



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFECTURE DE LA NIEVRE

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

S01 – Etude hydraulique locale via l'utilisation
d'un modèle 1D à casiers

Amélioration du modèle « LGN » pour l'étude de dangers
de Decize



Janvier 2016

Table des matières

1.	Introduction générale	5
1.1	Objectifs de l'étude.....	5
1.2	Modèle Loire Bourguignonne	6
1.2.1	Structure	7
1.2.2	Hydrologie	7
1.2.3	Calage	8
2.	Val de Decize	9
2.1	Système de protection	9
2.1.1	Localisation et description	9
2.1.2	Profil longitudinal des digues	11
2.2	Singularités hydrauliques	12
2.3	Modélisation hydraulique.....	13
2.3.1	Structure du modèle actuel	14
2.3.2	État des lieux du modèle.....	16
2.3.3	Améliorations apportées au modèle.....	19
2.3.4	Module hydrologique.....	22
2.4	Résultats obtenus sur le val de Decize.....	23

Liste des figures

Figure 1 : Modèle Loire Bourguignonne – LGN – emprise.....	6
Figure 2 : Val de Decize – localisation	9
Figure 3 : Val de Decize : profil longitudinal de la digue.....	11
Figure 4 : Singularités hydrauliques le long de la zone d'étude.....	12
Figure 5 : Modèle hydraulique du val de Decize	13
Figure 6 : Découpage en casiers (du modèle actuel) et enjeux	15
Figure 7 : Modèle hydraulique val de Decize - zoom	16
Figure 8 : Profil longitudinal des digues de Decize et connexion hydraulique modélisée.....	17
Figure 9 : Découpage en casier du val de Decize– modèle de la Loire Bourguignonne « LGN ».....	18
Figure 10 : Découpage en casier du val de Decize– zoom.....	18
Figure 11 : Découpage en casiers réalisé sur le val de Decize.....	19
Figure 12 : Découpage en casiers réalisé, zoom Decize4 – altimétrie du val.....	20
Figure 13 : Découpage initial en casiers et étendue des profils en travers de l'écoulement secondaire....	20
Figure 14 : Surverse préconisée au droit de la levée de Caqueray	21
Figure 15 : Evolution de la ligne d'eau selon la période de retour – simulations réalisées à partir du modèle amélioré.....	23

Liste des tableaux

Tableau 1 – Description du système d'endiguement du val de Decize.....	10
Tableau 2 : Débits de pointe à l'amont du val selon la période de retour T.....	22

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 Decize 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 correspondantes ;
- en déduire les effets induits par ces inondations notamment sur les enjeux protégés.

La Loire bourguignonne depuis la station de Gilly jusqu'à Nevers a fait l'objet d'une modélisation hydraulique avec le logiciel HydraRiv

Dans le cadre des études de dangers des digues de classe B de la Loire, le modèle hydraulique de la Loire Bourguignonne « LGN » (Loire-Gilly-Nevers) a été mis à la disposition d'Egis Eau.

Il s'agit :

- 1 d'établir un état des lieux du modèle Loire Bourguignonne au droit du secteur d'étude ;
- 2 d'améliorer la représentativité du modèle Loire Bourguignonne au droit de la zone d'intérêt ;
- 3 d'analyser les conditions d'écoulement des différents scénarii de crue dans le val étudié en situation actuelle ;
- 4 d'exploiter le modèle hydraulique pour alimenter l'étude de dangers (rubriques 3 et 8) selon les objectifs définis précédemment.

1.2 Modèle Loire Bourguignonne

Le modèle hydraulique créé par le SPC Loire-Cher-Indre a été fourni pour cette étude. C'est un modèle calé, utilisé pour la prévision des crues sur la Loire Bourguignonne.

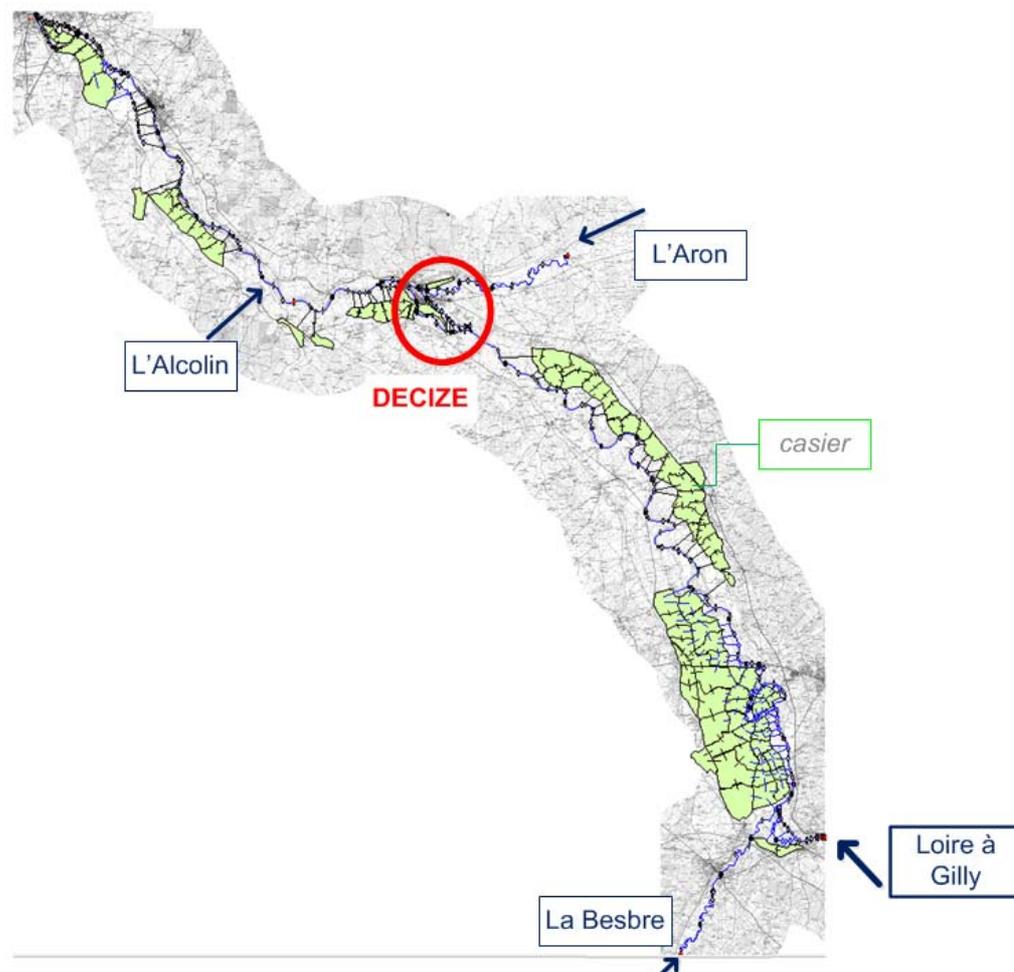
Le modèle de la Loire « LGN » (Loire-Gilly-Nevers), représente un linéaire de 89 km de la station de Gilly jusqu'à la station de Nevers. Il comprend aussi :

- la Besbre, affluent en rive gauche,
- l'Aron affluent en rive droite de la Loire à l'aval de Decize,
- et différents chenaux en eau, comme par exemple la Vieille Loire à Decize.

C'est un modèle monodimensionnel filaire à casier créé sur HydraRiv qui est basé sur une topographie représentative du fleuve, de son lit et de ses vals. Il compte au moins un profil en travers (lit mineur plus lit majeur) par kilomètre.

Les zones d'expansion des crues ou les secteurs endigués ont été schématisés par des casiers.

Figure 1 : Modèle Loire Bourguignonne – LGN – emprise



1.2.1 Structure

Le modèle repose sur la mise en œuvre de deux principes de modélisation 1D distincts : le modèle filaire et le modèle à casiers.

- **Le modèle filaire** rend compte du fonctionnement de la Loire, de ses affluents et des principaux axes d'écoulement identifiés dans les vals. En tout, on dénombre :
 - 386 nœuds de calcul,
 - 206 profils en travers de la Loire,
 - 535 tronçons regroupés en 19 branches.

- **Le modèle à casiers** représente les champs d'expansion des crues situés au-delà du lit majeur endigué de la Loire, dans les vals et dans les espaces inondables riverains du fleuve. Chaque casier est défini géographiquement par ses contours qui correspondent, en général, à des obstacles physiques influençant l'écoulement (levées, coteaux, routes, talus) puis numériquement par sa superficie et par une courbe $a(Z)$. En tout, ont été modélisés :
 - 93 casiers, regroupés en 12 sous-domaines,
 - 260 liaisons hydrauliques dont :
 - 1 dérivation par seuil
 - 4 de type seuil latéral,
 - 248 de type « rugueux »,
 - 7 de type « orifice ».

