brèche

Digue

Vitesses maximales (en m/s)

hors d'eau

inférieur à 0.25

entre 0.25 et 0.5

entre 0.5 et 0.75

entre 0.75 et 1

entre 1 et 1.25

entre 1.25 et 1.5

entre 1.5 et 1.75

entre 1.75 et 2

supérieur à 2

Fond de plan : scan25 – IGN

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 3 : Rupture initiée par érosion interne au profil 37 (T = 50 ans)

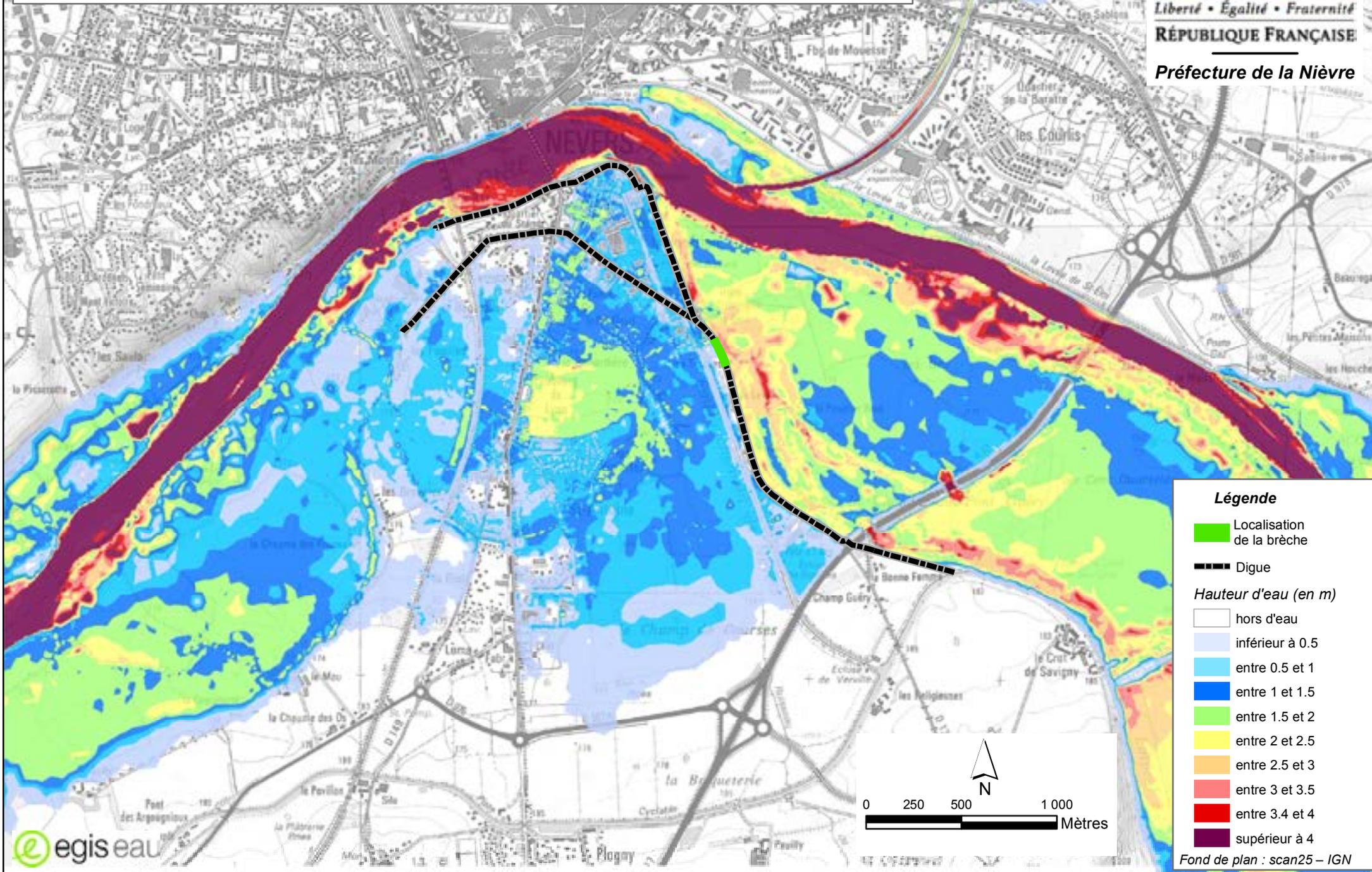
Hauteurs d'eau maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

Localisation de la brèche

Digue

Hauteur d'eau (en m)

- hors d'eau
- inférieur à 0.5
- entre 0.5 et 1
- entre 1 et 1.5
- entre 1.5 et 2
- entre 2 et 2.5
- entre 2.5 et 3
- entre 3 et 3.5
- entre 3.4 et 4
- supérieur à 4

Fond de plan : scan25 – IGN

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 3 : Rupture initiée par érosion interne au profil 37 (T = 50 ans)

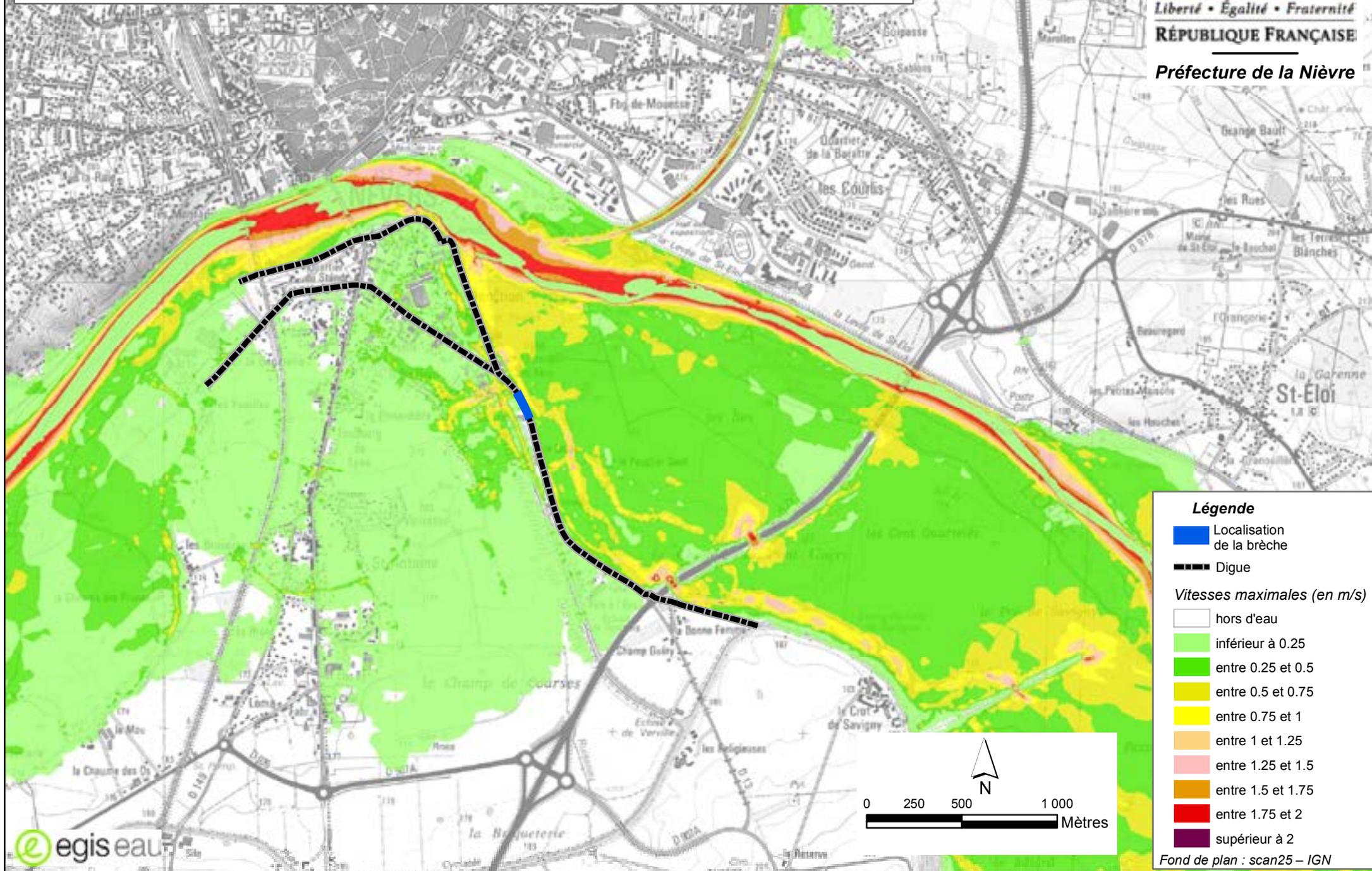
Vitesses d'écoulement maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

Localisation de la brèche

Digue

Vitesses maximales (en m/s)

hors d'eau

inférieur à 0.25

entre 0.25 et 0.5

entre 0.5 et 0.75

entre 0.75 et 1

entre 1 et 1.25

entre 1.25 et 1.5

entre 1.5 et 1.75

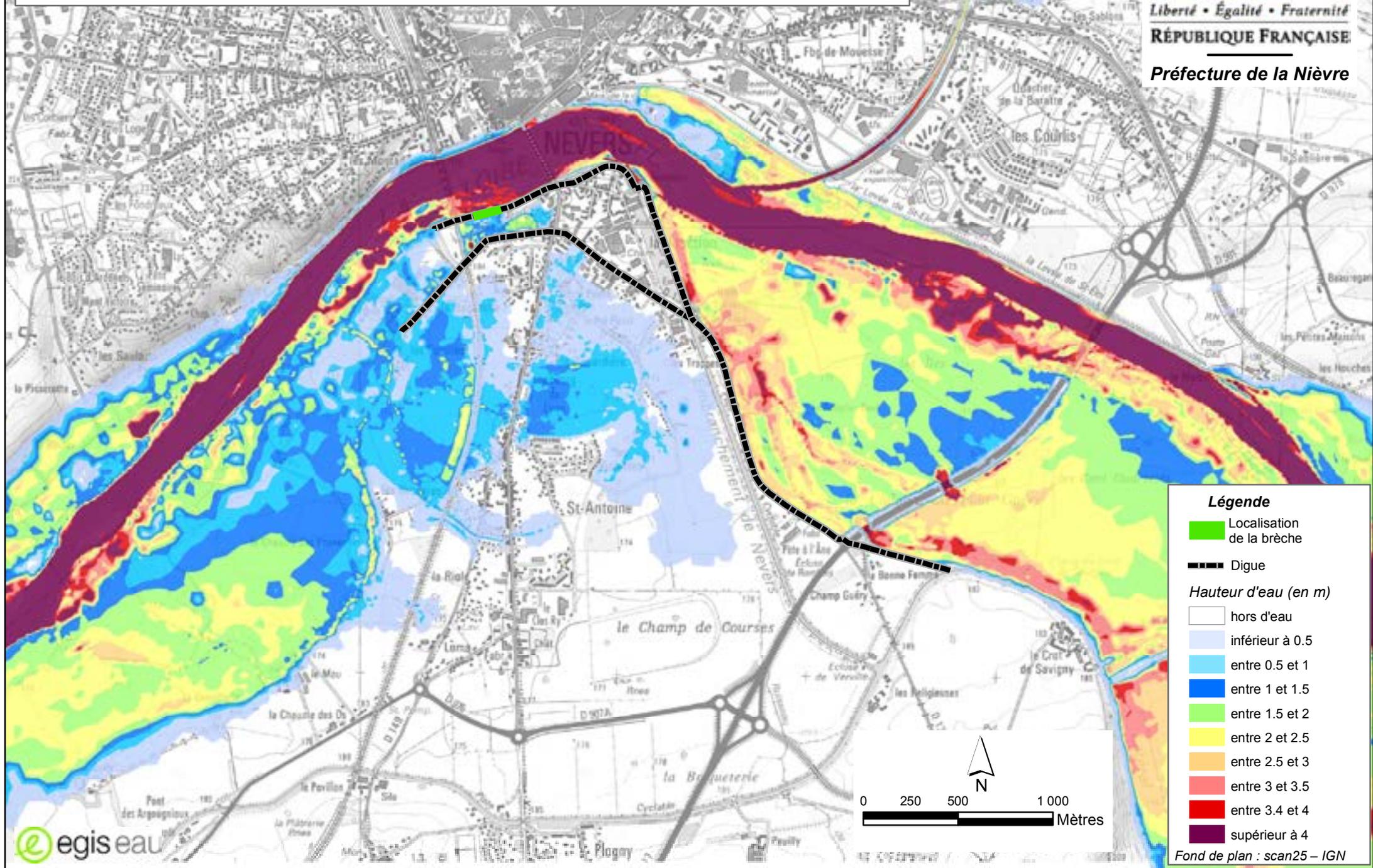
entre 1.75 et 2

supérieur à 2

Fond de plan : scan25 – IGN

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 4 : Rupture initiée par érosion interne au profil 87 (T = 70 ans)

Hauteurs d'eau maximales



Légende

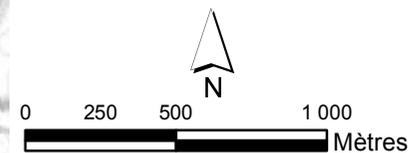
Localisation de la brèche

Digue

Hauteur d'eau (en m)

- hors d'eau
- inférieur à 0.5
- entre 0.5 et 1
- entre 1 et 1.5
- entre 1.5 et 2
- entre 2 et 2.5
- entre 2.5 et 3
- entre 3 et 3.5
- entre 3.4 et 4
- supérieur à 4

Fond de plan : scan25 – IGN



Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 4 : Rupture initiée par érosion interne au profil 87 (T = 70 ans)

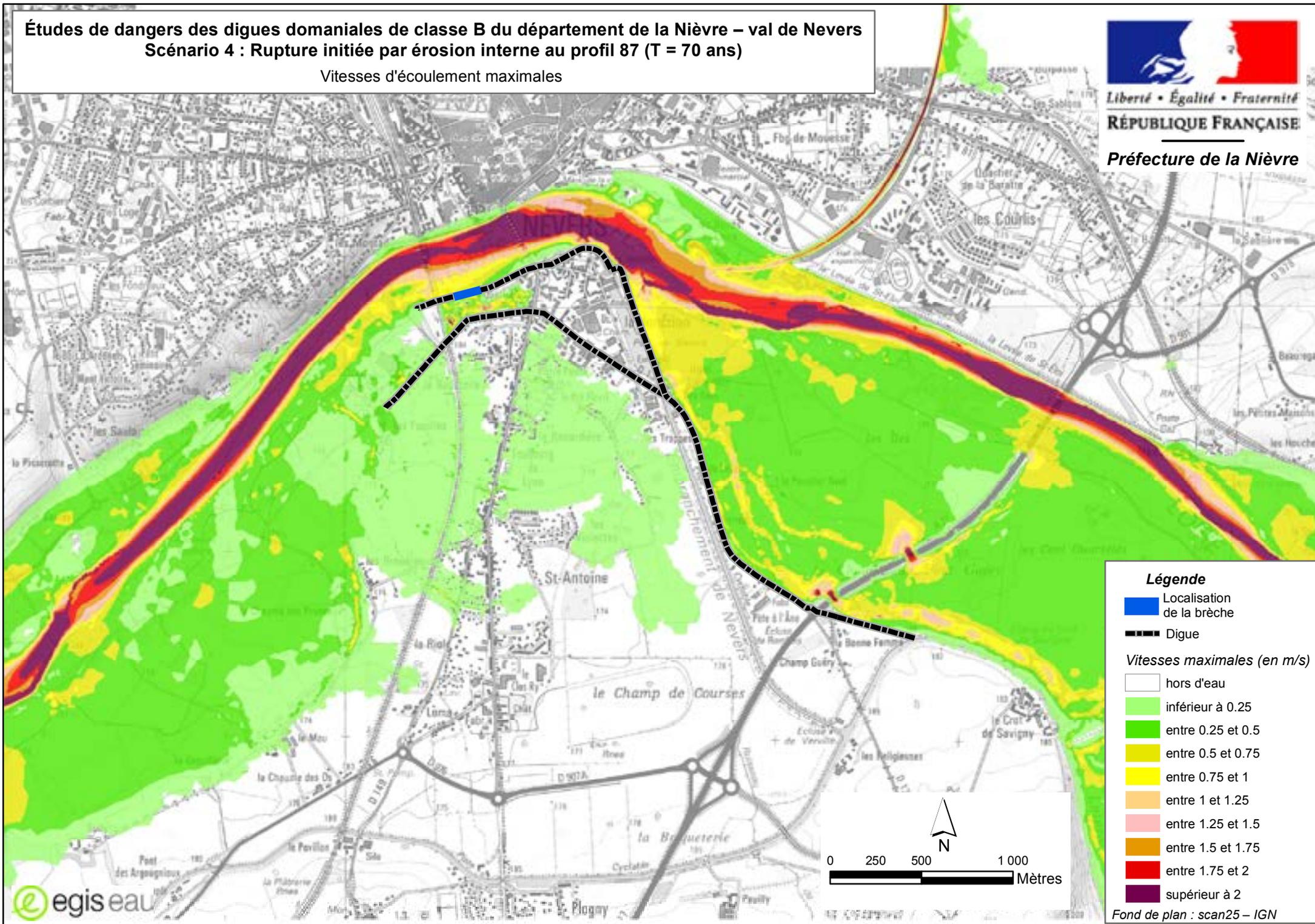
Vitesses d'écoulement maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Scénario 1

Tout le val situé au sud des levées de second rang est touché par les inondations liées au remous de la Loire (cf. cartographie du remous – T100).

