



MISSION DE MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR LES TRAVAUX DE FIABILISATION DES DIGUES COMMUNALES DE NEVERS EN RIVE DROITE

Etude PRE pour le renforcement des digues de Nevers rive droite - Note hydraulique complémentaire relative à la zone de surverse projetée du Val Ouest



V0-09/12/2021

	Safège - Parc d'Activités du Champ de la Chaine 41 Boulevard du Pré Plantin Bâtiment B54 58005 NEVERS Cedex
	BRL ingénierie 1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5

Date du document	09 décembre 2021
Contact	NSI/ JAU

Titre du document	Etude PRE pour le renforcement des digues de Nevers rive droite - Note hydraulique complémentaire relative à la zone de surverse projetée du Val Ouest
Référence du document :	A00414_NEVERS_RD_EP2_HYDRAULIQUE
Indice :	0

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
09/12/2021	0	Première version	AMA	NSI/JAU

MISSION DE MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR LES TRAVAUX DE FIABILISATION DES DIGUES COMMUNALES DE NEVERS EN RIVE DROITE

Etude PRE pour le renforcement des digues de Nevers rive droite - Note hydraulique complémentaire relative à la zone de surverse projetée du Val Ouest

Table des matières

PRÉAMBULE	1
1 PRESENTATION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	2
1.1 VAL EST	3
1.2 VAL OUEST	4
2 RAPPEL DE DEFINITION DU NIVEAU DE PROTECTION ET DE SURETE D'UN SYSTEME D'ENDIGUEMENT	5
3 RAPPEL DES DONNÉES DISPONIBLES	7
3.1 BILAN DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES	7
3.1.1 Topographie générale	7
3.1.2 Ouvrages hydrauliques	8
3.2 BILAN DES DONNEES SIG	9
3.3 BILAN DES DONNEES HYDRAULIQUES	9
4 RAPPEL DES OBJECTIFS	10
4.1 RAPPEL DES CONCLUSIONS DES ETUDES DE DANGERS	10
4.2 RAPPEL DES TRAVAUX DE CONFORTEMENTS PROJETES DANS LE CADRE DE LA PRESENTE ETUDE DE MAITRISE D'ŒUVRE	11
4.3 CARDIGUE	12
4.3.1 Outil mis en œuvre pour l'estimation de la probabilité de rupture de la digue	12
4.3.2 Prise en compte des travaux projetés	12
4.4 OBJECTIFS RETENUS DANS LE CADRE DE LA PRESENTE ETUDE	13
4.4.1 Méthodologie générale	13
4.4.2 Risque de brèche en cas de surverse généralisée	14
5 ASPECTS METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE HYDRAULIQUE	16

5.1	DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE.....	16
5.2	RAPPEL LOCALISATION DE LA ZONE DE SURVERSE	17
5.3	ETUDE D'INCIDENCE DETAILLEE	19
5.3.1	Scénarios retenus	19
5.3.2	Affinage du modèle hydraulique.....	19
5.3.3	Présentation des résultats détaillés	21
6	APPROCHE CARDIGUE ET CONCLUSION.....	34
	ANNEXES.....	37
	ANNEXE 1. CARTES DES HAUTEURS ET VITESSES MAXIMALES POUR LE SCENARIO 6	39

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Digue fiable	6
Figure 2 : Digue non fiabilisée, non équipée d'un déversoir (cas des levées constituant le système d'endiguement du val de Nevers)	6
Figure 3 : Digue partiellement fiabilisée, équipée d'un déversoir	6
Figure 4 : Digue non fiabilisée, équipée d'un déversoir	6
Figure 5 : Localisation des zones de surverse envisagées en rive droite	17
Figure 6 : Affinage du maillage et adaptation de la topographie au droit de la zone d'arasement et du déversoir du val Ouest	20
Figure 7 : Illustration en perspective du déversoir dans le val Ouest sur le canal de la Nièvre	20
Figure 8 : 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	22
Figure 9 : 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	23
Figure 10 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans	25
Figure 11 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans ..	25
Figure 12 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 750 ans	26
Figure 13 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 750 ans ..	26
Figure 14 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 1000 ans	27
Figure 15 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 1000 ans	27
Figure 16 : Illustration de la cinétique de propagation centrée dans le val Ouest pour le scénario 6	28
Figure 17 : Carte des hauteurs d'inondations résiduelles (avant ressuyage par d'autres organes) pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans	29
Figure 18 : Débits sur le déversoir du val Ouest pour les scénarii 4, 5 et 6 pour une crue T=500 ans	30
Figure 19 : Limnigrammes en amont et en aval de la digue et charge hydraulique dans le val Ouest à différents PK pour le scénario 6 et une crue T=500 ans	31

LISTE DES TABLEAUX

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.



PREAMBULE

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

Ces études ont été décomposées en plusieurs sous-étapes faisant l'objet de rendus distincts :

- Etude hydraulique,
- Etude du cheminement des eaux,
- Expertise des stations de pompages,
- et d'une note de synthèse globale.

Suite à ces études, au vue des résultats relatifs au val Ouest, Nevers agglomération a confié au groupement Safège/BRLi l'étude d'un scénario complémentaire, à savoir une zone de surverse calée à Q200+25cm.

L'objectif de la présente note est de présenter les études hydrauliques réalisées, relatives à ce nouveau scénario, tant en terme de calage qu'en terme d'efficacité vis-à-vis des objectifs d'atténuation du risque de rupture.

1

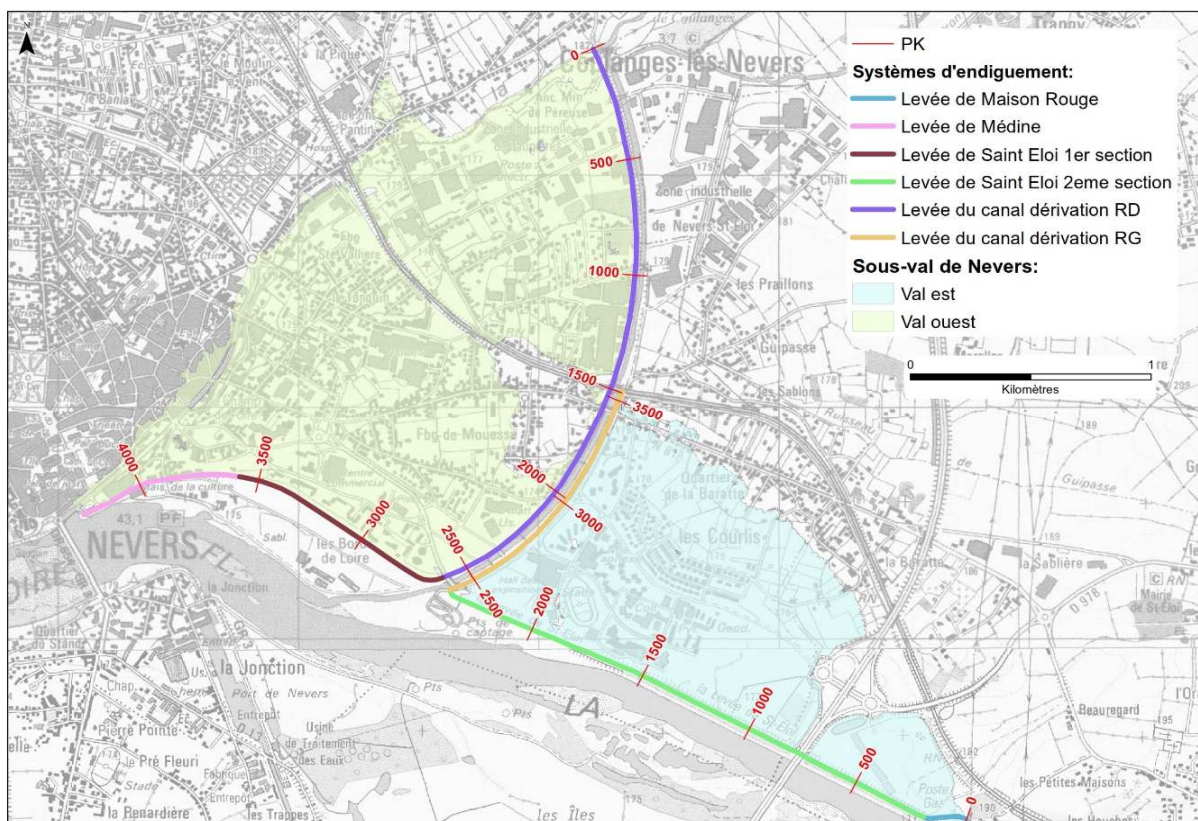


1 PRESENTATION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Ce chapitre est issu de l'étude de dangers réalisé par BRLi en 2018.

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

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

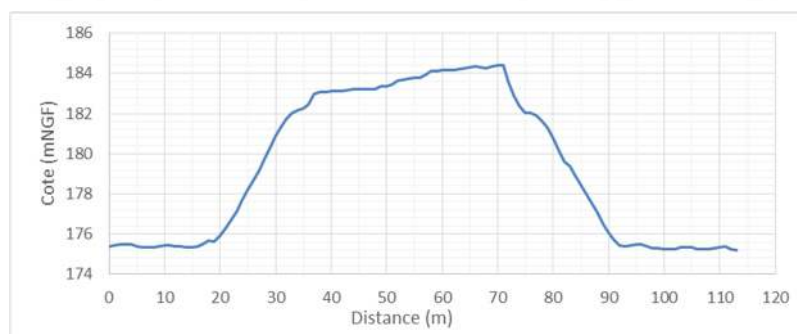
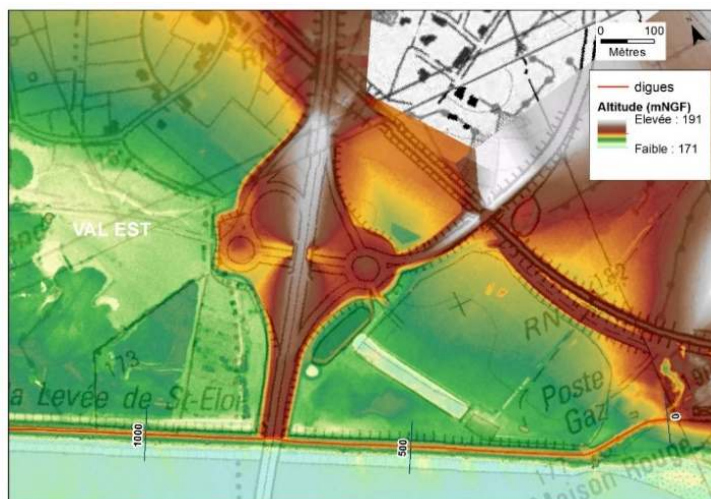




1.1 VAL EST

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

- Plusieurs levées distinctes, de l'amont vers l'aval :
 - Levée de Maison Rouge sur environ 180 m de long,
 - Levée de Saint Eloi 2ème section, d'une longueur de 2200 m et d'une hauteur moyenne de 3,2 m.
 - Levée rive gauche du canal de dérivation sur environ 1150 m de long et pour une hauteur moyenne de 2,1 m,
- La présence d'un point singulier : la station de pompage et de refoulement de la Baratte, encastrée dans la digue ;
- La présence de l'autoroute A77 qui joue un rôle dans la protection du val et, à ce titre, qui est considéré comme un ouvrage secondaire ; en effet, en cas de rupture de la levée entre les PK0 et PK750, un casier se remplirait en amont du remblai de l'A77 et, aucun ouvrage de transparence n'ayant été relevé sur le linéaire et la cote des remblais de l'autoroute étant bien supérieure à la cote de la digue, il ne peut y avoir surverse par-dessus le remblai avant une surverse généralisée sur le reste du système d'endiguement.





1.2 VAL OUEST

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

- Plusieurs levées distinctes, de l'amont vers l'aval :
 - Levée du canal de dérivation de la Nièvre en rive droite sur environ 2600 m de long avec une hauteur moyenne de 2,0 m ; en amont de la voie ferrée, la levée comporte en crête une route et une promenade, ce qui lui confère une grande largeur ;
 - Levée de Saint Eloi 1ère section, d'une longueur de 1270 m et d'une hauteur moyenne de 3,0 m.
 - Levée de Médine sur environ 360 m de long et pour une hauteur moyenne de 2,8 m. Cette levée est située dans contexte urbain, souvent encastrée dans des bâtiments ou prenant la forme d'un mur.
- La présence de deux points singuliers :
 - la porte de Médine qui permet le passage de la digue en voiture vers un parking. Elle s'actionne manuellement et ses portes s'ouvrent côté Loire.
 - la station d'exhaure du pont mal Placé
- La présence de nombreux bâtiments encastrés ou de culées de pont.

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



2 RAPPEL DE DEFINITION DU NIVEAU DE PROTECTION ET DE SURETE D'UN SYSTEME D'ENDIGUEMENT

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

- Le niveau de sûreté se définit comme le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de l'ouvrage ne peut plus être considérée comme négligeable.
- Le niveau de protection est le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la zone protégée commence à être inondée sans rupture préalable de la digue, par débordement au-dessus du sommet de la digue ou par un déversoir.

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

Dans le cas des digues de Loire :

- Le niveau de sûreté se définit donc comme le niveau d'eau dans le lit endigué de la Loire jusqu'auquel la probabilité événementielle de rupture de l'ouvrage peut être considérée comme négligeable.

Dans l'étude de dangers réalisée par BRLi en 2018, le niveau de sûreté est défini en fonction du niveau d'eau maximal dans la Loire pour lequel la probabilité de rupture de l'ensemble des profils discrétisant le système d'endiguement (au pas de 50 m) est inférieure à 1%.

- Le niveau de protection se définit donc comme le niveau d'eau dans le lit endigué de la Loire à partir duquel la zone protégée commence à être inondée sans rupture préalable de la digue par débordement au-dessus du sommet de la digue ou par un déversoir.