Les échanges entre un casier et un profil ou entre deux casiers correspondent aux entrées et sorties d'eau analysées et dimensionnées. Ils sont représentés dans le modèle par des liaisons numériques de quatre types : la loi de surverse, la loi d'orifice, l'écoulement rugueux et la brèche.

1.2.2 Hydrologie

Dans le modèle « LGN », seuls les affluents de la Loire avec un bassin versant supérieur à 250 km² ont été retenus.

- la Besbre de Saint-Pourçain-sur-Bresbre ;
- l'Aron de Verneuil ;
- l'Acolin.

Le module hydrologique est limité à l'injection de ces hydrogrammes, le module de transformation pluie-débit étant externe au modèle.

Il y a donc quatre hydrogrammes injectés :

- la Loire à Gilly,
- les trois affluents listés ci-dessus.

1.2.3 Calage

Le calage du modèle LGN a été réalisé sur treize événements. Les deux événements les plus importants sont :

- novembre 2008 dont la période de retour est comprise entre 10 et 20 ans,
- décembre 2003 dont période de retour est comprise entre 20 et 50 ans.

Le paramètre principal de calage a été la rugosité du lit et des liaisons hydrauliques. L'amélioration de la description des écoulements et/ou stockage dans le lit majeur a aussi joué un rôle principal (ajout de profils en travers et de casiers).

Les coefficients de Strickler retenus dans la zone d'étude sont de 27 ou 28 pour le lit mineur et varient entre 14 et 30 pour le lit majeur.

Le modèle calé reproduit bien les crues. « *Le bilan volumique montre un déficit du modèle par rapport à l'observé à Imphy et Nevers d'environ 3%. Cela peut venir d'un déficit de représentation des apports intermédiaires* ».

« *Un point critique du calage du modèle est localisé à l'aval du barrage de Decize. Les hauteurs d'eau sont sous-estimées de manière importante par le modèle (page 16 du rapport d'étude du modèle LGN) »*

2. Val de Decize

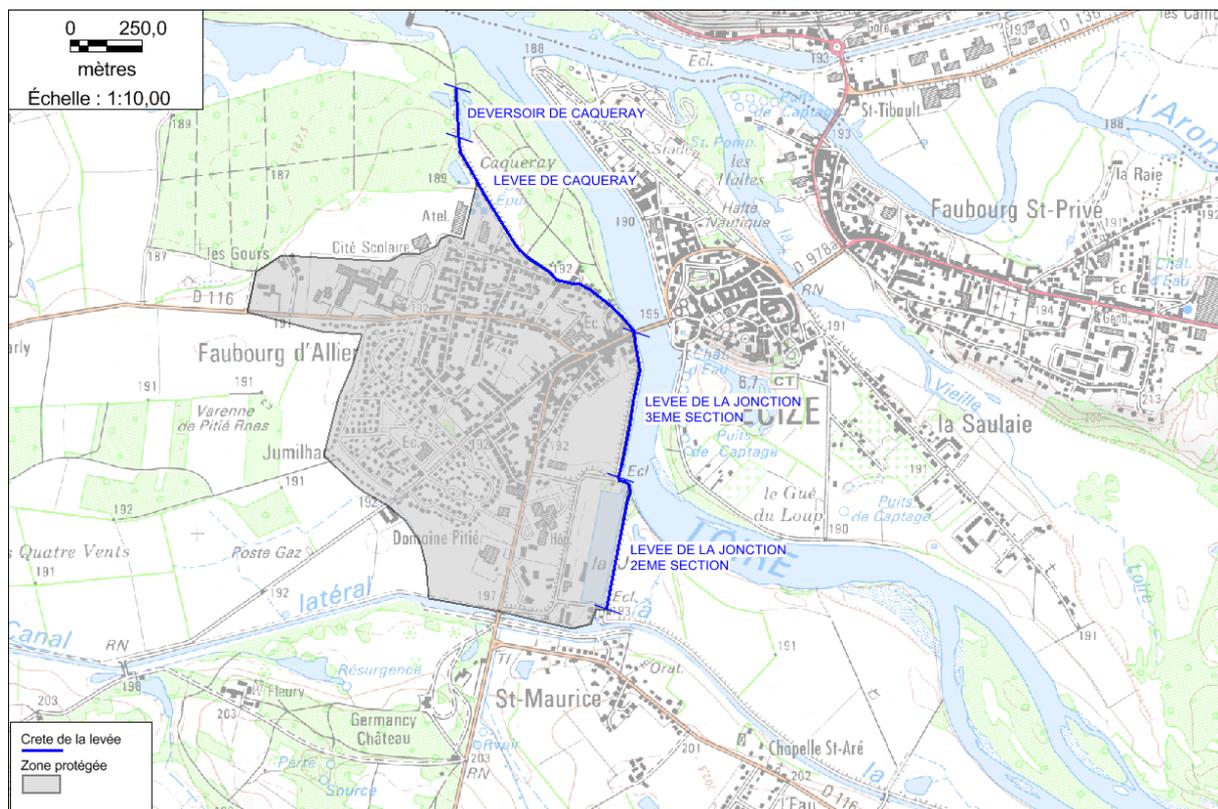
2.1 Système de protection

2.1.1 Localisation et description

Le secteur d'étude se situe sur la commune de Decize.

Le système d'endiguement du val de Decize s'étend en rive gauche de la Loire à l'amont du barrage de saint Léger-des-Vignes et de la confluence de l'Aron en rive droite.

Figure 2 : Val de Decize – localisation



Le système de protection de Decize comprend (cf. analyse fonctionnelle de l'étude de dangers) :

- Les levées de la Jonction 2^{ème} et 3^{ème} section
- La levée de Caqueray

Leur description est synthétisée sur le tableau ci-dessous.

Tableau 1 – Description du système d'endiguement du val de Decize

Ouvrage	Linéaire	Classe	Propriétaire	Gestionnaire	Note
Levée de la Jonction 2 ^{ème} section	435(*) ml	B	Etat	VNF	Adossée au port
Levée de la Jonction 3 ^{ème} section	525(*) ml	B	Etat	DDT	
Levée de Caqueray	600 ml	NC(**)	Etat	DDT	

(*) Linéaire issu de l'arrêté de classement des ouvrages

(**) NC=Non classé

En aval de la levée de la jonction 3^{ème} section, un remblai permet l'accès au pont suspendu de la RD978A sur la Loire.

En aval de la levée de Caqueray, le déversoir latéral de « Caqueret » longe la Loire jusqu'au barrage de Saint Léger-des-Vignes.

