

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

Val de Decize – Étude de dangers



HFG 23585W

Décembre 2015

Table des matières

0.	Résumé de l'Étude de dangers du val de Decize	21
0.1	Contexte et objectifs de l'Étude de dangers	21
0.2	Systèmes de protection contre les inondations et composition des levées de Loire du val de Decize	22
0.3	Dangers liés aux levées de Loire du val de Decize	24
0.4	Niveau de protection et niveau de sûreté des levées de Loire du val de Decize	24
0.4.1	Niveau de protection apparent	25
0.4.2	Défaillance du système de protection et niveaux de sûreté	27
0.4.3	Description du fonctionnement probable du système d'endiguement dans son état actuel.....	28
0.5	Caractérisation de la gravité du risque associé à la défaillance du système de protection	29
0.5.1	A l'échelle du val.....	29
0.5.2	A l'arrière immédiat des digues	31
0.6	Mesures de réduction des risques.....	31
0.6.1	Mesures de gestion de l'ouvrage.....	31
0.6.2	Mesures de gestion du risque	32
0.6.3	Améliorations structurelles et fonctionnelles de la digue	32
0.6.4	Améliorations des connaissances.....	34
1.	Renseignements administratifs	35
1.1	Identification des parties.....	35
1.1.1	Porteur de l'étude	35
1.1.2	Propriétaire de l'ouvrage	35
1.1.3	Gestionnaire de l'ouvrage.....	35
1.1.4	Rédacteurs et organismes ayant participé à l'élaboration de l'étude.....	36
1.2	Classement de l'ouvrage.....	37
1.2.1	Rappel de l'article R.214-113 du Code de l'Environnement	37

1.2.2	Arrêté préfectoral.....	37
2.	Objet de l'étude	39
2.1	Contexte réglementaire	39
2.2	La digue et son environnement.....	40
2.2.1	La Loire	40
2.2.2	La Loire bourguignonne	40
2.2.3	Périmètre de l'ouvrage	42
3.	Analyse fonctionnelle de l'ouvrage et son environnement	44
3.1	Description de l'ouvrage	44
3.1.1	Principe de discrétisation du système de protection	44
3.1.2	Description du système de protection	45
3.1.2.1	Localisation des levées du val de Decize.....	45
3.1.2.2	Caractéristiques des levées du val de Decize	47
3.1.2.3	Définition de la ligne de défense principale.....	47
3.1.2.4	Définition des ouvrages secondaires	49
3.1.2.5	Définition de l'objectif de protection	53
3.1.3	Définition des milieux extérieurs	54
3.2	Analyse fonctionnelle interne.....	54
3.2.1	Analyse fonctionnelle hydraulique	54
3.2.1.1	Méthode	54
3.2.1.2	Caractérisation du niveau de protection de la levée de Decize.....	56
3.2.1.3	Décomposition en sous-systèmes homogènes	60
3.2.2	Analyse fonctionnelle géotechnique	63
3.2.2.1	Composition de la levée.....	63
3.2.2.2	Les fonctions des composants géotechniques	67
3.2.2.3	Analyse structurale et fonctionnelle des profils en travers	68
3.2.3	Désordres constatés dans les systèmes de protection	71
3.2.3.1	Ouvrages inclus	71

3.2.3.2	Végétation et animaux fouisseurs	74
3.3	Analyse fonctionnelle externe	75
3.3.1	Analyse du milieu extérieur « cours d'eau »	75
3.3.1.1	Géomorphologie de la Loire	75
3.3.1.2	Conséquences de l'activité humaine.....	78
3.3.1.3	Système de protection en rive opposée.....	78
3.3.1.4	Réseau hydrographique secondaire.....	78
3.3.2	Analyse du milieu extérieur « zone protégée »	79
3.3.2.1	Raccordements amont/aval	79
3.3.2.2	Milieu extérieur « zone protégée » du système de protection	80
3.4	Classement des levées du val de Decize.....	86
4.	Présentation de la politique de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité (SGS).....	87
4.1	Prescriptions réglementaires	87
4.2	Organisation des gestionnaires de la digue	88
4.3	Consignes écrites.....	90
4.4	Surveillance.....	90
4.4.1	Surveillance continue.....	91
4.4.2	Surveillance périodique	91
4.4.3	Surveillance en crue.....	92
4.4.3.1	Préambule.....	92
4.4.3.2	Situation actuelle	92
4.4.4	Surveillance post-crue	94
4.4.5	Surveillance exceptionnelle.....	94
4.4.6	Perspectives à moyen terme	95
4.5	Actions en cas d'urgence	95
4.6	Procédures d'évaluation du risque	95
4.6.1	Diagnostic initial	95
4.6.2	Études de dangers.....	95
4.6.3	Revue de sûreté	96

4.7	Exercices	96
4.8	Prévention des risques	96
4.8.1	Prévention des risques majeurs	96
4.8.2	Prévention des risques d'inondation.....	97
4.8.2.1	Prévision des crues	97
4.8.2.2	Seuil de vigilance.....	97
4.8.2.3	Organisation de la mise en sécurité des populations	98
4.9	Dossier d'ouvrage.....	100
4.10	Avis du rédacteur de l'étude de dangers.....	100
5.	Identification et caractérisation des potentiels de dangers	101
5.1	Ouverture d'une brèche partielle ou totale sur un tronçon de levée	102
5.2	Charges hydrauliques en crue de la Loire s'appliquant sur les levées de Decize	103
5.3	Première surverse au-dessus de la crête d'un tronçon de levée.....	104
5.4	Dysfonctionnement des clapets anti-retour ou entrée d'eau par les ouvrages traversant la levée.....	105
5.5	Remontée de nappe dans le val en arrière de la levée.....	107
5.6	Inondation par les affluents et ruissellement urbain.....	109
5.7	Inondations par remous de la Loire en partie aval ouverte du val.....	110
6.	Caractérisation des aléas naturels	111
6.1	Hydrologie : crues de la Loire	111
6.1.1	Présentation générale	111
6.1.2	Types de crues.....	112
6.1.2.1	Les crues « cévenoles »	112
6.1.2.1	Les crues « océaniques »	112
6.1.2.2	Les crues « mixtes »	112
6.1.3	Détermination des débits de pointe et des hydrogrammes de la Loire	112
6.1.4	Prise en compte du risque de rupture des digues de Loire en amont du val de Decize	115

6.1.5	Influence de la rupture du barrage du Villerest	115
6.2	Embâcles et débâcles de glace	117
6.2.1	Conséquences hydrauliques	117
6.2.2	Conséquences morphodynamiques	118
6.2.3	Conséquences mécaniques	118
6.3	Impact du changement climatique	118
6.4	Géologie et morphodynamique de la Loire	119
6.4.1	Géologie et morphodynamique de la Loire de Roanne à Angers.....	119
6.4.1	Géologie et morphodynamique de la Loire au droit du val de Decize.....	120
6.5	Aléa sismique.....	122
6.6	Risque karstique.....	125
6.7	Synthèse de la caractérisation des aléas naturels	128
7.	Étude accidentologique et retour d'expérience.....	129
7.1	Historique des crues de la Loire	129
7.2	Étude des brèches historiques.....	130
7.2.1	Étude des brèches historique sur la levée de Decize	130
7.2.2	Enseignement des autres brèches sur les levées de la Loire	132
7.2.2.1	Enseignements généraux sur les brèches en Loire moyenne	132
7.2.2.2	Les brèches historiques des levées d'Orléans	133
7.3	Incidents récents	134
7.3.1	Evolution de la crue de la Loire en 2003	134
7.3.2	Les conséquences de la crue de 2003 sur les levées de Decize	135
7.3.3	Les conséquences de la crue de 2003 sur d'autres levées de Loire.....	136
7.3.4	Les incidents hors crue sur la levée de Decize	136
7.3.5	Les incidents hors crue sur les autres levées de la Loire.....	137
7.4	Retour d'expérience sur d'autres systèmes de protection.....	138
8.	Identification et caractérisation des risques en terme de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences	141

8.1	Objectifs	141
8.2	Description et principes de la méthodologie	143
8.2.1	Principe général	143
8.2.2	La caractérisation du potentiel de rupture des tronçons de digues	144
8.2.2.1	Identification des scénarios de rupture envisageables	144
8.2.2.2	Estimation de la probabilité de rupture des tronçons de digues	145
8.2.3	Estimation du risque d'inondation par défaillance du système de protection	147
8.2.3.1	Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilités d'occurrence	147
8.2.3.2	Caractérisation des scénarios d'inondation en termes d'intensité et de cinétique des phénomènes dangereux	149
8.2.3.3	Estimation de la vulnérabilité des enjeux et de la gravité des scénarios d'inondation	150
8.2.4	Evaluation de la criticité des scénarios d'inondation	152
8.3	Détermination des scénarios de défaillance	154
8.3.1	Mode ou circonstance de défaillance	154
8.3.1.1	Rupture par surverse	154
8.3.1.2	Rupture par érosion interne	155
8.3.1.3	Rupture par érosion externe	156
8.3.1.4	Rupture par défaut de stabilité de la digue ou de sa fondation	157
8.3.2	Principales causes des défaillances	158
8.3.2.1	Les bâtiments encastrés	159
8.3.2.2	La végétation ligneuse	159
8.3.2.3	Les canalisations	159
8.3.2.4	Les terriers d'animaux fouisseurs	160
8.3.2.5	Les désordres du talus côté val	160
8.3.2.6	Les désordres du talus côté Loire	160
8.3.2.7	Les surverses non contrôlées	161
8.3.2.8	Autres causes : géométrie ou localisation de la levée	162
8.3.3	Niveaux de sûreté des levées de Decize	162
8.4	Estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement du val de Decize	163

8.4.1	Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilités d'occurrence.....	163
8.4.1.1	Scénario d'inondation 1 : rupture de la banquette initiée par érosion interne au profil 27 puis rupture de la levée par surverse (T = 200 ans)	165
8.4.1.2	Scénario d'inondation 2 : rupture de la levée initiée par érosion interne au profil P25 (T=100ans)	166
8.4.1.3	Scénario d'inondation 3 : rupture de la levée initiée par érosion interne au profil P40 (T=50ans)	167
8.4.2	Intensité et cinétique des scénarios	169
8.4.2.1	Construction du modèle hydraulique	169
8.4.2.2	Résultats des modélisations hydrauliques 1D	169
8.4.3	Gravité et criticité des scénarios d'inondation.....	175
8.4.3.1	Exploitation des résultats de l'étude d'enjeux	175
8.4.3.2	L'aléa d'inondation	176
8.4.3.3	Vulnérabilité des enjeux contenant des populations – indicateur de dangers.....	180
8.4.3.4	Estimation de la gravité des scénarios	181
8.4.3.5	Evaluation de la criticité des scénarios d'inondation.....	182
9.	Étude de réduction des risques	183
9.1	Caractéristiques du système d'endiguement actuel.....	183
9.2	Réduction du risque par des mesures de gestion.....	184
9.2.1	Consignes écrites	184
9.2.2	Surveillance de l'ouvrage	184
9.2.3	Entretien de l'ouvrage	185
9.2.4	Entretien et restauration du lit de la Loire	185
9.2.5	Gestion de l'usage des digues	185
9.2.6	Action d'urgence en crue.....	187
9.2.7	Gestion du dossier d'ouvrage.....	187
9.2.8	Exercices	187
9.3	Mesures à mettre en œuvre sur le territoire.....	187
9.3.1	Sécurité des populations	187
9.3.2	Plan communal de sauvegarde.....	188

9.3.3	Plan de prévention des risques inondations	189
9.3.4	Prévision des crues	189
9.4	Réduction du risque par des mesures sur le système d'endiguement ...	189
9.4.1	Mesures structurelles.....	189
9.4.2	Mesures fonctionnelles.....	191
9.4.3	Travaux à réaliser sur les levées de Decize.....	192
9.4.3.1	Priorité 1 – travaux permettant de garantir l'intégrité de l'ouvrage et d'atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T170 (niveau de protection apparent de la levée de la Jonction 2 ^{ème} section)	192
9.4.3.2	Priorité 2 - travaux supplémentaires permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent de la levée de la Jonction 2 ^{ème} section (T170).....	194
9.4.3.3	Synthèse des mesures structurelles et fonctionnelles préconisées	195
9.4.3.4	Estimation financière des travaux préconisés	197
9.5	Réduction du risque en améliorant la connaissance	198
9.5.1	Connaissance des ouvrages	198
9.5.1.1	Connaissance historique des digues	198
9.5.1.2	Connaissance des ouvrages non-classés	198
9.5.1.3	Connaissance géotechniques des digues	198
9.5.1.4	Connaissance des ouvrages traversant la digue	198
9.5.1.5	Connaissance des fondations sous-jacentes.....	198
9.5.2	Amélioration des connaissances au niveau du bassin	199
9.5.2.1	Détermination des aléas de rupture de la digue par mécanisme de rupture à l'aide d'un outil de calcul	199
9.5.2.2	Connaissance du phénomène d'embâcles de glace.....	199
9.5.2.3	Connaissance des phénomènes induits par le changement climatique.....	199
9.5.2.4	Connaissance de la formation des brèches	199
9.5.2.5	Connaissance du phénomène d'érosion interne dans les digues.....	199
9.5.3	Transmission de la connaissance	199
9.6	Conclusion sur l'étude de réduction du risque	200

10. Cartographie.....	201
11. Annexes	202
11.1 Abréviations des types de désordres et ouvrages selon SIRS Dignes ...	202
11.2 Arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009.....	205

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des levées du système de protection du val de Decize	22
Figure 2 : Analyse fonctionnelle hydraulique du système de protection du val de Decize	23
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 T170.....	26
Figure 4 : Travaux entrepris sur les levées du val de Decize suite aux grandes crues du XIXème siècle ..	27
Figure 5 : Localisation des scénarios d'inondation étudiés.....	30
Figure 6 : Carte de la somme des probabilités de rupture annuelle	33
Figure 7 : Travaux de priorité 1 sur le val de Decize	33
Figure 8 : Travaux de priorité 2 sur le val de Decize	33
Figure 9 : Estimation des travaux de priorité 1 et 2 sur le val de Decize.....	34
Figure 10 : Loire bourguignonne (source : SANDRE)	41
Figure 11 : Zone protégée du val de Decize	43
Figure 12 : Localisation du val de Decize.....	46
Figure 13 : Traitement du MNT pour la délimitation de la zone remblayée	48
Figure 14 : Profil en travers illustrant la présence d'un val remblayé au droit de la levée de Caqueray amont.....	49
Figure 15 : Portes de garde côté Loire de l'écluse de la Jonction (Source : Egis Eau)	49
Figure 16 : Ouvrages secondaires retenus et non retenus du val de Decize.....	51
Figure 17 : Composition de la ligne de défense du val de Decize.....	52
Figure 18 : Evolution des profils en travers « type » des levées de la Loire au début du XXème siècle (Source : R.Dion, 1934)	53
Figure 19 : Profil en long du système de protection de Decize – identification de la cote de protection apparente	57
Figure 20 : désordres recensés sur la banquettes de la levée de la jonction 2° section (Egis Eau, 2014)....	58
Figure 21: Sous-systèmes de digues (numérotation des tronçons homogènes) val de Decize	62
Figure 22 : Localisation des sondages géotechniques.....	65
Figure 23 : Résultats EM31, panneau électrique et radar sur la levée de la Jonction 2° section	66
Figure 24 : Position supposée de la brèche de 1846 sur la levée de la Jonction 2° section au niveau du profil 24 (résultats radar, rapport géophysique, SOLDATA 2014).....	67
Figure 25 : Localisation de la brèche de 1846 sur la levée de Caqueray au niveau du profil 61-62 (résultats radar, rapport géophysique, SOLDATA 2014).....	67
Figure 26 : Profil non renforcé sans assise imperméable (F1).....	69
Figure 27 : Profil non renforcé, avec assise perméable (F1)	70
Figure 28 : Exemple d'ouvrages inclus : écluse du port de Decize et vanne (Source : Egis Eau, 2014)	71
Figure 29 : Maisons encastées sur la levée de la Jonction 3° section	72
Figure 30 : Ouvrages inclus au système de protection.....	73

Figure 31 : Alignement d'arbres et souches sur la levée de la Jonction 3 ^e section (haut) et végétation dangereuse sur la levée de Caqueray aval (bas) (photos : Egis Eau, 2013).....	74
Figure 32 : Schéma localisant le « franc-bord »	75
Figure 33 : Cartographie de l'étude morphologique de la Loire au droit de la levée de Decize	77
Figure 34 : Déversoir de sécurité du barrage de Saint Léger des Vignes (Egis Eau, 16/05/2014).....	78
Figure 35 : Réseau hydrographique secondaire du val de Decize (fond de carte : géoportail).....	79
Figure 36: Traitement du MNT pour la définition de la zone protégée de Decize	81
Figure 37 : Densité de la population dans le val de Decize	82
Figure 38 : Photo du pont de la D978a (Egis Eau, 2013)	84
Figure 39 : Localisation des enjeux sensibles du val de Decize	85
Figure 40 : Organigramme de la subdivision gestion de la Loire	89
Figure 41 : Dispositif global de gestion de crise, de la prévision de crue à l'évacuation.....	98
Figure 42 : Echelle de surveillance du PSL de Decize	99
Figure 43 : Charges hydrauliques s'appliquant au tronçon de digue des levées de Decize	104
Figure 44 : Vanne en pied de digue, levée de la jonction 3 ^e section (Egis Eau, 2013)	106
Figure 45 : Plan de l'aqueduc projeté suite à la demande de construction du riverain Monsieur Vagne - Source : archives DDT 58	106
Figure 46 : Ecluse du port de Decize, entre les levées de la Jonction 2 ^e et 3 ^e section (Egis Eau, 2013)...	107
Figure 47 : Schéma illustrant la remontée de nappe (source : Hydratec, 2004)	107
Figure 48 : Zones de sensibilité à la remontée de nappes à Decize (Source : www.inondationsnappes.fr, BRGM)	108
Figure 49 : Réseau hydrographique secondaire du val de Decize (fond de carte : géoportail).....	109
Figure 50 : forme théorique des hydrogrammes de crue de la Loire amont	114
Figure 51 : position des principaux barrages de la Loire et de ses affluents (Source : EdD du val de Tours)	116
Figure 52 : Localisation d'un méandre (coude 2) et photo de l'érosion en extrados de méandre au niveau des berges nues (orthophotos 2011, Egis Eau 2014).....	120
Figure 53 : Etat du perré en pierre en pied de digue sur la levée de la Jonction 3 ^e section (Egis Eau, 2014)	121
Figure 54 : Îlot formé en aval immédiat du pont de la D978a (Egis Eau, 16/05/2014)	121
Figure 55 : Déversoir de sécurité du barrage de Saint Léger des Vignes (Egis Eau, 16/05/2014).....	122
Figure 56 : Carte du zonage sismique en région Bourgogne.....	123
Figure 57 : Sensibilité à l'aléa karstique des levées de Loire (source : BRGM).....	125
Figure 58 : Schéma de propagation d'un fontis de taille limitée (EdD de la digue d'Orléans)	126
Figure 59 : Schéma d'un effondrement karstique (EdD de la digue d'Orléans)	127
Figure 60 : Localisation et caractéristiques des brèches sur les levées de Decize rive gauche (fond de plan : orthophotos 2011).....	131
Figure 61 : Position des brèches lors des crues du XIX ^e siècle (Source : LR Blois).....	133
Figure 62 : Fosse d'érosion des brèches de Jargeau suite aux crues de 1856 et 1866 (Source : EdD du val d'Orléans).....	134

Figure 63 : Montée des eaux à Decize lors de la crue 2003 (source : équipe pluridisciplinaire Plan Loire grandeur Nature)	135
Figure 64 : Répartition des désordres recensés lors de la VTA 2013 (cf rapport VTA 2013).....	137
Figure 65 : Déstructuration d'une maison à Fourques (source : CETE méditerranée)	139
Figure 66 : Brèche sur la digue à Saint-laurent-d'Aigouze (source : CETE méditerranée).....	139
Figure 67 : Diagramme simplifié de la démarche d'analyse du risque (source : EdD du val de Tours)	142
Figure 68 : démarche de l'analyse du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement (diagramme Irstea)	144
Figure 69 : Grille d'intensité de l'aléa d'inondation	150
Figure 70 : Densité de population dans le val de Decize	151
Figure 71 : Grille de criticité des scénarios.....	153
Figure 72: Hauteurs de surverse et probabilité de rupture par surverse pour les profils concernés (les valeurs négatives correspondent à des revanches)	155
Figure 73 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion interne (probabilités > 1%)	156
Figure 74 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion externe (probabilités non nulles).....	156
Figure 75 : Probabilité de rupture des profils soumis au glissement du talus côté val (probabilités >1%)	158
Figure 76 : Probabilité de rupture des profils soumis au soulèvement hydraulique (levée de la Jonction 3 ^{ème} section)	158
Figure 77 : canalisation traversante en bas de talus sur le profil 40 - Egis Eau, 2013	160
Figure 78 : causes principales des risques sur l'ensemble des profils CARDigue de la levée de Decize	161
Figure 79 : causes principales des risques pour les profils présentant une probabilité de rupture par érosion interne > 1%	161
Figure 80 : Localisation des scénarios d'inondations étudiés – val de Decize	165
Figure 81 : Scénario d'inondation n°1 - carte de localisation de la brèche (profil 27).....	166
Figure 82 : Scénario d'inondation n°2 - carte de localisation de la brèche (profil 25).....	167
Figure 83 : Scénario d'inondation n°2 - carte de localisation de la brèche (profil 25).....	168
Figure 84 : Localisation des casiers hydrauliques - Decize	169
Figure 85 : Hauteurs d'eau maximales - Scénario 1	170
Figure 86 : Hauteurs d'eau maximales - Scénario 2	171
Figure 87 : Hauteurs d'eau maximales - Scénario 3	172
Figure 88 : Evolution des niveaux d'eau dans le val – scénario d'inondation n°1	173
Figure 89 : Evolution des niveaux d'eau dans le val – scénario d'inondation n°2	174
Figure 90 : Aléa inondation - Scénario 1	177
Figure 91 : Aléa inondation - Scénario 2	178
Figure 92 : Aléa inondation - Scénario 3	179
Figure 93 : Causes de défaillance sur les levées du val de Decize (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelle).....	193

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des crues modélisées.....	25
Tableau 2 : Probabilité de rupture annuelle, gravité et criticité de chacun des scénarios d'inondation testé	30
Tableau 3: Classement des digues selon l'article R.214-113.....	37
Tableau 4: Les fonctions hydrauliques génériques des sous-systèmes de digues (source annexe 4 analyse fonctionnelle EdD Tours- DREAL Centre)	55
Tableau 5 : Analyse hydraulique des sous-systèmes composant le système de protection de Decize	61
Tableau 6 : Niveaux de protection apparents des sous-systèmes de protection de Decize (hors berges protégées)	63
Tableau 7 : les familles de fonctions des composants géotechniques (source : EdD du val de Tours)	68
Tableau 8 : Analyse fonctionnelle du profil en travers type	69
Tableau 9 : Risques liés à l'évolution morphologique du lit de la Loire.....	76
Tableau 10: Estimation de la population au niveau de sites à enjeux sensibles.....	83
Tableau 11: Récapitulatif des caractéristiques de la zone protégée	84
Tableau 12 : Obligations réglementaires pour les digues de classe B.....	87
Tableau 13 : Evénements possibles et facteurs de sensibilité associés sur les digues en terre (source : EdD de Tours)	101
Tableau 14 : Débits de pointe à l'amont du val de Decize selon la période de retour T	114
Tableau 15 : Vérification du risque de liquéfaction	124
Tableau 16 : Hauteur d'eau relevées à l'échelle de Decize à partir de la crue de 1846 (Source : DDT 58).	130
Tableau 17 : Fréquence des différents mécanismes de brèches en Loire moyenne	132
Tableau 18 : Brèches caractéristiques de la levée d'Orléans (Source : EdD du val d'Orléans)	134
Tableau 19 : Evènements climatologiques et enseignements pour l'EdD (source : EdD de Tours, 2013)	138
Tableau 20 : Retours d'expériences sur la formation de brèches sur des digues en terre	140
Tableau 21 : Qualification des probabilités annuelles utilisées pour caractériser les scénarios de défaillance	149
Tableau 22 : qualification des probabilités événementielles utilisées pour caractériser la probabilité de défaillance pour un évènement de crue donné.....	149
Tableau 23 : Echelle de dangers pour les habitats.....	152
Tableau 24 : Classes de gravité des scénarios d'inondations	152
Tableau 25 : Synthèse des niveaux de sûreté des levées du val de Decize.....	162
Tableau 26 : Scénarios d'inondation retenus	164
Tableau 27 : Echelle de dangers pour les habitats.....	180
Tableau 28 : Gravité des scénarios d'inondation	182

Tableau 29 : Criticité des scénarios d'inondation	182
Tableau 30 : Mesures structurelles de priorité 1 sur les levées du val de Decize	196
Tableau 31 : Mesures structurelles et fonctionnelles de priorités 2 sur les levées du val de Decize.....	196
Tableau 32 : Estimation du montant de travaux - Priorité 1.....	197
Tableau 33 : Estimation du montant de travaux - Priorité 2.....	197

Préambule

Sur la structure de la présente étude de dangers

L'Étude de dangers des levées de Decize 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 :

- S1 - Étude hydraulique locale via l'utilisation d'un modèle hydraulique 1D à casier
- 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,
 - Reconnaissances géophysiques, géotechniques et inspections visuelles - SOGREAH 2002,
 - Levés géomètres.
- Modèles hydrauliques :
 - Modèle hydraulique unidimensionnel Hydrariv de prévision de crue (LGN)

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 unidimensionnelle	Cotes d'eau maximales calculées par le modèle hydraulique unidimensionnel à casier pour un hydrogramme donné	+/- 30cm

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 10⁻¹, 1/1,59 ou 6.3 E-01). 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 Decize

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 Decize 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 Decize ;
- 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 Decize 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 Decize s'étend sur un linéaire cumulé de 2,11 km en rive gauche de la Loire. Il est composé de trois levées : les levées de la Jonction 2^e section et 3^e section, et la levée de Caqueray. La levée de la Jonction 1^e section n'est pas incluse dans le système de protection du val de Decize.

Ce système d'endiguement protège la commune de Decize.

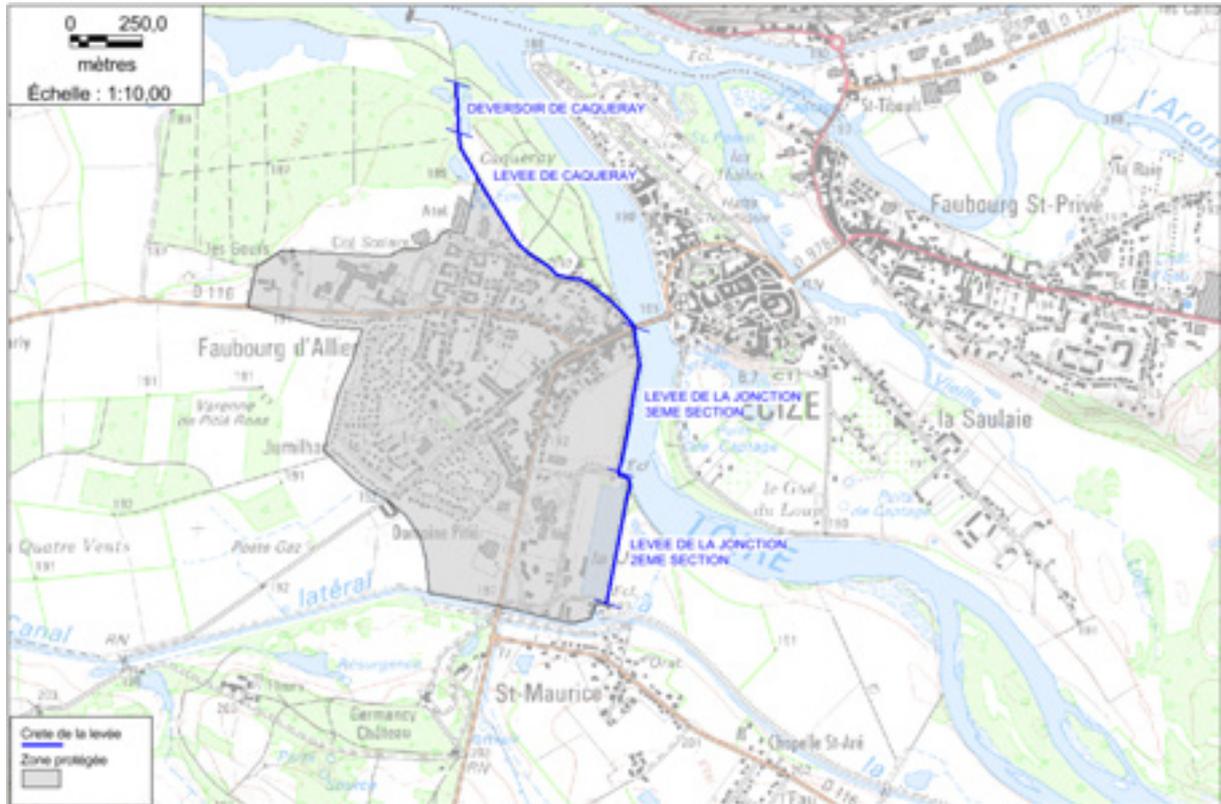


Figure 1 : Localisation des levées du système de protection du val de Decize

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 Decize rassemble 2350 habitants permanents. Le classement en digue de classe B des levées de Loire du val de Decize n'est donc pas remis en cause.

0.2 Systèmes de protection contre les inondations et composition des levées de Loire du val de Decize

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 Decize sont des levées.

La ligne de défense principale de Decize est composée des levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section, et de la levée de Caqueray. Les portes de garde en aval du port de la Jonction sont incluses dans la ligne de défense principale. La ligne de défense principale (à l'amont de la levée de Caqueray) se confond avec les berges protégées du val remblayé de Decize sur lequel est regroupé une majorité de la population de Decize.

La levée de la Jonction 1^{ère} section n'est pas incluse dans la ligne de défense principale. En effet, compte-tenu des discontinuités observées sur ce merlon de terre, elle n'a aucun rôle de protection.

La rue de la jonction, qui se trouve surélevée par rapport au port, peut participer à la protection du val en cas de brèche dans la levée de la jonction 2^e section. Elle est caractérisée d'ouvrage secondaire.

Le raccord amont du système d'endiguement de Decize se fait au niveau de l'écluse amont de la Jonction : le val est fermé en amont. Le raccord aval se fait juste à l'aval du déversoir (Caqueray aval) : le val est ouvert à l'aval et l'eau de la Loire peut pénétrer dans le val par remous.

Le remblai du canal latéral à la Loire, la route de Moulins (D978a) et la rue des quatre vents ne sont pas retenus comme ouvrages secondaires.

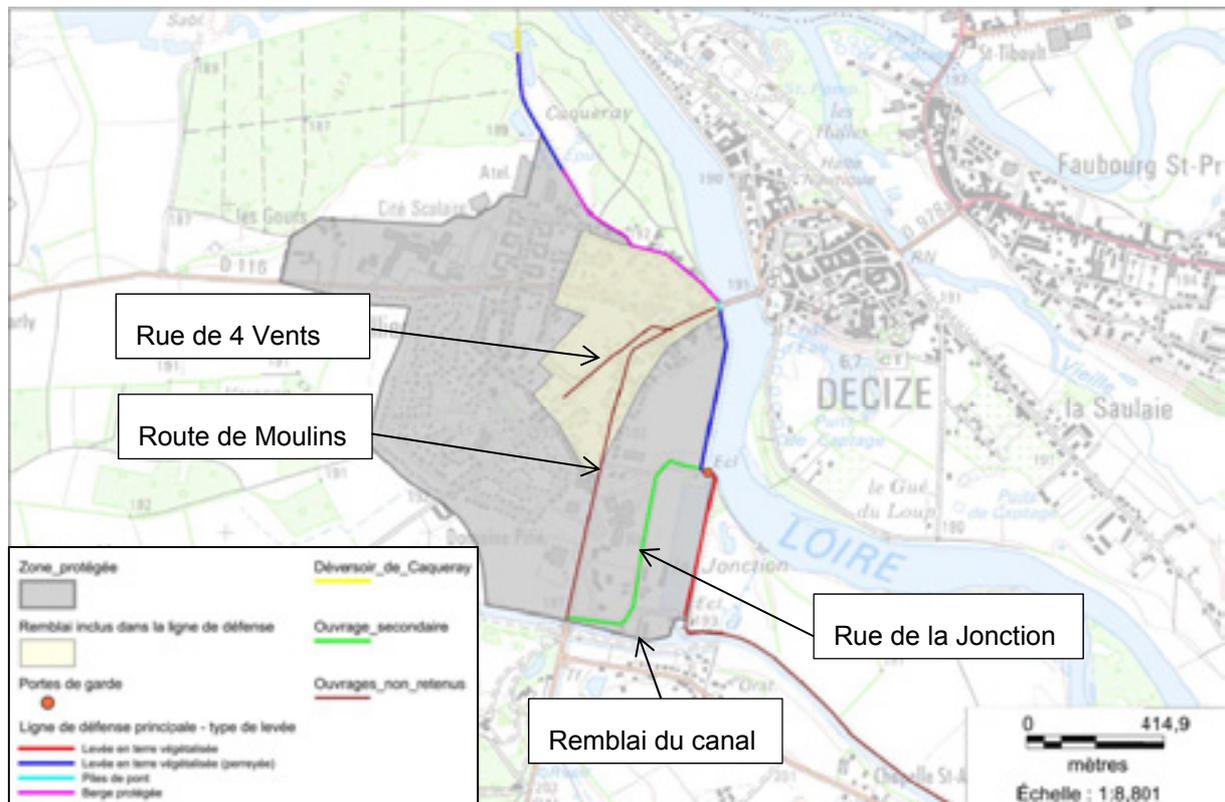


Figure 2 : Analyse fonctionnelle hydraulique du système de protection du val de Decize

Comme les autres levées de la Loire, les levées du val de Decize 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.

La levée de la Jonction 2^{ème} section est surmontée d'une banquette en terre sur l'ensemble de son linéaire. 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. Ainsi, il est défini une hauteur d'influence de 0,2m pour la levée de la Jonction 2^{ème} section.

0.3 Dangers liés aux levées de Loire du val de Decize

De ces premiers constats et considérant que les dangers afférents aux levées de Loire du val de Decize 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 Decize

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 de la levée de la Jonction 2^{ème} section qui présente une banquette, la notion de **hauteur d'influence de la banquette** est introduite. 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 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 Decize ont été estimés par le biais d'un modèle hydraulique unidimensionnel sous Hydrariv.

Ce modèle est exploité par Egis Eau pour plusieurs scénarios de crue. Six crues de périodes de retour 50 ans, 70 ans, 100 ans, 170 ans, 200 ans et 500 ans ont été modélisées sous 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 Decize, échelle de référence du Règlement d'Information sur les Crues (RIC). Le champ « hauteur d'eau estimée » repose sur la différence entre la cote à l'échelle de Decize extraite des modélisations et le zéro de l'échelle en vigueur Z0 = 186,45mNGF (nivellement DREAL 2009).

Tableau 1 : Caractéristiques des crues modélisées

Crues modélisées	T50	T70	T100	T170	T200	T500
Débit de pointe (m ³ /s)	2300	2620	3280	3500	3870	4500
Cote à l'échelle de Decize (m NGF)	191,93	192,24	192,79	192,95	193,20	193,60
Hauteur d'eau estimée (m)	5,48	5,79	6,34	6,5	6,75	7,15

Les lignes d'eau sont comparées au profil en long de la crête de levée. Les zones vulnérables à la surverse sont identifiées sur le profil en long ci-dessous (ronds rouges) :

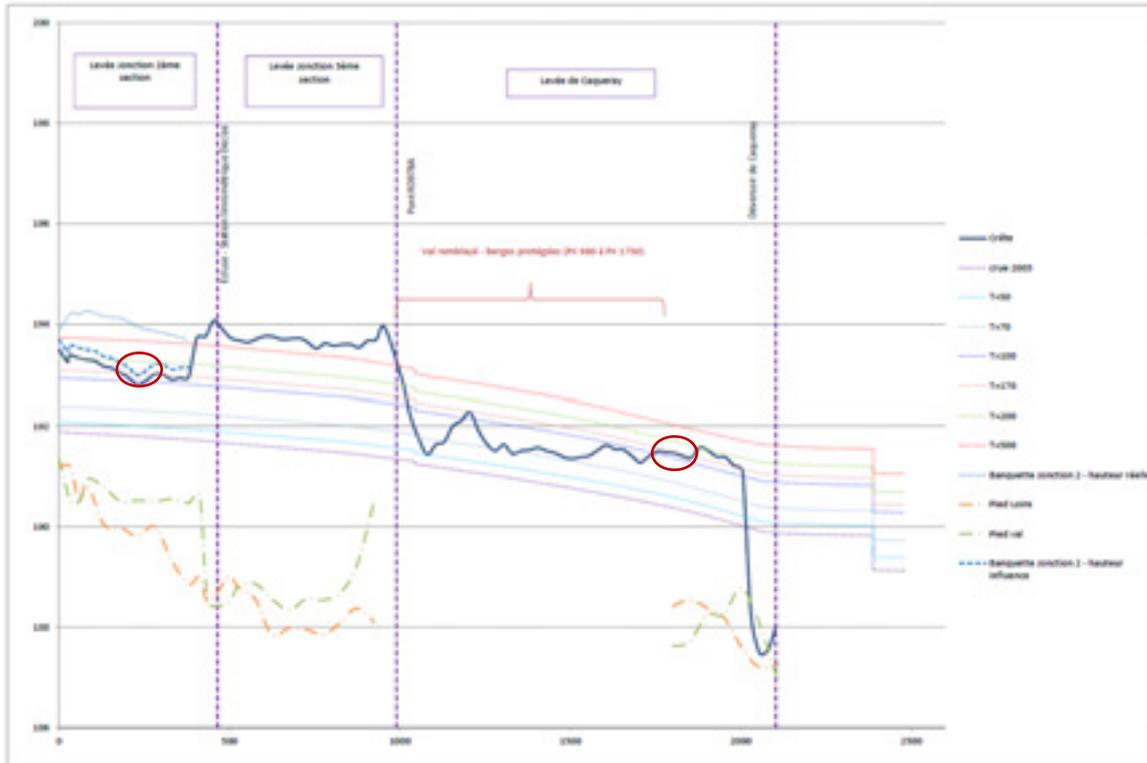


Figure 3 : Profil en long de la crête de digue et de la rehausse, et lignes d'eau associées à différentes périodes de retour de crues de la Loire – zones vulnérables à la surverse T170

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 ».

Une hauteur d'influence de la banquette de 20cm est retenue sur la levée de la Jonction 2^{ème} section ; les premières surverses sur ce linéaire sont des surverses « théoriques ».

Les premières surverses sur les levées de Decize (hors berges protégées et déversoir) se font pour une crue de période de retour 170 ans, au niveau de la levée de la Jonction 2^{ème} section (surverse théorique ponctuelle au PK230) et de la levée de Caqueray (PK 1750 à PK 1858).

Le niveau de protection apparent global du val de Decize est donc la T170.

Cette crue présente les caractéristiques suivantes :

Crue modélisée	T170
Cote calculée à l'échelle de Decize (m NGF)	192,95
Hauteur d'eau estimée (m)	6,50
Débit de pointe (m ³ /s)	3500

0.4.2 Défaillance du système de protection et niveaux de sûreté

Les levées de la Jonction et de Caqueray sont édifiées entre 1842 et 1846.

Les grandes crues du XIX^{ème} siècle perturbent fortement la stabilité de la digue et des dysfonctionnements apparaissent. En effet, deux brèches se produisent sur les levées de Decize, lors de la crue de 1846.

