

Mission de maîtrise d'oeuvre pour les travaux de fiabilisation
des digues communales de Nevers en rive droite
Tranche optionnelle 2 : MOE Travaux de création d'un
déversoir en aval de l'A77

Projet d'aménagement du Val Est



CONSULTING

SAFEGE
Parc d'Activités du Champ de la Chaîne
41 Boulevard du Pré Plantin
Bâtiment B
58005 NEVERS Cedex

Direction France Est

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'île - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safege.com

	<p>Safège - Parc d'Activités du Champ de la Chaîne</p> <p>41 Boulevard du Pré Plantin</p> <p>Bâtiment B</p> <p>58005 NEVERS Cedex</p>
	<p>BRL ingénierie</p> <p>1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001</p> <p>30001 NIMES CEDEX 5</p>

Date du document	01 Février 2023
Contact	Nicolas SICART / Julien AUBONNET

Titre de l'étude	<p>Mission de maîtrise d'œuvre pour les travaux de fiabilisation des digues communales de Nevers en rive droite</p> <p>Tranche optionnelle 2 : MOE Travaux de création d'un déversoir en aval de l'A77</p>
Titre du document	<p>Étude PRO pour le renforcement des digues de Nevers rive droite – PRO de la zone de surverse du val Est</p>
Référence du document :	A00414_MOE_Digue_Nevers-RD_Est_PRO
Indice :	0

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
27/02/2023	0	Première version	AHA / LDU / NSI	NSI / JAU

SOMMAIRE

1	Préambule	7
2	Présentation générale.....	8
2.1	Contexte et objectifs	8
2.2	Objet de la présente étude.....	14
3	État existant.....	15
4	Synthèse des données et contraintes	17
4.1	Enjeux réglementaires	17
4.2	Enjeux environnementaux	18
4.3	Hydrologie : crues de la Loire	18
4.4	Contexte géotechnique	22
5	Conception des aménagements	27
5.1	Rappel de la problématique.....	27
5.2	Contraintes de dimensionnement.....	27
5.3	Zone de surverse	28
6	Description générale des travaux.....	31
6.1	Conception et dimensionnement.....	31
6.2	Travaux projetés	34
7	Sujétions en phase chantier.....	39
7.1	Installations de chantier et stockage.....	39
7.2	Protection du milieu	39
7.3	Lutte contre le bruit	40
7.4	Gestion des crues en phase chantier.....	40
8	Estimation financière	42
8.1	Hypothèses relatives aux métrés.....	42
8.2	Réserves relatives aux crises actuelles	42
8.3	Cout des travaux et synthèse.....	42

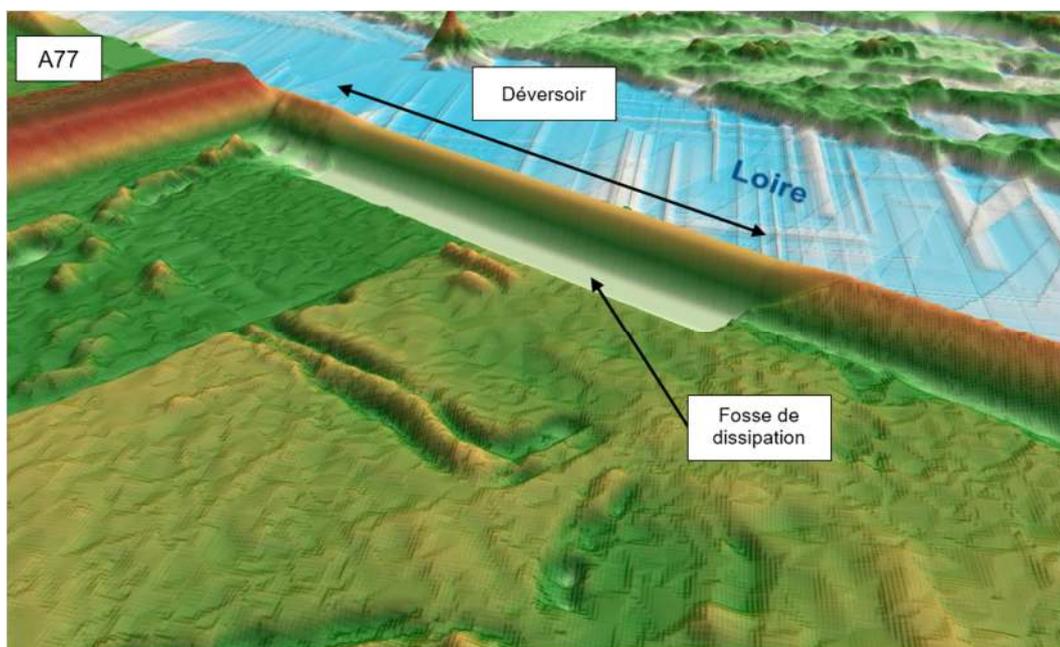
9	Planning prévisionnel.....	43
	Annexes.....	44

1 Préambule

Dans le cadre de la mission de maîtrise d'œuvre pour les travaux de fiabilisation des digues communales de Nevers rive droite, Nevers agglomération, dans la continuité d'EGRIAN et des EDD, a confié au groupement SAFEGE/BRLi la réalisation d'études relatives à la création de zones de surverse et/ou arasement de certaines portions de levées associées à modification administrative de système d'endiguement.

Ces études, décomposées en plusieurs sous-étapes (Étude hydraulique, Étude du cheminement des eaux, Expertise des stations de pompages et d'une note de synthèse globale) on conduit le maître d'ouvrage à retenir, pour le Val EST, une zone de surverse :

- En aval immédiat des remblais de l'A77
- Calée pour la crue d'occurrence 200 ans (Q200)
- D'une longueur d'environ 200m afin de permettre un remplissage du val en environ 10 heures et un débit de surverse pouvant atteindre 89 m³/s



La présente note a pour objet de présenter les études Projet de cette zone de surverse.

2 Présentation générale

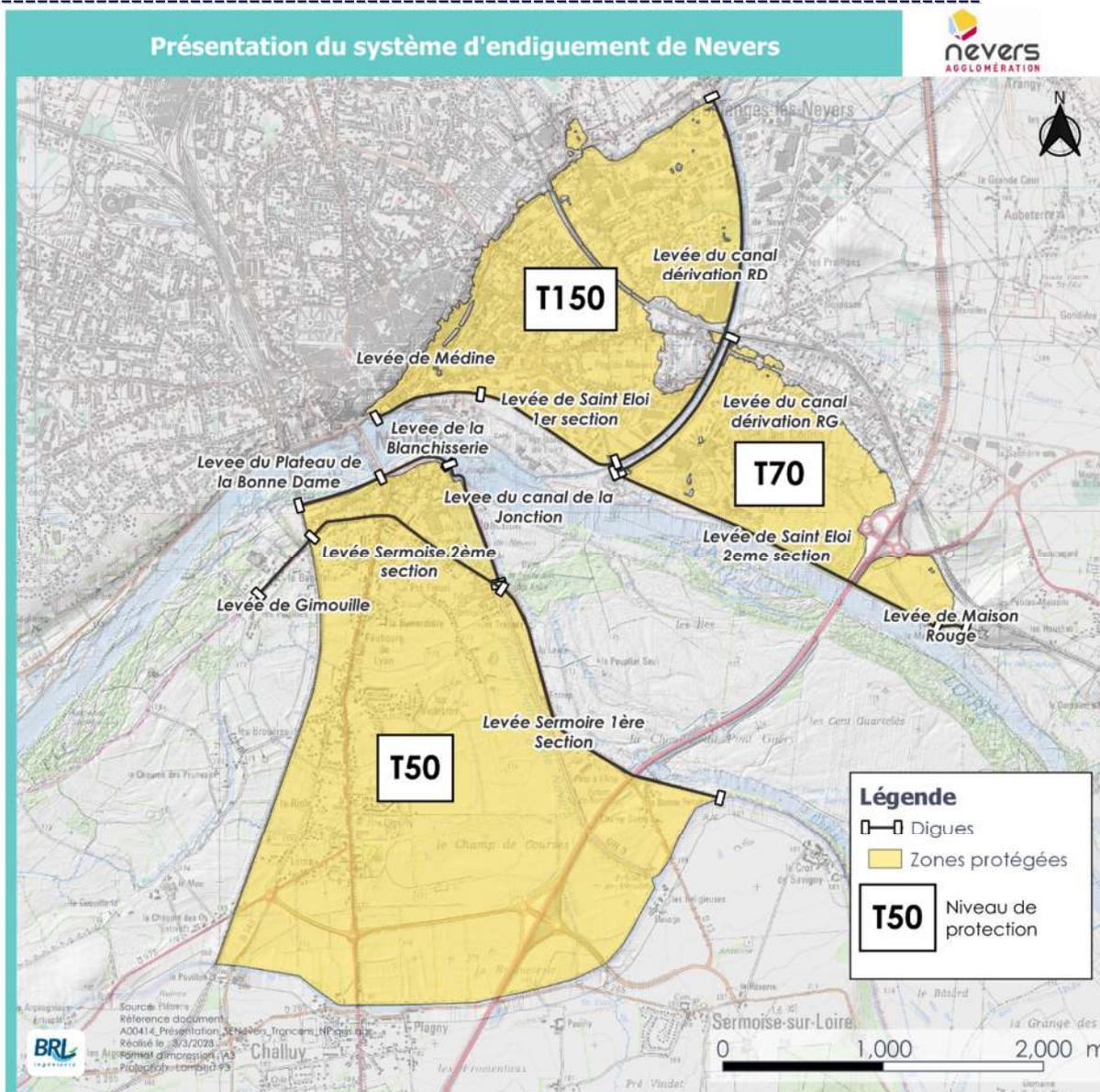
2.1 Contexte et objectifs

2.1.1 Contexte général

L'agglomération de Nevers est protégée contre les crues fortes de la Loire par un système d'endiguement ancien.

En rive droite, une première série de levées protège les quartiers de la Baratte et des Courlis en longeant la Loire rive droite et le canal de la Nièvre rive gauche. Une seconde protège le faubourg de Mouesse et le centre-ville de Nevers en longeant la Nièvre rive droite et la Loire rive droite.

En rive gauche, la levée de Sermoise protège le quartier Saint-Antoine des venues directes depuis la Loire. Elle se prolonge par la levée du canal de Jonction, la levée de la Blanchisserie et la levée du plateau de Bonne Dame.



Les digues de Nevers ont été régularisées en système d'endiguement en 2021 (arrêté préfectoral du 2 février 2021).

Nom de la levée ou du remblai	Longueur de la levée ou du remblai
Levée de Sermoise	2920 m
Canal de la Jonction	735 m
Levée de la Blanchisserie	500 m
Levée du plateau de la Bonne Dame	500 m
Levée de Gimouille	915 m
Levée de Médine	400 m
Levée de Saint-Eloi	3431 m
Canal de dérivation (rive droite)	2600 m
Canal de dérivation (rive gauche)	1110 m

2.1.2 Description du système d'endiguement

Le système de protection du val de Nevers en RD est un système de digues fermées sur les coteaux.

Il 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 l'étude de dangers et du gestionnaire de l'ouvrage et constitue pour partie un résultat de l'analyse fonctionnelle.

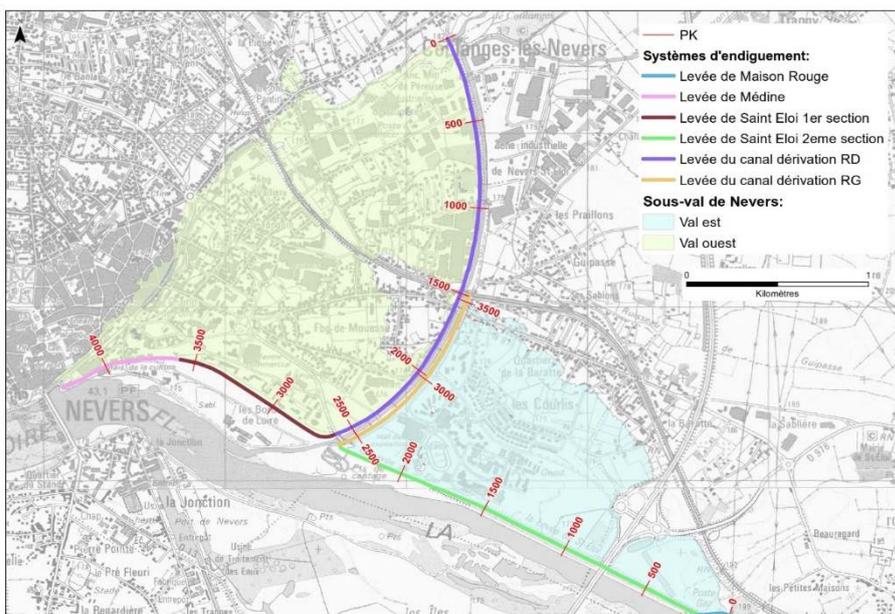


Figure 1: Composition du système de protection du val de Nevers en rive droite

Concernant le val Est, la ligne de défense principale retenue protège le Val 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 2ème 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 : station de pompage et de refoulement de la Baratte, encadrée dans la digue ;
- La présence de l'autoroute A77 qui joue un rôle dans la protection du val et, à ce titre, qui est considérée comme un ouvrage secondaire ; 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 et, aucun ouvrage de transparence n'ayant été relevé sur le linéaire et la cote du sommet du remblai de l'autoroute étant bien supérieure à la cote de la digue, il ne peut y avoir surverse par-dessus le remblai avant une surverse généralisée sur le reste du système d'endiguement.