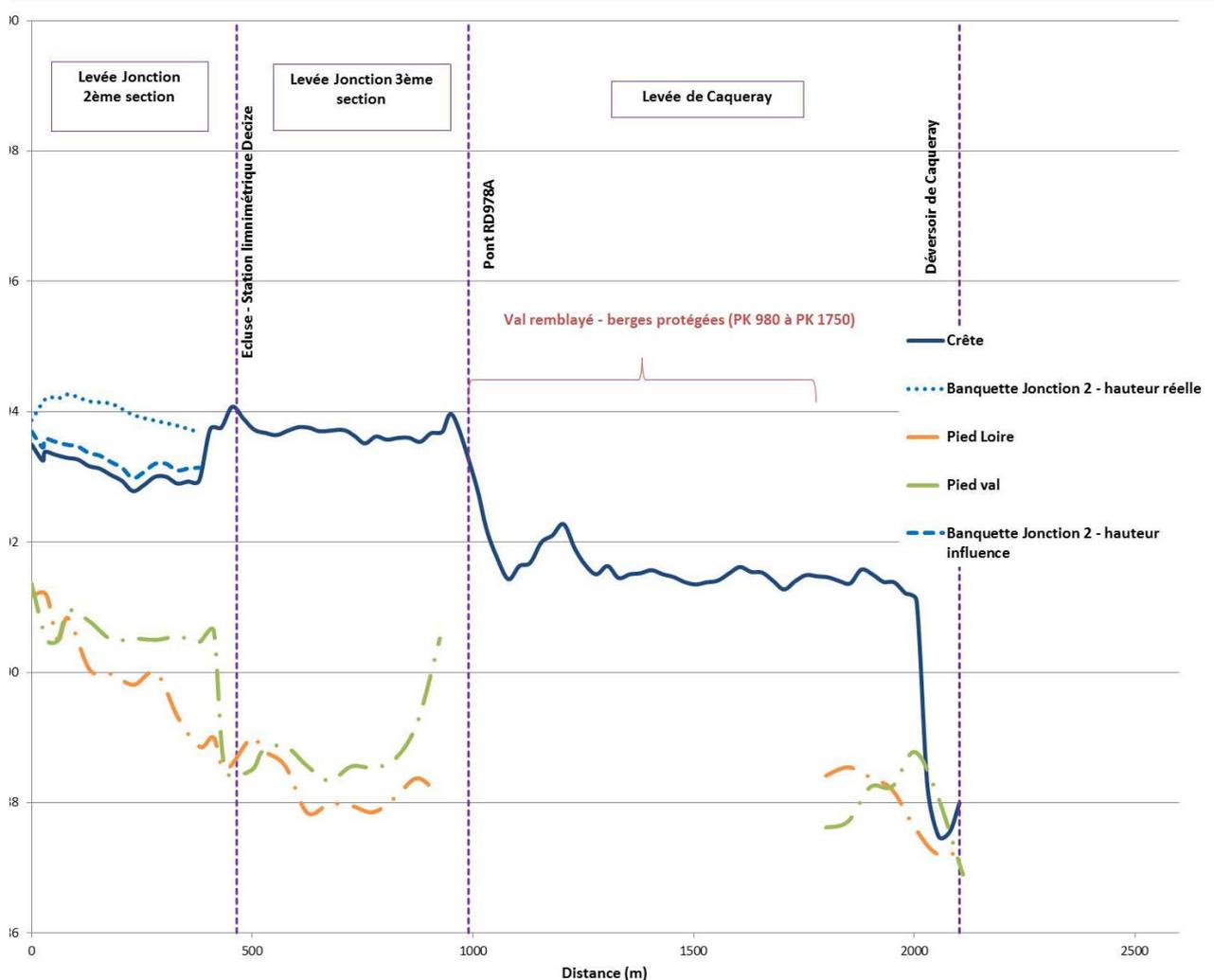
La levée de la Jonction 1^e section n'est pas incluse dans le système de protection du val de Decize.

2.1.2 Profil longitudinal des digues

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

La cote de crête et de la banquette ont été extraits du MNT (Modèle Numérique de Terrain) pour un espacement constant de 50m.

Figure 3 : Val de Decize : profil longitudinal de la digue



■ Hydrauliquement en amont du Pont sur la Loire (RD978a) :

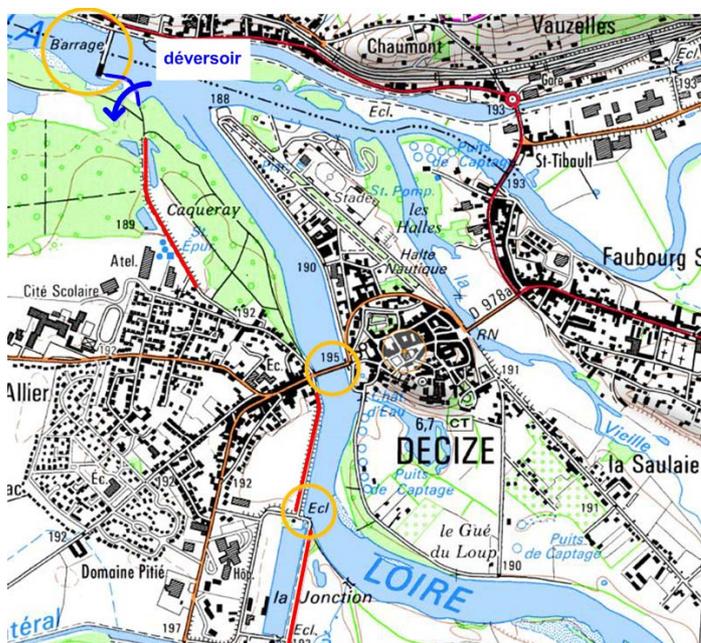
- On constate la présence d'une banquette tout le long du port de la Jonction 2^{ème} section. Le niveau de surverse est alors homogène avec l'amont en prenant en compte la banquette. La banquette est en moyenne un mètre plus élevée que la crête de la levée.
- La cote moyenne de surverse (hors prise en compte de brèches) est :
 - pour la levée Jonction 1^{ère} section: 194 m NGF,
 - pour la levée Jonction 2^{ème} section : 193,9 m NGF en prenant en compte la banquette,
 - pour la levée Jonction 3^{ème} section : 193,7 m NGF,

- Hydrauliquement en aval du Pont sur la Loire (RD978a) :
 - Le niveau de surverse de la levée de Caqueray est plus bas d'environ deux mètres, la cote moyenne de la crête étant 191,6 m NGF.
 - Présence du **déversoir de Caqueray**. Le seuil de déversement est situé 4 mètres en dessous à la digue.

2.2 Singularités hydrauliques

La Figure 4 représente les éléments ayant un intérêt hydraulique sur le secteur d'étude. Ils représentent des singularités hydrauliques par rapport à l'écoulement de l'eau ou des points de faiblesse du système d'endiguement.

Figure 4 : Singularités hydrauliques le long de la zone d'étude



De l'amont vers l'aval, sont distingués :

- L'écluse en entrée du port, située entre les levées de la Jonction de la 1^{ère} et 2^{ème} section,
- Le pont suspendu de la RD978a,
- Le barrage de saint léger des vignes localisé hydrauliquement à l'aval de la confluence avec l'Aron,
- Le déversoir de « Caqueret » situé en rive gauche à l'amont du barrage.

Le val n'est donc pas fermé à l'aval et est contourné lors d'épisodes de crues caractérisés par une période de retour d'au moins 20 ans (source rapport SOGREAH, octobre 2002).

2.3 Modélisation hydraulique

Le modèle de la Loire Bourguignonne « LGN » a été adapté aux exigences de l'étude de dangers.

Etant donné que :

- le val de Decize est situé environ 50km à l'aval de Gilly (amont du modèle LGN)
- le modèle fourni ne comportait pas de fichiers de crue de projet pour les 4 apports présentés précédemment et ce, pour chaque période de retour à étudier (seules les crues de calage sont disponibles),

Il a été créé un modèle réduit, extrait du modèle « LGN », pour faciliter l'intégration de l'hydrologie.

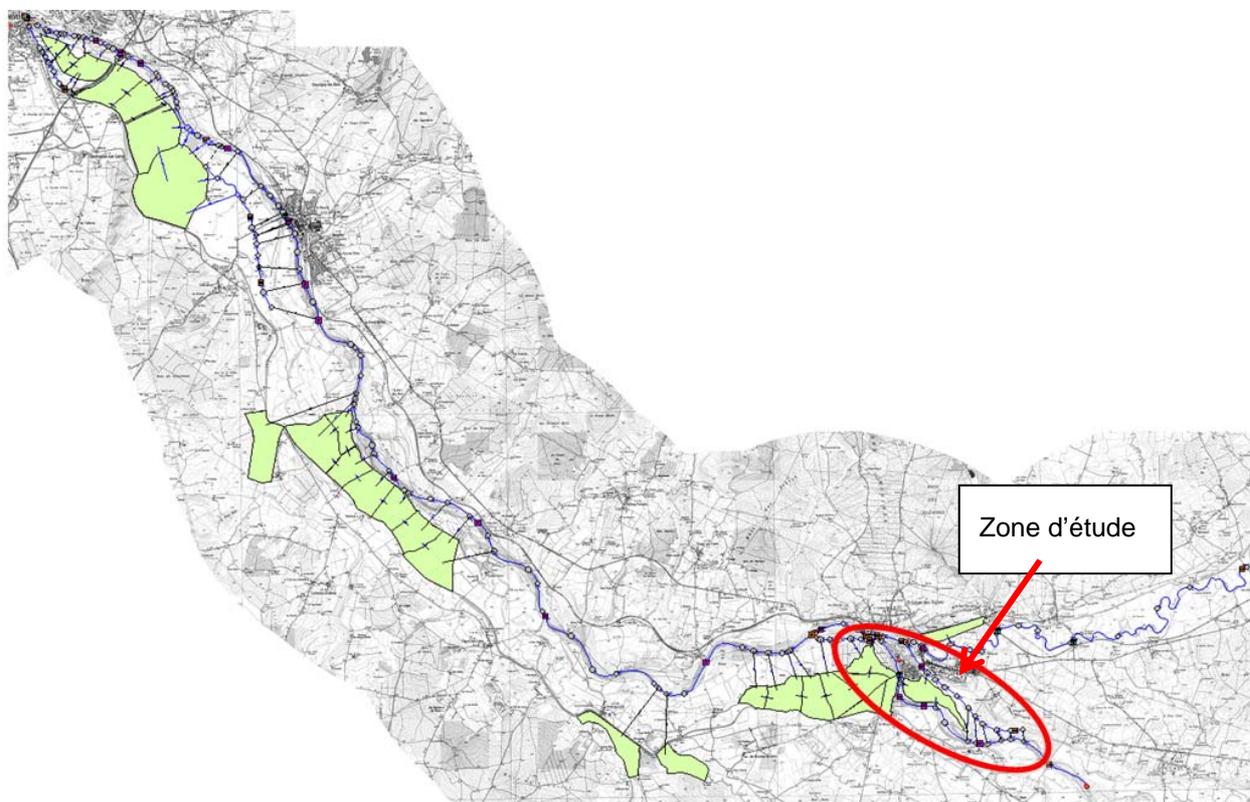
Le réseau hydraulique :

