



# 7 IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES RISQUES

## 7.1 DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE EMPLOYEE POUR L'ANALYSE DES RISQUES

### 7.1.1 Démarche générale

La démarche d'analyse de risques, telle qu'appliquée aux études de dangers des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) ou aux barrages, comprend classiquement les quatre étapes suivantes :

- l'analyse fonctionnelle de l'ouvrage, telle que traitée dans le chapitre 3 ;
- l'analyse de ses modes de défaillance, pouvant être effectuée sur la base d'une méthode de type AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) ;
- la modélisation de la sûreté de fonctionnement du système et des scénarios de défaillance ;
- Ces scénarios peuvent être construits à partir d'une des méthodes de modélisation des scénarios de défaillance : la méthode de l'arbre des causes, la méthode de l'arbre des événements ou méthode du nœud papillon.
- l'analyse quantitative des scénarios de défaillance (probabilités d'occurrence et conséquences).

143

Dans le cas présent, et pour tous les autres systèmes de protection de la Nièvre étudiés par BRLi, l'analyse de risques du système d'endiguement comprend :

- la caractérisation du potentiel de rupture des tronçons qui composent le système de digues ;
- l'estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement.

**Ces deux éléments ont permis de définir les scénarios de brèche étudiés dans l'étude de danger (cf. chapitre 8.3.1).**

### 7.1.2 Méthodologie employée pour la caractérisation du potentiel de rupture des tronçons de digues

La démarche de caractérisation du potentiel de rupture des tronçons de digue repose sur les résultats de l'analyse fonctionnelle géotechnique du système d'endiguement (chapitre 3).

Elle est conduite en deux étapes successives.

1. Identification des scénarios de rupture envisageables.
2. Estimation de la probabilité de rupture des tronçons de digues.



### 7.1.2.1 Identification des scénarios de rupture envisageables

Dans la présente étude de dangers, il a été fait le choix de rester centré sur la méthode de diagnostic « classique » considérant les cinq « modes de rupture » de digues habituels, c'est-à-dire les 5 mécanismes de détérioration de la levée non résistante à la surverse classiquement reconnus : surverse, érosion interne, glissement de talus, érosion externe, soulèvement hydraulique.

Ces modes de rupture peuvent se décrire en termes de scénarios de défaillance des digues. 7 types différents, définis par leurs mécanismes élémentaires de détérioration prépondérants, ont été retenus :

- rupture par surverse entraînant une érosion externe régressive du talus côté val ;
- rupture par érosion interne ;
- rupture par glissement de talus côté zone protégée (côté val) puis érosion interne ;
- rupture par glissement de talus côté cours d'eau puis érosion interne ;
- rupture par affouillement de la fondation, glissement du talus côté Loire puis érosion interne ;
- rupture par érosion externe suivi d'un glissement de talus côté fleuve puis érosion interne ;
- rupture par soulèvement hydraulique (claquage) puis érosion interne.

Ces différents scénarios de rupture peuvent être classés en quatre groupes en fonction du mécanisme de détérioration initial :

- rupture par défaut de stabilité de la digue ou de sa fondation, dans lequel on retrouve les modes de rupture suivants : rupture par déstabilisation d'ensemble (non retenu) ; par glissement côté val ; par glissement côté Loire ; par soulèvement hydraulique de la fondation côté val ;
- rupture par érosion interne ;
- rupture par surverse ;
- rupture par érosion externe du pied et du talus côté cours d'eau de la digue.

Ces scénarios sont détaillés sous la forme d'arbres de défaillance simplifiés et traduits en termes de fonction et composants prépondérants pour chaque profil en travers fonctionnel type du système d'endiguement.

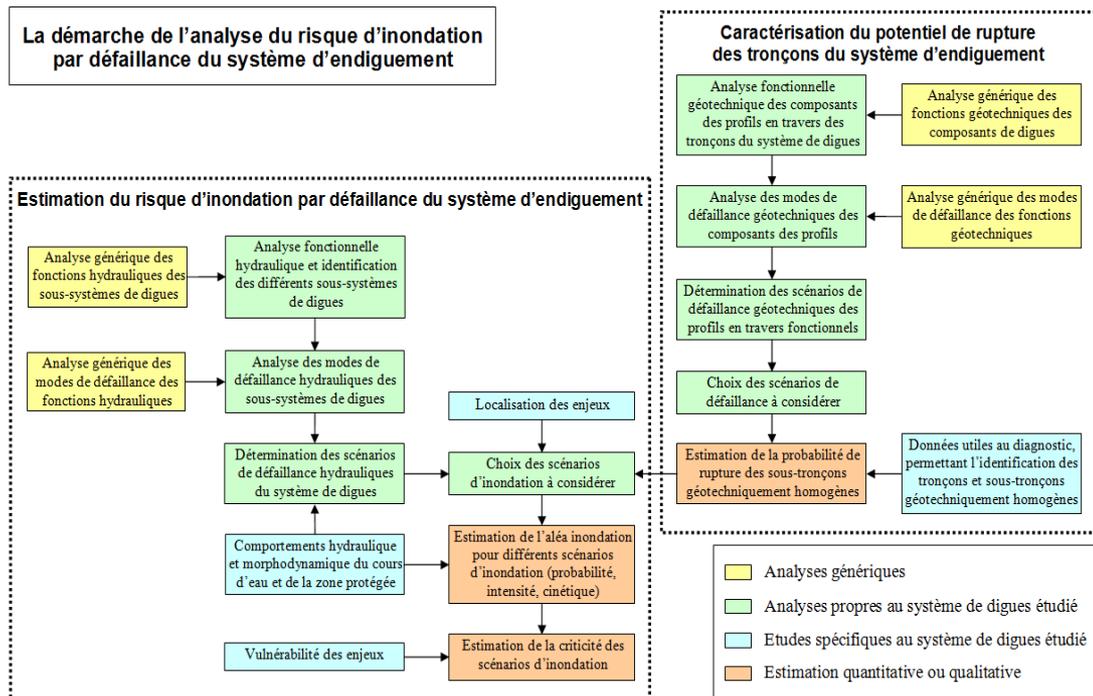


Figure 178 : Démarche de l'analyse du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement (diagramme IRSTEA)

### 7.1.2.2 Outil mis en œuvre pour l'estimation de la probabilité de rupture de la digue

145

L'estimation du potentiel de rupture du système d'endiguement consiste à évaluer les probabilités des scénarios de défaillance, tels qu'envisagés au paragraphe précédent, de chacun des tronçons de digue le constituant. Pour mémoire, la digue est découpée en tronçons de 50 m de longueur caractérisés, chacun, par un profil en travers. **Ces tronçons élémentaires sont complétés si nécessaire par des profils spécifiques au droit de certaines singularités (ouvrages inclus dans les digues, maisons encastées, profils particuliers, etc.) pour lesquelles le profil moyen n'est pas représentatif.**

Ce diagnostic de fiabilité de chaque tronçon élémentaire est réalisé en utilisant le modèle de l'aléa de rupture (CARDigue) développé par le LRPC de Blois, la DREAL Centre et IRSTEA dont un descriptif détaillé (hypothèses, limites, etc.) est disponible en annexe 5.

Le modèle CARDigue exploite l'ensemble des données disponibles à chaque tronçon élémentaire :

- les données topographiques et géométriques (profil en long, pente des talus, largeur en pied de digue, etc.) ;
- le profil géotechnique type et ses différents composants
- les données hydrauliques (lignes d'eau en Loire pour différentes occurrences de crue) ;
- le recensement des anomalies (végétation, canalisations, bâtiments encastés, terriers d'animaux, etc.) ;
- les données géotechniques (de la digue et de sa fondation) ;
- les données relatives à la gestion de la levée en période de crue (capacité à identifier un mécanisme de détérioration en cours et à mettre en œuvre des mesures d'urgence adaptées).



Ces données quantitatives sont complétées par l'expertise des résultats des études spécifiques menées dans le cadre de cette étude de dangers :

- étude de la morphodynamique du lit de la Loire ;
- étude des brèches historiques ;
- études des autres actions externes et facteurs aggravants (karsts, embâcle, etc.).

Le modèle d'aléa de rupture fournit en sortie les probabilités de brèche de chacun des tronçons élémentaires, et ce :

- pour chaque mode de rupture et pour chaque crue ;
- pour un mode de rupture et pour l'ensemble des crues considérées ;
- pour une crue et pour tous les modes considérés.

Il permet également de combiner les probabilités pour obtenir la probabilité de rupture pour un ou plusieurs modes jusqu'à la crue déterminant le niveau de protection apparent du système d'endiguement.

Compte tenu des modes de calcul et des expertises, le modèle présente une certaine marge d'erreur (les différentes limites inhérentes au modèle de rupture CARDigue sont rappelées en annexe 5. De fait, il est nécessaire de prendre les résultats disponibles avec prudence. Les valeurs de probabilités sont avant tout relatives. Il sera indispensable de perfectionner le modèle à l'avenir afin d'obtenir des résultats plus fiables.

Dans le cas de la présente EDD, le calcul de la fiabilité est mené pour différentes crues ayant les probabilités 1/50, 1/70, 1/100, 1/200, 1/500, 1/750, 1/1000 et 1/1400 de dépassement par an, dont le débit de pointe et l'hydrogramme sont tels que définis au §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Cet ensemble de crues théoriques a été choisi de sorte à couvrir une gamme de débits relativement large, depuis les premières sollicitations des pieds de levées jusqu'au-delà du niveau de protection apparent.

146

Les résultats fournis par le modèle CARDigue pour l'ensemble des tronçons élémentaires de digue sont présentés en annexe 5.

### 7.1.3 Méthodologie employée pour l'estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement

Cette seconde partie de l'analyse de risque se déroule en plusieurs étapes successives :

1. identification et choix de scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilité d'occurrence ;
2. caractérisation des scénarios d'inondation en termes d'intensité et de cinétique des écoulements dans le val ;
3. estimation de la vulnérabilité des enjeux et de la gravité des scénarios d'inondation ;
4. évaluation de la criticité des scénarios d'inondation.



### 7.1.3.1 Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilité d'occurrence

Un système d'endiguement est conçu pour avoir un certain mode de fonctionnement hydraulique garantissant la réalisation de l'objectif de protection recherché. L'analyse fonctionnelle (chapitre 3) a permis d'identifier les éléments qui composent l'aménagement hydraulique et de caractériser leurs fonctions au sein du système. Ces connaissances permettent alors de déterminer de quelle manière le système d'endiguement peut être amené à ne plus remplir sa fonction. On comprend ainsi comment le système de digues est supposé fonctionner, permettant de vérifier si cela est toujours possible, d'où une caractérisation des dysfonctionnements hydrauliques éventuels (par exemple, la modification relative des niveaux de crête des différents tronçons de digue du système).

Les conditions d'inondation de la zone protégée résultent de différents phénomènes provoquant l'entrée ou la rétention d'eau dans le val. Elles peuvent être le résultat du fonctionnement hydraulique normal du système de digues au-delà d'un certain niveau de crue (fonctionnement du déversoir, dépassement du niveau de protection du système de digues, remontée d'eau par remous à l'aval de l'endiguement) ou la conséquence de la défaillance d'une fonction hydraulique d'un certain sous-système de digue.

Pour mémoire (cf. chapitre 5), les principaux potentiels de dangers du système d'endiguement sont :

- les surverses sans ruptures de digue ;
- les dysfonctionnements d'ouvrages hydrauliques ponctuels (écoulements non désirés ou impossibles) ;
- les brèches sans ou après surverse (entrées d'eau brutales et importantes).

A partir des résultats de l'analyse fonctionnelle et de l'analyse de la défaillance du système de digues, une multitude de scénarios d'inondation peuvent être envisagés, se différenciant tant par leurs causes et leur localisation, que par leur intensité et leur cinétique. Pour cette raison, l'étude de dangers n'a pris en considération qu'un nombre limité de scénarios (les plus représentatifs de la diversité des situations à étudier) permettant d'apprécier l'ensemble des inondations possibles dans la zone protégée.

147

Les scénarios d'inondation retenus regroupent les cas les plus pénalisants en termes de gravité des conséquences, les cas les plus probables ou encore les situations permettant d'évaluer la variabilité de l'intensité de l'inondation dans la zone protégée.

Dans le cadre de la présente étude de dangers, la détermination et le choix des scénarios d'inondation à étudier a reposé sur l'expertise :

- des résultats de l'analyse fonctionnelle hydraulique du système d'endiguement (cf. §5.2.4) ;
- des résultats du diagnostic de terrain des digues ;
- de la localisation des enjeux ;
- de la connaissance des écoulements des eaux d'inondation dans la zone protégée (mis en évidence par les premiers résultats de l'étude de modélisation hydraulique) ;
- du résultat de la modélisation de l'aléa de rupture.

Deux valeurs de probabilités de rupture de digue sont utilisées dans la suite du document :



- les probabilités évènementielles, décrivant la probabilité de rupture au cours d'une crue (évènement) d'intensité (et donc d'occurrence) donnée ; ces probabilités évènementielles permettent de déterminer les niveaux de sûreté du système de protection contre les inondations ;
- les probabilités annuelles, qui permettent, à partir des probabilité évènementielles et des occurrences de crue qui s'y rattachent, de qualifier la probabilité annuelle de réalisation d'un scénario de rupture ; ces probabilités annuelles sont utilisées dans l'analyse de criticité des scénarios d'inondation.

**Probabilité évènementielle :**

Lorsqu'on évoque la probabilité de rupture pour un événement donné (i.e. une crue avec sa probabilité propre), les niveaux de probabilité sont classés selon la grille suivante :

Probabilité	probabilité évènementielle en %
<b>quasi certaine</b>	<b>supérieure à 85%</b>
<b>très forte</b>	<b>entre 50% et 85%</b>
<b>forte</b>	<b>entre 15% et 50%</b>
<b>moyenne</b>	<b>entre 1% et 15%</b>
<b>négligeable</b>	<b>&lt;1%</b>
<b>quasi nulle</b>	<b>proche de 0%</b>

Tableau 22 : Qualification des probabilités évènementielles utilisées pour caractériser la probabilité de défaillance pour un événement de crue donné

148

On fixe le niveau de sûreté de la digue comme le niveau pour lequel la probabilité de rupture ne peut plus être considérée comme négligeable. Ce seuil entre probabilité faible et probabilité moyenne est fixée à 1%.



**Probabilité annuelle :**

La probabilité annuelle correspond en toute rigueur à l'intégrale des probabilités évènementielles dans l'espace de probabilité des évènements. En pratique, l'espace de probabilité des évènements est discrétisé en un nombre limité de crues. La probabilité annuelle est ainsi approchée en sommant l'ensemble des produits probabilité évènementielle x intervalle de probabilité rattaché à chaque évènement :

$$P_{annuelle} = \int_0^1 P_{évènementielle}(P_{non\ dépassement}) dP_{non\ dépassement}$$

$$P_{annuelle} \approx \sum_{i=1}^n P_{évènementielle}(Q_i) \times \Delta P(Q_i)$$

Avec  $n$  = nombre de crues discrétisant l'espace des évènements et  $\Delta P(Q_i)$  = intervalle de probabilité rattaché à l'évènement de débit de pointe  $Q_i$ .

Le graphique suivant illustre l'exemple d'un tel calcul sur cas d'une digue ayant une probabilité évènementielle de rupture nulle pour les crues inférieures à  $Q_{20}$ , de 1% pour  $Q_{20}$ , 10% pour  $Q_{50}$ , de 20% pour  $Q_{70}$ , 50% pour  $Q_{100}$ , 80% pour  $Q_{170}$  et 100% au-delà de  $Q_{200}$ .

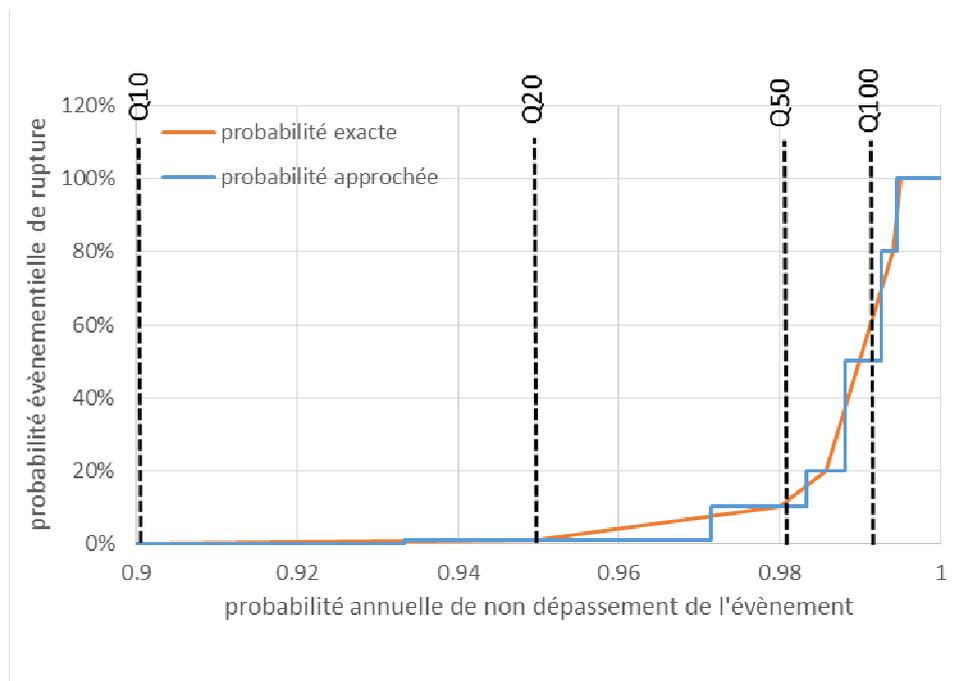


Figure 179 : Exemple de discrétisation de l'espace des évènements et du calcul de la probabilité annuelle d'un scénario de brèche



Qualification de la probabilité de rupture annuelle	Probabilité par année	
	en %	temps de retour
<b>très probable</b>	> 10%	<10 ans
<b>probable</b>	Entre 1% et 10%	10 - 100 ans
<b>moyennement probable</b>	entre 0,5% et 1%	100 - 200 ans
<b>peu probable</b>	entre 0,2% et 0,5%	200 - 500 ans
<b>très peu probable</b>	entre 0,1% et 0,2%	500 - 1 000 ans
<b>improbable</b>	entre 0,01% et 0,1%	1 000 - 10 000 ans
<b>très improbable</b>	< 0,01%	> 10 000 ans

Tableau 23 : Qualification des probabilités annuelles utilisées pour caractériser les scénarios de défaillance

### **Probabilité d'un scénario d'inondation**

La probabilité d'un scénario d'inondation est égale au produit de la probabilité événementielle de défaillance pour la crue déclenchant la rupture de l'ouvrage par la probabilité du scénario hydrologique simulé.

Des informations complémentaires sur le calcul des probabilités sont également fournies dans les annexe 5.

### **7.1.3.2 Caractérisation des scénarios d'inondation en termes d'intensité et de cinétique des écoulements dans le val**

150

L'aléa et la vulnérabilité des enjeux sont les deux composantes du risque. Un aléa est défini à la fois par sa probabilité de réalisation et par l'intensité des phénomènes dangereux qui lui sont associés. Ainsi, la caractérisation de l'aléa d'un scénario d'inondation de probabilité connue correspond à l'estimation zonale de la cinétique et de l'intensité des phénomènes dangereux qui accompagnent cette inondation. Dans le cas d'une étude de dangers de digues, ce travail doit être réalisé pour chacun des scénarios d'inondation considérés.

#### ***7.1.3.2.1 Outils mis en œuvre***

La caractérisation des scénarios sera réalisée 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.

Le logiciel Telemac 2D permet de simuler des brèches précisément en abaissant progressivement le terrain naturel selon la forme et la cinétique souhaitée. La brèche est supposée s'initier depuis la crête de digue jusqu'à sa cote finale, puis s'élargir, suivant une chronologie fixée par l'utilisateur, jusqu'à sa largeur finale. De fait, le calcul des débits transitant par la brèche est totalement géré par Telemac en fonction des conditions hydrauliques en Loire et dans le val en aval de la brèche.

#### ***7.1.3.2.2 Critères d'aléa retenus***

La modélisation 2D permet de définir une grille d'aléa croisant hauteur d'eau et vitesse d'écoulement. La grille d'aléa retenue dans le cadre de la présente étude est issue du guide de lecture des études de dangers des barrages et figurée ci-après.



hauteur d'eau	supérieure à 2 m	4. Très fort			5. zone de destruction du bâti
	entre 1 et 2 m	3. Fort		3. Fort	
	entre 50 cm et 1 m	2. Moyen			
	entre 0 et 50 cm	1. Faible			
	entre 0 et 0,25 m/s	entre 0,25 et 0,5 m/s	supérieure à 0,5 m/s	<i>aval immédiat brèche</i>	
	vitesse d'écoulement				

Tableau 24 : Grille de définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses

Dans le cas présent, cet aléa a été évalué de manière synchrone, le croisement hauteur x vitesse étant réalisé à chaque pas de temps, ce qui permet d'éviter les biais liés à un croisement asynchrone hauteur max x vitesse max.

Les résultats obtenus ont été cartographiés sous la forme de couches SIG destinées à estimer le risque associé à chacun des scénarios d'inondation par croisement avec la vulnérabilité des enjeux présents dans la zone protégée

### 7.1.3.3 Estimation de la vulnérabilité des enjeux et de la gravité des scénarios d'inondation : critères de gravité retenus

Par définition, la vulnérabilité d'un enjeu donné correspond au niveau de conséquences prévisibles en fonction de l'intensité d'un aléa. Ainsi, la vulnérabilité d'une zone protégée par un système d'endiguement traduit la nature et l'importance des dommages auxquels les enjeux qui composent ce territoire se voient potentiellement exposés pour les différentes intensités d'événements d'inondation susceptibles de se réaliser. Ces dommages sont de nature variée et la plupart du temps difficilement comparables.

151

Il a été fait le choix d'apprécier la gravité des scénarios étudiés au travers de l'analyse de la vulnérabilité des populations présentes dans la zone protégée (vies humaines).

L'estimation de la gravité d'un scénario repose ainsi sur le dénombrement de cette population dans chacune des 5 classes d'aléa précédemment définies. Ce dénombrement est réalisé par croisement sous SIG des données de population affectée à chaque bâtiment (issues de l'étude d'enjeux présentée au chapitre 3) avec les données d'aléa de chaque scénario.

Un indicateur synthétique de « population en danger » est ensuite calculé selon la grille ci-après. Elle est reprise de l'étude de dangers de la levée d'Orléans réalisée par le CETE et la DREAL Centre en 2012. Cet indicateur est plus pertinent que le seul nombre total de personnes situées dans la zone inondée. En effet, chaque type d'enjeu humain (maison de plain-pied, maison de ville à un ou plusieurs étages) se voit attribuer une échelle de mise en danger traduisant sa réponse à chacune des 5 classes d'intensité de l'aléa inondation en termes de pourcentage de sa population potentiellement menacée. Cette mise en danger est définie en fonction de la nature de l'enjeu et notamment de sa possibilité de mise à l'abri.

Ces valeurs sont données à dire d'expert. Elles n'ont pas vocation à refléter la réalité de la mise en danger mais à permettre la comparaison et le classement des différents scénarios d'inondations retenus dans le cadre de la présente étude. Pour l'habitat, les pourcentages de mise en danger peuvent prendre en compte la mise en sécurité des populations et leur départ (notamment sur les axes routiers principaux).



	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	4. Très fort	5. Zone de destruction du bâti
Plain-pied	0%	5%	30%	70%	95%
1 étage	0%	1%	5%	30%	
2 étages et plus	0%	0,5%	1%	10%	

Tableau 25 : Table de correspondance entre aléa et vulnérabilité de la population en danger

La gravité des scénarios est ensuite évaluée au travers du dénombrement des personnes exposées et de celles considérées comme étant « en danger » du fait des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement auxquelles elles seraient exposées. La gravité d'un scénario est ainsi évaluée selon la grille ci-après commune à l'ensemble des études de dangers des levées de la Loire moyenne.

Gravité du scénario d'inondation	Nombre de personnes en danger en moins de 30 minutes	Nombre de personnes en danger sur la durée totale de submersion
5. Désastreux	Supérieur à 1 000	Supérieur à 10 000
4. Catastrophique	Entre 100 et 1 000	Entre 1 000 et 10 000
3. Important	Entre 10 et 100	Entre 100 et 1 000
2. Sérieux	Inférieur à 10 personnes	Entre 10 et 100
1. Modéré	Nul	Inférieur à 10 personnes

Tableau 26 : Classes de gravité des scénarios d'inondation

152 Les enjeux stratégiques et sensibles ont également été repérés (services de secours, centres de décision, hôpitaux...). Leur localisation dans une des classes d'intensité d'aléa d'inondation a permis de pondérer la gravité des conséquences humaines du scénario considéré et éventuellement de surclasser le scénario.

### 7.1.3.4 Evaluation de la criticité des scénarios d'inondation

L'évaluation de la criticité des scénarios d'inondation repose sur l'utilisation d'une grille de criticité croisant la probabilité de réalisation du scénario et la gravité des conséquences du scénario. Elle a pour vocation de hiérarchiser les scénarios et de mettre en évidence les situations les plus préoccupantes en termes d'acceptabilité du risque.

Les données d'entrée de la grille de criticité sont :

- la probabilité de réalisation du scénario d'inondation ;
- la gravité des conséquences de ce scénario.



Les classes d'acceptabilité sont :

- risque acceptable ;
- risque préoccupant ;
- risque intolérable.

		Probabilité du scénario						
		0.01%	0.1%	0.2%	0.5%	1%	10%	
		très improbable	improbable	très peu probable	peu probable	moyennement probable	probable	très probable
gravité du scénario d'inondation	5. désastreux	risque acceptable			risque intolérable			
	4. catastrophique	risque acceptable			risque intolérable			
	3. important	risque acceptable		risque préoccupant			risque intolérable	
	2. sérieux	risque acceptable			risque intolérable			
	1. modéré	risque acceptable			risque intolérable			

Tableau 27 : Grille de criticité des scénarios d'inondation



## 7.2 DETERMINATION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE STRUCTURELLE

Les probabilités de rupture ont été calculées pour chaque crue modélisée, chaque scénario de défaillance et chacun des 156 profils en travers du système de protection (70 profils pour le val Est et 86 pour le val ouest), espacés tous les 50 mètres.

### 7.2.1 Mode ou circonstances de défaillance du système d'endiguement

Chaque profil en travers espacé de 50 mètres a fait l'objet d'une analyse par le modèle d'aléas de rupture.

Cette méthodologie détaillée de calcul de l'aléa de rupture et les spécificités et adaptations apportées par BRLi dans le cadre de la présente étude de danger est explicité dans la notice d'application Cardigue jointe en annexe de la présente étude.

#### 7.2.1.1 Rupture par surverse

La surverse intervient lorsque le niveau des eaux dépasse le niveau du sommet de la digue. L'eau qui passe alors par-dessus coule dans le val et, en se déversant, érode le talus en entraînant les matériaux constitutifs de la digue. L'érosion s'accélère rapidement avec l'augmentation de la pente du talus érodé et se développe de façon régressive jusqu'à aboutir à une rupture totale de la digue. L'initiation de ce phénomène est freinée par la qualité de l'enherbement du talus et par sa faible pente. Elle est en revanche facilitée par la concentration ou la perturbation des écoulements sur le talus.

154

La comparaison des lignes d'eau pour les différentes crues et du profil en long de la crête des digues permet d'identifier les zones de surverse.

Comme décrit dans les notes de principe et d'application jointes en annexe 5, dans le modèle d'estimation de l'aléa de rupture (modèle CARDigue), la probabilité d'apparition de la surverse est influencée par différents paramètres et intègre également une incertitude sur les lignes d'eau et la topographie de la digue (probabilité non nulle si la revanche est inférieure à 50 cm). Aussi, une probabilité de rupture par surverse peut ne pas être nulle alors même que le niveau de protection apparent n'est pas atteint.

##### 7.2.1.1.1 Val est

L'analyse fait apparaître des revanches (différence entre la hauteur des eaux de crues et le sommet de la digue) vis-à-vis de la surverse inférieure à 50 cm pour la crue Q500.

Le tableau suivant présente les revanches pour tous les profils en travers.



Profil	Abscisse sur le tronçon	Calculs des hauteurs de surverse Hs (=ZQ <sub>T</sub> - Z4)				
		Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400
1	1_Nevers_est_1_PK50	-1.19	-0.65	-0.43	-0.24	0.03
2	1_Nevers_est_1_PK100	-0.88	-0.34	-0.12	0.07	0.35
3	1_Nevers_est_1_PK150	-0.65	-0.11	0.11	0.30	0.57
4	1_Nevers_est_2_PK200	-0.72	-0.18	0.05	0.23	0.52
5	1_Nevers_est_2_PK250	-0.81	-0.27	-0.05	0.14	0.43
6	1_Nevers_est_2_PK300	-1.14	-0.60	-0.38	-0.19	0.10
7	1_Nevers_est_2_PK350	-1.07	-0.52	-0.30	-0.11	0.18
8	1_Nevers_est_2_PK400	-1.18	-0.64	-0.42	-0.22	0.07
9	1_Nevers_est_2_PK450	-0.96	-0.42	-0.20	-0.01	0.29
10	1_Nevers_est_2_PK500	-0.99	-0.45	-0.23	-0.03	0.26
11	1_Nevers_est_2_PK550	-1.07	-0.53	-0.31	-0.11	0.17
12	1_Nevers_est_2_PK600	-1.04	-0.50	-0.28	-0.09	0.19
13	1_Nevers_est_2_PK650	-0.83	-0.29	-0.07	0.11	0.38
14	1_Nevers_est_2_PK700	-0.86	-0.32	-0.10	0.07	0.32
15	1_Nevers_est_2_PK750	-2.67	-2.13	-1.92	-1.74	-1.49
16	1_Nevers_est_2_PK800	-0.88	-0.35	-0.13	0.06	0.32
17	1_Nevers_est_2_PK850	-0.98	-0.45	-0.24	-0.05	0.21
18	1_Nevers_est_2_PK900	-0.91	-0.38	-0.17	0.02	0.28
19	1_Nevers_est_2_PK950	-0.98	-0.45	-0.24	-0.06	0.21
20	1_Nevers_est_2_PK1000	-1.01	-0.48	-0.27	-0.09	0.18
21	1_Nevers_est_2_PK1050	-1.09	-0.57	-0.36	-0.18	0.09
22	1_Nevers_est_2_PK1100	-1.16	-0.63	-0.42	-0.24	0.01
23	1_Nevers_est_2_PK1150	-1.20	-0.67	-0.46	-0.28	-0.03
24	1_Nevers_est_2_PK1200	-1.19	-0.67	-0.45	-0.28	-0.03
25	1_Nevers_est_2_PK1250	-1.05	-0.53	-0.31	-0.13	0.12
26	1_Nevers_est_2_PK1300	-0.97	-0.45	-0.24	-0.06	0.21
27	1_Nevers_est_2_PK1350	-0.85	-0.33	-0.11	0.07	0.33
28	1_Nevers_est_2_PK1400	-0.89	-0.37	-0.15	0.03	0.30
29	1_Nevers_est_2_PK1450	-0.90	-0.37	-0.16	0.02	0.30
30	1_Nevers_est_2_PK1500	-1.19	-0.67	-0.45	-0.27	0.00
31	1_Nevers_est_2_PK1550	-1.05	-0.52	-0.31	-0.13	0.14
32	1_Nevers_est_2_PK1600	-0.86	-0.33	-0.12	0.06	0.33

Tableau 28 : Val est - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m) (1/2)



Profil	Abscisse sur le tronçon	Calculs des hauteurs de surverse Hs (=ZQ <sub>T</sub> - Z4)				
		Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400
33	1_Nevers_est_2_PK1650	-1.05	-0.52	-0.31	-0.13	0.14
34	1_Nevers_est_2_PK1700	-1.18	-0.65	-0.43	-0.26	0.01
35	1_Nevers_est_2_PK1750	-1.17	-0.64	-0.43	-0.25	0.02
36	1_Nevers_est_2_PK1800	-0.95	-0.42	-0.21	-0.03	0.24
37	1_Nevers_est_2_PK1850	-1.00	-0.47	-0.25	-0.07	0.20
38	1_Nevers_est_2_PK1900	-1.01	-0.48	-0.27	-0.09	0.19
39	1_Nevers_est_2_PK1950	-0.96	-0.43	-0.21	-0.04	0.24
40	1_Nevers_est_2_PK2000	-0.89	-0.35	-0.14	0.04	0.32
41	1_Nevers_est_2_PK2050	-0.85	-0.32	-0.10	0.08	0.37
42	1_Nevers_est_2_PK2100	-0.88	-0.35	-0.13	0.05	0.34
43	1_Nevers_est_2_PK2150	-0.89	-0.35	-0.13	0.05	0.34
44	1_Nevers_est_2_PK2200	-0.95	-0.42	-0.20	-0.02	0.27
45	1_Nevers_est_2_PK2250	-0.97	-0.43	-0.21	-0.03	0.25
46	1_Nevers_est_2_PK2300	-1.04	-0.51	-0.29	-0.11	0.17
47	1_Nevers_est_2_PK2350	-1.43	-0.90	-0.68	-0.50	-0.21
48	1_Nevers_est_3_PK2400	-2.41	-1.87	-1.66	-1.48	-1.19
49	1_Nevers_est_3_PK2450	-1.09	-0.56	-0.34	-0.16	0.13
50	1_Nevers_est_3_PK2500	-0.96	-0.43	-0.21	-0.03	0.27
51	1_Nevers_est_3_PK2550	-0.96	-0.43	-0.22	-0.04	0.27
52	1_Nevers_est_3_PK2600	-0.99	-0.46	-0.24	-0.07	0.25
53	1_Nevers_est_3_PK2650	-1.02	-0.50	-0.28	-0.10	0.22
54	1_Nevers_est_3_PK2700	-0.91	-0.39	-0.17	0.00	0.34
55	1_Nevers_est_3_PK2750	-1.05	-0.52	-0.31	-0.13	0.20
56	1_Nevers_est_3_PK2800	-0.94	-0.41	-0.20	-0.02	0.32
57	1_Nevers_est_3_PK2850	-1.19	-0.67	-0.46	-0.28	0.06
58	1_Nevers_est_3_PK2900	-1.06	-0.54	-0.33	-0.15	0.19
59	1_Nevers_est_3_PK2950	-1.17	-0.64	-0.43	-0.26	0.10
60	1_Nevers_est_3_PK3000	-0.97	-0.45	-0.23	-0.06	0.30
61	1_Nevers_est_3_PK3050	-1.16	-0.64	-0.43	-0.25	0.11
62	1_Nevers_est_3_PK3100	-1.28	-0.76	-0.55	-0.38	-0.01
63	1_Nevers_est_3_PK3150	-1.27	-0.75	-0.54	-0.37	0.00
64	1_Nevers_est_3_PK3200	-1.16	-0.65	-0.44	-0.26	0.11
65	1_Nevers_est_3_PK3250	-1.28	-0.77	-0.56	-0.39	-0.02
66	1_Nevers_est_3_PK3300	-1.52	-1.01	-0.80	-0.63	-0.26
67	1_Nevers_est_3_PK3350	-2.27	-1.76	-1.55	-1.38	-1.00
68	1_Nevers_est_3_PK3400	-2.62	-2.12	-1.91	-1.74	-1.37
69	1_Nevers_est_3_PK3450	-2.61	-2.11	-1.90	-1.73	-1.36
70	1_Nevers_est_3_PK3500	-3.04	-2.55	-2.34	-2.17	-1.80

Tableau 29 : Val est - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m) (2/2)



### **Probabilité de rupture :**

Le risque de rupture par surverse est assez homogène, de improbable à très improbable. La probabilité est nulle jusqu'à l'occurrence 200 ans et pour Q500, elle est de l'ordre de 2 à 8% selon le secteur. Le risque de surverse est le plus important sur le linéaire en amont du remblai de l'A77.

Cependant, aucun profil ne possède une probabilité annuelle supérieure à 0.1 %.

### **Carte de synthèse :**

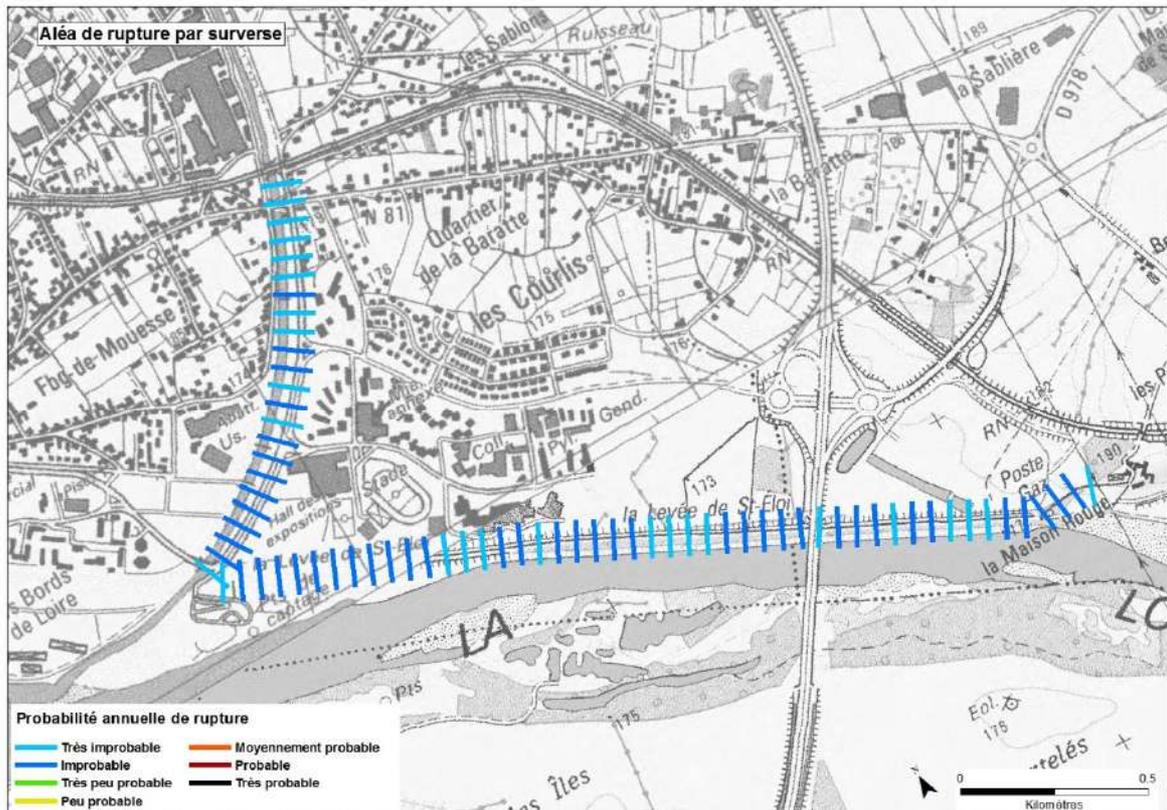


Figure 180 : val est - carte de probabilité annuelle de rupture par surverse

#### *7.2.1.1.2 Val ouest*

L'analyse fait apparaître des revanches (différence entre la hauteur des eaux de crues et le sommet de la digue) vis-à-vis de la surverse inférieure à 50 cm pour la crue Q500.

Le tableau suivant présente les revanches pour tous les profils en travers.



Profil	Abscisse sur le tronçon	Calculs des hauteurs de surverse Hs (=ZQ <sub>T</sub> - Z4)				
		Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400
1	2_Nevers_ouest_1_PK0	-2.40	-2.26	-2.18	-2.11	-1.92
2	2_Nevers_ouest_1_PK50	-1.08	-0.92	-0.83	-0.75	-0.56
3	2_Nevers_ouest_1_PK100	-0.51	-0.34	-0.26	-0.18	0.03
4	2_Nevers_ouest_1_PK150	-0.59	-0.42	-0.32	-0.24	-0.03
5	2_Nevers_ouest_1_PK200	-0.82	-0.64	-0.55	-0.46	-0.24
6	2_Nevers_ouest_1_PK250	-1.07	-0.89	-0.79	-0.70	-0.48
7	2_Nevers_ouest_1_PK300	-1.08	-0.90	-0.79	-0.70	-0.47
8	2_Nevers_ouest_1_PK350	-1.00	-0.81	-0.70	-0.61	-0.37
9	2_Nevers_ouest_1_PK400	-0.97	-0.77	-0.66	-0.56	-0.32
10	2_Nevers_ouest_1_PK450	-1.03	-0.82	-0.71	-0.61	-0.36
11	2_Nevers_ouest_1_PK500	-1.15	-0.94	-0.82	-0.72	-0.47
12	2_Nevers_ouest_1_PK550	-1.17	-0.96	-0.85	-0.74	-0.49
13	2_Nevers_ouest_1_PK600	-1.10	-0.88	-0.76	-0.65	-0.39
14	2_Nevers_ouest_1_PK650	-1.21	-0.97	-0.85	-0.74	-0.47
15	2_Nevers_ouest_1_PK700	-1.24	-1.00	-0.87	-0.75	-0.47
16	2_Nevers_ouest_1_PK750	-1.17	-0.91	-0.78	-0.66	-0.38
17	2_Nevers_ouest_1_PK800	-1.24	-0.97	-0.83	-0.71	-0.42
18	2_Nevers_ouest_1_PK850	-1.19	-0.92	-0.77	-0.65	-0.35
19	2_Nevers_ouest_1_PK900	-1.20	-0.91	-0.76	-0.63	-0.32
20	2_Nevers_ouest_1_PK950	-1.38	-1.08	-0.93	-0.79	-0.47
21	2_Nevers_ouest_1_PK1000	-1.37	-1.06	-0.90	-0.76	-0.45
22	2_Nevers_ouest_1_PK1050	-1.36	-1.04	-0.88	-0.74	-0.42
23	2_Nevers_ouest_1_PK1100	-1.45	-1.11	-0.95	-0.81	-0.49
24	2_Nevers_ouest_1_PK1150	-1.62	-1.26	-1.09	-0.95	-0.63
25	2_Nevers_ouest_1_PK1200	-1.77	-1.37	-1.19	-1.05	-0.72
26	2_Nevers_ouest_1_PK1250	-1.75	-1.33	-1.15	-0.99	-0.66
27	2_Nevers_ouest_1_PK1300	-1.71	-1.27	-1.08	-0.93	-0.59
28	2_Nevers_ouest_1_PK1350	-1.84	-1.37	-1.18	-1.01	-0.66
29	2_Nevers_ouest_1_PK1400	-1.97	-1.51	-1.32	-1.15	-0.80
30	2_Nevers_ouest_1_PK1450	-2.40	-1.94	-1.74	-1.58	-1.22
31	2_Nevers_ouest_1_PK1500	-3.31	-2.84	-2.64	-2.48	-2.11
32	2_Nevers_ouest_1_PK1550	-3.16	-2.68	-2.47	-2.30	-1.93
33	2_Nevers_ouest_1_PK1600	-2.63	-2.14	-1.93	-1.76	-1.39
34	2_Nevers_ouest_1_PK1650	-2.43	-1.92	-1.72	-1.55	-1.17
35	2_Nevers_ouest_1_PK1700	-2.46	-1.95	-1.74	-1.57	-1.20
36	2_Nevers_ouest_1_PK1750	-2.47	-1.96	-1.75	-1.58	-1.21
37	2_Nevers_ouest_1_PK1800	-2.12	-1.61	-1.40	-1.23	-0.85
38	2_Nevers_ouest_1_PK1850	-1.64	-1.13	-0.92	-0.75	-0.38
39	2_Nevers_ouest_1_PK1900	-1.54	-1.03	-0.82	-0.65	-0.27
40	2_Nevers_ouest_1_PK1950	-1.65	-1.14	-0.93	-0.75	-0.38
41	2_Nevers_ouest_1_PK2000	-1.58	-1.06	-0.85	-0.68	-0.31

Tableau 30 : Val ouest - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m)  
(1/2)



Profil	Abscisse sur le tronçon	Calculs des hauteurs de surverse Hs (=2Q <sub>T</sub> - Z4)				
		Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400
42	2_Nevers_ouest_1_PK2050	-1.72	-1.20	-0.99	-0.82	-0.45
43	2_Nevers_ouest_1_PK2100	-1.48	-0.96	-0.75	-0.57	-0.21
44	2_Nevers_ouest_1_PK2150	-1.51	-0.99	-0.78	-0.60	-0.25
45	2_Nevers_ouest_1_PK2200	-1.63	-1.11	-0.89	-0.72	-0.37
46	2_Nevers_ouest_1_PK2250	-1.72	-1.20	-0.99	-0.81	-0.47
47	2_Nevers_ouest_1_PK2300	-1.69	-1.16	-0.95	-0.77	-0.43
48	2_Nevers_ouest_1_PK2350	-1.75	-1.23	-1.01	-0.83	-0.50
49	2_Nevers_ouest_1_PK2400	-1.69	-1.16	-0.95	-0.77	-0.44
50	2_Nevers_ouest_1_PK2450	-1.57	-1.04	-0.82	-0.64	-0.33
51	2_Nevers_ouest_1_PK2500	-1.61	-1.08	-0.87	-0.69	-0.38
52	2_Nevers_ouest_1_PK2550	-1.53	-1.00	-0.78	-0.61	-0.31
53	2_Nevers_ouest_1_PK2600	-2.21	-1.68	-1.46	-1.29	-0.99
54	2_Nevers_ouest_2_PK2650	-1.50	-0.96	-0.75	-0.57	-0.29
55	2_Nevers_ouest_2_PK2700	-1.38	-0.84	-0.62	-0.44	-0.17
56	2_Nevers_ouest_2_PK2750	-1.38	-0.85	-0.63	-0.45	-0.18
57	2_Nevers_ouest_2_PK2800	-1.37	-0.83	-0.62	-0.44	-0.16
58	2_Nevers_ouest_2_PK2850	-1.40	-0.86	-0.64	-0.46	-0.18
59	2_Nevers_ouest_2_PK2900	-1.39	-0.85	-0.64	-0.46	-0.18
60	2_Nevers_ouest_2_PK2950	-1.42	-0.88	-0.67	-0.49	-0.21
61	2_Nevers_ouest_2_PK3000	-1.36	-0.83	-0.61	-0.43	-0.16
62	2_Nevers_ouest_2_PK3050	-1.36	-0.83	-0.61	-0.43	-0.16
63	2_Nevers_ouest_2_PK3100	-1.48	-0.95	-0.74	-0.56	-0.28
64	2_Nevers_ouest_2_PK3150	-1.48	-0.95	-0.73	-0.55	-0.28
65	2_Nevers_ouest_2_PK3200	-1.47	-0.94	-0.73	-0.55	-0.28
66	2_Nevers_ouest_2_PK3250	-1.45	-0.93	-0.71	-0.53	-0.26
67	2_Nevers_ouest_2_PK3300	-1.41	-0.89	-0.68	-0.50	-0.22
68	2_Nevers_ouest_2_PK3350	-1.37	-0.85	-0.64	-0.46	-0.19
69	2_Nevers_ouest_2_PK3400	-1.46	-0.94	-0.72	-0.54	-0.27
70	2_Nevers_ouest_2_PK3450	-1.38	-0.86	-0.65	-0.47	-0.20
71	2_Nevers_ouest_2_PK3500	-1.45	-0.93	-0.72	-0.54	-0.27
72	2_Nevers_ouest_2_PK3550	-1.46	-0.95	-0.74	-0.56	-0.29
73	2_Nevers_ouest_3_PK3600	-1.48	-0.97	-0.76	-0.59	-0.32
74	2_Nevers_ouest_3_PK3650	-1.50	-0.99	-0.78	-0.60	-0.33
75	2_Nevers_ouest_3_PK3700	-1.35	-0.84	-0.63	-0.46	-0.19
76	2_Nevers_ouest_3_PK3750	-1.36	-0.89	-0.68	-0.50	-0.24
77	2_Nevers_ouest_3_PK3800	-1.44	-1.05	-0.84	-0.66	-0.38
78	2_Nevers_ouest_3_PK3850	-1.72	-1.16	-0.93	-0.75	-0.47
79	2_Nevers_ouest_3_PK3900	-1.92	-1.39	-1.18	-1.00	-0.74
80	2_Nevers_ouest_3_PK3950	-3.66	-1.08	-0.87	-0.69	-0.43
81	2_Nevers_ouest_3_PK4000	-1.84	-1.31	-1.10	-0.92	-0.66
82	2_Nevers_ouest_3_PK4050	-1.60	-1.07	-0.86	-0.69	-0.44
83	2_Nevers_ouest_3_PK4100	-1.90	-1.38	-1.17	-0.99	-0.74
84	2_Nevers_ouest_3_PK4150	-1.93	-1.40	-1.19	-1.02	-0.76
85	2_Nevers_ouest_3_PK4200	-1.88	-1.36	-1.14	-0.97	-0.72
86	2_Nevers_ouest_3_PK4250	-2.04	-1.51	-1.30	-1.13	-0.87

Tableau 31 : Val ouest - Hauteur de surverse (+) ou de revanche (-) au droit de la digue (m)  
(2/2)



### Probabilité de rupture :

Le risque de rupture par surverse est très improbable sur l'ensemble du linéaire à l'exception de l'extrémité amont avec un tronçon où la surverse est improbable.

### Carte de synthèse :

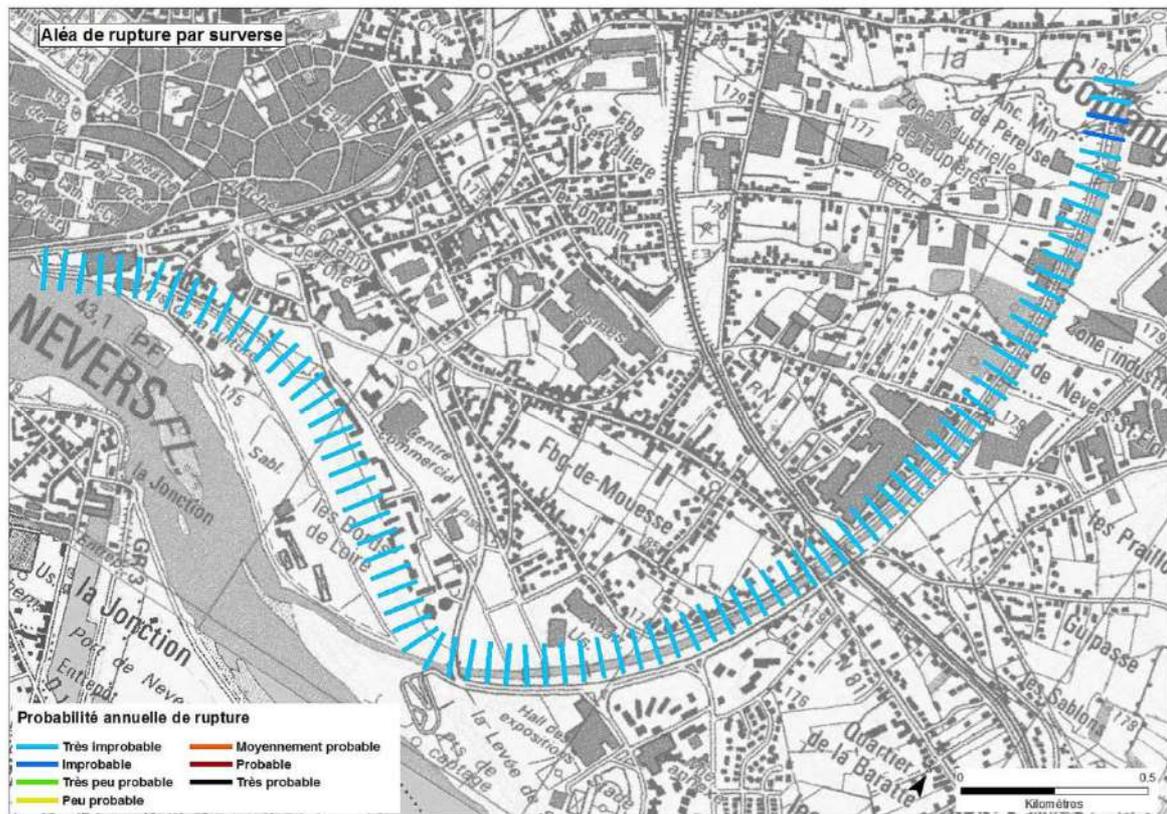


Figure 181 : Val ouest - carte de probabilité annuelle de rupture par surverse

### 7.2.1.2 Rupture par érosion interne

L'érosion interne est un phénomène lié à la qualité des matériaux constitutifs de la digue. Elle se produit lorsque deux conditions sont réunies :

- quand l'eau est capable de traverser la digue lorsque celle-ci est en charge ;
- quand les matériaux constitutifs de l'ouvrage sont entraînés par l'eau circulant dans la digue vers l'extérieur. Les particules les plus fines sont capables de traverser le squelette constitué par les éléments les plus gros, puis des éléments de plus en plus gros sont mobilisés et entraînés à l'extérieur de la digue. Le phénomène s'accélère avec la perméabilité du matériau qui augmente avec le départ des éléments les plus fins, pouvant ainsi engendrer une brèche.



L'érosion interne peut prendre plusieurs formes, de l'érosion généralisée, ou suffusion, à l'érosion localisée (de contact, de conduit ou régressive). L'érosion généralisée se produit lorsque la digue est saturée d'eau et lorsque les matériaux sont sensibles à l'érosion interne. L'érosion localisée se produit à partir d'une irrégularité dans la perméabilité du corps de la digue. Ce phénomène est couramment appelé renard hydraulique. Il est souvent lié à des facteurs externes tels que :

- les terriers d'animaux fouisseurs ;
- les racines d'arbres ;
- les ouvrages traversant ou inclus, tels que les canalisations.

L'érosion interne est un phénomène capable de provoquer à lui seul la rupture d'une digue. Il peut néanmoins être également associé à d'autres mécanismes de rupture, l'érosion interne restant le mécanisme final de la rupture.

**Dans le cadre de la présente étude il est important de noter que les ouvrages se caractérisent sur certains secteurs par la présence de palplanches et/ou de paroi bentonite ayant une forte incidence sur la perméabilité interne et, de fait, sur le risque de rupture par érosion interne. La méthodologie de prise en compte de ces ouvrages dans le calcul de l'aléa de rupture est explicitée dans la notice cardique jointe en annexe de la présente étude.**

Sur la base de l'arbre de défaillance retenu (cf. annexe 5), la probabilité de rupture par érosion interne correspond au produit de la probabilité d'apparition d'érosion interne et de la probabilité de rupture une fois l'érosion interne établie.

Le critère utilisé pour quantifier la probabilité d'apparition d'érosion interne au sein de l'ouvrage est le critère de Bligh défini comme le rapport de la largeur de l'ouvrage par la charge hydraulique, éventuellement corrigé de l'incidence des différentes anomalies présentes sur la digue. La correspondance entre la valeur du critère de Bligh et la probabilité d'apparition d'érosion interne a été établie sur la base de retours d'expérience des crues historiques et des principes de dimensionnement du bureau d'études NEDECO dans les années 60 et 70. Elle est fournie par l'échelle ci-après.