Suite à la brèche, le secteur situé entre les levées du canal de la Jonction et de la Blanchisserie (rue de la Blanchisserie, rue Auguste Mahaut) est inondé, avec des hauteurs d'eau de l'ordre de 1,50m. Ce secteur n'est pas inondé par remous pour une crue centennale.

Les vitesses d'écoulement maximales sont faibles (inférieures à 0,25 m/s).

Scénario 2

Tout le val situé au sud des levées de second rang est touché par les inondations liées au remous de la Loire (cf. cartographie du remous – T200).

Suite à la brèche, ce secteur est sur-inondé après l'entrée d'eau dans le val et le secteur situé entre les levées du canal de la Jonction et de la Blanchisserie (rue de la Blanchisserie, rue Auguste Mahaut) est inondé, avec des hauteurs d'eau de l'ordre de 2,00m.

La figure ci-après est la cartographie des hauteurs d'eau dans le val inondé par remous avant l'ouverture de la brèche. Les hauteurs d'eau sont de l'ordre de 1,0 à 2,0m alors que les hauteurs d'eau maximales pour le scénario 2 sont de 2,0 à 3,5m.

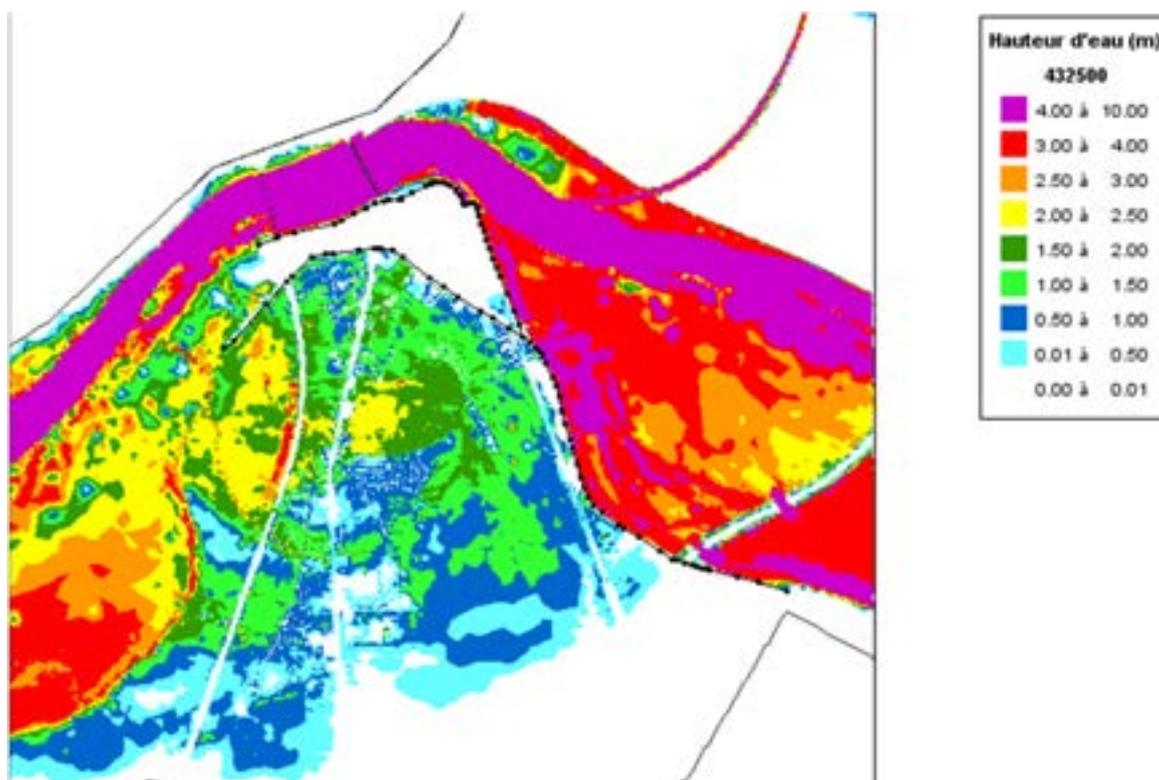


Figure 102 : Cartographie de la situation dans le val inondé avant ouverture de la brèche au profil 11

Les vitesses d'écoulement maximales sont faibles (inférieures à 0,25 m/s), à l'exception du secteur de la brèche où les vitesses sont de l'ordre du m/s. Il existe un risque de destruction des digues du canal.

Le niveau d'eau dans le val protégé étant plus élevé que dans la situation « classique » de l'inondation par remous, les charges hydrauliques au niveau des levées de second rang sont également plus élevées.

Dans ce scénario, seul le quartier du Stand se retrouve hors d'eau. La levée de Gimouille est alors sollicitée par des hauteurs de charge de 2 à 3m (moins de 50 cm sous la crête de la levée).

Scénario 3

Le val situé au sud des levées de second rang est en partie touché par les inondations liées au remous de la Loire (cf. cartographie du remous – T50).

Suite à la brèche, tout le val situé au sud des levées de second rang est surinondé par l'entrée d'eau dans le val et le secteur situé entre les levées du canal de la Jonction et de la Blanchisserie (rue de la Blanchisserie, rue Auguste Mahaut) est inondé, avec des hauteurs d'eau de l'ordre de 1,5m.

La figure ci-après est la cartographie des hauteurs d'eau dans le val inondé par remous avant l'ouverture de la brèche. Les hauteurs d'eau sont de l'ordre de 0,5 à 1,0m alors que les hauteurs d'eau maximales pour le scénario 3 sont de 1,0 à 2,0m.

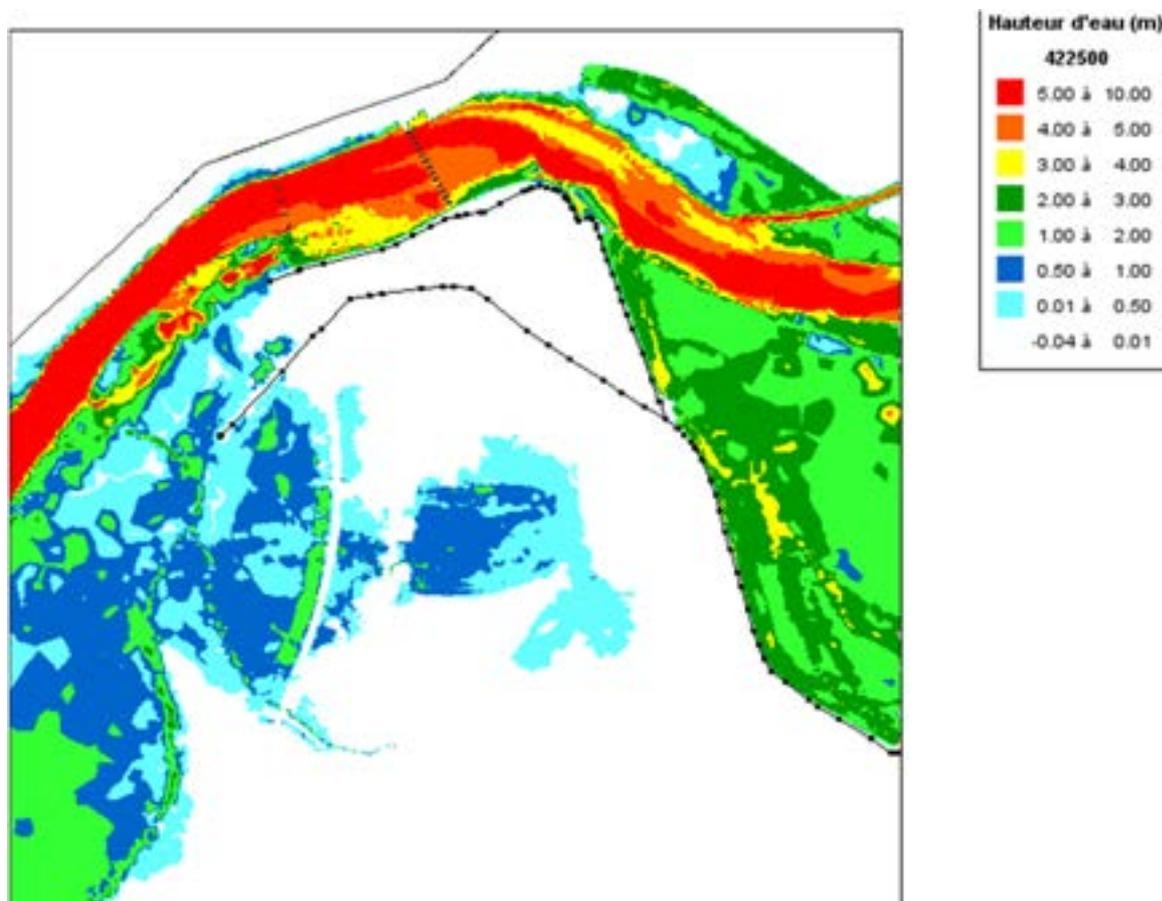


Figure 103 : Cartographie de la situation dans le val inondé avant ouverture de la brèche au profil 37

Les vitesses d'écoulement maximales sont faibles (inférieures à 0,25 m/s), à l'exception du secteur de la brèche où les vitesses sont de l'ordre de 0,75 m/s. Il existe un risque de destruction des digues du canal.

Le niveau d'eau dans le val protégé étant plus élevé que dans la situation « classique » de l'inondation par remous, les charges hydrauliques au niveau des levées de second rang sont également plus élevées (au droit du quartier du stand puisque le quartier de la Blanchisserie est inondé).

Dans ce scénario, seul le quartier du Stand se retrouve hors d'eau. La levée de Gimouille est alors sollicitée par des hauteurs de charge de 1 à 1,5m.

Scénario 4

Le val situé au sud des levées de second rang est en partie touché par les inondations liées au remous de la Loire (cf. cartographie du remous – T70).

Suite à la brèche, il n'y a pas de sur-inondation du val situé au sud des levées de second rang. Les eaux restent contenues, pour cette occurrence de crue, entre les levées et la route de Lyon. En effet, les niveaux d'eau en Loire pour la crue T70 sont inférieurs aux niveaux de la route de Lyon et de la levée de Gimouille.

La figure ci-après est la cartographie des hauteurs d'eau dans le val inondé par remous avant l'ouverture de la brèche, qui diffère peu de la situation maximale. Le décalage est lié au fait que le pic de crue en aval est décalé et donc le maximum des inondations par remous se produit un peu plus tard.

Les hauteurs d'eau sont de l'ordre de 1,5 m dans le quartier du stand.

Les vitesses d'écoulement maximales sont faibles (inférieures à 0,25 m/s), à l'exception du secteur de la brèche où les vitesses sont de l'ordre de 0,75 m/s.

Contrairement au fonctionnement hydraulique actuel et au fonctionnement hydraulique des autres scénarios, la levée de Gimouille est sollicitée réellement du côté Loire vers le côté val (qui est non inondé derrière la levée pour une crue T70). Dans ces conditions, la levée de Gimouille est soumise à des charges hydrauliques (Loire vers val) de l'ordre de 1 à 1,8 m.

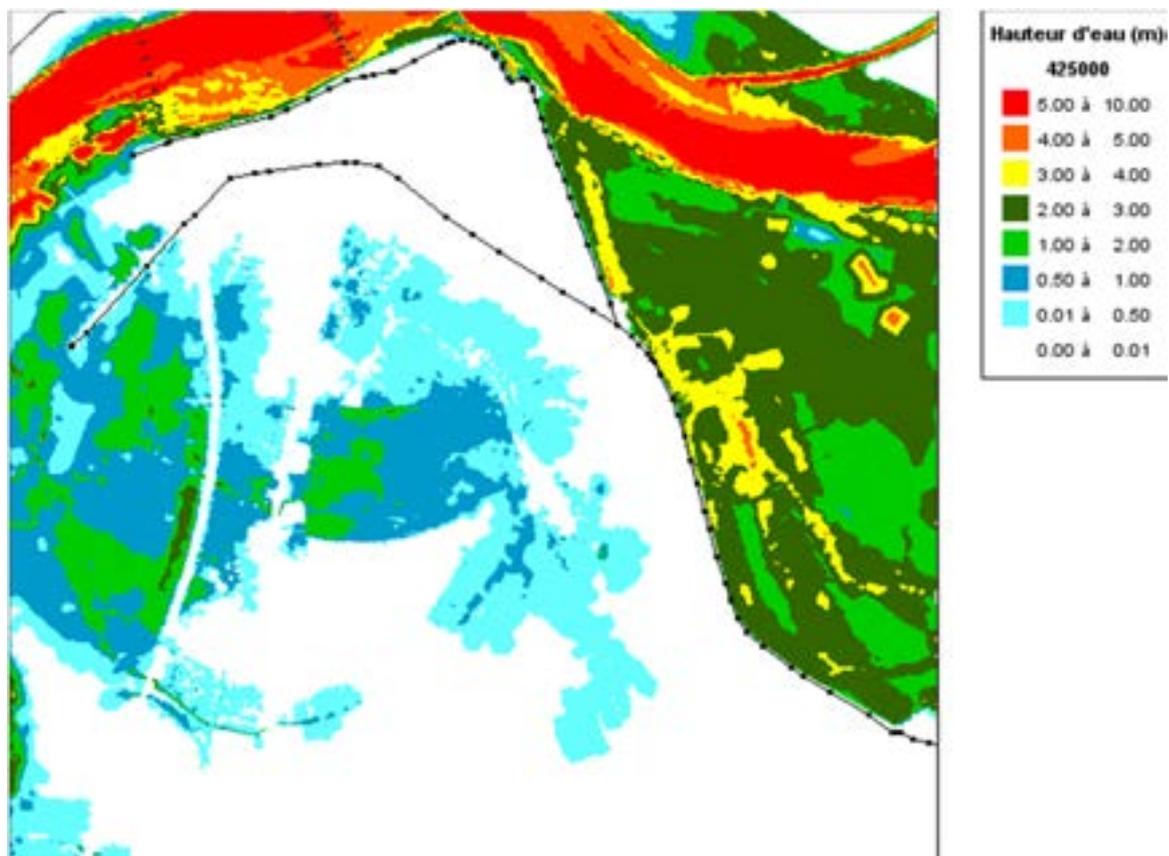


Figure 104 : Cartographie de la situation dans le val inondé avant ouverture de la brèche au profil 87

8.4.3 Gravité et criticité des scénarios d'inondation

L'évaluation de la gravité de chaque scénario d'inondation s'est appuyée sur une méthode de comptage de la population exposée au risque d'inondation pour chaque scénario. L'objectif n'est pas d'effectuer un comptage précis mais d'obtenir un ordre de grandeur.

8.4.3.1 Exploitation des résultats de l'étude d'enjeux

L'estimation des populations potentiellement présentes dans les lieux d'habitat a été faite à partir des données INSEE. Il a été déterminé la population présente dans des habitats de plain-pied et la population présente dans des habitats à étage. La méthode d'estimation est décrite au paragraphe 8.2.3.3.