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

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

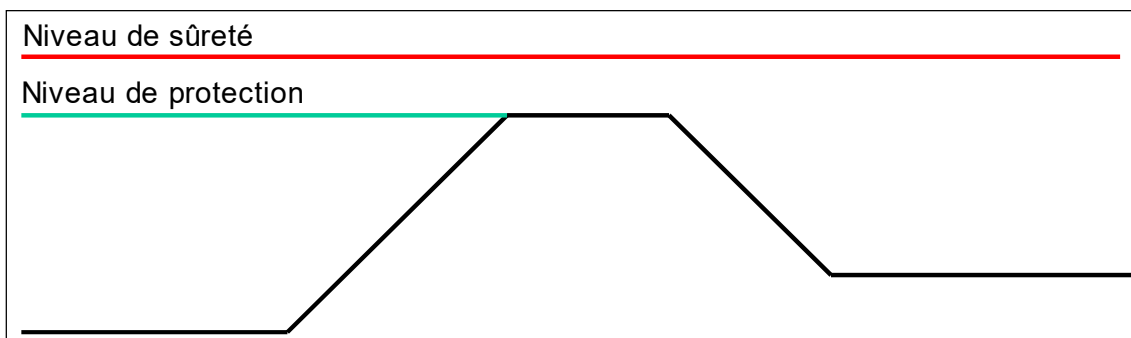


Figure 1 : Digue fiable

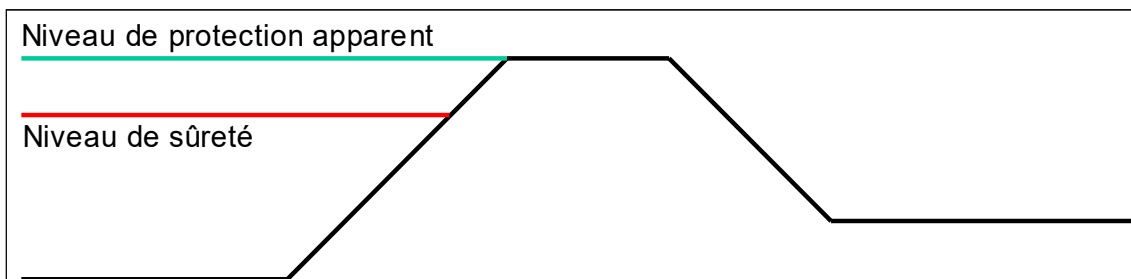


Figure 2 : Digue non fiabilisée, non équipée d'un déversoir (cas des levées constituant le système d'endiguement du val de Nevers)

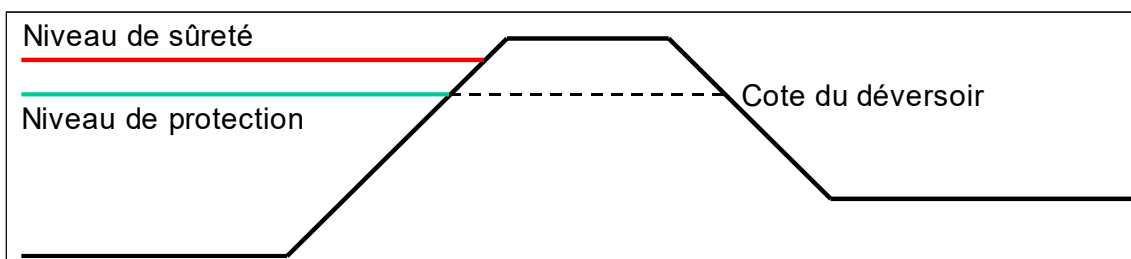


Figure 3 : Digue partiellement fiabilisée, équipée d'un déversoir

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

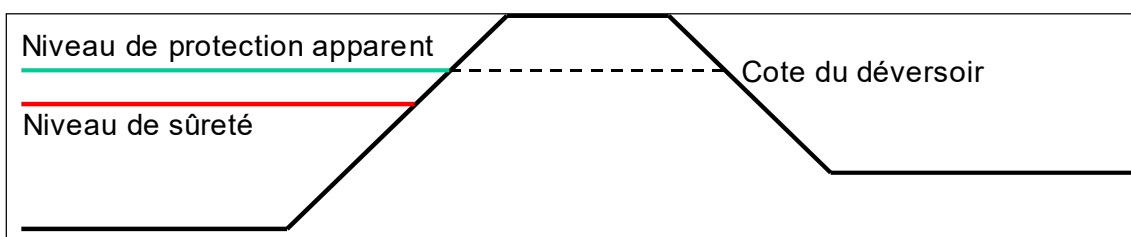


Figure 4 : Digue non fiabilisée, équipée d'un déversoir

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



3 RAPPEL DES DONNÉES DISPONIBLES

L'objectif de ce paragraphe est de faire l'état des lieux des données existantes et de vérifier si elles permettent de répondre aux objectifs de la présente étude. L'inventaire vise à déterminer la complétude des données et si leur ancienneté ne remet pas en cause leur représentativité.

3.1 BILAN DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les paragraphes suivant présentent les sources des données sur lesquelles se basera la présente étude. Si, au cours de l'étude, des éléments non pris en compte sont identifiés (ouvrages, remblais, etc.), BRLi pourra procéder à des levés ponctuels à l'aide de son GPS à précision altimétrique centimétrique.

3.1.1 Topographie générale

La topographie générale de la zone est celle utilisée dans le modèle hydraulique réalisé par ISL en 2014. Le rapport de construction du modèle indique les données utilisées pour la construction du modèle numérique de terrain (MNT) intégré au modèle hydraulique. Les éléments sont repris ci-après.

Plusieurs modèles numériques de terrain ont été utilisés :

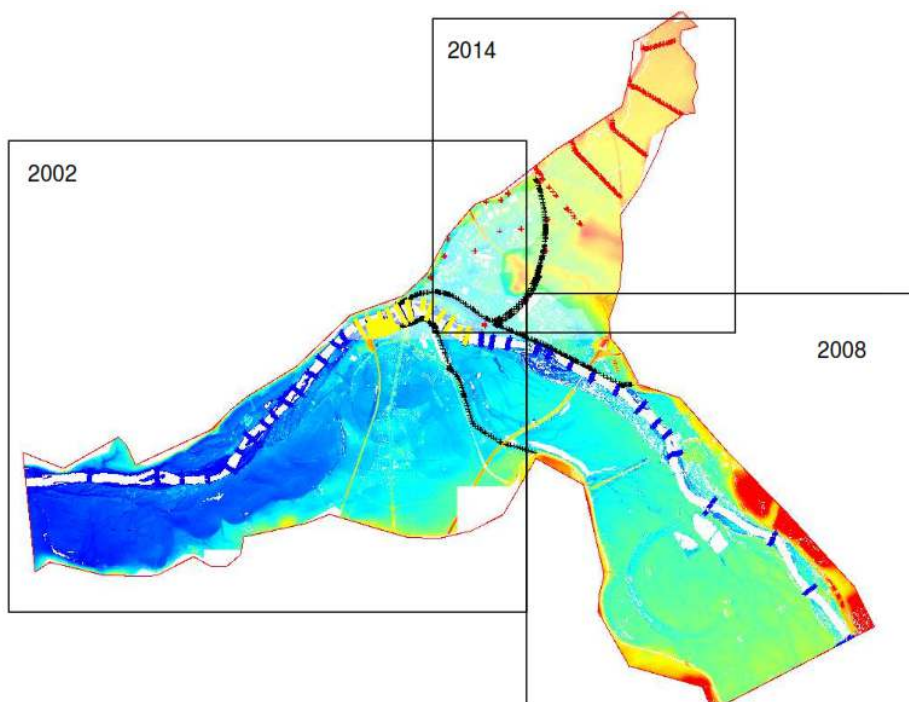
- *MNT Laser : ce semis de points topographiques à haute résolution a été obtenu par laser aéroporté en avril 2002,*
- *MNT Lidar datant de janvier 2008,*
- *MNT Lidar datant de janvier 2014,*
- *Levés terrain de 2014 dans le lit majeur de la Loire entre les deux ponts et 12 profils en travers (en jaune).*

Les MNT de 2002 et 2008 fournissent également la cote des toits des bâtiments : ces informations seront également utilisées par la suite.

Différents profils bathymétriques ont été réalisés sur les cours d'eau :

- *Une trentaine de profils sur la Loire (en bleu),*
- *Dix profils sur la Nièvre (en rouge).*

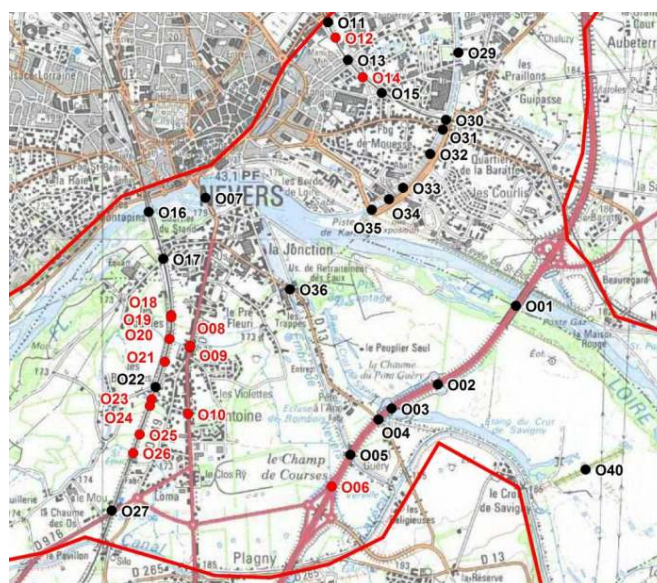
Des levés topographiques sur les digues (en noir) ont été pris en compte.



3.1.2 Ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques ont été intégrés au modèle hydraulique d'ISL. Les caractéristiques des ouvrages ainsi que leur prise en compte dans Telemac 2D sont issus de l'étude Egrian.

Les ouvrages de petites dimensions qui rentrent facilement en charge en cas de crue, sont modélisés par un ouvrage de type buses sous TELEMAC. Les ouvrages de grandes dimensions sont intégrés au maillage, seules les piles éventuelles sont extraites du modèle. Les seuils présents dans les lits mineurs sont pris en compte dans l'altimétrie du maillage. Les ouvrages modélisés par un orifice sont représentés par un point rouge, ceux qui sont directement intégrés au maillage sont représentés par un point noir.





3.2 BILAN DES DONNEES SIG

BRLi dispose de nombreuses données cartographiques acquises dans le cadre de l'étude de dangers du système d'endiguement en rive droite de l'agglomération de Nevers. Il s'agit sans être exhaustif :

- Du MNT de la zone,
- Des données des enjeux du TRI,
- Des données de la BD TOPO,
- Des fonds scan25 et Orthophoto,
- Du linéaire des digues en rive gauche.

La DDT58 a fourni les données SIG de l'étude Egrian et de l'EDD rive gauche.

3.3 BILAN DES DONNEES HYDRAULIQUES

BRLi dispose du modèle hydraulique d'ISL qui a déjà été utilisé dans le cadre de l'EDD rive droite et dans le cadre de l'implantation de déversoir en rive gauche. La DDT58 a fourni les fichiers de simulations des modélisations Télémac2D réalisées dans le cadre de l'étude de dangers du système d'endiguement de Nevers rive gauche.



4 RAPPEL DES OBJECTIFS

4.1 RAPPEL DES CONCLUSIONS DES ETUDES DE DANGERS

Les principaux enseignements pour le val Ouest sont les suivants :

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 ;

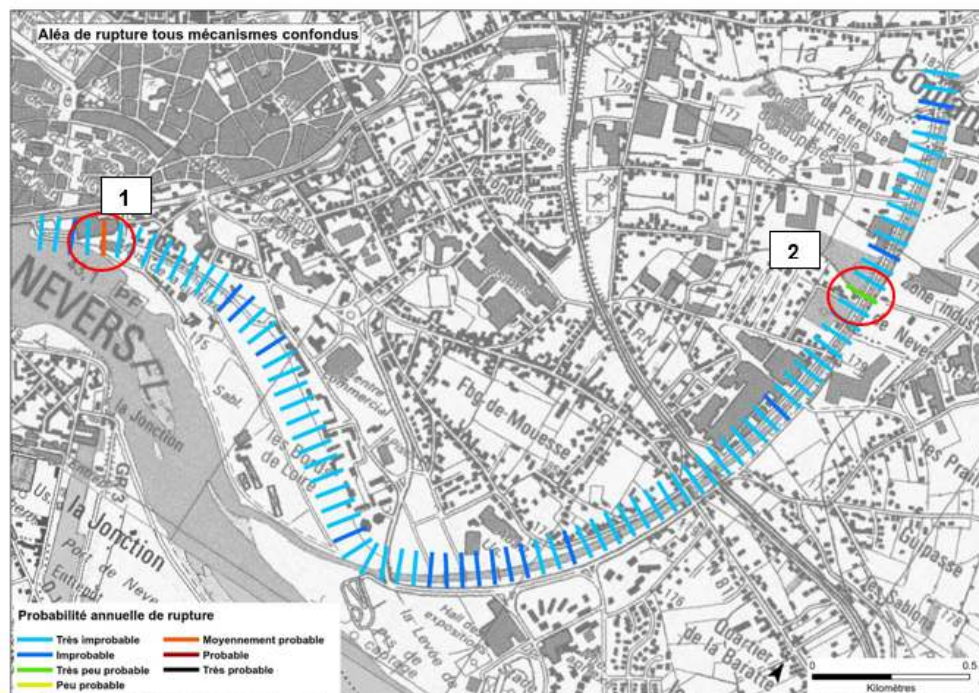


Figure 4 : probabilité annuelle de rupture tous modes confondus des différents profils en travers

- 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%.

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%).