Probabilités d'apparition en fonction des valeurs du critère de Bligh $c=L/\Delta H$			
Intervalles du critère de Bligh			Proba
l'eau n'atteint pas la cote du pied de digue coté Val			0
0	< Bligh <	2	1
2	< Bligh <	3	0.99
3	< Bligh <	3.5	0.95
3.5	< Bligh <	4	0.8
4	< Bligh <	4.5	0.5
4.5	< Bligh <	5	0.2
5	< Bligh <	5.5	0.1
5.5	< Bligh <	6	0.02
6	< Bligh <	7	0.01
7	< Bligh <	8	0.001
8	< Bligh		0.0001

161

Tableau 32 : val est - correspondance entre valeur du critère de Bligh (modifié) et probabilité d'apparition d'érosion interne

La probabilité de rupture une fois l'érosion interne établie est par défaut considérée comme certaine.



### 7.2.1.2.1 Val est

#### **Probabilité de rupture :**

Les probabilités de rupture annuelle par érosion interne calculées par le modèle sont très peu à moyennement probable peuvent atteindre 0.66 %.

Identification du Profil		Erosion Interne								Erosion interne
N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Aléas de rupture : PAT x PrAT								Aléa Annuel
		Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400	Σ
13	1_Nevers_est_2_PK650	0.0%	0.1%	1.0%	10.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	0.11%
16	1_Nevers_est_2_PK800	0.0%	0.1%	2.0%	10.0%	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	0.20%
29	1_Nevers_est_2_PK1450	0.0%	0.0%	2.0%	50.0%	95.0%	95.0%	95.0%	95.0%	0.48%
31	1_Nevers_est_2_PK1550	0.0%	0.0%	0.0%	99.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.66%

Tableau 33 : val est - Probabilité de rupture des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,10\%$ )

Le tableau présenté ci-après fournit le récapitulatif des principaux désordres affectant les tronçons soumis aux plus fortes probabilités de rupture par érosion interne. Le détail de la signification des codes utilisés est disponible en annexe 5.

N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Hauteur de la digue	Pente Côte Val	Végétation	Présence et Position de Maison encastrée	Présence et Position Terriers	le terrier est-il traversant?	Présence et Position canalisation	Ecran étanche	Facteur aggravant de l'érosion interne	Facteur atténuant l'érosion interne
13	1_Nevers_est_2_PK650	4.57	0.24	VLG2		179.236	--		--		PB
16	1_Nevers_est_2_PK800	4.78	0.25	VLG2			--		--	DEP	PB
29	1_Nevers_est_2_PK1450	2.97	0.26	VLG1		176.94	--		--	D20	PB
31	1_Nevers_est_2_PK1550	1.86	0.54	VLG1		177.234	--	B	--	OUV	PB

Tableau 34 : Val est - Caractéristiques, désordres et anomalies des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,10\%$ )

162 Ceci est cohérent avec d'une part les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et notamment quelques abaissements localisés du TN côté val (ce qui induit des charges hydrauliques importantes) et, d'autre part, la présence de végétations ligneuse, parfois des deux côtés de l'ouvrage, de la présence de terriers et de canalisations (station de pompage). Le risque d'érosion est néanmoins diminué par la présence sur une grande partie du linéaire d'une paroi bentonite.

Il ressort principalement 4 secteurs « à risque » :

- PK650: la présence d'un terrier,
- PK800: une dépression côté val (charge hydraulique importante) et une sollicitation morphodynamique modérée,
- PK1450 : présence d'un terrier de gros diamètre.
- PK1550 : présence d'un terrier de gros diamètre et d'une conduite traversante de la station de pompage.



**Carte de synthèse :**

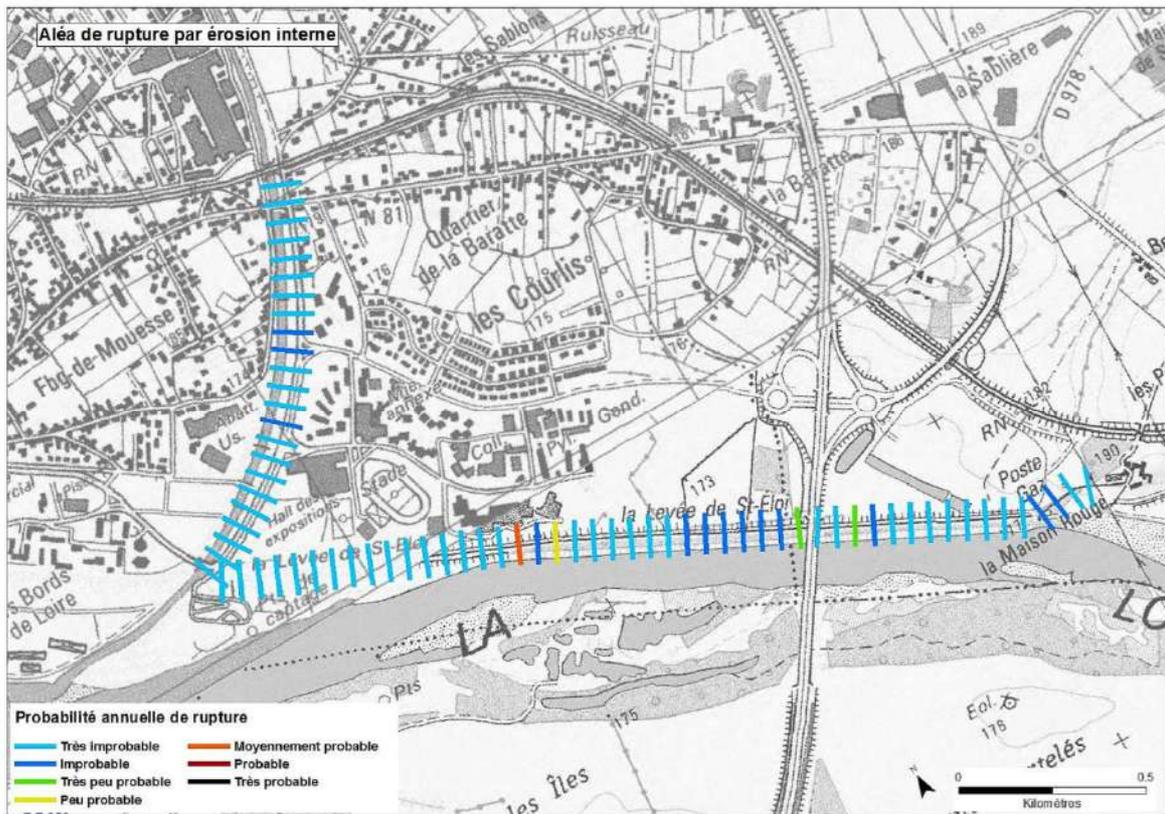


Figure 182 : val est - carte de probabilité annuelle de rupture par érosion interne

**7.2.1.2.2 Val ouest**

**Probabilité de rupture :**

Les probabilités de rupture annuelle par érosion interne calculées par le modèle sont très peu à moyennement probable peuvent atteindre 0.59 %.

Identification du Profil		Erosion Interne								Erosion interne
N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Aléas de rupture : $P_{AT} \times Pr_{AT}$								Aléa Annuel
		Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400	$\Sigma$
16	2 Nevers_ouest_1_PK750	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	2,0%	20,0%	50,0%	95,0%	0,11%
56	2 Nevers_ouest_2_PK2750	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	10,0%	20,0%	50,0%	0,06%
82	2 Nevers_ouest_3_PK4050	0,0%	0,0%	0,0%	80,0%	99,0%	99,0%	99,0%	99,0%	0,59%
84	2 Nevers_ouest_3_PK4150	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	1,0%	2,0%	2,0%	10,0%	0,01%

Tableau 35 : val ouest - Probabilité de rupture des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,01\%$ )

Le tableau présenté ci-après fournit le récapitulatif des principaux désordres affectant les tronçons soumis aux plus fortes probabilités de rupture par érosion interne. Le détail de la signification des codes utilisés est disponible en annexe 5.



N° du Profil utilisé	PK Digue (km/OrigineVal)	Hauteur de la digue	Pente Côte Val	Présence et Position de Maison encastrée	Mur de soutènement ou mur de Quai	Végétation	Présence et Position canalisation	Présence et Position Terriers	Désordres sur le talus Coté Val	Facteur aggravant de l'érosion interne	Facteur atténuant l'érosion interne
16	2_Nevers_ouest_1_PK750	1,75	0,44			VLI2	B				
56	2_Nevers_ouest_2_PK2750	2,82	0,42		Val			177,48	DECAP+OBSV	D20	PAL
82	2_Nevers_ouest_3_PK4050	3,71	0,65								
84	2_Nevers_ouest_3_PK4150	4,03	0,42	Val					OBSV		PAL

Tableau 36 : Val ouest - Caractéristiques, désordres et anomalies des profils en travers soumis à l'érosion interne ( $\Sigma > 0,01\%$ )

Ceci est cohérent avec d'une part les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et notamment quelques abaissements localisés du TN côté val (ce qui induit des charges hydrauliques importantes) et, d'autre part, la présence de végétation ligneuse, parfois des deux côtés de l'ouvrage, de la présence de canalisations ou de bâtiments encastrés.

Il ressort principalement 2 secteurs « à risque » :

- PK750: présence d'un ouvrage traversant qui connecte le chenal au ruisseau l'Eperon,
- PK4050: largeur de digue faible et terrain côté val très bas

En effet, des palplanches étant présentes au droit des pk2750 et PK4150 (cf. figures 105 et 116), le risque de rupture par érosion interne est faible et la probabilité annuelle reste inférieure à 0.1%.

### Carte de synthèse :

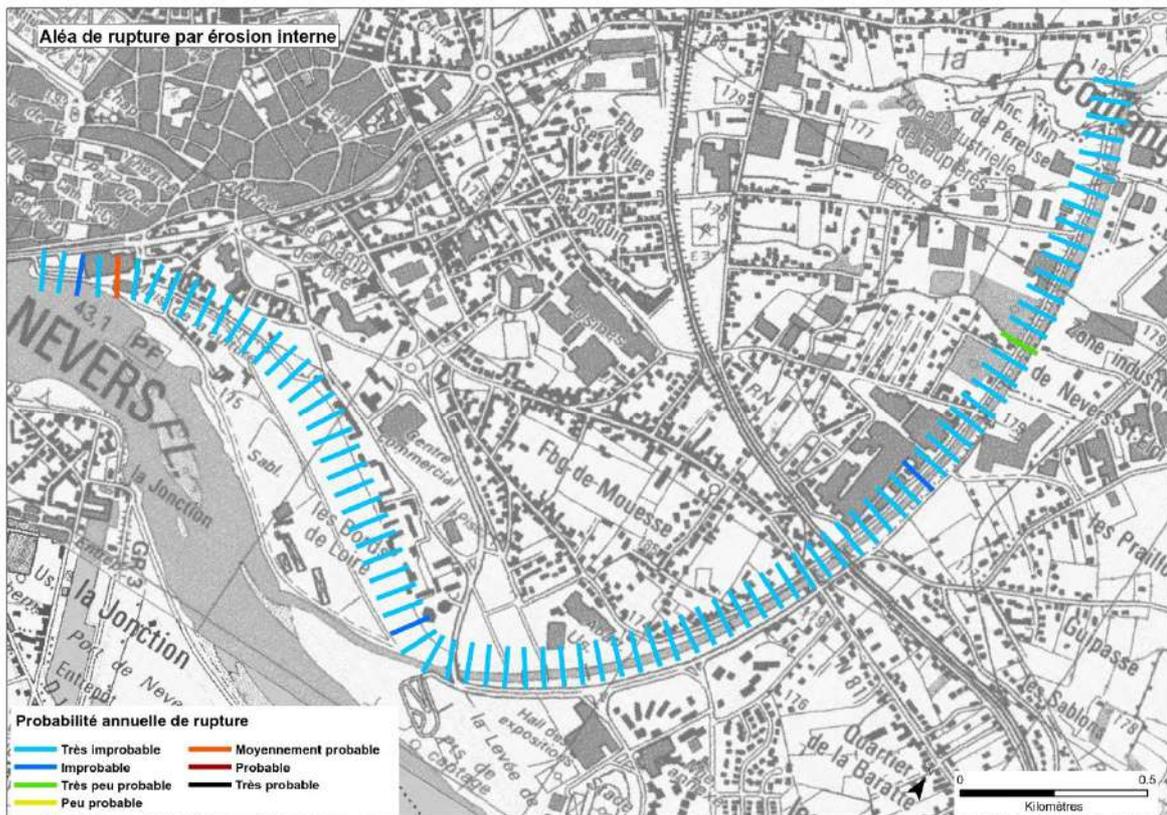


Figure 183 : val ouest - carte de probabilité annuelle de rupture par érosion interne



### 7.2.1.3 Rupture par défaut de stabilité de la digue ou de sa fondation

Le défaut de stabilité d'une digue ou de sa fondation peut prendre plusieurs formes qui relèvent soit :

- d'une déstabilisation d'ensemble, lorsque la digue n'est pas capable de résister mécaniquement à la charge de l'eau, ce qui peut se traduire par un glissement sur sa fondation ou un basculement de l'ouvrage, situation qui se rencontre souvent au niveau des ouvrages de rehausse telles que les parapets construits en crête de digue pour en relever le niveau de protection ;
- d'une déstabilisation de talus par glissement, qui est favorisée par la saturation des matériaux de la digue ;  
Elle peut se produire côté val quand le corps de digue est saturée, ou côté fleuve à la décrue.
- d'une déstabilisation de la fondation, qui peut se produire si celle-ci est très perméable et si elle est surmontée d'une couche imperméable.  
Si la pression hydrostatique de l'eau dans la fondation perméable est susceptible de soulever la couche imperméable, il peut y avoir claquage de cette couche : un phénomène appelé « soulèvement hydraulique côté val ».

Seule la déstabilisation d'ensemble est susceptible de provoquer directement la rupture de la digue, les autres défauts de stabilité n'en sont généralement pas capables.

**Dans le cadre de la présente étude il est important de noter que les ouvrages se caractérisent sur certains secteurs par la présence de palplanches et/ou de paroi bentonite ayant une forte incidence sur la perméabilité interne et, de fait, sur le risque de rupture par érosion interne. Cependant, l'influence de ces ouvrages sur le risque de rupture par défaut de stabilité n'est pas clairement établie tant pour la paroi bentonite dont on ne connaît pas les caractéristiques ni l'épaisseur (probablement faible), que pour les palplanches dont on ne connaît pas précisément l'implantation (en crête côté Loire, côté val, ou à l'axe ?). +**

165

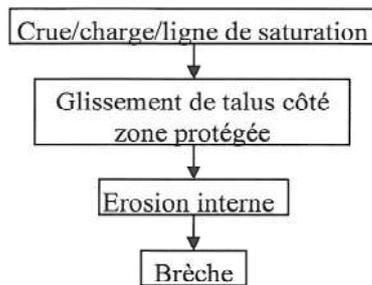
**Par précaution il n'a de fait pas été retenu d'effet favorable, ni défavorable de ces ouvrages sur l'estimation de l'aléa. La méthodologie de prise en compte de ces ouvrages dans le calcul de l'aléa de rupture est explicitée dans la notice Cardigue jointe en annexe de la présente étude.**

Cette rupture peut être initiée par ce type de défaillance, puis accentuée par d'autres phénomènes, le plus souvent par érosion interne. L'arbre de défaillance simplifié considère que la digue, une fois affectée par un glissement, voit sa géométrie amputée et sa résistance à l'érosion interne diminuée au point d'en occasionner la rupture. Il convient de noter que ce scénario de défaillance induit une forte corrélation entre la probabilité de rupture par défaut de stabilité et par érosion interne.

Pour faire suite à la spécificité des ouvrages de Nevers évoqué ci-dessus, on peut donc noter que l'incidence des ouvrages retenus sur le risque d'érosion interne n'est donc pas totalement négligée lors du calcul du risque de glissement.



### 3.a - Rupture par glissement de talus côté zone protégée



#### Pour le profil 3 :

Fonctions	Composants
Drainage	Drain côté val
Stabilité	Tous
Résistance à l'érosion interne	Tous

#### Pour le profil 2 :

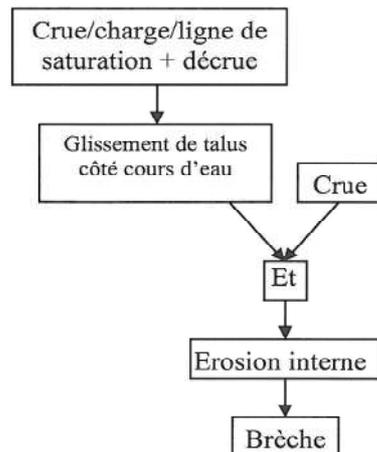
Fonctions	Composants
Étanchéité	Renforcement amont
Stabilité	Tous
Résistance à l'érosion interne	Tous

#### Pour le profil 1 :

Fonctions	Composants
Stabilité	Tous
Résistance à l'érosion interne	Tous

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)

### 3.b - Rupture par glissement de talus côté cours d'eau



#### Pour le profil 3 :

Fonctions	Composants
Stabilité	Tous
Résistance à l'érosion interne	Tous

#### Pour le profil 2 :

Fonctions	Composants
Stabilité	Tous
Résistance à l'érosion interne	Tous

#### Pour le profil 1 :

Fonctions	Composants
Stabilité	Tous
Résistance à l'érosion interne	Tous

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)

**Nota1 :** L'inondation suite à un **glissement côté fleuve** est possible, mais dans des conditions hydrauliques particulières. En effet, lors d'une crue, le niveau d'eau côté Loire joue un rôle stabilisateur vis-à-vis du risque de glissement côté fleuve ; la rupture peut être initiée par une décrue rapide et une circulation des eaux de saturation de l'ouvrage vers la Loire, ce qui déstabilise le talus. L'inondation de la zone protégée nécessite donc d'une que le niveau d'eau soit redescendu à un niveau suffisamment bas après la crue, en engendrant une rupture, puis qu'une seconde crue agisse à nouveau sur le système d'endiguement. La probabilité d'inondation est donc très faible du fait des occurrences de crue. Ce scénario n'a pu être intégré dans le modèle d'aléa de rupture, qui n'est pas conçu pour affecter une probabilité à un double événement. Le mécanisme de glissement côté cours d'eau est, en revanche, pris en compte dans le cadre de l'érosion externe en cas d'affouillement des fondations par le fleuve.

**Nota2 :** Dans le cas d'un substratum karstique sous la fondation de la digue, les effondrements ou fontis, en capacité de se produire, sont susceptibles de la déstabiliser. Aujourd'hui, les conditions et les modes de rupture en regard de cette éventualité ne sont pas encore connus, cependant des études sont en cours pour améliorer la connaissance.



7.2.1.3.1 Val est

**Probabilité de rupture**

Les probabilités de rupture annuelle par glissement côté val, calculées par le modèle, sont très peu à peu probables et peuvent atteindre 0.24 %.

Identification du Profil		Glissement									Glissement
N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Aléas de rupture : $P_{AT} \times Pr_A T$									Aléa Annuel
		Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400	$\Sigma$	
2	1_Nevers_est_1_PK100	0.0%	0.0%	0.3%	15.4%	61.6%	61.6%	61.6%	61.6%	0.24%	
13	1_Nevers_est_2_PK650	0.0%	0.3%	3.3%	6.6%	16.5%	16.5%	16.5%	16.5%	0.11%	
16	1_Nevers_est_2_PK800	0.0%	0.3%	3.3%	16.5%	26.4%	26.4%	26.4%	26.4%	0.18%	

Tableau 37 : Val est - Probabilités de rupture des profils en travers soumis au glissement côté val ( $\Sigma > 0,10\%$ )

Ceci est cohérent avec les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et notamment quelques abaissements localisés du TN côté val (ce qui induit une hauteur d'ouvrage côté val importante).

N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Hauteur de la digue	Pente Côte Val	Profil Type
2	1_Nevers_est_1_PK100	3.01	0.73	F1
13	1_Nevers_est_2_PK650	4.57	0.24	F1
16	1_Nevers_est_2_PK800	4.78	0.25	F1

Le risque le plus marqué de glissement est situé au niveau du PK100. Il s'explique principalement par une pente talus forte, de l'ordre de 2/3.

**Carte de synthèse :**

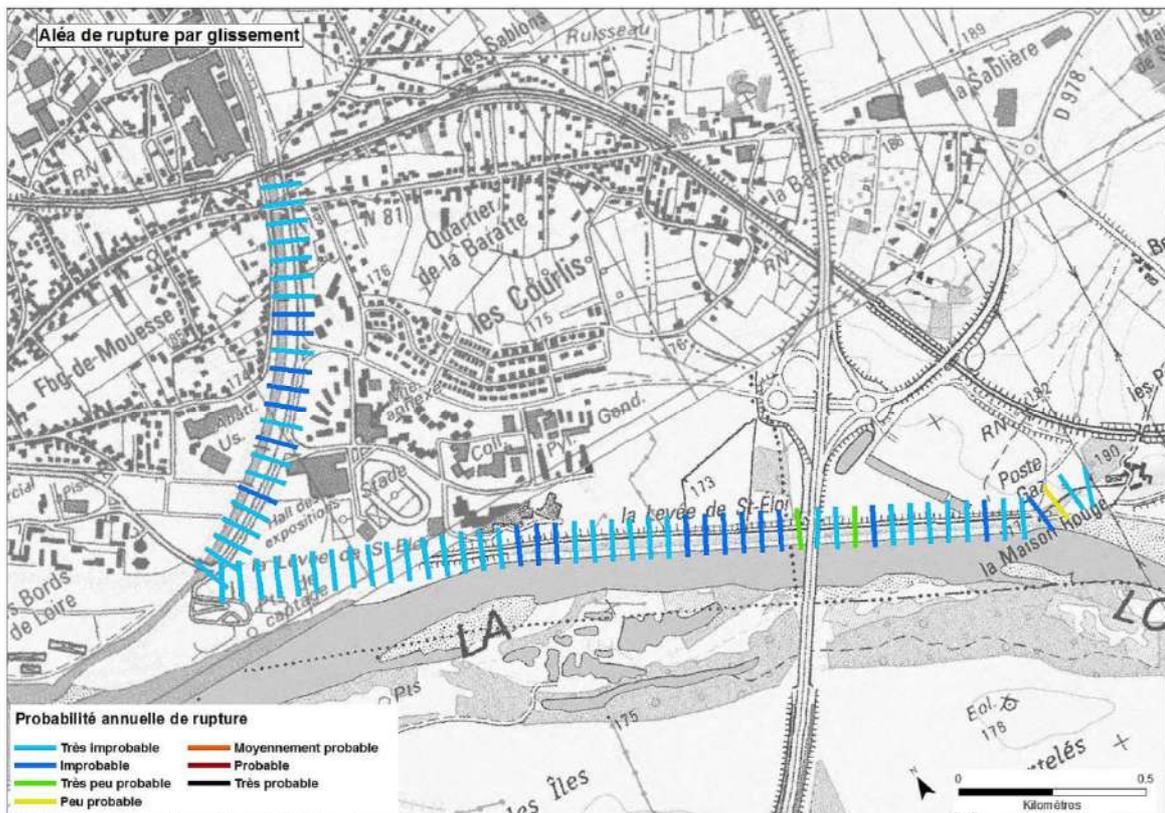




Figure 186 : Val est - Carte de Probabilité annuelle de rupture par glissement

### 7.2.1.3.2 Val ouest

#### Probabilité de rupture

Les risques de rupture annuelle par glissement côté val sont globalement très improbables sauf au niveau du PK4050 où la probabilité atteint 0.67 %.

Identification du Profil		Glissement								Glissement
N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Aléas de rupture : $P_{AT} \times Pr_{AT}$								Aléa Annuel
		Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400	$\Sigma$
82	2_Nevers_ouest_3_PK4050	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.67%

Tableau 38 : Val est - Probabilités de rupture des profils en travers soumis au glissement côté val ( $\Sigma > 0,10\%$ )

Ceci est cohérent avec les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et notamment un abaissement localisé du TN côté val (ce qui induit une hauteur d'ouvrage côté val importante).

N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Hauteur de la digue	Pente Côte Val	Profil type
82	2_Nevers_ouest_3_PK4050	3.71	0.53	F1

Le risque le plus marqué de glissement est situé au niveau du PK4050. Il s'explique principalement par un niveau côté val très bas.

#### Carte de synthèse :

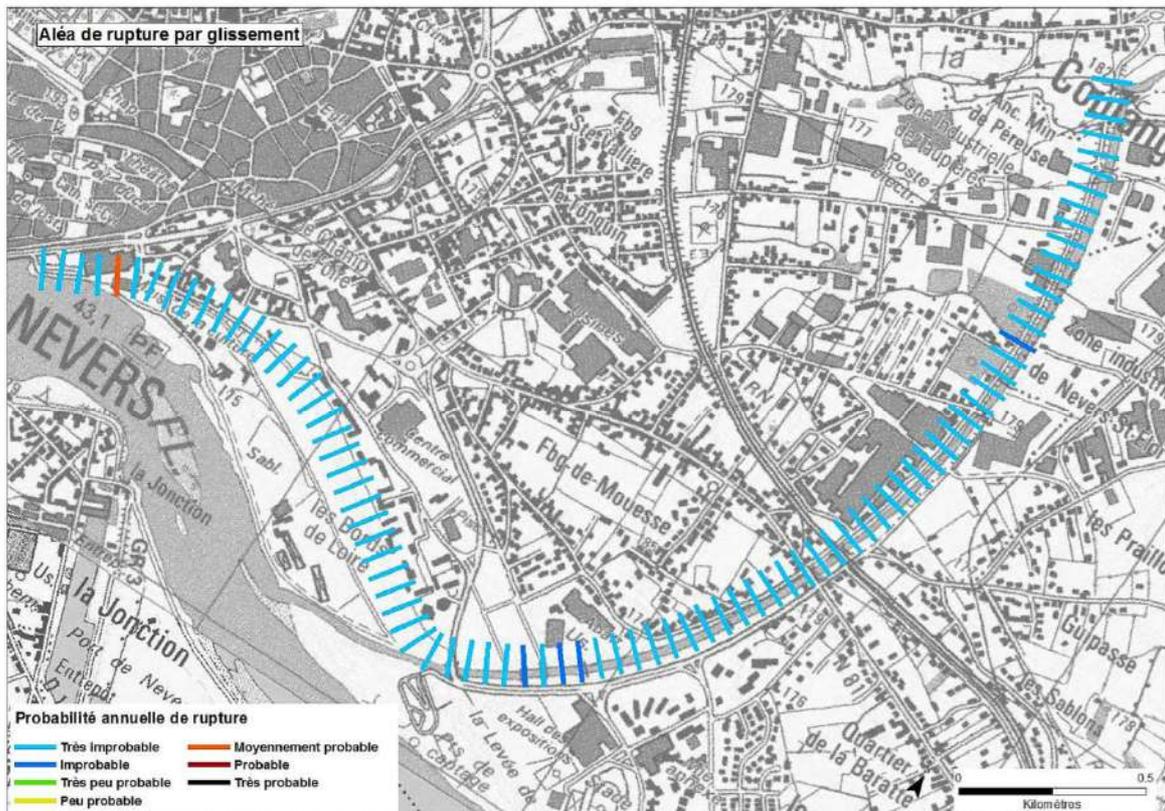


Figure 187 : Val ouest - Carte de Probabilité annuelle de rupture par glissement



## 7.2.1.4 Rupture par soulèvement hydraulique

### 7.2.1.4.1 Val est

La sensibilité au **soulèvement hydraulique** est très improbable sur l'ensemble du linéaire.

Ceci est en cohérence avec le contexte géotechnique des tronçons (absence d'assise peu perméable)

#### Carte de synthèse :

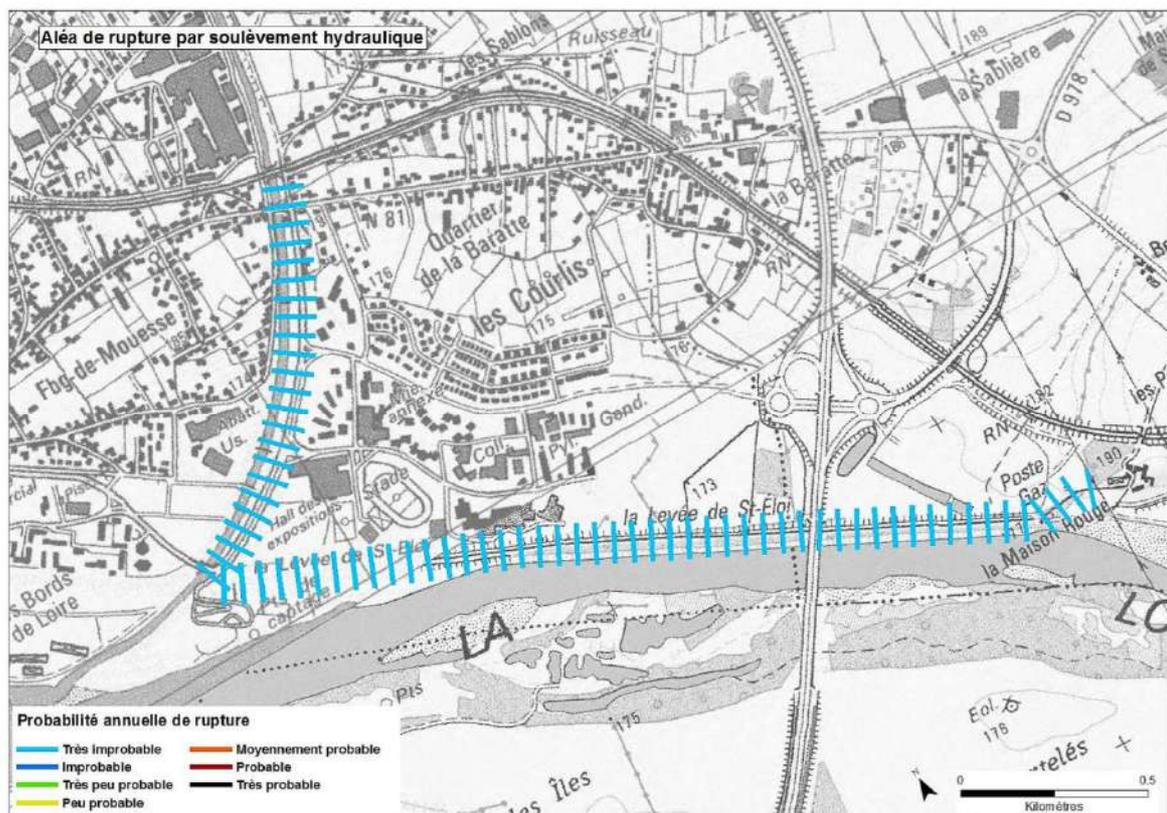


Figure 188 : Val est - Carte de Probabilité annuelle de rupture par soulèvement hydraulique

### 7.2.1.4.2 Val ouest

La sensibilité au **soulèvement hydraulique** est très improbable sur l'ensemble du linéaire.

Ceci est en cohérence avec le contexte géotechnique des tronçons (absence d'assise peu perméable)



### Carte de synthèse :

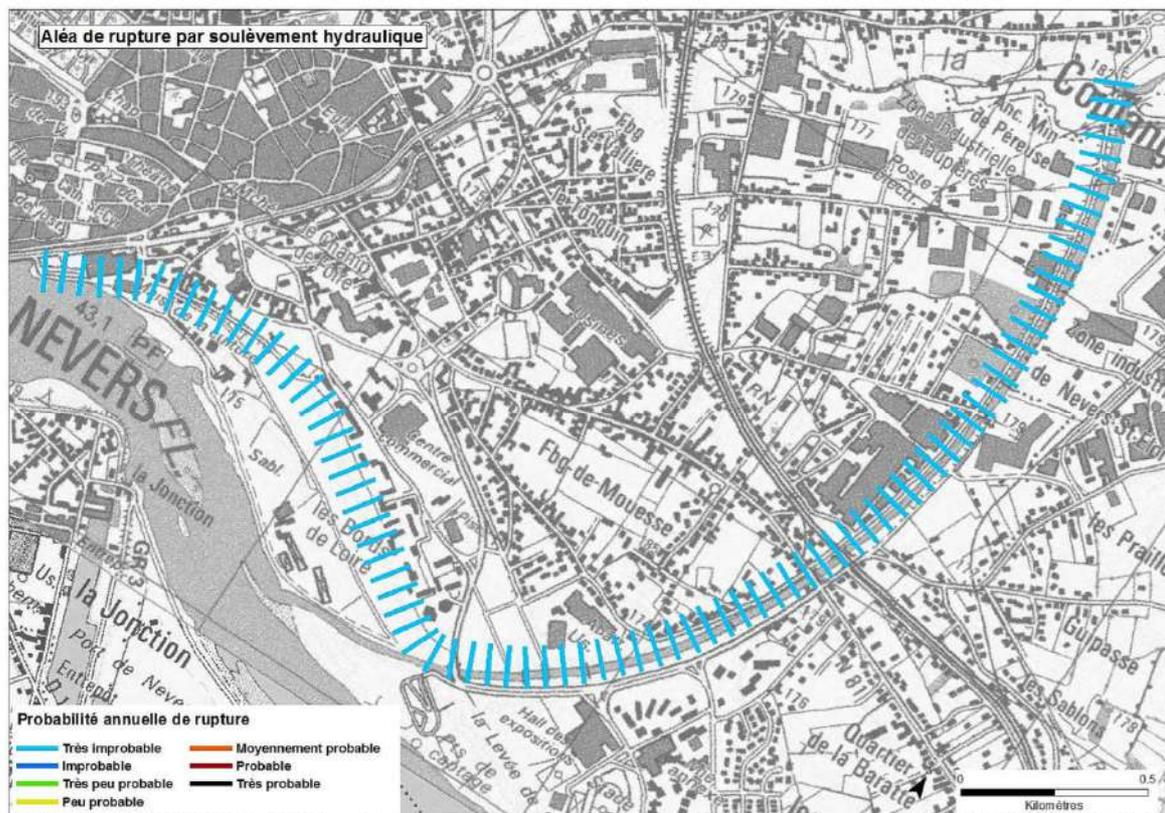


Figure 189 : Val ouest - Carte de Probabilité annuelle de rupture par soulèvement hydraulique

170

#### 7.2.1.5 Rupture par érosion externe

L'érosion externe est un phénomène qui se produit quand un courant d'eau à l'extérieur de la digue est capable d'entraîner ses matériaux constitutifs ou ceux de sa fondation.

On rencontre 3 types principaux d'érosion externe :

- en contact avec le fleuve, la fondation peut être affouillée en pied de digue ;
- en crue, le talus côté cours d'eau peut être érodé par le courant ;
- en cas de surverse, le talus côté val peut être érodé par les écoulements.

À l'exception du cas des surverses où l'érosion externe du talus côté val est la cause directe de la rupture, l'érosion externe côté Loire est rarement capable d'en produire une. Elle est, en revanche, initiatrice d'un glissement qui, associé à une érosion interne, provoque la rupture de la digue.

L'érosion externe au niveau des pieds de levée doit être traitée car elle intervient quand le fleuve n'est pas en crue et peut donc endommager la levée à tout moment.

Compte tenu des limites de l'outil CARDigue (cf. annexe 5), les résultats quantitatifs fournis par le modèle de calcul de l'aléa de rupture doivent cependant être remis en perspective avec ceux, qualitatifs, issus de l'analyse morphodynamique (cf. § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et annexe 4).



### 7.2.1.5.1 Val est

Le risque de rupture par érosion externe est très improbable à improbable sur l'ensemble des tronçons.

#### Carte de synthèse :

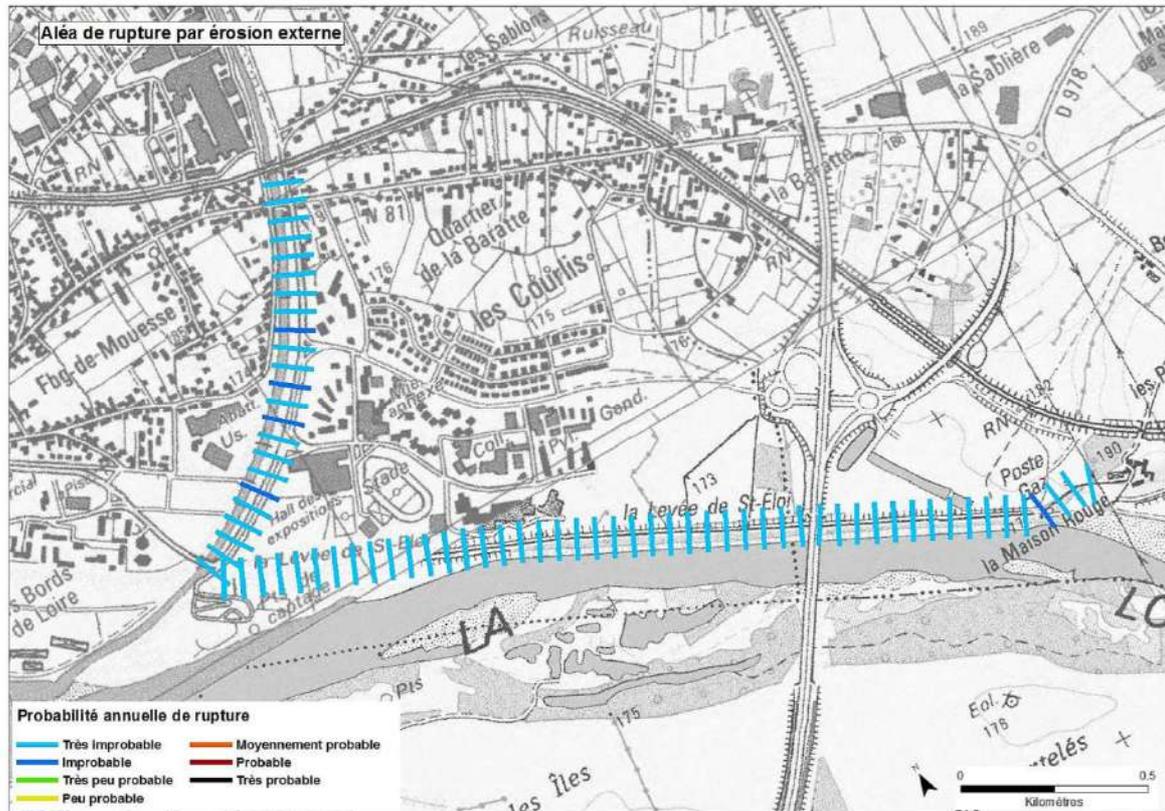


Figure 190 : Val est - Carte de Probabilité annuelle de rupture par érosion externe



### 7.2.1.5.2 Val ouest

Le risque de rupture par érosion externe est très improbable à improbable sur l'ensemble des tronçons.

#### Carte de synthèse :

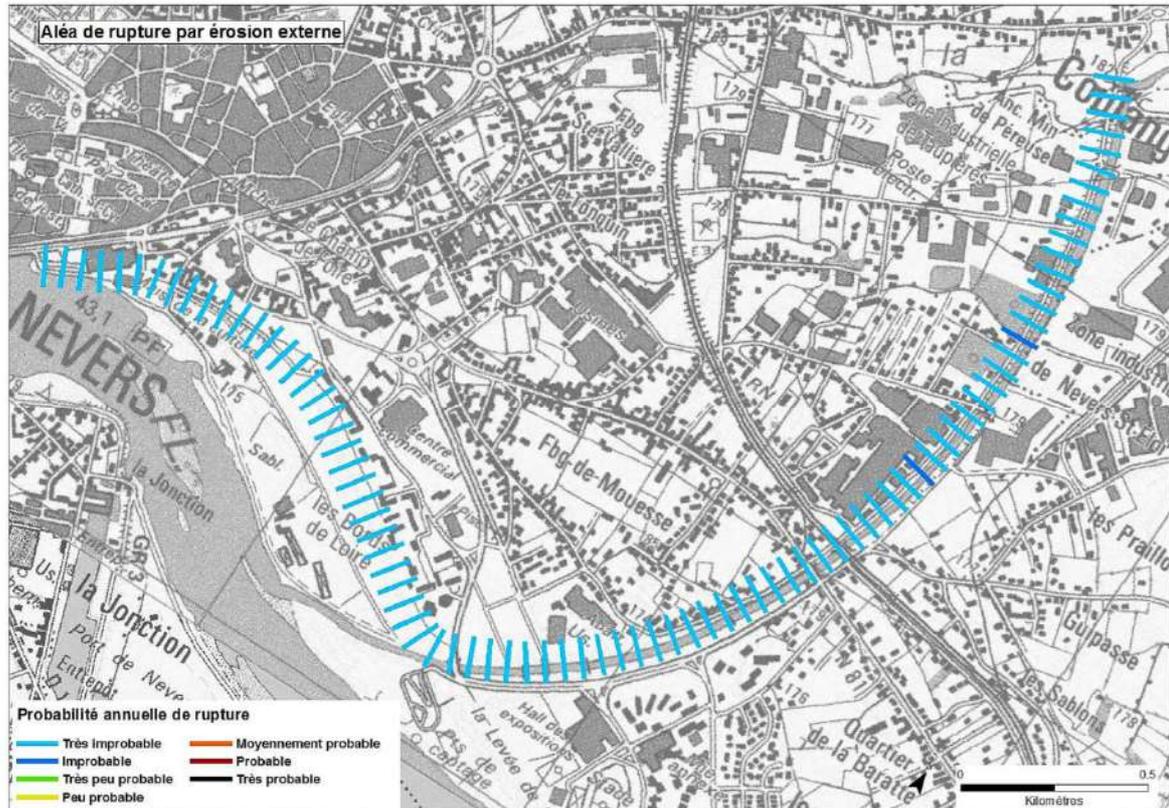


Figure 191 : Val ouest - Carte de Probabilité annuelle de rupture par érosion externe

## 7.2.2 Rupture tous modes confondus

Les probabilités de rupture tous modes de défaillance confondus, pour chaque crue sont présentées page suivante.

Compte tenu des incertitudes du modèle d'aléa de rupture, le seuil de probabilité de rupture retenu pour la définition du niveau de sûreté est de 1 %. Au-dessus de ce seuil, la probabilité de rupture ne peut plus être considérée comme négligeable.



### 7.2.2.1 Val est

**Le niveau de sûreté du système d'endiguement du val EST correspond au niveau de la Loire associé à la crue septennale (T = 70 ans), correspondant à une hauteur de 4,42 m à l'échelle de crue de Nevers.** Au-delà de ce niveau, la probabilité de rupture au droit des tronçons élémentaires de digue les plus fragiles ne peut plus être considérée comme négligeable.

L'analyse de la carte ci-dessous met en évidence 4 points/secteurs principaux de faiblesse :

- Point 1 : Ce secteur se situe aux environs du pk1450. Il se caractérise par une canalisation et des terriers. Ce secteur se situe, de plus, au droit de nombreux enjeux.

**Le niveau de sûreté est estimé à T=100 ans ce qui correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 5.05m.**

- Points 2 et 3 : Ces secteurs se situent, respectivement, aux environs des pk800 et 650, en aval et en amont immédiat du remblai A77 ; Ces secteurs se caractérisent par un abaissement du TN côté val ce qui aggrave localement les risques de rupture par érosion interne et/ou glissement. Ces deux secteurs se caractérisent également par une forte sollicitation morphodynamique qui accentue le risque d'érosion externe.

**Le niveau de sûreté est estimé à T=70 ans ce qui correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 4.42m.**

Il est important de noter qu'une brèche au droit de ces secteurs peut présenter un risque pour la pérennité du remblai de l'A77. Une brèche dans ces secteurs est effet susceptible de générer une érosion externe et une déstabilisation du remblais.

Il convient de noter également qu'une brèche au droit du secteur 3, en amont du remblai de l'A77, tout comme une brèche au droit du secteur 4 (cf. ci-dessous) peut présenter un risque sur le remblai de l'A77 par le remplissage du casier qui s'en suivrait. En effet, même si ce casier ne présente pas d'enjeux, un remplissage de celui-ci induirait une mise en charge du remblai de l'A77. Or cet ouvrage, qui n'est pas équipé d'ouvrage hydraulique de transparence, constitue, de fait, un ouvrage secondaire qui sera soumis à une charge hydraulique importante (environ 2m pour Q70 et 3m pour Q200). Ce remblai, malgré sa largeur importante, n'a pas été conçu pour cette fonction et des vérifications sont donc nécessaires pour pouvoir statuer sur sa pérennité vis-à-vis de ce type de sollicitation.

- Point 4 : Ce secteur se situe aux environs des pk100 à 150, au droit d'un poste de gaz existant qui représente un enjeu majeur pour Nevers. Ce secteur se caractérise par une forte végétation aggravant le risque de rupture par érosion interne et/ou glissement et par une cote de crête ponctuellement la plus basse du secteur d'endiguement.

**Le niveau de sûreté est estimé à T=100 ans ce qui correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 5.05m.**

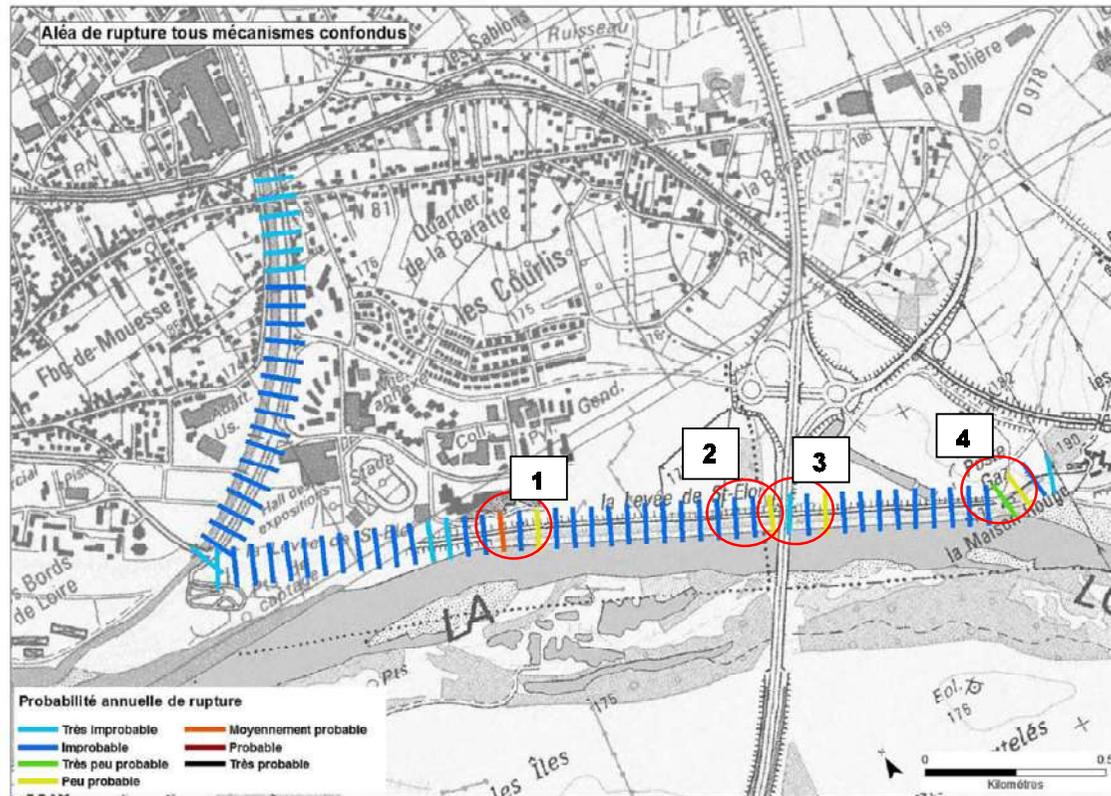


Figure 192 : Val est - Carte des probabilités annuelles de rupture tous modes confondus avec prise en compte de remontée de nappes et en l'absence de surveillance

Identification du Profil		Surverse	Erosion interne	Glissement	Erosion externe	Soulèvement hydraulique	Aléa global : Probabilité de Rupture tous modes confondus									Probabilité annuelle
N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400	Σ	
		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ										
2	1_Nevers_est_1_PK100	0.02%	0.07%	0.24%	0.00%	0.00%	0.0%	0.0%	0.4%	17.1%	70.5%	70.5%	70.8%	72.4%	0.28%	
3	1_Nevers_est_1_PK150	0.07%	0.02%	0.05%	0.04%	0.00%	0.0%	0.0%	0.1%	2.7%	32.1%	55.7%	55.7%	55.7%	0.15%	
13	1_Nevers_est_2_PK650	0.02%	0.11%	0.11%	0.00%	0.00%	0.0%	0.4%	4.3%	15.9%	37.2%	37.2%	39.6%	41.2%	0.22%	
16	1_Nevers_est_2_PK800	0.02%	0.20%	0.18%	0.00%	0.00%	0.0%	0.4%	5.2%	24.9%	64.7%	66.3%	66.3%	67.0%	0.34%	
29	1_Nevers_est_2_PK1450	0.05%	0.48%	0.06%	0.00%	0.00%	0.0%	0.0%	2.1%	54.4%	95.7%	95.9%	97.1%	97.1%	0.50%	
31	1_Nevers_est_2_PK1550	0.05%	0.66%	0.09%	0.00%	0.00%	0.0%	0.0%	0.0%	99.1%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.66%	

Tableau 39 : Val est - Probabilités de rupture annuelle tous modes confondus des différents profils élémentaires ( $\Sigma > 0,10\%$ )



### 7.2.2.2 Val ouest

**Le niveau de sûreté du système d'endiguement du val OUEST correspond au niveau de la Loire associé à la crue de période de retour 150 ans, correspondant à une hauteur de 5.21 m à l'échelle de crue de Nevers.** Au-delà de ce niveau, la probabilité de rupture au droit des tronçons élémentaires de digue les plus fragiles ne peut plus être considérée comme négligeable.

L'analyse de la carte ci-dessous met en évidence 2 points/secteurs principaux de faiblesse :

- Point 1 : Ce secteur se situe au droit de la levée de Médine, aux environs du pk4050. Ce secteur se caractérise par une faible largeur de l'ouvrage et un important approfondissement du TN qui induit une importante charge hydraulique lors des crues. Ce secteur se situe de plus au droit et à proximité de nombreux enjeux.

Selon les simulations Cardigue, la probabilité de rupture tout mode confondu est nulle pour T=100ans et quasi-certaine pour T=200ans. Cet important effet de seuil, est induit par le calcul de la probabilité de rupture par érosion interne. En effet :

- Pour Q100, le pied de l'ouvrage côté Loire n'est pas en eau (échelle de Nevers vers 5.05m) et la probabilité de rupture par érosion interne est nulle ;
- Pour Q150, la charge hydraulique en pied côté Loire est de l'ordre de 25cm (échelle de Nevers vers 5.21m) ; or pour des charges hydrauliques en pied côté Loire inférieure à 50cm, il est considéré que la probabilité de rupture par érosion interne est nulle ; cependant il convient de noter que la charge hydraulique par rapport au TN côté zone protégée est d'ores et déjà de l'ordre de 1.8m ;
- Pour Q200, la charge hydraulique en pied côté Loire est de l'ordre de 53cm (échelle de Nevers vers 5.58) ; la charge hydraulique en pied côté Loire n'étant plus inférieure à 50cm, il n'est plus considéré que la probabilité de rupture par érosion interne est nulle et la modélisation réalisée avec Cardigue met en évidence une probabilité de rupture par érosion interne de 80%. Cette probabilité associée au risque de glissement (dépendant à la fois des caractéristiques géométrique de l'ouvrage et de ce résultat) conduit à une probabilité de rupture tous mode confondu de 100%.

175

**Compte tenu de ces constats, le niveau de sûreté est estimé à T=150 ans ce qui correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 5.21m.**

- Point 2 : Ce secteur se situe en amont du canal de dérivation au droit de la canalisation de l'ouvrage de l'éperon, aux environs du pk750.

**Le niveau de sûreté est estimé à T=200 ans ce qui correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Nevers d'environ 5.58m.**

Il convient de noter que selon les résultats Cardigue, ce constat peut être nuancé, la probabilité de rupture annuelle sur ce secteur étant considéré comme très peu probable (0.12%).

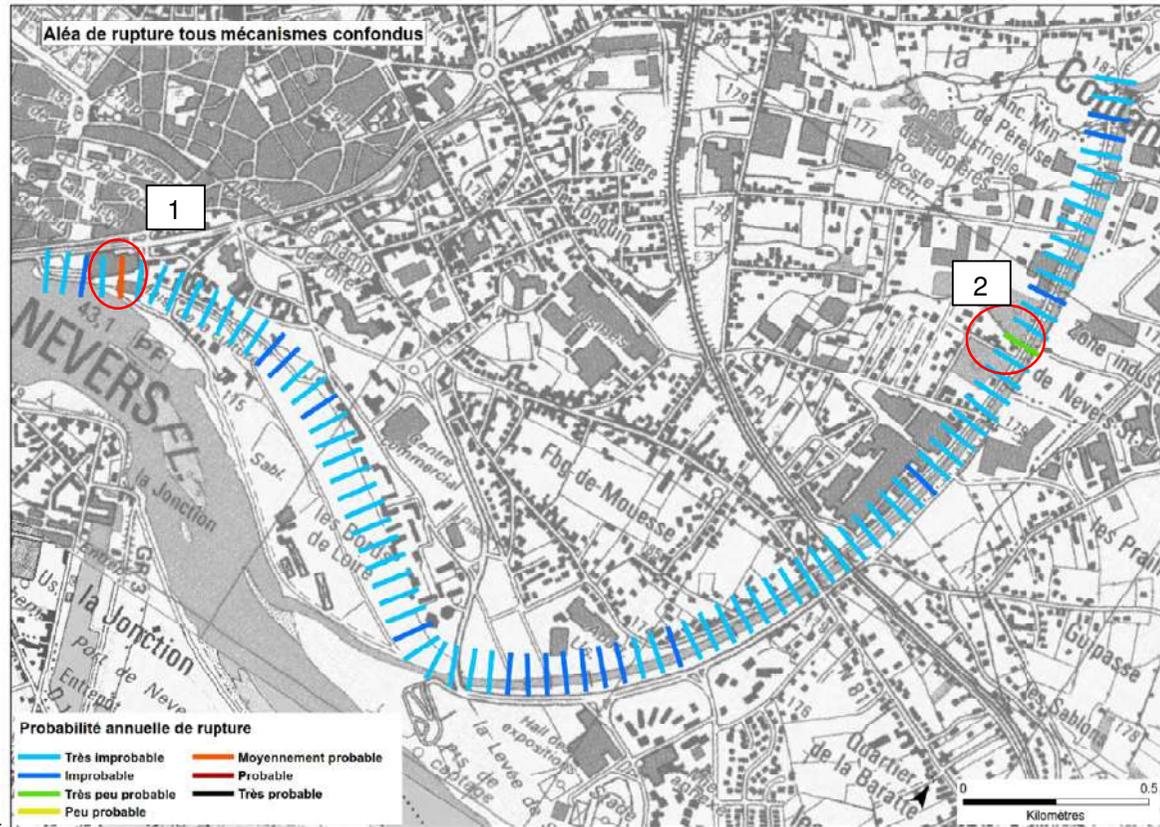


Figure 193 : Val ouest - Carte de probabilité de rupture tous modes confondus

Identification du Profil		Surverse	Erosion interne	Glissement	Erosion externe	Soulèvement hydraulique	Aléa global : Probabilité de Rupture tous modes confondus									Probabilité annuelle
N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Aléa Annuel	Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400	Σ	
16	2_Nevers_ouest_1_PK750	0,00%	0,11%	0,01%	0,03%	0,00%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	5,2%	32,7%	62,4%	96,5%	0,12%	
82	2_Nevers_ouest_3_PK4050	0,00%	0,59%	0,67%	0,00%	0,00%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,67%	

Tableau 40 : Val ouest - Probabilités de rupture annuelle tous modes confondus des différents profils élémentaires ( $\Sigma > 0,10\%$ )



### 7.2.3 Hypothèses de surveillance

Dans le cadre des modélisations présentées ci-dessus, il n'a pas été retenu de surveillance de l'ouvrage : ASONA (absence de surveillance et/ou organisation non adaptée).

