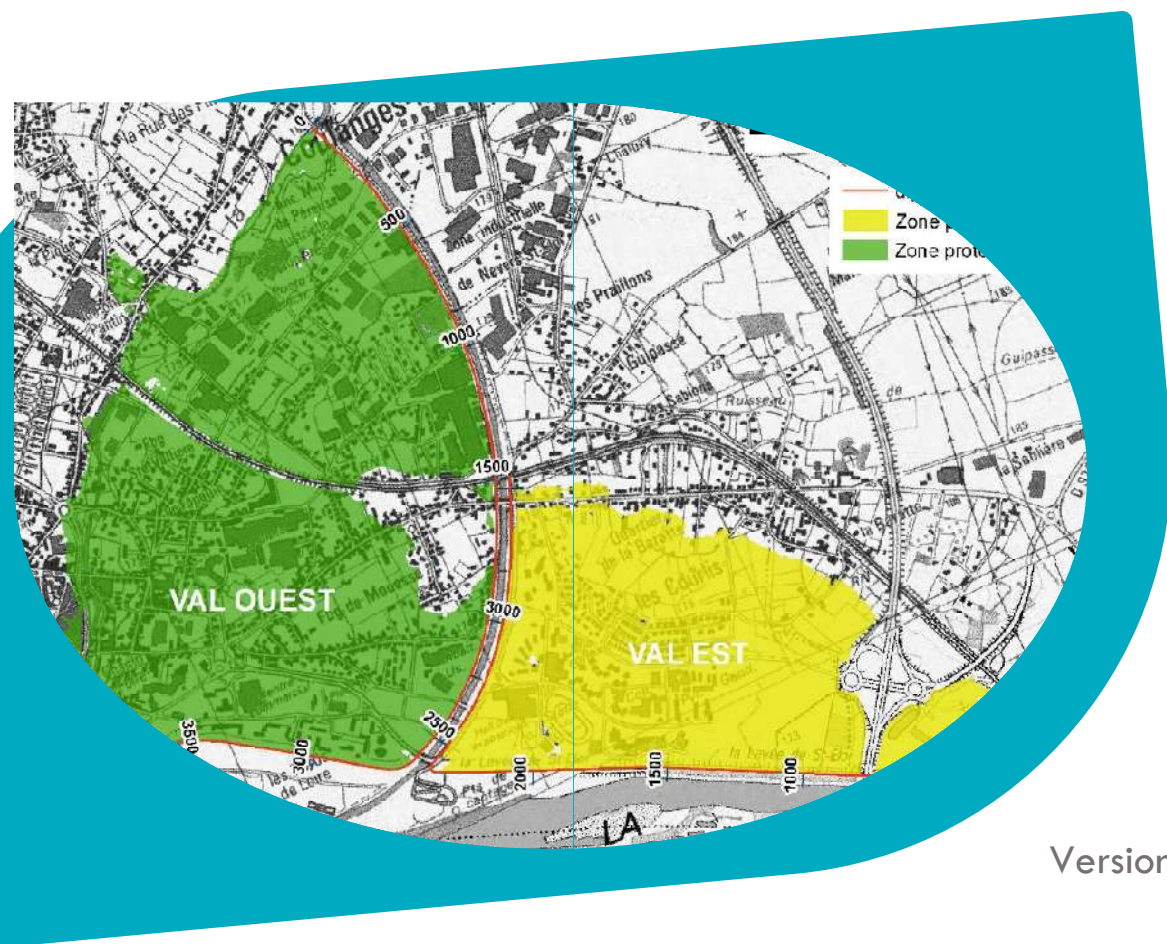


# ETUDE DE DANGER DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE NEVERS (RD ET RG)

Addendum au Document B2


Val de Nevers RD



Version A – 20/10/2022





	BRL ingénierie 1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5
---	--

Ancien PROJET	N	800892	Intitulé	Etude de danger des digues non domaniales de classe B du val de Nevers
Nouveau PROJET	A	00642	Intitulé	Régularisation du système d'endiguement du Val de Nevers
Maitre d'ouvrage		Mairie de Nevers/Agglomération de Nevers		
Date de création du document		Octobre 2022		
Contact		Nicolas SICART		
Titre du document		Addendum à l'Etude de danger du système d'endiguement du val de Nevers – Document B2 – Val de Nevers RD		
Référence du document		Addendum - EDD_SE-NEVERS_B2-RD		
Indice		indA		

Date émission	Indice	Observations	Dressé par	Vérifié et validé par
20/10/2022	indA	Prise en compte des travaux projetés par Nevers Agglomération	NSI	JAU



# ÉTUDE DE DANGER DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE NEVERS

## ADDENDUM A<sup>2</sup>U DOCUMENT B2 - RD

<b>INFORMATION DU LECTEUR ET MISE EN GARDE .....</b>	<b>1</b>
<b>5 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT.....</b>	<b>3</b>
5.1 L'OUVRAGE EXISTANT .....	3
5.1.1 Principe de discrétisation du système d'endiguement.....	3
5.1.2 Définition et principales caractéristiques du système d'endiguement étudié.....	4
5.1.3 Modification de la ligne de défense principale en amont de l'A77.....	38
5.1.4 Principales caractéristiques externes du système d'endiguement du Val de Nevers .....	41
5.1.5 Caractérisation géotechnique de la digue et de sa fondation .....	50
5.1.6 Profils en travers type des ouvrages .....	67
5.1.7 Anomalies constatées dans le système d'endiguement.....	73
5.2 DESCRIPTION FONCTIONNELLE.....	85
5.2.1 Définition du niveau de protection et de sûreté d'un système d'endiguement.....	85
5.2.2 Objectif de protection historique du système d'endiguement du Val de Nevers.....	88
5.2.3 Niveau de protection apparent du val de Nevers .....	89
5.2.4 Principaux résultats de l'analyse fonctionnelle hydraulique .....	93
5.2.5 Caractérisation de l'inondation pour le niveau de protection .....	94
5.3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE .....	96
5.3.1 La Loire et la Nièvre .....	96
5.3.2 La rive gauche de la Loire .....	102
5.3.3 Raccordements amont et aval.....	105
5.3.4 La zone protégée par le système d'endiguement du val de Nevers .....	109
5.3.5 Estimation des enjeux présents dans la zone protégée.....	110
5.3.6 Remblai dans le val .....	120
5.3.7 Affluents et fossés de drainage.....	123
5.3.8 Fonctionnement hydraulique interne du val .....	124
5.3.9 Classement de la levée du Val de Nevers.....	124
<b>6 ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE.....</b>	<b>125</b>
6.1 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS .....	126
6.1.1 Ouverture d'une brèche partielle ou totale sur un tronçon de la levée .....	126
6.1.2 Surverse sans brèche au-dessus de la crête d'un tronçon de levée.....	126
6.1.3 Entrée d'eau par les ouvrages hydrauliques traversant la levée .....	127
6.1.4 Remontée de nappe dans le val en arrière des levées.....	127
6.1.5 Inondation par les affluents et ruissellement urbain .....	128
6.2 CRUES HISTORIQUES ET AMENAGEMENTS DE LA LOIRE AU NIVEAU DU VAL DE NEVERS.....	128
6.2.1 XVIII <sup>ème</sup> et XIX <sup>ème</sup> siècle.....	128

6.2.2	Crue de 1790 .....	128
6.2.3	Crue de 1846 .....	129
6.2.4	Rehausse des levés entre 1853 et 1860 .....	129
6.2.5	Crue de 1856 .....	130
6.2.6	Nouveaux travaux après 1856 .....	130
6.2.7	Crue du 27 Septembre 1866 .....	130
6.2.8	Crue de 1907 .....	131
6.2.9	Synthèse des crues à Nevers .....	131
6.2.10	Éléments de comparaison des crues de 1846, 1856 et 1866 .....	132
<b>6.3</b>	<b>INCIDENTS RECENTS .....</b>	<b>133</b>
6.3.1	Les conséquences de la crue de décembre 2003 sur le système d'endiguement du Val de Nevers .....	133
6.3.2	Les conséquences de la crue de décembre 2003 sur d'autres systèmes d'endiguement de la Loire .....	133
6.3.3	Les incidents hors crue sur ou à proximité du système d'endiguement du Val de Nevers .....	135
<b>6.4</b>	<b>ETUDE DES BRECHES HISTORIQUES A L'ECHELLE DE LA LOIRE .....</b>	<b>135</b>
6.4.1	Statistiques sur l'ensemble des digues de la Loire en aval du Bec d'Allier .....	135
6.4.2	Enseignements généraux à l'échelle de l'ensemble des vals .....	137
<b>6.5</b>	<b>RETOUR D'EXPERIENCE SUR D'AUTRES SYSTEMES D'ENDIGUEMENT .....</b>	<b>138</b>
6.5.1	Digues du Vidourle .....	138
6.5.2	Digues de la Durance .....	139
6.5.3	Digues de l'Agly .....	140
6.5.4	Autres retours d'expérience .....	141
<b>7</b>	<b>IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES .....</b>	<b>143</b>
<b>7.1</b>	<b>DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE EMPLOYEE POUR L'ANALYSE DES RISQUES .....</b>	<b>143</b>
7.1.1	Démarche générale .....	143
7.1.2	Méthodologie employée pour la caractérisation du potentiel de rupture des tronçons de digues .....	143
7.1.3	Méthodologie employée pour l'estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement .....	146
<b>7.2</b>	<b>DETERMINATION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE STRUCTURELLE .....</b>	<b>154</b>
7.2.1	Mode ou circonstances de défaillance du système d'endiguement .....	154
7.2.2	Rupture tous modes confondus .....	172
7.2.3	Hypothèses de surveillance .....	177
<b>7.3</b>	<b>DETERMINATION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE FONCTIONNELLE .....</b>	<b>177</b>
<b>8</b>	<b>ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE ..</b>	<b>178</b>
<b>8.1</b>	<b>ESTIMATION DU RISQUE D'INONDATION PAR DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE NEVERS .....</b>	<b>178</b>
8.1.1	Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilité d'occurrence .....	178
8.1.2	Intensité et cinétique des scénarios .....	181
8.1.3	Gravité des scénarios .....	195
8.1.4	Criticité des scénarios .....	205

8.2	ESTIMATION DU RISQUE D'INONDATION PAR DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE NEVERS.....	207
8.2.1	Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilité d'occurrence.....	207
8.2.2	Intensité et cinétique des scénarios.....	209
8.2.3	Gravité des scénarios.....	216
8.2.4	Criticité des scénarios.....	221
<b>9</b>	<b>PRESENTATION DE LA POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS ET DU SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE.....</b>	<b>223</b>
9.1	ORGANISATION DE LA COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DE NEVERS.....	223
9.2	CONSIGNES ECRITES ET MESURES DE SURVEILLANCE.....	224
9.2.1	Surveillance continue.....	224
9.2.2	Surveillance périodique.....	224
9.2.3	Surveillance en crue.....	225
9.2.4	Organisation des postes et secteurs.....	227
9.2.5	Surveillance post-crue.....	228
9.2.6	Surveillance exceptionnelle.....	229
9.2.7	Gestion des retours d'expérience.....	229
9.2.8	Limites actuelles et perspectives à moyen terme.....	229
9.3	GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE.....	230
9.4	AUTRES PLAN D'URGENCE.....	232
9.4.1	Plan ORSEC.....	232
9.4.2	Plan Communal de Sauvegarde.....	232
9.4.3	Plan d'Intervention Communautaire.....	233
9.5	PROCEDURES DE CONNAISSANCE ET D'EVALUATION DU RISQUE.....	233
9.5.1	Etudes de dangers.....	233
9.5.2	Diagnostic initial de sûreté.....	233
9.5.3	Revue de sûreté.....	234
9.6	DOSSIER D'OUVRAGE.....	234
<b>10</b>	<b>ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES.....</b>	<b>235</b>
10.1	BILAN DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT.....	235
10.2	REDUCTION DU RISQUE PAR DES MESURES DE GESTION.....	238
10.2.1	Mesures relevant du gestionnaire.....	238
10.2.2	Mesures à mettre en œuvre dans la zone protégée.....	241
10.3	REDUCTION DU RISQUE PAR DES MESURES SUR LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT.....	243
10.3.1	Mesures structurelles.....	243
10.3.2	Mesures fonctionnelles : Renforcement vis-à-vis de la surverse.....	245
10.3.3	Études et travaux à réaliser – Val Est.....	246
10.3.4	Études et travaux à réaliser – Val Ouest.....	258
10.4	REDUCTION DU RISQUE EN AMELIORANT LES CONNAISSANCES ET LES METHODES.....	283
10.4.1	Amélioration de la connaissance des phénomènes.....	284
10.4.2	Amélioration de la connaissance des ouvrages.....	285
10.5	SYNTHESE DES MESURES A ENGAGER PAR TYPE DE MESURE.....	286
10.5.1	Gestion du risque.....	286

10.5.2	Amélioration structurelle et fonctionnelle du système de protection .....	287
10.5.3	Amélioration des méthodes et connaissances .....	287
10.6	CONCLUSIONS SUR L'ETUDE DE REDUCTION DU RISQUE .....	288
11	CARTOGRAPHIE DE L'ETUDE DE DANGERS .....	289



ANNEXES SPECIFIQUES AU DOCUMENT B2 RELATIF AU VAL DE NEVERS RD :

N°		Nom de l'annexe	Objet de la présente pochette
0	ANNEXE_0_GLOSSAIRE	Glossaire	
1	ANNEXE_1_ARRETE	Arrêté de classement des levées du val de Nevers en rive droite	
2	ANNEXE_2_GEOTECH	Etude géotechnique de conception phase G2 AVP - Alios - 2016 Prospection géophysique - EM31 - GINGER Prospection géophysique - Panneaux - GINGER - 2016 Etude élémentaire 5 : géotechnique	
3	ANNEXE_3_VTA	Visite technique approfondies des digues rive droite.	
4	ANNEXE_4_MORPHO	Etude élémentaire 3 et 6 : morphodynamique globale et locale	
5	ANNEXE_5_CARDIGUE	Note d'application de Cardigue Annexe22 : Arbres de défaillance simplifiés et méthodologie de calcul de l'aléa de rupture de digue - DREAL -2012 Annexe23 : Notice du modèle CARDigue - DREAL -2012 Données et Résultats Cardigue - Val Est Données et Résultats Cardigue - Val Ouest	
6	ANNEXE_A_HYDRAULIQUE	Etude élémentaire 4 : Hydraulique globale Etude élémentaire 7 : Comportement hydraulique local du milieu eau Note d'analyse du modèle hydraulique 2D	
7	ANNEXE_B_AUTRES ETUDES ELEM	Etude élémentaire 1 : Topographie Etude élémentaire A : Définition du périmètre de l'étude Etude élémentaire B : Analyse fonctionnelle du système d'endiguement Etude élémentaire C : Analyse de la défaillance du système d'endiguement	

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Systèmes d'endiguement du Val de Nevers .....	5
Figure 2 : Topographie de la zone d'étude .....	6
Figure 3 : Ligne de défense principale de Nevers et tronçons homogènes de la VTA.....	7
Figure 4 : vue vers l'amont de la crête de digue de la Maison Rouge avec présence de végétation ligneuse <sup>ère</sup> .....	8
Figure 5 : poste de gaz en pied de talus coté Loire de la digue Maison Rouge avec canalisation traversant la digue.....	8
Figure 6 : parement bétonné sur le haut du talus coté Loire avec escalier en béton (vu vers l'amont) et végétation arbustive en pied de talus .....	10
Figure 7 : végétation clairsemée sur talus coté val (vue vers l'amont).....	10
Figure 8 : terrier de diamètre supérieur à 30cm en milieu de talus coté Loire (sous parement bétonné).....	10
Figure 9 : protection de la berge en enrochements libres avec quelques blocs déstabilisés .....	10
Figure 10 : levée vue vers l'amont avec banc installé en crête .....	12
Figure 11 : parement renforcé sur haut de talus coté Lorie avec arbre isolé en pied (vu vers l'amont) .....	12
Figure 12 : clôture grillagée sur terrain naturel coté val (vue vers l'aval) .....	12
Figure 13 : raccordement aval de la levée au remblai de la route départementale.....	12
Figure 14 : vue de la digue vers l'amont avec rampe d'accès vers la risberme coté canal.....	14
Figure 15 : glissement observé sur talus coté canal.....	14
Figure 16 : rampe d'accès à la passerelle sur talus coté val avec plots d'ancrage dans l'ouvrage en béton (vue vers l'amont).....	14
Figure 17 : digue vue vers l'aval avec escalier en béton et route départementale en pied de talus .....	14
Figure 18 : culée du pont de la route départementale encastrée dans la digue vue vers l'amont.....	14
Figure 19 : raccordement de la digue au TN vu vers l'aval avec végétation sur haut de talus.....	14
Figure 20 : Ligne de défense principale de Nevers et tronçons homogènes de la VTA.....	15
Figure 21 : martelières sur ancienne Nièvre vues vers l'amont et vers le raccordement de l'ouvrage au coteau .....	18
Figure 22 : talus coté val vue vers l'aval avec route et alignement de platanes en crête .....	18
Figure 23 : crête de la digue avec bancs et poubelle vue vers l'amont.....	18
Figure 24 : ouvrage hydraulique traversant avec vanne crémaillère automatisée (pied de talus coté canal) .....	18
Figure 25 : Pieux en bois (avec géotextile) pour soutènement du milieu du talus coté canal vus vers l'amont (30m de long) .....	18
Figure 26 : ouvrage hydraulique traversant ouvert ( ? ) vu en milieu de talus coté canal .....	18
Figure 27 : route en crête vue vers l'amont avec mur de soutènement sur talus coté val surmonté de grilles métalliques .....	20
Figure 28 : mur de soutènement sur talus coté val vu vers l'aval au droit d'une usine .....	20
Figure 29 : station de pompage sur le bas de talus coté canal de dérivation (clapet étanche ?) .....	20
Figure 30 : station de pompage sur le bas de talus coté canal de dérivation (clapet étanche ?) .....	20
Figure 31 : digue vue vers l'amont avec végétation arbustive en milieu de talus coté val .....	24
Figure 32 : digue vue vers l'aval à proximité de la passerelle.....	24
Figure 33 : culée du pont de la voie ferrée vue sur sa face aval.....	24
Figure 34 : nombreux réseaux visibles au droit du pont de la RN81 (vus vers l'aval) .....	24
Figure 35 : culée du pont de la route départementale encastrée dans la digue, vue vers l'amont.....	24
Figure 36 : végétation clairsemée sur talus coté canal vue vers l'aval.....	24
Figure 37 : talus coté Loire avec renforcement béton vu vers l'aval .....	27
Figure 38 : perré visible en pied de talus coté val vu vers l'aval .....	27
Figure 39 : déjointoiement du perré en pied de talus coté val.....	27
Figure 40 : pylônes béton en crête de la levée vus vers l'amont .....	27
Figure 41 : mur de soutènement sur le haut de talus coté val vu vers l'amont – pk2750.....	27
Figure 42 : terrier de 20cm de diamètre observé sur talus coté val sous la base du mur de soutènement – pk2750.....	27
Figure 43 : talus coté Loire perré avec crête étroite (non circulaire) vu vers l'aval .....	29
Figure 44 : talus coté val perré vu vers l'aval .....	29
Figure 45 : fermeture de la digue de Médine au niveau des portes métalliques (vue vers l'amont).....	29
Figure 46 : raccordement de la porte au niveau de la maison encastrée (vu vers l'aval).....	29
Figure 47 : digue vue vers l'amont avec mur de soutènement sur talus coté val.....	32
Figure 48 : route passant en crête de l'ouvrage entre l'hôtel et la DDT58 (vue vers l'amont).....	32
Figure 49 : talus coté val avec perré visible sous terre végétale (vu vers l'amont) .....	32
Figure 50 : début du renforcement en palplanches en pied de talus coté val et gagnant l'axe de l'ouvrage vers l'aval .....	32

Figure 51 : Bâtiment de la Maison de la Culture encastré au premier plan, avec perrés sur talus coté Loire se prolongeant sous la terrasse de l'hôtel visible en arrière-plan (vu vers l'amont) .....	32
Figure 52 : perrés sur talus coté Loire en aval de la Maison de la Culture (vus vers l'aval).....	32
Figure 53 : talus coté val avec gradins béton vu vers l'aval avant raccordement au coteau.....	32
Figure 54 : station de pompage avec conduites de rejets vers la Loire .....	32
Figure 55 : Porte de Médine vue depuis le coté Loire vers le coté val avec renforcement maçonné de part et d'autre .....	34
Figure 56 : Vue vers l'amont de la porte de Médine depuis la crête coté aval de l'ouvrage.....	34
Figure 57 : Porte de Médine vue vers l'aval depuis le coté val avec maison encastrée.....	34
Figure 58 : Vue vers l'amont du talus coté val depuis la porte de Médine .....	34
Figure 59 : Système de fixation et de pivot de la porte métallique coté est (coté amont) .....	34
Figure 60 : Joint fixé sur le montant du panneau est (coté amont) et permettant de réaliser l'étanchéité du système par appui sur la porte opposée (porte ouest – coté aval de la porte) .....	34
Figure 61 : Remblai de l'autoroute A77 dans le val est de Nevers .....	36
Figure 62 : Profil en travers du remblai de l'A77 dans le val est de Nevers .....	36
Figure 63 : portique d'accès au niveau du raccordement de la levée de Maison Rouge et de la levée 2ème section de St-Eloi .....	42
Figure 64 : borne limitant l'accès en aval de la levée St-Eloi 2ème section.....	42
Figure 65 : vue vers l'aval de la levée rive droite du canal avec enrochements empêchant accès .....	42
Figure 66 : bloc empêchant accès levée du canal rive droite en amont du pont de la départementale .....	42
Figure 67 : bloc limitant accès en crête levée St-Eloi 1ère section (vu vers l'aval) .....	42
Figure 68 : rampe d'accès au pied de talus coté Loire en aval de la levée de Médine .....	42
Figure 69 : partie circulaire en crête entre Hôtel Mercure et DDT .....	42
Figure 70 : Pt162 - Ouvrage hydraulique avec martelières au niveau du raccordement de la levée rive droite du canal de dérivation avec le coteau .....	45
Figure 71 : Pt78 - Ouvrage hydraulique ouverte pour rejet eaux pluviales au milieu de talus coté canal (levée rive droite du canal de dérivation) – fil d'eau 177.81mNGF.....	45
Figure 72 : Pt77 - Ouvrage hydraulique avec vanne crémaillère automatisé (permettant écoulement dans le ruisseau de l'Eperon) sur la levée rive droite du canal de dérivation – fil d'eau 177.62mNGF .....	45
Figure 73 : Pt64 - Ancienne station de pompage de l'usine Mazda (clapet étanche ?).....	45
Figure 74 : Pt76 - Ancienne station de pompage de l'usine Thompson – ATB Selni (clapet étanche ?).....	45
Figure 75 : Pt163 - Buse en béton de diamètre 1500mm permettant l'écoulement des eaux pluviales vers la Loire. Il est précisé que la fermeture de cet ouvrage est assurée par la vanne de l'exutoire du pluvial gravitaire du centre des expositions dit « vanne du karting » .....	46
Figure 76 : Pt73 - Ouvrage hydraulique avec martelière coté val (levée St-Eloi 2ème section) – station de relevage des eaux de la Baratte .....	47
Figure 77 : Pt72 - Ouvrage hydraulique avec buse rejetant en pied de talus coté Loire les eaux pluviales de la station de relevage de la Baratte.....	47
Figure 78 : Pt75 - Ouvrage hydraulique ouvert à travers le talus coté Loire de la digue de Médine (eaux pluviales ?) – fil d'eau 178.21mNGF .....	47
Figure 79 : Pt74 - Station d'exhaure du pont mal Placé constituée d'un système de 4 pompes et vannages automatisé (pour rejet des eaux depuis le val vers la Loire).....	47
Figure 80 : Localisation et position des ouvrages hydrauliques dans le système d'endiguement des vals de Nevers .....	49
Figure 81 : Extrait carte géologique (BRGM-1/50000°) de la zone d'étude et implantation des digues rive droite de Nevers .....	50
Figure 82 : Implantation des sondages pour les fondations de l'échangeur de l'A77.....	53
Figure 83 : Plan d'implantation des sondages SOGREAH.....	55
Figure 84 : Plan d'implantation des sondages de GINGER et ALIOS (en noir les longueurs où ont été menées les mesures EM31).....	56
Figure 85 : découpage en tronçons géotechniques homogènes (TR1 à TR9).....	60
Figure 86 : Profil en long digue Est (hauteurs mesurées dans les sondages et retenues pour le modèle géotechnique).....	61
Figure 87 : Profil en long digue Ouest (hauteurs mesurées dans les sondages et retenues comme pour le modèle géotechnique).....	64
Figure 88 : carte de localisation des profils type – val Est .....	67
Figure 89 : carte de localisation des profils type – val Ouest .....	68
Figure 90 : Familles de fonctions géotechniques des composants d'un profil en travers type de digue (source IRSTEA) .....	68
Figure 91 : profil en travers type des levées de Nevers non renforcée .....	70
Figure 92 : profil en travers des levées de Nevers renforcée avec palplanches .....	71
Figure 93 : profil en travers des levées de Nevers renforcée avec paroi bentonitique.....	72

Figure 94 : Bornes signalant la présence de conduite de gaz qui traverse l'ouvrage dans la portion aval de la levée de Maison Rouge.....	73
Figure 95 : Six canalisations traversant la levée de St-Eloi 2ème section en milieu de talus coté val (station de relevage de la Baratte) avec renforcement visible en palplanches couronnées d'une poutre en béton.....	73
Figure 96 : Localisation et position des canalisations à travers le système d'endiguement des vals de Nevers.....	74
Figure 97 : Bâtiment de la DDT situé en aval de la porte de Médine encastré sur toute la hauteur de la digue (vu depuis la crête de l'ouvrage vers l'aval).....	75
Figure 98 : Porte de Médine vue depuis le coté val avec maison encastrée sur talus coté val.....	75
Figure 99 : Maison de la Culture vue vers l'aval depuis la crête de l'ouvrage : Bâtiment encastré sur talus coté val et escalier d'accès reposant sur perré coté Loire.....	75
Figure 100 : Raccordement aval de la Maison de la Culture avec palplanches sur talus coté val – pk4150.....	75
Figure 101 : Poste EDF en crête de l'ouvrage en amont du pont de la RN.81 sur levée coté rive droite du canal.....	76
Figure 102 : Poutre de béton encastrée sur haut du talus coté Loire au niveau de l'hôtel.....	76
Figure 103 : Mur de soutènement vu vers l'aval sur talus coté val au droit des usines.....	77
Figure 104 : Mur de soutènement au droit du bâtiment de la DDT58 vu vers l'amont.....	77
Figure 105 : Mur de soutènement en haut de talus coté val (vu vers l'aval) près de la rue du 8 mai 1945.....	77
Figure 106 : Mur de soutènement pour canalisations en pied de talus coté val vu vers l'amont (au nombre de 3 au total sur digue rive gauche canal).....	77
Figure 107 : Culée du pont de l'autoroute A.77 vue vers l'aval.....	78
Figure 108 : Culée de béton de la passerelle sur le haut du talus coté canal de dérivation (levée coté rive gauche).....	78
Figure 109 : Culées du pont de la route départementale en aval du canal de dérivation vues depuis la rive droite vers la rive gauche.....	78
Figure 110 : Pont situé en amont de la levée coté rive droite du canal de dérivation vu sur sa face amont vers l'aval.....	78
Figure 111 : Culée en aval du pont de la voie ferrée coté levée rive droite du canal de dérivation.....	78
Figure 112 : Pont de la RN.81 vue depuis l'aval vers l'amont coté levée rive droite du canal.....	78
Figure 113 : localisation et typologie des ouvrages encastrés dans le système d'endiguement des vals de Nevers.....	80
Figure 114 : Localisation et caractérisation de la végétation ligneuse présente sur le système d'endiguement des vals de Nevers.....	82
Figure 115 : Terrier de 5cm de diamètre sur haut du talus coté val (tronçon VTA n°1 – Val Est).....	82
Figure 116 : Terrier de 20cm de diamètre dans le bas du talus coté Loire (tronçon VTA n°1).....	82
Figure 117 : Terrier de 10cm de diamètre au milieu de talus coté val (tronçon VTA n°7 – Val Ouest).....	82
Figure 118 : Terrier de 20cm de diamètre dans talus coté val sous mur de soutènement (tronçon VTA n°7).....	82
Figure 119 : Terrier de diamètre supérieur à 30cm sous parement bétonné (tronçon VTA n°1).....	82
Figure 120 : Localisation, position et dimension des terriers identifiés sur le système d'endiguement des vals de Nevers.....	84
Figure 121 : Déjoints du perré en pied de talus coté val (levée St-Eloi 1ère section).....	84
Figure 122 : Déjoints du perré en pied de talus coté val (levée St-Eloi 1ère section).....	84
Figure 123 : Décalage observé à la jointure de 2 dalles de béton sur talus coté Loire.....	85
Figure 124 : Décalage vertical de l'ordre de 5cm entre 2 dalles de béton sur talus coté Loire.....	85
Figure 125 : Prélèvement de matériaux en aval du pont de l'A.77.....	85
Figure 126 : Prélèvement de matériaux en amont de la station de pompage les Courlis.....	85
Figure 127 : Digue fiable.....	87
Figure 128 : Digue non fiabilisée, non équipée d'un déversoir (cas des levées constituant le système d'endiguement du val de Nevers).....	87
Figure 129 : Digue partiellement fiabilisée, équipée d'un déversoir.....	87
Figure 130 : Digue non fiabilisée, équipée d'un déversoir.....	87
Figure 131 : évolution du profil de la levée de Loire depuis le XVIe siècle jusqu'au début du XXe siècle (source R. Dion – Le Val de Loire 1934).....	88
Figure 132 : Lignes d'eau, profils en long du niveau de crête et de pied de digue – Val est.....	91
Figure 133 : Lignes d'eau, profils en long du niveau de crête et de pied de digue – Val ouest.....	91
Figure 134 : Hauteurs maximales en situation actuelle pour la crue de période de retour 200ans.....	95
Figure 135 : Vitesses maximales en situation actuelle pour la crue de période de retour 200ans.....	95
Figure 136 : Configuration du lit de la Loire sur le linéaire des systèmes d'endiguement étudiés.....	97
Figure 137 : Vitesses côté Loire pour la crue T=500 ans inférieure au niveau de protection apparent du val est.....	98
Figure 138 : Durée de submersion côté Loire pour la crue T=500 ans inférieure au niveau de protection apparent du val est.....	98
Figure 139 : Vitesses côté Loire pour la crue T=1400 ans correspondant au niveau de protection apparent du val ouest.....	101

Figure 140 : Durée de submersion côté Loire pour la crue T=1400 ans correspondant au niveau de protection apparent du val ouest.....	101
Figure 141 : Composition du système d'endiguement en rive gauche de la Loire à Nevers (EDD rive gauche, EGIS, 2015).....	102
Figure 142 : extrait du profil en long des digues, banquettes et lignes d'eau (EDD rive gauche, EGIS, 2015).....	103
Figure 143 : carte d'impact du scénario de brèche B – crue 170 ans (EGRIAN, ARTELIA) .....	104
Figure 144 : carte d'impact du scénario de brèche D – crue 500 ans (EGRIAN, ARTELIA) .....	104
Figure 145 : Extrait du MNT au niveau du raccordement amont du système d'endiguement du val est de Nevers .....	105
Figure 146 : Levée de Maison Rouge .....	105
Figure 147 : raccordement aval du système d'endiguement du Val est de Nevers .....	106
Figure 148 : chemin en crête de la digue du canal de dérivation à proximité du raccordement.....	106
Figure 149 : Extrait du MNT au niveau du raccordement amont du système d'endiguement du val ouest de Nevers .....	107
Figure 150 : Ouvrage de répartition de Coulanges en amont du système d'endiguement du val Ouest .....	107
Figure 151 : raccordement aval du système d'endiguement du Val ouest de Nevers.....	108
Figure 152 : Photo du raccordement de la digue au terrain naturel .....	108
Figure 153 : Zones protégées associées au système d'endiguement du val de Nevers.....	109
Figure 154 : carte d'occupation du sol du val est (source : TRI de Nevers).....	111
Figure 155 : diagramme de répartition de l'occupation du sol du val est .....	111
Figure 156 : carte d'occupation du sol du val ouest (source TRI de Nevers).....	111
Figure 157 : diagramme de répartition de l'occupation du sol du val ouest .....	112
Figure 158 : Répartition de la population dans le val de Nevers (source INSEE) .....	113
Figure 159 : Répartition des bâtis selon leur typologie - nombre d'étages (source BRLi).....	114
Figure 160 : Population directement exposée dans le val de Nevers (source EGRIAN).....	115
Figure 161 : Entreprises présentes dans la zone protégée (source EGRIAN) .....	116
Figure 162 : Services publics présent dans la zone protégée (source EGRIAN) .....	117
Figure 163 : Réseaux et transport dans le val (source EGRIAN).....	118
Figure 164 : Remblai de la RN81 dans le val est de Nevers.....	120
Figure 165 : Remblai de la voie ferrée dans le val ouest de Nevers .....	121
Figure 166 : Localisation des ouvrages de franchissement (étude EGRIAN – ARTELIA - 2008) .....	121
Figure 167 : réseau hydrographique (en bleu) et bassin versant (en rouge) des fossés et affluents s'écoulant par les Vals de Nevers .....	123
Figure 168 : ouvrage de régulation de l'Eperon en entrée du val ouest de Nevers .....	124
Figure 169 : Construction des digues au XVIII ème siècle et au début du XIX ème siècle (EGRIAN 2010) .....	128
Figure 170 : Rehausses et construction de nouvelles levées entre 1853 et 1860 (EGRIAN 2010) .....	129
Figure 171 : Photo en aval de la levée de Médine lors de la crue de 1907 (EGRIAN 2010).....	131
Figure 172 : Brèches historiques au niveau de l'agglomération de Nevers (EGRIAN 2010) .....	132
Figure 173 : levée de Befes-Herry - réparations d'urgence lors de la crue de décembre 2003 (crédit photo DREAL Centre) .....	133
Figure 174 : Brèche dans la digue de Mauboux à Livry (58) - Crue de 2003 (crédit photo DREAL Centre) .....	134
Figure 175 : déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre aujourd'hui (à gauche) et lors de la crue de décembre 2003 (à droite) (image Google Earth – crédit photo DREAL Centre).....	134
Figure 176 : brèche de Pia sur l'Agly – crue du 6 mars 2013 – (photo : protection civile des Pyrénées-Orientales).....	141
Figure 177 : Coupe d'un sand Boil derrière les digues de l'Agly – crue du 6 mars 2013 – (photo : DDT des Pyrénées-Orientales).....	141
Figure 178 : Démarche de l'analyse du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement (diagramme IRSTEA) .....	145
Figure 179 : Exemple de discrétisation de l'espace des évènements et du calcul de la probabilité annuelle d'un scénario de brèche .....	149
Figure 180 : val est - carte de probabilité annuelle de rupture par surverse .....	157
Figure 181 : Val ouest - carte de probabilité annuelle de rupture par surverse.....	160
Figure 182 : val est - carte de probabilité annuelle de rupture par érosion interne .....	163
Figure 183 : val ouest - carte de probabilité annuelle de rupture par érosion interne .....	164
Figure 184 : Arbre de défaillance du scénario de rupture par glissement de talus côté val pour un ouvrage en remblai (sans palplanches ni paroi bentonite) .....	166
Figure 185 : Arbre de défaillance du scénario de rupture par glissement de talus côté rivière pour un ouvrage en remblai (sans palplanches ni paroi bentonite) .....	166
Figure 186 : Val est - Carte de Probabilité annuelle de rupture par glissement.....	168
Figure 187 : Val ouest - Carte de Probabilité annuelle de rupture par glissement .....	168

Figure 188 : Val est - Carte de Probabilité annuelle de rupture par soulèvement hydraulique .....	169
Figure 189 : Val ouest - Carte de Probabilité annuelle de rupture par soulèvement hydraulique .....	170
Figure 190 : Val est - Carte de Probabilité annuelle de rupture par érosion externe .....	171
Figure 191 : Val ouest - Carte de Probabilité annuelle de rupture par érosion externe.....	172
Figure 192 : Val est - Carte des probabilités annuelles de rupture tous modes confondus avec prise en compte de remontée de nappes et en l'absence de surveillance.....	174
Figure 193 : Val ouest - Carte des probabilités annuelles de rupture tous modes confondus avec prise en compte de remontée de nappes et en l'absence de surveillance.....	176
Figure 194 : Carte de localisation des scénarios retenus .....	180
Figure 195 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 1 .....	182
Figure 196 : Hydrogrammes en Loire en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 1 .....	182
Figure 197 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 1 .....	183
Figure 198 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 1 .....	183
Figure 199 : Carte des temps de propagation – Scénario 1.....	184
Figure 200 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 2.....	185
Figure 201 : Hydrogrammes en Loire en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 2.....	185
Figure 202 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 2 .....	186
Figure 203 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 2.....	186
Figure 204 : Carte des temps de propagation – Scénario 2.....	187
Figure 205 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 3.....	188
Figure 206 : Hydrogrammes dans le chenal de la Nièvre en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 3.....	188
Figure 207 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 3 .....	190
Figure 208 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 3.....	190
Figure 209 : Carte des temps de propagation – Scénario 3.....	191
Figure 210 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 4.....	191
Figure 211 : Hydrogrammes en Loire en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 4.....	192
Figure 212 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 4 .....	193
Figure 213 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 4.....	193
Figure 214 : Carte des temps de propagation – Scénario 4.....	194
Figure 215 : zone théorique de destruction du bâti (Val Ouest).....	195
Figure 216 : zone théorique de destruction du bâti (Val Est .....	195
Figure 217 : Carte des aléas – Scénario 1.....	196
Figure 218 : Carte des aléas – Scénario 2.....	198
Figure 219 : Carte des aléas – Scénario 3.....	201
Figure 220 : Carte des aléas – Scénario 4.....	203
Figure 221 : Vanne crémaillère de l'ouvrage de connexion Ruisseau de l'Eperon/Nièvre au pk750 .....	208
Figure 222 : Carte de localisation des scénarios de défaillance fonctionnelle retenus .....	209
Figure 223 : Hydrogramme et volume transitant par l'ouvrage de l'Eperon .....	210
Figure 224 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest.....	212
Figure 225 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest .....	212
Figure 226 : Carte des temps de propagation – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest.....	213
Figure 227 : Hydrogramme et volume transitant par l'ouvrage– Scénario 2 défaillance fonctionnelle du Val Est.....	214
Figure 228 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est .....	215
Figure 229 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est.....	215
Figure 230 : Carte des temps de propagation – Scénario 2.....	216
Figure 231 : Carte des aléas – Scénario 1 de défaillance fonctionnelle du Val Ouest .....	217
Figure 232 : Carte des aléas – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est .....	219
Figure 233 : Schéma des niveaux de surveillance en fonction des niveaux d'eau en cas de crue de la Loire (source : Ville de Nevers) .....	225
Le croisement des habitations avec la zone inondable la plus importante (Q500 pour le scénario de référence) est présenté sur la Figure 234 : Localisation des habitations en zone inondable.....	251
Figure 235 : Nombre de logements et d'habitants en zone inondable pour l'état de référence dans le val Est .....	252
Figure 236 : Localisation des entreprises en zone inondable dans le Val Est .....	252
Figure 237 : Dommages aux habitations .....	253
Figure 238 : Dommages aux entreprises .....	254
Figure 239 : Dommages cumulés et dommages moyens annuels .....	255
Figure 240 : Nombres d'habitants en zone inondable et résidant de plain-pied en zone inondable .....	255
Figure 241 : Rappel : Carte des vitesses maximales (asynchrones) et du temps de propagation dans les vals est et Ouest pour le scénario 5 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans .....	265

Figure 242 : Carte des vitesses maximales (asynchrones) et du temps de propagation dans le val ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 500 ans.....	267
Figure 243 : Carte des hauteurs maximales ( <b>asynchrones</b> ) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 500 ans.....	269
Figure 244 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 500 ans.....	269
Figure 245 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 750 ans.....	270
Figure 246 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 750 ans.....	270
Figure 247 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 1000 ans.....	271
Figure 248 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 1000 ans.....	271
Figure 249 : Illustration de la cinétique de propagation centrée dans le val Ouest pour le scénario 6.....	272
Figure 250 : Localisation des habitations en zone inondable.....	275
Figure 251 : Nombre de logements et d’habitants en zone inondable pour l’état de référence.....	275
Figure 252 : Localisation des entreprises en zone inondable.....	276
Figure 253 : Dommages aux habitations.....	277
Figure 254 : Dommages aux entreprises.....	278
Figure 255 : Dommages cumulés et dommages moyens annuels.....	278
Figure 256 : Nombres d’habitants en zone inondable et résidant de plain-pied en zone inondable.....	279
Figure 257 : Carte des hauteurs d’inondations résiduelles (avant ressuyage par d’autres organes) pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d’occurrence 500 ans.....	281

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2 : comparatif des tronçons retenus dans le cadre de la présente étude de dangers avec celui retenu dans le cadre de l'arrêté de classement .....	38
Tableau 3 : coordonnées X, Y (Lambert 93) des limites amont et aval du système d'endiguement du val est de Nevers .....	38
Tableau 4 : coordonnées X, Y (Lambert 93) des limites amont et aval du système d'endiguement du val ouest de Nevers .....	38
Tableau 5 : Liste des sondages disponibles dans la BSS Infoterre .....	52
Tableau 6: Résumé des sondages disponibles au droit de l'échangeur .....	53
Tableau 7 : tableau de synthèse des caractéristiques du corps de digue du val EST .....	62
Tableau 8 : Synthèse des sols en fondations de la digue val est.....	62
Tableau 9 : tableau de synthèse des caractéristiques du corps de digue du val EST .....	65
Tableau 10 : tableaux de synthèse des caractéristiques de la fondation de la digue.....	67
Tableau 11 : Tableau des composants et des fonctions géotechniques du profil en travers type (source IRSTEA) .....	69
Tableau 12 : Niveaux et hauteurs d'eau à l'échelle de Nevers pour différentes périodes de retour de crue (extrait du modèle hydraulique) .....	92
Tableau 13 : récapitulatif des éléments du système d'endiguement ou de son environnement et fonctions hydrauliques associées – Val est .....	94
Tableau 14 : récapitulatif des éléments du système d'endiguement ou de son environnement et fonctions hydrauliques associées – Val ouest .....	94
Tableau 15 : Surfaces en hectares selon le type d'occupation du sol.....	112
Tableau 16 : population dans la zone protégée et population directement exposée (source : BRLi).....	115
Tableau 17 : Répartition des entreprises selon leur taille (source EGRIAN).....	117
Tableau 18 : enjeux stratégiques et sensibles présents dans le val de Nevers (source : TRI de Nevers) .....	119
Tableau 19 : Caractéristiques des ouvrages de franchissement sous le voie ferrée dans le val Ouest (Etude EGRIAN – ARTELIA - 2008) .....	122
Tableau 20 : Crues historiques de la Loire à l'échelle de la Jonction à Nevers .....	132
Tableau 21 : Comparaison des niveaux atteints par les crues du 19 <sup>ème</sup> siècle au droit des différents vals étudiés.....	133
Tableau 22 : principaux enseignements issus de retours d'expérience issus d'autres systèmes d'endiguement (source DREAL Centre).....	142
Tableau 23 : Qualification des probabilités événementielles utilisées pour caractériser la probabilité de défaillance pour un événement de crue donné.....	148
Tableau 24 : Qualification des probabilités annuelles utilisées pour caractériser les scénarios de défaillance .....	150
Tableau 25 : Grille de définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses.....	151
Tableau 26 : Table de correspondance entre aléa et vulnérabilité de la population en danger .....	152
Tableau 27 : Classes de gravité des scénarios d'inondation .....	152
Tableau 28 : Grille de criticité des scénarios d'inondation .....	153
Tableau 29 : Val est - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m) (1/2).....	155
Tableau 30 : Val est - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m) (2/2).....	156
Tableau 31 : Val ouest - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m) (1/2).....	158
Tableau 32 : Val ouest - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m) (2/2).....	159
Tableau 33 : val est - correspondance entre valeur du critère de Bligh (modifié) et probabilité d'apparition d'érosion interne.....	161
Tableau 34 : val est - Probabilité de rupture des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,10\%$ ) .....	162
Tableau 35 : Val est - Caractéristiques, désordres et anomalies des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,10\%$ ).....	162
Tableau 36 : val ouest - Probabilité de rupture des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,01\%$ ) .....	163
Tableau 37 : Val ouest - Caractéristiques, désordres et anomalies des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,01\%$ ).....	164
Tableau 38 : Val est - Probabilités de rupture des profils en travers soumis au glissement côté val ( $\Sigma > 0,10\%$ ).....	167
Tableau 39 : Val est - Probabilités de rupture des profils en travers soumis au glissement côté val ( $\Sigma > 0,10\%$ ).....	168
Tableau 40 : Val est - Probabilités de rupture annuelle tous modes confondus des différents profils élémentaires ( $\Sigma > 0,10\%$ ) .....	174
Tableau 41 : Val ouest - Probabilités de rupture annuelle tous modes confondus des différents profils élémentaires ( $\Sigma > 0,10\%$ ) .....	176
Tableau 42 : Tableau de synthèse des scénarios de brèches retenus .....	179
Tableau 43 (rappel) : Grille de définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses .....	195
Tableau 44 : Rappel - Classes de gravité des scénarios d'inondation.....	196



Tableau 45 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 1 .....	197
Tableau 46 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 1 .....	197
Tableau 47 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 2.....	198
Tableau 48 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 2.....	200
Tableau 49 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 3.....	202
Tableau 50 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 3.....	202
Tableau 51 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 4.....	203
Tableau 52 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 4.....	204
Tableau 53 : Synthèse des niveaux de gravité des différents scénarios.....	204
Tableau 54 : Synthèse des indices de criticité des différents scénarios .....	205
Tableau 55 : Synthèse globale des résultats .....	206
Tableau 56 : Tableau de synthèse des scénarios de défaillance fonctionnelle retenus.....	208
Tableau 57 (rappel) : Grille de définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses .....	216
Tableau 58 : Rappel - Classes de gravité des scénarios d'inondation.....	217
Tableau 59 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest.....	218
Tableau 60 : Enjeux sensibles– Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest .....	218
Tableau 61 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est .....	219
Tableau 62 : Enjeux sensibles– Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Est.....	220
Tableau 63 : Synthèse des niveaux de gravité des différents scénarios de défaillance fonctionnelle .....	220
Tableau 64 : Synthèse des indices de criticité des différents scénarios .....	221
Tableau 65 : Synthèse globale des résultats de criticité des scénarios de défaillance fonctionnelle .....	222
Tableau 65 : <a href="#">Dommmage moyens annuels</a> .....	255
Tableau 66 : <a href="#">Résultats de l'analyse multicritère pour l'aménagement du déversoir ouest</a> .....	256
Tableau 67 : <a href="#">Dommmage moyens annuels</a> .....	279
Tableau 68 : <a href="#">Résultats de l'analyse multicritère pour l'aménagement du déversoir ouest</a> .....	280





# INFORMATION DU LECTEUR ET MISE EN GARDE

## SUR LA STRUCTURE DE L'ETUDE DE DANGERS

Conformément aux prescriptions des arrêtés du 7/04/2017 et 22/07/2019, l'étude de danger est composée :

- d'un résumé non technique (document 0) ;
- d'une présentation générale du système d'endiguement (document A) ;
- d'un document d'analyse des risques et de justification des performances (document B), qui, dans le cas particulier de la présente étude a été décomposé en 2 documents :
  - le document B1 spécifique à la rive gauche
  - le document B2 spécifique à la rive droite

Le présent document constitue un addendum au document B2

Il a pour objet de décrire les travaux projetés et études associées en vue :

- de modifier la ligne de défense du val Est ;
- de réaliser une zone de surverse au droit du val Est ;
- et de réaliser une zone de surverse au droit du val Ouest.

Il est précisé que ce document présente de manière qualitative l'incidence des travaux projetés mais n'a pas pour objet de justifier et/ou apporter une modification au niveau de sûreté du val.

Il est précisé également que pour un meilleur suivi, les ajouts par rapport au document B2 initial sont apportés en bleu.