En complément, il convient de noter les points suivants :

- Les premières surverses se produisent en amont du canal de dérivation de la Nièvre à proximité de l'ouvrage de répartition de Coulanges pour une crue d'occurrence T=1400 ans de la Loire et T=100 ans en Nièvre. Ce scénario correspond au niveau de protection apparent du val Ouest.
- Risque principal : érosion interne non négligeable à partir de 150 ans (correspond au niveau de sûreté du linéaire de digue),
- Aménagements envisagés :
 - Fiabilisation des digues,
 - Création d'un déversoir de sécurité et d'un ouvrage de gestion des eaux de surverses au niveau de l'extrémité aval de la levée rive droite du canal de dérivation : gestion de la surverse pour éviter les brèches et assurer l'inondation maîtrisée du val Ouest.

4.2 RAPPEL DES TRAVAUX DE CONFORTEMENTS PROJÉTÉS DANS LE CADRE DE LA PRÉSENTE ÉTUDE DE MAÎTRISE D'ŒUVRE

Dans le cadre de la présente mission de maîtrise d'œuvre complète, confiée au groupement Safège/BRLi, il est projeté de réaliser des travaux de confortements au droit des points de faiblesses identifiés lors des EDD, à savoir :

- Le point 1 aux environs du pk4050

Il est projeté au droit de ce secteur (à proximité immédiate de la maison de la culture et de la DDT) de pérenniser l'ouvrage vis-à-vis du risque d'érosion interne, de glissement et d'instabilité du mur de soutènement existant.

- Le point 2 aux environs du pk750

Il est projeté au droit de ce secteur (canalisation de l'ouvrage de l'Eperon) de pérenniser l'ouvrage vis-à-vis du risque d'érosion interne.

En complément de ces travaux de confortement, il est projeté pour le val Est :

- Concernent les points 3 et 4, d'étudier un arasement de la digue pour supprimer le risque de brèche ;
- Concernant le point 2, d'intégrer les travaux de pérennisation de l'ouvrage aux travaux projetés de création de la zone de surverse



4.3 CARDIGUE

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

L'estimation du potentiel de rupture du système d'endiguement consiste à évaluer les probabilités des scénarios de défaillance, de chacun des tronçons de digue le constituant. Pour mémoire, dans le cadre des EDD, les digues ont été découpées en tronçons de 50 m de longueur caractérisés, chacun, par un profil en travers.

Le diagnostic de fiabilité de chaque tronçon élémentaire a été réalisé dans le cadre des EDD en utilisant le modèle de l'aléa de rupture (CARDigue) développé par le LRPC de Blois, la DREAL Centre et IRSTEA.

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 encastrés, 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).

4.3.2 Prise en compte des travaux projetés

Dans le cadre de la présente étude, des simulations ont été effectuées avec Cardigue afin de prendre en compte les travaux projetés et listés ci-dessus et ainsi mettre en évidence les nouveaux points de faiblesses et le niveau de sûreté associé.

Les résultats de ces simulations concernant le val Ouest sont rappelés ci-dessous.

Compte tenu des travaux de confortement projetés aux environs des pk700 et 750 d'une part et entre les pk3950 et 4150 d'autre part, le système d'endiguement sur ces linéaires est considéré comme présentant un niveau de sûreté supérieur à 200 ans. En détail, il a été considéré et saisi dans Cardigue :

- un déversoir entre les pk2400 et 2600, avec suppression de la végétation;
- la suppression de la végétation et la réalisation d'un massif filtrant au droit du PK750 ;
- Et, au droit du pk 4150, la réalisation de travaux de type massif filtrant accompagné d'un reprofilage du talus côté Val et/ou prise en compte du risque de glissement en cas de crue.

Pour T200, tous les résultats sont inférieurs à 1%. Pour T500, les points de faiblesse, c'est-à-dire les secteurs présentant une probabilité de rupture tous modes confondus supérieure à 1.0%, sont les suivants :

- pk100/150 qui se caractérise par un risque de rupture par surverse ;
- pk 2750 qui se caractérisent principalement par un risque de rupture par érosion interne



- Il convient de noter que le PK4050 malgré la prise en compte d'un massif drainant et en considérant que la conception prend en compte le risque de glissement présente une probabilité de rupture pour Q500 de 2%. Cela s'explique principalement par la faible largeur de l'ouvrage, point non traité dans le cadre des travaux projetés compte tenu des problématiques foncières du secteur.

4.4 OBJECTIFS RETENUS DANS LE CADRE DE LA PRESENTE ETUDE

Les objectifs des zones de surverse projetées sont les suivants :

- Éviter les brèches 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 ;
 - érosion interne,**en provoquant une inondation volontaire et, de fait, un équilibrage des charges hydrauliques,**
- Éviter les brèches par surverse, **en créant un matelas d'eau côté zone protégée qui préservera l'ouvrage en cas de surverse généralisée,**

Il convient de noter que l'abaissement de la ligne d'eau sera une incidence, favorable, mais qui ne constitue pas un objectif de de conception.

4.4.1 Méthodologie générale

L'étude de l'équilibrage des charges hydrauliques est une étude complexe qui nécessite de prendre en compte à la fois la temporalité de l'inondation du val et les caractéristiques topographiques du val.

Afin de caractériser l'efficacité projetée de l'aménagement étudié, sur la base des résultats des modèles numériques, il a été utilisé Cardigue en décomposant l'occurrence Q500 en 3 pas de temps :

- Q500 t0 qui correspond au début de la surverse
- Q500 t10h qui correspond au pas de temps : surverse + 10h. Cet instant correspond au pic de crue de la Loire
- Q500 t12.75h qui correspond au pas de temps : surverse + 12.75h. Cet instant correspond à l'atteinte du demi-remplissage du val au niveau du PK3000 de la digue ;
- Q500 t27.75h qui correspond au pas de temps : surverse + 27.75h. Cet instant correspond à la redescente du niveau de la Loire sous le niveau de surverse et au remplissage maximal du val au niveau du PK3000 de la digue.

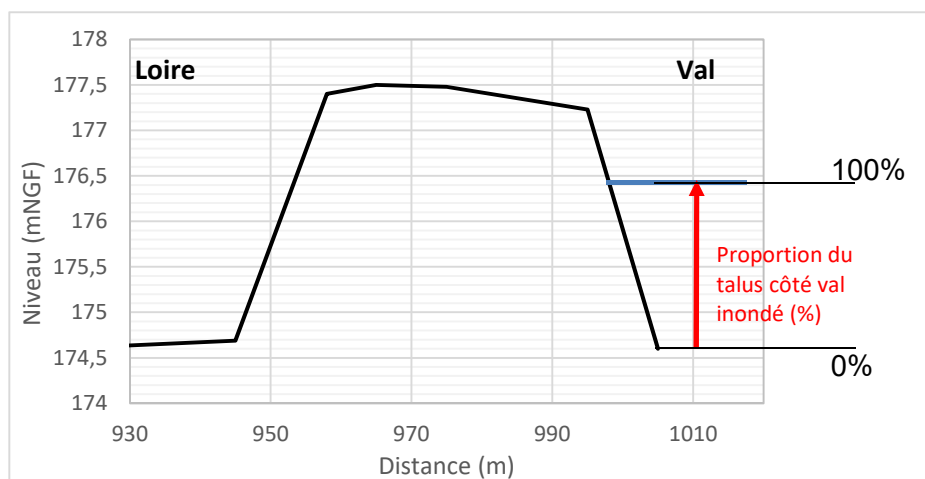
La ligne d'eau de la Loire et le niveau d'eau dans le val résultent des modélisations effectuées.

Cette méthodologie a permis d'intégrer à Cardigue une notion de temporalité, indispensable à l'analyse finale des scénarios testés. Cette phase est présentée au paragraphe 10 du présent rapport.



4.4.2 Risque de brèche en cas de surverse généralisée

Afin de se prémunir du risque de brèche en cas de surverse généralisée, il est recommandé de mettre en œuvre un remplissage contrôlé du val. En effet, le matelas d'eau permettra de réduire l'érosion externe en pied de talus et ainsi le risque de brèche. Le matelas d'eau selon son importance (c'est-à-dire sa proportion par rapport à la hauteur total de l'ouvrage) permettra également de limiter la prise de vitesse des eaux de surverse et ainsi de limiter l'érosion externe sur le talus.



Il n'existe pas à ce jour de bibliographie, normes ou documents de référence permettant de statuer sur la hauteur de matelas d'eau à mettre en œuvre, d'autant plus que l'érosion externe sur le talus notamment dépend fortement de l'état de celui-ci et de la présence ou non d'obstacles tels que de la végétation ou du mobilier urbain.

A dire d'expert, il a été retenu un objectif de remplissage du val permettant d'atteindre un ratio du talus aval noyé supérieur à 70%.

En termes de temporalité, compte tenu des aléas de modèle hydraulique et des irrégularités probables du profil en long, il est recommandé de viser un remplissage optimum dès que la revanche devient inférieure à 50cm.

4.4.2.1 Cardigue

Il convient de noter que Cardigue prend en compte la présence éventuelle d'eau côté zone protégée en intégrant les facteurs favorables suivants :

Coefficient lié à la présence d'eau coté Val (en mètres)				
Intervals de hauteur d'eau en mètre	0	< Heau Val <	0,50	0,9
	0,5	< Heau Val <	1,00	0,7
	1	< Heau Val <	2,00	0,5
	2	< Heau Val		0,1

Pour tenir compte de ce point et de notre analyse à dire d'expert, nous avons intégré dans CARDIGUE une condition et un facteur favorable complémentaire :

- Si Heau val > 2m et Heau val / Htalus > 70%, alors F = 0.01 ;



Ainsi les résultats de CARDigue ne sont pas modifiés pour des hauteurs d'eau côté val inférieures à 2m mais sont améliorés lorsque l'on a, à la fois une hauteur d'eau de plus de 2m et un remplissage de plus de 70%.

Au droit du val Ouest, les hauteurs de surverse et revanches associées aux différentes occurrences de crue peuvent être synthétisées ainsi :

- Pour Q500 et Q750, hormis au droit des pk100 et 150 évoqués ci-dessus, aucune surverse ne semble se produire et les revanches sont supérieures à 50 cm.
- Pour Q1000, hormis au droit des pk100 et 150 évoqués ci-dessus, aucune surverse ne semble se produire mais les revanches sont en de nombreux pk inférieurs à 50 cm.

En ce qui concerne, le risque de surverse au droit des pk100 et 150, il convient de noter que ces profils se caractérisent par les données, résultats et constats suivants :

- *la cote de crête a été relevé sur MNT à environ -0.4 à -0.6m par rapport aux profils à proximité immédiate ; compte tenu de la précision du MNT un relevé topographique complémentaire semblerait pertinent ;*
- *les caractéristiques géométriques sont hétérogènes entre les pk100 et 150, du fait notamment d'un approfondissement du TN côté zone protégée au droit du PK150*

	Pk100	Pk150
Cote TN	178.97	177.76
Hauteur de l'ouvrage/TN	0.55	0.40

- *la position de ces profils implique que le niveau d'eau est probablement, fortement influencé par les crues de la Nièvre. Or aucune étude de sensibilité n'a été réalisée à ce jour sur ce point. Pour mémoire, il a été retenu en concomitance avec les crues de la Loire une crue de la Nièvre de période de retour 100 ans.*
- *la position de ces profils rend très difficile la création d'un matelas d'eau par le biais d'un déversoir positionné tel que projeté à ce jour.*

Ainsi, concernant le risque de surverse des profils 100 et 150 et par extrapolation des profils pk0 à 1200, nous recommandons la réalisation de levés topographiques complémentaires et d'une étude spécifique au risque de crue de la Nièvre pour plusieurs occurrence et en concomitance avec une crue de la Loire de période de retour 200 et/ou 500 ans.



5 ASPECTS METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE HYDRAULIQUE

5.1 DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE

Avant de débiter les études préliminaires 4A et 4B, un état de référence avait été fixé.

Il est important de noter que, depuis, la cote de calage de la zone de surverse rive gauche a été modifiée : passant de Q170 à Q200.

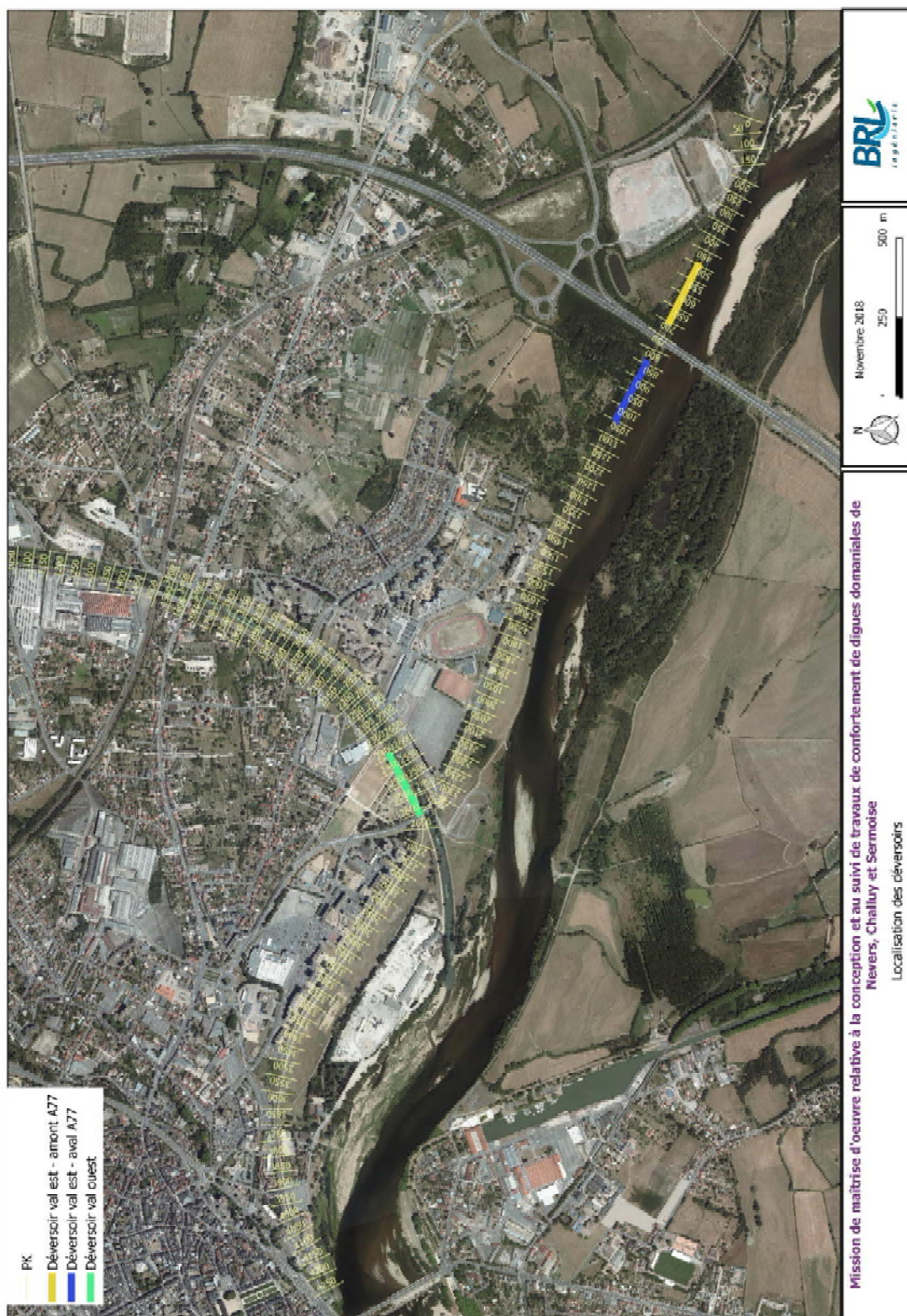
Ainsi l'état de référence à prendre en compte dans le cadre de la présente étude est le suivant :

