

Études de dangers des digues domaniales de classe B de la Loire – Val de Nevers (58)

S02 – Etude hydraulique locale via l'utilisation
d'un modèle 2D



Table des matières

1.	Introduction générale	7
1.1	Objectifs de l'étude.....	7
1.2	Présentation du modèle hydraulique 2D du val de Nevers.....	8
1.2.1	Structure	8
1.2.2	Conditions aux limites	10
1.2.2.1	Conditions aux limites amont.....	10
1.2.2.2	Conditions aux limites aval	10
1.2.3	Calage et vérification.....	11
1.2.4	Simulation d'une crue historique.....	13
2.	Système de protection du val de Nevers.....	15
2.1	Localisation et description	15
2.2	Profil longitudinal des digues.....	16
3.	Scénarios de crue	19
3.1	Choix des scénarios.....	19
3.2	Conditions aux limites.....	19
3.3	Résultats obtenus sur le val de Nevers	21
4.	Analyse du fonctionnement hydraulique du secteur	23
4.1	Mécanismes d'inondation du val endigué.....	23
4.2	Définition des ouvrages secondaires	23
4.2.1	Levée de Gimouille aval	24
4.2.2	Remblai SNCF	27
4.2.3	Ancienne levée de Saint-Antoine	29
4.2.4	Levées de second rang (Sermoise 2 ^e section et Gimouille amont).....	32

4.2.5	Digues du canal	33
4.3	Cinétique de crue.....	33

Liste des figures

Figure 1 : Modèle 2D val de Nevers – emprise (source rapport ISL)	8
Figure 2 : Données topographiques utilisées (source rapport ISL)	9
Figure 3 : Localisation des ouvrages modélisés	10
Figure 4 : Courbes de tarage à la confluence entre la Loire et l’Allier	11
Figure 5 : Représentation spatiale du coefficient de frottement	12
Figure 6 : Emprise de la zone inondée en 2003 (comparaison TRI, PSC et étude ISL, juin 2014)	13
Figure 7 : Hauteur d’eau maximale – crue de 1846 reconstituée, dans les conditions topographiques actuelles	14
Figure 8 : Système de protection du val de Nevers rive gauche	15
Figure 9 : Profil longitudinal – levées principales du val de Nevers	16
Figure 10 : Profil longitudinal – levées secondaires du val de Nevers	17
Figure 11 : Prise en compte des levées et leurs rehausses dans le modèle 2D	18
Figure 12 : forme théorique des hydrogrammes de crue de la Loire amont	20
Figure 13 : Evolution de la ligne d’eau selon la période de retour – simulations réalisées à partir du modèle 2D ISL	22
Figure 14 : Principaux remblais dans la zone d’étude.....	24
Figure 15 : Bathymétrie à proximité de la levée de Gimouille aval.....	25
Figure 16 : Analyse des hauteurs d’eau (de deux points de bathymétrie proche) – crue 200 ans	26
Figure 17 : Analyse des vitesses à proximité de la levée de Gimouille (crue 200 ans)	26
Figure 18 : Bathymétrie à proximité du remblai SNCF	27
Figure 19 : Evolution des hauteurs d’eau de deux points de bathymétrie 173,6 mNGF (crue Q200)	28
Figure 20 : Localisation des points du graphique	29
Figure 21 : Bathymétrie dans le val endigué	30
Figure 22 : Evolution des hauteurs d’eau de deux points de bathymétrie 173,8 mNGF (crue Q200)	31
Figure 23 : Localisation des points du graphique	31
Figure 24 : Topographie dans le val « Nord ».....	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Débits de pointe à l'amont du val de Decize selon la période de retour T	21
--	----

1. Introduction générale

1.1 Objectifs de l'étude

La présente étude hydraulique vise à :

- qualifier et quantifier le risque de surverse des systèmes d'endiguement (identification des zones de surverse par-dessus les digues de la Loire dans le val de Nevers pour différents scénarii de crue de la Loire) ;
- définir les sollicitations auxquelles le système d'endiguement est soumis en terme de ligne d'eau et pour les différents scénarios hydrologiques et de ruptures éventuelles des digues des vals voisins (amont, rive opposée, ...). ;
- définir les lignes d'eau (associées à une période de retour ou un débit de pointe) générant un risque de rupture du système par rapport à la position des ouvrages traversants ou autre point de faiblesse identifié lors de l'étude géotechnique ;
- caractériser les gradients hydrauliques qui s'appliquent à la digue ;
- définir des hydrogrammes de rupture à propager dans la zone protégée ;
- définir les conditions d'inondation dans le val (hauteurs d'eau, vitesses d'écoulement, temps d'arrivée de l'onde, ...). ;
- en déduire les effets induits par ces inondations notamment sur les enjeux protégés.

La Loire depuis la RD200 d'Imphy (limite amont) jusqu'à la confluence du bec d'Allier (limite aval) a fait l'objet d'une modélisation hydraulique bidimensionnelle avec le logiciel Telemac 2D. Le modèle inclut l'emprise de la crue millénale (TRI de Nevers) ou, en l'absence de données sur la crue millénale (amont des communes de Nevers et Sermoise-sur-Loire), celle des plus hautes eaux connues (PHEC). La vallée de la rivière Nièvre, jusqu'au pont « Saint-Ours » à Coulanges-les-Nevers, est incluse dans l'aire d'étude.

Dans le cadre des études de dangers des digues de classe B de la Loire, le modèle hydraulique 2D du val de Nevers a été mis à la disposition d'Egis Eau.

Il s'agit :

- 1 de présenter le modèle au droit du secteur d'étude ;
- 2 d'analyser les conditions d'écoulement des différents scénarii de crue dans le val étudié en situation actuelle ;
- 3 d'exploiter le modèle hydraulique pour alimenter l'étude de dangers (rubriques 3 et 8) selon les objectifs définis précédemment.

1.2 Présentation du modèle hydraulique 2D du val de Nevers

Le modèle hydraulique 2D du val de Nevers a été construit et calé par ISL en 2014 à partir du logiciel Telemac 2D. Ce modèle est utilisé dans le cadre des études de dangers des digues de Loire de classe B du Val de Nevers et contribuera à la révision du plan de prévention du risque d'inondation (PPRI) du val de Nevers.

C'est un modèle calé sur la crue de 2003.

La figure ci-après présente en rouge l'emprise du secteur modélisé (Loire et Nièvre).

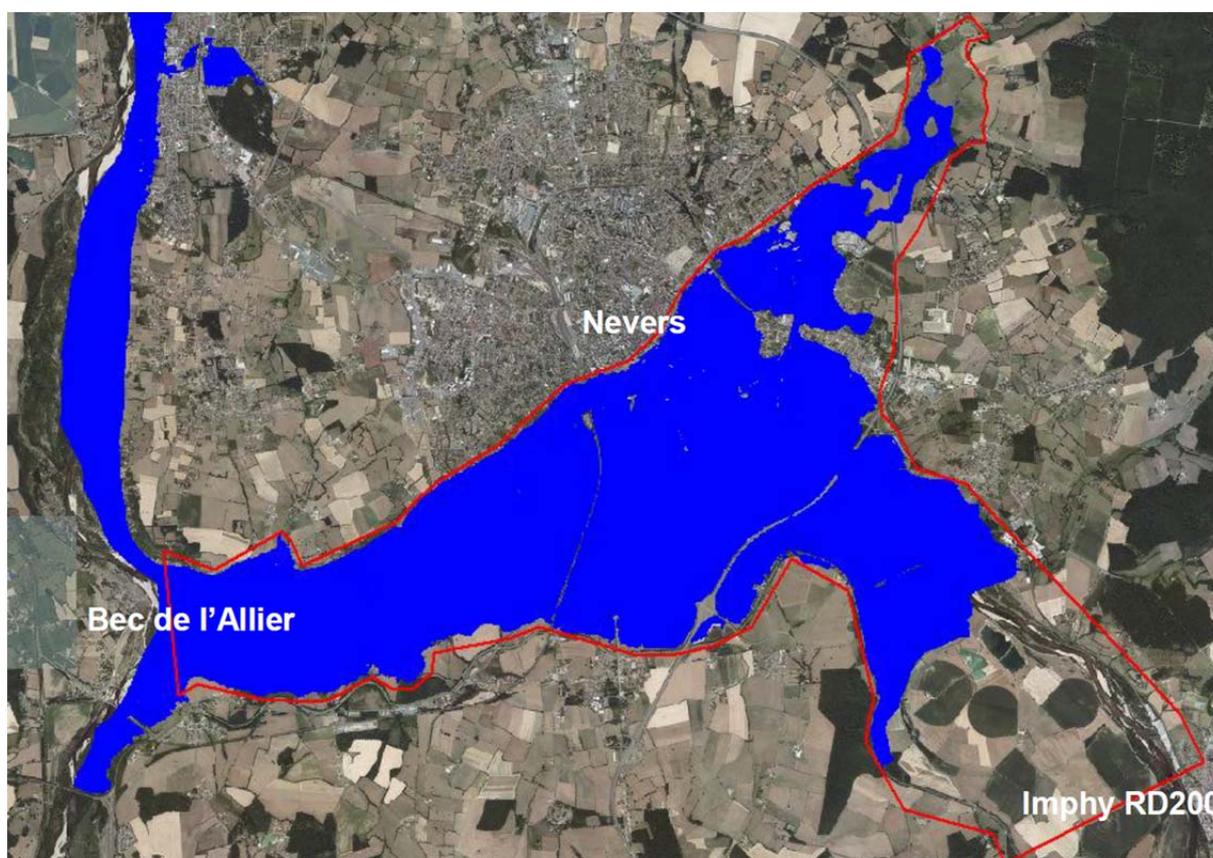


Figure 1 : Modèle 2D val de Nevers – emprise (source rapport ISL)

1.2.1 Structure

C'est un modèle totalement bidimensionnel, basé sur une topographie représentative du fleuve, de son lit et de ses vals. 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,

- Levés terrain de 2014 dans le lit majeur de la Loire entre les deux ponts et 12 profils en travers (en jaune).

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.

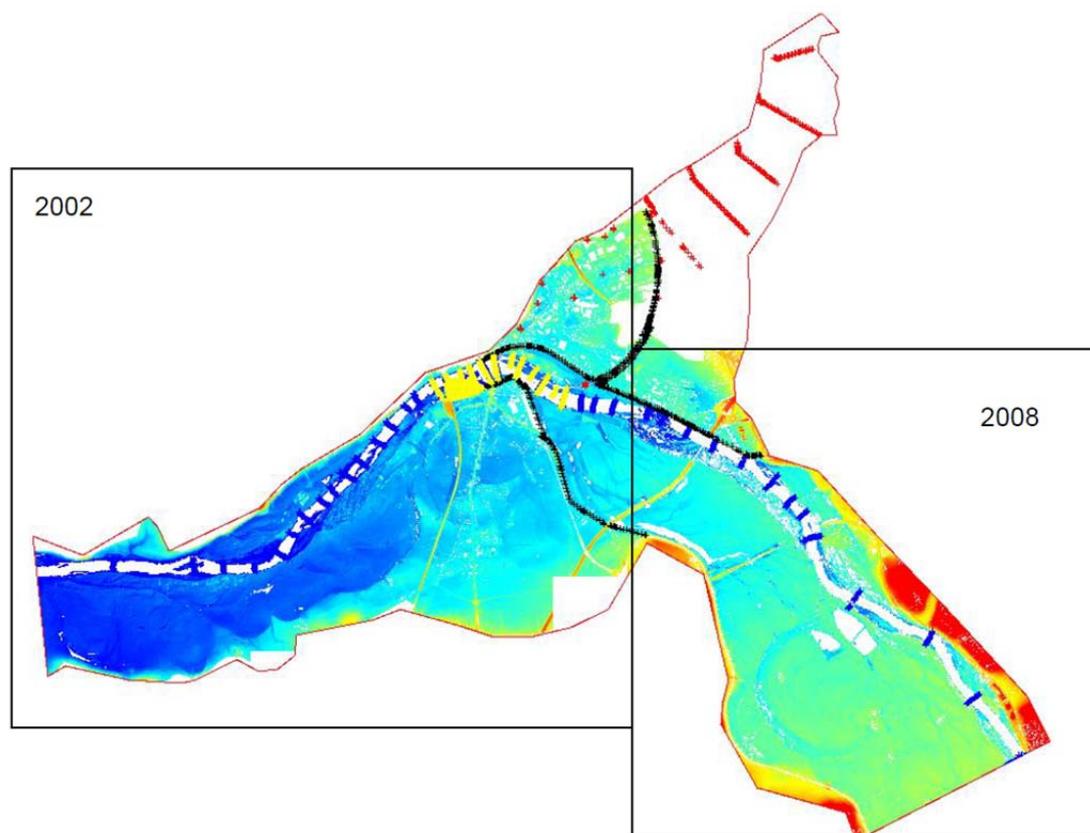


Figure 2 : Données topographiques utilisées (source rapport ISL)

Le MNT créé prend en compte les cotes des digues (banquettes, murets, ...), qui ont été extraites des plans topographiques fourni par la DDT58.