Cette période est donc marquée par d'importants travaux de consolidation et exhaussement des levées dont notamment :

- L'exhaussement de la **levée de la Jonction** et la mise en place d'un perré en pied de digue en **1848**,
- Restructuration de la **levée de Caqueray** au niveau de l'ouverture de la brèche de 1846 (100m) en **1847**,

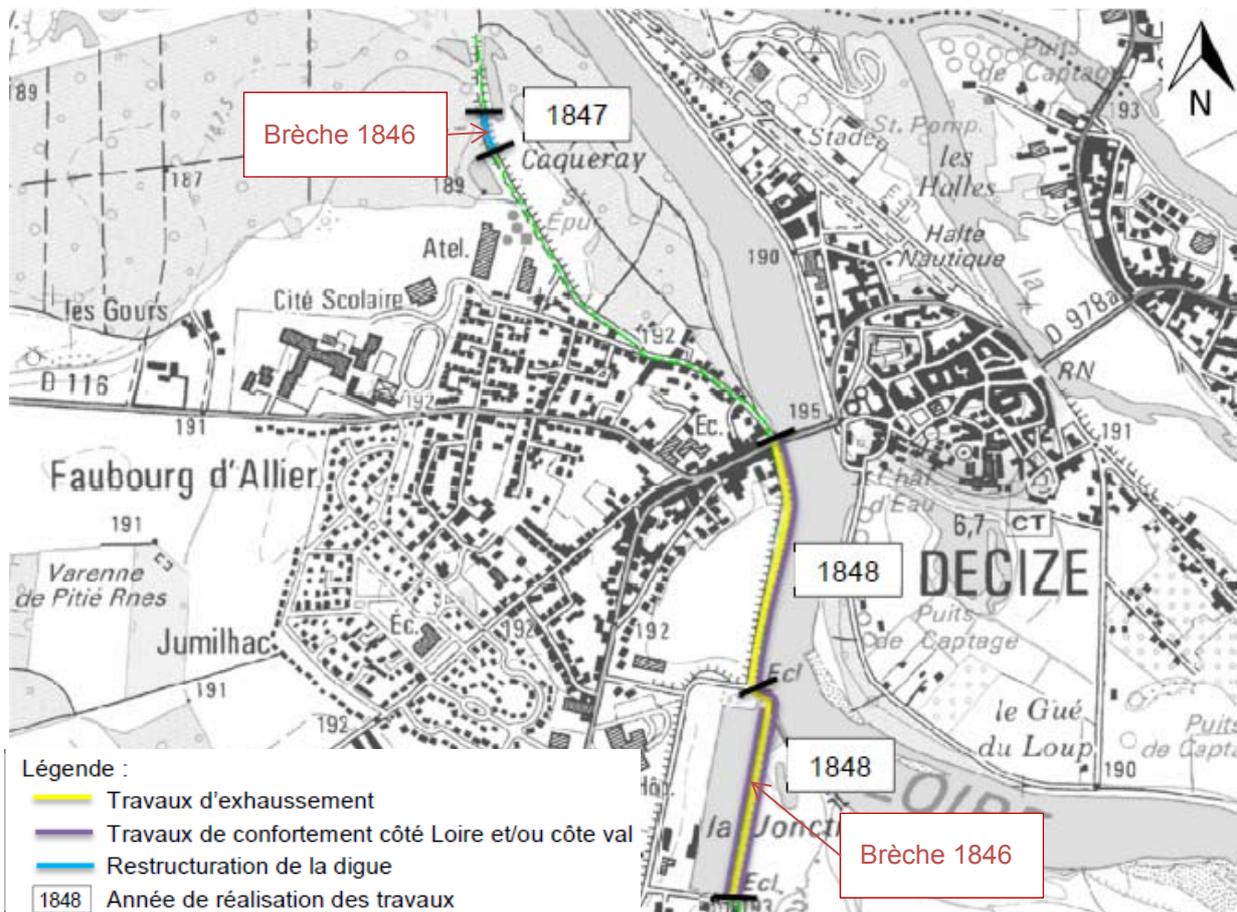


Figure 4 : Travaux entrepris sur les levées du val de Decize suite aux grandes crues du XIX^{ème} siècle

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 Decize, via le modèle CARDigue, un modèle de calcul spécifique qui intègre les désordres évoqués ci-avant.

Le niveau de sûreté est fixé au niveau de la crue à partir de laquelle plusieurs profils dépassent le seuil de négligeabilité de 1%.

Le niveau de sûreté global du val de Decize est fixé au niveau de la crue de type 2003, qui correspond au niveau de sûreté des levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section.

Cette crue présente les caractéristiques suivantes :

Crue modélisée	Crue 2003
Cote calculée à l'échelle de Decize (m NGF)	191,72
Hauteur d'eau estimée (m)	5,27*
Débit de pointe (m ³ /s)	2100

**Pour la crue 2003, un décalage d'environ 10cm est constaté entre la hauteur d'eau historique (observée) et la hauteur d'eau estimée dans le modèle Hydrariv LGN (cf rapport de calage du modèle LGN). La hauteur d'eau historique a été constaté à 5,17m.*

Cette crue correspond à un temps de retour d'environ 30 ans.

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 type 2003, 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 T170 simulée, le système d'endiguement pourrait être mis en péril avec des surverses entraînant la rupture de l'ouvrage. Deux zones de surverse ont été identifiées pour la T170 : une surverse théorique ponctuelle au niveau de la levée de la Jonction 2^{ème} section et une surverse réelle au niveau de la levée de Caqueray (cf analyse fonctionnelle hydraulique).

En conclusion, le système de protection constitué par les levées du val de Decize présenterait probablement, aujourd'hui, un mode de fonctionnement préoccupant et anormal pour des crues supérieures en débit à une crue type 2003. 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, trois scénarios d'inondation ont été simulés par modélisation hydraulique unidimensionnelle et analysés.

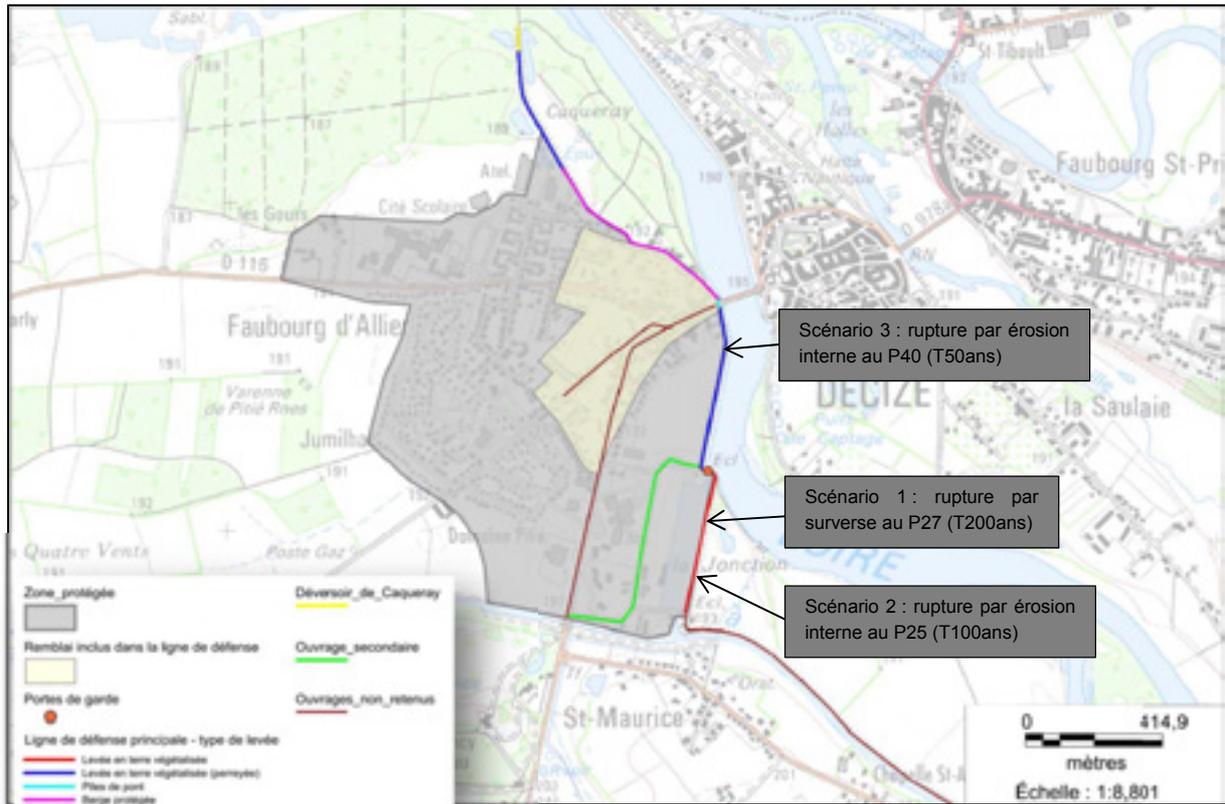


Figure 5 : Localisation des scénarios d'inondation étudiés

Les résultats pour chacun des 3 scénarios testés sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Probabilité de rupture annuelle, gravité et criticité de chacun des scénarios d'inondation testé

N°	Scénario d'inondation	Qualification de la probabilité de rupture annuelle	Gravité du scénario			Criticité
			Population inondée (nb hab)	Indicateur de danger	Gravité	
1	Rupture de la banquette initiée par érosion interne au P27 (T=200ans)	Peu probable	1307	69	3. Important	Risque préoccupant
2	Rupture initiée par érosion interne au P25 (T=100ans)	Moyennement probable	889	60	3. Important	Risque préoccupant
3	Rupture initiée par érosion interne au P40 (T=50ans)	Moyennement probable	123	50	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 Decize, 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 hiérarchisés 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 de définir les mesures de gestion suivantes :

- Un gestionnaire unique devra être désigné pour permettre une bonne coordination de la gestion et de la surveillance en période de crue ;

- 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 des bancs de sable (sédimentation/végétalisation) en rive droite, notamment en face de la levée de la Jonction 3ème section qui est en contact direct avec la Loire ;
- Le renforcement du pied de digue sur la levée de la jonction 3ème section ;
- La surveillance de l'évolution des bancs de sable à proximité du barrage Saint Léger des Vignes ;

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

- Un programme de resorption des canalisations non indispensables avec des travaux à programmer dans les années à venir,
- Une mise à jour des documents administratifs,
- Un programme de traitement des canalisations existantes à conserver.

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 ;
- le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) de la commune de Decize ;
- 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 Decize.

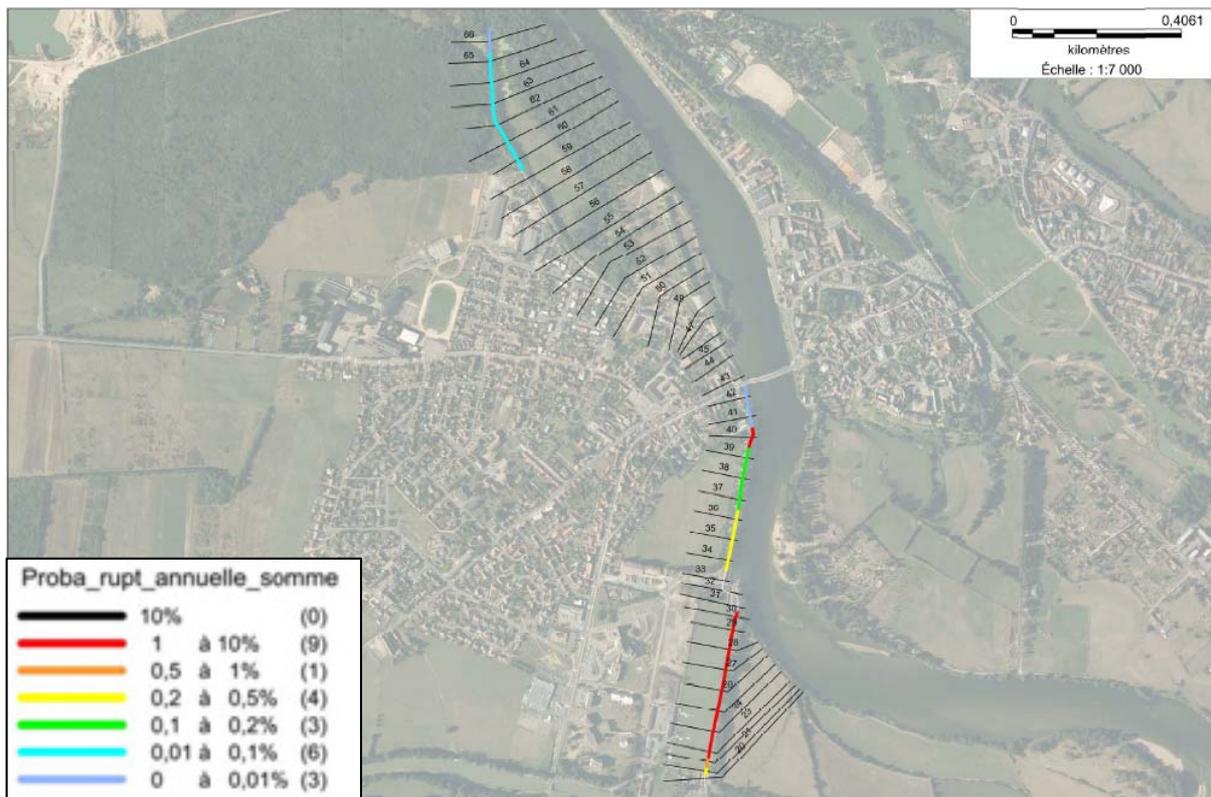


Figure 6 : Carte de la somme des probabilités de rupture annuelle

Une stratégie d'intervention 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 relatif à la crue type T170 qui est le niveau de protection apparent du val ;
- Priorité 2 : travaux supplémentaires permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent du val (T170).

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 T170						
Profils	PK	Linéaire (ml)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/ restaurer	Exemple de travaux
P21 - P30	8,5 - 437,5	430	Jonction 2ème section	Géométrie de la digue, végétation, mouvements, (érosion interne et glissement) Brèche historique au profil 27	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation en place sur le talus côté val et en crête, Recharge côté Loire en matériaux étanches, mise en place d'un écran étanche
P34 - P39	550 - 900	350	Jonction 3ème section	Végétation (érosion interne) Affouillement en pied de berge/digue Loire (érosion externe)	1 - étanchéité 2 - drainage 3 - résistance à l'érosion externe en pied de digue	1 - Suppression de la végétation en place en crête et haut de talus côté val 2 - Recharge côté val en matériaux drainant et création d'un fossé drainant 3 - Confortement à l'aide d'enrochement, mise en place d'un rideau de palplanches sur le parement côté Loire
P40	850-900	50	Jonction 3ème section	Canalisation traversante en position basse P40 (érosion interne)	étanchéité	Suppression de l'ouvrage traversant existant et reprise du profil de digue sur ce linéaire
P60 - P65	1775 - 2075	300	Caqueray aval	Végétation (érosion interne)	étanchéité	Suppression de la végétation en place sur les talus côtés val et Loire et surveillance

Figure 7 : Travaux de priorité 1 sur le val de Decize

PRIORITE 2 : travaux permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent T170						
Profils	PK	Linéaire (ml)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/ restaurer	Exemple de travaux
P21 - P30 P35 - P37	8,5 - 437,5 600-750	580	Jonction 2ème et 3ème section		gestion des surverses	Concertation et réalisation d'une étude hydraulique Exhaussement de la levée de la Jonction 2ème section (travaux à mener de façon concomitante avec les travaux de priorité 1)

Figure 8 : Travaux de priorité 2 sur le val de Decize

Le montant des travaux est estimé à 2 650 000 € TTC.

PRIORITE 1						
Type de travaux	Nombre de profils concernés	Levée	Unité	Quantité	Prix unitaire*	Montant financier estimé (€ TTC)
Suppression de la végétation	24	Jonction 2ème section et 3ème section, Caqueray	ml	1200	200,00 €	240 000,00 €
Rétablissement de l'étanchéité de la digue **	10	Jonction 2ème section	ml	500	3 000,00 €	1 500 000,00 €
Adoucissement de la pente et rétablissement de la fonction drainante côté val	6	Jonction 3ème section	ml	300	1 100,00 €	330 000,00 €
Défense du pied de berge	6	Jonction 3ème section	ml	300	1 200,00 €	360 000,00 €
Suppression d'ouvrage traversant et restauration du linéaire de digue (profil 40) ***	1	Jonction 3ème section P40	FFT	1	200 000,00 €	200 000,00 €
					TOTAL (€ TTC)	2 630 000,00 €
* Les rations linéaires sont à prendre avec prudence du fait de la grande variabilité des prix						
** et, dans le cas de travaux concomitants sur la 3ème section, exhaussement de la levée jusqu'au niveau de la crue T500						
*** prend en compte la reprise de la digue sur 50 m de part et d'autre de l'ouvrage						
PRIORITE 2						
Type de travaux	Nombre de profils concernés	Levée	Unité	Quantité	Prix unitaire*	Montant financier estimé (€ TTC)
Gestion des surverses (concertation, études)		A l'échelle du système d'endiguement	FFT	1	20 000,00 €	20 000,00 €
					TOTAL (€ TTC)	20 000,00 €
* Les rations linéaires sont à prendre avec prudence du fait de la grande variabilité des prix						

Figure 9 : Estimation des travaux de priorité 1 et 2 sur le val de Decize

0.6.4 Améliorations des connaissances

L'amélioration des connaissances concerne tout d'abord les ouvrages non-classés. Pour la levée de Caqueray, la présente étude de dangers a montré que cette levée n'assurait une protection du val que pour de faibles crues. En effet, le val étant ouvert à l'aval, cette levée a un rôle limité. Il est donc opportun de définir une orientation de gestion adaptée pour cet ouvrage dans le cadre de la nouvelle réglementation. Pour la levée de la Jonction 1^{ère} section, la présente étude de dangers a montré que cette levée n'a pas de rôle de protection du val de Decize. Il est proposé de la renommer (pas de terme « levée »).

Par ailleurs, il est proposé d'améliorer les connaissances sur les ouvrages traversants des levées composant la ligne de défense principale (recensement des ouvrages, création de fiches descriptives par ouvrage).

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

La digue qui constitue le système de protection contre les inondations du val de Decize est 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 de la digue de Decize 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 gestion des levées du val de Decize est répartie entre Voies Navigables de France (VNF) et la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58). En effet, VNF est gestionnaire de la levée de la Jonction 1^e section et de la levée de la Jonction 2^e section ; et la DDT 58 est gestionnaire de la levée de la Jonction 3^e section et de la levée de Caqueray.

La DDT 58 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.

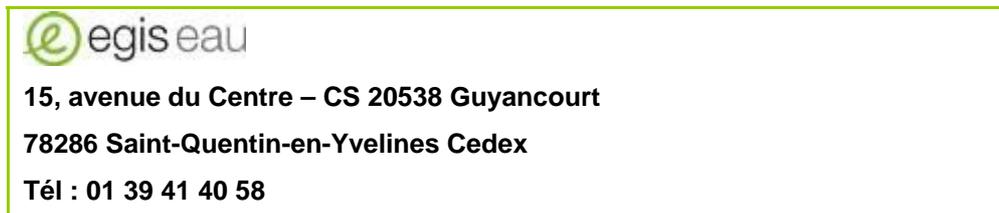
La maîtrise d'ouvrage consiste en la conduite des travaux d'entretien et de restauration du lit, d'entretien et de confortement des ouvrages de protection contre les crues (digues, vannes, clapets, etc.).

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 levées de Decize 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 ;
- 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 3: 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

Comme mentionné ci-dessus (1.1.3), les levées de la Jonction 1^{er} et 2^{er} section sont gérées par VNF. La levée de la Jonction 1^{er} section n'a pas fait l'objet d'un classement ; la levée de la Jonction 2^{er} section a été classée en digue de classe B.

La digue dite « Levée de la Jonction 3^{er} section » est un ouvrage autorisé en application d'une législation ou réglementation relative à l'eau, antérieure au 4 janvier 1992, et réputé autorisé en

application des dispositions de l'article L.214-6 du code de l'environnement. Elle a été classée en **digue de classe B** par l'arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009.

La digue dite « Levée de Caqueray » est « **non classée** ». Elle n'assure pas une protection efficace car le val est ouvert à l'aval, d'où des possibles remontées d'eau par retour dans celui-ci.

L'arrêté de classement de la levée de la Jonction 3^e section 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, puis tous les dix ans ;
- production d'une étude de dangers avant le 31 décembre 2014, puis actualisée tous les dix 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 Decize. Il se situe en rive gauche de la Loire, sur la commune de Decize.

L'étude de dangers du système de protection de Decize répond à une **obligation réglementaire**. Elle est requise avant le 31 décembre 2014 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 Decize, 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 Decize 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. Elles se trouvent en amont de la confluence de la Vieille Loire et l'Aron avec la Loire. Le secteur est également caractérisé par la présence du barrage de Saint-Léger-des-Vignes en Loire juste en aval du système de protection. L'arrivée d'affluents et le barrage conditionnent l'hydrologie de la Loire.

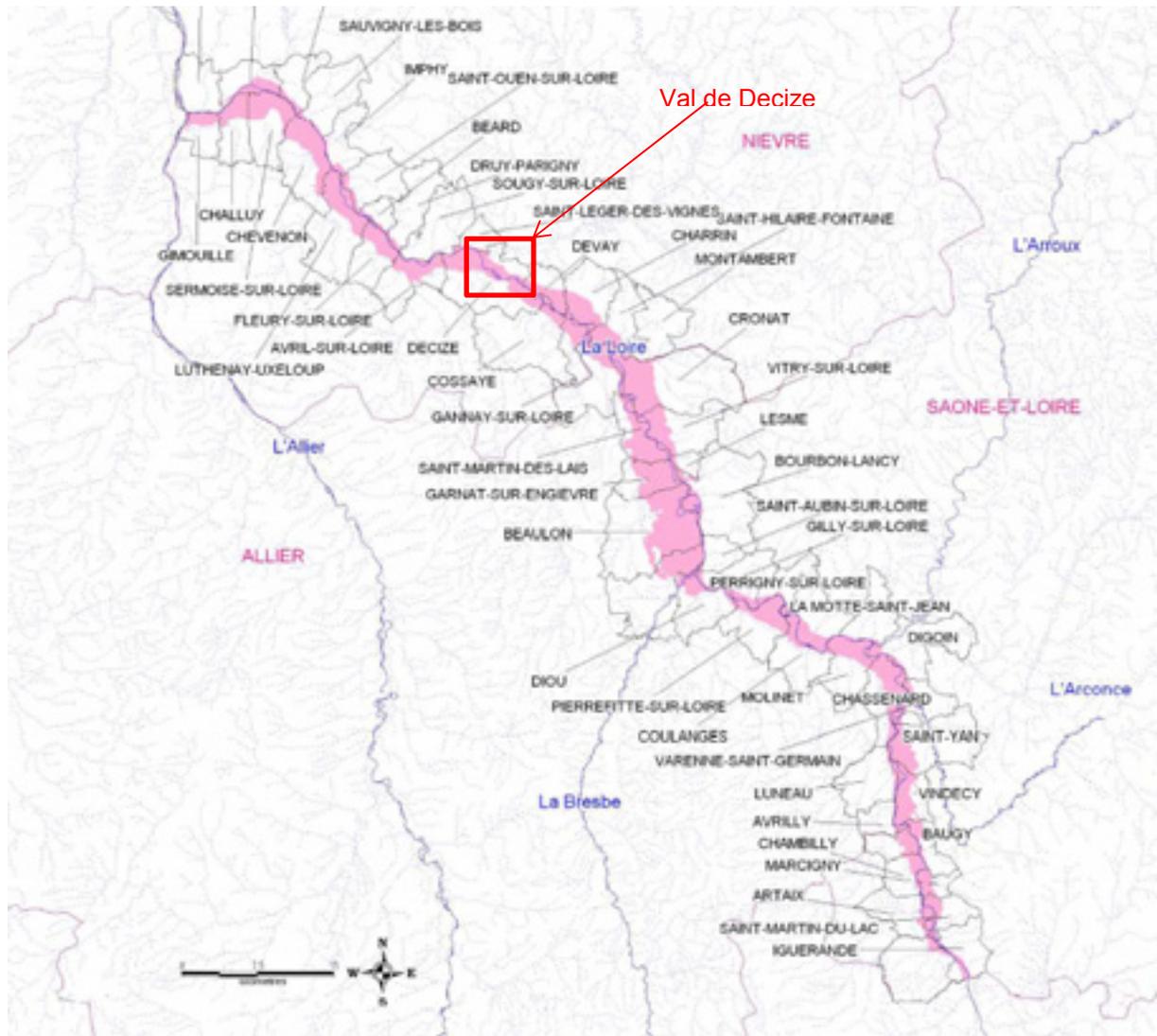


Figure 10 : Loire bourguignonne (source : SANDRE)

Le val de Decize se trouve sur une zone de 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 Decize** qui s'étend sur un linéaire cumulé de 2,11 km en rive gauche de la Loire. Il est composé de trois levées : les levées de la Jonction 2^e section et 3^e section, et la levée de Caqueray. La levée de la Jonction 1^e section n'est pas incluse dans le système de protection du val de Decize (cf. analyse fonctionnelle).

Les raccords amont et aval se situent donc respectivement à l'amont de la levée de la Jonction 2^e section et à l'aval de la levée de Caqueray. Ces raccords sont définis de manière précise au chapitre 3.

Les raccords amont et aval, 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)
Jonction 2 ^e section	Arrêté de classement	0,435	X _{am} = 734 744.4 Y _{am} = 6 635 567.3	X _{av} = 734 815.9 Y _{av} = 6 635 994.3
	Etude de dangers (ligne de défense)	0,48	X _{am} = 734 748.4 Y _{am} = 6 635 559	X _{av} = 734 790.5 Y _{av} = 6 636 003
Jonction 3 ^e section	Arrêté de classement	0,525	X _{am} = 734 807.9 Y _{am} = 6 635 989.8	X _{av} = 734 846.7 Y _{av} = 6 636 494.6
	Etude de dangers (ligne de défense)	0,49	X _{am} = 734 790.5 Y _{am} = 6 636 003	X _{av} = 734 835.5 Y _{av} = 6 636 494
Caqueray	Arrêté de classement	/	/	/
	Etude de dangers (ligne de défense)	1,1	X _{am} = 734 835.5 Y _{am} = 6 636 494	X _{av} = 734 314.5 Y _{av} = 6 637 007

- le **val remblayé** de Decize, dont la cote se confond avec la levée de Caqueray sur un linéaire de 550 m. Ce remblai a une superficie de 0.17 km².
- la **zone protégée (ZP)** concerne le territoire de la commune de Decize. Elle a une superficie de 120 hectares. Ses délimitations sont justifiées dans le chapitre 3.2.

La zone protégée est incluse dans le « Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) Loire du val de Decize » approuvé par arrêté préfectoral en date du 18 décembre 2001.

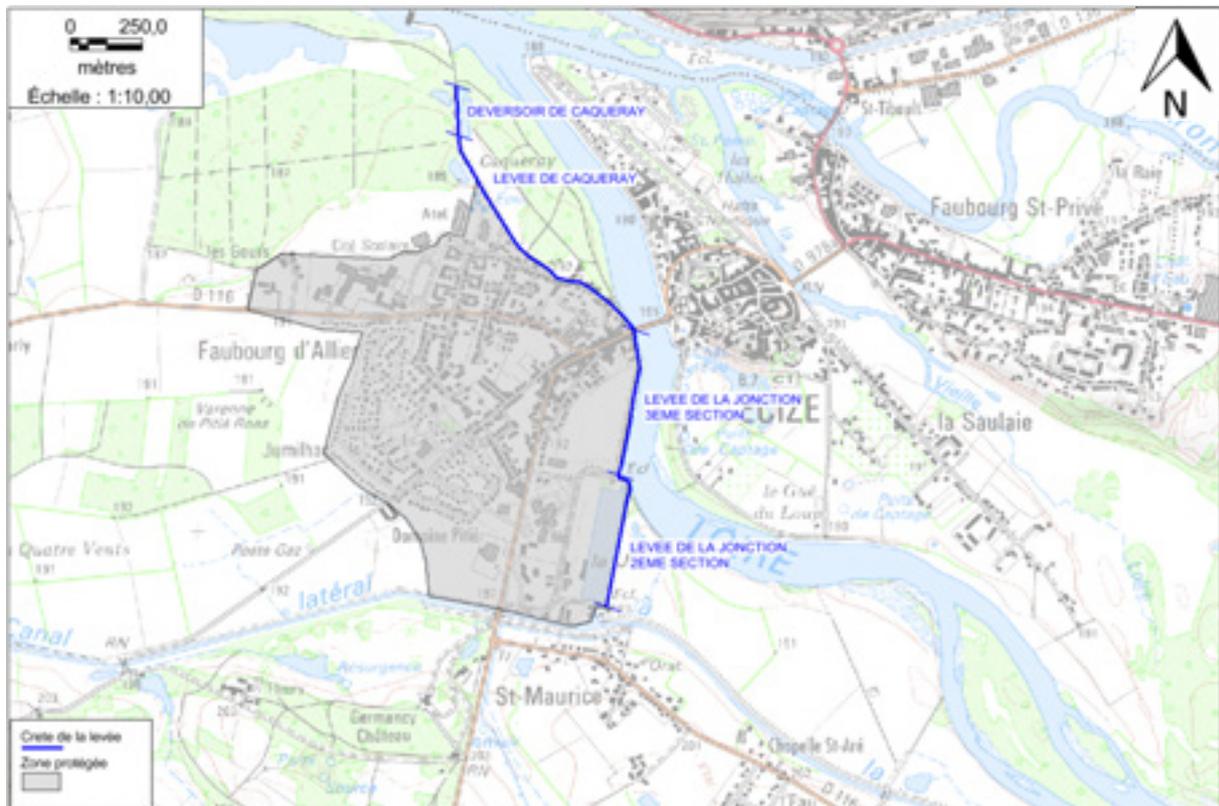


Figure 11 : Zone protégée du val de Decize

- les **ouvrages traversants** (canalisations d'assainissement des eaux pluviales, canalisations AEP, ...).
- le **déversoir** de Caqueray.
- la **Loire** le long de la digue.
- les **berges de Loire** le long de la digue.

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 de Decize 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 de Decize comptent 44 profils, allant de P20 à P64** (cf. cartes du chapitre 10).

Ce pas de 50m permet une description fine des levées du système de protection et correspond au degré de précision souhaité pour le remplissage de la base de données CARDigues. 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 XVIIIème siècle et le début du XVIIIème 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 XXème 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 Decize 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 levées de Nevers et de Decize est fournie dans le dossier de l'étude de dangers.

3.1.2.1 Localisation des levées du val de Decize

Les levées de Decize sont situées en rive gauche de la Loire. D'une longueur totale d'environ 3,7 km (en incluant la levée de la Jonction 1^{ère} section), elles s'étendent depuis l'écluse de Saulx jusqu'au déversoir du barrage de St-Léger-des-Vignes.

Le classement des levées de Decize est le suivant :

- Les levées de la Jonction 2^e et 3^e section 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 :

$$1000 < \text{population estimée} = \mathbf{2350 \text{ personnes}} < 50\,000$$

- La levée de la Jonction 1^e section n'est pas classée ;

- La levée de Caqueray n'est pas classée.

Les levées de la Jonction 2^e et 3^e section protègent la commune de Decize.

La levée de la Jonction 1^e section n'est pas incluse dans le système de protection ; le linéaire de digues du val de Decize est donc de **2,11 km**.

La largeur du val de Decize est de 1km environ (est-ouest) et sa longueur est de 1,5 km (nord-sud). Le val a une superficie de **120 hectares**.

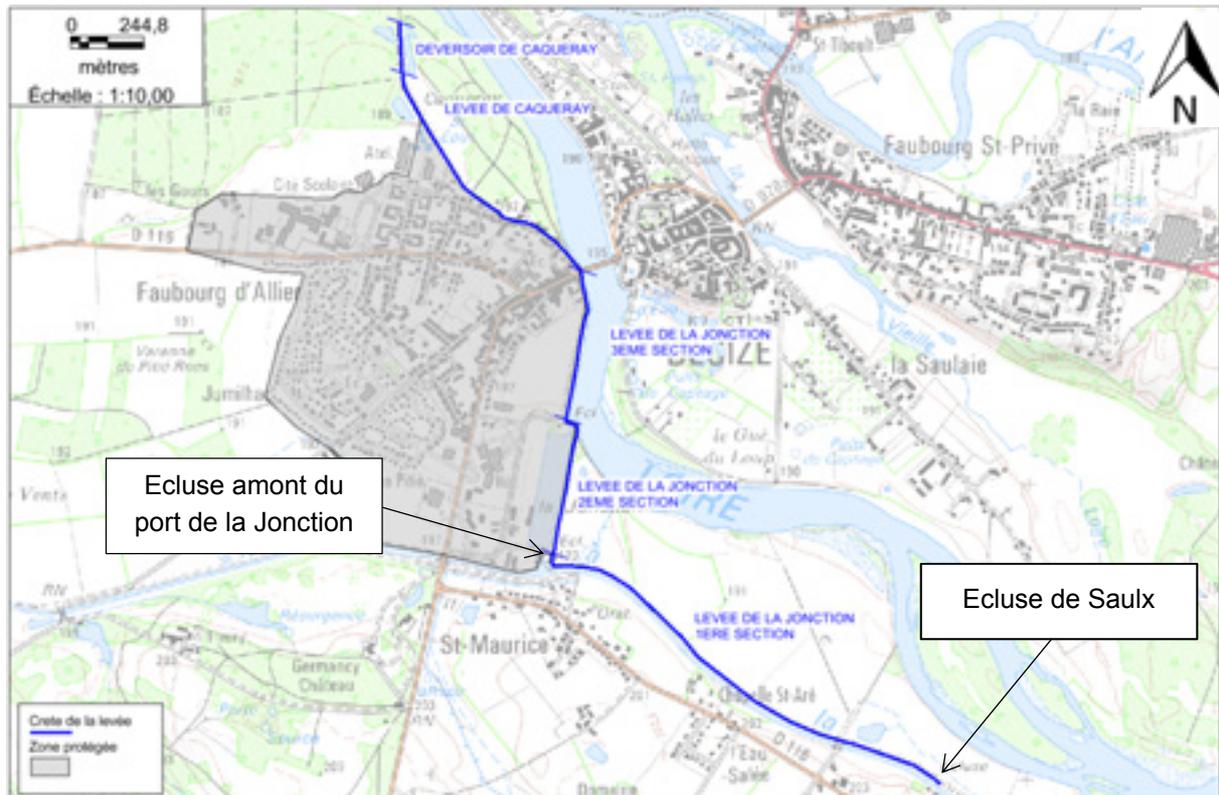


Figure 12 : Localisation du val de Decize

3.1.2.2 Caractéristiques des levées du val de Decize

Les levées de Decize forment un système de protection hétérogène. On différencie tout d'abord le **linéaire amont de la levée de Caqueray**, portion en zone urbaine qui se confond avec le val remblayé de Decize. Ce linéaire sera désormais défini comme « berges protégées ».

Le restant du linéaire présente les caractéristiques suivantes :

- **la levée de la Jonction 1^{ère} section**, qui s'étend de l'écluse de Saulx jusqu'au port de la Jonction, est une digue en terre, de 80 cm au maximum, située sur le chemin de halage du canal latéral à la Loire, côté Loire. Cette digue présente des discontinuités importantes avec notamment une zone sans merlon d'environ 40m de long (digue au niveau du chemin de halage). Cette levée n'est pas classée.
- **la levée de la Jonction 2^e section** (du profil P20 au profil P31) présente une banquette de hauteur homogène (1m), un talus côté Loire fortement végétalisé. Cette levée est classée (B).
- **la levée de la Jonction 3^e section** (du profil P32 au profil P42) ne présente pas de banquette et a un talus côté Loire perreyé sur l'ensemble du linéaire. La digue est en contact avec le lit vif de la Loire. Cette levée est classée (B).
- **la levée de Caqueray aval** (du profil P59 au profil P66) ne présente pas de banquette, elle est caractérisée par une crête de digue peu large (2m), un haut de talus perreyé et fortement végétalisés. L'extrémité aval de la digue correspond à un déversoir en béton. Cette levée n'est pas classée.

Le système de protection de Decize comprend donc 1 déversoir et présente également une discontinuité entre les levées de la Jonction 2^e et 3^e section (écluse).

Les autres liaisons entre les levées sont continues du fait de la présence de zones remblayées (voir analyse de la ligne de défense principale).

Les levées de Decize, en rive gauche de la Loire, sont de classe B (levées de la Jonction 2^e et 3^e section) ou non classées (levée de la Jonction 1^e section et levée de Caqueray).

Comme la plupart des levées de la Loire, les formes actuelles des levées de Decize résultent de nombreux travaux d'exhaussement et de renforcement successifs faisant suite aux évènements 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 Decize a une longueur de 2,11 km. Elle correspond à la ligne formée par les levées de la jonction 2^e et 3^e section et la levée de Caqueray.

La ligne de défense principale ne prend pas en compte la levée de la Jonction 1^{ère} section. En effet, compte-tenu des discontinuités observées, elle n'a aucun rôle de protection et n'est donc pas incluse dans le système de protection du val de Decize.

Le raccord amont se fait donc au niveau de l'écluse amont de la jonction ; le val est fermé en amont. Le raccord aval se fait juste à l'aval du déversoir (Caqueray aval) ; le val est ouvert à l'aval et l'eau de la Loire peut pénétrer dans le val par remous.

La ligne de défense principale (à l'amont de la levée de Caqueray) se confond avec les berges protégées du val remblayé de Decize sur lequel est regroupé une majorité de la population de Decize.

La délimitation de cette zone remblayée résulte :

- du traitement du MNT : deux classes sont différenciées selon la cote la plus basse de la crête de digue sur ce linéaire de berges protégées de 191,5mNGF (cf Figure 5),
- de l'exploitation des profils en travers.

La zone remblayée à la cote minimale de 191,5mNGF se distingue au droit des profils 42 à 51. Au-delà de cette zone remblayée, une plateforme est encore présente des profils 52 à 59. Ceci est mis en évidence par l'exploitation des profils en travers concerné et le diagnostic terrain. L'ensemble du linéaire (profil 42 à 59) sera ainsi caractérisé de « berge protégée ».



Figure 13 : Traitement du MNT pour la délimitation de la zone remblayée

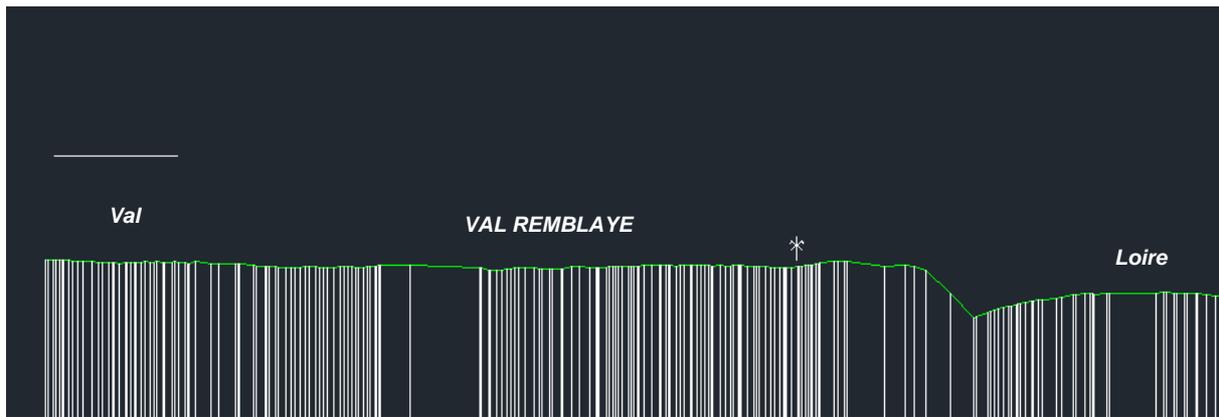


Figure 14 : Profil en travers illustrant la présence d'un val remblayé au droit de la levée de Caqueray amont

Un ouvrage particulier est inclus dans la ligne de défense principale. Il s'agit des portes de garde côté Loire de l'écluse de la Jonction. Une autre écluse est située en amont du port de la Jonction, à proximité directe du canal latéral à Loire.

Les écluses permettent de faire le lien entre le canal latéral à la Loire et le canal du Nivernais un peu plus en aval (à 2km via la Loire).

Les portes de garde sont manœuvrées en cas de crue de la Loire pour éviter toute intrusion d'eau dans le port.



Figure 15 : Portes de garde côté Loire de l'écluse de la Jonction (Source : Egis Eau)

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 sont principalement 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. Elles identifient les ouvrages secondaires présents.

Ouvrages retenus

L'ouvrage secondaire retenu est la rue de la jonction qui se trouve surélevée par rapport au port et peut participer à la protection du val en cas de brèche dans la levée de la jonction 2^e section.

Ouvrages non retenus

Les ouvrages structurants qui ne sont pas intégrés dans le système de protection constituent des éléments extérieurs zone protégée ou cours d'eau.

La route de Moulins (D978a) et la rue des quatre vents sont également en remblai (cotes de 192 à 192.5 mNGF). Néanmoins, compte tenu de leur caractère discontinu (ils ne traversent pas la zone protégée), ils ne peuvent être considérés comme des ouvrages secondaires.

Le canal latéral à la Loire est également un ouvrage en remblai, qui présente une continuité par rapport aux levées de Decize. Le niveau du chemin de halage est de 193,2 mNGF en aval à 193,9 mNGF en amont. Néanmoins, il n'a qu'une faible influence dans les scénarios d'inondations du val protégé. En effet, le chemin de halage est à un niveau équivalent à la crête de la levée de la Jonction 2^{ème} section et est supérieur au niveau de la crête de la levée de Caqueray. En cas de surverse au-dessus du canal (pour une crue T170), entraînant un débordement de ce dernier dans le port puis dans le val, le val de Decize serait déjà inondé par un début de surverse au-dessus des autres levées ainsi que par remous. La sur-inondation provoquée sera minime et ne changera pas l'impact des scénarios d'inondation.

Le canal latéral à la Loire n'est pas retenu comme un ouvrage secondaire. C'est un élément extérieur à la zone protégée.