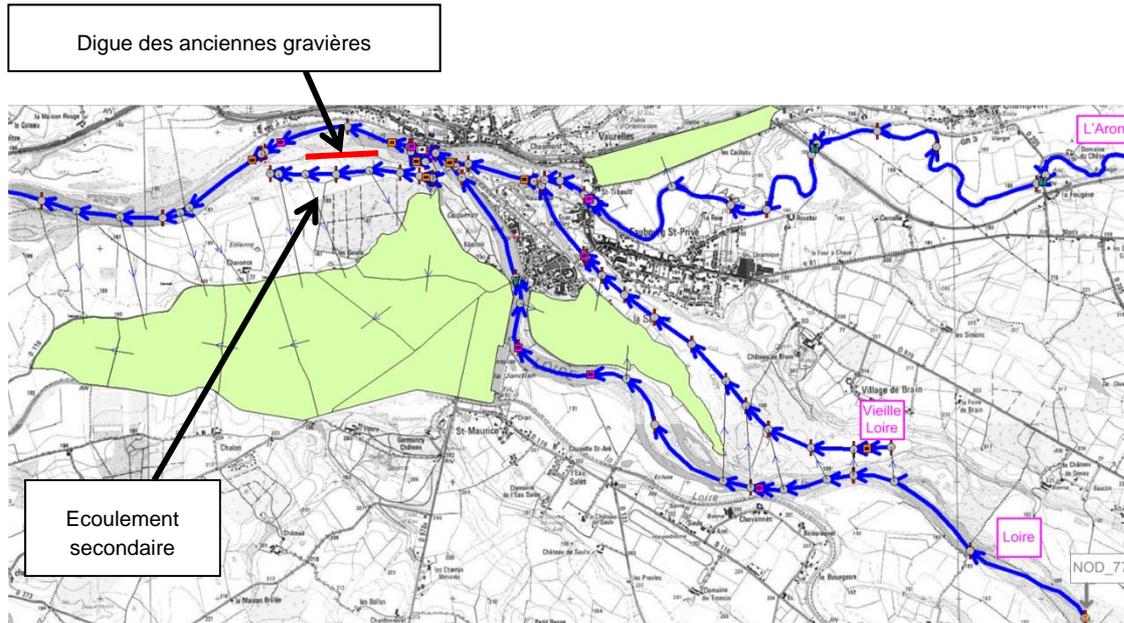
- démarre à l'amont du Val de Decize (environ 8 Km à l'amont du barrage de saint léger des vignes),
- conserve Nevers comme limite aval.

Le modèle « LGN » a été coupé suffisamment à l'amont du secteur d'étude, au niveau d'un tronçon de la Loire dépourvu d'interconnexions hydrauliques avec casiers et/ou cours d'eau secondaires (nœud hydraulique « NOD_77 »).

Le modèle hydraulique du val de Decize, extrait du modèle global Loire Bourguignonne «LGN » est présenté sur la Figure 5.

Figure 5 : Modèle hydraulique du val de Decize





2.3.1 Structure du modèle actuel

La zone d'étude s'étend sur la branche n°3. Une branche décrit un bief filaire parcouru longitudinalement par une direction privilégiée d'écoulement (pk).

Le modèle de la Loire « coupé » compte le long du secteur d'étude :

- 8 nœuds de calcul avec profils en travers ;
- 6 nœuds de calculs supplémentaires intermédiaires, la vieille Loire étant alimentée par les débordements en rive droite de la Loire ;
- Un élément hydraulique de perte de charge (« BDR_9 ») pour tenir compte du pont sur la Loire (RD978a).

Un écoulement secondaire est modélisé en rive gauche de la Loire afin de simuler les écoulements transitant en lit majeur derrière la digue située en bordure des anciennes gravières. Cette digue crée une barrière hydraulique entre la Loire et son lit majeur. Les entrées d'eau se font au niveau du déversoir de la digue de Caqueret (voir Figure 5 et figure 13)).

Les casiers représentent des zones de stockage où les vitesses d'écoulement sont faibles. Dans le modèle « LGN », il s'agit principalement des vals.

Dans le modèle « LGN », le val de Decize protégé par le système d'endiguement est décomposé en :

- 4 casiers « Decize3 », « Decize4 », « Decize5 », « Decize6 » occupant la zone à enjeux,
- 4 casiers supplémentaires « Decize7 », « Decize8 », « Decize9 » et « Decize10 » pour décrire l'écoulement dans la vallée.

Chaque casier est défini par une loi hauteur en eau/surface en eau définie à partir du MNT.

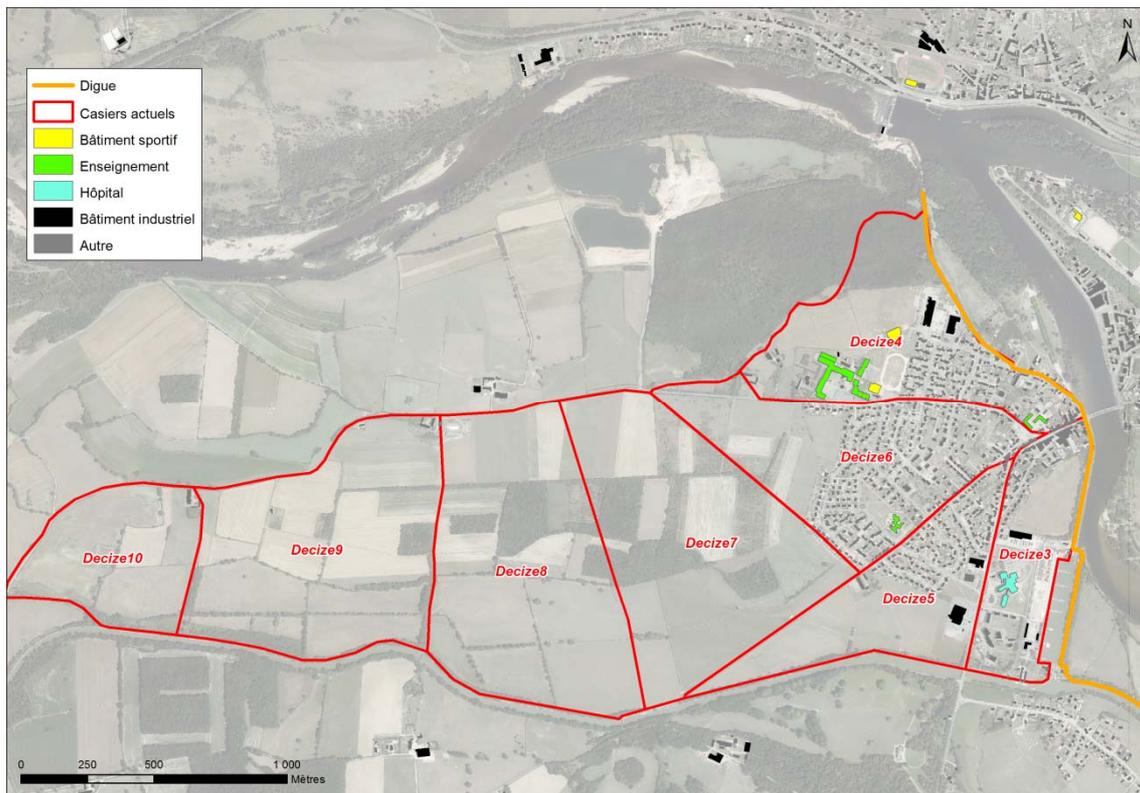
Les casiers sont alimentés :

- par la Loire avec un lien de surverse par casier
- par les casiers limitrophes par des liens hydrauliques de « frottement ».