- considérer le déversoir en rive gauche réalisé avec les dimensions retenues dans le cadre des études en cours de réalisation par SAFEGE/BRLi.
 - Largeur : 270 ml.
 - Localisation : du PK1580 à 1850,
 - Cote déversante : 177.86 NGF correspondant à un niveau d'occurrence de crue de 200 ans,
- Considérer l'arasement ARAS1 réalisé
- considérer le déversoir du val Est selon le scénario 5 :
 - Largeur : 200 ml.
 - Localisation : entre les PK850 et 1050 (hors rampe d'accès),
 - Cote déversante : de 178.10 à 178.07 mNGF correspondant à un niveau d'occurrence de crue de 200 ans,
- de considérer le remblai de la voie ferrée en RG comme ouvert,
- **de considérer une occurrence de crue centennale sur la Nièvre conformément aux études hydrauliques EGRIAN.**



5.2 RAPPEL LOCALISATION DE LA ZONE DE SURVERSE

Figure 5 : Localisation des zones de surverse envisagées en rive droite





5.3 ETUDE D'INCIDENCE DETAILLEE

5.3.1 Scénarios retenus

Pour mémoire, dans le cadre de la précédente étude 2 scénarios ont été étudiés :

Scénario	Occurrence de début de fonctionnement	Niveau du déversoir dans le val Ouest
SC4	170 < T < 200	177.4 mNGF
SC5	T = 200	177.6 mNGF

Dans le cadre de la présente étude relative au Val Ouest, il est étudié le scénario suivant : une zone de surverse de 200ml, calée pour Q200+25cm et positionné entre les PK2375 et 2575 (hors rampe d'accès).

Scénario	Occurrence de début de fonctionnement	Niveau du déversoir dans le val Ouest
SC6	T = 200 + 25cm	178 mNGF*

* on peut noter une légère évolution du niveau correspondant à Q200 entre les études précédentes (177.6 NGF) et la présente étude (177.75 NGF) du fait de la mise à jour du modèle avec le déversoir en RG calé à Q200 et le déversoir du val Est calé à Q200 également.

Les rampes latérales ont une pente de 10%. Compte tenu des spécificités et de la faible largeur du site, la traficabilité en crête ne pourra pas être maintenue. Il convient de noter qu'il existe d'ores et déjà une coupure au droit du pont. Des rampes devront ainsi être aménagées.

La géométrie de la zone de surverse, des bajoyers et de la fosse de dissipation doit faire l'objet d'une étude spécifique. Néanmoins, dans l'attente, il a été saisi dans le modèle les caractéristiques géométriques suivantes :

- pentes de talus côté zone protégée : 20 % ;
- profondeur de la fosse de dissipation : 0.7m et longueur : 15m.

Rappel : Les caractéristiques géométriques retenues dans le cadre des modélisations et notamment les pentes de talus côté zone protégée et les dimensions des fosses de dissipation sont des caractéristiques provisoires qui visent à modéliser les aménagements dans le modèle hydraulique. Il est important de noter :

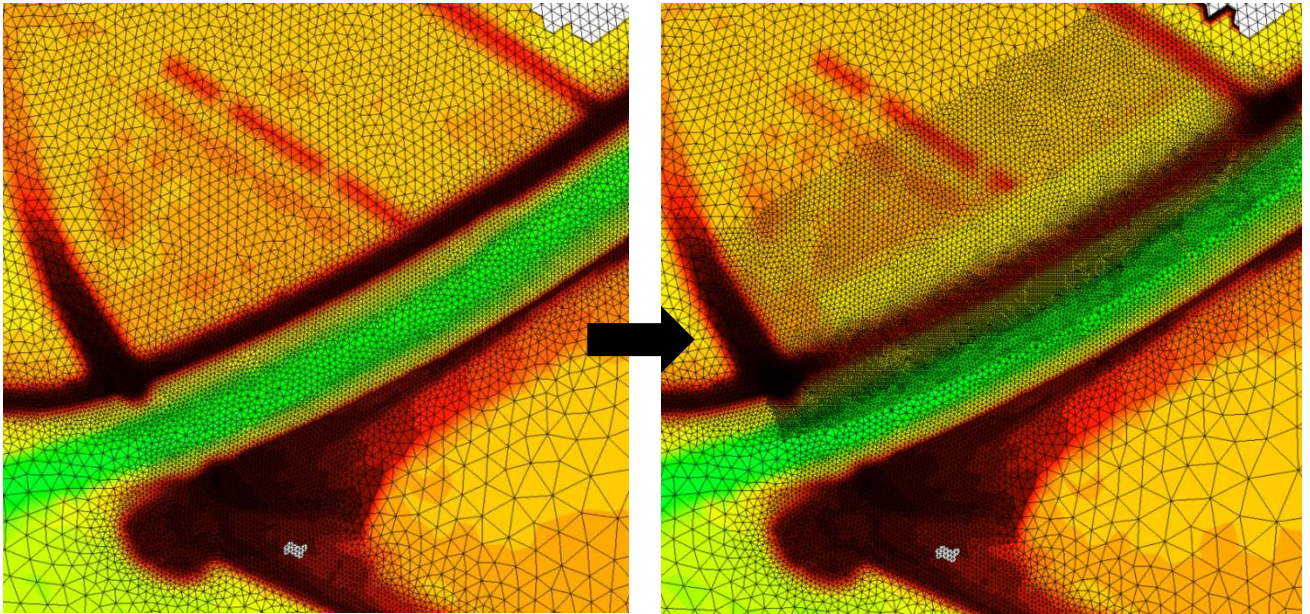
- **que ces caractéristiques n'interfèrent que très peu sur les résultats ;**
- **que les géométries précises devront être précisées au stade AVP et PRO sur la base de note de calculs spécifiques.**

5.3.2 Affinage du modèle hydraulique

Pour mémoire, dans le cadre de la précédente étude, afin de représenter convenablement les écoulements au droit des déversoirs, le modèle hydraulique Télémac2D a été adapté et affiné localement au droit des implantations des ouvrages. Ainsi, il a été mené un affinage du maillage et une modification fine de la topographie pour reproduire précisément la géométrie des ouvrages. De plus, le coefficient de rugosité de Strickler a été fixé à 55 sur le déversoir et le coursier, ce qui correspond à du béton.

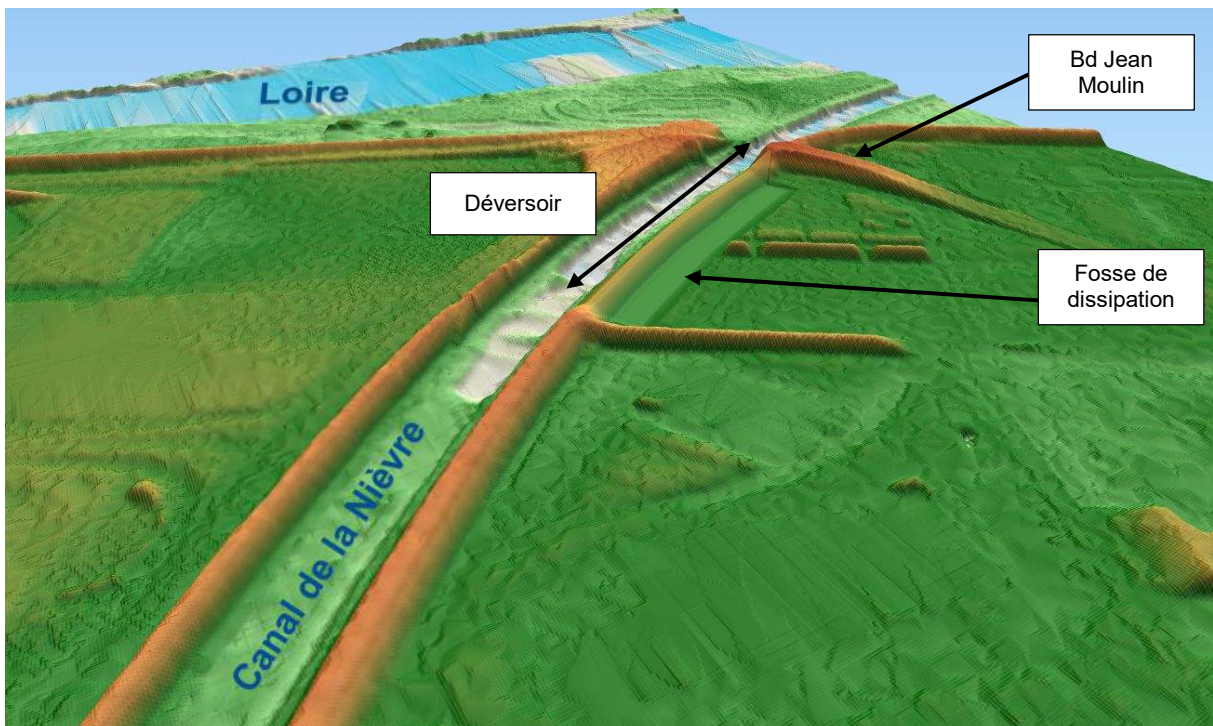


Figure 6 : Affinage du maillage et adaptation de la topographie au droit de la zone d'arasement et du déversoir du val Ouest



Les figures ci-après illustrent en perspective la topographie des différents ouvrages.

Figure 7 : Illustration en perspective du déversoir dans le val Ouest sur le canal de la Nièvre





5.3.3 Présentation des résultats détaillés

Les cartes de résultats ci-après sont présentées à titre indicatif. Les originales sont consultables en Annexe 2. Les cartes des hauteurs d'eau maximales sont insérées en annexe du présent rapport.

5.3.3.1 Vitesses et temps de propagation

5.3.3.1.1 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.

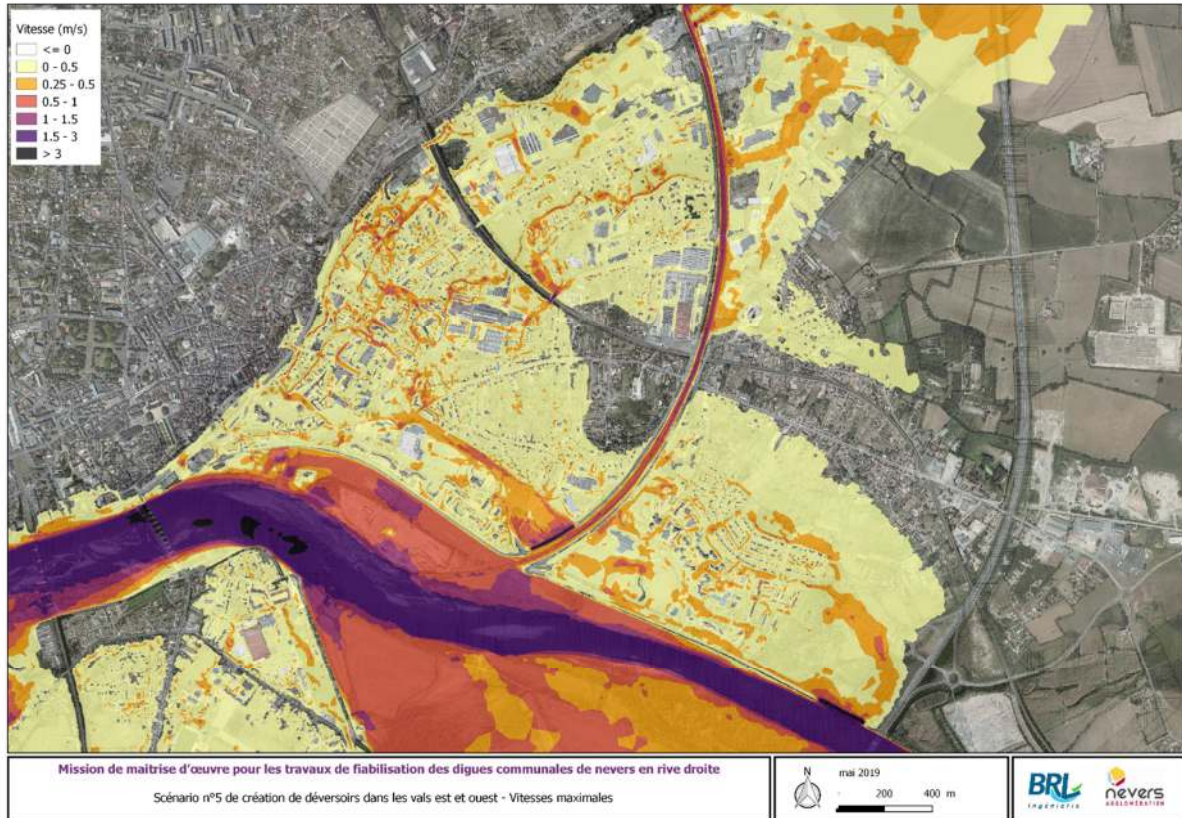
Pour le scénario 6 étudié dans le cadre de la présente étude, pour l'occurrence de crue 500 ans, les modélisations effectuées ont mis en évidence les constats suivants :