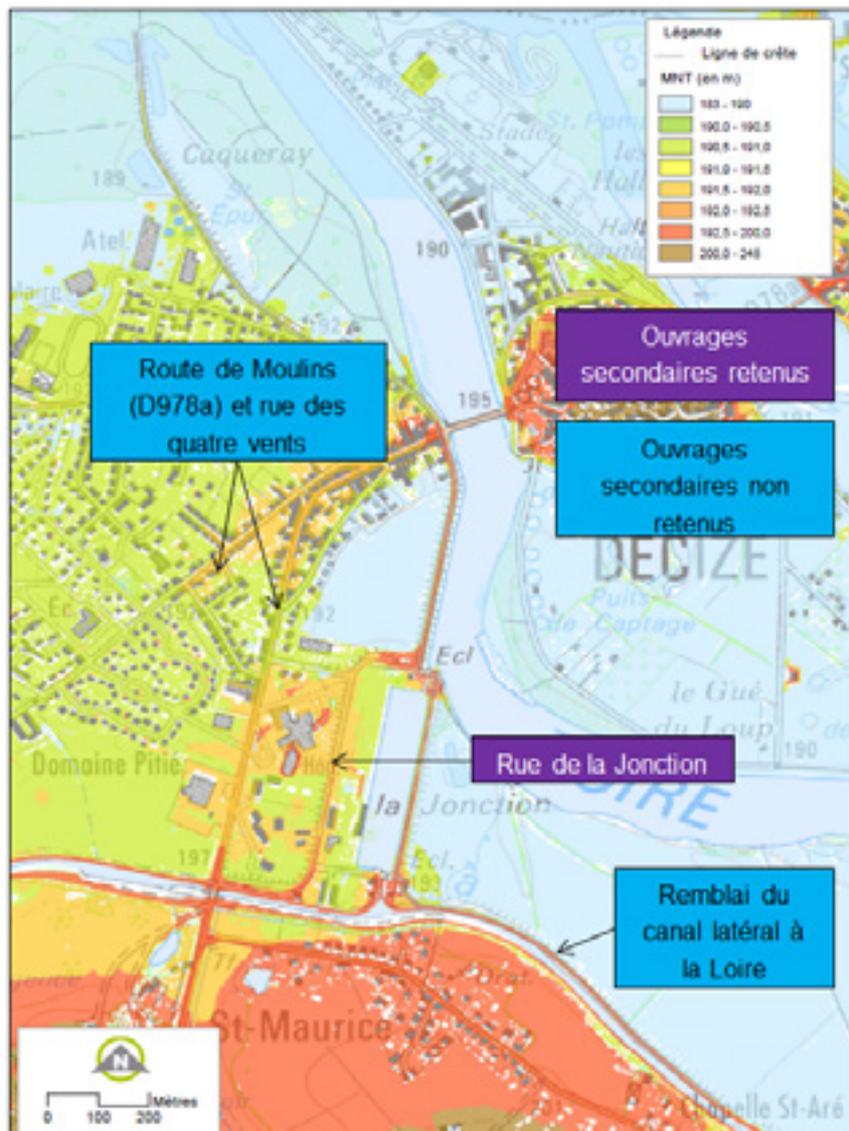


Figure 16 : Ouvrages secondaires retenus et non retenus du val de Decize

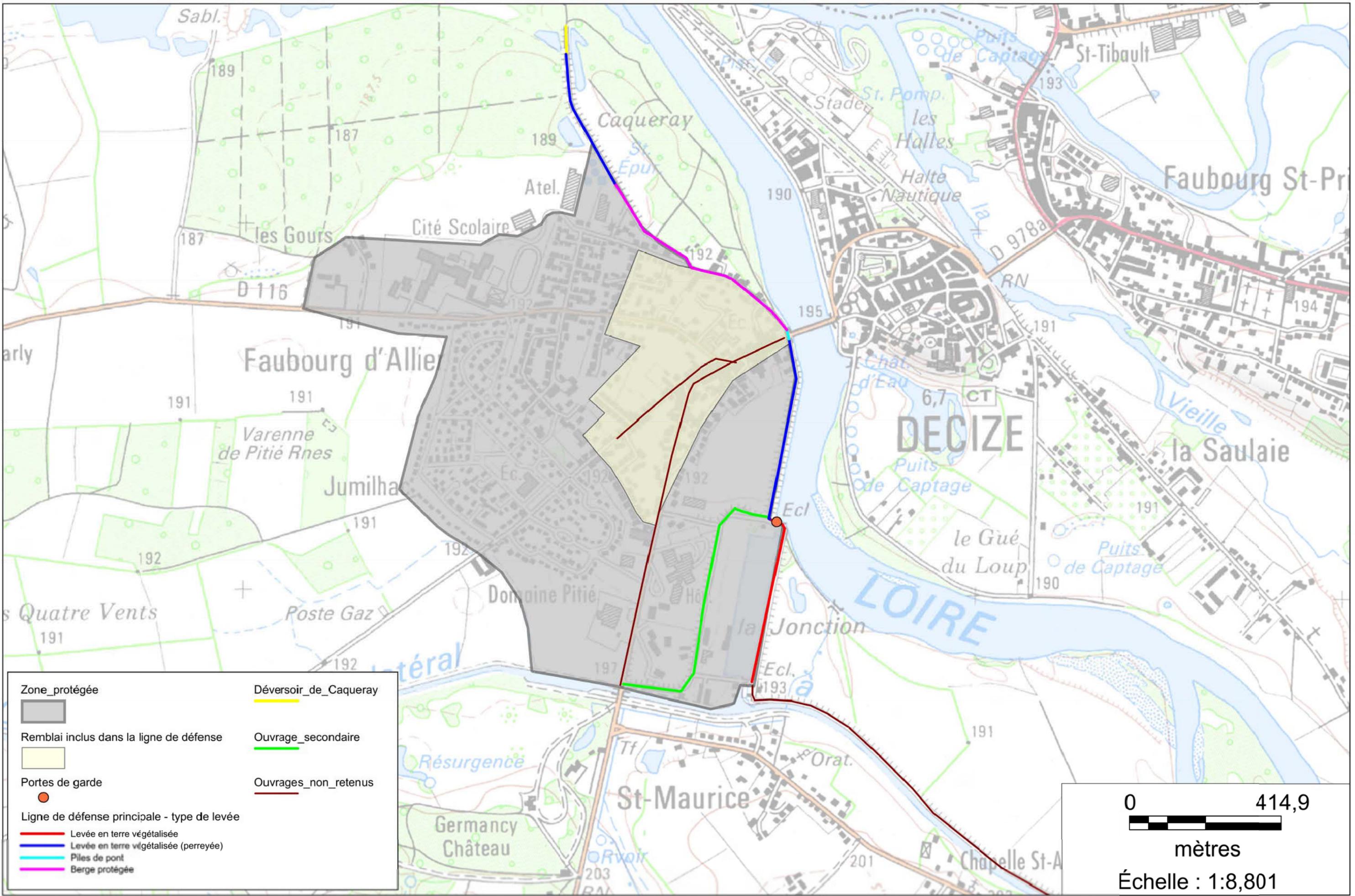
La ligne de défense principale du val de Decize est une ligne continue composée des levées de Sermoise 2^e et 3^e section, de berges protégées sur un linéaire de 600m au droit du val remblayé (levée de Caqueray amont) et de la levée de Caqueray aval.

La levée de la Jonction 1^e section n'est pas incluse dans le système de protection.

La rue de la Jonction constitue également un ouvrage secondaire.

Des remblais routiers discontinus ont été identifiés localement ; ils ne seront pas retenus comme ouvrages secondaires.

Le canal latéral à la Loire n'est pas retenu comme ouvrage secondaire.



Ligne de défense principale du val de Decize

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.

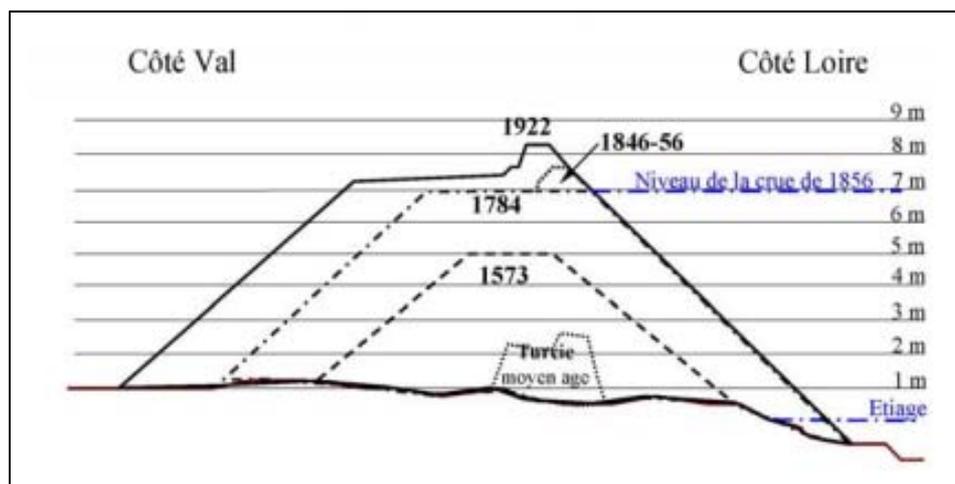


Figure 18 : Evolution des profils en travers « type » des levées de la Loire au début du XXème siècle (Source : R.Dion, 1934)

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 (définit à ce stade par ses limites, sa configuration et la nature des enjeux potentiellement exposés qu'elle contient).

Le système endigué du val de Decize 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 des levées de Decize rive gauche et en rive droite par les coteaux de la Loire.

La zone protégée est délimitée par le remblai du canal latéral de la Loire au Sud, par le système de protection du val de Decize à l'Est, et par la bordure de la zone urbanisée à l'Ouest et au Nord.

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

La description du val de Decize dans le modèle HydraRiv de prévision de crue (LGN) a fait l'objet d'une mise à jour par Egis Eau (cf. étude sur la modélisation hydraulique S01). L'analyse fonctionnelle hydraulique repose sur les résultats de plusieurs scénarios de crue testés.

3.2.1.1 Méthode

Niveau de protection de la levée

Dans un premier temps, il a été analysé le niveau de protection de la levée de Decize sur l'ensemble de son linéaire, soit 2,11 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, six crues de périodes de retour 50 ans, 70 ans, 100 ans, 170 ans, 200 ans, 500 ans ont été modélisées sous HydraRiv. 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, écluses). 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 la levée de Decize sont les suivants :

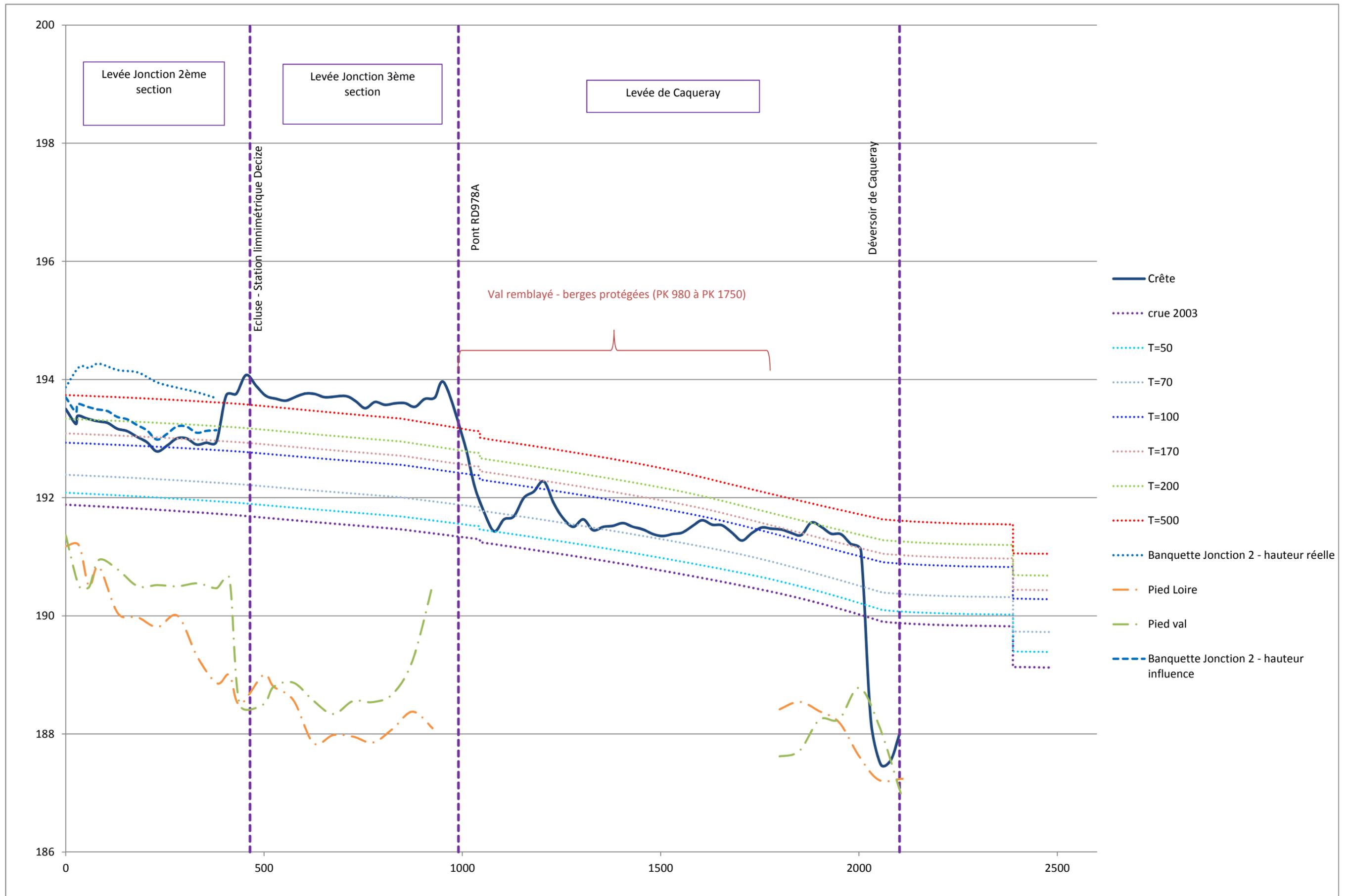
- Digues,
- Déversoir,
- Porte de garde d'écluse,
- Remblais sans vocation de protection.

Tableau 4: 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 amont 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 amont 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	Écrire 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 amont 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 de la levée de Decize

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



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

La levée de la Jonction 2^e section présente une rehausse de type banquette en terre sur l'ensemble de son linéaire. Cette banquette a une hauteur moyenne de 1m. Des entailles, faites lors de l'installation des bancs, ont été constatées. De nombreuses souches ont également été recensées sur cette banquette.



Figure 20 : désordres recensés sur la banquette de la levée de la jonction 2^e section (Egis Eau, 2014)

Compte tenu de l'état moyen de la banquette de la levée de la jonction 2^e section, seule une hauteur d'influence de 20cm est retenue pour la définition du niveau de protection apparent.

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.

Sur les levées du val de Decize, les zones de surverses « réelles » ou « théoriques » sont identifiées par juxtaposition des profils en long des lignes d'eau modélisées avec :

- la crête de digue extraite du MNT dans le cas des levées de la Jonction 3^{ème} section et Caqueray (absence de banquette). Il s'agit dans ce cas de surverses réelles,
- la crête de digue rehaussée de 20cm dans le cas de la levée de la jonction 2^{ème} section, pour laquelle une hauteur d'influence de la banquette de 20cm a été retenue. Il s'agit dans ce cas de surverses théoriques.

Les zones de surverse identifiées sur les levées de Decize sont les suivantes :

- Une **zone de surverse « réelle » à T50** (ligne bleue claire sur le graphique ci-dessus) est localisée au niveau du déversoir de Caqueray (du PK 2007 à PK 2102).

Le niveau de protection apparent retenu est : $Q < T50$.

- Deux **zones de surverse T170** (ligne beige sur le graphique ci-dessus) sont localisées au niveau des secteurs suivants :
 - Au PK230 sur la levée de la Jonction 2^e section : il s'agit d'une surverse « théorique » initiée par rupture de la banquette,
 - Secteur en aval de la station d'épuration (PK 1750 à PK 1858) : il s'agit d'une surverse « réelle ».

Le niveau de protection apparent retenu est : $T100 < Q < T170$

- Deux **zones de surverse T200** (ligne rose sur le graphique ci-dessus) sont localisées au niveau des secteurs suivants :
 - Secteur en amont de l'écluse de Decize (PK 201 à PK 400) : il s'agit d'une surverse « théorique » initiée par rupture de la banquette,
 - Secteur en amont du déversoir de Caqueray (PK 1858 à PK 2007) : il s'agit d'une surverse « réelle ».

Le niveau de protection apparent retenu est : $T170 < Q < 200$

- Une **zone de surverse T500** (ligne verte sur le graphique ci-dessus) est localisée sur le secteur amont de la levée de la Jonction 2^{ème} section (PK 0 à PK 201) : il s'agit d'une surverse « théorique » initiée par rupture de la banquette,

Le niveau de protection apparent retenu est : $T200 < Q < 500$.

- Aucune surverse n'est constatée entre les **PK 400 et 980** (levée de la Jonction 3^e section), le **niveau de protection apparent est donc supérieure à la T500** sur ce linéaire.

L'amont de la levée de Caqueray (du PK 980 au PK 1750), caractérisé de « berges protégées », est étudié indépendamment. Le val étant remblayé sur ce secteur, le niveau de protection est peu significatif. Ce linéaire est écarté de l'analyse fonctionnelle hydraulique. A titre indicatif, on retient les niveaux suivants :

- $T70 < Q < T100$ entre les PK 980 et 1043 (en aval du pont de la D978a). Le niveau de protection est ici difficile à déterminer. Ce niveau de protection moyen est donc retenu.
- $T50 < Q < T70$ entre les PK1043 et PK1120,
- $T70 < Q < T100$ entre les PK 1120 et 1750.

3.2.1.3 Décomposition en sous-systèmes homogènes

Suite à la description du système de protection du val de Decize, différents éléments (tronçons de levée : levée et objets ponctuels : remblais routiers, ouvrages mobiles...) 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 Decize, le découpage selon les fonctions hydrauliques types aboutit à la mise en évidence des sous-systèmes suivants :

- Levée (rôle n°1)
- Déversoir (rôle n°1, 3 et 6)
- Ecluse (rôle n°9)
- Remblais sans vocation de protection (rôle n°9)

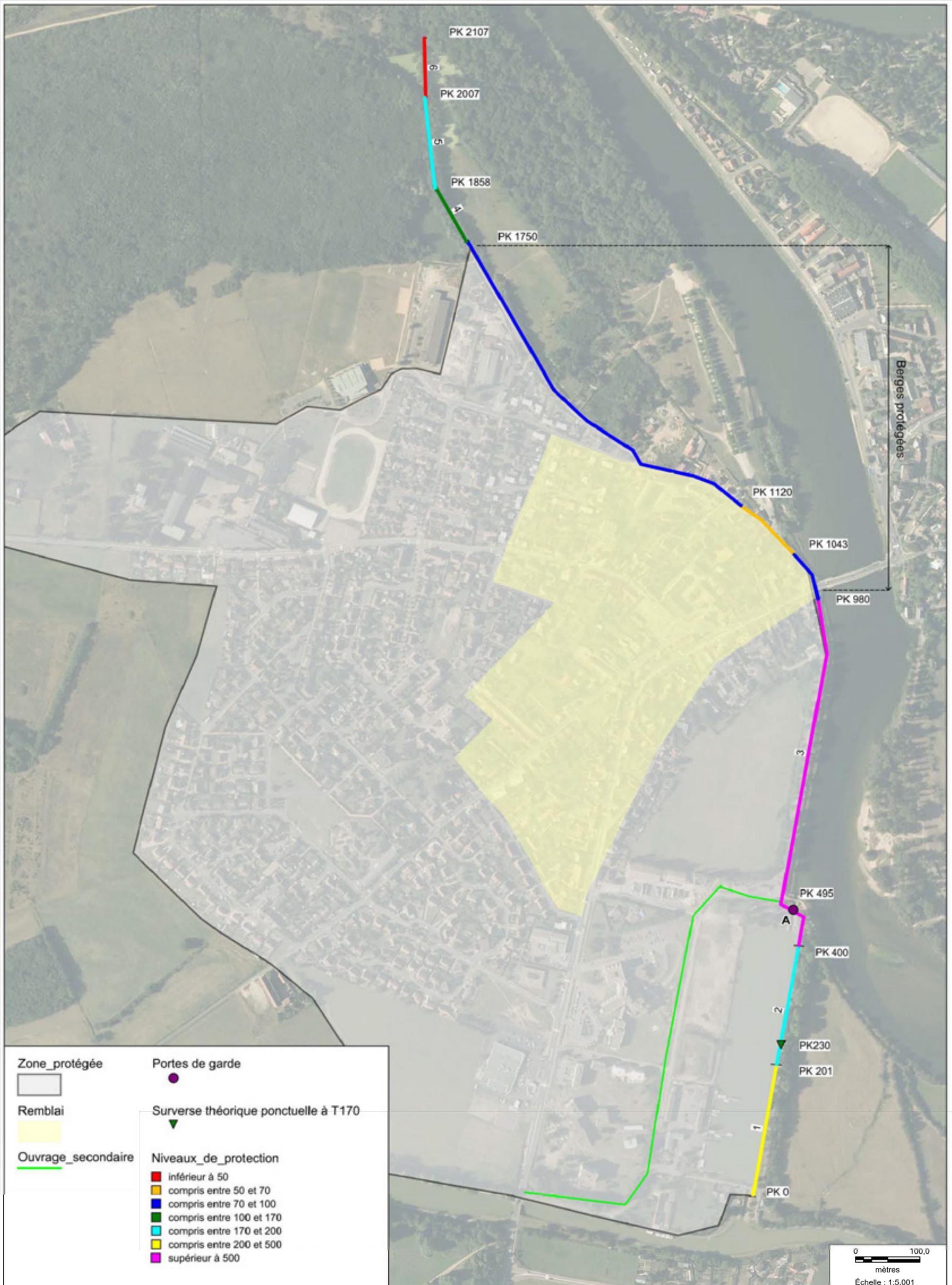
Tableau 5 : Analyse hydraulique des sous-systèmes composant le système de protection de Decize

N° tronçon	N° objet ponctuel	Sous-systèmes	Fonctions hydrauliques	Caractéristiques
1		Levée de la jonction 2 ^{ème} section	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête et banquette Linéaire : PK 0 à 201 Niveau de protection apparent : crête + Hib* Protection : 200 < Q < 500 ans
2		Levée de la jonction 2 ^{ème} section	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête et banquette Linéaire : PK 201 à 400 Niveau de protection apparent : crête + Hib* Protection : 170 < Q < 200 ans
	A	Portes de garde (écluse du port de Decize)	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)	Localisation : PK 495 Altitude point bas : 188,5 mNGF Altitude point haut : 193 mNGF
3		Levée de la jonction 3 ^{ème} section	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête Linéaire : PK 400 à 980 Niveau de protection apparent : crête Protection : Q > 500 ans Physique : Supporte chemin de service
4		Levée de Caqueray	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête Linéaire : PK 1750 à 1858 Niveau de protection apparent : crête Protection : 100 ans < Q < 170 ans
5		Levée de Caqueray	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée.	Composition : crête Linéaire : PK 1858 à 2007 Niveau de protection apparent : crête Protection : 170 ans < Q < 200 ans
6		Déversoir de Caqueray	1. Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée. 2. Contrôler les inondations dans la zone protégée ou le casier situé en arrière du tronçon, après dépassement de sa crête	Localisation : en aval de la levée de Caqueray Linéaire : PK 2007 à 2102 Protection / Niveau de crête : Q < 50 ans Parties amovibles : aucune
7		Remblai sans vocation de protection	9. Fractionner hydrauliquement le territoire et influencer la propagation de l'eau dans la zone protégée	Niveau du remblai : 193 mNGF Longueur impactant ouvrage : 550 m Rôle : Rue de la Jonction

*Hib = hauteur d'influence de la banquette, de 20cm sur la levée de la Jonction 2^{ème} section

Une carte résumant l'ensemble des niveaux de protection est présentée ci-après.

Sur cette carte, les tronçons de levées de niveaux de protection 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 ci-dessus. Le type de levée en présence (terre végétalisée, mur en pierre...) est également précisé.



Zone protégée [Grey box]	Portes de garde [Purple dot]
Remblai [Yellow box]	Surverse théorique ponctuelle à T170 [Green triangle]
Ouvrage secondaire [Green line]	Niveaux de protection
	[Red box] inférieur à 50
	[Orange box] compris entre 50 et 70
	[Blue box] compris entre 70 et 100
	[Green box] compris entre 100 et 170
	[Cyan box] compris entre 170 et 200
	[Yellow box] compris entre 200 et 500
	[Magenta box] supérieur à 500

Sur le val de Decize, les premières surverses ont lieu pour une crue de période de retour 50 ans au niveau du déversoir de Caqueray.

Les premières surverses sur les levées de Decize (hors berges protégées et déversoir) se font pour une crue de période de retour 170 ans, au niveau de la levée de la Jonction 2^{ème} section (surverse théorique ponctuelle au PK230) et de la levée de Caqueray (PK 1750 à PK 1858).

Les niveaux de protection correspondant à chacun des sous-systèmes identifiés sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Niveaux de protection apparents des sous-systèmes de protection de Decize (hors berges protégées)

Niveau de protection	Hauteurs d'eau estimée à l'échelle de Decize (m)	Sous-systèmes concernés
Q<50	$h < 5,48$	6 (PK 2007 à 2102) – déversoir de Caqueray
100<Q<170	$6,34 < h < 6,5$	Profil 26 (Surverse ponctuelle au PK 230) 4 (PK 1750 à 1858)
170<Q<200	$6,5 < h < 6,75$	2 (PK 201 à 400) et 5 (PK 1858 à 2007)
200<Q<500	$6,75 < h < 7,15$	1 (PK 0 à 201)
Q>500	$h > 7,15$	3 (PK 400 à 980)

*Les berges protégées correspondent aux PK 980 à 1750.

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 893ml (levée du canal de la Jonction et levée de Caqueray aval) ;
 - mesures par **radar de surface** sur 900ml (levée du canal de la Jonction et levée de Caqueray aval) ;
 - mesures par **tomographie électrique de résistivité** (1 panneau électrique sur 205ml sur la levée du canal de la Jonction).
- Résultats des investigations géotechniques 2015, à savoir :
 - 4 sondages au pénétromètre statique à 10m de profondeur (ou jusqu'au refus) au niveau des profils 27, 37, 60 et 61-62 ;
 - 3 sondages carottés à 12m de profondeur au niveau des profils 22,29 et 39, suivis d'essais en laboratoire (analyses GTR);
- 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 la levée de la Jonction 3^e section ;
- Résultats de la campagne géotechnique réalisée par SOGREAH en 2002, à savoir :
 - 1 sondage carotté (SC5) avec prélèvements d'échantillons intacts,
 - 2 essais de perméabilité Lefranc,
 - 1 piézomètre posé dans le sondage carotté réalisé,
 - 3 essais d'identification en laboratoire ;
- Les données existantes disponibles sur la Banque du Sous-Sol.

La localisation des sondages géotechniques est donnée page suivante.



Crete_Decize
Profils_en_travers
Sondages_Hydrogeotechnique2015
● Sondages carottés (3)
● Pénétrètres (4)
Sondage_Sogreah2002
● Sondage carotté (1)

Les résultats des mesures d'EM31 permettent de vérifier la qualité des matériaux du corps de digue et d'établir un zonage de celle-ci par secteurs homogènes. Les mesures radar et par panneau électrique permettent d'apprécier la structure de la digue. Les résultats des 3 différentes méthodes géophysiques semblent bien se corrélérer. Un exemple de corrélation entre ces résultats est donné ci-dessous.

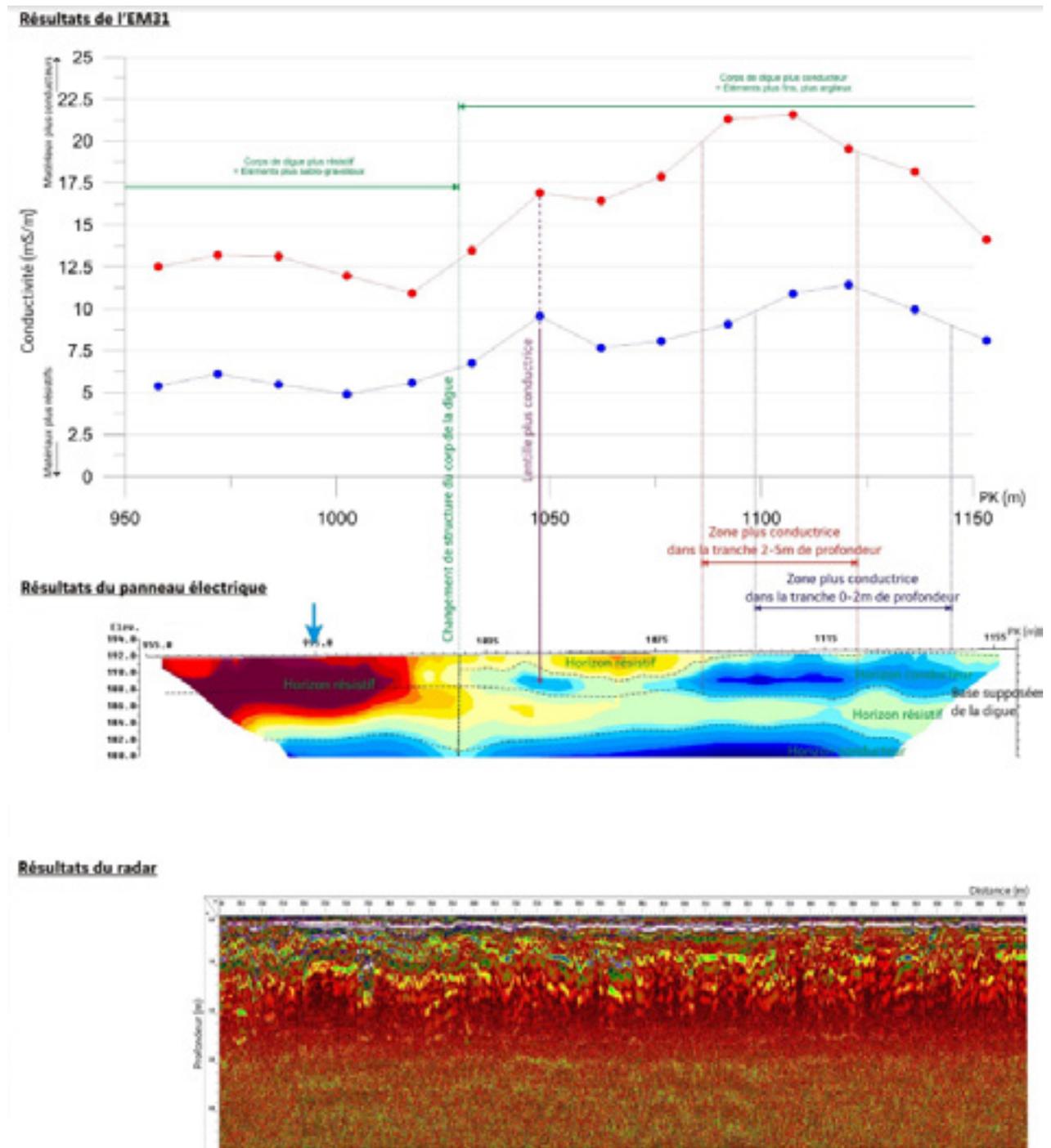


Figure 23 : Résultats EM31, panneau électrique et radar sur la levée de la Jonction 2^e section

Dans un second temps, les résultats des sondages géotechniques sont étudiés. La composition précise de la levée et les caractéristiques des sols en présence (épaisseur des couches lithologiques, types de matériaux, perméabilité) sont obtenues.

Une corrélation entre les résultats des sondages géotechniques et de la campagne géophysique est également mise en évidence. Par exemple, le sondage SC4 qui a été réalisé aux alentours du PK920 (Profil 23) présente une structure de digue sablo-graveleuse (corps de digue plus résistif) et le sondage SC3, réalisé aux alentours du PK1200 présente une structure d'argile sableuse ou sable argileux (éléments fins, corps de digue plus conducteur). Ces deux sondages sont chacun caractéristiques d'une zone homogène identifiée par les investigations géophysiques présentées ci-dessus.

Ainsi, les résultats obtenus ponctuellement par les investigations géotechniques peuvent être interpolés selon les linéaires de composition homogène identifiés lors de la campagne géophysique.

Les résultats du radar permettent, par ailleurs, d'identifier des zones d'excavation dans le corps de digue. Celles-ci peuvent correspondre à d'anciennes brèches, recensées lors de l'étude historique du val. Deux exemples sont présentés ci-dessous :

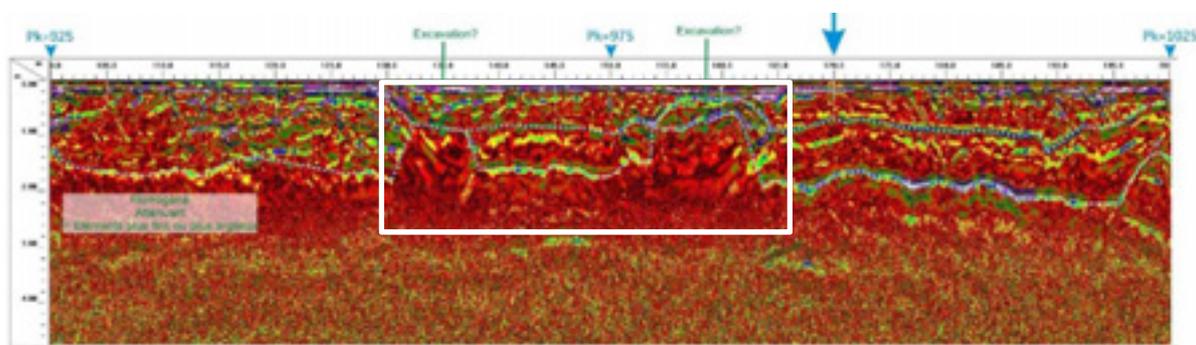


Figure 24 : Position supposée de la brèche de 1846 sur la levée de la Jonction 2^e section au niveau du profil 24 (résultats radar, rapport géophysique, SOLDATA 2014)

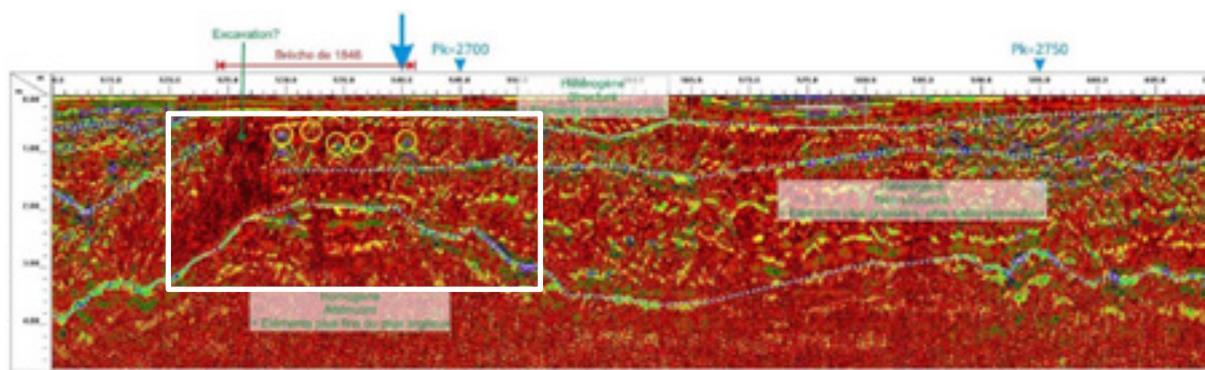


Figure 25 : Localisation de la brèche de 1846 sur la levée de Caqueray au niveau du profil 61-62 (résultats radar, rapport géophysique, SOLDATA 2014)

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 7 : 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 de Decize 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 :

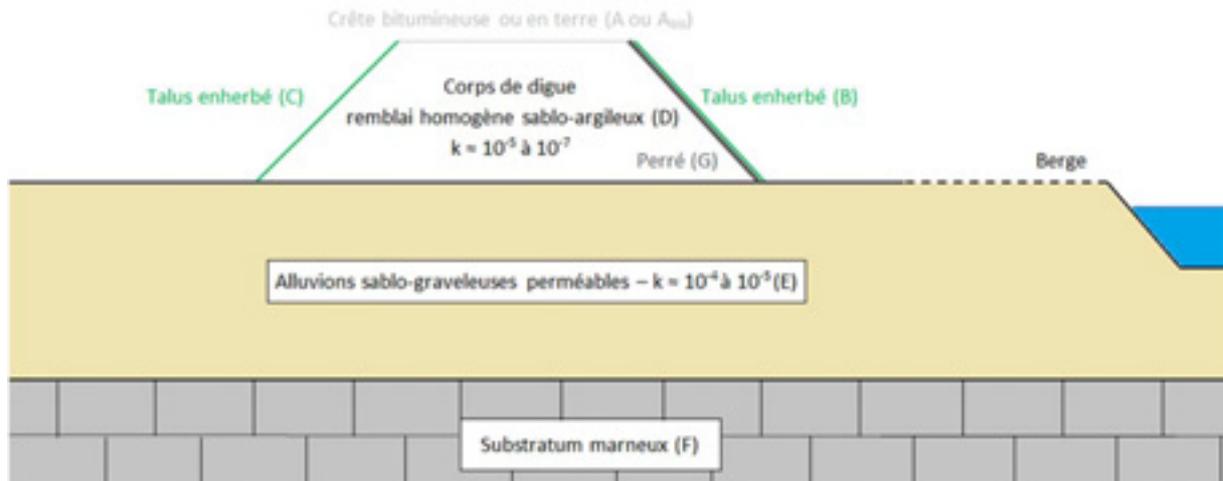


Figure 26 : Profil non renforcé sans assise imperméable (F1)

Tableau 8 : 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 de la partie amont de la levée de la Jonction 2^{ème} section (profils 20 à 25).

- Profil non renforcé, avec assise imperméable :

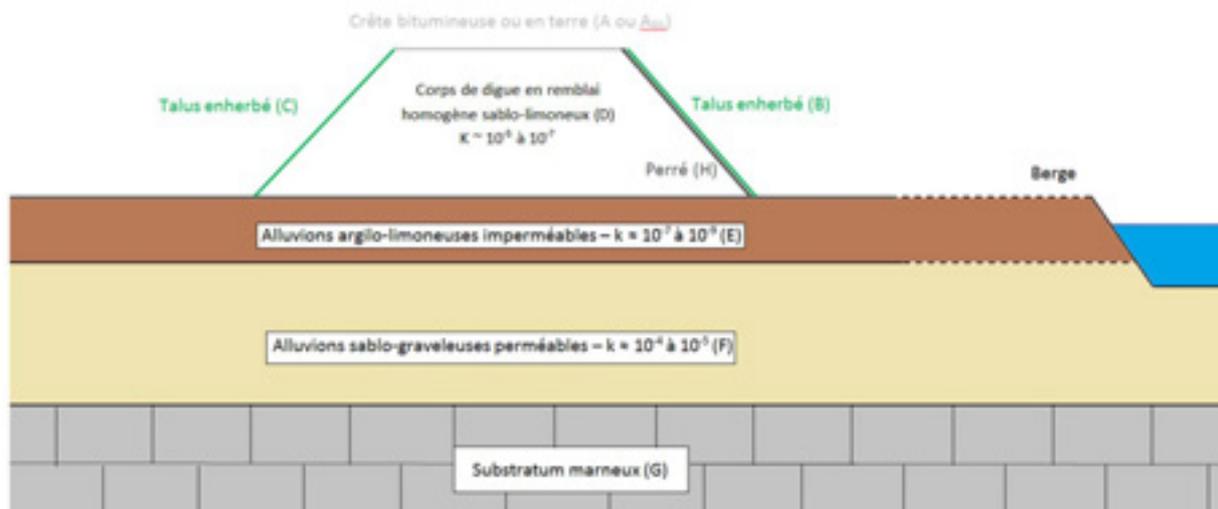


Figure 27 : Profil non renforcé, avec assise perméable (F1)

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 du restant du linéaire : levée de la Jonction 2^{ème} section aval (profil 26 à 30), levée de la Jonction 3^{ème} section et levée de Caqueray aval.

L'ensemble des levées constituant la ligne de défense principale du val de Decize ont un profil non renforcé (F1). Une assise imperméable sous le corps de digue est présente sur la quasi-totalité du linéaire de digue. Seuls les profils 20 à 25 ne présentent pas d'assise imperméable.

3.2.3 Désordres constatés dans les systèmes de protection

3.2.3.1 Ouvrages inclus

Au total, **12 ouvrages inclus (hors bâtiments encastrés)** ont été recensés dans les levées de Decize, dont 1 conduite, 1 écluse au droit du port de Decize, 1 vanne et 1 ouvrage non défini. Il s'agit d'ouvrages repérés lors des VTA et/ou recensés suite à l'analyse des Déclarations de projet de Travaux (DT).