## 5 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

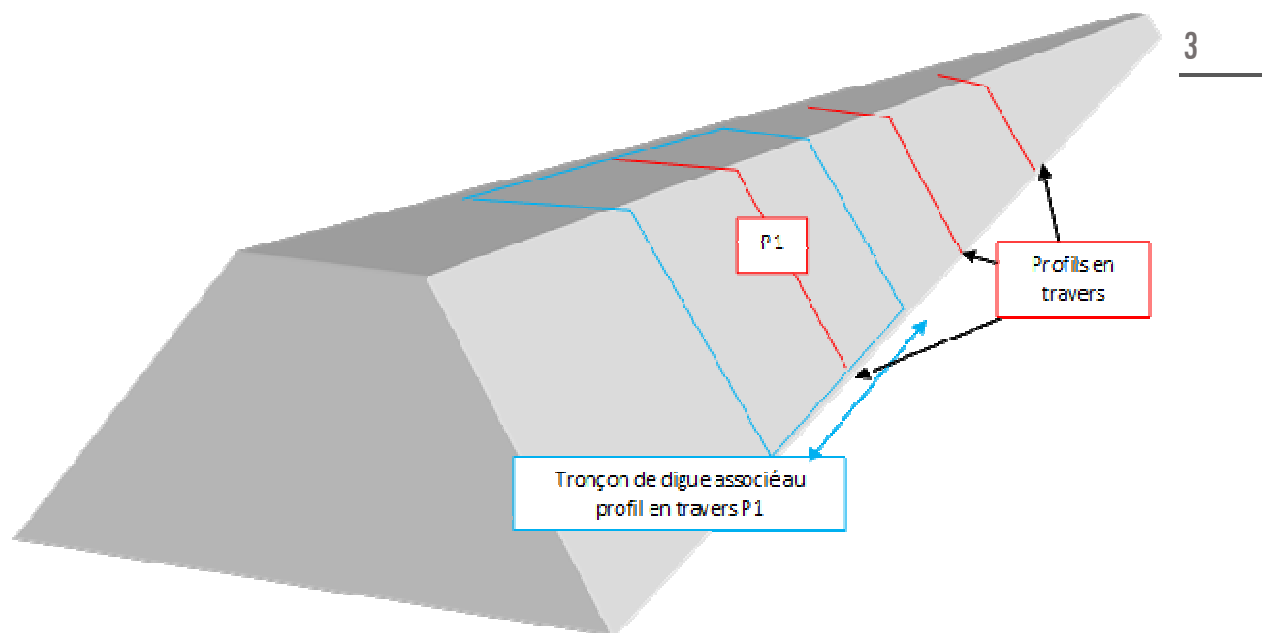
L'analyse fonctionnelle doit permettre d'appréhender le système d'endiguement du point de vue des fonctions de ses composants. Elle doit s'envisager à différentes échelles :

- le système d'endiguement dans son ensemble ;
- les sous-systèmes de digues formant le système d'endiguement (découpage du système d'endiguement en tronçons), définis par leurs fonctions hydrauliques (digue, passage batardable, etc.) ;
- les composants géotechniques qui constituent la structure des différents tronçons de digues (découpage en profils en travers, types de digues) et se définissent par leurs fonctions géotechniques (corps de digue, protection, recharge étanche, drain...).

### 5.1 L'OUVRAGE EXISTANT

#### 5.1.1 Principe de discrétisation du système d'endiguement

Dans la présente étude de dangers, le système d'endiguement du val de Nevers est discrétisé en tronçons de 50 mètres linéaires. Chaque tronçon est rattaché à un profil en travers type (en termes de géométrie et de composants), positionné par défaut au centre de celui-ci, mais pouvant également être légèrement déplacé si cela est jugé pertinent pour améliorer sa représentativité.



Chaque profil en travers est identifié par son numéro et localisé par son PK compté (de manière continue, sans faire abstraction des éventuelles interruptions d'endiguement tels que les rampes et/ou les culées de pont) à partir de l'extrémité amont du système de protection jusqu'à son extrémité aval.



La localisation des profils en travers du système de protection de Nevers rive droite est disponible au début du chapitre 10 de la présente étude de dangers.

Les données afférentes à chacun de ces tronçons de 50 m (caractéristiques géométriques, niveaux de charge hydraulique appliqués, composants géotechniques et renforcements, désordres structurels relevés, modes de surveillance et de gestion et caractéristiques géotechniques) sont détaillées dans l'annexe 5 de la présente EDD.

## 5.1.2 Définition et principales caractéristiques du système d'endiguement étudié

### 5.1.2.1 Particularité du val de Nevers

Le val de Nevers objet de la présente étude de dangers est traversé par un canal endigué sur ses deux rives. L'objectif de la création du canal endigué est d'assurer la protection des quartiers du centre-ville de Nevers contre les crues de la Loire, la construction de la station d'exhaure du pont mal Placé dans un second temps a permis de compléter le dispositif de protection.

Le canal de dérivation s'étire de l'ouvrage de répartition de Coulanges à la confluence avec la Loire à proximité du parc des expositions de Nevers.

Compte tenu de l'absence d'ouvrages de décharge sous le canal de dérivation, il est nécessaire de considérer deux sous-vals, ainsi que deux systèmes d'endiguement distincts associés. Ils ne sont pas totalement indépendants, et une défaillance d'un des systèmes peut avoir des conséquences sur l'autre système, mais cette interaction est limitée.

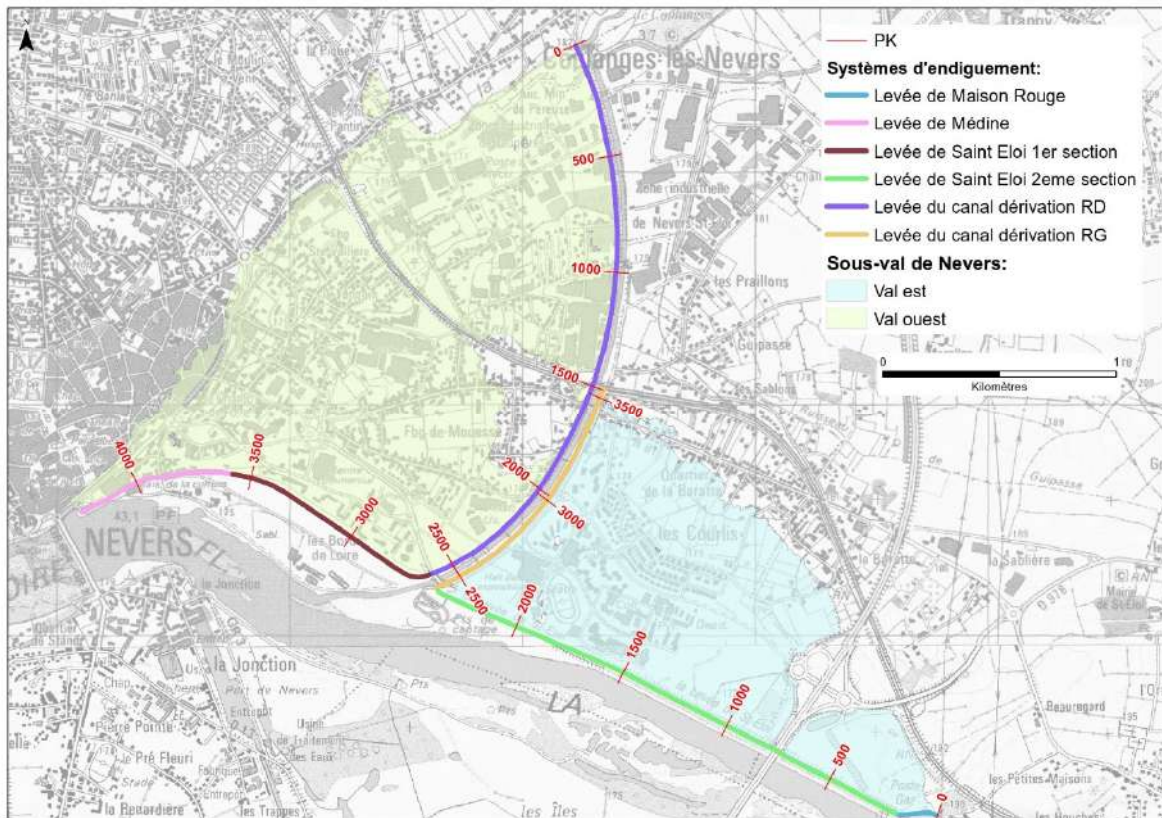
4 De cette manière, dans plusieurs chapitres de la présente étude de dangers, il sera dissocié :

- Le val est situé à l'est du canal de dérivation ;
- Le val ouest situé à l'ouest du canal de dérivation.

Les systèmes d'endiguement associés à chaque sous-val sont décrits au chapitre 5.1.2.2 et les zones protégées au chapitre 5.3.4.



Figure 1 : Systèmes d'endiguement du Val de Nevers



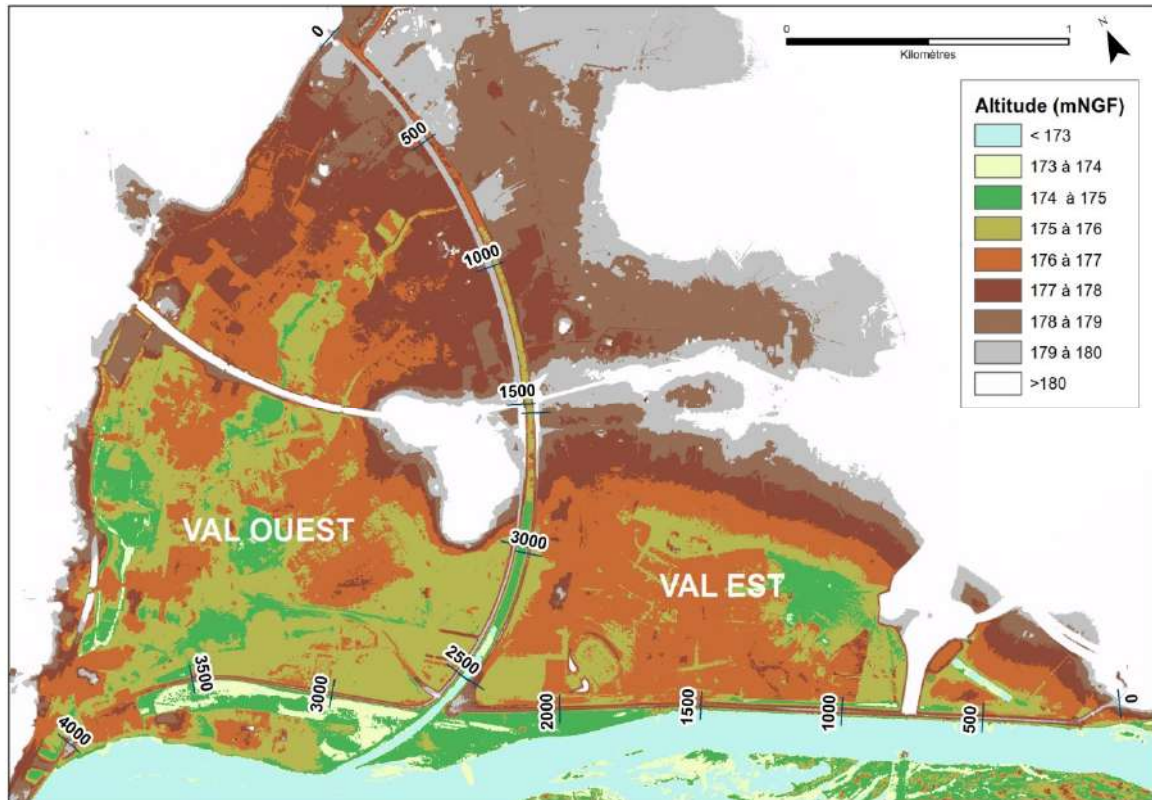


Figure 2 : Topographie de la zone d'étude

## 6 5.1.2.2 Ligne de défense principale

Le système de protection du val de Nevers est défini par la configuration de sa ligne de défense principale. De premier rang par rapport aux cours d'eau, elle constitue la limite entre les milieux extérieurs des cours d'eau (Loire et Nièvre) et la zone protégée. Sa définition résulte d'une analyse conjointe des rédacteurs de la présente étude de dangers et du gestionnaire de l'ouvrage et constitue pour partie un résultat de l'analyse fonctionnelle.

### 5.1.2.2.1 Val est

La ligne de défense principale retenue protège le Val est des crues de la Loire et de la Nièvre sur environ 3,5 km, depuis le lieu-dit de « Maison rouge » jusqu'à la RN81 sur le canal de dérivation de la Nièvre. Elle se caractérise par :

- Plusieurs levées distinctes, de l'amont vers l'aval :
  - Levée de Maison Rouge sur environ 180m de long,
  - Levée de Saint Eloi 2<sup>ème</sup> section, d'une longueur de 2200m et d'une hauteur moyenne de 3,2m.
  - Levée rive gauche du canal de dérivation sur environ 1150m de long et pour une hauteur moyenne de 2,1m,
- La présence d'un point singulier : une station de pompage et de refoulement encastree dans la digue ;
- La présence de nombreuses culées de pont, du remblai de l'autoroute A77, ainsi que des rampes d'accès en crête.



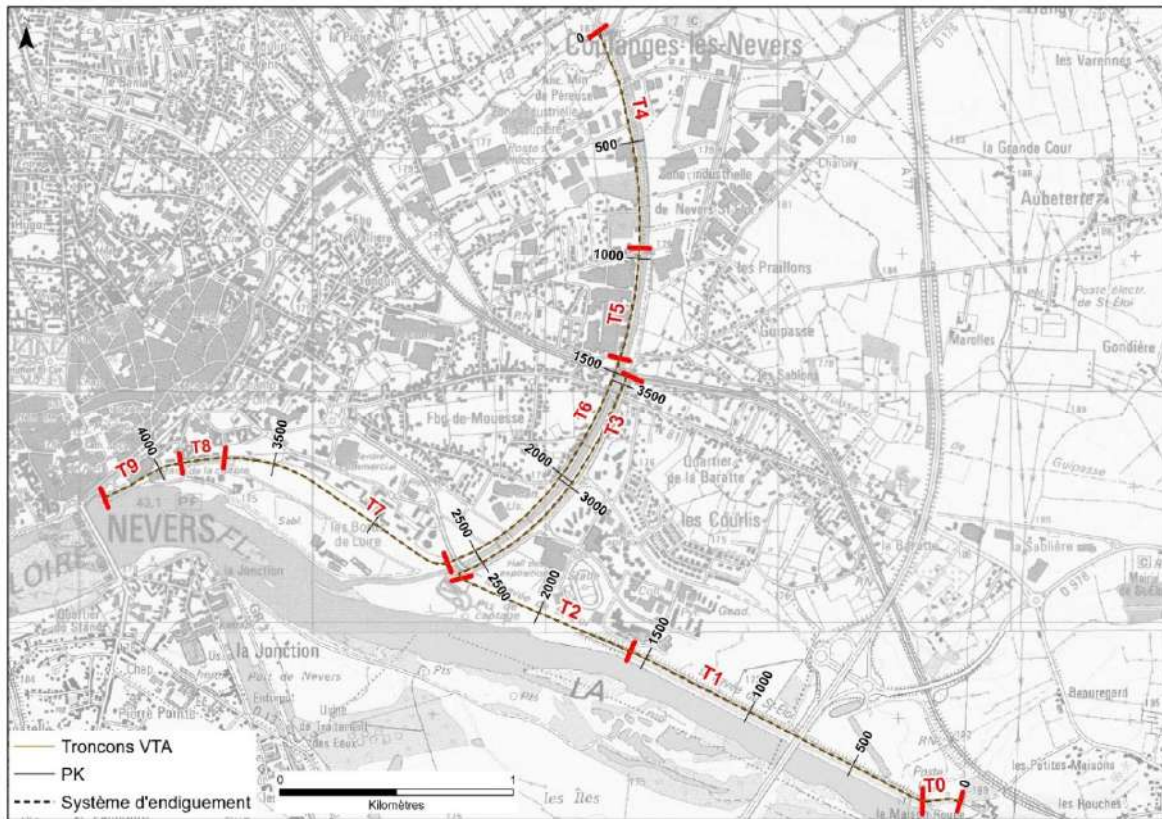


Figure 3 : Ligne de défense principale de Nevers et tronçons homogènes de la VTA

Les paragraphes suivants présentent les principales caractéristiques des différentes levées constitutives du système d'endiguement du val est de Nevers.

### TRONÇON N°0 : DU PK0 AU PK150 (L=150M) VAL EST - LEVEE DE MAISON ROUGE

La digue de Maison Rouge, ouvrage permettant la continuité du système d'endiguement en amont de la levée de St-Eloi, se situe sur une propriété privée.

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	19.77	35.44	25.73
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	1.87	3.61	2.83
Pente côté Loire (H/V)	3.33	1.58	2.33
Pente côté zone protégée (H/V)	5.27	1.36	2.12
Larguer de digue en crête (m)	2.21	15.26	10.24

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :



		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Sables et argiles +/- graveleux	3	5,00E-05	0	30
Fondations					
	Première couche argilo-limoneuse	2	5,00E-06	0	30
	Alluvions sableuses à graves de la vallée de la Loire	10	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué par des marnes calcaires grises	-	1,00E-07	50	0

## 8

Cette levée n'a pas fait l'objet d'une VTA au sens strict. Toutefois il a été réalisé un diagnostic visuel succinct ayant permis de constater les points caractéristiques suivants :

- Une végétation ligneuse généralisée sur les 2 talus ainsi qu'en crête,
- La station de détente de gaz en pied de talus coté Loire,
- Le passage de la conduite haute pression de gaz à travers la levée.



Figure 4 : vue vers l'amont de la crête de digue de la Maison Rouge avec présence de végétation ligneuse



Figure 5 : poste de gaz en pied de talus coté Loire de la digue Maison Rouge avec canalisation traversant la digue

1. une première couche argilo-limoneuse en surface, de faible perméabilité (et localement absente);
2. des alluvions sableuses à graves de la vallée de la Loire sous-jacentes, de perméabilité moyenne ;



3. le substratum constitué par des marnes calcaires grises (sableuses par endroits)

### TRONÇON N°1 : DU PK150 AU PK1574 (L=1424M) VAL EST - PARTIE AMONT DE LA LEVEE DE ST-ÉLOI 2<sup>ÈME</sup> SECTION

Ce tronçon s'étend de la levée de maison rouge à la station de pompage de la Baratte. Il est parallèle à la Loire.

Il se caractérise au pk750 par le passage sous l'A77, au droit duquel la digue présente une hauteur côté TN de 0.22m

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	16.18	42.67	34.82
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	1.86 (hors passage sous A77)	4.9	3.84
Pente côté Loire (H/V)	3.66	2.07	2.65
Pente côté zone protégée (H/V)	8.62	1.46	3.77
Larguer de digue en crête (m)	225	5.46	3.68

9

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :

		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Sables et argiles +/- graveleux	3	5,00E-05	0	30
Fondations					
	Première couche argilo-limoneuse	2	5,00E-06	0	30
	Alluvions sableuses à graves de la vallée de la Loire	10	1,00E-05	0	30



	Substratum constitué par des marnes calcaires grises	-	1,00E-07	50	0
--	--	---	----------	----	---

Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- Une digue en contact avec le lit vif de la Loire et présentant un renforcement au niveau de la berge (enrochements libres),
- Le renforcement du haut du talus coté Loire par un parement béton (en bon état général),
- Une végétation ligneuse généralisée en pied de talus coté Loire (sous parement en béton), sur talus coté val, mais également en crête de digue pour la partie située en amont du pont de l'A77,
- La présence de terriers de faible diamètre visibles en haut du talus coté val et de gros diamètres visibles en pied de talus coté Loire (sous parement en béton),
- La présence de corps étrangers type mobilier urbain.

10



Figure 6 : parement bétonné sur le haut du talus coté Loire avec escalier en béton (vu vers l'amont) et végétation arbustive en pied de talus



Figure 7 : végétation clairsemée sur talus coté val (vue vers l'amont)



Figure 8 : terrier de diamètre supérieur à 30cm en milieu de talus coté Loire (sous parement bétonné)



Figure 9 : protection de la berge en enrochements libres avec quelques blocs déstabilisés

## TRONÇON N°2 : DU PK1574 AU PK2365 (L=791 M) VAL EST - PARTIE AVAL DE LA DIGUE DE ST-ÉLOI 2<sup>EME</sup> SECTION

Ce tronçon qui s'étend de la station de pompage de la Baratte au canal de dérivation, s'éloigne progressivement de la Loire.

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :



	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	16.51	32.35	26.03
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	1.57	3.21	2.8
Pente côté Loire (H/V)	2.57	1.83	2.1
Pente côté zone protégée (H/V)	4.97	2.79	3.62
Larguer de digue en crête (m)	2.19	5.5	3.86

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :

		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Sables et argiles +/- graveleux	3	5,00E-05	0	30
Fondations					
	Première couche argilo-limoneuse	2	5,00E-06	0	30
	Alluvions sableuses à graves de la vallée de la Loire	10	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué par des marnes calcaires grises	-	1,00E-07	50	0

Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- Le pied de digue s'éloigne du lit vif de la Loire,
- La présence d'une végétation ligneuse isolée et de quelques souches,
- Des corps étrangers sur le corps de digue, type mobilier urbain.



Figure 10 : levée vue vers l'amont avec banc installé en crête



Figure 11 : parement renforcé sur haut de talus coté Loire avec arbre isolé en pied (vu vers l'amont)



Figure 12 : clôture grillagée sur terrain naturel coté val (vue vers l'aval)



Figure 13 : raccordement aval de la levée au remblai de la route départementale

### TRONÇON N°3 : DU PK2365 AU PK3545 (L=1 180M) VAL EST - LEVEE DU CANAL DE DERIVATION DE LA NIEVRE COTE RIVE GAUCHE

- 12 Ce tronçon correspond à la levée longeant le canal de Dérivation en RG. Cette levée se caractérise également par la présence, en pied côté zone protégée par la rue Amiral Jacquinet et par son franchissement au-dessus du canal de dérivation au droit du pk2400.

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	10.12	24.09	17.75
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	0.8	3.5	2.26
Pente côté Loire (H/V)	3.23	1.32	1.81
Pente côté zone protégée (H/V)	4	1.27	2
Larguer de digue en crête (m)	1.58	14.58	5.16

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :

	Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue				



	argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	3	5,00E-05	5	25
Fondations					
	Première couche argilo-limoneuse	2	5,00E-05	5	25
	Sables et marnes sableuses à cailloutis	5	1,00E-06	0	30
	Substratum constitué par des marnes calcaires grises	-	1,00E-07	50	0

Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

Ce tronçon est caractérisé par :

- La présence d'une risberme en pied de talus coté canal de dérivation de la Nièvre,
- Une pente de talus coté canal de dérivation de la Nièvre relativement raide avec légers glissements superficiel de terre végétale sur le talus maçonné.
- Une route se trouve en pied de talus coté val sur la totalité du linéaire,
- De nombreux ouvrages encastrés et corps étrangers,
- Une faible présence de végétation le long de ce tronçon.



Figure 14 : vue de la digue vers l'amont avec rampe d'accès vers la risberme coté canal



Figure 15 : glissement observé sur talus coté canal



Figure 16 : rampe d'accès à la passerelle sur talus coté val avec plots d'ancrage dans l'ouvrage en béton (vue vers l'amont)



Figure 17 : digue vue vers l'aval avec escalier en béton et route départementale en pied de talus

14



Figure 18 : culée du pont de la route départementale encastrée dans la digue vue vers l'amont



Figure 19 : raccordement de la digue au TN vu vers l'aval avec végétation sur haut de talus





### 5.1.2.2 Val ouest

La ligne de défense principale retenue protège le Val ouest des crues de la Loire et de la Nièvre sur environ 4,3 km, depuis l'ouvrage de Coulanges en amont du canal de dérivation de la Nièvre jusqu'à la station d'exhaure à proximité de la maison de la culture de Nevers. Elle se caractérise par :

- Plusieurs levées distinctes, de l'amont vers l'aval :
  - Levée rive droite du canal de dérivation de la Nièvre sur environ 2600m de long avec une hauteur moyenne de 2m ; En amont de la voie ferrée, la levée comporte en crête une route et une promenade, ce qui lui confère une grande largeur ;
  - Levée de Saint Eloi 1<sup>ère</sup> section, d'une longueur de 1.27km et d'une hauteur moyenne de 3m.
  - Levée de Médine sur environ 360m de long et pour une hauteur moyenne de 2,8m. Cette levée est située dans contexte urbain, souvent encadrée dans des bâtiments ou prenant la forme d'un mur.
- La présence de deux points singuliers :
  - la porte de Médine qui permet le passage de la digue en voiture vers un parking. Elle s'actionne manuellement et ses portes s'ouvrent côté Loire.
  - la station d'exhaure du pont mal Placé
- La présence de nombreux bâtiments encastés ou de culées de pont.

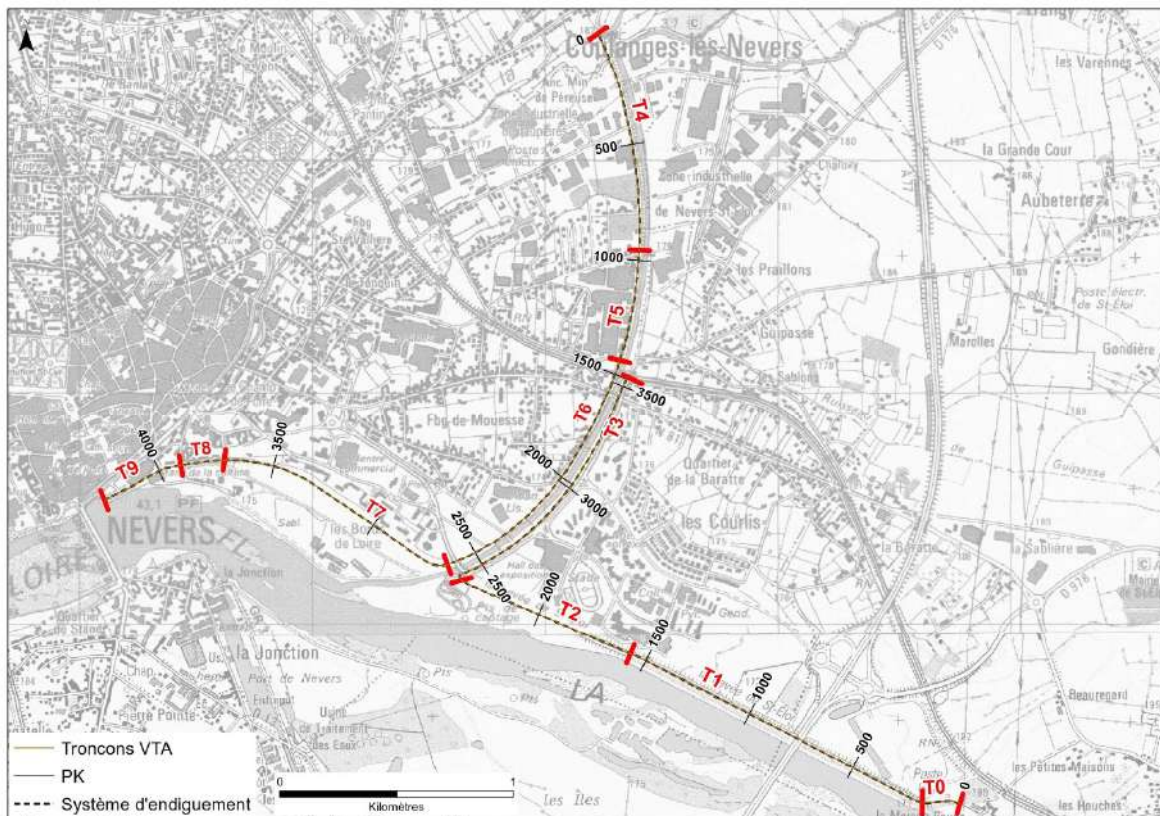


Figure 20 : Ligne de défense principale de Nevers et tronçons homogènes de la VTA

Les paragraphes suivants présentent les principales caractéristiques des différentes levées constitutives du système d'endiguement du val ouest de Nevers.



### TRONÇON N° 4 : DU PK0 AU PK954 (L=954M) VAL OUEST - PARTIE AMONT DE LA LEVEE DU CANAL DE DERIVATION DE LA NIEVRE COTE RIVE DROITE

Ce tronçon correspond à la levée longeant le canal de Dérivation en RD. Cette levée se caractérise par la présence en crête de la rue Edme Laborde ce qui lui confère une grande largeur et par la présence de rue perpendiculaire qui induisent ponctuellement des pentes côté zone protégée très faibles.

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	25.81	48.75	31.23
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	0.4	2.21	1.56
Pente côté Loire (H/V)	3.01	1.47	2.17
Pente côté zone protégée (H/V)	30.32	1.48	3.12
Larguer de digue en crête (m)	14.12	39.34	18.54

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :

16

		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Limons argilo-sableux	3	1,00E-05	5	25
Fondations					
	Limons argileux	1	3,00E-07	5	20
	Sables grossiers et matrice limoneuse	4	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué par des marnes gris-bleu	-	1,00E-07	50	0



Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- Une largeur importante de la digue en pied (30m) et en crête (16m) avec une hauteur moyenne de 1,5m,
- Deux ouvrages hydrauliques traversant la digue,
- De la végétation ligneuse d'alignement en crête (platanes),
- Quelques corps étrangers et deux culées de pont encastrées.



Figure 21 : martelières sur ancienne Nièvre vues vers l'amont et vers le raccordement de l'ouvrage au coteau



Figure 22 : talus coté val vue vers l'aval avec route et alignement de platanes en crête



Figure 23 : crête de la digue avec bancs et poubelle vue vers l'amont



Figure 24 : ouvrage hydraulique traversant avec vanne crémaillère automatisée (pied de talus coté canal)

18



Figure 25 : Pieux en bois (avec géotextile) pour soutènement du milieu du talus coté canal vus vers l'amont (30m de long)



Figure 26 : ouvrage hydraulique traversant ouvert ( ? ) vu en milieu de talus coté canal

### TRONÇON N°5 : DU PK954 AU PK1436 (L=482M) VAL OUEST - PARTIE INTERMEDIAIRE DE LA LEVEE DU CANAL DE DERIVATION DE LA NIEVRE COTE RIVE DROITE

Ce tronçon correspond à la levée longeant le canal de Dérivation en RD. Il se termine juste avant le franchissement du canal par la voie SNCF. Cette levée se caractérise par la présence en crête de la rue Louise Michel ce qui lui confère une grande largeur et par la présence de rue perpendiculaire qui induisent ponctuellement des pentes côté zone protégée très faibles.

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	25.28	31.51	27.68



Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	0.93	1.91	1.55
Pente côté Loire (H/V)	1.93	1.23	1.52
Pente côté zone protégée (H/V)	2.95	1.33	2.00
Larguer de digue en crête (m)	16.48	20.91	18.75

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :

		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Limons argilo-sableux	3	1,00E-05	5	25
Fondations					
	Limons argileux	1	3,00E-07	5	20
	Sables grossiers et matrice limoneuse	4	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué par des marnes gris-bleu	-	1,00E-07	50	0

19

Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- Les dimensions de la digue sont quasiment inchangées par rapport au tronçon amont,
- La présence d'un mur de soutènement sur le talus coté val,
- Des stations de pompage (?) sur talus coté canal de dérivation de la Nièvre pour assainissement des eaux pluviales coté usines,



Figure 27 : route en crête vue vers l'amont avec mur de soutènement sur talus coté val surmonté de grilles métalliques



Figure 28 : mur de soutènement sur talus coté val vu vers l'aval au droit d'une usine



Figure 29 : station de pompage sur le bas de talus coté canal de dérivation (clapet étanche ?)



Figure 30 : station de pompage sur le bas de talus coté canal de dérivation (clapet étanche ?)



### TRONÇON N°6 : DU PK1436 AU PK2630 (L=1194M) VAL OUEST - PARTIE AVAL DE LA LEVEE DU CANAL DE DERIVATION DE LA NIEVRE COTE RIVE DROITE

Ce tronçon correspond à la levée longeant le canal de Dérivation en RD. Il débute au droit du franchissement du canal par la voie SNCF et se termine au droit du franchissement du canal par la rue Amiral Jacquinet. Cette levée se caractérise également :

- Sur les 250 premiers mètres, par la présence en crête de la rue Louise Michel, sur les premiers 250m, ce qui lui confère une grande largeur et par la présence de rue perpendiculaire qui induisent ponctuellement des pentes côté zone protégée très faibles.
- sur les 350m suivants (pk1700 à 2050) par la présence de la rue de la fosse aux loups en pied côté zone protégée ;
- Et à l'extrémité aval (pk 2350 à 2600) par la présence en pied côté zone protégée d'un ancien site industriel (branche agrochimie / société Rhône-Poulenc).

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

<i>Du pk1450 à 1600</i>	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	27.17	52.13	38.99
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	0.45	2.1	0.99
Pente côté Loire (H/V)	1.7	1.36	1.54
Pente côté zone protégée (H/V)	51.69	2.45	6.62
Larguer de digue en crête (m)	16.61	24.21	20.25

<i>Du pk1650 à 2600</i>	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	12.95	29.06	22.47
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	0.46	4.18	2.81
Pente côté Loire (H/V)	3.07	1.56	1.95
Pente côté zone protégée (H/V)	15.95	1.78	2.78
Larguer de digue en crête (m)	3.54	8.11	5.99

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a mis en évidence un contexte géotechnique hétérogène qui a conduit à retenir 4 modèles géotechniques distincts :



<i>Amont du pk1875</i>		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Limons argilo-sableux	2	1,00E-05	5	25
Fondations					
	Limons argileux	1	3,00E-07	5	20
	Sables grossiers et matrice limoneuse	5	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué de marnes gris-bleu	-	1,00E-07	50	0

22

<i>P1875 à 2025</i>		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Limons argilo-sableux	2	1,00E-05	5	25
Fondations					
	Limons argileux	Non reconnus			
	Sables grossiers et matrice limoneuse	2	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué de marnes gris-bleu	-	5,00E-08	50	0





<i>P2025 à 2175</i>		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Limons argilo-sableux	6	1,00E-05	5	25
Fondations					
	Limons argileux	1	3,00E-07	5	20
	Sables grossiers et matrice limoneuse	2	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué de marnes gris-bleu	-	1,00E-08	50	0

23

<i>P2175 à 2625</i>		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	4	1,00E-06	5	25
Fondations					
	Limons argileux	2	3,00E-07	5	20
	Sables grossiers et matrice limoneuse	5	1,00E-05	0	30
	Substratum constitué de marnes gris-bleu	-	8,00E-06	50	0



Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- Une hauteur de digue en moyenne plus importante sur ce tronçon (environ 2,3m) pour une largeur en pied diminuant à 27m en moyenne,
- Une risberge bien marquée en pied de talus coté canal de dérivation de la Nièvre,
- Quelques culées de pont encastrées et la présence de nombreux corps étrangers,
- La présence de végétation ponctuelle.



Figure 31 : digue vue vers l'amont avec végétation arbustive en milieu de talus coté val



Figure 32 : digue vue vers l'aval à proximité de la passerelle



Figure 33 : culée du pont de la voie ferrée vue sur sa face aval



Figure 34 : nombreux réseaux visibles au droit du pont de la RN81 (vus vers l'aval)



Figure 35 : culée du pont de la route départementale encastrée dans la digue, vue vers l'amont



Figure 36 : végétation clairsemée sur talus coté canal vue vers l'aval

**TRONÇON N°7 : DU PK2630 AU PK3715 (L=1085M) VAL OUEST - PARTIE AMONT DE LA LEVEE DE ST-ELOI 1<sup>ERE</sup> SECTION**

Ce tronçon correspond à la levée en aval de l'embouchure du canal de dérivation avec la Loire. Il est parallèle à la Loire. Cette levée se caractérise par une largeur en crête décroissante vers l'aval avec notamment 200 derniers mètres, caractérisés par la rue de l'île St Charles en pied côté zone protégée qui présentent une largeur en crête, ponctuellement, de moins de 2.5m.

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

<i>Pk2650 à 3500</i>	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	18.5	22.89	21.09
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	2.69	3.46	3.06
Pente côté Loire (H/V)	2.1	1.49	1.81
Pente côté zone protégée (H/V)	2.81	2.0	2.44
Larguer de digue en crête (m)	3.16	6.55	4.66

<i>Pk3500 à 3700</i>	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	12.9	24.55	18.85
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	2.37	4.32	3.38
Pente côté Loire (H/V)	1.92	1.4	1.66
Pente côté zone protégée (H/V)	3.37	1.39	1.93
Larguer de digue en crête (m)	2.06	3.80	3.00

25

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir deux modèle géotechnique, en amont et en val du pk2875 :

<i>Amont pk2875</i>	Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue				
Argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	4	1,00E-06	5	25
Fondations				



	Limons argileux	1	1,00E-06	5	20
	Sables grossiers et matrice limoneuse	6	3,00E-06	0	30
	Substratum constitué par des marnes gris-bleu	-	8,00E-06	50	0

<i>Aval pk2875</i>		Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue					
	Argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	4	4,00E-05	5	25
26	Fondations				
	Limons et sable fin argileux	4	1,00E-06	5	30
	Grave alluviale et fraction limoneuse	4	2,00E-05	0	35
	Substratum constitué par des marnes gris-bleu	-	1,00E-08	50	0

Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- **Les deux talus sont recouverts d'une protection :**
  - **parement bétonné coté Loire**
  - **et perré en pierre coté val (quelques déjoints observés)**
- **Cette levée a fait l'objet d'un confortement par mise en œuvre de palplanches en crête ;**



- Une hauteur de digue en moyenne plus importante sur ce tronçon (environ 2,9m) pour une largeur en pied diminuant à 21,6m,
- Quelques corps étrangers (notamment escaliers sur les 2 talus),
- Mur de soutènement coté val avec nombreux terriers de gros diamètre à son pied,
- La présence de végétation arbustive en pied de talus coté Loire en aval du tronçon.



Figure 37 : talus coté Loire avec renforcement béton vu vers l'aval



Figure 38 : perré visible en pied de talus coté val vu vers l'aval



Figure 39 : déjoints du perré en pied de talus coté val



Figure 40 : pylônes béton en crête de la levée vus vers l'amont



Figure 41 : mur de soutènement sur le haut de talus coté val vu vers l'amont - pk2750



Figure 42 : terrier de 20cm de diamètre observé sur talus coté val sous la base du mur de soutènement - pk2750

### TRONÇON N°8 : DU PK3715 AU PK3903 (L=188M) VAL OUEST - PARTIE AVAL DE LA LEVEE DE ST-ÉLOI 1<sup>ERE</sup> SECTION

Ce tronçon se caractérise par la présence de la rue de l'île St Charles en pied côté zone protégée et une faible largeur en crête.

D'un point de vue géométrique ce tronçon présentent les caractéristiques suivantes :

	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	7.92	15.64	12.85



Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	2.09	2.54	2.39
Pente côté Loire (H/V)	2.09	1.27	1.70
Pente côté zone protégée (H/V)	3.53	1.10	1.87
Larguer de digue en crête (m)	2.33	4.14	3.49

D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :

	Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
<b>Corps de digue</b>				
Argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	4	4,00E-05	5	25
<b>Fondations</b>				
Limons et sable fin argileux	4	1,00E-06	5	30
Grave alluviale et fraction limoneuse	4	2,00E-05	0	35
Substratum constitué par des marnes gris-bleu	-	1,00E-08	50	0

28

Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- **Les deux talus sont recouverts d'une protection : perré en pierre**
- **Cette levée a fait l'objet d'un confortement par mise en œuvre de palplanches en crête ;**
- Une digue dont les dimensions se réduisent vers l'aval avec une hauteur moyenne de 1m et une largeur de 16m en pied,
- Une crête de talus étroite et non circulaire (largeur moyenne inférieure à 4m),
- Une remontée du terrain naturel en pied de talus coté Loire par rapport au tronçon situé en amont,



- Ce tronçon se raccorde à la porte de Médine : ouvrage muni de 2 portes métalliques en relatif bon état.



Figure 43 : talus coté Loire perré avec crête étroite (non circulaire) vu vers l'aval



Figure 44 : talus coté val perré vu vers l'aval



Figure 45 : fermeture de la digue de Médine au niveau des portes métalliques (vue vers l'amont)



Figure 46 : raccordement de la porte au niveau de la maison encastrée (vu vers l'aval)



## TRONÇON N°9 : DU PK3903 AU PK4267 (L=364M) VAL OUEST - LEVEE DE MEDINE

Ce tronçon correspond au secteur le plus urbain de la levée. Il se caractérise ainsi, par la présence de la porte de Médine, par la présence des bâtiments de la DDT58 (en pied immédiat et/ou encastré dans le digue, côté zone protégée), par la présence de l'hôtel Mercure côté Loire et de son parking en couverture de l'ouvrage historique et par la maison de la culture (encastré dans le talus côté zone protégée).

D'un point de vue géométrique ce tronçon est très hétérogène :

	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	9.47	56.18	23.33
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	0.25	4.03	2.54
Pente côté Loire (H/V)	3.52	0.79	1.58
Pente côté zone protégée (H/V)	43.71	0.99	2.26
Larguer de digue en crête (m)	1.39	18.04	7.84

30 D'un point de vue géotechnique, l'étude détaillée présentée au §5.1.5 a conduit à retenir le modèle géotechnique suivant :

	Epaisseur (m)	Perméabilité (m/s)	C' (kPa)	Ø' (°)
Corps de digue				
Argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	4	1,00E-05	5	25
Fondations				
Limons et sable fin argileux	Non reconnus			
Sables grossiers et matrice limoneuse	7	4,00E-05	0	35
Substratum constitué par des marnes gris-bleu	-	1,00E-08	50	0





Cette levée a fait l'objet d'une VTA. Celle-ci a permis de constater les points caractéristiques suivants :

- Le talus coté Loire est constitué d'un perré continu depuis le port de Médine jusqu'à la station de pompage,
- Le talus coté val a été renforcé localement par la mise en place de palplanches (visibles au niveau de la maison de culture),
- Une hauteur de digue en moyenne de plus importante sur ce tronçon (environ 2,3m) pour une largeur en crête diminuant à 34m,
- Des bâtis encastrés et un mur de soutènement sont présents dans le talus coté val,
- La présence de la végétation d'alignement et isolée,
- Une station de pompage en aval du tronçon.



Figure 47 : digue vue vers l'amont avec mur de soutènement sur talus coté val



Figure 48 : route passant en crête de l'ouvrage entre l'hôtel et la DDT58 (vue vers l'amont)



Figure 49 : talus coté val avec perré visible sous terre végétale (vu vers l'amont)



Figure 50 : début du renforcement en palplanches en pied de talus coté val et gagnant l'axe de l'ouvrage vers l'aval

32



Figure 51 : Bâtiment de la Maison de la Culture encastré au premier plan, avec perrés sur talus coté Loire se prolongeant sous la terrasse de l'hôtel visible en arrière-plan (vu vers l'amont)



Figure 52 : perrés sur talus coté Loire en aval de la Maison de la Culture (vus vers l'aval)



Figure 53 : talus coté val avec gradins béton vu vers l'aval avant raccordement au coteau



Figure 54 : station de pompage avec conduites de rejets vers la Loire



### 5.1.2.3 Point singulier de la ligne de défense principale

La porte dans la levée de Médine (ou « porte de Médine ») permet le passage des véhicules à travers la digue rive droite de Nevers, dont la levée de Médine se situe en aval de celle de St-Eloi 1ère section.

La continuité du système de protection est maintenue grâce à la présence de 2 panneaux métalliques pivotants (portes). L'étanchéité est réalisée par un joint en caoutchouc fixé sur le panneau coté est.

La fermeture des 2 panneaux métalliques est testée chaque année par le délégataire de la ville de Nevers dans le cadre du contrat de délégation afin de s'assurer régulièrement de leur bon fonctionnement.

Il est noté que la crue de la Loire en décembre 2003, qui a atteint 3.9 mNGF à Nevers, n'a pas sollicité le pied de digue à cet endroit. La porte n'a donc pas été fermée. Il est prévu une fermeture de la porte pour l'atteinte du niveau 4.5 mNGF à l'échelle de Nevers.

Lors de la VTA 2015, il a été levé par positionnement GPS précis l'altitude du point haut des portes métalliques à la cote de 178,97mNGF (précision en Z de 8cm) et la cote du terrain naturel devant la porte à 174,40mNGF (précision en Z de 12cm).



Figure 55 : Porte de Médine vue depuis le côté Loire vers le côté val avec renforcement maçonné de part et d'autre



Figure 56 : Vue vers l'amont de la porte de Médine depuis la crête côté aval de l'ouvrage



Figure 57 : Porte de Médine vue vers l'aval depuis le côté val avec maison encastrée



Figure 58 : Vue vers l'amont du talus côté val depuis la porte de Médine

34



Figure 59 : Système de fixation et de pivot de la porte métallique côté est (côté amont)



Figure 60 : Joint fixé sur le montant du panneau est (côté amont) et permettant de réaliser l'étanchéité du système par appui sur la porte opposée (porte ouest – côté aval de la porte)



### 5.1.2.4 Ouvrages secondaires

Les ouvrages ne composant pas la ligne de défense principale sont identifiés comme des ouvrages secondaires. Généralement en remblai, ils constituent des ramifications de la ligne de défense principale.

Dans la démarche d'analyse fonctionnelle, seuls les ouvrages secondaires 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. Ils sont situés côté « zone protégée » (digue de second rang, remblai routier, ferroviaire...).

Les ouvrages non retenus comme composants du système constituent alors des éléments des milieux extérieurs « cours d'eau » ou « zone protégée » et sont analysés du point de vue de leurs interactions avec le système de protection proprement dit.

**Dans le cas du système d'endiguement du Val de Nevers, le remblai de l'autoroute A77 joue un rôle dans la protection du val. En effet, en cas de rupture de la levée entre les PK0 et PK750, un casier se remplirait en amont du remblai de l'A77**

En effet, aucun ouvrage de transparence n'a été relevé sur le linéaire. S'ajoute à cela le fait que la cote du sommet du remblai de l'autoroute est bien supérieure à la cote de la digue. Il ne peut donc y avoir surverse par-dessus le remblai avant une surverse généralisée sur le système d'endiguement.

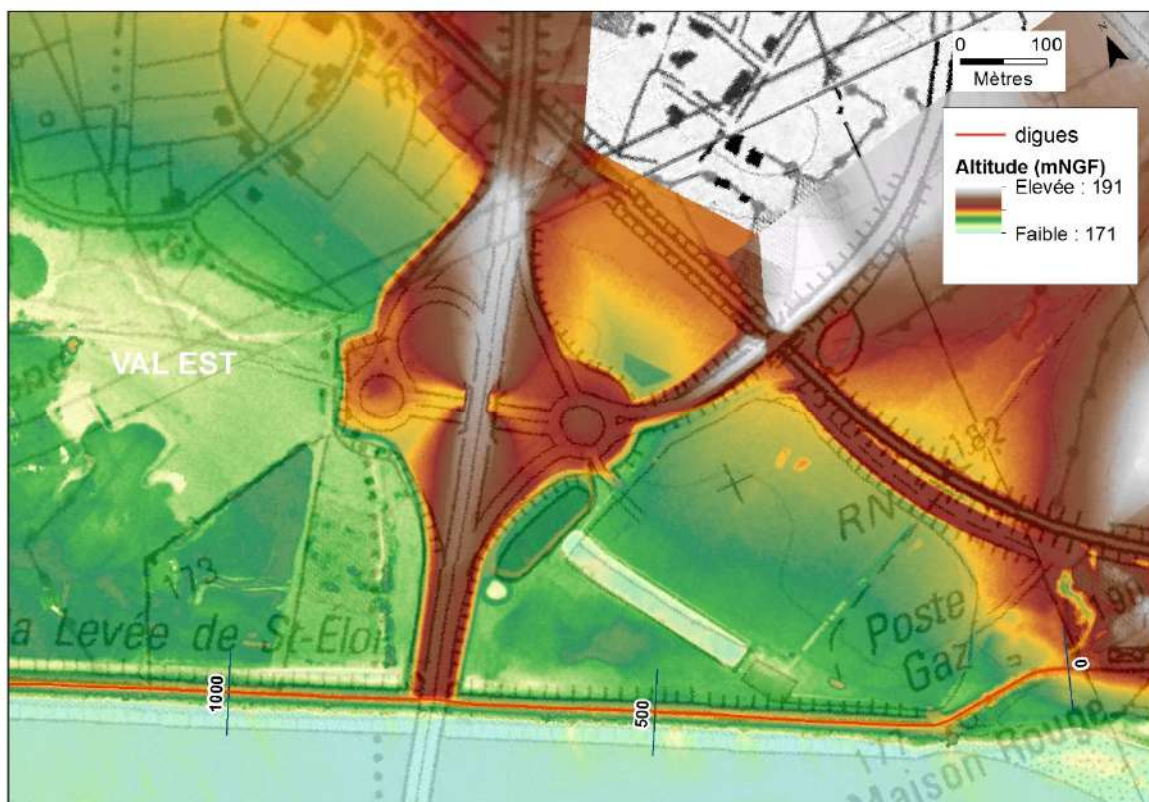




Figure 61 : Remblai de l'autoroute A77 dans le val est de Nevers

Bien qu'aucun ouvrage de transparence n'ait été prévu sur le linéaire, il convient de noter la présence d'un pont sous l'A77 au niveau de l'échangeur. La cote de la chaussée est supérieure à celle de la digue. Par conséquent, l'ouvrage est hors zone protégée et ne peut faire transiter des écoulements pour la gamme d'occurrences de crue considérée.