Comme toutes les levées de la Loire, les levées constitutives du système d'endiguement du val de Nevers sont des ouvrages anciens qui ont été construits et reconstruits par élévations et élargissements successifs au fil des siècles.

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

2.1.3.1 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.

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.

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.

2.1.3.2 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).

2.1.3.3 Entrée d'eau par les ouvrages hydrauliques traversant la levée

Afin de permettre l'isolement du val ou faciliter son évacuation, le Val comporte une station de pompage entre les PK1500 et PK1550.

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'ouvrage et l'inondation liée à son éventuel dysfonctionnement serait vraisemblablement moindre que dans le cas d'une 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.

2.1.3.4 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 terrain naturel (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(s).

2.1.3.5 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.

2.1.4 Enjeux et objectifs

Concernant les levées du val de Nevers, l'étude de dangers a montré que, pour le val Est :

- Le niveau de protection apparent du système de protection correspond à celui atteint par la crue Q650 en Loire et Q100 en Nièvre. Ce niveau de protection n'est qu'apparent dans la mesure où le système de protection est susceptible de rompre avant ce niveau.
- Les études réalisées ont mis en évidence que le niveau de sûreté (niveau d'eau maximum pour lequel la probabilité de rupture de la digue reste négligeable) du système d'endiguement est atteint pour Q70.
- En cas de rupture de défaillance du système d'endiguement, pour une crue type Q70, près de 1098 personnes résidant dans le val seraient inondées.

Compte tenu de ce constat, dans le cadre de l'étude de danger des mesures de réduction du risque ont été étudiées. Ainsi, il a été distingué :

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

2.1.4.1 Mesures structurelles

L'étude de dangers a montré qu'il convenait d'apporter un certain nombre d'améliorations pour relever le niveau de sûreté actuel et ainsi rendre le système de digues fiable jusqu'aux premières surverses.

Dans ce but, les actions envisageables sont les suivantes :

- Traiter les zones affectées par la végétation ligneuse ancienne ou existante ;
- Traiter les zones sensibles aux risques d'érosion interne ou renard hydraulique ;
- Traiter les zones endommagées par les animaux fouisseurs ;
- Traiter les canalisations

2.1.4.2 Mesures fonctionnelles : Renforcement vis-à-vis de la surverse

Pour qu'un système d'endiguement ait un niveau de risque acceptable, il est nécessaire à terme que le niveau de sûreté dépasse le niveau de protection. C'est-à-dire qu'il faut faire en sorte, pour des crues supérieures à la crue de protection, que les surverses ne provoquent pas de brèches. L'objectif est de préserver à la fois les vies et les intérêts économiques.

Nota : Un pré-requis est que la probabilité de rupture des levées soit quasi-nulle pour le niveau de la crue de protection : c'est l'objet des mesures structurelles prioritaires.

Il est nécessaire de gérer les surverses pour des crues supérieures à la crue de protection. En effet les ouvrages en remblai ne sont pas conçus pour résister à des phénomènes de surverse. Les écoulements sur le talus côté val provoquent une érosion progressive du talus, ce qui entraîne rapidement la formation d'une ravine, puis celle d'une brèche. De plus, les irrégularités des côtes de crête aggravent le risque car induisent la concentration des écoulements, ce qui augmente le phénomène d'érosion externe.

Deux principes de confortement peuvent être retenus. Soit le confortement de la totalité de l'ouvrage pour le rendre « résistant » à la surverse, soit l'aménagement d'une zone déversante choisie, « résistante à la surverse », et la rehausse de l'ensemble du linéaire non conforté.

Le principe de confortement généralisé afin de rendre la totalité de l'ouvrage résistant à la surverse implique :

- de reprendre les points bas et niveler la côte de crête de l'ouvrage pour homogénéiser la cote de crête sur tout le linéaire de l'ouvrage par rapport à la ligne d'eau théorique ;
- de conforter la crête, le talus côté val et le pied de talus pour les rendre résistants à la surverse.

Le deuxième principe de confortement visant à favoriser le déversement en un secteur précis implique :

- d'aménager une zone déversante, résistante à la surverse, permettant d'inonder le val avant la surverse généralisée et ainsi éviter le risque de brèche et inondation brusque associée ;
- de reprendre les points bas et rehausser la cote de crête de l'ouvrage pour assurer une revanche homogène sur tout le linéaire de l'ouvrage.

Une étude spécifique devra être réalisée afin de comparer ces deux principes de confortement, tant du point de vue de la faisabilité que du point de vue financier. Elle permettra notamment :

- de concevoir le confortement à mettre en œuvre vis-à-vis de la surverse (soit ponctuellement, soit de façon généralisée), conformément aux règles de l'art (pente, nature du revêtement, dimension de la fosse de dissipation éventuelle, etc.) ;
- concernant le deuxième principe :
 - de déterminer la largeur déversante en fonction du débit déversant et du temps de remplissage du val souhaité ;
 - de déterminer la revanche appropriée (fonction de la lame d'eau déversante) et donc la côte de crête à atteindre lors des opérations de rehausse/nivellement.

Rappel : Le principe de confortement ponctuel présente les avantages suivants :

- maîtriser le lieu des premières surverses (notamment en fonction des enjeux) ;
- limiter le risque de brèche pour une crue légèrement supérieure au niveau de protection apparent mais également, selon le contexte du val, par le matelas d'eau induit, de limiter par la suite le risque de désordres et/ou brèches pour des surverses généralisées associées à des crues supérieures. Ce dernier point devant être confirmé par l'étude spécifique.

2.2 Objet de la présente étude

L'État et Nevers Agglomération ont co-rédigé en 2016 la Stratégie Locale de Gestion du Risque d'Inondation (SLGRI) du territoire de Nevers dans le cadre de la déclinaison de la directive inondation. La SLGRI a été écrite à partir de l'Étude Globale du Risque Inondation de Nevers (EGRIAN) pilotée par Nevers Agglomération entre 2007 et 2013.

La SLGRI a été approuvée par arrêté préfectoral en décembre 2016 et Nevers Agglomération a été désignée structure porteuse. La stratégie est déclinée en mesures opérationnelles chiffrées dans un Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) porté par Nevers Agglomération. Le label PAPI a été obtenu par Nevers Agglomération en janvier 2017.

Parmi les mesures retenues dans la stratégie locale, deux actions visent à fiabiliser le système d'endiguement communal rive droite de Nevers :

- Des interventions ponctuelles de confortement concernant les points de fragilité permettant de rehausser le niveau de sûreté,
- Des interventions complémentaires, type déversoirs de sécurité permettant d'éviter la défaillance du système d'endiguement.

Le groupement Safège/BRLi a été mandaté pour réaliser la mission de maîtrise d'œuvre relative à ces mesures.

L'objectif des travaux sur les systèmes d'endiguement rive droite est de fiabiliser les ouvrages de protection existants pour atteindre un niveau de sûreté T200 ans minimum.

Le marché comporte 4 tranches :

- Tranche ferme : MOE points de fragilité Val Ouest et Val Est + Etudes préliminaires des 3 tranches optionnelles détaillées ci-après.
- Tranche optionnelle n°1 : MOE Travaux de modification de la ligne de défense principale de la digue au lieu-dit Maison Rouge en amont de l'A77
- Tranche optionnelle n°2 : MOE Travaux de création d'un déversoir en aval de l'A77
- Tranche optionnelle n°3 : MOE Travaux de création d'un déversoir en aval du canal de dérivation de la Nièvre.

Le présent rapport a pour objet la phase PRO (Projet) de la tranche optionnelle 2. Il s'agit de l'opération 6 de zone de surverse du val Est, décrite dans le PGF, et dont les objectifs sont :

- Sécuriser la digue vis-à-vis du risque de rupture par érosion interne pour des crues supérieures à T200 (par réduction de la charge hydraulique sur l'ouvrage) ;
- Sécuriser la digue vis-à-vis du risque de brèche par surverse généralisée (par la création/la favorisation d'un matelas d'eau côté zone protégée).

3 État existant

Le secteur objet de la présente étude de surverse projetée se situe entre les profils 17 et 29 de la levée de la Saint Eloi en aval de l'A77 (pm850 à 1450).

Ce secteur se caractérise par :

- Un talus côté Loire protégé par un parement béton (en bon état général) et des enrochements en pied
- Une crête aménagée avec un chemin permettant la circulation des piétons et cyclistes
- Un talus côté zone protégée présentant une pente douce avec de l'herbe rase et quelques arbres

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

PK850 à 1050 (zone de surverse)	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	31.4	42.7	36.7
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	4.3	4.5	4.4
Pente côté Loire (H/V)	2.6	3.1	2.8
Pente côté zone protégée (H/V)	3.8	4.3	4.1
Larguer de digue en crête (m)	2.8	3.9	3.4

Concernant le secteur aval de la zone de surverse, suite à l'AVP, il n'a pas été retenu par NA la solution de dévoiement de la conduite de gaz et de confortement de la digue par massif filtrant. Seule la réalisation d'une piste d'entretien à pied a donc été conservée dans le cadre du présent PRO.

Il est précisé que les modalités et sujétions techniques relatives à la réalisation des travaux de dévoiement de la conduite et de reconstruction de la digue en aval immédiat de la zone de surverse (tel que retenu par NA) relève de la responsabilité du GRDF et, de fait, ne sont pas traités dans le présent rapport.

Pour mémoire ce secteur, depuis la zone de surverse jusqu'à la station de pompage, présente les caractéristiques géométriques suivantes :

PK1050 à 1450	Min	Max	Moyenne
Largeur de digue en pied (m)	32	41.9	38.3
Hauteur de la digue/TN côté zone protégée (m)	3	4.9	4.4
Pente côté Loire (H/V)	2.1	3.1	2.6
Pente côté zone protégée (H/V)	3.7	4.3	3.9
Larguer de digue en crête (m)	3.4	5.5	4.3



Figure 2 : 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 3 : végétation clairsemée sur talus coté val (vue vers l'amont)



Figure 4 : terrier de diamètre supérieur à 30cm en milieu de talus coté Loire (sous parement bétonné)



Figure 5 : protection de la berge en enrochements libres avec quelques blocs déstabilisés

D'un point de vue fonctionnel, il convient de rappeler que le secteur objet des travaux correspond à un profil renforcé avec paroi bentonite. Cette paroi a été mise en place en 1975 lors de travaux de confortements.