Figure 28 : Exemple d'ouvrages inclus : écluse du port de Decize et vanne (Source : Egis Eau, 2014)

Les ouvrages traversants 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).

A ces ouvrages s'ajoutent les bâtiments encastrés dans le corps des levées de Decize, 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 **16 maisons encastrées** implantées principalement sur la partie remblayée de la levée de Caqueray. 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 DT ont permis de mettre en évidence un important réseau de conduites enrobées ERDF, de conduites de gaz GRDF et des canalisations souterraines au niveau de la STEP de Caqueray.



Figure 29 : Maisons encastées sur la levée de la Jonction 3^e section

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



Ecluses ★	Batiments encastrés (VTA 2013 Egis Eau) 🏠
Corps étrangers (objet non identifié présent en talus Loire) +	Vannes Decize (VTA 2013 Egis Eau) ■
Clôtures (talus val) ---	Conduites Decize (VTA 2013 Egis Eau) ●



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 recensés (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.

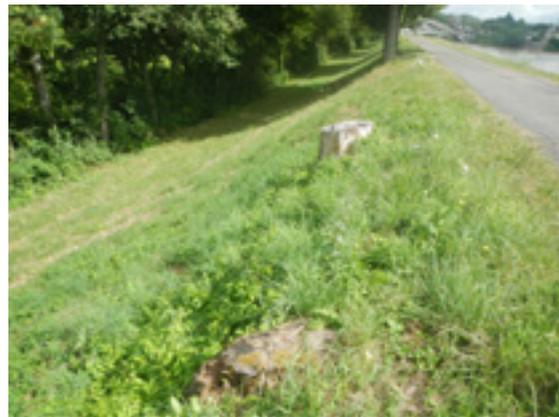
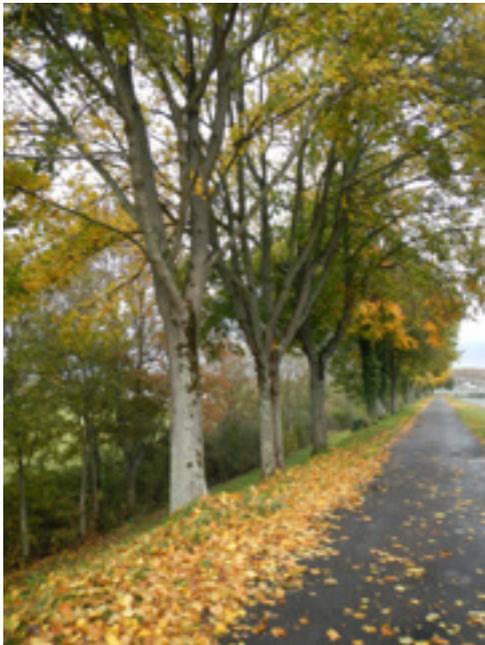


Figure 31 : Alignement d'arbres et souches sur la levée de la Jonction 3^e section (haut) et végétation dangereuse sur la levée de Caqueray aval (bas) (photos : Egis Eau, 2013)

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 des systèmes de protection de Decize.

Au niveau de Decize, il est délimité en rive gauche par la ligne de défense des levées de Decize rive gauche et en rive droite par les coteaux de la Loire.

A Decize, la Loire dessine quelques sinuosités. Les caractéristiques du cours d'eau sont les suivantes :

- Le lit majeur de la Loire a une largeur moyenne de 3 km ;
- Le lit endigué à une largeur qui varie entre 120 et 500 m ;
- Le lit vif a une largeur moyenne de 130 m.

Les levées de Decize 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.

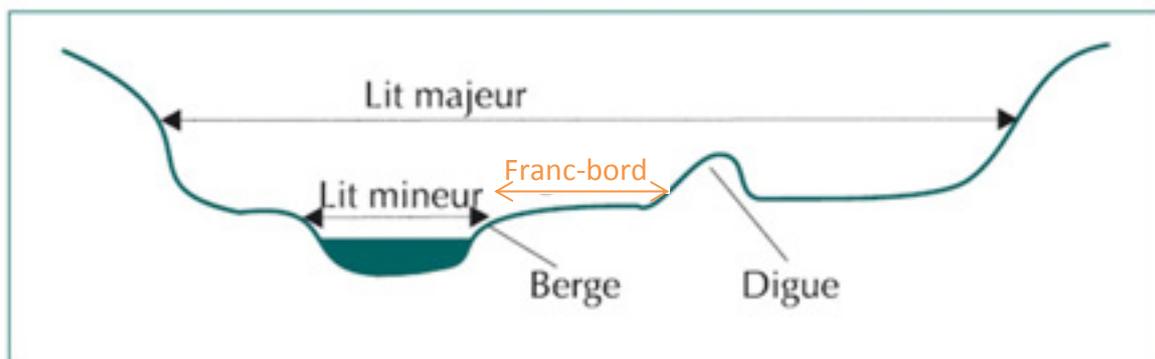


Figure 32 : Schéma localisant le « franc-bord »

Un franc-bord est présent sur 75% du linéaire des levées du système de protection de Decize. Sa largeur varie de 20 m (au droit de l'écluse du port de la Jonction) à 300 m (au droit de la levée de Caqueray, secteur médian). 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.

Les tronçons en contact direct avec la Loire sont quant à eux davantage sollicités. En effet, les pieds de talus peuvent être soumis à d'importantes érosions, pouvant fortement dégrader les levées. C'est le cas sur la levée de la Jonction 3^e section où ont pu être observés des affouillements en pied de berge/digue et une dégradation des dispositifs de renforcement du pied (perré maçonné). Ce pied est d'autant plus sollicité de par son positionnement en extrados de méandre. En effet, ces différents méandres dessinés par la Loire sont caractérisés par des dépôts en intrados et des érosions de berges en extrados.

Par ailleurs, le barrage de Saint Léger des Vignes, situé au nord de Decize influence la morphodynamique de la Loire, en favorisant le dépôt sédimentaire de part et d'autre du déversoir de sécurité et l'érosion à l'aval de la chute d'eau. Suite à l'analyse diachronique de cartes, il peut être supposé que lors de crues, l'eau vient à déplacer les dépôts situés en pied du déversoir plus en aval du barrage, créant des zones de rétrécissement du lit mineur.

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

Tableau 9 : Risques liés à l'évolution morphologique du lit de la Loire

Evolutions morphologiques qui influent sur la stabilité du système d'endiguement	Risque	Entretien nécessaire
Végétalisation de bancs sédimentaires situés en rive gauche	<ul style="list-style-type: none"> - Risque moindre de dynamique latérale rive gauche et donc augmentation de l'aléa de rupture par érosion du pied de digue - Risque moyen 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. Le franc-bord est de largeur importante au niveau de ces rétrécissements. 	Surveillance
Végétalisation de bancs sédimentaires situés en rive droite	<ul style="list-style-type: none"> - Risque élevé de dynamique latérale rive gauche → augmentation de l'aléa de rupture par érosion du pied de digue - Risque moyen à 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. 	Surveillance de l'évolution de la sédimentation en intrados de méandre rive droite Remise en état du renforcement béton du pied de berge/digue en rive gauche
Exhaussement sédimentaire	<ul style="list-style-type: none"> - Risque faible pour le système d'endiguement qui se trouve en amont du barrage Saint Léger des Vignes 	Surveillance

La carte page suivante illustre les observations majeures liées à l'étude spécifique sur l'évolution de la morphologie au droit des levées de Decize.

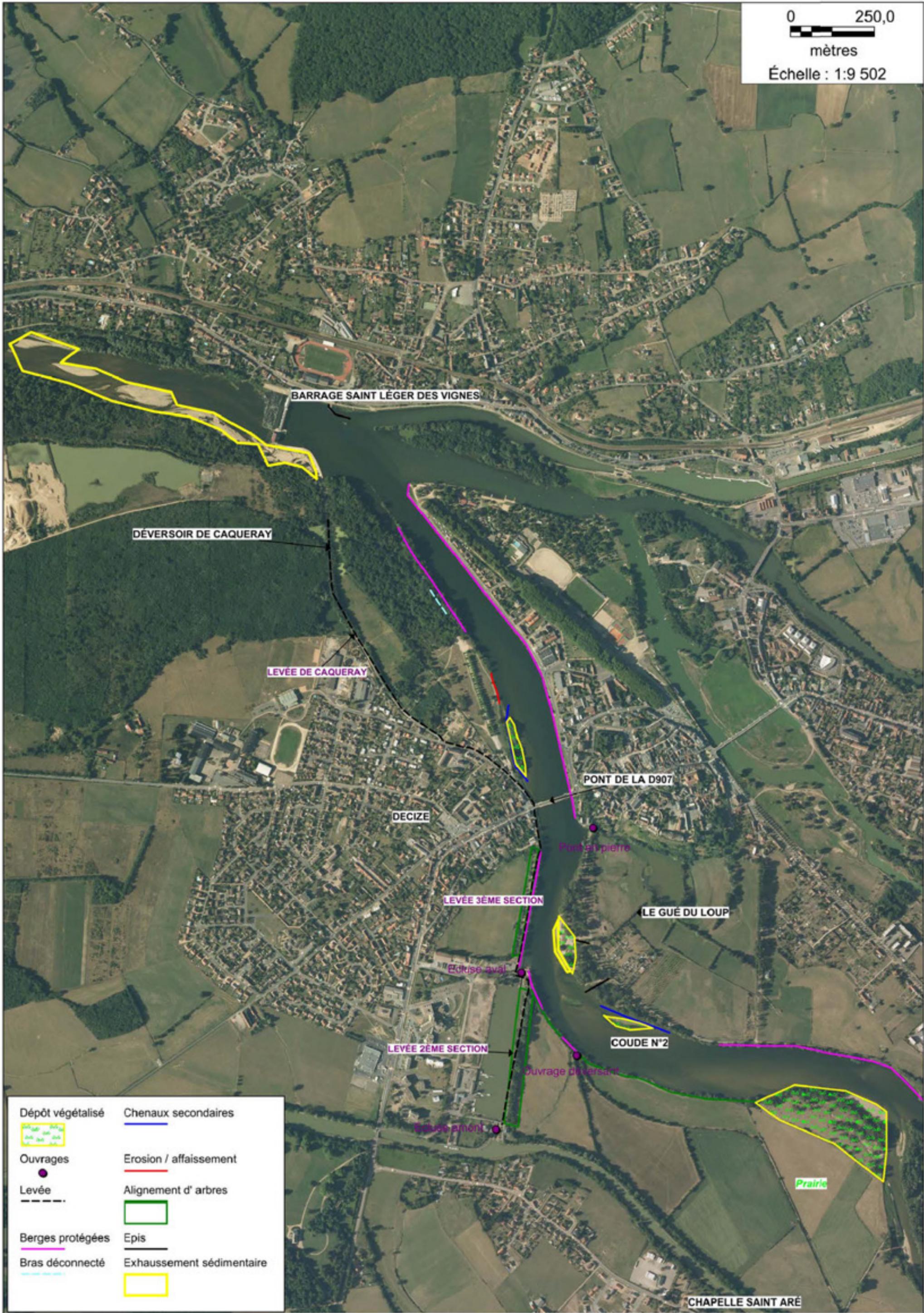
L'étude spécifique S03 apporte des précisions sur l'évolution de la morphologie de la Loire sur ce secteur.

0 250,0



mètres

Échelle : 1:9 502



Dépôt végétalisé	Chenaux secondaires
Ouvrages	Erosion / affaissement
Levée	Alignement d'arbres
Berges protégées	Epis
Bras déconnecté	Exhaussement sédimentaire

3.3.1.2 Conséquences de l'activité humaine

Ouvrages hydrauliques traversant la Loire

La Loire est franchie par un seul pont sur le périmètre du val de Decize : le pont de la D978a. L'espace entre les piles de ponts en Loire semble être suffisant pour ne pas créer de risque d'embâcle.

Par ailleurs, le site est marqué par la présence d'un barrage (juste en aval du linéaire de digue). Le barrage de Saint Léger des Vignes a été construit en 1836 et est équipé d'une usine hydroélectrique en 1986. Le barrage est composé d'un seuil créant une chute d'eau pour alimenter les turbines mais également d'un déversoir de sécurité en cas de crue.



Figure 34 : Déversoir de sécurité du barrage de Saint Léger des Vignes (Egis Eau, 16/05/2014)

Sur une échelle de temps courte, il est difficile de déterminer l'impact réel du barrage de Saint Léger en amont. Cependant, reposant sur le principe de chute d'eau pour alimenter les turbines hydroélectriques, le barrage a peu de conséquence en amont. En aval, il contribue à l'érosion des bancs sédimentaires exhaussés suite aux crues charriant une grande quantité de sédiment.

Navigation sur la Loire

La navigation sur la Loire à Decize est, de nos jours, uniquement de loisir et touristiques (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 Decize.

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

Aucun endiguement n'est présent en rive droite à Decize. L'analyse de la topographie a permis d'identifier une zone de remblai, surélevant la zone urbanisée de Decize située en rive droite de la Loire.

3.3.1.4 Réseau hydrographique secondaire

Le val de Decize est bordé du canal latéral à la Loire ; une jonction entre le canal et la Loire existe au niveau du port de la Jonction délimité par deux écluses. Aucun ruisseau ou fossé de drainage n'est recensé au sein du val de Decize.

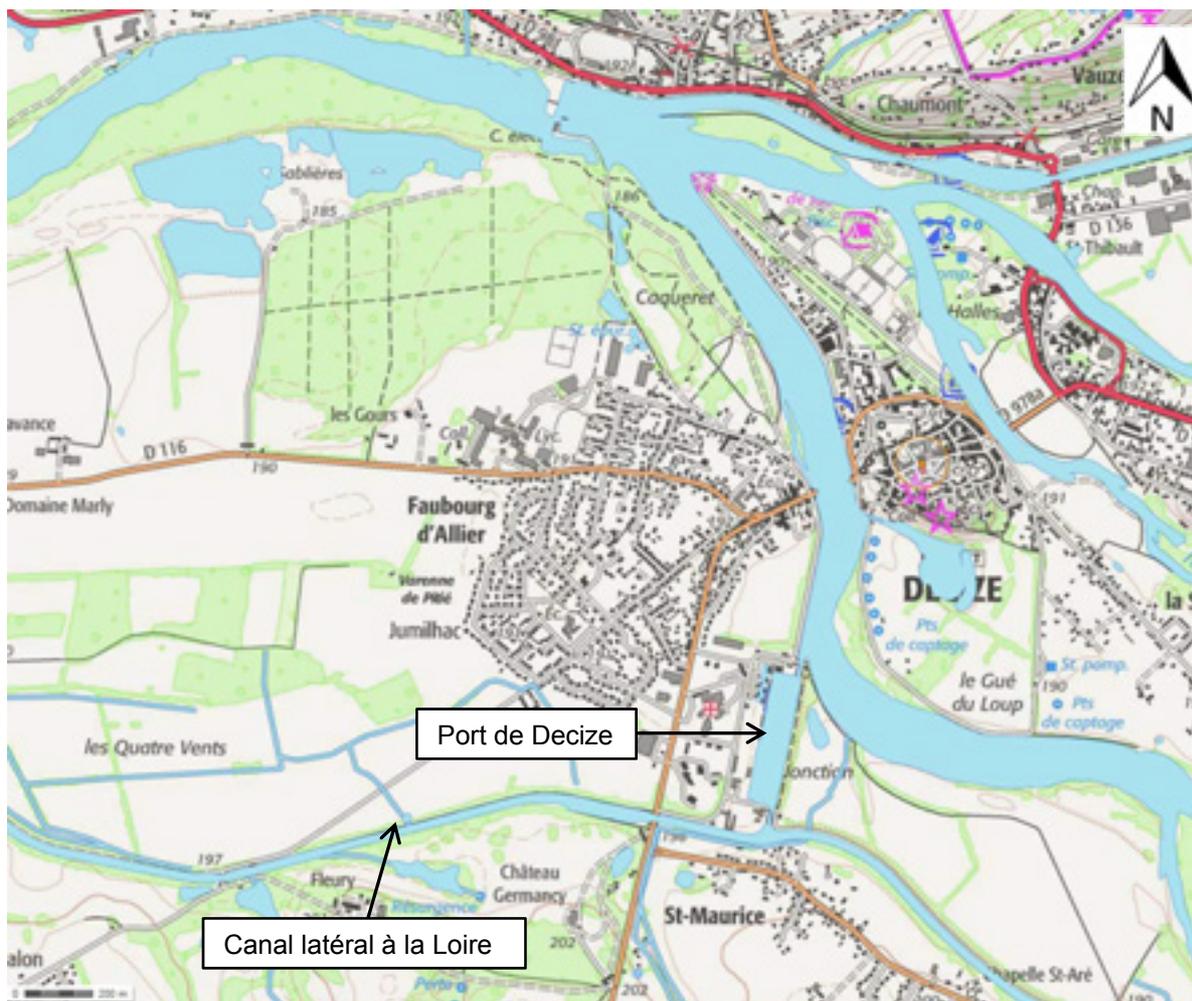


Figure 35 : Réseau hydrographique secondaire du val de Decize (fond de carte : géoportail)

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).

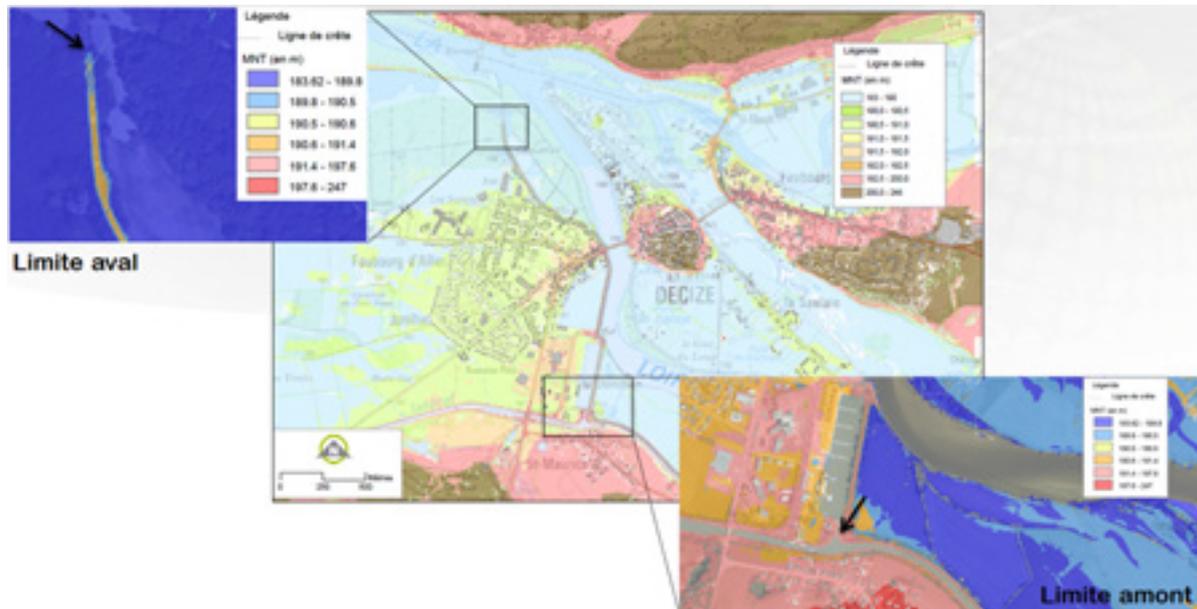
Elle est délimitée par le tracé de la ligne de défense principale du système de protection, les fermetures amont/aval (si elles existent) et par la ligne de niveau correspondant à la cote de protection de la digue côté lit majeur.

3.3.2.1 Raccordements amont/aval

La levée de la Jonction 1^{er} section n'est pas incluse dans le système de protection du val de Decize. Le raccord amont du système de protection du val de Decize se fait au niveau de l'écluse de la Jonction.

Le raccord aval de la levée de Decize se fait au niveau du déversoir. Le val est ouvert à l'aval.

Le val 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 1D des crues de période de retour 50 à 200 ans indiquent que les eaux commencent à atteindre les casiers 4 et 6 (voir carte des casiers en figure 73) pour une crue T70 mais le val protégé n'est pas atteint. Pour une T100, les surverses au-dessus de la levée de Caqueray s'ajoutent aux inondations par remous. Le val protégé est inondé (voir carte des hauteurs d'eau du scénario n°2).



3.3.2.2 Milieu extérieur « zone protégée » du système de protection

Délimitation de la zone protégée

La zone protégée du val de Decize **120** hectares. Elle fait environ 1500 m de long (Nord-Sud) et 1000 m de large (Est-Ouest).

Elle est délimitée :

- Au sud par le remblai du canal latéral de la Loire ;
- A l'est par le système de protection du val de Decize.

Le val de Decize est soumis à de possibles inondations par remontée de la Loire par le nord et l'ouest du val, phénomène accentué par le déversoir de Caqueray.

La définition exacte de la zone protégée pour Decize est donc assez difficile. Il n'y a pas de réels obstacles naturels ou anthropiques pour délimiter la zone protégée. Il a été choisi de tracer les limites de la zone protégée au Nord et à l'Ouest suivant la ligne de niveau correspondant à la cote de la digue la plus basse (hors déversoir). Cette cote est de 191,14mNGF. Cette délimitation inclus la zone urbanisée de Decize rive gauche, à l'exception de 2 bâtiments et quelques lotissements.



Figure 36: Traitement du MNT pour la définition de la zone protégée de Decize

Estimation de la population présente dans la zone protégée

La zone protégée de Decize concentre **2350 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 assez homogène puisque concentrée au niveau de Decize. Cette population est exposée à l'inondation par remontée de la Loire par le nord / ouest.

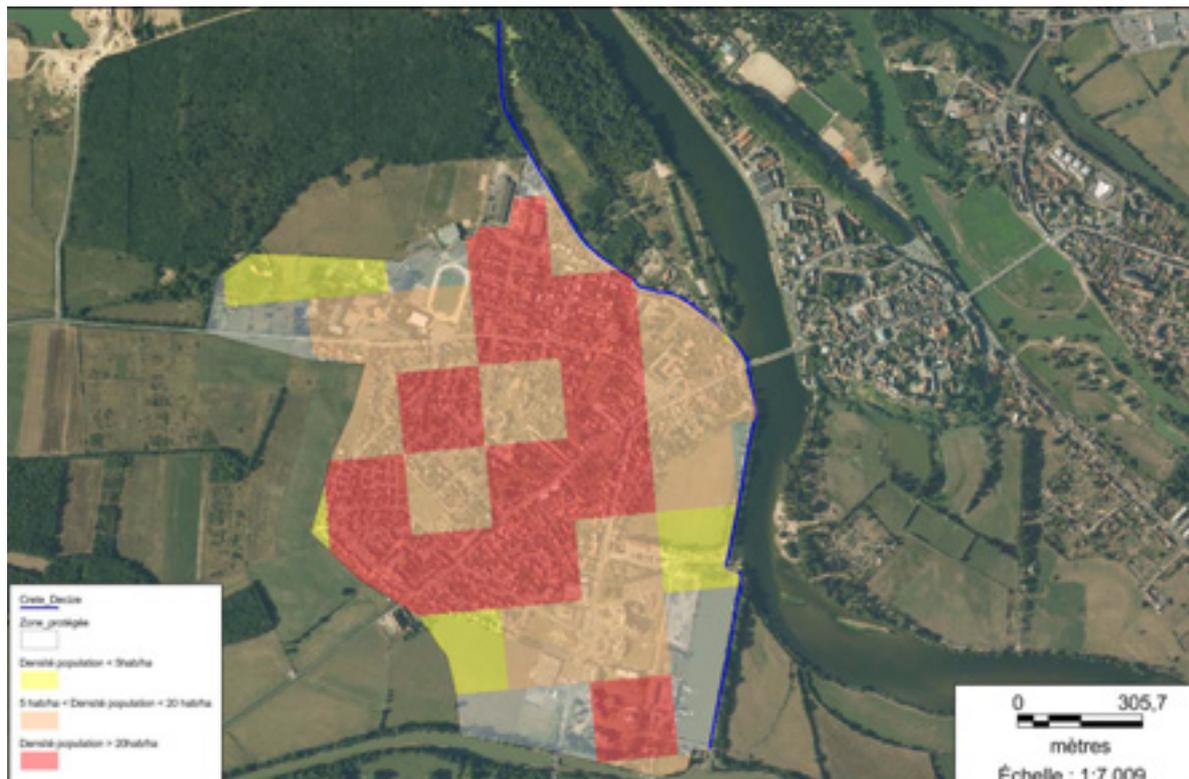


Figure 37 : Densité de la population dans le val de Decize

Activités industrielles, agricoles, touristiques et commerciales

La zone d'étude est plutôt composée de quartiers résidentiels. Cependant quelques grands enjeux économiques ont été recensés.

Ces enjeux sont localisés au niveau de Caqueray (STEP de Caqueray, entrepôt brasserie) et au niveau du canal de la Jonction au Sud (zone commerciale avec station-service, concessionnaire automobile, hôtel restaurant du Port de la Jonction, entreprise de vente de matériaux pour la construction ou l'unité territoriale d'infrastructures routiers).

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 Decize, 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 Decize 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 10: Estimation de la population au niveau de sites à enjeux sensibles

Typologie de l'établissement	Localisation	Caractéristiques	Nombre de personnes impactées	Source
Scolaire	Collège-Lycée Maurice Genevoix, route d'avril	Collège et Lycée	445 élèves	Donnée rentrée 2014
	Ecole maternelle Jean de la Fontaine, rue Les Seringats	Ecole maternelle	122 élèves	Donnée rentrée 2014
	Ecole Saint Just, rue d'avril	Ecole primaire publique	536 élèves	Donnée rentrée 2014
	Institut de formation des aides-soignants, rue des moulins	Au sein du centre hospitalier de Decize	Données non disponibles	
Santé	Hôpital de Decize	Situé dans une partie de la zone protégée classée en aléa fort dans le PPRI	Capacité : 380 lits 450 professionnels	Données DDT 58
Sportif	Plaine de jeux de Caqueret (complexe sportif), rue de Caqueret	10 équipements sportifs : piste d'athlétisme, terrain de hand, de basket, de football, de skateboard, golf, gymnase, mur d'escalade, parcours santé. 50 places de parking 50 000m ²	Données non disponibles	Site internet
	Gymnase Maurice Genevoix.		Données non disponibles	
Autres ERP	RD978a Rue de quatre vents Rue de la Jonction	3 commerces, 2 restaurants, 1 hôtel et 1 ambulancier		

Des habitations, un établissement sportif et un établissement industriel ne sont pas inclus dans la zone protégée : ceux-ci doivent être signalés en zones inondables non protégées par les levées du val de Decize.

Infrastructures

Les infrastructures critiques du val de Decize sont :

- des routes : D978a, D116 ;
- le pont de la D978a ;
- le port de Decize.

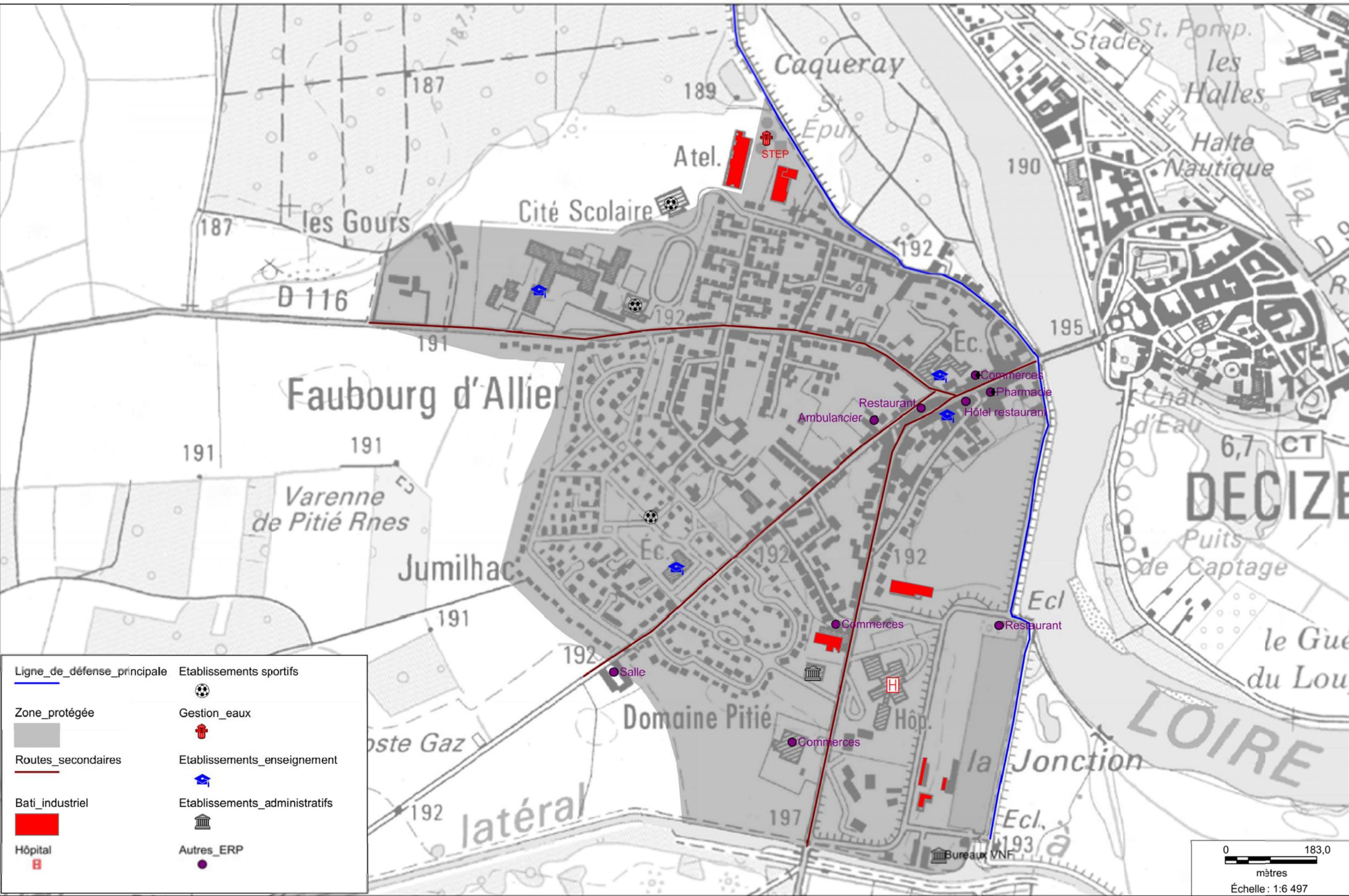


Figure 38 : Photo du pont de la D978a (Egis Eau, 2013)

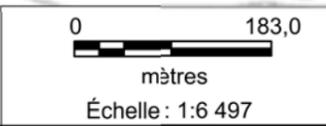
Le tableau suivant récapitule les caractéristiques principales de la zone protégée du val de Decize :

Tableau 11: Récapitulatif des caractéristiques de la zone protégée

Système de protection	Superficie du val	Délimitation	Population estimée (hab)	Activités	Enjeux	Infrastructures
Decize	120 ha	Sud : canal latéral Loire, Est : levées du val de Decize, Nord et Ouest : limite de la zone urbanisée (hypothèse).	2350	Logements, STEP, Commerces, Entreprises	Ecoles, Infrastructures sportives, Hôpital	D978a, D116 Pont Port de Decize



Ligne de défense principale	Etablissements sportifs
Zone protégée	Gestion_eaux
Routes secondaires	Etablissements_enseignement
Bati industriel	Etablissements_administratifs
Hôpital	Autres_ERP



Localisation des enjeux - Val de Decize

3.4 Classement des levées du val de Decize

La zone protégée du val de Decize rassemble **2350 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 des levées de la Jonction 2^e et 3^e section par arrêté du préfet de la Nièvre en date du 10 novembre 2009 n'est donc pas remis en cause (classement au titre du décret de 2007).

De la même manière, l'absence de classement pour la levée de Caqueray et la levée de la Jonction 1^{ère} section n'est pas remise en cause.

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 12 : 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 Decize 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.

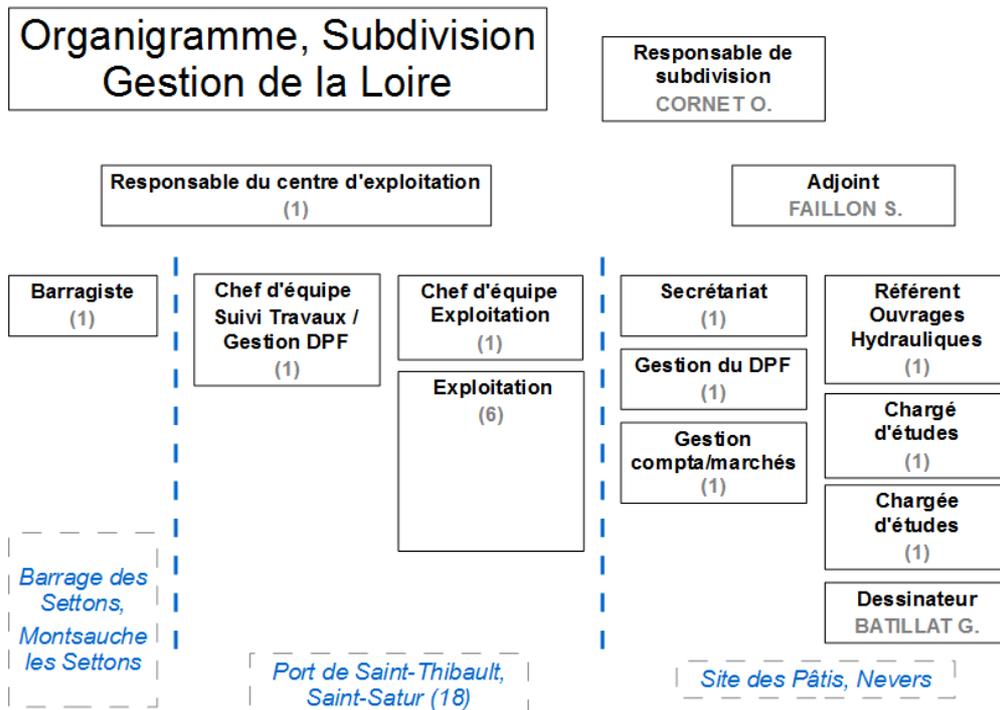


Figure 40 : Organigramme de la subdivision gestion de la Loire

Le val de Decize fait partie du secteur d'intervention dit « secteur amont ». Il présente une particularité puisque, pour le moment, la levée de la Jonction 2^e section est gérée par VNF et pas par la DDT58.

Les paragraphes suivants détaillent les actions sur les levées gérées par la DDT58. Quand elles sont connues, les actions menées par VNF sont indiquées également.

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

Pour les situations de crue, les 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.

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 Decize 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 doit être proposée à la validation du préfet.

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 Dignes.

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 et 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 dès lors que la cote de 3,90 m est atteinte sur l'échelle de hauteur d'eau de l'écluse à Decize. 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 dès lors que la cote de 5,40 m est atteinte sur l'échelle de hauteur d'eau de l'écluse à Decize. 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 6,00 m est atteinte sur l'échelle de hauteur d'eau de l'écluse à Decize

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 évènement 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 Decize a été réalisé en septembre 2012.

4.6.2 Études de dangers

La présente étude constitue la première étude de dangers du val de Decize. 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 Decize 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...).

La commune de Decize ne dispose pas d'un DICRIM.

- 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.

Le PCS de Decize a été élaboré en mars 2008.

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 la digue de Decize est l'échelle située à l'écluse de Decize. Les seuils de vigilance, mesurés à la l'échelle de Decize, 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 le plan de communal de sauvegarde de la commune, le plan ORSEC et le plan de surveillance des levées (PSL).



Figure 41 : Dispositif global de gestion de crise, de la prévision de crue à l'évacuation

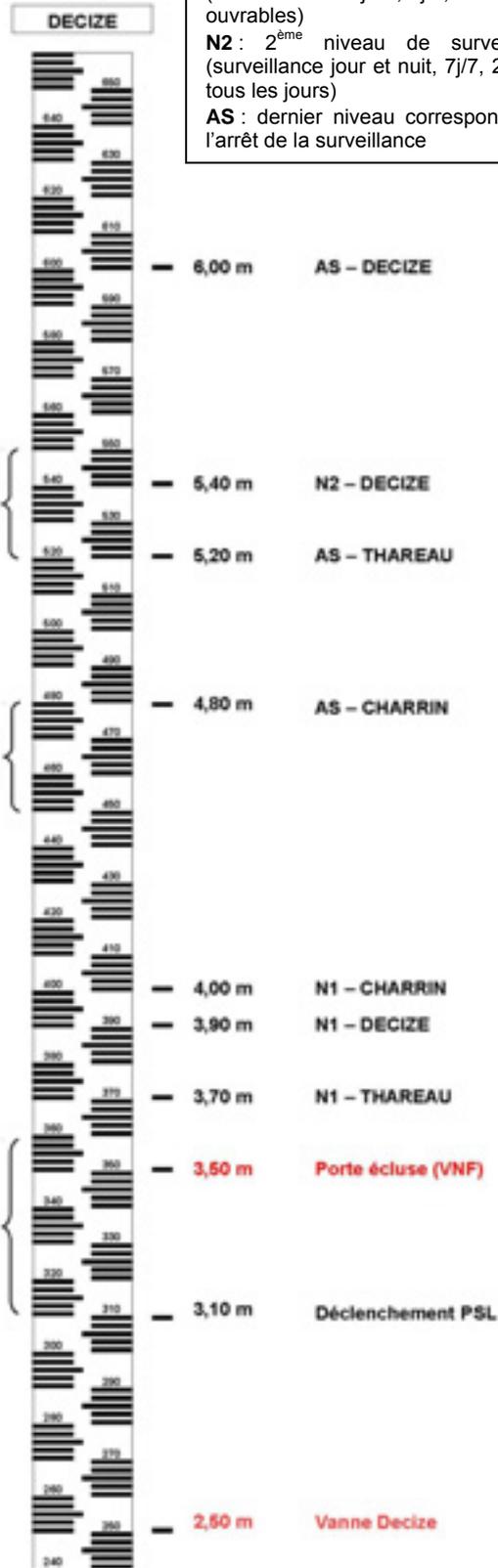
Le seuil d'évacuation préventive du val de Decize est fixé à 6,00 m à l'échelle de crues.

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

SECTEUR AMONT
(départ Nevers)



N1 : 1^{er} niveau de surveillance (surveillance de jour, 7j/7, aux heures ouvrables)
N2 : 2^{ème} niveau de surveillance (surveillance jour et nuit, 7j/7, 24h/24, tous les jours)
AS : dernier niveau correspondant à l'arrêt de la surveillance



Vigilance rouge

Vigilance orange

Vigilance jaune

Vigilance Rouge : risque de crue majeure. Menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens.

Vigilance 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.

Vigilance 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.

Figure 42 : Echelle de surveillance du PSL de Decize

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,
- C-Consignes écrites.

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 DDT58 gère les levées de Decize, à l'exception du tronçon de la Jonction 2^e section gérée par VNF mais appartenant bien à l'Etat.

Le manque de gestion sur ce tronçon devra être comblé, d'autant que le centre hospitalier se situe derrière la digue.

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 13 : 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 Decize, 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 ;
- Dysfonctionnement des clapets anti-retour des ouvrages traversants la levée ;
- Entrée d'eau par remous en partie aval ouverte du val.

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 Decize est inondé lors de la crue de 1846. En effet, la levée de la Jonction 2^e section est rompue, une brèche de 100m de long et 5m de profondeur s'ouvre sur la levée de Caqueray et une surverse (+0.25m par rapport à la crête de digue) a eu lieu sur la levée de la Jonction 3^e section.

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 de Decize atteint 3 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.**

5.2 Charges hydrauliques en crue de la Loire s'appliquant sur les levées de Decize

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
Hauteur d'eau estimée (m)	5,27*	5,48	5,79	6,34	6,5	6,75	7,15

**Pour la crue 2003, un décalage d'environ 10cm est constaté entre la hauteur d'eau historique (observée) et la hauteur d'eau estimée dans le modèle Hydrariv LGN (cf rapport de calage du modèle LGN). La hauteur d'eau historique a été constaté à 5,17m.*

Cette crue correspond à un temps de retour d'environ 30 ans.

Le tableau suivant donne les charges hydrauliques par tronçon pour chacune des crues testées. Des charges hydrauliques supérieures à 2,5m sont observées dès la crue type 2003 sur la levée de la Jonction 3^{ème} section. Une charge hydraulique supérieure à 2m est atteinte pour des crues type T100 ou supérieures pour la levée de la Jonction 2^{ème} section. Ces charges hydrauliques élevées sont un des critères qui permettent d'expliquer des probabilités de rupture événementielles élevées pour certains profils.