Au total, le maillage réalisé comprend près de 418 500 nœuds de calcul.

L'altimétrie du modèle prend en compte les bâtiments, selon la cartographie du cadastre. Lorsque l'altitude du toit du bâtiment n'est pas fournie par un MNT, la valeur par défaut est prise égale à 250 mNGF.

Le modèle intègre également les ouvrages hydrauliques existants tels qu'ils ont été modélisés dans l'étude EGRIAN. La figure ci-après permet de localiser les ouvrages modélisés dans le val de Nevers. Les ouvrages modélisés par un orifice (ouvrages de petites dimensions) sont représentés par un point

rouge, ceux qui sont directement intégrés au maillage (ouvrages de grandes dimensions) sont représentés par un point noir.

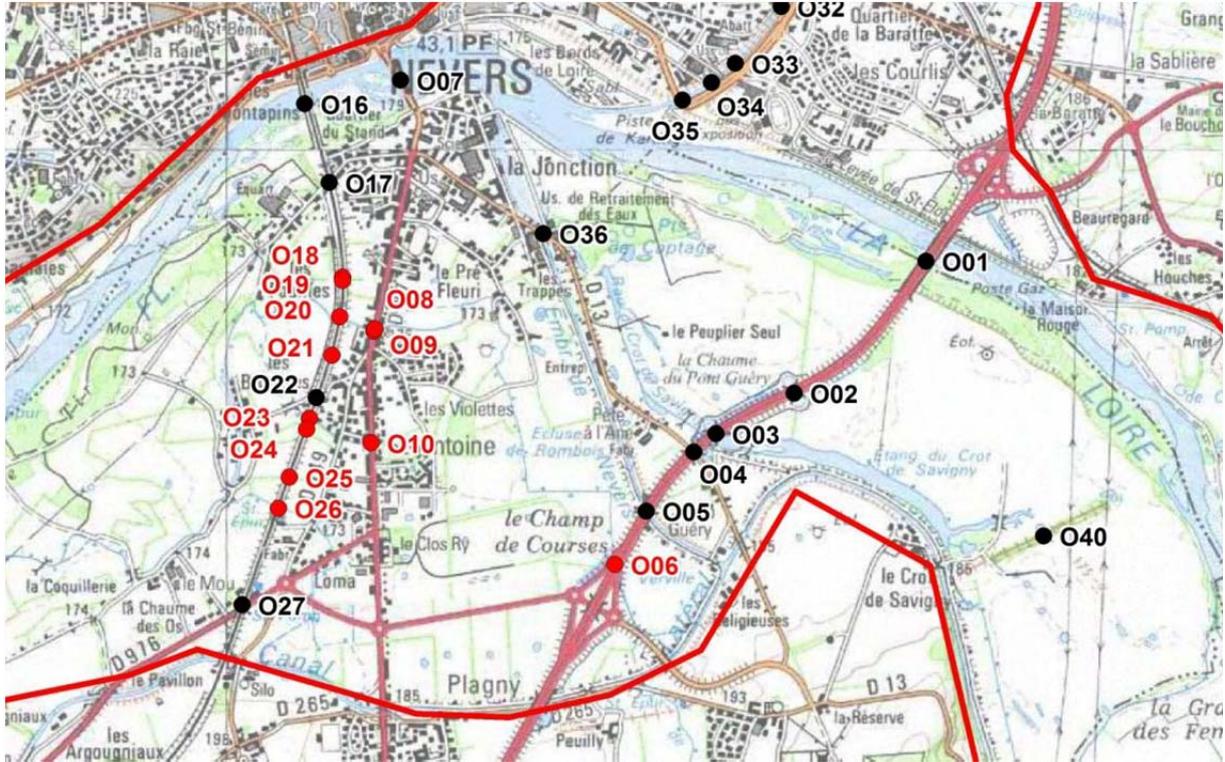


Figure 3 : Localisation des ouvrages modélisés

1.2.2 Conditions aux limites

1.2.2.1 Conditions aux limites amont

Les conditions aux limites amont du modèle 2D pour les crues de mai 2001, décembre 2003, avril 2005, novembre 2008 et décembre 2010 sont :

- Sur la Loire, les hydrogrammes de crue relevés à la station hydrométrique d'Imphy,
- Sur la Nièvre, les hydrogrammes observés à la station d'Arzemboury à Poiseaux, extrapolés jusqu'au pont des Ours.

1.2.2.2 Conditions aux limites aval

Les conditions limites aval ont été adaptées pour chaque crue de calage en fonction des repères de crue existants à proximité de la confluence avec l'Allier. En effet, il existe deux courbes de tarage de la Loire au bec d'Allier, qui prennent ou non en compte la concomitance des crues Loire/Allier et il n'a pu être extrapolé de courbe de tarage unique adaptée pour le calage du modèle.

Les deux courbes de tarage (voir figure ci-dessous) supposent :

- la non-concomitance des crues de la Loire avec celles de l'Allier (débit constant de 100 m³/s sur l'Allier) (courbe rouge),
- la concomitance de la crue de la Loire avec une crue de période de retour 500 ans sur l'Allier (courbe bleue).

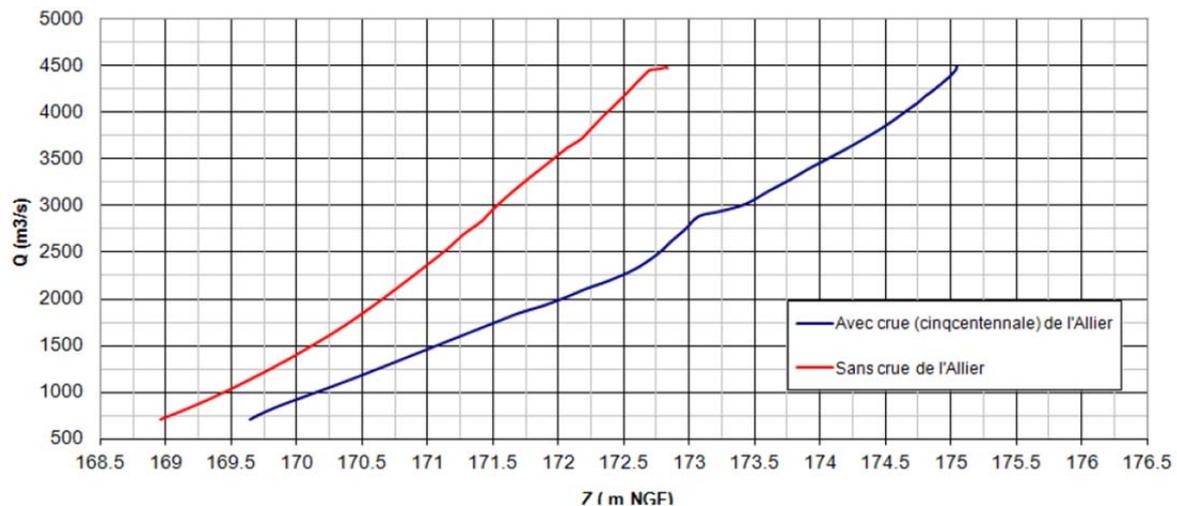


Figure 4 : Courbes de tarage à la confluence entre la Loire et l'Allier

1.2.3 Calage et vérification

Le calage du modèle 2D a été réalisé sur cinq événements (2001, 2003, 2005, 2008 et 2010). L'événement le plus important, sur lequel est réalisé le calage, est celui de décembre 2003, pour lequel de nombreux repères de crues « valables » sont disponibles.

Le calage a été vérifié avec les autres crues.

Le débit de pointe de la Loire à Imphy pour la crue de 2003 est de 2180 m³/s, période de retour comprise entre 20 et 50 ans.

Le paramètre principal de calage a été la rugosité du terrain vis-à-vis de l'écoulement.

Les coefficients de Strickler retenus dans la zone d'étude sont de 30 pour le lit mineur de la Loire et varient entre 10 et 20 pour le lit majeur, avec pour les bancs émergés un coefficient de rugosité de 25.

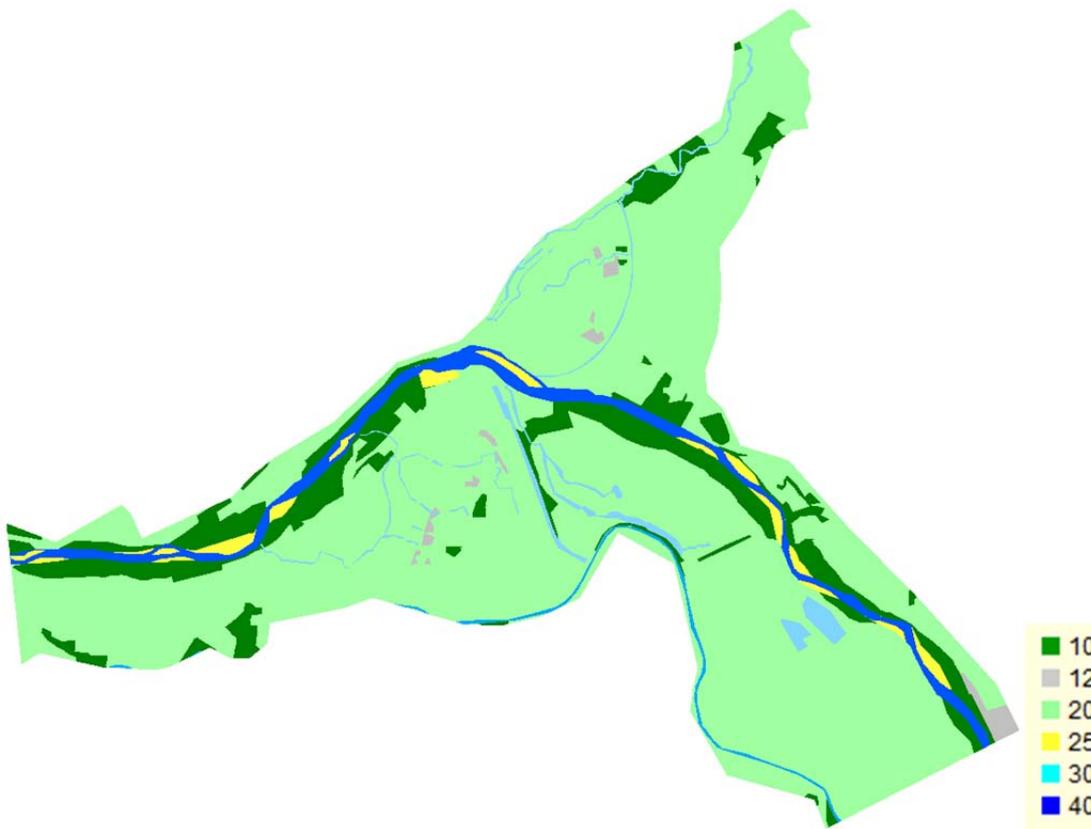


Figure 5 : Représentation spatiale du coefficient de frottement

Le calage a été fait en terme de ligne d'eau (avec les repères de crue), de propagation de la crue (avec la station de Nevers) et d'étendue de la zone inondable (avec les photos aériennes des zones inondées prises à l'issue de la crue de 2003).

Le calage sur la crue de 2003 montre un faible écart entre les cotes relevées par la DREAL et le modèle hydraulique 2D : tous les repères de crues sont situés dans l'intervalle de +/-20cm.