En effet, comme l'on peut le constater dans le tableau suivant, les actions du gestionnaire joueraient un rôle non négligeable dans l'évaluation du risque d'apparition de la rupture par érosion interne, une fois celle-ci établie.

Action du gestionnaire	Code	coef
Absence de surveillance et/ou organisation non adaptée	ASONA	1
Surveillance mais organisation non adaptée	SONA	0.9
Surveillance et Organisation Adaptée	SOA	0.5
Surveillance et Organisation Adaptée et Renforcée	SOAR	0.1

Or compte tenu des probables problématiques d'accès et circulation et de la nécessité lorsque le niveau de sureté est atteint et/ou dépassé de mettre en sécurité le personnel du gestionnaire, il peut exister une incertitude sur la capacité à mettre réellement en place le dispositif de surveillance nominal.

## 7.3 DETERMINATION DES SCENARIOS DE DEFAILLANCE FONCTIONNELLE

La sélection des scénarios de défaillance répond à des objectifs de représentativité et de diversité des situations pouvant être rencontrées, que ce soit en termes de probabilité d'occurrence, de mode de défaillance ou de conséquences (localisation et gravité). Le choix des scénarios de défaillance fonctionnelle s'appuie sur l'identification des ouvrages mobiles dont la défaillance est susceptible de générer un aléa inondation dans le val de Nevers pour des crues de période de retour inférieure ou égale au niveau de sureté.



# 8 ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE

## 8.1 ESTIMATION DU RISQUE D'INONDATION PAR DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE NEVERS

Cette estimation repose sur la sélection d'un certain nombre de scénarios de défaillance et sur l'évaluation de la criticité des scénarios d'inondation associés.

Les paragraphes suivants synthétisent les principaux résultats des différents scénarios de brèches simulés.

### 8.1.1 Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilité d'occurrence

La sélection des scénarios de défaillance répond à des objectifs de représentativité et de diversité des situations pouvant être rencontrées, que ce soit en termes de probabilité d'occurrence, de mode de défaillance ou de conséquences (localisation et gravité). Elle s'appuie de ce fait sur :

178

- l'exploitation des résultats issus de CARDigue permettant d'identifier les secteurs de défaillance les plus probables
- la localisation des enjeux permettant de définir les scénarios a priori les plus graves
- les recommandations formulées dans la circulaire du 16/04/2010
- les discussions avec le gestionnaire des ouvrages

Ainsi, les scénarios 1 et 3 du val Ouest et le scénario 4 du val Est sont localisés au droit des secteurs présentant les plus importantes probabilités de rupture.

**Concernant le scénario 2, il convient de noter qu'il a été retenu au même emplacement que le scénario 1. En effet, le niveau de sureté de l'ouvrage de protection du val Ouest étant relativement élevé, il a été convenu lors des échanges entre BRLi, MOA et AMO de simuler, au droit du secteur le plus critique, 2 brèches identiques (survenant pour la même occurrence T200) mais se distinguant par le débit de pointe maximale (T200 / T500) afin d'en comparer les incidences.**

L'analyse historique du système d'endiguement n'a pas identifiée de brèche suffisamment documentée sur le système d'endiguement pour servir de base à l'établissement des scénarios de de défaillance. Afin de déterminer les caractéristiques des brèches, il a été considéré l'historique des brèches sur les systèmes d'endiguement proche et les hypothèses retenues dans les études de danger des systèmes voisins, en particulier celles de l'étude de dangers des digues en rive gauche. Dans cette dernière, des brèches de largeur 150m ont été considérées. Compte tenu : i) du fait que les charges hydrauliques sur le système en rive droite sont inférieures à celles sur le système en rive gauche (environ de moitié), ii) et du fait que, dans le cas de la rive gauche, et à l'inverse de la rive droite, un écoulement se produit à travers le val pour rejoindre la Loire en aval, les caractéristiques retenues pour la présente étude sont :

- Une largeur de brèche de 100 m,



- Une durée d'ouverture de brèche de 1 heure.

Les valeurs retenues sont identiques à celles de l'étude EGRIAN évaluant le risque d'inondation sur l'agglomération de Nevers.

Les scénarios retenus sont récapitulés dans le tableau et figurés sur la carte ci-après.

n°	intitulé du scénario	Probabilité du scénario	localisation (PK début)	longueur de la brèche (m)
1	Brèche sur la levée de Médine 1 (T=200 ans)	0.50%	4050	100
2	Brèche sur la levée de Médine 2 (T=200/500 ans)	0.20%	4050	100
3	Brèche sur le chenal de la Nièvre en rive droite (T=500 ans)	0.01%	750	100
4	Brèche sur la levée de Saint Eloi à proximité de la station de pompage (T=200 ans)	0.50%	1550	100

Tableau 41 : Tableau de synthèse des scénarios de brèches retenus

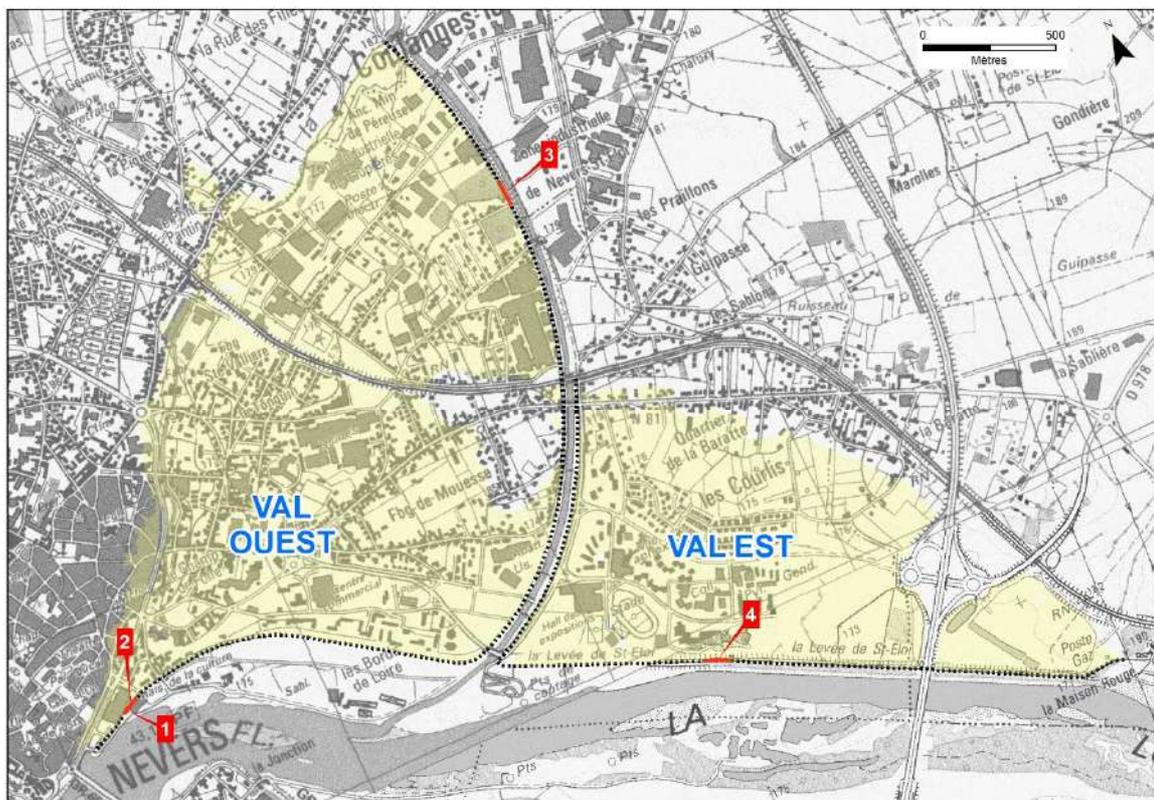




Figure 194 : Carte de localisation des scénarios retenus

### 8.1.1.1 Scénario n°1 : brèche sur la levée de Médine 1 (T= 200 ans)

Ce scénario centré sur le pk4050, peut être qualifié de « moyennement probable ».

La probabilité de rupture en amont de la levée est due à un risque de glissement ou d'érosion interne. Ces deux phénomènes s'expliquent par la géométrie de la digue. En effet le terrain naturel côté val est très bas, ce qui induit une hauteur d'ouvrage côté val importante. De plus, la largeur de la digue sur ce tronçon est faible et un bâtiment est encastré dans la levée, ce qui augmente les risques d'érosion interne.

Le scénario considère une formation de brèche pour un scénario hydrologique d'occurrence 200 ans.

### 8.1.1.2 Scénario n°2 : brèche sur la levée de Médine 2 (T=500 ans)

Ce scénario centré sur le pk4050 peut être qualifié de « peu probable ».

Il correspond au même tronçon que le scénario 1 et la probabilité de rupture est due aux mêmes phénomènes.

Le scénario considère une formation de brèche pour un scénario hydrologique d'occurrence 200 ans avec un débit de pointe atteignant T=500 ans

### 8.1.1.3 Scénario n°3 : brèche sur le chenal de la Nièvre en rive droite

180 Ce scénario centré sur le pk750 peut être qualifié d'« improbable ».

Le scénario considère un risque de rupture par érosion interne. En effet, sur ce tronçon, la digue est très large mais est traversée par un ouvrage qui met en communication le chenal et le ruisseau de l'Eperon. De plus on repère la présence de végétation ligneuse des deux côtés de la digue.

Il est judicieux d'étudier un dysfonctionnement de cette portion de digue afin d'évaluer les risques induits par une rupture en amont du val et de la voie ferrée. En effet, il s'agit d'une zone urbaine présentant de nombreux enjeux.

Le scénario considère une formation de brèche pour un scénario hydrologique d'occurrence 500 ans.

### 8.1.1.4 Scénario n°4: brèche sur la levée de Saint Eloi à proximité de la station de pompage

Ce scénario centré sur le pk1550 peut être qualifié de « moyennement probable ».

Le scénario considère un risque de rupture par érosion interne. La présence de terriers d'un diamètre supérieur à 20cm et d'un ouvrage traversant (celui de la station de pompage) explique ce risque.

Le scénario considère une formation de brèche pour un scénario hydrologique d'occurrence 200 ans.



## 8.1.2 Intensité et cinétique des scénarios

L'intensité et la cinétique des scénarios sont appréciées au moyen du modèle hydraulique 2D développé à l'aide du logiciel TELEMAC

### 8.1.2.1 Scénario n°1 : brèche sur la levée de Médine 1

#### 8.1.2.1.1 Hypothèses

La simulation correspond à une rupture en aval au niveau de la levée de Médine. La largeur de la brèche est de 100 m. La brèche est supposée s'initier à compter de l'atteinte du débit bicentennal et se forme en 1h. La charge hydraulique au moment de la rupture est de 2.1 m.

Comme le montre la Figure 195 ci-après, le débit maximal entrant dans le val est de  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le volume maximal entrant dans le val est de  $815\,000 \text{ m}^3$ . Le ressuyage débute après 105 h.

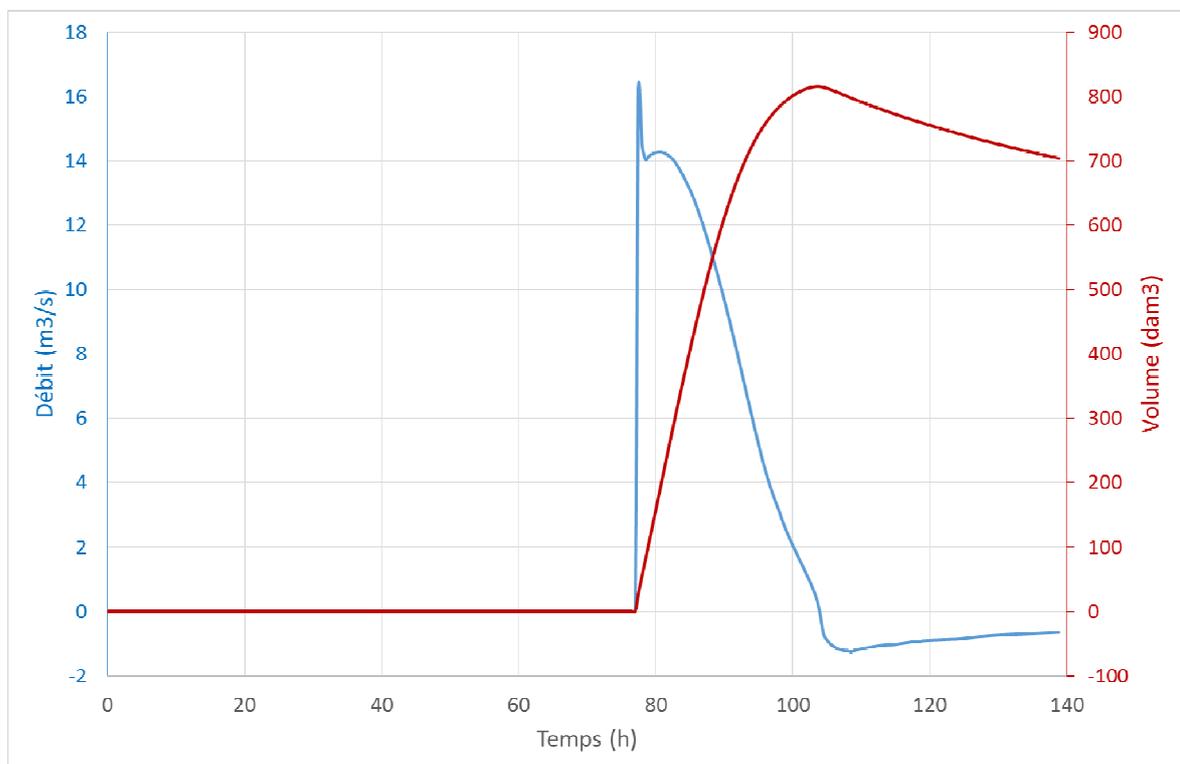




Figure 195 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 1

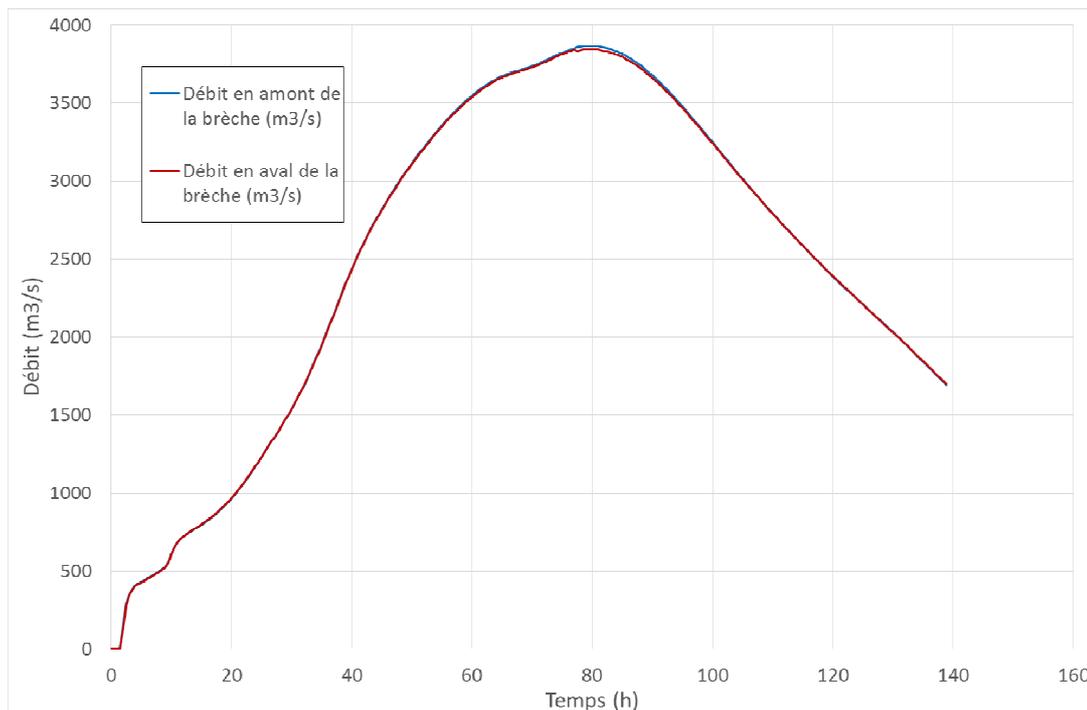


Figure 196 : Hydrogrammes en Loire en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 1

L'hydrogramme se caractérise par un premier pic très marqué où le débit maximum est atteint. Il est généré par la libération de la charge hydraulique dans un val « sec ». Le casier hydraulique en aval immédiat se remplit et noie alors l'écoulement. Le val se remplit par remous, ce remplissage est ralenti par le remblai de la voie SNCF.

182

### 8.1.2.1.2 Résultats

#### Hauteurs d'eau, vitesses maximales et aléa:

Les hauteurs d'eau maximales dans le val dépassent 2 m par endroits. Certains enjeux subissent des hauteurs d'eau supérieures à 1,5 m. la voie SNCF est franchie par remous au travers de trois ouvrages de transparence.

Les vitesses d'écoulement les plus importantes se retrouvent à l'aval immédiat de la brèche et le long des axes routiers qui entourent le faubourg de Mouesse. Elles dépassent 1 m/s. En aval du remblai SNCF, le remplissage par remous induit de faibles vitesses n'excédant pas 0,5 m/s.

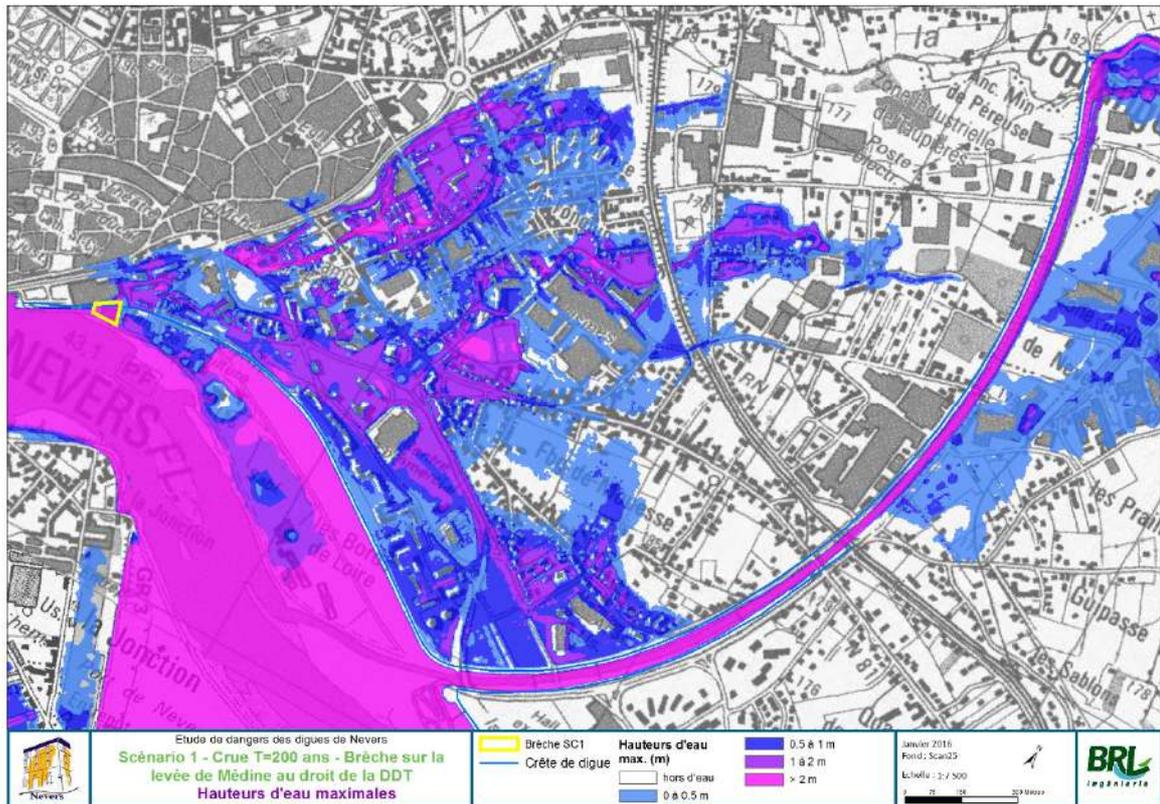


Figure 197 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 1

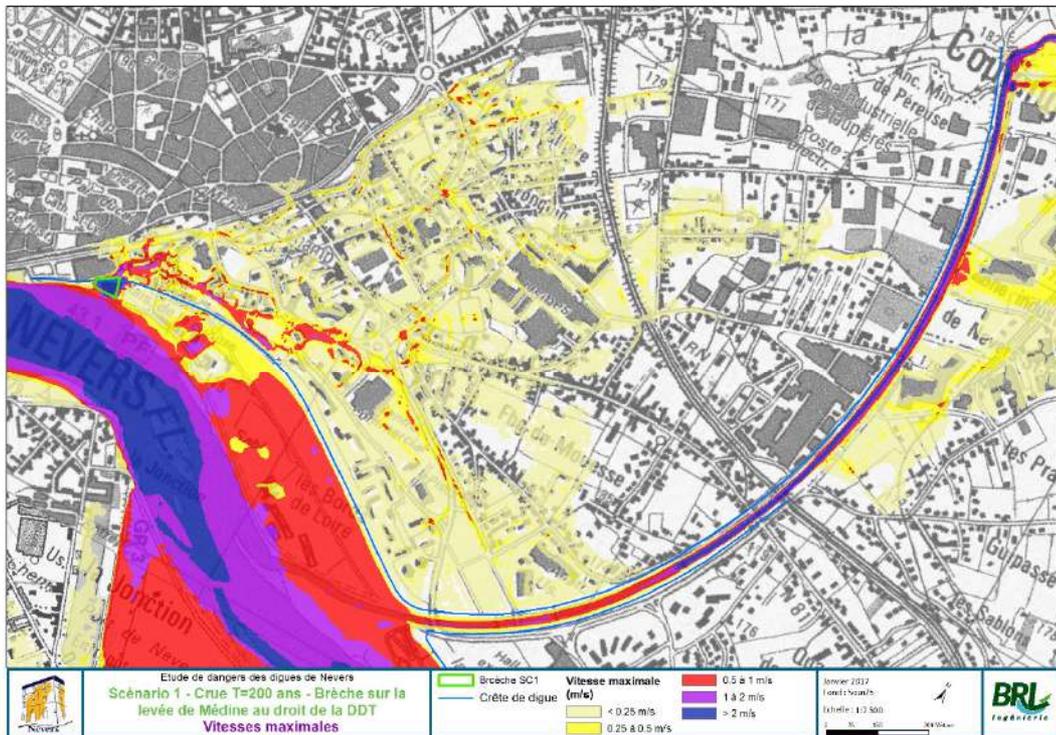


Figure 198 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 1

### Cinétique :

Le niveau augmente rapidement dans le val après le déclenchement de la brèche. Du fait du positionnement de la brèche, la maison de la Culture est atteinte dès le début de l'ouverture. L'onde de rupture atteint le faubourg de Mouesse environ 2h à 5h après la rupture. Enfin, il faut entre 10 et 20h pour que l'eau atteigne la voie SNCF.

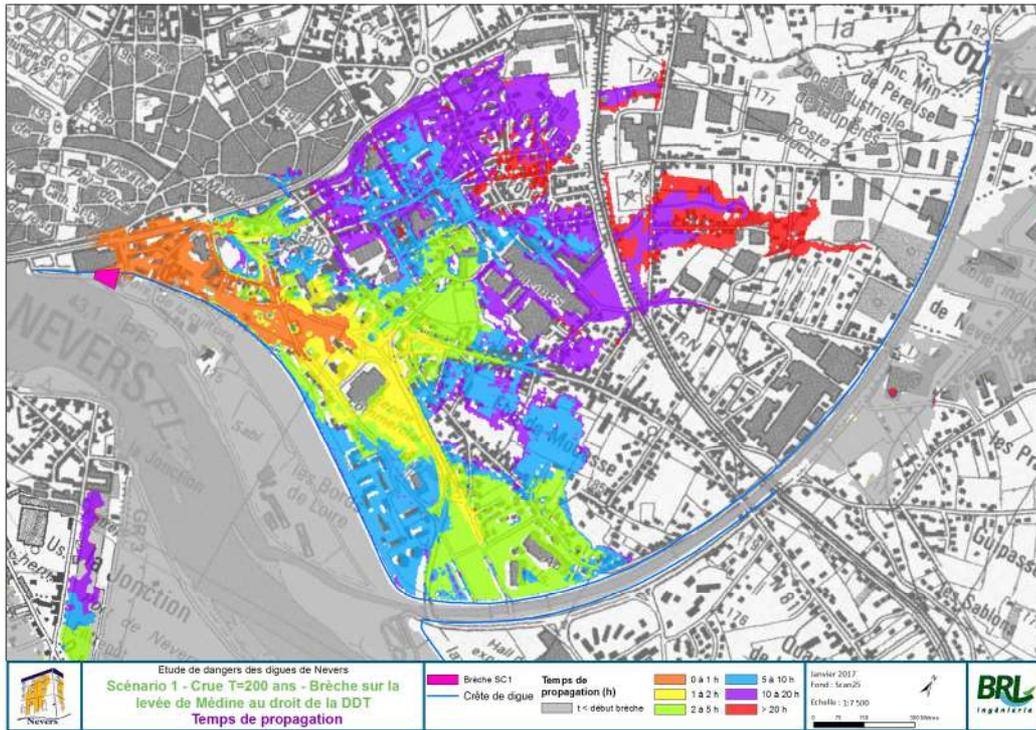


Figure 199 : Carte des temps de propagation – Scénario 1

### 8.1.2.2 Scénario n°2: brèche sur la levée de Médine 2 (T=500 ans)

184

#### 8.1.2.2.1 Hypothèses

La simulation correspond à une rupture en aval au niveau de la levée de Médine. La largeur de la brèche est de 100 m. La brèche est supposée s'initier à compter de l'atteinte du débit bicentennal et se forme en 1h. La charge hydraulique au moment de la rupture est de 2,1 m. La charge hydraulique maximale est de 2.6m.

Comme le montre la Figure 200 ci-après, le débit maximal entrant dans le val est de 34 m<sup>3</sup>/s. Le volume entrant dans le val est de 2.4 hm<sup>3</sup>. Le ressuyage débute après 85 h.

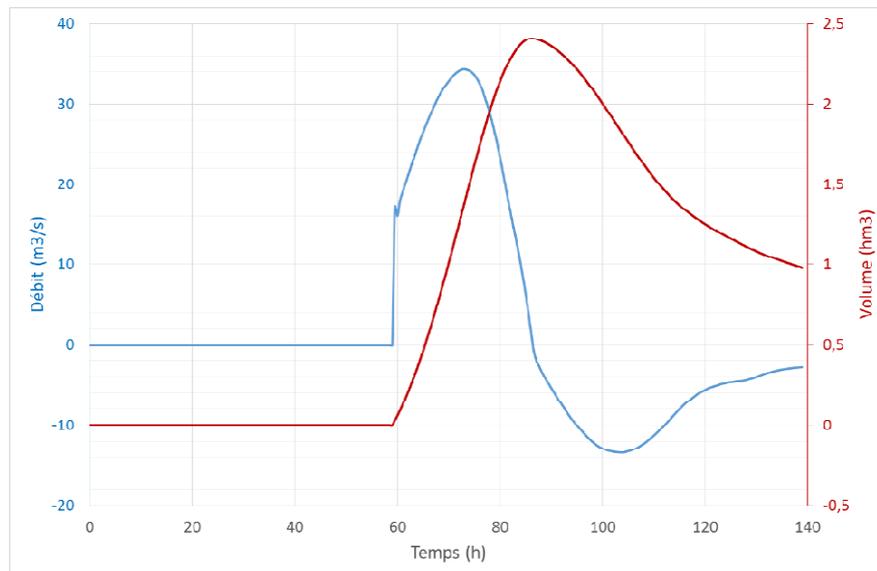




Figure 200 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 2

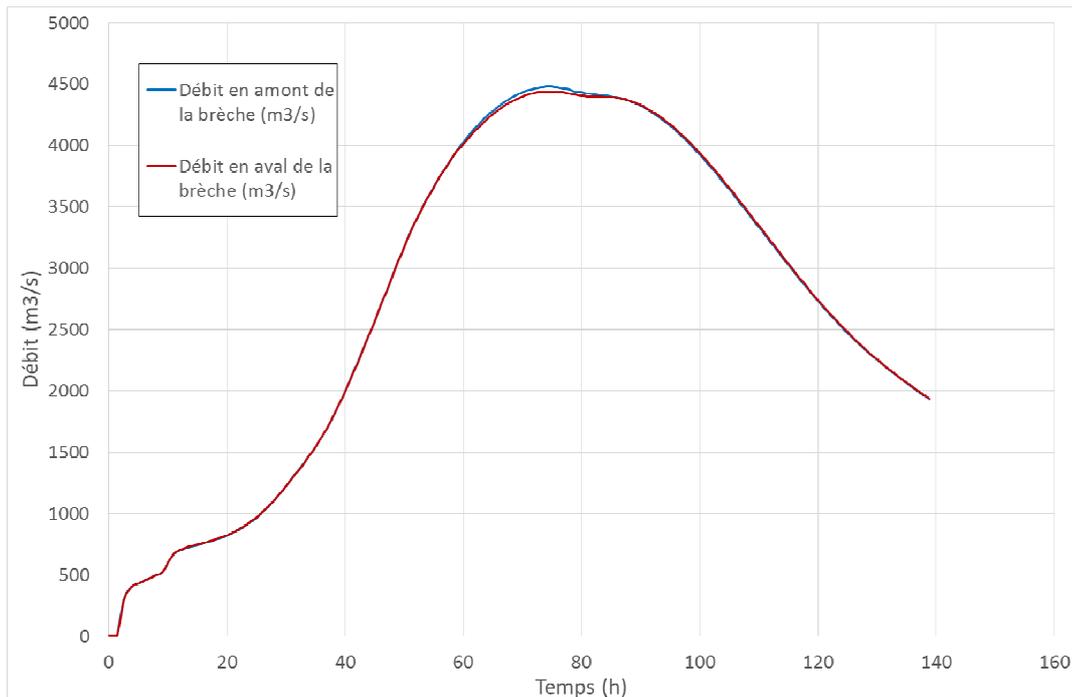


Figure 201 : Hydrogrammes en Loire en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 2

L'hydrogramme se caractérise par un premier pic. Il est généré par la libération de la charge hydraulique dans un val « sec ». Le débit maximal est atteint par la suite autour de 75h. Le val se remplit par remous, ce remplissage est ralenti par le remblai de la voie SNCF.

185

### 8.1.2.2.2 Résultats

#### **Hauteurs d'eau, vitesses maximales et aléa:**

Une grande partie du val connaît des hauteurs d'eau maximales supérieures à 2m. C'est notamment le cas autour du centre commercial et sur le faubourg Sainte-Valière. Le faubourg de Mouesse est lui soumis à des hauteurs d'eau comprises entre 1 et 2 m. Enfin, la zone située au Nord de la voie SNCF est également atteinte et des hauteurs supérieures à 2 m s'y établissent par endroits.

Les vitesses d'écoulement les plus importantes se retrouvent à l'aval immédiat de la brèche et le long des axes routiers qui entourent le faubourg de Mouesse où elles dépassent 1 m/s. Des axes d'écoulements secondaires (routes, fossés pluviaux) sont identifiables, les vitesses y dépassent localement 0,5 m/s.

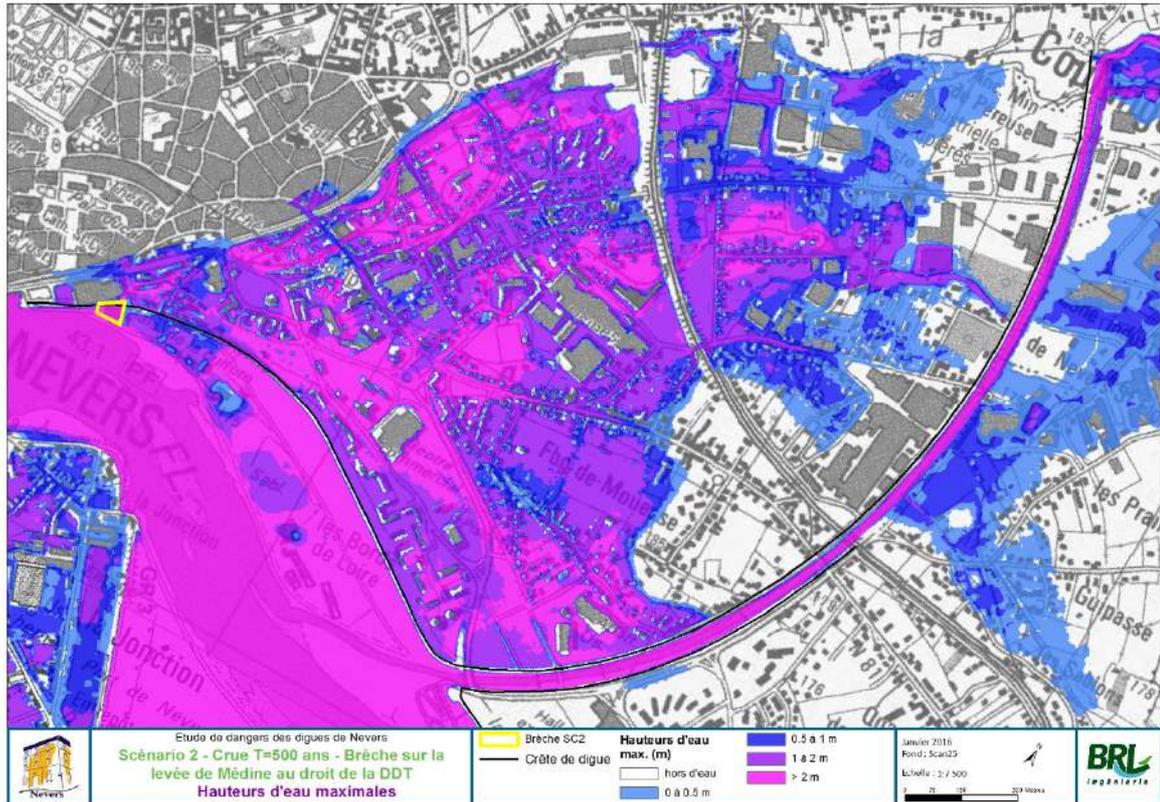


Figure 202 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 2

186

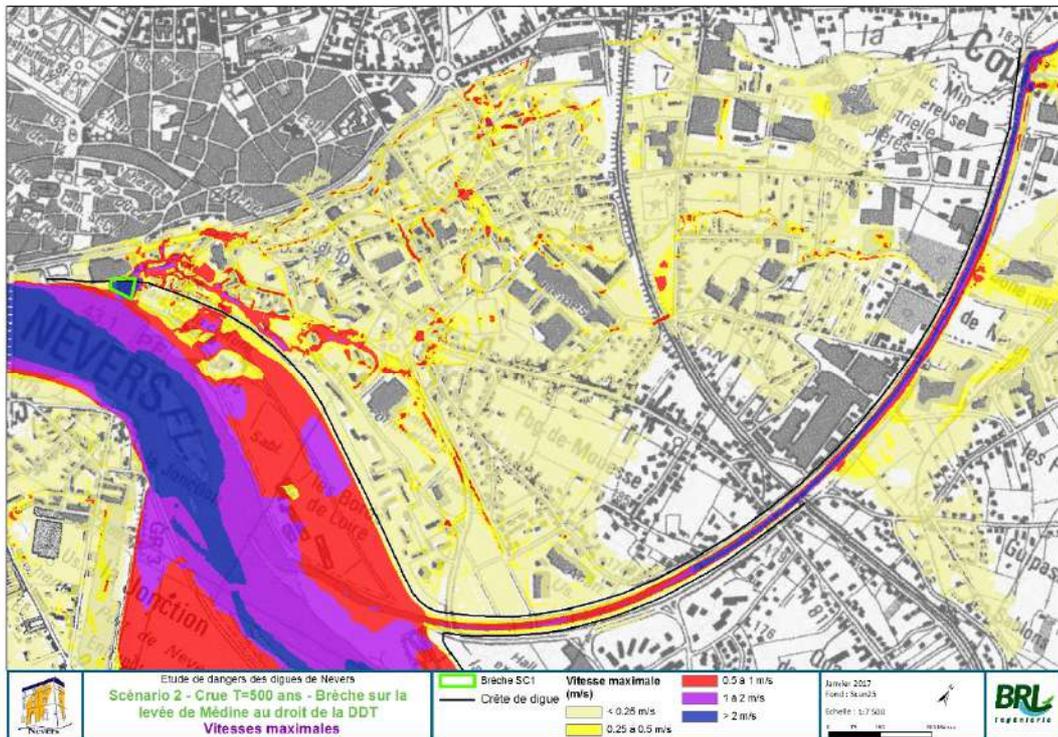


Figure 203 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 2

**Cinétique :**

Une heure après la rupture, l'onde de propagation atteint le centre commercial. Le faubourg de Mouesse est atteint entre 1h à 2h après la rupture de la brèche. Les quartiers situés au Nord de la voie SNCF sont eux atteints après 10 heures et la zone industrielle de Taupières après 20 heures environ.

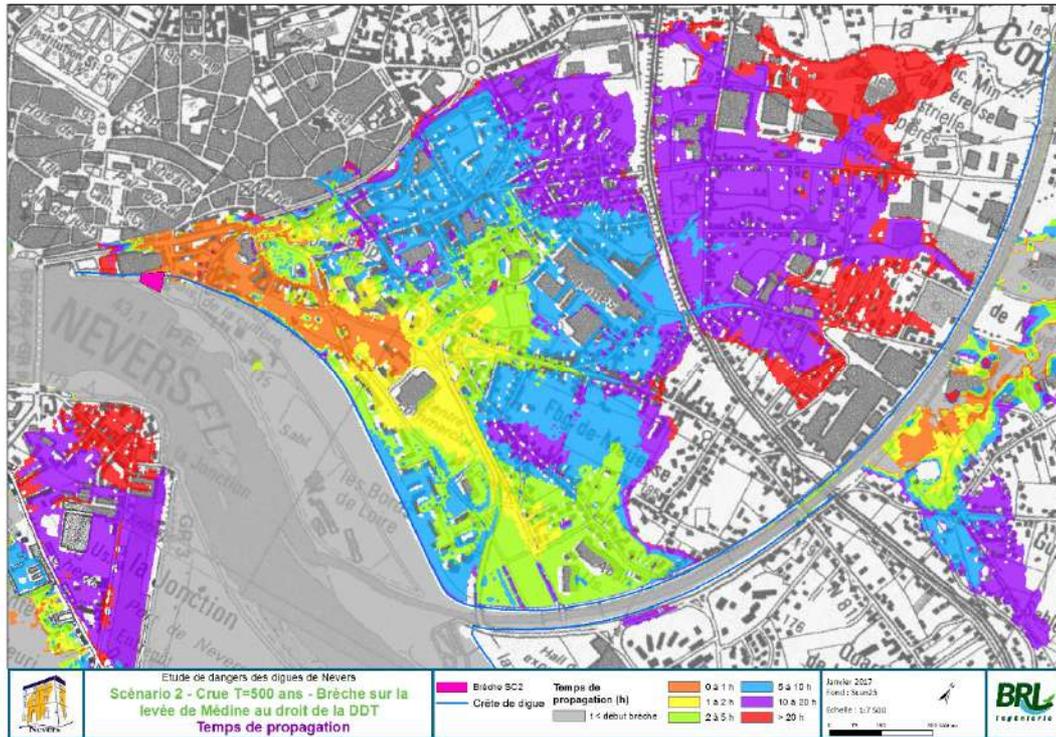


Figure 204 : Carte des temps de propagation – Scénario 2

### 8.1.2.3 Scénario n°3 : brèche sur le chenal de la Nièvre en rive droite

#### 8.1.2.3.1 Hypothèses

La simulation correspond à une rupture de la digue en rive droite du chenal de la Nièvre pour une crue d'occurrence 500 ans. La brèche a une longueur de 100m et s'ouvre en 1 heure au Nord du val Ouest. La charge hydraulique au moment de la rupture est de 0,8 m.

Comme le montre la Figure 205 ci-après, le débit maximal entrant dans le val est de 58 m<sup>3</sup>/s. Le volume entrant dans le val est de 3,6 hm<sup>3</sup>.

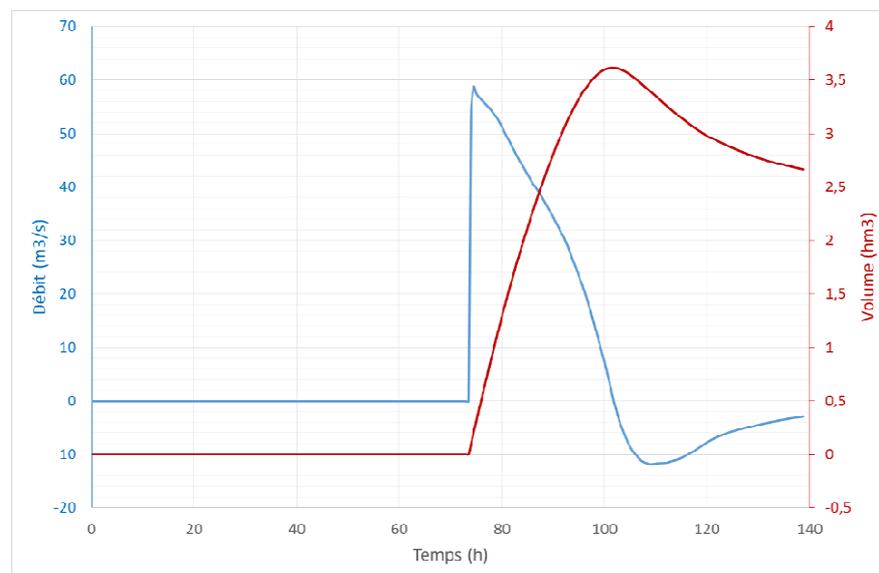




Figure 205 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 3

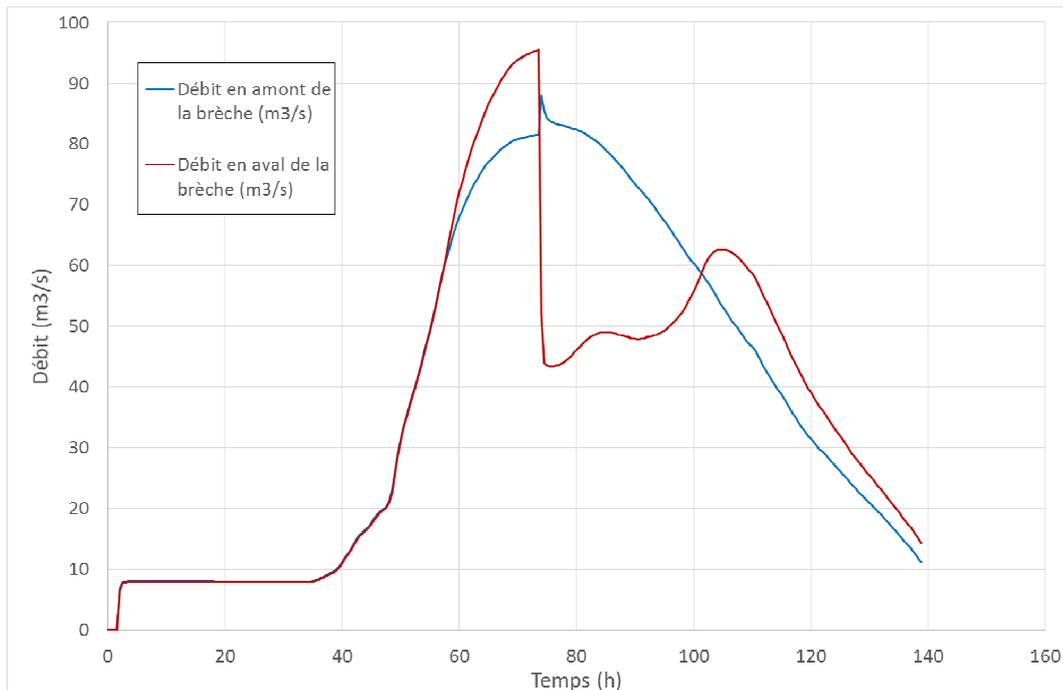


Figure 206 : Hydrogrammes dans le chenal de la Nièvre en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 3

La forme de l'hydrogramme traduit le fonctionnement hydraulique du val : le pic marqué est généré par la forte charge hydraulique au moment de la rupture. Le débit diminue ensuite rapidement à mesure que le casier amont se remplit. On constate un ressuyage de la zone environ 30h après la rupture de la brèche.

188

### 8.1.2.3.2 Résultats

#### Hauteurs d'eau maximales et zone inondée :

Une grande partie du val connaît des hauteurs d'eau maximales supérieures à 2m. Le Sud du val est touché par des hauteurs d'eau notables. Les écoulements issus de la brèche traversent la voie SNCF au travers des trois ouvrages de restitution puis viennent buter sur la digue rive droite de la Loire. Le faubourg de Sainte-Valière notamment connaît des hauteurs d'eau supérieures à 2 m.

Les vitesses d'écoulement les plus importantes se retrouvent au Nord de la zone, à l'aval de la brèche. Un axe d'écoulement principal est visible, il suit le chenal pluvial avant de traverser la voie SNCF. Au Sud de la zone, les vitesses sont globalement plus faibles mais excèdent 0,5 m/s par endroits, notamment le long des axes routiers.

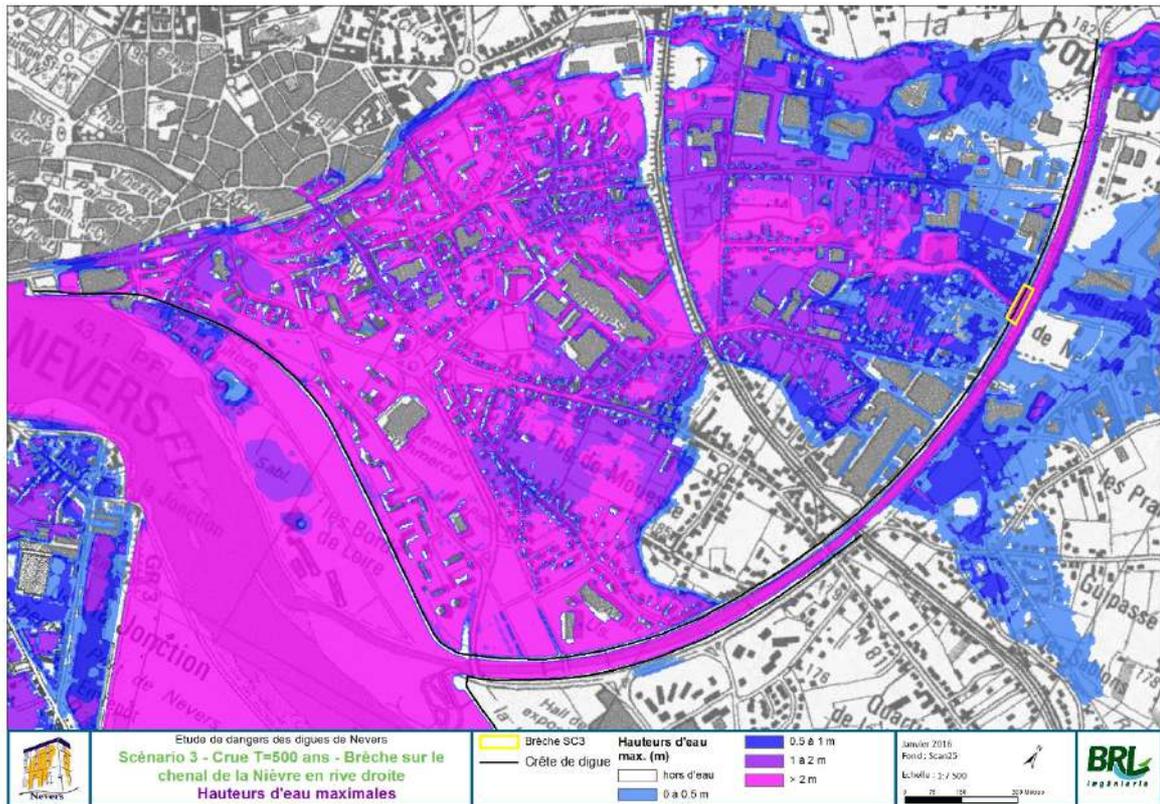




Figure 207 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 3

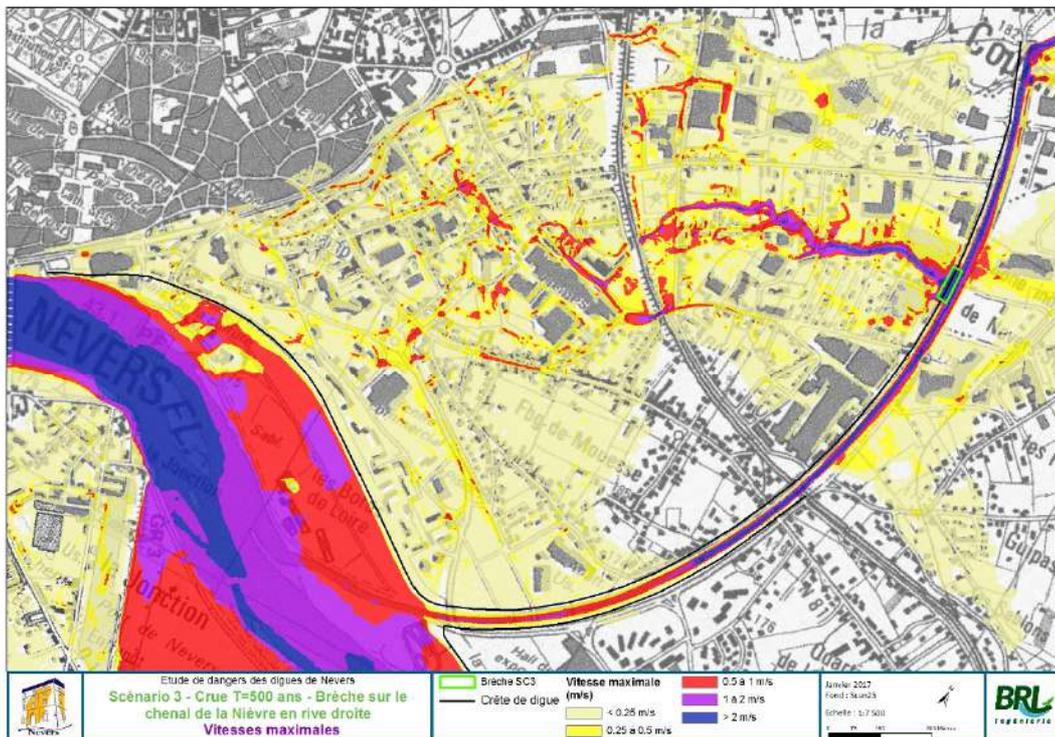


Figure 208 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 3

### Cinétique :

- 190 Une heure après la rupture, l'onde de propagation atteint la voie ferrée. Elle est alors ralentie par le remblai. L'écoulement traverse les ouvrages de restitution et atteint le faubourg de Sainte-Valière après plus de 2 heures. La digue de la Loire est, elle, atteinte environ 5 heures après la rupture.

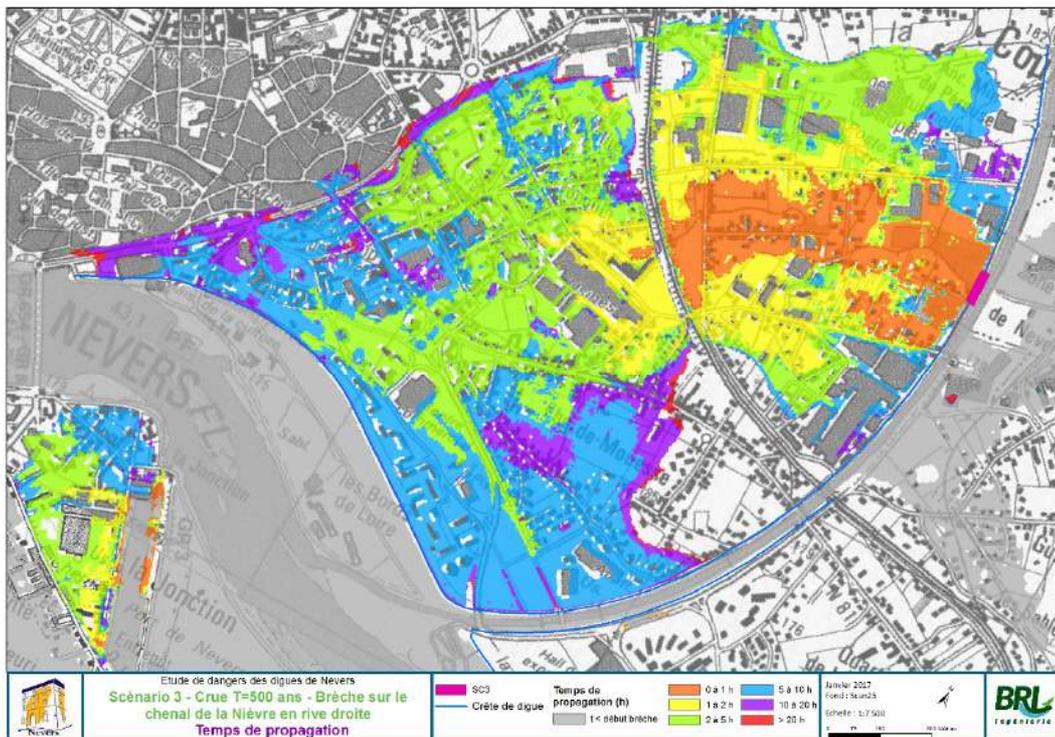




Figure 209 : Carte des temps de propagation – Scénario 3

### 8.1.2.4 Scénario n°4 : brèche sur la levée de Saint Eloi à proximité de la station de pompage

#### 8.1.2.4.1 Hypothèses

La simulation correspond à une rupture de la digue en rive droite de la Loire pour une crue d'occurrence 200 ans. La brèche, située à proximité de la station de pompage de la levée de Saint-Eloi, a une longueur de 100m et s'ouvre en 1 heure. La charge hydraulique au moment de la rupture est de 0,8 m.

Comme le montre la Figure 205 ci-après, le débit maximal entrant dans le val est de 140 m<sup>3</sup>/s. Le volume entrant dans le val est de 1,8 hm<sup>3</sup>.