Figure 43 : Charges hydrauliques s'appliquant au tronçon de digue des levées de Decize

N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Commune	Ldigue	Hauteur de la digue	2003,00	50,00	70,00	100,00	170,00	200,00	500,00
20	0,000	Decize	125,16	2,51	0,53	0,73	1,04	1,58	1,73	1,98	2,38
21	33,505	Decize	38,74	2,99	1,38	1,58	1,88	2,43	2,58	2,83	3,23
22	58,694	Decize	29,61	3,01	1,39	1,59	1,90	2,44	2,60	2,84	3,25
23	83,780	Decize	21,19	2,51	0,92	1,12	1,44	1,97	2,13	2,37	2,78
24	131,854	Decize	21,61	2,61	1,07	1,27	1,58	2,12	2,28	2,53	2,93
25	181,717	Decize	19,84	2,67	1,33	1,53	1,84	2,39	2,55	2,79	3,20
26	231,100	Decize	20,82	2,60	1,29	1,50	1,81	2,35	2,51	2,76	3,16
27	282,143	Decize	20,79	2,25	1,29	1,49	1,81	2,36	2,51	2,76	3,16
28	332,429	Decize	23,73	2,32	1,22	1,42	1,74	2,29	2,45	2,69	3,10
29	381,374	Decize	22,95	2,39	1,27	1,48	1,80	2,35	2,51	2,75	3,16
30	412,615	Decize	24,39	2,48	1,09	1,30	1,61	2,17	2,32	2,57	2,97
31	438,675	Decize	--	--							
32	498,330	Decize	--	--							
33	524,413	Decize	--	--							
34	574,413	Decize	27,63	4,80	2,77	2,98	3,30	3,85	4,01	4,26	4,66
35	624,406	Decize	28,41	5,16	3,04	3,26	3,58	4,13	4,29	4,53	4,93
36	674,418	Decize	29,54	5,41	3,24	3,46	3,78	4,33	4,48	4,73	5,12
37	724,428	Decize	30,86	5,14	2,99	3,21	3,53	4,08	4,24	4,48	4,87
38	774,435	Decize	30,92	5,09	2,98	3,20	3,52	4,07	4,23	4,47	4,86
39	824,436	Decize	28,56	4,90	2,82	3,03	3,36	3,91	4,06	4,30	4,69
40	874,624	Decize	26,81	4,39	2,22	2,44	2,76	3,31	3,47	3,71	4,10
41	924,901	Decize	22,18	3,15	0,90	1,12	1,45	1,99	2,15	2,38	2,77
42	973,719	Decize	27,30	1,94	-0,40	-0,19	0,14	0,68	0,83	1,07	1,45
60	1800,055	Decize	20,69	3,85	0,59	0,80	0,85	0,87	0,86	0,84	0,81
61	1850,071	Decize	18,09	3,75	0,51	0,72	0,76	0,79	0,78	0,76	0,73
62	1900,215	Decize	20,58	3,23	0,43	0,63	0,67	0,70	0,69	0,67	0,65
63	1950,118	Decize	25,34	3,19	0,34	0,54	0,58	0,61	0,60	0,59	0,58
64	2000,125	Decize	18,57	2,62	0,25	0,45	0,49	0,52	0,52	0,51	0,50
65	2050,249	Decize	22,63	2,99	0,15	0,34	0,39	0,43	0,43	0,43	0,43
66	2110,097	Decize	8,38	0,81	0,05	0,25	0,29	0,35	0,35	0,35	0,35

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 surverses identifiées 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 **niveaux de protection apparents de Decize** sont les suivants :

Niveau de protection	Hauteurs d'eau estimée à l'échelle de Decize (m)	Sous-systèmes concernés
Q<50	h< 5,48	6 (PK 2007 à 2102) – déversoir de Caqueray
100<Q<170	6,34<h<6,5	Profil 26 (Surverse ponctuelle au PK 230) 4 (PK 1750 à 1858)
170<Q<200	6,5<h<6,75	2 (PK 201 à 400) et 5 (PK 1858 à 2007)
200<Q<500	6,75<h<7,15	1 (PK 0 à 201)
Q>500	h>7,15	3 (PK 400 à 980)

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

Les canalisations 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.

Les levées du val de Decize comptent 1 conduite et 1 vanne situées sur la levée de la Jonction 3e section (profil 40). Il s'agit d'un ancien ouvrage de vidange, relié à un aqueduc. Il fut construit dans les années 1890 suite à la demande du riverain Monsieur Vagne, pour permettre l'« évacuation en Loire des eaux ménagères et des eaux provenant du toit de sa maison ».

Aujourd'hui il n'est plus utilisé puisqu'une station de relevage a été mise en place.

La probabilité annuelle de rupture par érosion interne est de 0,025% pour ce profil.



Figure 44 : Vanne en pied de digue, levée de la jonction 3^e section (Egis Eau, 2013)

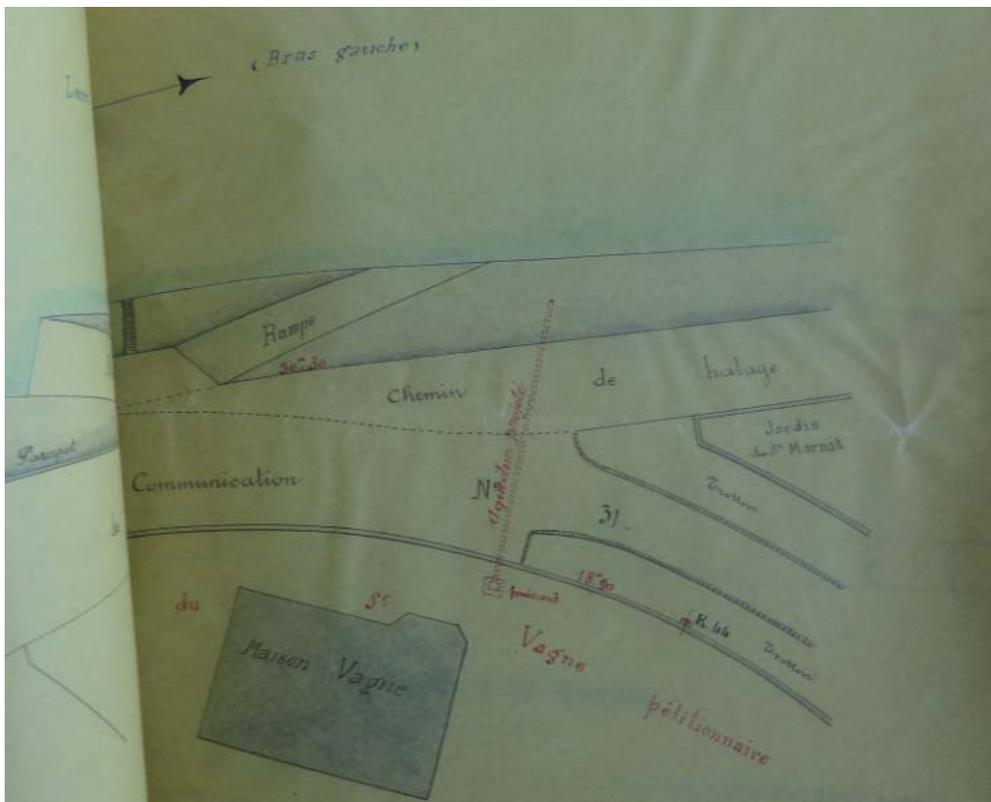


Figure 45 : Plan de l'aqueduc projeté suite à la demande de construction du riverain Monsieur Vagne - Source : archives DDT 58

Par ailleurs, les **portes de garde de l'écluse de la Jonction côté Loire** sont présentes entre les levées de la Jonction 2^e et 3^e section. Cet ouvrage est géré par VNF. Il est manœuvré régulièrement ; la défaillance de l'ouvrage est improbable.



Figure 46 : Ecluse du port de Decize, entre les levées de la Jonction 2^e et 3^e section (Egis Eau, 2013)

Une défaillance des portes de l'écluse de la Jonction côté canal latéral à la Loire, située en amont du système d'endiguement, peut également être indiquée. Le scénario d'inondation lié reste néanmoins très improbable ; il s'agirait d'une surverse par-dessus le canal latéral à la Loire puis une entrée d'eau dans le bassin de la Jonction par défaillance des portes de l'écluse.

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

En cas de crue de la Loire, la nappe phréatique d'accompagnement s'élève, compte tenu de la forte perméabilité du sous-sol constitué par un calcaire très fissuré et karstique et des horizons sédimentaires graveleux. 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.

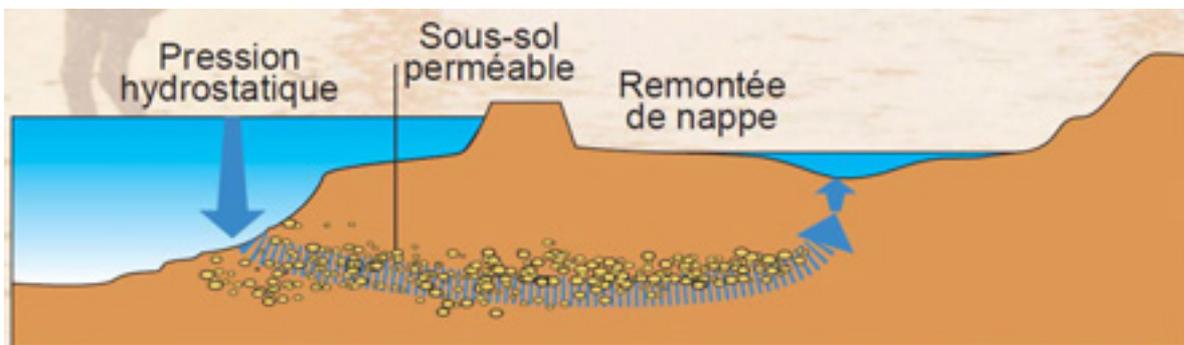


Figure 47 : Schéma illustrant la remontée de nappe (source : Hydratec, 2004)

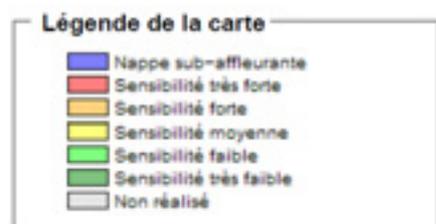
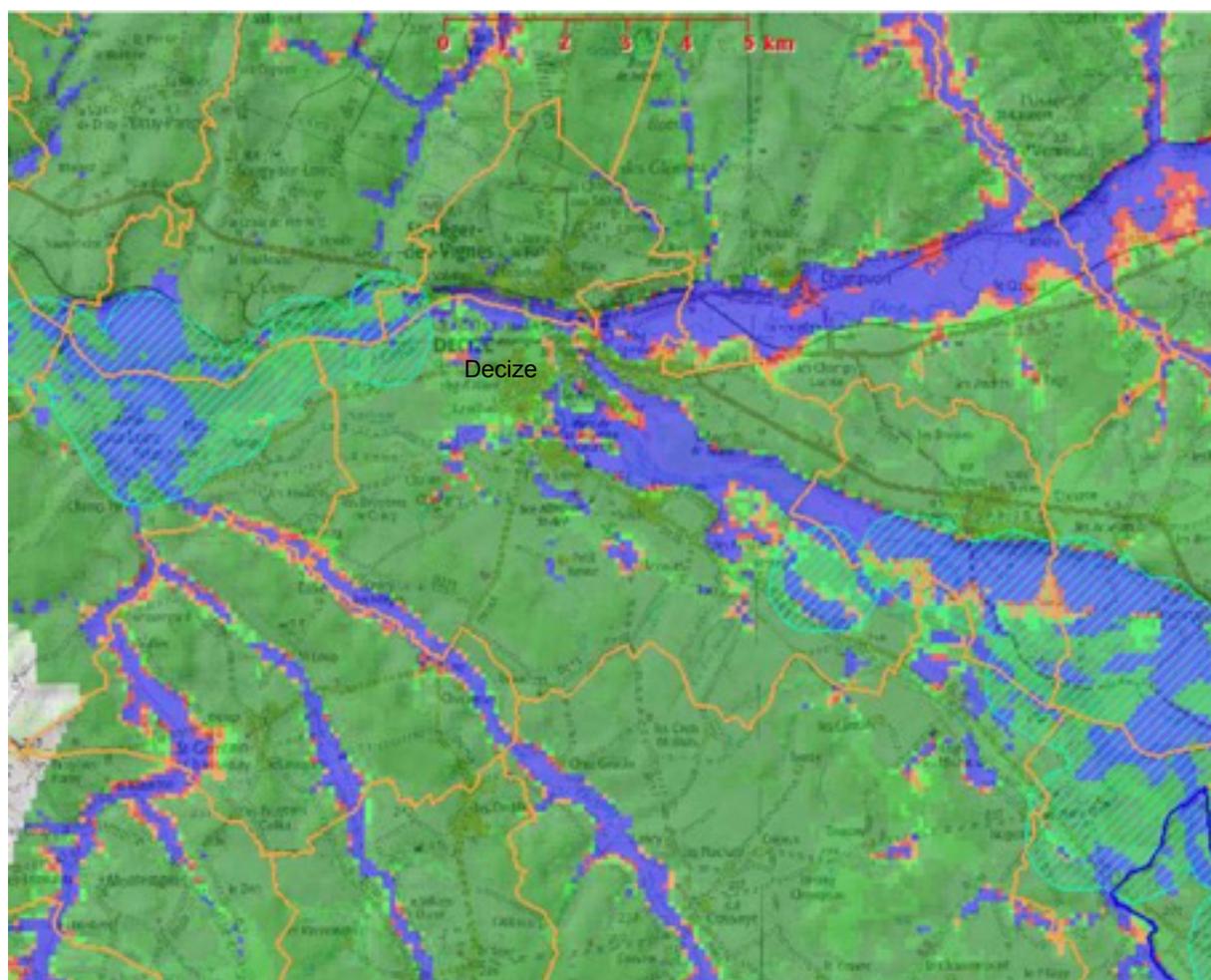


Figure 48 : Zones de sensibilité à la remontée de nappes à Decize (Source : www.inondationsnappes.fr, BRGM)

5.6 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 de Decize est bordé par le canal latéral à la Loire ; une jonction entre le canal et la Loire existe au niveau du port de la Jonction (port de Decize) délimité par deux écluses. La montée des eaux dans le canal latéral à la Loire peut résulter en une inondation du val protégé par le Sud.



Figure 49 : Réseau hydrographique secondaire du val de Decize (fond de carte : géoportail)

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

Le val de Decize est ouvert à l'aval.

Le val est donc soumis au phénomène de remous aval de la Loire en crue.

Les résultats du modèle hydraulique 1D des crues de période de retour 50 à 200 ans indiquent que les eaux commencent à atteindre les casiers 4 et 6 (voir carte des casiers en figure 73) pour une crue T70 mais le val protégé n'est pas atteint. Pour une T100, les surverses au-dessus de la levée de Caqueray s'ajoutent aux inondations par remous. Le val protégé est inondé à partir de cette crue (voir carte des hauteurs d'eau du scénario n°2).

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.

Le débit de la Loire, en amont du val de Decize, est quasiment identique au débit de la Loire à Nevers. En effet, la Loire ne reçoit jusqu'au confluent de l'Allier que l'eau de petits affluents, ce qui n'influe pas ou très modestement sur son débit de crue.

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 Decize 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.
- Du rapport « construction et calage d'un modèle hydraulique de propagation des crues de la Loire de Gilly à Nevers », SPC. C'est le rapport associé au modèle hydraulique calé et construit par le Service de Prévision des Crues.
- 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 120 km en amont du val de Decize, 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 :

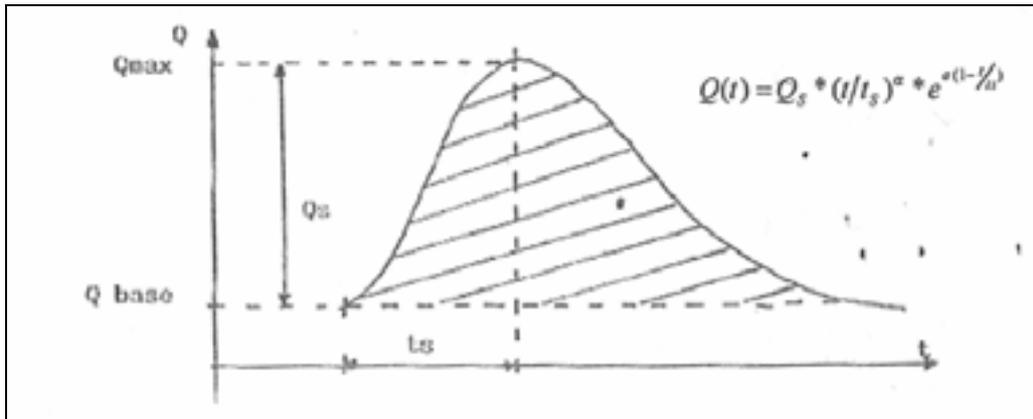


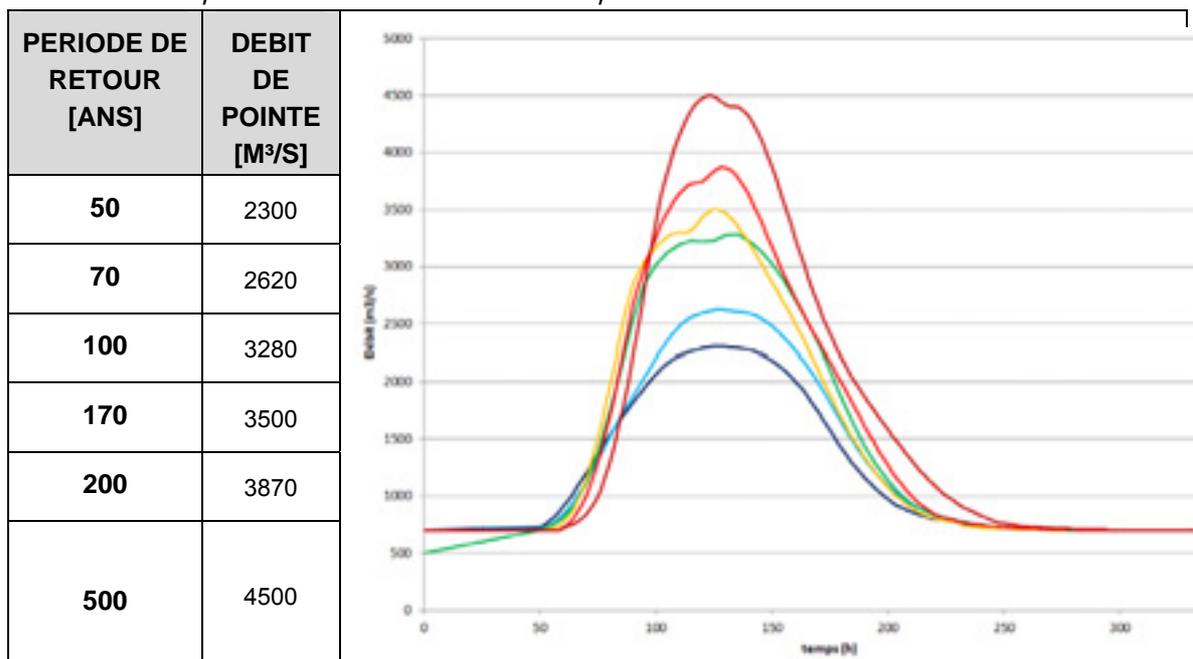
Figure 50 : forme théorique des hydrogrammes de crue de la Loire amont

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.

Ces débits sont cohérents avec les débits de l'étude de la Loire moyenne (débits amont du modèle LM10). Les hydrogrammes à l'amont de Decize sont équivalents aux hydrogrammes injectés à Nevers dans le modèle de la Loire moyenne en termes de volume et débit de pointe mais sont décalés dans le temps :

- l'effet de laminage du val et des zones de stockage ainsi que les apports intermédiaires entre Decize et Nevers n'ont *a priori* pas d'impact sur la forme de l'hydrogramme aval. Cela confirme les résultats de la campagne de mesure pour le calage du modèle de prévision des crues.
- l'apport de l'Aron est négligeable pour la détermination du débit de pointe, le temps de concentration des deux bassins n'étant pas le même).

Tableau 14 : Débits de pointe à l'amont du val de Decize selon la période de retour T



Pour les besoins de la présente étude de dangers, le modèle hydraulique unidimensionnel à casiers Loire Bourguignonne LB11 a été adapté afin d'être utilisé pour la définition des niveaux de protection du système de protection et pour les simulations des scénarios d'inondation.

Sept scénarios de crue ont été simulés.

6.1.4 Prise en compte du risque de rupture des digues de Loire en amont du val de Decize

Le niveau d'eau à l'entrée du val de Decize 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 Decize. Ces vals étant en partie protégés par des digues, la tenue de celles-ci a une influence sur la ligne d'eau au droit de la levée.

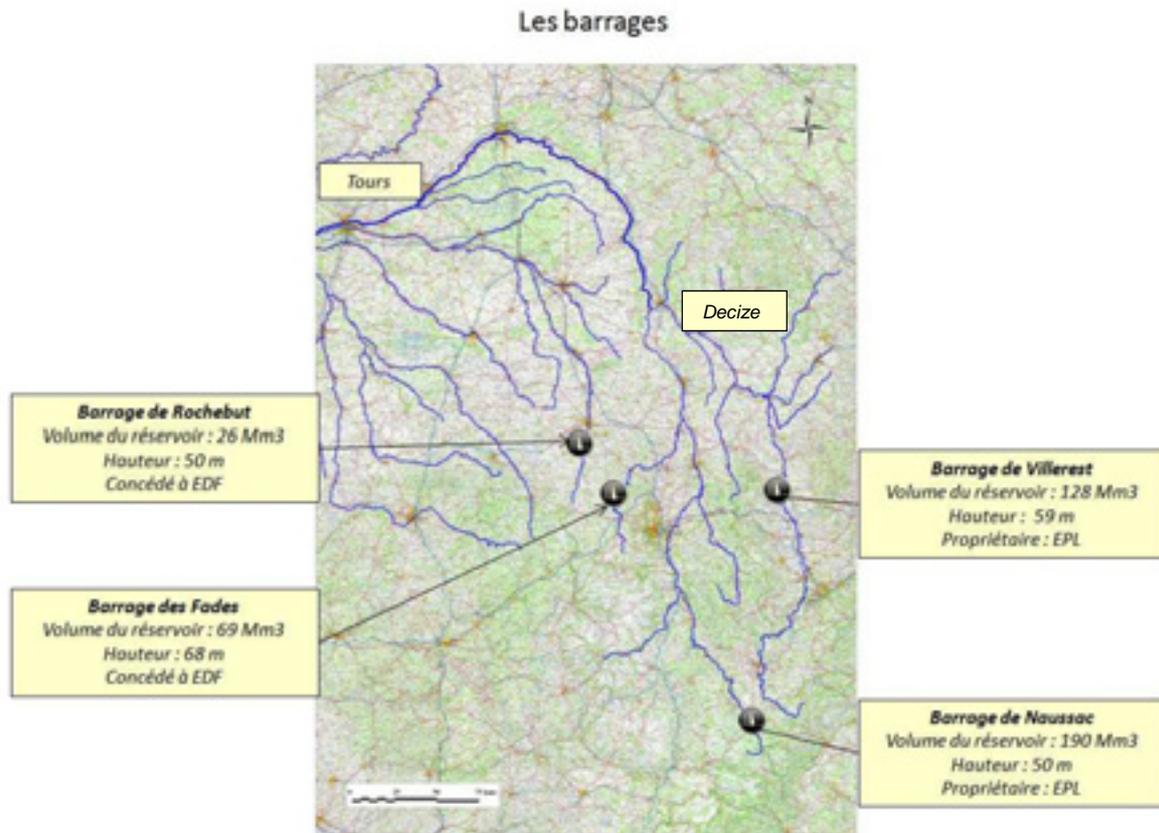
Pour ne pas multiplier le nombre de scénarios de rupture de digues en amont, il a été fait l'hypothèse que les levées amont tenaient, quelles que soient les conditions de crues.

C'est pourquoi le modèle Loire Bourguignonne a été coupé à l'amont de Decize. Le modèle utilisé va alors de l'amont immédiat de Decize à Nevers.

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 de la levée de Decize.



Il est indiqué que seul le barrage de Villerest a un impact sur le val de Decize.

Figure 51 : position des principaux barrages de la Loire et de ses affluents (Source : EdD du val de Tours)

Le risque de rupture des barrages 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.

En termes d'hydrologie pour le val de Decize, 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.

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 XIXe siècle et de la construction des barrages hydroélectriques au XXe 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 remontée 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.

6.4.1 Géologie et morphodynamique de la Loire au droit du val de Decize

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

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

- Secteur au droit de la levée de la Jonction 2^e section : sur ce tronçon, la levée n'est pas en contact direct avec le lit vif de la Loire. Le lit majeur de la Loire est occupé par un important franc-bord faisant jusqu'à 500 m de long. Ce franc-bord, jouant le rôle de champ d'expansion de crue est en majorité recouvert de prairies. Quelques arbres sont implantés formant un cordon arborescent utilisé dans la délimitation des prairies.

La Loire est méandriforme sur ce linéaire ; des zones d'érosion sont identifiées en extrados de méandres (notamment sur berges nues) et des zones de dépôt se développent puis se végétalisent en intrados de méandres.

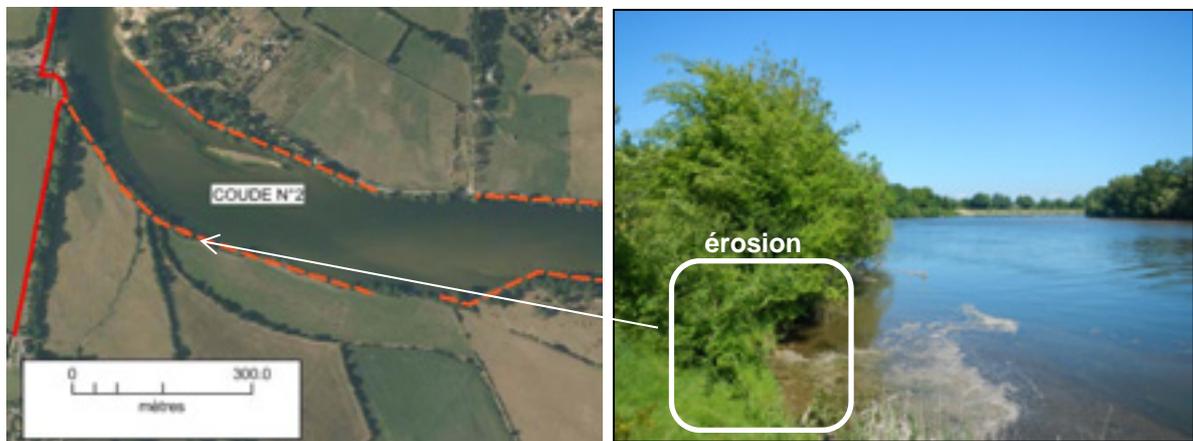


Figure 52 : Localisation d'un méandre (coude 2) et photo de l'érosion en extrados de méandre au niveau des berges nues (orthophotos 2011, Egis Eau 2014)

- Secteur allant de l'écluse aval du port de la Jonction au pont de la D978a (levée de la Jonction 3^e section) : sur ce secteur la levée est en contact direct avec le lit vif de la Loire. La Loire a un tracé rectiligne et une largeur moyenne d'une centaine de mètres. La rive droite n'est pas endiguée au niveau du Gué du Loup ; elle jouera le rôle de champ d'expansion de crue. Une zone de dépôt est identifiée en rive droite ; elle résulte soit de la dynamique sédimentaire observée en intrados de méandres, soit de la présence de deux épis, autrefois implantés pour faciliter la navigation fluviale. La progression de ce dépôt doit être contrôlée puisqu'il participe à la réduction du lit vif de la Loire, accroissant les vitesses d'écoulements et augmentant les phénomènes érosifs des berges (qui correspondent au pied de digue sur ce secteur). Le perré localisé en pied de berge/digue sur ce secteur est d'un état médiocre. **Ce secteur correspond au secteur le plus sollicité du système d'endiguement de Decize.**



Figure 53 : Etat du perré en pierre en pied de digue sur la levée de la Jonction 3^e section (Egis Eau, 2014)

- Secteur allant du pont de la D978a à la confluence Loire-Aron : ce tronçon concerne le linéaire de Loire située au droit de la levée de Caqueray. La Loire est chenalisée sur ce secteur avec une largeur comprise entre 70 et 100 m de large.

En rive gauche, seuls les 90 premiers mètres de la levée après le pont sont en contact avec la Loire. Un franc-bord est ensuite présent et ce jusqu'au déversoir de sécurité du barrage de Saint Léger des Vignes. A l'aval immédiat du pont de la D978a, un îlot végétalisé de 200 de long et 20 m de large est observé, créant un chenal secondaire entre l'îlot et la berge. Ce chenal est alimenté par la Loire, mais les hauts fonds visibles depuis la rive laissent penser qu'il est en cours de fermeture, ce qui se traduira alors par le rattachement de l'îlot à la berge.

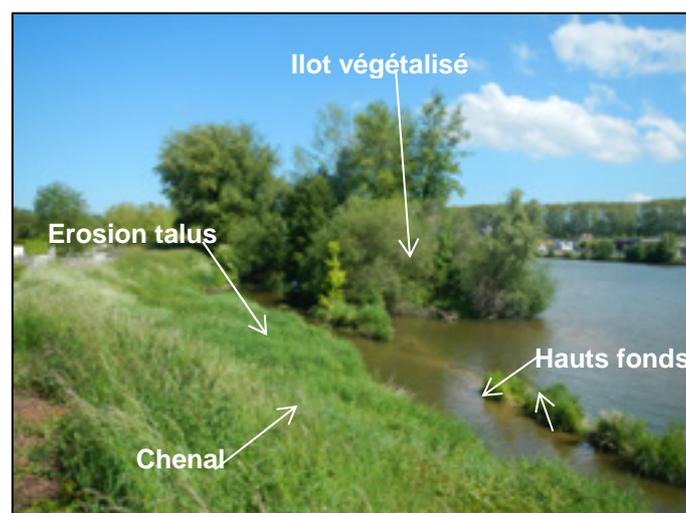


Figure 54 : Îlot formé en aval immédiat du pont de la D978a (Egis Eau, 16/05/2014)

D'importants affaissements des berges sont également identifiés en rive gauche, traduisant une importante érosion. La rive est d'ailleurs renforcée en béton par endroit.

La rive droite n'est pas endiguée. Cependant, les pieds de berges sont renforcés par un perré en béton continu.

- Secteur allant de la confluence Loire-Aron jusqu'au barrage de Saint Léger des Vignes : ce linéaire n'est pas à proprement parler en contact avec le système de défense du val de Decize, cependant aux vues des caractéristiques (barrage, confluence), il joue un rôle important dans l'évolution de la morphologie de la Loire en amont et en aval du secteur. En effet, ce linéaire est marqué par la présence du barrage de Saint Léger des Vignes, composé d'un seuil (alimentant une microcentrale) et d'un déversoir de sécurité en cas de crue.



Figure 55 : Déversoir de sécurité du barrage de Saint Léger des Vignes (Egis Eau, 16/05/2014)

Un important dépôt est constaté de part et d'autre du déversoir. Le dépôt se fait d'abord en amont du déversoir ; il est ensuite emporté à l'aval du déversoir ou du barrage en cas de crue.

Les zones d'érosion les plus fortes sont localisées en rive droite à l'aval du barrage, là où le courant est le plus fort.

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 Decize sont entièrement situées dans le département d'Indre-et-Loire qui est classé zone de sismicité très faible (sismicité 1) et faible (sismicité 2) (décrets N° 2 010-1254 et N° 2010-1255 du 24 octobre 2010). **Les communes sur lesquelles se trouvent les levées du val de Decize sont classées en sismicité très faible (1).**

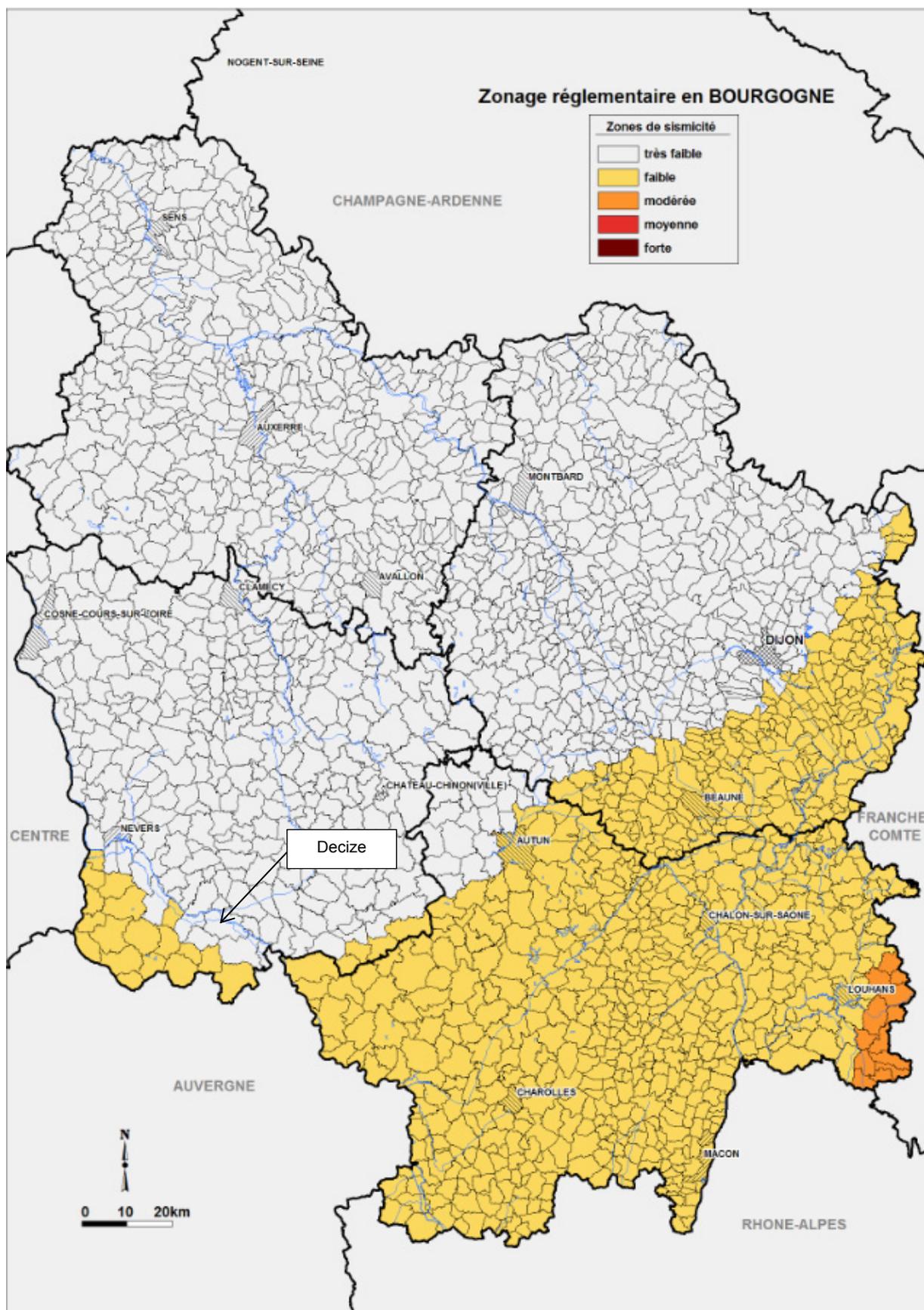


Figure 56 : Carte du zonage sismique en région Bourgogne

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 15 : 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 Decize.

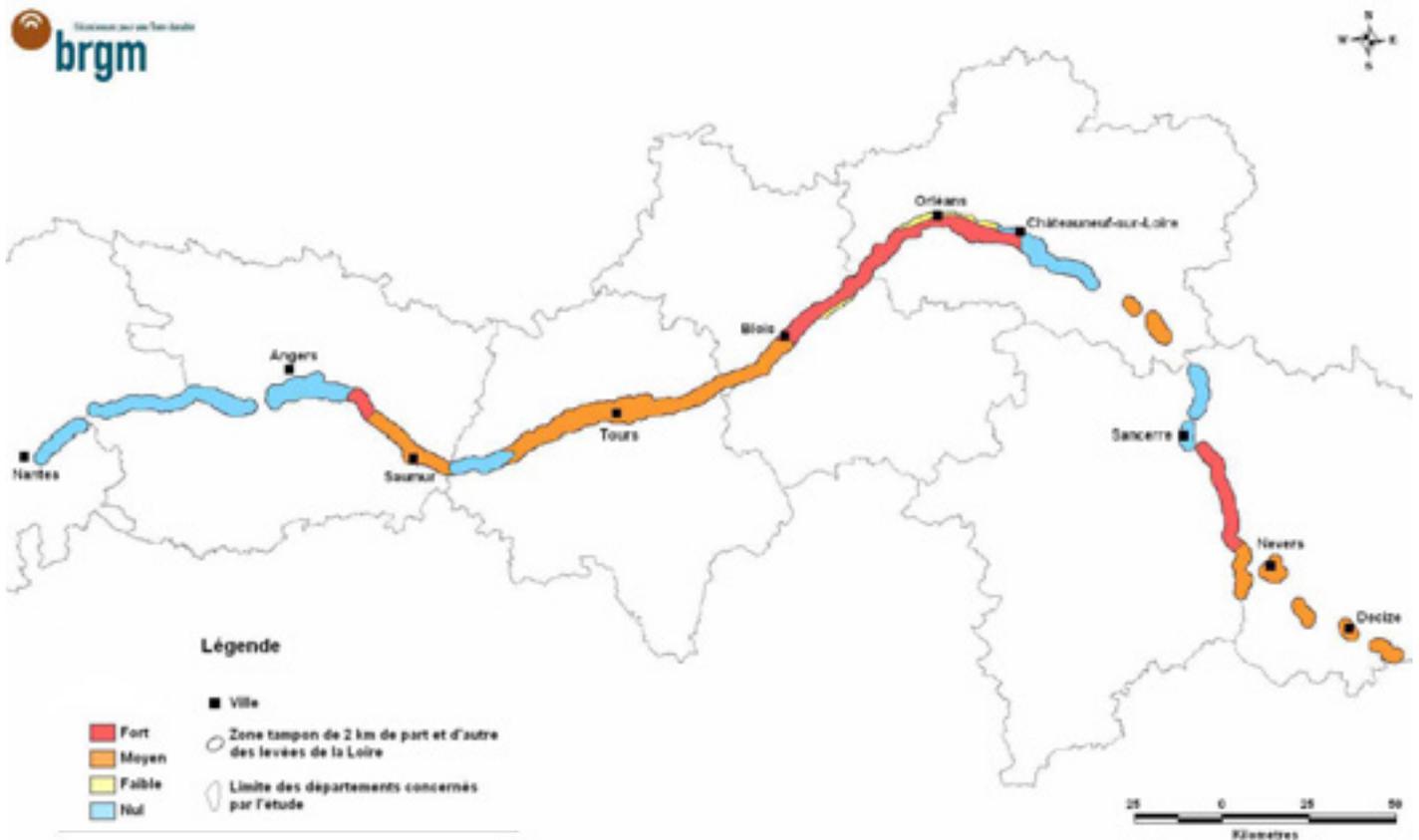


Figure 57 : Sensibilité à l'aléa karstique des levées de Loire (source : BRGM)

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).