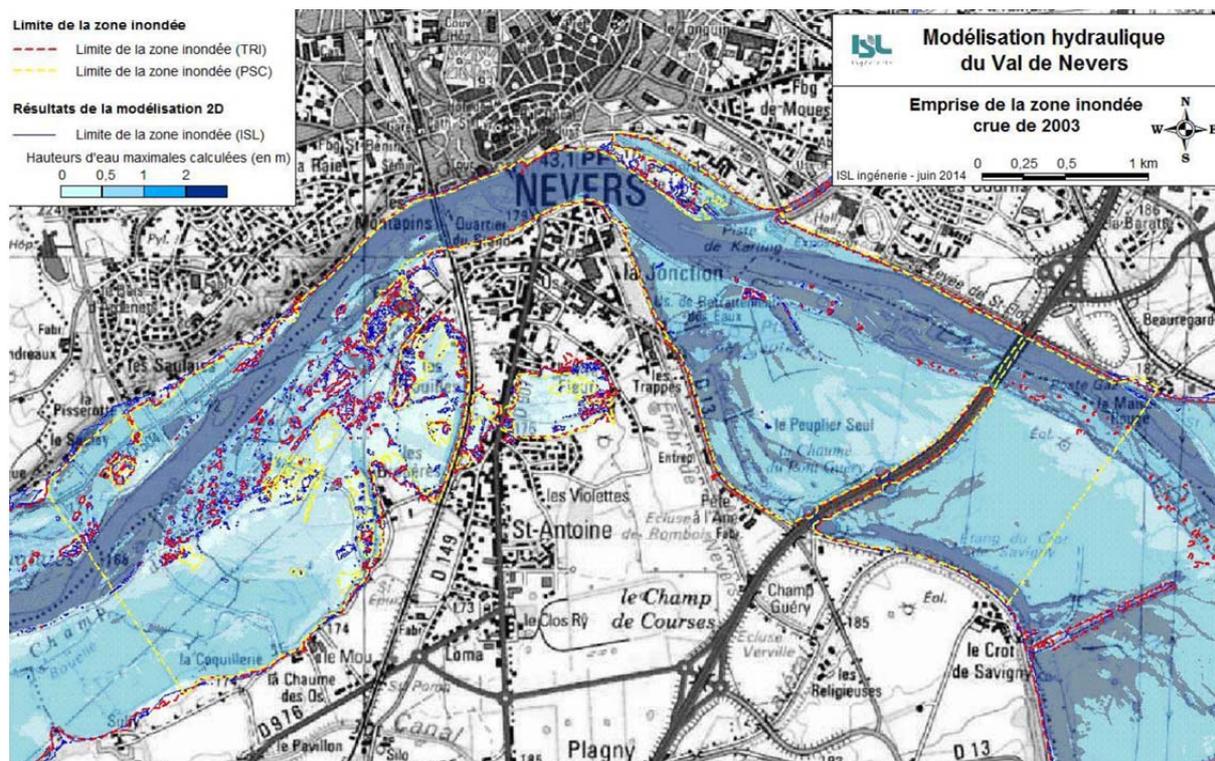


Figure 6 : Emprise de la zone inondée en 2003 (comparaison TRI, PSC et étude ISL, juin 2014)

1.2.4 Simulation d'une crue historique

Une simulation d'une crue historique a été réalisée avec l'hydrogramme de la plus grande crue connue (c'est-à-dire celle de 1846). Il s'agit d'une crue de période de retour 500 ans environ. L'hydrogramme de crue à Nevers est issu d'un hydrogramme reconstitué (débit de pointe 4 500 m³/s), les apports de la Nièvre ont été considérés comme nuls compte tenu de l'absence de données hydrologiques et la condition limite aval a été prise égale à la courbe de tarage avec concomitance d'une crue cinquantennale de l'Allier (cf. Figure 4).

La crue de 1846 a été simulée dans les conditions actuelles de topographie et d'occupations des sols. Les résultats de la simulation sont présentés sur la Figure ci-après.

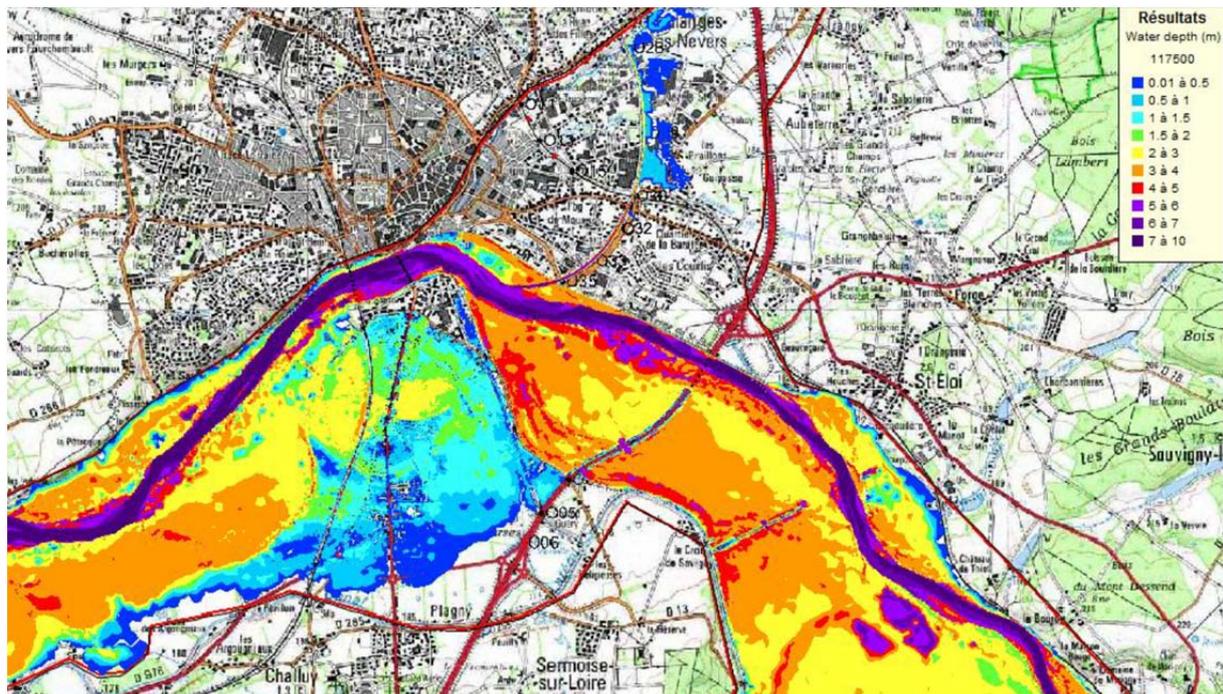


Figure 7 : Hauteur d'eau maximale – crue de 1846 reconstituée, dans les conditions topographiques actuelles

Il n'a pas été fait de test de sensibilité sur les coefficients de frottement dans les zones protégées. En effet, ces zones sont des zones de stockage d'eau. Les autres zones sont déjà sollicitées pour des crues plus faibles (cf. figure 6) et les coefficients de frottement ont donc déjà été calés.

En dehors des zones protégées, il n'y a pas de différence d'emprise de zones inondées entre la crue de 2003 et la crue historique. Le modèle construit peut donc être utilisé pour les crues historiques.

2. Système de protection du val de Nevers

2.1 Localisation et description

Le secteur d'étude se situe sur les communes de Nevers, Challuy et Sermoise-sur-Loire.

Le système de protection de Nevers s'étend sur un linéaire cumulé de 5,9 km en rive gauche de la Loire. Il est composé de six levées dont une ramification : les levées de Sermoise 1ère section, du canal de la Jonction, de la Blanchisserie, de la Bonne Dame constituent la ligne de défense principale, à laquelle s'ajoute une ramification formée par la levée de Sermoise 2ème section et la levée de Gimouille.

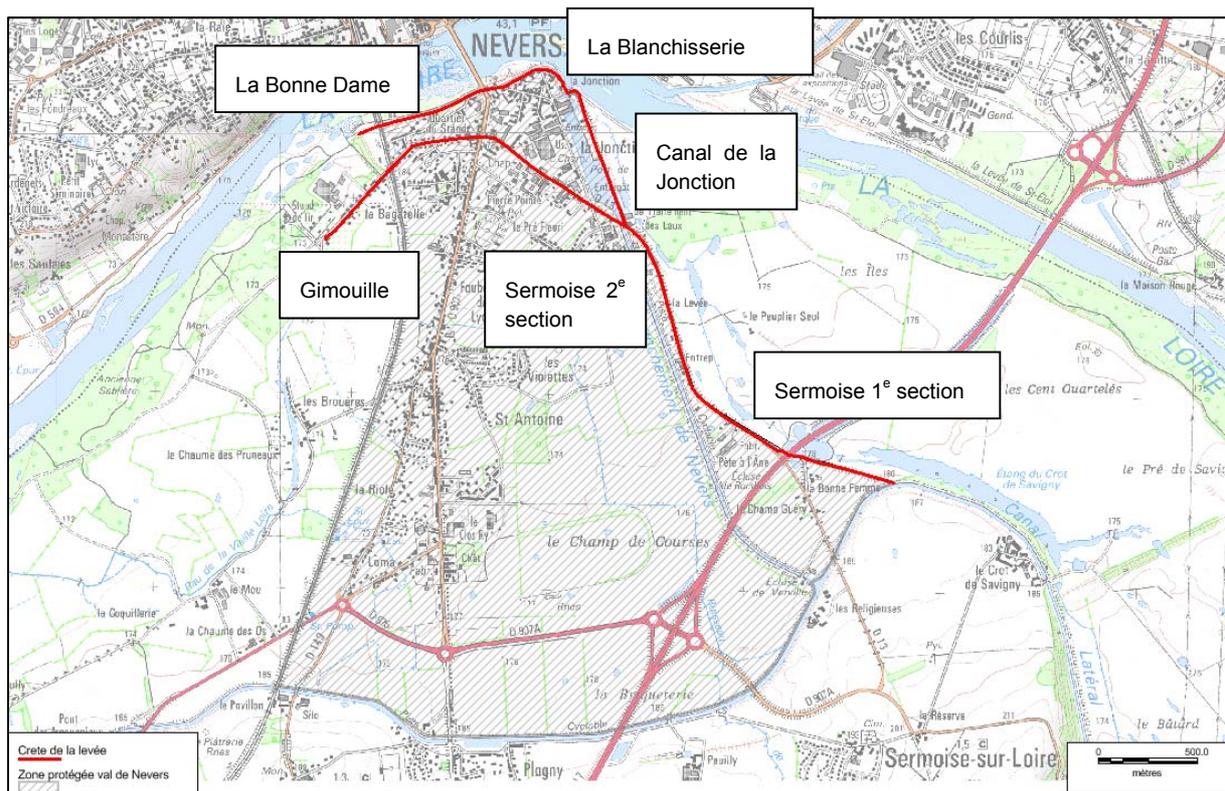


Figure 8 : Système de protection du val de Nevers rive gauche

2.2 Profil longitudinal des digues

Le graphique suivant représente le profil longitudinal des levées du val de Nevers.

Les cotes de crête et de banquette ont été extraites du MNT (Modèle Numérique de Terrain) pour un espacement d'environ 50m.