Les enjeux principaux présents sur le secteur d'étude sont :

- L'hôpital, situé derrière la levée de la Jonction 2^{ème} section,
- Trois bâtiments scolaires,
- Deux bâtiments sportifs.
- Et plusieurs bâtiments industriels situés derrière les levées de la Jonction 2^{ème} section et de Caqueray.

Figure 6 : Découpage en casiers (du modèle actuel) et enjeux



2.3.2 État des lieux du modèle

La Figure 7 représente un zoom sur la modélisation du val de Decize.

Il est possible de constater :

- **l'absence de connexions hydrauliques entre la Loire et les casiers du val de Decize** (« Decize3 » et « Decize4 »). Il a été modélisé une inondation par remous, en particulier :
 - le déversement de la Loire à l'aval de la levée de Caqueray, qui alimente un écoulement secondaire parallèle à la Loire,
 - Inondation du val de Decize par l'écoulement secondaire dès que le niveau d'eau dépasse les seuils d'inondation définis par la topographie du territoire.

- **Les casiers « Decize3 » et « Decize5 » ne sont alimentés par aucune liaison hydraulique**, ni par la Loire ni par les autres casiers limitrophes (« Decize4 », « Decize6 » et « Decize7 »).

Figure 7 : Modèle hydraulique val de Decize - zoom

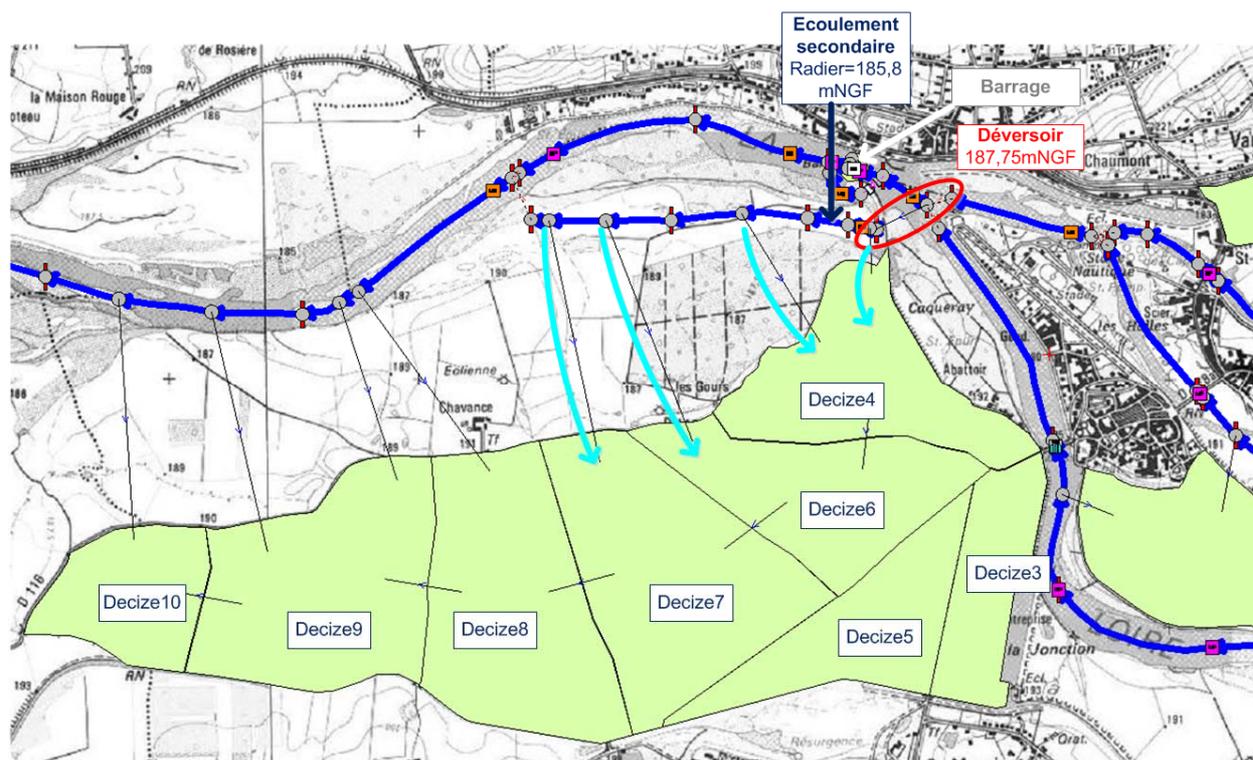
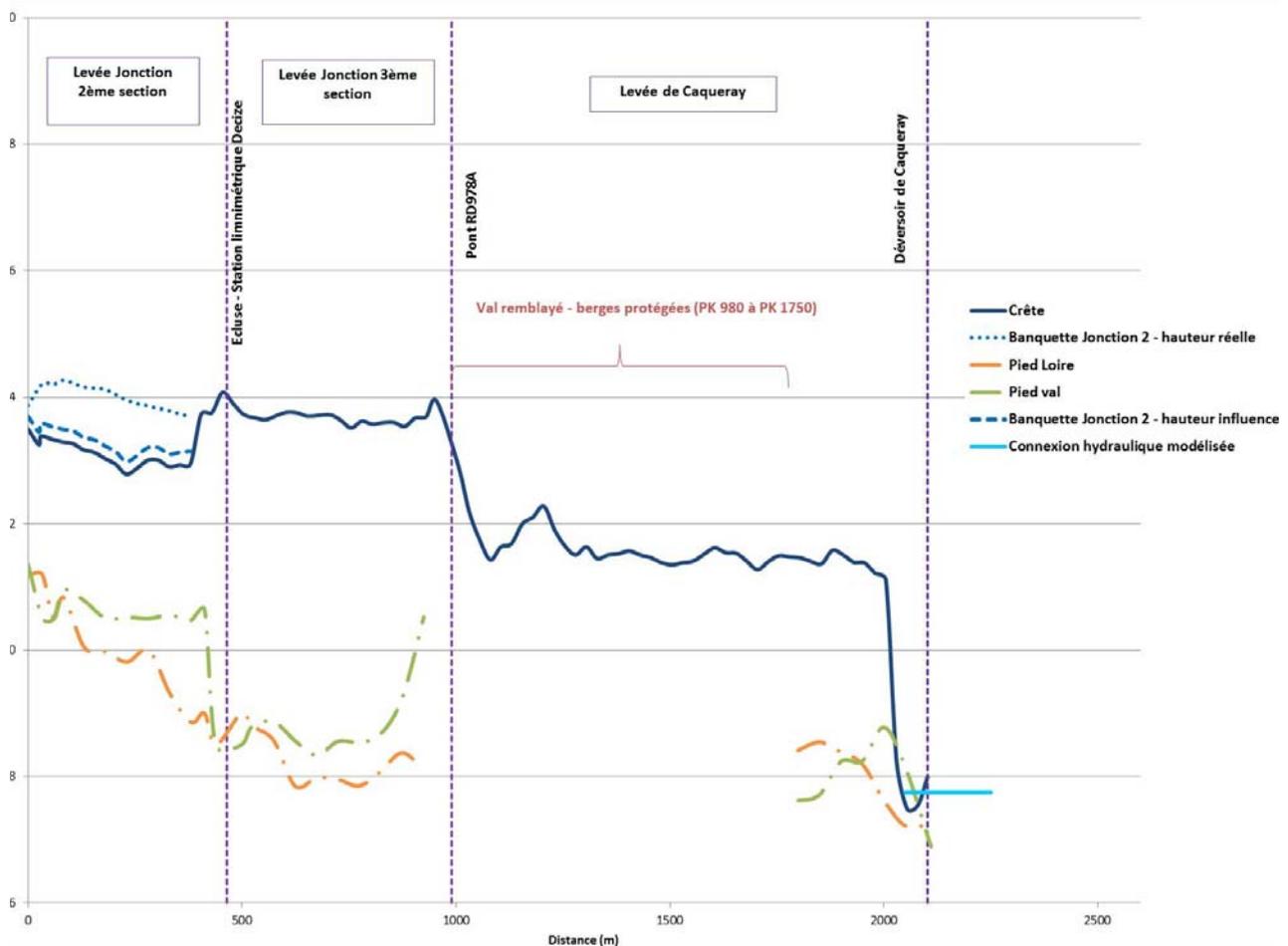


Figure 8 : Profil longitudinal des digues de Decize et connexion hydraulique modélisée.



■ Remarques par rapport aux casiers :

La figure 9 représente la superposition du découpage en casier du val de Decize du modèle « LGN » à l'état actuel de la topographie du val.