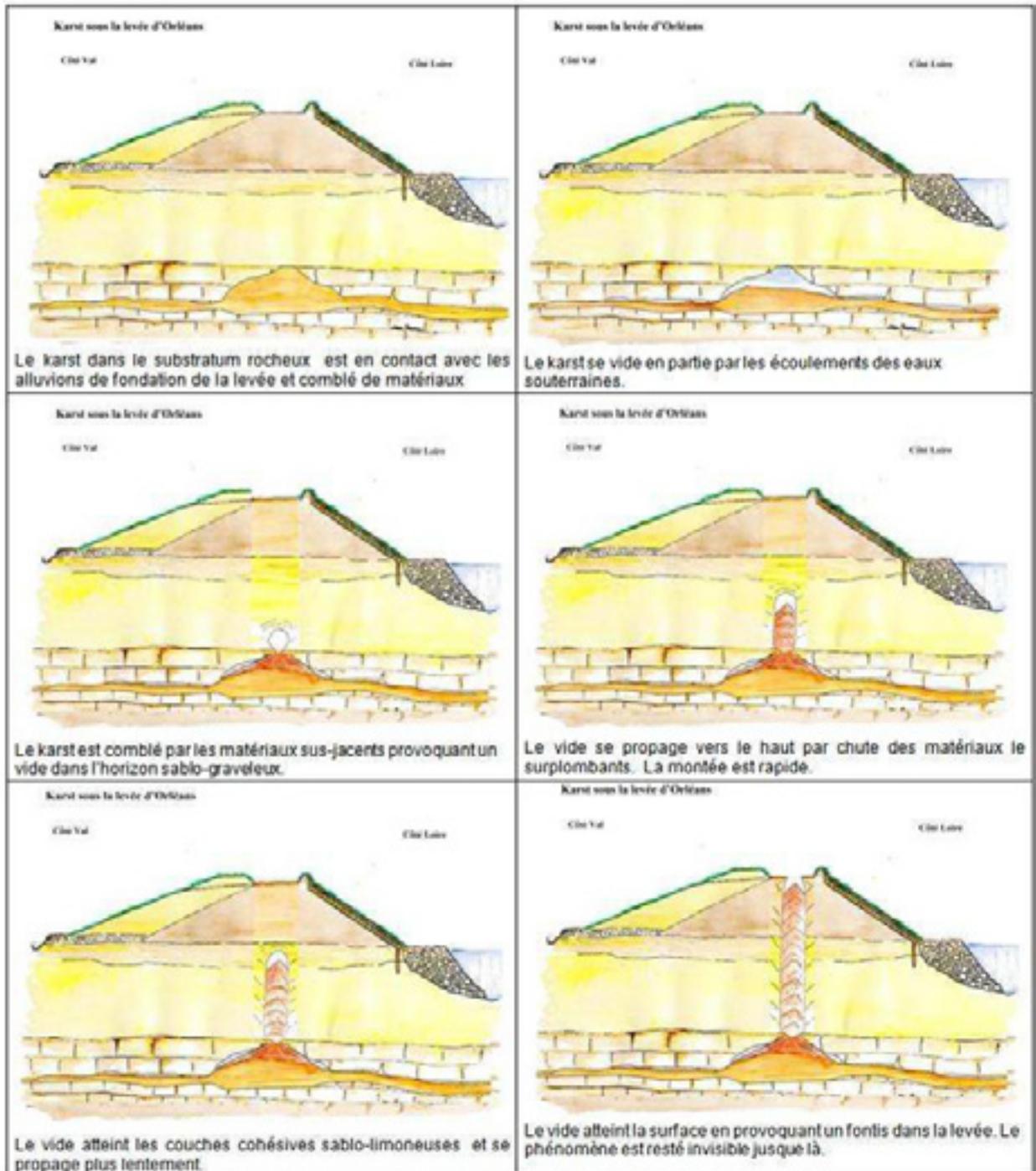


Figure 58 : Schéma de propagation d'un fontis de taille limitée (EdD de la digue d'Orléans)

2. **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.

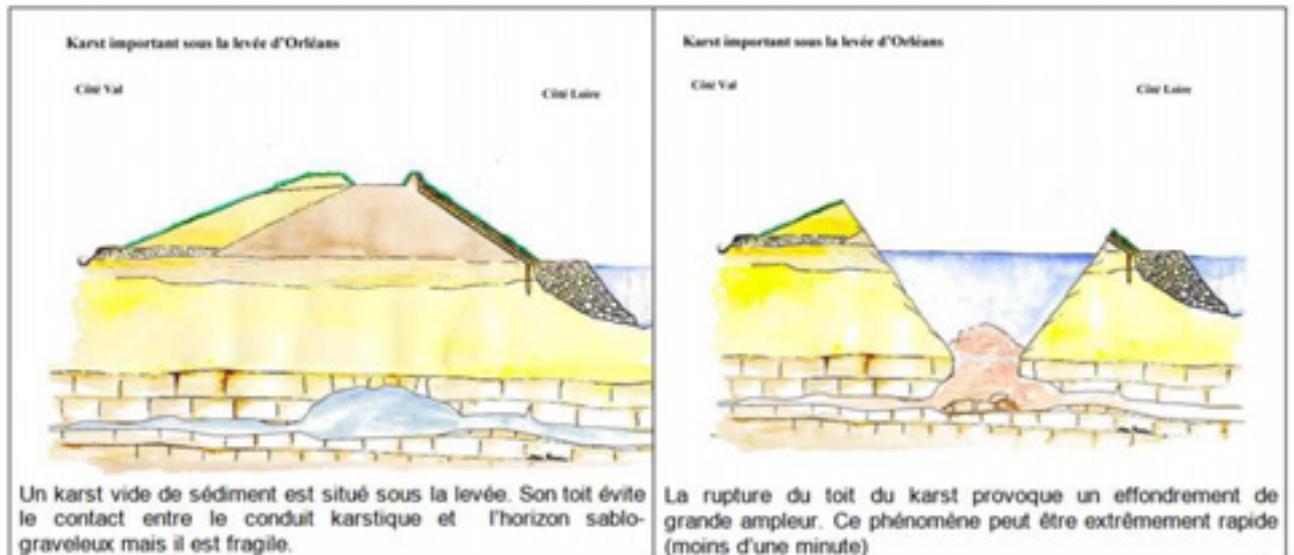


Figure 59 : Schéma d'un effondrement karstique (EdD de la digue d'Orléans)

Aucun fontis n'a été recensé sur les levées du val de Decize.

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 Decize	Prise en compte dans l'Étude de dangers	Commentaires / caractérisation
Crues de la Loire	Fort	Oui	Débits de pointe et hydrogrammes (T50 à T500)
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 Decize (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 Decize 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 les 3 crues caractéristiques du XIXème siècle :

- La **crue de 1846**, crue **la plus forte en débit** du XIXème siècle : la Loire monte à 7,5 mètres sur l'échelle de Decize (écluse rive gauche).
- La **crue de 1856**, considérée comme **la plus dévastatrice** ; elle ouvre 150 brèches sur tout le cours de la Loire.
- La **crue de 1866** : la Loire monte à 7m à l'échelle de Decize, avec un débit estimé de 4500m³/s.

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 6,28 mètres à l'échelle de Decize.

D'autres crues surviennent ensuite mais sans atteindre les niveaux d'eaux des grandes crues du 19^{ème} siècle : mai 1926, décembre 1968, mai 2001, décembre 2003.

Le tableau suivant donne la liste des crues de la Loire à l'échelle de Decize à partir de 1846 :

- Supérieures à 5m avant 1968,
- Et les plus significatives à partir de 1968

Tableau 16 : Hauteur d'eau relevées à l'échelle de Decize à partir de la crue de 1846 (Source : DDT 58)

Cours d'eau	Localisation	Date	Hauteur (m)
La Loire	DECIZE	Octobre 1846	7.06
La Loire	DECIZE	Mai 1856	6.47
La Loire	DECIZE	Juin 1862	5.04
La Loire	DECIZE	Septembre 1866	7.04
La Loire	DECIZE	Octobre 1872	5.80
La Loire	DECIZE	Octobre 1893	5.30
La Loire	DECIZE	Octobre 1907	6.28
La Loire	DECIZE	Novembre 1914	5.06
La Loire	DECIZE	Mai 1926	5.05
La Loire	DECIZE	Décembre 1968	4.97
La Loire	DECIZE	Novembre 1976	4.70
La Loire	DECIZE	Mai 1983	4.97
La Loire	DECIZE	Mai 2001	4.47
La Loire	DECIZE	Décembre 2003	5.17
La Loire	DECIZE	Novembre 2008	5.04
La Loire	DECIZE	Mai 2013	4.35

7.2 Étude des brèches historiques

7.2.1 Étude des brèches historique sur la levée de Decize

Au-delà d'une hauteur de 6 m mesurée à l'échelle de Decize (écluse rive gauche), 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'Étude de dangers.

Seule la crue de 1846 a provoqué des brèches sur les levées du val de Decize : 1 sur la levée de la jonction 2^e section et 1 sur la levée de Caqueray.

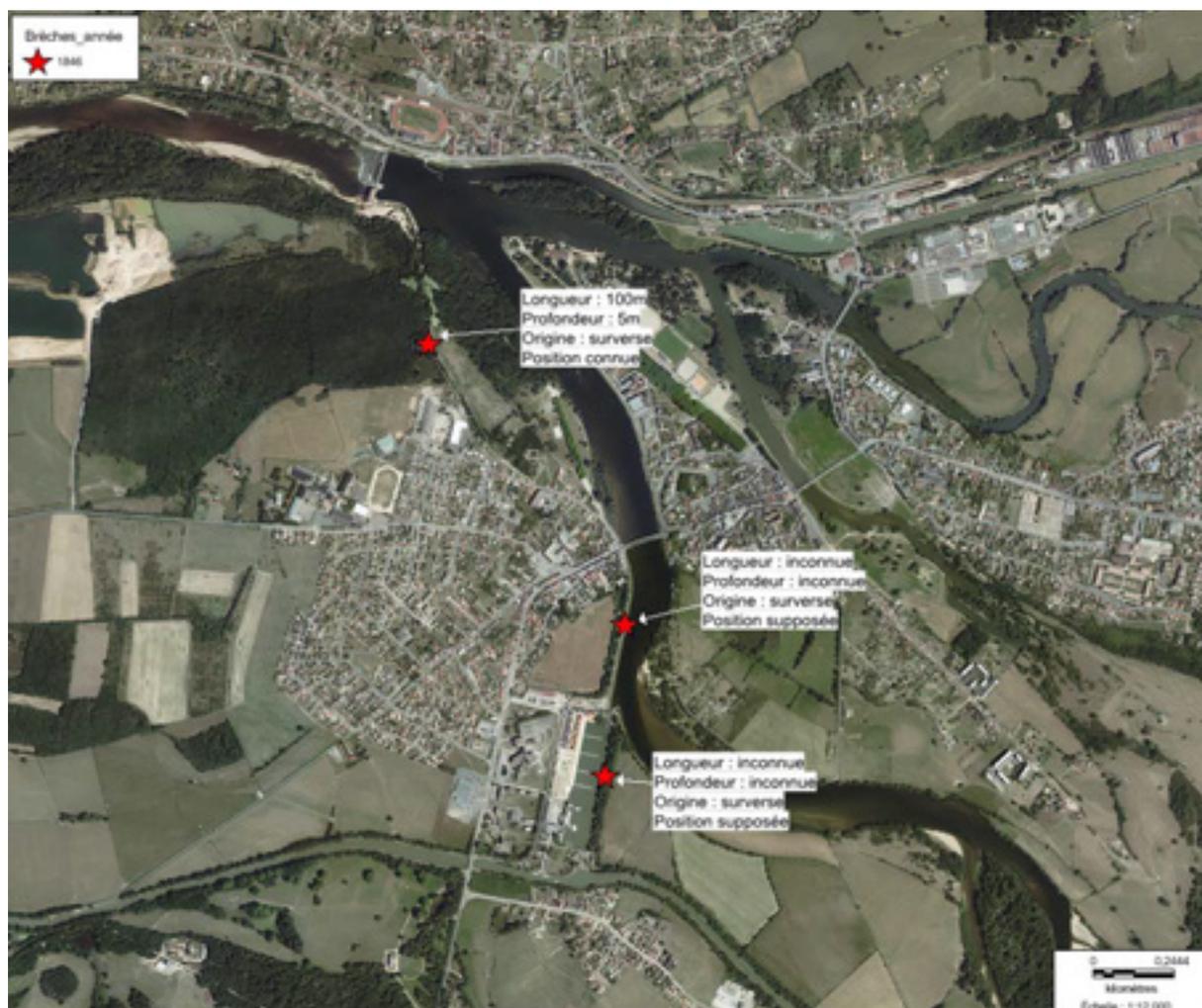


Figure 60 : Localisation et caractéristiques des brèches sur les levées de Decize rive gauche (fond de plan : orthophotos 2011)

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 levées de Decize 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 17 : 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.

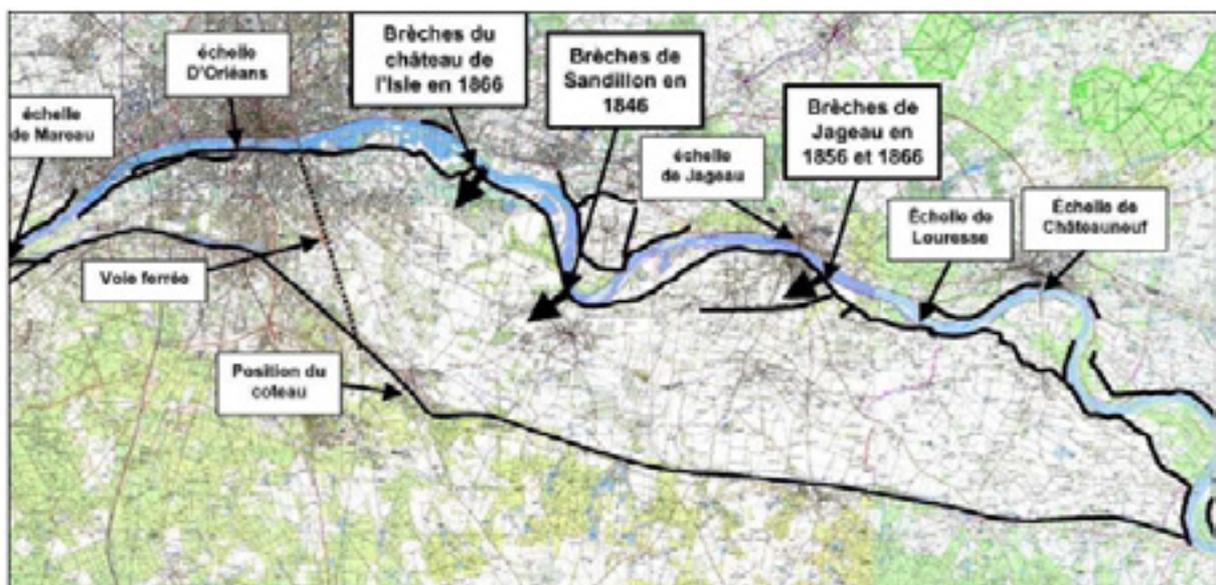


Figure 61 : Position des brèches lors des crues du XIX^{ème} siècle (Source : LR Blois)

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 18 : 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

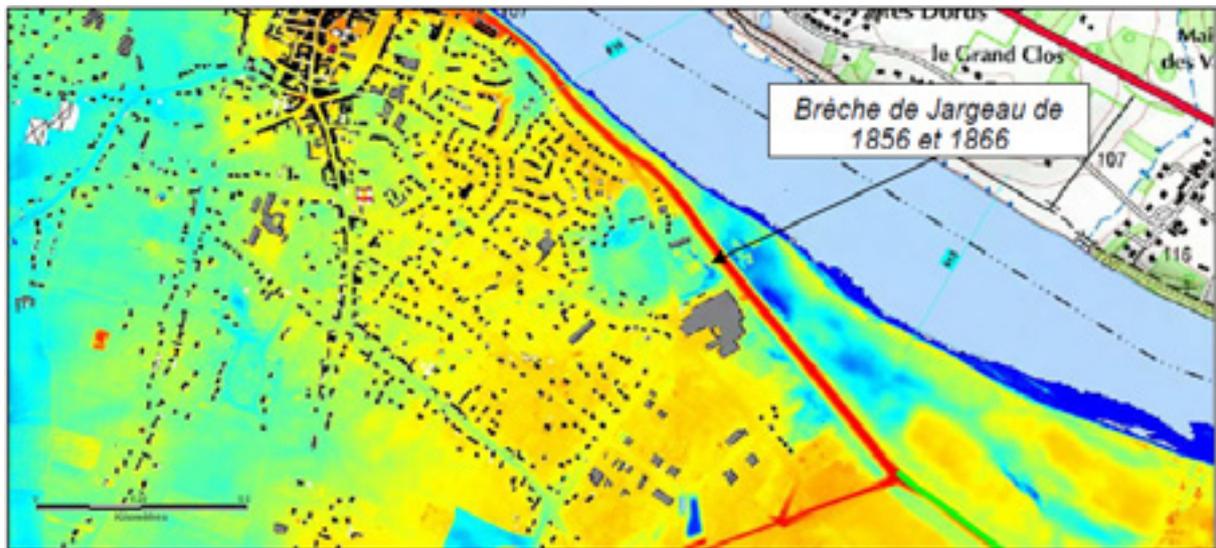


Figure 62 : Fosse d'érosion des brèches de Jargeau suite aux crues de 1856 et 1866 (Source : EdD du val d'Orléans)

7.3 Incidents récents

7.3.1 Evolution de la crue de la Loire en 2003

Avec une cote calculée de 5,27m à Decize (la cote historique fixée à 5,17mNGF), 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 63 : 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 levées de Decize

Les informations suivantes sont issues du rapport de Retour d'expérience sur la crue de 2003 de l'Etablissement Public Loire.

Entre Digoin et Nevers, les dégâts sont divers et concernent les agglomérations proches du lit de la Loire dont Decize. Le problème majeur est dans **l'annonce de la crue**. 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.

La Loire a occupé toutes les prairies environnantes ; Digoin, Decize et Imphy sont fortement touchées de part leur situation en plaine et parce qu'elles représentent les quelques zones plus dense en population. En effet, quelques quartiers ont été inondés entraînant l'évacuation de la population, l'alimentation en eau potable par le réseau de distribution a été interrompue suite à la pollution des captages. Le réseau d'électricité a pu être localement endommagé.

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 évènements 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 Decize

Lors de la VTA de 2013, 27 mouvements de terrain (MVT), 11 déstructurations d'ouvrages (DES) et 5 fissures (FIS) ont été recensés ; témoignant du vieillissement de l'ouvrage. A ceci s'ajoutent la présence d'une végétation développée en digue (VEG), sous forme d'alignement d'arbres en crête de digue (levées de la Jonction 2^e et 3^e section) ou de boisements (levée de Caqueray).

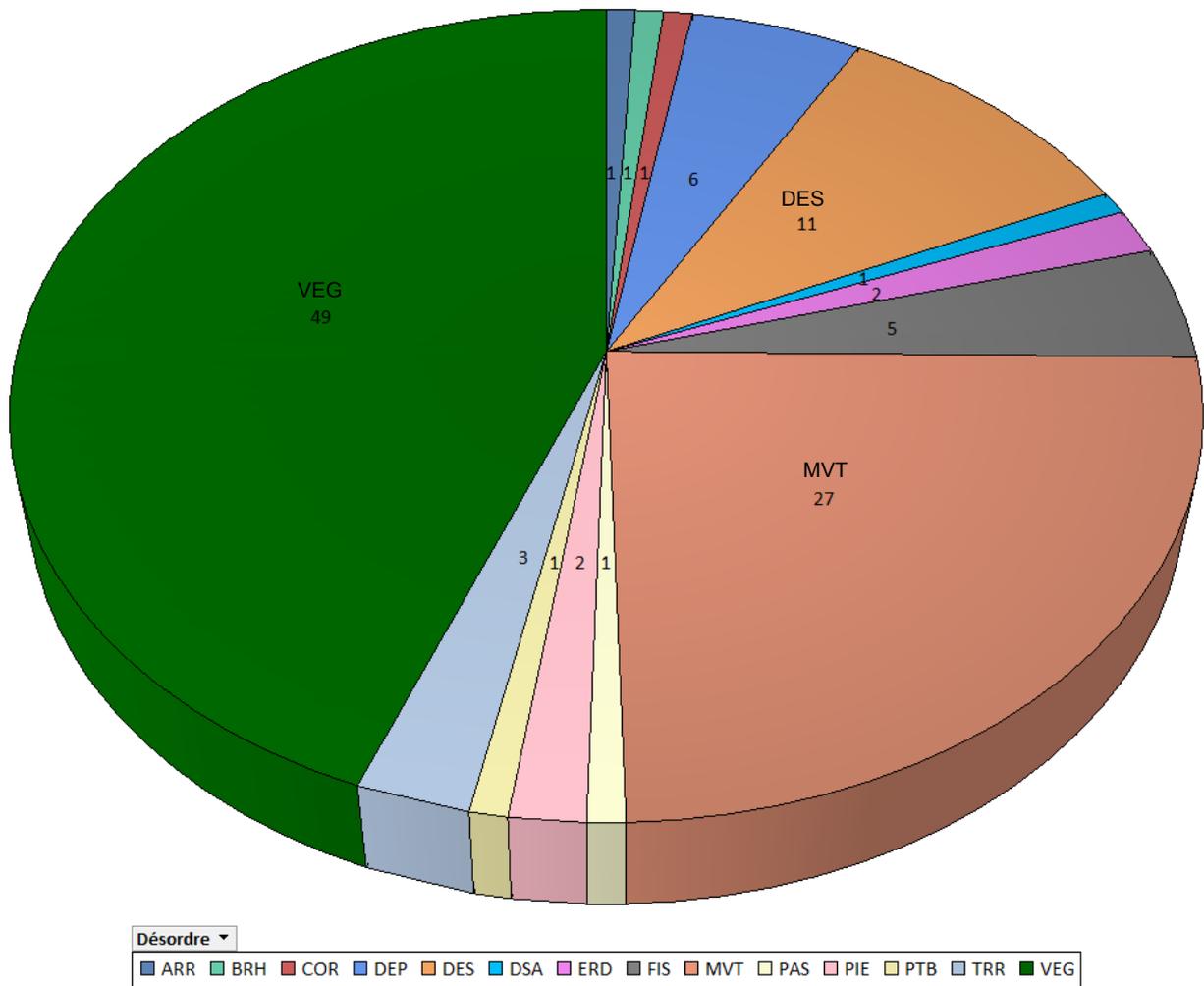


Figure 64 : Répartition des désordres recensés lors de la VTA 2013 (cf rapport VTA 2013)

Les abréviations des types de désordres sont fournies en annexe.

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 évènements 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 19 : 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 65 : Déstructuration d'une maison à Fourques (source : CETE méditerranée)



Figure 66 : Brèche sur la digue à Saint-laurent-d'Aigouze (source : CETE méditerranée)

Tableau 20 : Retours d'expériences sur la formation de brèches sur des digues en terre

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 67 : 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 levées de Decize, 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 ;
- 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.

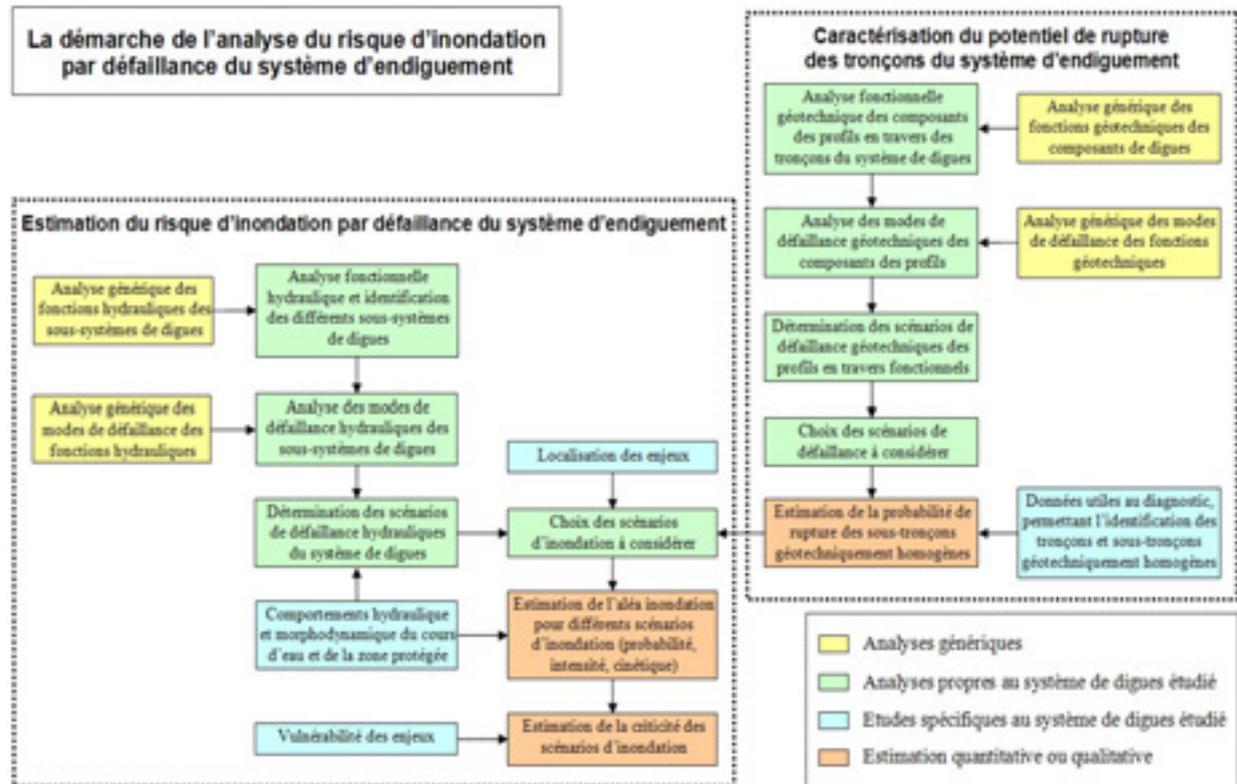


Figure 68 : démarche de l'analyse du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement (diagramme Irstea)

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 (AMDE) 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 S1 « construction du modèle hydraulique »,
- 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 levées de Decize :

- 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 : théoriquement T170 pour le système de protection du val de Decize.

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 décrite au 8.2.2.1) 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 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 unidimensionnelle) ;
- 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 21 : 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 22 : 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 Decize, un modèle hydraulique unidimensionnel 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, temps de propagation de l'onde d'inondation défini par le temps de propagation d'un casier à un autre.

Contrairement aux paramètres définis par un modèle bidimensionnel, il n'est possible d'évaluer la vitesse de propagation horizontale, le temps de montée de l'eau et le temps de propagation de l'inondation. De même, l'étendue de la zone inondée et les hauteurs d'eau ne sont pas calculées point par point mais par traitement cartographique entre le MNT du terrain naturel et les cotes

calculées dans chaque casier. C'est pourquoi il a été défini plus de casiers pour l'étude de dangers que dans le modèle initial, afin d'avoir plus de précisions sur les paramètres.

Les casiers hydrauliques ont été représentés sur les cartes pour une meilleure compréhension.

Aussi, **la caractérisation de l'aléa inondation a donc été limitée à la hauteur d'eau**. 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 suivante :

Hauteur d'eau	Aléa
0 – 0,5 m	1. Faible
0,5 – 1 m	2. Moyen
1 – 2,5 m	3. Fort
>2,5 m	4. Très fort
	5. Zone de destruction du bâti

Figure 69 : Grille d'intensité de l'aléa d'inondation

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).

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 Decize, 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).

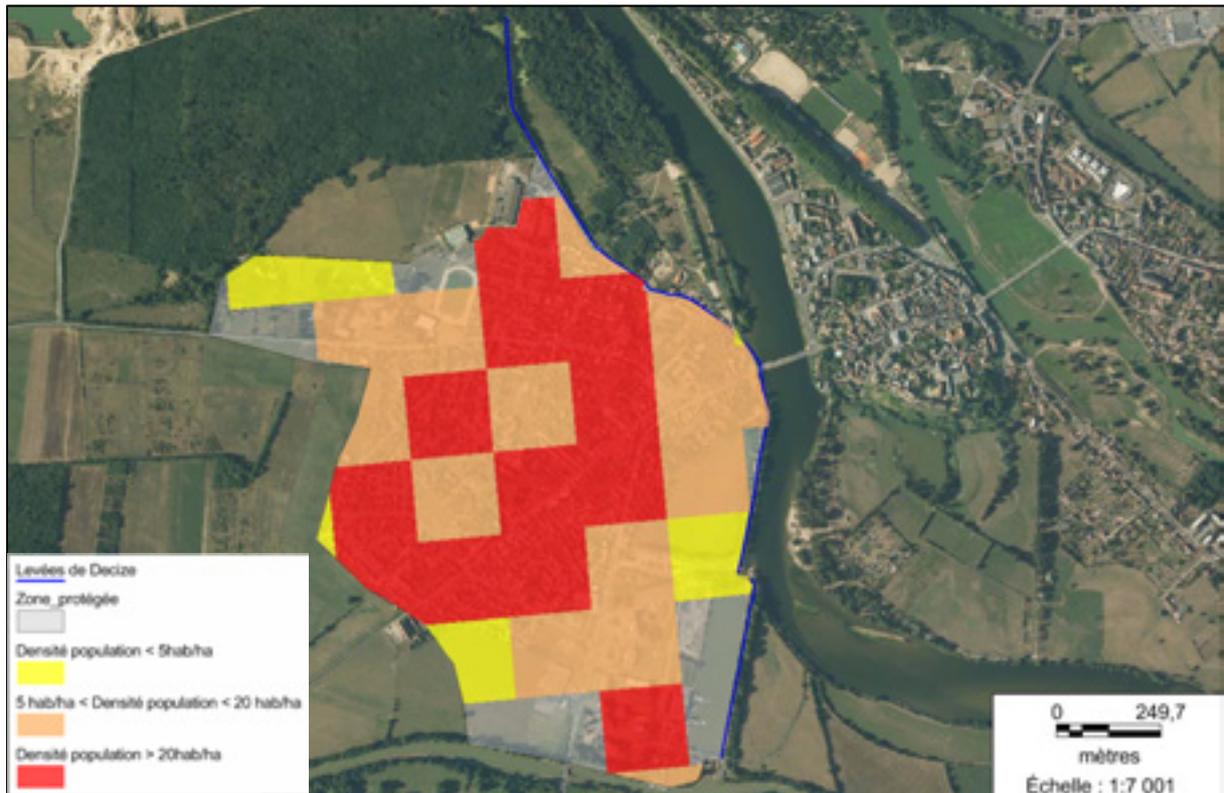


Figure 70 : Densité de population dans le val de Decize

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 :

	Aléa				
	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Destruction de bâti
Habitats en plain-pied	0%	5%	30%	70%	95%
Habitats avec étages	0%	1%	5%	30%	95%

Tableau 23 : Echelle de dangers pour les habitats

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.

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

Tableau 24 : Classes de gravité des scénarios d'inondations

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.

Criticité des scénarios		Probabilité des scénarios						
		0.01%	0.1%	0.2%	0.5%	1%	10%	
		très improbable	improbable	très peu probable	peu probable	moyennement probable	probable	très probable
gravité du scénario d'inondation	5. Déastreux	risque intolérable			risque intolérable			
	4. Catastrophique	risque intolérable			risque intolérable			
	10 000	risque intolérable			risque intolérable			
	3. Important	risque préoccupant			risque intolérable			
	1 000	risque préoccupant			risque intolérable			
100	2. Sérieux	risque acceptable			risque intolérable			
10	1. Modéré	risque acceptable			risque intolérable			

Figure 71 : 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 26 profils rentrés dans Cardigue. Les surverses ont été étudiées afin de définir le niveau de protection du système d'endiguement dans les conditions théoriques de tenue géotechnique de la digue. Il est vu au Chapitre 3 que les premières surverses sur les levées de Decize ont lieu pour la crue T170, fixant ainsi le niveau de protection apparent.

Ainsi, les scénarios de rupture avant la surverse sont pris en compte jusqu'à la crue de période de retour T170. 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.

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 levées de Decize, le profil 66 est traité indépendamment. Il correspond au déversoir de Caqueray, qui fonctionne à partir de la crue T50. Les premières surverses (hors déversoir) ont donc lieu pour la crue T170 au niveau des profils 27 et 60, qui sont submergés d'une lame d'eau fine (6cm

et 8cm). La surverse au profil 27 est une surverse « théorique » au-dessus des 20cm de hauteur d'influence de la banquette. La surverse au profil 60 est une surverse « réelle ».

Les hauteurs d'eau surversantes sont plus importantes pour la crue T200 où la surverse a lieu au droit de 9 profils.

Profil	PK	2003	50	70	100	170	200	500	2003 T50%	T70%	T100%	T170%	T200%	T500%	Σ probas annuelles (%)	
21	33.505	-1,81	-1,61	-1,30	-0,76	-0,60	-0,36	0,04	0	0	0	0	0	0	65	0,185714286
22	58.694	-1,82	-1,61	-1,31	-0,77	-0,61	-0,36	0,04	0	0	0	0	0	0	40	0,114285714
23	83.78	-1,80	-1,59	-1,27	-0,74	-0,59	-0,34	0,06	0	0	0	0	0	0	40	0,114285714
24	131.854	-1,74	-1,54	-1,23	-0,68	-0,53	-0,28	0,12	0	0	0	0	0	0	83,2	0,237714286
25	181.717	-1,54	-1,34	-1,03	-0,48	-0,33	-0,08	0,32	0	0	0	0	0	0	80	0,226571429
26	231.1	-1,51	-1,30	-0,99	-0,44	-0,28	-0,04	0,37	0	0	0	0	0	0	80	0,226571429
27	282.143	-1,17	-0,96	-0,65	-0,10	0,06	0,31	0,71	0	0	0	0	52	100	100	0,651851852
28	332.429	-1,30	-1,09	-0,78	-0,23	-0,07	0,17	0,58	0	0	0	0	0	64	80	0,401269841
29	381.374	-1,32	-1,11	-0,79	-0,24	-0,08	0,16	0,57	0	0	0	0	0	64	80	0,401269841
30	412.615	-1,59	-1,38	-1,07	-0,51	-0,36	-0,11	0,25	0	0	0	0	0	0	100	0,285714286
34	574.413	-2,03	-1,82	-1,50	-0,95	-0,79	-0,54	-0,14	0	0	0	0	0	0	0	0
35	624.406	-2,12	-1,90	-1,58	-1,03	-0,88	-0,63	-0,23	0	0	0	0	0	0	0	0
36	674.418	-2,17	-1,95	-1,63	-1,08	-0,92	-0,68	-0,29	0	0	0	0	0	0	0	0
37	724.428	-2,15	-1,93	-1,61	-1,06	-0,91	-0,66	-0,27	0	0	0	0	0	0	0	0
38	774.435	-2,10	-1,89	-1,56	-1,01	-0,86	-0,62	-0,23	0	0	0	0	0	0	0	0
39	824.436	-2,08	-1,86	-1,54	-0,99	-0,84	-0,59	-0,20	0	0	0	0	0	0	0	0
40	874.624	-2,17	-1,95	-1,62	-1,08	-0,92	-0,68	-0,29	0	0	0	0	0	0	0	0
41	924.901	-2,25	-2,03	-1,70	-1,16	-1,00	-0,77	-0,38	0	0	0	0	0	0	0	0
42	973.719	-2,35	-2,13	-1,80	-1,26	-1,11	-0,87	-0,50	0	0	0	0	0	0	0	0
60	1800.055	-1,05	-0,84	-0,54	-0,05	0,06	0,25	0,61	0	0	0	0	5	10	10	0,064814815
61	1850.071	-1,11	-0,91	-0,61	-0,13	0,00	0,21	0,54	0	0	0	0	5	10	10	0,064814815
62	1900.215	-1,20	-0,99	-0,70	-0,22	-0,09	0,13	0,46	0	0	0	0	0	6,4	8	0,040126984
63	1950.118	-1,26	-1,06	-0,77	-0,28	-0,15	0,07	0,41	0	0	0	0	0	4	8	0,033650794
64	2000.125	-1,31	-1,11	-0,82	-0,33	-0,19	0,03	0,37	0	0	0	0	0	4	8	0,033650794
65	2050.249	-1,15	-0,96	-0,67	-0,16	-0,02	0,21	0,55	0	0	0	0	0	8	8	0,044444444
66	2110.097	2,19	2,39	2,68	3,20	3,34	3,57	3,92	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,005

Figure 72: 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.

La sensibilité à l'érosion interne des levées de Decize concerne 17 profils pour les crues allant jusqu'à la T170, crue correspondant au niveau de protection apparent. Certains profils présentent néanmoins

des probabilités de rupture par érosion interne importantes dès la crue 2003 (49.5% pour le profil 40, 10% pour les profils 25 à 27).

Profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	Σ probas annuelles (%)
21	33,505	0,01	0,01	1	10	10	0,067326797
22	58,694	0,1	1	10	50	80	0,425866013
23	83,78	0,1	1	10	80	95	0,584362745
24	131,854	1	2	20	95	95	0,729575163
25	181,717	10	50	80	99	99	1,673529412
26	231,1	10	20	80	95	99	1,406100218
27	282,143	10	20	80	95	99	1,406100218
28	332,429	1	2	20	80	95	0,664215686
29	381,374	1	10	50	95	95	0,943300654
30	412,615	0,1	1	10	80	80	0,556584967
34	574,413	0,5	0,5	1	10	10	0,083660131
35	624,406	0,5	1	5	10	10	0,107434641
36	674,418	0,5	1	5	10	25	0,135212418
37	724,428	0,05	0,5	1	5	10	0,050623638
38	774,435	0,05	0,5	1	5	10	0,050623638
39	824,436	0,5	0,5	1	10	10	0,083660131
40	874,624	49,5	49,5	50	50	50	2,205555556

Figure 73 : 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.

Le modèle CARDigue, tel qu'il est construit, met en évidence une zone de fragilité au niveau de la levée de la Jonction 3^{ème} section. En effet, ceci s'explique principalement par le fait que le pied de cette levée soit en contact direct avec le lit de la Loire. Les probabilités sont non nulles pour l'ensemble des profils de la levée de la Jonction 3^{ème} section (P34 à P42). Néanmoins, seuls 2 profils (P34 et P40) ont une probabilité événementielle de rupture par érosion externe supérieure à 1%.

Profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	Σ probas annuelles (%)
34	574,413	0,33	0,33	0,66	6,6	6,6	0,055215686
35	624,406	0,022	0,044	0,22	0,44	0,44	0,004727124
36	674,418	0,0066	0,0132	0,066	0,132	0,33	0,001784804
37	724,428	0,00154	0,0154	0,0308	0,22	0,44	0,002091234
38	774,435	0,00154	0,0154	0,0308	0,22	0,44	0,002091234
39	824,436	0,0154	0,0154	0,0308	0,44	0,44	0,00339634
40	874,624	1	1	1	1	1	0,044444444
41	924,901	0,00044	0,00044	0,00044	0,00044	0,00044	1,95556E-05
42	973,719	0	0	0,00616	0,0088	0,0088	8,48366E-05

Figure 74 : Probabilité de rupture des profils soumis à érosion externe (probabilités non nulles)

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 ;
- 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 levées de Decize ne présentent pas de risque de déstabilisation d'ensemble, la largeur de leur base est suffisante par rapport à leur hauteur. La banquette en tête de la levée de la Jonction 2^{ème} section est par contre susceptible de l'être. Ainsi, seuls les 20 premiers centimètres ont été pris en compte dans le niveau de protection.

Glissement du talus côté val

La rupture par glissement du talus côté val concerne 16 profils sur les levées de Decize. Une probabilité de rupture de 5,5% est notée dès la crue T50 pour les profils 25 et 40.

Profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	Σ probas annuelles (%)
21	33,505	0,0033	0,0033	0,33	3,3	3,3	0,022217843
22	58,694	0,0011	0,11	1,1	5,5	8,8	0,046597761
23	83,78	0,011	0,11	1,1	26,4	30	0,177172059
24	131,854	0,011	0,022	2,2	10	10	0,07333415
25	181,717	0,11	5,5	8,8	10	10	0,153812092
26	231,1	0,11	0,22	0,88	1	1	0,015106209
27	282,143	0,11	0,22	0,88	1	1	0,015106209
28	332,429	0,011	0,022	0,22	0,88	1	0,007223039
29	381,374	0,011	0,11	0,55	1	1	0,010096895
34	574,413	0,055	0,055	0,11	1,1	1,1	0,009202614
35	624,406	0,165	0,33	1,65	3,3	3,3	0,035453431
36	674,418	0,165	0,33	1,65	3,3	8,25	0,044620098
37	724,428	0,0055	0,055	0,11	1,65	3,3	0,014435703
38	774,435	0,0055	0,055	0,11	0,55	1,1	0,0055686
39	824,436	0,055	0,165	0,33	3,3	3,3	0,024857843
40	874,624	0,5445	5,445	5,5	5,5	5,5	0,120098611

Figure 75 : 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 négligeables voire quasi-nulle pour l'ensemble des profils des levées de la Jonction 2^{ème} section et de Caqueray. La levée de la Jonction 3^{ème} section (P34 à P42) présente des probabilités de rupture par soulèvement hydraulique non négligeable pour certains profils. En effet, les profils 35 et 36 ont une probabilité de rupture par soulèvement hydraulique de 4% pour respectivement la crue T170 et T100.

Profil	PK	20	T50%	T70%	T100%	T170%	Σ probas annuelles (%)
34	574,413	0,04	0,04	0,4	0,8	0,8	0,008261438
35	624,406	0,04	0,4	0,4	0,8	4	0,017187364
36	674,418	0,04	0,4	0,4	4	4	0,031130719
37	724,428	0,004	0,04	0,4	0,4	0,8	0,005618519
38	774,435	0,004	0,04	0,04	0,4	0,8	0,003853813
39	824,436	0,004	0,04	0,4	0,8	0,8	0,007361438
40	874,624	0,0015	0,004	0,04	0,4	0,4	0,002750572
41	924,901	0,00001	0,00001	0,0001	0,003	0,003	1,9451E-05
42	973,719	0	0	0,00001	0,00001	0,00001	1,11111E-07

Figure 76 : Probabilité de rupture des profils soumis au soulèvement hydraulique (levée de la Jonction 3^{ème} section)

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 CARDigüe.

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 en aval de la levée de la Jonction 3^{ème} section. Cependant, les profils concernés ne sont pas dégradés. Ceci s'explique par la géométrie de la digue sur ce secteur et le faible encastrement des bâtiments.