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 8 : 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



22

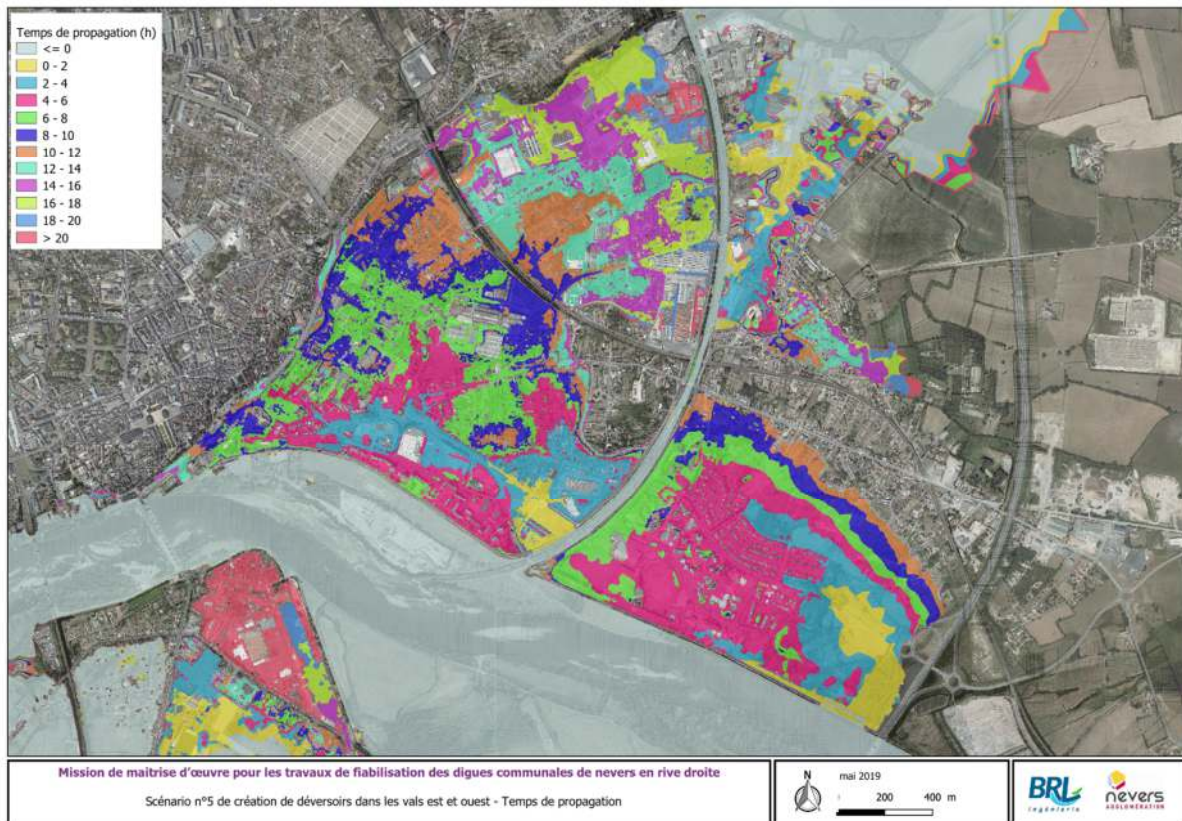
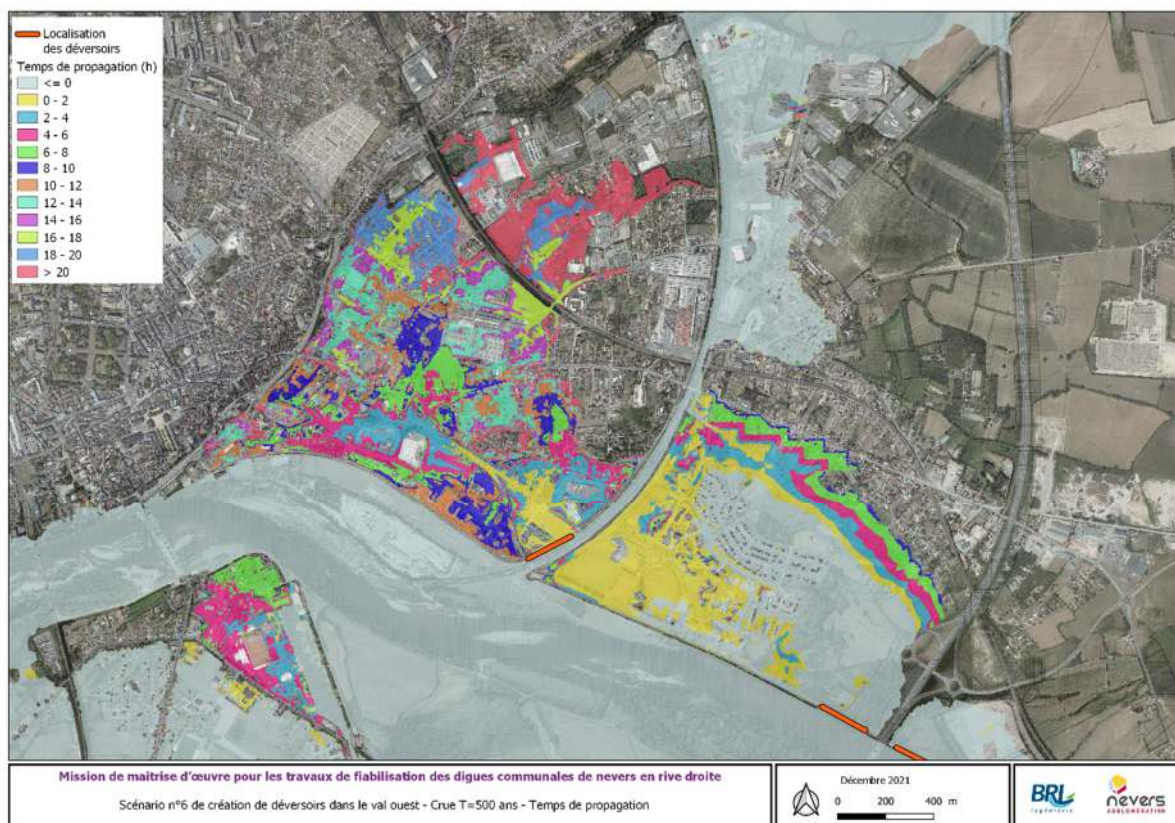
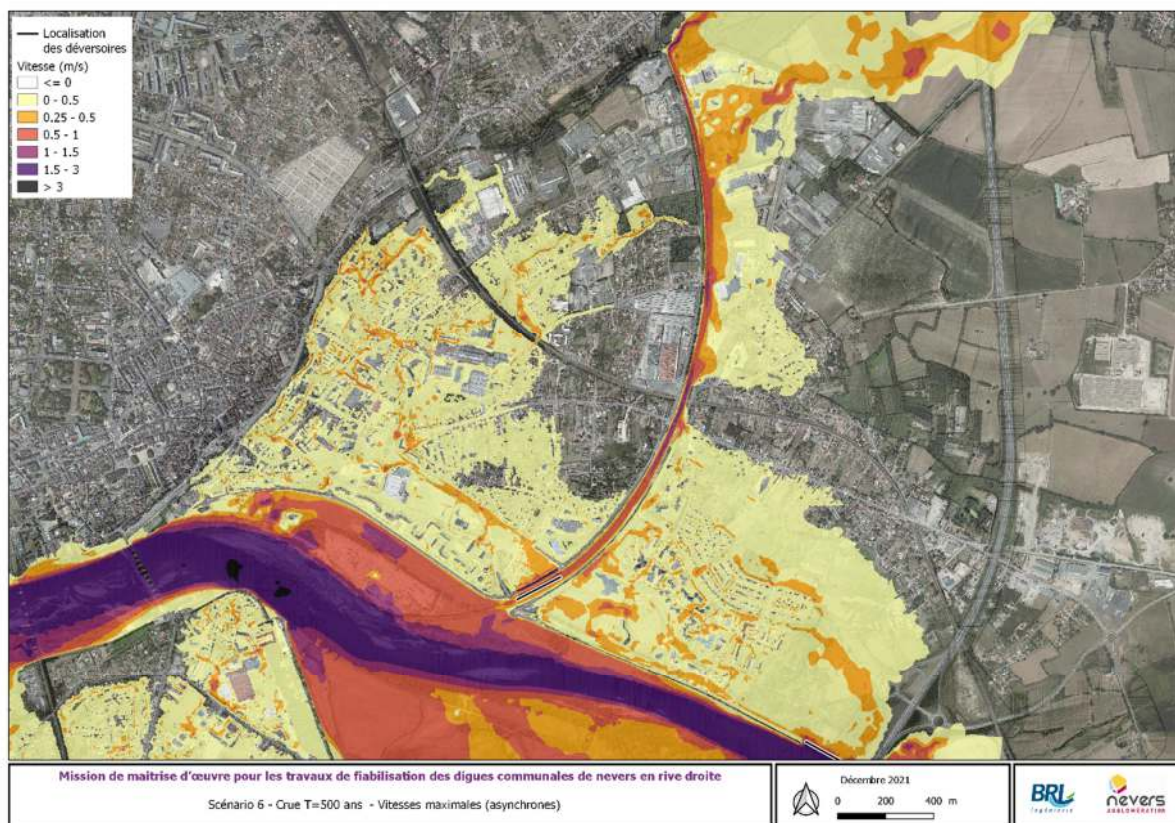




Figure 9 : Carte des vitesses maximales (asynchrones) et du temps de propagation dans le val ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans





5.3.3.1.2 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 déversoire. En revanche, elles sont inférieurs dans le val, entre 0.25 et 0.5 m/s (sauf très localement.

5.3.3.2 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 10 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans