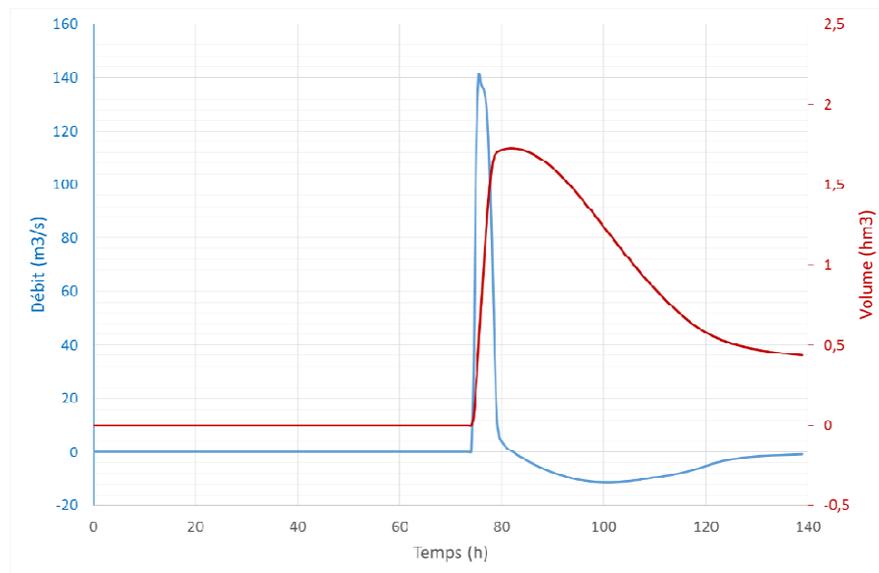


Figure 210 : Hydrogramme et volume transitant par la brèche – Scénario 4

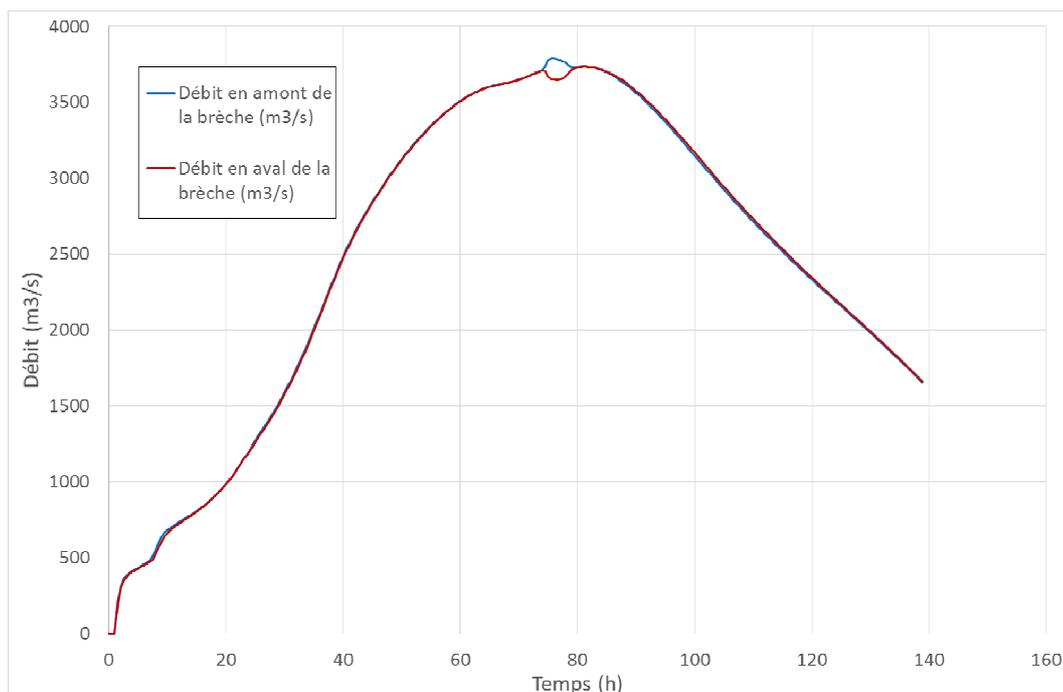




Figure 211 : Hydrogrammes en Loire en aval et amont immédiat de la brèche – Scénario 4

La forme de l'hydrogramme traduit le fonctionnement hydraulique du val : le pic marqué est généré par la forte charge hydraulique au moment de la rupture. Le débit diminue ensuite rapidement à mesure que le casier amont se remplit. L'onde de rupture se propage rapidement et la brèche reflue environ 8 h après la rupture.

#### 8.1.2.4.2 Résultats

##### Hauteurs d'eau maximales et zone inondée :

Des hauteurs d'eau supérieures à 2 m sont atteintes dans le val Est. De nombreux enjeux sont touchés. C'est le cas du hall des expositions, du stade, du collège et de la gendarmerie sur lesquels les hauteurs d'eau sont comprises entre 1 et 2m. Au Nord du lieu-dit des Courlis, le terrain remonte et les hauteurs d'eau maximales diminuent. La RN81 n'est pas atteinte par l'onde de rupture.

Les vitesses d'écoulement les plus importantes se retrouvent à l'aval immédiat de la rupture et le long de la levée de Saint Eloi où elles dépassent globalement 1 m/s. D'autres axes d'écoulement sont identifiables et des vitesses supérieures à 0,5 m/s sont localement relevées au lieu-dit des Courlis et autour du collège.

192

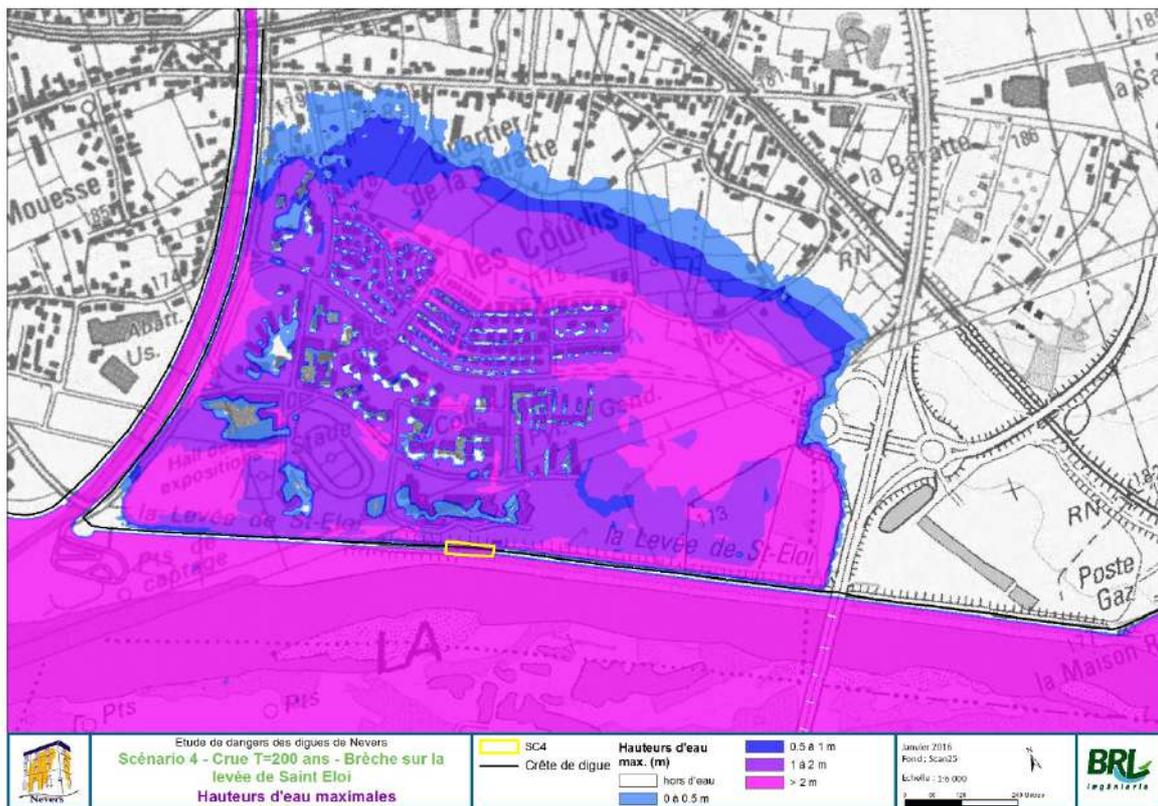




Figure 212 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 4

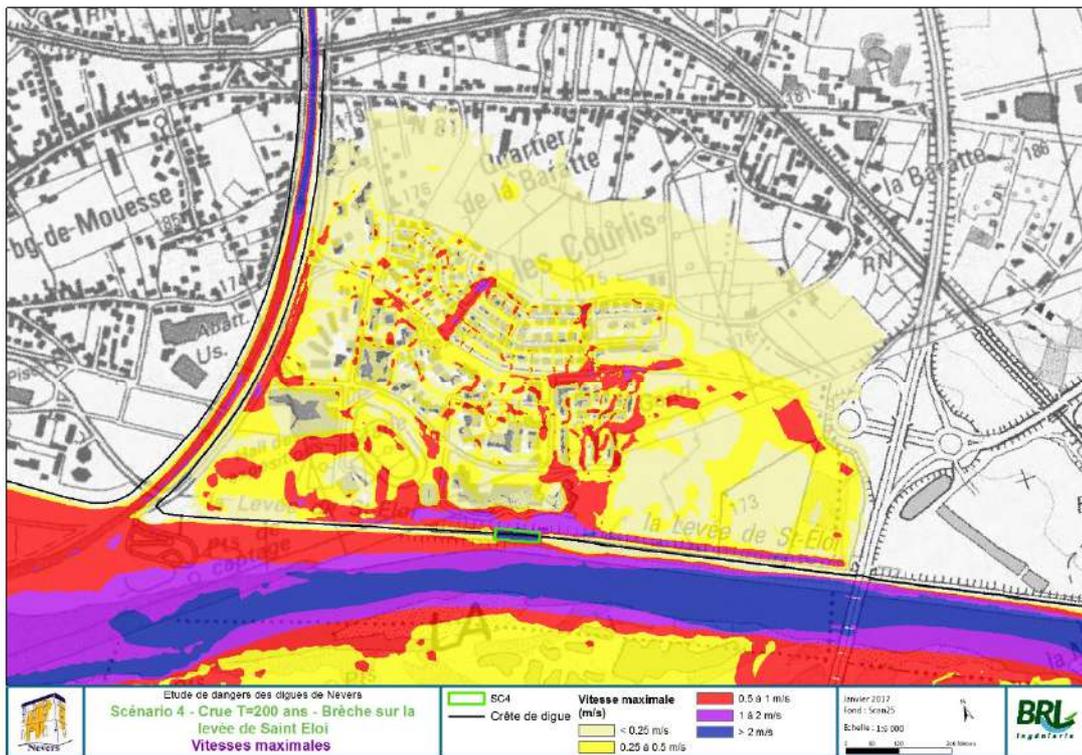


Figure 213 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 4

**Cinétique :**

Une heure après la rupture, le collège, le hall des expositions et la gendarmerie sont atteints. Le lieu-dit des Courtils est lui atteint en moins de 2 h.

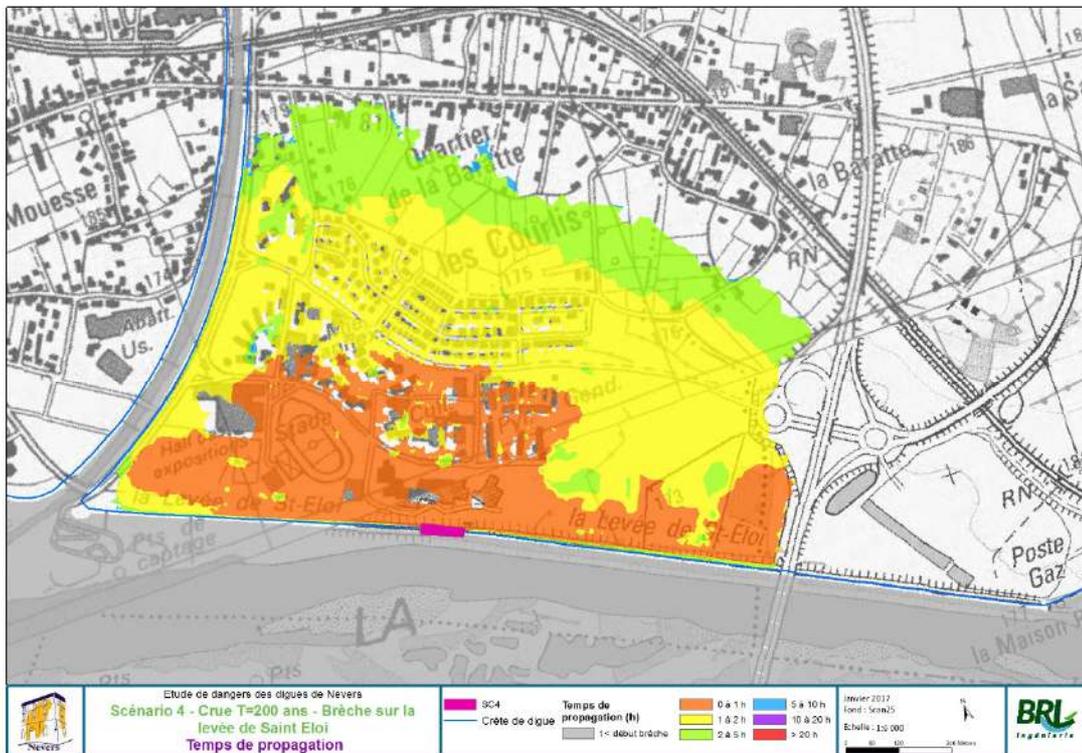




Figure 214 : Carte des temps de propagation – Scénario 4

### 1.1.1.1 Zone théorique de destruction du bâti

Les études historiques menées sur la Loire ont montré qu'en cas de brèche, la longueur de l'affouillement en arrière de la levée (fosse d'érosion) avait pour ordre de grandeur cent fois la hauteur d'eau au moment de la rupture.

Aussi, en complément aux zones d'aléa déterminées précédemment pour les différents scénarios de brèches, une zone théorique de destruction du bâti en arrière des levées est définie en considérant que l'effet de destruction du bâti lié à la dissipation de l'énergie derrière une brèche potentielle s'étend à une distance, mesurée à partir du pied de digue, **égale à cent fois la différence entre le niveau de protection apparent et le niveau du terrain naturel dans le val. Soit, Q1400 pour le val Ouest et Q650 pour le val Est.**

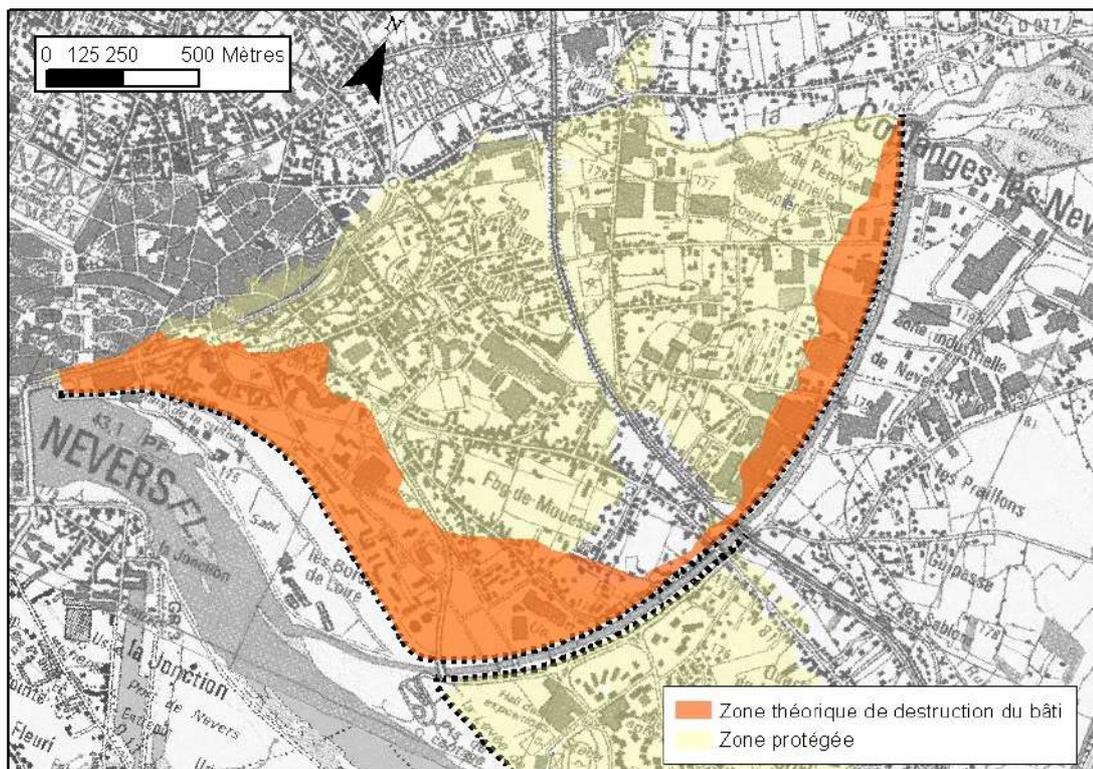




Figure 215 : zone théorique de destruction du bâti (Val Ouest)

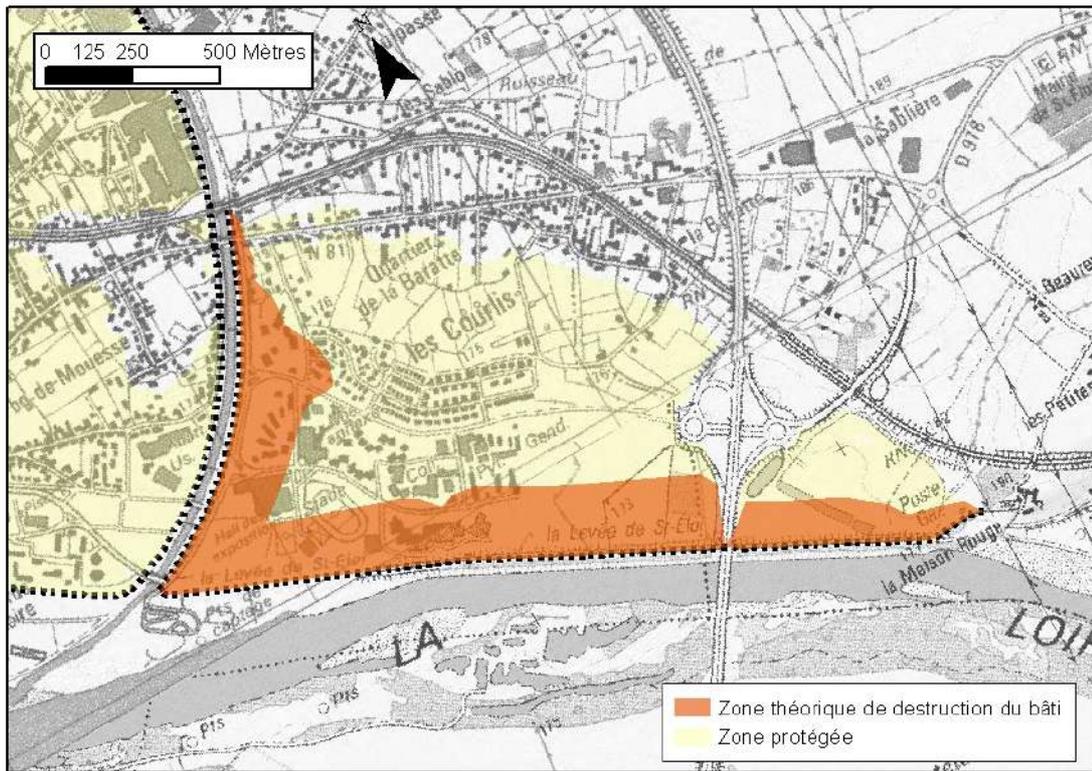


Figure 216 : zone théorique de destruction du bâti (Val Est)

### 8.1.3 Gravité des scénarios

La caractérisation de l'aléa d'inondation se base sur un croisement des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement maximales. Ces variables sont obtenues directement par exploitation des résultats du modèle bidimensionnel.

hauteur d'eau	supérieure à 2 m	4. Très fort			5. zone de destruction du bâti
	entre 1 et 2 m	3. Fort			
	entre 50 cm et 1 m		3. Fort		
	entre 0 et 50 cm	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	
		entre 0 et 0,25 m/s	entre 0,25 et 0,5 m/s	supérieure à 0,5 m/s	aval immédiat brèche
		vitesse d'écoulement			

Tableau 42 (rappel) : Grille de définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses

La mise en application – de manière synchrone, c'est-à-dire en croisant les hauteurs et vitesses aux mêmes instants – de cette grille de classes d'aléa permet d'obtenir les cartes d'aléa pour les différents scénarios d'inondation étudiés.

Comme indiqué précédemment, la gravité des scénarios est évaluée au travers du dénombrement des personnes exposées et de celles considérées comme étant « en danger » du fait des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement auxquelles elles seraient exposées.



Gravité du scénario d'inondation	Nombre de personnes en danger en moins de 30 minutes	Nombre de personnes en danger sur la durée totale de submersion
5. Désastreux	Supérieur à 1 000	Supérieur à 10 000
4. Catastrophique	Entre 100 et 1 000	Entre 1 000 et 10 000
3. Important	Entre 10 et 100	Entre 100 et 1 000
2. Sérieux	Inférieur à 10 personnes	Entre 10 et 100
1. Modéré		Inférieur à 10 personnes

Tableau 43 : Rappel - Classes de gravité des scénarios d'inondation

### 8.1.3.1 Scénario n°1 : brèche sur la levée de Médine 1 (T=200 ans)

- Débit maximal de la brèche : 16 m<sup>3</sup>/s
- Volume entrant dans le val : 815 000 m<sup>3</sup>.

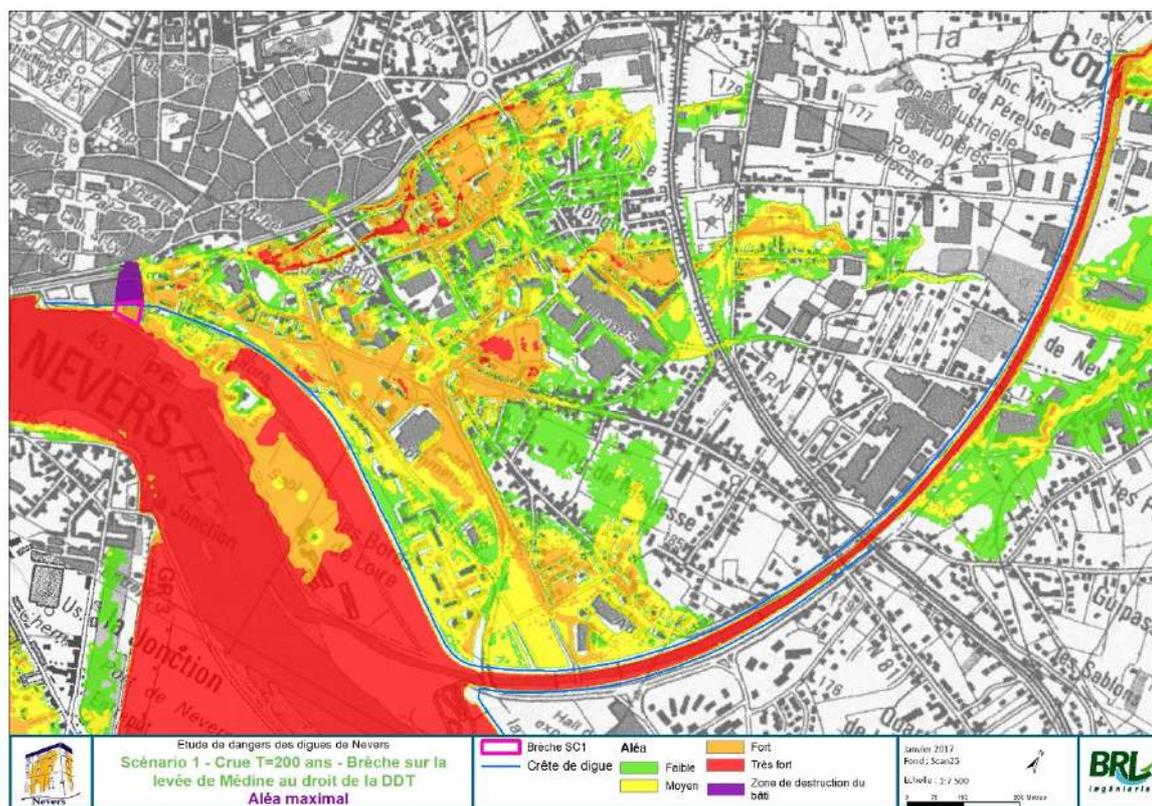


Figure 217 : Carte des aléas – Scénario 1

L'aléa est la combinaison des hauteurs et vitesses maximales dans le val (voir 7.1.3). Il est très fort à l'aval de la brèche et dans certains secteurs ponctuels. Le reste du val est lui soumis à un aléa moyen à fort.



Tableau 44 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 1

intensité de l'aléa d'inondation	nombre d'habitants plain-pied	nombre d'habitants 1 étage	nombre d'habitants 2 étages et plus	nombre de personnes en danger
1. Faible	306	99	244	0
2. Moyen	293	141	1691	25
3. Fort	249	244	395	91
4. Très fort	14	73	7	33
5. Zone de destruction du bâti	8		8	
<b>Total tous aléas</b>	871	557	2338	155*

**\* dont plus de 10 personnes en danger en moins de 30 minutes**

Compte tenu de la localisation de la brèche, en zone urbaine, les décomptes réalisés mettent en évidence que plus de 10 personnes peuvent être considérées en danger dans les 30 premières minutes qui suivent l'apparition de la brèche. 8 personnes se situent notamment dans la zone de destruction du bâti.

De plus, les enjeux sensibles impactés par le scénario sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 45 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 1

Type d'enjeux	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	4. Très fort	Total tous aléas
Entreprise > 10 salariés	12	7	15	4	38
ICPE autorisation		1			1
ICPE déclaration		2		1	3
Crèche			1		1
DDT				1	1
DDCSPP		1			1
ERDF et GRDF			1		1
Mairie			1		1
Ecole			2		2
Transformateur électrique					
Maison de la culture			1		1
Immeuble			1	1	2

**Compte tenu de ces éléments, le niveau de gravité de ce scénario de rupture peut être qualifié de « important ».**



### 8.1.3.2 Scénario n°2 : brèche sur la levée de Médine 2

- Débit maximal de la brèche : 34 m<sup>3</sup>/s
- Volume entrant dans le val : 2.4 hm<sup>3</sup>.

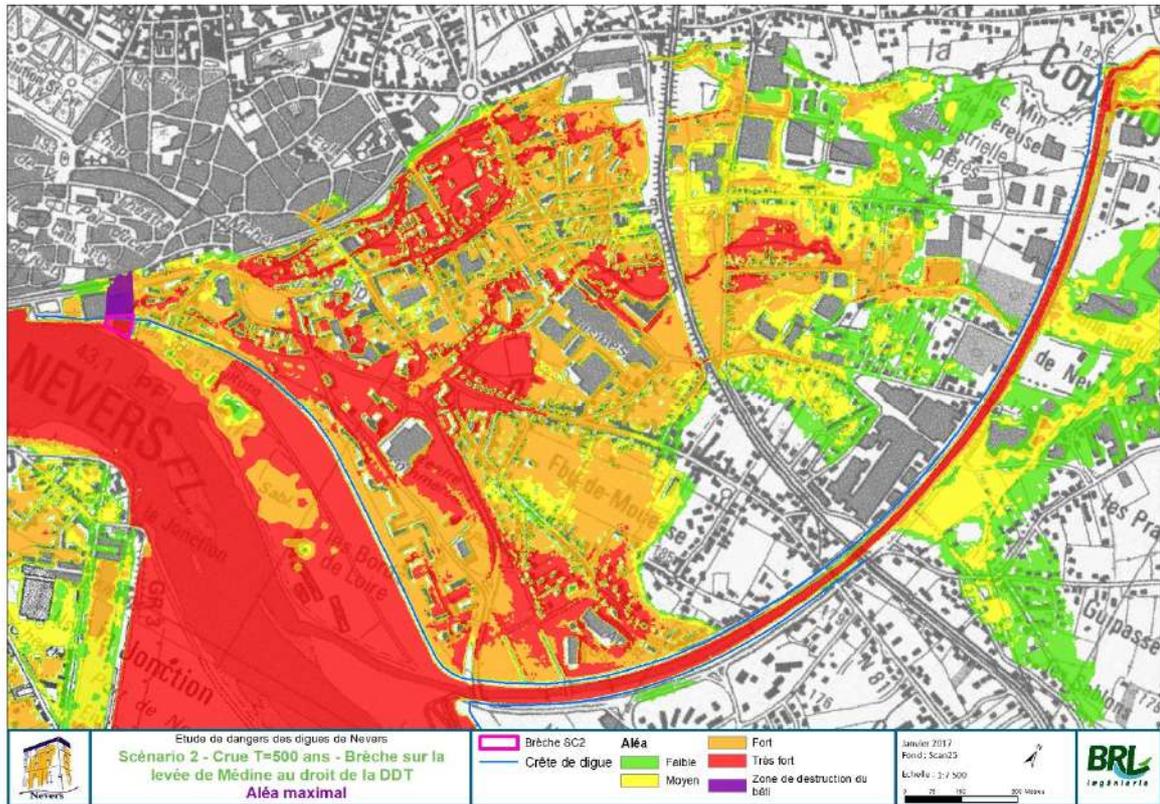


Figure 218 : Carte des aléas – Scénario 2

L'aléa est d'une manière général fort à très fort. On distingue une disparité entre la zone située au nord de la voie SNCF (aléa moyen à fort) et celle située au Sud (aléa fort à très fort, du fait principalement des fortes hauteurs d'eau.).

On note de plus une zone de destruction de bâti à l'aval immédiat de la brèche sur la zone proche de la Maison de la Culture.

Tableau 46 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 2

intensité de l'aléa d'inondation	nombre d'habitants plain-pied	nombre d'habitants 1 étage	nombre d'habitants 2 étages et plus	nombre de personnes en danger
1. Faible	146	25	37	0
2. Moyen	246	34	232	14
3. Fort	603	211	1053	202
4. Très fort	395	368	1202	507
5. Zone de destruction du bâti		8	8	
<b>Total tous aléas</b>	<b>1398</b>	<b>637</b>	<b>2523</b>	<b>730*</b>

**\* dont plus de 10 personnes en danger en moins de 30 minutes**





Compte tenu de la localisation de la brèche, en zone urbaine, les décomptes réalisés mettent en évidence que plus de 10 personnes peuvent être considérées en danger dans les 30 premières minutes qui suivent l'apparition de la brèche. 8 personnes se situent notamment dans la zone de destruction du bâti.

De plus, les enjeux sensibles impactés par le scénario sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 47 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 2

Type d'enjeux	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	4. Très fort	Total tous aléas
Entreprise > 10 salariés	3	8	23	17	51
ICPE autorisation	1		1		2
ICPE déclaration		1	1	2	4
Crèche				1	1
DDT				1	1
DDCSPP			1		1
ERDF et GRDF				1	1
Mairie			1		1
Ecole				2	2
Transformateur électrique		1			1
Maison de la culture				1	1
Immeuble				2	2

200

Compte tenu de ces éléments, le niveau de gravité de ce scénario de rupture peut être qualifié de « important ».

### 8.1.3.3 Scénario n°3 : brèche sur le chenal de la Nièvre en rive droite

- Débit maximal de la brèche : 58 m<sup>3</sup>/s
- Volume entrant dans le val : 3,6 hm<sup>3</sup>.

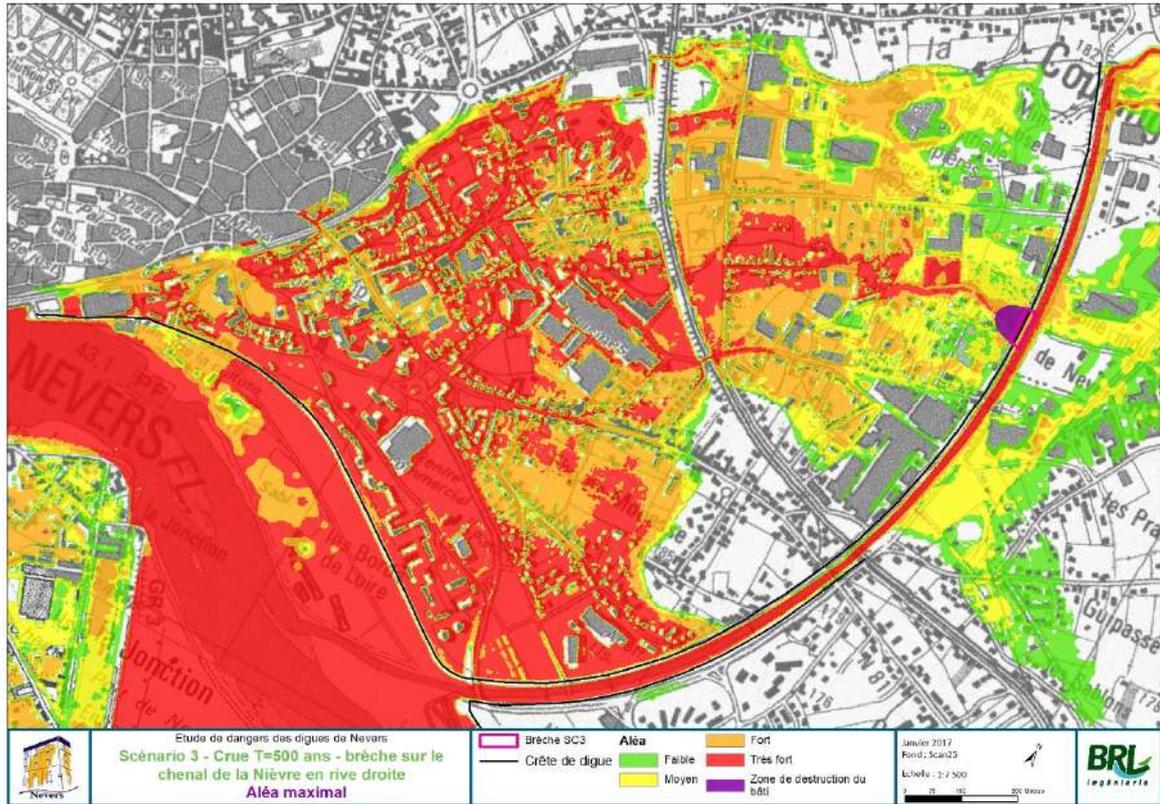


Figure 219 : Carte des aléas – Scénario 3

L'aléa est d'une manière général fort à très fort. On distingue également une légère disparité entre la zone située au nord de la voie SNCF (aléa majoritairement fort) et celle située au Sud (aléa majoritairement très fort, du fait principalement des fortes hauteurs d'eau.).



Tableau 48 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 3

intensité de l'aléa d'inondation	nombre d'habitants plain-pied	nombre d'habitants 1 étage	nombre d'habitants 2 étages et plus	nombre de personnes en danger
1. Faible	35	24	20	0
2. Moyen	148	19	30	8
3. Fort	560	114	352	177
4. Très fort	716	503	2144	867
5. Zone de destruction du bâti	4		4	
<b>Total tous aléas</b>	1464	659	2546	1056*

**\* dont plus de 10 personnes en danger en moins de 30 minutes**

Compte tenu de la localisation de la brèche, en zone urbaine et avec une topographie favorable à une propagation rapide, les décomptes réalisés mettent en évidence que plus de 10 personnes peuvent être considérées en danger dans les 30 premières minutes qui suivent l'apparition de la brèche.

De plus, les enjeux sensibles impactés par le scénario sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 49 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 3

Type d'enjeux	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	4. Très fort	Total tous aléas
Entreprise > 10 salariés	3	2	17	32	54
ICPE autorisation	1	1		1	3
ICPE déclaration		1	1	3	5
Crèche				1	1
DDT				1	1
DDCSPP			1		1
ERDF et GRDF				1	1
Mairie				1	1
Ecole				2	2
Transformateur électrique			1		1
Maison de la culture				1	1
Immeuble				2	2

Compte tenu de ces éléments, le niveau de gravité de ce scénario de rupture peut être qualifié de « catastrophique ».



Scénario n°4 : brèche sur la levée de Saint Eloi à proximité de la station de pompage

- Débit maximal de la brèche : 140 m<sup>3</sup>/s
- Volume maximal dans le val : 1,8 hm<sup>3</sup>.

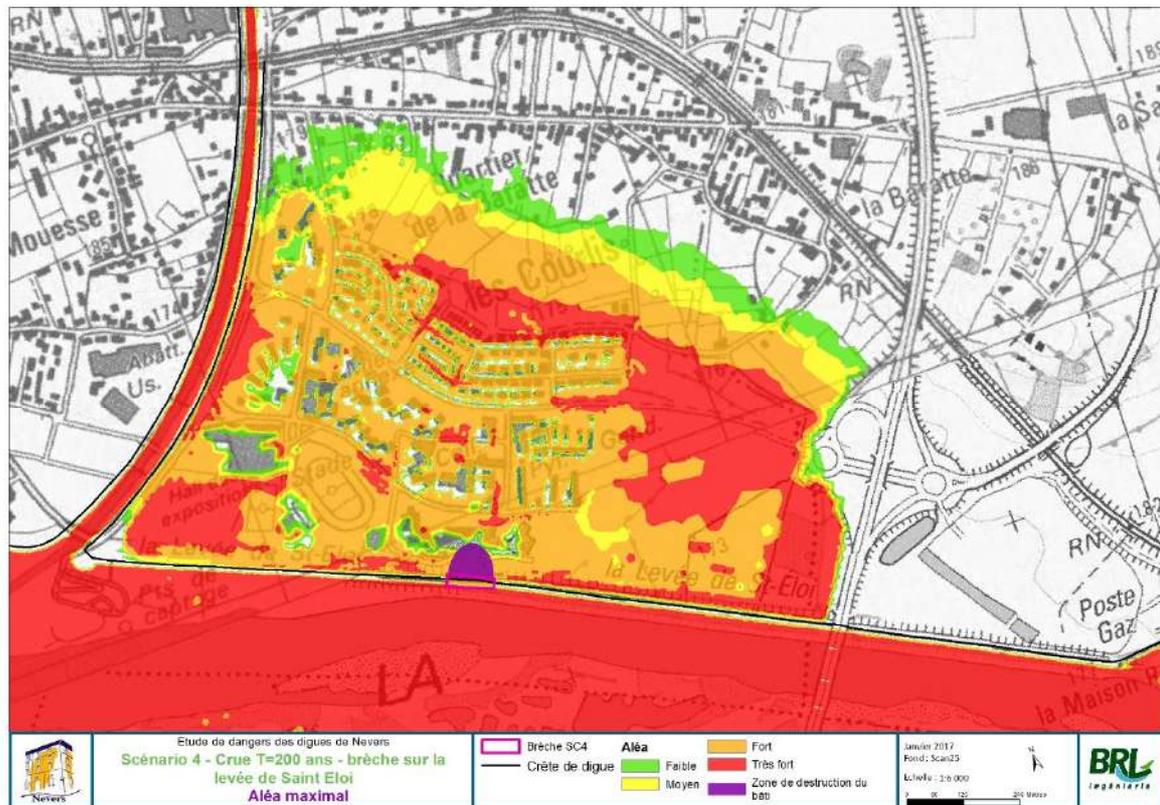


Figure 220 : Carte des aléas – Scénario 4

En ce qui concerne l'aléa, il est globalement fort à très fort.

Tableau 50 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 4

intensité de l'aléa d'inondation	nombre d'habitants plain-pied	nombre d'habitants 1 étage	nombre d'habitants 2 étages et plus	nombre de personnes en danger
1. Faible	70	0	0	0
2. Moyen	30	0	168	2
3. Fort	558	101	1534	188
4. Très fort	6	0	72	11
5. Zone de destruction du bâti		11	10	
<b>Total tous aléas</b>	<b>676</b>	<b>102</b>	<b>1774</b>	<b>212</b>

**\* dont plus de 10 personnes en danger en moins de 30 minutes**

Compte tenu de la localisation de la brèche, en zone urbaine, les décomptes réalisés mettent en évidence que plus de 10 personnes peuvent être considérées en danger dans les 30 premières minutes qui suivent l'apparition de la brèche. 10 personnes se situent notamment dans la zone de destruction du bâti.



De plus, les enjeux sensibles impactés par le scénario sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 51 : Nombres d'enjeux sensibles impactés – Scénario 4

Type d'enjeux	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	4. Très fort	Total tous aléas
Entreprise > 10 salariés	0	0	3	1	4
ICPE autorisation					
ICPE déclaration					
Crèche			3		3
Gendarmerie / commissariat			1		1
Mairie			1		1
Maison de retraite			1		1
Ecole			3		3
Hôpital			1		1

Compte tenu de ces éléments, le niveau de gravité de ce scénario de rupture peut être qualifié de « important ».

#### 8.1.3.4 Synthèse des niveaux de gravité

204

n°	intitulé du scénario	population exposée	population en danger	enjeux sensibles exposés	enjeux sensibles en danger	niveau de gravité
1	<b>brèche sur la levée de Médine 1</b>	3765	155	14	4	3. Important
2	<b>brèche sur la levée de Médine 2</b>	4558	730	17	8	3. Important
3	<b>brèche sur le chenal de la Nièvre en rive droite</b>	4669	1056	19	10	4. Catastrophique
4	<b>brèche sur la levée de Saint Eloi à proximité de la station de pompage</b>	2552	212	10	3	3. Important

Tableau 52 : Synthèse des niveaux de gravité des différents scénarios



### 8.1.4 Criticité des scénarios

Le croisement de la probabilité et de la gravité de chaque scénario d'inondation permet de lui affecter un niveau de criticité. Le tableau ci-après fournit la synthèse de ce croisement.

		probabilité du scénario							
		0.01%	0.1%	0.2%	0.5%	1%	10%		
		très improbable	improbable	très peu probable	peu probable	moyennement probable	probable	très probable	
gravité du scénario d'inondation	5. désastreux	Risque acceptable			Risque préoccupant				
	4. catastrophique	Risque acceptable			Risque préoccupant		risque intolérable		
	3. important	Risque acceptable			Risque préoccupant		risque intolérable		
	2. sérieux	Risque acceptable			Risque préoccupant		risque intolérable		
	1. modéré	Risque acceptable			Risque préoccupant		risque intolérable		

Tableau 53 : Synthèse des indices de criticité des différents scénarios

::



Le tableau ci-après synthétise l'ensemble des résultats

n°	intitulé du scénario	Probabilité du scénario		gravité du scénario						criticité du scénario
				population exposée	population en danger	Population en danger en 30 minutes	enjeux sensibles exposés	enjeux sensibles en danger	indicateur de gravité	
1	<b>Brèche sur la levée de Médine 1</b>	0.50%	Moyennement probable	3765	155	Compris entre 10 et 100	14	4	3. Important	Risque préoccupant
2	<b>Brèche sur la levée de Médine 2</b>	0.20%	Peu probable	4558	730	Compris entre 10 et 100	17	8	3. Important	Risque préoccupant
3	<b>Brèche sur le chenal de la Nièvre en rive droite</b>	< 0.0001%	Très improbable	4669	1056	Compris entre 10 et 100	19	10	4. Catastrophique	Risque préoccupant
4	<b>Brèche sur la levée de Saint Eloi à proximité de la station de pompage</b>	0.49%	Moyennement probable	2552	212	Compris entre 10 et 100	10	3	3. Important	Risque préoccupant

Tableau 54 : Synthèse globale des résultats



## 8.2 ESTIMATION DU RISQUE D'INONDATION PAR DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE NEVERS

Le choix des scénarios de défaillance fonctionnelle ont été choisis en concertation avec le maître d'ouvrage et les membres du COTECH lors de la réunion du 6 février 2020.

Cette estimation repose sur la sélection de deux scénarios de défaillance et sur l'évaluation de la criticité des scénarios d'inondation associés.

Les paragraphes suivants synthétisent les principaux résultats des différents scénarios de défaillance fonctionnelle simulés.

### 8.2.1 Identification et choix des scénarios d'inondation caractérisés en termes de probabilité d'occurrence

Les ouvrages mobiles susceptibles de générer un aléa inondation dans les vals Est et Ouest sont localisés sur la Figure 222. Ces ouvrages présentent les caractéristiques suivantes :

- Dans le Val Ouest : l'ouvrage de connexion hydraulique entre le ruisseau de l'Eperon et la Nièvre au PK 750 est composé d'une vanne crémaillère automatisée ( $h=0,4m$ ,  $L=0,4m$ ) et d'un dalot vouté ( $L= 0.6m$ ,  $H=0.7m$ , début de la voute=  $0.4m$ ) . Les fils d'eau en entrée et en sortie sont respectivement estimés à  $175,63mNGF$ ,  $175,39mNGF$ ,





Figure 221 : Vanne crémaillère de l'ouvrage de connexion Ruisseau de l'Eperon/Nièvre au pk750

- Dans le Val Est : l'ouvrage de ressuyage des eaux pluviales du Val Est localisé en aval du pont sur la Nièvre environ 600 mètres en amont de la confluence avec la Loire (PK2400). Cet ouvrage est composé d'une buse de 1500 mm de diamètre et d'une vanne manuelle. Son fil d'eau est estimé à 174,5mNGF en amont et 174,1 mNGF en aval.

Pour ces ouvrages, la défaillance consisterait à un blocage des vannes en position haute. La probabilité de ce type de défaillance est difficilement quantifiable. D'un point de vue qualitatif, on peut néanmoins considérer une probabilité d'occurrence plus importante pour ce type de défaillance que pour une défaillance structurelle. Comparée aux probabilités de défaillance estimées au §8.1.2 pour les scénarios de défaillance structurelle, la probabilité des défaillances fonctionnelles est considérée égale à 5%. La probabilité du scénario est considérée égale au produit de la probabilité d'occurrence de l'évènement de crue considéré et de la probabilité de défaillance de l'ouvrage.

Les scénarios retenus lors de la réunion du 6 février 2020 sont récapitulés dans le tableau et figurés sur la carte ci-après.

n°	intitulé du scénario	Probabilité de défaillance	Probabilité de l'évènement de crue considéré	Probabilité d'occurrence du scénario	localisation (PK début)	Défaillance
1	Défaillance fonctionnelle Val Ouest (T=200 ans)	5%	0,5%	0,03%	750	Vanne crémaillère bloquée en position haute (complètement ouverte)
2	Défaillance fonctionnelle Val Est (T=70 ans)	5%	1,4%	0,07%	4050	Vanne manuelle bloquée en position haute (complètement ouverte)

Tableau 55 : Tableau de synthèse des scénarios de défaillance fonctionnelle retenus

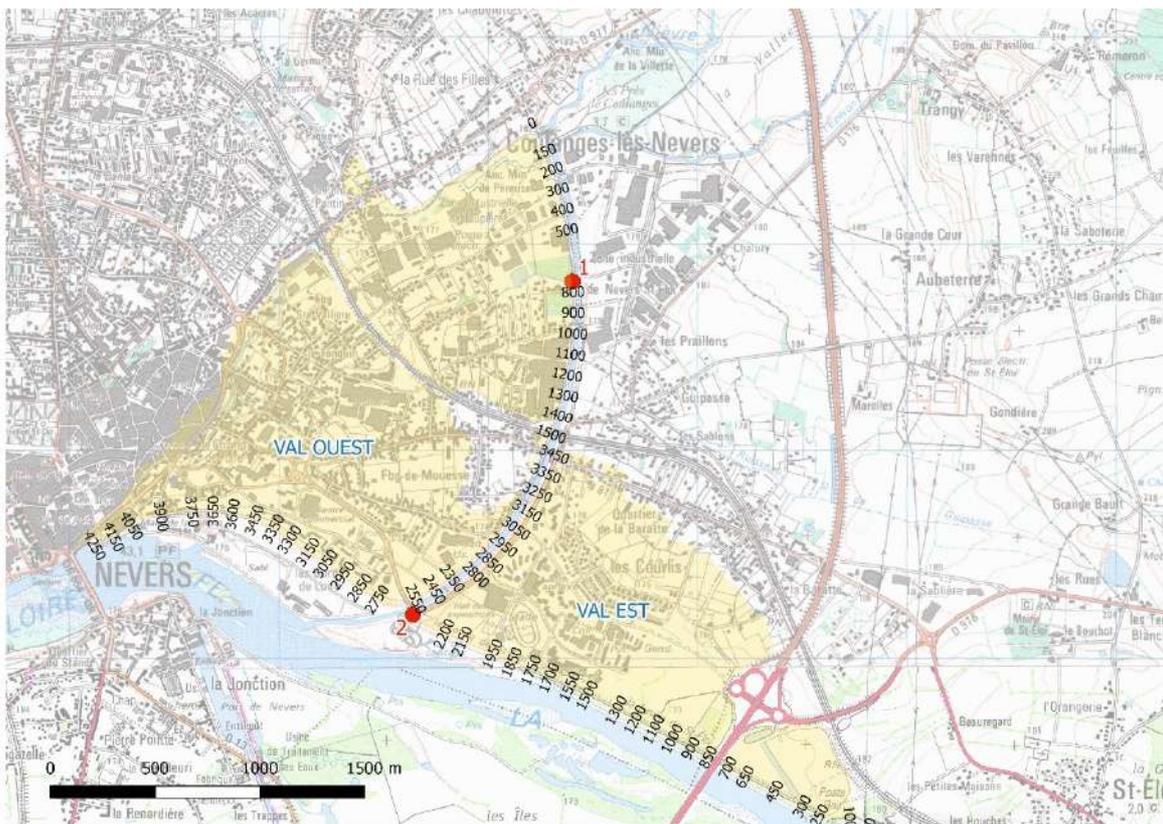


Figure 222 : Carte de localisation des scénarios de défaillance fonctionnelle retenus

## 8.2.2 Intensité et cinétique des scénarios

209

L'intensité et la cinétique des scénarios sont appréciées au moyen du modèle hydraulique 2D développé à l'aide du logiciel TELEMAR

### 8.2.2.1 Scénario n°1 : Défaillance fonctionnelle Val Ouest

#### 8.2.2.1.1 Hypothèses

La simulation correspond à une défaillance de la vanne crémaillère implantée sur la connexion hydraulique entre le ruisseau de l'Épéron et la Nièvre. La vanne est considérée grande ouverte pendant toute la simulation. Le scénario de crue simulé correspond à une crue de période 200ans.

Comme le montre la Figure 195 ci-après, le débit maximal entrant dans le val est de  $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le volume total entrant dans le val est de  $350\,000 \text{ m}^3$ .

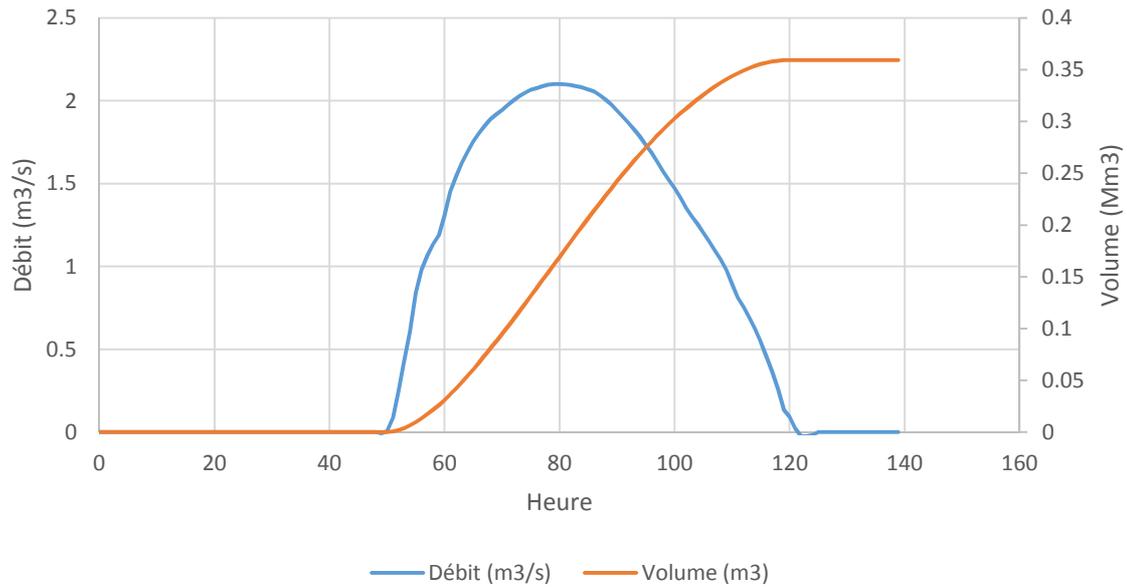


Figure 223 : Hydrogramme et volume transitant par l'ouvrage de l'Eperon

### 8.2.2.1.2 Résultats

#### Hauteurs d'eau, vitesses maximales et aléa:

210

Les hauteurs d'eau maximales dans le val dépassent 2 m par endroits dans les zones d'accumulation. Certains enjeux subissent des hauteurs d'eau supérieures à 1,5 m..

Les vitesses d'écoulement sont généralement inférieures à 0,25 m/s avec des pointes pouvant atteindre 1m/s très localement.

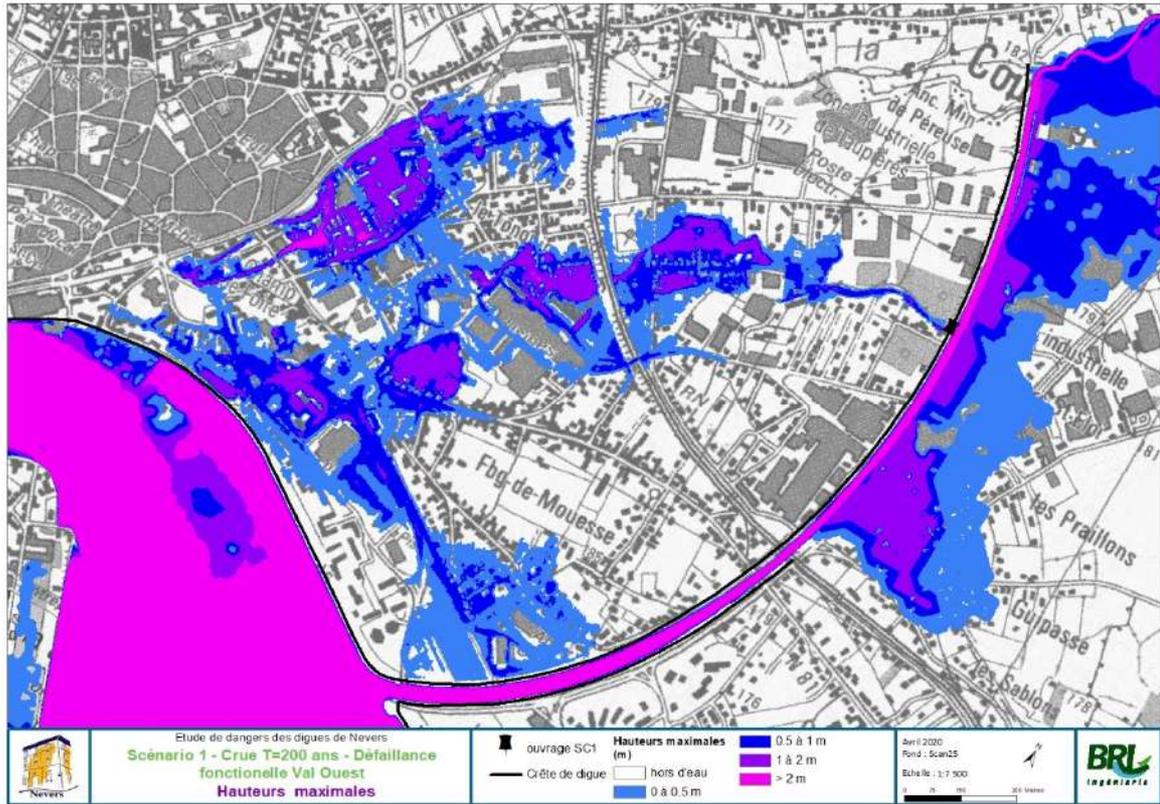




Figure 224 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest

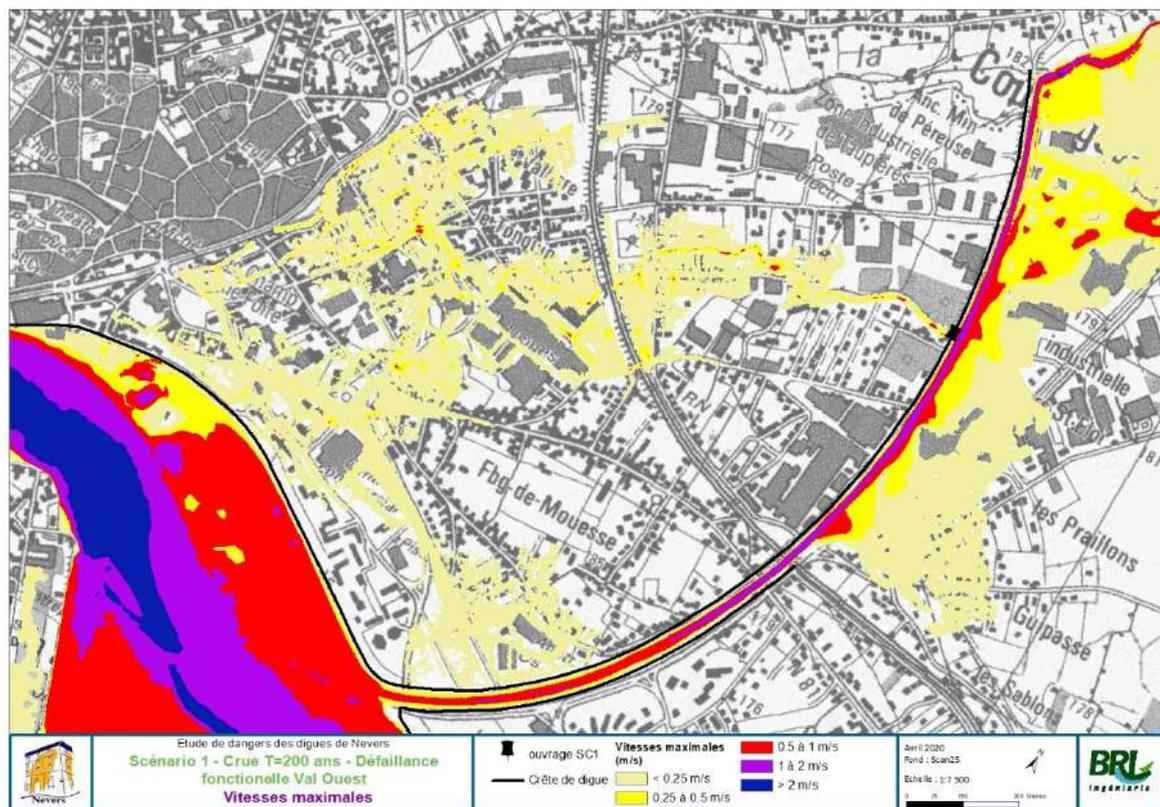


Figure 225 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest

## 212 Cinétique :

Le niveau augmente lentement pendant la crue, il faut attendre une durée supérieure à 10h par rapport au début de la crue pour observer le front d'onde de crue au niveau du remblai SNCF et supérieure à 20 heures pour observer le front d'onde dans la partie aval du Val Ouest.