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

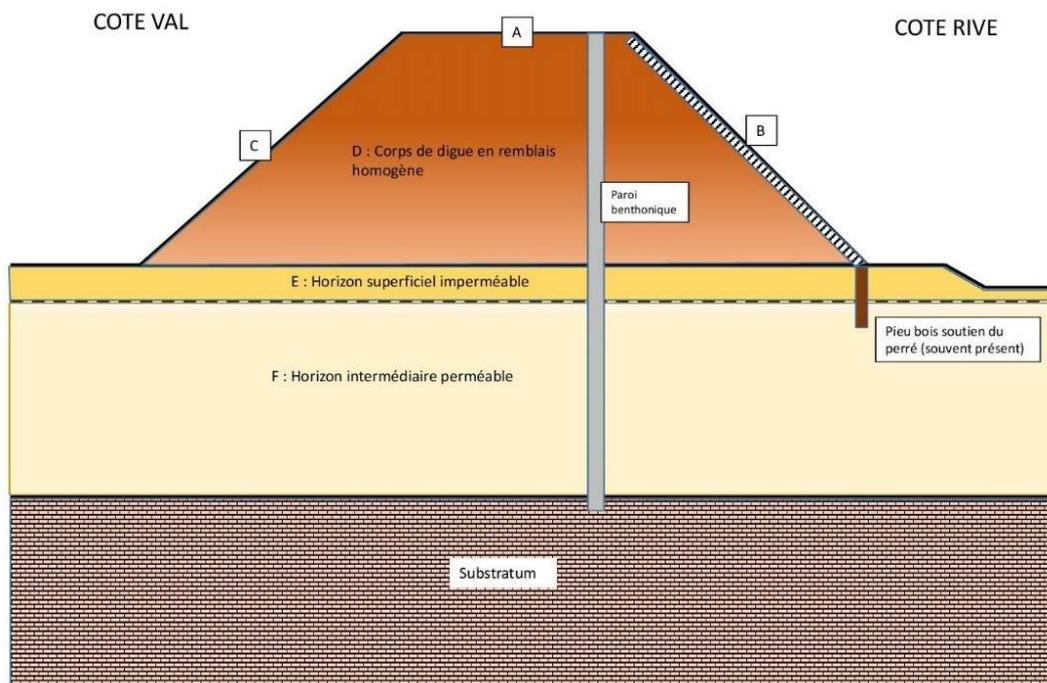


Figure 6 : profil en travers des levées de Nevers renforcées avec paroi bentonitique

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 Maître d'Ouvrage en cours d'étude :

- Les travaux bentonite datent de 1975 : ils couvrent la totalité du linéaire de la digue de Saint Eloi 2ème 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, des investigations par panneaux électriques ont été réalisées dans la cadre de l'EDD. Les résultats sont présentés dans l'étude élémentaire 5 jointe en annexe 2 de l'EDD.

4 Synthèse des données et contraintes

4.1 Enjeux réglementaires

Les enjeux règlementaires sont abordés dans la note de cadrage règlementaire produite en septembre 2022 dans la cadre de la présente opération et référencée : 20220812_Nevers_RD_cadrage_reglementaire_ind0_v4

4.2 Enjeux environnementaux

Les enjeux environnementaux et mesures ERC sont présentées dans l'expertise écologique réalisée produite par l'IEA en janvier 2023 et reprises dans le cadre de la demande d'autorisation environnementale en cours de production dans le cadre de la présente opération.

4.3 Hydrologie : crues de la Loire

4.3.1 Présentation

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

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

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

4.3.1.1 Les crues « cévenoles »

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

4.3.1.2 Les crues océaniques

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

Parmi les dernières crues marquantes de cette famille, on peut citer les crues du printemps 1983. La Loire à Nevers a atteint en avril un débit de 2 230 m³/s, alors qu'en amont de Roanne son débit était de 1 450 m³/s, et en mai un débit de 2 400 m³/s alors que son débit amont était de 1 570 m³/s.

4.3.1.3 Les crues mixtes

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

Un aperçu des principales crues historiques observées sur la Loire moyenne et de leur typologie est fourni au chapitre 7.

4.3.2 Détermination des débits de pointe et des hydrogrammes

4.3.2.1 Données disponibles et méthodes mises en œuvre

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

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

4.3.2.2 Influence du barrage de Villerest

Le barrage de Villerest, mis en service en 1985 sur la Loire en amont de Roanne, à 245 km en amont du val de Nevers, est le seul ouvrage du bassin de la Loire à avoir dans ses fonctions de participer à l'écrêtement des crues. Il s'agit d'un barrage poids arqué en béton. Sa hauteur est de 60 mètres. Le volume total de sa retenue est de 238 millions de mètres cube. La capacité maximale de stockage des eaux pour l'écrêtement, vis-à-vis de ce volume, est de 130 millions de mètres cube.

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

Il a une capacité d'écrêtement variable. Lorsque le débit de pointe entrant est compris entre 1 000 m³/s et 2 000 m³/s, le débit sortant est écrêté à 1000 m³/s au pied du barrage à Roanne. Pour un entrant de 2000 à 4000 m³/s, le débit sortant est écrêté à la moitié de l'entrant.

Lors de crues exceptionnelles, l'ouvrage peut diminuer le débit à l'entrée de la Loire moyenne (Bec d'Allier) jusqu'à 1 000 m³/s dans les configurations les plus favorables, et de l'ordre de 500 m³/s à 700 m³/s pour des événements similaires à ceux du XIXe siècle.

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

4.3.2.3 Crues moyennes à extrêmes : débits de pointe et hydrogrammes des crues caractéristiques

Les hypothèses de débit de crue à retenir basées sur la méthode EGRIAN sont synthétisées dans le tableau ci-après. Le corps des hydrogrammes s'appuieront de fait sur ceux du modèle LM10 sur la branche Loire.

Période de retour	50 ans	70 ans	100 ans	170 ans	200 ans	500 ans	750 ans	1000 ans	1400 ans	2000 ans
Débit de pointe [m ³ /s]	2211	2528	3187	3400	3773	4400	4665	4900	5305	5755

Tableau 1 : caractéristiques des crues moyennes à rares de la Loire en amont du val de Nevers

Les valeurs ci-avant prennent en compte l'écrêtement du barrage de Villerest. La capacité d'écrêtement considérée est une réduction du débit de pointe de 1000 m³/s.

Par ailleurs, les débits de pointe sont inférieurs à ceux estimés à l'échelle de Nevers dans l'étude Loire moyenne. Cela s'explique par l'apport de la Nièvre qui rejoint la Loire dans notre secteur d'étude. La somme des débits de la Loire et de la Nièvre donne bien 5000 m³/s pour T=1000 ans par exemple (cf. ci-après).

Dans le but de déterminer le plus précisément possible les niveaux de protection apparente du val étudié, des occurrences intermédiaires ont été calculées par interpolation et des occurrences supérieures à la crue millénaire ont également été définies par extrapolation.

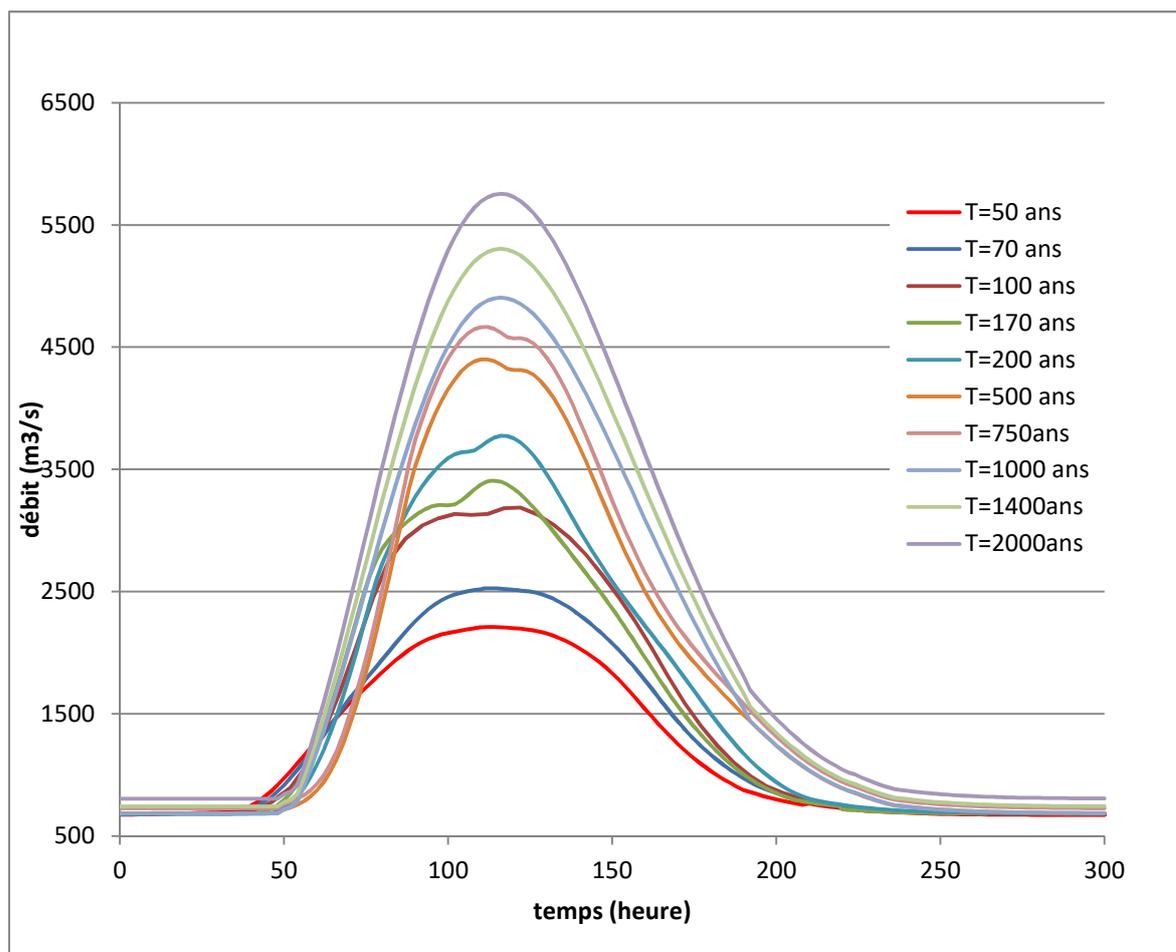


Figure 7 : Hydrogramme de la Loire en amont du val de Nevers pour différentes occurrences de crue

Afin de se placer dans une position sécuritaire, il a été pris en compte une concomitance parfaite entre une crue centennale de la Nièvre et l'ensemble des crues d'occurrences simulées sur la Loire.

L'hydrogramme de la Nièvre provient d'une étude spécifique sur cet affluent réalisée dans le cadre de la démarche Egrian. Il a été calculé au niveau du Pont St-Ours qui correspond à l'entrée du modèle hydraulique qui est utilisé dans le chapitre 8 de la présente EDD. Le débit de pointe de la crue centennale de la Nièvre à Pont St-Ours est de 103 m³/s

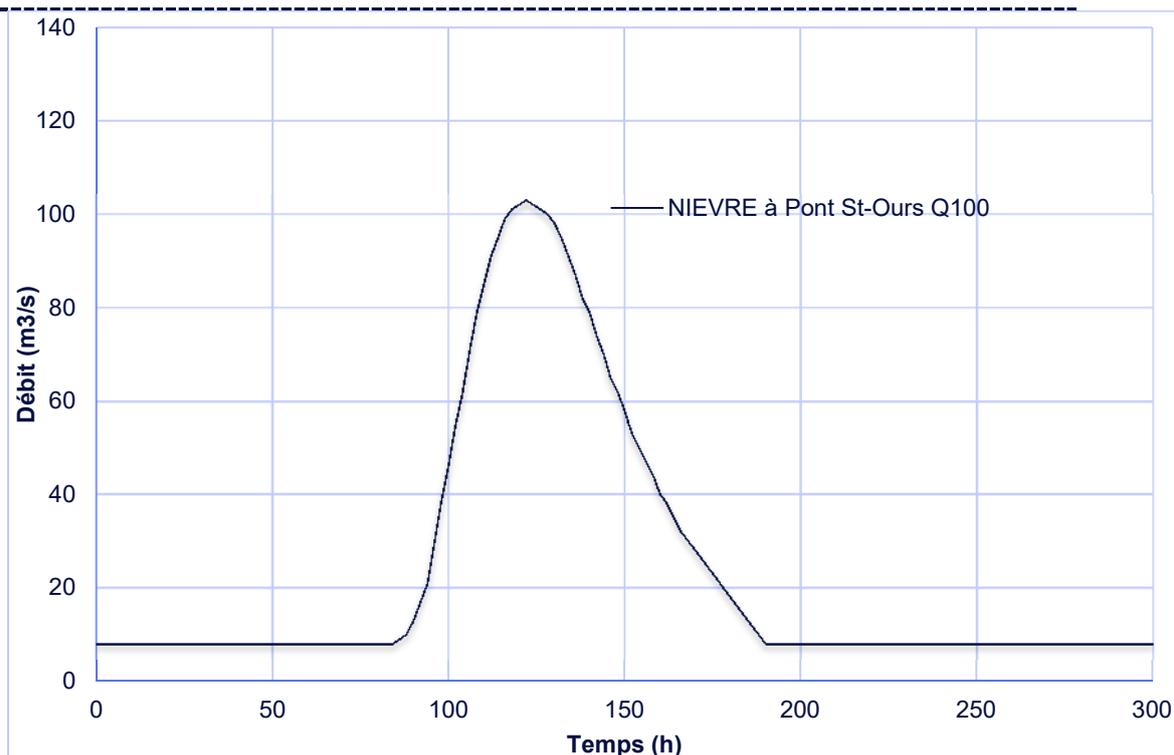


Figure 8 : Hydrogramme de la crue centennale de la Nièvre au niveau de Pont St-Ours

4.3.2.4 Cinétique et dynamique des crues de la Loire

En complément aux informations fournies ci-avant, les ordres de grandeur suivants permettent de mieux apprécier la cinétique et la dynamique des sollicitations hydrauliques générées par les crues de la Loire sur les ouvrages :

- Durée de crue (débit > Q2) : de 4 à 5 jours selon l'occurrence de crue considérée
- Vitesse de propagation de l'onde de crue : environ 2.5 km/h
- Vitesse de montée des eaux dans le lit endigué de la Loire : 5 à 15 cm/h

Compte tenu de la cinétique de crue et de la dynamique de propagation, l'onde de crue est relativement étendue puisque sur une vingtaine de kilomètres de part et d'autre d'un point, le débit ne varie que d'une dizaine de pourcents.