En revanche, les résultats relatifs aux effectifs des lieux d'activités sont partiels (informations souvent récupérées sur internet). Ceci permet de dégager des ordres de grandeur du nombre de salariés. Il en est de même pour l'estimation de la population présente sur les axes routiers, qui est faite à partir du trafic moyen journalier. Cette estimation doit être interprétée avec précaution du fait des grandes incertitudes entourant le comportement des personnes en cas d'inondation et les mesures de restriction de circulation qui seront mises en place par les autorités. Il semble donc peu approprié d'intégrer un indicateur chiffré pour la population active et celle présente sur les axes routiers. Cette population sera intégrée de manière plus subjective.

Ainsi, un indicateur de danger habitat est défini pour les habitats de plain-pied et pour les habitats à étages. Il s'affranchit de l'incertitude sur les enjeux économiques. Cet indicateur est identique à celui utilisé dans les études de dangers des digues des vals d'Orléans et de Tours pour estimer la criticité des scénarios d'inondation ; il permet ainsi de comparer les scénarios d'inondation à l'échelle du bassin de la Loire.

Puis, selon le nombre et le type d'enjeux sensibles recensés (services de secours, centres de décision, hôpitaux, ERP, axes routiers...), le niveau de gravité du scénario d'inondation peut être augmenté.

8.4.3.2 L'aléa d'inondation

Les phénomènes dangereux d'inondation sont traduits en termes de classes d'aléa d'inondation par le biais du croisement (hauteur x vitesse) selon la grille définie précédemment (Figure 78). La mise en application de cette grille de classes d'aléa permet d'obtenir les cartes d'aléa pour les différents scénarios d'inondation étudiés.

Scénario 1 : Le val se trouve principalement en aléa moyen à fort. La zone de destruction de bâti ne touche pas d'habitations.

Scénario 2 : Le val se trouve majoritairement en aléa très fort. La zone de destruction de bâti ne touche pas d'habitations mais un bâtiment se trouve à proximité (ONEMA), ainsi que le remblai de l'A77 et le canal de la Jonction.

Scénario 3 : Le val se trouve majoritairement en aléa moyen à fort, avec quelques zones en aléa très fort. La zone de destruction de bâti touche les digues du canal de la Jonction et atteint les habitations situées rue des Trappes.

Scénario 4 : Le val se trouve majoritairement en aléa faible à moyen, et le secteur nord en aléa très fort. La zone de destruction de bâti touche des habitations.

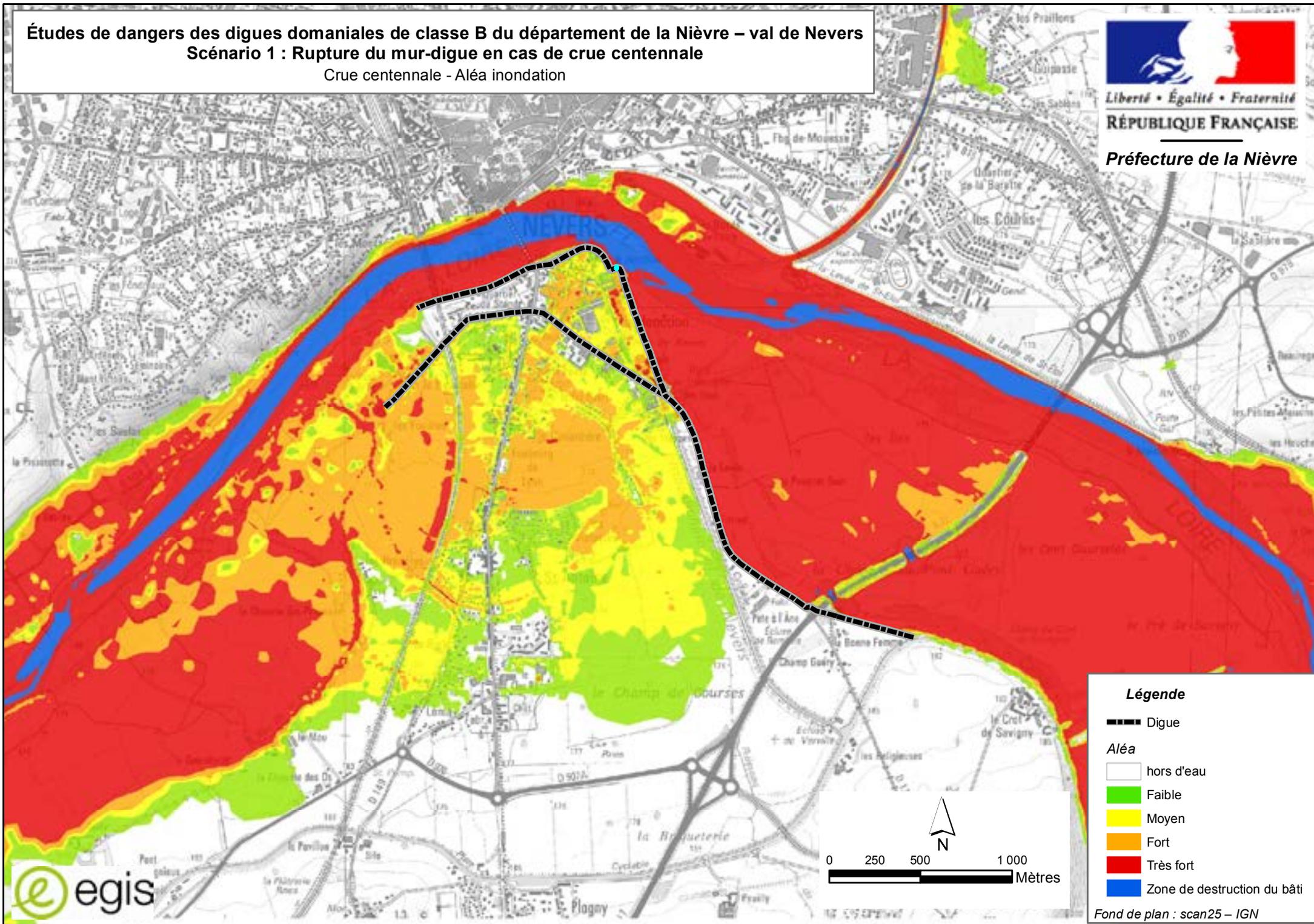
Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 1 : Rupture du mur-digue en cas de crue centennale
Crue centennale - Aléa inondation



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

- Digue
- Aléa
 - hors d'eau
 - Faible
 - Moyen
 - Fort
 - Très fort
 - Zone de destruction du bâti

Fond de plan : scan25 – IGN

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 3 : Rupture initiée par érosion interne au profil 37 (T = 50 ans)

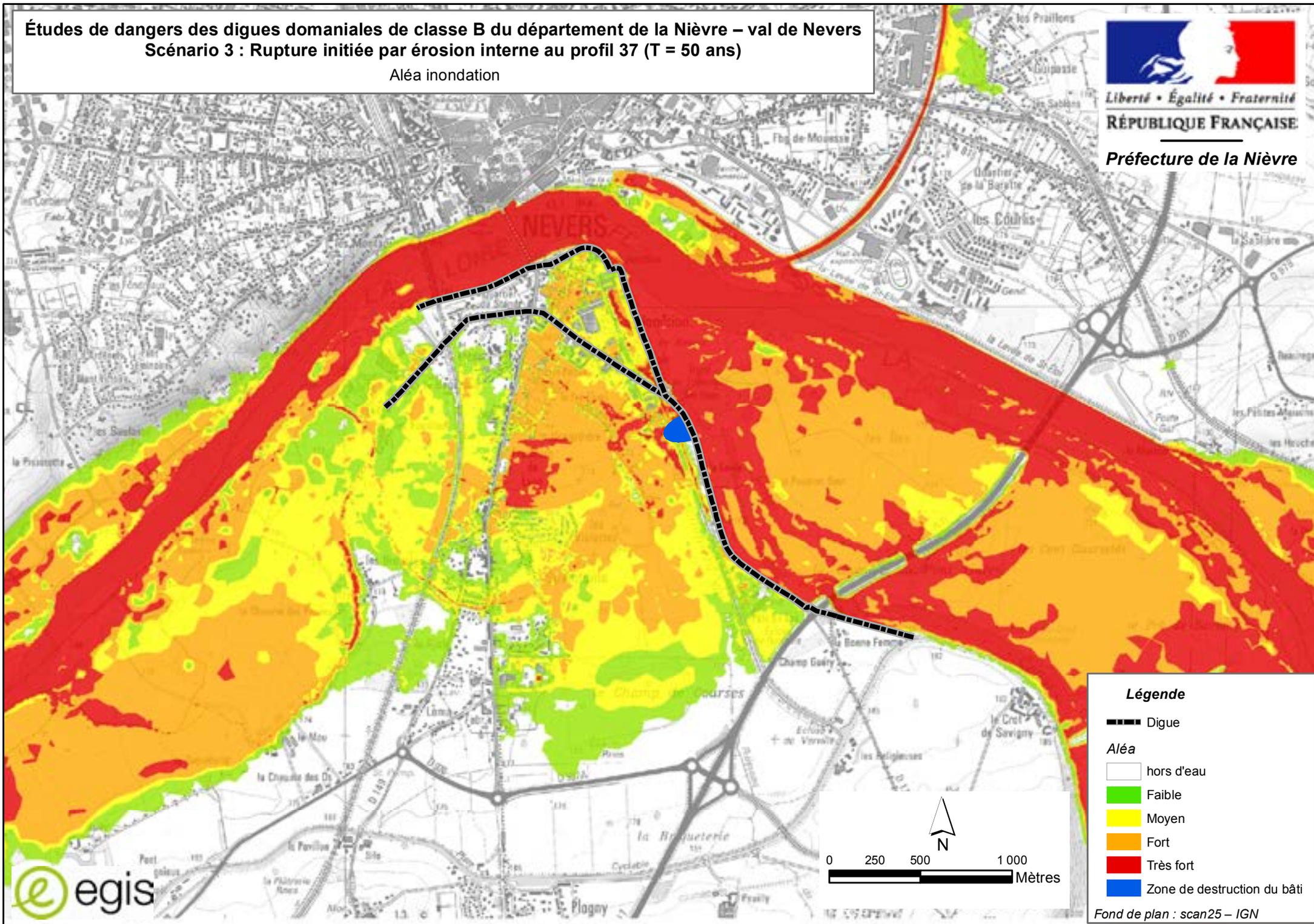
Aléa inondation



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

- Digue
- Aléa
 - hors d'eau
 - Faible
 - Moyen
 - Fort
 - Très fort
 - Zone de destruction du bâti

Fond de plan : scan25 – IGN

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Nevers
Scénario 4 : Rupture initiée par érosion interne au profil 87 (T = 70 ans)

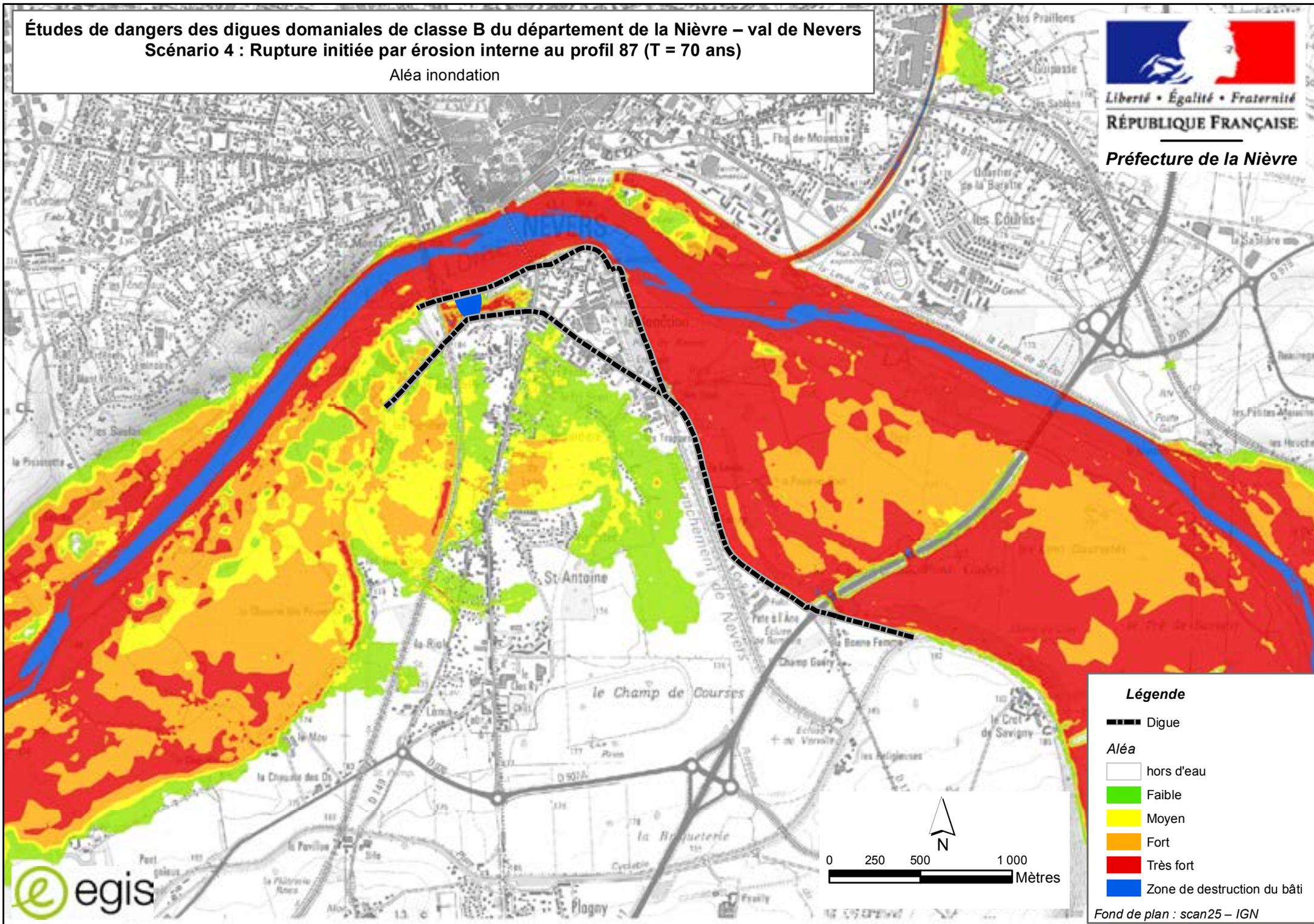
Aléa inondation



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

--- Digue

Aléa

□ hors d'eau

□ Faible

□ Moyen

□ Fort

□ Très fort

□ Zone de destruction du bâti

Fond de plan : scan25 – IGN



8.4.3.3 Vulnérabilité des enjeux contenant des populations – indicateur de danger

Pour chaque scénario d'inondation est appliquée la méthodologie de détermination de l'indicateur de danger des populations exposée au paragraphe 8.2.3.3, et rappelée ci-dessous :

1. Répartition de la population par type d'habitat (croisement des données INSEE et de la table des habitations),
2. Calcul du nombre de personnes impactées, par type d'habitat, pour chacun des aléas (croisement de la carte d'aléa et des données de population calculée),
3. Attribution de l'indicateur de danger par multiplication du nombre de personnes impactées par le pourcentage de danger défini selon l'aléa :

Tableau 29 : Echelle de dangers pour les habitats

	Aléa				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Destruction de bâti
Habitats de plain-pied	0%	5%	30%	70%	95%
Habitats avec étages	0%	1%	5%	30%	95%

Le nombre d'habitants est arrondi à l'entier supérieur.

Les résultats des calculs, pour chacun des scénarios d'inondation, sont les suivants :

Scénario 1 : Rupture du mur de l'ancienne piscine (T=100ans)

	Destruction de bâti		Aléa très fort		Aléa fort		Aléa moyen		Aléa faible		Total
	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	
Habitats plain-pied	0	0	5	4	62	19	185	10	396	0	
Habitats à étages	0	0	1	1	113	6	237	3	249	0	
Total		0		5		25		13		0	

L'indicateur de danger des populations, utilisé pour estimer la criticité du scénario 1, est de 43.

Scénario 2 : Rupture de la banquette par érosion interne au profil P11 puis rupture par surverse (T=200ans)

	Destruction de bâti		Aléa très fort		Aléa fort		Aléa moyen		Aléa faible		Total
	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	
Habitats plain-pied	0	0	598	419	309	93	5	1	0	0	
Habitats à étages	0	0	561	169	225	12	27	1	3	0	
Total		0		588		105		2		0	

L'indicateur de danger des populations, utilisé pour estimer la criticité du scénario 2, est de 695.