En ce qui concerne la géométrie de la digue, le remblai présente une hauteur de 9 m environ, une largeur en crête de 25 m et en pied de 75 m.

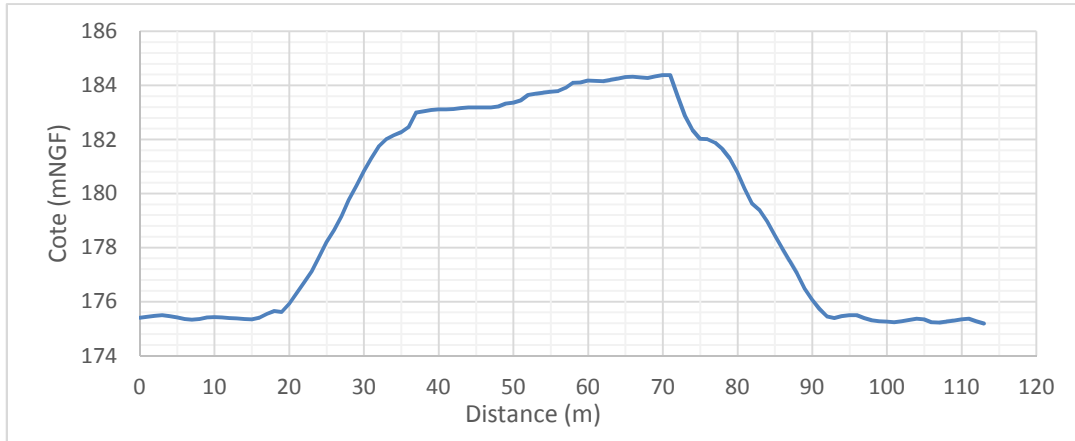


Figure 62 : Profil en travers du remblai de l'A77 dans le val est de Nevers

Au vu de la géométrie du remblai, il semble peu probable que la charge hydraulique attendue dans le casier amont puissent mettre en péril son intégrité et conduire à une rupture en cascade. **Une étude spécifique de la pérennité de ce remblais est néanmoins recommandée.** Cette étude devra, à minima, permettre de statuer sur le risque de glissement en crue et à la décrue et sur le risque d'érosion interne.

36

La probabilité de rupture de ce remblai peut sensiblement augmenter en cas de rupture à l'amont ou à l'aval immédiat du remblai (vers le PK700). Dans ce cas particulier, l'énergie dissipée par la brèche et les courants sécants associés pourrait éroder fortement le pied du remblai jusqu'à conduire à un glissement du talus de l'A77.

Il convient néanmoins de noter que dans le cadre de la présente EDD, une recherche bibliographique a été réalisée. Peu de documents ont été retrouvés et on peut notamment noter l'absence de profil en travers au droit du secteur qui nous intéresse (entre la Loire et l'échangeur). Cependant, un document, dont l'objet est la prise en compte des contraintes hydrauliques, précise le point suivant « Les affouillements imposent la protection des remblais par talus perreyé ».



## II-1 Contraintes hydrauliques

Le remblai de la déviation de la RN 7 barre une partie du lit majeur de la Loire. Une étude hydraulique a donc été effectuée par le CETE de Lyon en Février 1986. Elle impose les contraintes suivantes au projet :

- débit de crue 4.500 m<sup>3</sup>/s (crue de 1866) ;
- niveau des P.H.E.C. : 178,50 m N.G.F. ;
- vitesse du courant 2 m/s (au lieu de 1,65 m/s actuellement) ;
- débouché des ouvrages : débouché de 400 m pour le pont principal et deux ouvrages de décharge de 50 m chacun ;
- affouillements :
  - . l'abaissement du fond du lit par érosion régressive est de l'ordre de 2 mètres en 100 ans, dont la plus grande partie sur les trente dernières années ;
  - . l'affouillement local au droit des piles est estimé à 6 mètres ;
  - . l'affouillement général combiné à l'affouillement localisé est évalué à 10 mètres dans les alluvions récentes, jusqu'au substratum marneux ;

Les affouillements imposent la protection des remblais par talus perreyés.

Ce parement pourrait être de nature à réduire le risque d'érosion externe. Mais, force est de constater, qu'aucun autre document retrouvé, ne précise l'existence de ce talus perreyé et en conséquence, aucune information n'est disponible sur la localisation et l'extension d'une telle protection.

37

Afin de préciser ce point, il est recommandée, en parallèle de l'étude préconiser ci-dessus, de procéder à des investigations de terrain pour permettre de statuer sur le sensibilité des talus des remblais de l'A77 au risque d'érosion externe.

## 5.1.2.5 Définition du système d'endiguement

L'analyse du système de protection permet de proposer un découpage en grands tronçons de la ligne de défense principale qui tient compte de la propriété des digues et des caractéristiques qui sont mises en évidence dans l'étude.

Ce découpage est comparé dans le tableau suivant aux tronçons décrits dans l'arrêté de classement.

Etude de dangers du système d'endiguement du Val de Nevers		Arrêté de classement du 10/11/2009		Commentaire
Tronçons du système d'endiguement	Linéaire	Tronçons des levées classées	Linéaire	
Levée de Maison Rouge	0.18 km	/	/	Levée non classée (ouvrage privé). L'analyse fonctionnelle a mis en évidence l'appartenance de ce linéaire au système de protection principal, se rattachant au coteau
Levée de Saint-Eloi 2° section	2.2 km	Levée de Saint-Eloi 2° section	2.24km	Classe B



Etude de dangers du système d'endiguement du Val de Nevers		Arrêté de classement du 10/11/2009		Commentaire
Tronçons du système d'endiguement	Linéaire	Tronçons des levées classées	Linéaire	
Levée du canal de dérivation de la Nièvre coté rive gauche	1.18 km	Levée du canal de dérivation de la Nièvre coté rive gauche	1.19 km	Classe B
Levée du canal de dérivation de la Nièvre coté rive droite	2.63km	Levée du canal de dérivation de la Nièvre coté rive droite	2.6km	Classe B
Levée de Saint-Eloi 1° section	1.27 km	Levée de Saint-Eloi 1° section	1.29 km	Classe B
Levée de Médine	0.36km	Levée de Médine	0.4km	Classe B

Tableau 1 : comparatif des tronçons retenus dans le cadre de la présente étude de dangers avec celui retenu dans le cadre de l'arrêté de classement

Les limites géographiques amont et aval précises du système d'endiguement du **val est de Nevers** sont indiquées dans le tableau suivant :

Limite	Coordonnée X (Lambert 93)	Coordonnée Y (Lambert 93)
Amont (Maison Rouge)	715 777 m	6 652 591 m
Aval (Canal RG)	714 346 m	6 654 427 m

Tableau 2 : coordonnées X, Y (Lambert 93) des limites amont et aval du système d'endiguement du val est de Nevers

Les limites géographiques amont et aval précises du système d'endiguement du **val ouest de Nevers** sont indiquées dans le tableau suivant :

Limite	Coordonnée X (Lambert 93)	Coordonnée Y (Lambert 93)
Amont (Canal RD)	714 237 m	6 655 879 m
Aval (Médine)	712 097 m	6 653 888 m

Tableau 3 : coordonnées X, Y (Lambert 93) des limites amont et aval du système d'endiguement du val ouest de Nevers

### 5.1.3 Modification de la ligne de défense principale en amont de l'A77

Dans le cadre de l'EDD, l'analyse des profils en long du système d'endiguement du val Est, a mis en évidence un point bas au droit de la levée de Maison Rouge qui génère une entrée d'eau dès la crue d'occurrence T=650 ans environ. De plus cette levée de maison rouge qui se situe à l'extrémité amont du val Est est un ouvrage qui n'est pas entretenu et, de fait, est totalement végétalisé.

La rupture de cet ouvrage (par érosion interne du fait de la végétation ou par surverse pour Q650) présente un risque majeur pour le poste de gaz situé en





ped immédiat côté Loire :

- Risque associé au développement de la fosse d'érosion ;
- Risque associé à la mise en vitesse et aux transports de flottants (arbres, etc..) susceptibles d'endommager les conduites.

Cependant, l'analyse MNT de ce secteur a mis en évidence l'influence du remblai de l'A77 en cas de rupture de la levée de Maison rouge. En effet :

- Le remblai ne présente pas d'ouvrage de transparence hydraulique ;
- Le passage sous l'A77, est, d'une part, plus haut que la crête de digue et, d'autre part, isolé du casier par la bretelle de sortie et le rond-point associé.
- En cas de brèche, le remblai de l'A77 jouera le rôle de digue et en l'absence d'ouvrage de transparence celui-ci sera mis en charge pendant toute la durée de la crue de la Loire.

Ainsi, ce constat a conduit à s'interroger sur la pertinence d'éventuels travaux de confortement de la levée de maison rouge et à envisager une modification de la ligne principale de défense et à des travaux d'arasement partiel ou complet des digues situées en amont de l'A77 (extrémité amont de la levée de St Eloi 2nd section et/ou levée de maison rouge).

### 5.1.3.1 Méthodologie mise en œuvre et principaux résultats

#### 5.1.3.1.1 Méthodologie

Afin d'étudier l'incidence d'un arasement partiel ou complet de la levée de St Eloi, il a été mis en œuvre la méthodologie suivante :

Phase 1 - Etude simplifiée de différentes largeurs d'arasement (20 scénarios hydrauliques) :

Calcul de remplissage du casier à l'aide d'une feuille Excel intégrant l'hydrogramme de crue de la Loire, la loi Q(H) de l'arasement, la courbes hauteur/volume du casier.

Phase 2 – Etude détaillée de la configuration d'aménagement retenue :

Modélisation hydraulique avec adaptation du modèle TELEMAC2D pour représenter la configuration d'aménagement retenue pour l'arasement à l'issue de la phase 1

Il est précisé que cette étude est présentée en détail dans le document intitulé «A00414\_NEVERS\_RD\_EP002\_HYDRAULIQUE\_V3\_» joint en annexe du présent Addendum.

#### 5.1.3.1.2 Phase 1

Au cours de cette phase, de nombreux scénarios ont été testés. Ils ont mis en évidence, même pour de faibles largeurs (de l'ordre de 50m) un équilibrage relativement rapide des charges au droit de la levée de maison rouge c'est-à-dire une diminution relativement rapide du risque de brèche par érosion interne.

Ainsi, l'arasement de la totalité de la levée entre l'A77 et maison rouge n'étant pas nécessaire, pour des raisons techniques et financières il a été retenu une largeur d'arasement au niveau du TN, de 50m de large. Il convient de noter, afin de maintenir la traficabilité de la levée en crête, que l'arasement sera inévitablement accompagné de rampes de part et d'autre de la largeur arasée et au droit desquels il se produira également une surverse.



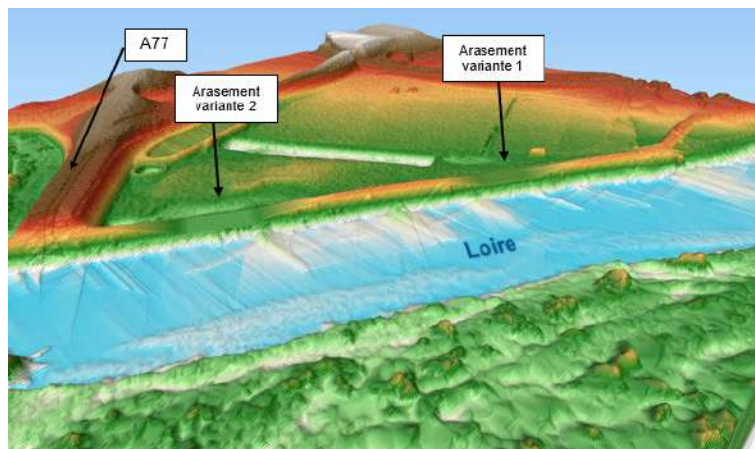
### 5.1.3.1.3 Phase 2

Compte-tenu de la faible largeur d'arasement, cette deuxième phase avait pour objet d'étudier l'incidence de la localisation en termes de vitesse à proximité immédiate des remblais de l'A77, tout en évaluant l'incidence de la localisation sur la vitesse d'équilibrage des charges hydrauliques au droit de la levée de maison rouge.

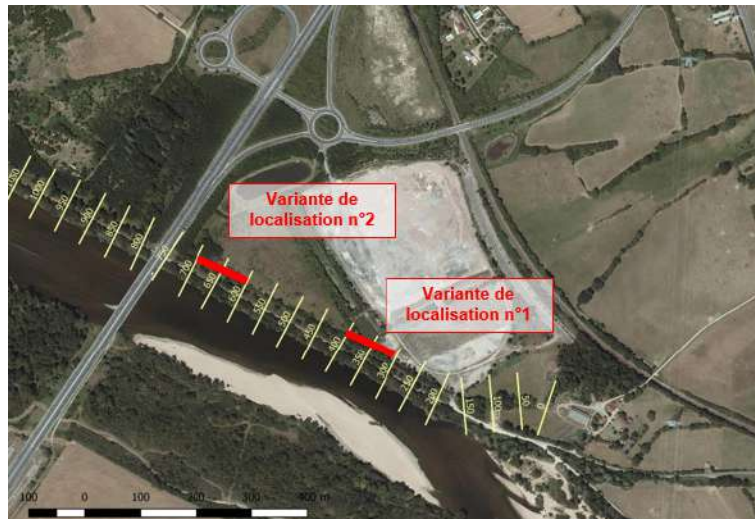
2 localisations ont été étudiées :

- 1) Une largeur de 50 m entre les PK325 et 375 à la cote TN de 176 NGF (ARAS1)
- 2) Une largeur de 50 m entre les PK600 et 650 à la cote TN de 175 NGF (ARAS2)

Nota : Les rampes latérales ont une pente de 5 % afin de maintenir la traficabilité en crête



40



### 5.1.3.1.4 Résultats

Cette phase d'étude a permis de mettre en évidence que l'objectif d'équilibrage des charges hydraulique au droit du poste de gaz est atteint, environ 6h après le début de surverse pour le cas ARAS1 contre environ 16h pour le cas ARS2.

Ce constat conduit à considérer le scénario ARAS1 comme le plus pertinent :



*Une largeur de 50 m entre les PK325 et 375 à la cote de 176 NGF*

### 5.1.3.2 Etude du remblai de l'A77

Dans le cadre des études préliminaires un diagnostic géotechnique a été réalisé par le bureau d'étude de sol GINGER CEBTP (ref. RDI2.L.148 indB de février 2022). Celui-ci est joint en annexe du présent Addendum.

Il a permis de mettre en évidence :

- La pérennité du remblais de l'A77 mais aussi de la RD981 vis-à-vis du risque d'érosion interne pour des crues allant de Q200 à Q1000 ;
- La stabilité du remblais de l'A77 mais aussi de la RD981 vis-à-vis du risque de glissement (côté Eau et côté Terre) pour des crues allant de Q200 à Q1000.

**Ainsi, il est mis en évidence que la modification de la ligne de défense projetée n'atténuera pas le niveau de sûreté actuel du val Est.<sup>1</sup>**

### 5.1.4 Principales caractéristiques externes du système d'endiguement du Val de Nevers

Les paragraphes suivants présentent les principales caractéristiques externes du système d'endiguement du Val de Nevers.

**Le lecteur est invité à se reporter au rapport de VTA 2015 fourni en annexe 3 de l'EDD pour un aperçu plus détaillé des principales caractéristiques externes des différents tronçons.**

41

#### 5.1.4.1 Les rehausses

Le terme « réhausse » regroupe différents types d'ouvrages (banquette en terre, muret ou parapet, mur), généralement positionnés en crête de digue côté Loire et visant à l'origine à augmenter le niveau de protection apparent et/ou à garantir une revanche de sécurité supplémentaire par rapport à la crête de digue.

Il n'est pas noté de réhausse sur les levées rive droite de Nevers.

#### 5.1.4.2 Les chemins de services

Les levées de la rive droite de la Loire à Nevers sont fermées à la circulation. Néanmoins, il existe quelques exceptions :

- Le long de la levée du canal de dérivation coté rive droite (tronçon VTA n°5),
- Entre l'hôtel Mercure et la DDT58 (tronçon VTA n°9),
- A proximité de la station d'exhaure en aval du tronçon VTA n°9 (près du pont mal Placé).

<sup>1</sup> pour mémoire, T = 70 ans, correspondant à une hauteur de 4,42 m à l'échelle de crue de Nevers



Figure 63 : portique d'accès au niveau du raccordement de la levée de Maison Rouge et de la levée 2ème section de St-Eloi



Figure 64 : borne limitant l'accès en aval de la levée St-Eloi 2ème section



Figure 65 : vue vers l'aval de la levée rive droite du canal avec enrochements empêchant accès



Figure 66 : bloc empêchant accès levée du canal rive droite en amont du pont de la départementale

42



Figure 67 : bloc limitant accès en crête levée St-Eloi 1ère section (vu vers l'aval)



Figure 68 : rampe d'accès au pied de talus coté Loire en aval de la levée de Médine



Figure 69 : partie circulaire en crête entre Hôtel Mercure et DDT

La circulation est possible sur la plupart du linéaire en crête, hormis en aval de levée de St-Eloi 1° section et la levée de Médine où la circulation est possible en pied de digue.



Il est précisé que dans le cadre des travaux projetés, il est prévu de maintenir la continuité des chemins de service existant en crête d'ouvrage. Pour ce faire, des pentes de 5% maximum sont prévus au niveau des raccordements.



### 5.1.4.3 Les ouvrages hydrauliques traversants

Plusieurs ouvrages hydrauliques traversant ont été identifiés le long des 2 principales digues de Nevers coté rive droite.

Jusqu'à fin 2017, la ville de Nevers propriétaire des systèmes d'endiguements en rive droite s'occupait de l'entretien des digues et déléguait la gestion, la maintenance et l'entretien des ouvrages hydrauliques annexes à l'entreprise VEOLIA.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018 et la compétence GEMAPI, Nevers Agglomération a récupéré la gestion des digues et des ouvrages annexes, à l'exception de la levée de Maison Rouge qui appartient à un propriétaire privé.

L'extrémité amont du canal de dérivation RD est particulièrement concernée.

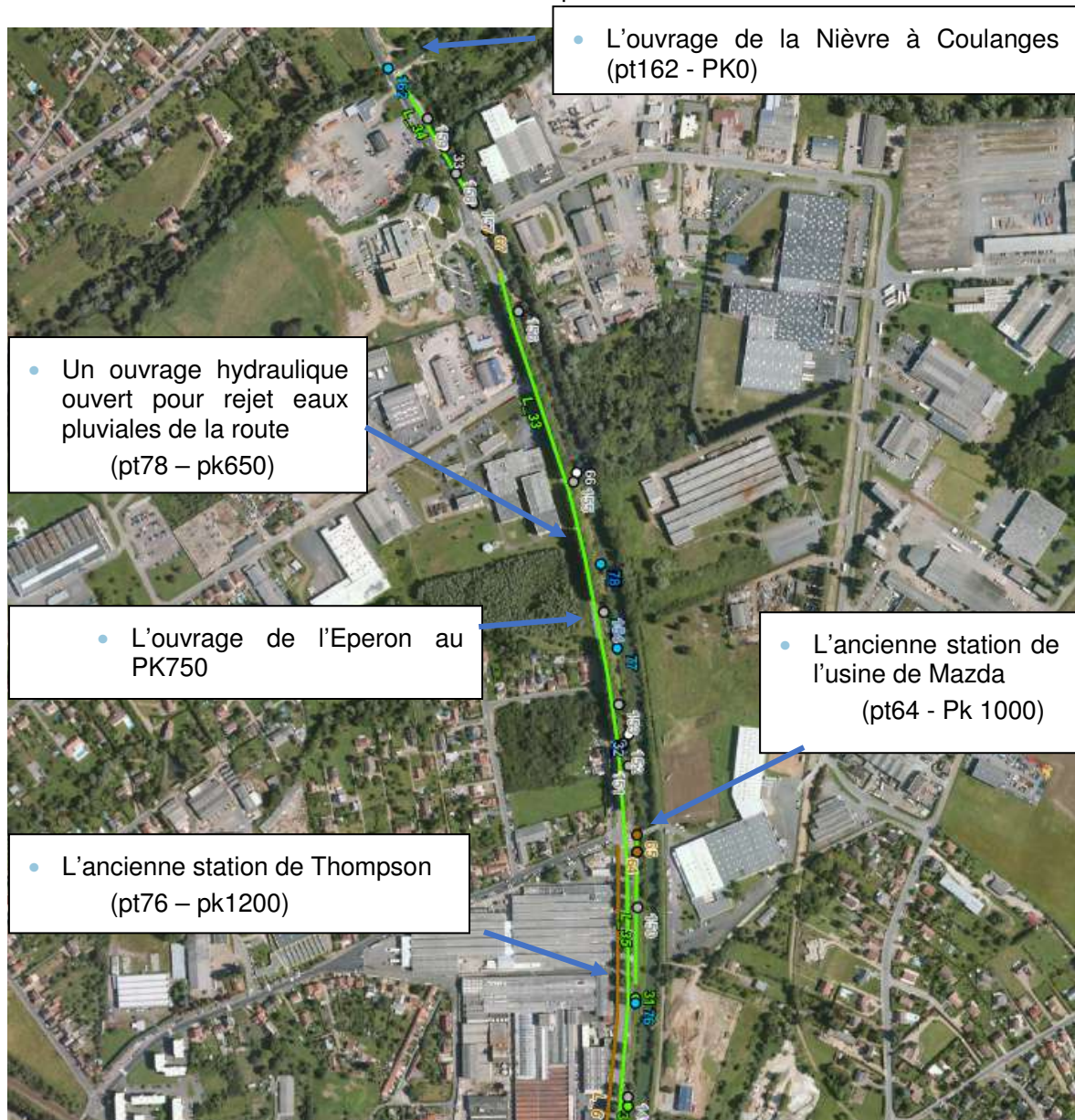




Figure 70 : Pt162 - Ouvrage hydraulique avec martelières au niveau du raccordement de la levée rive droite du canal de dérivation avec le coteau



Figure 71 : Pt78 - Ouvrage hydraulique ouverte pour rejet eaux pluviales au milieu de talus coté canal (levée rive droite du canal de dérivation) – fil d'eau 177.81mNGF



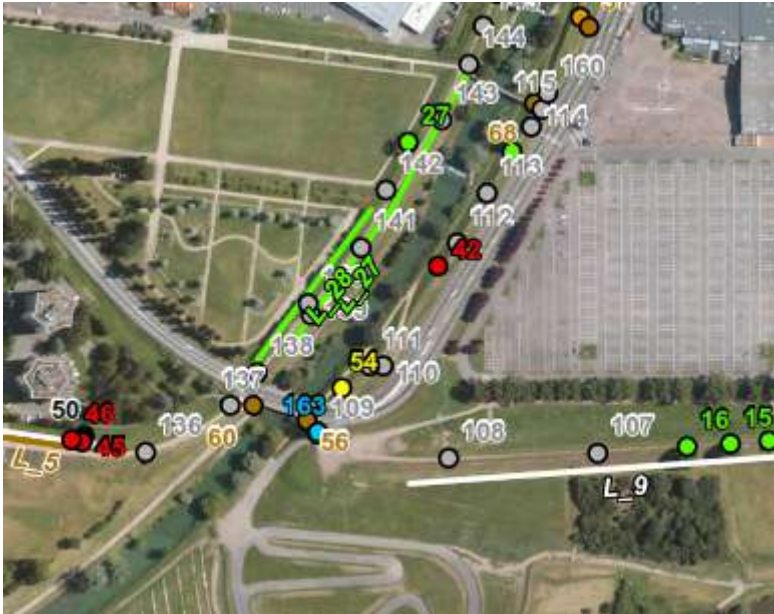
Figure 72 : Pt77 - Ouvrage hydraulique avec vanne crémaillère automatisé (permettant écoulement dans le ruisseau de l'Eperon) sur la levée rive droite du canal de dérivation – fil d'eau 177.62mNGF



Figure 73 : Pt64 - Ancienne station de pompage de l'usine Mazda (clapet étanche ?)



Figure 74 : Pt76 - Ancienne station de pompage de l'usine Thompson – ATB Selni (clapet étanche ?)



46



Figure 75 : Pt163 - Buse en béton de diamètre 1500mm permettant l'écoulement des eaux pluviales vers la Loire. Il est précisé que la fermeture de cet ouvrage est assurée par la vanne de l'exutoire du pluvial gravitaire du centre des expositions dit « vanne du karting »

A noté que le rapport de surveillance de 2017 réalisé par Nevers agglomération précise concernant cette vanne, que le système et le poids des trappes rendent l'ouverture très difficile et recommande le remplacement des trappes.







Figure 76 : Pt73 - Ouvrage hydraulique avec martelière coté val (levée St-Eloi 2ème section) – station de relevage des eaux de la Baratte



Figure 77 : Pt72 - Ouvrage hydraulique avec buse rejetant en pied de talus coté Loire les eaux pluviales de la station de relevage de la Baratte



Figure 78 : Pt75 - Ouvrage hydraulique ouvert à travers le talus coté Loire de la digue de Médine (eaux pluviales ?) – fil d'eau 178.21mNGF



Figure 79 : Pt74 - Station d'exhaure du pont mal Placé constituée d'un système de 4 pompes et vannages automatisés (pour rejet des eaux depuis le val vers la Loire)

❖ Station d'exhaure du pont mal Placé



Cette station est le maillon fort du système d'assainissement hydraulique du val ouest de Nevers, dans lequel traverse la Nièvre urbaine (ancien lit historique de la Nièvre).

Selon les éléments transmis par la Mairie de Nevers, elle est composée de :

- 2 pompes de 3600m<sup>3</sup>/h (ou 1m<sup>3</sup>/s),
- 2 pompes de 9000m<sup>3</sup>/h (ou 2,5m<sup>3</sup>/s),
- 4 vannes automatiques empêchant la remontée de la Loire dans le val.

En cas de crue de la Loire atteignant 1,43m, les vannes se ferment automatiquement. La mise en route du pompage se fait également automatiquement, en fonction du débit de la Nièvre urbaine (via un système de télégestion). Le fonctionnement concomitant des 4 pompes peut porter le débit d'évacuation vers la Loire à 7m<sup>3</sup>/s.

En cas de défaillance du système électrique de pompage de la station d'exhaure du pont mal Placé, il existe un groupe électrogène d'une puissance de 450 Kva, stocké en période normale à la station de traitement des eaux usées, route des Saulaies à Nevers, et qui est transporté sur le site du pont mal Placé en cas de prévision de crue de Loire supérieure à 1,43 mètre, pour pallier à une éventuelle défaillance.

A noter que dans le cas d'une crue de la Loire engendrant une surverse dans le val (ou d'une rupture de digue), le gestionnaire indique pouvoir porter le débit d'évacuation à 10m<sup>3</sup>/s en augmentant le débit des plus petites pompes à 2,5m<sup>3</sup>/s pour un investissement relativement « raisonnable ». Porter ce débit d'exhaure au-delà de 10m<sup>3</sup>/s semble toutefois nécessiter un investissement conséquent selon le gestionnaire actuel.

Nota : L'apparition de circulation préférentielle de l'eau le long de cette discontinuité traversante de la digue est ainsi à surveiller. En effet, celle-ci est susceptible d'initier une érosion interne de contact de la levée.

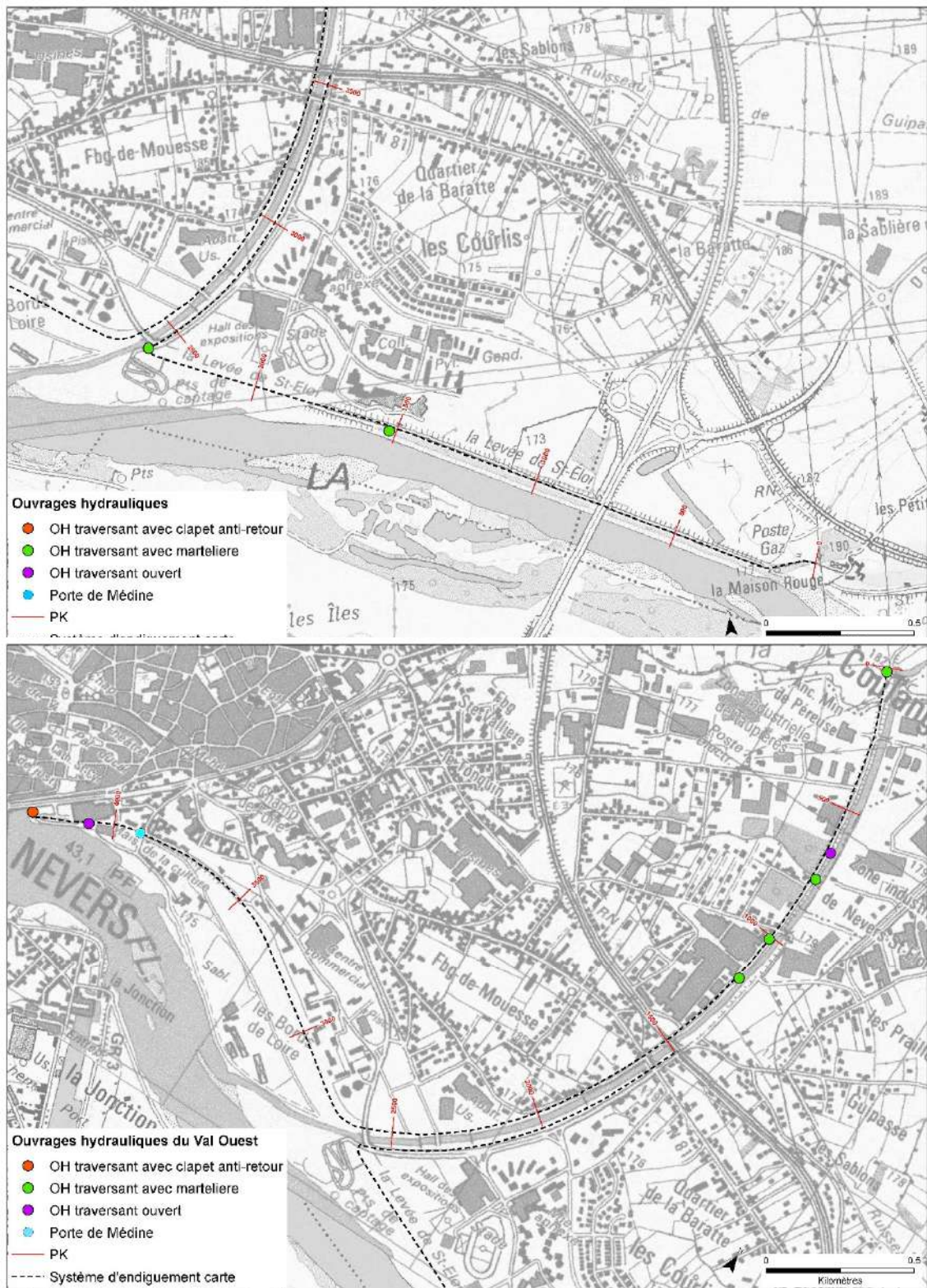


Figure 80 : Localisation et position des ouvrages hydrauliques dans le système d'endiguement des vals de Nevers

### 5.1.4.4 Les bouchures

Aucun dispositif de bouchure ou de batardeau n'a été recensé sur le système de protection du Val de Nevers.



### 5.1.5 Caractérisation géotechnique de la digue et de sa fondation

#### 5.1.5.1 Données géologiques et hydrogéologiques

##### 5.1.5.1.1 Contexte géologique général

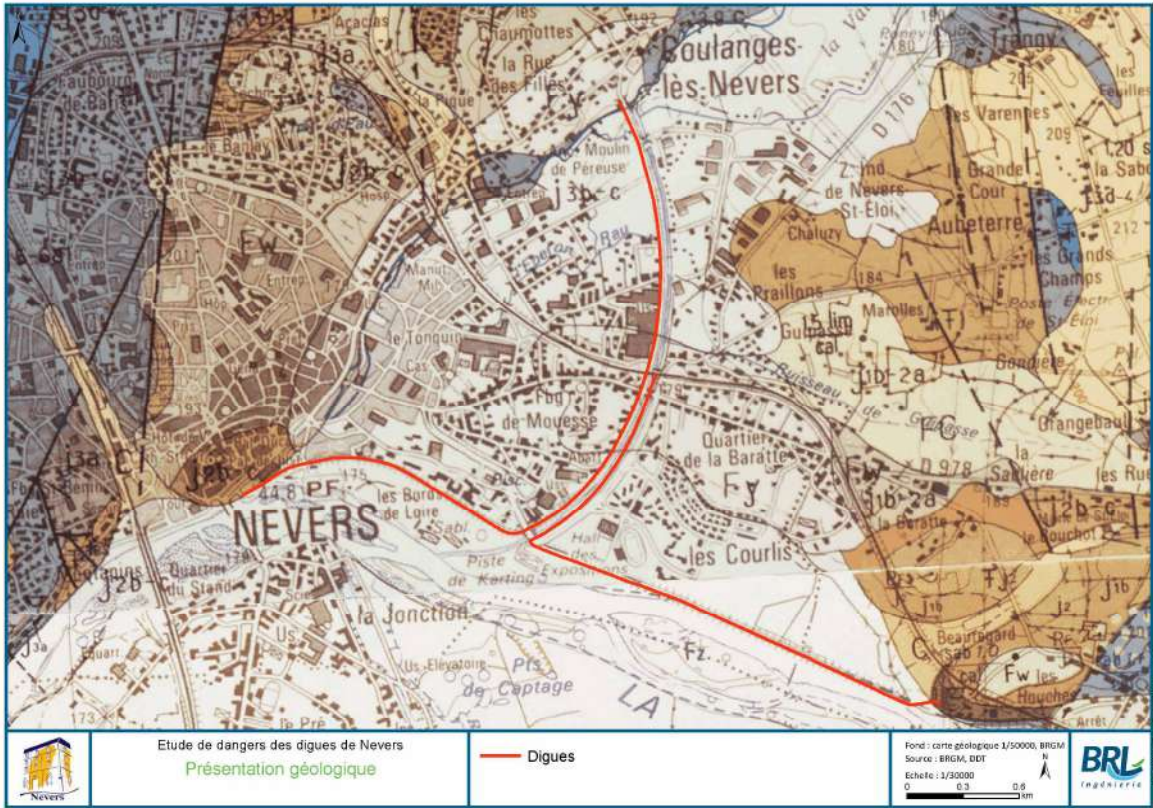


Figure 81 : Extrait carte géologique (BRGM-1/50000°) de la zone d'étude et implantation des digues rive droite de Nevers



### **Formations géologiques détritiques et superficielles**

D'après la carte géologique de Nevers au 1/50 000e du BRGM, les digues étudiées se trouvent dans le val de Nevers dont les principales formations affleurantes sont les formations alluvionnaires **Fy** (Sables fins micacés) et **Fy - z** qui correspondent aux alluvions holocènes et modernes de la Loire et de la Nièvre.

Au-delà des formations alluvionnaires, on observe également les affleurements des formations suivantes :

- **Fw** : Limons argileux, sables fins à grossiers quartzo-feldspathiques, contenant quelques galets de calcaire, des chailles et des silex.  
Elle se retrouve principalement en rive droite du lit de la Nièvre « urbaine » (ancien lit de la Nièvre) et jusqu'à sa confluence avec la Loire. Cette formation peut atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur. On observe également ce type de sédiments perchés au-dessus de Maison Rouge, ainsi qu'à l'est du quartier de la Baratte.
- **C<sub>FL</sub>** : Colluvions dérivant des formations fluvio-lacustres.  
Les colluvions sont abondantes dans tout le domaine fluvio lacustre sans qu'il soit toujours possible de les cerner avec précision du fait de leur ressemblance avec la roche mère. Il s'agit d'argiles plus ou moins limoneuses en surface, jaunâtre à marbrures grises parfois micassées, silteuses ou sableuses, pouvant atteindre 2 à 3 m de puissance. Leur âge probable est quaternaire, le modèle final étant surtout dû aux dernières périodes, Würm principalement. On les retrouve à l'est de la zone d'étude, mais également en rive droite de la Nièvre urbaine (axe du lit de la Pique).

### **Formations géologiques du substratum**

Sur l'ensemble de la zone d'étude le substratum est constitué de formations sédimentaires calcaires et marno-calcaires, rattachées au Bajocien et au Bathonien (Jurassique). Plusieurs faciès sont observés :

- **L9-j1a** : Aalénien supérieur, Bajocien inférieur et moyen : calcaires à patine jaune biodétritiques se trouvant à l'affleurement à l'est de la levée de Maison Rouge,
- **J1b-2a** : Bathonien : Marnes et calcaires argileux, affleurant en rive gauche de la Loire.
- **J2b-c** : Bajocien supérieur : Marnes avec intercalations de niveaux calcaires au niveau du raccord aval de la levée de Médine.

#### *5.1.5.1.2 Contexte hydrogéologique général*

Dans le contexte géologique décrit ci-dessus, les alluvions de la Loire constituent un réservoir aquifère d'intérêt servant à alimenter les communes en eau.

Le niveau de nappe se situe autour de 171 à 175m NGF (mesures de juin 2016)

#### *5.1.5.1.3 Contexte sismique*

Depuis le 1er mai 2011, le nouveau zonage sismique de la France (décret n°2010-1255 du 22/10/2010) est applicable. Le site étudié est classé en zone de sismicité 1 (très faible).



### 5.1.5.2 Données disponibles

Les données disponibles proviennent de plusieurs sources ;

- Données de la BSS infoterre
- Sondages réalisés pour l'échangeur de l'A77 en 1992
- Reconnaissances réalisées en 2000 lors du diagnostic de digue par SOGREAH consultants

Tous ces sondages sont figurés sur la carte en Annexe 2.

#### 5.1.5.2.1 BSS Infoterre

Tableau 4 : Liste des sondages disponibles dans la BSS Infoterre

Nom	Type	Réalisation / date	Profondeur	Cote NGF (m)	X (Lambert93)	Y (Lambert 93)
05218X0068	Forage	1974	10	174.18	714481	6655372
05218X0116/SP1	SP	1990	10		714580	6655098
05218X0117/SP2	SP	1990	10		714564	6655047
05218X0118/SP3	SP	1990	10		714550	6654996
05218X0120/FP2	SP	1984	2.8	178	714225	6654593
05218X0005/S	SC	1963	8.5	175	713921	6654014
05218X0024/S25	SD	1972	7	173	714140	6653882
05218X0056/F	SD		15	174	714019	6653689
52 05218X0023/S23	SD	1972	13.5	173	713999	6653764
05218X0022/S21	SD	1972	16.7	173	713918	6653664
05218X0059/PZ3		1988	11.7	175.05	713747	6653724
05218X0058/PZ2		1988		175.7	713607	6653650
05218X0057/S		1988	13.2	175.18	713579	6653694
05218X0021/S19	SD	1972	16.5	174	713738	6653566
05218X0020/S17Bis	SD	1972	16.5	174	713967	6653514
05218X0019/S16	SD	1972	17.2	174	714670	6653463
05218X0018/S14	SD	1972	16.5	174	714416	6653420
05218X0017/S12	SD	1972		174	714596	6653389
05218X0016/10	SD	1972	16.7	174	714755	6653358
05218X0015/B	SD	1972	16.2	174	714835	6653337
05484X0016/S4	SD	1972	15.5	173	714963	6653166
05484X0015/S2	SD		11.0	173	715083	6653115
05484X0014/S1	SD		7.7	173	715132	6653055
05218X0055/F	SP		10	174	713172	6653971
05218X0011/S8	SC	1965	17.9	174.3	712323	6654098
05218X0014/S2	SD	1976	10	174	712071	6653860

Ces données sont pour la plupart éloignés d'une dizaine à centaine de mètres de la digue. Leur pertinence peut être limité, mais ils permettront de confirmer ce qui est obtenu à partir de sondages plus proches et se faire une idée du sous-sol , là où il n'y a aucun sondage.

De manière générale, on trouve un première couche argileuse à sableuse, surmontant une couche plus grossière sableuse à graveleuse. Vient ensuite le substratum calcaire ou marneux.



Les données de la BSS Infoterre laissent par ailleurs penser que le substratum et les différentes couches peuvent se trouver à plus grande profondeur en allant vers le Nord.

### 5.1.5.2 Sondages fondations de l'échangeur de l'A77



Figure 82 : Implantation des sondages pour les fondations de l'échangeur de l'A77

Bien qu'assez éloignés de la digue les sondages réalisés ici permettent de se faire une idée du sous-sol au niveau de la levée de Saint Eloi en complément des sondages de la BSS Infoterre

Un résumé de ces résultats (PR15-1 et PR15-2) est donné dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5: Résumé des sondages disponibles au droit de l'échangeur

		PR15-1	PR15-2	PR14-1
Alluvions argile-sable-limon compressibles	Profondeur (m)	0-4.60	0-3.60	0-3.5
Marne altérée moyennement compacte			3.60-7.5	
Substratum marno calcaire		4.60-...	7.5-....	3.5-...

Le toit du substratum semble s'abaisser en s'approchant de la Loire



### 5.1.5.2.3 Essais SOGREAH

En 2000, le bureau d'étude SOGREAH a réalisé, à la demande et pour le compte de la ville de Nevers, une étude de diagnostic des digues non domaniales<sup>2</sup>.

Dans le cadre de cette étude, il a été réalisé de nombreux sondages géotechniques et essais de laboratoire :

- 4 sondages carottés de 12 à 15m de profondeur, dont 4 équipés en piézomètres,
- 5 sondages destructifs profonds de 10m, dont 4 équipés en piézomètres,
- 13 essais au pénétromètre dynamique profonds de 10m ;
- 18 essais de perméabilité de type Lefranc ont été réalisés au droit des sondages carottés et/ou destructifs ;
- 8 essais d'identification des sols (teneur en eau, masse volumique, granulométrie, valeur au bleu et limites d'Atterberg) et 8 essais de cisaillement à la boîte de CASAGRANDE.

Ces sondages ont été réalisés sur la levée de Médine, la levée de St Eloi 1<sup>ière</sup> section, la levée du canal de dérivation RD et la levée du canal de dérivation RG. L'implantation des différents sondages est présentée en annexe 2 de la présente note.

Il convient de noter que la levée de St Eloi 2<sup>ième</sup> section n'a donc pas fait l'objet de reconnaissances géotechniques.

L'interprétation des résultats des sondages et essais, levée par levée a conduit aux paramètres et coupes géotechniques présentés en Annexe 2 . Cela est résumé ci-dessous :

**54** Le corps de la digue de Médine est constitué de matériaux assez hétérogènes dans son ensemble. Il présente une résistance mécanique faible correspondant à un manque de compactage. Il montre également un terrain de perméabilité faible à moyenne.

Le corps de la digue de St Eloi 1<sup>ière</sup> section est constitué de matériaux assez hétérogènes dans son ensemble. Il présente une résistance mécanique très variable liée aux éléments grossiers et à un manque de compactage. Il montre également un terrain de perméabilité faible à moyenne.

Le corps de la digue du canal de dérivation RG est constitué de matériaux assez hétérogènes dans son ensemble. Il présente une résistance mécanique moyenne à bonne correspondant à une compacité relativement correcte. Il montre également un terrain de faible perméabilité.

Le corps de la digue du canal de dérivation RD est constitué de matériaux assez hétérogènes dans son ensemble. Il présente une résistance mécanique moyenne correspondant à une compacité assez modeste. Il montre également un terrain à priori de faible perméabilité.

Sous ce corps de digue peut se trouver une couche moins perméable constitué d'alluvions fines. Puis viens une couche de grave à sable alluviale bien plus perméable. Enfin vers une dizaine de mètres de profondeur on trouve le substratum de marnes grises.

<sup>2</sup> Etude de diagnostic des digues non domaniales – volets historiques ,SOGREAH consultants, novembre 2000





Figure 83 : Plan d'implantation des sondages SOGREAH

### 5.1.5.3 Campagne complémentaire

Un campagne de prospection complémentaire a été réalisé en 2015-2016 afin de confirmer et compléter les données disponibles.

Elle comprend :

- Des reconnaissances géophysiques EM réalisées par GINGER CEBTP en 2015
- La réalisation de panneaux électriques par GINGER CEBTP en février 2016
- La réalisation de sondages complémentaires par GEOTEC en juillet 2016 et interprétés par ALIOS Ingénierie.

La situation de ces reconnaissances est rappelée sur la figure ci-dessous.





Figure 84 : Plan d'implantation des sondages de GINGER et ALIOS (en noir les longueurs où ont été menées les mesures EM31)

### 5.1.5.3.1 Campagne de reconnaissance géophysique électromagnétique GINGER CEBTP

Ces reconnaissances ont pour objectif et avantage de permettre une reconnaissance d'un linéaire complet de l'ouvrage. La méthode de reconnaissance géophysique sélectionnée pour le diagnostic des digues est la méthode électromagnétique type EM31. Cette méthode consiste à exploiter la réponse du sous-sol sous l'action d'un champ électromagnétique, permettant de mesurer la conductivité électrique du sol, exprimée en milliSiemens (ou son inverse, la résistivité, exprimée en Ohm.m).

Il a été réalisé 2 profils en long de type EM31 (en crête et en pied de l'ouvrage) ;

- l'un en crête, avec un pas de mesure de 5 m et une profondeur d'investigation de 0/6m ;
- l'autre en pied de l'ouvrage côté val avec un pas de mesure de 5 m et une profondeur d'investigation de 0/3m.

Les profils ont été réalisés en rive gauche et droite de la dérivation ainsi que sur une portion du 2<sup>nd</sup> tronçon de la levée de Saint Eloi.

Elles ont permis :

- de fournir une vision spatiale de la constitution de la digue et apprécier son degré d'hétérogénéité ;
- de fournir une vision spatiale de la fondation de la digue et apprécier son degré d'hétérogénéité.

Le résultats interprétés de ces reconnaissances sont présentées dans la carte en annexe 2.

56 L'analyse détaillée de ces résultats a permis de mettre en évidence des zones homogènes, des zones hétérogènes, et/ou des points ou des tronçons singuliers associés par exemple à d'anciennes brèches, nécessitant une attention particulière. On trouve ainsi un corps de digue plutôt argileux surmontant une assise généralement argileuse. On trouve cependant des passages en crête ou en pied de digue où le sol est plus limoneux notamment au niveau des digues du canal de dérivation (pk 2300 à pk 2650).

**Cette étude a aussi permis de localiser les renforts de digue par palplanches entre les pk 2600 et 4050 du val Ouest.**

### 5.1.5.3.2 Réalisation de panneaux électriques par GINGER CEBTP

La digue de Saint-Eloi 2<sup>nd</sup> tronçon a fait l'objet de deux mesures de panneaux électriques afin de reconnaître la géométrie du corps de digue et de son sol support.

Ces profils ont permis de mettre en évidence 3 familles de sol selon leur résistivité :

- Des matériaux argilo-limono-sableux, formant le corps de digue et certains alluvions fluviales de la Loire dont la résistivité est très faible à moyenne.
- Des matériaux sablo-graveleux de résistivité forte à très forte formant le corps de digue ainsi que les alluvions de la Loire. Il faut noter que lorsque la résistivité est très forte, les matériaux peuvent également correspondre à des matériaux anthropiques tel que maçonnerie, remblai à blocs, ouvrages bétonnés, chemins,....)
- Le substratum profond constitué de marnes grises de résistivité très faible

On observe aussi très distinctement, les matériaux bentoniques de très faible résistivité qui permettent d'assurer l'étanchéité de la digue.

Les deux profils sont rappelés en Annexe 2.



### 5.1.5.3.3 Sondages complémentaires, GEOTEC-ALIOS Ingénierie

Dans le cadre de cette étude, les sondages géotechniques et essais de laboratoire suivant ont été réalisés :

- 5 sondages carottés de 10,5 à 20.2m de profondeur
- 2 sondages destructifs à la tarière mécanique profonds de 4.5m
- 17 essais de perméabilité de type Lefranc ou Nasberg. Ils ont été répartis dans l'ensemble des sondages
- 21 essais d'identification type GTR comprenant mesure de teneur en eau, analyse granulométrie, et détermination de la valeur au bleu.
- 1 essai triaxial CU+u
- 3 essais de cisaillement non consolidés et 1 essai de cisaillement consolidé

Ces sondages et essais sont situés en différents points au niveau desquels les données disponibles ne permettent pas de répondre aux incertitudes sur la nature des matériaux composant la digue :

- Au niveau du pk 3950
- Sur le bas de la rive droite du canal de dérivation (entre les pk 2400 et 2550)
- Au pk 2600 en rive gauche du canal de dérivation
- Au niveau des panneaux électriques réalisés sur la digue de Saint-Eloi (ELOI-PT02 et ELOI-PT01), afin de caler les résultats géophysiques.