4.3.3 Prise en compte du risque de rupture de digue en amont ou en aval du val de Nevers

Les lignes d'eau au droit du val de Nevers – et donc les occurrences de premières surverses – dépendent non seulement de l'hydrologie en amont de Nevers mais aussi de l'inondation des vals situés en amont et des vals situés en aval. En effet :

- L'inondation des vals amont est susceptible de modifier l'importance du laminage offert par le lit majeur, donc des débits totaux transitant dans la Loire et au final les lignes d'eau dans le lit endigué
- L'inondation des vals aval est susceptible de modifier la part de débit transitant dans le lit endigué, donc les lignes d'eau au droit des vals en question et au final, par remous (écoulements en régime fluvial), les lignes d'eau au droit du val étudié

Dans tous les cas, une brèche accidentelle ou « naturelle » (surverse) sur un val quelconque induit un abaissement de la ligne d'eau au droit du val étudié.

Aussi, dans un souci sécuritaire (les crues historiques ont montré la variabilité des scénarios de brèches amont / aval) et afin de préfigurer une situation à moyen terme où les digues de l'ensemble des vals seraient sécurisées, l'hydrogramme amont et la courbe de tarage en aval ne prennent en compte aucune brèche sur les autres vals.

4.3.4 Influence de la rupture de barrages en amont

Le seul barrage dont la rupture accidentelle pourrait avoir un impact sur l'hydrologie du fleuve au droit du val de Nevers est le barrage de Villerest sur la Loire.

Le risque de rupture du barrage de Villerest a été étudié par EDF en 1974¹, puis révisé en 2001 par ISL² pour le compte de l'Établissement Public Loire (les études liées au barrage de Villerest intègrent la défaillance du barrage de Grangent en amont de celui-ci).

L'objectif de ces études consistait à déterminer l'hydrogramme généré par la rupture de l'ouvrage et les conditions de propagation de l'onde de crue correspondante en vue d'établir le Plan Particulier d'Intervention.

Les calculs ont été menés dans le cas d'une rupture sur front sec (débit initial faible à l'aval du barrage) ainsi que dans le cas d'une rupture lors d'une crue forte, de type 1846. Ils ont été réalisés depuis la retenue jusqu'à 7 km en aval du bec d'Allier, et permettent ainsi de caractériser l'impact de la rupture de Villerest sur l'hydrologie en entrée de la Loire moyenne.

L'étude conclut que l'onde de rupture sur front sec se propage en 18 h entre Villerest et Nevers. Le maximum de l'onde arrive à Nevers en 36 h, le débit de pointe correspondant étant alors de 4 100 m³/s.

Dans le cas d'une onde de rupture sur front humide (crue de type 1846), le maximum de l'onde se propage de Villerest à Nevers en 27 h, pour un débit de pointe de 10 000 m³/s.

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

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

4.4 Contexte géotechnique

4.4.1 Éléments géotechniques bibliographiques

Les documents d'étude géotechnique mis à disposition et/ou récupérés auprès de la DDT 58 sont présentés ci-dessous :

¹ *Onde de submersion à l'aval du barrage de Villerest*, EDF LNH, 1974.

² Révision et complément de *l'Étude de l'onde de submersion du barrage de Villerest*, Établissement public Loire, ISL, janvier 2001.

- Document 1 : Etude de diagnostic des levées domaniales de la Loire – Volet historique – Mars 2002 – réalisée par SOGREAH à la demande et pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement de la Nièvre
- Document 2 : Etude de diagnostic des levées domaniales de la Loire – Inspection visuelle – Lot n°1 : Sermoise/Nevers – Avril 2002 – réalisée par SOGREAH à la demande et pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement de la Nièvre
- Document 3 : Etude de diagnostic des levées domaniales de la Loire – Reconnaissances géotechniques et géophysiques – Septembre 2002 – réalisée par SOGREAH à la demande et pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement de la Nièvre
- Document 4 : Etude de diagnostic des levées domaniales de la Loire – Volets hydrogéologique et géomécanique – Septembre 2002 – réalisée par SOGREAH à la demande et pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement de la Nièvre
- Document 5 : Etude de diagnostic des levées domaniales de la Loire – Document de synthèse Lot n°1 : Sermoise/Nevers – Octobre 2002 – réalisée par SOGREAH à la demande et pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement de la Nièvre
- Document 6 : Etude élémentaire S06 de l'EDD RD réalisée par Egis en juillet 2014 à la demande et pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement de la Nièvre

4.4.2 Éléments géotechniques complémentaires

Dans le cadre des études relatives à l'opération 6 de gestion de surverse dans le Val Est en aval de l'A77, il a été réalisé des reconnaissances géotechniques complémentaires sur l'ensemble du linéaire de la levée de Saint Eloi.

Ces reconnaissances ont fait l'objet du rapport RD12.I.048-3A - Rapport Levée de Saint Eloi

4.4.3 Paramètres géomécaniques

Les tableaux ci-dessous présentent les modèles géotechniques préconisés par ces études.

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

LEGENDE :

Investigations antérieures (implantation approximative) :

◆ Sondage carotté (SC) réalisé par Alios en 2016

Sondages réalisés pour la présente étude :

◆ Sondage carotté (SC)

◆ Sondage pressiométrique (SP)

100 m 500 m



6. TABLEAUX RECAPITULATIFS

Note préalable :

Les valeurs grisées sont issues :

- Soit des résultats des sondages et essais réalisés en 2016 par Alios (les cotes des têtes n'ont pas été relevées et les données ne sont pas vérifiées, donc pas validées par le CEBTP qui ne saurait être tenu responsable en cas de différence notable),
- Soit d'extrapolations à partir de sondages et essais réalisés sur les digues de Nevers dans des formations similaires (en l'absence d'élément permettant une corrélation, il n'a pas été noté de valeur « - »).

Les limites entre le corps de digue et le sol d'assise alluvionnaire sont basées sur la topographie du terrain (notamment les hauteurs de digue) et les limites de couches différenciées, en prenant comme hypothèse que la digue avait été édifiée sur le terrain préexistant, donc avec une discontinuité lithographique.

6.1 Corps de digue

Sondages	Localisation	Caractéristiques du corps de digue										
		Lithologie	Profondeur de la base	Cote de la base	Epaisseur	Niveau d'eau (Q1000)	Classe GTR	Densité γ_h	Perméabilité	Pression limite pl_u'	Cohésion C'	Angle de frottement φ'
SC14	Ouest PK1500	1b - Argile très sableuse + quelques graviers	0.6 m	-	0.6 m	178.87 m NGF	A ₁	17 kN/m ³	1 . 10 ⁻⁷ m/s	-	10 kPa	25 °
		2b - Sables et graviers argileux	4.4 m	-	3.8 m		B ₁	16 kN/m ³	2 . 10 ⁻⁶ m/s	-	0 kPa	35 °
SC22 SP21 SC15	Ouest de l'A77 PK900 à 1000	1b - Argile très sableuse + quelques graviers	3.4 m	175.6 m NGF	3.4 m	178.94 m NGF	A ₁	17 kN/m ³	5 . 10 ⁻⁷ m/s	1.3 MPa	10 kPa	25 °
		2c - Sables et graviers argileux	4.5 m	170.9 m NGF	174.4 m		B ₅	19 kN/m ³	3 . 10 ⁻⁷ m/s	0.7 MPa	0 kPa	39 °
SC23	Est de l'A77 PK600	1a - Argile sableuse plastique	1.2 m	178.1 m NGF	1.2 m	179.23 m NGF	A ₃	16.5 kN/m ³	-	-	-	-
		1b - Argile très sableuse + quelques graviers	2.1 m	177.2 m NGF	0.9 m		A ₁	18 kN/m ³	1 . 10 ⁻⁷ m/s	-	10 kPa	25 °
		2a - Sables limoneux + quelques graviers	4.7 m	174.6 m NGF	2.6 m		B ₅	19 kN/m ³	5 . 10 ⁻⁷ m/s	-	0 kPa	35 °
SC24	Est de l'A77 PK400	1b - Argile très sableuse + quelques graviers	1.7 m	177.8 m NGF	1.7 m	179.32 m NGF	A ₁	17 kN/m ³	1 . 10 ⁻⁷ m/s	-	10 kPa	25 °
		2a - Sables limoneux + quelques graviers	2.3 m	177.2 m NGF	0.5 m		B ₅	16 kN/m ³	5 . 10 ⁻⁷ m/s	-	0 kPa	35 °
		1c - Argile sableuse	3.4 m	176.1 m NGF	1.1 m		A ₁	17 kN/m ³	1 . 10 ⁻⁷ m/s	-	10 kPa	25 °

6.2 Sol d'assise alluvionnaire

Sondages	Localisation	Caractéristiques du sol d'assise alluvionnaire										
		Lithologie	Profondeur de la base	Cote de la base	Epaisseur	Niveau d'eau (Q1000)	Classe GTR	Densité γ_h	Perméabilité	Pression limite p_{ls}^*	Cohésion C'	Angle de frottement φ'
SC14	Ouest PK1500	2d - Sables et graviers	$\leq 10,1$ m	-	$\geq 5,7$ m	178.87 m NGF	D ₂	16 kN/m ³	5 . 10 ⁻⁶ m/s	-	0 kPa	35 °
SC22 SP21 SC15	Ouest de l'A77 PK900 à 1000	2c - Sables et graviers argileux	15.4 m	$\leq 170,9$ m NGF	$\geq 4,0$ m	178.94 m NGF	B _s	19 kN/m ³	3 . 10 ⁻⁷ m/s	0.7 MPa	0 kPa	39 °
SC23	Est de l'A77 PK600	1c - Argile sableuse	$\leq 6,5$ m	$\leq 172,8$ m NGF	$\geq 1,8$ m	179.23 m NGF	A ₁	17 kN/m ³	1 . 10 ⁻⁷ m/s	-	10 kPa	25 °
SC24	Est de l'A77 PK400	2e - Sables argileux	4.2 m	175.3 m NGF	0.8 m	179.32 m NGF	B _s	16 kN/m ³	5 . 10 ⁻⁷ m/s	-	0 kPa	35 °
		1c - Argile sableuse	$\leq 6,2$ m	$\leq 173,3$ m NGF	$\geq 2,0$ m		A ₁	19 kN/m ³	1 . 10 ⁻⁷ m/s	-	10 kPa	25 °

6.3 Substratum rocheux

Sondages	Localisation	Caractéristiques du substratum rocheux										
		Lithologie	Profondeur de la base	Cote de la base	Epaisseur	Niveau d'eau (Q1000)	Classe GTR	Densité γ_h	Perméabilité	Pression limite p_{ls}^*	Cohésion C'	Angle de frottement φ'
SC15	Ouest de l'A77 PK900 à 1000	4 - Marno-calcaire	15.4 m	-	$\geq 3,8$ m	178.94 m NGF	-	21 kN/m ³	-	-	-	-

5 Conception des aménagements

5.1 Rappel de la problématique

Dans le cadre de l'EDD, le secteur en aval immédiat de l'A77 a été identifié comme présentant un risque de rupture par érosion interne non négligeable. Ce constat est induit :

- Par la présence de végétation (sur le talus côté zone protégée mais aussi côté Loire) ;
- Par un approfondissement du TN et ainsi, sur ce secteur, par des charges hydrauliques plus importantes que sur le reste du linéaire aval.

Dans le cadre de l'EDD, afin de tenir compte de l'ensemble des risques identifiés (érosion interne, sollicitation hydrodynamique côté Loire et risque de surverse), et conformément aux études préalables telles que EGRIAN, il a été recommandé d'étudier l'aménagement au droit de ce secteur d'une zone de surverse.