Scénario 3 : Rupture initiée par érosion interne au P37 (T=50ans)

	Destruction de bâti		Aléa très fort		Aléa fort		Aléa moyen		Aléa faible		Total
	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	
Habitats plain-pied	1	1	20	14	119	36	391	20	136	0	
Habitats à étages	0	0	9	3	167	9	251	3	210	0	
Total		1		17		45		23		0	

L'indicateur de danger des populations, utilisé pour estimer la criticité du scénario 3, est de 86.

Scénario 4 : Rupture initiée par érosion interne au P87 (T=70ans)

	Destruction de bâti		Aléa très fort		Aléa fort		Aléa moyen		Aléa faible		Total
	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	Nb estimé	Ind. de dangers	
Habitats plain-pied	9	9	0	0	1	1	22	2	150	0	
Habitats à étages	16	16	0	0	27	2	17	1	216	0	
Total		25		0		3		3		0	31

L'indicateur de danger des populations, utilisé pour estimer la criticité du scénario 4, est de 31.

8.4.3.4 Estimation de la gravité des scénarios

Pour un scénario d'inondation donné, la population potentiellement en danger dans les différents enjeux de la zone protégée permet alors d'estimer la gravité du scénario sur la base de l'échelle de gravité présentée au paragraphe 8.2.3.3.

Les gravités des scénarios testés sont données dans le tableau suivant. Sont données les gravités initiales, définies en fonction de l'indicateur de danger et les gravités retenues, qui tiennent compte de la présence d'enjeux sensibles dans la zone inondée.

Il n'est pas proposé de surestimer les scénarios d'inondation 1 et 2. En effet, compte-tenu des inondations par remous, les enjeux sensibles sont déjà inondés avant que la brèche ne se produise (pour une T100 et une T200).

Par contre, il est proposé de surestimer la gravité du scénario 3. En effet, pour une T50, le val protégé commence à être inondé mais ce sont principalement les points bas qui sont inondés. Les écoles situées au nord (quartier pierre pointe) ne sont pas touchées, alors qu'elles le sont pour le scénario 3.

De même, il est proposé de surestimer le scénario 4 pour lequel la zone de destruction de bâti se situe au droit d'habitations. Il est possible que la zone de destruction de bâti soit un peu plus large et le nombre d'habitant potentiellement en danger sera plus important (supérieur à 100).

Tableau 30 : Gravité des scénarios d'inondation

N°	Scénario d'inondation	Indicateur de danger	Gravité du scénario d'inondation	Gravité du scénario d'inondation retenue
1	Rupture mur-digue (T=100ans)	43	2. Sérieux	2. Sérieux
2	Rupture banquette P11 (T=200ans)	695	3. Important	3. Important
3	Rupture levée P37 (T=50ans)	86	2. Sérieux	3. Important
4	Rupture levée P87 (T=70ans)	31	2. Sérieux	3. Important

8.4.3.5 Evaluation de la criticité des scénarios d'inondation

Le croisement de la gravité et de la probabilité de chaque scénario d'inondation permet de connaître leur criticité. Le tableau suivant donne l'ensemble des résultats :

Tableau 31 : Criticité des scénarios d'inondation

N°	Scénario d'inondation	Probabilité de rupture annuelle	Gravité du scénario			Criticité
			Population inondée (nb hab)	Indicateur de danger	Gravité	
1	Rupture mur-digue (T=100ans)	Peu probable	1248	43	2. Sérieux	Risque préoccupant
2	Rupture banquettes P11 (T=200ans)	Improbable	1728	695	3. Important	Risque préoccupant
3	Rupture levée P37 (T=50ans)	Peu probable	1304	86	3. Important	Risque préoccupant
4	Rupture levée P87 (T=70ans)	Très peu probable	458	31	3. Important	Risque préoccupant

La présente étude de dangers indique qu'il n'y a pas, dans les scénarios testés, de risque intolérable.

En effet, le nombre d'habitants potentiellement en danger dans le val est limité.

Néanmoins, tous les scénarios ont une criticité préoccupante.

Dans ces conditions, les défauts et conditions qui concourent à ce niveau de risque doivent être traités pour le réduire afin qu'il devienne acceptable.

En effet, le nombre d'habitants dans le val est limité et il n'existe pas d'enjeux sensibles (établissement recevant du public) ou d'infrastructures publiques inondées en plus de ceux déjà inondés par remous.

Néanmoins, il n'a pas été testé de forte crue dans les scénarios, qui pourraient créer des scénarios catastrophiques (plus de 1000 habitants en danger).

Dans ces conditions, les défauts et conditions qui concourent à ce niveau de risque doivent être traités pour le réduire afin qu'il devienne acceptable.

9. Étude de réduction des risques

9.1 Caractéristiques du système d'endiguement actuel

Cette présente Étude de dangers a permis de déterminer les niveaux de protection apparent (NPa) et de sûreté (NS) pour chacune des levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy, ainsi que pour le val pris dans la globalité.

Le niveau de protection apparent global du val de Nevers, Sermoise et Challuy correspond la T200, ce qui correspond à un débit de pointe de 3870 m³/s.

Le niveau de sûreté du système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy (niveau d'eau pour lequel la probabilité de rupture de la digue devient significative) correspond au niveau de la crue T50.

Levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77 :

- Le niveau de protection apparent « théorique » correspond au niveau de la crue T200 et le niveau de sûreté correspond au niveau de la crue 170 :

	NS	NPa
Crue modélisée	T170	T200
Cote calculée au droit de l'échelle de Nevers (m NGF)	176,72	177,06
Hauteur d'eau estimée (m)	5,27	5,61
Débit de pointe (m ³ /s)	3500	3870

Levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 :

- Le niveau de protection apparent « théorique » correspond au niveau de la crue T500 et le niveau de sûreté correspond au niveau de la crue T50 :

	NS	NPa
Crue modélisée	T50	T500
Cote calculée au droit de l'échelle de Nevers (m NGF)	175,57	177,57
Hauteur d'eau estimée (m)	4,12	6,12
Débit de pointe (m ³ /s)	2300	4500

Il est rappelé qu'une hauteur d'influence de banquettes de 90cm est retenue au niveau de la levée de Sermoise 1^{ère} section pour la définition du niveau de protection apparent « théorique ».

Levée du Canal de la Jonction :

- Le niveau de protection apparent correspond au niveau de la crue T1000 et le niveau de sûreté correspond au niveau de la crue T70 :

	NS	NPa
Crue modélisée	T70	T1000
Cote calculée au droit de l'échelle de Nevers (m NGF)	175,88	177,95
Hauteur d'eau estimée (m)	4,43	6,5
Débit de pointe (m ³ /s)	2620	5000

Levée de la Blanchisserie :

- Le niveau de protection apparent correspond au niveau de la crue T1000 et le niveau de sûreté correspond au niveau de la crue T100 :

	NS	NPa
Crue modélisée	T100	T1000
Cote calculée au droit de l'échelle de Nevers (m NGF)	176,53	177,95
Hauteur d'eau estimée (m)	5,08	6,5
Débit de pointe (m ³ /s)	3280	5000

Levée du Plateau de la Bonne Dame :

- Le niveau de protection apparent correspond au niveau de la crue T1000 et le niveau de sûreté correspond au niveau de la crue T70 :

	NS	NPa
Crue modélisée	T70	T1000
Cote calculée au droit de l'échelle de Nevers (m NGF)	175,88	177,95
Hauteur d'eau estimée (m)	4,43	6,5
Débit de pointe (m ³ /s)	2620	5000

9.2 Réduction du risque par des mesures de gestion

Compte tenu des résultats de cette Étude de dangers, il convient de mettre au point une stratégie destinée à limiter les dangers potentiellement encourus.

Les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy ont :

- un propriétaire : l'État,
- et un gestionnaire : la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre.

Ce gestionnaire est en charge de la sûreté du système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

9.2.1 Consignes écrites

La DDT 58 a élaboré des consignes écrites qui sont satisfaisantes. Elles apportent en effet des précisions sur la surveillance continue, annuelle, en crue (par le biais du PSL) et post-crue des levées gérées par la DDT 58. En période de crue des agents de la DDT58 sont mobilisés. Jusqu'à une cinquantaine de personnes pourraient être mobilisées pour assurer la surveillance en crue (un binôme par secteur, 5 équipes par jour), auxquelles s'ajoutent des agents pour la coordination.

9.2.2 Surveillance de l'ouvrage

La surveillance des levées domaniales dans le département de la Nièvre est organisée et décrite dans deux documents principaux :

- Description de l'organisation pour la surveillance (article 4 du décret du 29/02/2008), qui traite de la surveillance continue, des VTA en crue et post crue ;
- Consignes écrites (article 5 du décret du 29/02/2008), dans lesquelles figurent le Plan de Surveillance des Levées, document opérationnel visant à organiser la surveillance des digues pendant une crue.

Actuellement les niveaux de surveillance du PSL (cf chapitre 4) sont basés sur le document élaboré par la DREAL Centre qui fixe les niveaux de sûreté du val.

Les niveaux de surveillance doivent être repris au regard des niveaux de sûreté par levée donnés dans la présente étude de danger.

9.2.3 Entretien de l'ouvrage

L'entretien des levées de la Loire et de ses affluents a été inscrit dans le plan Loire, dès son origine, comme une action indispensable du socle de la stratégie pour la réduction du risque inondation. Cette action comprend :

- le traitement de la végétation herbacée et la suppression de toute végétation ligneuse ;
- la création et l'entretien des chemins de service ;

- la gestion des animaux fouisseurs (en préventif en dissuadant leur présence et en curatif en réparant les dégâts en urgence dans l'attente d'une réparation lourde si nécessaire) ;
- l'entretien des vannes et des clapets ;
- l'entretien des perrés maçonnés ;
- l'entretien des murets et banquettes.

Ces différents aspects ne sont pas remis en cause par l'Étude de dangers, ils sont, au contraire réaffirmés. L'entretien des digues doit donc être non seulement maintenu mais aussi ajusté, de manière à mieux prendre en compte les différents rapports de surveillance.

9.2.4 Entretien et restauration du lit de la Loire

L'entretien du lit de la Loire a lui aussi été inscrit dans le Plan Loire Grandeur Nature, dès son origine, comme une action indispensable du socle de la stratégie pour la réduction du risque inondation. Depuis 1994, des opérations d'entretien et de restauration du lit de la Loire ont été menées régulièrement.

Des zones de fragilité ont pu être observées au droit des levées domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy (cf.paragraphe 6.4.2). Afin de limiter les sollicitations en rive gauche et en pied de digue sur ces levées, il convient de prévoir :

- la surveillance de l'évolution physique et des actions d'entretien de l'Île Saint Charles à l'amont et à l'aval de la confluence avec la rivière Nièvre ;
- l'opportunité du renforcement du pied de berge/digue sur la levée de la Blanchisserie ;
- la surveillance de l'évolution des bancs de sable et leur végétalisation en rive gauche, notamment entre le pont de Loire et le pont de la voie ferrée.

9.2.5 Gestion de l'usage des digues

Les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy font partie du domaine public de l'État. La DDT 58 en est le gestionnaire. Les terrains d'assiette et les levées sont utilisés pour d'autres fonctions (voiries publiques, pistes cyclables, canalisations, etc.) que celles dévolues à l'ouvrage qui est de protéger contre les inondations. Ces usages sont autorisés par le gestionnaire sous forme d'Autorisations d'Occupation Temporaire (AOT) du Domaine Public Fluvial ou de Conventions de superposition d'affectation ou de gestion. Dans ces conditions, l'entretien et le suivi des ouvrages concernés sont alors délégués à l'occupant.

Avant l'attribution de l'AOT, le gestionnaire s'assure, lors de l'instruction, que les aménagements ou l'utilisation des lieux envisagés sont sans impact sur la pérennité de la levée, son niveau de protection et les conditions de surveillance. Les contraintes à respecter et points de vigilance pour le pétitionnaire doivent être clairement spécifiés, soit dans l'arrêté d'AOT, soit dans les conventions signées par les deux parties.

Le gestionnaire de digue doit établir ou mettre à jour des conventions de superposition d'affectation.

Une surveillance doit également être exercée durant toute la durée de vie des AOT car l'expérience montre que certains riverains ne sont pas conscients ou sont mal informés des contraintes à respecter, conformément au code général de la propriété des personnes publiques (article L.2124-8 relatif aux règles spécifiques à la Loire et à son système d'endiguement).

Aucune liste d'AOT n'existe pour le val de Nevers, Sermoise et Challuy. La gestion des ouvrages traversants est précisée de manière succincte dans l'Annexe 3 du PSL.

Les canalisations traversantes :

Les résultats de l'Étude de dangers mettent clairement en avant les effets très préjudiciables des canalisations traversantes sur la tenue des levées en cas de crue. En conséquence, toute demande de nouvelle canalisation traversante ou incorporée dans le corps de digue doit dorénavant être refusée. Seule une argumentation étayée expliquant qu'il n'y a pas d'alternative, jugée recevable par le gestionnaire au vu des avis émis dans le cadre de la procédure de contrôle des ouvrages hydrauliques en vigueur, permettra de déroger à cette règle. Les projets et travaux seront suivis par un bureau d'études agréé, à la charge du pétitionnaire, et feront si nécessaire l'objet de procédures de contrôle.

De même, une vigilance particulière sera apportée à toute demande de résiliation d'AOT concernant une canalisation traversante. Une résiliation ne pourra être prononcée qu'après remise en état des lieux, c'est-à-dire après son enlèvement et après réparation de la digue.

Une réflexion sur les solutions techniques d'enlèvement ainsi que le financement de ces opérations a été lancée avec la DREAL Centre. Elle devrait déboucher sur la proposition d'un programme technique à financer dans le cadre d'une action coordonnée.

Sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy, une fiche descriptive pour chacun des ouvrages traversants serait nécessaire afin de garantir un suivi régulier et efficace de ces canalisations. Une coordination entre la DDT 58 et les gestionnaires des ouvrages est également à mettre en place.

Recours à une maîtrise d'œuvre agréée :

Pour tous les travaux sur les levées qui pourraient être envisagés par un tiers (passage de canalisation, rampe d'accès, etc.) et qui sont jugés inévitables par le gestionnaire, le recours à une maîtrise d'œuvre agréée au sens du décret 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques est exigé, tant en phase d'étude qu'en phase de réalisation.

La présente étude montre l'importance de la gestion des ouvrages traversants pour la sécurité de l'ouvrage (cf Chapitre 3). Il apparaît donc important de mettre au point à moyen terme :

- un programme de résorption des canalisations non indispensables avec des travaux à programmer dans les années à venir ;
- une mise à jour des documents administratifs ;
- un programme de résorption des canalisations existantes à programmer dans les années à venir sur les levées domaniales de second rang.

9.2.6 Action d'urgence en crue

La présente étude montre l'importance de l'action au moment de la crue : juste avant, pendant ou juste après.

En conséquence, il est nécessaire de mettre au point un plan d'actions et sa procédure d'activation en lien avec les procédures de gestion de crise.

Il est également proposé de mettre au point des fiches réflexes sur les différentes procédures et solutions à mettre en place pour les interventions d'urgence, ces fiches devant être élaborées à l'échelle du bassin et non du département.

9.2.7 Gestion du dossier d'ouvrage

L'étude met en évidence l'importance de la complétude et de la pérennité des informations contenues dans les dossiers d'ouvrages (cf. chapitre 4).

Il est nécessaire de poursuivre l'alimentation des dossiers d'ouvrages par les documents d'archives et les dossiers nouveaux.

Le dossier d'ouvrage et toutes autres données annexes en lien avec le système d'endiguement sont à mettre à jour et conserver sous format informatique.

9.2.8 Exercices

L'étude montre qu'il est nécessaire de réaliser des exercices pour évaluer régulièrement et améliorer les différents plans et procédures.

Ainsi, il est préconisé de réaliser des exercices régulièrement.

9.3 Mesures à mettre en œuvre sur le territoire

9.3.1 Sécurité des populations

Dès que les niveaux de sûreté des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont atteints, la probabilité de rupture de la digue est non négligeable. Les résultats de l'EdD doivent donc alimenter la définition des critères de déclenchement de la mesure d'évacuation des populations potentiellement en danger, cette définition dépendant néanmoins de nombreux autres critères à considérer.