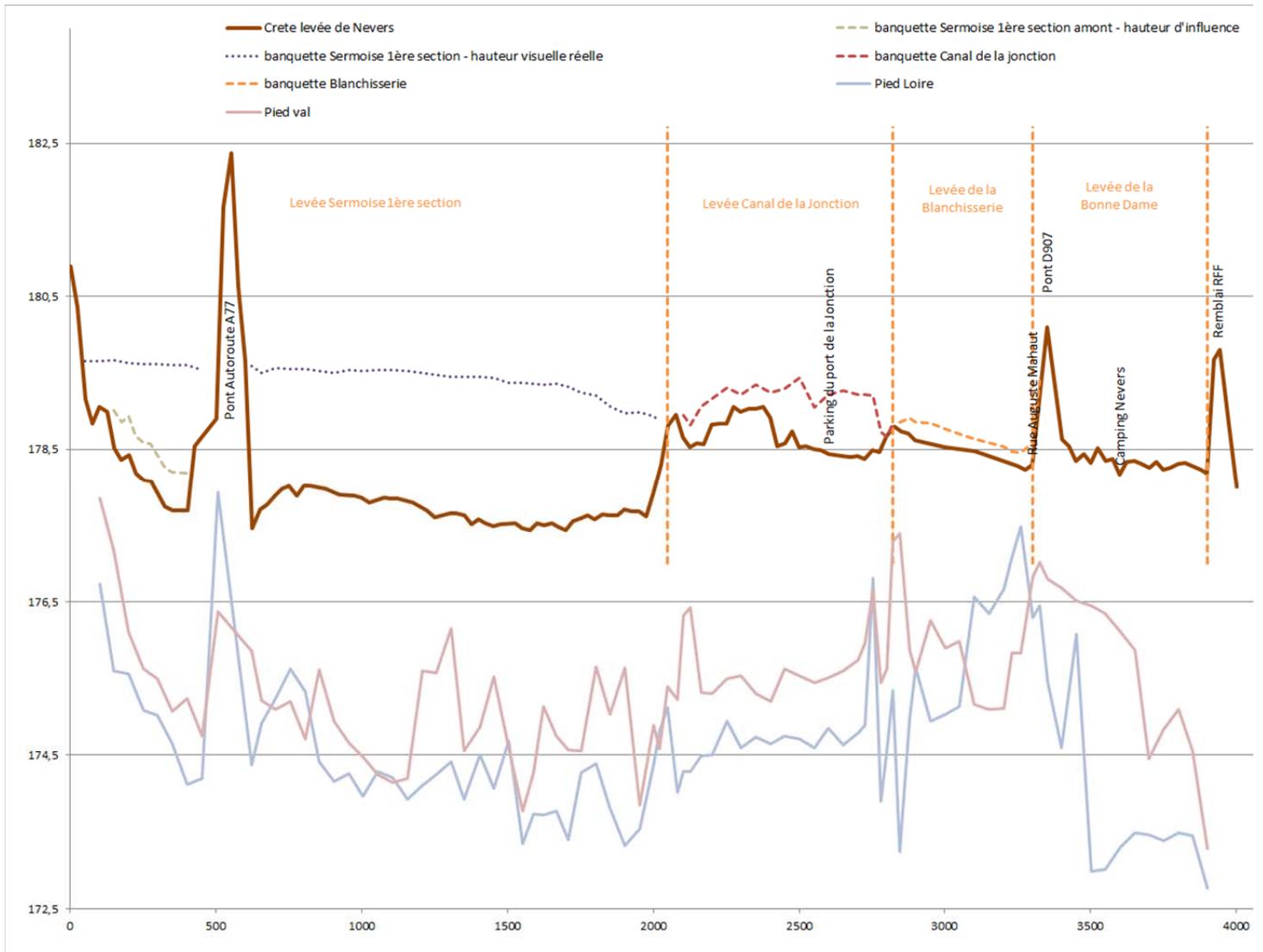


Figure 9 : Profil longitudinal – levées principales du val de Nevers

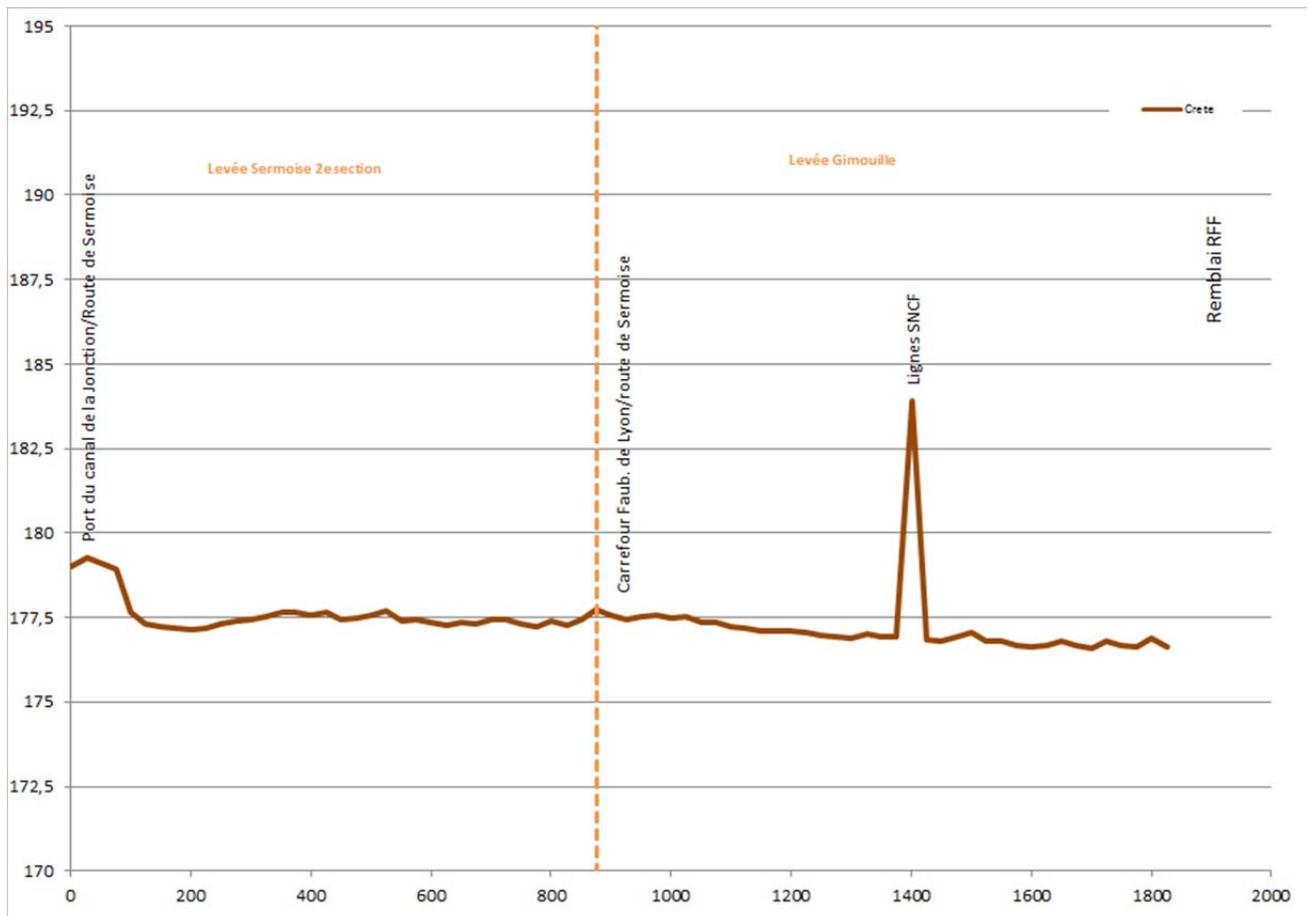


Figure 10 : Profil longitudinal – levées secondaires du val de Nevers

Ces levées ont été intégrées au modèle 2D, avec leurs rehausses éventuelles (banquettes en terre et perreyées ou simplement perré). La figure ci-après permet de visualiser la topographie intégrée au modèle.

Les cotes moyennes de surverse sont :

- Pour la levée de Sermoise 1^e section : 179,3 mNGF ;
- Pour la levée du canal de la Jonction : 179,0 mNGF ;
- Pour la levée de la Blanchisserie : 178,6 mNGF ;
- Pour la levée de la Bonne Dame : 178,3 mNGF ;
- Pour la levée de Sermoise 2^e section : 177,5 mNGF
- Pour la levée de Gimouille : 176,5 mNGF.

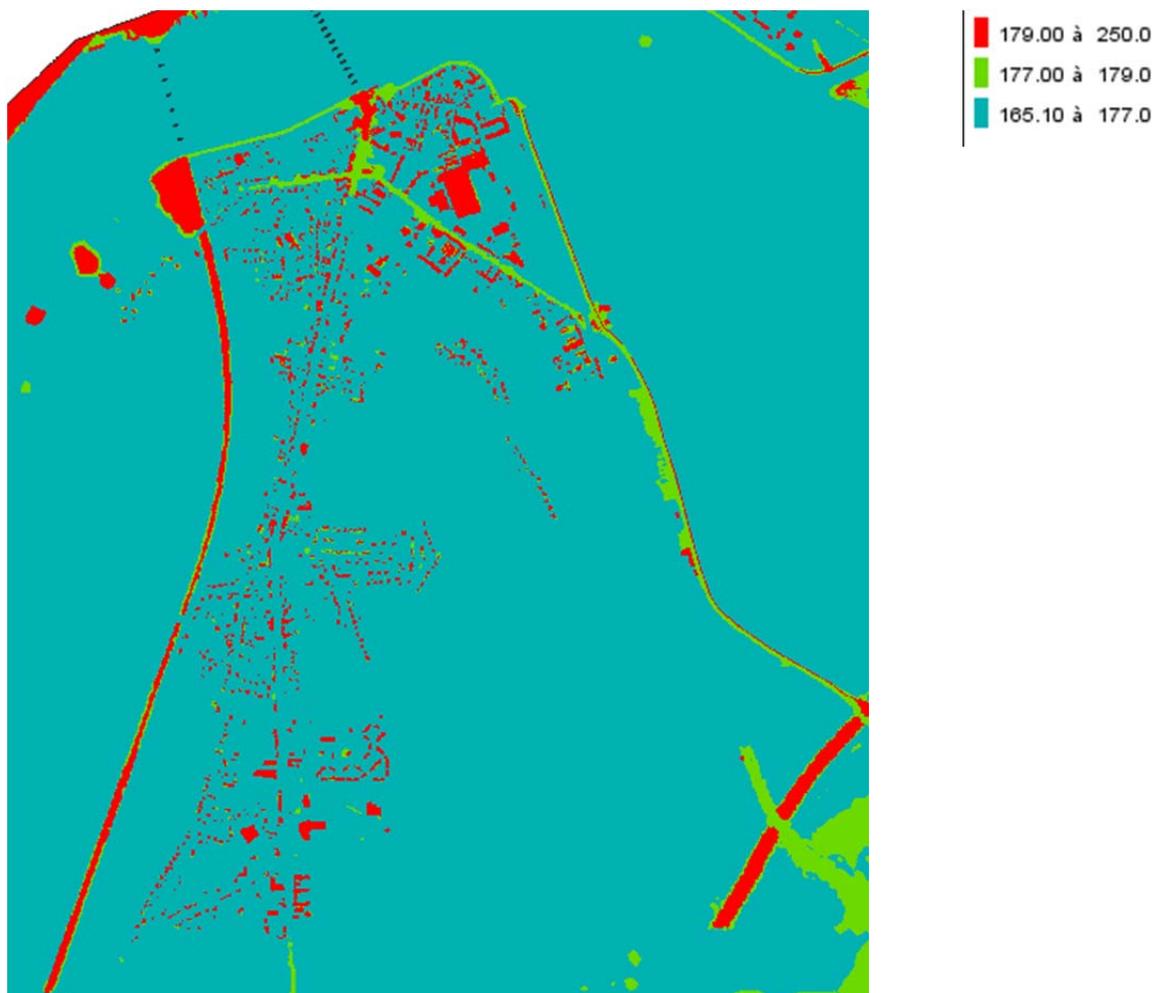


Figure 11 : Prise en compte des levées et leurs rehausses dans le modèle 2D

3. Scénarios de crue

3.1 Choix des scénarios

En cohérence avec les études réalisées sur Nevers (étude EGRIAN et étude réalisée dans le cadre de l'élaboration du TRI de Nevers), les crues analysées sont les 7 crues de référence de période de retour 50, 70, 100, 170, 200, 500 ans et 1 000 ans au Bec d'Allier.

3.2 Conditions aux limites

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

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

Le barrage de Villerest, mis en service en 1985 sur la Loire en amont de Roanne, à 200 km en amont du val de Nevers, est le seul ouvrage du bassin de la Loire à avoir, dans ses fonctions, de participer à l'écrêtement des crues. Il s'agit d'un barrage poids arché en béton. Sa hauteur est de 60 mètres. Le volume total de sa retenue est de 238 millions de mètres cube. La capacité maximale de stockage des eaux pour l'écrêtement, vis-à-vis de ce volume, est de 130 millions de mètres cube.

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

Il a une capacité d'écrêtement variable. Lorsque le débit de pointe entrant est compris entre 1 000 m³/s et 4 000 m³/s, le débit sortant après écrêtement est de moitié au pied du barrage à Roanne. Au-delà, il écrête 2 000 m³/s dans des conditions idéales de prévision et de contexte.