La Figure 10 est un zoom sur le secteur à enjeux du découpage en casier du val Decize. Le secteur concerne les casiers « Decize3 », « Decize4 », « Decize5 » et « Decize6 ».

Le découpage actuel suit les grands axes topographiques limitant les casiers. Cependant, étant donné le niveau de détail demandé par cette étude une répartition supplémentaire est envisageable.

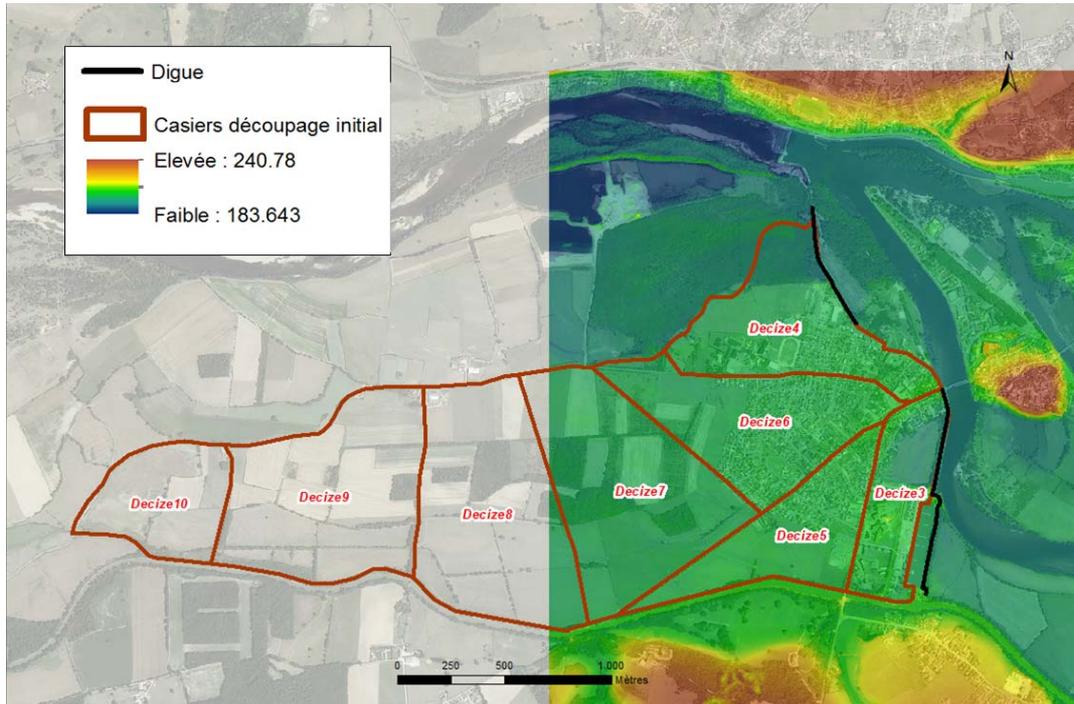


Figure 9 : Découpage en casier du val de Decize- modèle de la Loire Bourguignonne « LGN »

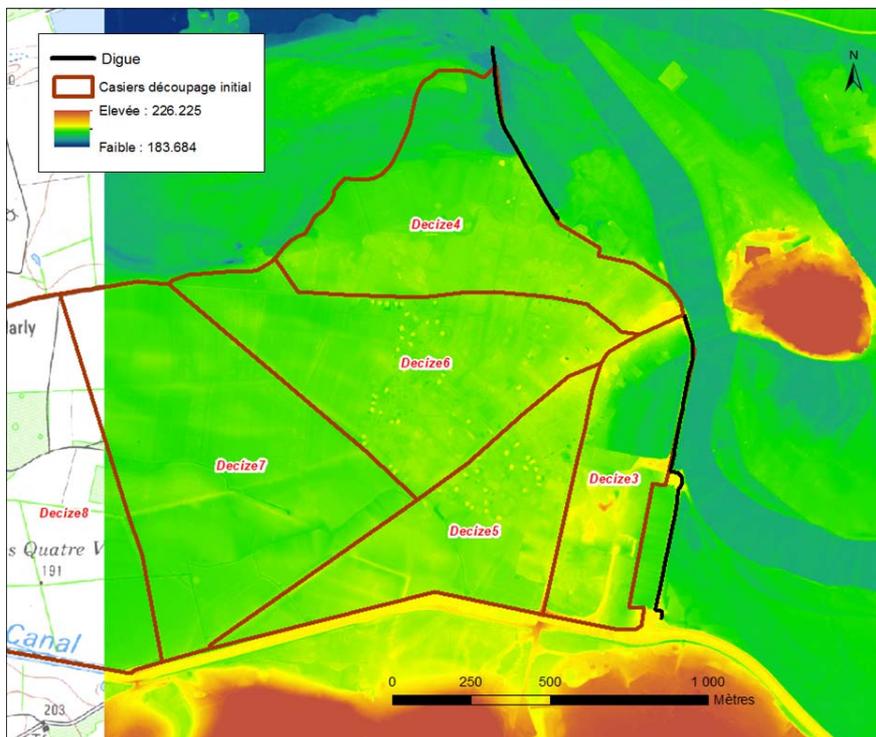


Figure 10 : Découpage en casier du val de Decize- zoom

2.3.3 Améliorations apportées au modèle

A partir de l'état des lieux du modèle LGN, les axes d'amélioration du modèle portent sur :

1. Nouveau découpage en casiers du val de Decize,
2. Création de liens supplémentaires de surverse de la Loire vers les casiers,
3. Amélioration des liens par frottement du fond entre casiers.

■ Nouveau découpage en casiers

Découpage des casiers sensibles présentant les enjeux les plus importants. En particulier :

- a. Le casier « Decize3 » est découpé en trois sous-casiers :
 - i. Le sous-casier «decize3A» derrière la levée de la Jonction 2^{ème} section
 - ii. Le sous-casier «decize3B» derrière la levée de la Jonction 3^{ème} section
 - iii. Le sous-casier «decize3C» présentant une cuvette.
- b. Le casier « Decize5 » est découpé en deux sous-casiers en fonction de la topographie du territoire,
- c. Le casier « Decize4 » a été mieux délimité grâce au Lidar. Son emprise a été réduite, comme il est possible de le voir sur la Figure 12 (limite d'emprise à la cote 190,6 mNGF). Les profils en travers de l'écoulement secondaire à l'aval du déversoir ont été recalés et prolongés en fonction de la nouvelle limite du casier « Decize4 », notamment les deux premiers profils en travers (figure 13).
- d. Les liaisons hydrauliques entre casiers doivent être reprises ou créées suite aux modifications apportées au modèle (création casiers, nouvelle limite de casiers).

La nouvelle configuration est représentée sur la figure 11.