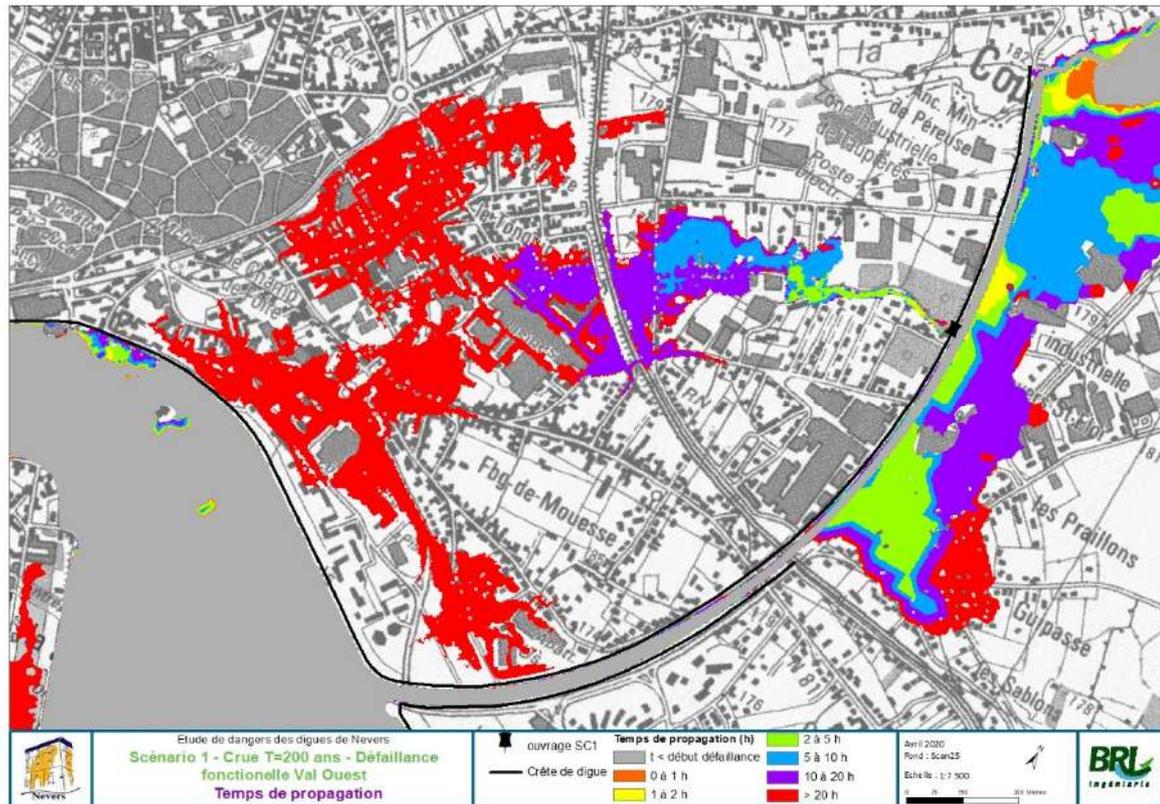


Figure 226 : Carte des temps de propagation – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest

## 8.2.2.2 Scénario n°2: Défaillance fonctionnelle Val Est (T=70ans)

### 8.2.2.2.1 Hypothèses

La simulation correspond à une défaillance de la vanne manuelle contrôlant le ressuyage du Val Est. Celle-ci est maintenue ouverte pendant toute la crue. La crue simulée correspond à une crue de période de retour 70 ans.

Comme le montre la Figure 200 ci-après, le débit maximal entrant dans le val est de  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le volume entrant dans le val est de  $0,2 \text{ hm}^3$ .

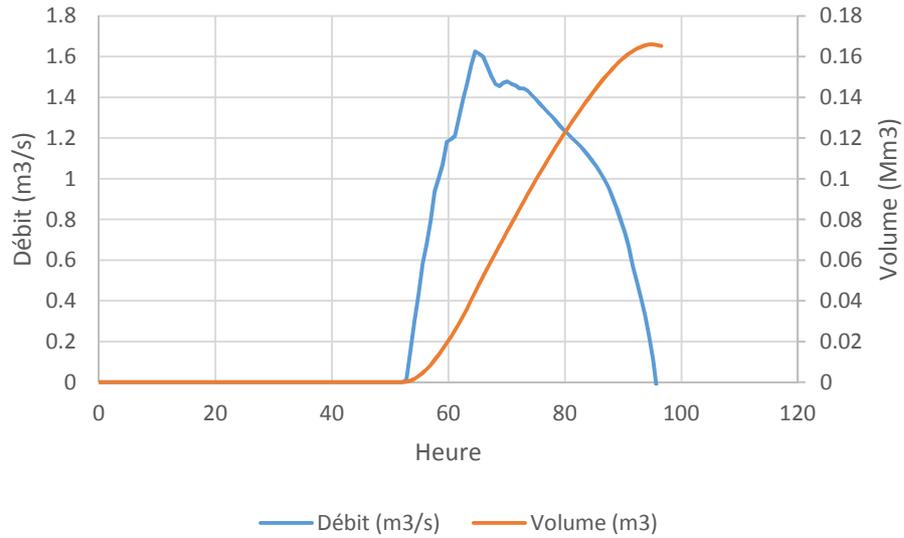


Figure 227 : Hydrogramme et volume transitant par l'ouvrage– Scénario 2 défaillance fonctionnelle du Val Est

### 8.2.2.2 Résultats

#### Hauteurs d'eau, vitesses maximales et aléa:

Une grande partie du val connaît des hauteurs d'eau maximales inférieures à 50cm sauf dans les zones d'accumulation où les hauteurs d'eau maximales sont comprises entre 1.0 et 2.0 m.

214

Les vitesses d'écoulement maximales sont inférieures à 0,25 m/s.

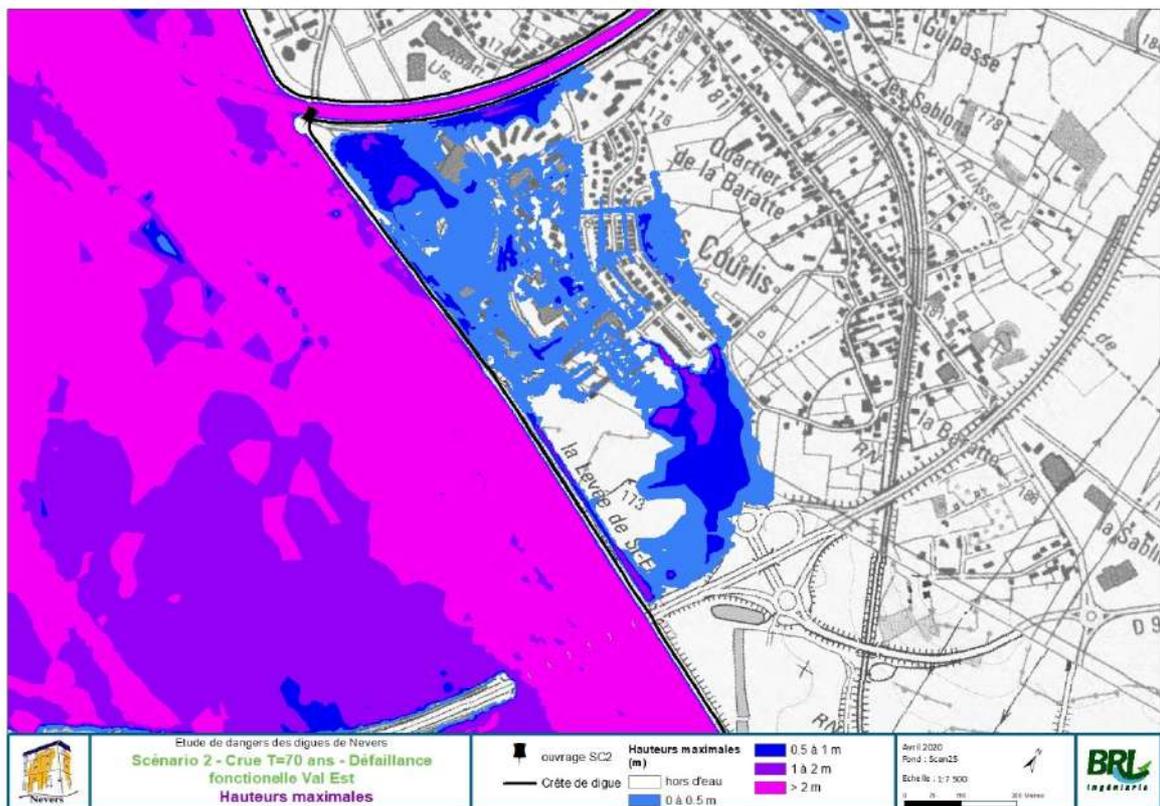




Figure 228 : Carte des hauteurs d'eau maximales – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est

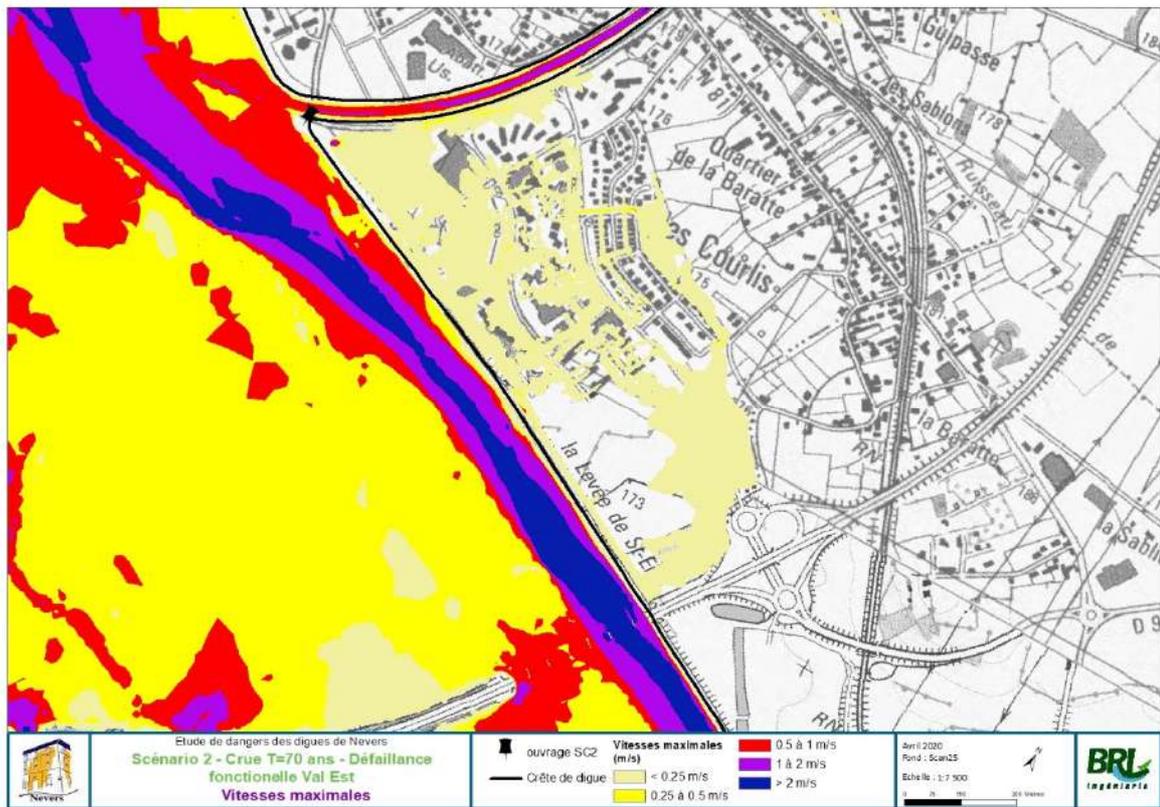


Figure 229 : Carte des vitesses d'écoulement maximales – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est

**Cinétique :**

La dynamique d'écoulement est relativement lente avec des temps d'arrivée de l'onde de crue dans le Val généralement supérieurs à 5h hormis dans la zone d'activité à proximité de l'ouvrage de ressuyage.

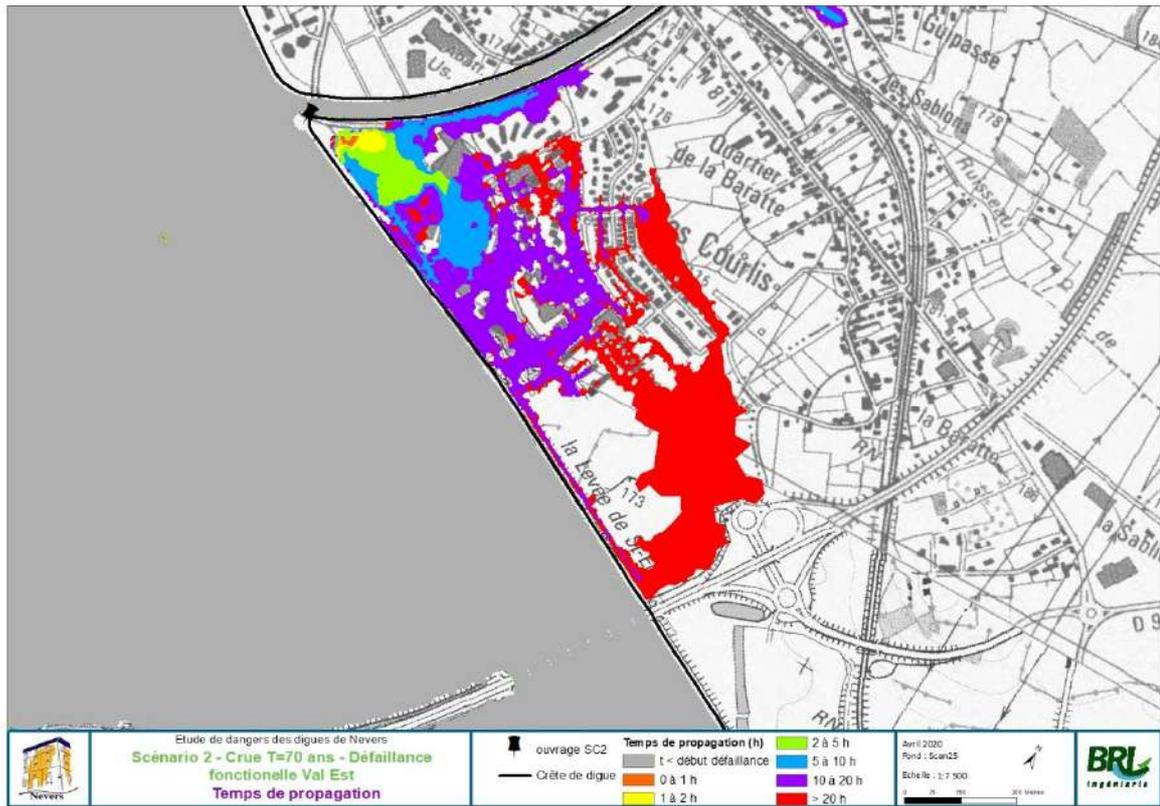


Figure 230 : Carte des temps de propagation – Scénario 2

### 216 8.2.3 Gravité des scénarios

La caractérisation de l'aléa d'inondation se base sur un croisement des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement maximales. Ces variables sont obtenues directement par exploitation des résultats du modèle bidimensionnel.

hauteur d'eau	supérieure à 2 m	4. Très fort			5. zone de destruction du bâti
	entre 1 et 2 m	3. Fort			
	entre 50 cm et 1 m	2. Moyen		3. Fort	
	entre 0 et 50 cm	1. Faible			
		entre 0 et 0,25 m/s	entre 0,25 et 0,5 m/s	supérieure à 0,5 m/s	aval immédiat brèche
		vitesse d'écoulement			

Tableau 56 (rappel) : Grille de définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses

La mise en application – de manière synchrone, c'est-à-dire en croisant les hauteurs et vitesses aux mêmes instants – de cette grille de classes d'aléa permet d'obtenir les cartes d'aléa pour les différents scénarios d'inondation étudiés.

Comme indiqué précédemment, la gravité des scénarios est évaluée au travers du dénombrement des personnes exposées et de celles considérées comme étant « en danger » du fait des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement auxquelles elles seraient exposées.



Gravité du scénario d'inondation	Nombre de personnes en danger en moins de 30 minutes	Nombre de personnes en danger sur la durée totale de submersion
5. Désastreux	Supérieur à 1 000	Supérieur à 10 000
4. Catastrophique	Entre 100 et 1 000	Entre 1 000 et 10 000
3. Important	Entre 10 et 100	Entre 100 et 1 000
2. Sérieux	Inférieur à 10 personnes	Entre 10 et 100
1. Modéré		Inférieur à 10 personnes

Tableau 57 : Rappel - Classes de gravité des scénarios d'inondation

### 8.2.3.1 Scénario n°1 : Défaillance fonctionnelle Val Ouest (T=200 ans)

- Débit maximal au droit de l'ouvrage : 2,1 m<sup>3</sup>/s
- Volume entrant dans le val : 350 000 m<sup>3</sup>.

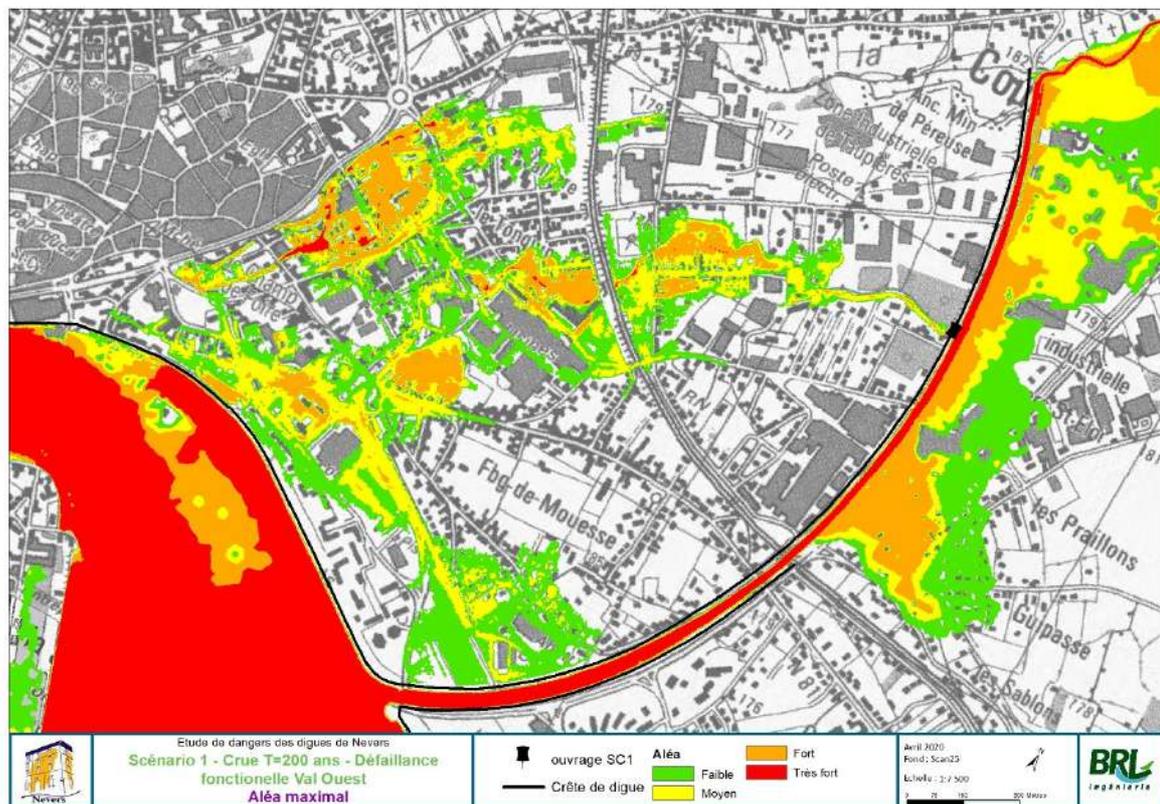


Figure 231 : Carte des aléas – Scénario 1 de défaillance fonctionnelle du Val Ouest

Les hauteurs d'eau sont comprises localement entre 1,0 et 2,0 m mais les vitesses d'écoulement maximales sont inférieures à 0,25 m/s. L'aléa moyen résultant peut être qualifié de fort avec une petite zone classée en aléa très fort à proximité du quartier du Champ de Foire. Les zones périphériques aux écoulements principaux sont classées en aléas faibles et moyens.



Tableau 58 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest

intensité de l'aléa d'inondation	nombre d'habitants plain-pied	nombre d'habitants 1 étage	nombre d'habitants 2 étages et plus	nombre de personnes en danger
1. Faible	264	140	735	0
2. Moyen	219	123	218	13
3. Fort	118	141	172	44
4. Très fort	2	36	3	13
5. Zone de destruction du bâti	0		0	
<b>Total tous aléas</b>	603	441	1128	70

Les décomptes de population réalisés mettent en évidence que 2172 personnes au total résident dans l'emprise de la zone inondable dont 603 habitant au rez-de-chaussée. Le nombre de personnes en danger est considéré égale à 70 conformément à la méthodologie présentée dans le Tableau 25.

On identifie aussi 33 enjeux sensibles affectés par ce scénario, dont 5 en aléa fort et 12 en aléa moyen.

Tableau 59 : Enjeux sensibles – Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Ouest

Type d'enjeu	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	4. Très fort	Total tous aléas
Entreprise > 10 salariés	12	10	3	0	25
ICPE autorisation	1				1
ICPE déclaration	1	1	1		3
Crèche					
DDT					
DDCSPP					
ERDF et GRDF			1		1
Mairie		1			1
Ecole	1				1
Transformateur électrique					
Maison de la culture					
Immeuble			1		1

Compte tenu de ces éléments, le niveau de gravité de ce scénario de défaillance peut être qualifié de « sérieux ».



### 8.2.3.2 Scénario n°2 : défaillance fonctionnelle dans le Val Est

- Débit maximal au travers de l'ouvrage : 1,5 m<sup>3</sup>/s
- Volume entrant dans le val : 0.2 hm<sup>3</sup>.

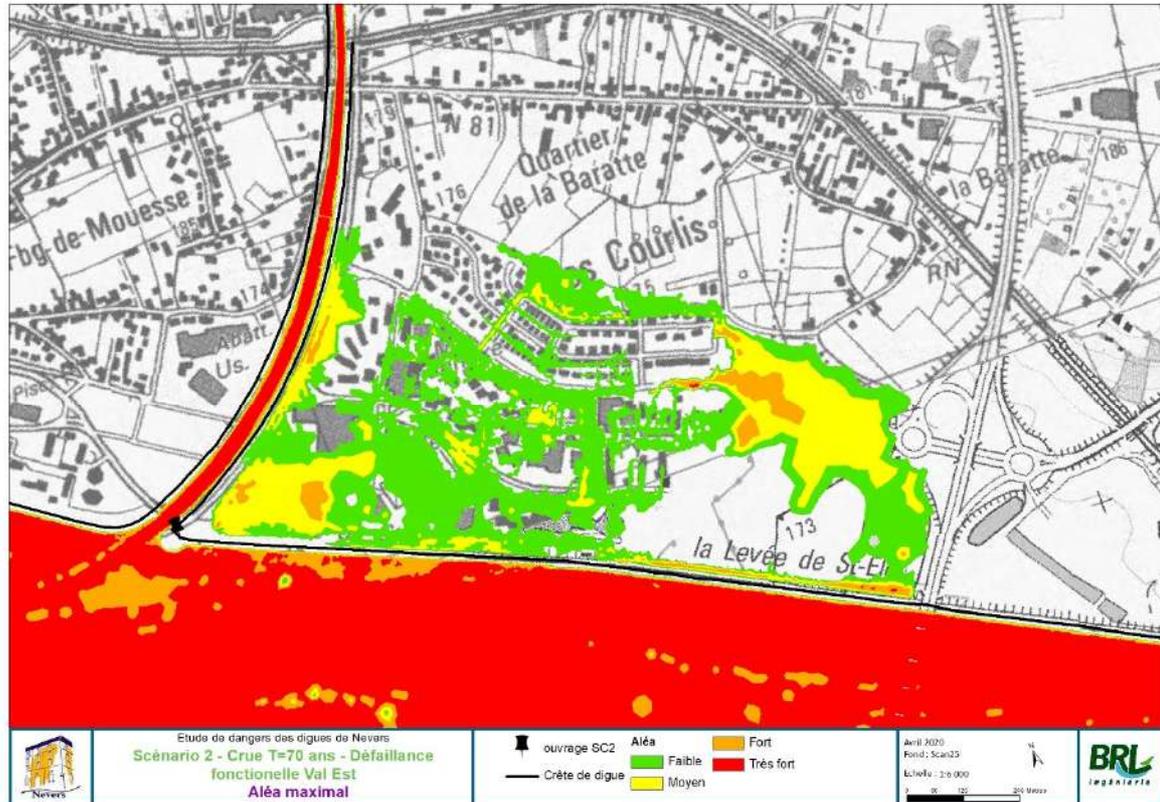


Figure 232 : Carte des aléas – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est

L'aléa moyen est qualifié de faible avec quelques zones en aléa moyen et fort dans les zones d'accumulation des eaux.

Tableau 60 : Nombres d'habitants impactés et en danger – Scénario 2 défaillance fonctionnelle Val Est

intensité de l'aléa d'inondation	nombre d'habitants plain-pied	nombre d'habitants 1 étage	nombre d'habitants 2 étages et plus	nombre de personnes en danger
1. Faible	301	101	1297	0
2. Moyen	0	0	33	0
3. Fort	0	0	0	0
4. Très fort	0	0	0	0
5. Zone de destruction du bâti	0		0	
<b>Total tous aléas</b>	301	101	1330	0



Les décomptes de population réalisés mettent en évidence que 1732 personnes au total résident dans l'emprise de la zone inondable dont 301 habitant dans des maisons de plain-pied. D'après la méthodologie exposée dans le Tableau 25 pour estimer la vulnérabilité de la population en fonction de l'aléa, il n'y aucune personne considérée en danger pour ce scénario.

Tableau 61 : Enjeux sensibles– Scénario 1 défaillance fonctionnelle Val Est

Type d'enjeu	1. Faible	2. Moyen	3. Fort	4. Très fort	Total tous aléas
Entreprise > 10 salariés	3	0	0	0	3
ICPE autorisation					
ICPE déclaration					
Crèche	2				2
Gendarmerie / commissariat	1				1
Mairie	1				1
Maison de retraite	1				1
Ecole	3				3
Hôpital	1				1

Pour ce scénario, douze enjeux sensibles sont affectés par ce scénario, ils sont situés en aléa faible.

**Compte tenu de ces éléments, le niveau de gravité de ce scénario de défaillance peut être qualifié de « modéré».**

220

### 8.2.3.3 Synthèse des niveaux de gravité

n°	intitulé du scénario	population exposée	population en danger	enjeux sensibles exposés	enjeux sensibles en danger	niveau de gravité
1	<b>Défaillance fonctionnelle Val Ouest</b>	2172	70	33	3	2. Sérieux
2	<b>Défaillance fonctionnelle Val Est</b>	1732	0	12	0	1. Modéré

Tableau 62 : Synthèse des niveaux de gravité des différents scénarios de défaillance fonctionnelle



### 8.2.4 Criticité des scénarios

Le croisement de la probabilité et de la gravité de chaque scénario d'inondation permet de lui affecter un niveau de criticité. Le tableau ci-après fournit la synthèse de ce croisement.

		probabilité du scénario						
		0.01%	0.1%	0.2%	0.5%	1%	10%	
		très improbable	improbable	très peu probable	peu probable	moyennement probable	probable	très probable
gravité du scénario d'inondation	5. désastreux	Risque préoccupant			risque intolérable			
	4. catastrophique	Risque préoccupant			risque intolérable			
	3. important	Risque préoccupant			risque intolérable			
	2. sérieux	risque acceptable			risque intolérable			
	1. modéré	risque acceptable			risque intolérable			

Tableau 63 : Synthèse des indices de criticité des différents scénarios



Le tableau ci-après synthétise l'ensemble des résultats

n°	RD / Val	Probabilité du scénario		gravité du scénario						criticité du scénario
				popul ation expos ée	popul ation en dang er	Popul ation en dange r en 30 minut es	enjeu x sensi bles expo sés	enjeu x sensi bles en dang er	indicateu r de gravité	
1	Val Ouest	0.03%	Improbable	2172	70	0	33	3	2. Sérieux	Risque acceptable
2	Val Est	0.07%	Improbable	1732	0	0	12	0	1. Modéré	Risque acceptable

Tableau 64 : Synthèse globale des résultats de criticité des scénarios de défaillance fonctionnelle



# 9 PRESENTATION DE LA POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS ET DU SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE

## 9.1 ORGANISATION DE LA COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DE NEVERS

La ville de Nevers est propriétaire des digues en rive droite de la Loire.

Avec la prise de compétence par la communauté d'agglomération de Nevers au 1er janvier 2018, celle-ci est gestionnaire des ouvrages depuis cette date. Un procès-verbal de transfert de la gestion des digues entre la ville de Nevers et Nevers Agglomération en date du 24 février 2018 acte le transfert.

Un second procès-verbal de transfert de charges lié à la compétence GEMAPI définit les aspects financiers.

Le service en charge de la gestion du système d'endiguement en rive droite de la Loire est le service Risque, Environnement et Patrimoine bâti au sein de la direction Environnement, Infrastructure et Développement Durable. Deux agents suivent cette thématique :

- Chargé de mission en charge du suivi de la gestion du système d'endiguement. Cet agent intervient aussi sur le suivi et de la mise en œuvre du Programme d'Actions de Prévention des Inondations du secteur de Nevers.
- Chef du service Risque, Environnement et Patrimoine bâti. L'agent mutualisé sur le volet gestion des risques intervient également auprès des communes membres de Nevers Agglomération pour fournir un appui technique pour la préparation à la gestion de crise ainsi que pour la gestion des événements majeurs.

223

L'entretien de la partie végétalisée des ouvrages qui constituent le système d'endiguement rive droite est assuré par le service espaces verts de la ville de Nevers qui en assure l'entretien. Il est prévu une fauche annuelle sur tout le système d'endiguement.

L'entretien des ouvrages inclus au système d'endiguement est intégré au contrat de délégation de service public d'entretien et maintenance du réseau pluvial. Il s'agit d'un entretien périodique des ouvrages suivants ;

- Station d'exhaure du pont mal Placé,
- Portes de Médine
- Vannage de l'Eperon
- Vannages de Coulanges-lès-Nevers (côté Nièvre urbaine et côté canal de dérivation)
- Vannage du Karting (vanne du centre des expositions)
- Station de refoulement de la Baratte



## 9.2 CONSIGNES ECRITES ET MESURES DE SURVEILLANCE

Conformément aux exigences fixées par le décret du 11 décembre 2007 et l'arrêté du 29 février 2008, le gestionnaire a élaboré des consignes écrites qui fixent les dispositions mises en œuvre pour surveiller l'ensemble des systèmes d'endiguement de la Loire dont il a la charge.

Ces consignes écrites décrivent l'organisation :

- des visites de surveillance programmées
- des visites consécutives à des évènements particuliers
- des dispositions relatives aux visites techniques approfondies
- du dispositif de surveillance en période de crue (Plan de Surveillance des Levées (PSL))
- du rapport de surveillance annuel

Le PSL est en cours de mise en place. Il intègre les données apportées par les résultats de l'étude de dangers des digues, notamment en matière de niveau de sûreté.

### 9.2.1 Surveillance continue

La surveillance continue est réalisée par le gestionnaire dans le cadre de son activité quotidienne sur le terrain. Une visite mensuelle est réalisée par le chargé de mission PAPI.

224

Le titulaire de la délégation de l'entretien du réseau pluvial s'occupe de l'entretien des ouvrages inclus (station d'exhaure, station de refoulement, systèmes de vannages, portes de garde...) au système d'endiguement. Il assure également la surveillance de ces ouvrages dans le cadre de l'entretien. L'information est remontée à l'agglomération de Nevers en cas de problèmes constatés.

### 9.2.2 Surveillance périodique

Depuis 2015, la surveillance périodique est réalisée dans le cadre des visites techniques approfondies (VTA) par un bureau d'études spécialisé et agréé.

Conformément au décret de 2015, une visite technique approfondie doit être réalisée au moins une fois dans l'intervalle entre deux rapports de surveillance (validité de 5 ans) ou à l'issue de tout évènement ou évolution déclaré. La dernière VTA a été réalisée en novembre 2015 et le rapport de surveillance a été réalisé en 2018. La mise à jour de VTA du système d'endiguement de Nevers en rive droite doit être réalisée en 2020.

Les rapports de visite doivent contenir à la fois un diagnostic global de l'état des levées et des préconisations d'ordre général sur les actions correctives et préventives à prévoir. Ces rapports doivent être intégrés au dossier d'ouvrage.

Le bilan dressé lors de ces visites intègrera :

- L'état du patrimoine
- L'observation des dégradations locales (terriers d'animaux, affouillements, fissurations, mouvements structurels)
- Le repérage des besoins d'entretien (végétation en cours de développement) et de l'accessibilité du site (chemins et voiries)
- La vérification de l'état des passages batardables et des dispositifs de fermeture (ouvrages vannés)

### 9.2.3 Surveillance en crue

La surveillance en période de crue des levées à la charge du gestionnaire est organisée et décrite dans le Plan de Surveillance des Levées. Comme précisé ci-dessus, ce document est en cours d'écriture et sera pleinement opérationnel pour fin 2018.

Le nouveau gestionnaire en place depuis le 1er janvier 2018, travaille sur l'actualisation du PSL. Cette mise à jour sera opérationnelle fin 2020.

L'objectif principal de la surveillance des levées en période de crue est de détecter au plus tôt tout désordre lié à la mise en charge de la levée et susceptible de conduire à sa ruine, d'en suivre son évolution et d'engager, le cas échéant, les actions d'urgence nécessaires. L'autre objectif de cette surveillance est de pouvoir déclencher, si besoin, une évacuation de la zone protégée en fonction des désordres détectés.

#### 9.2.3.1 Gradation de la surveillance

Le PSL distingue trois seuils différents :

- **le niveau N1**, qui correspond au début de la surveillance. La surveillance débute à partir de 1 mètre de charge au droit du point bas du val considéré. Cette surveillance s'effectue de jour, 7 jours sur 7.
- **le niveau N2**, qui constitue un renforcement de la surveillance. Cette surveillance accrue s'effectue à partir de 2 mètres de charge au droit du point bas du val considéré. Cette surveillance s'effectue de jour et de nuit, 7 jours sur 7.
- **Arrêt de la surveillance** : l'arrêt de la surveillance des levées s'effectue à partir de l'atteinte du niveau de sûreté du système d'endiguement, quand la probabilité de rupture est considérée comme non négligeable.

225

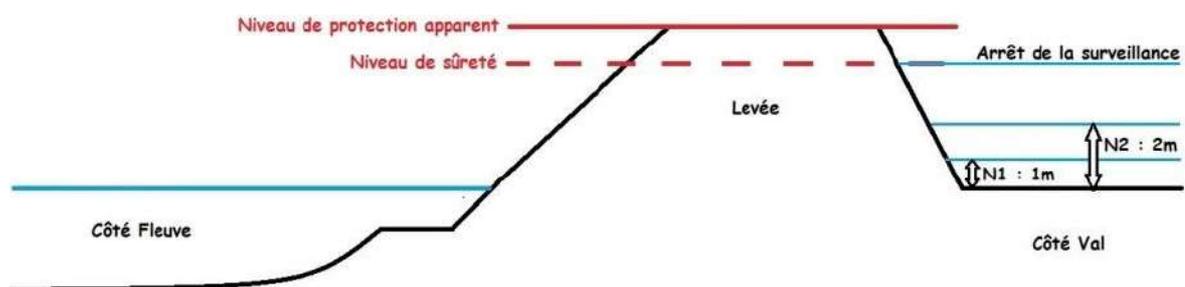


Figure 233 : Schéma des niveaux de surveillance en fonction des niveaux d'eau en cas de crue de la Loire (source : Ville de Nevers)

Le niveau de surveillance en crue évolue en fonction de l'ampleur de la crue observée et/ou prévue par le Service de Prévision des Crues Loire-Cher-Indre, selon le protocole suivant :

- La coordination du Plan de Surveillance des Levées (PSL) est déclenchée du moment que la mise en charge du système d'endiguement au point le plus bas de la zone protégée atteint 1 mètre, soit pour une prévision de 2,8 mètres à l'échelle de crue de Nevers. La mise en astreinte sécurité est déclenchée par la direction avec copie au cabinet du Maire.



Les seuils de surveillance des ouvrages qui constituent le système d'endiguement sont définis ci-après :

Station de NEVERS	Niveau 1 (N1) Charge 1 m	Niveau 2 (N2) Charge 2 m	Arrêt de la surveillance*
Val Est	2,80m	3,80m	5,20m
Val Ouest	3,70m	4,70m	5,20m

\* Le niveau indiqué dans le tableau est théorique et est appelé à évoluer en fonction des résultats de la présente EDD concernant les hauteurs des niveaux de sûreté pour chaque val.

### 9.2.3.2 Formation des personnels mobilisés

#### FORMATION POUR LA COORDINATION

Chaque membre de la coordination, dont l'aptitude a été validée par le médecin de prévention, reçoit une formation initiale de 2 jours pour être en mesure d'assurer la mise en œuvre du PSL, répartie en une demi-journée de formation théorique et une journée et demie de formation pratique.

Chaque membre de la coordination réalise une formation complémentaire annuelle basée sur un exercice d'une journée.

Enfin, lors de la prise de fonction d'un agent sur un poste fléché coordination, après avoir été déclaré apte par le médecin du travail, cet agent reçoit une formation initiale.

**226** Pour rappel, la formation des agents pour la coordination sera opérationnelle en 2018.

#### FORMATION POUR LA SURVEILLANCE

Chaque membre de la surveillance, dont l'aptitude a été validée par le médecin de prévention, reçoit une formation initiale de 2 jours pour être en mesure de surveiller une digue, répartie en une demi-journée de formation théorique et une journée et demie de formation pratique.

Chaque membre de la surveillance réalise une formation complémentaire annuelle basée sur un rappel théorique et sur une mise en situation (terrain) à travers une journée dédiée (dont une demi-journée sur le terrain).

Enfin, lors de la prise de fonction d'un agent sur un poste fléché surveillance, après avoir été déclaré apte par le médecin du travail, cet agent reçoit une formation initiale. Cette formation sera dispensée au regard du nombre de participants et en fonction des vacances dans le vivier.



D'une manière générale, cette formation permet :

- D'acquérir une bonne connaissance de la levée à surveiller
- De bénéficier d'une formation / information sur les missions à réaliser, comprenant des notions d'hydraulique de base sur le comportement des levées
- Aux équipes de mieux se connaître
- De vérifier la disponibilité et le bon fonctionnement des équipements nécessaires à la surveillance en crue.

## 9.2.4 Organisation des postes et secteurs

### DIMENSIONNEMENT DU PERSONNEL

#### Coordination :

- 1 agent pour coordonner le PSL dans le cadre du niveau de surveillance N1
- 2 agents à partir du niveau de surveillance N2

#### Surveillance :

Dans tous les cas, 4 agents sont présents pour assurer les fonctions de surveillance :

- 2 agents pour le val Est
- 2 agents pour le val Ouest

Niveau de surveillance N1 :

Période de surveillance : en journée, 1 équipe de 4 agents

Niveau de surveillance N2 :

Période de surveillance : en journée et la nuit : 3 équipes de 4 agents

### ASTREINTE

Les agents intervenants dans le cadre du PSL (coordination et équipes de surveillance) sont placés en astreinte de sécurité.

Les mises en astreinte sont validées par la direction sous la forme d'une décision (préparée par la coordination), dont copie est adressée au cabinet du Maire et aux chefs de service concernés.

La surveillance et la mission de coordination, effectuées en semaine et aux heures ouvrables, se substituent aux activités normales des agents concernés et ne constituent donc pas des interventions sous astreinte.



## LA COORDINATION

A partir des informations fournies par le SPC, la coordination propose le déclenchement de la surveillance des tronçons et son arrêt.

Les missions de la coordination sont :

- organiser et piloter les équipes de surveillance, notamment en charge du respect des garanties minimales des agents (repos quotidien, hebdomadaire...),
- informer de la situation la Cellule de Crise Communale et le Centre Opérationnel Départemental
- assurer enfin la gestion des interventions éventuelles (travaux d'urgence).

En fonction de l'importance de la crue, 1 à 2 agents sont mobilisés (catégories A et B technique).

La coordination utilise la main courante et indique chacune de ses actions (prévisions, observations, communications, actions, seuils dépassés, ...). La main courante contribue au suivi annuel des événements qui seront reportés dans les rapports d'exploitation et de surveillance des dossiers d'ouvrage.

## LES EQUIPES DE SURVEILLANCE

Les agents des équipes de surveillance sont affectés par binôme sur chacun des vals protégés (val Est et val Ouest).

Les agents contribuant à la surveillance des digues seront en priorité issus du personnel de la Cité Technique Municipale, devront être déclarés aptes par le médecin de prévention et auront reçu une formation préalable.

228

Les équipes de surveillance ont pour mission de :

- Identifier les désordres : affaissements, glissements, « renard hydrauliques », érosions...
- Surveiller les points particuliers : points bas, zones de contact avec le fleuve, canalisations traversantes, ...
- Rendre compte : pour évacuer, pour déclencher des travaux d'urgence

Chaque équipe dispose de supports de référence (fiche « secteur » et registre) pour faciliter et sécuriser la surveillance.

### 9.2.5 Surveillance post-crue

Une visite post-crue est systématiquement organisée dès lors que le niveau de la Loire atteint 2,8 mètres. Elle permet :

- D'analyser à froid des désordres occasionnés par la crue et de programmer la remise en état de la levée,
- De relever les indices de mouvement de terrain : côté val les résurgences en pied de talus, les fissures, les bombements, les affaissements, les fontis... et côté fleuve les éventuelles érosions,
- De relever toutes les évolutions morphodynamiques du lit endigué,
- De vérifier l'état des ouvrages hydrauliques,
- De vérifier la stabilité des banquettes ainsi que la praticabilité des levées par des véhicules.



Elle s'effectue dans les mêmes conditions que la visite annuelle, en associant les responsables de poste qui ont été mobilisés pour la surveillance des levées de chaque secteur.

## 9.2.6 Surveillance exceptionnelle

Une surveillance exceptionnelle sera mise en place en cas de survenance d'un évènement exceptionnel qui pourrait avoir un impact sur la résistance de la levée.

Un tel évènement pourrait être constitué par :

- Une tempête,
- Un séisme,
- Un embâcle de glace,
- Un mouvement de terrain (effondrement karstique par exemple),...

La surveillance consistera en une visite technique approfondie sur la totalité de la levée ou localement si l'évènement n'affecte qu'une partie de celle-ci (cas des mouvements de terrain).

## 9.2.7 Gestion des retours d'expérience

Dans le cas d'une crue ou de tout autre évènement exceptionnel, un rapport sur l'évènement est produit. Ce rapport classe l'évènement en EISH (évènement important pour la sécurité hydraulique) conformément à l'arrêté du 21 mai 2010 « définissant l'échelle de gravité des évènements et évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptible de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration ». Ce rapport est transmis au Préfet à sa demande et est intégré au dossier d'ouvrage.

229

Un EISH a été signalé en juin 2016, suite à la rupture d'une canalisation d'eau potable, consécutivement à un sondage dans la digue, la canalisation étant incluse dans la levée de canal de dérivation en rive droite. Cet évènement a été signalé au service de contrôle des ouvrages hydrauliques de la DREAL Centre – val de Loire, qui a par la suite classé cet incident au niveau jaune.

## 9.2.8 Limites actuelles et perspectives à moyen terme

En période normale, la surveillance des ouvrages hydrauliques, qui se superpose aux missions d'entretien, nécessite à minima un maintien en l'état des moyens du gestionnaire.

Le PSL sera finalisé courant 2017 pour une mise en œuvre opérationnelle au cours de l'année 2018. Ceci nécessitera de former, en nombre conséquent, du personnel pour assurer les missions de surveillance et de coordination.

Le nouveau PSL sera opérationnel fin 2020.



## 9.3 GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE

Une réflexion devra au préalable être menée par le gestionnaire sur la pertinence d'une intervention en cas d'urgence. En effet, dans le cas d'un désordre identifié pour une hauteur d'eau très inférieure au niveau de sûreté des ouvrages qui sera défini dans la cadre de la présente étude de dangers, une intervention pourra être envisagée pour éviter de laisser progresser le désordre et que celui-ci ne conduise à une brèche.

En revanche, dans le cas d'un désordre signalé pour une hauteur d'eau proche du niveau de sûreté, il apparaît très délicat d'entreprendre des travaux d'urgence. En tout état de cause, c'est le critère sécurité qui prévaudra afin de statuer sur la réalisation de travaux d'urgence et la nécessité d'intervenir.

Dans le cas d'une intervention d'urgence envisageable, une procédure en 5 étapes a été définie dans le cadre du PSL.

### OPPORTUNITE DES TRAVAUX

Si le désordre constaté menace l'intégrité du système d'endiguement, la coordination doit évaluer l'opportunité d'engager des travaux d'urgence et en faire part aux autorités de la ville de Nevers. Les critères suivants sont pris en compte :

- le temps disponible pour intervenir, par rapport à la cinétique de la crue (arrêt de la surveillance prévue ou non) et/ou du désordre, rapporté au temps de mise en œuvre des travaux (mobilisation de l'entreprise comprise).
- les enjeux humains exposés et les mesures de sécurité civile en cours (le val est-il évacué, en cours d'évacuation, sans enjeux ?),
- les enjeux socio-économiques existants (activités, infrastructures, réseaux, etc.),
- la situation du désordre dans le système d'endiguement (une brèche située à l'amont sera plus dangereuse qu'une brèche située à l'aval),
- l'inondation du val au droit du désordre (les conséquences d'une brèche au droit d'un secteur non inondé seront plus graves qu'au droit d'un secteur déjà inondé).

230

### FAISABILITE ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Le coordonnateur sollicite l'avis de la DREAL Centre (service de bassin) pour évaluer le danger et envisager les travaux d'urgence et/ou l'évacuation.

Exemple de travaux en fonction du désordre :

- Érosion externe : déversement de blocs d'enrochement,
- Érosion interne ou renard hydraulique : création d'un filtre drainant par pose d'un géotextile en lés croisés et lestage par un matériau calcaire (Ø200 mm).

Si des travaux sont envisageables, la coordination avec l'appui de la DREAL formalise un cahier des charges sommaire de l'intervention : lieu, délai, type de travaux, emprise des travaux, matériaux à mettre en œuvre, etc.



## IDENTIFICATION D'UNE ENTREPRISE ET DEMANDES DE DEVIS

La coordination identifie une ou des entreprises en capacité de réaliser les travaux, si possible exerçant leur activité à proximité du système d'endiguement.

La coordination vérifie la disponibilité des entreprises et demande un devis immédiat sur la base du cahier des charges sommaire.

## ENGAGEMENT ET SUIVI DES TRAVAUX

La décision de recourir à des travaux d'urgence (article R214-44 du Code de l'Environnement) revient aux autorités de la ville de Nevers, propriétaire du système d'endiguement du val de Nevers en rive droite de la Loire. Cette décision devra être prise après concertation avec le Préfet et ses services.

La commande doit être formelle et préciser :

- le lieu, la date et le délai d'intervention,
- la nature de l'intervention,
- le nom de l'entreprise et son adresse,
- faire référence au devis.

Les travaux doivent être suivis par un agent de la ville de Nevers. Cet agent fait partie des équipes de surveillance susceptibles d'être mobilisées dans le cadre du Plan de Surveillance des Levées, pour autant l'agent qui est affecté au suivi des travaux d'urgence ne participe pas à la surveillance des ouvrages pendant la durée du suivi des travaux.

## REQUISITION

**En vertu de son pouvoir de police (article L2212-2 du Code général des collectivités territoriales), le maire dispose d'un pouvoir de réquisition sur le territoire de sa commune. Le préfet peut également exercer son pouvoir de réquisition sur le territoire de toutes les communes du département.**



## 9.4 AUTRES PLAN D'URGENCE

### 9.4.1 Plan ORSEC

Ce plan, validé par le préfet de la Nièvre le 6 juillet 2015, reprend les éléments du volet évacuation du Plan d'Intervention Communautaire et prévoit l'évacuation anticipée de la rive droite de la Loire à Nevers. Deux secteurs distincts sont identifiés coté rive droite :

- Quartiers Courlis, Francis Garnier (ou « val est » ou quartier de la Baratte) avec point de ralliement au groupe scolaire Blaise Pascal,
- Quartiers Bords de Loire, Pâtis et République (ou « val ouest » ou « faubourg de Mouësse ») avec point de ralliement au groupe scolaire Jules Ferry.

Le seuil retenu pour l'évacuation est une crue atteignant une hauteur relative de 5,20m à la station de Nevers. Pour rappel, la Loire atteignant 3,88m en décembre 2003, 5,34m en 1907 et 6,36m en 1866.

**Le seuil retenu pour l'évacuation devra être mis à jour rapidement en utilisant les résultats de la présente EDD.**

### 9.4.2 Plan Communal de Sauvegarde

Ce plan communal de sauvegarde (PCS), validé par le préfet de la Nièvre le 22 février 2010, prévoit de la même manière et selon les mêmes modalités, l'évacuation anticipée de la rive droite de la Loire à Nevers.

**232** Ce document est constitué d'une présentation ainsi que d'une analyse des risques sur le territoire du val de Nevers, d'une information sur les dispositifs de prévision et d'alerte, d'une description du dispositif communal de crise et précise les modalités de la gestion du PCS dans le temps.

Il comporte une partie théorique qui décrit l'architecture de gestion de crise. Il s'agit également d'un document à caractère opérationnel auquel est annexé des procédures de gestion de crise. Ces procédures constituent des consignes écrites par le personnel des services de la ville, en lien avec leur mission quotidienne.

Elles récapitulent les actions à mettre en œuvre en cas d'urgence pour assurer la sauvegarde des personnes et des biens sur le territoire (alerte, prise en charge (hébergement, restauration) de la population en cas d'évacuation, approvisionnement en eau des personnes âgées et des personnes à mobilité réduite, mise en sécurité du matériel, communication sur le suivi de l'événement...).

Ce PCS est régulièrement testé au cours d'exercices de simulation inondation organisés tous les 2 ans environ. Il permet de tester l'évacuation du val en rive droite de façon théorique à partir du niveau de sûreté, qui sera par ailleurs affiné dans le cadre de la présente étude de danger.

La mise à jour du PCS suite aux dernières connaissances acquises ces dernières années et la mise à jour des procédures avec le changement de personnel dans les services est en cours et une nouvelle version du PCS sera transmise à la Préfecture de la Nièvre début 2018.



### 9.4.3 Plan d'Intervention Communautaire

L'Agglomération de Nevers intervient également en matière de gestion des risques majeurs à l'échelle communautaire. En effet, les communes qui font partie de l'Agglomération de Nevers ont validé la mise en place d'un Plan d'intervention communautaire (PIC), constitué de procédures qui se déclinent à l'échelle intercommunale.

Ce Plan est complémentaire au PCS des communes. Les procédures concernent notamment le volet alerte de la gestion de crise, Nevers Agglomération disposant d'un automate d'appel qui est un outil d'appel en masse de la population. L'ensemble des numéros inclus dans l'automate d'appel est géocodé à l'adresse des personnes correspondantes, l'appareil permet ainsi de sélectionner une liste de contacts pour chaque scénario de crue préétabli en fonction des enjeux impactés.

Les procédures concernent également le volet hébergement de la gestion de crise. Le PIC fonctionne sur le principe de la solidarité territoriale, à savoir que les communes non impactées par l'événement interviennent en soutien des communes impactées. Des centres d'hébergement d'urgence sont ainsi mis en place pour l'hébergement temporaire des populations. Nevers Agglomération est lié par convention à la Croix-Rouge qui met à disposition ses moyens en matière d'hébergement en cas de crise.

Nevers Agglomération est également lié par un système de convention avec le Conseil Départemental de la Nièvre et le Conseil Régional de Bourgogne-Franche-Comté en matière d'hébergement d'urgence. Ceci permet une mise à disposition des pensionnats et gymnases des collèges et lycées, ce qui permet d'augmenter notablement les capacités d'accueil de la population à l'échelle intercommunale en cas de sinistre.