Les niveaux de sûreté doivent servir de base aux mesures de mise en sécurité des populations potentiellement en danger. **Les conclusions de l'Étude de dangers fixent les niveaux de sûreté suivants :**

- Niveau de la crue T50 pour la levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 ;
- Niveau de la crue T70 pour les levées du Canal de la Jonction et du Plateau de la Bonne Dame ;
- Niveau de la crue T100 pour la levée de la Blanchisserie ;
- Niveau de la crue T170 pour la levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77.

Tableau 32 : Caractéristiques des niveaux de sûreté des différentes levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

Levée	Niveau de sûreté	Cote à l'échelle de Nevers (m NGF)	Hauteur d'eau estimée (m)	Débit de pointe (m ³ /s)
Sermoise 1 ^{ère} section (amont A77)	Niveau de la crue T170	176,72	5,27	3500
Sermoise 1 ^{ère} section (aval A77)	Niveau de la crue T50	175,57	4,12	2300
Canal de la Jonction	Niveau de la crue T70	175,88	4,43	2620
Blanchisserie	Niveau de la crue T100	176,53	5,08	3280
Plateau de la Bonne Dame	Niveau de la crue T70	175,88	4,43	2620

Dès que la prévision du dépassement de ces niveaux de sûreté est établie par le SPC Loire-Cher-Indre, des dispositions doivent être apportées pour une réponse opérationnelle à la protection des populations situées dans le val inondable, plus particulièrement dans les zones situées à l'arrière des digues, et être mises en œuvre. Le plan de mise en sécurité des populations pourra s'appuyer sur les résultats de l'Étude de dangers pour :

- identifier les zones où la digue est le plus fragile ;
- prioriser les zones d'actions et activer les mesures appropriées.

Pour une crue de période de retour 170 ans, la totalité des habitants du val est concernée par des mesures de mise en sécurité.

La présente Étude de dangers a vocation à être portée à la connaissance des services chargés de la sécurité des populations pour qu'ils puissent prendre en compte les niveaux de sûreté des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy dans la mise en sécurité des populations.

9.3.2 Plans communaux de sauvegarde

Les communes situées à l'arrière de la levée ont toutes l'obligation de mettre en œuvre un Plan Communal de Sauvegarde (PCS), conformément à la loi du 13 août 2004 relative à l'organisation de la sécurité civile.

Il est proposé que les informations contenues dans la présente étude soient portées à la connaissance des municipalités concernées, pour une prise en compte dans leurs PCS, notamment les volets relatifs aux chapitres 3 et 8.

Il s'agit d'informer les communes :

- de l'étendue de la zone protégée ;

- du niveau de protection apparent ou du niveau de protection apparent « théorique » en cas de prise en compte d'une hauteur d'influence de banquette ;
- du niveau de sûreté ;
- des conséquences possibles d'une inondation.

Il est recommandé de veiller à cette occasion à la cohérence entre PCS de communes voisines, voire de réaliser un plan intercommunal.

9.3.3 Plan de prévention des risques inondations

Le risque de défaillance des digues est intégré de manière forfaitaire dans le cadre du plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) en vigueur : une bande d'aléa fort de 300 m à l'arrière des digues est ainsi identifiée dans l'actuelle cartographie réglementaire.

La révision de ce PPRI a été prescrite le 29 juillet 2015. L'actualisation du risque de défaillance des digues et des connaissances apportée par la présente Etude de dangers devra être prise en compte dans le cadre de cette révision.

9.3.4 Prévision des crues

La prévision des crues sur la Loire, au niveau du val de Nevers, Sermoise et Challuy est assurée par le Service de Prévision des Crues (SPC) « Loire Cher Indre ». Cette prévision est effectuée dans le cadre du Règlement d'Information sur les Crues (R.I.C.).

Les informations apportées par la présente Étude de dangers seront portées à la connaissance du SPC en vue de leur prise en compte lors de la révision du R.I.C.

9.4 Réduction du risque par des mesures sur le système d'endiguement

On distingue les mesures structurelles qui portent sur l'intégrité physique de la digue et visent à modifier le niveau de sûreté, des mesures fonctionnelles qui se rapportent à l'objectif de protection du système d'endiguement.

9.4.1 Mesures structurelles

Aucuns travaux de renforcement de la digue n'ont été effectués sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy dans le cadre du Plan Loire.

L'Étude de dangers a montré que les niveaux de sûreté des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy sont plus bas que les niveaux de protection apparents. Le modèle de calcul d'aléa de rupture de digue a pris en compte les défauts connus des levées, mais il peut exister des défauts inconnus, par exemple des canalisations anciennes, des ouvrages enterrés ou des racines d'arbres coupés depuis longtemps et oubliés.

Les enjeux considérables qui se trouvent en arrière de la levée doivent amener le propriétaire à supprimer l'écart entre niveau de sûreté et niveau de protection apparent. Cela peut être obtenu de deux manières : **soit en relevant le niveau de sûreté, soit en abaissant le niveau de protection apparent.**

Les mesures proposées ci-après visent à relever le niveau de sûreté au moins jusqu'au niveau de protection apparent actuel du val, sans modification de ce dernier. Si l'objectif de protection devait être révisé, il y aurait lieu d'actualiser les mesures proposées.

Les solutions techniques élémentaires qui peuvent être mise en œuvre sont de plusieurs types, en fonction du ou des risques que l'on souhaite réduire :

- la reconstitution de l'étanchéité des levées par un écran étanche qui interceptera les interfaces entre les matériaux fins et facilement entraînés par l'eau et les matériaux grossiers à perméabilité forte où l'eau peut circuler. Cette technique vise à réduire le risque d'érosion interne ;
- le renforcement des levées par épaissement dans les zones étroites après démolition éventuelle des bâtiments encastrés où ils existent. Cette technique vise à réduire le risque d'érosion interne ;
- la mise en place de filtre drainant en partie basse des levées côté val. Cette technique vise à réduire les conséquences de l'érosion interne ;
- l'adoucissement de la pente côté val. Cette technique vise à réduire le risque de glissement de talus côté val et de réduire l'érosion externe provoquée par les surverses ;
- la mise en œuvre de puits de décharge en arrière de la levée pour limiter les sous pressions dans la nappe phréatique. Cette technique vise à réduire le risque de soulèvement hydraulique côté val ;
- la mise en œuvre de protection de pied de levée côté cours d'eau. Cette technique vise à réduire le risque d'érosion externe dans les zones de contact des levées avec la Loire et d'éviter les glissements de talus côté Loire ;
- la réalisation de chemins de service en pied de digue. Ces organes essentiels à la digue ont pour but de faciliter l'entretien, la surveillance et les interventions d'urgence. Ils permettent de réduire le risque d'érosion interne et d'érosion externe en cas de surverse par gestion de la végétation ;
- la mise en place de grillage anti-fouisseur dans les sites attaqués par les animaux ;
- la suppression ou le traitement des bâtiments encastrés. La suppression puis remise en forme de la levée est la meilleure solution lorsqu'un bâtiment réduit la largeur de la levée, puisqu'elle permet de redonner à la digue toutes ses fonctionnalités (drainage en pied, possibilité de surveillance, stabilité du talus côté val...) ;
- Pour obtenir un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent, un dispositif de résistance à l'érosion externe en cas de surverse peut être mis en place dans les sites où la crête de digue présente des points bas. On parlera pour ces sites de digue résistante à la surverse.

Ces différentes techniques de réparation peuvent être réalisées séparément ou simultanément en fonction des types de travaux qu'elles requièrent. Par exemple, l'adoucissement de la pente et l'épaississement de corps de digue pourront et même devront être réalisés en même temps car il s'agit de terrassements qui affectent la même partie des levées.

Lors de la mise en place d'un écran étanche dans le corps de la levée, sa profondeur doit être étudiée afin qu'il intercepte les zones d'érosion interne potentielles de conduit (canalisations, racines d'arbre, anciennes infiltrations...) et de contact (interfaces entre couches perméables et imperméables...). Il ne doit toutefois pas atteindre le substratum ou les couches imperméables épaisses afin de ne pas intercepter les écoulements liés aux échanges entre la Loire et la nappe phréatique

d'accompagnement. En cas d'étanchement total de la fondation sous la levée, ces écoulements pourraient être déviés vers le substratum calcaire à sensibilité karstique. Cette situation pourrait entraîner, à terme, des défaillances préjudiciables pour les levées. De plus, la nappe phréatique pourrait connaître des perturbations non acceptables.

Ces solutions techniques n'ont pas le même impact sur l'élévation du niveau de sûreté et pourront donc faire l'objet d'une programmation décalée dans le temps.

Par ailleurs, le nombre des défauts et leurs imbrications ne permettent pas d'avoir une politique de traitement individuel de chacun d'entre eux.

Les mesures structurelles à réaliser vont être proposées par ordre de priorité en fonction des probabilités de rupture pour les crues croissantes. Ainsi la priorité 1 est proposée pour les tronçons où la probabilité de rupture est supérieure à 1% pour la crue correspondant au niveau de protection apparent « théorique » du val (crue type T200). La priorité 2 est donnée aux travaux permettant au niveau de sûreté de dépasser le niveau de protection apparent « théorique » du val.

L'Étude de dangers a montré que le niveau de sûreté, sur l'ensemble des digues domaniales rive gauche, est plus bas que le niveau de protection apparent « théorique » du val. Il est à noter que le modèle de calcul d'aléa de rupture de digue a pris en compte les défauts connus des digues en considérant l'hypothèse la plus sécuritaire, c'est-à-dire en choisissant toujours l'option la plus défavorable pour la stabilité de la digue) surtout lorsque des défauts de connaissance pouvaient apparaître. Néanmoins, il peut exister des défauts inconnus (canalisations anciennes, végétation, ...).

Les mesures proposées vont viser à relever les niveaux de sûreté des levées jusqu'au niveau de protection apparent « théorique » du val (niveau de la crue type T200), sans modification de ce dernier. Si l'objectif de protection devait être révisé, les mesures proposées seraient à actualiser.

Il est souhaitable de mettre en place des projets globaux et sectorisés qui traiteront plusieurs défauts.

Rappel sur la structure actuelle de la digue : comme détaillé dans l'étude spécifique S04, les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy n'ont fait l'objet d'aucun renforcement des talus de digue dans le cadre du Plan Loire.

9.4.2 Mesures fonctionnelles

Pour ramener le niveau de sûreté de la digue au niveau de protection apparent, il faut que la probabilité de rupture des levées soit quasi-nulle pour le niveau de la crue de protection. Ceci est l'objectif des mesures structurelles. Il faut ensuite faire en sorte que les crues supérieures à la crue de protection ne provoquent pas de brèches par surverse. Il est donc indispensable de gérer les surverses pour des crues supérieures à la crue de protection.

Les premières surverses « théoriques » apparaissent sur la partie amont de la levée de Sermoise 1^{ère} section, pour des crues type T200. *Cette surverse est qualifiée de « théorique ». En effet, le calcul sous le logiciel CARDigue ne prend en compte que la hauteur d'influence de la banquette (0,9m) et non sa hauteur réelle (d'environ 1,6m). Ainsi, en réalité la surverse n'a lieu que s'il y a rupture de la banquette par érosion interne. On parle donc de surverse initiée par rupture de la banquette (par érosion interne).*

Le choix et la mise au point de dispositifs de gestion des surverses nécessitera une concertation étroite avec les collectivités locales concernées.

Cette réflexion s'appuiera sur l'étude EGRIAN, étude dans laquelle des premières mesures fonctionnelles ont été proposées. En effet, cette étude préconise l'implantation de 3 déversoirs de sécurité : 2 déversoirs de 200m de large en rive droite dimensionnés pour une crue de période de retour supérieure à la T200 ; et 1 déversoir de 170m de large en rive gauche dimensionné pour une crue de période de retour supérieure à la T100. La conception de ces déversoirs serait à prévoir simultanément avec le renforcement des levées.



Figure 109 : Implantation des déversoirs de sécurité sur les digues des vals de Nevers rives droite et gauche (Source : étude EGRIAN – Renforcement des digues)

Une réflexion concernant la gestion des surverses sur les levées de Nevers en rive droite et de Nevers, Sermoise et Challuy en rive gauche devra être menée de manière concertée entre les différents gestionnaires de digues.

L'élaboration d'une stratégie locale, dans le cadre de la mise en œuvre de la directive inondation, en constitue le cadre adéquat.

Sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy, les risques de rupture dus à la structure interviennent bien avant les premières surverses (cf niveaux de sûreté définis au 8.3.3). Les mesures structurelles seront donc proposées en priorité 1 et les mesures fonctionnelles en priorité 2.

9.4.3 Travaux à réaliser sur les digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy

La méthode de construction du modèle de l'aléa de rupture de digue, les résultats mis en évidence dans le chapitre 8 de la présente étude et les principes énoncés ci-avant, permettent de dégager deux priorités de travaux à réaliser :

- **Priorité 1** : travaux permettant de garantir l'intégrité des ouvrages et d'atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue correspondant au niveau de protection apparent « théorique » du val (crue type T200).
- **Priorité 2** : travaux supplémentaires permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent « théorique » du val.

La liste des interventions ci-après recense les travaux à réaliser pour garantir l'intégrité de l'ouvrage et atteindre un niveau de sûreté égal ou supérieur au niveau de protection apparent, ainsi que des travaux nécessaires, soit pour garantir l'intégrité de l'ouvrage, soit pour assurer son entretien et sa surveillance, soit pour éviter certaines rehausses de lignes d'eau (entretien du lit de la Loire). Ces travaux résultent des constatations de l'étude de dangers, ils pourront être refondus dans le cadre d'une programmation notamment pour optimiser les chantiers. Ils devront faire l'objet d'études spécifiques pour déterminer les modes opératoires, les techniques, l'étendue et les zones d'arrêt de chaque phase de travaux. Les reconnaissances complémentaires avant chantier devront préciser le dimensionnement des renforcements et les caractéristiques des travaux.

9.4.4 Priorité 1 : travaux permettant de garantir l'intégrité des ouvrages et d'atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T200 (niveau de protection apparent « théorique » du val)

9.4.4.1 Travaux à réaliser sur la levée de Sermoise 1ère section amont

Les résultats du chapitre 8 ont permis d'identifier 3 profils pour lesquels des travaux sont à prévoir en priorité 1 sur la levée de Sermoise 1^{ère} section en amont de l'A77. La cause de défaillance de ces profils est la rupture de la banquette par érosion interne.

Ceci entraîne, pour la crue type T200, une surverse « théorique ».

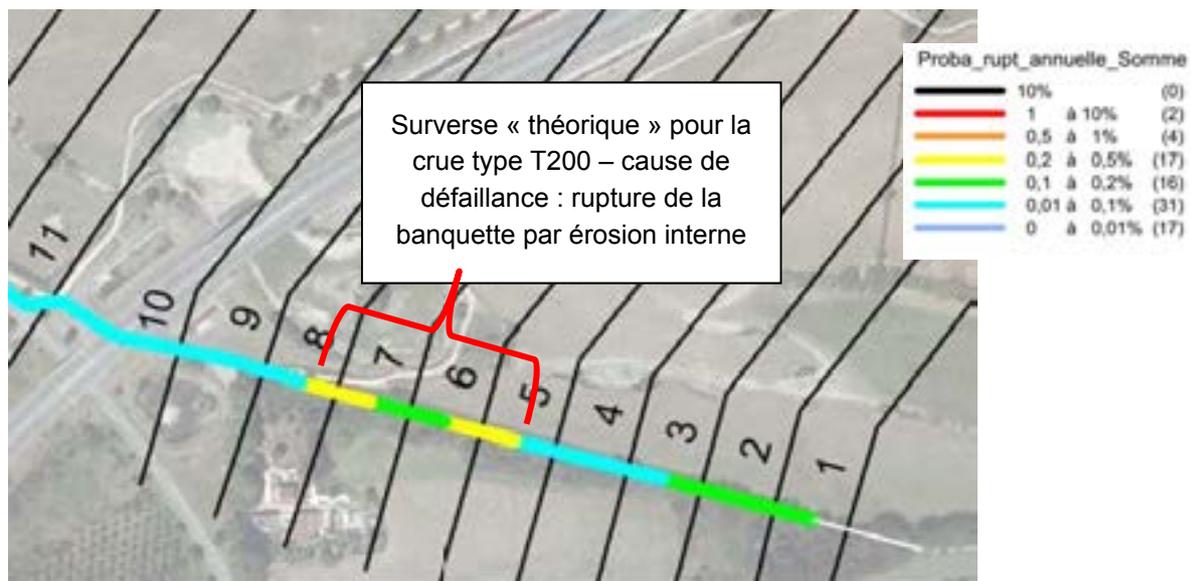


Figure 110 : Cause de défaillance sur la levée de Sermoise 1^{ère} section amont A77 (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles)

Les travaux de renforcement préconisés en priorité 1 sur ce linéaire de levée sont les suivants :

- Suppression totale de la végétation en place sur l'ensemble du linéaire (des travaux ont déjà été menés sur la végétation : vérification des travaux exécutés et traitement des souches restantes) ;
- Rétablissement de l'étanchéité de la digue et amélioration de la stabilité d'ensemble.