Cette campagne a abouti à la mise en évidence de trois couches de sol dont les épaisseurs et paramètres varient en fonction de la situation géographique. A cette stratigraphie sont adossés des paramètres mécaniques des sols. Dans son interprétation, ALIOS prend en compte l'ensemble des études précédentes.

57

---

Ces trois couches sont :

- Le remblai des digues, matériaux hétérogènes argilo-limono-sablo-graveleux présentant des débris anthropiques et d'épaisseur variant entre 1.1 et 7.8m.
- Les formations alluvionnaires sablo-graveleux avec des niveaux plus argilo-limoneux. Son épaisseur est de 10 à 15m.
- Le substratum marno-calcaire uniquement observé sur le SC15 en pieds de forage.

Les paramètres retenus sont donnés dans les tableaux en Annexe 2.



### 5.1.5.4 Synthèse générale des investigations existantes et complémentaires

Dans cette partie nous nous contenterons de donner la synthèse des valeurs obtenues à partir des essais réalisés.

L'analyse et la synthèse des résultats des investigations réalisées ont permis de dresser la coupe géotechnique schématique suivante :

#### **Remblai des corps d'ouvrages**

- Epaisseur : de 1 à 8 m sur la totalité du linéaire
- Nature : il s'agit majoritairement de sols de type argile sableuse à limoneuse contenant une part de graviers et blocs très variable suivant les endroits, ainsi que quelques éléments anthropiques. Les échantillons prélevés dans cette couche sont couramment classés A3 à A4 selon le GTR. Ces sols peuvent également être classés comme B2, B2, B5, D1. Ce sont des sols très hétérogènes.
- Caractéristiques physiques :
  - Résistivité (EM31) : correspondent à des matériaux argileux (<50Ω.m) sur la grande majorité du linéaire mesuré, une zone de forte anomalie et aux caractéristiques (entre 50 et 100Ω.m) correspondent à un sol mixte (sableux-argileux-graveleux-limoneux) est visible autour de PN9.
- Caractéristiques mécaniques :
  - Résistance dynamique (Rd) :  
Suivant le compactage du remblai, et sa composition, cette couche voit sa résistance dynamique varier entre 6 et 20MPa avec quelques fois des pics à plus de 100MPa correspondent à la rencontre avec un bloc et des valeurs plus faibles autour de 1 MPa au passage de couches sableuses.  
En entrant dans plus de détails, les sols les moins compactés ont un Rd de l'ordre de 6 à 7MPa tandis que ceux dont le compactage est meilleur sont plutôt autour de 15 à 20MPa.
  - Angle de frottement et cohésion ( $\varphi'$  ;  $C'$ ) :  
Entre 27 et 35kPa pour la cohésion et 0 et 18° pour l'angle de frottement obtenu à partir d'essais de cisaillement direct.
- Caractéristiques hydrogéologiques :
  - Perméabilité (Lefranc) : entre moyenne et faible mais variant entre  $10^{-4}$  et  $10^{-7}$  m/s suivant les endroits et la profondeur de mesure. Elle est fonction de la granulométrie présente (plutôt argileux ou forte présence de sable ou grave)

#### **Niveau d'assise : Alluvions fines de la Loire (si présentes)**

- Epaisseur : de 1 à 3m si non confondu avec le corps d'ouvrage,
- Nature : Il s'agit globalement de sable limono-argileux ou d'argile. Par leur proximité avec le corps de digue, cette couche n'est pas systématiquement observée bien que probablement présente.
- Caractéristiques physiques :
  - Résistivité (EM31) : Cette couche correspond principalement aux observations réalisées en pied de digue. Ces matériaux sont généralement argileux ou mixte par endroits.
- Caractéristiques géotechniques :
  - Résistance dynamique (Rd) :



Entre 6 et 75 MPa, la difficulté de l'observer sur les sondages carottés se retrouve sur la lecture des résultats de pénétromètres. Avec des résultats très proches de ceux du corps de digue

- Angle de frottement et cohésion ( $\phi'$  ;  $C'$ ) :  
Très variable suivant la présence de sable et d'argile. On trouve les deux couples ( $\phi'$  ;  $C'$ ) : (18 ;35) et (30 ;0)
- Caractéristiques hydrogéologiques :
  - Perméabilité (Lefranc) : entre moyenne et faible autour de  $10^{-6}$  et  $10^{-7}$  m/s suivant les endroits et la profondeur de mesure. Elle est fonction de la granulométrie présente (plutôt argileux ou forte présence de sable et limon)

### Graves alluviales de la Loire

- Epaisseur : de 3 à 5m généralement
- Nature : Principalement composée de graves grossières, des fractions non négligeables de sable ou de limons se retrouvent dans cette formation
- Caractéristiques géotechniques :
  - Résistance dynamique (Rd) :  
Supérieur à 15 MPa , cette valeur est souvent de 25MPa et peut atteindre 75MPa ponctuellement
  - Angle de frottement et cohésion ( $\phi'$  ;  $C'$ ) :  
De cohésion nulle, l'angle de frottement se trouve autour de  $35^\circ$
- Caractéristiques hydrogéologiques :
  - Perméabilité (Lefranc) : entre moyenne autour de  $10^{-5}$  et  $10^{-6}$  m/s suivant les endroits et la profondeur de mesure.

59

### Substratum de marnes grises

- Nature : Marnes grises pouvant être altérées en surface de couche mais généralement induré
- Caractéristiques géotechniques :
  - Résistance dynamique (Rd) :  
Supérieur à 40 MPa dans les rares essais qui l'atteignent
  - Angle de frottement et cohésion ( $\phi'$  ;  $C'$ ) :  
Angle de frottement de  $31^\circ$  et cohésion de 22kPa dans le seul essai réalisé à la surface de cette couche  
De cohésion nulle, l'angle de frottement se trouve autour de  $35^\circ$
- Caractéristiques hydrogéologiques :  
Perméabilité (Lefranc) : entre moyenne autour de  $10^{-8}$  m/s. la perméabilité peut monter jusqu'à  $10^{-6}$  m/s si la fraction sableuse contenue dans ces marnes est élevée.

### **Niveau d'eau**

Dans la plupart des sondages réalisés in-situ, nous rencontrons l'eau. L'eau est généralement observée dans les couches de graves alluviales de la Loire, vers 171.5m NGF. Le dénivelé de la Loire, ainsi que de la dérivation peuvent émettre des variations de niveaux entre différents points du linéaire de digue.



Néanmoins, il est important de retenir que des venues d'eau à faibles profondeurs et/ou de niveaux d'eau peuvent s'établir à des profondeurs variables en fonction de la perméabilité des terrains, notamment en période pluvieuse ou hivernale.

### 5.1.5.5 Analyse interprétative des paramètres géotechniques

L'analyse de l'ensemble des résultats décrit précédemment a permis d'identifier **9 tronçons de digue de nature homogène (TR1 à TR9)** sur le linéaire domanial du val de Nevers.



60

Figure 85 : découpage en tronçons géotechniques homogènes (TR1 à TR9)

Les paramètres géotechniques retenus ici sont basés sur les résultats d'essais et sur ceux retenus par ALIOS, mais sont également ajustés afin d'aboutir à des profils géotechniques modèles qui pourront directement être utilisés pour toute modélisation de stabilité de la digue.

#### 5.1.5.5.1 Val EST

Le long du linéaire, nous séparons le modèle géotechnique en deux tronçons compte tenu des incertitudes et des mesures réalisées à l'EM31 (cf.5.1.5.3.1). On a en effet un pied de digue argileux au niveau de la dérivation alors qu'il est plutôt mixte sur le reste du linéaire.

Une importante incertitude subsiste quant au toit des couches et du substratum. En effet les données de la BSS Infoterre et celle de l'échangeur s'opposent, tandis que les sondages SC13 et SC14 ne descendent pas assez pour l'observer. Seuls le SC15 et les panneaux électriques observent cette couche entre les cotes 162.5mNGF et 167mNGF.

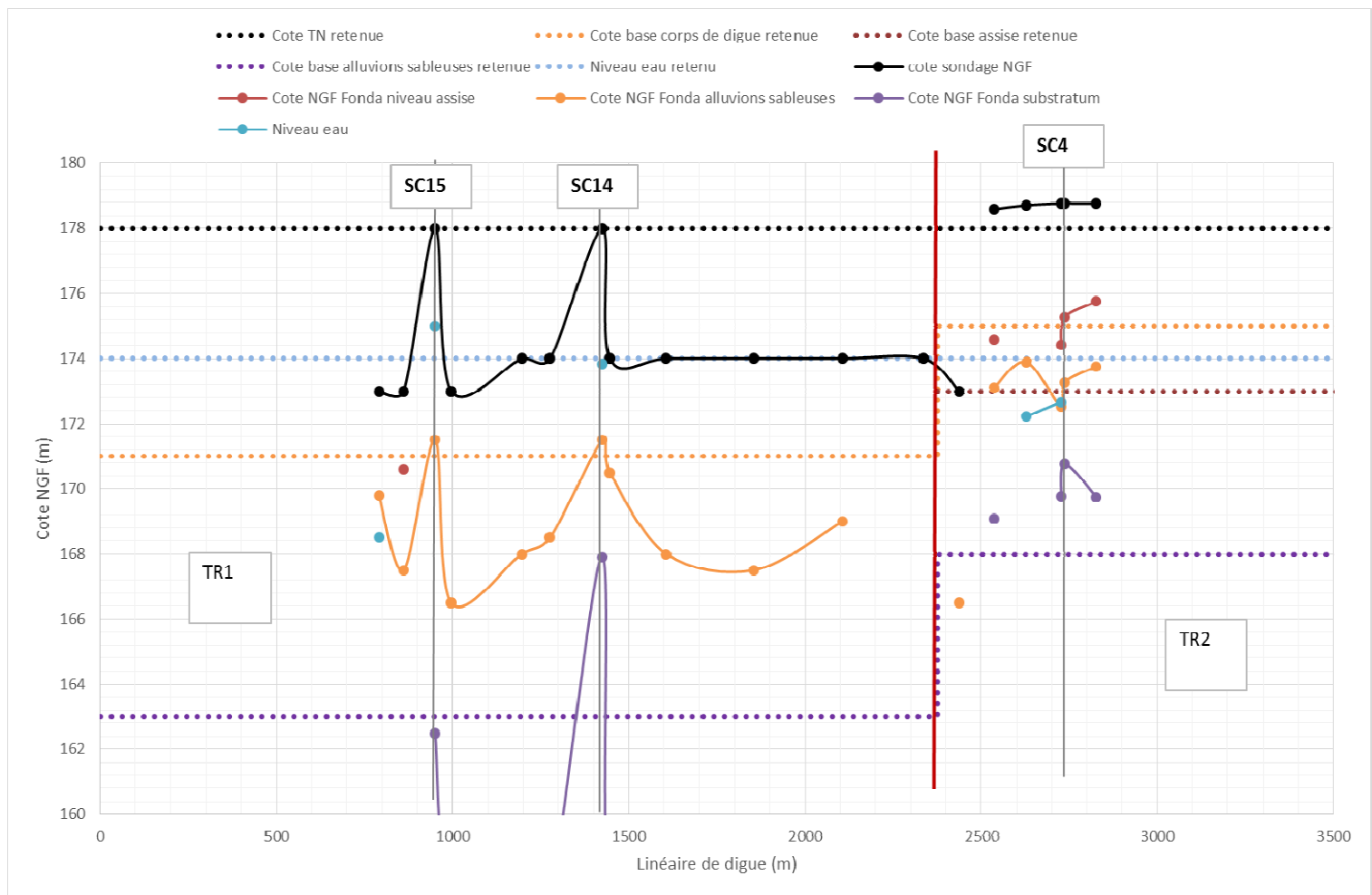


Figure 86 : Profil en long digue Est (hauteurs mesurées dans les sondages et retenues pour le modèle géotechnique)



**Le corps de la digue** du val Est, est relativement homogène au regard des informations disponibles.

Les lithologies, caractéristiques mécaniques et perméabilités retenues pour les matériaux constituant le corps de digue, selon les reconnaissances géotechniques réalisées et/ou disponibles, sont présentées dans le tableau ci-dessous

TRONCON	Début	Fin	Lithologie corps d'ouvrage	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	cote base en NGF	Perméabilité (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi'(°)
TR1	pk0	pk2375	Sables et argiles + graveleux	20	173	5.00E-05	0	30
TR2	pk2375	pk3550	argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	20	175	5.00E-05	5	25

Tableau 6 : tableau de synthèse des caractéristiques du corps de digue du val EST

**La fondation du système d'endiguement** se caractérise par 3 couches la plupart du temps. L'assise imperméable, peut ne pas se retrouver notamment sur le TR2 où l'EM 31 repère en pied de digue des terrains mixtes et non pas argileux. Elle est constituée par :

4. une première couche argilo-limoneuse en surface, de faible perméabilité (et localement absente);
5. des alluvions sableuses à graves de la vallée de la Loire sous-jacentes, de perméabilité moyenne ;
6. le substratum constitué par des marnes calcaires grises (sableuses par endroits)

62

TRONCON	Début	Fin	Lithologie niveau d'assise	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	cote base en NGF	Perméabilité (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi'(°)
TR1	pk0	pk2375	Sable argilo-limoneux	20	171	5.00E-06	0	30
TR2	pk2375	pk3550	Sable argilo-limoneux	20	173	5.00E-05	5	25

TRONCON	Début	Fin	Lithologie alluvions sableuses	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	cote base en NGF	Niveau d'eau éventuel (m)	Epaisseur alluvions (m)	Perméabilité alluvions (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi'(°)
TR1	pk0	pk2375	Sables et graviers	20	163	10	10	1.00E-05	0	30
TR2	pk2375	pk3550	sable et marne sableuse à cailloutis	20	168	6	5	1.00E-06	0	30

TRONCON	Début	Fin	Lithologie Substratum	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	Perméabilité (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi'(°)
TR1	pk0	pk2375	Marne gris bleu	22	1.00E-07	50	0
TR2	pk2375	pk3550	marne	22	1.00E-07	50	0

Tableau 7 : Synthèse des sols en fondations de la digue val est





### *5.1.5.5.2 Val OUEST*

7 différents tronçons aux caractéristiques bien marquées (TR3 à TR9) ont été définies sur ce linéaire de digue.

La séparation en différents tronçons s'explique par différents facteurs :

- Absence de données ou faible densité
- Variation de la géométrie de lithologie
- Variations de caractéristiques géotechniques
- Variations de géométrie de digue

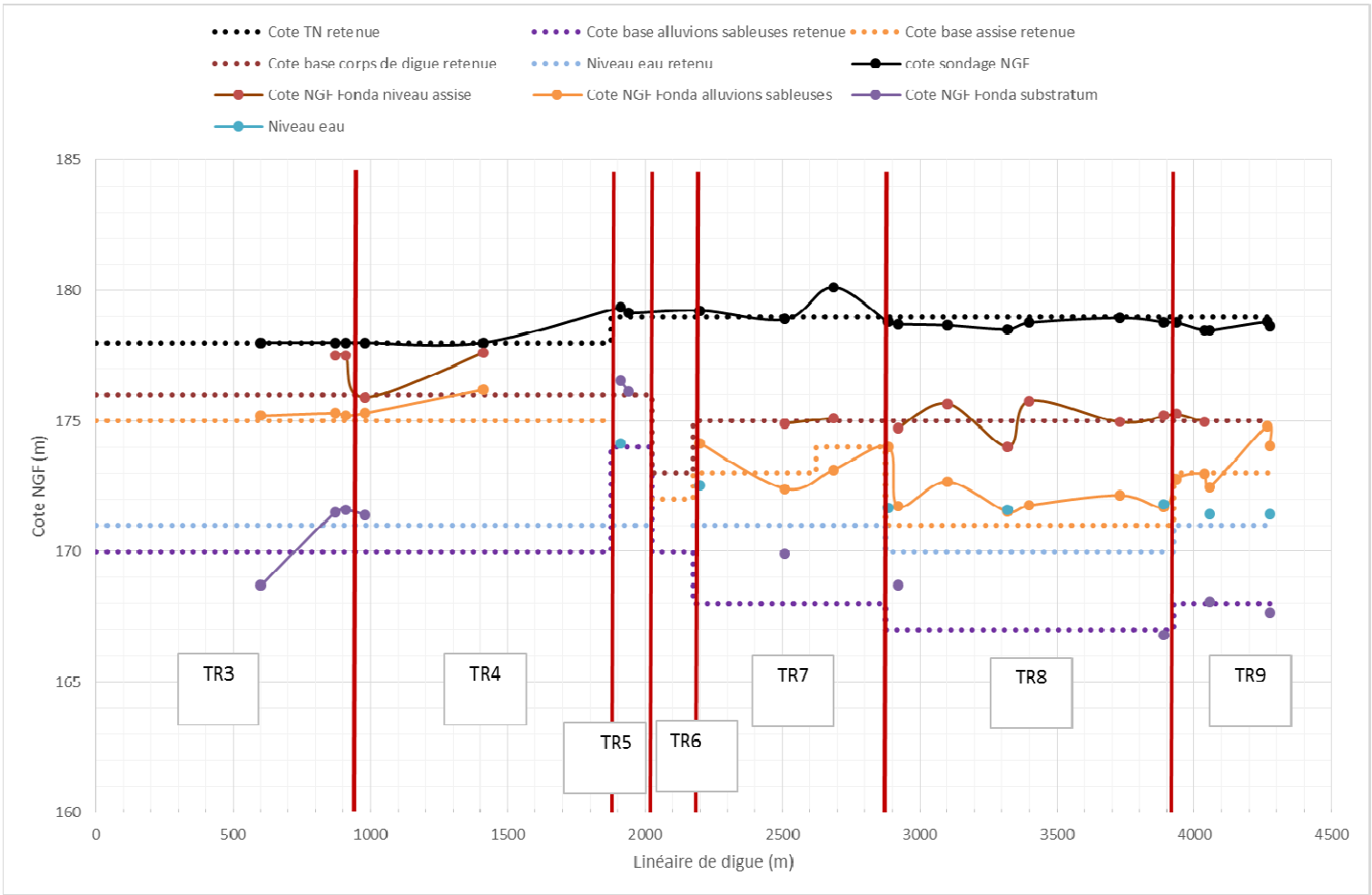


Figure 87 : Profil en long digue Ouest (hauteurs mesurées dans les sondages et retenues comme pour le modèle géotechnique)

**Le corps de la digue** du val Ouest à une lithologie très variable principalement en raison de l'incertitude dans la détermination de la nature des couche, avec des perméabilités moyennes à faible. Cependant au niveau de la dérivation (rive droite), le substratum est quasi affleurant en certains endroits. On trouve également des fortes différences de géométrie de digue.

Les lithologies, caractéristiques mécaniques et perméabilités des matériaux constituant le corps de digue, selon les reconnaissances géotechniques réalisées et/ou disponibles, sont présentées dans le tableau suivant :

TRONCON	Début	Fin	Lithologie corps d'ouvrage	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	cote base en NGF	Perméabilité (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi(°)
<b>TR3</b>	pk0	pk1875	limons sablo-argileux	20	176	1.00E-05	5	25
<b>TR4</b>	pk1875	pk2025	limons sablo-argileux	20	176	1.00E-05	5	25
<b>TR5</b>	pk2025	pk2175	limons sablo-argileux	20	173	1.00E-05	5	25
<b>TR6</b>	pk2175	pk2625	argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	20	175	1.00E-06	5	25
<b>TR7</b>	pk2625	pk2875	argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	20	175	1.00E-06	5	25
<b>TR8</b>	pk2875	pk3925	sable, graviers, cailloutis, blocs	20	175	4.00E-05	5	25
<b>TR9</b>	pk3925	pk4275	argile sablo-limoneuse à blocs et graviers	20	175	1.00E-05	5	25

Tableau 8 : tableau de synthèse des caractéristiques du corps de digue du val EST

**La fondation du système d'endiguement** se caractérise par 3 couches la plupart du temps. Elle est constituée de :

1. une première couche argilo/sablo-limoneuse en surface, de faible perméabilité (et localement absente). Les paramètres de cisaillement varient significativement suivant la composition plutôt sableuse ou argileuse. C'est pourquoi la valeur retenue a préféré être estimé en tenant compte de la nature globale du sol ;
2. des alluvions sableuses à graves de la vallée de la Loire sous-jacentes, de perméabilité moyenne ;
3. le substratum constitué par des marnes grises (sableuses par endroits d'où des perméabilités plus élevés)



TRONCON	Début	Fin	Lithologie niveau d'assise	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	cote base en NGF	Perméabilité (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi(°)
<b>TR3</b>	pk0	pk1875	limons argileux	19	175	1.00E-07	5	25
<b>TR4</b>	pk1875	pk2025						
<b>TR5</b>	pk2025	pk2175	limons argileux	19	172	3.00E-07	5	20
<b>TR6</b>	pk2175	pk2625	limons argileux	19	173	3.00E-07	5	20
<b>TR7</b>	pk2625	pk2875	limons argileux	19	174	1.00E-06	5	20
<b>TR8</b>	pk2875	pk3925	Alluvions fines (limon et sable fin argileux)	19	171	1.00E-06	5	30
<b>TR9</b>	pk3925	pk4275						

TRONCON	Début	Fin	Lithologie alluvions sableuses	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	cote base en NGF	Niveau d'eau éventuel (m)	Épaisseur alluvions (m)	Perméabilité alluvions (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi(°)
<b>TR3</b>	pk0	pk1875	sables grossiers et matrice	20	170	1	4	1.00E-05	0	30
<b>TR4</b>	pk1875	pk2025	sables grossiers et matrice	20	174		1	1.00E-05	0	30
<b>TR5</b>	pk2025	pk2175	sables grossiers et matrice	20	170	1	3	1.00E-05	0	30
<b>TR6</b>	pk2175	pk2625	sables grossiers et matrice	20	168	3	6	3.00E-06	0	30
<b>TR7</b>	pk2625	pk2875	sables grossiers et matrice	20	168	3	5	3.00E-06	0	30
<b>TR8</b>	pk2875	pk3925	Grave alluviale à fraction limoneuse	20	167	4	5	2.00E-05	0	35
<b>TR9</b>	pk3925	pk4275	sables grossiers et matrice	20	168	3	5	4.00E-05	0	35

66

TRONCON	Début	Fin	Lithologie Substratum	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	Perméabilité (m/s)	Cohésion à long terme C' (kPa)	Frottement à long terme Fi(°)
<b>TR3</b>	pk0	pk1875	marne gris bleu	22		50	0
<b>TR4</b>	pk1875	pk2025	marne gris bleu	22	5.00E-08	50	0
<b>TR5</b>	pk2025	pk2175	marne gris bleu	22		50	0
<b>TR6</b>	pk2175	pk2625	Marne gris bleu	22	1.00E-08	50	0
<b>TR7</b>	pk2625	pk2875	Marne gris bleu	22	8.00E-06	50	0
<b>TR8</b>	pk2875	pk3925	Marne gris bleu	22	1.00E-08	50	0
<b>TR9</b>	pk3925	pk4275	Marne gris bleu	22	1.00E-08	50	0

Tableau 9 : tableaux de synthèse des caractéristiques de la fondation de la digue

### 5.1.6 Profils en travers type des ouvrages

Les digues de protection de Nevers présentent des profils en travers différents tout au long du linéaire. Ceci est notamment dû à l'histoire de ces digues qui s'étale sur plus de 400 ans.

Le système d'endiguement du val est et ouest de Nevers peut être décrit au travers de 3 profils en travers type :

- Profil 1 : Profil non renforcé
- Profil 2 : Profil renforcé avec palplanches
- Profil 3 : Profil renforcé avec paroi bentonitique

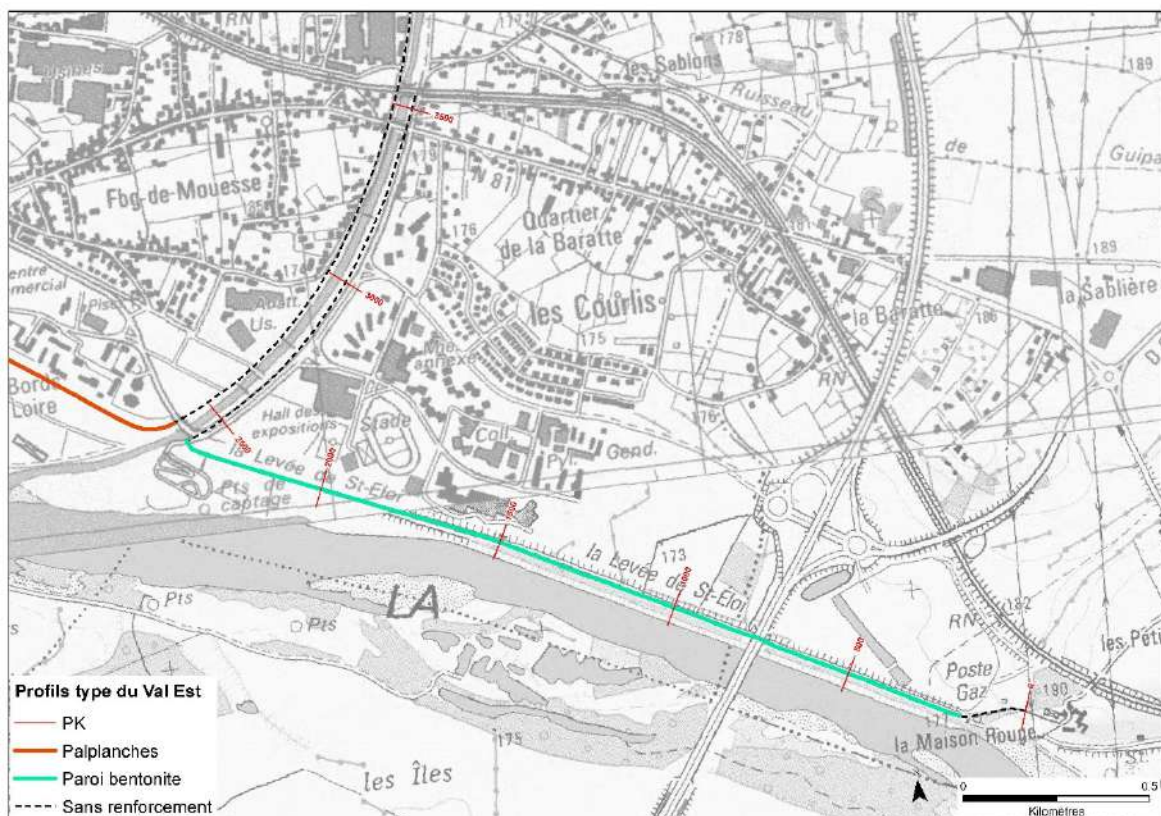


Figure 88 : carte de localisation des profils type – val Est

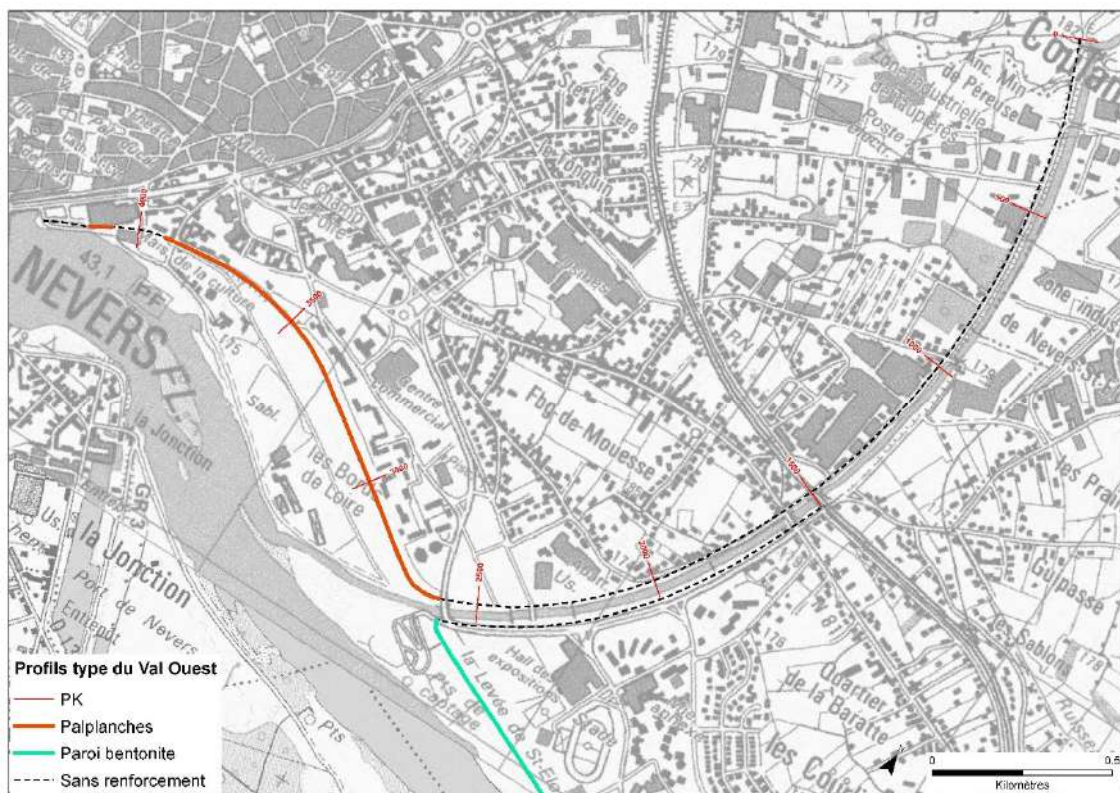


Figure 89 : carte de localisation des profils type – val Ouest

68

Ces profils en travers type sont décomposés en différentes composantes auxquelles peuvent être associées une ou plusieurs des familles de fonction géotechnique indiquées dans le tableau ci-après :

N°	Famille de fonction géotechnique
1	Stabilité mécanique d'ensemble (conditionne la stabilité mécanique du tronçon)
2	Etanchéité (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	Ecoulement (laisser passer l'eau)

Figure 90 : Familles de fonctions géotechniques des composants d'un profil en travers type de digue (source IRSTEA)

Les différents composants géotechniques de ce profil type et leurs fonctions géotechniques respectives ainsi que leurs interfaces sont synthétisés dans le tableau suivant.

Référence	Composant géotechnique	Fonctions géotechniques	Contacts
A	Piste en Crête	6. Résistance à l'érosion externe	Atmosphère ; D
B	Surface enherbée sur perré côté cours d'eau	6. Résistance à l'érosion externe	Cours d'eau ; atmosphère ; D
C	Surface enherbée côté zone protégée	6. Résistance à l'érosion externe	Zone protégée ; atmosphère ; D
D	Corps de digue en remblai homogène	1. Stabilité mécanique d'ensemble 2. Etanchéité 5. Auto-filtration	A ; B ; C ; E
E	Horizon superficiel imperméable	1. Stabilité mécanique d'ensemble 2. Etanchéité 5. Auto-filtration	Cours d'eau ; zone protégée ; atmosphère ; D ; F
F	Horizon intermédiaire perméable	1. Stabilité mécanique d'ensemble 5. Auto-filtration	E ; G
G	Substratum	1. Stabilité mécanique d'ensemble	F
H	Paroi bentonite	2. Etanchéité 7. Résistance à l'érosion interne en fondation	A ; D ; E ; F ; substratum
I	Rideau palplanche	2. Etanchéité 7. Résistance à l'érosion interne en fondation	A ; D ; E ; F ; substratum

Tableau 10 : Tableau des composants et des fonctions géotechniques du profil en travers type (source IRSTEA)



### 5.1.6.1 Profil 1 : Profil non renforcé

C'est le profil le plus courant. On le retrouve en différents endroits, avec de l'amont vers l'aval :

- Levée de Maison Rouge sur environ 180m de long,
- Levée du canal de dérivation (RD et RG) ;
- Et une partie de la levée de Médine (entre le bâtiment de la DDT et l'hôtel mercure)

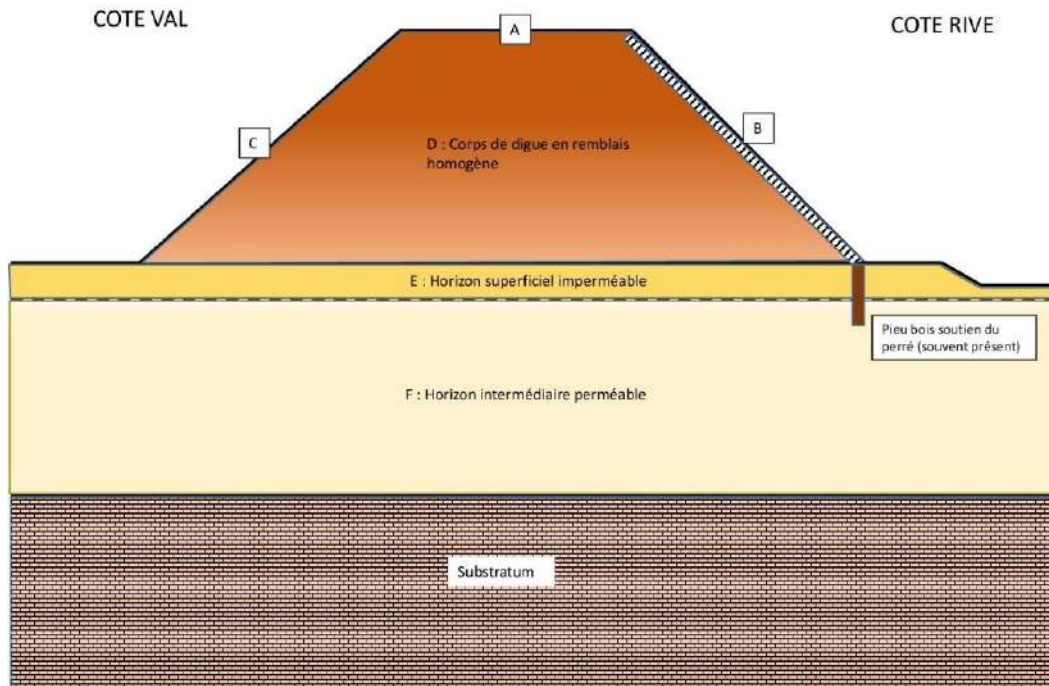


Figure 91 : profil en travers type des levées de Nevers non renforcée

C'est par ailleurs le profil le plus critique pour la stabilité de la digue compte tenu de l'absence de renforcement ainsi que des matériaux plutôt hétérogènes la composant.



### 5.1.6.2 Profil 2 : Profil renforcé avec palplanches

On retrouve ce profil différents tronçons, sur les dernières centaines de mètres de la levée de Médine ainsi que sur la levée St-Eloi 1<sup>ère</sup> section (pk 2650 à pk 4150), plus précisément :

- Levée St-Eloi 1<sup>ère</sup> section (mis en place en 2002-2003)
- En aval de la porte de Médine (présent avant 1965) jusqu'au bâtiment de la DDT
- Entre la maison de la culture et l'hôtel mercure (présent avant 1965)

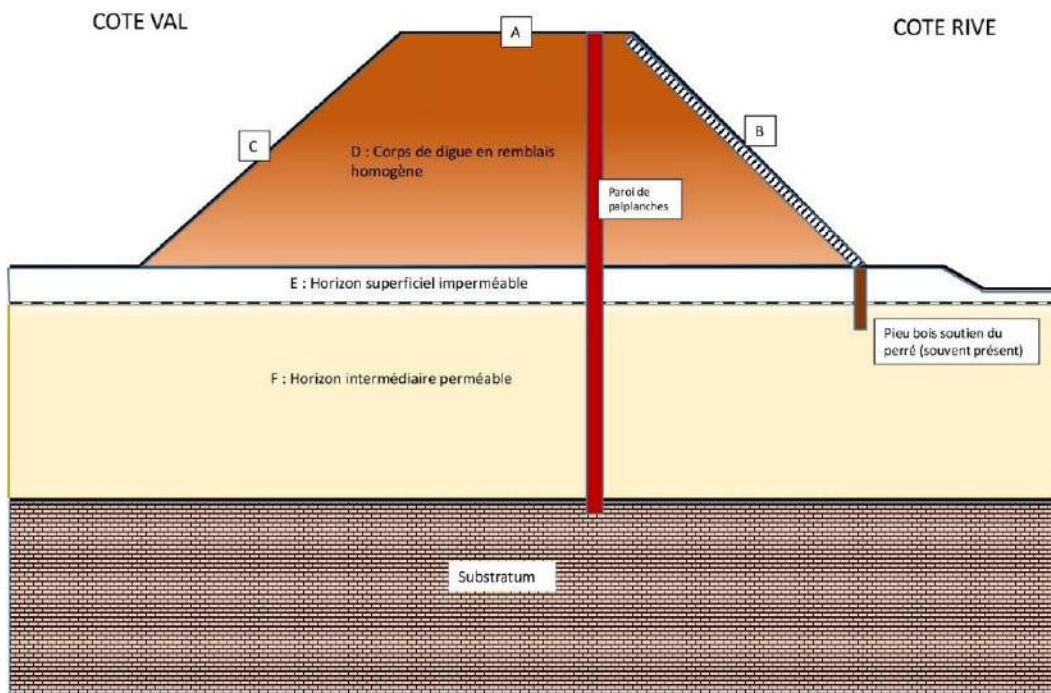


Figure 92 : profil en travers des levées de Nevers renforcée avec palplanches

Il est important de noter qu'il n'existe pas de plan de récolement de ces palplanches. De fait, une campagne d'investigations électromagnétique a été réalisée spécifiquement pour confirmer les linéaires de palplanche en place. Les résultats de cette campagne sont présentés en annexe 2 de la présente EDD. Néanmoins le positionnement exact, dans l'axe ou côté Loire par exemple, reste incertain.

D'une manière générale, concernant ces palplanches, les informations suivantes ont été communiquées par le MOA en cours d'étude.

- Concernant la levée de **Saint Eloi 1<sup>ère</sup> section**
  - Les palplanches ont été battus jusqu'à refus sur la totalité de l'ouvrage, à savoir de la culée du pont du canal de dérivation pour l'amont à la porte de Médine pour l'aval (profondeur : apparemment 12 à 14m sauf exception)
  - Les palplanches ont également été battues en aval de la porte de Médine jusqu'environ 5 à 10m au-delà du bâtiment de la DDT mais, selon les informations disponibles, les travaux semblent avoir été interrompus pour des problématiques de vibration.
  - Au droit de la canalisation de gaz dans l'ouvrage sur la partie amont, il existe un recouvrement de 2 rangées de palplanches.
- Concernant la levée de Médine :



- Il a été exécuté un renforcement d'une partie de l'ouvrage par des palplanches lors de la construction de la maison de la culture (tronçon situé entre l'hôtel Mercure et la maison de la culture).

### 5.1.6.3 Profil 3 : Profil renforcé avec paroi bentonitique

C'est le profil de renforcement de la levée de St Eloi 2<sup>ème</sup> section. Il a été mis en place en 1975 lors de travaux de confortements.

Le perré coté Loire est constitué d'un parement en béton armé depuis cette date.

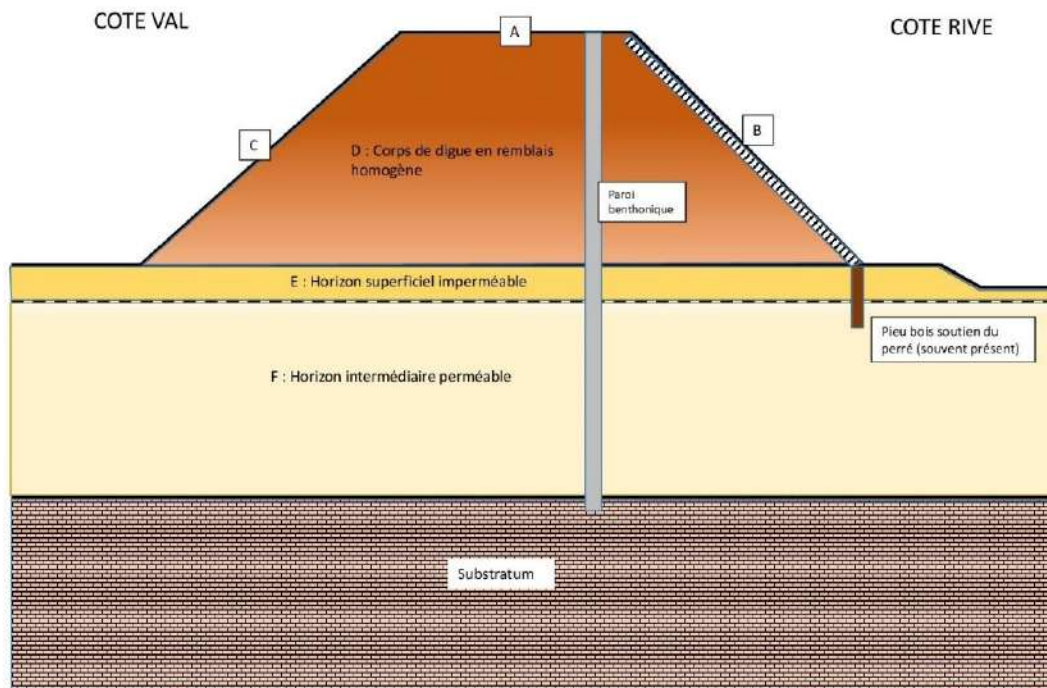


Figure 93 : profil en travers des levées de Nevers renforcée avec paroi bentonitique

**Il est important de noter qu'il n'existe pas de plan de récolement de cette paroi.**

D'une manière générale, les informations suivantes ont été communiquées par le MOA en cours d'étude :

- Les travaux bentonite datent de 1975 : ils couvrent la totalité du linéaire de la digue de Saint Eloi 2<sup>ème</sup> section à savoir : du seuil au droit de la levée de maison rouge pour la partie amont, au pont passant au-dessus du canal de dérivation pour la partie aval.
- La méthode a consisté à vibrofoncer des palplanches et à injecter un coulis de bentonite lors du retrait du profilé.

Afin de confirmer l'existence et le positionnement de cette paroi, 2 panneaux électriques ont été réalisés dans le cadre de la présente étude. Les résultats sont présentés dans l'étude élémentaire 5 jointe en annexe 2 de la présente EDD.

### 5.1.6.4 Déversoirs

Il n'existe pas de déversoir le long du système d'endiguement de Nevers coté rive droite de la Loire.

### 5.1.7 Anomalies constatées dans le système d'endiguement

Les désordres présentés ci-après sont issus des Visites Techniques Approfondies (VTA) effectuées en novembre 2015.

**Le lecteur est invité à se reporter au rapport de la VTA 2015 fourni en annexe 3 pour un aperçu plus détaillé des différentes anomalies recensées au sein du système d'endiguement du Val de Nevers.**

#### 5.1.7.1 Canalisations incluses dans les levées

Les canalisations observées dans le corps de digue sont identifiées ci-dessous. Il est noté a minima 2 canalisations traversant les levées (des indices de présence de canalisations enterrées ont été décelés – voir rapport VTA).

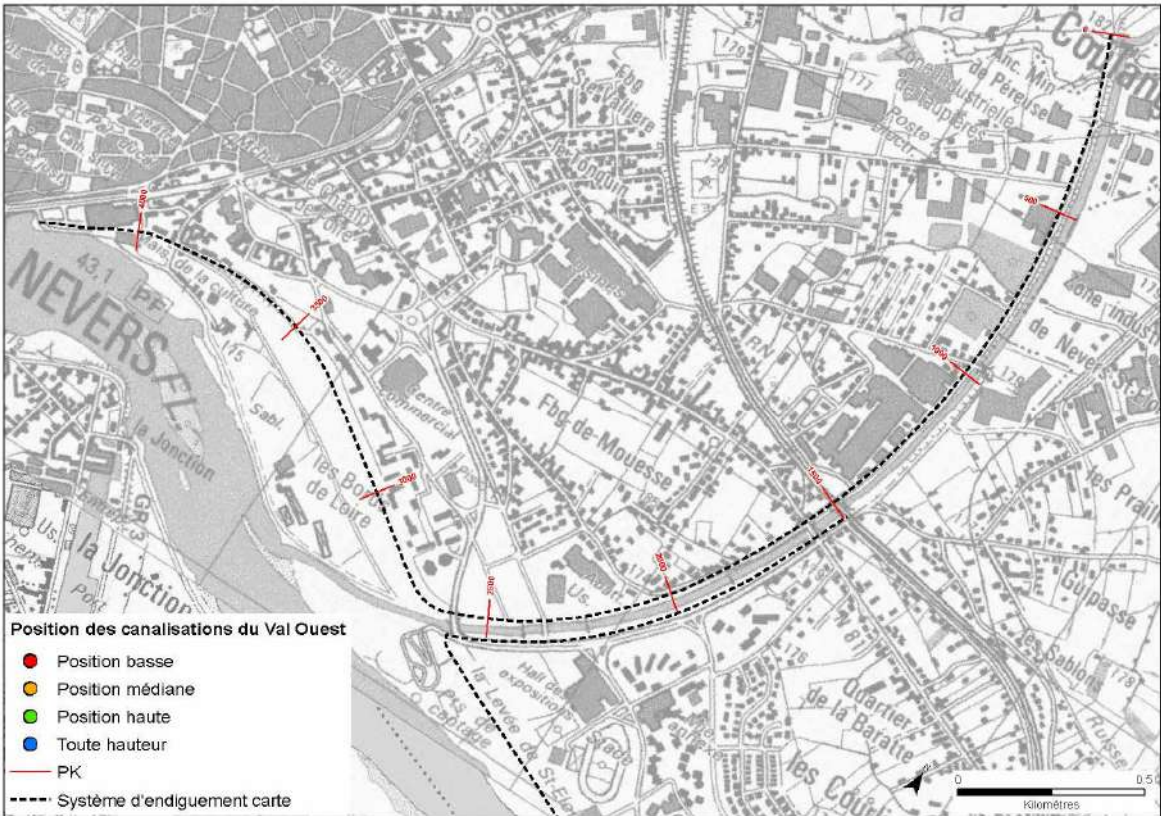
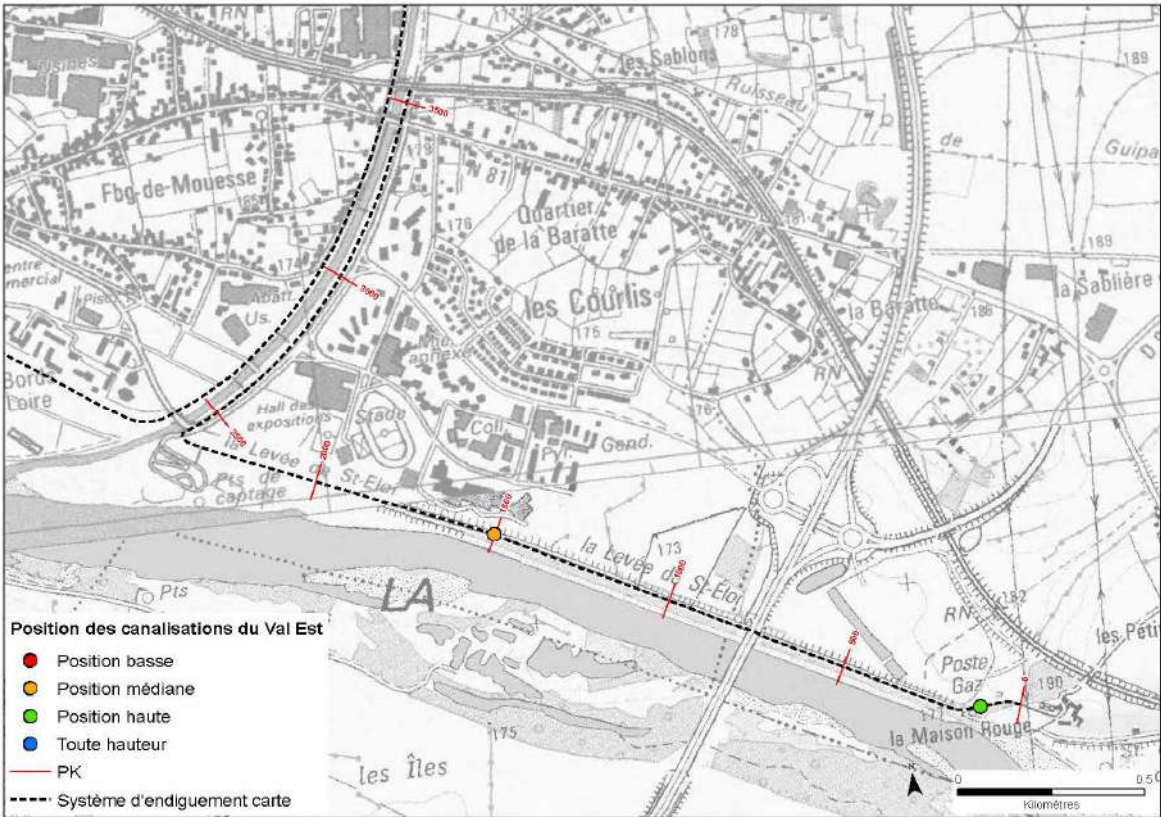


Figure 94 : Bornes signalant la présence de conduite de gaz qui traverse l'ouvrage dans la portion aval de la levée de Maison Rouge



Figure 95 : Six canalisations traversant la levée de St-Eloi 2ème section en milieu de talus coté val (station de relevage de la Baratte) avec renforcement visible en palplanches couronnées d'une poutre en béton

Il n'a pas pu être levé le fil d'eau de ces canalisations.