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

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

Une étude du Service Hydraulique Centralisateur (SHC) du bassin de la Loire, réalisée dans les années 1970, avait démontré que la forme des hydrogrammes naturels de la Loire amont et de l'Allier était bien décrite par une loi de Pearson III. Un modèle hydraulique avait ensuite été utilisé pour simuler l'impact du barrage de Villerest sur les hydrogrammes de la Loire amont

La forme des hydrogrammes de la Loire amont considérés dans l'Étude de dangers est alors de type PERSON III. La forme et la formule qui donnent le débit en fonction du temps sont les suivants :

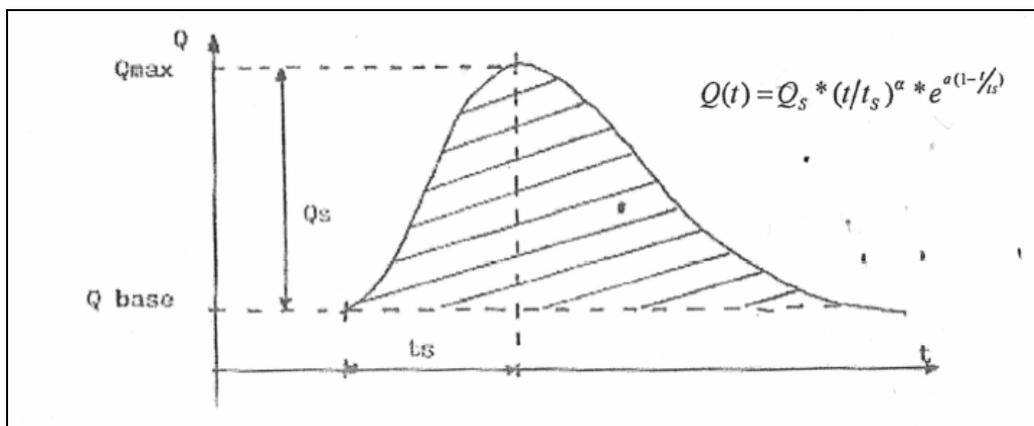


Figure 12 : forme théorique des hydrogrammes de crue de la Loire amont

L'ensemble des données hydrologiques a permis d'établir le tableau des débits de pointe suivant, dans le cas où le barrage pourrait être utilisé à sa cote maximale.

Les crues de projet utilisées dans le cadre de l'étude de dangers sont en cohérence avec l'hydrologie de l'étude Loire moyenne (débits amont du modèle LM10 – débits à Imphy).

Il s'agit de 6 crues de référence de période de retour 50, 70, 100, 170, 200 et 500 ans au Bec d'Allier qui ont été définies et validées par des experts hydrologues et l'Équipe Pluridisciplinaire. Ces crues ont également été utilisées dans le cadre des études EGRIAN.

Comme dans les études EGRIAN, il a été pris en compte l'apport de la Nièvre, dont la confluence se situe en amont immédiat de l'agglomération de Nevers (crue centennale retenue pour les simulations des crues de période de retour 50 à 500 ans).

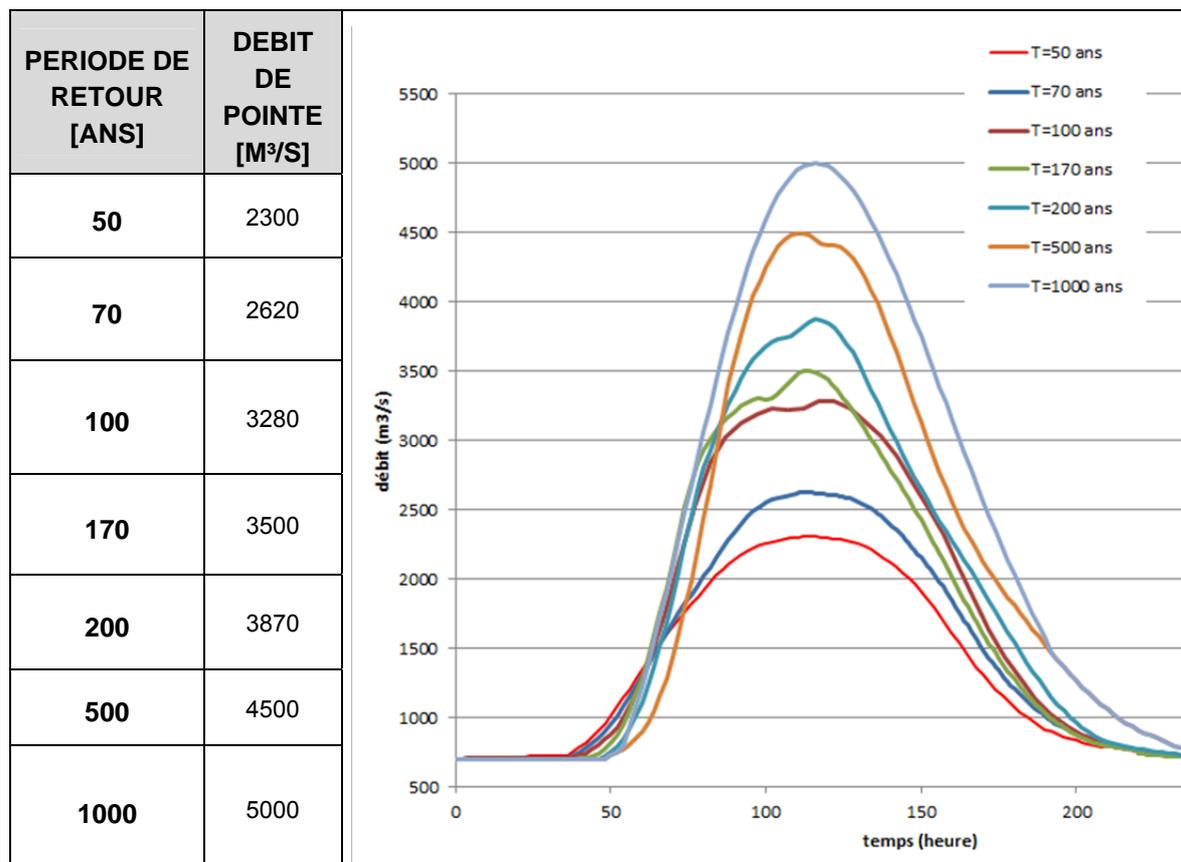


Tableau 1 : Débits de pointe à l'amont du val de Decize selon la période de retour T

Le débit de pointe de la crue millénaire a été choisi en cohérence avec les études réalisées sur Nevers, notamment dans le cadre de l'élaboration du TRI de Nevers (Identification des Territoires à Risque Important d'inondation). En effet, des études hydrologiques ont permis de quantifier une telle crue. Le débit retenu est de 5 000 m³/s à Nevers sur la Loire (incluant un écrêtement d'environ 1 000 m³/s par le barrage de Villerest).

L'hydrogramme T = 1000 ans, faute des données, a fait l'objet d'une construction spécifique sur la base d'une loi Pearson III. Le coefficient α correspond à celui de l'hydrogramme T = 500 ans à Nevers.

3.3 Résultats obtenus sur le val de Nevers

Les résultats sont présentés sur la figure suivante. Les lignes d'eau extraites du modèle hydraulique pour les différentes périodes de retour étudiées sont superposées au profil longitudinal de la crête du système de protection du val de Nevers rive gauche.

A partir de ces résultats, il est possible de découper la digue en tronçons homogènes par rapport au niveau de protection de la digue (cf. analyse fonctionnelle hydraulique).

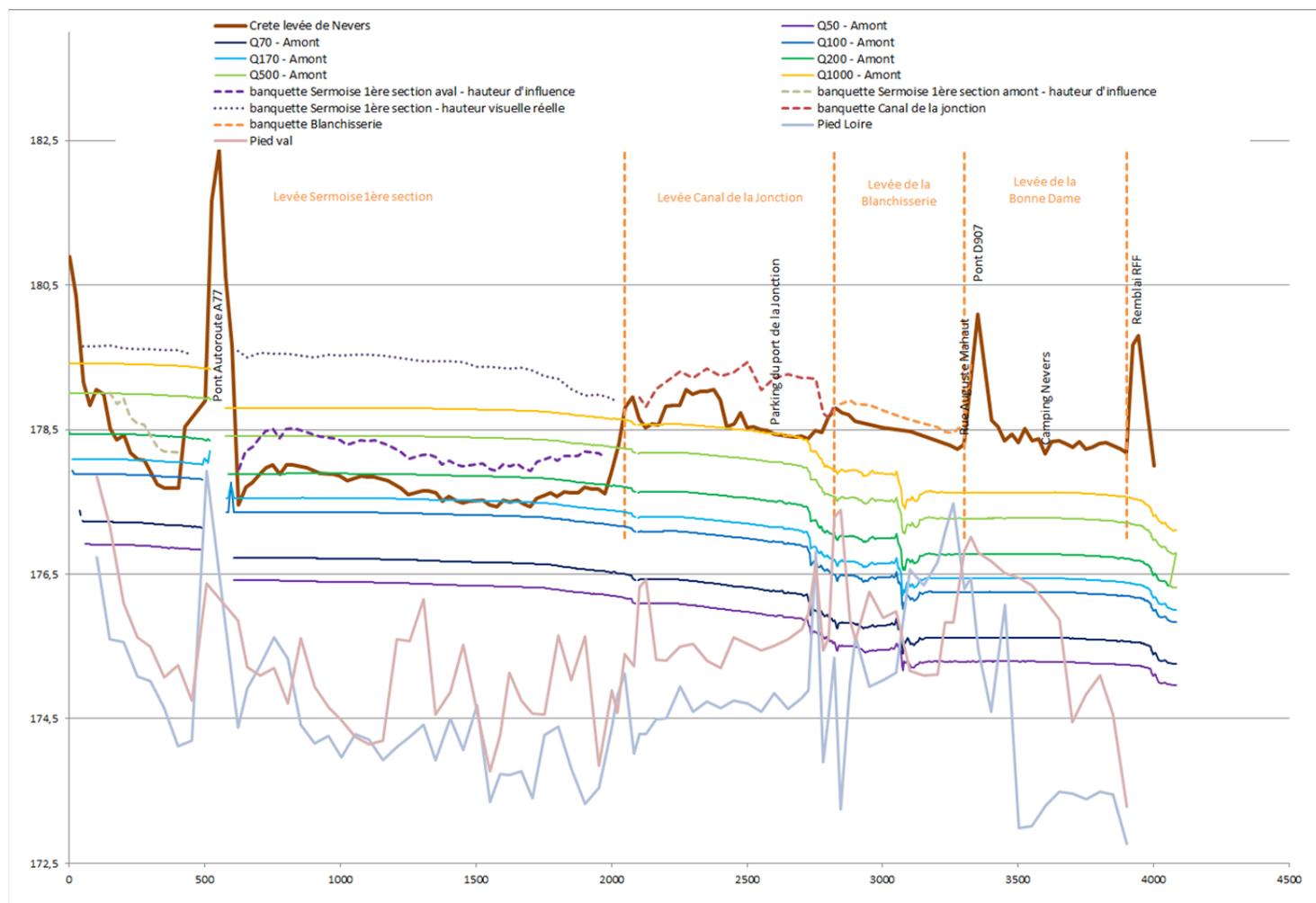


Figure 13 : Evolution de la ligne d'eau selon la période de retour – simulations réalisées à partir du modèle 2D ISL

4. Analyse du fonctionnement hydraulique du secteur

4.1 Mécanismes d'inondation du val endigué

Le val de Nevers rive gauche n'est pas endigué dans sa partie aval (de façon transversale à la Loire), ce qui le rend inondable par remous.

Il est inondé lorsque la cote de la Loire en aval du pont de la voie ferrée atteint le lit majeur rive gauche, sur les terrains de Challuy et de Gimouille, soit pour une crue de période de retour entre 20 et 50 ans. Lors de la crue de 2003, le val a commencé à être inondé.

Au fur et à mesure de la montée de la crue, les eaux remontent à l'intérieur du val endigué par les ouvrages hydrauliques du remblai SNCF et de la RD907, en particulier via les ruisseaux de Peuilly et des Brouères et les inondations s'étendent vers le nord et vers le sud, de chaque côté de la RD907.

Une fois que le val endigué est inondé, les eaux sont contenues dans le val entre les digues du canal et les levées de Sermoise et Gimouille.

Puis les eaux franchissent les digues du canal au sud et inondent le val situé entre la levée de Sermoise 1^e section, le canal et l'A77.

Enfin les eaux franchissent les digues du canal au nord et commencent à inonder la partie nord du val (situé entre les digues de premier et second rang).

Pour une crue de période de retour 500 ans, les hauteurs d'eau dans le val endigué atteignent 2m à 2,5m. Par contre, les vitesses d'écoulement sont faibles.

Pour les scénarios étudiés (crue de période de retour 50 à 1000 ans), le val endigué n'est pas inondé par surverse mais uniquement par remous.