Figure 11 : Découpage en casiers réalisé sur le val de Decize

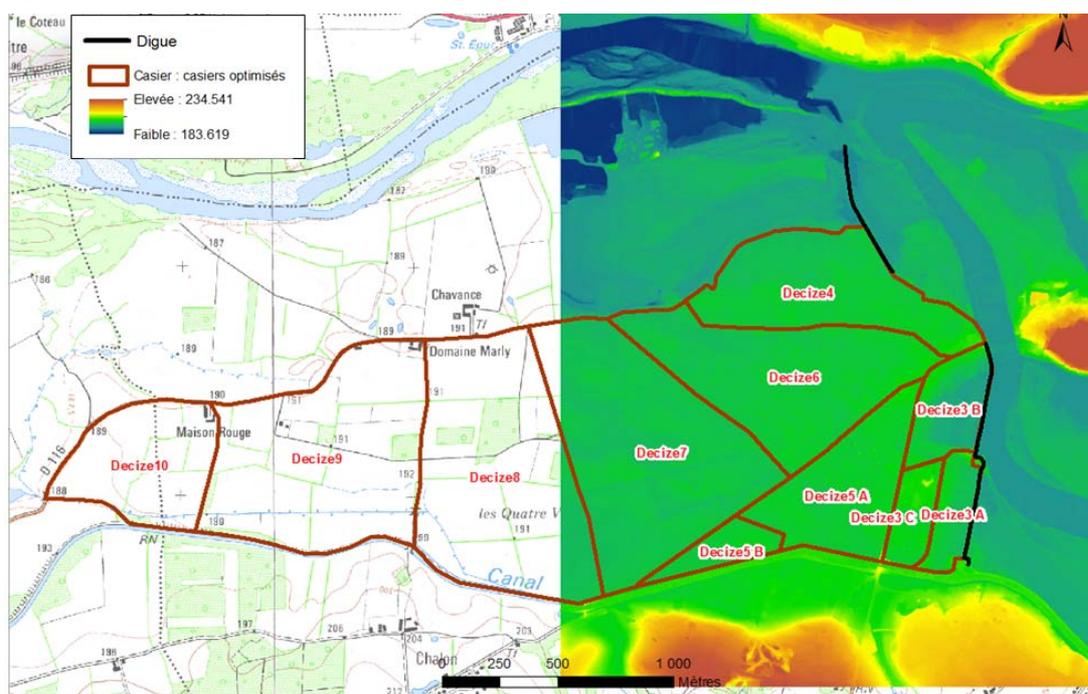


Figure 12 : Découpage en casiers réalisé, zoom Decize4 – altimétrie du val

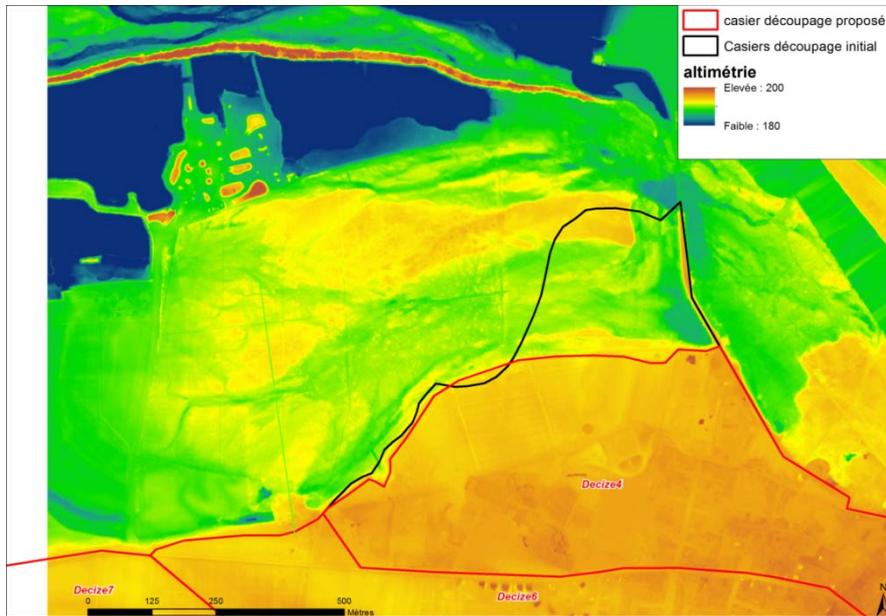
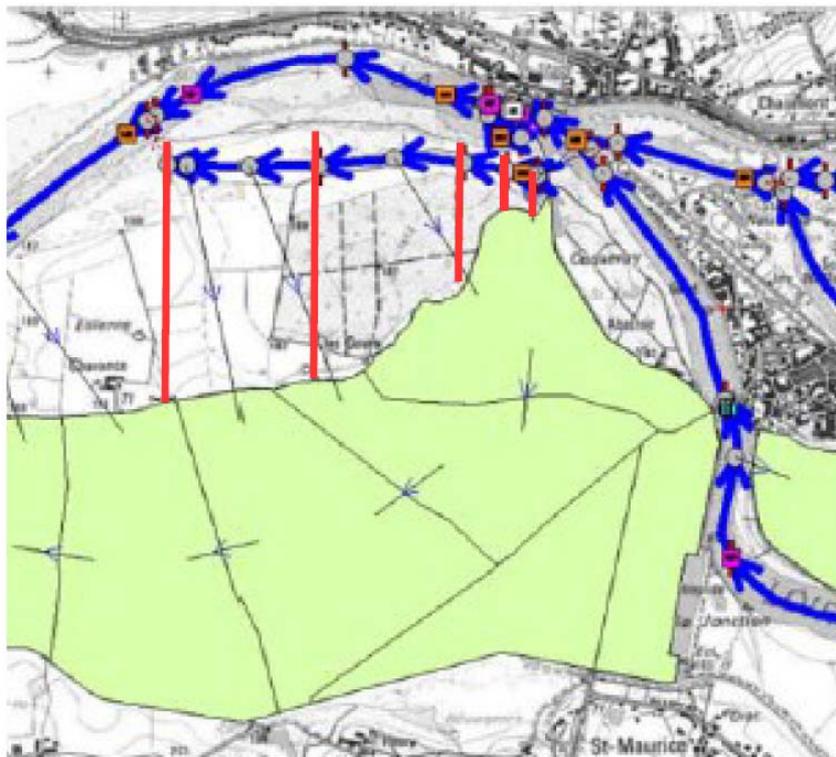


Figure 13 : Découpage initial en casiers et étendue des profils en travers de l'écoulement secondaire

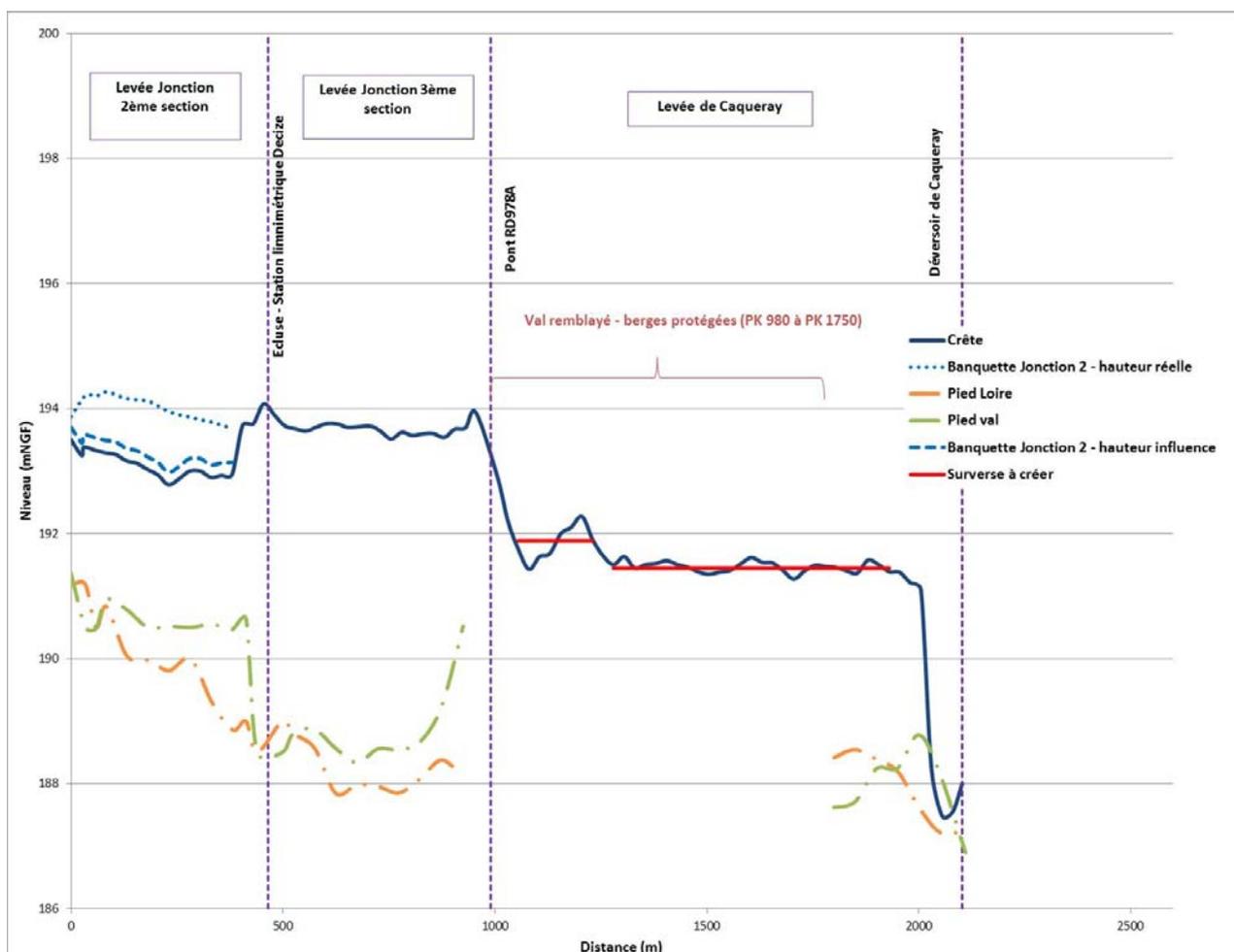


█ : Etendue des profils

■ lien de surverse

Il a été constaté précédemment l'absence de connexions hydrauliques entre la Loire et les casiers. La création d'interconnexions supplémentaires entre la Loire et le val de Decize a été une étape obligatoire afin de reproduire la surverse constatée pour des événements supérieurs à 70 ans, notamment au droit de la levée de Caqueray.