Le PIC est également constitué de procédures liées à l'approvisionnement en eau potable de la population. En cas de crue de Loire, l'eau du robinet devient impropre à la consommation, dans ce contexte plusieurs points d'approvisionnement ont été définis à l'échelle intercommunale où la distribution d'eau embouteillée sera assurée le temps de l'événement.

233

## 9.5 PROCEDURES DE CONNAISSANCE ET D'EVALUATION DU RISQUE

### 9.5.1 Etudes de dangers

La présente étude constitue la première étude de dangers du système d'endiguement du val de Nevers rive droite. Elle sera actualisée dans un délai maximal de 15 ans, conformément à la réglementation en vigueur (cf. Décret n°2015-526, dit Décret digues). Elle pourra faire l'objet d'une actualisation anticipée si la situation l'exige, notamment en cas de crue forte ou de séisme important.

### 9.5.2 Diagnostic initial de sûreté

Conformément aux indications du Service de Contrôle des Ouvrages Hydrauliques de la région Bourgogne-Franche-Comté, la VTA initiale des ouvrages constituant le système d'endiguement, réalisée en novembre 2015, fait office de diagnostic initial de sûreté.



### 9.5.3 Revues de sûreté

Ainsi que le précise le Décret digues de 2015, la revue de sûreté et l'étude de dangers sont fusionnées. Ainsi, la réalisation de la revue de sûreté n'est plus exigée, du fait de la réalisation de l'étude de dangers.

## 9.6 DOSSIER D'OUVRAGE

Le dossier d'ouvrage prévu par le décret du 11 décembre 2007 est constitué et alimenté régulièrement avec l'ensemble des nouvelles données disponibles.

Ce dossier est établi pour chaque levée et regroupe l'ensemble des informations sur les digues dont dispose le gestionnaire :

- Plans
- Etudes
- Travaux réalisés
- Conventions d'occupation
- Etc.

Il est disponible et consultable dans les locaux du gestionnaire.



# 10 ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES

## 10.1 BILAN DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Concernant les levées du val de Nevers, la présente 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.
- La modélisation effectuée avec CARDigue montre 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.

### Pour le val Ouest :

- Le niveau de protection apparent du système de protection correspond à celui atteint par la crue Q1400 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.
- La modélisation effectuée avec CARDigue montre 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 compris entre Q100 et Q200. Un niveau de sûreté de Q150 est retenu.
- En cas de rupture de défaillance du système d'endiguement, pour une crue type Q100, près de 2442 personnes résidant dans le val seraient inondées et pour Q200, 3717 personnes.

235

La charge hydraulique à laquelle est soumis l'ouvrage est synthétisée par le tableau ci-après.



N° du Profil utilisé	Abscisse sur le tronçon	Géométrie	Charge hydraulique Zcrue - Z6 OU Zcrue - Zval en cas d'inondation du Val(cases ble)							
			Largeur Digue en pied	Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000
1	1_Nevers_est_1_PK50	19,77	-0,83	-0,52	0,13	0,67	1,22	1,44	0,14	0,11
2	1_Nevers_est_1_PK100	21,98	0,61	0,93	1,58	2,13	2,68	1,82	0,11	0,09
3	1_Nevers_est_1_PK150	35,44	1,46	1,78	2,42	2,96	3,50	1,80	0,09	0,06
4	1_Nevers_est_2_PK200	31,06	1,08	1,40	2,05	2,59	3,13	1,80	0,09	0,07
5	1_Nevers_est_2_PK250	28,95	0,81	1,13	1,78	2,32	2,87	1,78	0,08	0,06
6	1_Nevers_est_2_PK300	27,42	0,92	1,24	1,88	2,43	2,97	1,77	0,06	0,05
7	1_Nevers_est_2_PK350	37,49	0,90	1,22	1,87	2,42	2,97	1,74	0,03	0,02
8	1_Nevers_est_2_PK400	33,28	0,92	1,24	1,89	2,44	2,98	1,72	0,01	0,01
9	1_Nevers_est_2_PK450	35,91	0,97	1,29	1,93	2,48	3,03	1,70	0,00	0,00
10	1_Nevers_est_2_PK500	34,49	0,43	0,74	1,39	1,93	2,48	1,68	-0,03	-0,03
11	1_Nevers_est_2_PK550	35,46	1,17	1,49	2,13	2,67	3,22	1,65	-0,06	-0,06
12	1_Nevers_est_2_PK600	30,46	1,60	1,92	2,56	3,10	3,64	1,63	-0,07	-0,09
13	1_Nevers_est_2_PK650	30,70	2,25	2,57	3,20	3,74	4,28	1,61	-0,10	-0,12
14	1_Nevers_est_2_PK700	39,09	2,13	2,45	3,08	3,62	4,15	1,56	-0,16	-0,21
15	1_Nevers_est_2_PK750	31,18	-3,94	-3,62	-2,99	-2,46	-1,92	-1,71	-1,53	-1,28
16	1_Nevers_est_2_PK800	42,33	2,42	2,73	3,36	3,90	4,43	4,64	2,16	0,25
17	1_Nevers_est_2_PK850	42,67	1,99	2,31	2,94	3,48	4,01	4,22	2,11	0,21
18	1_Nevers_est_2_PK900	42,27	1,99	2,31	2,94	3,47	3,99	4,21	2,09	0,19
19	1_Nevers_est_2_PK950	31,39	2,02	2,34	2,96	3,49	4,01	4,23	2,08	0,18
20	1_Nevers_est_2_PK1000	34,13	2,01	2,32	2,95	3,47	4,00	4,21	2,09	0,19
21	1_Nevers_est_2_PK1050	32,96	1,77	2,09	2,71	3,24	3,76	3,97	2,09	0,18
22	1_Nevers_est_2_PK1100	32,02	1,80	2,11	2,74	3,26	3,79	4,00	2,06	0,14
23	1_Nevers_est_2_PK1150	38,46	1,88	2,19	2,81	3,34	3,86	4,08	2,03	0,11
24	1_Nevers_est_2_PK1200	38,88	2,18	2,49	3,12	3,65	4,17	4,38	2,02	0,10
25	1_Nevers_est_2_PK1250	40,76	2,08	2,39	3,02	3,55	4,07	4,29	2,02	0,10
26	1_Nevers_est_2_PK1300	41,89	2,46	2,77	3,40	3,93	4,45	4,66	2,01	0,11
27	1_Nevers_est_2_PK1350	41,32	2,54	2,86	3,49	4,02	4,54	4,75	2,02	0,11
28	1_Nevers_est_2_PK1400	39,60	1,64	1,96	2,59	3,11	3,64	3,85	2,02	0,13
29	1_Nevers_est_2_PK1450	33,63	0,60	0,92	1,55	2,08	2,60	2,82	2,02	0,13
52	1_Nevers_est_3_PK2600	11,85	-0,37	-0,05	0,59	1,13	1,66	1,88	1,75	-0,09
53	1_Nevers_est_3_PK2650	14,54	0,00	0,32	0,96	1,50	2,03	2,24	1,76	-0,08
54	1_Nevers_est_3_PK2700	16,94	0,28	0,59	1,23	1,77	2,30	2,25	1,76	-0,07
55	1_Nevers_est_3_PK2750	18,00	0,45	0,76	1,39	1,93	2,46	2,25	1,76	-0,07
56	1_Nevers_est_3_PK2800	14,92	0,41	0,73	1,36	1,89	2,42	2,25	1,76	-0,06
57	1_Nevers_est_3_PK2850	17,62	0,84	1,15	1,77	2,31	2,83	2,26	1,77	-0,06
58	1_Nevers_est_3_PK2900	17,59	0,94	1,25	1,87	2,40	2,92	2,26	1,77	-0,05
59	1_Nevers_est_3_PK2950	13,65	0,28	0,58	1,19	1,72	2,24	2,26	1,77	-0,04
60	1_Nevers_est_3_PK3000	13,20	0,22	0,51	1,13	1,65	2,17	2,38	1,77	-0,03
61	1_Nevers_est_3_PK3050	13,90	0,48	0,77	1,38	1,90	2,42	2,63	2,81	-0,02
62	1_Nevers_est_3_PK3100	13,79	0,07	0,36	0,97	1,49	2,01	2,22	2,40	-0,02
63	1_Nevers_est_3_PK3150	12,81	-0,09	0,19	0,78	1,30	1,82	2,03	2,20	-0,01
64	1_Nevers_est_3_PK3200	10,12	-0,84	-0,57	0,02	0,54	1,05	1,26	1,43	-0,01
65	1_Nevers_est_3_PK3250	19,95	-1,28	-1,03	-0,46	0,05	0,56	0,77	0,94	1,32
66	1_Nevers_est_3_PK3300	16,92	-1,69	-1,44	-0,88	-0,37	0,14	0,35	0,52	0,90
67	1_Nevers_est_3_PK3350	16,07	-2,14	-1,90	-1,35	-0,85	-0,34	-0,13	0,04	0,41
68	1_Nevers_est_3_PK3400	15,65	-2,80	-2,57	-2,04	-1,54	-1,04	-0,83	-0,66	-0,29
69	1_Nevers_est_3_PK3450	24,09	-2,30	-2,08	-1,56	-1,07	-0,57	-0,36	-0,19	0,18
70	1_Nevers_est_3_PK3500	23,31	-2,44	-2,23	-1,72	-1,24	-0,74	-0,54	-0,37	0,01



N° du Profil utilisé	Abscisse sur le tronçon	Géométrie Largeur Digue en pied	Charge hydraulique Zcrue - Zb OU Zcrue - Zval en cas d'inondation du Val(cases bleues)								
			Q50	Q70	Q100	Q200	Q500	Q750	Q1000	Q1400	
1	2_Nevers_ouest_1_PK0	48,75	-0,51	-0,50	-0,48	-0,20	-0,06	0,02	0,10	0,28	
2	2_Nevers_ouest_1_PK50	43,95	-0,87	-0,86	-0,83	-0,52	-0,37	-0,28	-0,20	0,00	
3	2_Nevers_ouest_1_PK100	38,09	-0,46	-0,45	-0,41	-0,11	0,05	0,14	0,22	0,42	
4	2_Nevers_ouest_1_PK150	31,49	0,69	0,70	0,74	1,04	1,21	1,31	1,39	1,60	
5	2_Nevers_ouest_1_PK200	31,83	-0,29	-0,28	-0,24	0,05	0,23	0,32	0,41	0,63	
6	2_Nevers_ouest_1_PK250	33,31	-0,68	-0,67	-0,63	-0,34	-0,16	-0,07	0,02	0,25	
7	2_Nevers_ouest_1_PK300	25,81	-0,14	-0,13	-0,08	0,19	0,38	0,48	0,57	0,80	
8	2_Nevers_ouest_1_PK350	28,29	0,52	0,53	0,58	0,84	1,04	1,14	1,24	1,48	
9	2_Nevers_ouest_1_PK400	29,87	0,18	0,19	0,24	0,50	0,70	0,81	0,91	1,16	
10	2_Nevers_ouest_1_PK450	27,73	0,34	0,35	0,41	0,69	0,89	1,00	1,10	1,36	
11	2_Nevers_ouest_1_PK500	28,44	0,52	0,54	0,60	0,89	1,10	1,21	1,32	1,57	
12	2_Nevers_ouest_1_PK550	27,95	0,50	0,52	0,58	0,88	1,09	1,20	1,31	1,56	
13	2_Nevers_ouest_1_PK600	28,06	0,66	0,68	0,74	1,04	1,26	1,38	1,49	1,75	
14	2_Nevers_ouest_1_PK650	27,76	0,41	0,43	0,50	0,79	1,02	1,15	1,26	1,53	
15	2_Nevers_ouest_1_PK700	28,23	0,56	0,57	0,66	0,94	1,18	1,31	1,43	1,71	
16	2_Nevers_ouest_1_PK750	27,03	0,18	0,20	0,30	0,58	0,84	0,97	1,09	1,37	
17	2_Nevers_ouest_1_PK800	29,53	-0,26	-0,23	-0,13	0,14	0,41	0,54	0,67	0,96	
18	2_Nevers_ouest_1_PK850	28,20	0,26	0,28	0,39	0,65	0,93	1,07	1,20	1,50	
19	2_Nevers_ouest_1_PK900	29,60	-0,26	-0,23	-0,11	0,15	0,44	0,59	0,72	1,03	
20	2_Nevers_ouest_1_PK950	30,71	-0,15	-0,12	0,04	0,34	0,64	0,80	0,93	1,25	
21	2_Nevers_ouest_1_PK1000	31,51	-0,73	-0,69	-0,53	-0,18	0,13	0,29	0,43	0,74	
22	2_Nevers_ouest_1_PK1050	26,59	-0,35	-0,31	-0,13	0,23	0,55	0,71	0,85	1,17	
23	2_Nevers_ouest_1_PK1100	27,66	-0,31	-0,26	-0,07	0,27	0,61	0,77	0,91	1,23	
24	2_Nevers_ouest_1_PK1150	27,66	-0,33	-0,27	-0,07	0,25	0,61	0,78	0,92	1,24	
25	2_Nevers_ouest_1_PK1200	25,28	-0,45	-0,39	-0,16	0,15	0,54	0,72	0,87	1,19	
26	2_Nevers_ouest_1_PK1250	29,36	-0,91	-0,83	-0,56	-0,27	0,15	0,33	0,48	0,81	
27	2_Nevers_ouest_1_PK1300	28,16	-0,81	-0,70	-0,37	-0,06	0,38	0,57	0,72	1,06	
28	2_Nevers_ouest_1_PK1350	27,14	-1,07	-0,94	-0,55	-0,18	0,28	0,48	0,64	0,99	
29	2_Nevers_ouest_1_PK1400	25,76	-1,98	-1,84	-1,45	-1,04	-0,59	-0,39	-0,23	0,13	
30	2_Nevers_ouest_1_PK1450	39,89	-2,72	-2,58	-2,17	-1,73	-1,27	-1,07	-0,91	-0,55	
31	2_Nevers_ouest_1_PK1500	41,76	-3,92	-3,75	-3,31	-2,86	-2,39	-2,19	-2,03	-1,66	
32	2_Nevers_ouest_1_PK1550	27,17	-2,22	-2,02	-1,53	-1,06	-0,57	-0,37	-0,20	0,17	
33	2_Nevers_ouest_1_PK1600	52,13	-3,38	-3,18	-2,66	-2,18	-1,68	-1,48	-1,31	-0,94	
34	2_Nevers_ouest_1_PK1650	34,01	-2,39	-2,17	-1,64	-1,16	-0,65	-0,45	-0,27	0,10	
35	2_Nevers_ouest_1_PK1700	16,64	-3,17	-2,94	-2,40	-1,91	-1,40	-1,19	-1,02	-0,65	
36	2_Nevers_ouest_1_PK1750	14,76	-3,16	-2,92	-2,37	-1,87	-1,36	-1,15	-0,98	-0,61	
37	2_Nevers_ouest_1_PK1800	23,80	-2,98	-2,73	-2,17	-1,66	-1,15	-0,94	-0,77	-0,40	
38	2_Nevers_ouest_1_PK1850	12,95	-2,06	-1,81	-1,24	-0,73	-0,22	-0,01	0,17	0,54	
39	2_Nevers_ouest_1_PK1900	25,78	-1,23	-0,95	-0,36	0,15	0,67	0,88	1,05	1,42	
40	2_Nevers_ouest_1_PK1950	29,00	-0,11	0,17	0,77	1,29	1,80	2,01	2,18	2,56	
41	2_Nevers_ouest_1_PK2000	28,10	0,26	0,54	1,15	1,67	2,19	2,40	2,57	2,94	
42	2_Nevers_ouest_1_PK2050	17,46	-0,55	-0,26	0,35	0,87	1,39	1,61	1,78	2,15	
43	2_Nevers_ouest_1_PK2100	19,04	0,07	0,37	0,98	1,51	2,03	2,24	2,42	2,78	
44	2_Nevers_ouest_1_PK2150	23,99	0,58	0,88	1,50	2,03	2,55	2,76	2,94	3,29	
45	2_Nevers_ouest_1_PK2200	24,18	0,94	1,24	1,86	2,39	2,92	3,13	3,30	3,65	
46	2_Nevers_ouest_1_PK2250	23,15	0,90	1,21	1,84	2,37	2,89	3,10	3,28	3,62	
47	2_Nevers_ouest_1_PK2300	21,59	0,79	1,11	1,74	2,28	2,81	3,02	3,20	3,53	
48	2_Nevers_ouest_1_PK2350	29,06	0,94	1,25	1,89	2,42	2,95	3,17	3,34	3,68	
49	2_Nevers_ouest_1_PK2400	22,48	0,63	0,95	1,59	2,13	2,66	2,87	3,05	3,37	
50	2_Nevers_ouest_1_PK2450	22,51	0,68	1,00	1,65	2,19	2,72	2,93	3,11	3,43	
51	2_Nevers_ouest_1_PK2500	22,64	0,40	0,72	1,37	1,91	2,44	2,65	2,83	3,14	
52	2_Nevers_ouest_1_PK2550	21,59	0,39	0,71	1,36	1,90	2,44	2,65	2,83	3,13	
53	2_Nevers_ouest_1_PK2600	28,26	-0,72	-0,40	0,26	0,80	1,33	1,55	1,72	2,02	
54	2_Nevers_ouest_2_PK2650	21,58	0,43	0,76	1,42	1,96	2,49	2,71	2,89	3,17	
55	2_Nevers_ouest_2_PK2700	19,89	-0,16	0,17	0,83	1,38	1,92	2,13	2,32	2,59	
56	2_Nevers_ouest_2_PK2750	21,86	-0,10	0,23	0,89	1,44	1,97	2,19	2,37	2,64	
57	2_Nevers_ouest_2_PK2800	21,67	0,44	0,76	1,42	1,97	2,50	2,72	2,90	3,17	
58	2_Nevers_ouest_2_PK2850	21,37	0,45	0,78	1,43	1,98	2,52	2,73	2,91	3,19	
59	2_Nevers_ouest_2_PK2900	21,53	0,30	0,63	1,28	1,82	2,36	2,57	2,75	3,03	
60	2_Nevers_ouest_2_PK2950	22,67	0,43	0,75	1,39	1,94	2,47	2,69	2,87	3,14	
61	2_Nevers_ouest_2_PK3000	21,66	0,24	0,56	1,19	1,73	2,27	2,48	2,66	2,94	
62	2_Nevers_ouest_2_PK3050	21,30	0,20	0,52	1,15	1,69	2,22	2,43	2,61	2,89	
63	2_Nevers_ouest_2_PK3100	19,28	-0,21	0,10	0,72	1,25	1,77	1,99	2,17	2,44	
64	2_Nevers_ouest_2_PK3150	18,50	-0,21	0,10	0,70	1,22	1,74	1,96	2,14	2,41	
65	2_Nevers_ouest_2_PK3200	19,44	0,21	0,52	1,11	1,62	2,14	2,35	2,53	2,81	
66	2_Nevers_ouest_2_PK3250	21,25	0,26	0,56	1,14	1,64	2,16	2,38	2,55	2,83	
67	2_Nevers_ouest_2_PK3300	20,61	0,17	0,47	1,04	1,54	2,06	2,27	2,45	2,72	
68	2_Nevers_ouest_2_PK3350	22,19	0,32	0,61	1,18	1,68	2,19	2,41	2,59	2,86	
69	2_Nevers_ouest_2_PK3400	22,89	0,59	0,89	1,45	1,95	2,47	2,68	2,86	3,13	
70	2_Nevers_ouest_2_PK3450	20,40	0,06	0,36	0,92	1,42	1,93	2,15	2,33	2,60	
71	2_Nevers_ouest_2_PK3500	21,54	0,09	0,39	0,95	1,44	1,96	2,17	2,35	2,62	
72	2_Nevers_ouest_2_PK3550	24,55	1,42	1,71	2,27	2,77	3,28	3,49	3,67	3,94	
73	2_Nevers_ouest_3_PK3600	24,24	1,48	1,78	2,34	2,83	3,34	3,56	3,73	4,00	
74	2_Nevers_ouest_3_PK3650	13,70	-0,22	0,07	0,63	1,12	1,63	1,84	2,02	2,29	
75	2_Nevers_ouest_3_PK3700	12,90	-0,32	-0,03	0,53	1,02	1,53	1,74	1,91	2,18	
76	2_Nevers_ouest_3_PK3750	14,82	-1,21	-1,21	0,72	1,18	1,65	1,86	2,04	2,30	
77	2_Nevers_ouest_3_PK3800	15,64	-1,69	-1,69	-1,69	0,64	1,03	1,25	1,43	1,71	
78	2_Nevers_ouest_3_PK3850	13,01	-1,31	-1,31	-1,31	0,79	1,35	1,58	1,76	2,04	
79	2_Nevers_ouest_3_PK3900	7,92	-1,56	-1,56	-1,56	0,49	1,02	1,23	1,41	1,67	
80	2_Nevers_ouest_3_PK3950	21,65	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	1,78	1,99	2,17	2,43	
81	2_Nevers_ouest_3_PK4000	56,18	-0,39	0,43	1,11	1,66	2,18	2,40	2,57	2,83	
82	2_Nevers_ouest_3_PK4050	9,47	0,55	0,90	1,57	2,11	2,63	2,84	3,01	3,27	
83	2_Nevers_ouest_3_PK4100	11,71	-1,56	-1,21	-0,55	0,00	0,52	0,73	0,91	1,16	
84	2_Nevers_ouest_3_PK4150	13,92	0,54	0,89	1,56	2,10	2,63	2,84	3,01	3,27	
85	2_Nevers_ouest_3_PK4200	15,93	-1,91	-1,56	-0,90	-0,35	0,17	0,38	0,55	0,81	
86	2_Nevers_ouest_3_PK4250	34,42	-3,33	-2,99	-2,33	-1,78	-1,26	-1,05	-0,88	-0,62	



## 10.2 REDUCTION DU RISQUE PAR DES MESURES DE GESTION

Compte tenu des résultats de l'étude de dangers du système d'endiguement, il convient de mettre au point une stratégie destinée à limiter les dangers potentiellement encourus.

### 10.2.1 Mesures relevant du gestionnaire

Comme indiqué au chapitre 1, Les ouvrages constitutifs du système d'endiguement de ce val et leurs terrains d'assiette sont propriété de la commune de Nevers et font partie du domaine public fluvial (à l'exception de la levée de Maison rouge qui a un propriétaire privé).

La commune est également gestionnaire.

#### 10.2.1.1 Consignes écrites

Conformément aux exigences fixées par le décret du 11 décembre 2007 et l'arrêté du 29 février 2008, le gestionnaire a élaboré des consignes écrites qui fixent les dispositions mises en œuvre pour surveiller l'ensemble des systèmes d'endiguement de la Loire dont il a la charge.

Conformément à la réglementation, y sont décrites les dispositions de gestion adoptées par la commune et par, que ce soit en temps normal, en temps de crue, ou bien en post-crue.

- S'agissant de la gestion en temps normal ou en post-crue, les dispositions sont explicitement détaillées dans le document. Elle est adaptée et à poursuivre ;
- S'agissant de la gestion en situation de crue, les consignes écrites renvoient au Plan de Surveillance des Levées (PSL), qui fait partie intégrante du dispositif de crise préfectoral déclenché en cas d'inondation. Ce plan décrit les modalités spécifiques de surveillance des ouvrages mises en œuvre lors de crues importantes.

238

#### 10.2.1.2 Surveillance de l'ouvrage

##### *10.2.1.2.1 Surveillance hors crue*

Concernant la surveillance hors crue, le rédacteur de l'étude n'a pas de remarques à formuler.

##### *10.2.1.2.2 Surveillance en crue*

La surveillance en période de crue des levées à la charge du gestionnaire est organisée et décrite dans le Plan de Surveillance des Levées. Comme précisé au chapitre 4, ce document est en cours d'écriture et sera pleinement opérationnel pour fin 2018.

Sur cette base la mise en place de deux types de surveillance est recommandée.

- La première aura pour objectif de réduire le risque de rupture de digue, au droit des secteurs jugés prioritaire. Cette surveillance dénommée SOA : surveillance de l'ouvrage adaptée (SOA) au cours de la crue aura pour objectif principal de détecter au plus tôt tout désordre lié à la mise en charge de la levée et susceptible de conduire à sa ruine, d'en suivre son évolution et d'engager, le cas échéant, les actions d'urgence nécessaires (cf. § 9.2.1.6). Il est précisé que l'efficacité de cette surveillance est assujettie à l'identification préalable d'une entreprise de travaux, mobilisable en période d'astreinte et ayant les compétences et la capacité de réaliser des travaux d'urgence. Il est notamment attendue l'élaboration préalable de fiches d'action décrivant les travaux à réaliser selon le diagnostic établi, l'élaboration préalable de fiches de cheminement



décrivant le cheminement à emprunter selon la localisation du désordre et la constitution préalable de stocks de matériaux prêt à l'emploi.

- Le deuxième type de surveillance recommandé a pour objectif de pouvoir déclencher, si besoin, une évacuation de la zone protégée en fonction des désordres détectés. De fait, cette surveillance doit être menée simultanément sur l'ensemble du linéaire constituant le système d'endiguement du val.

Il est précisé, dans les deux cas, que cette surveillance doit permettre le suivi du comportement de l'ouvrage en charge par du personnel qualifié et devant travailler dans des conditions rendus difficiles (accessibilité, sécurité,...).

### 10.2.1.3 Entretien de l'ouvrage

L'entretien des levées de la Loire a été inscrit dans le plan Loire, dès son origine, comme une action indispensable du socle de la stratégie pour la réduction du risque d'inondation. Cette action comprend :

- le traitement de la végétation herbacée et la suppression de toute végétation ligneuse ;
- la création et l'entretien des chemins de service ;
- la gestion des animaux fouisseurs (préventive, en empêchant les animaux de s'installer ; curative, en réparant les dégâts en urgence dans l'attente d'une réparation lourde, si nécessaire) ;
- l'entretien des vannes et des clapets.

L'entretien des digues doit bien évidemment être maintenu, mais aussi s'ajuster aux besoins identifiés par la présente étude et par les différents rapports de surveillance.

239

### 10.2.1.4 Entretien et restauration du lit de la Loire

L'entretien du lit de la Loire a lui aussi été inscrit dans le plan Loire, dès son origine, comme une des actions de la stratégie globale de réduction du risque d'inondation. Depuis 1994, des opérations d'entretien et de restauration du lit de la Loire ont été menées régulièrement.

Depuis 2009, la DDT58 fait réaliser progressivement un traitement des boisements et une scarification de tous les atterrissements végétalisés en amont et en aval du pont de Loire (fréquence annuelle). Cela permet de réduire la ligne d'eau en crue et d'autre part de mobiliser les matériaux des atterrissements réduction des vitesses au droit de la zone urbaine de Nevers).

Concernant le présent val, on constate que deux secteurs se caractérisent par des écoulements sécants.

L'entretien du lit de la Loire doit être poursuivi et intensifié pour enrayer cette évolution. Des mesures de gestion des atterrissements sont notamment à envisager au niveau des secteurs de levées les plus sollicités.

### 10.2.1.5 Gestion de l'usage des digues

Les levées peuvent être utilisées pour satisfaire différents usages :

- accès unique à des parcelles enclavées (aménagement de rampes d'accès) ;
- canalisations traversantes pour irrigation ou réseaux divers (gaz, électricité, etc.) ;
- aménagements de riverains (clôtures, haies, remblai, etc.) ;
- aménagements communaux (bancs, fossés, etc.);



- voies de circulation supportées par les digues et chemins de service.

Tous ces usages sont encadrés par le gestionnaire qui a pour mission d'instruire les dossiers de demande correspondants avec l'appui, si nécessaire, du service de Contrôle des Ouvrages Hydrauliques (SCOH).

Le gestionnaire doit ainsi s'assurer, lors de l'instruction, que les aménagements ou l'utilisation des lieux envisagés sont sans impact sur la pérennité des levées, leur niveau de protection et les conditions de surveillance.

Les contraintes à respecter et les points de vigilance doivent être clairement spécifiés au pétitionnaire dans les conventions signées par les deux parties.

Une surveillance est également à exercer durant toute la durée de vie des aménagements, car l'expérience montre que certains services ou riverains ne sont pas conscients ou sont mal informés des contraintes à respecter, conformément au code général de la propriété des personnes publiques (article L.2124-8).

#### *10.2.1.5.1 Les canalisations traversantes*

Les résultats de l'étude de dangers mettent clairement en avant les effets très préjudiciables des canalisations traversantes sur la tenue des levées en cas de crue.

En conséquence, toute demande de nouvelle canalisation traversante sera dorénavant refusée et seule une argumentation étayée, expliquant qu'il n'y a pas d'alternative et qui sera jugée recevable par le gestionnaire, permettra de déroger à cette règle. Des techniques non préjudiciables (ex : franchissement type « siphon-inversé » par-dessus l'ouvrage et/ou forage dirigé dans le substratum) ou justifiées techniquement (ex : avec réalisation d'écran anti-renard) devront dès lors être mises en œuvre. Elles seront définies en concertation avec les services spécialisés. Les travaux seront suivis par un bureau d'études agréé, à la charge du pétitionnaire.

De même, une vigilance particulière sera apportée à toute demande de résiliation de convention concernant une canalisation traversante. Elle ne pourra être prononcée qu'après remise en état des lieux, c'est-à-dire après enlèvement de la canalisation et réparation de la digue.

#### *10.2.1.5.2 Recours à une maîtrise d'œuvre agréée*

Pour tous les travaux sur les levées qui pourraient être envisagés par un tiers (passage de canalisation, rampe d'accès, etc.) et qui sont jugés inévitables par le gestionnaire, le recours à une maîtrise d'œuvre agréée au sens du décret du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques est exigée, tant en phase d'étude qu'en phase de réalisation. De même, pour les interventions qui relèvent du gestionnaire, il conviendra d'effectuer systématiquement soit de faire appel à un bureau d'étude agréé, soit d'effectuer une demande d'appui technique au Département Études et Travaux de la Loire de la DREAL Centre Val de Loire, qui est titulaire de cet agrément.

D'une manière générale, la présente étude montre l'importance de la gestion des aménagements et ouvrages inclus dans les levées (type canalisation) pour la sécurité de l'ouvrage. Il apparaît donc important de mettre en place :

- si elle n'est pas d'ores et déjà existante, une procédure d'autorisation ou de refus des canalisations dans la levée.
- un programme de résorption des canalisations impactant le niveau de sûreté (altitude dans la digue, condition de mise en œuvre, abandonnées ou non indispensables, etc.) avec des travaux à programmer dans un prochain contrat de plan.



### 10.2.1.5.3 Sensibilisation du public

D'une manière générale, l'ensemble des études de dangers relatives ont mis en évidence la nécessité de renforcer la sensibilisation du public vis-à-vis de la vocation de protection des ouvrages constitutifs du système d'endiguement, dont le rôle a parfois été oublié du fait de l'absence de crue majeure récente et de ses autres usages.

Une telle campagne de sensibilisation pourrait, par exemple, prendre la forme de panneaux d'information disposés en des points stratégiques (bonne visibilité, lieu de passage, etc.) et ayant pour objectif de rappeler l'importance du maintien de l'intégrité de ces ouvrages.

### 10.2.1.6 Actions d'urgence en crue

Les retours d'expérience mettent en évidence l'importance de l'action au moment de la crue, que ce soit juste avant, pendant ou juste après. En conséquence, il est nécessaire de mettre au point un plan d'actions ainsi que sa procédure d'activation (renforcement en sacs de sable, enrochement big-bag, colmatage, mise en place de masque étanche, etc.) en lien avec les procédures de gestion de crise.

Sur ce dernier point, une attention particulière doit être portée, d'une part, sur la nature, localisation et la quantité des stocks et, d'autre part, sur l'itinéraire des engins pour accéder aux différents points stratégiques en tenant compte des problématiques d'accessibilité en cas de crue. En outre, des fiches de procédures claires et détaillées devront être élaborées afin de garantir que la solution de confortement temporaire mise en œuvre par l'entreprise est adaptée au problème rencontré et réalisée dans les règles de l'art.

### 10.2.1.7 Gestion du dossier d'ouvrage

Il est important de mettre à jour régulièrement les informations contenues dans le dossier d'ouvrage. Il est donc essentiel que toute nouvelle information concernant la levée soit convenablement enregistrée dans la base de données.

241

### 10.2.1.8 Exercices

Compte tenu de la faible fréquence des phénomènes susceptibles d'occasionner le déclenchement des différents plans et procédures de gestion des risques, il est indispensable de réaliser des exercices pour les évaluer régulièrement et les faire évoluer en tant que de besoin.

## 10.2.2 Mesures à mettre en œuvre dans le zone protégée

### 10.2.2.1 Mise en sécurité des populations

Au-delà du niveau de sûreté du système d'endiguement, la probabilité de rupture des levées ne peut plus être considérée comme négligeable. Une mise en sécurité préventive de la population potentiellement exposée au danger est à envisager, par exemple sous la forme d'une évacuation.

Nota : Un protocole ORSEC existe. Il a été validé par le préfet de la Nièvre le 6/07/2015.

Le seuil retenu pour l'évacuation est une crue atteignant une hauteur relative de 5,20m à la station de Nevers. Pour rappel, la Loire atteignant 3,88m en décembre 2003, 5,34m en 1907 et 6,36m en 1866.



**Le seuil retenu pour l'évacuation devra être mis à jour rapidement en utilisant les résultats de la présente EDD.**

### 10.2.2.2 Plans communaux de sauvegarde

Conformément à la loi du 13 août 2004 relative à l'organisation de la sécurité civile, les communes situées pour partie dans la zone protégée du val, doivent mettre en œuvre un Plan Communal de Sauvegarde (PCS) à l'échelle de son territoire. À ce titre, elles doivent intégrer dans leur PCS toutes les dispositions existantes relatives à la sécurité des personnes face au risque de rupture des digues.

Ce plan communal de sauvegarde (PCS), validé par le préfet de la Nièvre le 22 février 2010, prévoit de la même manière et selon les mêmes modalités, l'évacuation anticipée de la rive droite de la Loire à Nevers.

### 10.2.2.3 Plan d'intervention communautaire

L'Agglomération de Nevers intervient également en matière de gestion des risques majeurs à l'échelle communautaire. En effet, les communes qui font partie de l'Agglomération de Nevers ont validé la mise en place d'un Plan d'intervention communautaire (PIC), constitué de procédures qui se déclinent à l'échelle intercommunale.

Ce Plan est complémentaire au PCS des communes. Les procédures concernent le volet alerte de la gestion de crise et également le volet hébergement de la gestion de crise et le volet approvisionnement en eau potable de la population.

### 10.2.2.4 Plan de prévention du risque d'inondation

242

La présente étude de dangers a permis de définir le niveau de sûreté du système d'endiguement et de délimiter les zones de dangers et la zone de dissipation d'énergie liée aux brèches potentielles.

Ces résultats seront portés à la connaissance du Préfet et des élus en vue de la révision du PPRi, actuellement approuvé et en vigueur, afin que soit mieux pris en compte le risque d'inondation lié à la présence du système d'endiguement.

### 10.2.2.5 Prévion des crues

La prévion des crues est assurée par le Service de Prévion des Crues (SPC) Loire-Cher-Indre.

Les informations fournies par le SPC constituent des données d'entrée essentielles pour la mise en œuvre de mesures préventives de gestion des risques telles que la surveillance en crue ou la mise en sécurité des populations.

A l'inverse, les connaissances apportées par la présente étude de dangers seront portées à la connaissance du SPC en vue de la révision du Règlement d'Information sur les Crues (RIC) encadrant la prévion des crues sur le territoire de compétence du SPC.



## 10.3 REDUCTION DU RISQUE PAR DES MESURES SUR LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

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

### 10.3.1 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

La coupe au ras du sol de la végétation ligneuse n'est pas suffisante en soi, les racines restent en effet présentes dans le corps de la digue longtemps après la coupe de l'arbre. Au cours de la décomposition, elles laissent en effet place à un conduit. Il est nécessaire en conséquence :

- de restaurer l'étanchéité des tronçons de digue qui ont été affectés par de la végétation ligneuse, soit par mise en œuvre d'un écran étanche, soit en reconstruisant totalement le ou les talus concernés;

et/ou

- de se prémunir contre le risque d'érosion interne en mettant en œuvre au droit du talus côté val, un massif filtrant.

- Traiter les zones sensibles aux risques d'érosion interne ou renard hydraulique :

En filtrant les matériaux au niveau des infiltrations d'eau : les massifs filtrants diminuent le risque d'érosion interne et/ou d'apparition de renard hydraulique.

Ce type de confortement est particulièrement adapté aux secteurs de faible largeur et/ou soumis à d'importantes charges hydrauliques en cas de crue.

Dans le cas des mesures structurelles, au-delà des mesures recommandés et nécessaires suite aux modélisations CARDigue, certains travaux sont assimilés à des travaux d'entretien et de maintenance qu'il convient de réaliser le plus rapidement possible même si un caractère progressif est inévitable lorsqu'ils représentent des volumes et coûts importants. Ces travaux sont présentés ci-dessous par ordre de priorité :

- Traiter les zones endommagés par les animaux fouisseurs ;

L'étude de dangers a mis en évidence que les animaux fouisseurs créent des terriers susceptibles de dégrader significativement l'étanchéité de la digue (§5.1.7.4). Il est nécessaire de traiter ce type de problème dès son apparition en rebouchant les terriers et en empêchant le retour des fouisseurs par piégeage et en installant des grillages sous la terre végétale des talus. Néanmoins, les réparations provisoires ne restaurent pas totalement l'étanchéité, car elles laissent des cavités et des interfaces entre matériaux de la levée et de rebouchage, qui facilitent l'érosion interne. Il est nécessaire en conséquence :

- de restaurer l'étanchéité des tronçons de digue qui ont été détériorés, soit par mise en œuvre d'un écran étanche, soit en reconstruisant totalement le ou les talus concernés;

et/ou



- de se prémunir contre le risque d'érosion interne en mettant en œuvre au droit du talus côté val, un massif filtrant.



■ Traiter les canalisations

La présente étude de dangers a établi, dans le calcul de résistance à l'érosion interne, que la présence de canalisations et d'ouvrages traversant la levée ou inclus dans le corps de la levée baisse sensiblement le niveau de sûreté de celle-ci (§5.1.7.1 et chapitre 8).

Il est nécessaire en conséquence :

- de supprimer la canalisation et, localement, de reconstituer totalement l'ouvrage ;
- et/ou de se prémunir contre le risque d'érosion interne en mettant en œuvre au droit du talus côté val, un massif filtrant.
- et/ou de restaurer l'étanchéité au cœur de l'ouvrage en réalisant un écran étanche ou un voile d'injection d'étanchéité.

Nota : Dans le même temps, il faudra procéder à la recherche des canalisations ou de traces de canalisations qui auraient pu échapper à l'inventaire qui a été dressé dans le cadre de l'étude de dangers.

### 10.3.2 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 donc 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.

245

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, « 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 éventuelles, etc.) ;
- concernant le deuxième principe :
  - pour déterminer la largeur déversante en fonction du débit déversant et du temps de remplissage du val souhaité ;
  - pour 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.

### 10.3.3 Études et travaux à réaliser – Val Est

Compte tenu des visites réalisées et de la connaissance actuelle des ouvrages, le présent paragraphe présente les études et travaux envisagés au droit du val Est..

246

#### 10.3.3.1 Priorité 1 : Réflexion sur la ligne de défense principale et travaux

Ce point fait l'objet des études présentés au §5.1.3 du présent Addendum.



### 10.3.3.2 Priorité 2

Concernant le val Est, les travaux jugés de priorité 2 concernent la levée de St Eloi 2<sup>ème</sup> section entre les pk1450 et 1550, soit sur environ 100m. Ce tronçon présente en effet de nombreux terriers.



Afin de pérenniser le système d'endiguement sur ce linéaire, il est recommandé d'araser la digue et de la reconstruire conformément aux règles de l'art.

Il convient de rappeler que la conception et le chiffrage d'un tel ouvrage nécessite une étude spécifique. Néanmoins, les coûts d'ordre de ces travaux, sur un linéaire estimatif d'environ 100m est d'environ 100 000 euros hors taxes<sup>5</sup>.

### 10.3.3.3 Priorité 3

#### 10.3.3.3.1 Rappel du contexte

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.

#### 10.3.3.3.2 Objectifs retenus

La zone de surverse projetée a pour objectif :

- D'une part de stabiliser la probabilité de rupture des ouvrages par inondation de la zone protégée et, en conséquence, par réduction de la charge hydraulique ;
- Et, d'autre part de minimiser le risque de brèche en cas de surverse généralisée. En effet, à compter de T500, le risque de surverse ne peut

<sup>5</sup> Hors études, acquisitions foncières et aléas



plus être considéré comme négligeable et l'objectif recherché est donc de sécuriser l'ouvrage vis-à-vis de la rupture par surverse par le matelas d'eau qui sera présent en pied de talus côté zone protégée.

Afin d'étudier l'incidence de l'inondation du val, des simulations ont été réalisées à l'aide de Cardigue, en intégrant de manière fictive, un niveau d'eau dans le val, afin d'évaluer l'incidence d'un remplissage du val.

### 10.3.3.3 Méthodologie mise en œuvre et principaux résultats

#### METHODOLOGIE

Afin d'étudier l'incidence du déversoir :

Phase 1 - Etude simplifiée de nombreuses configurations d'aménagement

Calcul de remplissage des casiers 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.

Cette méthode a permis d'étudier un nombre important de simulations en faisant varier la largeur et la cote de surverse.

Les résultats obtenus en termes de remplissage ont été analysés à l'aide de cardigue afin de déterminer, d'une part, si le remplissage était suffisant pour équilibrer les charges et, d'autre part, si le remplissage était assez rapide.

Phase 2 – Etude détaillée de plusieurs configurations d'aménagement :

Modélisation hydraulique avec adaptation du modèle TELEMAC2D pour représenter les différentes variantes d'aménagement retenues par le MOA.

Phase 3 – Modélisation sous Cardigue de l'inondation du val pour 3 pas de temps distincts

Afin de confirmer et préciser la pertinence et l'efficacité des scénarios modélisés en phase 2, il a été utilisé Cardigue en saisissant pour une occurrence donnée et 3 pas de temps différents, le niveau de la Loire et le niveau de remplissage du val.

Les pas de temps considérés correspondent :

- au moment de la surverse (dénommé  $t_0$ )
- à quelques heures après la surverse
- au pic de crue pour Q500

#### PHASE 1

Au cours de cette phase, de nombreux scénarios ont été testés. Il s'agissait de tester toutes les combinaisons possibles de calage altimétrique pour les crues d'occurrence comprise entre 100 ans et 500 ans en favorisant :

les « faibles » largeurs comprises entre 150 et 250 m quand les déversoirs sont dimensionnés pour fonctionner pour des occurrences de période de retour inférieure à 170 ans,

les largeurs plus importantes quand les déversoirs sont dimensionnés pour fonctionner pour des occurrences de période de retour supérieure ou égale à 170 ans.

L'analyse du remplissage des casiers a consisté à étudier les charges hydrauliques maximales et la cinétique de remplissage des casiers au droit de tronçons représentatifs du système d'endiguement. Il est entendu par tronçons représentatifs, les tronçons soumis à une probabilité de rupture plus importante



(selon l'EDD) ou ~~liés à des singularités à des endroits particuliers~~/configuration particulière des digues.

Les principaux constats réalisés sont les suivants :

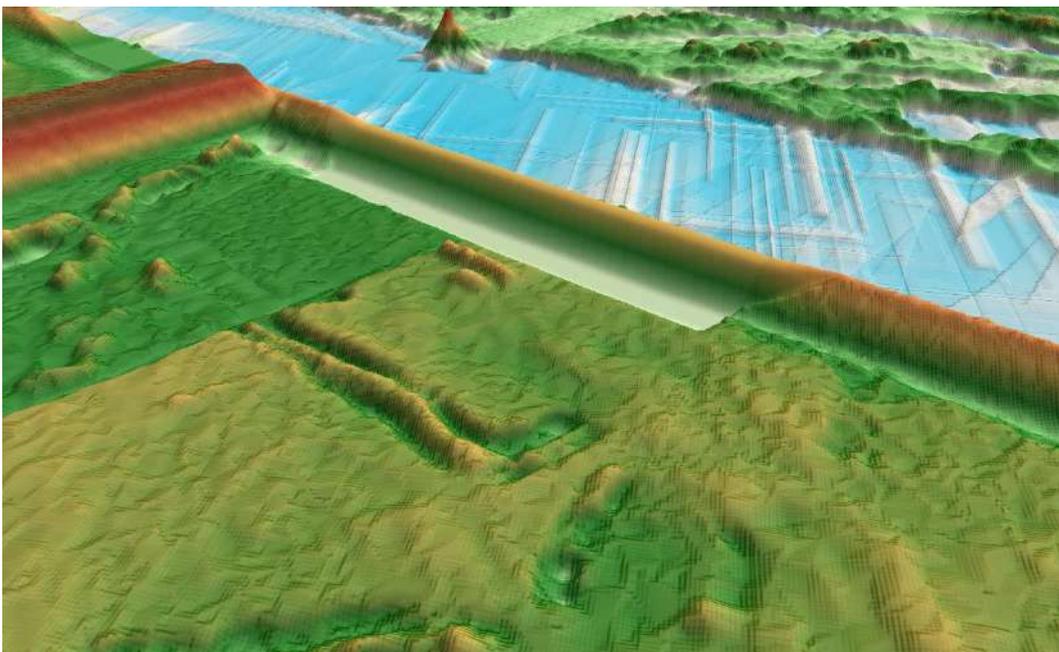
- quelques-soient les scénarios retenus, la charge hydraulique maximale c'est-à-dire le risque de rupture maximal par érosion interne, correspond à l'instant précédent le début de surverse c'est-à-dire l'inondation du val et en particulier l'arrivée de l'eau en pied du tronçon concerné. Or le remplissage du val n'est pas instantané à compter du début de surverse et un temps est nécessaire pour que l'inondation provoquée rattrape et contrecarre la montée du niveau de la Loire.
- Pour Q500, aucune surverse ne semble se produire mais les revanches sont, en de nombreux pk, inférieures à 50 cm. A noté que ce seuil de revanche supérieure ou égale à 50cm est usuellement retenu en présence d'enjeux humains. Ainsi, dans le cas présent, une réflexion pourrait avoir lieu sur ce point. Le début de surverse doit donc se produire avant Q500 pour permettre d'obtenir un remplissage efficace un peu avant la pointe de crue de Q500.

Ce constat a conduit à retenir une cote de calage de la zone de surverse projetée, aux environs de Q200 sous réserve d'avoir atteint pour Q500 un remplissage suffisant pour se prémunir de risque de brèche en cas de surverse.

## PHASE 2

Suite à la phase 1, deux scénarios ont été retenus pour les modélisations :

- SC4\_L200 : Zone de surverse calée à 177.75 NGF ( $\Leftrightarrow 170 < T < 200$ ) et de 200m de long
- Et SC5\_L200 : Zone de surverse calée à 177.9 NGF ( $\Leftrightarrow T = 200$ ) et de 200m de long





Les principaux résultats des études et modélisations effectuées sont les suivants :

En matière de propagation et d'équilibre des charges :

- l'inondation se produit d'abord sur des terrains sans bâti (mais avec néanmoins des parkings) jusqu' 4h après le début de fonctionnement du déversoir. Entre 4 et 6h, la majorité des enjeux du val sont impactés.
- les pieds de digue, au droit des tronçons les plus « fragiles » sont atteints au bout de 4 à 8h. Par la suite, le val se remplit et vient inonder les enjeux vers le canal de la Nièvre et vers la RD978.

En matière de vitesses, elles sont supérieures à 3 m/s au droit et en pied de la zone de surverse. En aval immédiat du déversoir et de la fosse de dissipation d'énergie, les vitesses sont plus faibles, de l'ordre de 0.5 à 1m/s, avec néanmoins la création d'un chenal préférentiel dans l'axe de la zone de surverse.

En matière de cote maximale, elles correspondent à la cote en Loire au droit des déversoirs, à savoir pour la crue d'occurrence 500 ans, une cote de 178.62 mNGF pour le val est.

Le niveau d'eau dans les vals correspond peu ou prou au niveau de la Loire au droit du déversoir de chaque val, à partir du moment où les niveaux se sont équilibrés. Par conséquent, lors de la décrue, le niveau d'eau dans le val baisse au même rythme que celui de la Loire jusqu'à atteindre le niveau de calage du déversoir. Cet instant se produit :

- Environ 57.5h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 4
- Environ 51h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 5

A partir de cet instant, le niveau du val n'évolue plus, sauf utilisation d'organes de vidange ou de stations de pompage. On calcule ainsi les volumes à ressuyer :

- 1.6 millions de m3 pour le scénario 4
- et 1.8 millions de m3 pour le scénario 5.

250

### PHASE 3 ET RECOMMANDATIONS

Dans le cadre de la phase 3, il a été réalisé des simulations avec Cardigue en décomposant l'occurrence Q500 en 3 pas de temps :

- Q500 t0 qui correspond au début de la surverse ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;
- Q500 t6.9 qui correspond au pas de temps : surverse + 6.9h ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;
- Q500 t23 qui correspond au pas de temps : surverse + 23h ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;

Ces simulations ont permis de mettre en évidence l'efficacité de la zone de surverse projetée vis-à-vis de l'objectif de maîtrise de la charge hydraulique et ainsi de sécurisation de la digue entre Q200 et Q500.

En détail, les résultats sont quasi-similaires pour les deux scénarios modélisés.

**Ainsi, il a été choisi par le Nevers agglomération une zone de surverse calée à T200 (scénario 5).**



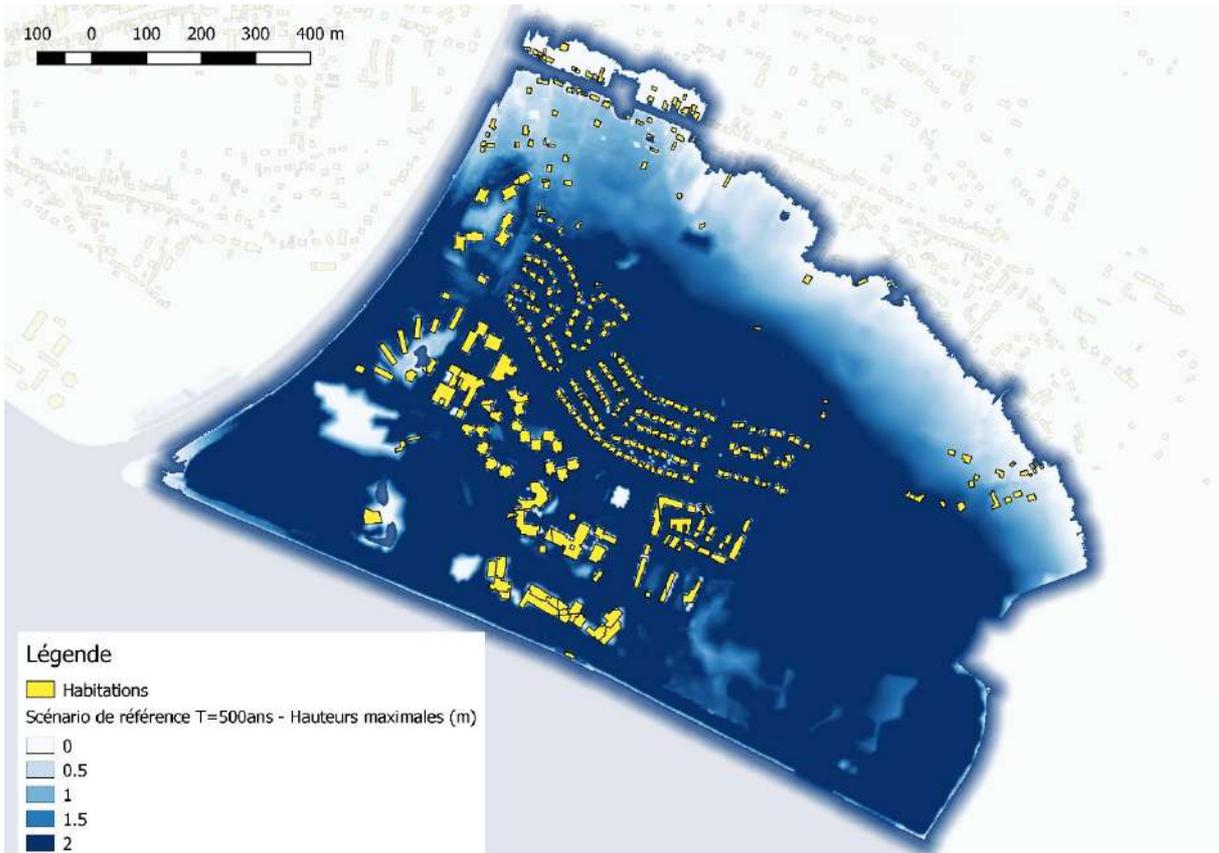
### 10.3.3.3.4 Etude des incidences

#### RECENSEMENT DES ENJEUX LOCALISES EN ZONE INONDABLE

##### Localisation de l'habitat

La catégorie des logements comprend tous les bâtiments qui ont une fonction d'habitation. L'habitat a été localisé sur la base de la BD topo de l'IGN.

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



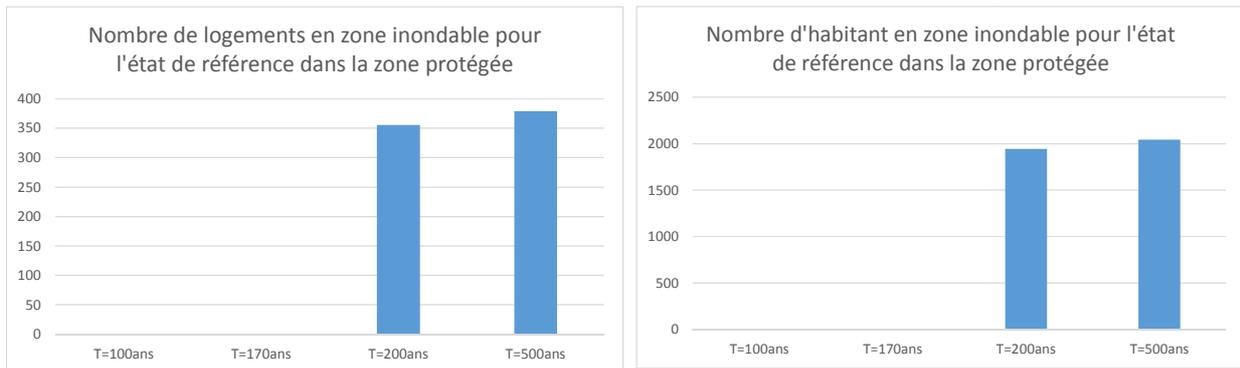


### Estimation de la population

La population (résidente permanente) est estimée sur la base des données carroyées de l'INSEE. A chaque bâtiment d'habitat est attribuée une population au prorata de sa surface développée (surface x hauteur)/3.

Le nombre de logements et le nombre d'habitants en zone inondable pour l'état de référence (T=500ans) sont présentés sur la figure suivante.

**Figure 235 : Nombre de logements et d'habitants en zone inondable pour l'état de référence dans le val Est**



Comme le montrent ces graphiques, l'inondation du Val est liée à la rupture de digue considérée probable à partir d'une occurrence de crue supérieure ou égale à 200 ans en situation actuelle.