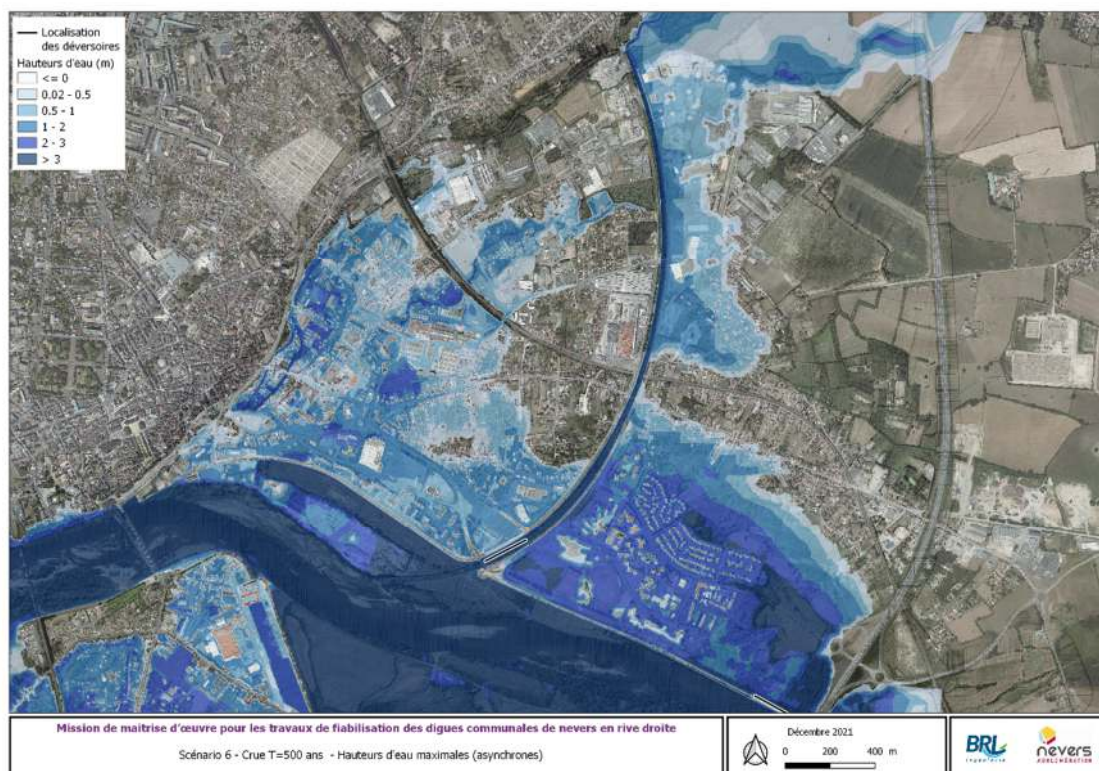


Figure 11 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 500 ans

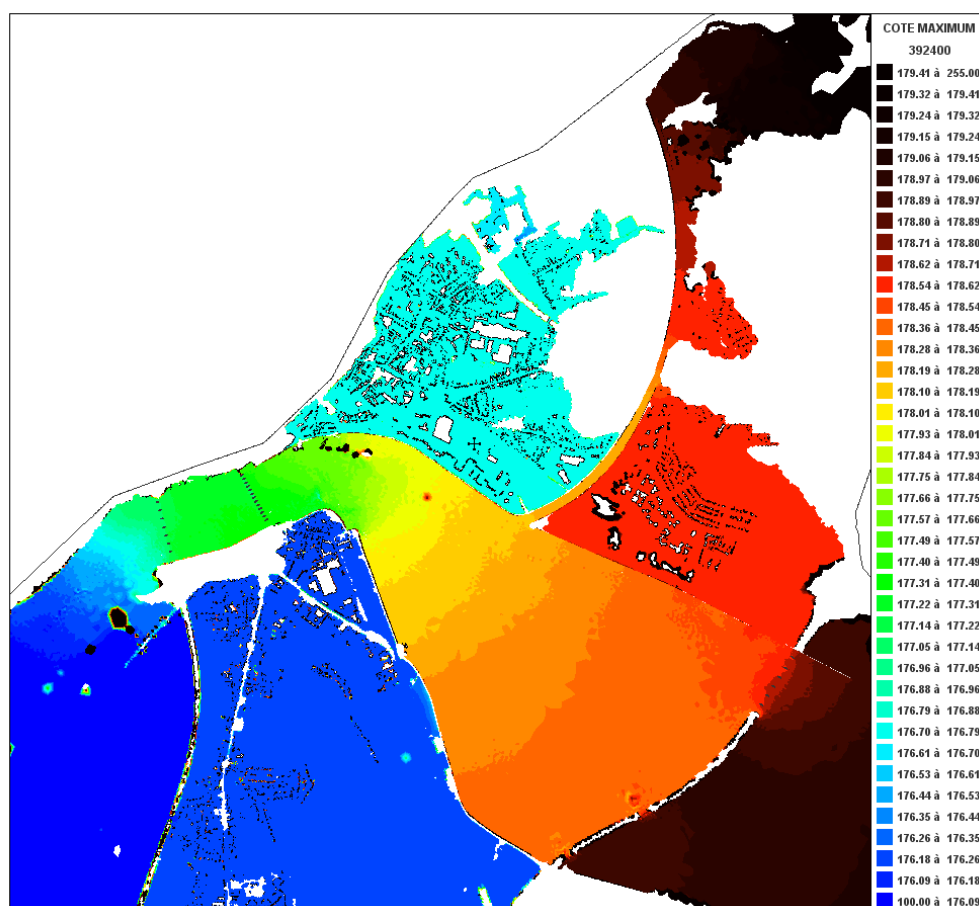




Figure 12 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 750 ans

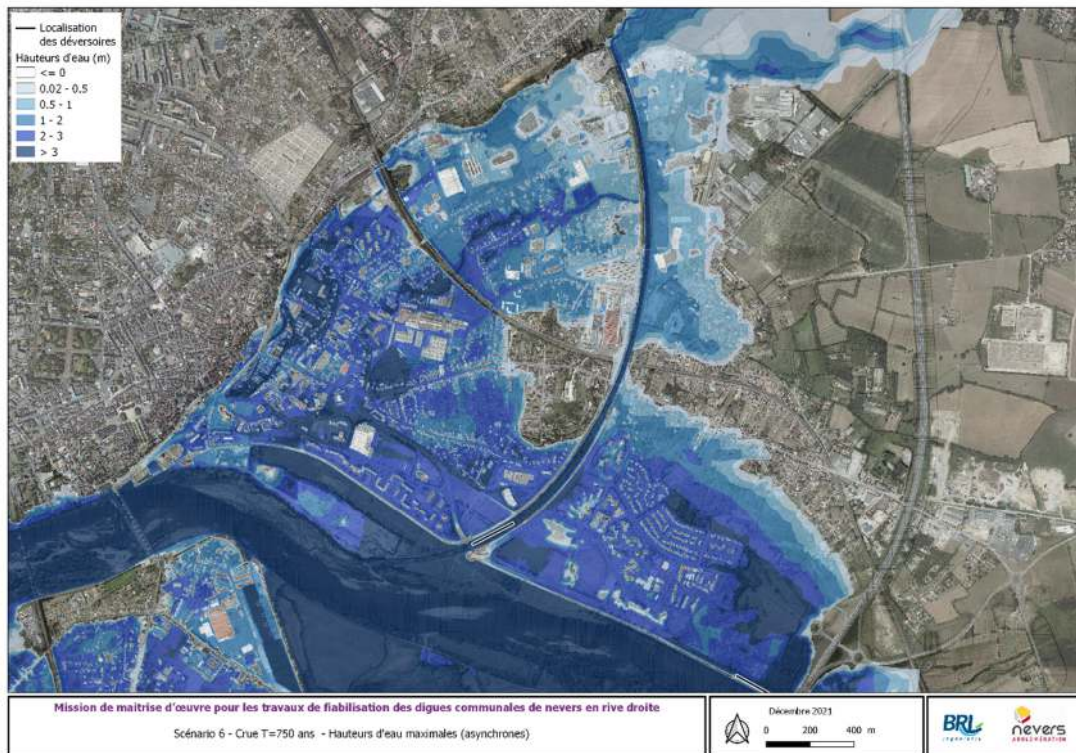


Figure 13 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 750 ans

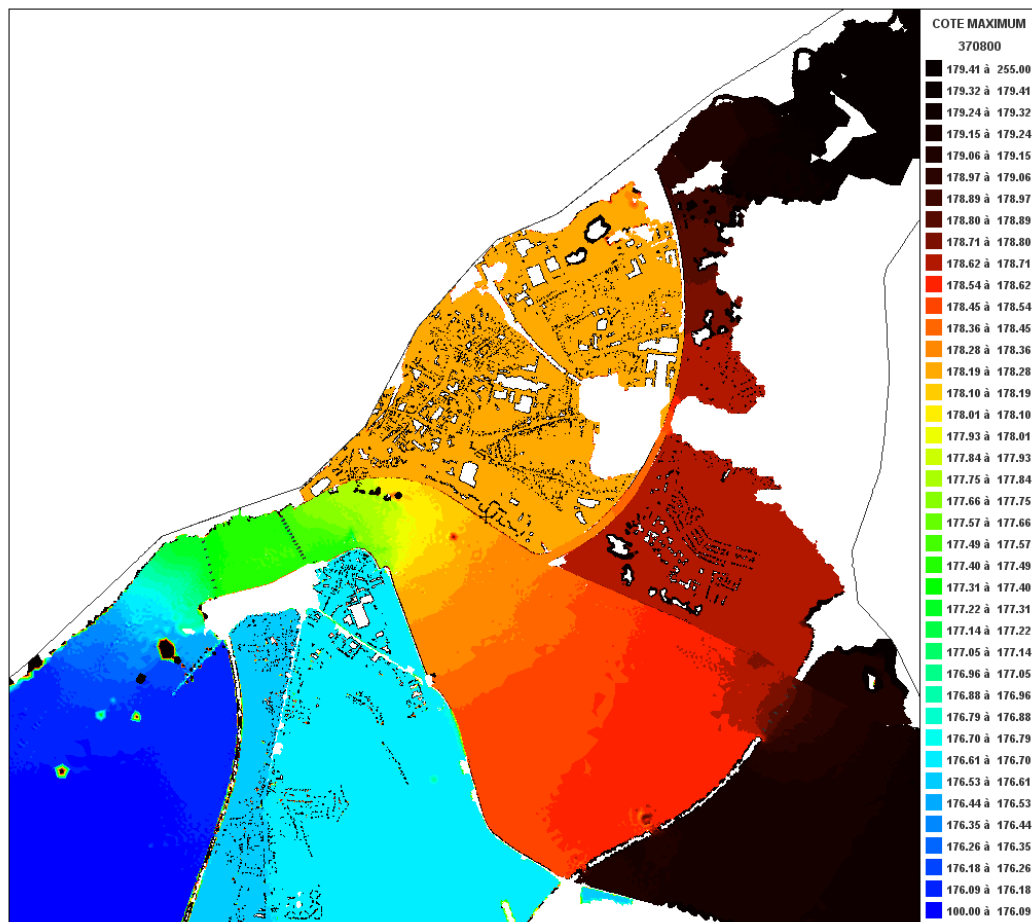




Figure 14 : Carte des hauteurs maximales (asynchrones) dans les vals est et Ouest pour le scénario 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 1000 ans

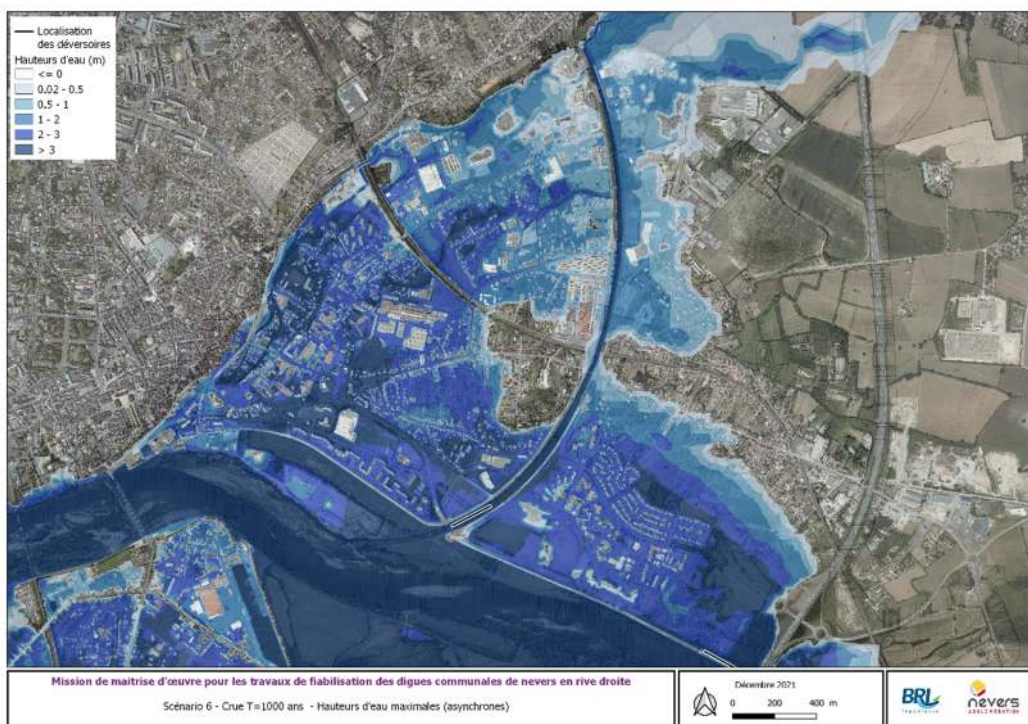
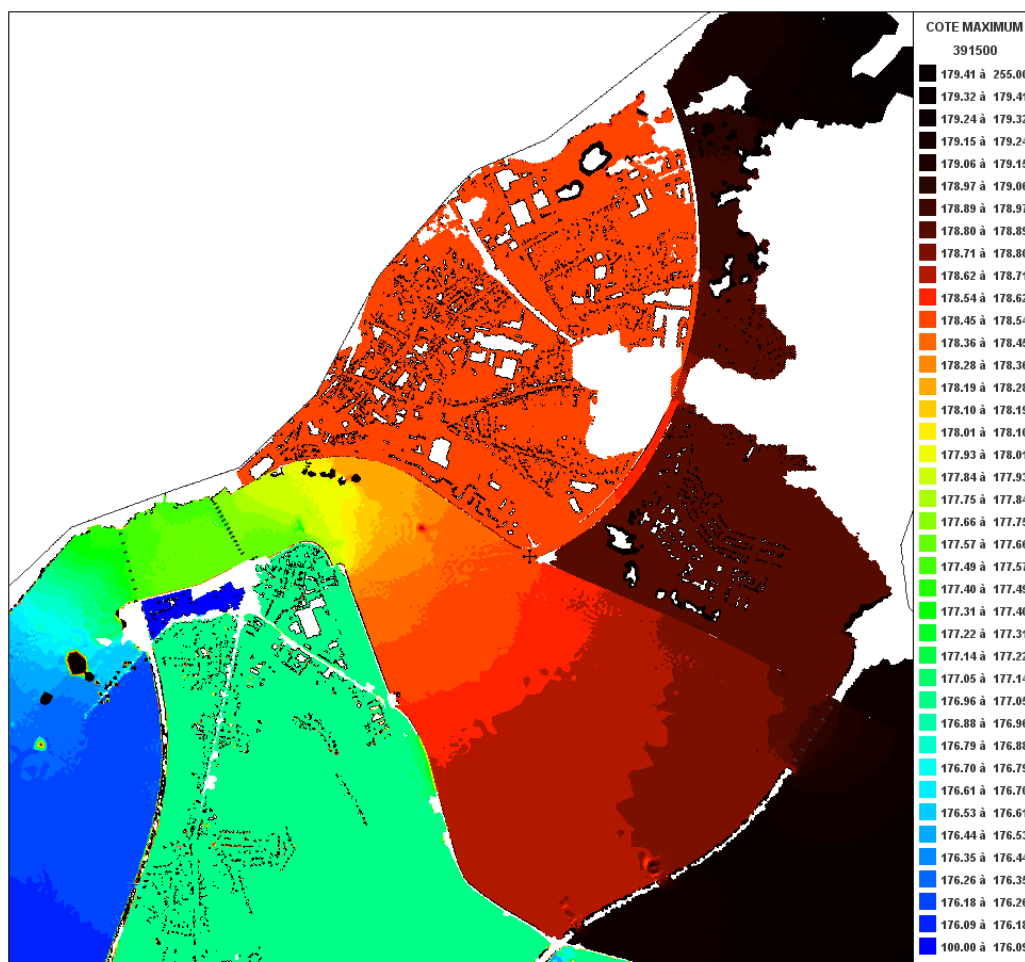


Figure 15 : Carte des cotes maximales dans les vals est et Ouest pour les scénarii 6 de déversoirs– Crue d'occurrence 1000 ans