74

Figure 96 : Localisation et position des canalisations à travers le système d'endiguement des vals de Nevers

### 5.1.7.2 Ouvrages et bâtiments encastrés dans les levées

Lors des VTA il a été identifié :

Trois **bâtiments encastrés** dans la digue ont été identifiés sur l'ensemble du système d'endiguement.

La présence de bâtiments encastrés dans la digue constitue une problématique vis-à-vis de l'érosion interne par le raccourcissement du chemin hydraulique qu'ils induisent.

Des bâtiments non encastrés, en pied de digue ont également été observés, ils peuvent également augmenter le risque d'érosion interne en diminuant la longueur des chemins hydrauliques dans la fondation de la digue. Par ailleurs, toutes ces habitations sont très vulnérables à la submersion en cas de crue.



Figure 97 : Bâtiment de la DDT situé en aval de la porte de Médine encastré sur toute la hauteur de la digue (vu depuis la crête de l'ouvrage vers l'aval)



Figure 98 : Porte de Médine vue depuis le côté val avec maison encastrée sur talus côté val



Figure 99 : Maison de la Culture vue vers l'aval depuis la crête de l'ouvrage : Bâtiment encastré sur talus côté val et escalier d'accès reposant sur perré côté Loire



Figure 100 : Raccordement aval de la Maison de la Culture avec palplanches sur talus côté val – pk4150



Figure 101 : Poste EDF en crête de l'ouvrage en amont du pont de la RN.81 sur levée coté rive droite du canal



Figure 102 : Poutre de béton encastrée sur haut du talus coté Loire au niveau de l'hôtel

Il est identifié six **murs de soutènement**, dont trois de grande dimension sur talus coté val.

Plusieurs problématiques peuvent être associées à la présence de ces murs :

- La réduction de la section transversale de la digue, augmentant les gradients hydrauliques en cas de crues (donc le risque d'érosion interne),
- Le risque de glissement/basculement du mur par suite de poussées hydrauliques non dissipées,
- Le caractère imprévisible et rapide des ruptures de ce type d'ouvrage en maçonnerie,
- Facteurs aggravants l'érosion externe en cas de crue ou de surverse.

Au vu de ces problématiques, toute dégradation même mineure est à traiter.

**76**

Il est également à noter que les murs ayant déjà subi une crue sans désordre et n'ayant jamais été renforcés suite à ces événements, peuvent constituer des « points faibles » dans la ligne de défense, d'autant plus si des dégradations sur ces ouvrages sont constatées.



Figure 103 : Mur de soutènement vu vers l'aval sur talus coté val au droit des usines



Figure 104 : Mur de soutènement au droit du bâtiment de la DDT58 vu vers l'amont



Figure 105 : Mur de soutènement en haut de talus coté val (vu vers l'aval) près de la rue du 8 mai 1945



Figure 106 : Mur de soutènement pour canalisations en pied de talus coté val vu vers l'amont (au nombre de 3 au total sur digue rive gauche canal)

Seul le diagnostic visuel effectué lors de cette VTA a permis d'identifier à dire d'experts l'état de ces murs de soutènement. Il convient en effet de préciser qu'aucune donnée n'est disponible sur ces murs (détail de conception, mode de fondation, etc..).

Il est observé neuf **culées de pont** encastées dans le talus coté Loire/canal de dérivation. Elles sont constituées principalement de béton.





Figure 107 : Culée du pont de l'autoroute A.77 vue vers l'aval



Figure 108 : Culée de béton de la passerelle sur le haut du talus coté canal de dérivation (levée coté rive gauche)



Figure 109 : Culées du pont de la route départementale en aval du canal de dérivation vues depuis la rive droite vers la rive gauche



Figure 110 : Pont situé en amont de la levée coté rive droite du canal de dérivation vu sur sa face amont vers l'aval



78

Figure 111 : Culée en aval du pont de la voie ferrée coté levée rive droite du canal de dérivation

Figure 112 : Pont de la RN.81 vue depuis l'aval vers l'amont coté levée rive droite du canal



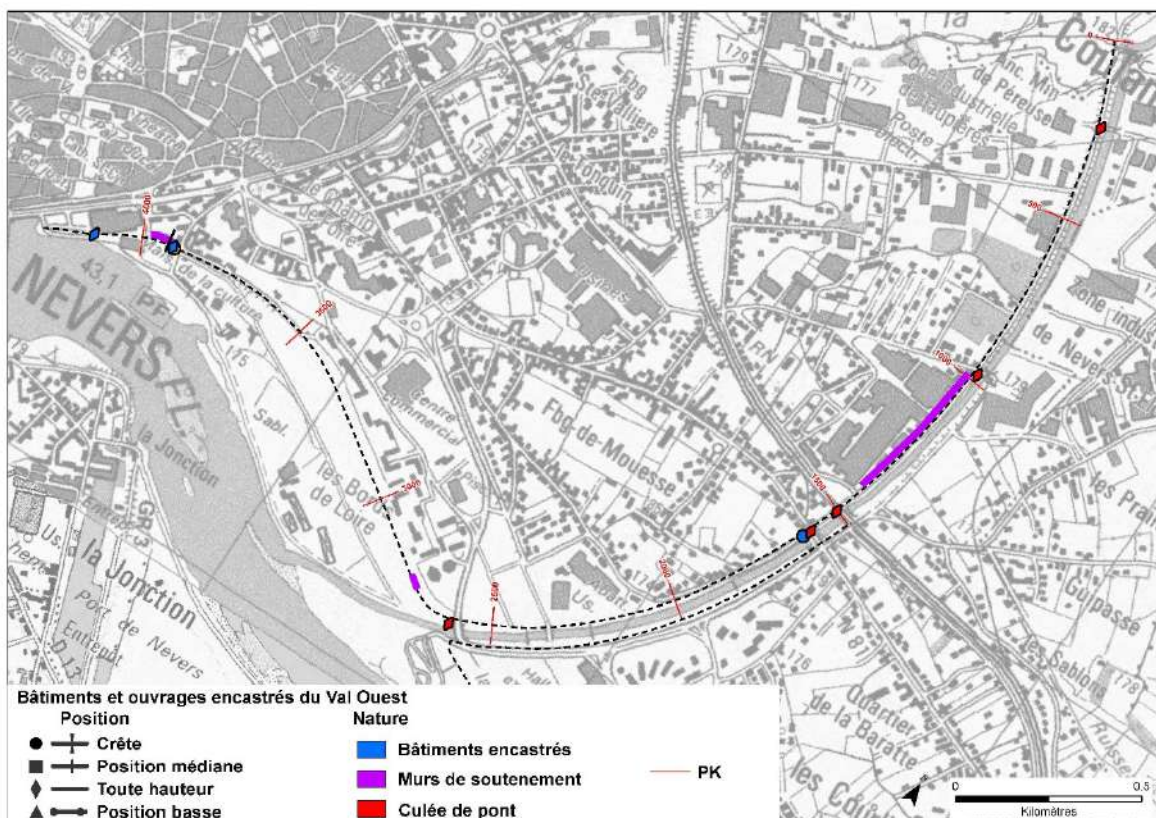
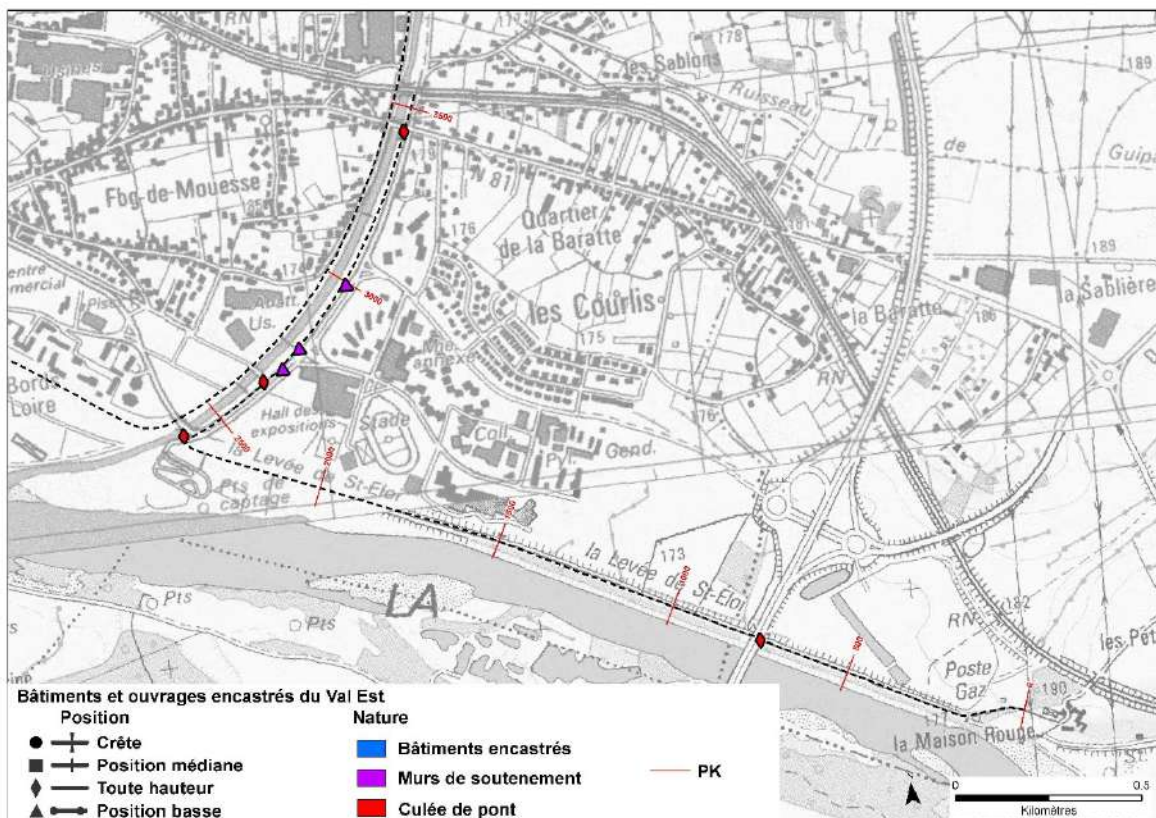




Figure 113 : localisation et typologie des ouvrages encastrés dans le système d'endiguement des vals de Nevers

### 5.1.7.3 Végétation sur et aux abords des levées

La présence de végétation herbacée sur une levée constitue un élément de préservation de celle-ci au regard du risque d'érosion externe, que ce soit sur le talus côté fleuve, en évitant l'entraînement des matériaux par le courant, ou côté val, en autorisant une surverse de quelques centimètres sans dommage, ou encore en limitant l'érosion liée aux précipitations (ravinement).

La présence de végétation ligneuse sur la levée ou à sa proximité immédiate constitue en revanche une menace pour sa pérennité.

**Vis-à-vis du risque d'érosion interne.** Les racines se propagent à l'intérieur de la levée ou dans sa fondation et peuvent être à l'origine d'une érosion de contact. En pourrissant, elles laissent une ramification de conduits susceptibles de permettre à l'eau de pénétrer dans l'ouvrage, voire même de le traverser, formant ainsi une amorce de renard hydraulique [Irstea - Thèse Caroline Zanetti 2012]. La végétation « morte » (souches) représente de ce fait un risque particulier. De plus, la végétation dense constitue un refuge pour les animaux fouisseurs qui construisent leurs terriers dans la digue, augmentant encore le risque de rupture (cf. infra).

80

**Vis-à-vis du risque d'érosion externe ou de rupture suite à surverse.** Les arbres de grande taille peuvent être déracinés et entraîner, autour des racines, une partie de la digue. Si l'événement se produit côté Loire, le trou ainsi formé, outre l'enlèvement de matériaux et la mise à nu du corps de digue (disparition du perré), perturbera les écoulements de l'eau en crue et favorisera l'érosion externe. Plus généralement, la présence d'arbres côté val ou côté Loire induit un obstacle à l'écoulement générateur de perturbations augmentant localement les vitesses et favorisant ainsi l'arrachage des matériaux constitutifs de la digue

La végétation a été relevée sur l'ouvrage et jusqu'à 5 m des deux pieds de digue, dans le cadre des VTA. Six types de végétation sont distingués, par ordre décroissant d'importance vis-à-vis du risque d'érosion interne : souches, végétation ligneuse généralisée, végétation ligneuse clairsemée, arbre arraché, arbre (végétation ligneuse isolée) et végétation arbustive / broussaille.

L'analyse a montré une présence abondante de végétation ligneuse sur la levée de Saint-Eloi 2° section (val est) et d'une manière plus ponctuelle sur le reste du linéaire des levées (reste du val est et ensemble du val ouest).

La prise en compte de la végétation dans la modélisation des aléas de rupture est détaillée dans les annexe 5.

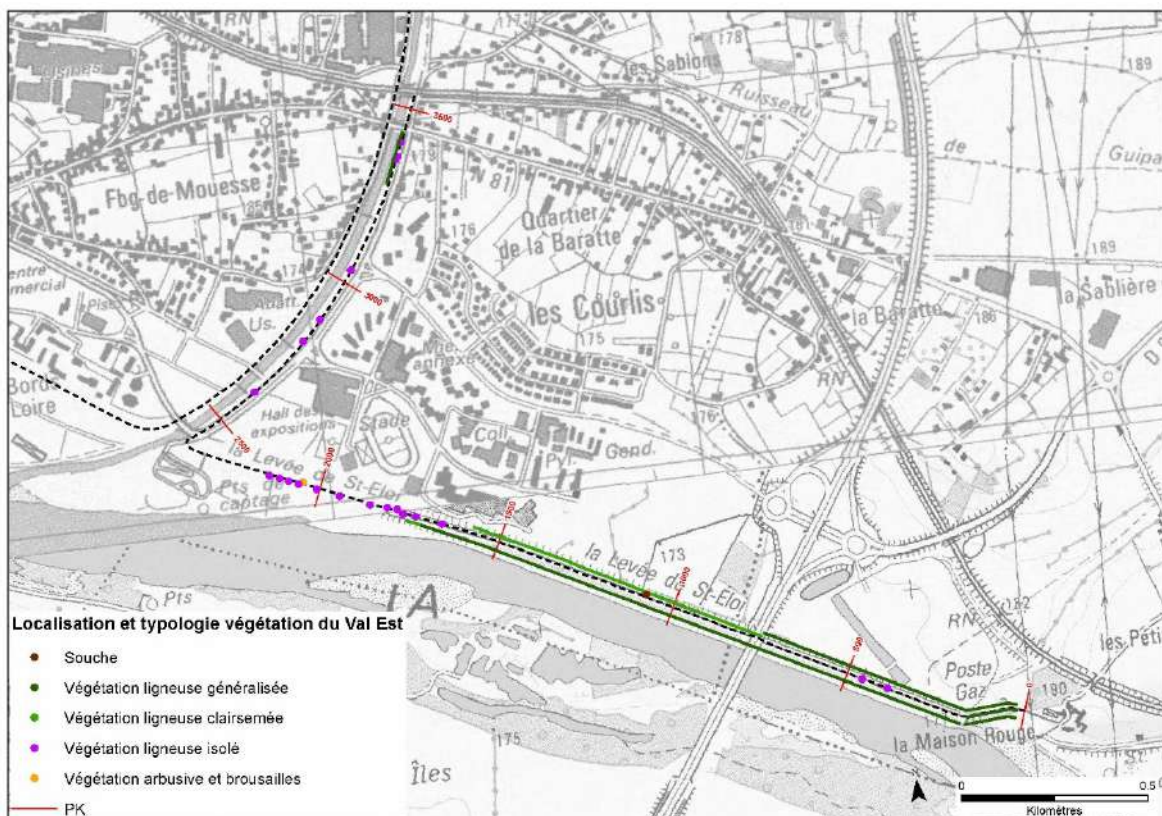
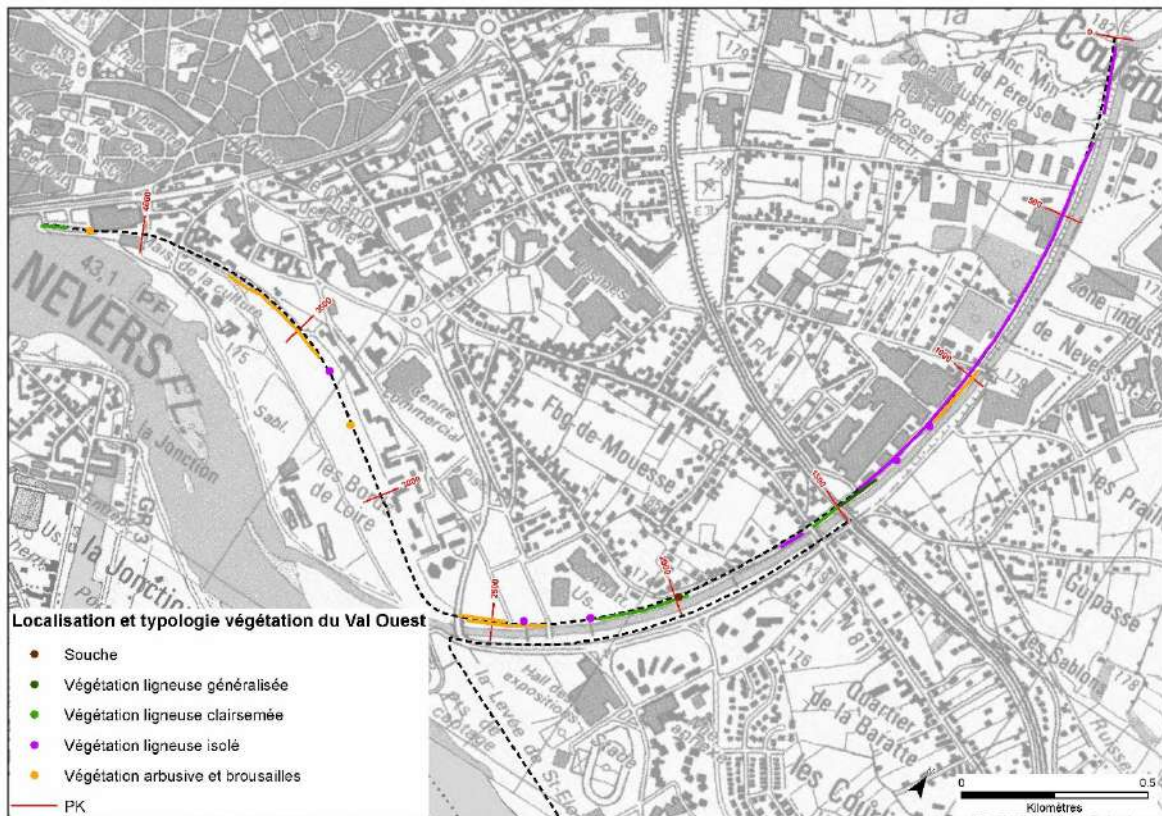




Figure 114 : Localisation et caractérisation de la végétation ligneuse présente sur le système d'endiguement des vals de Nevers

#### 5.1.7.4 Présence d'animaux fouisseurs dans les levées

Les animaux fouisseurs représentent un risque pour la pérennité de la levée. En creusant leurs terriers, ils réalisent des conduits dans son corps ou dans sa fondation qui, lorsqu'ils sont mis en eau en période de crue, sont susceptibles de se transformer en renards hydrauliques, soit par prolongement de faiblesse d'étanchéité de la levée, soit parce que le terrier est traversant (cf. retour d'expérience présenté au chapitre 7).

De nombreux terriers ont été observés sur les levées du val de Nevers (val est et val ouest), notamment à travers les tronçons n°1 et n°7. Aucun n'a été formellement identifié comme traversant la levée.



Figure 115 : Terrier de 5cm de diamètre sur haut du talus coté val (tronçon VTA n°1 – Val Est)



Figure 116 : Terrier de 20cm de diamètre dans le bas du talus coté Loire (tronçon VTA n°1)

82



Figure 117 : Terrier de 10cm de diamètre au milieu de talus coté val (tronçon VTA n°7 – Val Ouest)



Figure 118 : Terrier de 20cm de diamètre dans talus coté val sous mur de soutènement (tronçon VTA n°7)



Figure 119 : Terrier de diamètre supérieur à 30cm sous parement bétonné (tronçon VTA n°1)

Ces terriers sont susceptibles de favoriser des infiltrations et chemins d'écoulement à travers la digue, voire d'être à l'origine d'une érosion interne. Ces terriers peuvent également être des facteurs aggravants vis-à-vis de l'érosion externe sur le talus val en cas de surverse.

Nota : La végétation dense a pu empêcher l'observation d'autres galeries dues à la présence potentielle d'animaux fouisseurs dans la zone.

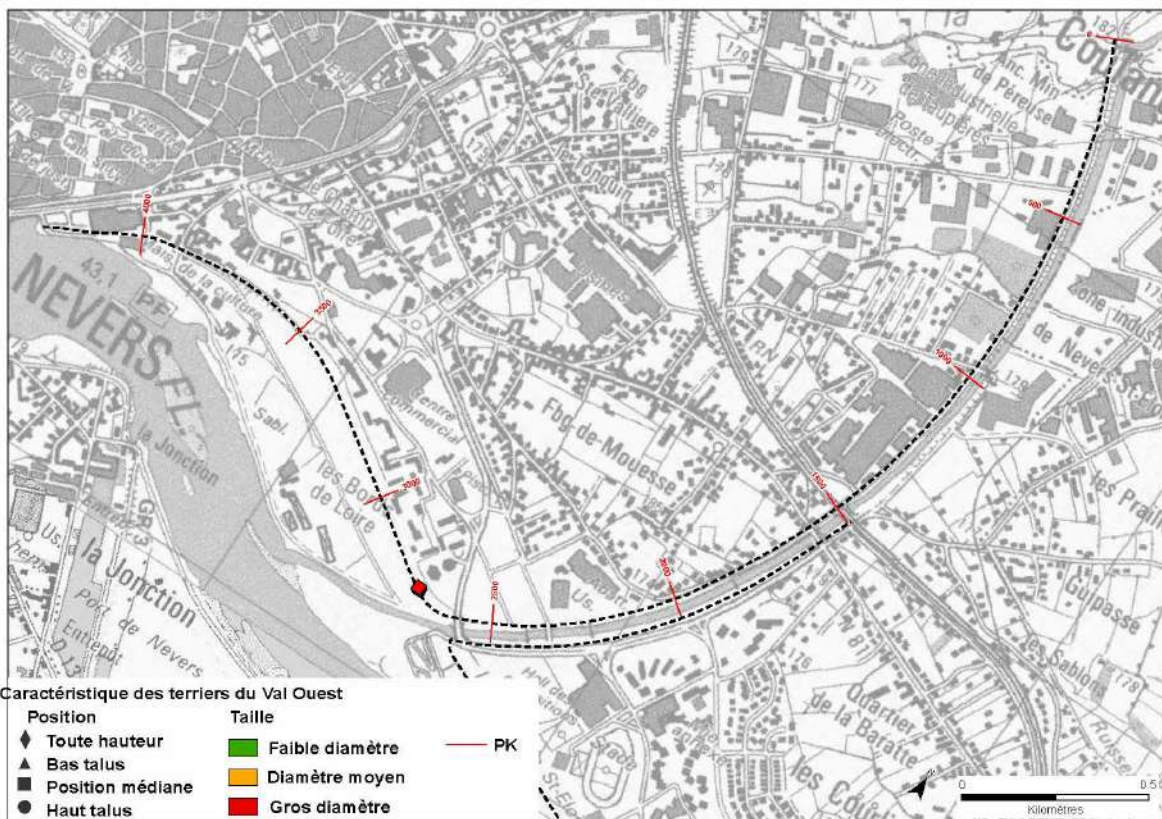
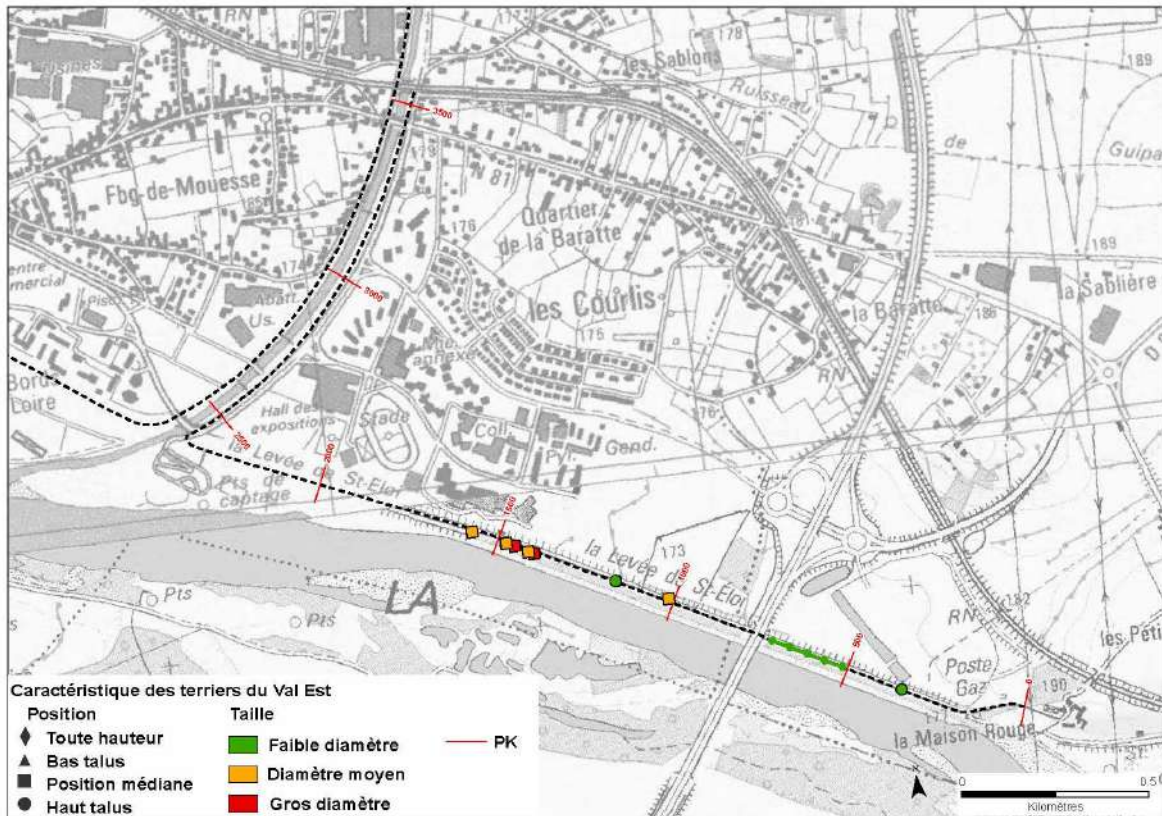




Figure 120 : Localisation, position et dimension des terriers identifiés sur le système d'endiguement des vals de Nevers

### 5.1.7.5 Autres désordres et points particuliers observés

Afin de compléter les anomalies citées précédemment, il apparaît important également de noter sur ces levées les désordres et/ou points particuliers suivants :

#### Déstructuration du parement

Il a été observé des déstructurations sur plusieurs types de parement de digue.

Elles sont susceptibles d'être des facteurs aggravant l'érosion externe en cas de surverse.

#### ❖ Parements maçonnés

D'une manière générale les perrés des digues rive droite de Nevers sont en bon état apparent.

Toutefois, il a été noté au droit du tronçon homogène VTA n°7 des déjoints et des déstructurations des pierres sur le bas du talus coté val près des logements les Bords de Loire. Ces déstructurations n'ont été observées que dans les zones où le perré était découvert (absence de terre végétale et/ou de végétation masquante).



Figure 121 : Déjoints du perré en pied de talus coté val (levée St-Eloi 1ère section)



Figure 122 : Déjoints du perré en pied de talus coté val (levée St-Eloi 1ère section)

#### ❖ Parements bétonnés

Au niveau de la levée de Saint-Eloi deuxième section, le talus coté Loire est protégé par un renforcement en béton. Celui-ci est en bon état apparent.

Il est noté toutefois un mouvement vertical par endroits ayant décalé les joints des dalles de béton.



Figure 123 : Décalage observé à la jointure de 2 dalles de béton sur talus coté Loire

Figure 124 : Décalage vertical de l'ordre de 5cm entre 2 dalles de béton sur talus coté Loire

#### ❖ Autres dégradations observées

Il est noté en haut du talus coté val sur la levée de St-Eloi 2ème section un retrait de matériaux conséquent dans l'ouvrage. Ce prélèvement semble avoir été réalisé par une pelle mécanique à l'aide d'un godet (environ 40cm de profondeur). Ces excavations ont été réalisées pour servir de fondation et socle à des panneaux indicateurs dans le cadre d'un projet de parc côté val. Le maître d'ouvrage nous a informé du comblement de ces trous par du béton.



Figure 125 : Prélèvement de matériaux en aval du pont de l'A.77



Figure 126 : Prélèvement de matériaux en amont de la station de pompage les Courlis

Après consultation auprès des services techniques de la Mairie de Nevers, il s'agit de trous en prévision de l'installation de panneaux indiquant aux piétons la présence d'un parc. A ce jour les trous ont été rebouchés par du béton, correspondant à l'emplacement du scellement de ces panneaux.

### Zones de contact avec le lit vif

La digue est en contact avec la Loire sur 1500m linéaire le long de la levée de Saint-Eloi 2° section. Toutefois le pied de talus se situe par endroits en retrait de la berge avec la présence d'enrochements libres au niveau de la berge et d'une risberme plus ou moins large.

Nota : Un pied de digue en contact vif avec la Loire est directement soumis à l'agressivité du milieu fluvial (vitesse d'écoulement, remous, chocs...). Des phénomènes d'affouillement en pied de digue peuvent notamment accélérer le processus de dégradation et créer des instabilités. Le pied de digue a alors tendance à se dégrader progressivement dans le temps et de manière plus importante lors d'épisode de crue. A terme, cela peut engendrer un risque de rupture par érosion externe. L'évaluation de ce risque et des mesures à mettre en œuvre doit passer par un diagnostic.

## 5.2 DESCRIPTION FONCTIONNELLE

### 5.2.1 Définition du niveau de protection et de sûreté d'un système d'endiguement

Trois notions importantes en matière de digues et de protection contre les inondations sont à retenir : le niveau de sûreté le niveau de protection apparent et le niveau de protection.



*Le niveau de sûreté se définit comme le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de l'ouvrage ne peut plus être considérée comme négligeable.*

*Le niveau de protection apparent 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 au-dessus du sommet de la digue ou par un déversoir.*

*Le niveau de protection est le niveau pour lequel s'engage le gestionnaire.*

La notion de sûreté renvoie au risque de rupture, la notion de protection renvoie au risque de 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 déversante 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 niveau de sûreté se définit donc comme le niveau d'eau dans le lit endigué de la Loire jusqu'auquel la probabilité événementielle de rupture de l'ouvrage peut être considérée comme négligeable.

**Dans la présente étude de dangers, le niveau de sûreté est défini en fonction du niveau d'eau maximal dans la Loire pour lequel la probabilité de rupture de l'ensemble des profils discrétisant le système d'endiguement (au pas de 50 m) est inférieure à 1%.**

- Le niveau de protection apparent se définit donc comme le niveau d'eau dans le lit endigué de la Loire à partir 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.

86

Dans le cas des levées de la Loire, le niveau de sûreté est en général inférieur au niveau de protection apparent. Cela signifie donc que le risque de rupture avant surverse ou avant fonctionnement des déversoirs ne peut être considéré comme négligeable et donc de fait que les digues ne peuvent donc être considérées comme parfaitement fiables. **C'est pourquoi, pour ne pas entretenir l'illusion d'une protection efficace pour un tel niveau d'eau dans le fleuve, on parle de niveau de protection apparent. ;**

Les 4 schémas suivants illustrent ces deux notions et les différentes configurations possibles en termes de fiabilité des systèmes d'endiguement.



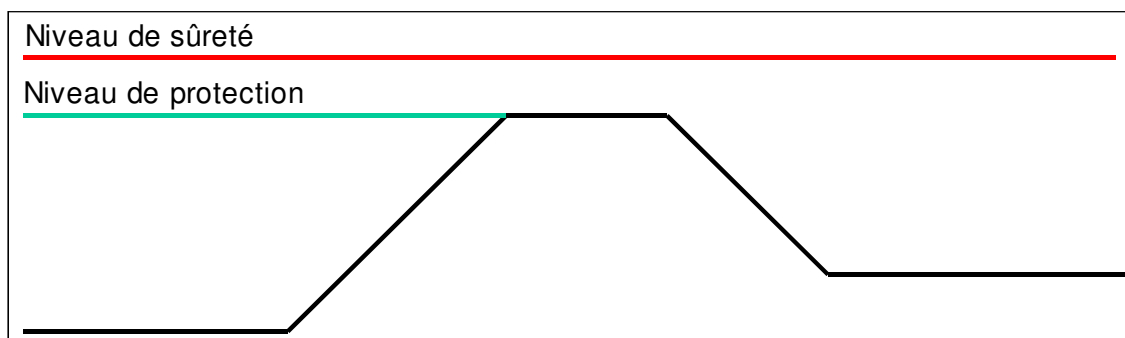


Figure 127 : Digue fiable

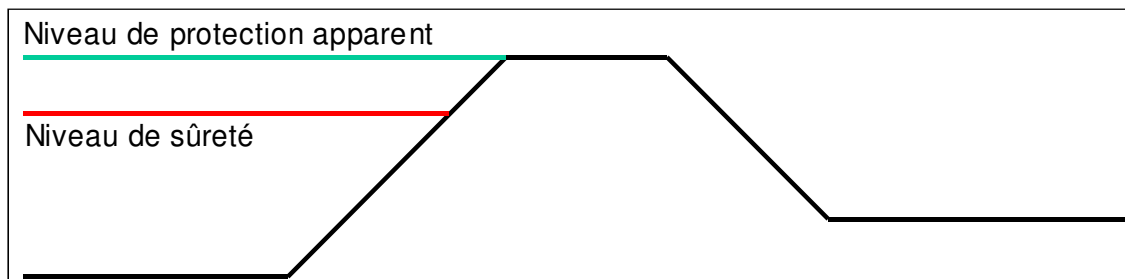


Figure 128 : Digue non fiabilisée, non équipée d'un déversoir (cas des levées constituant le système d'endiguement du val de Nevers)

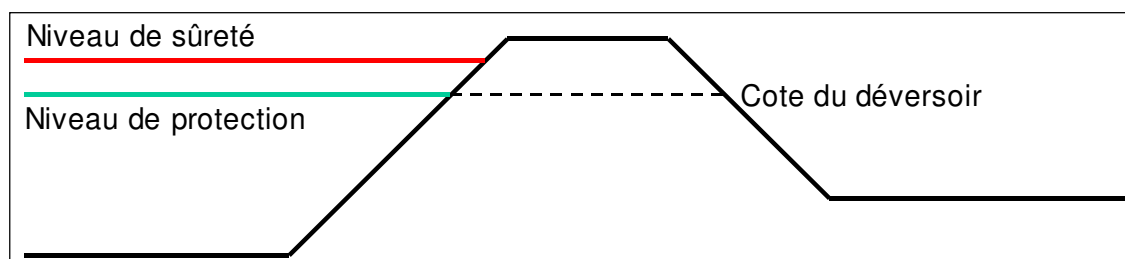


Figure 129 : Digue partiellement fiabilisée, équipée d'un déversoir

**Nota :** le niveau de sûreté, bien que supérieur au niveau de protection, calé sur la cote du déversoir, reste en-deçà de la crête de la digue.

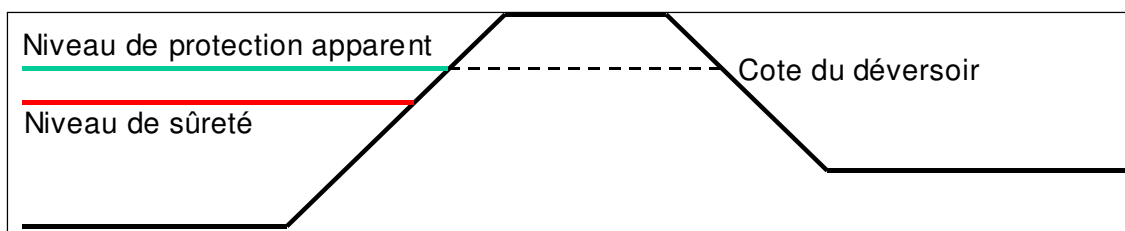


Figure 130 : Digue non fiabilisée, équipée d'un déversoir

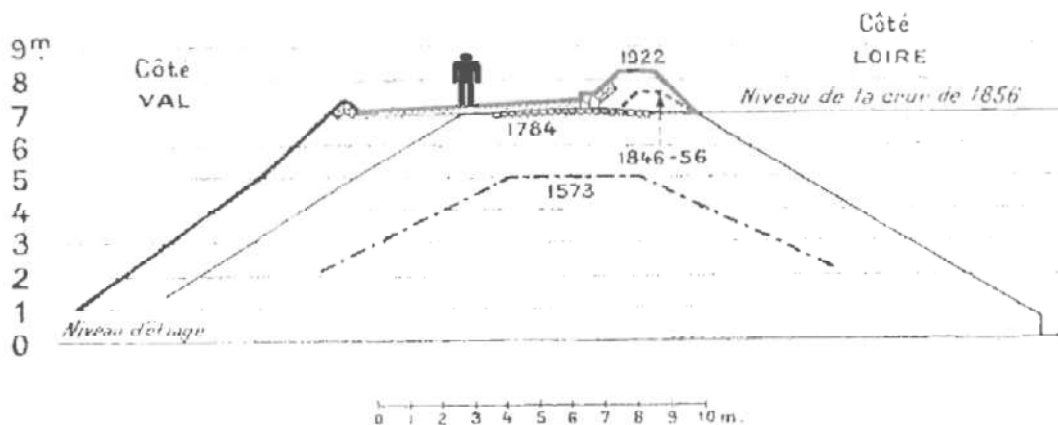
**Nota :** le niveau de protection n'est qu'apparent car le niveau de sûreté lui reste inférieur.



## 5.2.2 Objectif de protection historique du système d'endiguement du Val de Nevers

Les ouvrages anciens, tels que les digues de la Loire, n'ont pas été conçus dans les règles de l'art actuelles, où le calcul aux états limites ultimes garantit la résistance d'une digue neuve en tout point jusqu'à la surverse, voire au-delà. Leur conception résulte d'un savoir-faire déterminé par l'expérience et l'observation des phénomènes.

Comme la quasi-totalité des levées de la Loire, les levées constitutives du système d'endiguement du Val de Nevers sont des ouvrages très anciens, datant souvent de plusieurs siècles, érigés par exhaussements successifs du remblai de terre (d'où leur nom de « levée ») après chaque crue destructrice (cf. schéma présenté en figure suivante).



88

Figure 131 : évolution du profil de la levée de Loire depuis le XVIe siècle jusqu'au début du XXe siècle (source R. Dion – Le Val de Loire 1934)

La stratégie des différents aménageurs a été de chercher à rendre les digues insubmersibles, sans jamais y parvenir véritablement. Au XVIIe siècle, pour remédier à leur rupture, les ingénieurs avaient mis en place plusieurs déchargeoirs, comme à Gien (Nièvre), Blois (Loir-et-Cher), Limeray (Indre-et-Loire), mais ce n'est qu'après les trois grandes crues du XIXe siècle (1846-1856-1866) qu'on a pris conscience de l'impossibilité de réaliser des digues insubmersibles et qu'on a systématisé la construction de déversoirs (Mémoire sur les ouvrages de défense contre les inondations, COMOY, 1868).

Plutôt que de continuer à faire croître la hauteur des levées, ce qui a toujours eu pour effet d'augmenter les hauteurs d'eau en crue ainsi que les risques de rupture, le principe du déversoir consiste à abaisser une section de digue de façon à sauvegarder les autres et par là-même le rôle de protection qu'elles sont supposées assurer.

Suite aux grandes crues du XIXe siècle, la construction de déversoirs a été décidée sur certains vals, de façon à protéger les digues situées en aval pour des crues identiques ou supérieures à celle de décembre 1825 (plus forte crue connue en 1868 qui n'ait pas rompu les levées).

Le système d'endiguement du val de Nevers ne dispose pas de déversoir.

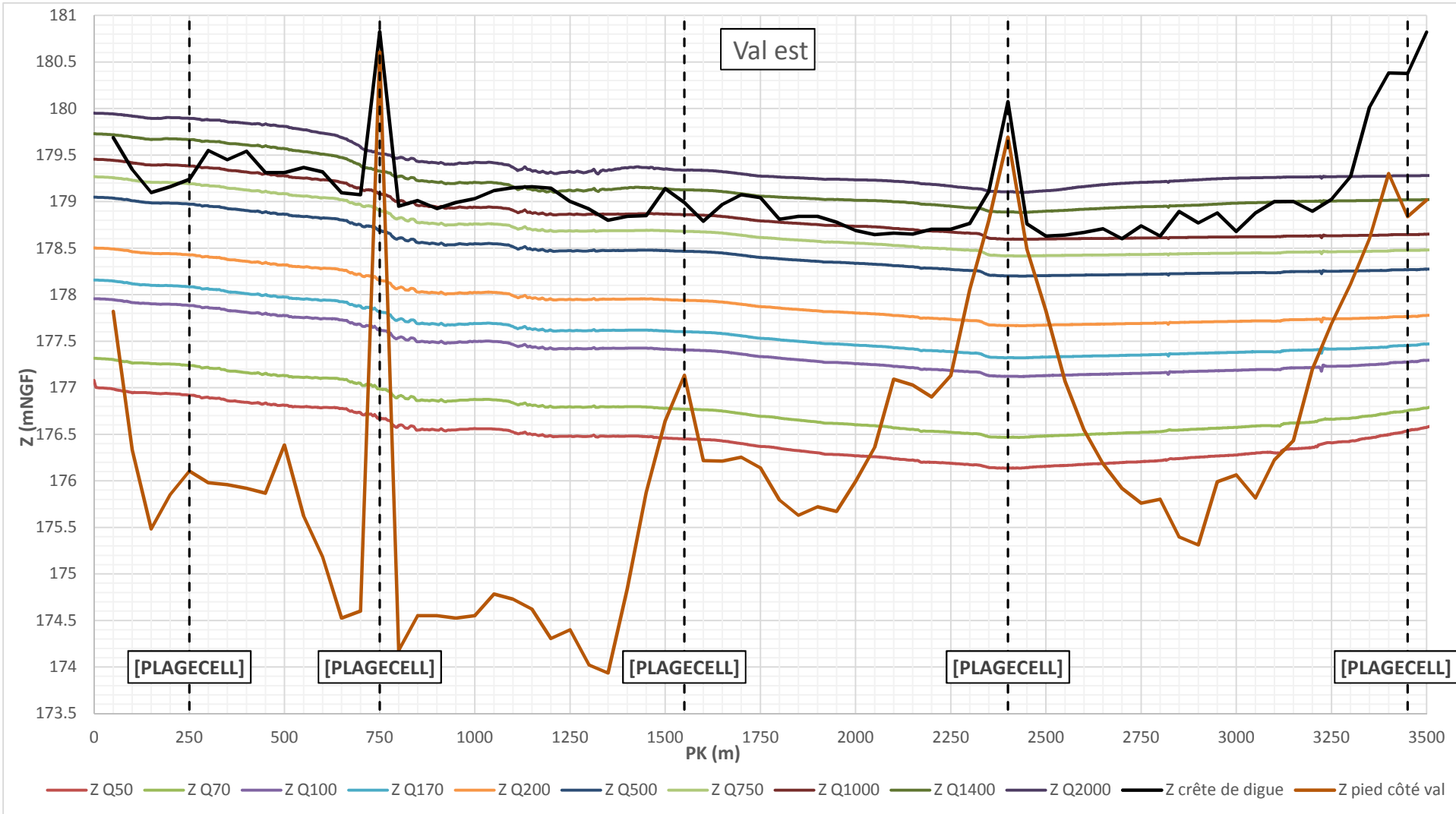
### 5.2.3 Niveau de protection apparent du val de Nevers

La détermination des lignes d'eau au sein du lit endigué de la Loire a été conduite avec l'aide d'un modèle hydraulique 2D construit avec le logiciel Telemac. Le modèle a été construit par le bureau d'étude ISL pour être utilisé dans le cadre des études de dangers des digues de classe B et la révision du PPRi du val de Nevers. Il intègre la Loire de Imphy au bec d'Allier et la Nièvre depuis Pont Saint Ours. Le calage a été effectué sur 5 crues historiques.

Dans le souci de retenir une approche sécuritaire, la détermination des lignes d'eau est faite en supposant qu'aucune brèche ne se produit sur les systèmes d'endiguement situés en amont ou en aval du val de Nevers.

La définition du niveau de protection apparent repose sur la comparaison du profil en long en crête du système d'endiguement avec les lignes d'eau modélisées pour les 10 occurrences de crue définies au §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, afin d'identifier les occurrences, lieux et niveaux de surverse.

Comme expliqué au chapitre 5.1.2, la configuration du système d'endiguement et de la zone protégée conduit à séparer le secteur en deux sous-vals en partie indépendants situés de part et d'autre du canal de dérivation de la Nièvre : les vals est et ouest. En termes de niveaux de protection, il en résultera deux niveaux distincts associés chacun à un sous-val.



90

Figure 132 : Lignes d'eau, profils en long du niveau de crête et de pied de digue – Val est

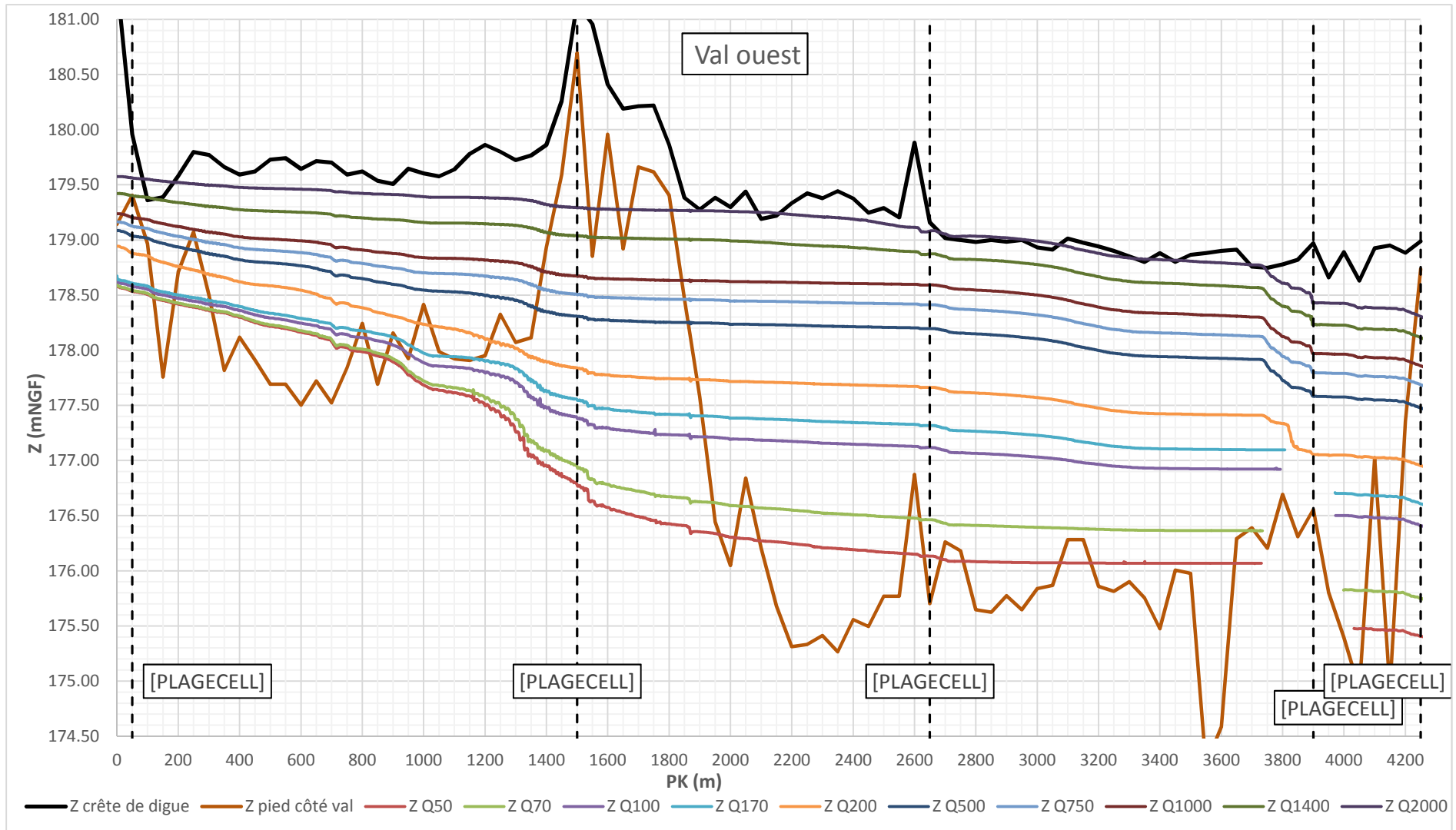


Figure 133 : Lignes d'eau, profils en long du niveau de crête et de pied de digue – Val ouest



## NIVEAU A L'ECHELLE DE NEVERS

Le tableau suivant donne les hauteurs d'eau à l'échelle de Nevers selon la période de retour de la crue.