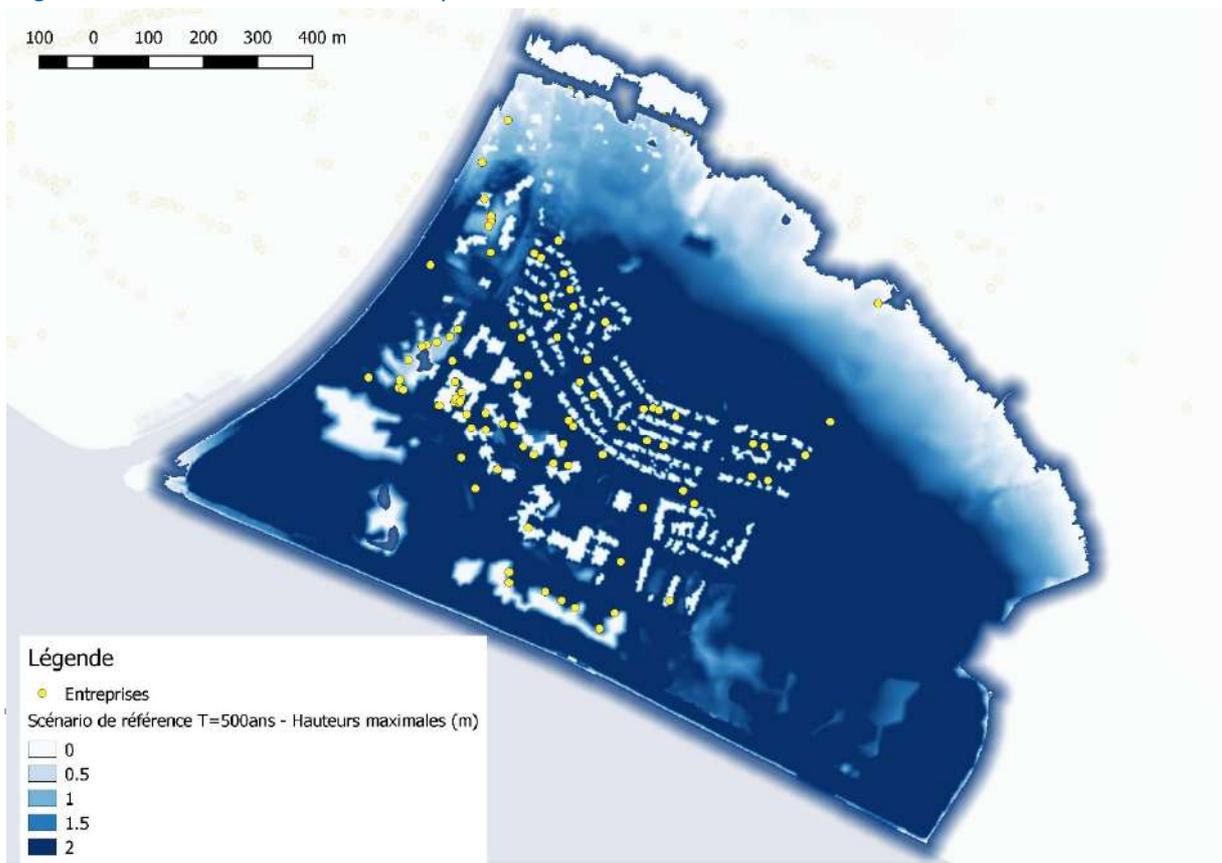
252

### Localisation des entreprises

Les entreprises prises en compte dans cette analyse sont issues de la base de données SIRENE la plus récente (base de données produite par l'INSEE qui fournit des informations sur les entreprises et leurs établissements).

Le croisement des entreprises avec la zone inondable la plus importante (Q500 pour le scénario de référence) est présentée sur la Figure 236.

**Figure 236 : Localisation des entreprises en zone inondable dans le Val Est**





## ESTIMATION DES DOMMAGES POUR DIFFERENTES SITUATIONS D'AMENAGEMENT

Le calcul des dommages correspond à l'estimation des dommages aux habitations (M1) et aux entreprises (M2).

L'estimation des dommages repose sur l'application de fonctions appelées « courbes d'endommagement » permettant d'associer un montant des dégâts liés aux inondations en fonction des résultats d'inondation (hauteur d'eau maximale et durée de submersion) et de la nature de chaque enjeu inondé :

- Pour les habitations : bâtiment de plein pied ou à étage, logement individuel ou collectif,
- Pour les entreprises : le code d'activité principale exercée (APE), le nombre d'employé et la surface du bâti.

Les courbes d'endommagement exploitées ont été actualisées en 2016 à l'échelle nationale et sont issues du guide méthodologique pour réaliser des analyses multicritères des projets de prévention des inondations rédigé en 2018 par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

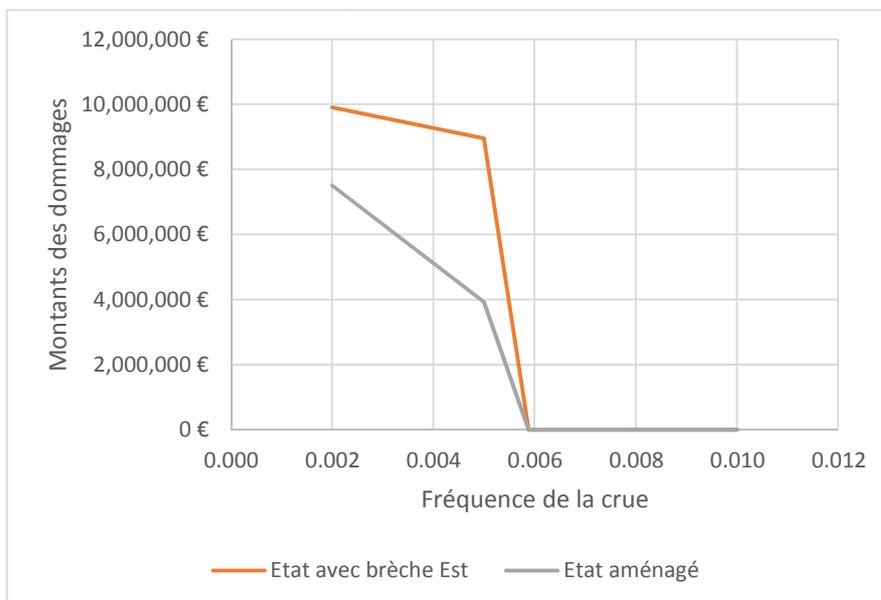
### Dommmages aux habitations

Pour l'application des courbes de dommages aux habitations, les hypothèses suivantes ont été faites :

- Le premier niveau habitable n'est pas surélevé.
- La durée de submersion est supposée supérieure à 48h,
- Les bâtiments d'une hauteur inférieure ou égale à 4m sont considérés comme « sans étage ».

Les dommages aux habitations estimés pour l'état de référence et pour l'état aménagé sont présentés sur la Figure 237.

Figure 237 : Dommages aux habitations



Les dommages associés aux habitations sont estimés :

- pour une crue de période de retour 200 ans ( $F=0.005$ ) à 9 M€ en situation actuelle avec brèche contre 4 M€ en situation aménagée.



- pour une crue de période de retour 500ans ( $F=0.002$ ) à 10M€ en situation actuelle avec brèche contre 7,5 M€ en situation aménagée.

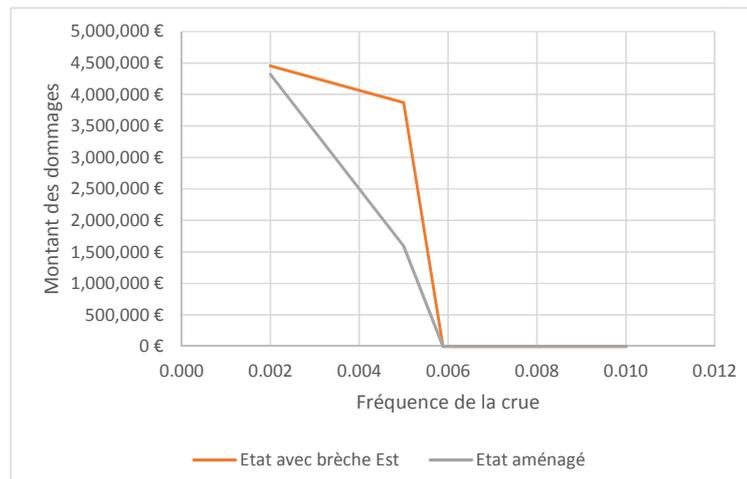
Pour les crues de période de retour inférieure ou égale à 170ans, la zone étudiée n'est pas considérée inondée en situation actuelle comme en situation aménagée.

### Dommmages aux entreprises

Pour l'application des courbes de dommages aux entreprises, les hypothèses suivantes ont été faites :

- La durée de submersion est supposée inférieure à 48h pour les zones inondées en amont de la voie ferrée et supérieures à 48h pour les zones en aval,
- Aucune surélévation de niveau du sol de l'entreprise n'est prise en compte.

Figure 238 : Dommages aux entreprises



Les dommages associés aux entreprises sont estimés :

- pour une crue de période de retour 200 ans ( $F=0.005$ ) à 4M€ en situation actuelle avec brèche contre 1,6M€ en situation aménagée.
- pour une crue de période de retour 500ans ( $F=0.002$ ) à 4,5M€ en situation actuelle avec brèche contre 4,3 M€ en situation aménagée.

Pour les crues de période de retour inférieure ou égale à 170ans, la zone étudiée n'est pas considérée inondée en situation actuelle comme en situation aménagée.

### Dommmages évités moyens annuels

La somme des dommages cumulés est présentée sur la

Figure 239. L'aire sous chaque courbe correspond aux dommages moyens annuels.

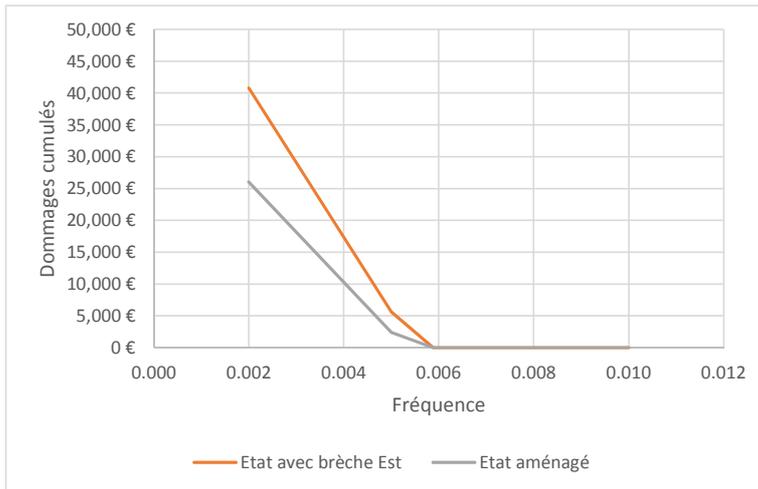


Figure 239 : Dommages cumulés et dommages moyens annuels

Tableau 65 : Dommage moyens annuels

Scénario	Dommages moyens annuels (€)
Etat de référence	46 435
Aménagement du déversoir est	28 454

Les dommages évités moyens annuels rendent compte de l'effet du projet par rapport à la situation de référence.

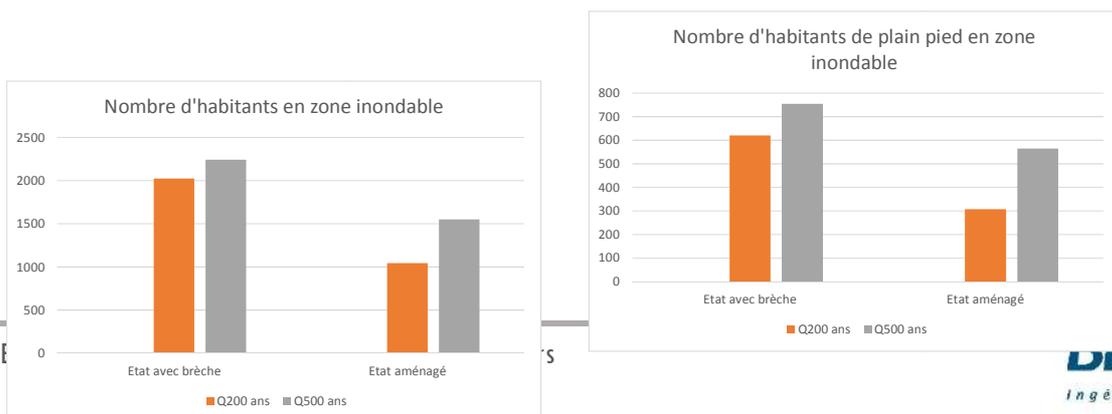
Ils sont calculés en soustrayant les dommages moyens annuels pour l'état de référence aux dommages moyens annuels pour l'état aménagé.

Les dommages évités moyens annuels en considérant l'aménagement du déversoir Est s'élèvent ainsi à 17 981€, ce qui représente 39% des dommages moyens annuels de l'état de référence.

### ESTIMATION DES INDICATEURS NON MONETARISES

Le tableau suivant expose les résultats aux indicateurs de population en zone inondable et de population résidant de plain-pied en zone inondable.

Figure 240 : Nombres d'habitants en zone inondable et résidant de plain-pied en zone inondable





En considérant l'aménagement du déversoir, les nombres évités moyens annuels (NEMA) d'habitant en zone inondable et de résidants de plain-pied en zone inondable sont estimés à :

	Nombre Evité Moyen annuel
Nombre d'habitant en ZI	3
Nombre de résidant de plain-pied en ZI	1

## SYNTHESE COMPARATIVE DES DIFFERENTS AMENAGEMENTS

Les principaux résultats de l'analyse multicritère simplifiée sont synthétisés dans

Tableau 66 : Résultats de l'analyse multicritère pour l'aménagement du déversoir ouest

	Aménagement du déversoir du val Est
NEMA habitants en ZI	3
NEMA habitants de plain-pied en ZI	1
DEMA/DMA ref	39%

Les résultats de cette AMC mettent en évidence l'intérêt de cet aménagement.

### 10.3.3.3.5 Etude du ressuyage

Pour mémoire, lors de la décrue, le niveau d'eau dans le val baisse au même rythme que celui de la Loire jusqu'à atteindre le niveau de calage du déversoir. Cet instant se produit :

256

57.5h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 4

51h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 5

A partir de cet instant, le niveau du val n'évolue plus, sauf utilisation d'organes de vidange ou de stations de pompage. On calcule ainsi les volumes à ressuyer :

1.6 millions de m<sup>3</sup> pour le scénario 4

et 1.8 millions de m<sup>3</sup> pour le scénario 5

## LA STATION DE LA BARATTE

Le val est caractérisé par l'existence d'une station de pompage, la station de relevage de la ZAC de la baratte. Cette station a été mise en service en 1976 avec 6 groupes de pompage de 900 m<sup>3</sup>/h. Elle a été rénovée en 2013 au niveau des armoires électriques et d'automatisme.

Son débit d'équipement a été défini pour 4 pompes en fonctionnement en parallèle sur alimentation secteur, soit 3 600 m<sup>3</sup>/h ou 1 m<sup>3</sup>/s et 6 pompes en fonctionnement en parallèle sur alimentation par groupe électrogène, soit 5 400 m<sup>3</sup>/h ou 1.5 m<sup>3</sup>/s.

Le fonctionnement de la station se fait en fonction des niveaux amont et aval. Lorsque le niveau de la Loire atteint un certain niveau à la station du Pont Mal Placé, l'information est télétransmise. La vanne d'isolement de l'ouvrage par rapport à la Loire se ferme. Puis les pompes démarrent.

L'objet de l'expertise réalisée dans le cadre de la présente étude avait pour objet l'analyse de la capacité actuelle et l'étude de la faisabilité d'une augmentation de la capacité de pompage.



D'une manière générale, l'expertise réalisée a permis de conclure en la faisabilité d'une augmentation de la capacité de pompage et plusieurs configurations possibles ont été identifiées :

Station de la ZAC de la Baratte	Volume (m3)	Temps de ressuyage (heure) - avec aléa 15%			
		Etat existant	Option 1 – ajout 2+8 pompes de 0.25 m3/s	Option 2 – remplacement des 6 pompes par 0.35m3/s	Option 3 – remplacement des 6 pompes et ajout de 2+8 pompes de 0.35 m3/s
Val Est		Q = 1.5 m3/s	Q = 4 m3/s	Q = 2.1 m3/s	Q = 5.6 m3/s
Zone de surverse calée entre T170 et T200 - SC4	1 600 000	14,2 jours	5,3 jours	10,1 jours	3,8 jours
Zone de surverse calée à T200 - SC5	1 800 000	16 jours	6 jours	11,4 jours	4,3 jours

A ce jour, aucun scénario n'a été défini/retenu par le MOA.

**Dans l'hypothèse du scénario SC5, et sous réserve de l'acceptation d'une inondation de la zone protégée de l'ordre de 7.5 jours (51h + 5.3j), l'option 1 semble être la plus pertinente.**

### LE CHEMINEMENT DES EAUX

Après inondation du val, selon les scénarios et hypothèses retenues à ce jour, le retour à la normal s'effectue en plusieurs étapes :

La décrue de la Loire induit une vidange du val par la zone de surverse ; cette vidange se produit jusqu'au niveau de crête de la zone de surverse.

Ainsi on peut noter que le calage de la zone de surverse aura une incidence sur le volume à ressuyer et, de fait, sur le temps de vidange. Ces différents volumes sont présentés dans le tableau ci-dessus.

La station de pompage rejette l'eau en Loire. La station de pompage est directement alimentée par les grilles présentes au droit des pompes. Ces grilles se situent vers 176.7 NGF. Ainsi, on peut considérer que ce mode de fonctionnement est valable jusque +1m/TN soit environ 177.7 NGF.

Lorsque l'inondation du casier est inférieure à 177.7 NGF, le pompage sera dépendant du réseau d'eau pluviale. La structure connue du réseau a ainsi fait l'objet d'une analyse par SAFEGE. Il en ressort que le réseau existant, sous réserve d'un bon état, serait compatible avec la capacité de pompage de la station actuelle et serait également compatible avec les augmentations de capacité envisagées.

Enfin, il a été réalisé par SAFEGE une analyse de la topographie et de la spécificité du val afin d'identifier les éventuels points bas et les éventuels enjeux associés. Il est ressorti de cette analyse l'existence de quelques points bas non connectés au réseau d'eau pluviale mais ne présentant aucun enjeu.

Ainsi, l'étude réalisée concernant le cheminement des eaux a mis en évidence la faisabilité du ressuyage du val Est, par la station de la baratte, en cas d'inondation par une zone de surverse.

#### 10.3.3.3.6 Synthèse et recommandations

Les différentes études réalisées et présentées ci-dessus ont permis de mettre en évidence la pertinence et la faisabilité d'une zone de surverse calée à Q200 afin



de réduire le risque de rupture du système d'endiguement du val Est pour des crues d'occurrences rares.

## 10.3.4 Études et travaux à réaliser – Val Ouest

### 10.3.4.1 Priorité 1

Concernant le val Ouest, les travaux jugés de priorité 1 concernent en premier lieu la levée de Médière au droit de l'hôtel mercure entre deux linéaires confortés par palplanches.



Ce linéaire représente environ 60m centré sur le Pk4050.

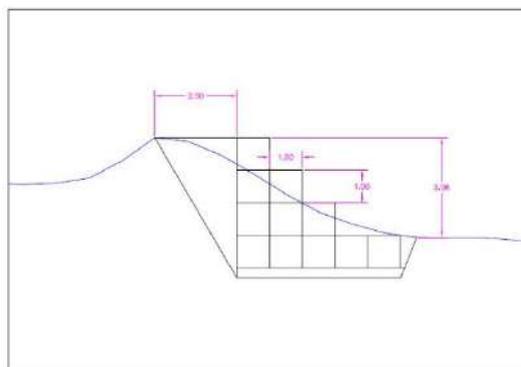
Afin de limiter le risque d'érosion interne et de glissement du talus, les travaux consistent à réaliser un épaulement drainant côté val de l'ouvrage.

258

Compte tenu de l'emprise disponible et de la faible largeur en crête, ce confortement se caractérisera :

- Par un élargissement de la crête de l'ouvrage ;
- Par la réalisation d'un massif drainant côté val de type gabions ; notons que ce choix de massif drainant est imposé par la nécessité de raidir le talus pour respecter l'emprise disponible tout en compensant l'élargissement de la crête.

La figure ci-dessous présente la coupe type imaginée à ce stade :



Il convient de rappeler que la conception et le chiffrage d'un tel ouvrage nécessite une étude spécifique. Néanmoins, les coûts d'ordre de ces travaux, sur un linéaire estimatif de 60ml, est d'environ 100 000 à 150 000 euros hors taxes<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Hors études, acquisitions foncières et aléas



Nota : Compte des résultats des études recommandées en priorité 3 ci-dessous, il convient de noter qu'il pourrait être envisagé d'abaisser la cote de crête de ce secteur pour assurer un deuxième point d'entrée des eaux dans le val avant déversement généralisé.

### 10.3.4.2 Priorité 2

Les travaux jugés de priorité 2 concernent uniquement le val Ouest :

- La levée de Médine au droit de la DDT ; en effet ce linéaire se caractérise par deux ouvrages encastrés dans la digue : un mur de soutènement et le bâtiment de la DDT proprement dit ;

Le linéaire correspondant est d'environ 65m, centré sur le PK3950.

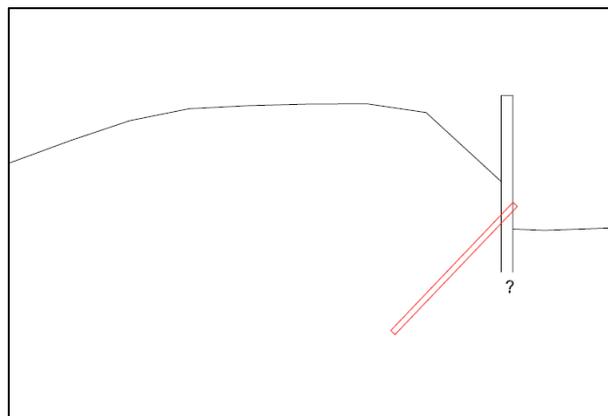


Les travaux recommandés consistent à mettre en œuvre un système de drainage du corps de la digue et de la fondation du mur de soutènement et de la périphérie immédiate de l'ouvrage encastré.

259

Au droit du mur de soutènement il est suggéré la mise en œuvre de drains forés à travers celui-ci ; ces drains seront constitués d'une crépine enrobée dans une chaussette géotextile. A titre indicatif, il pourrait être mis en œuvre des drains de 3ml, tous les 5m en section courante et une augmentation/adaptation des densités, profondeur et inclinaison des drains en périphérie immédiate de l'ouvrage encastré.

La figure ci-dessous présente la coupe type imaginée à ce stade :



Il convient de rappeler que la conception et le chiffrage d'un tel ouvrage nécessite une étude spécifique. Néanmoins, les coûts d'ordre de ces travaux, sur un linéaire estimatif d'environ 65m est d'environ 20 000 euros hors taxes<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Hors études, acquisitions foncières et aléas

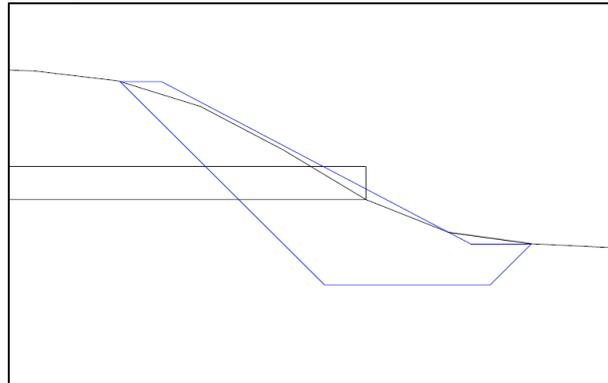


- la levée rive droite du canal de dérivation au droit de l'ouvrage hydraulique de l'Eperon (pk750).

Cet ouvrage se caractérise par un approfondissement ponctuel du TN côté val ce qui induit une augmentation ponctuelle de la charge hydraulique en cas de crue. Or la présence d'un ouvrage hydraulique traversant, non réalisé conformément aux règles de l'art c'est-à-dire avec écran anti-renard constitue d'ores et déjà un facteur aggravant vis de la rupture par érosion interne.

Il est recommandé de réaliser un épaulement drainant côté val. En cas d'infiltration le long de l'ouvrage traversant, le dispositif drainant assurera la filtration et ainsi empêchera l'initiation du phénomène d'érosion interne.

La figure ci-dessous présente la coupe type imaginée à ce stade :



Il convient de rappeler que la conception et le chiffrage d'un tel ouvrage nécessite une étude spécifique. Néanmoins, les coûts d'ordre de ces travaux, sur un linéaire estimatif d'environ 20m est d'environ 40 000 euros hors taxes<sup>8</sup>.

### 10.3.4.3 Priorité 3

#### 10.3.4.3.1 Rappel du contexte

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 le fait de disposer d'un matelas d'eau à l'intérieur du val

<sup>8</sup> Hors études, acquisitions foncières et aléas



présente également un intérêt en cas de brèche ponctuelle et/ou surverse généralisée.

#### *10.3.4.3.2 Objectifs retenus*

La zone de surverse projetée a pour objectif :

- D'une part de stabiliser la probabilité de rupture des ouvrages par inondation de la zone protégée et, en conséquence, par réduction de la charge hydraulique ;
- Et, d'autre part de minimiser le risque de brèche en cas de surverse généralisée. En effet, à compter de T500, le risque de surverse ne peut plus être considéré comme négligeable et l'objectif recherché est donc de sécuriser l'ouvrage vis-à-vis de la rupture par surverse par le matelas d'eau qui sera présent en pied de talus côté zone protégée.

Afin d'étudier l'incidence de l'inondation du val, des simulations ont été réalisées à l'aide de Cardigue, en intégrant de manière fictive, un niveau d'eau dans le val, afin d'évaluer l'incidence d'un remplissage du val.

#### *10.3.4.3.3 Méthodologie mise en œuvre et principaux résultats*

##### METHODOLOGIE

Afin d'étudier l'incidence du déversoir, il a été mis en œuvre la méthodologie suivante :

##### Phase 1 - Etude simplifiée de nombreuses configurations d'aménagement

Calcul de remplissage des casiers 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.

Cette méthode a permis d'étudier un nombre important de simulations en faisant varier la largeur et la cote de surverse.

Les résultats obtenus en termes de remplissage ont été analysés à l'aide de Cardigue afin de déterminer d'une part si le remplissage était suffisant pour équilibrer les charges et d'autre si le remplissage était assez rapide.

##### Phase 2 - Etude détaillée d'une dizaine de configurations d'aménagement

Modélisation hydraulique avec adaptation du modèle TELEMAC2D pour représenter les différentes variantes d'aménagement retenues par le MOA.

##### Phase 3 – Modélisation sous Cardigue de l'inondation du val pour 3 pas de temps distincts

Afin de confirmer et préciser la pertinence et l'efficacité des scénarios modélisés en phase 2, il a été utilisé Cardigue en saisissant pour 3 pas de temps différents le niveau de la Loire et le niveau de remplissage du val.

Les pas de temps considérés correspondent :

- au moment de la surverse (dénommé  $t_0$ )
- à quelques heures après la surverse
- au pic de crue pour  $Q_{500}$

##### PHASE 1

Au cours de cette phase, de nombreux scénarios ont été testés. Il s'agissait de



tester toutes les combinaisons possibles de calage altimétrique pour les crues d'occurrence comprise entre 100 ans et 500 ans en favorisant :

- les « faibles » largeurs comprises entre 150 et 250 m quand les déversoirs sont dimensionnés pour fonctionner pour des occurrences de période de retour inférieure à 170 ans,
- les largeurs plus importantes quand les déversoirs sont dimensionnés pour fonctionner pour des occurrences de période de retour supérieure ou égale à 170 ans.

L'analyse du remplissage des casiers a consisté à étudier les charges hydrauliques maximales et la cinétique de remplissage des casiers au droit de tronçons représentatifs du système d'endiguement. Il est entendu par tronçons représentatifs, les tronçons soumis à une probabilité de rupture plus importante (selon l'EDD) ou ~~liés à des singularités à des endroits particuliers~~/configuration particulière des digues.

Les principaux constats réalisés sont les suivants :

- quelques-soient les scénarios retenus, la charge hydraulique maximale c'est-à-dire le risque de rupture maximal par érosion interne, correspond l'instant précédent le début de surverse c'est-à-dire l'inondation du val et en particulier l'arrivée de l'eau en pied du tronçon concerné. Or le remplissage du val n'est pas instantané à compter du début de surverse et un temps est nécessaire pour que l'inondation provoquée rattrape et contrecarre la montée du niveau de la Loire.
- Pour Q500, aucune surverse ne semble se produire mais les revanches sont, en de nombreux pk, inférieures à 50 cm. A noté que ce seuil de revanche supérieure ou égale à 50cm est usuellement retenu en présence d'enjeux humains. Ainsi, dans le cas présent, une réflexion pourrait avoir lieu sur ce point. Le début de surverse doit donc se produire avant Q500 pour permettre d'avoir obtenu un remplissage efficace un peu avant la pointe de crue de Q500.

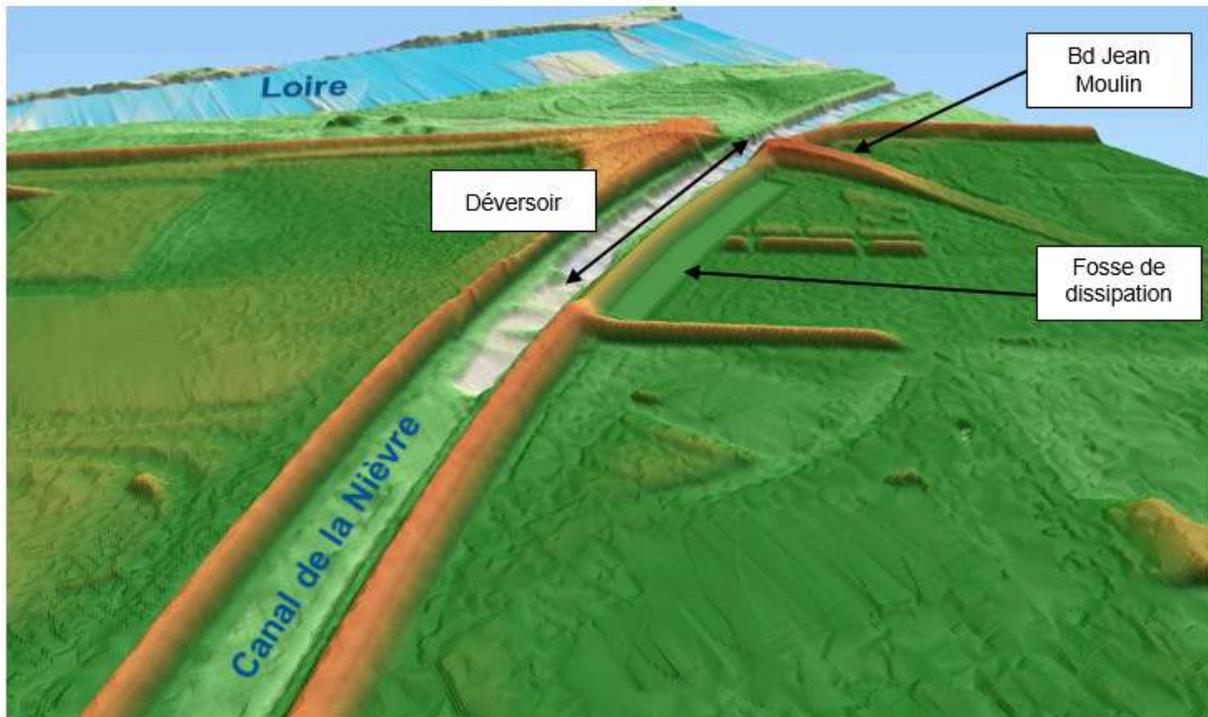
262

Ce constat a conduit à retenir une cote de calage de la zone de surverse projetée, aux environs de Q200 sous réserve d'avoir atteint pour Q500 un remplissage suffisant pour se prémunir de risque de brèche en cas de surverse.

## PHASE 2

Suite à la phase 1, deux scénarios ont été retenus pour les modélisations :

- SC4\_L200 : Zone de surverse calée à 177.4 NGF ( $\Leftrightarrow 170 < T < 200$ ) et de 200m de long
- Et SC5\_L200 : Zone de surverse calée à 177.6 NGF ( $\Leftrightarrow T = 200$ ) et de 200m de long



Les principaux résultats des études et modélisations effectuées sont les suivants :

En matière de propagation et d'équilibre des charges :

- Dans le val ouest, quelques bâtiments sont impactés dès les deux premières heures aux abords de la rue Gabriel Valette et du boulevard Jean Moulin. Entre 2 et 4h, ce sont les bords de Loire autour du Centre commercial et les bords du canal de la Nièvre qui sont submergés.
- Les pieds de digue, au droit des tronçons les plus « fragiles » sont atteints au bout de 6 à 8h. Par la suite, l'inondation se propage progressivement vers le nord pour atteindre le remblai de la voie SNCF en 8h pour le scénario 4 et 10h pour le scénario 5 environ.

263

En matière de vitesses, elles sont supérieures à 3 m/s au droit et en pied de la zone de surverse. En aval immédiat du déversoir et de la fosse de dissipation d'énergie, les vitesses sont plus faibles, de l'ordre de 0.5 à 1m/s, avec néanmoins la création d'un chenal préférentiel dans l'axe de la zone de surverse.

En matière de cote maximale, elles correspondent à la cote en Loire au droit des déversoirs, à savoir pour la crue d'occurrence 500 ans, une cote de 178.27 m NGF pour le val ouest.

Le niveau d'eau dans les vals correspond peu ou prou au niveau de la Loire au droit du déversoir de chaque val, à partir du moment où les niveaux se sont équilibrés. Par conséquent, lors de la décrue, le niveau d'eau dans le val baisse au même rythme que celui de la Loire jusqu'à atteindre le niveau de calage du déversoir. Cet instant se produit :

- Environ 57.5h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 4
- Environ 51h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 5

A partir de cet instant, le niveau du val n'évolue plus, sauf utilisation d'organes de vidange (exemple de la porte de Médine) ou de stations de pompage. On calcule ainsi les volumes à ressuyer :

- 2.35 millions de m3 pour le scénario 4
- et 2.7 millions de m3 pour le scénario 5



### PHASE 3

Dans le cadre de la phase 3, il a été réalisé des simulations avec Cardigue en décomposant l'occurrence Q500 en 3 pas de temps :

- Q500 t0 qui correspond au début de la surverse ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;
- Q500 t13 qui correspond au pas de temps : surverse + 13h ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;
- Q500 t22 qui correspond au pas de temps : surverse + 22h ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;

Ces simulations ont permis de mettre en évidence l'efficacité de la zone de surverse projetée vis-à-vis de l'objectif de maîtrise de la charge hydraulique et ainsi de sécurisation de la digue entre Q200 et Q500.

En détail, les résultats sont quasi-similaires pour les deux scénarios modélisés.

Il convient de noter néanmoins que les résultats obtenus semblent sécuritaires.

### PHASE 4 ET RECOMMANDATIONS

Suite à la phase 3, il a été demandé par Nevers agglomération l'étude d'un scénario complémentaire : une zone de surverse calée à T200 + 0.25cm (soit environ 178 NGF).

Dans ce cadre et conformément à la méthodologie mise en œuvre pour la phase 3, il a été réalisé des simulations avec Cardigue en décomposant l'occurrence Q500 en 3 pas de temps :

- Q500 t0 qui correspond au début de la surverse ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;
- Q500 t13 qui correspond au pas de temps : surverse + 13h ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;
- Q500 t22 qui correspond au pas de temps : surverse + 22h ; La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées ;

Ces simulations ont permis de confirmer l'efficacité de la zone de surverse projetée vis-à-vis de l'objectif de sécurisation de la digue entre Q200 et Q500.

**Ainsi, il a été choisi par le Nevers agglomération une zone de surverse calée à T200+0.25cm (scénario 5).**

En détail les principaux résultats obtenus et constats associés sont les suivants :

#### Temps de propagation

Pour mémoire pour les scénarios 4 et 5 étudiés dans le cadre de l'étude précédente, pour l'occurrence de crue 500 ans, les modélisations effectuées ont mis en évidence les constats suivants :



En matière de propagation, les résultats sont semblables pour les deux scénarios : Dans le val Ouest, quelques bâtiments sont impactés dès les deux premières heures aux abords de la rue Gabriel Valette et du boulevard Jean Moulin. Entre 2 et 4h, ce sont les bords de Loire autour du Centre commercial et les bords du canal de la Nièvre qui sont submergés. **Les pieds de digue, au droit des tronçons les plus « fragiles » sont atteints au bout de 4 à 6h.**

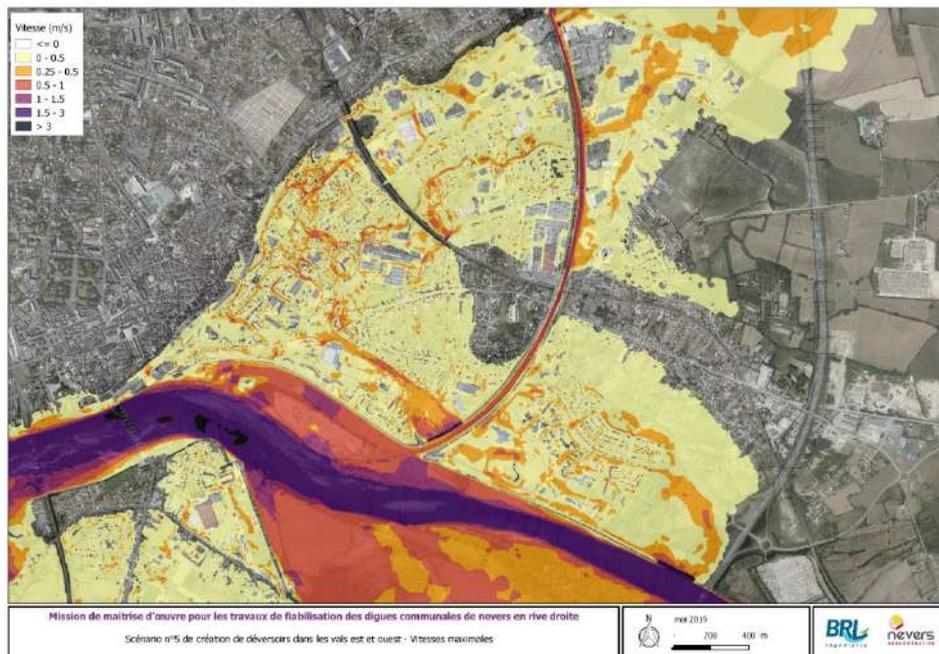
Ensuite, l'inondation se propage progressivement vers le nord pour atteindre le remblai de la voie SNCF en 8h pour le scénario 4 et 10h pour le scénario 5 environ.

Pour le scénario 6 étudié dans le cadre de la présente étude, pour l'occurrence de crue 500 ans, les modélisations effectuées ont mis en évidence les constats suivants :

La propagation dans le val ouest se déroule de la même façon que pour les scénarios 4 et 5, mais avec une cinétique plus lente et une extension finale plus réduite. Ainsi, quelques bâtiments sont impactés dès les deux premières heures aux abords des rues Compagnon et Patureaux. Entre 2 et 4h, ce sont le boulevard Jean Moulin et Centre commercial et les bords du canal de la Nièvre qui sont submergés. **Les pieds de digue, au droit des tronçons les plus « fragiles » sont atteints au bout de 6 à 8h.**

Ensuite, l'inondation se propage progressivement vers le nord pour atteindre le remblai de la voie SNCF en 10h pour le scénario 6.

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



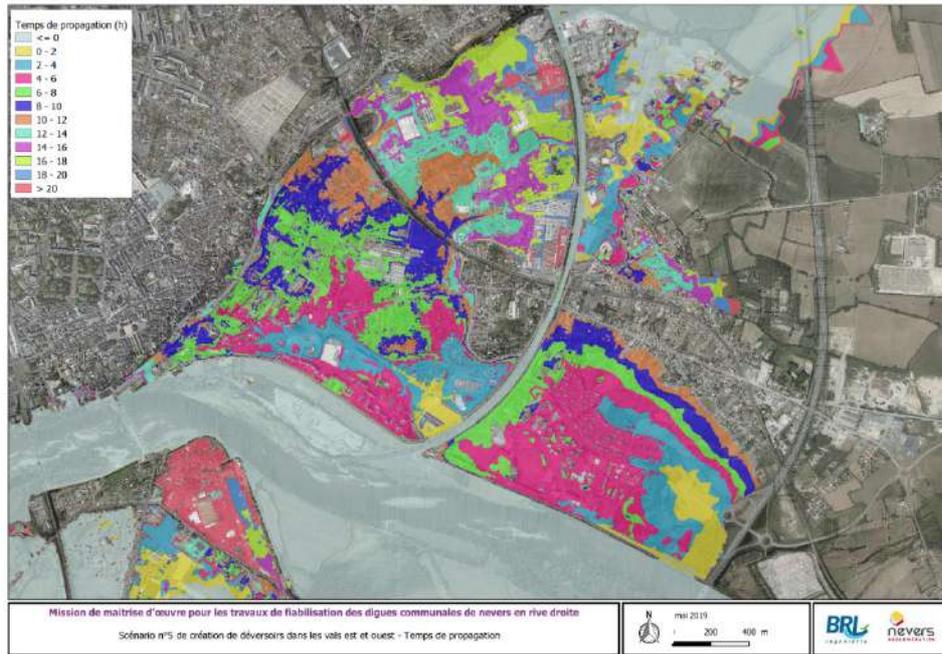
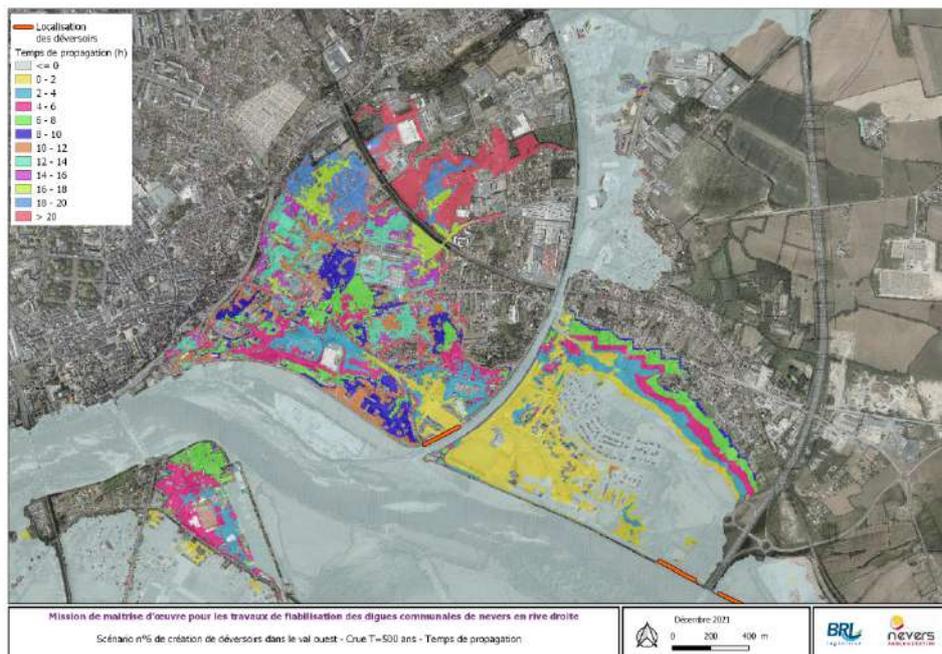
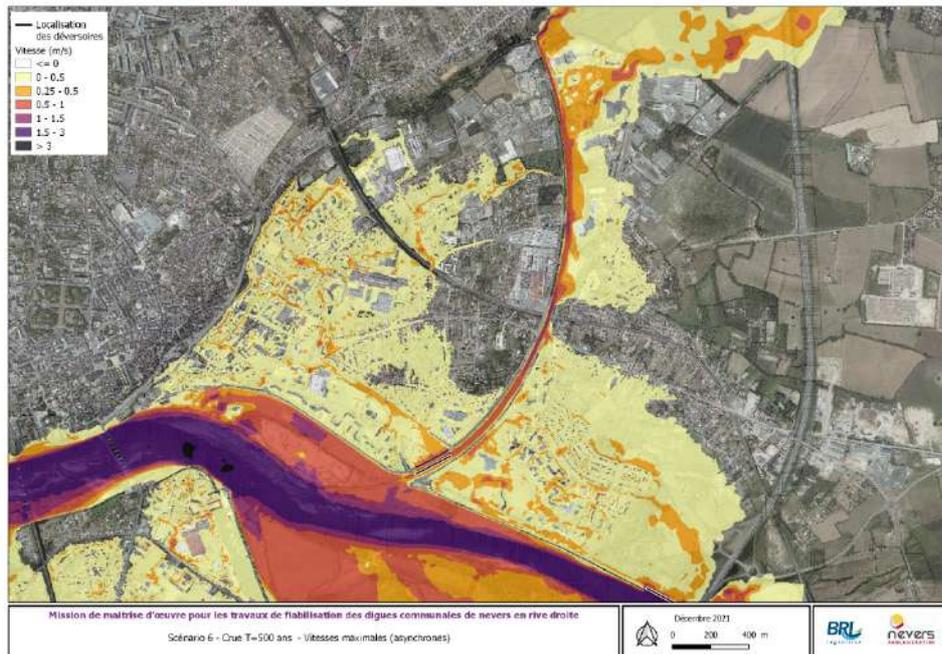


Figure 242 : Carte des vitesses maximales (asynchrones) et du temps de propagation dans le val ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans





### Vitesse et cheminement piéton

Pour mémoire pour les scénarios 4 et 5 étudiés dans le cadre de l'étude précédente, pour l'occurrence de crue 500 ans, les modélisations effectuées ont mis en évidence les constats suivants :

- En matière de vitesses, les résultats sont semblables pour les deux scénarios. Les vitesses sont supérieures à 3 m/s au droit et en pied des deux déversoirs. En aval immédiat des déversoirs et de la fosse de dissipation d'énergie, les vitesses sont plus faibles, de l'ordre de 0.5 à 1m/s avec néanmoins la création d'un chenal préférentiel dans l'axe des zones de surverse.

Pour le scénario 6 étudié dans le cadre de la présente étude, pour l'occurrence de crue 500 ans, les modélisations effectuées ont montré que les vitesses sont du même ordre au niveau du déversoir. En revanche, elles sont inférieurs dans le val, entre 0.25 et 0.5 m/s (sauf très localement.

### Hauteurs et cotes maximales

Pour mémoire pour les scénarios 4 et 5 étudiés dans le cadre de l'étude précédente, pour l'occurrence de crue 500 ans, les modélisations effectuées ont mis en évidence les constats suivants :

- En matière de cote maximale, elles correspondent à la cote en Loire au droit des déversoirs, à savoir pour la crue d'occurrence 500 ans, une cote de 178.62 mNGF pour le val Est et 178.27 mNGF pour le val Ouest.

Pour le scénario 6 étudié dans le cadre de la présente étude qui se concentre sur le val ouest, les modélisations effectuées ont mis en évidence les constats suivants :

- Pour la crue 500 ans, l'équilibre entre le niveau en Loire et le niveau dans le val n'est pas atteint. Le niveau en Loire au droit du déversoir est de 178.19 mNGF tandis qu'il est d'environ 176.71 mNGF dans le val. À noter que la charge ne s'inverse pas en aval du val (niveau en Loire supérieure à celui du val).