4.2 Définition des ouvrages secondaires

De nombreux ouvrages en remblai sont présents sur le secteur d'étude et l'analyse des simulations hydrauliques permet de définir le rôle de chacun dans la protection du val contre les inondations.

Dans la démarche d'analyse fonctionnelle, seuls les ouvrages présentant un potentiel de rupture et ayant un rôle de protection avéré ou formant une continuité dans la protection contre les crues sont à considérer. Ils peuvent être inclus dans le système de protection lorsqu'ils sont supposés impliquer de fortes différences dans les scénarios de propagation des inondations dans la zone protégée selon qu'ils rompent ou non, ou si la pérennité de la protection dépend indirectement de leur intégrité.

Les ouvrages en remblai présents dans la zone d'étude sont :

- La levée de Gimouille aval ;
- Le remblai SNCF ;
- L'ancienne levée de Saint-Antoine (RD907) ;
- La levée de Gimouille amont et la levée de Sermoise 2^e section ;
- Les digues du canal de la Jonction.

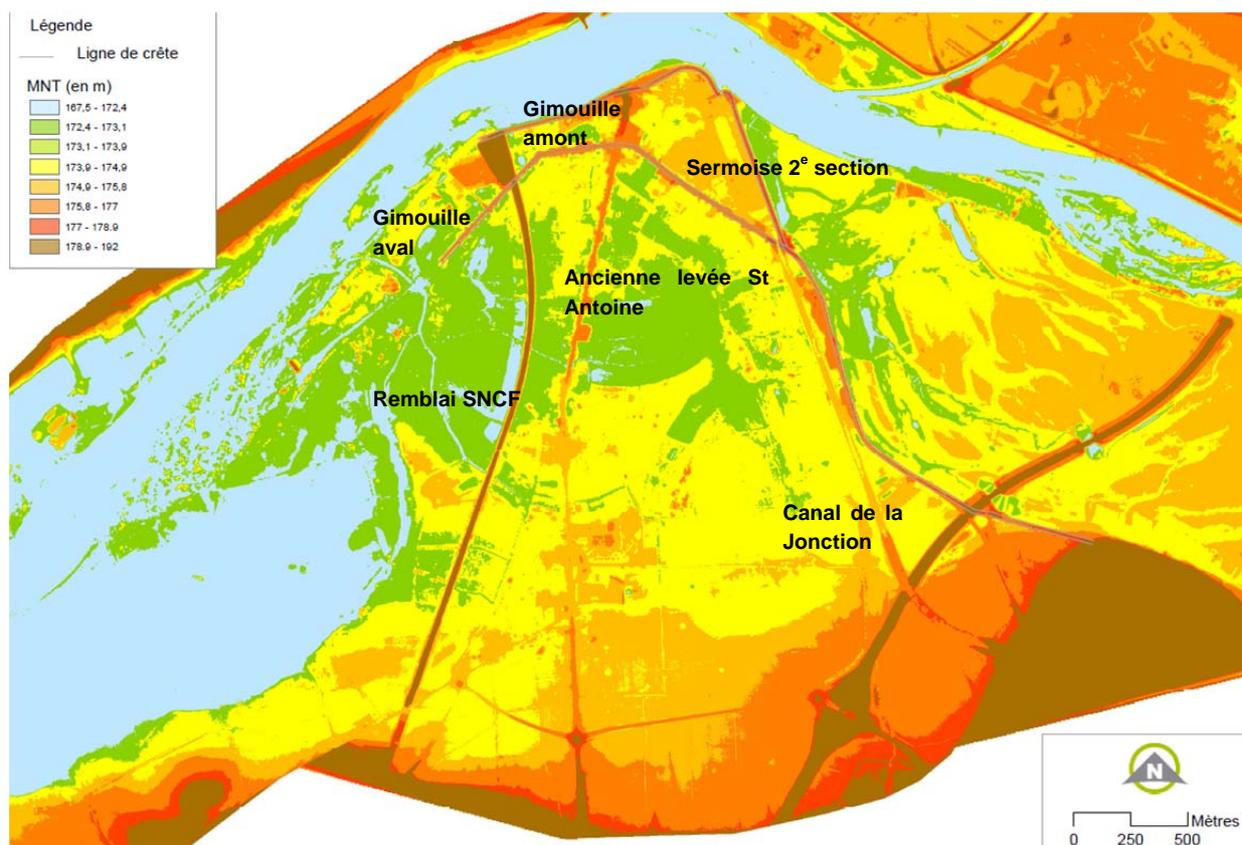


Figure 14 : Principaux remblais dans la zone d'étude

4.2.1 Levée de Gimouille aval

Le premier remblai à être atteint par les eaux est la levée de Gimouille « aval », c'est-à-dire la partie de levée située en aval de la voie ferrée. Le secteur situé derrière la levée est inondé assez rapidement par remous, c'est pourquoi elle n'est pas intégrée à la ligne de défense principale. Néanmoins, elle pourrait être un ouvrage secondaire.

L'analyse des résultats hydrauliques indique que ce tronçon participe peu à la protection du val.

En effet, il existe un léger retard entre l'inondation du secteur côté Loire et le secteur situé derrière la levée de Gimouille aval puisque les eaux contournent la levée.

Ce secteur est inondé environ 4 h après le côté Loire (voir figure ci-après pour une crue 200 ans – tableau 2).

Pour les hauteurs d'eau maximales, il existe une différence d'environ 10 à 30 cm selon les crues. Le niveau derrière la levée est en effet le niveau de la Loire en aval de celle-ci, qui est légèrement inférieur (du fait de la pente de la ligne d'eau sur ce linéaire).

Le secteur situé entre la levée de Gimouille aval et le remblai SNCF est aussi inondé un peu plus tardivement car le niveau du terrain naturel est un peu plus élevé comme le montre la figure ci-après.

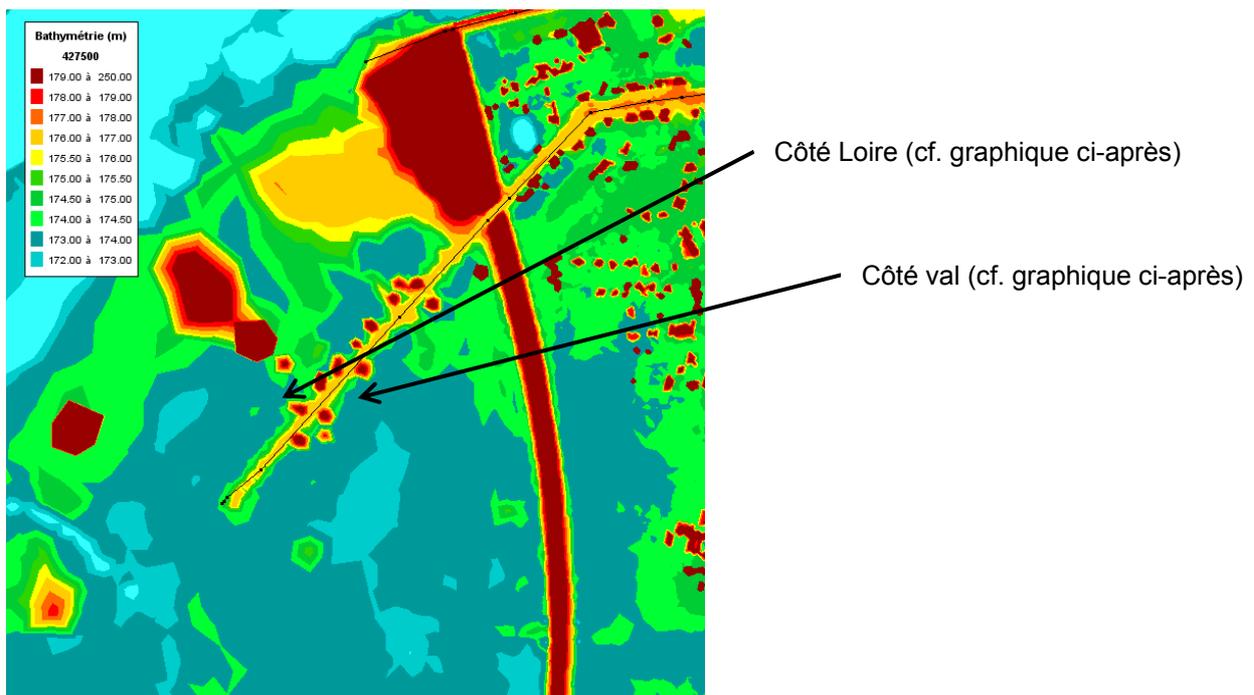


Figure 15 : Bathymétrie à proximité de la levée de Gimouille aval

En terme de vitesses d'écoulement, on peut constater une diminution de celles-ci à l'arrière de la levée (cf figure ci-après dans le tableau 2).

Le tronçon aval de la levée de Gimouille a donc une légère influence sur les hauteurs d'eau, les temps de propagation et les vitesses d'écoulement. **Dans ces conditions, ce tronçon peut être retenu comme ouvrage secondaire.** Il a un rôle de protection indirecte puisque les eaux de Loire le contournent avant d'entrée dans le val.

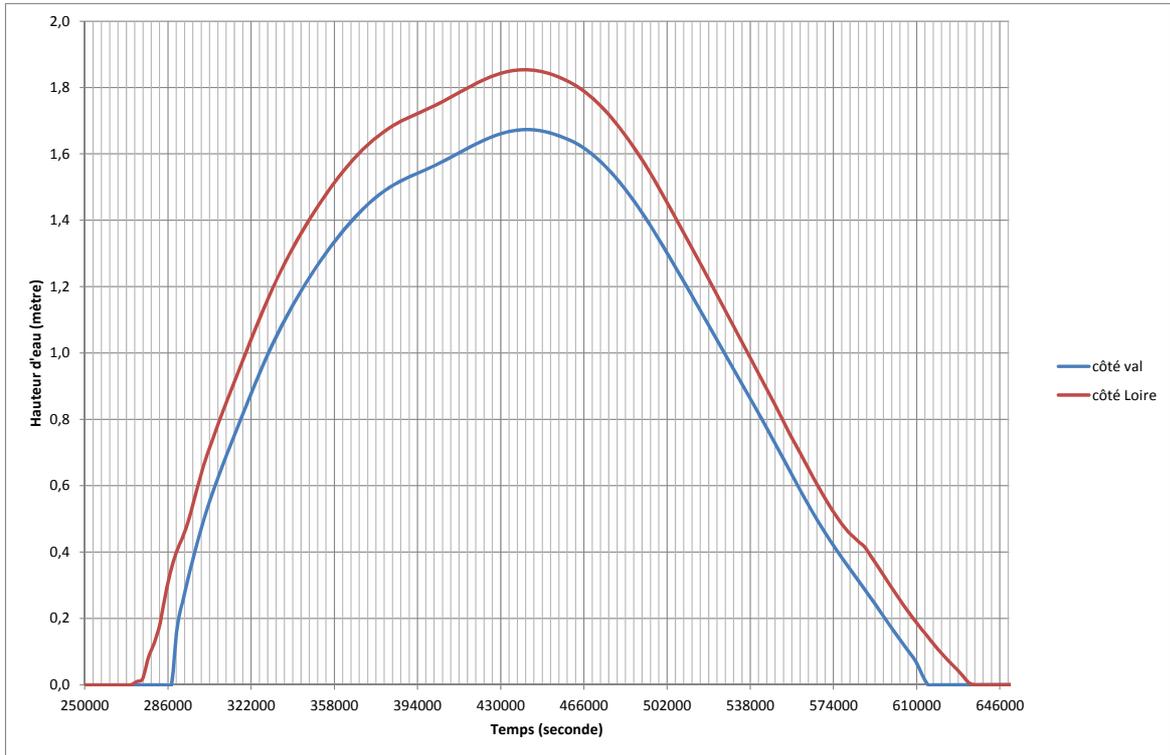


Figure 16 : Analyse des hauteurs d'eau (de deux points de bathymétrie proche) – crue 200 ans

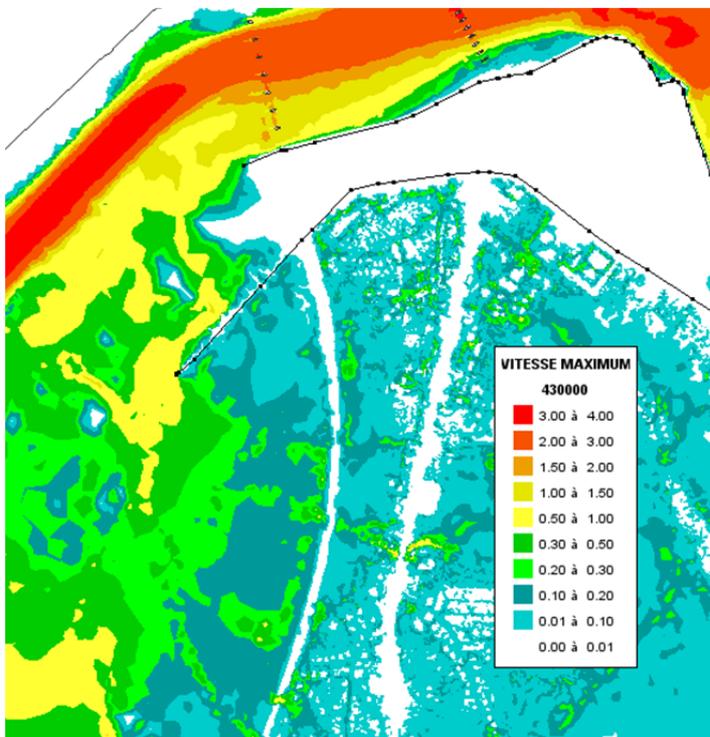


Figure 17 : Analyse des vitesses à proximité de la levée de Gimouille (crue 200 ans)

4.2.2 Remblai SNCF

Les eaux atteignent ensuite le remblai SNCF. Ce remblai est muni de plusieurs ouvrages hydrauliques (cf. figure 3 – localisation des ouvrages modélisés). Au total, 8 ouvrages de petites dimensions (type orifice) ainsi que 3 ouvrages de franchissement sont présents. Le val endigué est alors inondé par les eaux qui transitent par ces ouvrages.