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 Decize présentent une végétation ligneuse développée. Cette végétation est généralisée sur la levée de Caqueray et sur le talus côté Loire de la levée de la Jonction 2^{ème} section. Des linéaires de végétation (VLC) et des souches sont présents en crête et en pied de digue côté val sur les levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section. 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). 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.

Sur la levée de la Jonction 3^{ème} section, la présence de la canalisation située en bas de talus dégrade fortement le profil 40. En effet, un coefficient aggravant de 0,19 est attribué à ce profil, réduisant de manière considérable le coefficient de Bligh utilisé pour le calcul de la probabilité de rupture par érosion interne.



Figure 77 : canalisation traversante en bas de talus sur le profil 40 - Egis Eau, 2013

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 levées de Decize). 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.

Les terriers rencontrés sur les levées de Decize sont de diamètres réduits et en position haute ou médiane sur le talus de digue. Ils ont peu d'influence sur la dégradation des profils de digue.

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 de 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.

5 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.

Un désordre de ce type est identifié sur la levée de la Jonction 3^{ème} section (potence au profil 35).

N° du Profil utilisé	PK Digue (km/OrigineVal)	Présence et Position de Maison encastrée	Point Bas sur la banquette (coté Loire) ou en crete	Végétation	Présence et Position canalisation	Présence et Position Terriers	Désordres sur le talus Coté Val	Facteur aggravant l'affouillement de pied Coté Rivière
21	33,505			VLG			OBSV	
22	58,694			VLG				
23	83,78			VLG		H		
24	131,854			VLG			OBSV	
25	181,717			VLG				
26	231,1			VLG				
27	282,143			VLG			OBSV	
28	332,429			VLG				
29	381,374			VLG				
30	412,615			VLG				
34	574,413			VLC		M		
35	624,406			VLC				OBSL
36	674,418			VLC				
37	724,428			VLC		M		
38	774,435			VLC				
39	824,436			VLC				
40	874,624			VLC	188,77			
41	1761,757	Val		VLI			OBSV	
42	1810,575	Val					DECAP+OBSV	
60	2636,911			VLG				
61	2686,927			VLG				
62	2737,071			VLG				
63	2786,974			VLG				
64	2836,981			VLG		H		
65	2887,105		o	VLG				
66	2946,953			VLG				

Figure 78 : causes principales des risques sur l'ensemble des profils CARDigue de la levée de Decize

N° du Profil utilisé	PK Digue (km/OrigineVal)	Présence et Position de Maison encastrée	Point Bas sur la banquette (coté Loire) ou en crete	Végétation	Présence et Position canalisation	Présence et Position Terriers	Désordres sur le talus Coté Val	Facteur aggravant l'affouillement de pied Coté Rivière
21	33,505			VLG			OBSV	
22	58,694			VLG				
23	83,78			VLG		H		
24	131,854			VLG			OBSV	
25	181,717			VLG				
26	231,1			VLG				
27	282,143			VLG			OBSV	
28	332,429			VLG				
29	381,374			VLG				
30	412,615			VLG				
34	574,413			VLC		M		
35	624,406			VLC				OBSL
36	674,418			VLC				
37	724,428			VLC		M		
38	774,435			VLC				
39	824,436			VLC				
40	874,624			VLC	188,77			

Figure 79 : causes principales des risques pour les profils présentant une probabilité de rupture par érosion interne > 1%

8.3.2.7 Les surverses non contrôlées

Il existe un déversoir sur la levée de Caqueray, à l'aval du système d'endiguement du val de Decize. Ce déversoir a un rôle limité dans le sens où le val commence déjà à être inondé par remous pour la crue T50, correspondant au niveau de protection au droit du déversoir.

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 levées de Decize. L'absence de franc-bord au droit de la levée de la Jonction 3^{ème} section constitue une cause de défaillance non négligeable sur ce linéaire.

8.3.3 Niveaux de sûreté des levées de Decize

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 25 : Synthèse des niveaux de sûreté des levées du val de Decize

Levée	Niveau de sûreté	Cote à l'échelle de Decize (m NGF)	Hauteur d'eau estimée (m)	Débit de pointe (m ³ /s)
Jonction 2 ^{ème} section	Niveau de la crue 2003 modélisée	191,62	5,27*	1138
Jonction 3 ^{ème} section	Niveau de la crue 2003 modélisée	191,62	5,27*	1138**
Caqueray	Niveau de la crue T170***	192,95	6,5	3500

**Pour la crue 2003, un décalage d'environ 10cm est constaté entre la hauteur d'eau historique (observée) et la hauteur d'eau estimée dans le modèle Hydrariv LGN (cf rapport de calage du modèle LGN). La hauteur d'eau historique a été constatée à 5,17m.*

Cette crue correspond à un temps de retour d'environ 30 ans.

***Débit issu du modèle Hydrariv LGN (cf rapport de calage du modèle LGN).*

****Ce niveau de sûreté est déterminé par le modèle d'aléa de rupture. Néanmoins, il n'est pas significatif puisque l'aval de la levée est inondé par remous dès la crue T70.*

Le niveau de sûreté global du val de Decize correspond donc au niveau de la crue 2003 modélisée.

8.4 Estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement du val de Decize

Cette estimation consiste en l'évaluation de la criticité de différents scénarios d'inondation de la zone protégée que constitue le val de Decize.

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, 3 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 27 (initiée par une rupture de la banquettes par érosion interne),
- Scénario le plus probable : rupture initiée par érosion interne au profil 40 pour une crue T50,

- Scénario le plus pénalisant : brèche au profil 25 pour une crue supérieure à la crue T70, qui engendre une inondation au niveau de l'hôpital.
- Scénario qui conduit à l'inondation la plus étendue de la zone protégée : brèche au profil 25 pour une crue T100 (le val n'est pas encore trop inondé par remous)

Il n'a pas été choisi de crue type 2003 pour les scénarios d'inondation, même si le niveau de sûreté est pour une telle crue car la zone inondée dans le cas d'une crue type 2003 resterait contenue dans le port de la Jonction (pour une brèche sur la Jonction 2^e section) ou dans la zone agricole (pour une brèche sur la Jonction 3^e section).

Les scénarios d'inondation retenus sont les suivants.

Tableau 26 : Scénarios d'inondation retenus

N°	Scénario d'inondation	N° profil	Crue	Probabilité de rupture événementielle	Probabilité annuelle du scénario	Qualification de la probabilité annuelle du scénario
1	Rupture de la banquette initiée par érosion interne au P27	P27	T200	100%	0,5%	Peu probable
2	Rupture initiée par érosion interne au P25	P25	T100	99%	0,99%	Moyennement probable
3	Rupture initiée par érosion interne au P40	P40	T50	49,5%	0,99%	Moyennement 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.

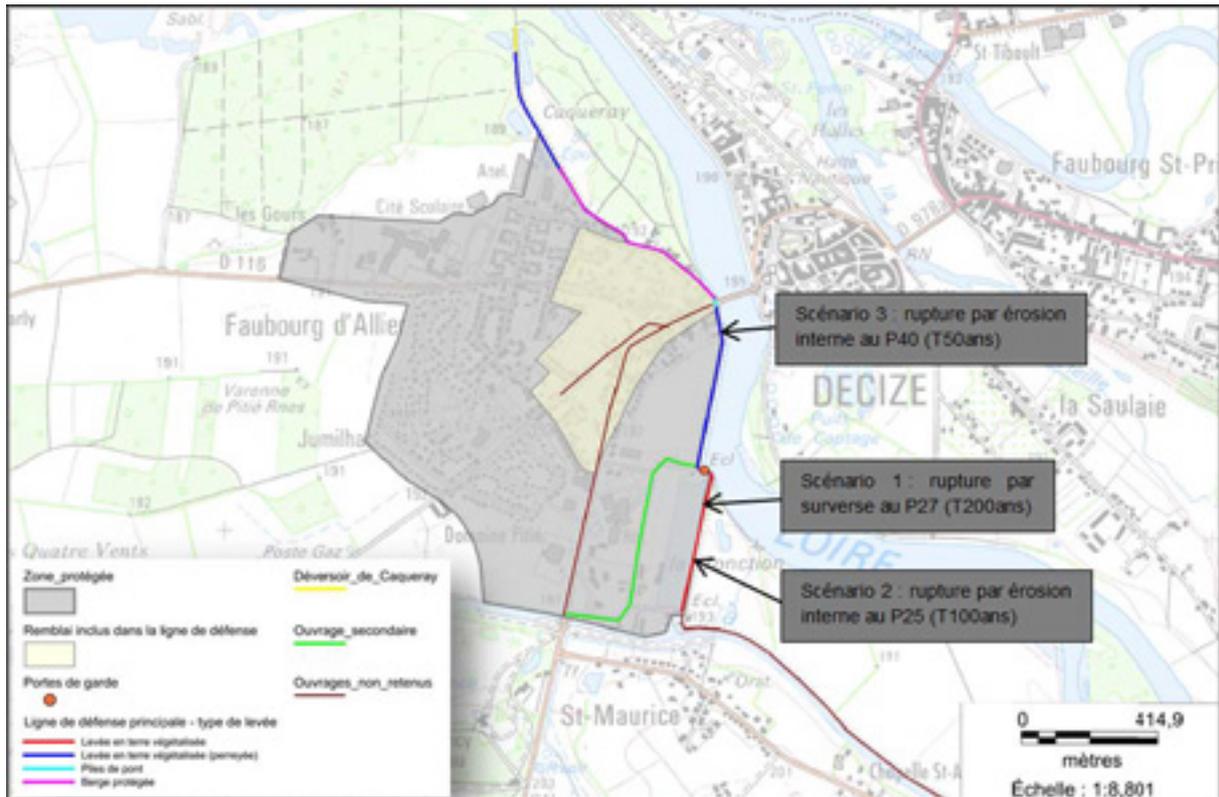


Figure 80 : Localisation des scénarios d'inondations étudiés – val de Decize

8.4.1.1 Scénario d'inondation 1 : rupture de la banquette initiée par érosion interne au profil 27 puis rupture de la levée par surverse (T = 200 ans)

La brèche simulée pour ce scénario est une rupture de la banquette de la Jonction 2^e section, initiée par érosion interne, au profil 27, puis d'une rupture de la levée, initiée par surverse.

Cette brèche se situe au niveau du port de la Jonction (casier 3A).

La brèche s'étend au niveau du profil 27, sur une largeur de 150m et sur une hauteur de 2,25m (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 51 cm.

La brèche est déclenchée au moment où la hauteur de surverse au-dessus de la crête de digue atteint les 20cm d'influence de la banquette.



Figure 81 : Scénario d'inondation n°1 - carte de localisation de la brèche (profil 27)

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.

8.4.1.2 Scénario d'inondation 2 : rupture de la levée initiée par érosion interne au profil P25 (T=100ans)

La brèche simulée pour ce scénario est une rupture de la levée de la Jonction 2^e section, initiée par érosion interne au profil 25.

Cette brèche se situe au niveau du port de la Jonction (casier 3A).

La brèche s'étend au niveau du profil 25, sur une largeur de 150m et sur une hauteur de 2,70m (hauteur totale de la levée).

Ce scénario est défini pour une crue T100, crue pour laquelle la probabilité est de 0,01. Comme indiqué précédemment, ce scénario a été préféré au scénario T70, pour lequel les eaux restaient contenus dans le port.

Le scénario de défaillance pour cette crue a une probabilité événementielle de 99% (très forte). La brèche est déclenchée au pic de la crue.

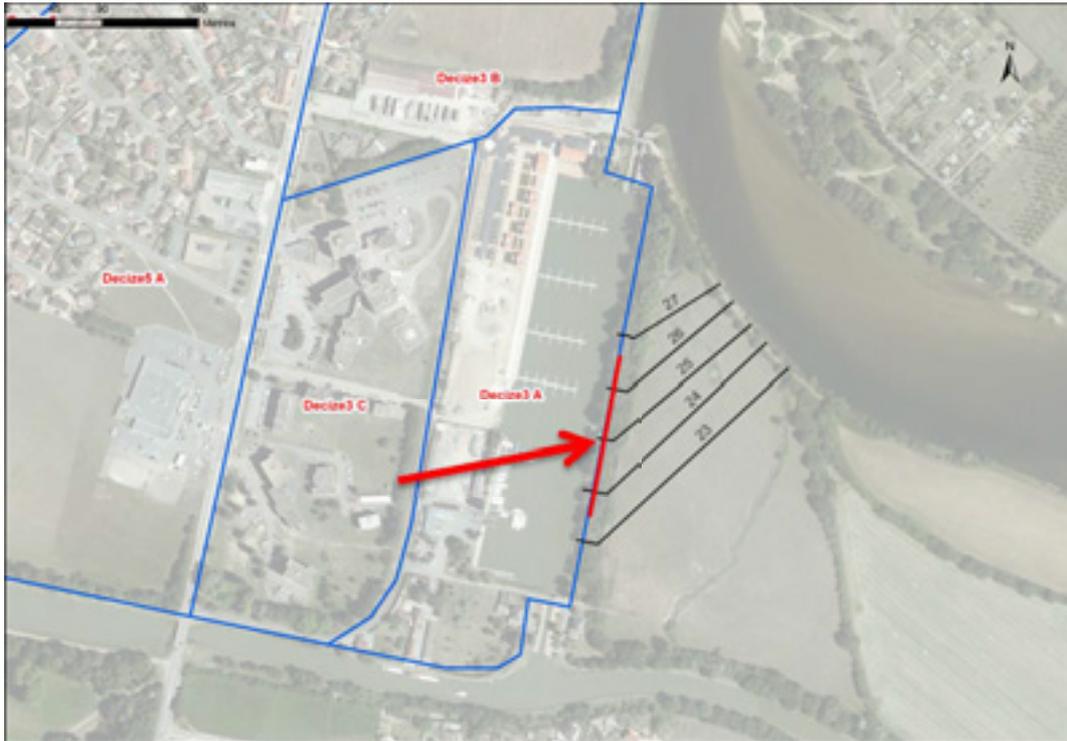


Figure 82 : Scénario d'inondation n°2 - carte de localisation de la brèche (profil 25)

Cette rupture a une probabilité annuelle estimée à 0,99% et est qualifiée de « moyennement probable ».

A noter que toute autre entrée d'eau dans le val n'est pas simulée.

8.4.1.3 Scénario d'inondation 3 : rupture de la levée initiée par érosion interne au profil P40 (T=50ans)

La brèche simulée pour ce scénario est une rupture de la levée de la Jonction 3^e section, initiée par érosion interne au profil 40.

Cette brèche se situe en aval du port de la Jonction, au droit d'une parcelle agricole (casier 3B).

La brèche s'étend au niveau du profil 40, sur une largeur de 150m et sur une hauteur de 4,40m (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 49,5% (forte). La brèche est déclenchée au pic de la crue.



Figure 83 : Scénario d'inondation n°2 - carte de localisation de la brèche (profil 25)

Cette rupture a une probabilité annuelle estimée à 0,99% et est qualifiée de « moyennement 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 1D de la Loire, construit sous le logiciel Hydrariv et mis à jour dans le cadre des études de dangers.

8.4.2.1 Construction du modèle hydraulique

Les caractéristiques du modèle et les mises à jour réalisées sont expliquées dans l'étude spécifique S01 Etude hydraulique locale via l'utilisation d'un modèle 1D à casiers.

8.4.2.2 Résultats des modélisations hydrauliques 1D

Le modèle a été modifié afin de pouvoir représenter les 3 scénarios d'inondation présentés précédemment.

Les résultats sont donnés, pour chaque scénario, en terme de hauteurs d'eau. Les cartes des hauteurs d'eau maximales sont données ci-après. Sur ces cartes de hauteurs d'eau, seuls les casiers hydrauliques ont été représentés.

Il est à noter que les inondations par remontée de nappe et/ou par ruissellement urbain ne sont pas prises en compte sur ces cartes.

L'analyse des résultats du modèle permet également d'avoir des informations sur la cinétique de crue (temps de propagation entre deux casiers hydrauliques).

Le découpage en casiers sur Decize est le suivant :

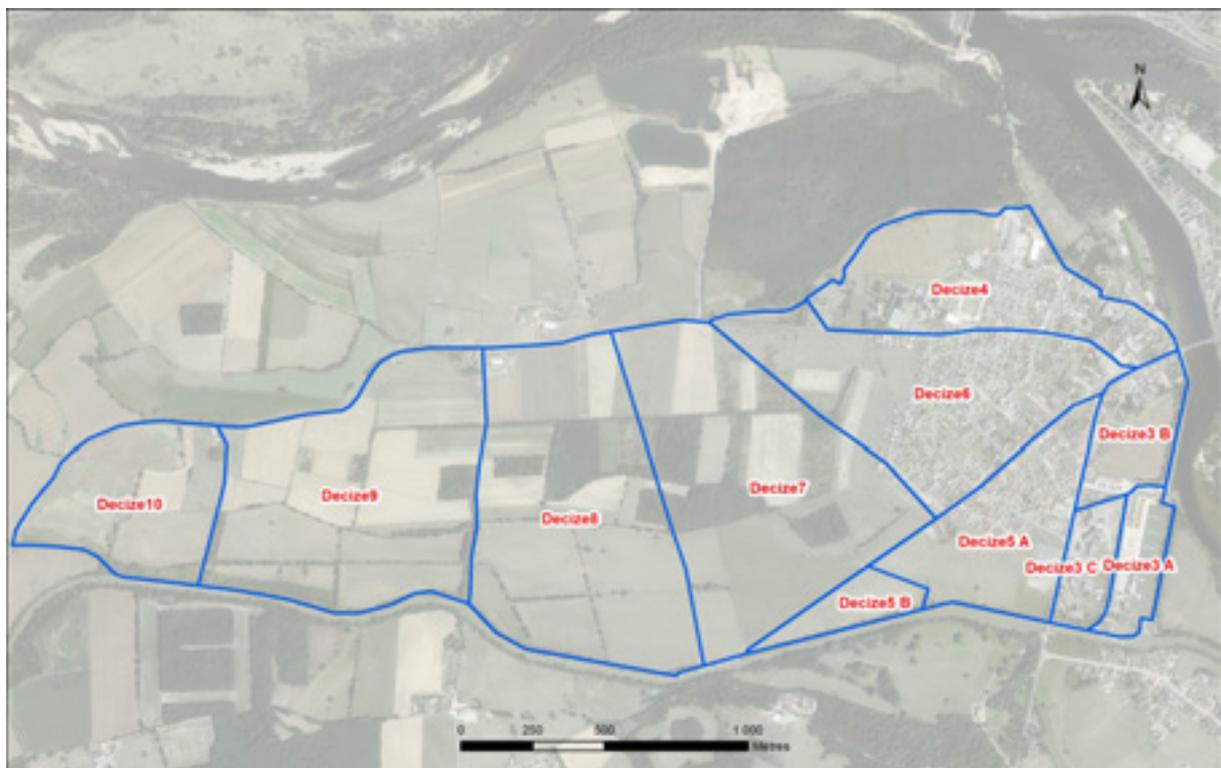


Figure 84 : Localisation des casiers hydrauliques - Decize

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Decize
Scénario 1 : Rupture de la banquette initiée par érosion interne au profil 27
puis rupture de la levée par surverse (T = 200 ans)

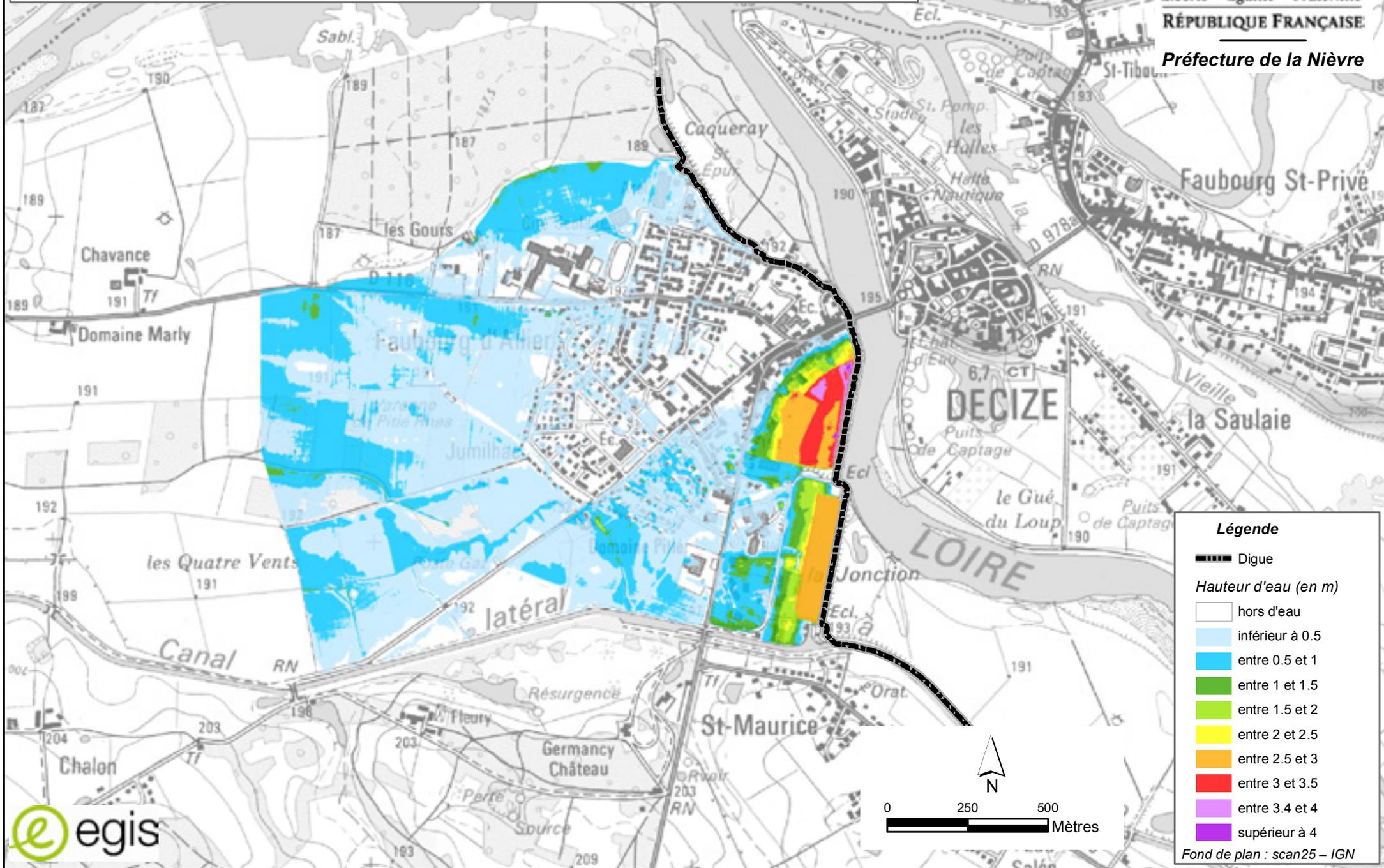
Hauteurs d'eau maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Decize
Scénario 2 : Rupture initiée par érosion interne au profil 25 (T = 100 ans)

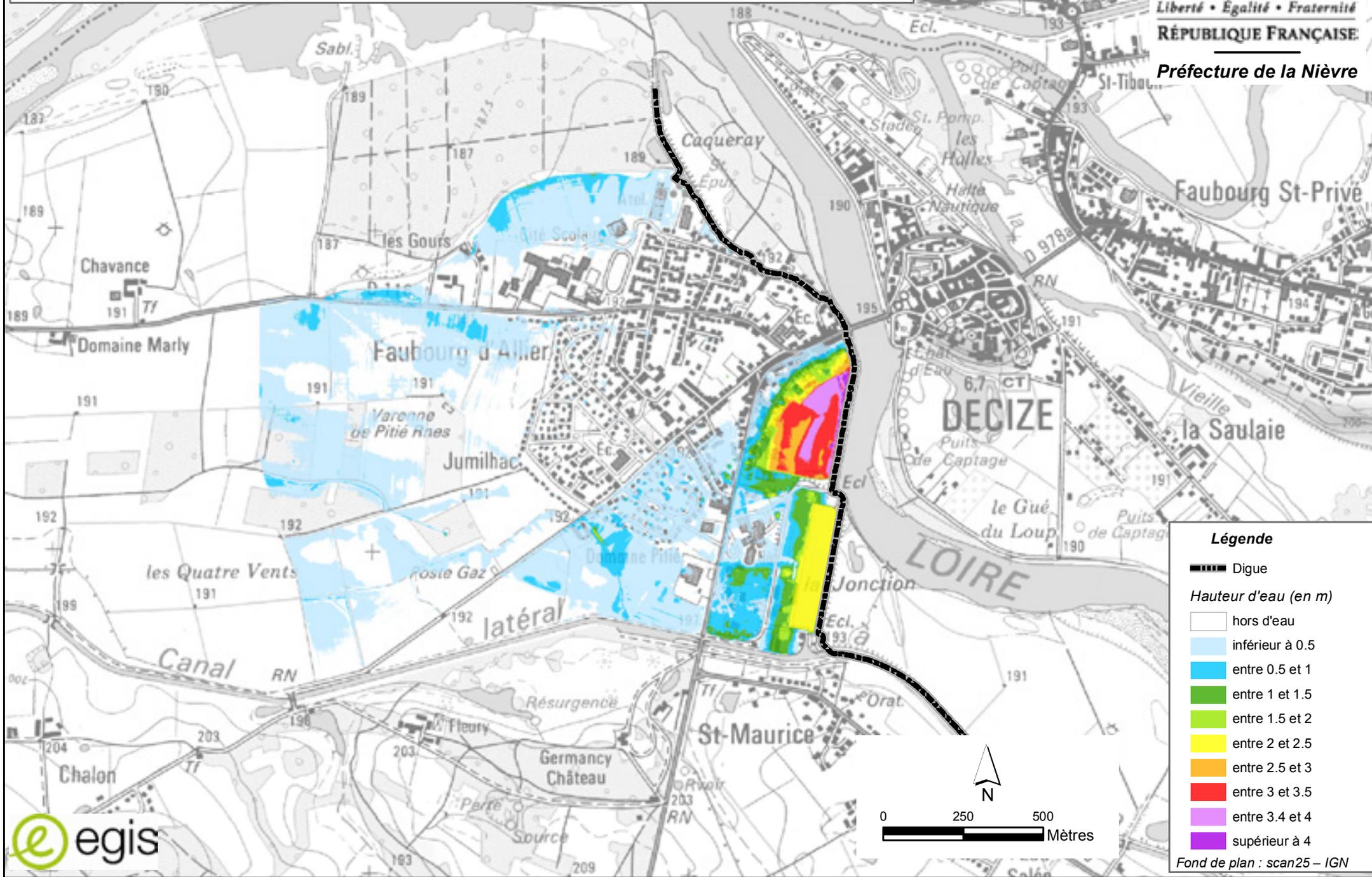
Hauteurs d'eau maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Decize
Scénario 3 : Rupture initiée par érosion interne au profil 40 (T = 50 ans)

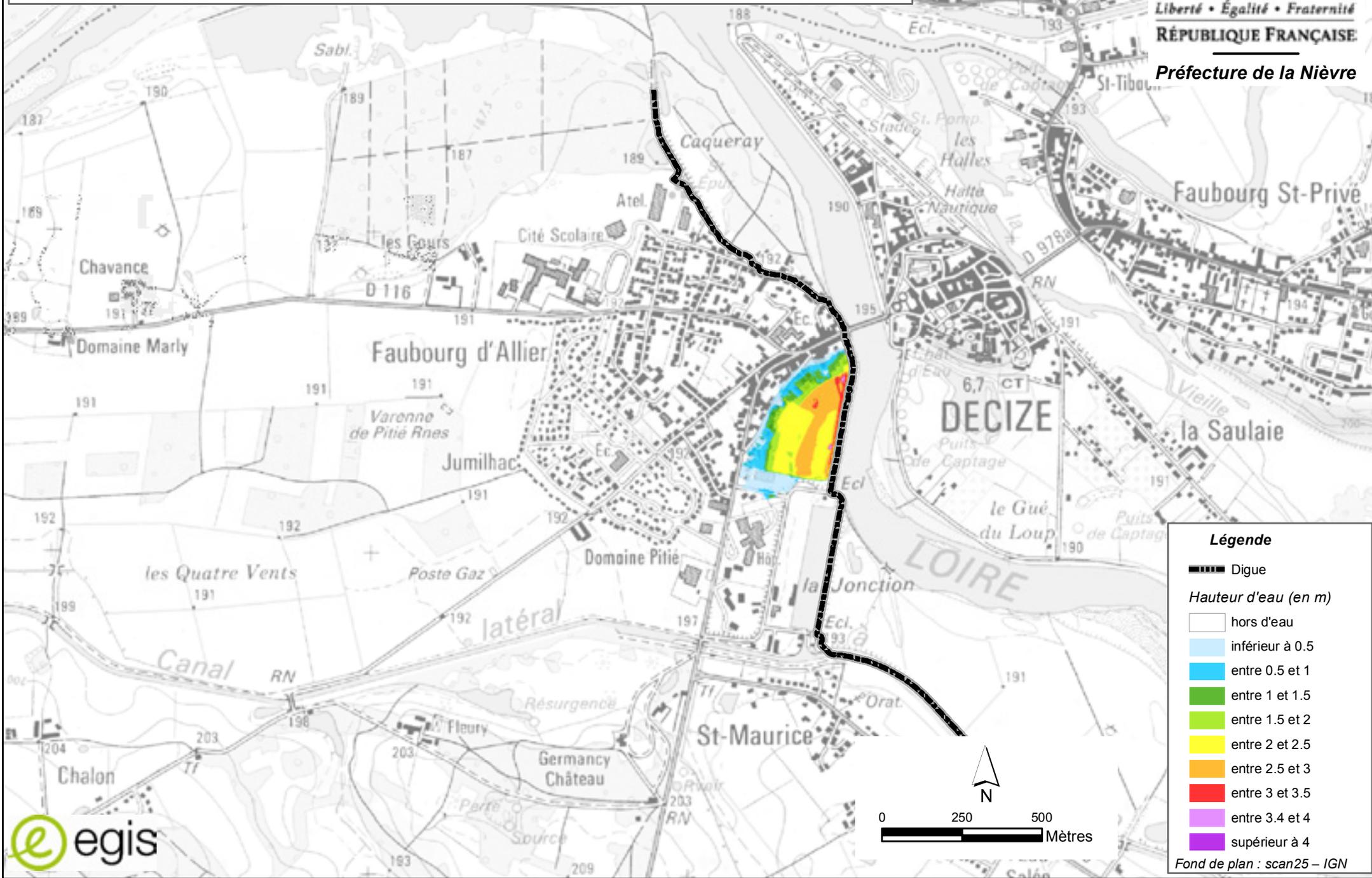
Hauteurs d'eau maximales



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Scénario 1

Pour ce scénario, la brèche se situe en amont (casier 3A). A l'ouverture de la brèche, ce casier se retrouve tout de suite inondé à un niveau identique à celui de la Loire. Les casiers à proximité (casiers 3-C, 3-B, 5-A) sont inondés quasiment en même temps, à des niveaux plus faibles.

L'ouverture de la brèche se fait un peu avant le pic de la crue (hauteur d'eau de 20cm au-dessus de la crête de digue).

On constate que les casiers 4 et 6 sont inondés avant la formation de la brèche, ceci pour deux raisons : l'inondation par remous aval et le surverse par-dessus la levée de Caqueray dont le niveau de protection apparent est la T170ans.

Le casier 5-B est atteint 3heures après les autres casiers par les inondations.

La partie urbaine située au nord de la rue des 4 vents est peu touchée par les inondations, contrairement à la partir sud (hauteurs d'eau inférieures à 50cm).

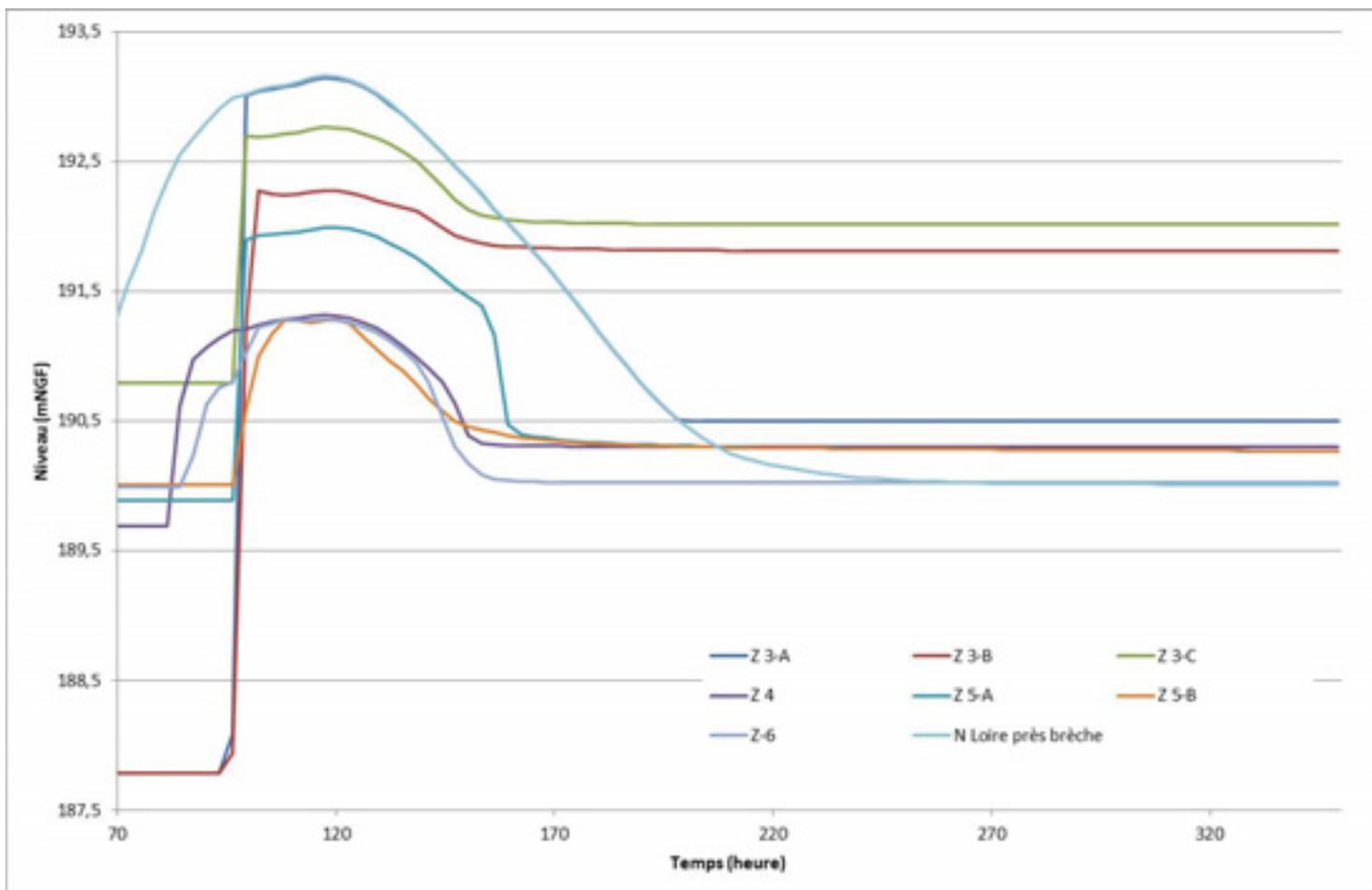


Figure 88 : Evolution des niveaux d'eau dans le val – scénario d'inondation n°1

Scénario 2

Pour ce scénario, la brèche se situe en amont (casier 3A). A l'ouverture de la brèche, ce casier se retrouve tout de suite inondé à un niveau identique à celui de la Loire. Le casier 3-C à proximité est inondé quasiment en même temps, à des niveaux un peu plus faible.

Les autres casiers à proximité (3-B, 5-A, 5-B) sont inondés avec deux heures de décalage.

On constate que les casiers 4 et 6 sont inondés avant la formation de la brèche du fait de l'inondation par remous aval.

La partie urbaine située au nord de la rue des 4 vents n'est quasiment pas touchée par les inondations, contrairement à la partie sud (il ne s'agit que de l'inondation par remous aval).

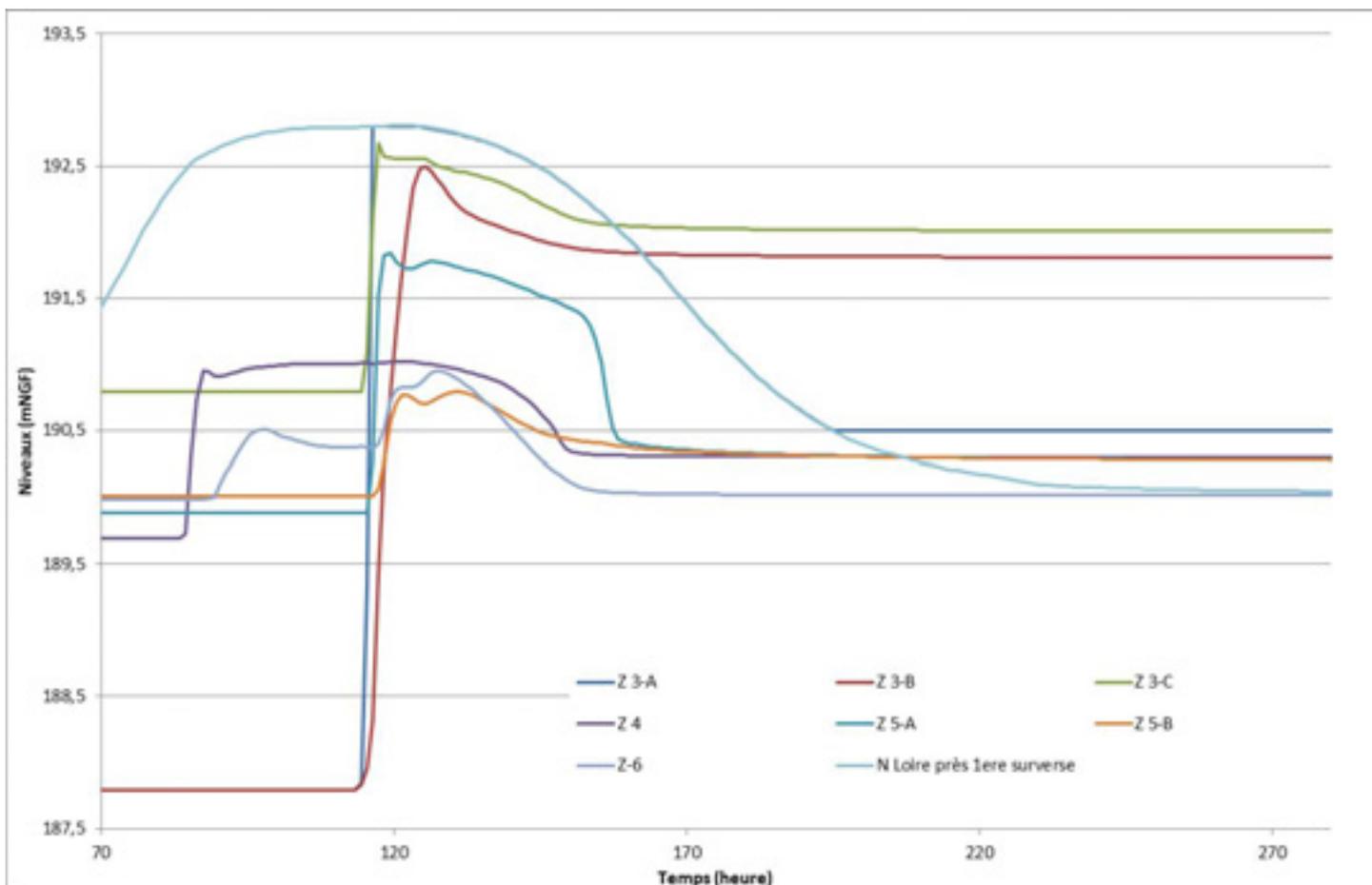


Figure 89 : Evolution des niveaux d'eau dans le val – scénario d'inondation n°2

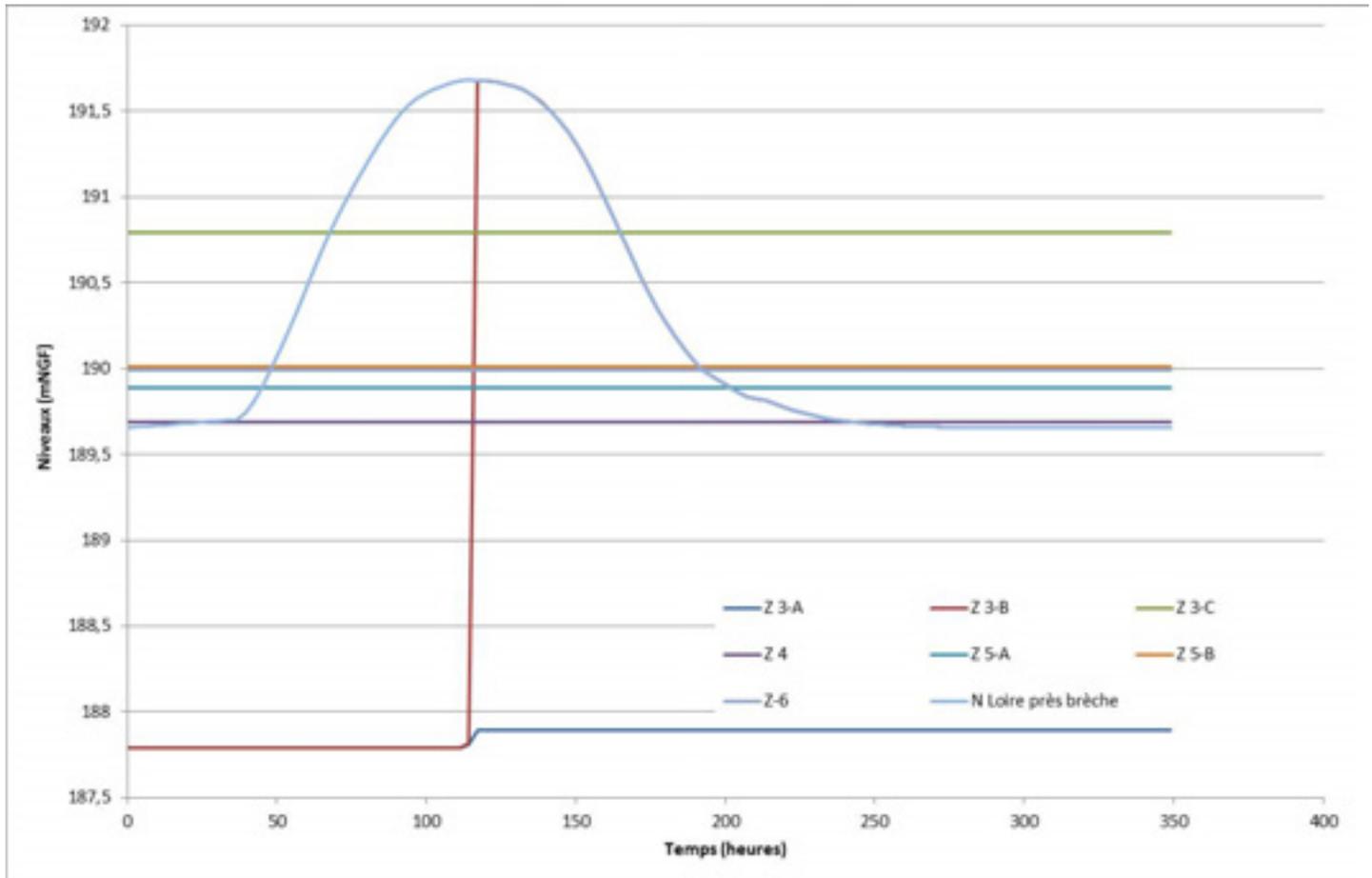
Scénario 3

Pour ce scénario, la brèche se situe en aval du port de la Jonction (casier 3-B). A l'ouverture de la brèche, ce casier se retrouve tout de suite inondé à un niveau identique à celui de la Loire. Le casier 3-A à proximité n'est quasiment pas atteint.