Considérant que des travaux ponctuels seront engagés pour garantir un niveau de sûreté de Q200, cette zone de surverse aura pour objectif de sécuriser la digue pour des crues d'occurrences supérieures à Q200. Le principe retenu est d'équilibrer les charges hydrauliques en favorisant l'inondation du val.

Il convient de noter que l'emprise de la zone de surverse ne couvre pas la totalité du secteur identifié comme sensible vis-à-vis du risque de brèche par érosion interne, notamment du fait de la présence de végétations ligneuses et d'animaux fouisseurs à proximité. Ainsi, dans la continuité de la zone de surverse et ce, jusqu'à proximité de la station de pompage, il est recommandé la mise en œuvre de dispositifs de pérennisation de l'ouvrage de type massif filtrant et grillage anti-fouisseur.

5.2 Contraintes de dimensionnement

Les principales contraintes identifiées, en lien avec les travaux projetés sont les suivantes :

- Côté Loire :
 - La présence de végétation dense côté Loire
 - Et un ségonal (partie comprise entre la digue et le fleuve) de très faible largeur
- Au droit de l'ouvrage :
 - La présence d'une conduite de gaz dans le corps de la digue en partie médiane du talus côté zone protégée ;
- En pied côté zone protégée :
 - La présence de végétation dense

De plus, d'un point de vue fonctionnel, il a été précisé par le Maître d'Ouvrage le souhait de maintenir la continuité de la traficabilité type « PMR » en crête de digue.

5.3 Zone de surverse

5.3.1 Résultats hydrauliques – Rappel de l'étude préliminaire

Dans le cadre de l'étude EGRIAN, plusieurs localisations de zones de surverse ont été testées dans une première approche basée sur un modèle hydraulique 1D.

La zone de surverse concernée est la zone de surverse avec aval du remblai de l'A77. L'étude préliminaire hydraulique sur ce secteur a conduit à modéliser 49 configurations d'aménagement pour cette zone de surverse en 1D dans un premier temps à l'aide d'une feuille Excel intégrant l'hydrogramme de crue de la Loire, les lois $Q(H)$ des déversoirs, les courbes hauteur/volume des casiers. Dans un second temps, une dizaine de configurations d'aménagement parmi celles étudiées précédemment ont été modélisées sous TELEMAC2D.

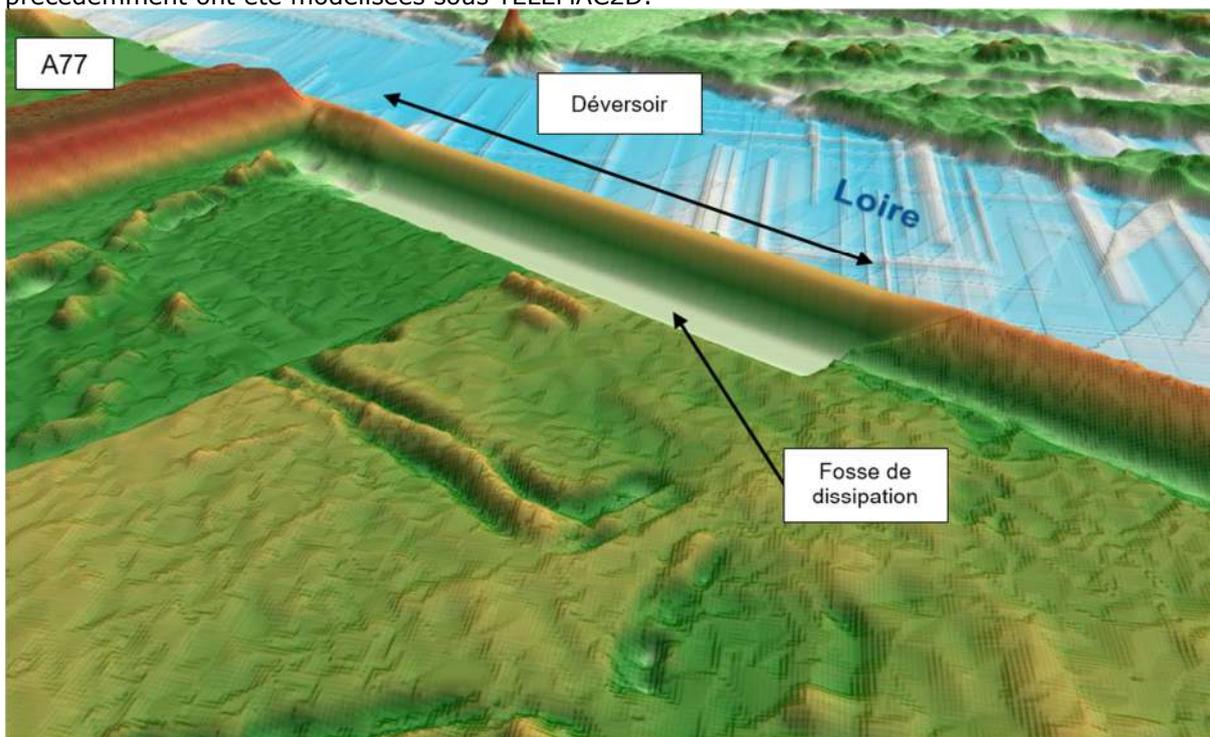


Figure 9: Illustration en perspective du déversoir dans le val Est en aval de l'A77

La démarche a consisté à bien comprendre l'influence des différents paramètres de dimensionnement sur la dynamique d'inondation du val, pour diverses occurrences de crue. Les paramètres testés ont été constitués par la cote de calage de la zone de surverse et par sa largeur.

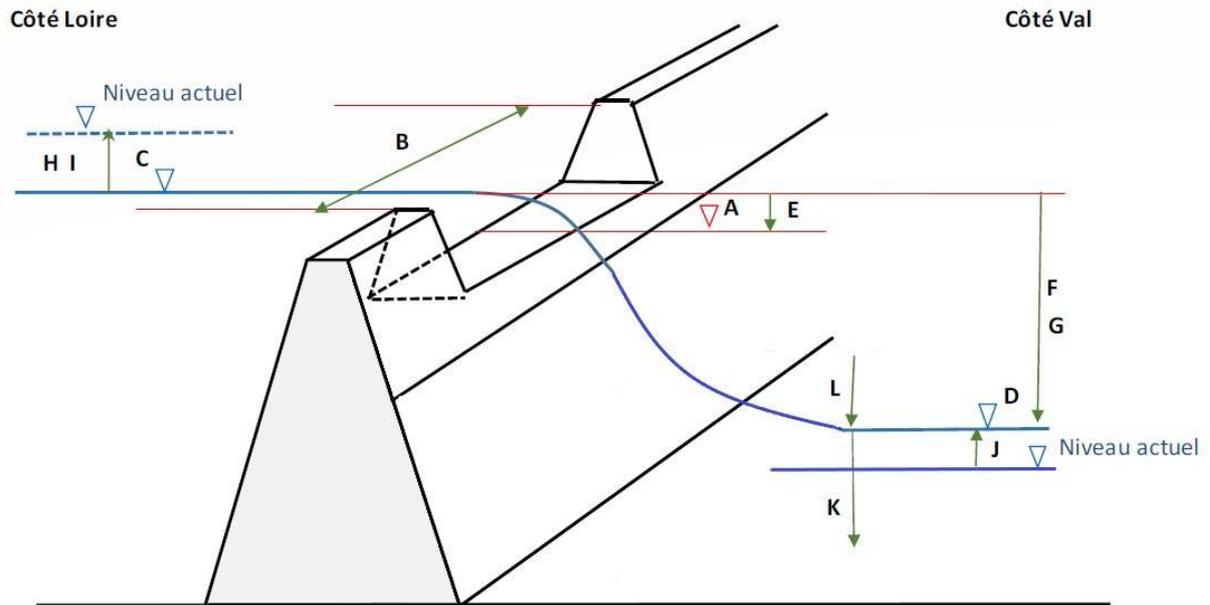
Parmi les scénarios étudiés, l'aménagement d'un déversoir de 200m positionné entre les PK850 et 1050 (hors rampe d'accès) dans le val Est en aval de l'A77 combiné à deux occurrences (l'une comprise entre T170 et T200 et l'autre correspondant à T200) a été étudié.

Scénario	Occurrence de début de fonctionnement	Niveau du déversoir dans le val Est
SC4	$170 < T < 200$	177.75 mNGF
SC5	$T = 200$	177.9 mNGF

En concertation avec le Maître d'Ouvrage, il a été décidé de retenir une occurrence de début de fonctionnement pour la crue de période de retour de 200ans.

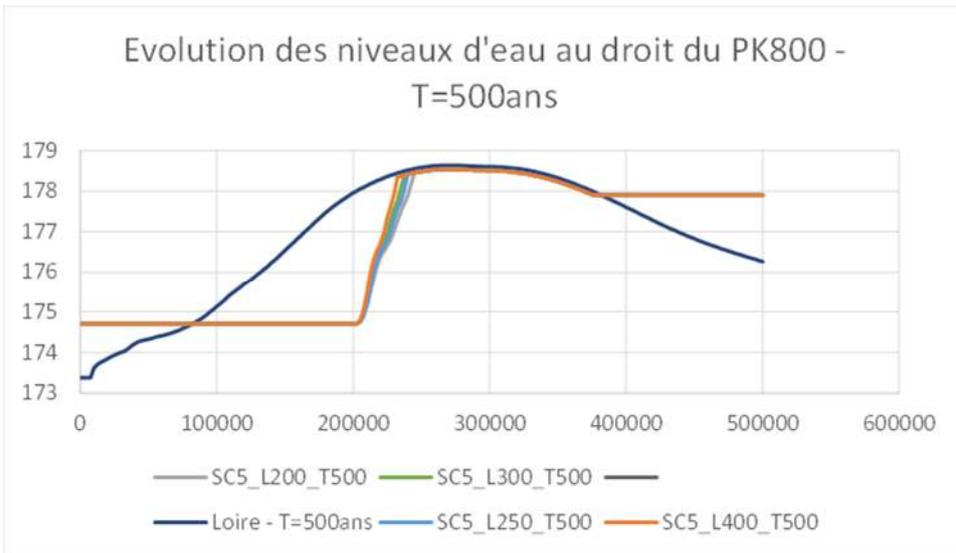
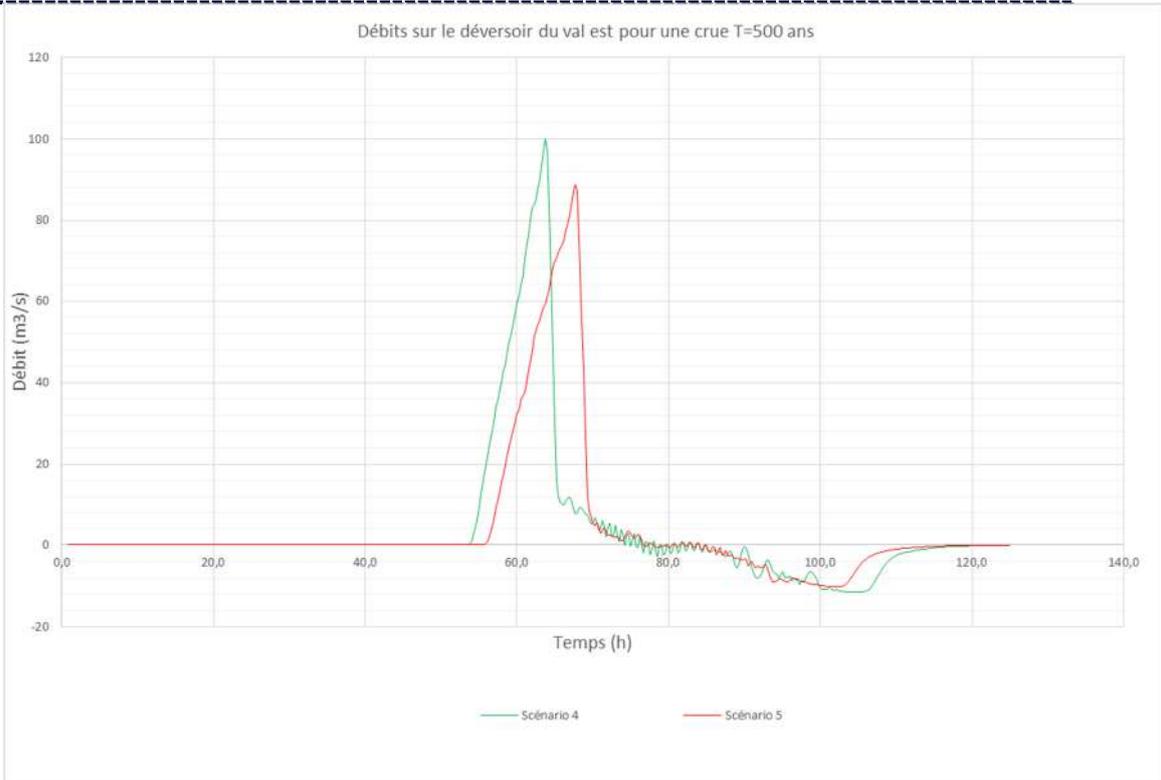
Les résultats des simulations effectuées sont présentés en détail dans l'Etude Préliminaire hydraulique.