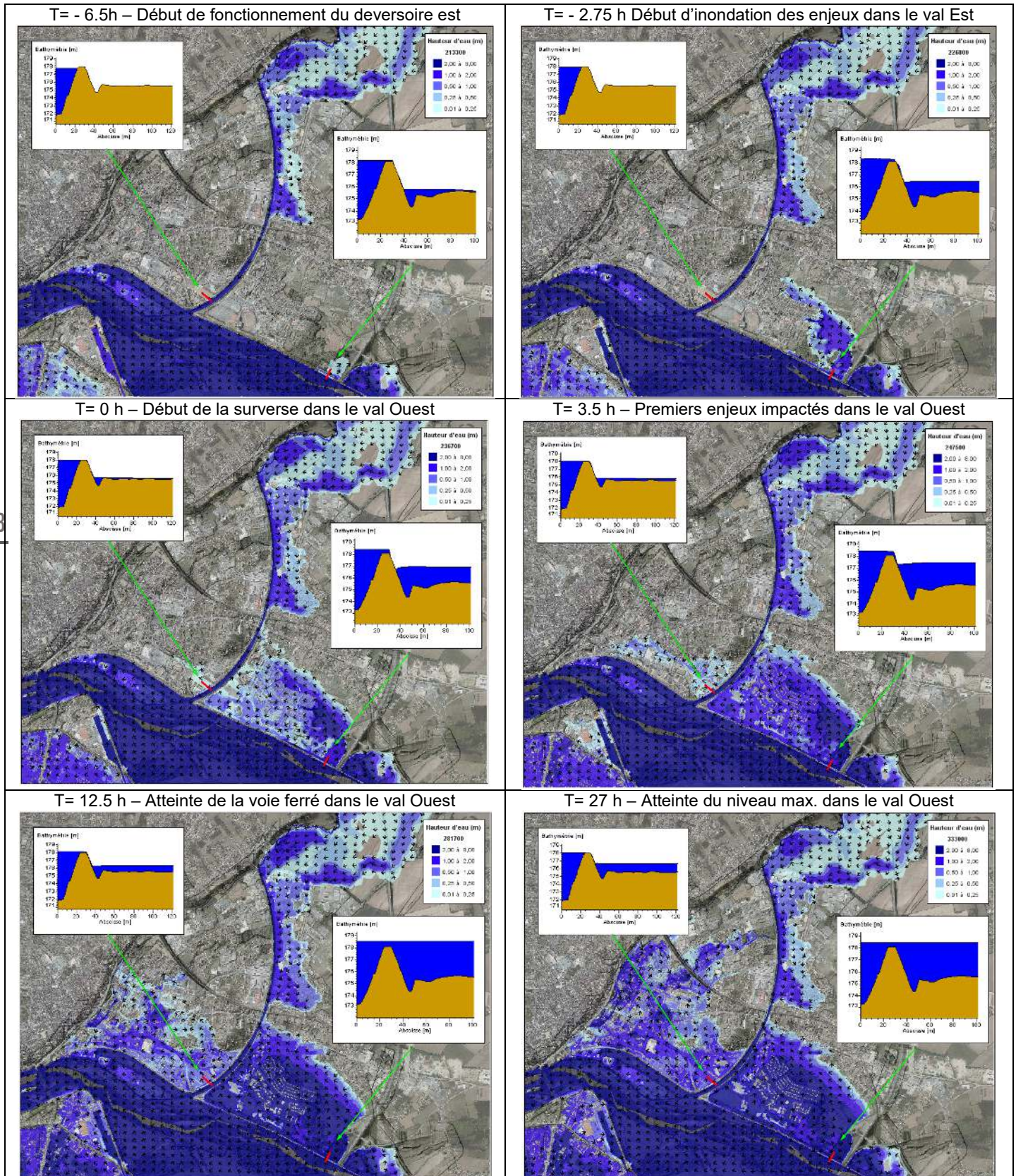




5.3.3.3 Illustration de la cinétique pour le scénario 6

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





5.3.3.4 Inondation résiduelle dans le val Ouest

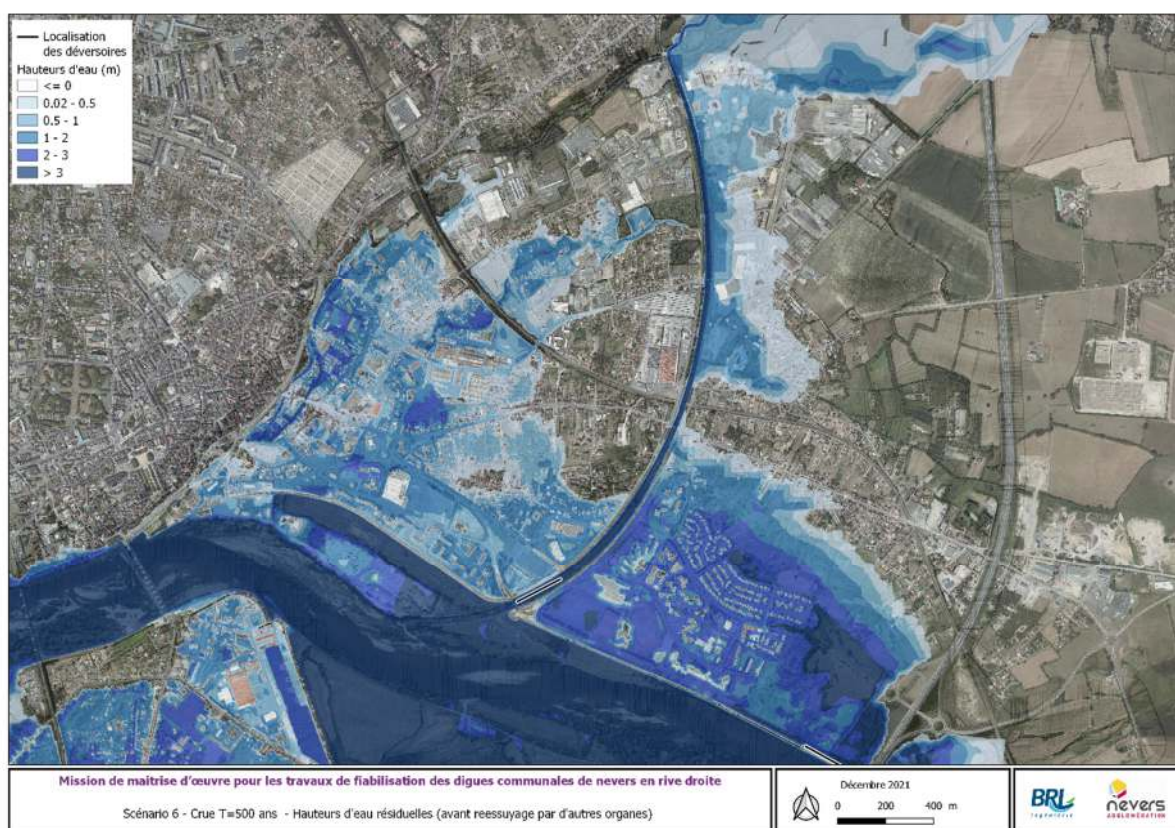
Le niveau d'eau dans le val augmente progressivement pendant tout le temps où le déversoir est en fonctionnement. L'inondation résiduelle, qui correspond dans le cas du scénario 6 pour 500 ans au remplissage maximal, correspond à la fin du fonctionnement du déversoir. Cet instant se produit :

- 22.75h après le fonctionnement du déversoir pour le scénario 6

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 :

- Dans le val Ouest : 1.26 millions de m³ pour le scénario 6 et la crue 500 ans.

Figure 17 : Carte des hauteurs d'inondations résiduelles (avant ressuyage par d'autres organes) pour le scénario 6 de déversoirs- Crue d'occurrence 500 ans





5.3.3.5 Singularités du val Ouest

5.3.3.5.1 Débit et charge hydraulique sur la digue dans le val Ouest

Le débit maximal transitant par le déversoir pour le scénario 6 et la crue 500 ans est de 19 m³/s pour les scénarii 6 (valeur bien inférieure à celle des scénarii 4 et 5 qui considéraient une cote de surverse inférieure).

Figure 18 : Débits sur le déversoir du val Ouest pour les scénarii 4, 5 et 6 pour une crue T=500 ans

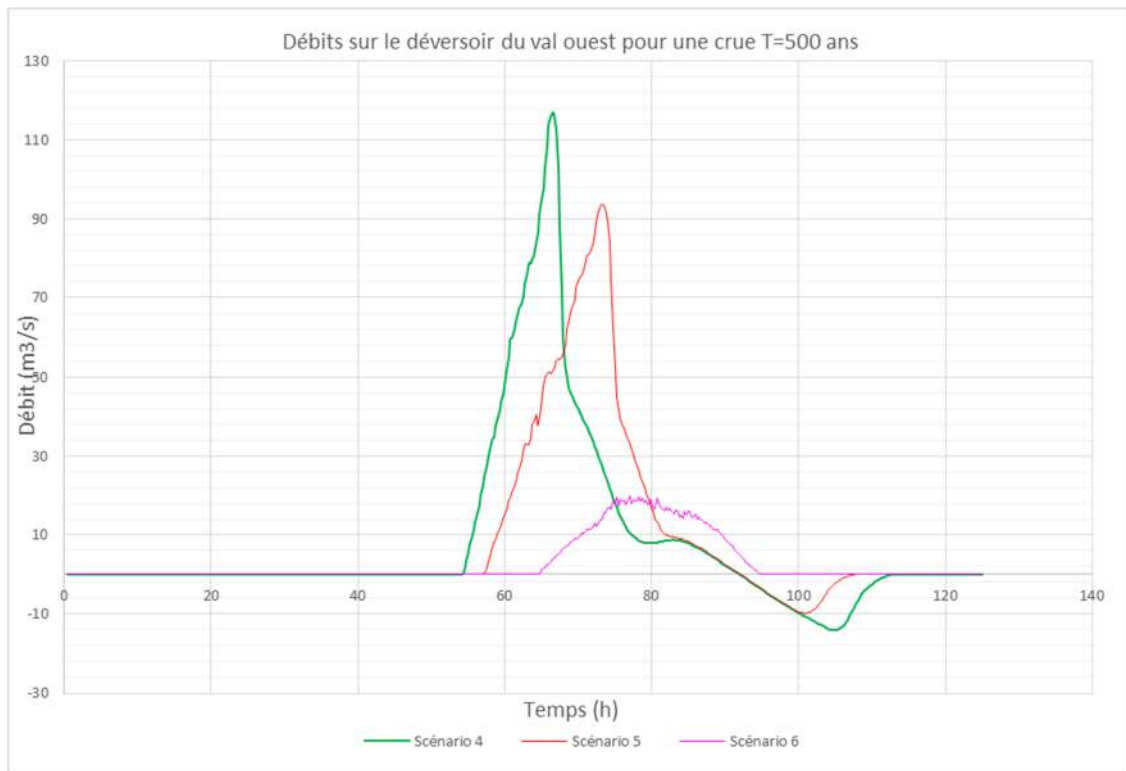
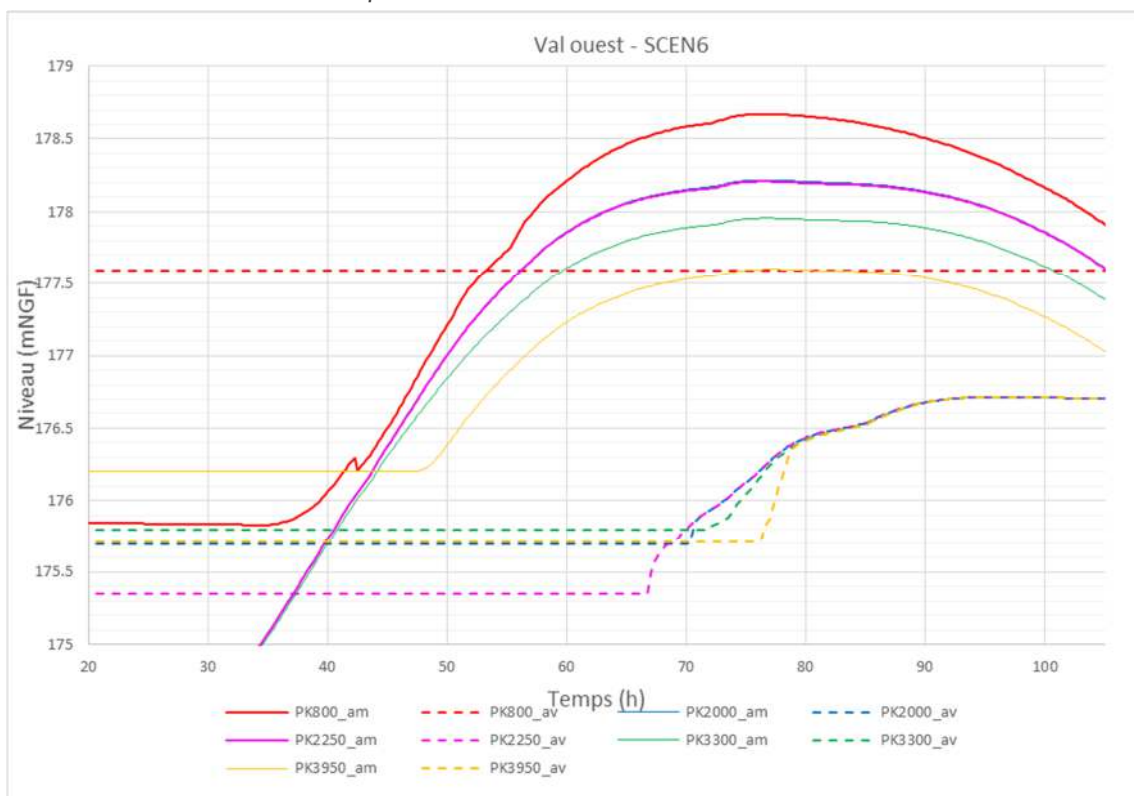




Figure 19 : Limnigrammes en amont et en aval de la digue et charge hydraulique dans le val Ouest à différents PK pour le scénario 6 et une crue T=500 ans