Les autres casiers à proximité (3-C, 5-A, 5-B) ne sont pas inondés. Les eaux restent contenues dans le casier 3-B.

Pour une crue T50, les casiers 4 et 6 ne sont pas inondés non plus (pas d'inondation par remous aval).

La partie urbaine située au nord et à l'ouest de la D978A n'est pas touchée par les inondations.



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, 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. Comme vu au paragraphe 8.2.3.2, la caractérisation de l'aléa inondation est limitée à la hauteur d'eau. La grille d'intensité de l'aléa inondation (Figure 69) dans le cadre de cette étude de dangers a été fournie au § 8.2.3.2.

La mise en application de cette grille de classes d'aléa a permis d'obtenir les cartes d'aléa pour les différents scénarios d'inondation étudiés.

Scénario 1 : Le val situé au sud et à l'est de la D978A se trouve principalement en aléa moyen à fort. La zone urbaine située au nord et à l'ouest se trouve principalement en aléa faible.

La zone de destruction de bâti ne touche pas d'habitations.

Scénario 2 : Le val situé au sud et à l'est de la D978A se trouve en aléa moyen à fort. La zone urbaine située au nord et à l'ouest se trouve en aléa faible à moyen.

La zone de destruction de bâti ne touche pas d'habitations.

Scénario 3 : La zone touchée par les inondations (parcelle agricole et habitations de la rue du levant) se trouve majoritairement en aléa fort.

La zone de destruction de bâti touche les habitations de la rue du levant.

Études de dangers des digues domaniales de classe B du département de la Nièvre – val de Decize
Scénario 1 : Rupture de la banquette initiée par érosion interne au profil 27
puis rupture de la levée par surverse (T = 200 ans)

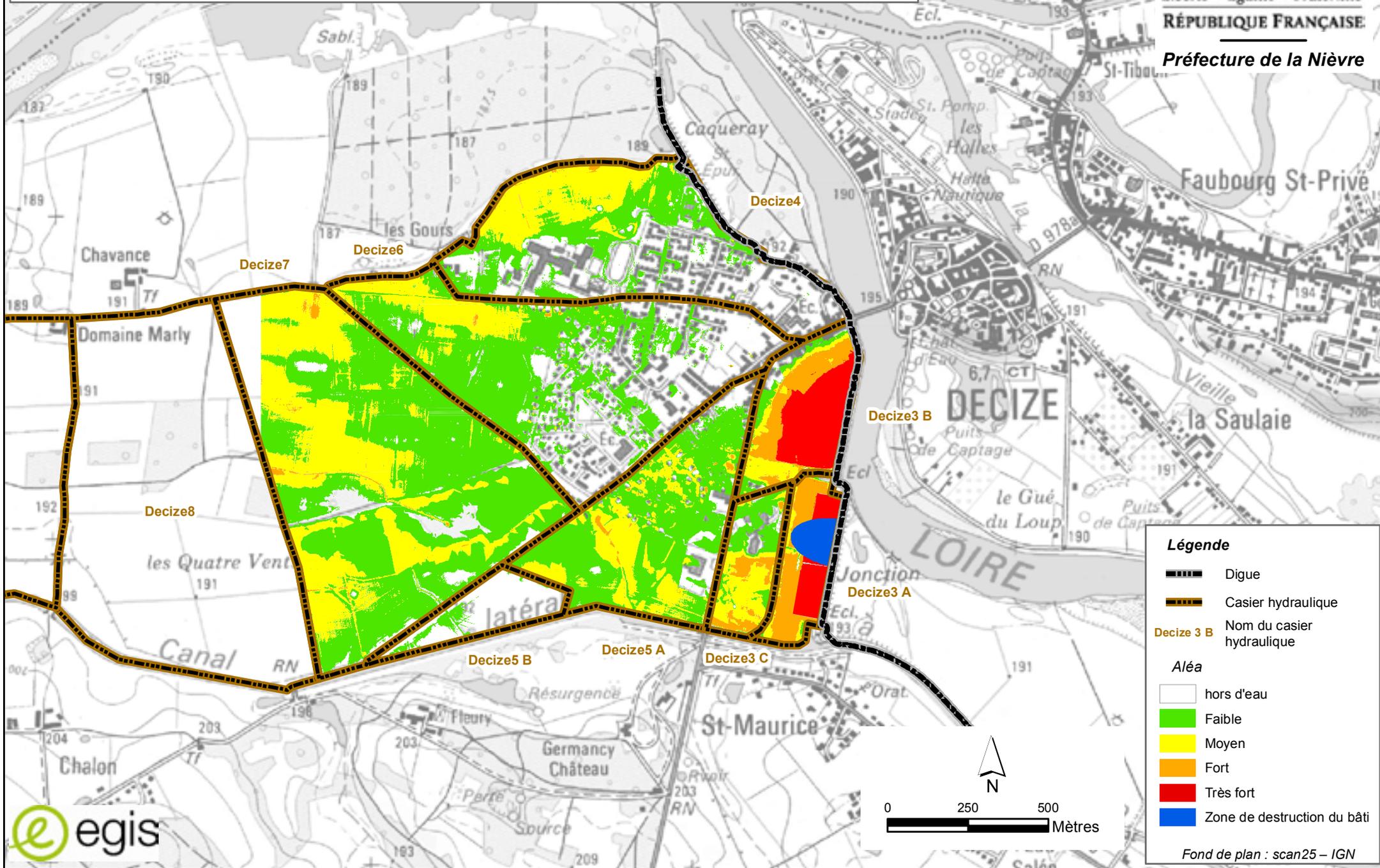
Aléa inondation



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre

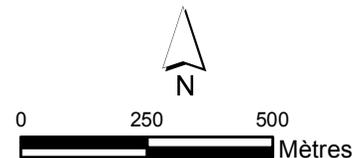


Légende

- Digue
- Casier hydraulique
- Decize 3 B
Nom du casier hydraulique

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 Decize
Scénario 2 : Rupture initiée par érosion interne au profil 25 (T = 100 ans)

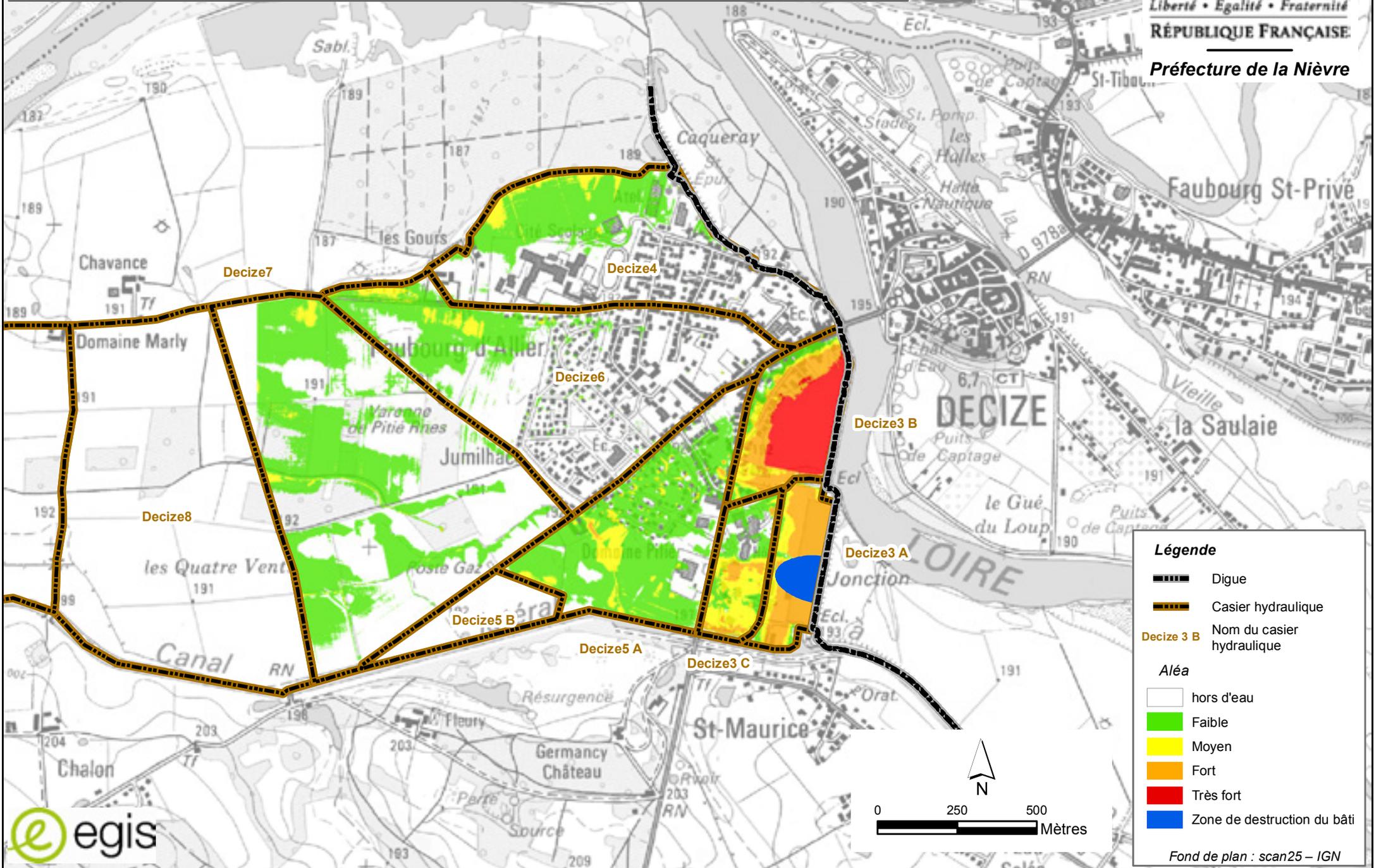
Aléa inondation



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



Légende

- Digue
- Casier hydraulique
- Decize 3 B
Nom du casier hydraulique
- 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 Decize
Scénario 3 : Rupture initiée par érosion interne au profil 40 (T = 50 ans)

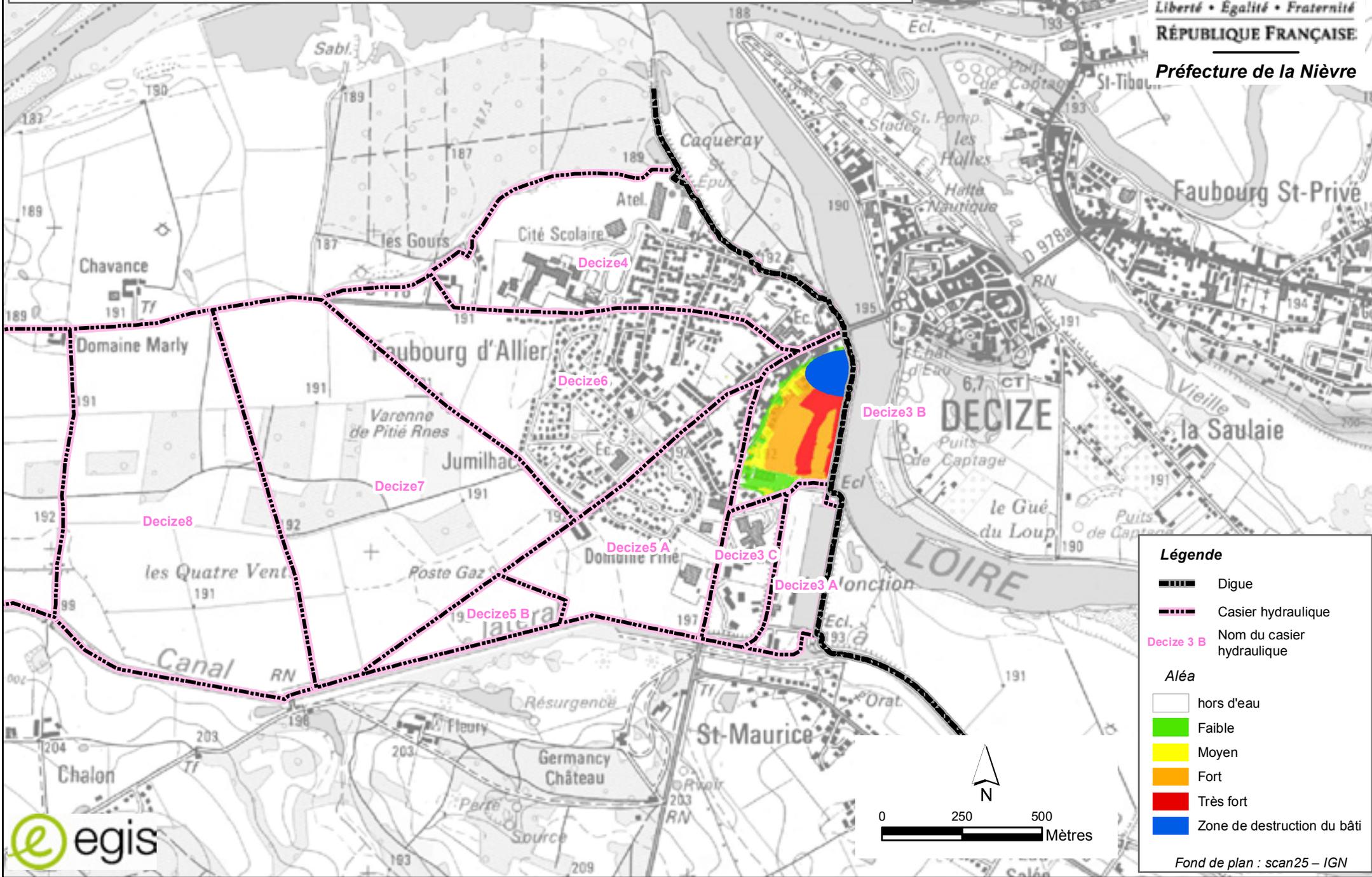
Aléa inondation



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Nièvre



8.4.3.3 Vulnérabilité des enjeux contenant des populations – indicateur de dangers

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 27 : 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 de la banquette initiée par érosion interne au P27 puis rupture initiée 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	3	3	151	46	224	12	465	0	69
Habitats à étages	0	0	1	1	96	5	139	2	228	0	
Total		0		4		51		14		0	

L'indicateur de danger des populations, utilisé pour estimer la criticité du scénario 1, est de 69.

Scénario 2 : Rupture initiée par érosion interne au P25 (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	14	10	115	35	128	7	291	0	
Habitats à étages	0	0	4	2	71	4	162	2	104	0	
Total		0		12		39		9		0	60

L'indicateur de danger des populations, utilisé pour estimer la criticité du scénario 2, est de 60.

Scénario 3 : Rupture initiée par érosion interne au P40 (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	14	14	0	0	24	8	12	1	23	0	
Habitats à étages	27	26	0	0	0	0	12	1	11	0	
Total		40		0		8		2		0	50

L'indicateur de danger des populations, utilisé pour estimer la criticité du scénario 3, est de 50.

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.

L'inondation de l'hôpital, en tant qu'infrastructure publique, a nécessairement entraîné la surestimation de la gravité des scénarios 1 et 2.

La gravité du scénario 3 est surestimée du fait de la présence de l'IFAS dans la zone inondée mais également car la zone de destruction de bâti touche des 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.

Tableau 28 : 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 de la banquette initiée par érosion interne au P27 (T=200ans)	69	2. Sérieux	3. Important
2	Rupture initiée par érosion interne au P25 (T=100ans)	60	2. Sérieux	3. Important
3	Rupture initiée par érosion interne au P40 (T=50ans)	50	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 29 : Criticité des scénarios d'inondation

N°	Scénario d'inondation	Qualification de la probabilité de rupture annuelle	Gravité du scénario			Criticité
			Population inondée (nb hab)	Indicateur de danger	Gravité	
1	Rupture de la banquette initiée par érosion interne au P27 (T=200ans)	Peu probable	1307	69	3. Important	Risque préoccupant
2	Rupture initiée par érosion interne au P25 (T=100ans)	Moyennement probable	889	60	3. Important	Risque préoccupant
3	Rupture initiée par érosion interne au P40 (T=50ans)	Moyennement probable	123	50	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 dans le val est limité, et l'indicateur de danger ne dépasse les 100 personnes.

Néanmoins, l'hôpital est inondé pour deux des trois scénarios et pour le troisième scénario, la zone de destruction de bâti touche des habitations.

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 :

- Le niveau de protection apparent du système d'endiguement du val de Decize, qui correspond au niveau de la crue T170, présente les caractéristiques suivantes :

Crue modélisée	T170
Cote calculée à l'échelle de Decize (m NGF)	192,95
Hauteur d'eau estimée (m)	6,50
Débit de pointe (m ³ /s)	3500

Il est rappelé qu'une hauteur d'influence de banquettes de 20cm est retenue au niveau de la levée de la Jonction 2^{ème} section pour la définition du niveau de protection apparent « théorique ».

- Le niveau de sûreté du système d'endiguement du val de Decize (niveau d'eau pour lequel la probabilité de rupture de la digue devient significative), qui correspond au niveau de la crue 2003 modélisée pour les levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section, présente les caractéristiques suivantes :

Crue modélisée	Crue 2003
Cote calculée à l'échelle de Decize (m NGF)	191,72
Hauteur d'eau estimée (m)	5,27*
Débit de pointe (m ³ /s)	2100

**Pour la crue 2003, un décalage d'environ 10cm est constaté entre la hauteur d'eau historique (observée) et la hauteur d'eau estimée dans le modèle Hydrariv LGN (cf rapport de calage du modèle LGN). La hauteur d'eau historique a été constaté à 5,17m.*

Cette crue correspond à un temps de retour d'environ 30 ans.

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 levées de Decize ont :

- un propriétaire : l'État,
- et deux gestionnaires : la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre et Voies Navigables de France.

Ces gestionnaires sont en charge de la sûreté du système d'endiguement du val de Decize.

La multiplication du nombre de gestionnaire peut être une cause de dysfonctionnements, notamment dans la coordination des actions en crise.

Il convient donc en priorité de désigner un unique gestionnaire pour permettre une bonne coordination de la gestion et de la surveillance en période de crue.

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.

Il n'existe pas de consignes écrites pour la levée de la Jonction 2^e section gérée par VNF. Dans le cadre de la nouvelle réglementation, la gestion de cette levée pourrait être assumée par la DDT58 qui l'intégrera à ses consignes écrites.

Les consignes de manœuvre des portes de garde de l'écluse du port de Decize devront y être intégrées.

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.

Des zones de fragilité ont pu être observées au droit des levées de Decize (cf.paragraphe 3.3.1). 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 des bancs de sable (sédimentation/végétalisation) en rive droite, notamment en face de la levée de la Jonction 3^{ème} section qui est en contact direct avec la Loire ;
- Le renforcement du pied de digue sur la levée de la jonction 3^{ème} section ;
- La surveillance de l'évolution des bancs de sable à proximité du barrage Saint Léger des Vignes.

9.2.5 Gestion de l'usage des digues

Les levées du val de Decize fait partie du domaine public de l'État. La DDT 58 et VNF en sont les gestionnaires. 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 apparent 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.

Chaque 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 Decize. 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.

Une canalisation traversante est recensée sur la levée de la Jonction 3^{ème} section. Cette dernière n'a plus aucun rôle, il convient donc de la supprimer.

Trois ouvrages traversants ont également été recensés au droit de la station d'épuration de Decize. Ces ouvrages se trouvent sur le linéaire de berges protégées (Caqueray amont).

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 des levées (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 traitement des canalisations existantes à conserver.

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 définir 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 le niveau de sûreté des levées de Decize est atteint, 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 le niveau de sûreté des levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section au niveau de la crue 2003 modélisée. Ces caractéristiques sont les suivantes :**

Crue modélisée	Crue 2003
Cote calculée à l'échelle de Decize (m NGF)	191,72
Hauteur d'eau estimée (m)	5,27
Débit de pointe (m3/s)	2100

**Pour la crue 2003, un décalage d'environ 10cm est constaté entre la hauteur d'eau historique (observée) et la hauteur d'eau estimée dans le modèle Hydrariv LGN (cf rapport de calage du modèle LGN). La hauteur d'eau historique a été constaté à 5,17m.*

Cette crue correspond à un temps de retour d'environ 30 ans.

Dès que la prévision du dépassement de cette cote 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.

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 le niveau de sûreté des levées de Decize dans la mise en sécurité des populations.

9.3.2 Plan communal de sauvegarde

La commune de Decize a 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 de la municipalité concernée, pour une prise en compte dans son PCS, notamment les volets relatifs aux chapitres 3 et 8.

Il s'agit d'informer la commune :

- de l'étendue de la zone protégée ;
- du niveau de protection apparent ;
- du niveau de sûreté ;
- des conséquences possibles d'une inondation.

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 Decize 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 Decize dans le cadre du Plan Loire.

L'Étude de dangers a montré que le niveau de sûreté, sur les levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section, est 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, 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 des levées (T170). La priorité 2 est donnée aux travaux permettant au niveau de sûreté de dépasser le niveau de protection apparent.

Les enjeux les plus forts sont localisés sur l'amont de la zone protégée. Les propositions sont faites avec une priorisation de l'amont vers l'aval.

L'Étude de dangers a montré que le niveau de sûreté, sur l'ensemble du système d'endiguement, est plus bas que le niveau de protection apparent de la levée. 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 donc viser à relever le niveau de sûreté jusqu'au niveau de protection apparent, sans modification de ce dernier. Si l'objectif de protection devait être révisé, les mesures proposées seraient à actualiser.

Il sera 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 levées de Decize 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.

Une surverse « théorique » ponctuelle apparaît sur la partie aval de la levée de la Jonction 2^{ème} section (au droit du profil 27, au PK230) pour des crues T170. Cette surverse est de 6cm au-dessus de la hauteur d'influence de la banquette (fixée à 20cm). *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 et non sa hauteur réelle (d'environ 1m). 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.

L'élaboration d'une stratégie locale, dans le cadre de la mise en œuvre de la directive inondation, pourrait constituer le cadre de la concertation avec les collectivités locales et du choix des niveaux de protection.

Sur les levées de Decize, les risques de rupture dus à la structure interviennent bien avant les premières surverses (niveau de sûreté fixé à la crue 2003 modélisée pour les levées de la jonction 2^{ème} et 3^{ème} section). Les mesures structurelles seront donc proposées en priorité 1 et les mesures fonctionnelles en priorité 2.

9.4.3 Travaux à réaliser sur les levées de Decize

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 de l'ouvrage et d'atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T170 qui est le niveau de protection apparent du val.
- Priorité 2 : travaux supplémentaires permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent du val (T170).

La liste des interventions ci-après recense les travaux à réaliser pour garantir l'intégrité de l'ouvrage et atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T170, 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.

9.4.3.1 Priorité 1 – travaux permettant de garantir l'intégrité de l'ouvrage et d'atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T170 (niveau de protection apparent de la levée de la Jonction 2^{ème} section)

Les résultats du chapitre 8 ont permis d'identifier 20 profils pour lesquels des travaux sont à prévoir en priorité 1. La carte présentée ci-dessous donne la somme des probabilités annuelles de rupture tous modes confondus. Elle met en évidence les secteurs fragilisés du système d'endiguement.



Figure 93 : Causes de défaillance sur les levées du val de Decize (fond de carte : somme des probabilités de rupture annuelle)

Les travaux de renforcement préconisés en priorité 1 sur les levées de Decize sont les suivants :

- Levée de la Jonction 2^{ème} section :
 - suppression de la végétation en place en talus côté val et en crête,
 - rétablissement de l'étanchéité de la digue et amélioration de la stabilité d'ensemble (exemples : recharge côté Loire en matériaux étanches, mise en place d'un écran étanche,...) jusqu'au niveau de protection apparent (T170) ;
- Levée de la Jonction 3^{ème} section :
 - suppression de la végétation en place en crête et haut de talus côté val,
 - adoucissement de la pente et rétablissement de la fonction drainante de la digue côté val (exemples : recharge côté val en matériaux drainant jusqu'à la crête de digue et création d'un fossé drainant, ...),
 - défense du pied de berge/digue (exemples : confortement à l'aide d'enrochements, mise en place d'un rideau de palplanches sur le parement côté Loire, ...) ;
 - Profil 40 : suppression de l'ouvrage traversant existant et reprise du profil de digue sur ce linéaire ;
- Levée de Caqueray aval : suppression de la végétation en place sur les talus côtés val et Loire.

Les travaux réalisés sur la levée de la Jonction 3^{ème} section sont proposés sur l'ensemble des tronçons de digue jusqu'à une cote correspondant à la crête de digue. Le niveau de sûreté serait donc amené à une cote supérieure à la cote de la crue T500 (niveau de protection apparent de la levée).

En cohérence, si les travaux de priorité 1 sont réalisés sur la levée de la Jonction 2^{ème} section, il est proposé de renforcer cette levée jusqu'au niveau de la crue T500 (exhaussement de la crête de digue et rétablissement de l'étanchéité et amélioration de la stabilité d'ensemble jusqu'au niveau de la crue T500.

9.4.3.2 Priorité 2 - travaux supplémentaires permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent de la levée de la Jonction 2^{ème} section (T170).

Les travaux de priorité 2 doivent permettre d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent (T170).

Il est possible d'augmenter le niveau de sûreté (A) ou d'abaisser le niveau de protection (B).

- (A) Concernant les levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section, il est supposé que les travaux réalisés en priorité 1 seront dimensionnés pour renforcer les tronçons de digue jusqu'à une cote correspondant au niveau de la crue T500. Le niveau de sûreté serait donc amené à une cote supérieure à la cote de la crue T500.
- (B) Une autre approche pour obtenir un niveau de sûreté équivalent au niveau de protection apparent serait d'abaisser le niveau de protection par la mise en place d'un dispositif de gestion des surverses (déversoir de sécurité). **Pour se faire, une concertation entre les services de l'Etat et les collectivités locales devra être conduite à plus grande échelle, avant toute prise de décision concernant les travaux de priorité 1.** Ce dispositif pourrait être envisagé sur un linéaire de digue situé entre les profils 35 et 37 de la levée de la Jonction 3^{ème} section. Il permettrait, en fixant la cote du déversoir à un niveau inférieur au niveau de la

crue T500, d'orienter les premières surverses hors des zones à plus forts enjeux (hôpital de la Jonction).

Concernant la levée de Caqueray, pour une crue T170, le val est déjà inondé par remous et la levée n'a plus de rôle de protection. La réalisation de travaux de priorité 2 au niveau de ce linéaire de digue n'est donc pas pertinente.

9.4.3.3 Synthèse des mesures structurelles et fonctionnelles préconisées

Les tableaux page suivante listent l'ensemble des propositions d'améliorations structurelles et fonctionnelles du système d'endiguement du val de Decize.

Tableau 30 : Mesures structurelles de priorité 1 sur les levées du val de Decize

PRIORITE 1 : travaux à réaliser pour garantir l'intégrité de l'ouvrage et atteindre un niveau de sûreté relatif à la crue type T170						
Profils	PK	Linéaire (ml)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/restaurer	Exemple de travaux
P21 - P30	8,5 - 437,5	430	Jonction 2ème section	Géométrie de la digue, végétation, mouvements, (érosion interne et glissement) Brèche historique au profil 27	stabilité étanchéité	Suppression de la végétation en place sur le talus côté val et en crête, Recharge côté Loire en matériaux étanches, mise en place d'un écran étanche
P34 - P39	550 - 900	350	Jonction 3ème section	Végétation (érosion interne) Affouillement en pied de berge/digue Loire (érosion externe)	1 - étanchéité 2 - drainage 3 - résistance à l'érosion externe en pied de digue	1 - Suppression de la végétation en place en crête et haut de talus côté val 2 - Recharge côté val en matériaux drainant et création d'un fossé drainant 3 - Confortement à l'aide d'enrochement, mise en place d'un rideau de palplanches sur le parement côté Loire
P40	850-900	50	Jonction 3ème section	Canalisation traversante en position basse P40 (érosion interne)	étanchéité	Suppression de l'ouvrage traversant existant et reprise du profil de digue sur ce linéaire
P60 - P65	1775 - 2075	300	Caqueray aval	Végétation (érosion interne)	étanchéité	Suppression de la végétation en place sur les talus côtés val et Loire et surveillance

Tableau 31 : Mesures structurelles et fonctionnelles de priorités 2 sur les levées du val de Decize

PRIORITE 2 : travaux permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent T170						
Profils	PK	Linéaire (ml)	Levée	Causes de défaillance	Fonction à assurer/restaurer	Exemple de travaux
P21 - P30 P35 - P37	8,5 - 437,5 600-750	580	Jonction 2ème et 3ème section		gestion des surverses	Concertation et réalisation d'une étude hydraulique Exhaussement de la levée de la Jonction 2ème section (travaux à mener de façon concomitante avec les travaux de priorité 1)

9.4.3.4 Estimation financière des travaux préconisés

Les montants des travaux sont donnés ci-dessous.

Les prix unitaires proposés sont à prendre avec prudence du fait de la variabilité des prix. Cette variabilité s'explique notamment :

- par le choix de techniques différentes (en particulier les corps de digues),
- par les variations de quantités à mettre en œuvre au mètre linéaire,
- par les prestations annexes propres à chaque chantier,
- dans une moindre mesure, par le prix de fourniture des matériaux (pour les enrochements, la distance à la carrière est à prendre en compte, par exemple).

Tableau 32 : Estimation du montant de travaux - Priorité 1

PRIORITE 1						
Type de travaux	Nombre de profils concernés	Levée	Unité	Quantité	Prix unitaire*	Montant financier estimé (€ TTC)
Suppression de la végétation	24	Jonction 2ème section et 3ème section, Caqueray	ml	1200	200,00 €	240 000,00 €
Rétablissement de l'étanchéité de la digue **	10	Jonction 2ème section	ml	500	3 000,00 €	1 500 000,00 €
Adoucissement de la pente et rétablissement de la fonction drainante côté val	6	Jonction 3ème section	ml	300	1 100,00 €	330 000,00 €
Défense du pied de berge	6	Jonction 3ème section	ml	300	1 200,00 €	360 000,00 €
Suppression d'ouvrage traversant et restauration du linéaire de digue (profil 40) ***	1	Jonction 3ème section P40	FFT	1	200 000,00 €	200 000,00 €
					TOTAL (€ TTC)	2 630 000,00 €
* Les rations linéaires sont à prendre avec prudence du fait de la grande variabilité des prix						
** et, dans le cas de travaux concomitants sur la 3ème section, exhaussement de la levée jusqu'au niveau de la crue T500						
*** prend en compte la reprise de la digue sur 50 m de part et d'autre de l'ouvrage						

Tableau 33 : Estimation du montant de travaux - Priorité 2

PRIORITE 2						
Type de travaux	Nombre de profils concernés	Levée	Unité	Quantité	Prix unitaire*	Montant financier estimé (€ TTC)
Gestion des surverses (concertation, études)		A l'échelle du système d'endiguement	FFT	1	20 000,00 €	20 000,00 €
					TOTAL (€ TTC)	20 000,00 €
* Les rations linéaires sont à prendre avec prudence du fait de la grande variabilité des prix						

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 ouvrages non-classés

La levée de Caqueray est aujourd'hui « non classée ». La présente étude de dangers a montré que cette levée n'assurait une protection du val que pour de faibles crues. En effet, le val étant ouvert à l'aval, cette levée a un rôle limité. Il est donc opportun de définir une orientation de gestion adaptée pour cet ouvrage dans le cadre de la nouvelle réglementation.

La levée de la Jonction 1^{ère} section, qui s'étend de l'écluse de Saulx jusqu'au port de la Jonction, est aujourd'hui « non classée ». La présente étude de dangers a montré que cette levée n'a pas de rôle de protection du val de Decize. Il est proposé de la renommer (pas de terme « levée »).

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. Les reconnaissances ultérieures se feront en fonction des besoins de travaux à réaliser.

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.

Tout d'abord, la canalisation recensée sur la partie aval de la levée de la Jonction 3^{ème} section n'a plus aucun rôle, il convient de la supprimer.

Par ailleurs, il est proposé 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 levées de Decize 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 Dignes

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

2009 - P. 2835

ARRÊTÉ PREFECTORAL

**portant complément à
l'autorisation reconnue au titre de l'article L.214-6 du code de l'environnement,
concernant la levée de la jonction 3^{ème} section, protégeant le val du faubourg d'Allier,
située en rive gauche de la Loire,
sur le territoire de la commune de Decize,
propriété 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, L214-12 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 du L. 214-6 III, 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 de l'ouvrage, notamment sa hauteur ainsi que la population protégée sur la commune de DECIZE au sens de l'article R.214-113 du code de l'environnement ;
- 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

Le tronçon de digue dénommé « Levée de la jonction 3^{ème} section », propriété du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer et géré par la Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture, est situé sur le territoire de la communes de DECIZE.

Il protège le val du faubourg d'Allier.

Cet ouvrage autorisé en application d'une législation ou réglementation relative à l'eau, antérieure au 4 janvier 1992, est réputé autorisé 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

Le tronçon de digue existant comporte les caractéristiques suivantes :

Dénomination	Zone protégée	Commune d'emprise	Longueur estimée	Situation en coordonnées Lambert II étendue	Situation en coordonnées Lambert 93
Levée de la jonction (3 ^{ème} section)	Val du Faubourg d'Allier	Decize	525 m	Amont X= 685.453 Y= 2203.195 Aval X= 685.483 Y= 2203.707	Amont X= 734807.88 Y= 6635989.79 Aval X= 734846.73 Y= 6636494.57

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.

Rubriques	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.	Déclaration ou 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

Le tronçon de digue dénommé « **Levée de la jonction 3^{ème} section** » relève 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

Le tronçon de digue dénommé « **Levée de la jonction 3^{ème} section** », doit être rendu conforme 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 est à réaliser avant le 31 décembre 2012, puis tous les dix ans.

L'étude de dangers est à produire avant le 31 décembre 2014, puis elle doit être actualisée tous les dix ans.

Titre IV : DISPOSITIONS GENERALES

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 transmis à la mairie de DECIZE, 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, Monsieur le maire de DECIZE 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.

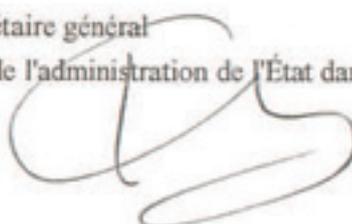
Article 11: Copies

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.

Fait à Nevers, le 10 NOV. 2009

Le secrétaire général
chargé de l'administration de l'État dans le département,



Michel FALLISSE

PLAN DE SITUATION
DES TRONCONS DE DIGUES PROTEGEANT LE VAL DE DECIZE (rive gauche)



Direction Départementale
de l'Équipement

Nevers, le

Dossier suivi par : André TORRES
Tél : 03.86.71.71.41
Mél : André.Torres@equipement.gouv.fr
Télécopie : 03.86.71.71.59

R. DDE - 750

ARRÊTÉ

portant prescriptions complémentaires
pour la Levée de la jonction 2^{ème} section,
protégeant le val du faubourg d'Allier (en partie),
appartenant au Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables,
située en rive gauche de la Loire, sur le territoire de la commune de Decize,
et intéressant la sécurité publique.

LE PRÉFET DE LA NIÈVRE
Chevalier de la Légion d'Honneur
Chevalier de l'ordre national du mérite

Vu le Code de l'Environnement et notamment ses articles L.214-1 à L.214-6 ;

Vu le code civil, et notamment ses articles 1382, 1383, 1384 et 1386, portant sur la responsabilité du propriétaire d'un ouvrage ;

Vu le décret 93-742 du 29 mars 1993 relatif aux procédures d'autorisation et de déclaration prévues aux articles L.214-1 à L.214-6 du Code de l'Environnement, et notamment l'article 14 ;

Vu le décret 93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-6 du Code de l'Environnement ;

Vu le plan de prévention du risque inondation du val de Nevers, en date du 17 décembre 2002 ;

Vu l'avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques, en date du 17 juillet 2007 ;

Vu l'avis du conseil départemental des risques naturels majeurs, en date du 28 novembre 2007 ;

Vu le rapport de Monsieur le Directeur Départemental de l'Équipement de la Nièvre ;

Considérant qu'il existe derrière le tronçon de digue dénommé « Levée de la jonction 2^{ème} section », situé en rive gauche de la Loire et protégeant le val du faubourg d'Allier (en partie), une zone importante d'habitations, d'activités commerciale et artisanale, d'infrastructures et d'équipements divers.

Considérant que ce val est situé en zone d'aléa fort (derrière la levée de la jonction 2^{ème} section) du plan de prévention du risque inondation du val de Decize, ce qui correspond à une profondeur de submersion supérieure à 2 m avec des vitesses de courant pouvant aller de moyen à fort.

ARRETE

Article 1^{er} : OBJET DE L'ARRETE

Compte tenu de l'impact sur la sécurité des personnes, qui est susceptible d'entraîner sa rupture ou son dysfonctionnement, le tronçon de digue « Levée de la jonction 2^{ème} section » de protection du val du faubourg d'Allier (en partie) appartenant au Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable et géré par Voies Navigables de France, est considéré comme intéressant la sécurité publique.

Un plan de situation est joint en annexe.

ce tronçon existant est le suivant :

Dénomination	Zones protégées	Communes d'emprise	Longueur de l'ouvrage	Situation en coordonnées Lambert II étendue
Levée de la jonction (2 ^{ème} section)	Val du Faubourg d'Allier	Decize	435 m	Amont X= 685.395 Y = 2202.765 Aval X = 685.463 Y = 2203.193

Les mesures de surveillance, d'inspection et d'entretien applicables à l'ouvrage sont renforcées par les dispositions du présent arrêté.

Article 2 : CONSTITUTION DU DOSSIER DE LA DIGUE

Dossier de base :

Le propriétaire de la digue constitue, au plus tard dans un délai de deux mois après la date de notification du présent arrêté, le dossier de l'ouvrage contenant les pièces ci-dessous :

a) Documents administratifs :

- identité du propriétaire, statut
- identité du gestionnaire s'il n'est pas le propriétaire
- textes réglementaires propres à l'ouvrage
- conventions de gestion, d'exploitation
- le présent arrêté de classement au titre de la sécurité publique

- 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>