Les résultats du scénario 5 sont rappelés ci-dessous :



Variable:	Déversoir						
	A	B	C	D	E	F	G
Scénario	Cote de calage du déversoir (mNGF)	Largeur du déversoir (m)	Zmax amont déversoir (mNGF)	Zmax aval déversoir (mNGF)	Lame d'eau sur déversoir (m)	DeltaZ am/av déversoir au moment du max (m)	deltaZ am/av max déversoir (m)
SC5_L200_T500	177,9	200	178,5	178,5	0,6	0,2	3,2

La configuration qui se caractérise par un début de surverse pour une période de retour de 200 ans et une longueur déversante de 200m est celle étudiée dans le cadre du présent dossier PRO.



5.3.2 Calage hydraulique

Dans le cadre des études relatives à la zone de surverse du val Ouest, un scénario 6 supplémentaire a été modélisé pour une zone de surverse calée à la cote Q200+25cm.

Cette simulation a mis en évidence une légère évolution du niveau correspondant à la crue Q200 du fait de la mise à jour du modèle avec les déversoirs RG et RD Est calés à Q200.

Ainsi, la définition des aménagements Rive Gauche et la mise à jour de leurs effets sur la ligne d'eau dans la Loire conduit à un niveau d'eau de 178.05mNGF pour une crue d'occurrence 200ans au droit du futur déversoir val Est en aval de l'autoroute. **La cote de crête de déversoir retenue est ainsi de 178.05mNGF.**

6 Description générale des travaux

6.1 Conception et dimensionnement

6.1.1 Caractéristiques géométriques

La conception de la zone de surverse a fait l'objet d'une note de calcul spécifique dans le cadre de la phase AVP.

Sur cette base, la zone de surverse retenue se caractérise par les données géométriques suivantes :

- L'arasement de la digue existante et la création d'une zone de surverse de 200m de long, à la cote de crête 178.05mNGF ;
- Une pente de surverse à 3H/1V en enrochements bétonnés jusqu'au fond du bassin de dissipation de profondeur 1.30m/TN côté zone protégée, à la cote de fond 173.05mNGF, pour un radii horizontal de 3.20m de long. Le raccord s'effectue avec une pente 1/1 jusqu'au TN.
- La conduite des eaux est assurée par la réalisation de deux merlons périphériques en enrochements bétonnés.

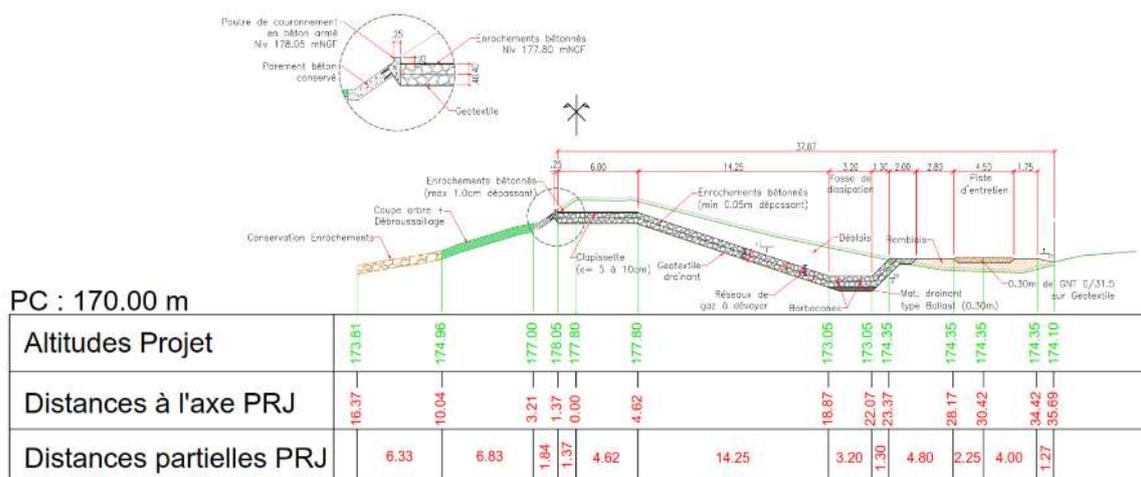


Figure 10 Profil en travers type de la zone de surverse projetée

L'emprise retenue pour réaliser cette zone de surverse est présentée sur l'extrait de plan suivant :

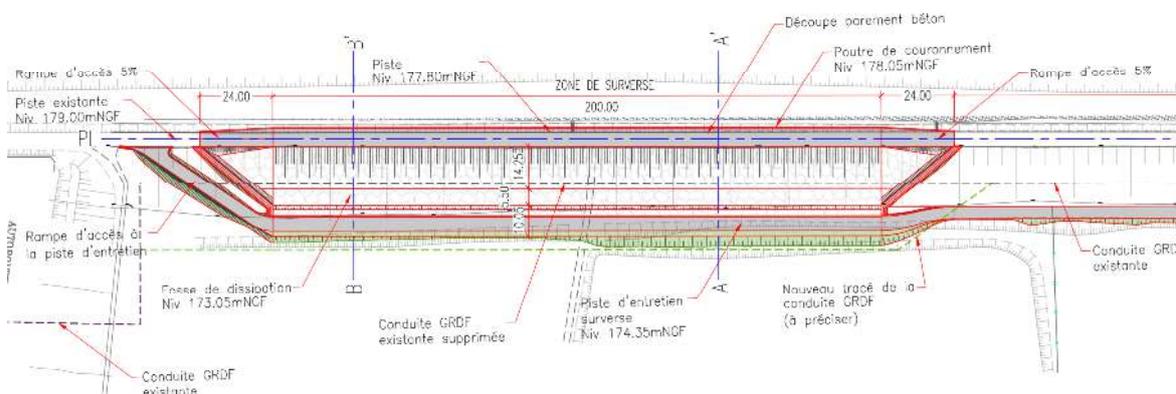


Figure 11: Vue en plan de la zone de surverse projetée

6.1.2 Enrochements bétonnés

Il sera mis en œuvre des enrochements de 60/120 Kg, bétonnés en deux couches d'environ 40cm d'épaisseur.

Les blocs devront être manipulés avec les précautions nécessaires pour que leur mise en œuvre ne provoque pas leur fragmentation et n'endommage pas le géotextile sous-jacent. Pour éviter notamment de perforer le géotextile, les enrochements ne pourront être disposés par simple déversement. Ils seront mis en place un par un à la pelle mécanique ou à la pince sur le géocomposite drainant.

Les blocs seront :

- soigneusement appareillés par couches ;
- bétonnés en deux couches.

Le béton sera adapté, afin de favoriser la pénétration du béton dans les anfractuosités existantes entre les blocs et ainsi constituer un revêtement aussi compact que possible, il conviendra :

- de s'orienter vers une classe de consistance S4 ;
- de prévoir un talochage manuel ;
- de lisser les joints lissés vers l'intérieur.

Les enrochements seront légèrement en saillie (5 à 10 cm) par rapport au béton de remplissage afin de participer à la dissipation de l'énergie de l'écoulement. Il est précisé que les blocs seront nettoyés après le bétonnage par brossage et jet à haute pression pour être dégagé de toute trace de laitance.

6.1.3 Rampe d'accès au pied de la zone de surverse et piste associée

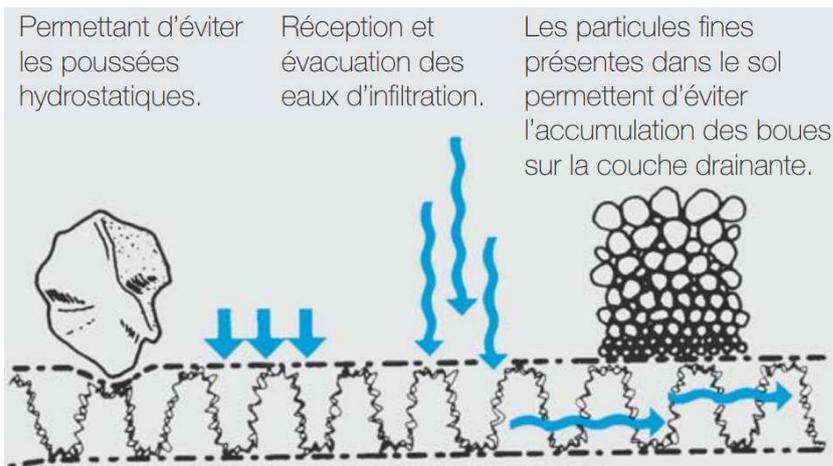
Afin de permettre l'accès au pied de la zone de surverse et le cheminement jusqu'à la station de pompage, une rampe et une piste, d'environ 4.5m de large, seront réalisés dans le cadre des travaux. Il a été retenu une structure constituée de 30cm de GNT 0/31.5mm sur un géotextile anti contaminant.

6.1.4 Géotextiles

- Le géocomposite apposé sous les enrochements et aura un rôle d'anti poinçonnement et de drainage. Il est dénommé : « Géotextile drainant ».

Ce géocomposite est constitué :

- D'un géospaceur drainant ;
- entre deux géotextiles filtrants.



Ce géocomposite devra comporter une fiche d'identification qui précisera et respectera les caractéristiques suivantes :

	Norme	Géotextile drainant
Masse surfacique	NF EN 965	≥ 700 g/m ²
Épaisseur sous 200 kPA	NF EN 1897-01	≥ 5 mm
Résistance à la traction sens production et sens travers	NF EN ISO 10319	≥ 30 kN/m
Ouverture de filtration	NF EN ISO 12956	≤ 90 μm
Capacité de drainage sous 200 kN/m ²	NF EN ISO 12958-1999	>1 l/(s.m)

- Le géotextile apposé autour des ballasts pour constituer un massif drainant sera dénommé : « Géotextile filtre ».

Le géotextile proposé devra comporter une fiche d'identification qui précisera et respectera les caractéristiques suivantes :

	Norme	Géotextile filtre
Masse surfacique	NF EN 965	≥ 600 g/m ²
Épaisseur	NF EN 964-1	≥ 4,5 mm
Résistance à la traction sens production et sens travers	NF EN ISO 10319	≥ 30 kN/m
Résistance au poinçonnement statique	NF EN ISO 12236	≥ 5 kN
Perforation dynamique	NF EN 918	≤ 8 mm

Ouverture de filtration	NF EN ISO 12956	≤ 90 µm
-------------------------	-----------------	---------

- Le géotextile apposé sous les couches de fondation des routes, pistes et plates-formes aura un rôle principal de séparation entre les matériaux en contact

Il est dénommé : « Géotextile anticontaminant ».

Le géotextile proposé devra comporter une fiche d'identification qui précisera et respectera les caractéristiques suivantes :

	Norme	Géotextile anticontaminant
Masse surfacique	NF EN 965	≥ 400 g/m ²
Épaisseur	NF EN 964-1	≥ 2,5 mm
Résistance à la traction sens production et sens travers	NF EN ISO 10319	≥ 22 kN/m
Résistance au poinçonnement statique	NF EN ISO 12236	≥ 4 kN
Perforation dynamique	NF EN 918	≤ 15 mm
Ouverture de filtration	NF EN ISO 12956	≤ 90 µm

6.1.5 Piste de crête

La piste de crête sera constituée :

- de GNT 0/31.5 de 27cm d'épaisseur sur un géotextile anti contaminant
- et d'une couche de roulement de 8cm d'épaisseur en grave recomposée 50/50 :
 - o sable 0/6 calcaire de Chassy
 - o 4/11.2 calcaire de Subdray

6.2 Travaux projetés

6.2.1 Libération d'emprise

Dans le cadre des libérations d'emprise, il conviendra de prévoir :

- ✓ Préalablement aux travaux présentés précédemment, le déboisement, et débroussaillage complet du talus côté Loire sur 6 à 7 mètres entre les enrochements de protection de berge et le parement béton conservé
- ✓ Le débroussaillage, la coupe et le dessouchage de la végétation ligneuse située dans l'emprise des travaux projetés
- ✓ Et la dépose soignée des panneaux de signalisation présent dans l'emprise des travaux et leur remise en place à l'identique en fin de travaux

6.2.2 Décapage

Au démarrage des travaux, il sera réalisé un décapage de la terre végétale du talus côté val avec mise en dépôt provisoire pour réemploi ultérieur. A la fin du chantier les éventuels excédents seront évacués en décharge agréée.