9.4.4.2 Travaux à réaliser sur la levée de Sermoise 1^{ère} section aval

Les résultats du chapitre 8 montre que quasiment l'ensemble des profils de la levée de Sermoise 1^{ère} section en aval de l'A77 a une probabilité de rupture supérieure à 1% à la crue type T200 pour les phénomènes d'érosion interne et de glissement et 50% des profils ont une probabilité de rupture supérieure à 1% à la crue type T200 pour la surverse « théorique » (initiée par rupture de la banquette). Néanmoins, les probabilités de rupture initiée par surverse sont très faibles et il n'est pas proposé en priorité 1 d'actions pour rendre la levée résistante à la surverse.

La carte présentée ci-après donne la somme des probabilités annuelles de rupture tous modes confondus. Elle met en évidence les secteurs fragilisés du système d'endiguement.



Figure 111 : Cause de défaillance sur la levée de Sermoise 1^{ère} section aval A77 (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles)

Les travaux de renforcement préconisés en priorité 1 sur la levée de Sermoise 1^{ère} section, en aval de l'A77 sont les suivants :

- Suppression de la végétation en place sur l'ensemble du linéaire ;
- Rétablissement de l'étanchéité de la digue et amélioration de la stabilité d'ensemble, par exemple :
 - par recharge côté Loire en matériaux étanches : cette recharge pourra se faire suivant une pente de 2H/1V ou de 5H/2V selon les contraintes d'emprise et financières (ces deux aménagements ont été étudiés dans l'étude d'Avant-Projet de SOGREAH réalisée en 2002) ; la recharge se fera jusqu'au niveau de la crue type T200, à savoir jusqu'à la crête de la digue, plus une petite partie de la banquette (restauration et renforcement de la banquette sur environ 30cm) ;
 - par restauration du perré de la banquette côté val, jusqu'au niveau de la crue type T200 ;

9.4.4.3 Travaux à réaliser sur la levée du canal de la Jonction

Les résultats du chapitre 8 montrent que la quasi-totalité des profils de la levée du canal de la Jonction ont une probabilité de rupture supérieure à 1% à la crue T200 pour le phénomène d'érosion interne et 50% des profils ont une probabilité de rupture supérieure à 1% pour le phénomène de glissement.

Les causes de défaillances sont liées à des faiblesses ou désordres ponctuels (amincissement du profil en travers de la digue, végétation, bâtiments encastrés, mur en béton de l'ancienne piscine ...).

Causes de défaillance levée du Canal de la Jonction

- pour les profils 46 à 56 : végétation, désordres côté val et en pied Loire
- pour les profils 56 à 59 : géométrie de la digue : largeur en base réduite (20m), pente côté Loire plus raide voire verticale
- pour les profils 59 à 61 : bâtiments encastrés
- pour le profil 62 : singularité au niveau du mur de l'ancienne piscine

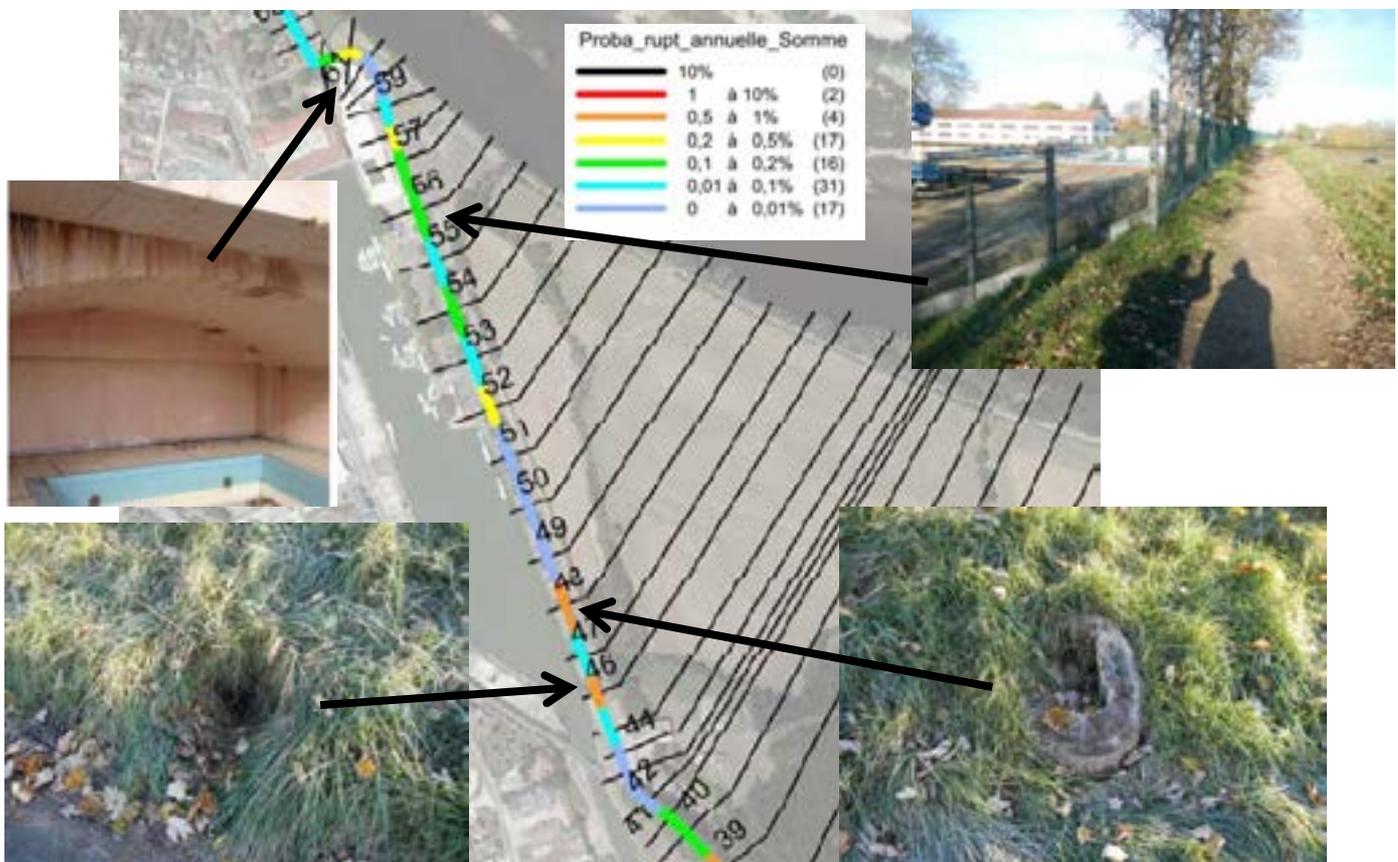


Figure 112 : Cause de défaillance sur la levée du Canal de la Jonction (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles)

Les travaux de renforcement préconisés en priorité 1 sur ce linéaire de levée sont les suivants :

- Suppression des bâtiments encastrés au niveau de l'ancienne piscine de la Jonction et reprise de la digue ;
- Reprise du mur de l'ancienne piscine ;
- Suppression de la végétation en place sur l'ensemble du linéaire ;

- Rétablissement de l'étanchéité de la digue et amélioration de la stabilité d'ensemble, jusqu'à la crête, par exemple par recharge côté Loire en matériaux étanches suivant une pente de 2H/1V (cet aménagement est étudié dans l'étude d'Avant-Projet de SOGREAH réalisée en 2002), jusqu'au niveau de la crête de digue.

9.4.4.4 Travaux à réaliser sur la levée de la Blanchisserie

Les résultats du chapitre 8 montrent que 50% des profils de la levée de la Blanchisserie ont une probabilité de rupture supérieure à 1% à la crue T200 pour le phénomène d'érosion interne notamment.

Les causes de défaillances sont principalement liées à la géométrie de la digue, à la végétation et aux désordres côté val (mur de soutènement côté val).

Causes de défaillance levée de la Blanchisserie

- pour les profils 63 à 72 : géométrie de la digue, végétation, désordres côté val et en pied Loire
- pour les profils 71/72 : hauteur de charge plus importante
- pour le profil 68 : affouillements



Figure 113 : Cause de défaillance sur la levée de la Blanchisserie (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles)

Les travaux de renforcement préconisés en priorité 1 sur ce linéaire de levée sont les suivants :

- Suppression de la végétation en place sur l'ensemble du linéaire ;
- Rétablissement de l'étanchéité de la digue et amélioration de la stabilité d'ensemble, jusqu'à la crête, par exemple :
 - par recharge côté Loire à l'aide de matériaux étanches,
 - par reconstruction du mur de soutènement côté val.
 - par mise en place d'un rideau de palplanches sur le parement côté Loire. Ce rideau servira de paroi étanche et permettra aussi d'améliorer la stabilité globale de la digue. Il réduit par ailleurs le risque de création de renards hydrauliques. Cet aménagement est étudié dans l'étude d'Avant-Projet de SOGREAH réalisée en 2002.

9.4.4.5 Travaux à réaliser sur la levée du Plateau de la Bonne Dame

Les résultats du chapitre 8 montre que seuls deux profils ont une probabilité de rupture supérieure à 1% à la crue T200 pour le phénomène d'érosion interne mais qu'ils l'ont tous pour la crue T500.

Les causes de défaillances sont principalement liées à la géométrie de la digue, à la végétation et aux désordres (terriers).

Causes de défaillance levée du Plateau de la Bonne Dame

- pour les profils 83 à 87 : géométrie de la digue, végétation, pente côté val et Loire plus importante, désordres talus côté val
- pour les profils 84 à 86 : terriers
- pour le profil 83 : géométrie / hauteur de charge plus importante



Figure 114 : Cause de défaillance sur la levée du Plateau de la Bonne Dame (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelles)

Les travaux de renforcement préconisés en priorité 1 sur ce linéaire de levée sont les suivants :

- Suppression de la végétation en place sur l'ensemble du linéaire ;
- Comblement de la fosse d'érosion au droit des profils 86-87 ;
- Gestion des terriers d'animaux fouisseurs ;
- Rétablissement de l'étanchéité de la digue et amélioration de la stabilité d'ensemble, jusqu'à la crête, par exemple :
 - par mise en place d'une paroi moulée en partie centrale de la digue pour améliorer l'étanchéité de la digue et réduire le risque de création de renards hydrauliques. Cet aménagement est étudié dans l'étude d'Avant-Projet de SOGREAH réalisée en 2002.
 - ou, compte-tenu de l'absence de franc-bord le long de la levée (lit de la Loire au pied de la levée), par recharge côté val. Dans ce cas, la recharge se ferait en matériaux drainants.
 - ou, par recharge côté Loire, avec protection du pied de la levée par enrochement et protection du talus.

9.4.5 Priorité 2 - travaux supplémentaires permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent « théorique » du val (T200)

9.4.5.1 Travaux à réaliser sur la levée de Sermoise 1ère section

Les travaux menés en priorité 1 ont permis de rehausser le niveau de sûreté de la levée jusqu'au niveau de protection apparent « théorique » du val (crue type T200).

Les travaux de priorité 2 doivent permettre d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent « théorique » (T200). Sur la levée de Sermoise 1^{ère} section, il est possible d'augmenter le niveau de sûreté (A) ou d'abaisser le niveau de protection (B).

(A) Il est proposé de rehausser le niveau de sûreté à la cote correspondant au niveau de la crue T500 (de 177,57 mNGF au droit de l'échelle de Nevers). Ceci peut être fait par :

- Rétablissement de l'étanchéité de la banquette et amélioration de la stabilité de la banquette, par exemple :
 - par recharge côté Loire en matériaux étanches sur la hauteur de la levée et les 90 premiers centimètres correspondant à la hauteur d'influence de la banquette retenue pour la définition du niveau de protection apparent « théorique » de levée.
 - par exhaussement de la crête de digue.
 - ou par restauration du perré de la banquette côté val, jusqu'aux 90cm de hauteur de banquette.
- Suppression de la banquette au-delà des 90 premiers centimètres.

(B) Une autre possibilité de travaux serait, pour obtenir un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent « théorique » du val (T200), de créer une section résistante à la surverse et de renforcer la levée sur le reste du linéaire pour une crue supérieure (revanche). Cette revanche ne serait pas nécessairement dimensionnée par rapport à la crue T500 mais une crue intermédiaire.

Ces travaux permettraient d'orienter les premières surverses hors des zones à plus forts enjeux. Le fonctionnement serait efficace seulement si la cote de la levée de Sermoise en amont de l'A77 est réhaussé à la cote correspondant au niveau de la crue choisie pour dimensionner la revanche.

Une étude hydraulique est à mener pour déterminer la faisabilité de ce dispositif. Elle s'appuiera sur les éléments de l'étude EGRIAN. Une concertation entre les services de l'Etat et les communes devra également être mise en place pour définir la gestion des surverses sur les systèmes d'endiguement de Nevers rives droite et gauche.

9.4.5.2 Travaux à réaliser sur la levée du canal de la Jonction

Les travaux menés en priorité 1 ont permis de rehausser le niveau de sûreté de la levée jusqu'au niveau de protection apparent « théorique » du val (crue type T200), et même jusqu'au niveau de protection apparent de la levée (crue T1000) puisque le renforcement est proposé jusqu'à la crête de digue, sur l'ensemble des profils, ceci pour faciliter l'entretien par la suite.

Il n'est donc pas envisagé de travaux en priorité 2, ni pour rehausser le niveau de sûreté, ni pour abaisser le niveau de protection apparent. En effet, compte-tenu des enjeux situés au droit de la levée

du Canal de la Jonction côté val, l'abaissement du niveau de protection par la mise en place d'un déversoir de sécurité n'est pas envisagé sur ce linéaire.

9.4.5.3 Travaux à réaliser sur la levée de la Blanchisserie

Les travaux menés en priorité 1 ont permis de rehausser le niveau de sûreté de la levée jusqu'au niveau de protection apparent « théorique » du val (crue type T200), mais également jusqu'au niveau de protection apparent de la levée. En effet, le renforcement est proposé jusqu'à la crête de digue, ceci pour faciliter l'entretien par la suite.

Les résultats du chapitre 8 montrent que l'ensemble des profils de la levée de la Blanchisserie ont une probabilité de rupture supérieure à 1% dès la crue T500 pour le phénomène d'érosion interne notamment. Les causes de défaillances sont principalement liées à la géométrie de la digue, à la végétation et aux désordres côté val (mur de soutènement côté val).

Les travaux à mener en priorité 2 sont alors identiques aux travaux de la première phase, mais cette fois sur les profils non traités en priorité 1.

Dans un souci de cohérence, le programme des travaux des deux priorités peut être fusionné afin de réaliser les travaux directement sur l'ensemble du linéaire.

Un profil ressort avec une forte probabilité de rupture par rapport au phénomène d'érosion externe (profil 68) pour la crue T500. Il est proposé de réaliser une étude sur l'opportunité d'une protection du pied de berge/digue au droit des profils 65 à 68, par exemple à l'aide d'encrochements.

Il n'est pas envisagé de travaux pour abaisser le niveau de protection apparent. En effet, compte-tenu des enjeux situés au droit de la levée de la Blanchisserie côté val, l'abaissement du niveau de protection par la mise en place d'un déversoir de sécurité n'est pas envisagé sur ce linéaire.

9.4.5.4 Travaux à réaliser sur la levée du Plateau de la Bonne Dame

Les travaux menés en priorité 1 ont permis de rehausser le niveau de sûreté de la levée jusqu'au niveau de protection apparent « théorique » du val (crue type T200), mais également jusqu'au niveau de protection apparent de la levée. En effet, le renforcement est proposé jusqu'à la crête de digue, ceci pour faciliter l'entretien par la suite.