Les eaux traversent le remblai par les ouvrages du ruisseau de Peully, puis par l'ouvrage du ruisseau des Brouères en enfin, plus au sud, par les ouvrages de la Vieille Loire. Mais ces arrivées d'eau progressives sont en lien avec les arrivées d'eau en lit majeur et donc avec la topographie du lit majeur. Les points bas se situent au niveau des ruisseaux de Peully et des Bruères.

Les eaux franchissent ensuite le remblai SNCF par les ouvrages permettant le rétablissement de routes.

Le secteur sud est atteint par les inondations plus tardivement du fait d'une topographie plus élevée dans le lit majeur de la Loire, tout comme la partie nord.

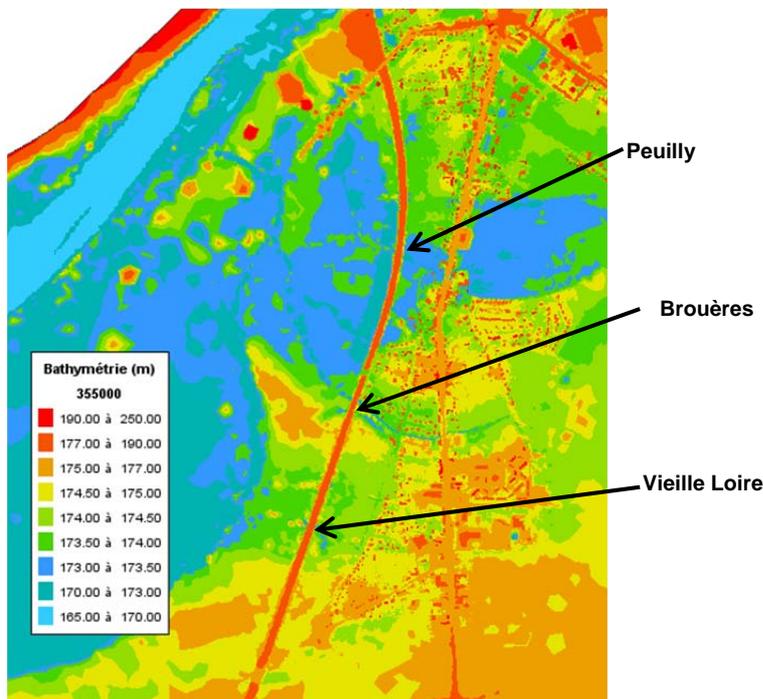


Figure 18 : Bathymétrie à proximité du remblai SNCF

L'analyse des résultats hydrauliques indique que :

- Les niveaux d'eau côté Loire au maximum de la crue sont quasiment identiques aux niveaux côté val endigué ;
- Les vitesses d'écoulement sont légèrement inférieures côté val endigué que côté Loire (zone de stockage entre le remblai SNCF et la levée de Saint-Antoine) – voir image des vitesses dans le tableau 2 ci-avant;
- Les eaux atteignent le val endigué avec un léger décalage du fait des nombreux ouvrages hydrauliques.

Les ouvrages hydrauliques ont ici un réel rôle de transparence.

Les figures ci-après donnent les hauteurs d'eau de deux points de bathymétrie proche (173,6 mNGF) de part et d'autre du remblai SNCF pour une crue 200 ans. Ce graphique permet de visualiser la cinétique de la crue (décalage de trois heures à l'arrivée des eaux et très peu de différences de niveaux d'eau au maximum de la crue). La localisation des deux points est donnée ci-après.

La mise en charge du remblai est faible.

Dans ces conditions, on peut considérer que le remblai de la SNCF n'est pas un ouvrage secondaire.

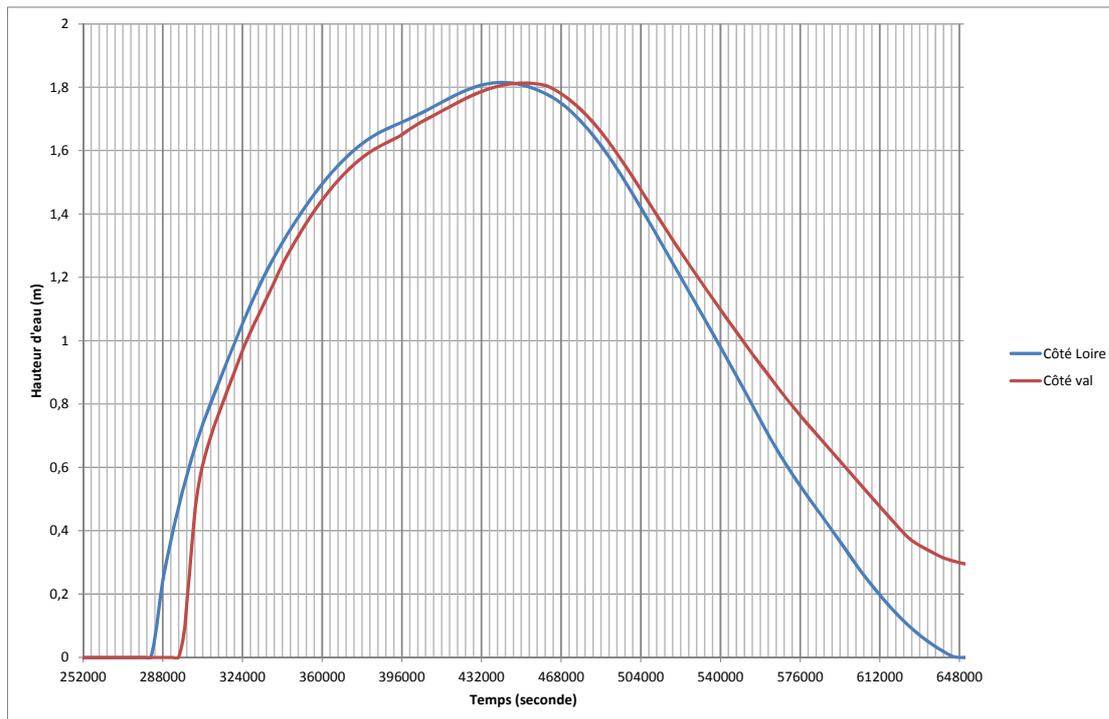


Figure 19 : Evolution des hauteurs d'eau de deux points de bathymétrie 173,6 mNGF (crue Q200)

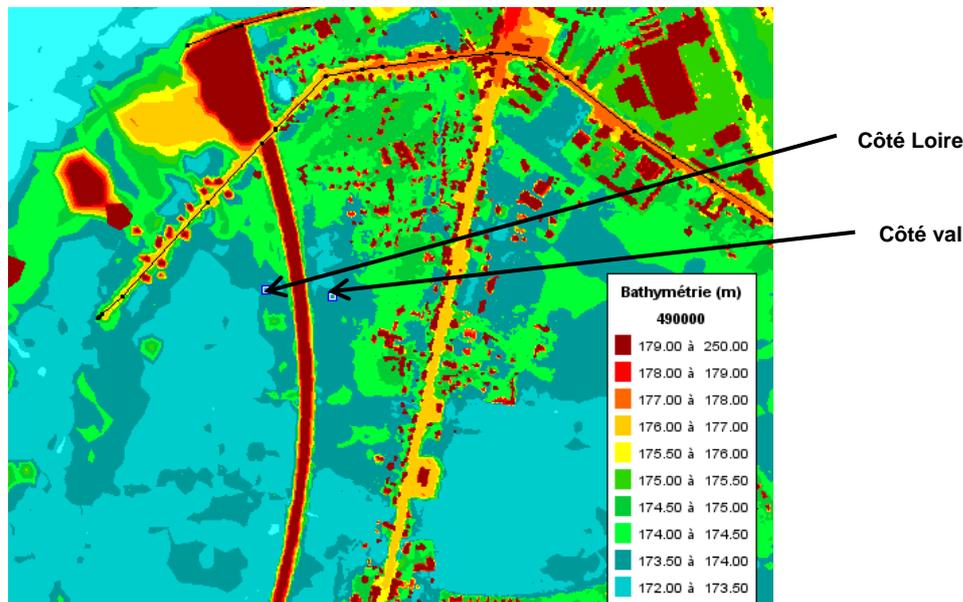


Figure 20 : Localisation des points du graphique

4.2.3 Ancienne levée de Saint-Antoine

Les eaux atteignent ensuite l'ancienne levée Saint-Antoine. Cette levée est munie de 3 ouvrages hydrauliques (cf. figure 3 – localisation des ouvrages modélisés) de petites dimensions (type orifice). Le val endigué (pré fleuri, val de St Antoine) est alors inondé par les eaux qui transitent par ces ouvrages.

Les eaux traversent l'ancienne levée par les ouvrages du ruisseau de Peuilley, puis par l'ouvrage du ruisseau des Brouères. Contrairement au remblai SNCF, il n'y a pas d'ouvrages hydrauliques au sud et il y a moins d'ouvrages au niveau du ruisseau de Peuilley.

Les points bas se situent au niveau des ruisseaux de Peuilley et des Bruères.

Le val endigué est relativement plat (niveau de terrain naturel en majorité inférieur à 174,5 mNGF), en dehors des zones situées à proximité de l'ancienne levée de Saint-Antoine et de la levée de Sermoise 2^e section. Les eaux se propagent alors assez rapidement dans le val au passage des eaux dans les ouvrages.

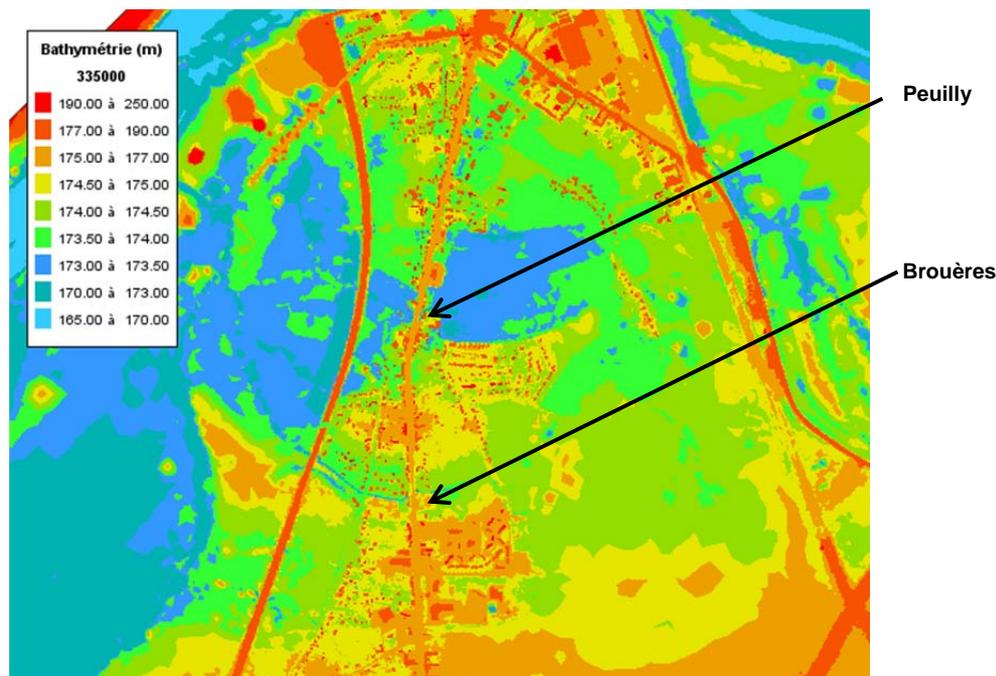


Figure 21 : Bathymétrie dans le val endigué

L'analyse des résultats hydrauliques indiquent que :

- Au cours de la montée des eaux, le niveau d'eau est inférieur dans le val endigué mais au maximum de la crue, les niveaux d'eau côté remblai SNCF sont quasiment identiques aux niveaux d'eau côté val endigué ;
- Les eaux atteignent le val endigué un peu après la zone située entre le remblai SNCF et la RD907 (retard de 2 à 5h) ;
- Les vitesses d'écoulement sont inférieures côté val endigué mais du même ordre de grandeur qu'entre le remblai SNCF et l'ancienne levée (zone de stockage).