6.2.3 Arasement de la digue et création piste en crête

La création de la zone de surverse nécessite l'arasement de la digue avec mise en place d'une poutre de couronnement à la cote 178.05mNGF sur une longueur de 200 ml pour permettre l'écoulement de la Loire dans la zone de surverse en cas de crue.

La digue actuelle présente une piste d'accès en crête, de largeur environ 4.05m. Le futur profil maintiendra ce passage en crête avec une largeur en crête de 6m et une piste à la cote 177.80mNGF. La jonction avec la piste sur le profil actuel de part et d'autre du déversoir s'effectuera via une rampe d'accès de pente 5%.

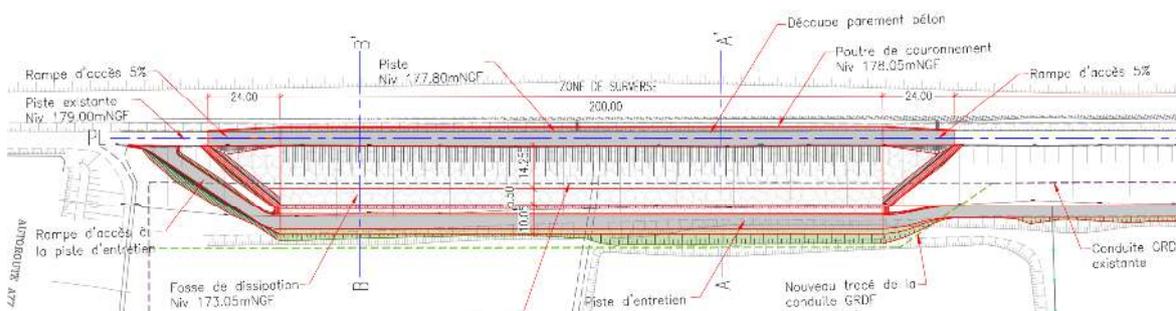


Figure 12: Ramps de jonctions entre la piste actuelle et la piste projetée de la zone de surverse

Dans le cadre de ces travaux une attention particulière sera portée :

- A la déconstruction soignée, avec découpe préalable, du parement béton côté Loire ;
- Aux éventuelles sujétions liées à la présence de la paroi bentonite.

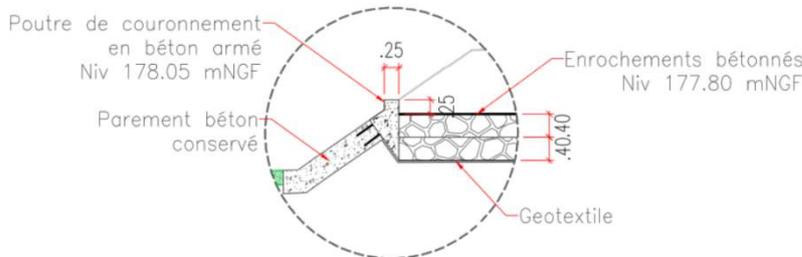
Nota : Par analogie avec les observations effectuées sur le val Ouest, la présence de maçonnerie ne peut être écartée au droit du talus côté zone protégée. Il sera précisé ce point à l'entreprise dans le cadre du DCE et, ainsi, il sera réputé rémunéré par les prix de déblais :

- Les sujétions d'exécution et perte de cadence éventuelles ;
- Les opérations de tri/criblage
- Et l'évacuation en décharge agréée.

6.2.4 Réglage de la cote de surverse

La définition des aménagements Rive Gauche et la mise à jour de leurs effets sur la ligne d'eau dans la Loire conduit à un niveau d'eau de 178.05mNGF pour une crue d'occurrence 200ans au droit du futur déversoir val Est en aval de l'autoroute. La cote de crête de déversoir retenue est ainsi de 178.05mNGF.

Le contrôle de la cote de surverse sera assuré par la mise en œuvre d'une poutre de couronnement en béton armé sur une longueur de 200 ml, calée à la cote 178.05 m NGF (cote de la crue de période de retour 200 ans) dans la continuité des parements bétons existants côté Loire.



D'un point de vue structurel la réalisation de la poutre de raccordement nécessitera la réalisation d'études d'exécution spécifiques afin de justifier de sa pérennité. Ce besoin sera détaillé dans le cadre du DCE et, si jugé nécessaire, un prix spécifique sera rajouté.

6.2.5 Pentes et revêtements de la zone de surverse

Pour respecter les contraintes de maintien de chemin d'entretien en crête de l'ouvrage, la nouvelle crête de la digue sera réalisée en enrochements bétonnés, avec enrochements dépassant au maximum de 1cm pour permettre la circulation de véhicule en crête et sera recouverte de matériaux fins (type clapicette) sur 5 à 10cm.

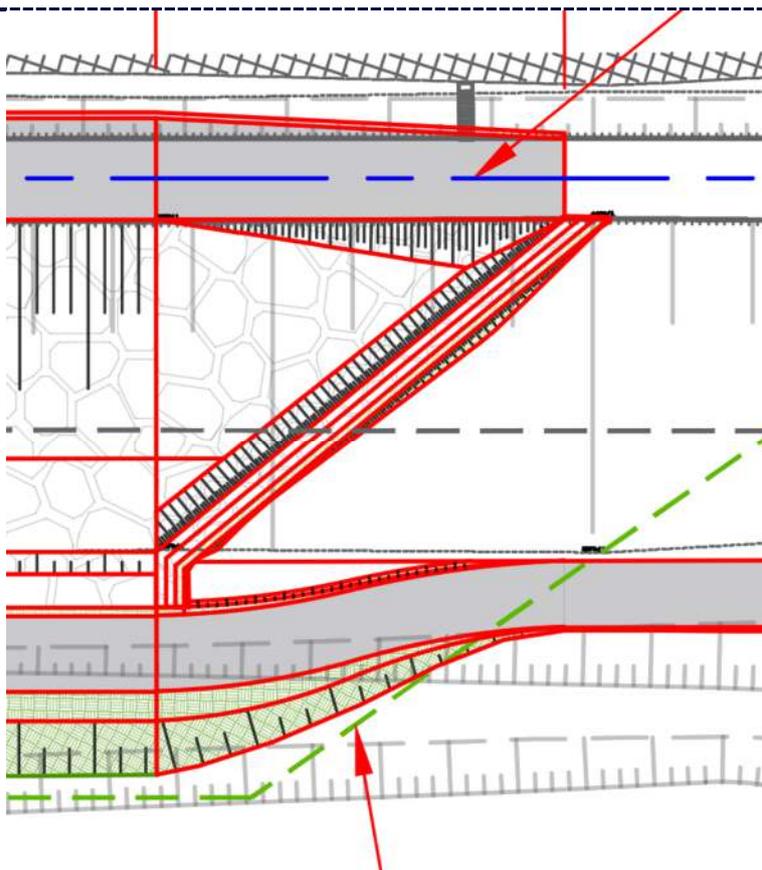
Concernant la partie de la zone de surverse côté zone protégée (talus et bassin de dissipation), il a été retenu une pente de 3H/1V. Il est précisé que cette pente permettra, dans le cadre des déblais, l'évacuation de la conduite de gaz qui aura été neutralisé par GRDF au préalable.

Compte tenu des vitesses pour le cas dimensionnant [à savoir une crue de période de retour 500 ans de la Loire] de l'ordre de 4 m/s en fond et de 5.7m/s en surface, et compte tenu des enjeux aval, il a été retenu, pour le coursier de la zone de surverse et le bassin de dissipation, une protection par enrochements bétonnés de type 60/120 Kg, mis en œuvre sur 0.8m en deux couches de 0.4m d'épaisseur.

Pour le raccord entre le bassin de dissipation et le terrain naturel, la pente retenue est de 1H/1V. Le bassin de dissipation permet de contenir le ressaut oscillant chassé vers l'amont, ainsi dans cette zone les vitesses sont déjà faibles et l'aval du bassin de dissipation ne nécessite pas de transition plus douce vers la côte de TN aval à 174.35m NGF.

6.2.6 Bajoyers

Sur les deux extrémités, et de manière à délimiter la zone de surverse, il est prévu de réaliser deux merlons en enrochements bétonnés. Le calage de ce merlon a été effectué en recherchant, en tout point, une revanche de 50cm par rapport à la ligne d'eau modélisée pour une crue Q500.



6.2.7 Dévoisement de la conduite GRDF

6.2.7.1 Rappel de la problématique

Les recherches de réseaux existants ont révélé la présence d'une conduite GRDF dans l'emprise de l'ouvrage classé au titre de système d'endiguement.

Plus précisément cette conduite se situe au sein du talus côté zone protégée et, de fait, se situe dans l'emprise des travaux projetés relatifs à la zone de surverse. Le linéaire concerné est d'environ 300ml.

Compte tenu de ce constat, GRDF a été contacté pour réaliser un dévoiement de cette conduite.

6.2.7.2 Dévoiement de la conduite

Le dévoiement de la conduite GRDF induit les prestations suivantes :

- La neutralisation de la conduite ;
- La mise en œuvre d'une nouvelle conduite en limite d'emprise, côté zone protégée, des travaux projetés ;
- La réalisation des raccordements avec la conduite existante conservée ;
- Et tous les essais de contrôle et mise en service.

6.2.7.3 Libération d'emprise

Dans le cadre des travaux, et préalablement à l'intervention de GRDF pour le dévoiement de la conduite il incombera à NA :

- D'obtenir les autorisations environnementales et réglementaires pour réaliser les opérations de libération d'emprise ;
- De vérifier les emprises cadastrales et si nécessaire entamer les démarches administratives adéquates ;
- De lancer une consultation et notifier une entreprise pour réaliser ces travaux de libération d'emprise.

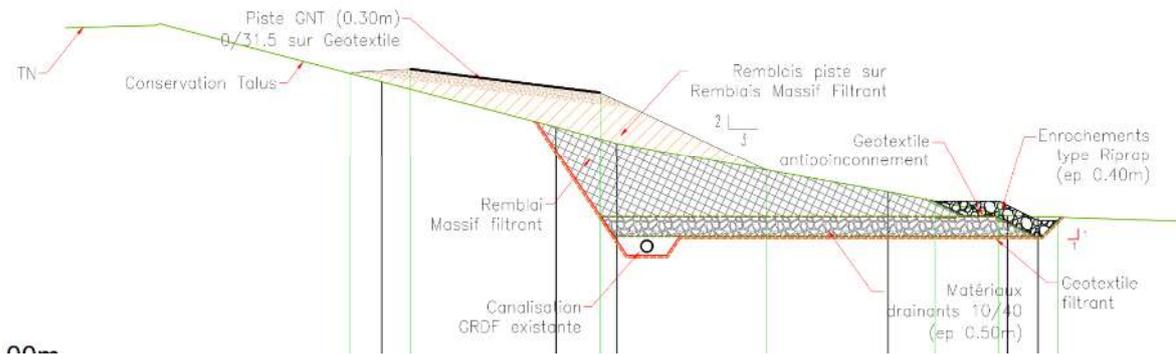
6.2.8 Purge de la conduite GRDF

Une fois les travaux de neutralisation et dévoiement réalisés, il conviendra dans le cadre des travaux d'évacuer la portion de conduite abandonnée.

Au droit de la zone de surverse, sous réserve de l'exactitude des données transmises, la conduite neutralisée sera mise à jour dans le cadre des déblais. Ainsi, aucune prestation particulière autre que la découpe et l'évacuation ne seront nécessaires.

Par contre, entre la zone de surverse et l'A77, au niveau notamment de la rampe d'accès projeté, des travaux spécifiques devront être réalisés. Ainsi, il est projeté de réaliser des déblais pour atteindre la conduite et, à l'occasion de la reconstruction de la digue, de réaliser un massif filtrant afin de garantir le niveau de sûreté de ce secteur malgré les travaux de déblais/remblais réalisés.

Le massif filtrant sera constitué de matériaux 10/60mm enrobés dans un géotextile filtrant.