T (ans)	Niveau d'eau (mNGF)	Hauteur d'eau (m)
50	175.60	4.10
70	175.92	4.42
100	176.55	5.05
170	176.77	5.27
200	177.08	5.58
500	177.61	6.11
750	177.84	6.34
1000	178.02	6.52
1400	178.28	6.78
2000	178.46	6.96

Tableau 11 : Niveaux et hauteurs d'eau à l'échelle de Nevers pour différentes périodes de retour de crue (extrait du modèle hydraulique)

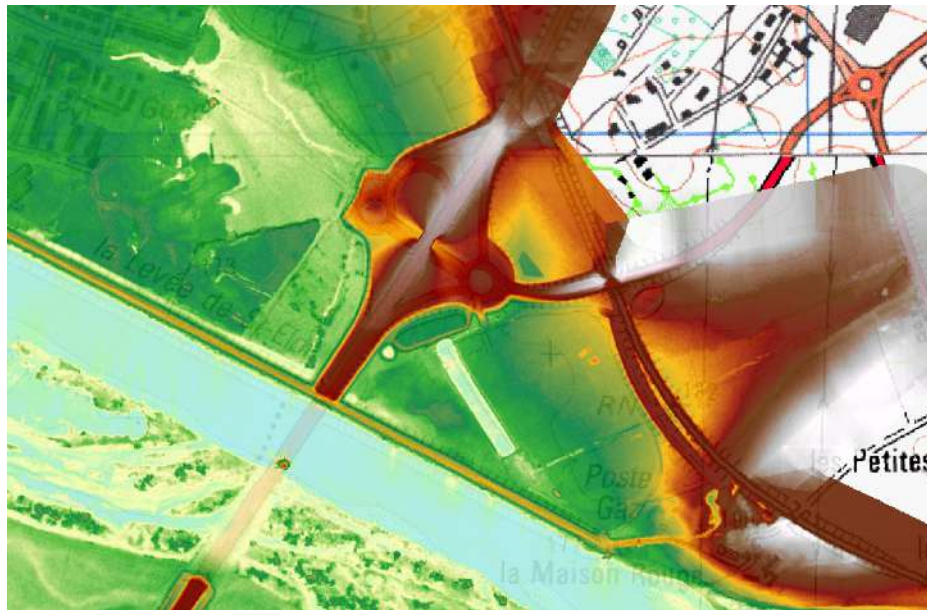
## VAL EST

De l'analyse de ces profils en long, il ressort que pour une crue d'occurrence T=750 ans, l'eau pénètre dans le val au niveau de la levée de Maison Rouge (Pk150) avec une lame d'eau d'environ 11cm tandis que pour T=500 ans, en ce même point, la revanche disponible est de 11cm.

92 Compte tenu de ces constats, par extrapolation, il est considéré que l'eau pénètre dans le val au niveau de maison Rouge dès la crue d'occurrence T=650 ans environ, correspondant à une hauteur d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 6.25m, soit 177.75 NGF.

Il s'agit d'un point bas clairement marqué. Sur le reste du linéaire, le niveau de la crête est homogène au regard de la ligne d'eau. La surverse a lieu pour une crue d'occurrence T=1000 ans en plusieurs points du linéaire. Cette surverse débute en amont immédiat de l'autoroute A77.

Le remblai de l'autoroute A77 constitue un ouvrage secondaire décrit au chapitre 5.1.2.4. Il sépare une zone non habitée du val en amont d'une zone urbanisée du val à l'aval. Selon la définition stricto sensu, le niveau de protection apparent est défini sur l'ensemble du système d'endiguement sans prendre en compte les ouvrages secondaires. Cependant, dans ce cas, et en considérant une tenue du remblai de l'A77 en cas de surverse dans le casier amont, il faudrait considérer la crue d'occurrence T=1000 ans.



**A ce jour, le niveau d'eau correspondant à une crue de période de retour 650 ans doit être considérée comme le niveau de protection apparent du Val de Nevers Est. Cela correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 6.25m, soit 177.75 NGF.**

### VAL OUEST

L'analyse des lignes d'eau permet de localiser la première surverse en amont du canal de dérivation de la Nièvre à proximité de l'ouvrage de répartition de Coulanges. Elle a lieu pour une crue d'occurrence  $T=1400$  ans en Loire et  $T=100$  ans en Nièvre. Il s'agit d'un point bas localisé sur un linéaire de 100m.

Le reste du val offre une protection plus homogène de l'ordre de  $T=2000$  ans en Loire. Pour cette occurrence, des surverses en plusieurs points sont constatées sur la levée de Saint Eloi qui borde la Loire.

**Le niveau d'eau correspondant à la crue  $T=1400$  ans en Loire et  $T=100$  ans en Nièvre peut être considérée comme le niveau de protection apparent du Val de Nevers Ouest. Cela correspond à un débit de pointe de l'ordre de  $5400 \text{ m}^3/\text{s}$  à la confluence Loire/Nièvre, soit un niveau d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 6.78m, soit 178.28 NGF.**

## 5.2.4 Principaux résultats de l'analyse fonctionnelle hydraulique

De par sa configuration et ses caractéristiques, le fonctionnement hydraulique du système d'endiguement du Val de Nevers est relativement simple. Il est synthétisé dans le tableau suivant :

Elément du système d'endiguement ou de son environnement	Type	Fonction hydraulique	Fonctionnement
Levées en remblai	Tronçon	Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée	Passif



Station de pompage	Ponctuel	Assurer la vidange et le ressuyage du val en cas d'entrée d'eau dans la zone protégée	Actif
--------------------	----------	---	-------

Tableau 12 : récapitulatif des éléments du système d'endiguement ou de son environnement et fonctions hydrauliques associées – Val est

Élément du système d'endiguement ou de son environnement	Type	Fonction hydraulique	Fonctionnement
Levées en remblai	Tronçon	Empêcher l'entrée d'eau dans la zone protégée	Passif
Ouvrage de la Nièvre à Coulange	Ponctuel	Réguler les débits des cours d'eau en fonction de la situation hydrologique	Actif
Porte de Médine	Ponctuel	Empêcher l'entrée d'eau de la Loire dans la zone protégée	Actif
94 Station d'exhaure	Ponctuel	Assurer la vidange et le ressuyage du val en cas d'entrée d'eau dans la zone protégée	Actif

Tableau 13 : récapitulatif des éléments du système d'endiguement ou de son environnement et fonctions hydrauliques associées – Val ouest

Comme indiqué dans ce tableau, la vidange et le ressuyage du val en cas d'entrée d'eau dans la zone protégée se ferait par l'intermédiaire de stations de refoulement.

### 5.2.5 Caractérisation de l'inondation pour le niveau de protection

Le niveau de protection fixée par le gestionnaire correspond à une crue de période de retour 200 ans.

Pour cette occurrence de crue, les val Est et Ouest ne sont pas inondés comme l'illustrent les figures suivantes.



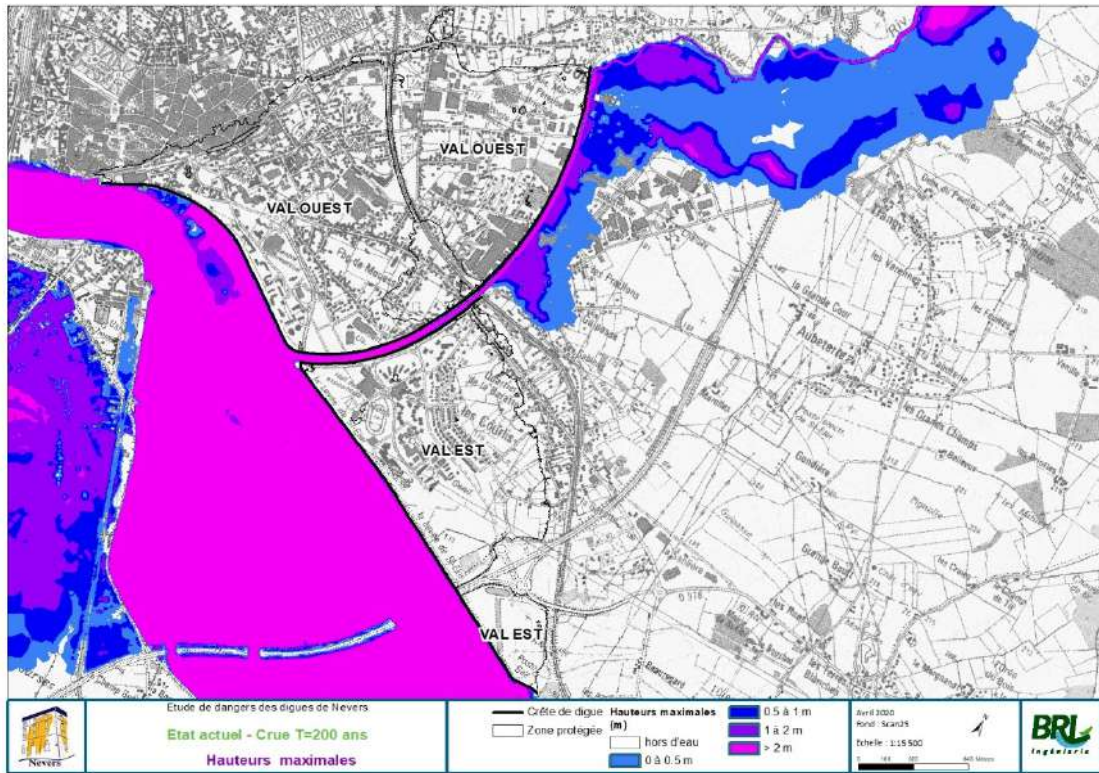


Figure 134 : Hauturs maximales en situation actuelle pour la crue de période de retour 200ans

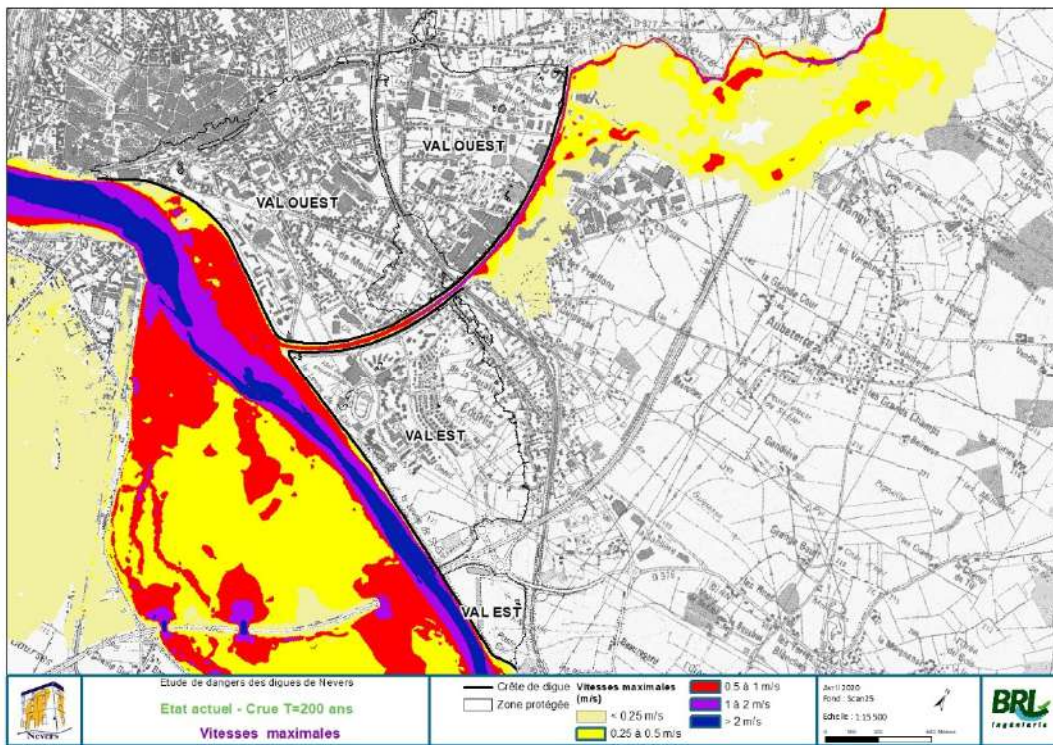


Figure 135 : Vitesse maximales en situation actuelle pour la crue de période de retour 200ans



## 5.3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE

### 5.3.1 La Loire et la Nièvre

La Loire et la Nièvre représentent les principales interfaces du système d'endiguement du Val de Nevers et son principal facteur d'agression. L'étude morphodynamique a notamment permis de mettre en évidence les principales actions de la Loire sur les levées constituant ce système d'endiguement (cf. chapitre 6).

Le val de Nevers a la particularité de se trouver au niveau d'une confluence, en l'occurrence celle de la Loire et de la Nièvre. Le lit mineur de la Loire sur le secteur d'étude présente une largeur homogène de l'ordre de 200m. La sinuosité du cours d'eau est faible et aucun bras secondaire en eau n'est recensé.

Comme le montre la Figure 136 ci-après, le champ majeur est davantage étendu en rive gauche qu'en rive droite. Sa largeur se réduit fortement en face du val ouest du fait de la présence de systèmes d'endiguement en rive gauche (cf. chapitre 5.3.2).

Des ouvrages impactent les écoulements en champ majeurs :

- Le remblai de l'autoroute A77 d'une longueur de 1380m en face du PK750 du val est. Il enjambe le lit mineur grâce à un pont d'une largeur de 400m, deux ouvrages de décharges de 60m chacun permettant d'assurer la transparence en rive gauche dans les limites du système endigué ;
- Le pont de Nevers à l'extrémité aval de la levée de Médine composant le système du val ouest. Il a la particularité de posséder un radier qui, compte tenu de sa cote par rapport au fond du lit mineur, joue un rôle de seuil à l'étiage et pour les crues faibles ;
- Le pont de la voie ferrée à 500m en aval du pont de Nevers.

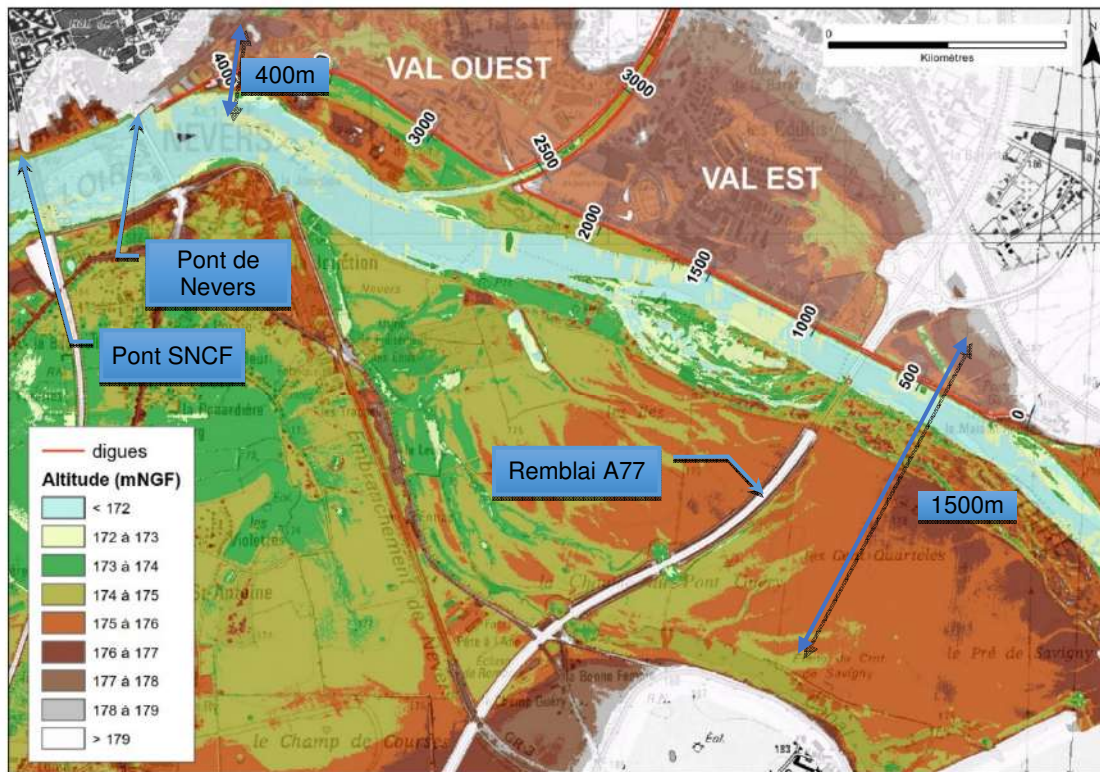


Figure 136 : Configuration du lit de la Loire sur le linéaire des systèmes d'endiguement étudiés

Comme indiqué au chapitre 5.1.2, le val peut être décomposé en deux vals en partie indépendants séparés par le canal de dérivation de la Nièvre endigué sur ses deux rives : les vals est et ouest.

97

### VAL EST

En terme de configuration de la berge de la Loire ou de la Nièvre à proximité du système d'endiguement du val est, on peut décomposer le linéaire en quatre parties :

- La levée de Maison Rouge à l'amont sur 150m éloignée de la berge de la Loire de 70m au début et s'approchant progressivement de cette dernière. On note la présence d'une station de détente de gaz côté Loire à proximité de la digue.
- La levée de Saint Eloi 2<sup>ème</sup> section sur 1450m (entre le PK200 et le PK1600) où le pied de digue est proche voir confondu avec la berge de la Loire. La largeur de franc bord y est partout inférieure à 15m. On note la présence du remblai de l'autoroute A77 en champ majeur au droit du PK750.
- La levée de Saint Eloi 2<sup>ème</sup> section sur 800 m (PK1600 au PK2400) qui s'écarte progressivement de la berge pour atteindre une largeur de plus de 150m au niveau de la confluence avec la Nièvre. Un circuit de karting est implanté dans le champ majeur en rive droite.
- La digue du canal de dérivation en rive gauche sur 1100m (PK2400 au PK3500) qui est longée en pied côté canal par chemin sur 800m en aval. La largeur de franc bord est globalement inférieure à 15m.

Sur l'ensemble du val est, un linéaire de 2650m (sur les 3500m que comporte le système d'endiguement) présente une largeur de franc bord inférieure à 15m. En outre, sur 1250m, le pied de digue est considéré comme confondu à la berge du cours d'eau. La faible largeur du franc bord est considérée comme insuffisante pour garantir la pérennité des berges et des talus côté Loire et Nièvre en cas de crue.

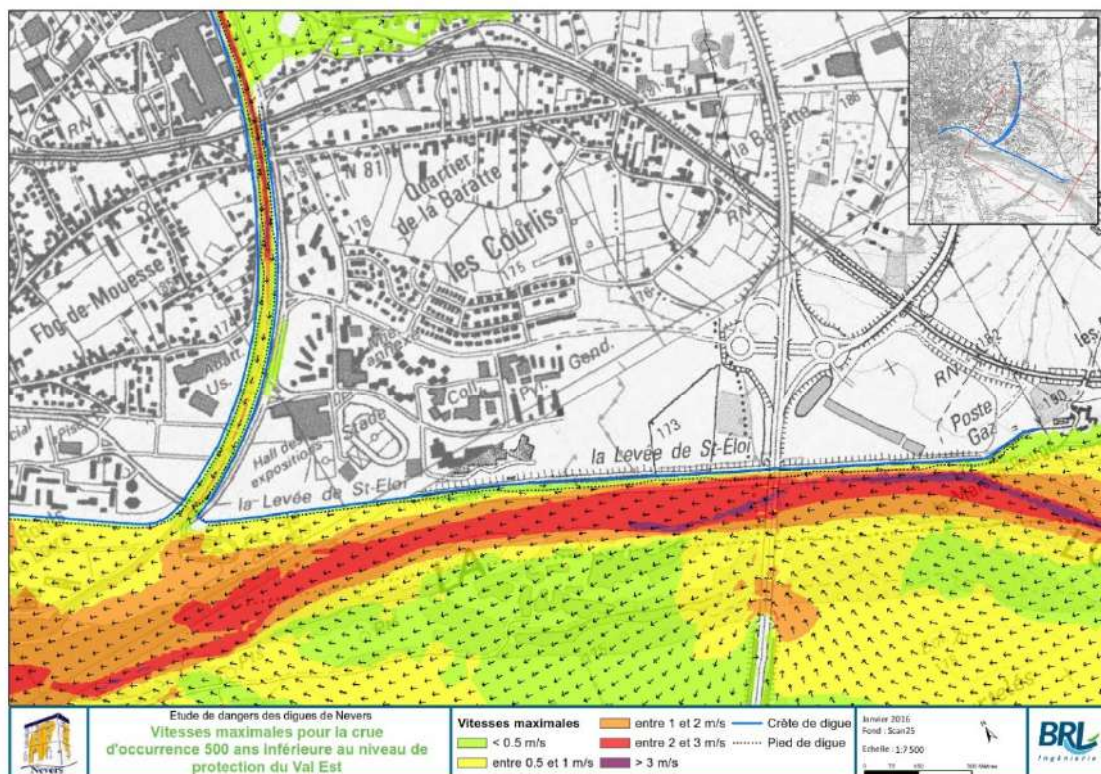


Figure 137 : Vitesses côté Loire pour la crue T=500 ans inférieure au niveau de protection apparent du val est

98

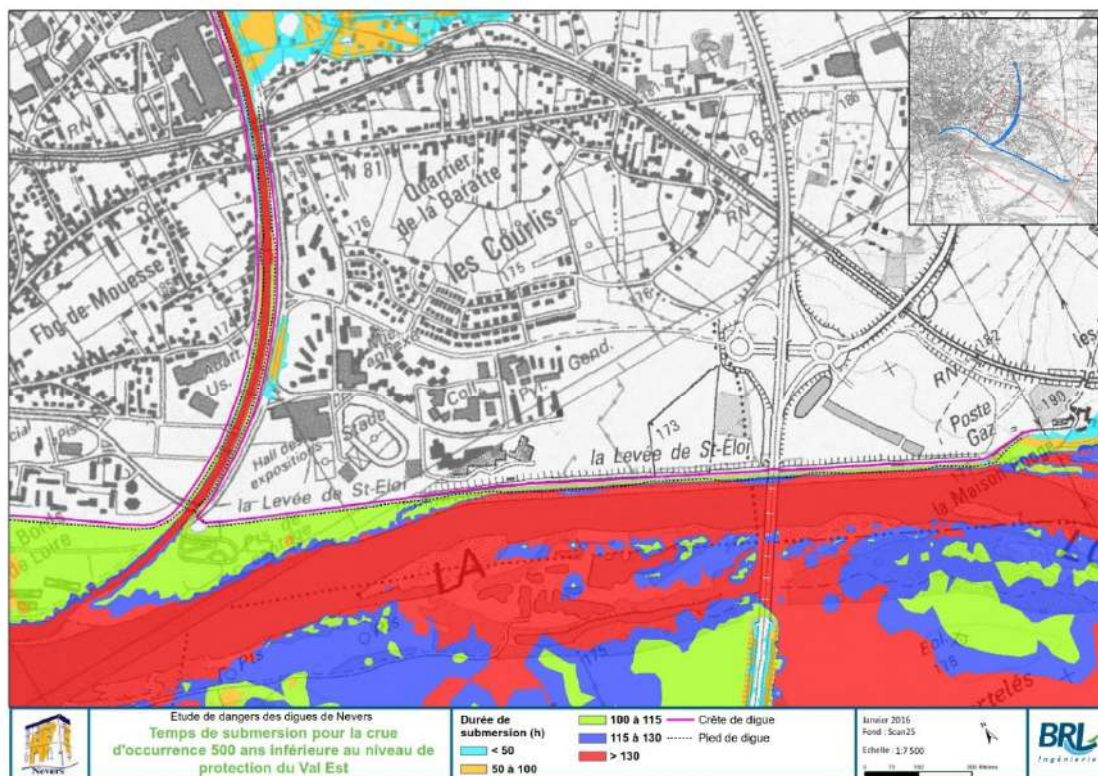


Figure 138 : Durée de submersion côté Loire pour la crue T=500 ans inférieure au niveau de protection apparent du val est

La proximité de la digue et du lit mineur entre les PK200 et PK1500, alliée à la contraction de la section d'écoulement due au remblai de l'A77, génère des vitesses élevées en pied de l'ordre de 2 à 3 m/s sur ce secteur (cf. Figure 137 ci-avant). Les lignes de courant sont globalement parallèles au linéaire de digue, ce qui écarte le risque de courants sécants. Sur le



reste du linéaire bordé par la Loire, les vitesses sont inférieures à 1 m/s, voir 0.5 m/s en amont au niveau de maison rouge.

Au niveau du canal de dérivation, les vitesses sont fortes dans l'axe du lit en eau mais ont tendance à diminuer rapidement vers le pied de digue (parfois confondu avec la berge). On constate une différence marquée entre

- le tronçon situé entre la confluence et le seuil (du PK2400 à PK3150) où les vitesses sont moyennes sous l'influence du remous de la Loire ;
- le tronçon situé entre le seuil et la voie ferrée (PK3150 au PK 3500) qui présente de fortes vitesses.

En termes de durée de submersion du pied de digue pour la crue T=500 ans, les valeurs sont souvent comprises entre 100 et 115 h sauf sur le linéaire de lit vif de la Loire où la submersion est plus longue.

Vis-à-vis de la protection des berges et talus, un parement bétonné est localisé sur la levée de Saint Eloi 2<sup>ème</sup> section. Sa cote basse se situe en haut de la risberme avant la berge de la Loire. Au niveau de la berge, la présence d'enrochements a été relevée sur le linéaire de lit vif, soit entre les PK200 et PK1600 (cf. §5.1.6 *Profils en travers type des ouvrages*).



## VAL OUEST

En termes de configuration de la berge de la Loire ou de la Nièvre à proximité du système d'endiguement du val ouest, le linéaire peut se décomposer en trois parties :

- La digue du canal de dérivation en rive droite sur 2650m (PK0 au PK2650) qui est longée en pied côté canal par chemin sur 1000m en aval. La largeur de franc bord est globalement inférieure à 15m.
- La levée de Saint Eloi 1<sup>ère</sup> section et le début de la levée de Médine sur 1250m (entre le PK2650 et le PK3900) qui reste éloignée des berges de la Loire de plus de 250m environ sauf en aval où la levée se rapproche pour se trouver à 80m de la berge au droit de la porte de Médine
- La levée de Médine sur 350m (entre les PK3900 et PK4250) qui se confond avec des infrastructures urbaines et se trouve plus près de la berge.

Sur l'ensemble du val ouest, un linéaire de 2850m (sur les 4250m que comporte le système d'endiguement) présente une largeur de franc bord inférieure à 15m. Ce linéaire de lit vif correspond presque exclusivement au canal de dérivation. En outre, sur 1750m, le pied de digue est considéré comme confondu avec la berge du cours d'eau. La faible largeur du franc bord est considérée comme insuffisante pour garantir la pérennité des berges et des talus côté Loire et Nièvre en cas de crue

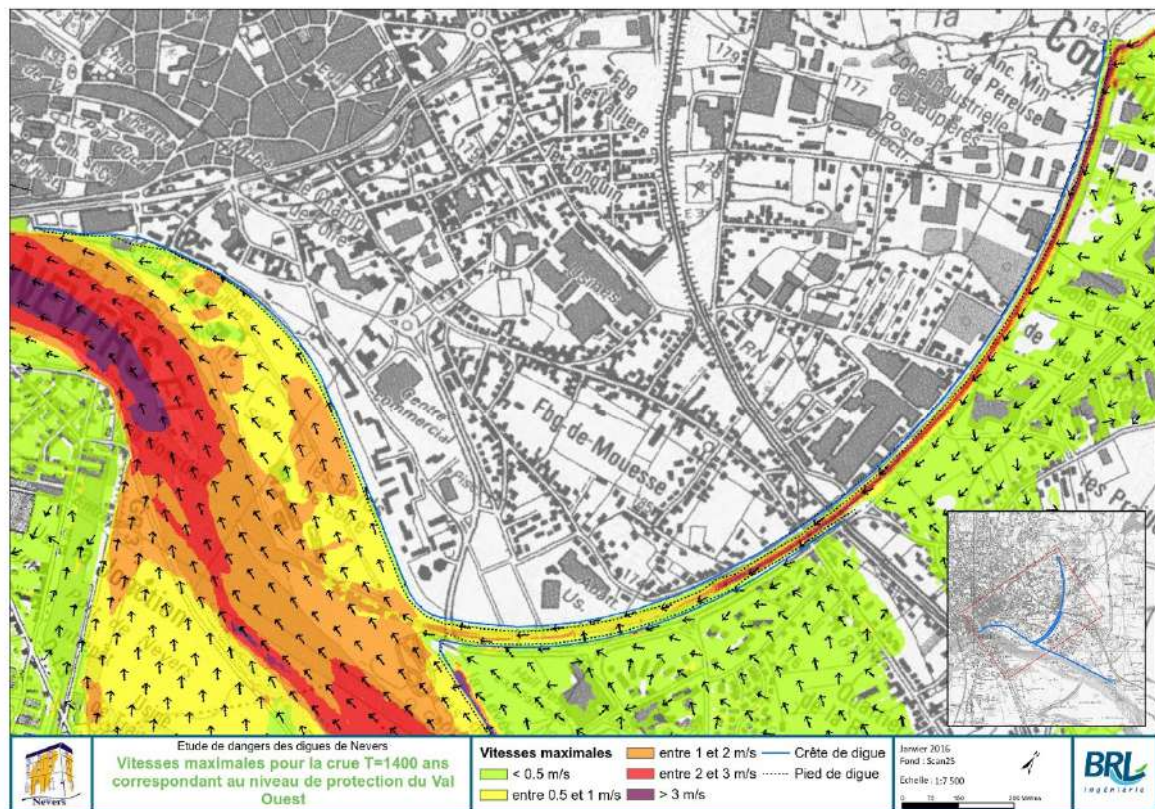




Figure 139 : Vitesses côté Loire pour la crue T=1400 ans correspondant au niveau de protection apparent du val ouest

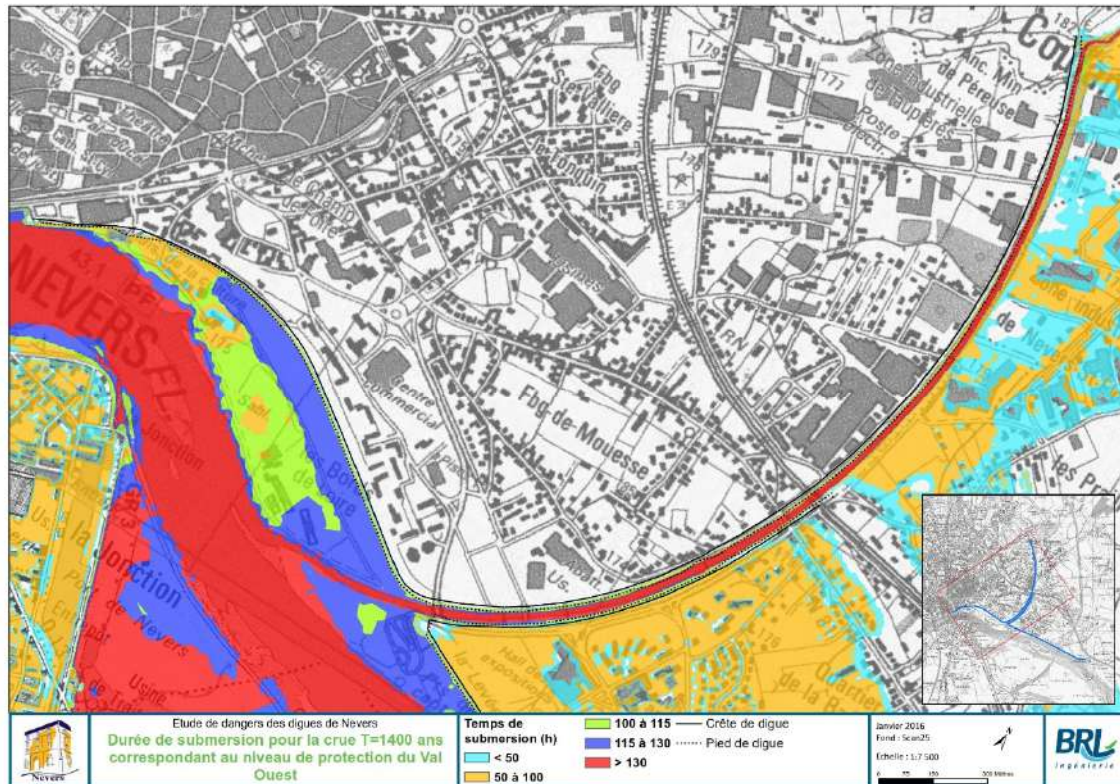


Figure 140 : Durée de submersion côté Loire pour la crue T=1400 ans correspondant au niveau de protection apparent du val ouest

Les vitesses des écoulements au niveau du canal de dérivation sont semblables à celles décrites pour le val est ci-avant. A l'interface avec la Loire à partir du PK2650, l'éloignement du lit mineur assure des vitesses plus faibles sur le pied de digue que celle constatées pour le val est. Ainsi, les vitesses atteignent au maximum 1 m/s à part en aval de la levée de Médine à l'approche du pont. Les lignes de courant sont globalement parallèles à la levée à l'exception de l'aval vers la maison de la Culture où le courant est davantage sécant.

En termes de durée de submersion du pied de digue pour la crue T=1400 ans, les valeurs sont souvent comprises entre 115 et 130 h sauf en aval où la levée de Médine est submergée pendant un peu plus de 50h seulement.

Vis-à-vis de la protection des Nevers berges et talus, un parement maçonné est implanté sur la levée de Saint Eloi 1<sup>ère</sup> section et le début de la levée de Médine jusqu'à la porte du même nom. Ensuite la configuration est plus complexe compte tenu de l'insertion dans la zone urbaine (cf. §5.1.6 Profils en travers type des ouvrages).



### 5.3.2 La rive gauche de la Loire

Le champ majeur endigué en rive gauche de la Loire en face de notre secteur d'étude est globalement étendu bien qu'il est tendance à se réduire vers l'aval (cf. Figure 136 ci-avant).

Un ensemble de systèmes d'endiguement domaniaux présents en rive gauche ont fait l'objet d'une étude de dangers réalisée par le bureau d'étude Egis Eau (décembre 2015) pour le compte de la DDT58. Il sera rappelé ici seulement les caractéristiques générales et les principaux éléments pouvant avoir une influence sur la présente étude de danger.

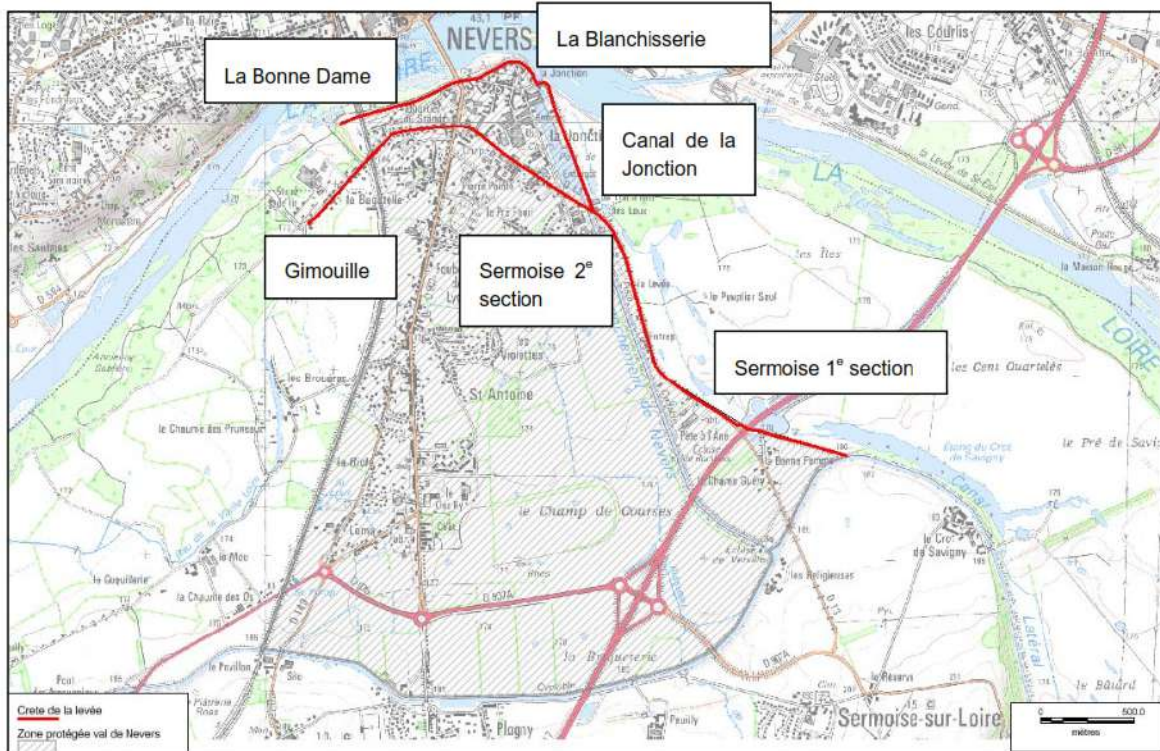


Figure 141 : Composition du système d'endiguement en rive gauche de la Loire à Nevers (EDD rive gauche, EGIS, 2015)

Le système de protection en rive gauche de la Loire s'étend sur 5,9 km. Il se compose de six levées dont une ramification :

- les levées de Sermoise 1ère section,
- du canal de la Jonction,
- de la Blanchisserie,
- de la Bonne Dame,
- une ramification formée par la levée de Sermoise 2ème section et la levée de Gimouille.



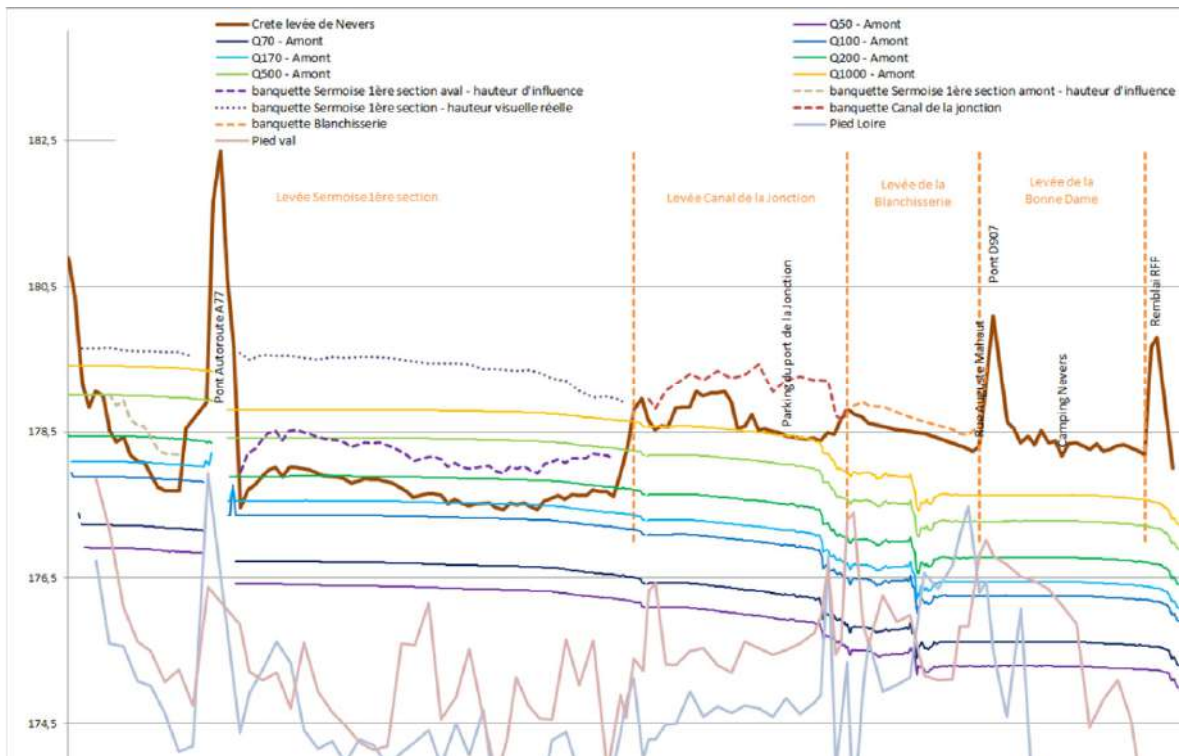


Figure 142 : extrait du profil en long des digues, banquettes et lignes d'eau (EDD rive gauche, EGIS, 2015)

En analysant le graphique ci-dessus et les mécanismes d'inondation, il ressort que :

- L'inondation du val commence par remous à l'aval du pont de la SNCF à partir de l'occurrence  $T=20$  à  $T=50$  ans. La hauteur d'eau moyenne résultante du remous pour la crue 200 ans est de 2m ;
- Le niveau de protection apparent est, en considérant la « hauteur d'influence » de la banquette, le niveau de la crue  $T=200$  ans.

103

Le niveau de protection apparent  $T=500$  ans est inférieur à ceux des vals est et ouest en rive droite objets de notre étude. Par conséquent, la surverse en rive gauche se déclencherà, a priori, avant la surverse en rive droite. Il est donc envisageable qu'une brèche se forme en rive gauche et ait des conséquences sur le niveau en Loire avant la surverse en rive droite.

L'étude Egrian comporte des scénarios de brèche sur les levées de Sermoise pour les occurrences 170 et 500 ans (scénarios B et D). Comme le montre les figures reproduites ci-après, les impacts en lit mineur au droit du système d'endiguement rive droite sont pour les deux scénarios de l'ordre de 10 à 25 cm.

Par conséquent, une brèche en rive gauche ayant lieu avant le déclenchement d'une brèche en rive droite, situation probable compte tenu du niveau de protection apparent et de la hauteur d'influence de la banquette, diminuerait le niveau en Loire et donc les sollicitations sur le système d'endiguement en rive droite.

Cependant, une éventuelle diminution de la sollicitation hydraulique ne sera pas prise en compte dans l'étude de dangers rive droite afin de se placer dans une position sécuritaire et maximiser les contraintes.

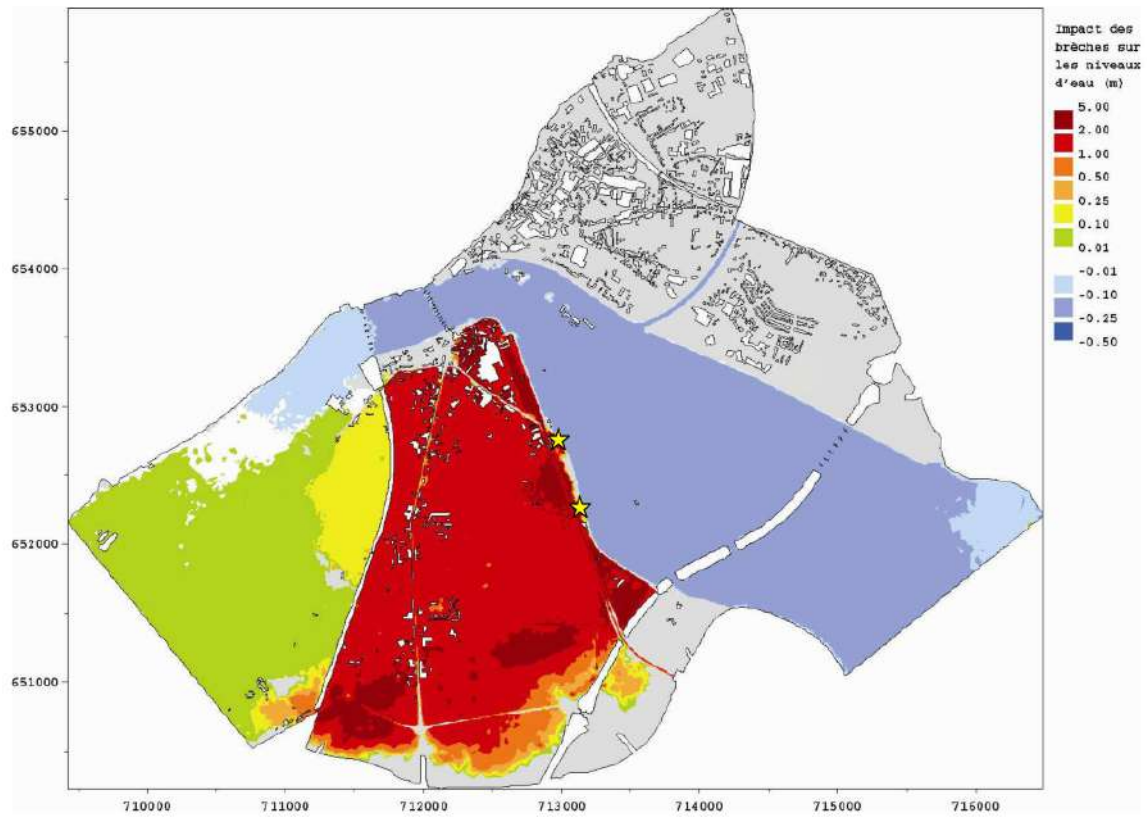


Figure 143 : carte d'impact du scénario de brèche B – crue 170 ans (EGRIAN, ARTELIA)

104

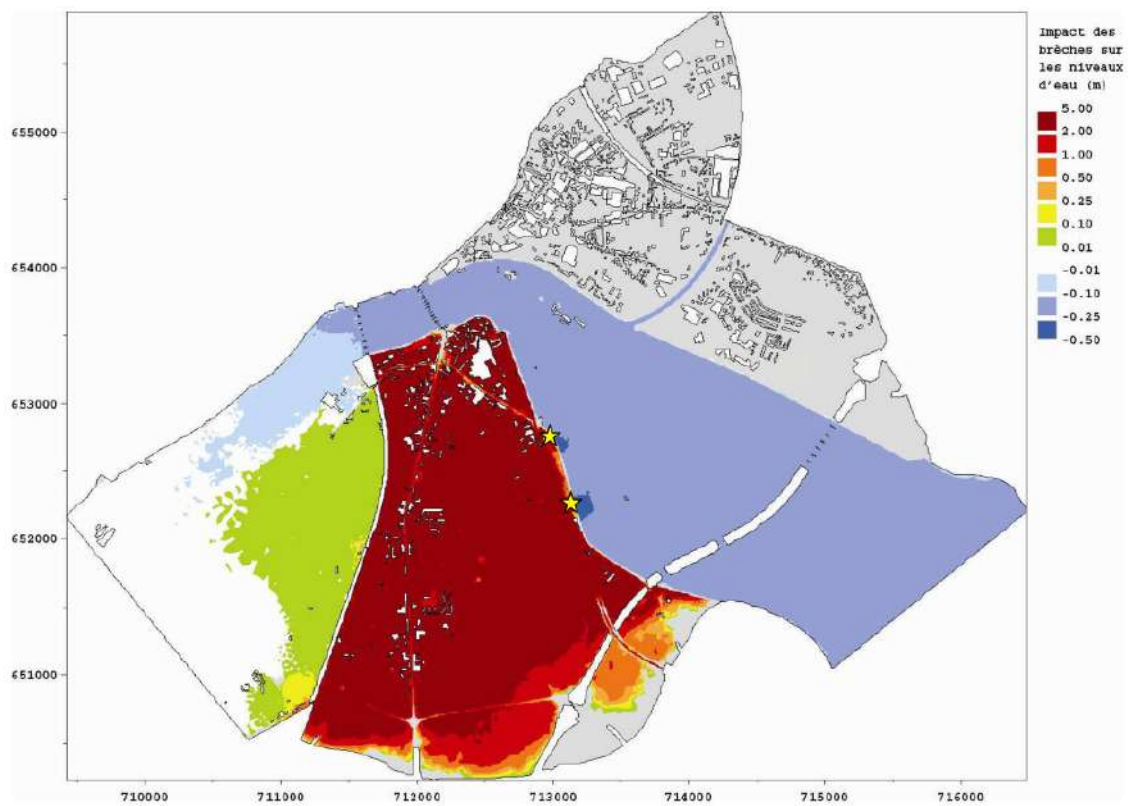


Figure 144 : carte d'impact du scénario de brèche D – crue 500 ans (EGRIAN, ARTELIA)



### 5.3.3 Raccordements amont et aval

#### VAL EST

Le système d'endiguement du Val est de Nevers se raccorde en amont au coteau, au niveau du lieu-dit de Maison Rouge.