Les résultats du chapitre 8 montrent que l'ensemble des profils de la levée du Plateau de la Bonne Dame ont une probabilité de rupture supérieure à 1% dès la crue T500 pour le phénomène d'érosion interne notamment. Les causes de défaillances sont principalement liées à la géométrie de la digue, à la végétation et aux désordres (terriers).

Les travaux à mener en priorité 2 sont alors identiques aux travaux de la première phase, mais cette fois sur les profils non traités en priorité 1.

Dans un souci de cohérence, le programme des travaux des deux priorités peut être fusionné afin de réaliser les travaux directement sur l'ensemble du linéaire.

Il n'est pas envisagé de travaux pour abaisser le niveau de protection apparent. En effet, compte-tenu des enjeux situés au droit de la levée du plateau de la Bonne Dame côté val, l'abaissement du niveau de protection par la mise en place d'un déversoir de sécurité n'est pas envisagé sur ce linéaire.

9.4.5.5 Synthèse des mesures structurelles et fonctionnelles préconisées

Les tableaux ci-dessous listent l'ensemble des propositions d'améliorations structurelles et fonctionnelles du système d'endiguement du val de Nevers, Sermoise et Challuy.

Tableau 33 : Mesures structurelles de priorité 1 sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

PRIORITE 1 : travaux à réaliser pour garantir l'intégrité de l'ouvrage et atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T200						
Profils	PK	Linéaire (ml)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/ restaurer	Exemple de travaux
P6 à P8	275 - 425	150	Sermoise 1ère section - amont A77	Rupture de la banquette par érosion interne	stabilité étanchéité	
P17 - P23	878 - 1231	350	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue et bâtiments encastrés, végétation, mouvements, (érosion interne et glissement)	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches Restauration du perré de la banquette côté val
P26 - P30	1325 - 1525	200	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue, végétation, terriers (érosion interne, glissement)		
P32	1600 - 1650	50	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue (érosion interne, glissement)		
P34	1683 - 1733	50	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue (érosion interne)		
P37 - P41	1825 - 2050	225	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue, végétation (érosion interne, glissement) Brèche historique au P37-38	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches
P46 - P56	2138-2753	615	Canal de la jonction	Géométrie de la digue, végétation (érosion interne et glissement)		
P59 - P63	2753 - 2821	68	Canal de la jonction	Secteur de la piscine : géométrie de la digue et bâtiments encastrés, mur de l'ancienne écluse (érosion interne)	stabilité étanchéité	Suppression des bâtiments encastrés de l'ancienne piscine de la Jonction Reprise du mur de l'ancienne écluse
P65, P69 à P72	2901 puis 3051-3253	257	Blanchisserie	Géométrie de la digue, végétation, désordres côté val (érosion interne)	stabilité / étanchéité	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches et/ou Reconstruction du mur de soutènement côté val ou Mise en place d'un rideau de palplanches
P83 et P87	3701 et 3901	200	Plateau de la Bonne Dame	Géométrie de la digue (érosion interne, glissement) pour P83 et P87	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation Gestion des animaux fouisseurs Comblement de la fosse côté val aux profils 86 - 87 Recharge côté val (compte-tenu de l'absence de franc bord) ou Mise en place d'une paroi moulée en partie centrale

Tableau 34 : Mesures structurelles de priorité 2 sur les levées du val de Nevers, Sermoise et Challuy

PRIORITE 2 : travaux permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent "théorique" T200						
Profils	PK	Linéaire (ml)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/ restaurer	Exemple de travaux
P1 à P11	25 - 650	625	Sermoise 1ère section - amont A77	Rupture de la banquette par érosion interne	stabilité / étanchéité jusque T500	Rehausse de la crête de digue ou restauration et élargissement de la banquette
P11 - P40	600 - 2025	1425	Sermoise 1ère section - aval A77	Géométrie de la digue (érosion interne, glissement) Rupture de la banquette par érosion interne	stabilité/étanchéité jusque T500 ou jusque crue dimensionnante pour revanche résistance à la surverse	étude hydraulique pour déterminer faisabilité d'une section résistante à la surverse dimensionnée pour crue T200
P24 - P28	1225 - 1425	200	Sermoise 1ère section - aval A77		gestion des surverses	Concertation et réalisation d'une étude hydraulique pour la création d'un déversoir de sécurité pour la T200
P65- P69	2901 - 3051	150	Blanchisserie	Affouillements (érosion externe) - P65 à 68	résistance à l'érosion externe	Etude sur l'opportunité d'une protection du pied de berge/digue
P63 - P72	2821 - 3253	175 (non traité en P1)	Blanchisserie	Géométrie de la digue, végétation, désordres côté val (érosion interne)	stabilité / étanchéité au-delà du niveau de protection apparent "théorique" du val	Suppression de la végétation Recharge côté Loire en matériaux étanches Reconstruction du mur de soutènement côté val Mise en place d'un rideau de palplanches
P78 - P87	3401 - 3901	400 (non traité en P1)	Plateau de la Bonne Dame	Géométrie de la digue, végétation, terriers, désordres côté val (érosion interne, glissement) P78 à P87	stabilité / étanchéité au-delà du niveau de protection apparent "théorique" du val	Suppression de la végétation Gestion des animaux fouisseurs Comblement de la fosse côté val aux profils 86 - 87 Recharge côté val (compte-tenu de l'emprise) Mise en place d'une paroi moulée en partie centrale

9.5 Réduction du risque en améliorant la connaissance

9.5.1 Connaissance des ouvrages

9.5.1.1 Connaissance historique des digues

La présente Étude de dangers a démontré l'intérêt que revêt l'existence d'archives sur les levées de la Loire. Néanmoins, ces archives n'ont pas été exploitées en totalité. Il est proposé de continuer cette exploitation.

Il est donc proposé de poursuivre la recherche et l'exploitation des archives sur les levées de la Loire en général.

9.5.1.2 Connaissance des levées secondaires

Les levées de Sermoise 2^{ème} section et de Gimouille ont été définies comme ouvrages secondaires dans le cadre de cette présente étude de dangers. Elles sont néanmoins classées par arrêté préfectoral du 10 novembre 2009, il est donc important de définir une orientation de gestion pour ces ouvrages.

Pour rappel, ces ouvrages ont été classés comme ouvrage secondaire du fait de leur influence sur les écoulements.

En effet, il a pu être observé, au travers des résultats de la modélisation hydraulique, que les levées de Sermoise 2^{ème} section et de Gimouille empêchaient l'eau qui entre par remous en aval de la levée d'atteindre le secteur situé entre la ligne de défense principale et ces levées de second rang, et ce jusqu'à une crue modélisée de période de retour 170 ans. Ensuite les eaux atteignent la partie nord du val par le port de la Jonction. Néanmoins, les levées de Sermoise 2^{ème} section et de Gimouille sont rapidement mises en charge par l'aval, leurs ruptures pourraient alors entraîner plus de dégâts que l'inondation par remous.

Le quartier du Stand se trouve isolé par le remblai du pont de la Loire (pont de la RD907) ainsi que par la fin du faubourg de Lyon. Il a été constaté, dans les scénarios d'inondation étudiés, que ce petit val restait hors d'eau. Peu d'enjeux sensibles y sont cependant présents. Dans le cas d'une brèche sur la levée de la Bonne Dame (scénario 4), pour une crue de période de retour 70 ans, les eaux restent contenues dans le quartier du Stand. La levée de Gimouille est alors soumise à des charges hydrauliques de 1m à 1,5m. Sa rupture pourrait alors entraîner plus de dégâts dans le val sud que l'inondation par remous.

La levée de Gimouille en aval du remblai SNCF a également une influence sur les écoulements, beaucoup plus faible, mais qui permet de retarder l'entrée d'eau dans le val.

L'analyse des hauteurs de charge côté val pour les crues allant de la T50 à la T200 (cf 5.2) ont permis de définir des secteurs à enjeux suivants, pour lesquels les hauteurs de charge sont de 1m (crue T100) à 2m (crue T200) : Profils 100 à 108 - Profils 115 à 121.

Compte-tenu de ces éléments, il est proposé, dans le cadre de la nouvelle réglementation, de revoir la prise en compte de ces levées dans le système de protection et de poursuivre la surveillance sur ces levées. A ce titre, il est préconisé un recensement exhaustif (nombre, position, encastrement, état, ...) de l'ensemble des ouvrages traversants et bâtiments encastrés sur ces levées. Des actions de restauration et de suppression d'ouvrages pourront ensuite être proposées.

Les autres ouvrages du secteur d'étude n'ont pas été retenus comme ouvrages secondaires, du fait de leur faible influence sur les écoulements, liés principalement aux ouvrages de transparence les traversant.

Or, la levée Saint-Antoine est aujourd'hui classée.

Il est proposé de revoir le classement de la levée de Saint-Antoine, voire le déclassement de cette levée « transparente ».

Néanmoins, il est opportun de définir une orientation de gestion adaptée pour cet ouvrage (par exemple nettoyage régulier des ouvrages de transparence).

Les orientations de gestion, pour les levées secondaires et pour la levée Saint-Antoine, doivent être définies de manière concertée entre les différents gestionnaires de digues. L'élaboration d'une stratégie locale, dans le cadre de la mise en œuvre de la directive inondation, en constitue le cadre adéquat.

9.5.1.3 Connaissance géotechniques des digues

Le programme géotechnique mis en œuvre dans le cadre de l'étude de dangers a permis de caractériser la composition des matériaux des digues avec un pas d'espace moyen de 500m. Il n'est pas nécessaire de faire des investigations systématiques concernant les linéaires de digues en terre. Des reconnaissances ultérieures se feront en fonction des besoins de travaux à réaliser.

Concernant le mur de la piscine de la Jonction, il est nécessaire de réaliser une étude des fondations de ce mur, afin de caractériser de manière plus fine ses faiblesses ainsi que les éventuels travaux à entreprendre au droit de cet ouvrage.

Les investigations sur la banquette de Sermoise 1^{ère} section sont à poursuivre pour définir de manière plus fine les travaux à entreprendre pour la restauration de cette rehausse.

9.5.1.4 Connaissance des ouvrages traversant la digue

L'Étude de dangers a été conduite en exploitant les connaissances du gestionnaire et en réalisant des visites sur place. Cependant, il reste possible que des canalisations et ouvrages inclus échappent au recensement actuel.

Il est proposé de rechercher de façon systématique les canalisations et ouvrages inclus dans la digue et de créer des fiches descriptives pour chacun des ouvrages recensés. Les éléments suivants pourront être précisés : vocation, étanchéité, dimensions, cote altimétrique, mise en route/manipulation, gestionnaire et manœuvrant, ...

9.5.1.5 Connaissance des fondations sous-jacentes

La connaissance des fondations des digues domaniales rive gauche du val de Nevers, Sermoise et Challuy est suffisamment bonne pour une vision globale. Des investigations complémentaires pourront être envisagées lors des travaux.

9.5.2 Amélioration des connaissances au niveau du bassin

9.5.2.1 Détermination des aléas de rupture de la digue par mécanisme de rupture à l'aide d'un outil de calcul

La méthode et l'outil de calcul de l'aléa de rupture CARDigue utilisés dans la présente Étude de dangers et développés conjointement par la DREAL Centre, le CEREMA et l'IRSTEA a des limites communes.

Il est proposé de :

- Evaluer et améliorer la méthode globale d'analyse de risque,
- Evaluer et améliorer le modèle de calcul de l'aléa de rupture,
- Evaluer et améliorer la prise en compte des incertitudes dans les EDD.

9.5.2.2 Connaissance du phénomène d'embâcles de glace

Les connaissances sur le phénomène d'embâcles de glace sont encore faibles. Des recherches historiques et scientifiques sur ce phénomène sont nécessaires pour mieux le connaître afin de pouvoir le prévoir et lutter plus efficacement.

9.5.2.3 Connaissance des phénomènes induits par le changement climatique

On ne peut pas identifier de variation dans le comportement de la Loire du fait du changement climatique. Néanmoins l'Étude de dangers montre aussi que les conséquences d'une évolution pourraient être importantes.

Il est donc nécessaire de rester en alerte et d'analyser les modifications pour déceler les évolutions futures. Il convient donc de surveiller les évolutions des différents paramètres influant sur l'hydrologie de la Loire.

9.5.2.4 Connaissance de la formation des brèches

Les phénomènes de création, d'ouverture, de développement et l'effet destructeur d'une brèche sont des phénomènes complexes et mal connus. De plus, les connaissances de l'hydraulique de la Loire lors de la survenance de brèches restent à approfondir. Des recherches sur la formation et le développement des brèches dans une levée de Loire, selon les constats du XIX^{ème} siècle, serait à lancer.

9.5.2.5 Connaissance du phénomène d'érosion interne dans les digues

Le phénomène d'érosion interne montre son importance pour l'aléa de rupture de la digue. L'érosion interne fait actuellement l'objet de recherches fondamentales qu'il faut poursuivre dans son application au cas concret.

9.5.3 Transmission de la connaissance

La transmission de la connaissance repose sur le bon archivage des données par le gestionnaire ainsi que sur la transmission des données et résultats de cette Étude de dangers telles que les données géotechniques et géophysiques, les fichiers CARDigue, les modèles hydrauliques, les résultats des scénarios d'inondation, ...

9.6 Conclusion sur l'étude de réduction du risque

Les démarches entreprises concernant l'entretien des levées et leur gestion en période de crue sont à poursuivre. Par ailleurs, une réflexion sur le niveau de protection souhaité et sur l'aménagement éventuel de déversoir de sécurité est à mener à l'échelle du bassin, en concertation avec les collectivités concernées, en rapport avec les enjeux, et en cohérence avec ce qui est fait sur le territoire.

Il est important, dans un premier temps, de mettre en place une organisation pour l'intervention d'urgence en cas de crue. Celle-ci pourra se faire par l'élaboration de fiches réflexes (détails des procédures et solutions d'urgence) à l'échelle du bassin.

A moyen terme, des travaux de suppression de la végétation et de restauration/confortement de la digue seront à mener dans le but de rehausser le niveau de sûreté des levées (travaux de priorité 1).

A plus long terme, des actions permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent pourront être menées, tels que la mise en place d'un système de prévention des surverses ou la rehausse de la cote de crête de digue (travaux de priorité 2).

Une attention particulière doit être portée aux moyens à accorder, dans les délais adaptés, aux services gestionnaires en charge de décliner les mesures prescrites dans le cadre de la présente étude, tant en termes d'effectifs et de compétences que de financements.

10. Cartographie

Le lecteur est invité à se référer au document spécifique sur la cartographie.