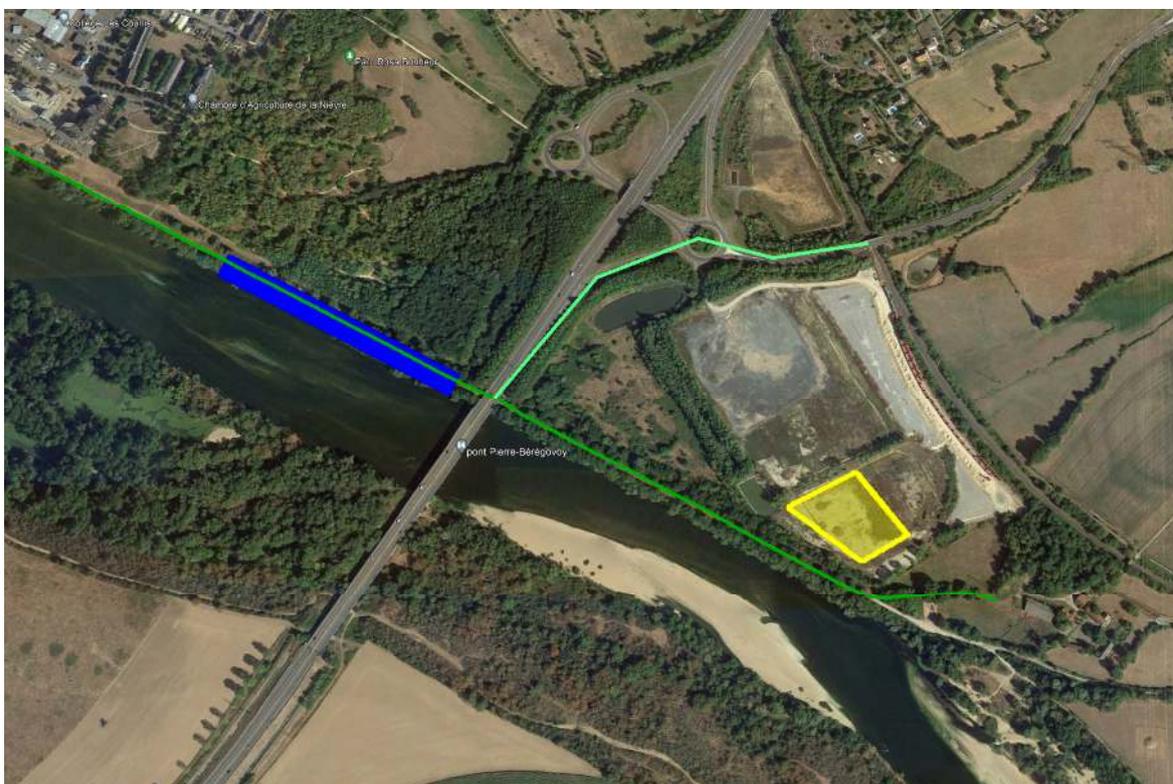
7 Sujétions en phase chantier

7.1 Installations de chantier et stockage

Les travaux généraux et préparatoires devant être réalisés nécessiteront :

- une zone pour la mise en place des baraques de chantier ;
- une zone de stationnement pour les engins de chantier ;
- une zone de stockage tampon nécessaire pour entreposer les différents matériaux avant leur mise en œuvre ;
- une zone de stockage hors emprise du chantier pour l'approvisionnement de matériaux ;
- une zone de stockage hors emprise du chantier pour le stockage et le emploi éventuel de matériaux issus de l'existant.

A ce stade des études, sur recommandation de Nevers agglomération il est projeté de réutiliser l'emprise des installations chantiers qui seront dédiées aux travaux d'arasement.



Il convient cependant de noter que cette emprise, compte tenu des travaux d'arasement qui auront été réalisés au préalable sera inondable pour des faibles occurrences de crue de la Loire : environ Q70. Or, cela peut représenter un enjeu financier important. En conséquence, il est recommandé de poursuivre les réflexions sur le sujet en envisageant des installations de chantier à proximité de la station de pompage notamment.

7.2 Protection du milieu

L'Entrepreneur prendra toutes les dispositions nécessaires à la prévention de la pollution des eaux et devra suivre les recommandations du maître d'ouvrage, de la DDTM et de la DREAL pour y parvenir.

Il sera notamment interdit de déverser ou de rejeter les eaux de chantier, les hydrocarbures et tout autre produit polluant, sans un traitement préalable. Il conviendra à l'entrepreneur d'assurer :

- le traitement des eaux usées des installations et logements de chantier dans un dispositif d'épuration autonome ;
- le traitement des eaux de ruissellement polluées par l'activité du chantier ou provoquées accidentellement par le déversement de produits chimiques ;
- le stockage des hydrocarbures dans des cuves à double étanchéité,
- la réalisation des vidanges d'engins sur des aires bétonnées étanches, les produits de vidange étant évacués vers des installations de récupération agréées ;
- en cas d'intempéries, les travaux seront interrompus ;
- etc..

7.3 Lutte contre le bruit

D'une manière générale, toutes les précautions (notamment choix de modes opératoires et des engins de chantier les moins bruyants) seront prises pour rester en deçà d'un seuil de 80 dB(A) pour le voisinage (valeur mesurable, à l'extérieur du domicile, sur le pas de la porte), correspondant à la limite du niveau de risque pour l'audition.

L'entrepreneur devra :

- préciser dans son PAQ les dispositions prévues afin de respecter les prescriptions des circulaires du 27 février 1996 "Lutte contre les bruits de voisinage" "NOR / ENVP9650041C" et du 23 juillet 1986 "Vibrations mécaniques émises dans l'environnement" durant les travaux ;
- Etablir un dossier « bruit de chantier », dans lequel seront décrits le chantier, sa durée, le matériel utilisé, les nuisances sonores attendues pour le voisinage et les mesures prises pour les limiter. Ce dossier devra être remis au maître d'ouvrage au plus tard 15 jours après le début de la période de préparation.

7.4 Gestion des crues en phase chantier

Pour apprécier le risque hydrologique l'entrepreneur devra en permanence se tenir informer des prévisions des crues : <https://www.vigicrues.gouv.fr/>

En cas de crue, quels que soient le débit, la durée et la fréquence de retour, le chantier devra pouvoir être interrompu sans difficulté, sans que cela ne donne lieu à une rémunération particulière.

Une procédure relative à la gestion des crues en phase chantier devra être réalisée par l'entreprise, cette dernière décrira notamment :

- les méthodes et moyens mis en place pour minimiser les conséquences de crues ;
- les méthodes et moyens mis en place pour la gestion des crues (astreinte, repli de chantier,...) ;
- les dispositions prévues pour la reprise du chantier suite au passage de crues, etc.

Cette procédure sera mise au point pendant la période de préparation et distinguera trois phases en particulier :

- Stock provisoire : En cas d'annonce de crue de période de retour supérieure ou égale à T50, ou sur simple demande du MOE ou du MOA, l'entreprise procédera en urgence à l'approvisionnement sur site d'un stock de matériaux suffisant pour pouvoir réaliser les travaux de confortements définis.
- Seuil de vigilance : Si ce seuil est atteint, l'entreprise adaptera les travaux en cours et l'organisation du chantier pour prendre en compte le risque. Ainsi, par exemple, tous nouveaux travaux de déblais et/ou dessouchage sera interdit. Il sera également mis en place un suivi à pied d'œuvre de l'ouvrage avec une attention particulière aux signes d'instabilité et/ou infiltrations.

Ce seuil reste à définir en concertation entre MOE et MOA

- Seuil d'alerte : Si ce seuil est atteint ou en cas de doute sur la pérennité de l'ouvrage ou si des désordres venaient à être constatés (Renard, fissuration, mouvement anormaux de l'ouvrage) ou sur simple demande du MOE ou du MOA, l'entreprise :
 - stoppera les travaux en cours
 - et procédera aux travaux de confortement d'urgence définis dans la cadre de la procédure spécifique mise au point pendant la période de préparation.

Ce seuil reste à définir en concertation entre MOE et MOA

8 Estimation financière

8.1 Hypothèses relatives aux métrés

L'ensemble des aménagements décrits dans le présent rapport a fait l'objet de métrés détaillés permettant de refléter la nature et l'ampleur des travaux à exécuter.

Le chiffrage a été réalisé sur la base de prix unitaires qui ont été déterminés en tenant compte des marchés similaires passés et en cours.

En effet, compte tenu de la nature des travaux, le coût de l'opération est fortement influencé par une quantité limitée de prix unitaires s'appliquant à des grands volumes de travaux (terrassements, enrochements bétonnés,...).

Ainsi, ci-dessous sont précisés les principaux prix unitaires (en € HT) retenus dans le cadre du présent AVP :

- | | |
|---|-------------------------------|
| ○ Installation de chantier : | environ 10% du montant global |
| ○ Contrôle des eaux et prise en compte du risque inondation : | environ 20 000 € |
| ○ Déblais : | 12.1 €/m ³ |
| ○ Évacuation des déblais : | 11 €/m ³ |
| ○ Evacuation conduite de gaz : | 50 €/ml |
| ○ Fourniture et mise en œuvre matériau 10/40 : | 71.5 €/m ³ |
| ○ Fourniture et mise en œuvre enrochements bétonnés : | 190 €/m ³ |
| ○ Béton armé : | 825 €/m ³ |

8.2 Réserves relatives aux crises actuelles

Concernant les estimations financières et compte tenu de la désorganisation des filières mondiales de production de l'acier, de l'aluminium et de l'énergie par l'épidémie COVID de 2020-2021 qui a conduit à une envolée des indices de la construction en 2021/2022 (en France +27% en 10 mois sur l'indice INSEE TP07b) et par la Guerre en Ukraine qui est en cours, il convient de noter que les présentes estimations sont sincères mais sont nécessairement entachées d'une incertitude très importante pouvant conduire jusqu'à la remise en cause d'ordres de grandeurs financiers, voire remettre en cause la faisabilité de toute opération de construction en cas d'indisponibilité de matières premières.

Compte tenu de ces circonstances exceptionnelles susmentionnées, nous souhaitons attirer votre attention, si les appels d'offre devaient être lancés durant cette période, sur le risque de dépassement de budget programme d'opération voire d'un risque d'impossibilité de réalisation d'une partie d'un ouvrage notamment en cas d'indisponibilité de fourniture, pouvant entraîner une infructuosité des marchés de travaux et des prestations additionnelles non prévues de maîtrise d'œuvre.

Les événements en cours n'altèrent toutefois en aucun cas les savoir faire et l'engagement des équipes de BRLi qui restent à vos côtés pour prendre en compte les inconvénients de la situation qui s'imposent à toutes les parties prenantes du projet et qui ne peuvent être évités.

8.3 Cout des travaux et synthèse

Les estimations détaillées sont fournies en annexe.

Le montant des travaux est estimé à environ 1 846 000 € HT, soit environ 2 215 000 € TTC.

Notons néanmoins que les prix donnés ne concernent que les travaux et n'intègrent donc pas notamment les frais relatifs aux acquisitions foncières, la maîtrise d'œuvre, les mesures compensatoires au titre de l'environnement, le dévoiement de la conduite GRDF et des réseaux en général, etc.

9 Planning prévisionnel

Dans le cadre de la présente étude, une analyse détaillée a été réalisée en tenant compte des principales quantités et des cadences prévisionnelles d'exécution/mise en œuvre. Cette analyse détaillée conduit à retenir les délais prévisionnels suivants :

- Libération d'emprise et approvisionnement : 2 mois
- Travaux de réalisation de la zone de surverse Est : 6 mois

Ainsi le délai prévisionnel global des travaux est de l'ordre de 8 mois auquel il convient d'ajouter 2 mois de période de préparation.

Le planning détaillé découlant de cette analyse est joint en annexe du présent rapport.

Annexes

Annexe 1 : Estimation financière des travaux projetés (DQE)

Annexe 2 : Planning prévisionnel

Annexe 3 : Jeux de plans



BRL
Ingénierie



www.brl.fr/brli

*Société anonyme au capital de 3 183 349 euros
SIRET : 391 484 862 000 19 - RCS : NÎMES B 391 484 862
N° de TVA intracom : FR 35 391 484 862 000 19*

1105, avenue Pierre Mendès-France
BP 94001 - 30 001 Nîmes Cedex 5
FRANCE
Tél. : +33 (0) 4 66 87 50 85
Fax : +33 (0) 4 66 87 51 09
e-mail : brli@brl.fr