La levée de Saint-Antoine a une influence sur les écoulements mais cette influence n'est pas suffisante pour impliquer de fortes différences dans les scénarios de propagation des inondations. En effet, c'est surtout la topographie du val endigué qui a une influence sur les écoulements (zone sud inondée en dernier, ainsi que les zones situées à proximité de l'ancienne levée Saint-Antoine).

Les figures ci-après donnent les hauteurs d'eau de deux points de bathymétrie proche (173,8 mNGF) de part et d'autre de la levée de Saint-Antoine pour une crue 200 ans. Ce graphique permet de visualiser la cinétique de la crue (décalage de cinq heures à l'arrivée des eaux et très peu de différences de niveaux d'eau au maximum de la crue).

Les ouvrages hydrauliques ont ici un réel rôle de transparence. **Dans ces conditions, on peut considérer que l'ancienne levée de Saint Antoine n'est pas un ouvrage secondaire.**

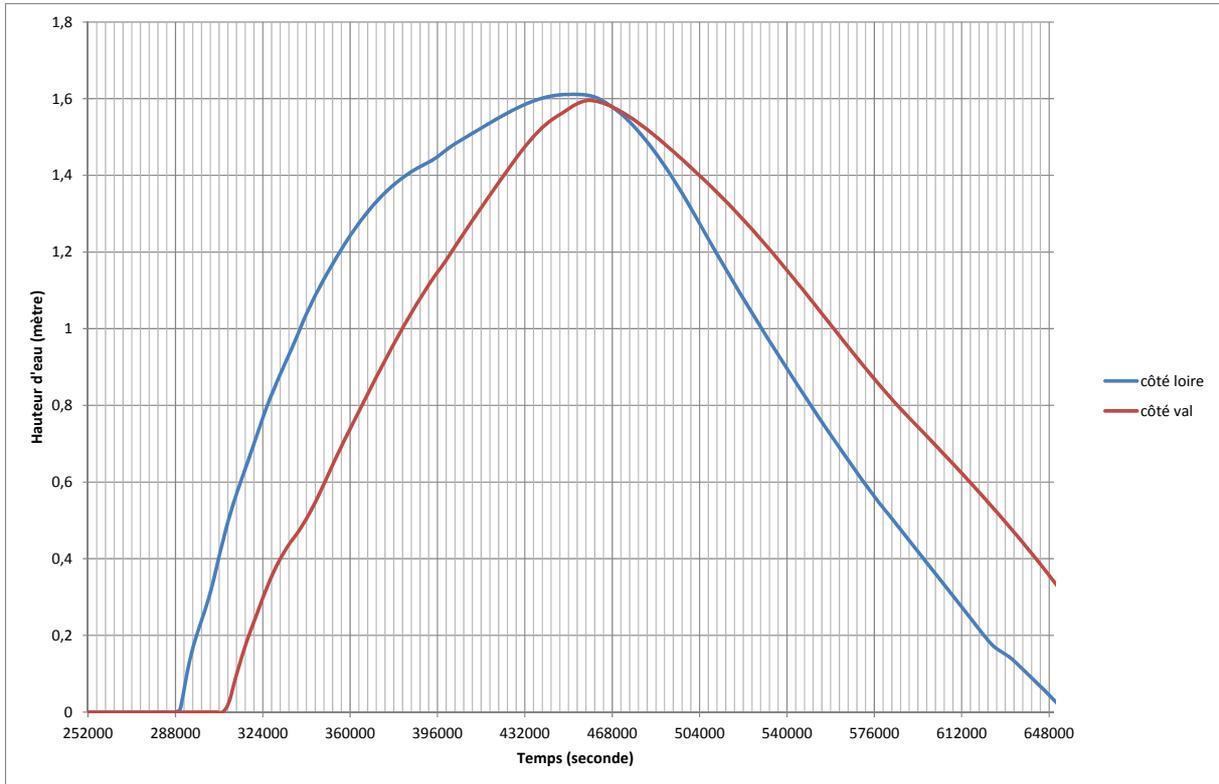


Figure 22 : Evolution des hauteurs d'eau de deux points de bathymétrie 173,8 mNGF (crue Q200)

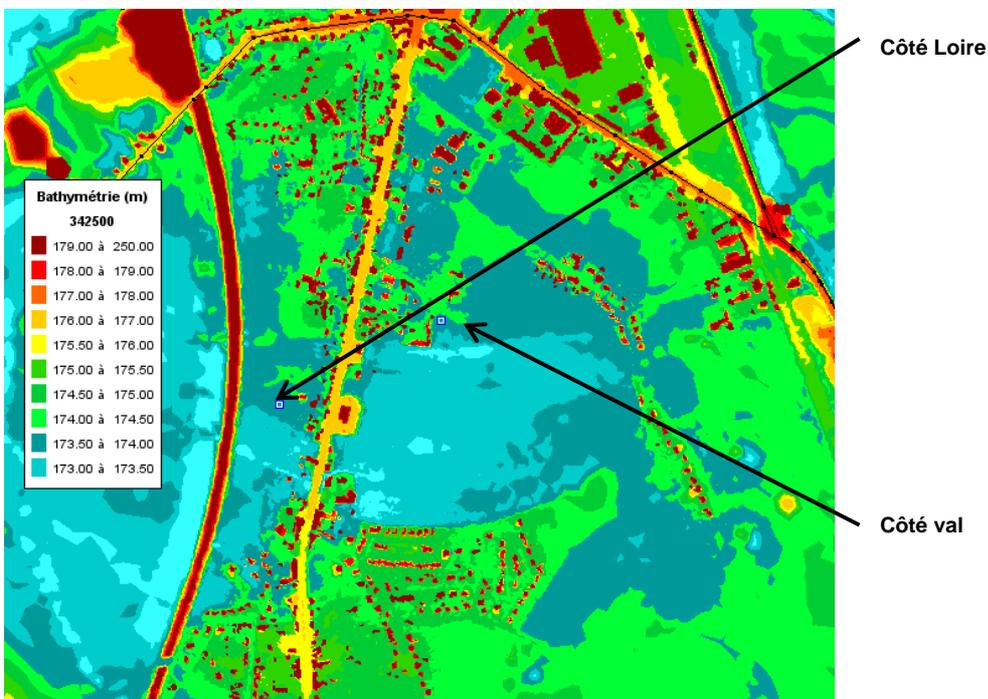


Figure 23 : Localisation des points du graphique

4.2.4 Levées de second rang (Sermoise 2^e section et Gimouille amont)

Les levées de Sermoise 1^e section et de Gimouille amont (jusqu'à la voie ferrée) ne protègent pas le val endigué. En effet, en cas de brèches dans la levée de premier rang, le val situé en aval des digues de second rang sera déjà inondé par remous pour des crues supérieures ou égales à la cinquantennale. Ce linéaire de digue a un effet de protection inverse : il empêche l'eau qui entre par remous en aval de la levée d'atteindre le secteur situé entre la ligne de défense principale et ces levées de second rang. Ces levées ne participant pas à la protection directe du val endigué, elles ne sont pas intégrées à la ligne de défense principale. Néanmoins, elles pourraient être un ouvrage secondaire.

Jusqu'à une crue de période de retour 170 ans, les eaux restent contenues derrière les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille amont.

Au-delà, les eaux atteignent le val nord par le canal et le port de la Jonction car les eaux contenues dans le val endigué franchissent les digues du canal.

Néanmoins, jusqu'à une crue de période de retour 170 ans, les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille amont jouent un rôle dans la protection du val nord. L'analyse de la topographie de ce secteur (voir figure ci-après) montre que certaines zones, à topographie égale, se trouve préservée alors que les hauteurs d'eau dans val sud sont de l'ordre d'un mètre pour une crue 170 ans.

Dans ces conditions, on peut considérer que les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille amont sont des ouvrages secondaires.

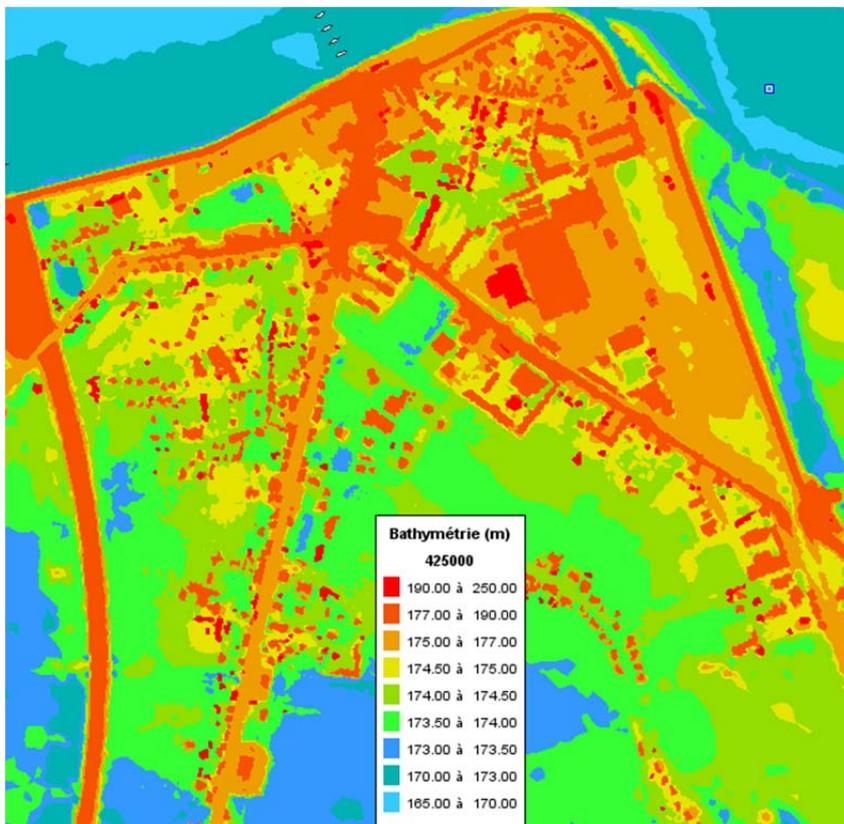


Figure 24 : Topographie dans le val « Nord »

4.2.5 Dignes du canal

Une fois que les eaux sont entrées dans le val endigué, elles se trouvent bloquées par les digues du canal.

Jusqu'à une crue de période de retour 100 ans, les eaux restent contenues derrière les levées du canal.

Au-delà, les eaux atteignent le petit val situé entre la levée de Sermoise 1^e section et le remblai de l'A77.

Puis, à partir d'une crue de période de retour 170 ans, les eaux franchissent les digues au nord et atteignent le val nord, situé derrière les levées de Sermoise 2^e section et de Gimouille.

Le rôle de protection des digues du canal ne permet pas de créer des réelles différences dans les scénarios de propagation des eaux dans le val.

Dans ces conditions, on peut considérer que les digues du canal ne sont pas des ouvrages secondaires.

4.3 Cinétique de crue

Les planches ci-après permettent de visualiser la cinétique de la crue 200 ans et l'inondation du val par remous.

Le pas de temps est de 5000 secondes pour les premières images puis de 10 000 secondes.