Figure 14 : Surverse préconisée au droit de la levée de Caqueray



■ Amélioration des liens par frottement du fond entre casiers.

Les liaisons entre casiers ont été définis à partir des données LIDAR.

2.3.4 Module hydrologique

Sept scénarios de crue ont été simulés. La période de retour varie entre T=50 ans et T=500 ans.

Comme indiqué précédemment, le modèle Loire bourguignonne est un modèle créé et utilisé pour la prévision des crues, il n'existe pas d'hydrogramme pour les crues de projet.

L'hydrogramme injecté à l'amont du modèle (l'hydrogramme à la station de Nevers est pour la quasi-totalité engendré par le bassin versant à l'amont de la station de Gilly) est équivalent aux hydrogrammes injectés à Nevers dans le modèle de la Loire moyenne en termes de volume et débit de pointe. Les deux courbes sont translatées dans le temps.

L'effet de laminage du val et des zones de stockage ainsi que les apports intermédiaires entre Decize et Nevers n'ont *a priori* pas d'impact sur la forme de l'hydrogramme aval. Cela confirme les résultats de la campagne de mesure pour le calage du modèle de prévision des crues

Les hydrogrammes transitant à l'amont de la zone d'étude sont décrits ci-dessous :

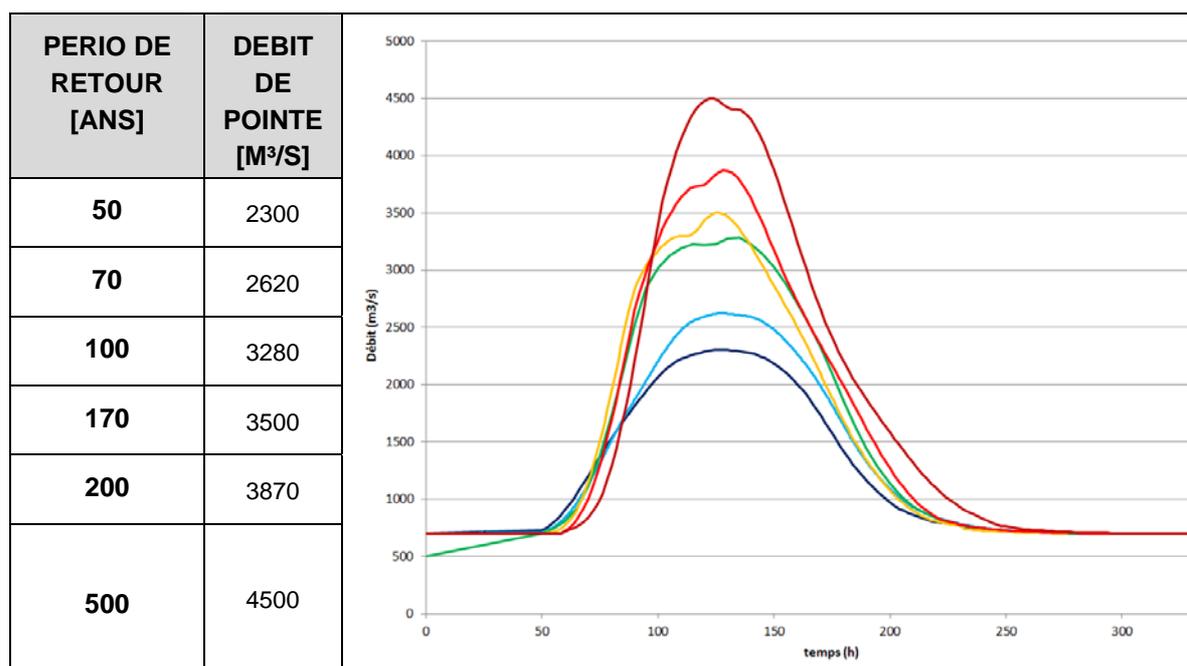


Tableau 2 : Débits de pointe à l'amont du val selon la période de retour T

Le module hydrologique concerne un seul apport. L'apport de l'Aron est négligeable pour la détermination du débit de pointe, le temps de concentration des deux bassins n'étant pas le même.

2.4 Résultats obtenus sur le val de Decize

Les résultats sont présentés sur la figure suivante. Les lignes d'eau extraites du modèle hydraulique mis à jour pour les différentes périodes de retour étudiées sont superposées au profil longitudinal de la crête du système d'endiguement du val de Decize.

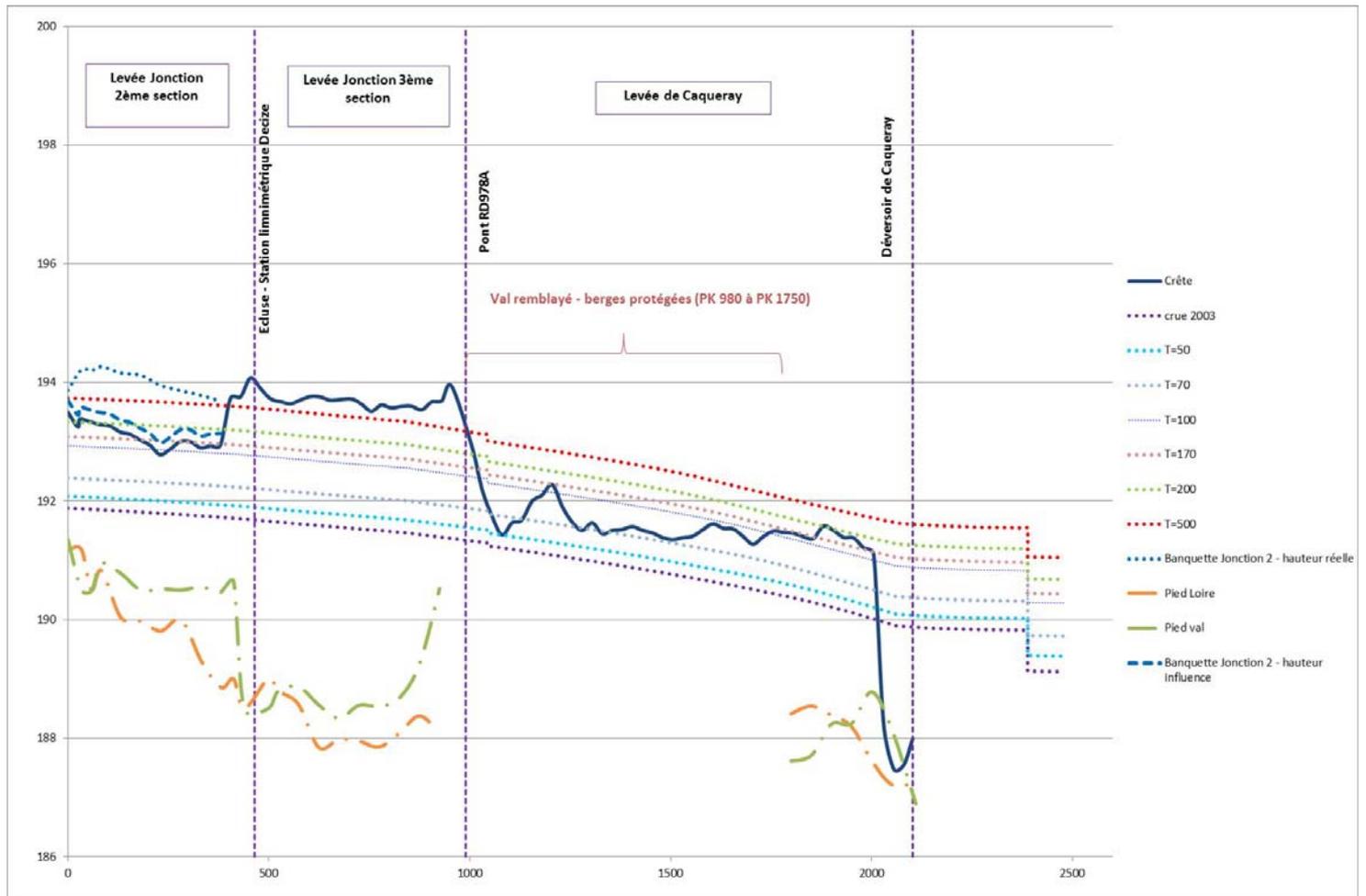


Figure 15 : Evolution de la ligne d'eau selon la période de retour – simulations réalisées à partir du modèle amélioré

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).