11. Annexes

11.1 Abréviations des types de désordres et ouvrages selon SIRS Digues

Type_désordres	
Abrégé_type_désordre	Libellé_type_désordre
ERD	Erosion longitudinale diverse
FIS	Fissure dans le terrain ou sur structure rigide
FON	Fontis
MVT	Mouvement de terrain
PIE	Piétinement d'aminaux
RAV	Ravinement
TRR	Terrier et animaux fouisseurs
VEG	Végétation gênante ou dangereuse
DEP	Depression, étang
IFU	Indice de fuite
ERF	Erosion fluviale
RUP	Rupture de réseaux
CEB	Crête bombée
PTB	Point bas
ALT	Altération/Corrosion ouvrage
DEC	Decollement, dissociation d'ouvrage différent
DEJ	Déjointement
DES	Destructuration ouvrage
PRV	Prélèvement matériaux digue
PZO	Tête piézo observée
SDG	Sondage effectué
SUD	Surverse directe
SUR	Surverse par retour
BRD	Brèche par renard direct
BRR	Brèche par renard en retour
BSD	Brèche par surverse direct

Type_désordres	
Abrégé_type_désordre	Libellé_type_désordre
BSR	Brèche par surverse en retour
DSA	Dépôt sauvage
RDH	Renard hydraulique
CHS	Cana HS
BRE	Brèche par cause indéterminée
COR	Corps étranger affectant intégrité de la structure
BPR	Brèche provoquée
BAF	Brèche par affouillement
ARR	Arrachement lié à chute arbre
PAS	Passage sauvage d'engins motorisés
FOS	Fossé en pied de digue
VAN	Vandalisme sur ouvrage de voirie
BMQ	Borne manquante
BDT	Borne détériorée
INR	Inondation par refoulement
CLO	Clôture sauvage sur digue
BAT	Bâtiment encastré dans digue
IND	Indéfini

Type_ouvrages		
Abrégé_type_ouvrage	Libellé_type_ouvrage	Usage_ouvrage
RAM	Rampe	Franchissement
ENC	Encoule	Franchissement
TUN	Tunnel	Franchissement
PDD	Pont au dessus digue	Franchissement
PSD	Pont dans digue	Franchissement
PAS	Passage à gué	Franchissement
ESC	Escalier	Franchissement/Particulier
CAS	Cale simple	Franchissement
CAT	Cale tablier	Franchissement
VAN	Vanne hydraulique	Hydraulique
RES	Réservoir, château d'eau	Hydraulique
REG	Regard	Hydraulique
STE	Station d'épuration	Hydraulique
CLA	Clapet	Hydraulique
POS	Poste de refoulement	Hydraulique
BIN	Borne incendie	Hydraulique/Particulier
FOD	Fosse de décantation	Hydraulique
BAT	Bâtiment encastré	Particulier
CAV	Cave encastrée	Particulier
ECH	Echelle limni	Particulier
CLO	Cloture privée	Particulier
PON	Ponton pour embarcation	Particulier
PAN	Panneau info	Particulier
PIE	Piezo	Particulier
OUI	Ouvrage indéfini	Particulier
MOU	Monument	Particulier
BOK	Borne PK	Particulier
RDN	Repère nivellement	Particulier
SOB	Socle en béton	Particulier
BRE	Borne réseau d'eau	Particulier
BAR	Barrière, chaîne	Voirie
OBS	Ouvrage obstruction du passage	Voirie
GRI	Grillage	Voirie
BOR	Borne de voirie	Voirie

Type_ouvrages		
Abrégé_type_ouvrage	Libellé_type_ouvrage	Usage_ouvrage
BOU	Bouchure	Voirie
GLI	Glissiere	Voirie
PKG	Parking	Voirie
GAB	Gabarit	Voirie
VSD	Voie sur digue	Voirie
CAN	Canalisation de pompage, prise d'eau	Conduite
CON	Conduite eau (EP, EU, distrib...)	Conduite
EFT	Poteau ou ligne EDF/PTT	Réseau_telecom_nrj
GDF	GDF	Réseau_telecom_nrj
FIB	Fibre optique	Réseau_telecom_nrj
TRA	Transformateur	Réseau_telecom_nrj
IND	Indéfini	

11.2 Arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009



Direction Départementale
de l'Équipement et de l'Agriculture

2009 - P. 2832

ARRÊTÉ PREFECTORAL

portant complément à
l'autorisation reconnue au titre de l'article L.214-6 du code de l'environnement,
concernant les tronçons de la digue de protection du val de Nevers-Challuy-Sermoise,
situés en rive gauche de la Loire,
sur le territoire des communes de Nevers, Challuy et Sermoise,
propriétés du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement Durable et de la Mer.

**Le Secrétaire Général,
Chargé de l'administration de l'État,
dans le département de la Nièvre.**

VU les articles L. 211-1, L.214-12 du code de l'environnement ;

VU le code de l'environnement et notamment ses articles L. 211-3, R. 214-112 à R. 214-147 ;

VU le décret 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement ;

VU l'arrêté du 29 février 2008 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques ;

VU l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu ;

VU l'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 ;

VU la déclaration d'existence présentée par le représentant du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, en application de l'article L. 214-6 du code de l'environnement, transmise le 08 avril 2008 ;

VU l'avis du Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques, en date du 23 septembre 2009 ;

VU le rapport de Monsieur le Directeur Départemental de l'Équipement et de l'Agriculture de la Nièvre ;

CONSIDERANT

- les informations fournies par le propriétaire de l'ouvrage et que l'ouvrage a été régulièrement autorisé en application d'une législation antérieure au 4 janvier 1992 ;
- les caractéristiques techniques des ouvrages, notamment leur hauteur ainsi que la population protégée sur les communes de NEVERS, CHALLUY ET SERMOISE au sens de l'article R.214-113 du code de l'environnement ;
- qu'il existe à l'aval immédiat de ces tronçons de digue des zones urbanisées soumises à des risques de submersion en cas de rupture ou de défaillance des ouvrages ;
- que la prévention du risque de rupture de l'ouvrage nécessite des mesures renforcées ;
- que le pétitionnaire n'a pas émis d'avis dans le délai de 15 jours qui lui est réglementairement imparti sur le projet du présent d'arrêté qui lui a été transmis .

Sur proposition de Monsieur le Directeur Départemental de l'Équipement et de l'Agriculture de la Préfecture de la Nièvre ;

ARRETE

Titre I : MISE EN CONFORMITE DE L'OUVRAGE

Article 1^{er} : Objet de l'ouvrage

Les tronçons de la digue de protection du val de Nevers-Challuy-Sermoise, appartenant au Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer sont situés sur le territoire des communes de Nevers, Challuy et Sermoise.

Ces ouvrages autorisés en application d'une législation ou réglementation relative à l'eau, antérieure au 4 janvier 1992, sont réputés autorisés en application des dispositions de l'article L.214-6 du code de l'environnement.

Un plan de situation est joint en annexe.

Article 2 : Description de l'ouvrage

La digue existante est caractérisée par les tronçons suivants :

Dénominations	Zones protégées	Communes d'emprise	Longueurs estimées	Situations en coordonnées Lambert II étendue	Situations en coordonnées Lambert 93
Levée du plateau de la bonne dame	Nevers	Nevers	500 m	Amont X= 662.653 Y = 2220.574 Aval X = 662.147 Y = 2220.372	Amont X= 712155 Y = 6653542.8 Aval X = 711670.2 Y = 6653353.3
Levée de la blanchisserie	Nevers	Nevers	500 m	Amont X= 663.115 Y = 2220.559 Aval X = 662.657 Y = 2220.575	Amont X= 712597.9 Y = 6653535.1 Aval X = 712193.3 Y = 6653544.9
Levée du canal de jonction	Nevers	Nevers	735 m	Amont X= 663.383 Y = 2219.875 Aval X = 663.115 Y = 2220.559	Amont X= 712893.4 Y = 6652867.8 Aval X = 712622.3 Y = 6653537.9
Levée de Gimouille	Nevers, Challuy et Sermoise	Nevers et Challuy	960 m	Amont X= 662.643 Y = 2220.322 Aval X = 661.892 Y = 2219.837	Amont X= 712122.2 Y = 6653305.4 Aval X = 711371.42 Y = 6652797.92
Levée de Sermoise, 2 ^{ème} section	Nevers, Challuy et Sermoise	Nevers et Sermoise	860 m	Amont X= 663.38 Y = 2219.869 Aval X = 662.65 Y = 2220.32	Amont X= 712879.9 Y = 6652849.7 Aval X = 712175.2 Y = 6653299.5
Levée de Sermoise, 1 ^{ère} section	Challuy et Sermoise	Sermoise	2 070 m	Amont X= 664.751 Y = 2218.562 Aval X = 663.38 Y = 2219.869	Amont X= 714229.2 Y = 6651535.5 Aval X = 712912.1 Y = 6652835.3

Article 3 : Référence à la nomenclature

L'ouvrage est concerné par les rubriques 3.2.2.0 et 3.2.6.0 définies au tableau annexé à l'article R.214-1 du code de l'environnement.

Rubrique	Intitulé	Régime
3.2.2.0	Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau : 1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m ² (A) 2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m ² et inférieure à 10 000 m ² (D) Au sens de la présente rubrique, le lit majeur du cours d'eau est la zone naturellement inondable par la plus forte crue connue ou par la crue centennale si celle-ci est supérieure. La surface soustraite est la surface soustraite à l'expansion des crues du fait de l'existence de l'installation ou ouvrage, y compris la surface occupée par l'installation, l'ouvrage ou le remblai dans le lit majeur.	Autorisation
3.2.6.0	Digues à l'exception de celles visées à la rubrique 3.2.5.0 : 1° de protection contre les inondations et submersions (A) 2° de canaux et de rivières canalisées (D)	Autorisation

Titre II : CLASSE DE L'OUVRAGE

Article 4 : Détermination de la classe de l'ouvrage

Les tronçons de la digue de protection du val de Nevers-Challuy-Sermoise, appartenant au Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, relèvent de la classe **B** conformément au Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques.

L'ouvrage de classe B est une digue supérieure à 1 mètre de hauteur dont la population protégée est comprise entre 1000 et 50 000 personnes, incluant notamment les populations saisonnières.

Titre III : PRESCRIPTIONS

Article 5 : Prescriptions relatives à l'ouvrage

Les tronçons de la digue de protection du val de Challuy-Sermoise, propriétés du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, doivent être rendus conformes aux dispositions des articles R.214-122, R.214-123, R.214-125, R.214-140 à R. 214-142 et R. 214-147 du code de l'environnement et à l'arrêté du 16 juin 2009 modifiant l'arrêté du 29 février 2008, suivant les délais et modalités suivantes :

- constitution (ou mise à jour) du dossier avant le 31 décembre 2009 ;
- description de l'organisation mise en place pour assurer l'exploitation et la surveillance de l'ouvrage avant le 31 décembre 2009 ;
- production et transmission pour approbation par le préfet des consignes écrites avant le 31 décembre 2010 ;
- transmission au service de police de l'eau du rapport de surveillance avant le 31 décembre 2011, puis tous les cinq ans ;
- transmission au service de police de l'eau du compte-rendu des visites techniques approfondies avant le 31 décembre 2011, puis tous les ans.

Un diagnostic de sûreté tel que prévu par l'article 16 du décret du 11 décembre 2007 susvisé et l'article 4 de l'arrêté du 16 juin 2009 qui modifie l'article 9 de l'arrêté du 29 février 2008 susvisé est à réaliser avant le 31 décembre 2009.

La première revue de sûreté des tronçons de la digue de protection du val de Nevers-Challuy-Sermoise est à réaliser avant le 31 décembre 2012, puis tous les 10 ans.

Une étude de dangers des tronçons de la digue de protection du val de Nevers-Challuy-Sermoise est à produire avant le 31 décembre 2012, puis elle doit être actualisée au moins tous les dix ans.

Titre IV : DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Article 6 : Droits des tiers

Les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés.

Article 7: Autres réglementations

Le présent arrêté ne dispense en aucun cas le pétitionnaire d'obtenir les autorisations ou de faire les déclarations requises par d'autres réglementations.

Article 8 : Publication et information des tiers

Une copie de cet arrêté sera transmise à la mairie des communes de NEVERS, de CHALLUY et de SERMOISE, pour affichage pendant une durée minimale d'un mois.

Ces informations seront mises à disposition du public sur le site Internet de la préfecture de la Nièvre durant une durée d'au moins 12 mois.

Article 9 : Voies et délais de recours

Le présent arrêté est susceptible de recours devant le tribunal administratif territorialement compétent à compter de la date de sa publication au recueil des actes administratifs par le pétitionnaire et par les tiers dans un délai de quatre ans selon les conditions de l'article L. 514-6 du code de l'environnement.

Dans le même délai de deux mois, le pétitionnaire peut présenter un recours gracieux. Le silence gardé par l'administration pendant plus de deux mois sur la demande de recours gracieux emporte décision implicite de rejet de cette demande conformément à l'article R. 421-2 du code de justice administrative.

Article 10 : Exécution

Monsieur le Secrétaire Général de la Préfecture, Monsieur le Directeur des Services du cabinet du Préfet, Monsieur le Directeur Départemental de l'Équipement et de l'Agriculture, Messieurs les maires des communes de Nevers, Challuy et Sermoise et toute autorité de police sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté qui sera notifié au propriétaire et au gestionnaire et publié au recueil des actes administratifs de la préfecture, et dont une ampliation sera tenue à la disposition du public dans chaque mairie intéressée.

Article 11: Copies

Copie du présent arrêté sera adressée pour information :

- à Madame la Directrice Régionale de l'Environnement de Bourgogne,
- à Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement du Centre,
- à Monsieur le Président du Conseil Général de la Nièvre,
- à Monsieur le Directeur Régional de Réseau Ferré de France.

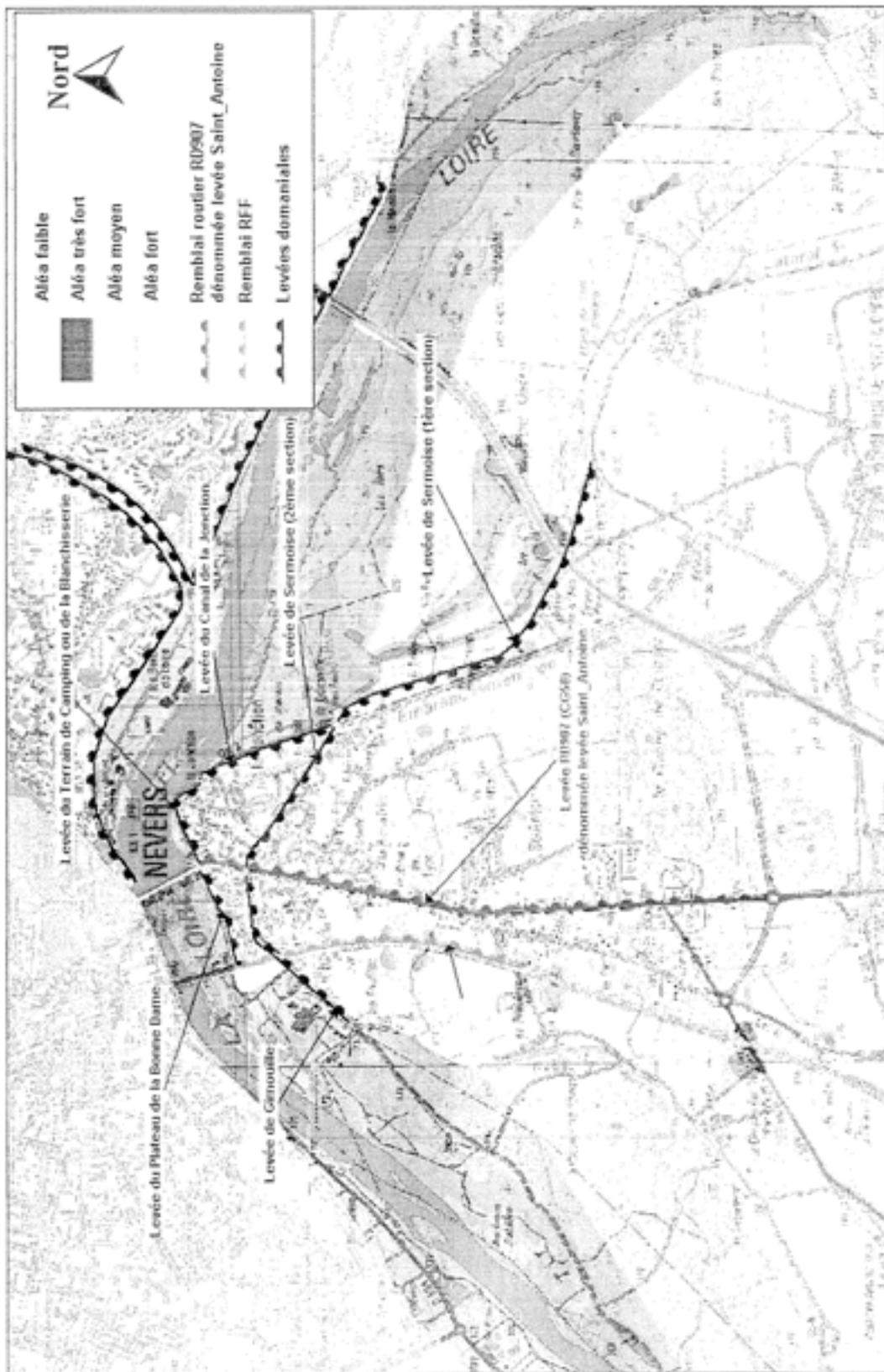
Fait à Nevers, le 10 NOV. 2009

Le secrétaire général
chargé de l'administration de l'Etat, dans le département,



Michel FAILLIDE

PLAN DE SITUATION DES TRONCONS DE DIGUES
 PROTEGEANT LE VAL DE NEVERS - CHALLUY - SERMOISE (rive gauche)



Echelle: 1/25000

- Études générales
- Assistance au Maître d'Ouvrage
- Maîtrise d'œuvre conception
- Maîtrise d'œuvre travaux
- Formation

Egis Eau Siège social
78, allée John Napier
CS 89017
34965 - Montpellier Cedex 2

Tél. : 04 67 99 22 00
Fax : 04 67 65 03 18
montpellier.egis-eau@egis.fr
<http://www.egis-eau.fr>