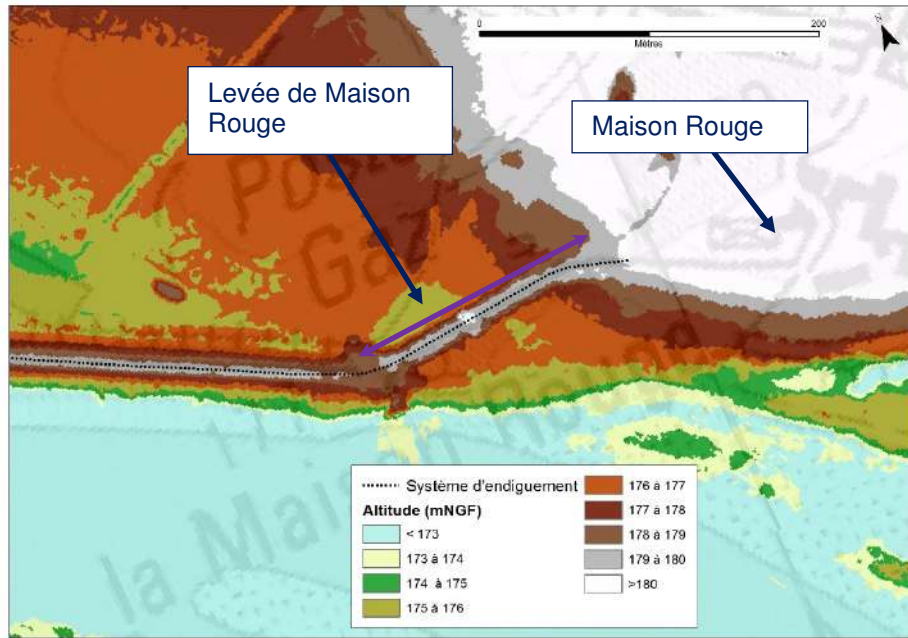


Figure 1 45 : Extrait du MNT au niveau du raccordement amont du système d'endiguement du val est de Nevers



Figure 1 46 : Levée de Maison Rouge

A l'extrémité aval, le système d'endiguement s'interrompt progressivement en se connectant à la voie ferrée dont le tracé suit un tertre naturel légèrement surélevé par rapport au val.

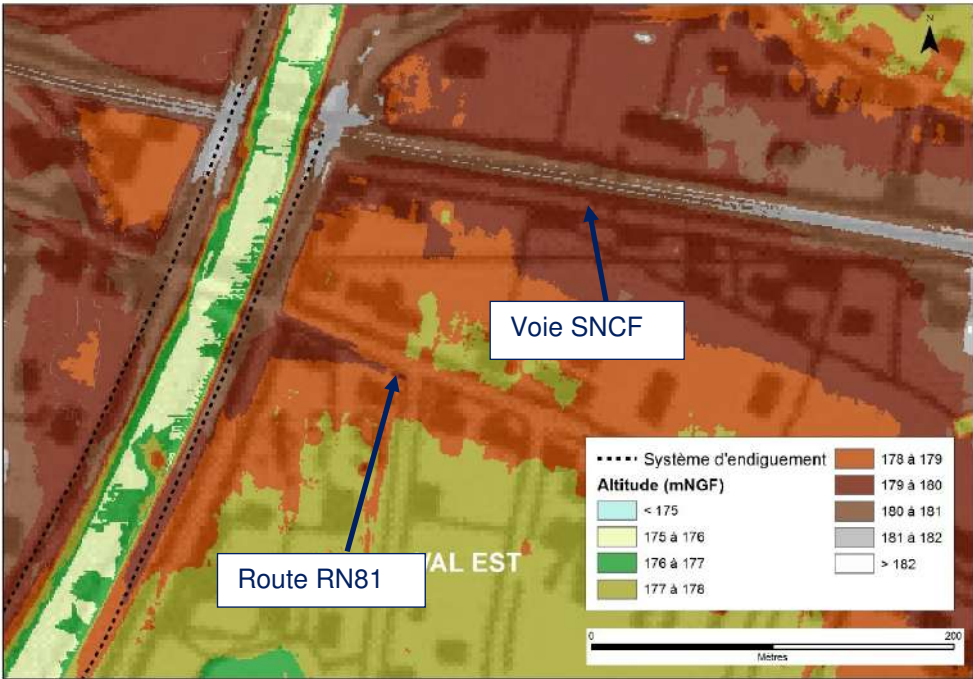


Figure 147 : raccordement aval du système d'endiguement du Val est de Nevers



Figure 148 : chemin en crête de la digue du canal de dérivation à proximité du raccordement



## VAL OUEST

Le système d'endiguement du Val ouest de Nevers se raccorde en amont au coteau, au niveau de l'ouvrage de répartition de Coulanges à l'extrémité amont du canal de dérivation de la Nièvre.

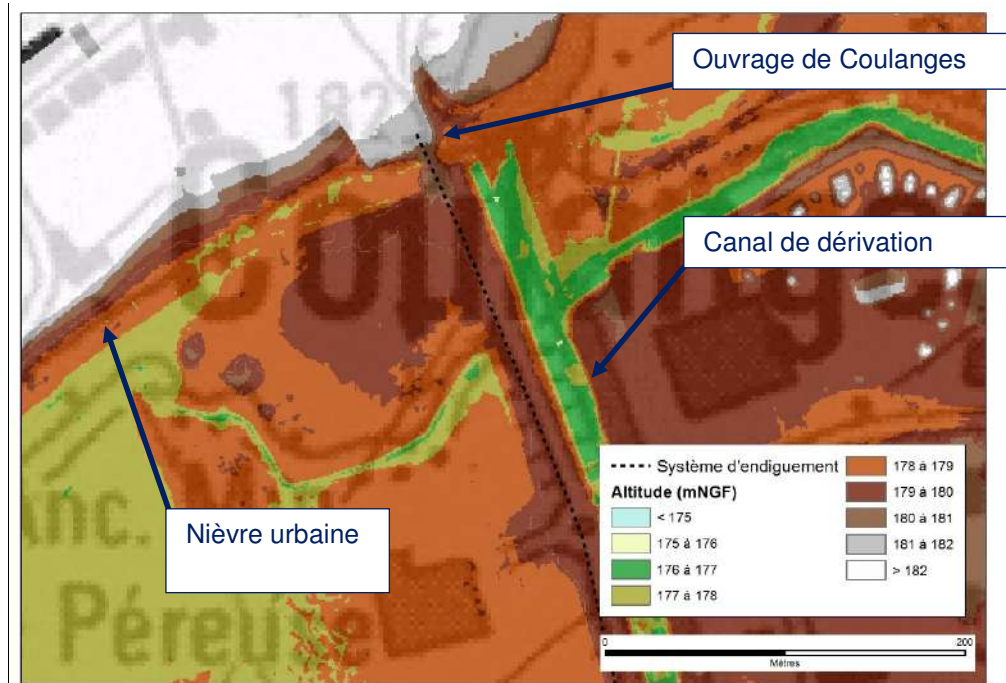


Figure 149 : Extrait du MNT au niveau du raccordement amont du système d'endiguement du val ouest de Nevers



Figure 150 : Ouvrage de répartition de Coulanges en amont du système d'endiguement du val Ouest

A l'extrémité aval, le système d'endiguement s'interrompt juste avant le pont de Nevers La digue est ici intégrée aux infrastructures urbaines. Il convient de noter la présence de la station d'exhaure du val à proximité.

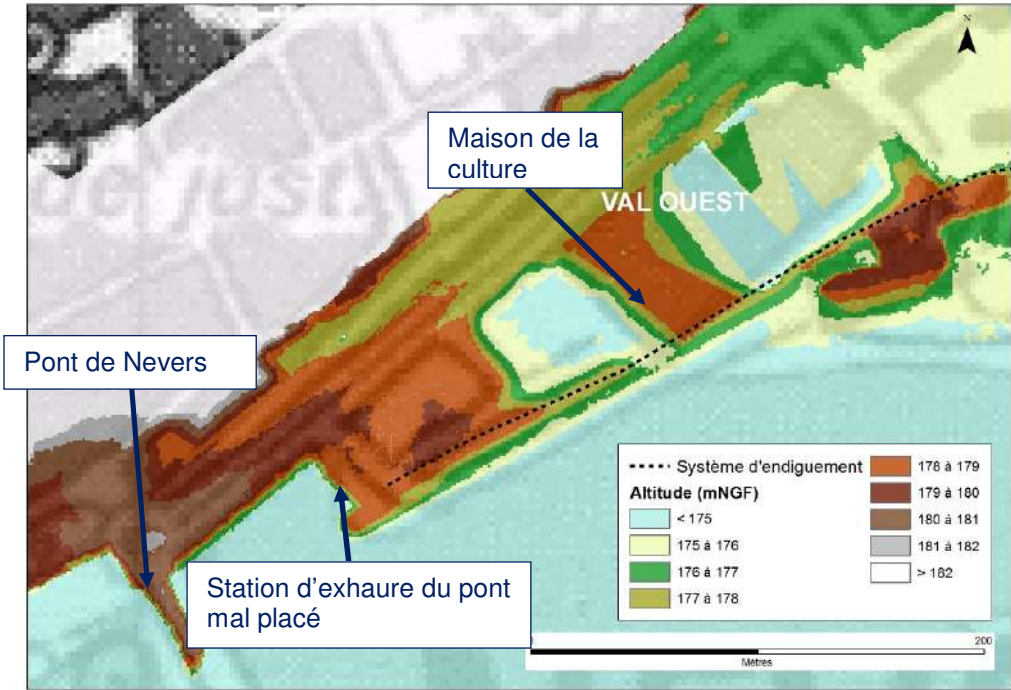


Figure 151 : raccordement aval du système d'endiguement du Val ouest de Nevers



Figure 152 : Photo du raccordement de la digue au terrain naturel



### 5.3.4 La zone protégée par le système d'endiguement du val de Nevers

Par définition, la zone protégée est la zone pour laquelle le système d'endiguement a une incidence en termes de hauteur d'eau ou de vitesse d'écoulement.

Dans le cas du val de Nevers, la zone protégée a été délimitée en projetant le niveau de protection apparent discrétisé au pas de 50m dans le val. La zone protégée correspond alors aux secteurs où la cote du terrain naturel est inférieure à cette surface interpolée.

Comme déjà évoqué au chapitre 5.1.2.1, le canal de dérivation de la Nièvre endigué sur ses deux rives marque une séparation entre les deux sous-vals de Nevers est et Nevers ouest.

La zone protégée est figurée ci-après. Elle représente une superficie de 406 ha. Comme expliqué précédent, on peut dissocier :

- Le val est d'une superficie de 133 ha (en jaune Figure 153) ;
- Le val ouest d'une superficie de 273 ha (en vert Figure 153).

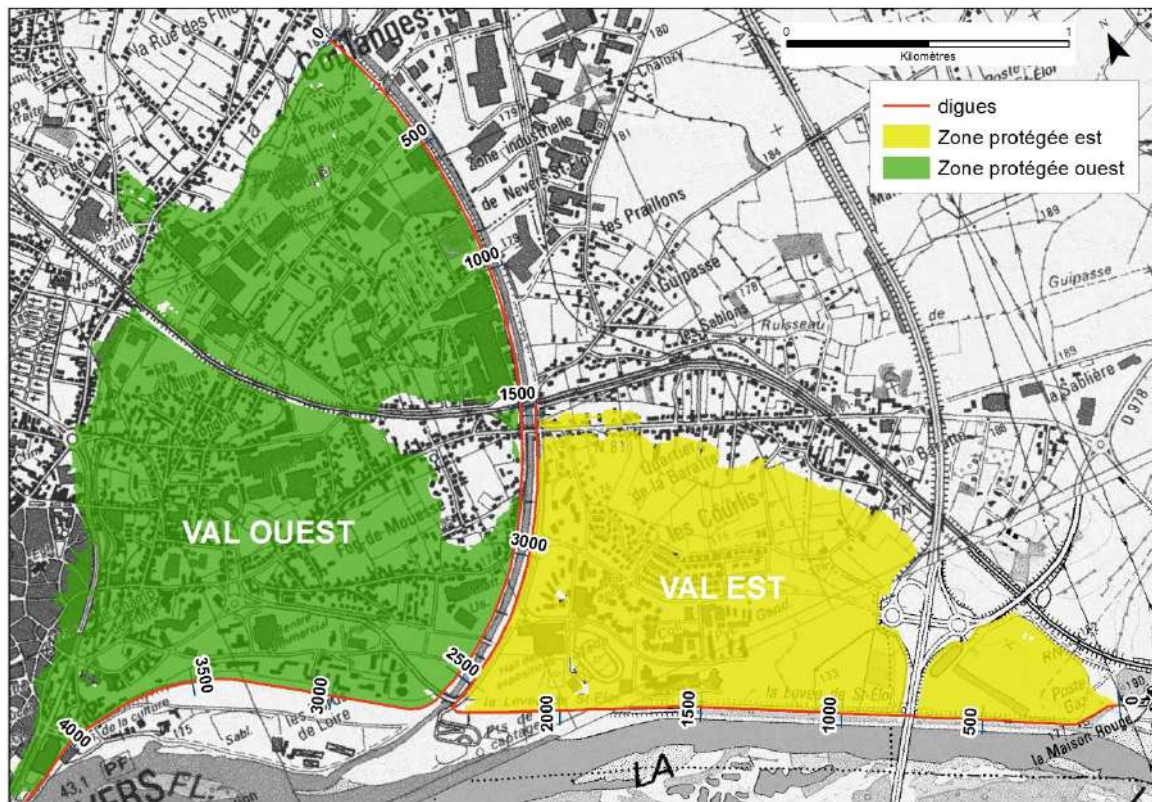


Figure 153 : Zones protégées associées au système d'endiguement du val de Nevers



## 5.3.5 Estimation des enjeux présents dans la zone protégée

### 5.3.5.1 Occupation des sols

La base d'occupation des sols se base principalement sur les données provenant du TRI de Nevers complétée d'une analyse des photos aériennes (orthophotos) enrichie à partir de bases de données complémentaires (BD Topo).

#### 5.3.5.1.1 Méthode d'analyse

Un croisement sous SIG entre la base d'occupation des sols, l'emprise des secteurs protégés par les digues a permis d'extraire pour chaque val, la nature de l'occupation des sols selon 5 classes :

- Espaces urbanisés (et artificialisés)
- Espaces agricoles
- Espaces industriels
- Espaces commerciaux
- Espaces naturels.

Le zonage du TRI de Nevers a été récupéré et modifié sur la base de la photo-interprétation.

#### 5.3.5.1.2 Résultats

110 Les cartes ci-après indiquent l'occupation du sol au sein de la zone protégée précédemment identifiée. Le diagramme associé synthétise la répartition correspondante.

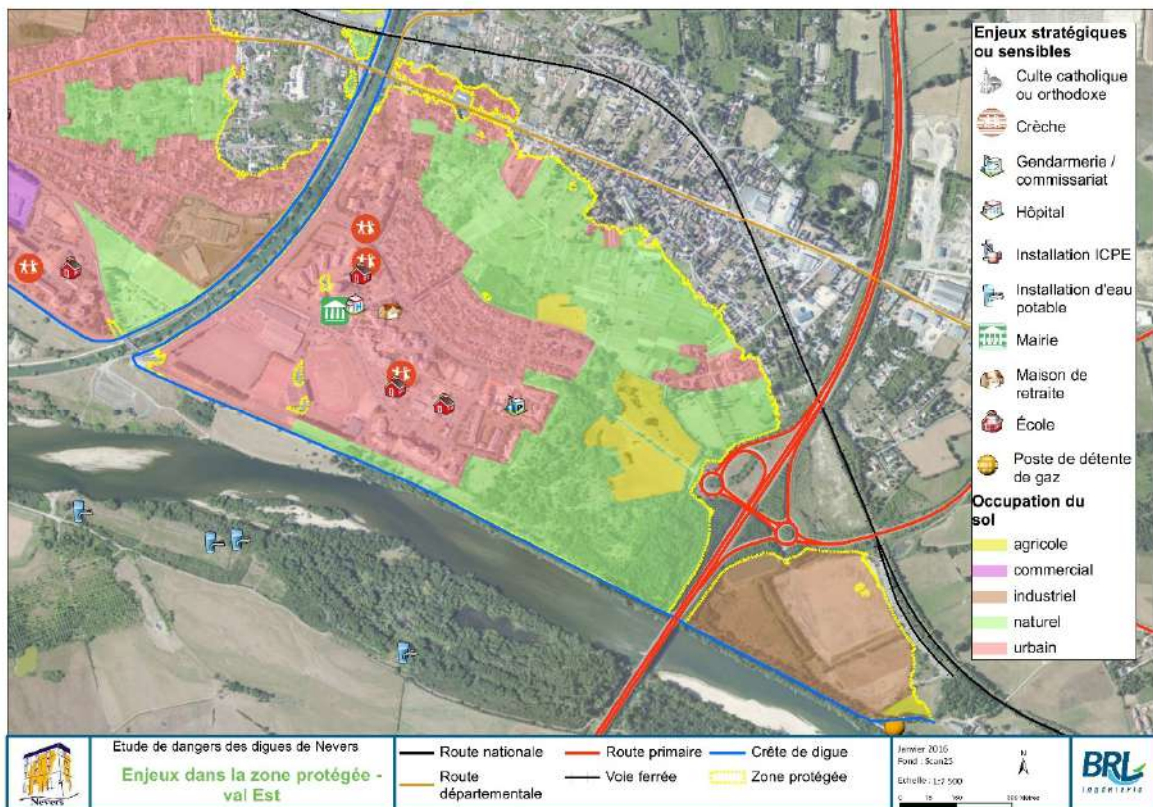




Figure 154 : carte d'occupation du sol du val est (source : TRI de Nevers)

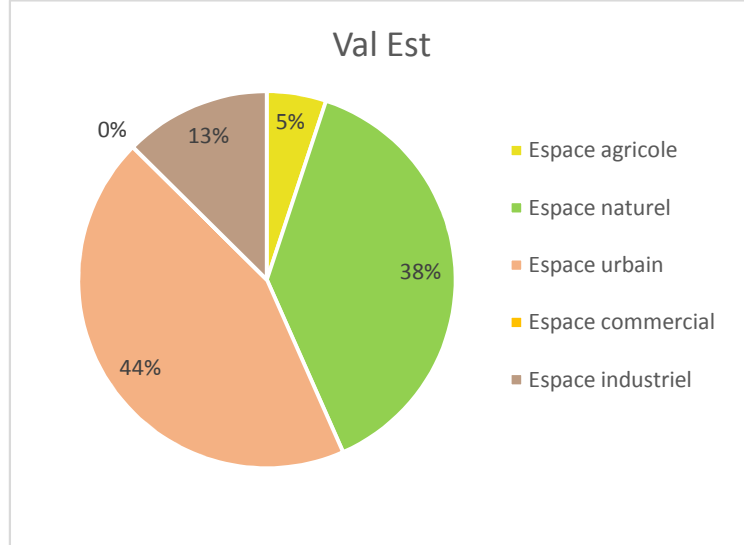


Figure 155 : diagramme de répartition de l'occupation du sol du val est

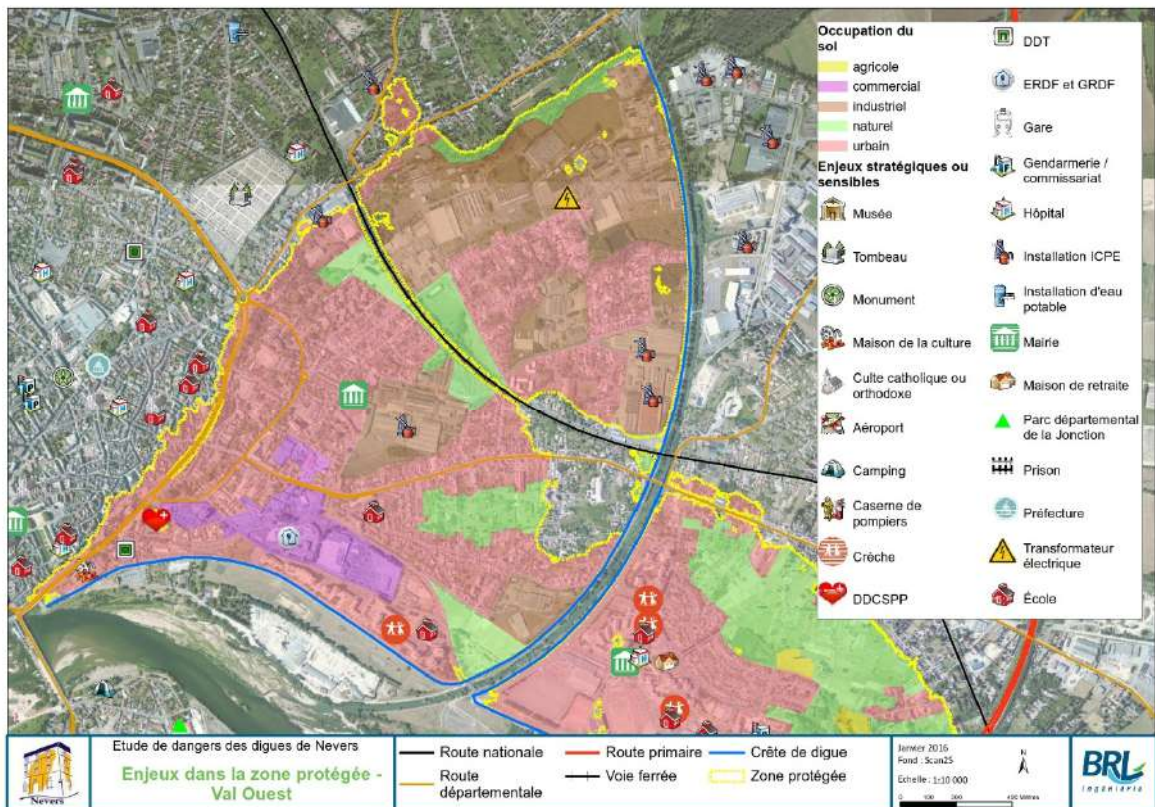


Figure 156 : carte d'occupation du sol du val ouest (source TRI de Nevers)

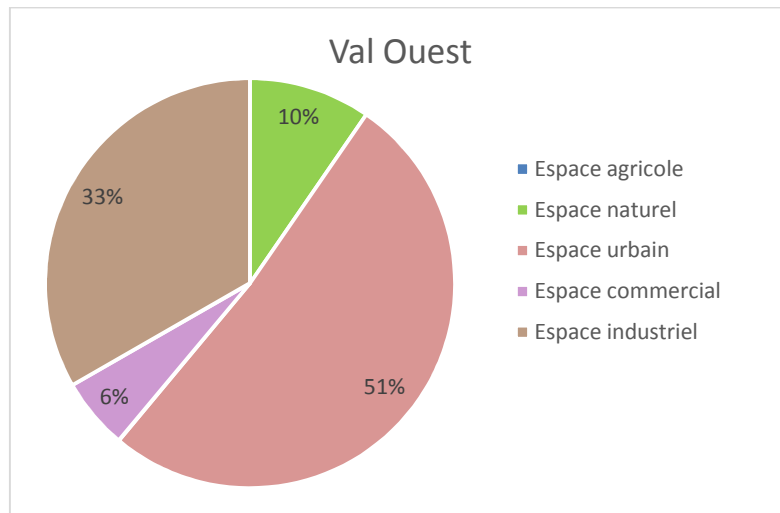


Figure 157 : diagramme de répartition de l'occupation du sol du val ouest

Val	Espace agricole	Espace naturel	Espace urbain	Espace commercial	Espace industriel	Total des surfaces (ha)
Est	7	53	79	0	0	133
Ouest	0	26	141	15	91	273
Total (ha)	7	80	220	15	91	406

Tableau 14 : Surfaces en hectares selon le type d'occupation du sol

## 5.3.5.2 Population

### 5.3.5.2.1 Sources exploitées

Afin d'obtenir la meilleure précision possible dans l'estimation de la population protégée par les digues, deux données de référence ont été combinées :

- la grille de population INSEE de 200 m de côté ;
- la couche « bâti » de la BD Topo de l'IGN.

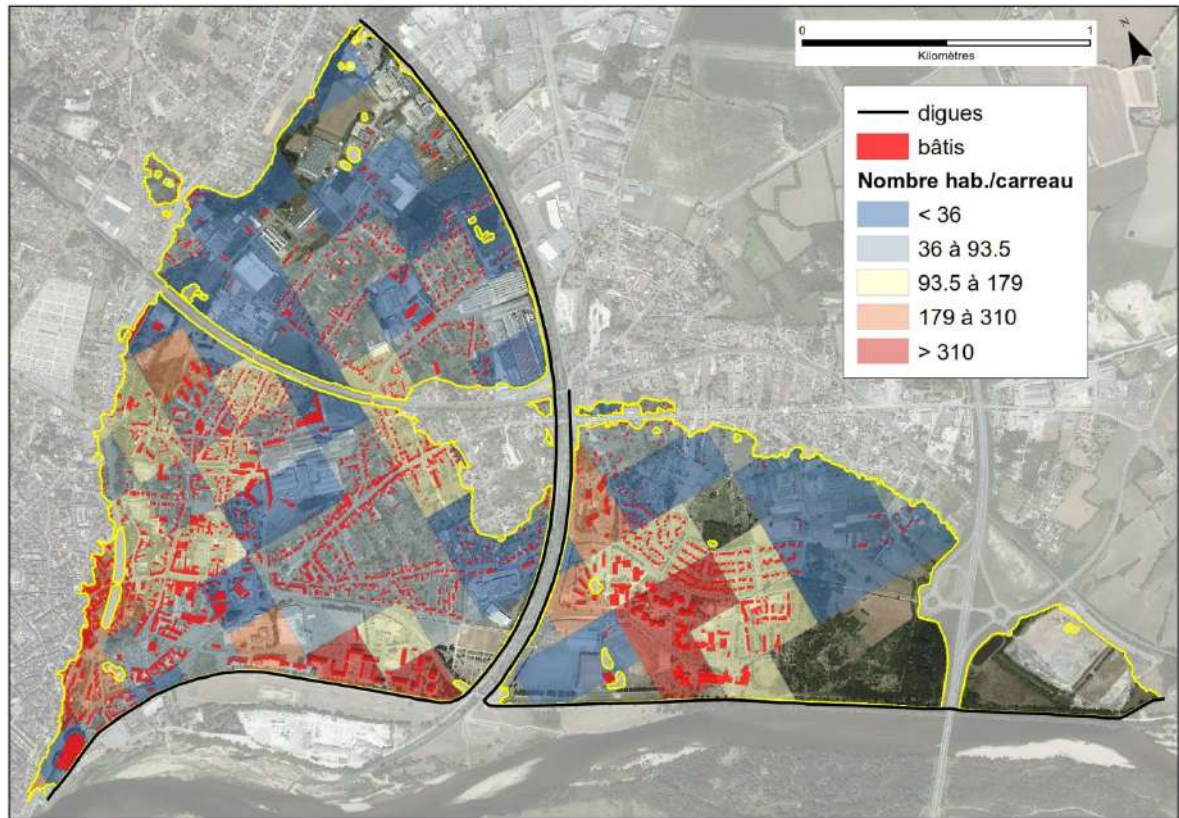


Figure 158 : Répartition de la population dans le val de Nevers (source INSEE)

L'analyse de la population est complétée par des données provenant de la démarche EGRIAN. 113

### 5.3.5.2.2 Méthode d'analyse

Un filtrage des bâtiments de la BD Topo a permis de sélectionner les bâtiments de type habitat, en éliminant ceux présentant une autre vocation (garages, annexes, industrielle, commerciale, publics...).

La population des grilles de population a été affectée à chaque bâtiment au prorata de leur surface développée, en prenant en compte le nombre d'étages de chaque bâtiment.

La méthodologie complète s'inspire de celle du CETE Méditerranée et est disponible en **Annexe 1**.

Les chiffres présentés correspondent à des estimations réalistes de population et non à des comptages précis. Une analyse critique des résultats bruts a été réalisée afin de corriger certains artefacts liés aux effets de bords.



### 5.3.5.2.3 Résultats

Comme expliqué précédemment, le nombre d'étage de chaque bâtiment a été pris en compte afin de considérer la grande hétérogénéité de l'habitat dans la zone protégée. La figure ci-après classe les bâtiments selon leur nombre d'étages, en particulier ceux étant de plain-pied.

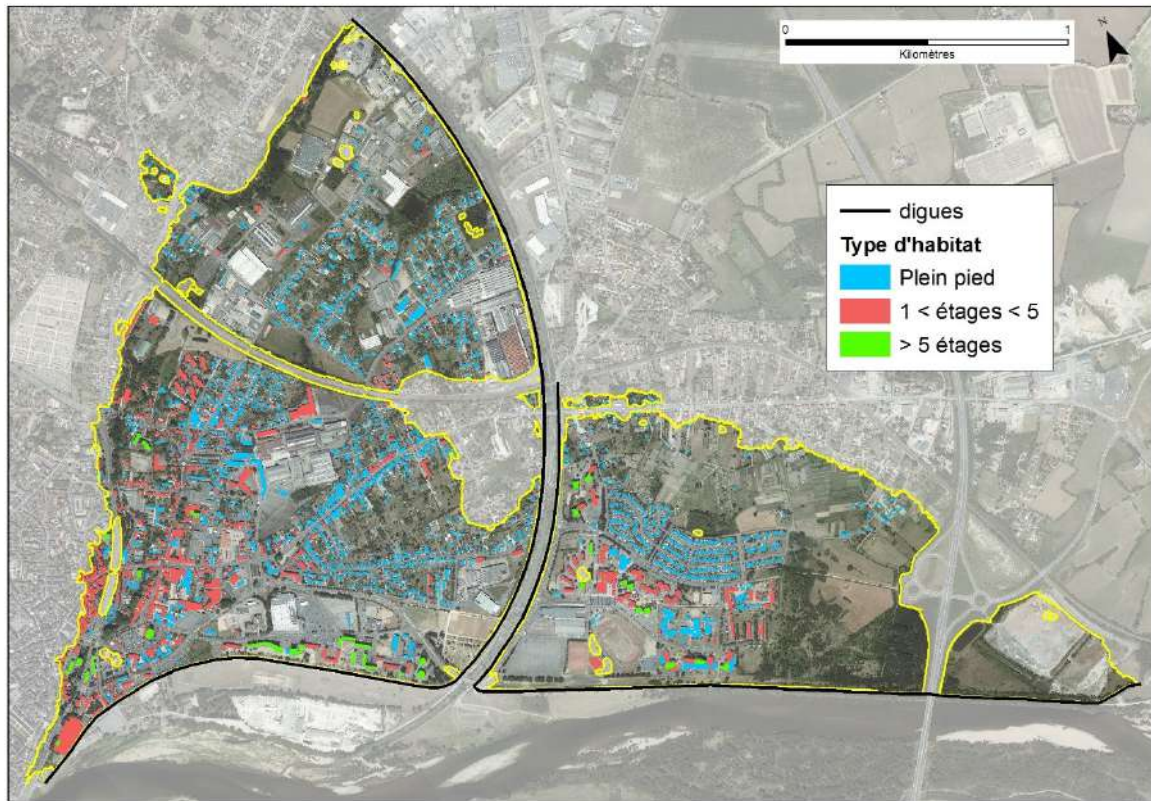


Figure 159 : Répartition des bâtis selon leur typologie - nombre d'étages (source BRLi)

Dans le cadre de l'étude EGRIAN, une démarche similaire avait été menée en calculant la population directement exposée par îlot. La carte suivante illustre cette démarche.

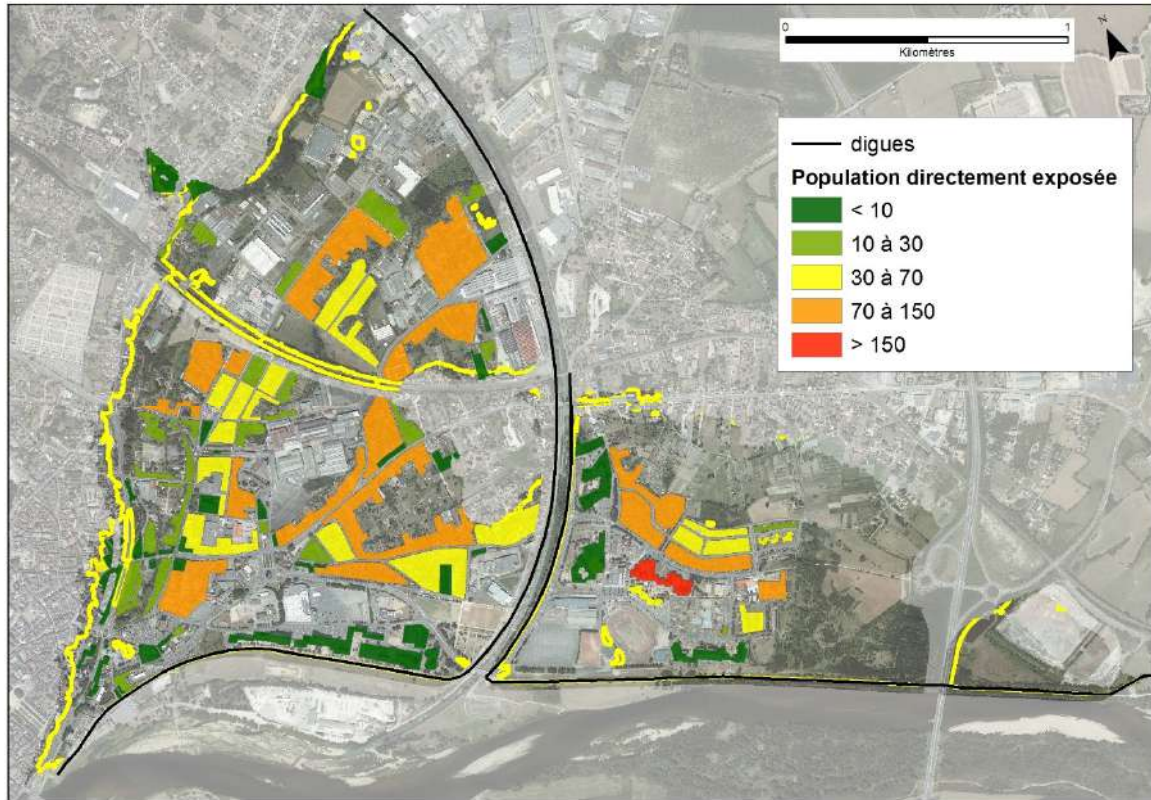


Figure 160 : Population directement exposée dans le val de Nevers (source EGRIAN)

Le tableau ci-dessous récapitule pour chaque val les populations estimées présentes dans la zone protégée ainsi que les personnes directement exposées (c'est à dire les personnes résidant au rez-de-chaussée).

Val	Population directement exposée	Population estimée totale
Est	1098	2571
Ouest	2442	5011
Total	3540	7582

Tableau 15 : population dans la zone protégée et population directement exposée (source : BRLi)



### 5.3.5.3 Enjeux ponctuels

#### 5.3.5.3.1 Sources exploitées

Les enjeux ponctuels ont été identifiés principalement à partir de l'exploitation des données du TRI et des données provenant d'EGRIAN.

#### 5.3.5.3.2 Entreprises

Les cartes du chapitre 5.3.5.1 basées sur les données du TRI indiquent les zones commerciales et les sites classés ICPE. La figure suivante basée sur les données EGRIAN présente l'ensemble des entreprises dans la zone protégée.

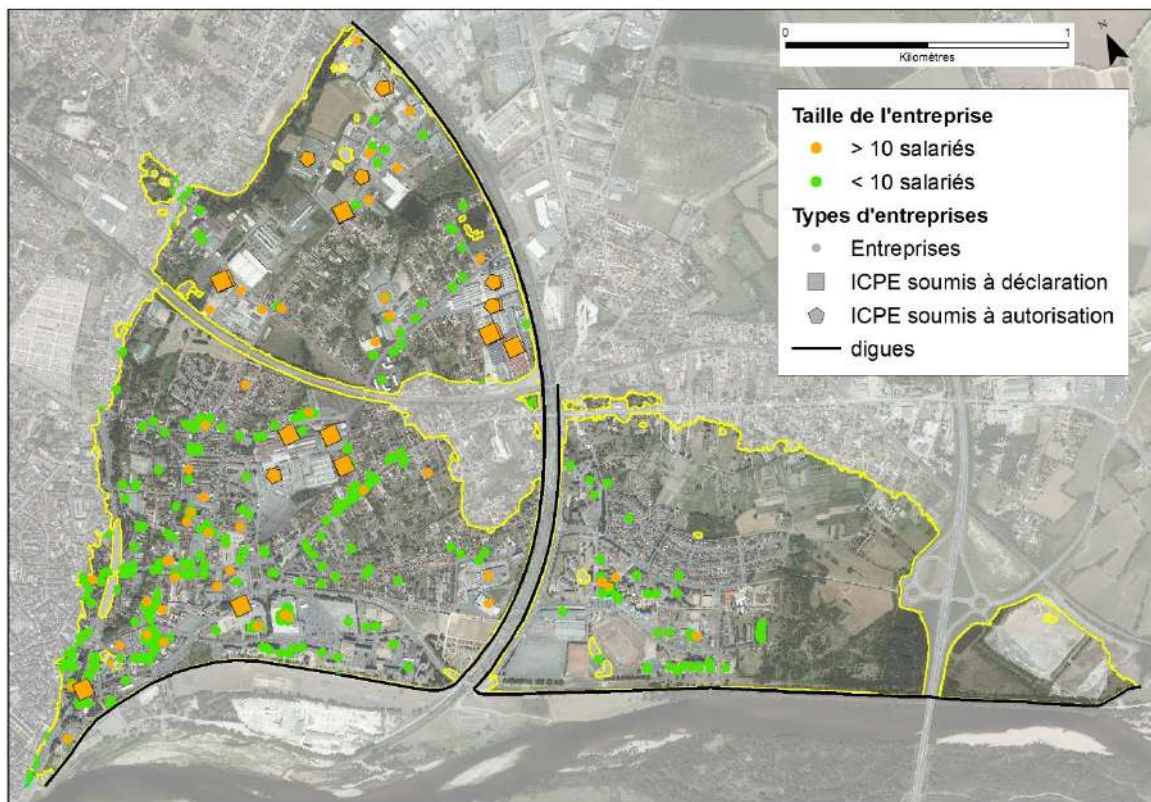


Figure 161 : Entreprises présentes dans la zone protégée (source EGRIAN)

Le nombre d'entreprises selon leur taille est donné dans le tableau ci-après.

Val	Petites entreprises (< 10 salariés)	Grandes entreprises (> 10 salariés)	Total
Est	39	4	43
Ouest	367	362	729



Tableau 16 : Répartition des entreprises selon leur taille (source EGRIAN)

### 5.3.5.3.3 Services publics

Les cartes du chapitre 5.3.5.1 basée sur les données du TRI indiquent les principaux services publics. La figure suivante basée sur les données EGRIAN synthétise la répartition des services publics dans la zone protégée.

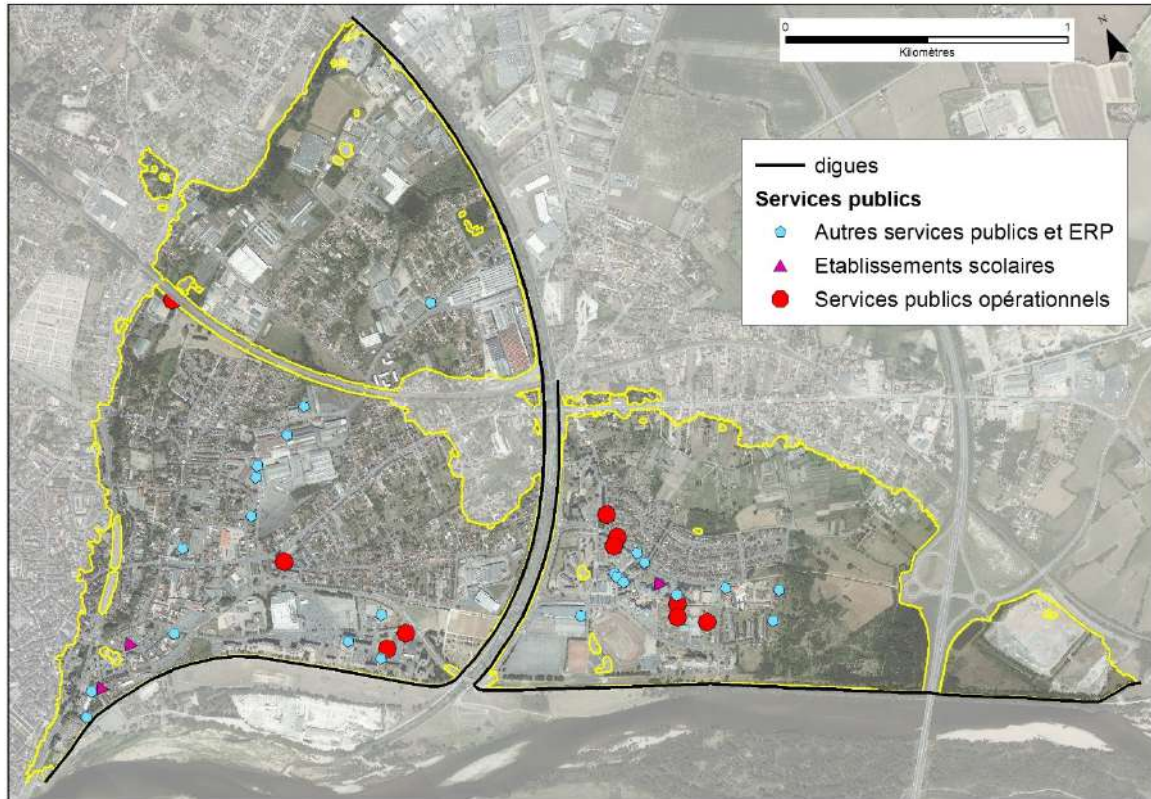
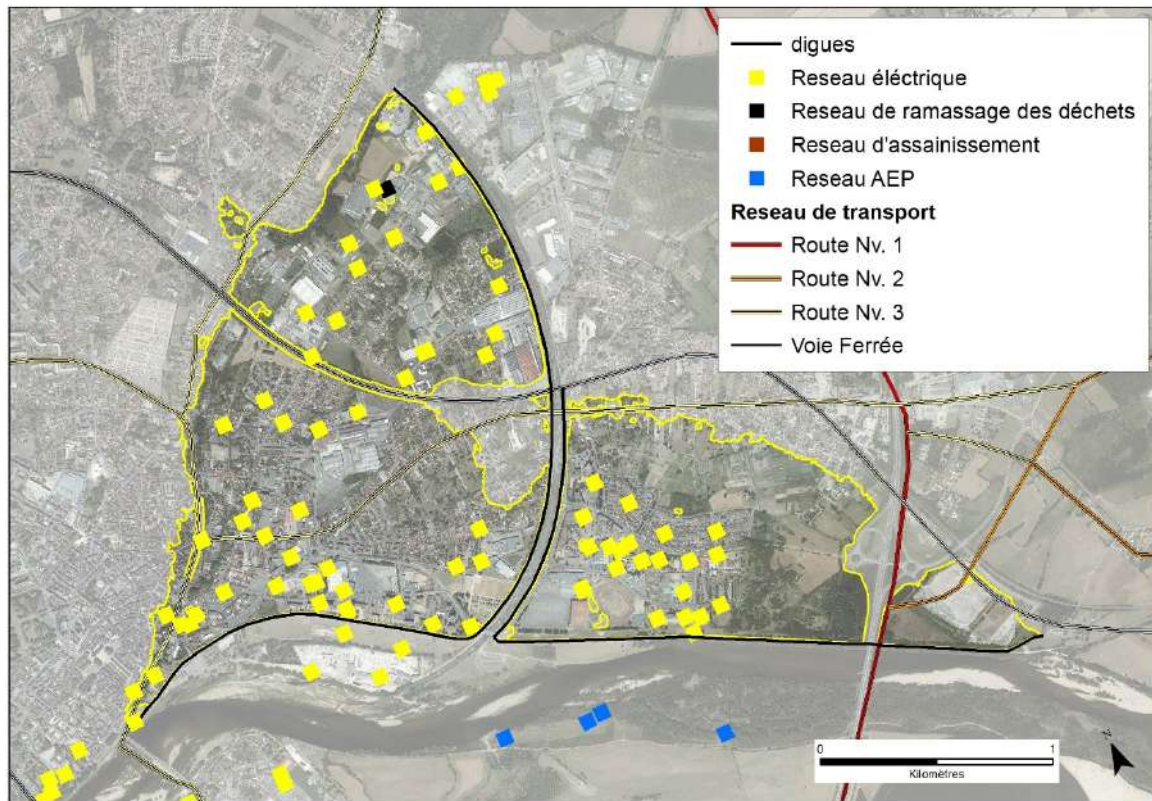


Figure 162 : Services publics présent dans la zone protégée (source EGRIAN)



### 5.3.5.3.4 Réseaux et transport

Les cartes du chapitre 5.3.5.1 basées sur les données du TRI indiquent les points de réseau et les axes de transport. La figure suivante basée sur les données EGRIAN présente cette même thématique.



118

Figure 163 : Réseaux et transport dans le val (source EGRIAN)





### 5.3.5.3.5 Synthèse des enjeux stratégiques et sensibles

Enfin, le tableau ci-après récapitule les principaux enjeux stratégiques et sensibles présents au sein de la zone protégée sur la base des données du TRI.

Type d'enjeu	Val Ouest	Val Est
Crèche	1	3
DDCSPP	1	0
DDT	1	0
Ecole	2	3
ERDF et GRDF	1	1
Installation ICPE à autorisation	3	0
Mairie annexe	1	1
Maison de la culture	1	0
Maison de retraite	0	1
Poste source (EDF)	1	0
Gendarmerie	0	1
Hôpital	0	1
Total général	14	10

Tableau 17 : enjeux stratégiques et sensibles présents dans le val de Nevers  
(source : TRI de Nevers)



### 5.3.6 Remblai dans le val

Le remblai de l'autoroute A77 est considéré comme un ouvrage secondaire faisant partie du système d'endiguement compte tenu de son rôle dans la protection du val. Il est donc traité au chapitre 5.1.2.4.

#### REMBLAI DE LA RN81 DANS LE VAL EST

Le remblai de la RN81 dans le val est ne semble pas comporter d'ouvrages de transparence. La crête de ce remblai n'est pas incluse dans la zone protégée car sa cote est supérieure au niveau de protection apparent.

Le casier situé au nord du remblai est de faible superficie, de l'ordre de 1,5 ha. On constate la présence de quelques habitations. Ce casier peut être inondé en cas de rupture de la digue du canal de dérivation sur un linéaire de 70m au niveau du PK3450.

Il convient de noter que ce casier pourrait également être inondé en cas de rupture du remblai de la RN81 à cause d'une sollicitation provenant du val inondé. Cette hypothèse, compte tenu de la géométrie de l'ouvrage (largeur importante) et de la très probable faible hauteur d'eau en pied est néanmoins considéré comme très peu probable.