Figure 243 : Carte des hauteurs maximales (**asynchrones**) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans

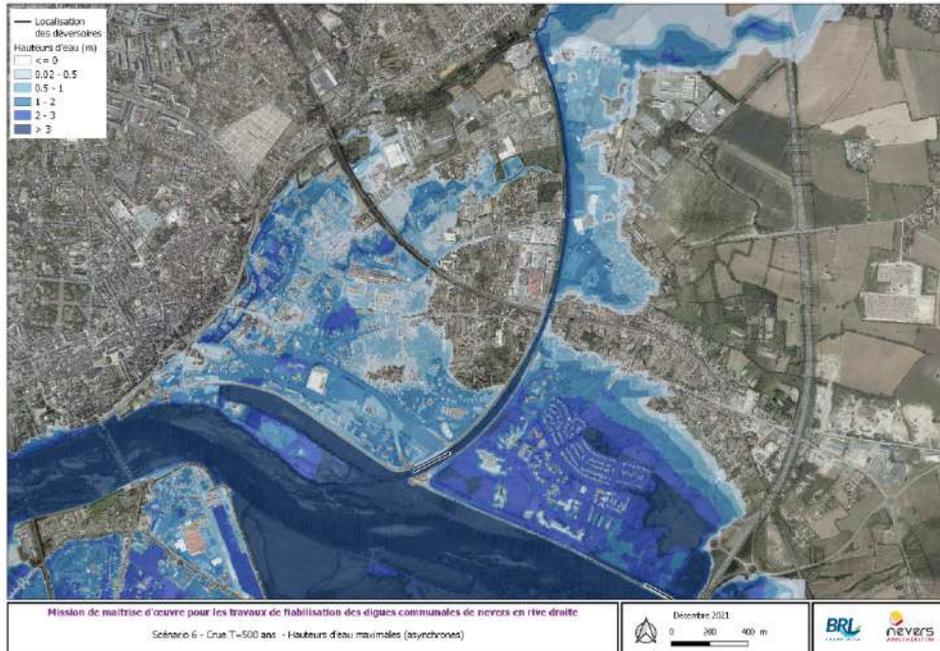


Figure 244 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans

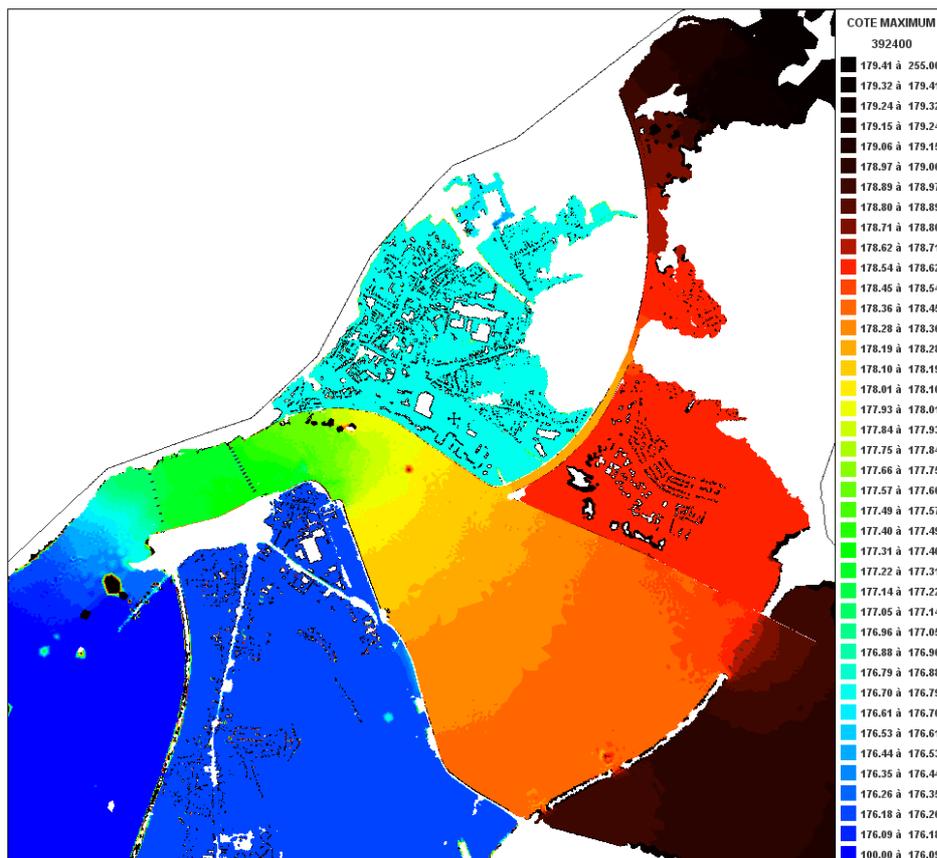




Figure 245 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 750 ans

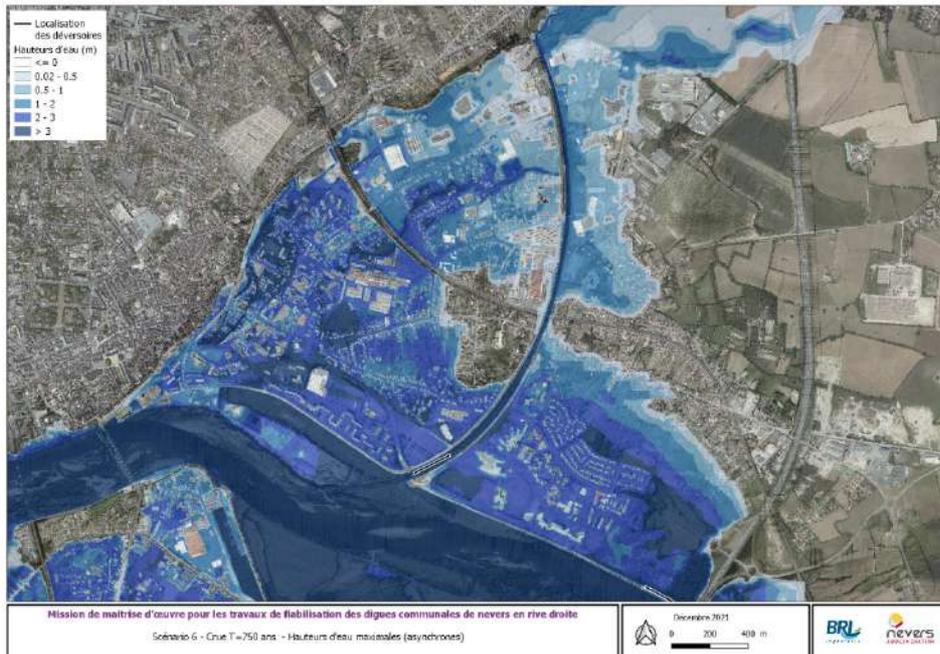


Figure 246 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 750 ans

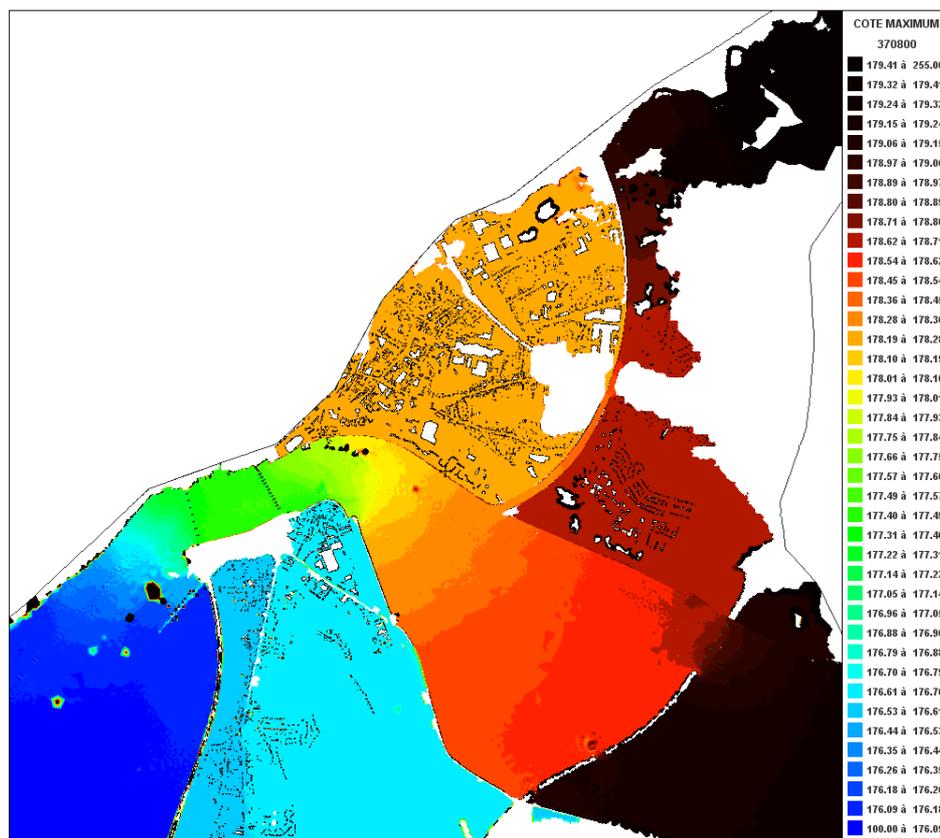




Figure 247 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 1000 ans

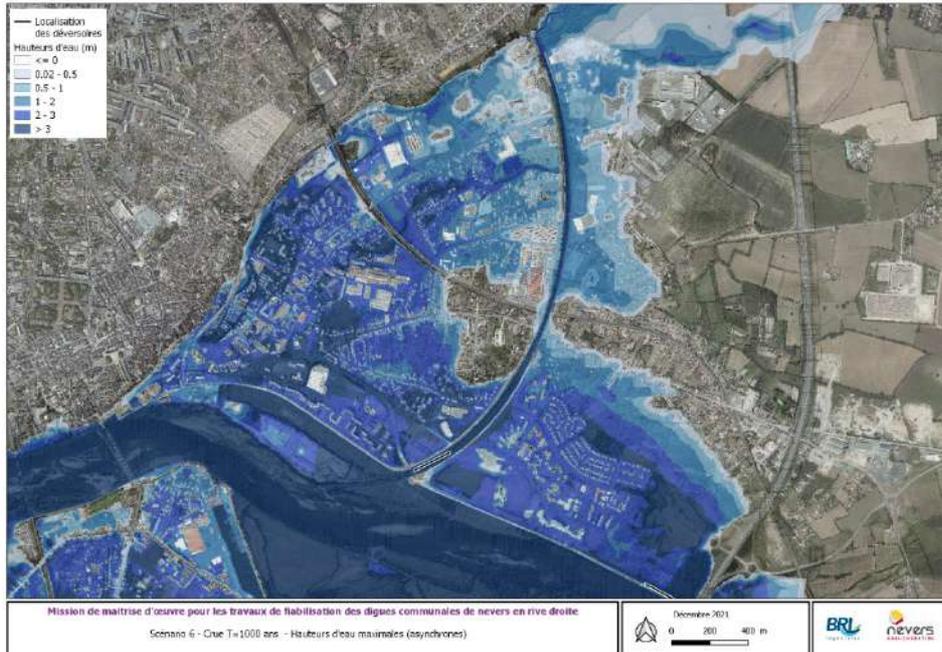
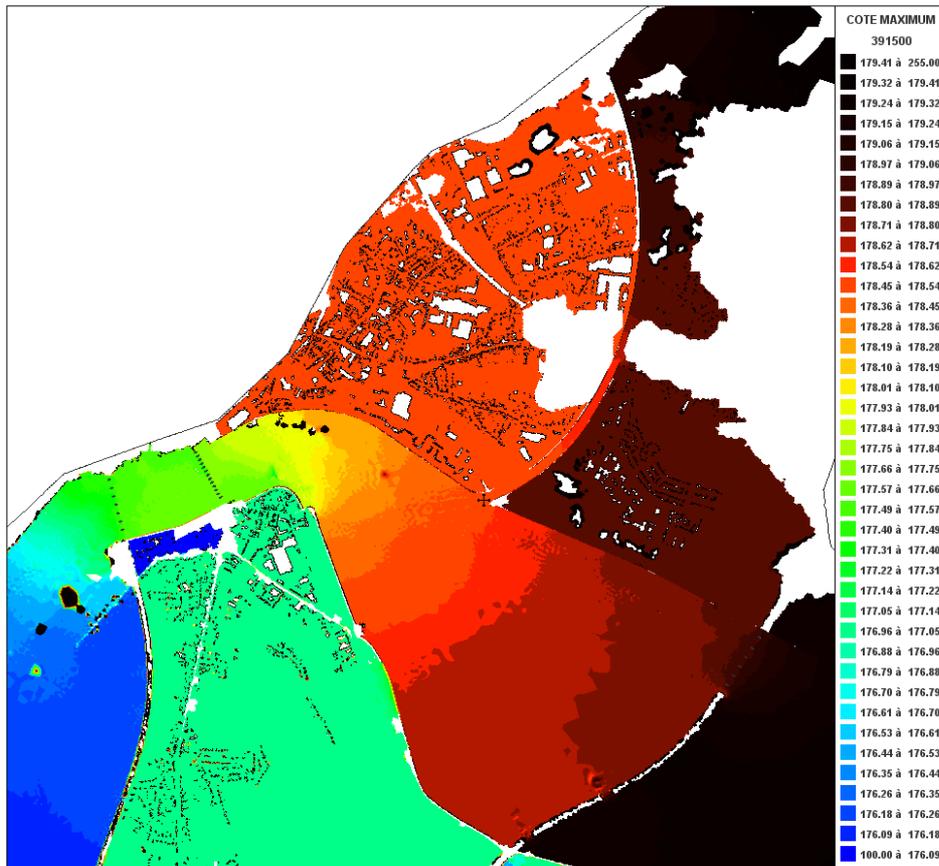


Figure 248 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 1000 ans

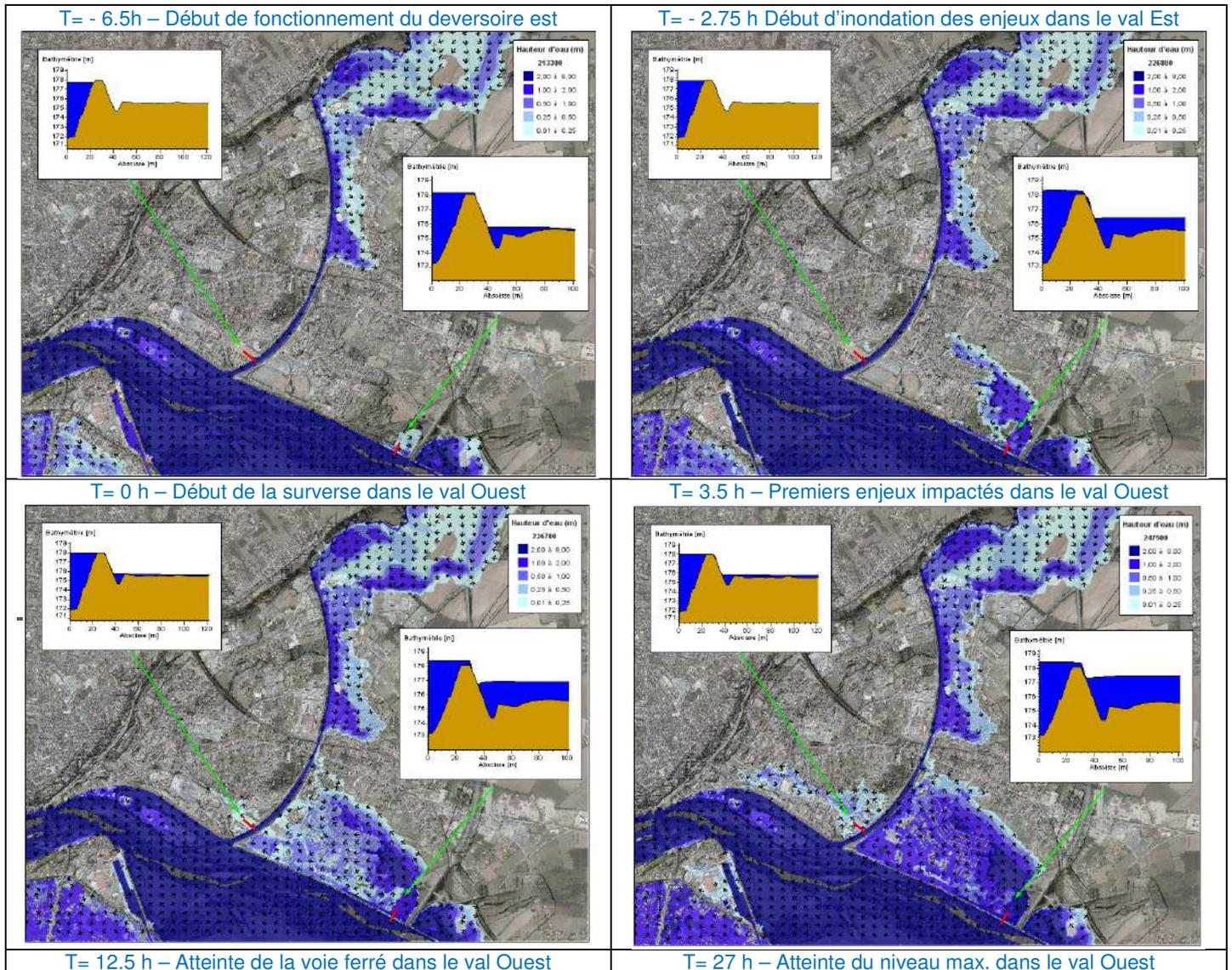


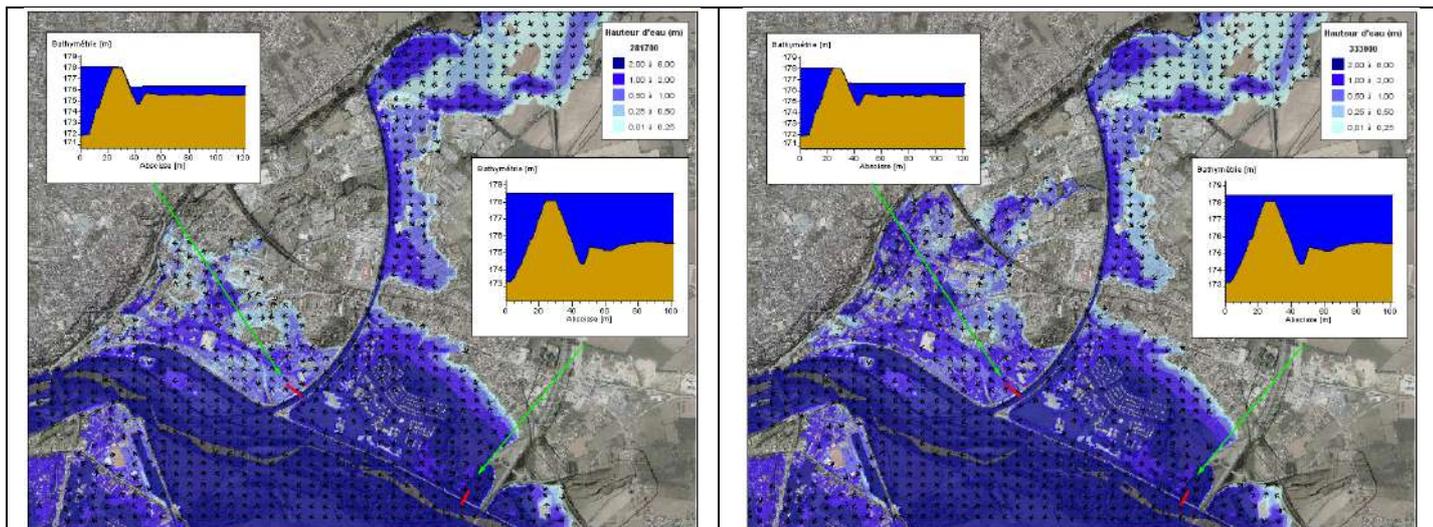


## Illustration de la cinétique pour le scénario 6

Les images ci-après visent à illustrer la propagation dans le val Ouest (et dans une moindre mesure dans le val est) pour le scénario 6 en décrivant les étapes clés de l'inondation des vals.

Figure 249 : Illustration de la cinétique de propagation centrée dans le val Ouest pour le scénario 6





### 10.3.4.3.4 Etude des incidences

#### METHODOLOGIE

L'analyse des enjeux a pour objectif d'estimer l'impact des aménagements proposés sur les principaux enjeux situés dans la zone protégée du val ouest pour différentes crues simulées (T=100ans, T=170ans, T=200ans et T=500ans) et de les comparer par rapport à la situation actuelle en considérant un risque de rupture de digue probable à partir de 200ans.

Dans le cadre de la présente étude préliminaire, il a été retenu un scénario de rupture de digue localisé au droit de la zone de surverse projetée.

273

Il est important de noter que la présente analyse dépend de la localisation de la rupture de digue considérée. En effet, celle-ci peut influencer les résultats de l'analyse et notamment dans le Val Ouest.

En l'absence de données détaillées sur l'ensemble des enjeux présents dans le secteur d'étude, notre étude d'incidence se concentre uniquement sur les principaux enjeux du secteur d'étude :

- Les habitations.
- Les emplois
- La population

Pour chacune de ces familles d'enjeux, les dommages sont estimés pour les crues de période de retour inférieures ou égales à 500 ans en suivant la méthodologie et en exploitant les courbes d'endommagement issues du guide méthodologique 2018 Analyse Multicritère des Projets de Prévention des Inondations [Analyse Multicritère des projets de prévention des inondations- Guide méthodologie 2018 – Mars 2018 – Commissariat général au développement durable ]. Notre analyse consiste donc à réaliser une AMC simplifiée en considérant les principaux indicateurs d'une AMC complète.

- M1 : Dommages aux habitations
- M2 : Dommages aux entreprises
- P1 : Nombre de personnes habitant en zone inondable
- P2 : Nombre de personnes habitant de plain-pied en zone inondable



Cette analyse reste pertinente dans la mesure où les indicateurs étudiés présentent le poids le plus important dans les résultats d'AMC.

## RECENSEMENT DES ENJEUX LOCALISES EN ZONE INONDABLE

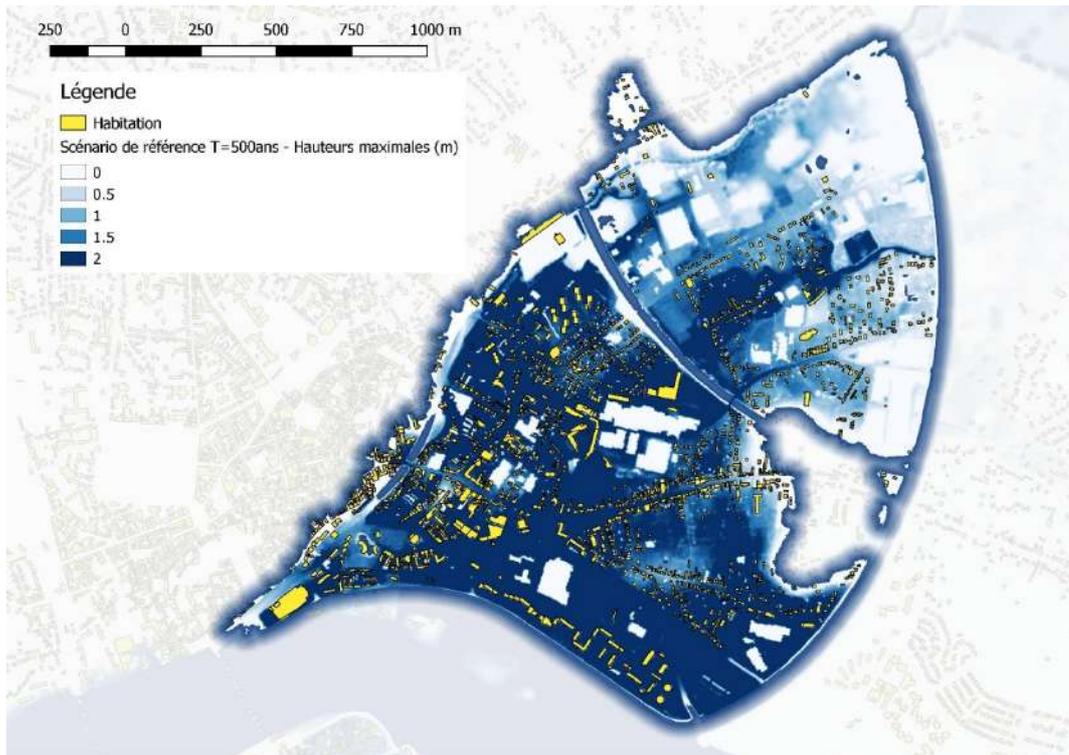
### Localisation de l'habitat

La catégorie des logements comprend tous les bâtiments qui ont une fonction d'habitation. L'habitat a été localisé sur la base de la BD topo de l'IGN.

Le croisement des habitations avec la zone inondable la plus importante (Q500 pour le scénario de référence) est présenté sur la figure 8.



Figure 250 : Localisation des habitations en zone inondable



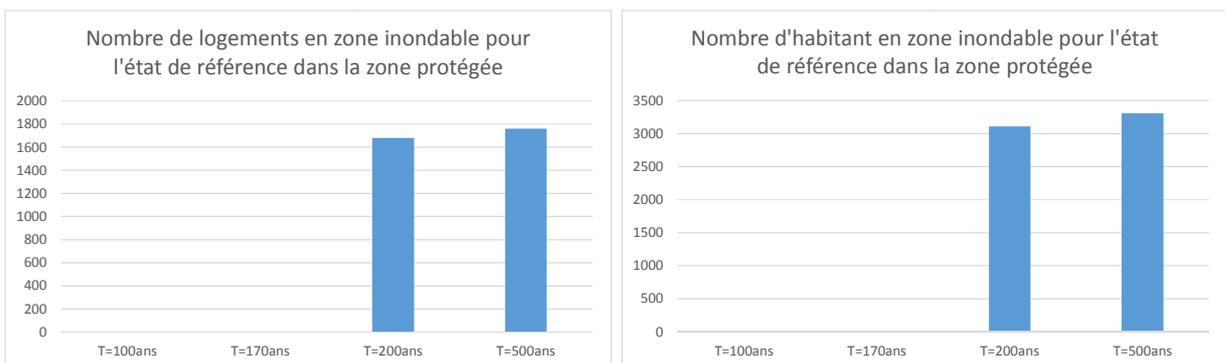
### Estimation de la population

La population (résidente permanente) est estimée sur la base des données carroyées de l'INSEE. A chaque bâtiment d'habitat est attribuée une population au prorata de sa surface développée (surface x hauteur)/3.

275

Le nombre de logements et le nombre d'habitants en zone inondable pour l'état de référence (T=500ans) sont présentés sur la figure suivante.

Figure 251 : Nombre de logements et d'habitants en zone inondable pour l'état de référence





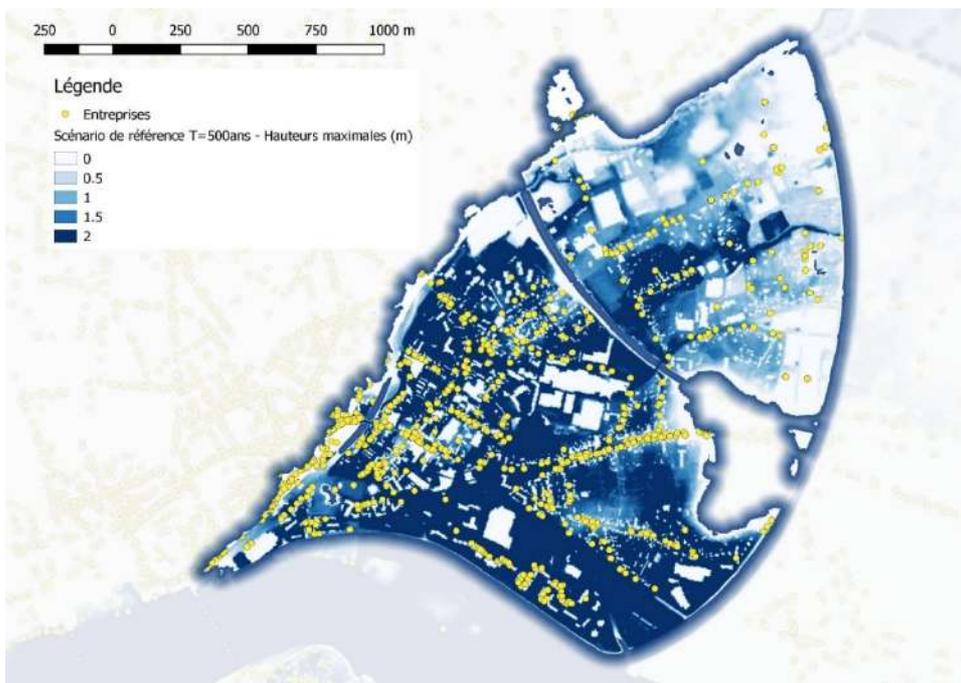
Comme le montrent ces graphiques, l'inondation du Val Ouest est liée à la rupture de digue considérée probable à partir d'une occurrence de crue supérieure ou égale à 200 ans en situation actuelle.

### Localisation des entreprises

Les entreprises prises en compte dans cette analyse sont issues de la base de données SIRENE la plus récente (base de données produite par l'INSEE qui fournit des informations sur les entreprises et leurs établissements).

Le croisement des entreprises avec la zone inondable la plus importante (Q500 pour le scénario de référence) est présentée sur la figure 10.

Figure 252 : Localisation des entreprises en zone inondable



276

### ESTIMATION DES DOMMAGES POUR DIFFERENTES SITUATIONS D'AMENAGEMENT

Le calcul des dommages correspond à l'estimation des dommages aux habitations (M1) et aux entreprises (M2).

L'estimation des dommages repose sur l'application de fonctions appelées « courbes d'endommagement » permettant d'associer un montant des dégâts liés aux inondations en fonction des résultats d'inondation (hauteur d'eau maximale et durée de submersion) et de la nature de chaque enjeu inondé :

- Pour les habitations : bâtiment de plein pied ou à étage, logement individuel ou collectif,
- Pour les entreprises : le code d'activité principale exercée (APE), le nombre d'employé et la surface du bâti.

Les courbes d'endommagement exploitées ont été actualisées en 2016 à l'échelle nationale et sont issues du guide méthodologique pour réaliser des analyses multicritères des projets de prévention des inondations rédigé en 2018 par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.



## Dommmages aux habitations

Pour l'application des courbes de dommages aux habitations, les hypothèses suivantes ont été faites :

- Le premier niveau habitable n'est pas surélevé.
- La durée de submersion est supposée inférieure à 48h pour les zones inondées en amont de la voie ferrée et supérieures à 48h pour les zones en aval,
- Les bâtiments d'une hauteur inférieure ou égale à 4m sont considérés comme « sans étage ».

Les dommages aux habitations estimés pour l'état de référence et pour l'état aménagé sont présentés sur la

Figure 253.

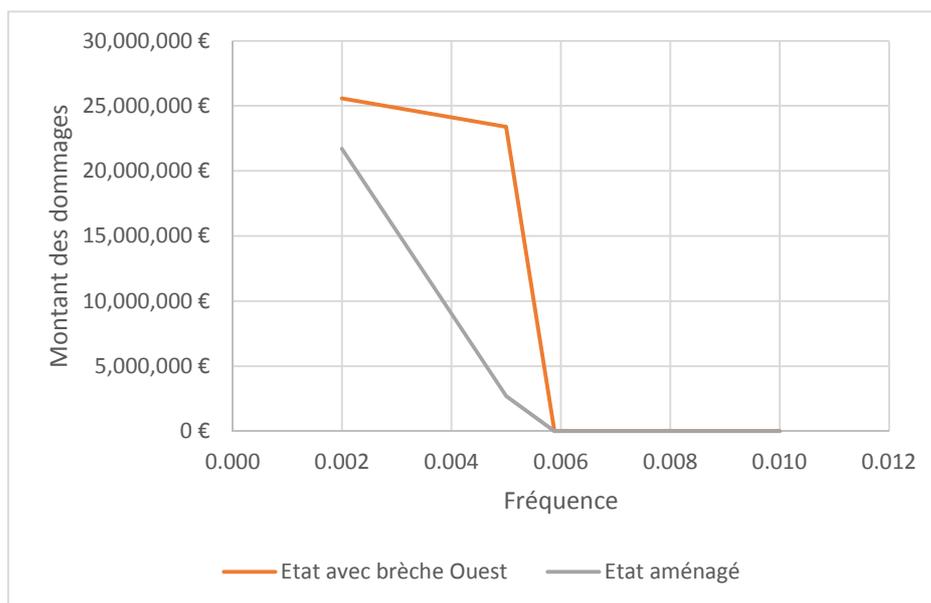


Figure 253 : Dommages aux habitations

Les dommages associés aux habitations sont estimés :

- pour une crue de période de retour 200 ans ( $F=0.005$ ) à 23 M€ en situation actuelle avec brèche contre 3 M€ en situation aménagée.
- pour une crue de période de retour 500ans ( $F=0.002$ ) à 25M€ en situation actuelle avec brèche contre 22 M€ en situation aménagée.

Pour les crues de période de retour inférieure ou égale à 170ans, la zone étudiée n'est pas considérée inondée en situation actuelle comme en situation aménagée.

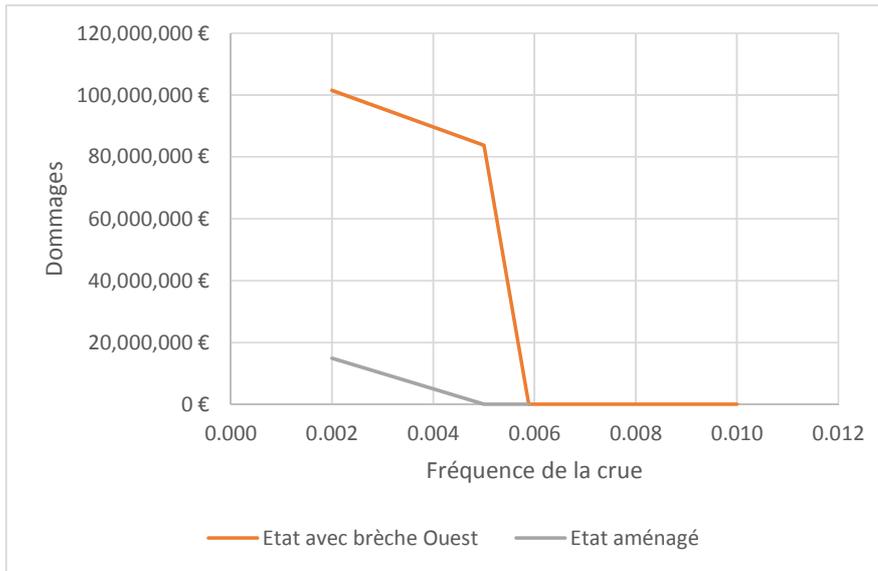
## Dommmages aux entreprises

Pour l'application des courbes de dommages aux entreprises, les hypothèses suivantes ont été faites :

- La durée de submersion est supposée inférieure à 48h pour les zones inondées en amont de la voie ferrée et supérieures à 48h pour les zones en aval,
- Aucune surélévation de niveau du sol de l'entreprise n'est prise en compte.



Figure 254 : Dommages aux entreprises



Les dommages associés aux entreprises sont estimés :

- pour une crue de période de retour 200 ans ( $F=0.005$ ) à 85 M€ en situation actuelle avec brèche et nuls en situation aménagée.
- Pour une crue de période de retour 500ans ( $F=0.002$ ) à 100M€ en situation actuelle avec brèche contre 18M€ en situation aménagée.

**278** Pour les crues de période de retour inférieure ou égale à 170ans, la zone étudiée n'est pas considérée inondée en situation actuelle comme en situation aménagée.

### Dommages évités moyens annuels

La somme des dommages cumulés est présentée sur la

Figure 255. L'aire sous chaque courbe correspond aux dommages moyens annuels.

Figure 255 : Dommages cumulés et dommages moyens annuels

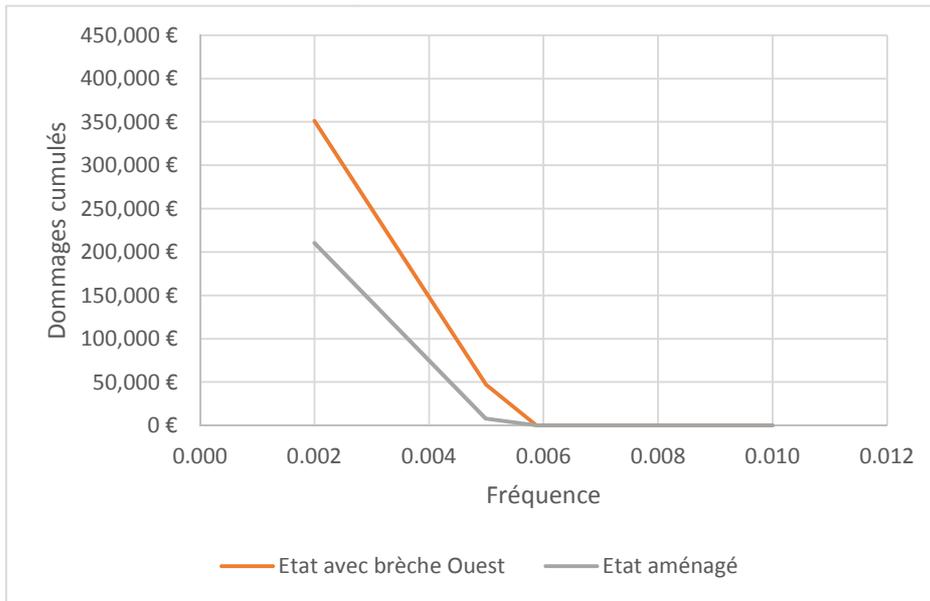


Tableau 67 : Dommage moyens annuels

Scénario	Dommages moyens annuels (€)
Etat de référence	398 548
Aménagement du déversoir ouest	218 564

Les dommages évités moyens annuels rendent compte de l'effet du projet par rapport à la situation de référence.

Ils sont calculés en soustrayant les dommages moyens annuels pour l'état de référence aux dommages moyens annuels pour l'état aménagé.

Les dommages évités moyens annuels en considérant l'aménagement du déversoir Ouest s'élèvent ainsi à 179 984€, ce qui représente 45% des dommages moyens annuels de l'état de référence.

### ESTIMATION DES INDICATEURS NON MONETARISES

Le tableau suivant expose les résultats aux indicateurs de population en zone inondable et de population résidant de plain-pied en zone inondable.

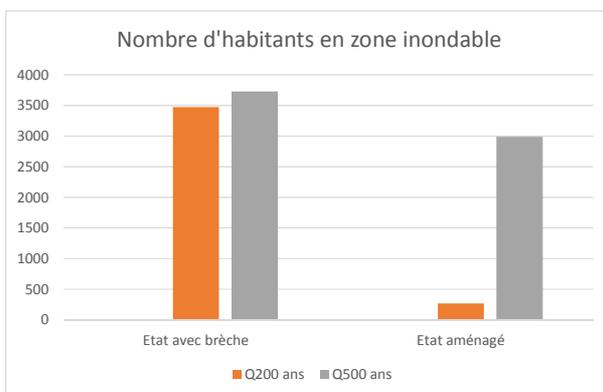
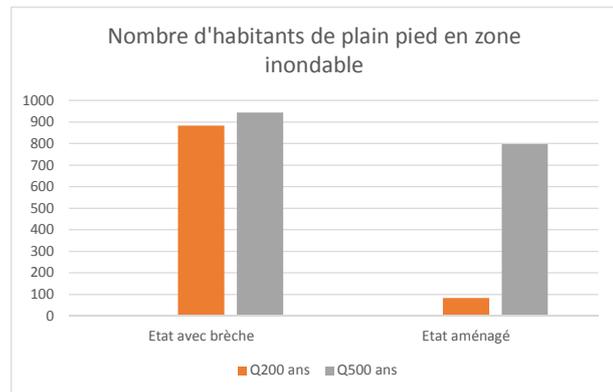


Figure 256 : Nombres d'habitants en zone inondable et résidant de plain-pied en zone inondable



En considérant l'aménagement du déversoir, les nombres évités moyens annuels (NEMA) d'habitant en zone inondable et de résidents de plain-pied en zone inondable sont estimés à :



	Nombre Evité Moyen annuel
Nombre d'habitant en ZI	3
Nombre de résident de plain-pied en ZI	0,3

### SYNTHESE COMPARATIVE DES DIFFERENTS AMENAGEMENTS

Les principaux résultats de l'analyse multicritère simplifiée sont synthétisés dans

Tableau 68 : Résultats de l'analyse multicritère pour l'aménagement du déversoir ouest

	Aménagement du déversoir Ouest
NEMA habitants en ZI	7
NEMA habitants de plain-pied en ZI	2
DEMA/DMA ref	45%

280

Les résultats de cette AMC mettent en évidence l'intérêt de cet aménagement.

#### 10.3.4.3.5 Etude du ressuyage

Pour mémoire, lors de la décrue, le niveau d'eau dans le val baisse au même rythme que celui de la Loire jusqu'à atteindre le niveau de calage du déversoir. Cet instant se produit :

- 57.5h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 4
- 51h après le fonctionnement des déversoirs pour le scénario 5

A partir de cet instant, le niveau du val n'évolue plus, sauf utilisation d'organes de vidange (exemple de la porte de Médine) ou de stations de pompage. On calcule ainsi les volumes à ressuyer :

- 2.35 millions de m<sup>3</sup> pour le scénario 4
- et 2.7 millions de m<sup>3</sup> pour le scénario 5

Pour le scénario 6, pour la crue 500 ans, l'équilibre entre le niveau en Loire et le niveau dans le val n'est pas atteint. Le niveau d'eau dans le val augmente progressivement pendant tout le temps où le déversoir est en fonctionnement. L'inondation résiduelle, qui correspond dans le cas du scénario 6 pour 500 ans au remplissage maximal, correspond à la fin du fonctionnement du déversoir.

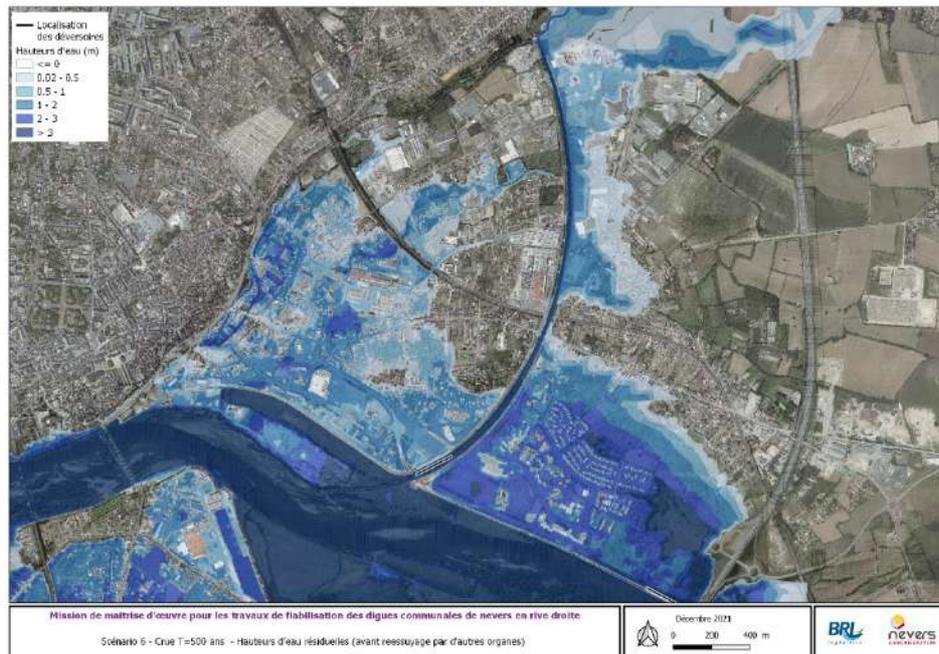
Cet instant se produit 22.75h après le fonctionnement du déversoir pour le scénario 6. Le niveau en Loire au droit du déversoir est de 178.19 mNGF tandis



qu'il est d'environ 176.71 mNGF dans le val. A partir de cet instant, le niveau du val n'évolue plus, sauf utilisation d'organes de vidange (exemple de la porte de Médine) ou de stations de pompage.

On calcule ainsi les volumes à ressuyer : 1.26 millions de m<sup>3</sup> pour le scénario 6 et la crue 500 ans.

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



### LA STATION DU PONT MAL PLACE

La station de relevage du Pont mal placé a été installée sous une arche du pont, à la confluence entre le canal couvert de dérivation de la Nièvre et la Loire. La station a été mise en service en 1963 avec 4 groupes de pompage de 1 m<sup>3</sup>/s.

Elle a été rénovée en 2000, avec la mise en place de 2 groupes de pompage de 1 m<sup>3</sup>/s et 2 groupes de 2.5 m<sup>3</sup>/s. Son débit d'équipement a donc été porté à 7 m<sup>3</sup>/s, avec la possibilité ultérieure de passer à 8.5 m<sup>3</sup>/s en remplaçant une des pompes de 1 m<sup>3</sup>/s par une pompe de 2.5 m<sup>3</sup>/s.

La station de relevage est constituée des équipements suivants :

- un dégrilleur automatique grossier situé en amont de l'ovoïde de dérivation de la Nièvre, au pont Cizeau ;
- 4 dégrilleurs automatiques fins situés en aval de ce canal couvert, à l'entrée de la station ;
- 4 pompes de relevage situées dans une bache à l'aval du dégrillage fin, 2 de capacité 1 m<sup>3</sup>/s et 2 de capacité 2.5 m<sup>3</sup>/s ;
- 4 vannes murales pour isoler le canal à l'aval du dégrillage par rapport à la Loire lors du pompage ;
- l'instrumentation pour le fonctionnement de la station ;
- un poste de transformation HT / BT ;
- les armoires électriques de puissance et de commande des équipements ;



un système de télégestion des informations vers le centre de contrôle de Véolia.

L'ensemble des installations actuelles date de l'année 2000.

Le fonctionnement de la station se fait en fonction des niveaux amont et aval. Lorsque le niveau de la Loire est  $> 172.45$  mNGF, les dégrilleurs fins sont basculés automatiquement dans leurs pertuis puis sont mis en fonctionnement en même temps que les vannes d'isolement du canal par rapport à la Loire se ferment. Puis une pompe de 1 m<sup>3</sup>/s démarre. Les pompes fonctionnent ensuite en fonction du niveau dans la Nièvre :

lorsque le niveau dans la Nièvre est  $> 172.60$  mNGF, les pompes démarrent selon la séquence incrémentale suivante, avec une temporisation entre chaque mode et une permutation des pompes en fonctionnement : 1 m<sup>3</sup>/s, 1 + 1 m<sup>3</sup>/s, 2.5 m<sup>3</sup>/s, 1 + 2.5 m<sup>3</sup>/s, 1 + 1 + 2.5 m<sup>3</sup>/s, 2.5 + 2.5 m<sup>3</sup>/s, 1 + 2.5 + 2.5 m<sup>3</sup>/s, 1 + 1 + 2.5 + 2.5 m<sup>3</sup>/s ;

lorsque le niveau dans la Nièvre est  $< 172.60$  mNGF et  $> 172.33$  mNGF, les pompes en fonctionnement restent sur leur mode précédent ;

lorsque le niveau dans la Nièvre est  $< 172.33$  mNGF, les pompes s'arrêtent selon la séquence inverse de la séquence incrémentale précédente.

Il est à noter que l'Exploitant indique n'avoir jamais vu plus de 2 pompes fonctionner en même temps.

Les informations de déclenchement et de fonctionnement de la station sont télé-gérées au niveau du poste de contrôle central de Véolia, qui possède un système d'astreinte avec information automatique sur les téléphones portables des agents concernés.

L'objet de l'expertise réalisée dans le cadre de la présente étude avait pour objet l'analyse de la capacité de l'existante et l'étude de la faisabilité d'une augmentation de la capacité de pompage.

282

D'une manière générale, l'expertise réalisée a permis de conclure en la faisabilité d'une augmentation de la capacité de pompage et plusieurs configurations possibles ont été identifiées :

Station du Pont Mal Placé	Volume (m <sup>3</sup> )	Temps de ressuyage (heure) - avec aléa 15%		
		Etat existant	Option 1 – remplacement P2 par 3.1 m <sup>3</sup> /s	Option 2 – remplacement P1 par 1.35 m <sup>3</sup> /s et P2 à P4 par 3.1 m <sup>3</sup> /s
Val Ouest		Q = 7 m <sup>3</sup> /s	Q = 9.1 m <sup>3</sup> /s	Q = 10.6 m <sup>3</sup> /s
Zone de surverse calée entre T170 et T200 - SC4	2 350 000	4,5 jours	3,4 jours	3 jours
Zone de surverse calée à T200 - SC5	2 700 000	5,1 jours	3,9 jours	3,4 jours
Zone de surverse calée à T200+0,25 - SC6	1 260 000	2,4 jours	1,8 jours	1,6 jours

**A ce jour et dans l'hypothèse du scénario SC6, il a été décidé par Nevers agglomération de ne pas apporter de modification à l'état existant.**



## LE CHEMINEMENT DES EAUX

Après inondation du val, selon les scénarios et hypothèses retenues à ce jour, le retour à la normal s'effectue en plusieurs étapes :

- La décrue de la Loire induit une vidange du val par la zone de surverse ; cette vidange se produit jusqu'au niveau de crête de la zone de surverse. Ainsi on peut noter que le calage de la zone de surverse aura une incidence sur le volume à ressuyé et, de fait, sur le temps de vidange. Ces différents volumes sont présentés dans le tableau ci-dessus.
- La station de pompage rejette l'eau en Loire. La station de pompage se situe sous le niveau du TN et est directement alimentée par une section de la Nièvre couverte.
- Le pompage est donc dépendant du réseau d'eau pluviale. La structure du réseau a ainsi fait l'objet d'une analyse par SAFEGE. Il en ressort que le réseau existant, sous réserve d'un bon état de conservation, est compatible avec la capacité de pompage de la station actuelle et est également compatible avec les augmentations de capacité envisagées.
- Enfin, il a été réalisé par SAFEGE une analyse de la topographie et de la spécificité du val afin d'identifier les éventuels points bas et les éventuels enjeux associés. Il est ressorti de cette analyse l'existence de quelques points bas non connectés au réseau d'eau pluviale mais ne présentant aucun enjeu.

**Ainsi, l'étude réalisée concernant le cheminement des eaux a mis en évidence la faisabilité du ressuyage du val Ouest, par la station du pont mal placé, en cas d'inondation par une zone de surverse.**

283

### *10.3.4.3.6 Synthèse et recommandations*

Les différentes études réalisées et présentées ci-dessus ont permis de mettre en évidence la pertinence et la faisabilité d'une zone de surverse calée à Q200+0.25 cm afin de réduire le risque de rupture du système d'endiguement du val Ouest pour des crues d'occurrences rares.

## 10.4 REDUCTION DU RISQUE EN AMELIORANT LES CONNAISSANCES ET LES METHODES

Malgré l'important volume de données traitées et la mise au point de méthodologies spécifiques pour la réalisation de l'étude de dangers, certains phénomènes physiques associés aux digues et certaines caractéristiques des ouvrages demeurent mal connus et restent donc une source d'incertitude vis-à-vis des résultats produits.

Un travail visant à apporter des réponses à ces interrogations doit donc être conduit. Un tel travail dépasse cependant le cadre de cette étude et doit s'inscrire dans une réflexion plus globale.



## 10.4.1 Amélioration de la connaissance des phénomènes

### 10.4.1.1 Connaissance de l'hydrologie de la Loire et de ses affluents

L'étude de dangers montre que l'hydrologie de la Loire est bien connue en ce qui concerne les XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles (§6.1), ce qui n'est pas le cas pour des périodes plus anciennes. Or, il semble que des événements plus intenses se soient produits. Les niveaux des repères de crues connus peuvent laisser penser que les crues du XIX<sup>e</sup> siècle sont les plus fortes, puisque les repères de crues correspondants sont les plus hauts. Néanmoins, ces niveaux sont directement liés à la hauteur des digues au moment de la crue. Comme celles-ci ont toujours été relevées après chaque événement, ces repères ne sont sans doute pas tous représentatifs des plus fortes crues historiques.

Pour pouvoir répondre à cette interrogation, il est nécessaire de procéder au lancement d'une étude sur l'hydrologie ancienne de la Loire et de ses principaux affluents.

### 10.4.1.2 Connaissance du phénomène d'embâcle de glace

Les connaissances sur le phénomène d'embâcle de glace sont encore faibles. Des recherches historiques et scientifiques sur ce phénomène sont nécessaires pour mieux le connaître afin de pouvoir le prévoir et lutter plus efficacement.

Le lancement d'une étude sur l'amélioration de la connaissance du phénomène d'embâcle et de débâcle de glace et des impacts que cela peut avoir sur les digues est donc à envisager.

### 10.4.1.3 Connaissance des phénomènes induits par le changement climatique

284

Le chapitre 6 fait état d'un accroissement potentiel de l'intensité des crues dans les décennies à venir du fait du changement climatique, sans que celui-ci puisse être quantifié.

Il est donc nécessaire de surveiller toute évolution qui viendrait à apparaître et parallèlement de mener une étude prospective sur l'évolution des crues de la Loire à partir de différents scénarios climatiques.

### 10.4.1.4 Connaissance de la formation des brèches

L'étude de dangers a mis en évidence la méconnaissance des phénomènes de création, d'ouverture, de développement ainsi que de l'effet destructeur d'une brèche. De même, les connaissances du fonctionnement hydraulique « couplé » Loire / vals suite à la formation de brèches sont à approfondir.

Il apparaît donc important de lancer une recherche sur la formation et le développement des brèches dans une levée de Loire en tenant compte des observations faites lors des crues du XIX<sup>e</sup> siècle.

### 10.4.1.5 Connaissance du phénomène d'érosion interne dans les levées

Le mécanisme d'érosion interne montre son importance pour l'aléa de rupture de la digue (cf. §7.2.1.2). L'érosion interne fait actuellement l'objet de recherches fondamentales.

Il apparaît donc essentiel de poursuivre ces recherches fondamentales sur l'érosion interne et de lancer des études d'application sur les levées de la Loire.



### 10.4.1.6 Connaissance des phénomènes karstiques, des fontis et mise au point des méthodes de traitement

Le phénomène d'effondrement karstique sous les levées de la Loire demeure méconnu.

Il est donc important de poursuivre les recherches sur les effondrements karstiques et de lancer des études de cas concrètes sur les levées de la Loire, incluant la définition de méthodes de confortement. L'identification précise des zones vulnérables est à rapprocher de l'amélioration des connaissances géotechniques des ouvrages envisagée plus loin dans le document.

### 10.4.1.7 Connaissances et méthodes d'analyse de risques

Même si elle s'inspire de l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE), la méthode d'analyse de risques employée dans la présente étude de dangers doit encore être évaluée et améliorée.

La présente étude de dangers et les retours d'expérience sur les autres systèmes d'endiguement de la Loire moyenne ont d'ores et déjà permis d'affiner la prise en compte des barrières de sécurité et des incertitudes dans le calcul des aléas de rupture, en réajustant certaines hypothèses, approximations ou simplifications.

Un travail complémentaire doit néanmoins être mené afin :

- d'évaluer et d'améliorer la méthodologie de l'AMDE des études de dangers ;
- d'évaluer et d'améliorer la prise en compte des barrières de sécurité et des incertitudes dans les études de dangers ;
- d'évaluer et améliorer le modèle de calcul de l'aléa de rupture.

## 10.4.2 Amélioration de la connaissance des ouvrages

### 10.4.2.1 Connaissance précise de la topographie des levées

Le MNT LiDAR utilisé pour caractériser géométriquement les différents profils en travers du système d'endiguement offre une bonne précision absolue et relative, mais, néanmoins insuffisante pour appréhender certains détails topographiques tels que banquettes, points bas ou autres éléments de taille inférieure à la résolution d'1 m (murs typiquement).

En outre, des doutes ou interrogations subsistent quant à l'étendue des incidences géométriques de certains ouvrages encastrés (caves des bâtiments inclus dans la levée, fondations de culées de pont, etc.) sur le profil en travers local de la digue.

Il est donc proposé :

- de compléter le levé LiDAR existant soit par des levés topographiques au sol du profil en long des levées et banquettes éventuelles soit par un MNT LiDAR Haute résolution ;
- d'affiner la connaissance des différents ouvrages encastrés (géométrie, existence d'un sous-sol, mode de réalisation, etc.).



### 10.4.2.2 Connaissance géotechnique des digues

La campagne géotechnique mise en œuvre dans le cadre de la présente étude de dangers a permis de disposer d'une bonne connaissance des matériaux constitutifs des levées, ce qui n'exclut cependant pas des investigations complémentaires en fonction des besoins des travaux et études envisagés par ailleurs dans le cadre des autres mesures de réduction des risques.

### 10.4.2.3 Connaissance des ouvrages traversant la levée

L'étude de dangers a été conduite à partir des connaissances du gestionnaire et des observations faites lors des visites techniques approfondies. Il est donc possible que certains ouvrages, abandonnés ou immergés notamment, puissent ne pas avoir été recensés. En outre, les modes de mise en œuvre de ces ouvrages et leur implantation précise dans la levée, qui constituent des éléments importants pour apprécier le risque réel qu'ils engendrent, restent méconnus.

Il convient donc d'engager une recherche systématique des canalisations et ouvrages traversants et/ou inclus, de leur mode de mise en place (recherche dans les archives, investigations in situ, etc.) et des dispositifs de protection éventuellement existants (clapet anti-retour, vanne crémaillère, etc.). **Sur ce dernier point on peut notamment noté l'existence de deux stations de pompes abandonnées au droit du canal de dérivation RD pour lesquelles des interrogations existe quant aux dispositifs existants pour en assurer l'étanchéité (vannes ? clapets anti-retours, etc..)**

Il est important de noter que cette recommandation est renforcée par l'EISH constaté durant la réalisation de l'EDD, lors des études géotechniques du fait d'une méconnaissance de l'implantation du réseau d'eau potable par son propre concessionnaire.

286

**Compte tenu du contexte urbain des levés de Nevers, il est recommandé de procéder à une étude spécifique visant à recenser et localiser l'ensemble des réseaux présent dans les levées. Cette prestation si elle ne peut être exigé aux concessionnaires pourrait être confiée à un géomètre qui relèverait les repérage sur site réalisés par les concessionnaires.**

## 10.5 SYNTHÈSE DES MESURES A ENGAGER PAR TYPE DE MESURE

### 10.5.1 Gestion du risque

Mesure	Action à engager	Délais - Échéances
Surveillance	Maintenir a minima le niveau de surveillance actuel + Vigilance sur l'utilisation des levées par les usagers	immédiat
Canalisations traversantes	Adoption d'une position ferme sur les nouvelles demandes	immédiat
Mise en sécurité des populations	Réévaluation du plan ORSEC à la lumière de la présente EDD	Immédiat
PCS	Porter à la connaissance des Maires les éléments de l'étude de dangers pour une intégration dans les futurs PCS	Immédiat
PIC	Porter à la connaissance des Maires les éléments de l'étude de dangers pour vérification et mise à jour éventuelle du PIC	Immédiat
PPRI	Porter à la connaissance des Maires les éléments de l'étude de dangers pour la révision des PPRI	Immédiat



Mesure	Action à engager	Délais - Échéances
Sensibilisation du public	Réalisation d'une campagne de sensibilisation du public (panneau,...) afin de rappeler l'objectif du maintien de l'intégrité des ouvrages	A court terme (à renouveler ensuite régulièrement)

## 10.5.2 Amélioration structurelle et fonctionnelle du système de protection

Mesure	Action à engager	Délais - échéances
Entretien	Entretien, avec un bon niveau de service, l'ouvrage et son environnement immédiat	Permanent
Etude et travaux	Levée de maison rouge / remblai A77 Réflexion sur ligne de Défense + travaux	Priorité 1
Travaux de confortement	Levée de Médine	
Traitement de conduite	Levée du canal de dérivation RD – PK750 et 850. Réalisation d'un massif drainant au droit de la traversée de la conduite afin de limiter le risque d'érosion interne	Priorité 2
Traitement des terriers et de la conduite	Levée de St Eloi 2 <sup>nd</sup> section – PK1450 à 1550 Pérennisation de l'ouvrage vis-à-vis du risque d'érosion interne	
Mesure fonctionnelle : renforcement vis-à-vis de la surverse	Etude sur localisation et efficacité d'un déversoir sur le val Est	Priorité 3
	Etude sur localisation et efficacité d'un déversoir sur le val Ouest	

287

## 10.5.3 Amélioration des méthodes et connaissances

Mesure	Actions à engager	Délais – Échéances
Méthode d'analyse de risques	Evaluer et améliorer la méthodologie de l'AMDE des études de dangers	2018
	Evaluer et améliorer la prise en compte des barrières de sécurité et des incertitudes dans les études de dangers.	
	Evaluer et améliorer le modèle de calcul de l'aléa de rupture de digue	
Canalisations, ouvrages traversants et/ou inclus	Recherche systématique des canalisations inconnues et ouvrages inclus.	d'ici 1 an
	Recherche d'informations complémentaires sur ouvrages identifiés et diagnostics complémentaires	d'ici 2 ans
	Mise au point des techniques d'étanchement des canalisations	d'ici 2 ans
Karsts	Poursuite des recherches sur les effondrements karstiques	Thèse en cours
	Conclusions du groupe de travail sur l'interaction des karsts avec les levées.	1 an



Mesure	Actions à engager	Délais – Échéances
	Recherche de solutions techniques pour la protection des levées sur karsts	2 ans
Connaissance des brèches	Lancement d'une recherche sur la formation et le développement des brèches dans une levée de Loire en tenant compte des constats du XIX <sup>e</sup> siècle.	A proposer dans le projet RIVAGE de l'Irstea 2018
Hydrologie	Lancement d'une étude sur l'hydrologie ancienne de la Loire et de ses affluents	Non prioritaire - sans échéance
Connaissance des ouvrages	Poursuite des recherches d'archives sur les levées de la Loire	2018

## 10.6 CONCLUSIONS SUR L'ETUDE DE REDUCTION DU RISQUE

Au regard des résultats de l'évaluation du système de digues et de l'analyse de risques, il apparaît :

- D'une part, indispensable de maintenir et de renforcer les actions d'entretien, de gestion, de surveillance et de confortement du système de protection afin de réduire le risque d'inondation par défaillance hydraulique ou structurelle.
- D'autre part, pertinent d'étudier la faisabilité et l'incidence de modification de la ligne de défense principale du val Est dans son extrémité amont
- Et enfin, nécessaire d'étudier la faisabilité et l'incidence de la réalisation de deux déversoirs sur les vals Est et Ouest. Nota : compte tenu de la spécificité de ces vals, ces études devront impérativement s'accompagner d'une étude de réessuyage.

288

Sous réserve des conclusions qui découleront de ces études, les principales préconisations de la présente étude de dangers sont donc :

- à court terme, de conforter la levée pour augmenter le niveau de sûreté afin que celui-ci dépasse le niveau actuel et atteigne le niveau des premières surverses ;
- à moyen terme, de consolider l'organisation pour l'intervention d'urgence en cas de crue, aussi bien vis-à-vis des populations exposées que de l'ouvrage ;
- à plus long terme, de programmer des travaux de gestion des surverses afin que le niveau de sûreté dépasse le niveau de protection.



# 11 CARTOGRAPHIE DE L'ETUDE DE DANGERS