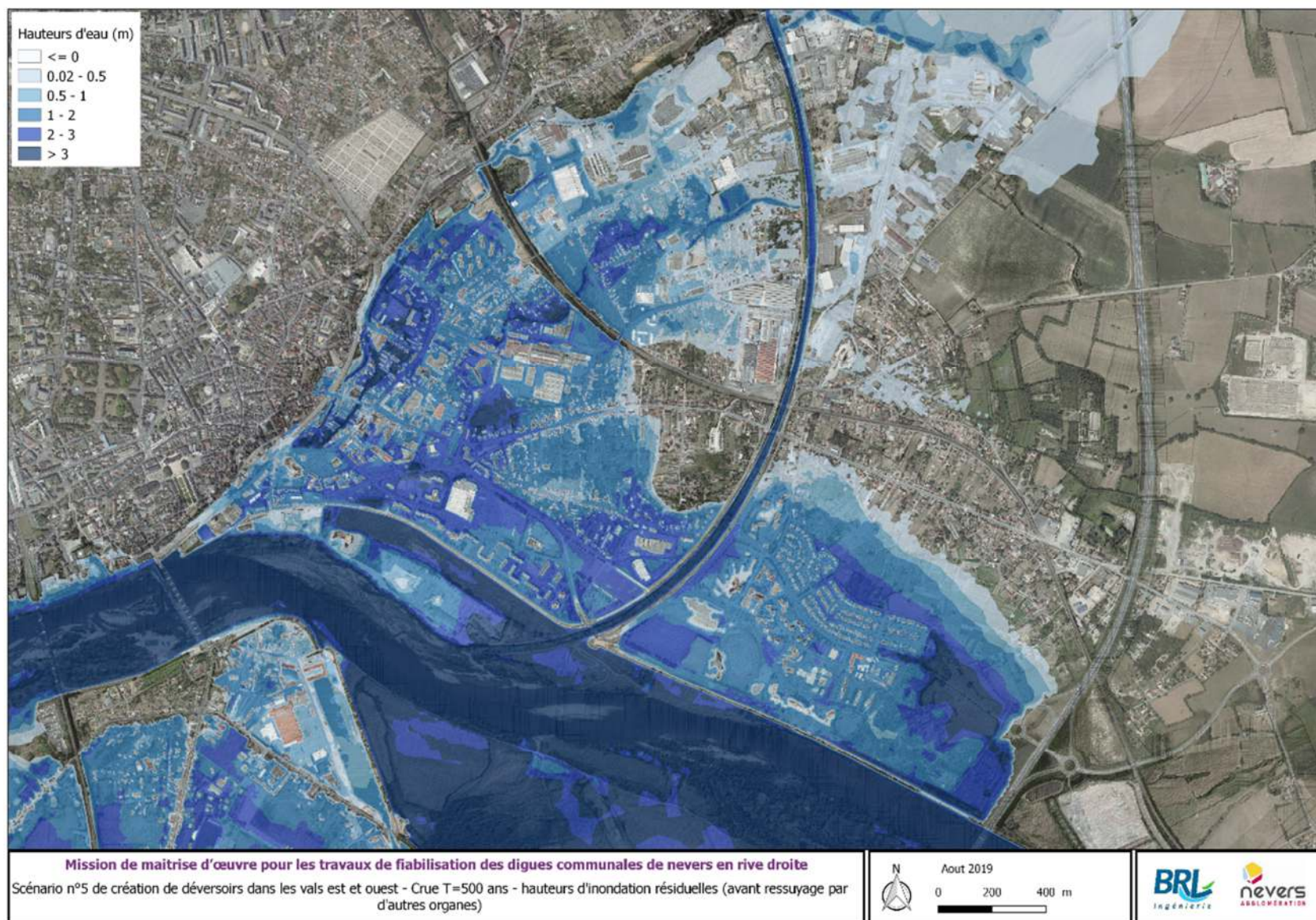
5.3.3.5.2 Inversion de charge hydraulique et fonctionnement de la porte de Médine

Les profils en long des lignes d'eau à différents instants, obtenus lors de nos modélisations, et notamment au moment du maximum de la crue, ont mis en évidence une inversion de charge pour les scénarios 4 et 5.

Pour le scénario 6, pour Q500, l'équilibre n'est pas atteint entre le niveau dans le val et le niveau de la Loire au droit de la zone de surverse. Ainsi, ce phénomène n'est pas constaté pour le scénario 6, pour Q500.

Pour Q750 et Q1000, cette inversion de charge est au maximum de 23 cm.

Enfin, il convient de noter que selon les modélisations effectuées, cette inversion de charge n'induit pas de surverse du val vers la Loire. La revanche vis-à-vis de ce phénomène est de 40cm pour Q750 et 27cm pour Q1000





6 APPROCHE CARDIGUE ET CONCLUSION

Afin de préciser l'incidence de l'inondation du val par la zone de surverse des simulations ont été réalisées à l'aide de Cardigue.

Le principe retenu est le suivant :

- Compte tenu des travaux de confortement projetés aux environs des pk700 et 750 d'une part et entre les pk3950 et 4150 d'autre part, le système d'endiguement sur ces linéaires est considéré comme présentant un niveau de sûreté supérieur à 200 ans. En détail, il a été considéré et saisi dans Cardigue :
 - o un déversoir entre les pk2400 et 2600, avec suppression de la végétation;
 - o la suppression de la végétation et la réalisation d'un massif filtrant au droit du PK750 ;
 - o Et, au droit du pk 4150, la réalisation de travaux de type massif filtrant accompagné d'un reprofilage du talus côté Val et/ou prise en compte du risque de glissement en cas de crue.

Il est important de noter que dans le cadre de la présente étude le scénario de surverse correspond à Q200+25cm. Ainsi il conviendra dans le cadre d'études ultérieures (par exemple lors de la mise à jour des EDD) de vérifier que les travaux réalisés permettent de garantir un niveau de sûreté garantissant la pérennité de l'ouvrage jusqu'à la propagation de l'inondation du val et équilibrage des charges hydrauliques.

- Les lignes d'eau de la Loire, saisie dans Cardigue, restent inchangées pour Q50, Q100 et Q200 par rapport aux lignes d'eau retenues dans le cadre des EDD de Nevers ; De même, pour ces occurrences, la zone protégée reste sèche pour Q50, Q100 et Q200 ;
- L'occurrence Q500 est décomposée en 4 pas de temps (cf. 4.4.1) :

Les résultats des simulations effectuées sont présentées pages suivantes.

Identification du Profil			Aléa global : Probabilité de Rupture tous modes confondus Val OUEST - SC6							
N° du Profil utilisé	PK Digue (m/ OrigineVal)	Tronçon	Q100	Q200	Q500-10	Q500-110	Q500-112,75	Q500-127,75	Q750 pic	Q1000 pic
			2	2 Nevers ouest 1 PK50	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3	2 Nevers ouest 1 PK100	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	1,5%	0,0%	2,0%	2,5%
4	2 Nevers ouest 1 PK150	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,4%	3,2%
5	2 Nevers ouest 1 PK200	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6	2 Nevers ouest 1 PK250	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
7	2 Nevers ouest 1 PK300	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8	2 Nevers ouest 1 PK350	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9	2 Nevers ouest 1 PK400	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
10	2 Nevers ouest 1 PK450	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
11	2 Nevers ouest 1 PK500	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12	2 Nevers ouest 1 PK550	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
13	2 Nevers ouest 1 PK600	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
14	2 Nevers ouest 1 PK650	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
15	2 Nevers ouest 1 PK700	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
16	2 Nevers ouest 1 PK750	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	1,3%	0,2%
17	2 Nevers ouest 1 PK800	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
18	2 Nevers ouest 1 PK850	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	2 Nevers ouest 1 PK900	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
20	2 Nevers ouest 1 PK950	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
21	2 Nevers ouest 1 PK1000	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
22	2 Nevers ouest 1 PK1050	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
23	2 Nevers ouest 1 PK1100	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
24	2 Nevers ouest 1 PK1150	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	2 Nevers ouest 1 PK1200	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%	0,0%	7,4%	28,8%
26	2 Nevers ouest 1 PK1250	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
27	2 Nevers ouest 1 PK1300	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
28	2 Nevers ouest 1 PK1350	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
29	2 Nevers ouest 1 PK1400	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
30	2 Nevers ouest 1 PK1450	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31	2 Nevers ouest 1 PK1500	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
32	2 Nevers ouest 1 PK1550	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
33	2 Nevers ouest 1 PK1600	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
34	2 Nevers ouest 1 PK1650	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
35	2 Nevers ouest 1 PK1700	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
36	2 Nevers ouest 1 PK1750	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
37	2 Nevers ouest 1 PK1800	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
38	2 Nevers ouest 1 PK1850	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
39	2 Nevers ouest 1 PK1900	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40	2 Nevers ouest 1 PK1950	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
41	2 Nevers ouest 1 PK2000	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
42	2 Nevers ouest 1 PK2050	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
43	2 Nevers ouest 1 PK2100	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
44	2 Nevers ouest 1 PK2150	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
45	2 Nevers ouest 1 PK2200	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,4%	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%
46	2 Nevers ouest 1 PK2250	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,4%	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%
47	2 Nevers ouest 1 PK2300	Levé RD du canal de dérivation	0,0%	0,4%	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%
48	2 Nevers ouest 1 PK2350	Zone de surverse Ouest - 2375 à 2575	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
49	2 Nevers ouest 1 PK2400	Zone de surverse Ouest - 2375 à 2575	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
50	2 Nevers ouest 1 PK2450	Zone de surverse Ouest - 2375 à 2575	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
51	2 Nevers ouest 1 PK2500	Zone de surverse Ouest - 2375 à 2575	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
52	2 Nevers ouest 1 PK2550	Zone de surverse Ouest - 2375 à 2575	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
53	2 Nevers ouest 1 PK2600	Zone de surverse Ouest - 2375 à 2575	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
54	2 Nevers ouest 2 PK2650	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
55	2 Nevers ouest 2 PK2700	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
56	2 Nevers ouest 2 PK2750	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	1,0%	1,0%	2,0%	1,0%	0,0%	0,0%	2,0%
57	2 Nevers ouest 2 PK2800	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
58	2 Nevers ouest 2 PK2850	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
59	2 Nevers ouest 2 PK2900	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
60	2 Nevers ouest 2 PK2950	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
61	2 Nevers ouest 2 PK3000	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
62	2 Nevers ouest 2 PK3050	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
63	2 Nevers ouest 2 PK3100	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
64	2 Nevers ouest 2 PK3150	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
65	2 Nevers ouest 2 PK3200	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
66	2 Nevers ouest 2 PK3250	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
67	2 Nevers ouest 2 PK3300	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
68	2 Nevers ouest 2 PK3350	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
69	2 Nevers ouest 2 PK3400	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
70	2 Nevers ouest 2 PK3450	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
71	2 Nevers ouest 2 PK3500	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
72	2 Nevers ouest 2 PK3550	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
73	2 Nevers ouest 3 PK3600	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
74	2 Nevers ouest 3 PK3650	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
75	2 Nevers ouest 3 PK3700	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
76	2 Nevers ouest 3 PK3750	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
77	2 Nevers ouest 3 PK3800	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
78	2 Nevers ouest 3 PK3850	levées de St-Eloi 1° section	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
79	2 Nevers ouest 3 PK3900	levées de Médine	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
80	2 Nevers ouest 3 PK3950	levées de Médine	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
81	2 Nevers ouest 3 PK4000	levées de Médine	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
82	2 Nevers ouest 3 PK4050	levées de Médine	0,7%	2,9%	2,9%	5,1%	5,1%	4,6%	8,0%	8,0%
83	2 Nevers ouest 3 PK4100	levées de Médine	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
84	2 Nevers ouest 3 PK4150	levées de Médine	0,1%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	2,0%	1,0%
85	2 Nevers ouest 3 PK4200	levées de Médine	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
86	2 Nevers ouest 3 PK4250	levées de Médine	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Surverse et Taux de remplissage côté val/H talus Val OUEST - SC6			
Q750 pic		Q1000 pic	
- 0,95	0%	- 0,87	0%
- 0,36	0%	- 0,28	0%
- 0,43	0%	- 0,34	0%
- 0,64	0%	- 0,55	0%
- 0,88	0%	- 0,79	0%
- 0,87	0%	- 0,78	0%
- 0,78	0%	- 0,68	0%
- 0,72	0%	- 0,62	0%
- 0,77	0%	- 0,66	0%
- 0,88	0%	- 0,78	0%
- 0,91	0%	- 0,80	0%
- 0,82	0%	- 0,72	0%
- 0,90	0%	- 0,80	19%
- 0,90	0%	- 0,79	22%
- 0,80	0%	- 0,69	15%
- 0,83	0%	- 0,72	0%
- 0,75	0%	- 0,64	22%
- 0,73	0%	- 0,62	0%
- 0,89	0%	- 0,77	10%
- 0,87	0%	- 0,75	0%
- 0,87	0%	- 0,75	0%
- 0,94	0%	- 0,81	0%
- 1,08	0%	- 0,95	0%
- 1,17	0%	- 1,04	0%
- 1,11	0%	- 0,98	0%
- 1,04	0%	- 0,91	0%
- 1,10	0%	- 0,97	0%
- 1,24	0%	- 1,10	0%
- 1,70	0%	- 1,55	0%
- 2,61	0%	- 2,46	0%
- 2,44	0%	- 2,28	0%
- 1,93	0%	- 1,76	0%
- 1,76	0%	- 1,60	0%
- 1,79	0%	- 1,63	0%
- 1,81	0%	- 1,65	0%
- 1,46	0%	- 1,30	0%
- 0,98	0%	- 0,82	0%
- 0,88	0%	- 0,72	53%
- 0,99	18%	- 0,83	69%
- 0,92	28%	- 0,75	75%
- 1,07	0%	- 0,90	



Ces simulations confirment, pour le scénario 6 calé à T200+25cm :

- **l'efficacité de la zone de surverse projetée vis-à-vis de l'objectif de sécurisation de la digue entre Q200 et Q500 ;**
- **l'efficacité de la zone de surverse projetée vis-à-vis de l'objectif de sécurisation de la digue vis-à-vis du risque de surverse généralisée pour Q1000.**

ANNEXES

Annexe 1. Cartes des hauteurs et vitesses maximales pour le scénario 6



BRL
Ingénierie



www.brl.fr/brli

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

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