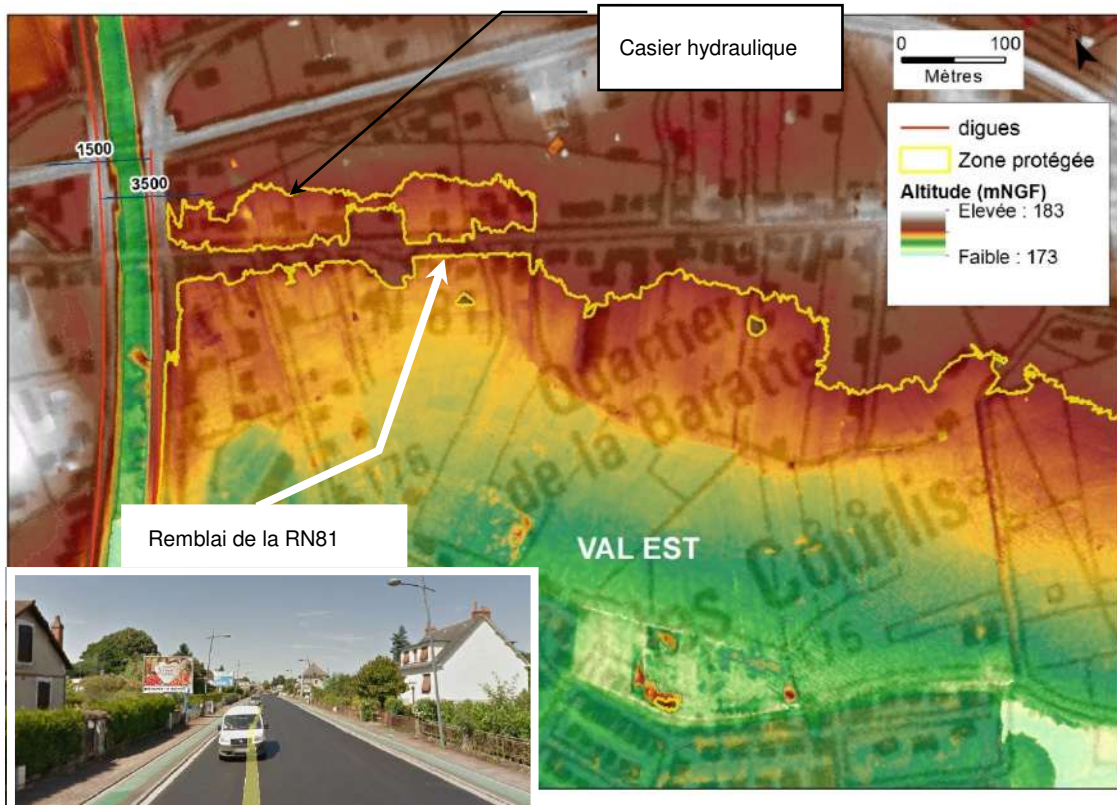


Figure 164 : Remblai de la RN81 dans le val est de Nevers



## REMBLAI DE LA VOIE SNCF DANS LE VAL OUEST

Le remblai de la voie ferrée coupe le val ouest en son milieu, matérialisant deux zones (sud et nord) de superficies proches. La cote du remblai est dans la continuité du terre naturel situé au nord du val est. Le profil remonte même légèrement pour récupérer le coteau sur lequel est bâti centre de Nevers. Le remblai est, de par ses caractéristiques, insubmersible pour les crues considérées.

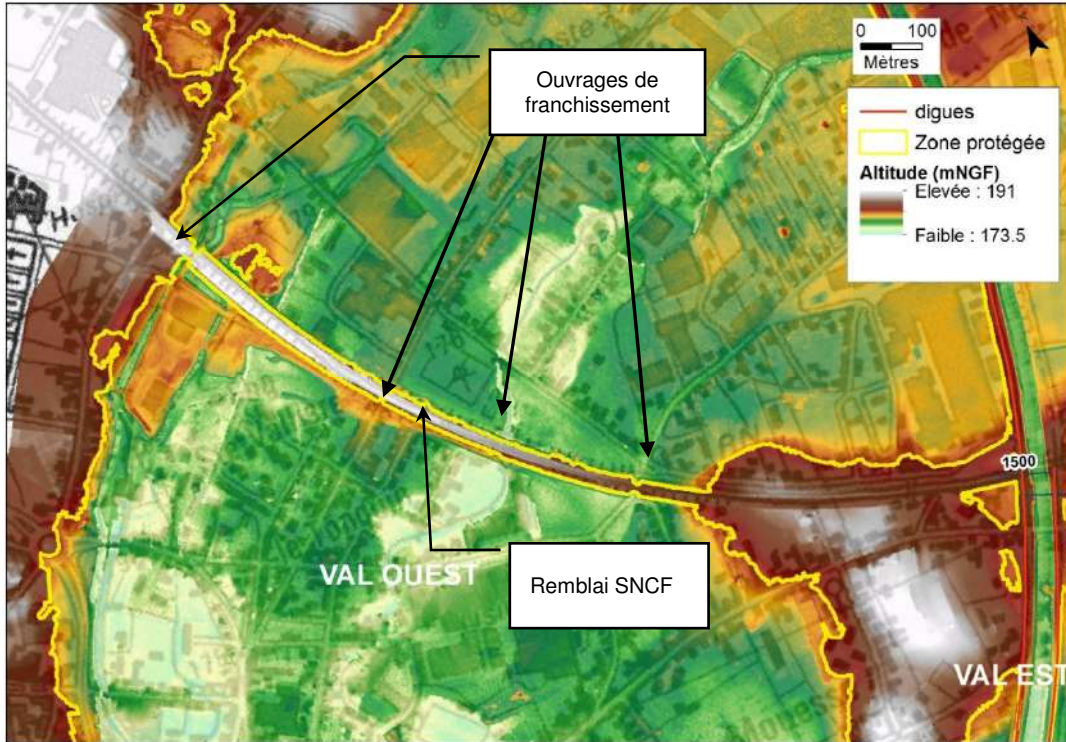


Figure 165 : Remblai de la voie ferrée dans le val ouest de Nevers

Compte tenu de la cinétique de remplissage du val (cf. chapitre 8.2) en cas de brèche, et donc la différence de charge de part et d'autre du remblai à chaque instant, aucune rupture n'est à envisager sur le remblai.

En revanche, le remblai peut représenter un obstacle à la propagation des écoulements dans le val et influencer la cinétique de remplissage. Il doit donc être pris en compte et notamment l'ensemble des ouvrages de décharge visant à restituer les écoulements.

La plupart de ces ouvrages ont pour rôle premier de transiter les drains naturels du val (Nièvre urbaine, Eperon, etc..) et sont en permanence en eau. D'autres visent à faire passer des axes de transport. Les caractéristiques ont été récupérées de l'étude Egrian et présentées ci-après. La largeur cumulée de ces ouvrages s'élève à 24m environ.

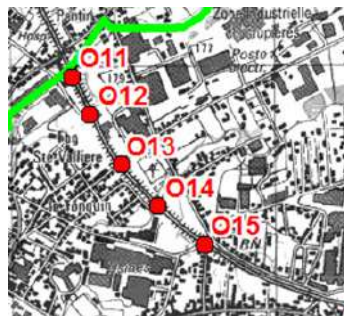


Figure 166 : Localisation des ouvrages de franchissement (étude EGRIAN – ARTELIA - 2008)







ID	Source	Type d'ouvrage	Emplacement	Caractéristiques	Modélisation	Photo	
O11	D07	Pont arche	Nièvre	12,0m l x 8,05m h - F.E. = 175,50m	Maillage Ks = 30		
O12	D07	Voûte à pieds-droits	Ruisseau de la Motte	2,0m l x 2,15m h - F.E. = 174,34m	Orifice	n.d.	
O13	D08	Voûte à pieds-droits (passage routier)	Rue F. Garnier	4,0m l x 3,0m à 3,6m h F.E. = 178,15m Nord / F.E. = 177,69m Sud	Maillage Ks = 20		
122	O14	D07	Voûte à pieds-droits	R <sup>au</sup> de l'Eperon	2,1m l x 2,25m h - F.E. = 173,75m	Orifice	
O15	D08	Voûte à pieds-droits (passage routier)	Rue de l'Eperon	4,0m l x 4,4m à 4,5m h F.E. = 175,45 m	Maillage Ks = 20		

Tableau 18 : Caractéristiques des ouvrages de franchissement sous le voie ferrée dans le val Ouest (Etude EGRAN – ARTELIA - 2008)



### 5.3.7 Affluents et fossés de drainage

La figure ci-après présente le réseau hydrographique des affluents en interaction avec les vals et les bassins versants d'apports associés.

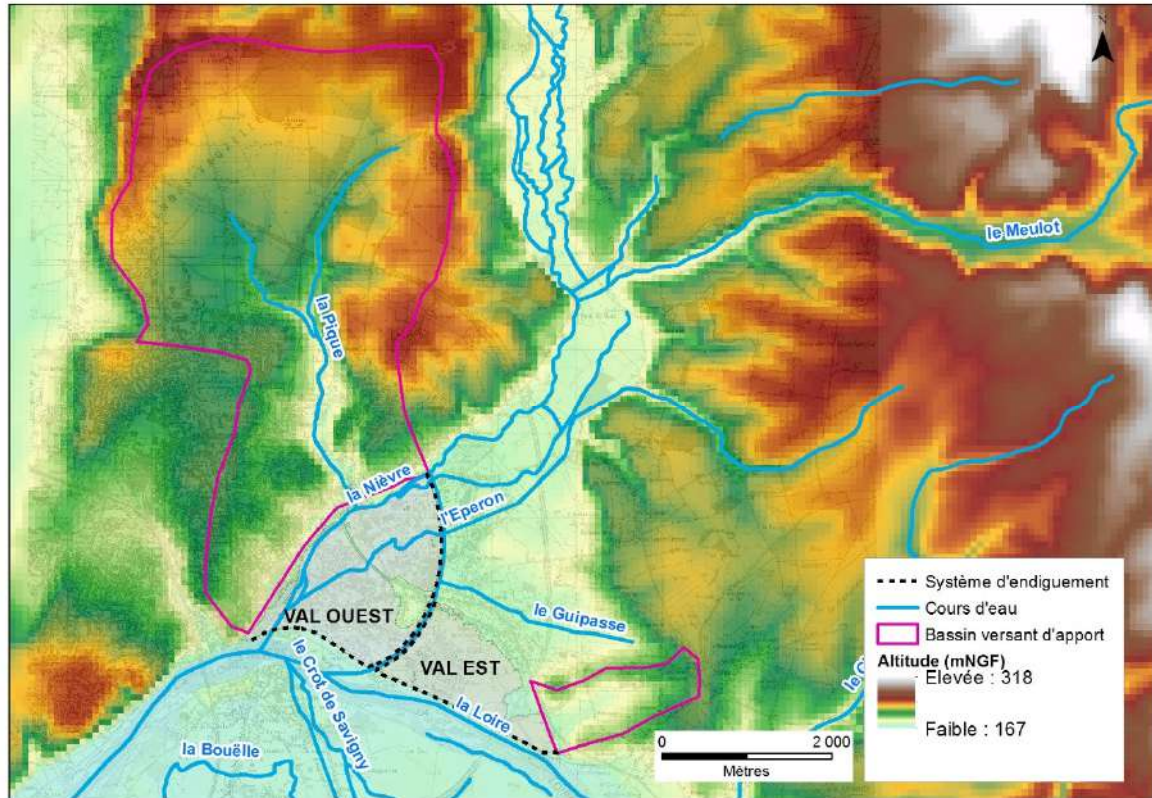


Figure 167 : réseau hydrographique (en bleu) et bassin versant (en rouge) des fossés et affluents s'écoulant par les Vals de Nevers

Dans le val est :

- Au nord, le tertre naturel empêche les eaux de la zone d'extension de crue de la Nièvre de pénétrer dans le val
- Un petit bassin d'apport de 1.3 km<sup>2</sup> se concentre vers la partie amont du val. Il faut noter que cet apport remplira le casier hydraulique situé en amont du remblai de l'A77. Aucun exutoire ne semble exister dans ce casier.

Dans le val ouest :

- Le lit original de la Nièvre longe le val dans sa partie ouest. Un canal de dérivation a été construit pour soulager la partie basse de la ville lors des crues de la Loire. Au nord du val, l'ouvrage de répartition de Coulanges permet de réguler le débit de la Nièvre entrant dans le val. En période normale, un débit est maintenu dans la Nièvre urbaine pour qu'elle reste en eau.



- le ruisseau de l'Eperon traverse le champ majeur de la Nièvre avant de se jeter dans le canal de dérivation en rive gauche. Le cours de l'Eperon se poursuit en rive droite du canal jusqu'à sa confluence avec la Nièvre en amont de la Maison de la Culture, son débit est régulé à partir du canal de dérivation par la vanne de régulation photographiée sur la figure ci-après.

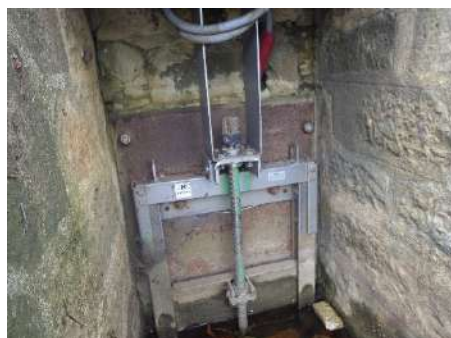


Figure 168 : ouvrage de régulation de l'Eperon en entrée du val ouest de Nevers

- Le principal affluent du val ouest est le ruisseau de la Pique qui draine un bassin versant de 15 km<sup>2</sup>. Il se jette dans la Nièvre urbaine à son entrée dans le val.

### 5.3.8 Fonctionnement hydraulique interne du val

Le fonctionnement hydraulique du val en cas de surverse ou de brèche est décrit en détail au chapitre 8 dans le cadre de l'analyse des conséquences des scénarios de défaillance.

### 5.3.9 Classement de la levée du Val de Nevers

124

Comme indiqué précédemment, au titre du décret de 2007, ce système d'endiguement a fait l'objet d'un arrêté préfectoral de classement en digue de classe B le 10/11/2009. Il est précisé que selon le décret digues de 2015, les levées du val de Nevers rive droite restent classées B.



## 6 ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE

Depuis la crue de 1907, le système d'endiguement du Val du Nevers n'a pas connu d'événement susceptible de le solliciter de manière importante. La crue de décembre 2003, dernière crue récente importante (période de retour de l'ordre de 20 ans), n'a à ce titre pas engendré d'effet notable sur les levées du val d'après les informations fournies par le gestionnaire.

Aussi, les enseignements sont à rechercher dans les archives des crues historiques ayant affecté les levées de la Loire moyenne. De par l'ancienneté de ces crues et compte tenu des nombreuses évolutions structurelles, hydrauliques et morphodynamiques subies par la Loire et les levées, toute transposition des résultats à la situation actuelle doit néanmoins être faite avec beaucoup de prudence.

Aussi, compte tenu de ses limites, cette approche historique doit être complétée par les retours d'expérience relatifs aux brèches observées sur des systèmes d'endiguement similaires.

Les informations sur l'historique des brèches proviennent de deux sources :

- L'étude EGRIAN, Agglomération de Nevers – 2010,
- L'étude de dangers des digues de Nevers en rive gauche, DDT58 – 2014.



## 6.1 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS

Sur le système d'endiguement du val de Nevers, les potentiels de dangers résultent principalement de l'entrée d'eau au sein du val. Une telle entrée d'eau peut résulter :

- D'un dysfonctionnement propre à la levée :
  - Ouverture d'une brèche sur un tronçon de la levée
  - Mauvais fonctionnement des ouvrages hydrauliques traversants (non fermeture des martelières ou clapets anti-retour)
- De problématiques extérieures à la levée :
  - Remontée de nappe dans le val en arrière des levées
  - Inondation par les affluents ou ruissellement urbain

### 6.1.1 Ouverture d'une brèche partielle ou totale sur un tronçon de la levée

Toutes choses égales par ailleurs, l'irruption d'eau dans le val à la suite d'une brèche sera d'autant plus puissante que la hauteur d'eau entre la Loire en crue et le val sera importante.

Potentiellement, une telle hauteur peut atteindre voire dépasser légèrement (en cas de surverse) la hauteur de digue, calculée comme étant la différence altimétrique entre la crête de digue et le terrain naturel du val en pied de digue.

126

L'énergie libérée par une brèche serait très importante compte tenu des caractéristiques géométriques globales des digues:

- Pour le val est, une hauteur moyenne de 2.9m et maximale de 4.9m ;
- Pour le val ouest, une hauteur moyenne de 2.3m et maximale de 4.6m.

Les vitesses d'écoulement qui en résulteraient conduiraient à une très forte mobilisation des matériaux constituant la digue ainsi qu'à la formation d'une fosse d'érosion en pied de digue et représenteraient, malgré cette dissipation d'énergie, un pouvoir de destruction important pour les enjeux situés à proximité.

### 6.1.2 Surverse sans brèche au-dessus de la crête d'un tronçon de levée

L'irruption d'eau dans le val dans le cadre d'une surverse sans brèche représente un danger assez faible par rapport à la situation précédente.

En effet, les débits susceptibles d'inonder le val sont limités par la hauteur de la lame d'eau déversante et resteraient faibles par rapport au cas envisagé précédemment. En outre, en dehors de son intensité moindre, cette situation n'intervient qu'au-delà du niveau de protection apparent et représente donc de fait un phénomène « naturel » de débordement de la Loire.

Néanmoins, les digues n'étant pas dimensionnées pour résister à la surverse, il est fort probable que cette situation conduise à la formation d'une brèche du fait de l'action érosive des écoulements sur le pied et le talus de digue (sans dispositif de protection, on considère qu'au-delà de 20 cm de surverse, la ruine des levées de la Loire est certaine).





### 6.1.3 Entrée d'eau par les ouvrages hydrauliques traversant la levée

Afin de permettre l'isolement du val ou faciliter son évacuation, le système d'endiguement comporte plusieurs ouvrages traversants qui sont décrits plus précisément au chapitre 5.1.4.3 :

- Val est :
  - Une station de pompage entre les PK1500 et PK1550
- Val ouest :
  - L'ouvrage de la Nièvre à Coulanges au PK0
  - Un ouvrage hydraulique ouvert au PK650 non traversant (collecte et rejet des eaux pluviales de la route)
  - L'ouvrage de l'Eperon au PK750
  - L'ancienne station de l'usine de Mazda au PK1000
  - L'ancienne station de Thompson au PK1200
  - La porte de Médine au PK3900
  - La station d'exhaure à l'extrémité de la levée, au PK4250

Il est important de noter que bien que la problématique soit réelle et ne doive pas être négligée, en cas d'absence de clapet anti-retour ou de dysfonctionnement du système de vannes, les débits entrant dans le val dans le sens Loire vers val seraient contraints par la capacité de l'ouvrages et l'inondation liée à son éventuel dysfonctionnement serait vraisemblablement moindre que dans le cas d'une brèche. **Ainsi, dans la suite de la présente étude il n'a pas été retenu ce type de défaillance ou dysfonctionnement comme scénario de brèche.**

Dans le cas de dysfonctionnement des ouvrages de refoulement, les conséquences des scénarios de défaillance et d'inondation du val ou l'inondation causée par les apports des affluents du val seraient accentuées car des volumes importants se stockeraient dans le val sans pouvoir être évacués. La durée de ressuyage augmenterait aussi sensiblement car il faudrait alors attendre la décrue complète de la Loire.

127

### 6.1.4 Remontée de nappe dans le val en arrière des levées

Malgré le caractère transitoire des crues, la nappe d'accompagnement de la Loire subit les évolutions du niveau du fleuve et peut même remonter au-dessus de la surface du TN. De tels phénomènes peuvent être observés même pour des crues fréquentes (cf. chapitre 7).

Ce phénomène est d'autant plus sensible que :

- l'altimétrie du TN est naturellement proche de celle de la Loire
- la perméabilité du sous-sol est importante
- l'assise peu perméable de la digue est peu épaisse voire absente

En ce qui concerne le système d'endiguement de Nevers, une étude spécifique a été réalisée dans le cadre d'EGRIAN.

Les phénomènes de remontée de nappe restent néanmoins relativement lents et ne sont à même que de générer des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement faibles sans commune mesure avec celles rencontrées dans le cas de brèche.



### 6.1.5 Inondation par les affluents et ruissellement urbain

La présence des digues empêche l'évacuation des apports d'eau issus des vals, si ce n'est au travers des ouvrages prévus à cet effet.

Compte tenu des bassins versants drainés, de tels mécanismes d'inondation seraient toutefois beaucoup moins dommageables qu'une inondation directe par la Loire et a fortiori qu'une inondation liée à une rupture accidentelle de la digue.

L'apport principal concerne le val ouest. Il s'agit du ruisseau de la Pique (cf. chapitre 5.3.7).

## 6.2 CRUES HISTORIQUES ET AMENAGEMENTS DE LA LOIRE AU NIVEAU DU VAL DE NEVERS

### 6.2.1 XVIII<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècle

A la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle et au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, le gouvernement royal exerce un véritable contrôle sur la construction et l'entretien des levées sur toute la Loire.

Commencent alors, sur Nevers, les grands travaux d'endiguement de la Loire avec la réalisation successive des levées de Sermoise et de Gimouille en rive gauche. Puis de Médine et de Saint-Eloi en rive droite.

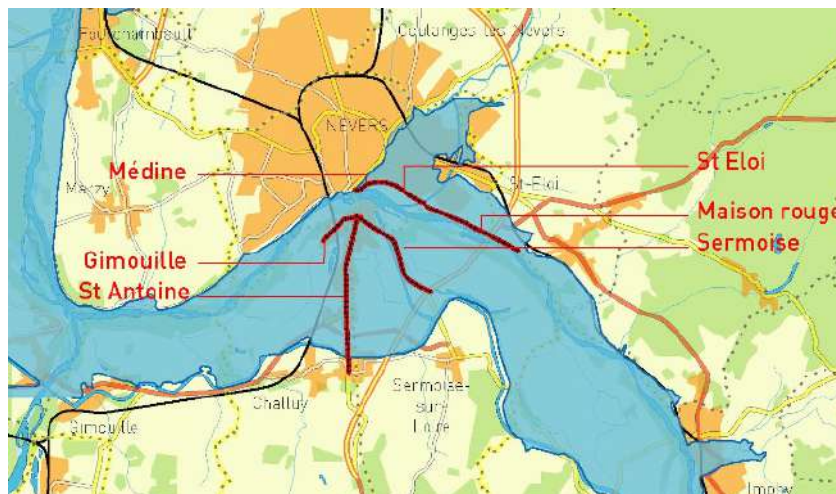


Figure 169 : Construction des digues au XVIII<sup>ème</sup> siècle et au début du XIX<sup>ème</sup> siècle (EGRIAN 2010)

### 6.2.2 Crue de 1790

Les travaux réalisés du nouveau pont de Nevers et les piles de l'ouvrage réduisent très fortement la section du lit au droit de Nevers. Les conséquences ne se font pas attendre. En novembre 1790, la Loire atteint à Nevers un niveau record de 5,80 mètres. Cinq arches du vieux pont sont détruites. La liaison entre les deux rives est coupée. Les bas quartiers de la ville sont inondés.

Plusieurs brèches s'ouvrent rive gauche dans la levée de Sermoise. La levée de Médine subit également des dommages.



### 6.2.3 Crue de 1846

Il s'agit de la crue la plus forte en débit du XIX<sup>ème</sup> siècle. Lors de la crue d'octobre 1846, la Loire monte de plus de quatre mètres en quelques heures et finit par dépasser de cinquante centimètres son niveau maximum de novembre 1790.

Un tiers de la ville de Nevers est dans l'eau. Les habitations du Bec d'Allier sont submergées et de nombreuses autres villes comme la Charité sur Loire, Cosne-sur-Loire et Sancerre sont très éprouvées.

Plusieurs levées sont détruites et des ponts sont partiellement ou totalement emportés. La levée de Saint-Eloi est submergée par une hauteur d'eau de 1,5 à 2 mètres; quatre brèches d'une longueur totale de 464 mètres s'ouvrent jusqu'au terrain naturel.

La levée de Sermoise est également rompue en cinq endroits. Les brèches entraînent la coupure de la route de Lyon.

### 6.2.4 Rehausse des levés entre 1853 et 1860

Trois nouvelles levées sont construites ou rehaussées entre 1853 et 1860 : la levée du canal de Jonction, la levée de la Blanchisserie et la levée du plateau de la Bonne Dame.

La levée du canal de Jonction s'étend sur environ 700 mètres, de l'usine de traitement des eaux en amont jusqu'au droit de l'ancienne écluse à proximité de l'ancienne piscine municipale



Figure 170 : Rehausse et construction de nouvelles levées entre 1853 et 1860 (EGRIAN 2010)



### 6.2.5 Crue de 1856

Il s'agit de la crue de référence sur la Loire Moyenne et la plus dommageable sur tout le cours de la Loire.

Le pont de Fourchambault est emporté, celui de Cosne-sur-Loire est menacé.

Quatre mille mètres de levées cèdent dans la Nièvre. Le port de Fourchambault et la ville de Cosne-sur-Loire sont sérieusement endommagés. La levée de Sermoise est rompue, provoquant une brèche de 100 mètres, les eaux submergent la route de Lyon. La levée de Sermoise est rompue et ouvre 2 brèches, la levée de Gimouille est rompue sur 300 mètres, la levée de la Bonne Dame sur 200 mètres. Le pont SNCF, sur la route de Bourges, est emporté.

Il n'est pas fait mention d'une brèche dans les digues de Nevers en rive droite.

### 6.2.6 Nouveau travaux après 1856

A la suite de la crue de 1856, la population réclame et obtient l'exhaussement et la consolidation de la levée de Sermoise (rive gauche).

La levée de Saint-Eloi connaît également d'importants travaux : reconstruction complète et changement du tracé sur 1 000 mètres au droit de la Baratte..

Cette rectification, réalisée en 1861, a été faite dans le but de faciliter les écoulements des eaux de la Loire. L'exhaussement et la consolidation de la levée en amont et en aval de la partie rectifiée ont été exécutés de 1863 à 1865.

130

Long de 3,1 km, le canal de dérivation de la Nièvre a été creusé de 1863 à 1865. Encadré par deux levées, il reçoit le débit de crue de la Nièvre avant son entrée dans la ville de Nevers. Il rejette les eaux de l'affluent directement dans la Loire en amont du Pont de Loire.

### 6.2.7 Crue du 27 Septembre 1866

Il s'agit de la plus forte crue jamais enregistrée à Nevers.

A l'aval du canal de dérivation de la Nièvre, la levée de Saint-Eloi 1<sup>ière</sup> section, qui a été reconstruite et renforcée après la crue de 1856, s'affaisse brutalement sur plus de 100 mètres. La crue menace les quartiers du Mouësse, le boulevard de la République et le Champ de Foire. Toutefois, la mise en place de 600 m de remblai par les Neversois permet de défendre les quartiers.

La levée de Saint-Eloi 2<sup>ième</sup> section, déjà reconstruite et renforcée après 1846 et 1856, se rompt en amont du canal de dérivation de la Nièvre sur le lieu-dit de la Baratte.

De plus, en rive droite, il est recensé 1 brèche dans la levée de Sermoise, 1 brèche dans la levée de la Bonne Dame et une partie de la voie ferrée s'effondre.



## 6.2.8 Crue de 1907

La crue d'octobre 1907 a atteint un niveau de 5,34 mètres à l'échelle de Nevers. Plusieurs quartiers : Bords de Loire, Jonction, Bagatelle sont inondés par la remontée de nappes.

Aucune levée ne se rompt. Les travaux de confortement de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle portent enfin leurs fruits.



Figure 171 : Photo en aval de la levée de Médine lors de la crue de 1907 (EGRIAN 2010)

## 6.2.9 Synthèse des crues à Nevers

Compte tenu des données historiques disponibles, les caractéristiques des crues importantes connues sont répertoriées à l'échelle de Nevers et sont rappelées ci-après :

131

Date de la crue	Type de crue	Hauteur à l'échelle de Nevers	Débits naturels estimés à Nevers (m <sup>3</sup> /s)	Période de retour avec Villerest
1790		5,85 m		
Octobre 1846	mixte	6,30 m	4500	500
Juin 1856	mixte	6,13 m	4050	< 500
Octobre 1864		3,49 m		
Septembre 1866	mixte	6,36 m	4380	> 500
Octobre 1872	océanique	4,82 m		
Avril 1879		3,85 m		
Octobre 1893	océanique	4,66 m		
Octobre 1907	cévenole	5,34 m	3000	170
Novembre 1914		3,5 m		
Mai 1983	océanique	3,27 m		
Décembre 2003	cévenole	3,90 m	2170	< 50
Novembre 2008	cévenole	3,50 m		



Tableau 19 : Crues historiques de la Loire à l'échelle de la Jonction à Nevers

Au niveau de l'échelle de Nevers, quatre événements ont dépassé les 5,50 m, dont trois correspondants aux grandes crues historiques du XIXe siècle (1846, 1856 et 1866).

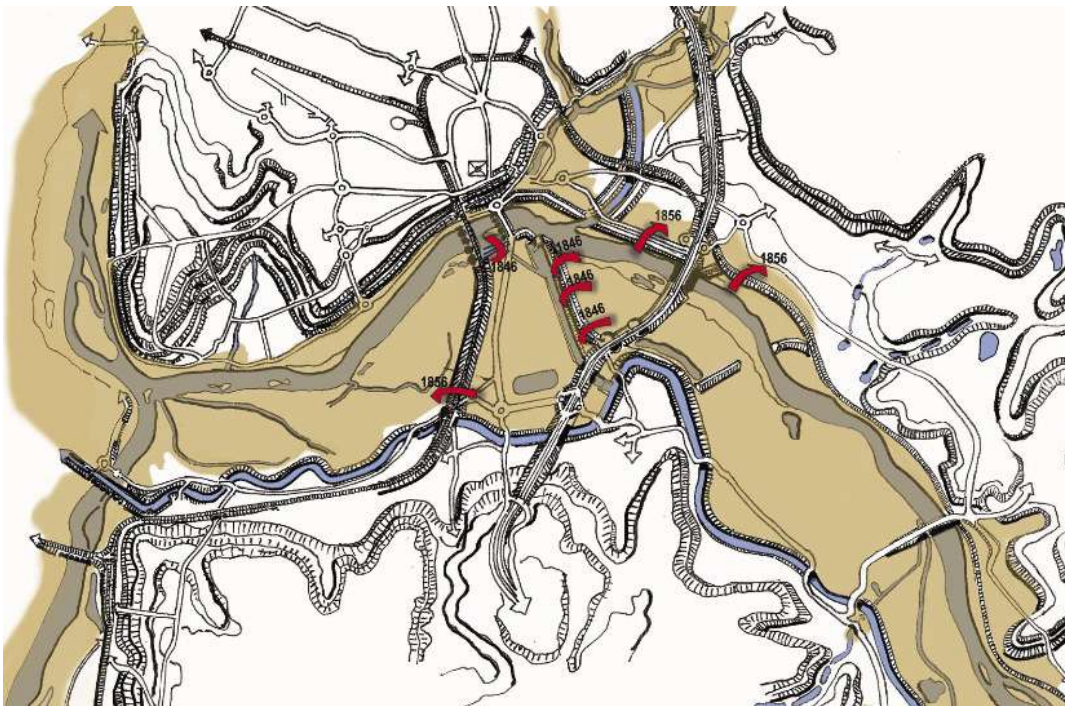


Figure 172 : Brèches historiques au niveau de l'agglomération de Nevers (EGRIAN 2010)

132

## 6.2.10 Eléments de comparaison des crues de 1846, 1856 et 1866

Au-delà des modifications apportées aux levées pouvant expliquer les différences de comportement des digues entre ces trois crues, les paramètres caractéristiques de celles-ci (durée et niveaux maxima atteints en lit mineur endigué<sup>3</sup>) sont susceptibles d'avoir influencé directement ou indirectement les défaillances observées sur les levées.

Le tableau ci-après fournit un rapide comparatif des crues de 1856 et 1866 avec celle de 1846.

	Ecart des PHE par rapport à la crue de 1846	
	Crue de 1856	Crue de 1866
Val de Digoin	- 60 cm	- 50 cm
Val de Saint Hilaire Fontaine	- 40 cm	- 15 cm
Val de Luthenay (Imphy en aval)	- 40 cm	- 25 cm
Val de Guétin – Bec d'Allier (Nevers en amont)	- 15 cm	+10 cm
Val de Givry	+ 35 cm	+10 cm
Val de Beffes	+ 25 cm	+20 cm

<sup>3</sup> Ces niveaux dépendant à la fois de l'hydrologie propre de chaque crue mais aussi, voire surtout, des brèches ayant affecté les vals en amont et en vis-à-vis et éventuellement en aval.



Val de Léré	+ 5 cm	+15 cm
-------------	--------	--------

Tableau 20 : Comparaison des niveaux atteints par les crues du 19<sup>ème</sup> siècle au droit des différents vals étudiés

## 6.3 INCIDENTS RECENTS

### 6.3.1 Les conséquences de la crue de décembre 2003 sur le système d'endiguement du Val du Nevers

Comme indiqué précédemment, d'après les informations fournies par le gestionnaire, cette crue n'a provoqué aucun désordre sur le système d'endiguement du Val du Nevers. Le niveau d'eau a atteint un maximum de 3.88 m (175.38 mNGF) à l'échelle de Nevers.

### 6.3.2 Les conséquences de la crue de décembre 2003 sur d'autres systèmes d'endiguement de la Loire

Les éléments ci-après sont repris du bilan dressé par la DREAL Centre.

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

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

133



Figure 173 : levée de Beffes-Herry - réparations d'urgence lors de la crue de décembre 2003 (crédit photo DREAL Centre)

- un renard hydraulique sans brèche s'est produit sur la digue à l'amont de Tours sur la commune de Montlouis, le 10 décembre 2003. Le lieu correspond probablement au site d'une ancienne brèche. La cote du fond de la fosse d'érosion est de 50,00 m NGF alors que le niveau général du val est aux alentours de 52,00 m NGF. La cote maximale atteinte par les eaux lors de la crue de 2003 était d'environ 52,30 m NGF, soit 2,30 m au-dessus du niveau du fond de la fosse. Le sommet de la levée est à la cote de 56,00 m NGF, ce qui fait que la levée est localement haute de 6,00 m.
- deux brèches se sont produites sur des endiguements plus modestes que les levées domaniales de la Loire :



- une sur une digue en bordure de la Loire à Montrond-les-Bains, dans le département de la Loire (brèche de 20 mètres) ;
- une sur la digue de Mauboux, en bordure de l'Allier à Livry, dans le département de la Nièvre (digue de 2,00 m de hauteur, brèche de 40 mètres, fosse d'érosion de 50 m de diamètre, ce qui a causé la mort d'un troupeau de 130 bêtes)



Figure 174 : Brèche dans la digue de Mauboux à Livry (58) - Crue de 2003 (crédit photo DREAL Centre)

Sur l'ensemble du linéaire où les digues ont été en eau, il a été noté des remontées de nappe quasi-systématiques en arrière immédiat de la digue.

Les déversoirs de Passy, de Léré et de Saint-Martin-sur-Ocre, situés en aval du Val du Nevers ont fonctionné. Les deux premiers sont établis au niveau du terrain naturel, le troisième est en maçonnerie sans fusible. Les hauteurs d'eau au-dessus des déversoirs ont été respectivement de 0,50 m, 0,60 m et 0,20 m.

**134** Les autres déversoirs n'ont pas fonctionné (cotes de fonctionnement supérieures à la crue de décembre 2003).



Figure 175 : déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre aujourd'hui (à gauche) et lors de la crue de décembre 2003 (à droite) (image Google Earth – crédit photo DREAL Centre)





### 6.3.3 Les incidents hors crue sur ou à proximité du système d'endiguement du Val de Nevers

Une déclaration d'évènement important pour la sûreté hydraulique (DEISH) a été émise suite à l'évènement du 9 juin 2016. D'après les informations fournies par le gestionnaire, aucun autre incident notable (autre que les désordres identifiés lors des VTA) n'a été observé en dehors de tout évènement hydrologique important.

#### Précisions sur le DEISH de 2016

L'équipe en charge de réaliser des sondages géotechniques, dans le cadre de l'étude de dangers commandée pour le compte de la ville de Nevers, a perforé une conduite d'eau potable lors d'un carottage en crête de la digue du canal de dérivation coté rive droite. La canalisation perforée est une conduite en fonte de 600mm de diamètre, aux alentours du PK2500 en amont du pont du boulevard Jean Moulin (face au parc Mendès France). La description des conséquences et des mesures prises immédiatement pour la remise en état de la digue sont décrites dans la DEISH insérée en annexe 5 du rapport VTA.

Il est noté qu'au préalable, le bureau d'études Alios avait réalisé une DICT en vue d'effectuer ces sondages dans l'axe de la digue. Les plans fournis ont indiqué qu'aucune conduite n'était positionnée en crête, seulement le passage d'une canalisation à plusieurs dizaines de mètres du pied de digue. Cet incident a fait donc apparaître une erreur dans les plans de recollement du réseau d'AEP, donc non ressorti à travers la DICT, mais également non identifié visuellement à travers cette VTA.

L'installation d'une conduite parallèlement à l'axe d'une digue ne présente pas de caractère défavorable vis-à-vis d'une éventuelle rupture de l'ouvrage (notamment par érosion interne), toutefois il est recommandé de procéder à des investigations complémentaires pour localiser et caractériser les extrémités de cette conduite (entrée et sortie de la digue). En effet, généralement les changements de trajectoire se font perpendiculairement à la digue et tendent à réduire le chemin hydraulique au droit des pk concernés.

De manière générale cet incident a mis en évidence la nécessité de mieux connaître les réseaux présents dans et à proximité immédiate des levés. Il est de fait recommandé de procéder à la création d'un SIG de l'ensemble de ces réseaux.

135

## 6.4 ETUDE DES BRECHES HISTORIQUES A L'ECHELLE DE LA LOIRE

### 6.4.1 Statistiques sur l'ensemble des digues de la Loire en aval du Bec d'Allier

Les informations proviennent de l'étude de 1997 de William Halbeck de l'équipe pluridisciplinaire dans le cadre du Plan Loire ainsi que les documents reprenant et synthétisant les données de base.

Lors des trois grandes crues du 19<sup>ème</sup> siècle, entre le Bec d'Allier et Montjean, 337 brèches ont été répertoriées sur les levées de la Loire :

- Crue de 1846 : 103 brèches ;
- Crue de 1856 : 149 brèches ;
- Crue de 1866 : 85 brèches.





Les causes directes des ruptures de digues sur l'ensemble des trois crues sont les suivantes :

- Surverse du fleuve vers le val : 47.9 % ;
- Surverse du val inondé vers le fleuve : 17.9 % ;
- Rupture de la banquette : 15.4 % ;
- Renard dans le corps de la levée : 4.7 % ;
- Erosions de talus et affouillements : 4.5 % ;
- Autres causes ou causes indéterminées : 9.6 %.

### 6.4.2 Enseignements généraux à l'échelle de l'ensemble des vals

#### ROLE DES REHAUSSES (CÔTE LOIRE)

L'influence de la banquette est assez contradictoire selon les documents. Il est parfois indiqué que celle-ci s'est affaissée suite à sa saturation et au battillage, et qu'elle n'a donc pas apporté de protection supplémentaire. A l'inverse, certains témoignages indiquent que c'est précisément cette banquette, parfois renforcée à la hâte au cours de la crue qui a permis d'éviter l'inondation de certains vals.

Il est rappelé que les levées du val de Nevers rive droite ne comporte pas de banquettes.

#### ROLE DES MESURES D'URGENCE

Plusieurs documents témoignent de l'importance des mesures d'urgence (réhausse, renforcement, recharge, etc.) prises lors des crues pour assurer la tenue de la digue et empêcher sa ruine. Ces dispositions ont concerné tous les mécanismes de rupture (surverse, érosion interne, glissement), pour peu que leur apparition ait pu être anticipée.

137

Ces éléments confirment, si besoin est, le bien-fondé de l'existence du paramètre « gestion en crue » dans l'analyse des probabilités de défaillance de chaque tronçon de digue.

***Néanmoins, il faut signaler que ce facteur améliorant est délicat à appréhender et fausser les résultats en masquant des faiblesses. Les levées de Nevers en rive droite vont bientôt faire l'objet d'un suivi en période de crue grâce à un prestataire via un accord-cadre d'ici fin 2020. Elle sera réputée d'astreinte en période de crise. Toutefois, le gestionnaire ne possède d'accord-cadre pour des travaux d'urgence.***

Compte-tenu de ces éléments et de ces prochaines mesures mises en place, ce paramètre n'a pas été pris en compte dans le cadre de la présente étude.

#### ROLE DES DEPRESSIONS ET FOSSES D'EROSION

Plusieurs documents mettent en avant l'influence des dépressions, et notamment des anciennes fosses d'érosion non comblées en pied de digue, sur l'apparition de processus d'érosion interne (notamment phénomène de boulangerie puis d'érosion régressive / renard par saturation du pied de digue côté val).

**Aucune dépression ou fosse d'érosion n'a néanmoins été constaté sur Nevers.**



## 6.5 RETOUR D'EXPERIENCE SUR D'AUTRES SYSTEMES D'ENDIGUEMENT

### 6.5.1 Dignes du Vidourle

Les crues violentes du Vidourle sont connues depuis très longtemps sous le nom de « Vidourlades ». Elles se produisent en automne lors d'épisodes pluvieux de type « cévenols ». La crue de septembre 2002 fut sans précédent à l'échelle du bassin versant et a fortement marqué les esprits.

Le cours du Vidourle est endigué sur la totalité de son linéaire en aval de l'A9. Au-delà d'un seuil de débit, compris entre 900 et 1000 m<sup>3</sup>/s et dont la période de retour est voisine de 10 ans, quel que soit le débit arrivant de l'amont du bassin, le surplus est écrêté par déversement en rive gauche entre l'A9 et Lunel et la dynamique des crues est quasi indépendante de la période de retour : le débit entrant est sensiblement constant, et seule la durée de l'écoulement à plein bord varie. Pour ces débits, en aval de l'A9, le niveau d'eau est très proche de la ligne de crête des ouvrages ce qui induit une sollicitation quasi-maximale.

Les digues de protection contre les inondations des basses plaines du Vidourle sont des digues en remblai homogène, construite en matériaux limoneux extraits in-situ. Du fait de leur conception originelle sans déversoir, ces digues sont vulnérables aux risques de rupture par érosion interne et par surverse.

Lors de la crue de septembre 2002, avec un débit de pointe de 2400 m<sup>3</sup>/s, près de 35 brèches ont pu être dénombrées, dont une majeure partie a pour origine la rupture par érosion externe liée à la surverse et l'autre partie a pour origine des phénomènes d'érosion interne. Suite à ces brèches, BRLi a été mandaté par le syndicat du Vidourle pour piloter les travaux de confortement d'urgence, réaliser une synthèse des causes et réfléchir aux méthodologies à mettre en œuvre pour limiter les risques à l'avenir.

138

C'est dans ce cadre, afin de réduire le risque de rupture, et sans pour autant augmenter la cote de protection, qu'il a été décidé par le maître d'ouvrage :

- d'une part, de conforter les zones « historiquement » déversantes et de créer de nouveaux déversoirs permettant de « soulager » l'ensemble des digues situées à l'aval ;
- et d'autre part, dans le cadre des travaux d'entretien de supprimer la végétation sur l'ouvrage et à proximité immédiate (sur une bande de 3 m) dans le cadre des travaux de confortement projetés, de mettre en œuvre, de façon systématique, des systèmes de protection contre les animaux fouisseurs.

A ce jour, non seulement les études de conception sont largement engagées, mais il a d'ores et déjà été réalisé un nouveau déversoir et le confortement à la surverse de 3 km de digue.

Les techniques étudiées, retenues et mises en œuvre combinent l'analyse des enjeux et le niveau de sollicitations hydrauliques associés aux contraintes géotechniques, environnementales et foncières. L'intégration des résultats de l'analyse de la vulnérabilité des ouvrages existants a ainsi permis de proposer un panel de solutions techniques : la réhabilitation de seuils déversant en maçonnerie mais aussi la protection des digues déversantes par enrochements percolés, matelas grillagés, géonappe bitumineuse, etc. associé à des dispositifs singuliers tels que la poutre sommitale en béton armée de calage altimétrique.

Appliqué au système de protection du Val du Nevers, ce retour d'expérience a été mis à profit dans le choix des principes de confortement proposés au chapitre 9.



## 6.5.2 Dignes de la Durance

Le 7 janvier 1994, à 2 h 30 du matin, les pompiers ont prévenu toutes les entreprises de la zone d'aménagement concerté (ZAC) de la Terre-du-Fort d'une catastrophe imminente. La digue du Père-Grand, située sur le territoire de la commune de Pertuis, qui surplombe la zone, menace de rompre. À 11 h 30, les eaux de la Durance s'engouffrent dans une brèche et c'est le déluge.

L'instruction révélera que la structure présentait une résistance suffisante pour contenir la crue du 7 janvier 1994, mais qu'elle était altérée par une échancrure réalisée par le propriétaire de terrains voisins. Ainsi, en déduit la cour administrative de Marseille dans deux arrêts du 19 décembre 2005, les dommages subis ont eu « pour cause directe et déterminante, outre les agissements de cette personne privée, un défaut de surveillance de l'ouvrage public ». La digue étant bien conçue, la cour administrative de Marseille balaie d'emblée la responsabilité de l'État, de la commune, de la chambre de commerce du Vaucluse et des aménageurs de la ZAC quant au choix géographique d'implantation de la zone. Le syndicat mixte d'aménagement de la vallée de la Durance est également mis hors de cause : la digue se situe en dehors des limites du domaine fluvial dont il a la charge et, dans ce cas, il doit seulement réaliser des travaux sur les digues à la demande du syndicat propriétaire. Or, le syndicat de la Durance-Pertuis ne l'a pas sollicité et n'apporte aucun élément établissant l'entretien de la digue. Que des personnes aient dégradé l'ouvrage ne l'exonère pas de sa responsabilité. Il est propriétaire.

Concernant la responsabilité du maire de Pertuis, la cour reconnaît qu'il a, « dès la survenance du sinistre, pris toutes les mesures appropriées en matière d'assistance et de secours, notamment pour permettre l'évacuation de la zone inondée et la protection des biens ». Aucune faute ne peut lui être reprochée à ce titre.

Mais sur le terrain préventif, il en est jugé autrement. Avant la crue, il n'a pas fait procéder aux inspections de la digue. Elles auraient pourtant permis de constater l'ampleur des dégradations commises par le tiers, à l'origine de l'inondation. Une brèche si grossière et visible que la commune ne peut invoquer à titre exonératoire les actes du voisin. Il lui incombait d'en prévenir les conséquences dommageables, assomme la cour. La défectuosité de la digue présentait un caractère grossier et la commune a disposé d'un délai important pour constater l'existence de la brèche et y porter remède.

139

Cette affaire met en évidence l'importance de la sensibilisation et de l'information des riverains et personnes protégées. En effet, le propriétaire en cause, sans en mesurer les conséquences potentielles, avait terrassé une partie de la digue pour réaliser une rampe d'accès à ses cultures. Le caractère exceptionnel des crues (qui se produisent parfois une seule fois dans une vie) nécessite de maintenir informée la population des niveaux les plus hauts pouvant être atteints et ainsi se prémunir de telles actions.

Dans le cas du système d'endiguement du Val du Nevers, à l'extrémité aval de la levée de Digoin, à proximité immédiate d'un parc de jeux, il a à ce titre été constaté que la digue a été terrassée en son pied immédiat côté val, tout simplement pour limiter l'accès depuis la digue et ainsi contraindre les usagers à utiliser l'entrée principale (désordre Digoin\_220\_200 de la VTA 2013). Ce terrassement compromet la pérennité de l'ouvrage en cas de crue.



### 6.5.3 Dignes de l'Agly

En mars 2013 une crue de l'Agly (Pyrénées Orientales) a provoqué deux brèches dans la digue rive droite (digue de classe A). Un retour d'expérience a été réalisé et apporte un éclairage intéressant pour la présente étude de dangers. Il met en évidence :

- l'impact de la végétation dans le lit du cours d'eau sur la ligne d'eau en crue et donc sur les surverses.
- l'importance de l'érosion interne au niveau de la fondation par l'apparition de « sand boils<sup>4</sup> » dans le val en arrière de la digue, et des effondrements localisés dans la digue qui sont vraisemblablement la cause initiale de la deuxième brèche (brèche de Pia) ;
- la création d'une fosse d'érosion importante en profondeur (>5 m) et en étendue (environ 100 m) ;
- que les écoulements dans la brèche lors de sa formation sont capables de transporter des blocs d'enrochement, initialement implantés à la base de la digue côté fleuve, à plus de 200 m de distance et au-delà de la fosse d'érosion. Cela confirme l'importance de la dissipation d'énergie en arrière d'une brèche.

---

<sup>4</sup> Sand Boil : cratère de sable créé par la résurgence des eaux chargées



Figure 176 : brèche de Pia sur l'Agly – crue du 6 mars 2013 – (photo : protection civile des Pyrénées-Orientales)



Figure 177 : Coupe d'un sand Boil derrière les digues de l'Agly – crue du 6 mars 2013 – (photo : DDT des Pyrénées-Orientales)

### 6.5.4 Autres retours d'expérience

D'autres enseignements peuvent également être tirés de retours d'expériences complémentaires établis par la DREAL Centre. Ces différents enseignements sont synthétisés dans le tableau ci-après.



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	35	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 Mississipi 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

142

Tableau 21 : principaux enseignements issus de retours d'expérience issus d'autres systèmes d'endiguement (source DREAL Centre)