

## 4.4 CONTRAINTES AU DROIT DE L'EXPLOITATION

### 4.4.1 Usage de la ressource en eau souterraine

#### a) Captages destinés à l'alimentation en eau potable

D'après un recensement des ouvrages AEP réalisé par setec hydratec auprès de la délégation territoriale de l'ARS 58, le projet est situé en dehors des périmètres de protection des captages en eau potable.

Le captage le plus proche numéroté 05484X0045/AEP par la Banque de Données du Sous-sol est situé sur la commune de Sermoise-sur-Loire, au lieu-dit Montavon, à environ 3.2 km au Nord-Ouest du site (cf. Figure 4-12). La ressource en eau exploitée est la nappe alluviale de la Loire. Ses périmètres de protection rapproché et éloigné figurent ci-dessous.

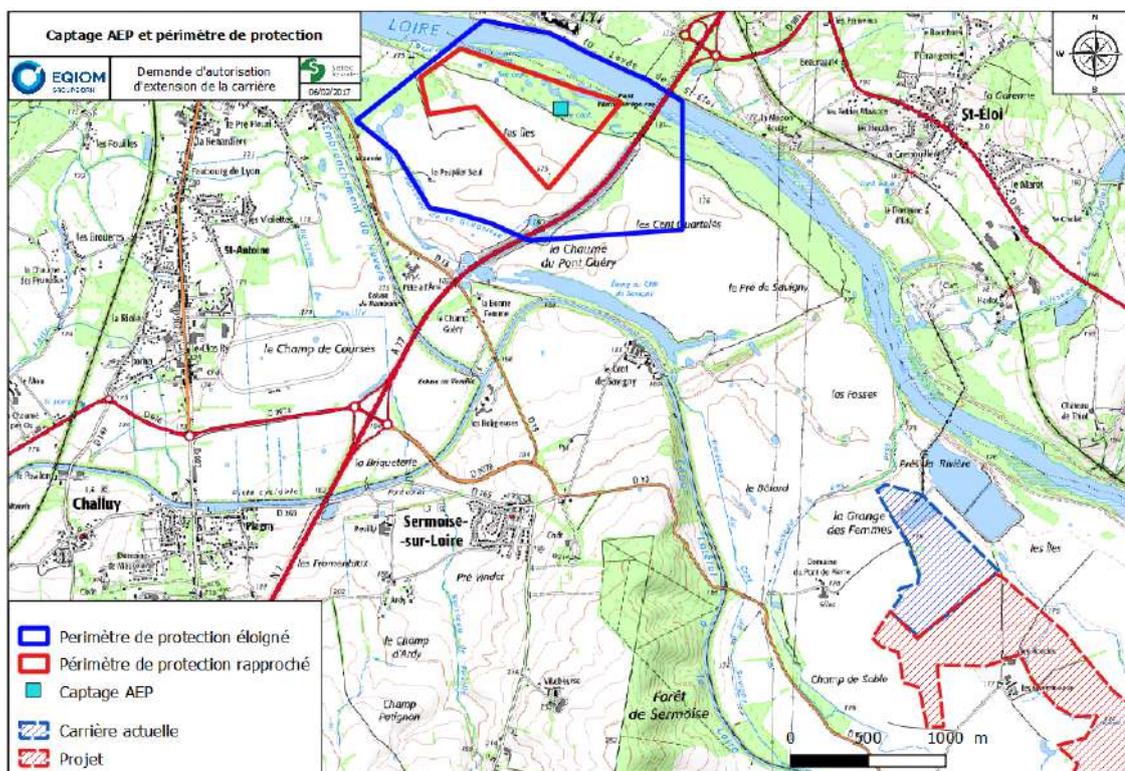


Figure 4-12 : Captage AEP à proximité du projet

#### b) Forages des industriels et irrigants

La future zone d'extension est située dans une zone agricole. D'après le site internet des Installations Classées pour l'Environnement aucun site n'est recensé au droit du projet (à l'exception du site d'Eqiom). Aucun captage d'eau à des fins industrielles n'est donc présent.

Lors des visites de terrain, il a été constaté la présence d'un puits d'irrigation captant dans la nappe alluviale au lieu-dit les Rondes.

L'Agence de l'Eau Loire Bretagne met à disposition un fichier recensant les prélèvements d'irrigants.

La Figure 4-13 et le Tableau 4-4 présentent les irrigants qui prélèvent dans la nappe alluviale et les volumes annuels prélevés. Les dernières mises à jour des volumes prélevés datent de 2012.



Figure 4-13 : Localisation des prélèvements pour l'irrigation

Libellé du compteur	Coordonnée X (L93)	Coordonnée Y (L93)	Nature de la ressource	Profondeur du point (en mètre)	Volume prélevé en 2012 (en m <sup>3</sup> )
PRE NEUF	718255.883	6648655.66	Nappe alluviale	11	97 801
PRE MISTY	718031.011	6647858.19	Nappe alluviale	12	109 050
LA COLATRE	718618.547	6648210.94	Nappe alluviale	8	42 672
ABATE ET BORD LOIRE	720153.223	6645461.11	Nappe alluviale	-	30 000
LES CHEMINEAUX	717449.17	6648652.49	Nappe alluviale	9	93 400
OUCHE JALOUX	717538.261	6649570.02	Nappe alluviale	9	86 101
LES RONDES	717177.711	6649224.34	Nappe alluviale	9	91 100
LE PONT DE PIERRE	716105.42	6649614.1	Nappe alluviale	10	63 279

Tableau 4-4 : Volumes de 2012 prélevés par les captages agricoles

#### 4.4.2 Infrastructures voisines

Le projet est situé à proximité de deux types d'infrastructures (cf. Figure 4-14) :

- le canal latéral à la Loire ;
- les routes départementales D200 et D13.

Le projet jouxte la D200. Néanmoins l'impact du projet est jugé faible car il n'y a pas de rabattement de prévu et donc le risque d'affaissement de la route est évité.

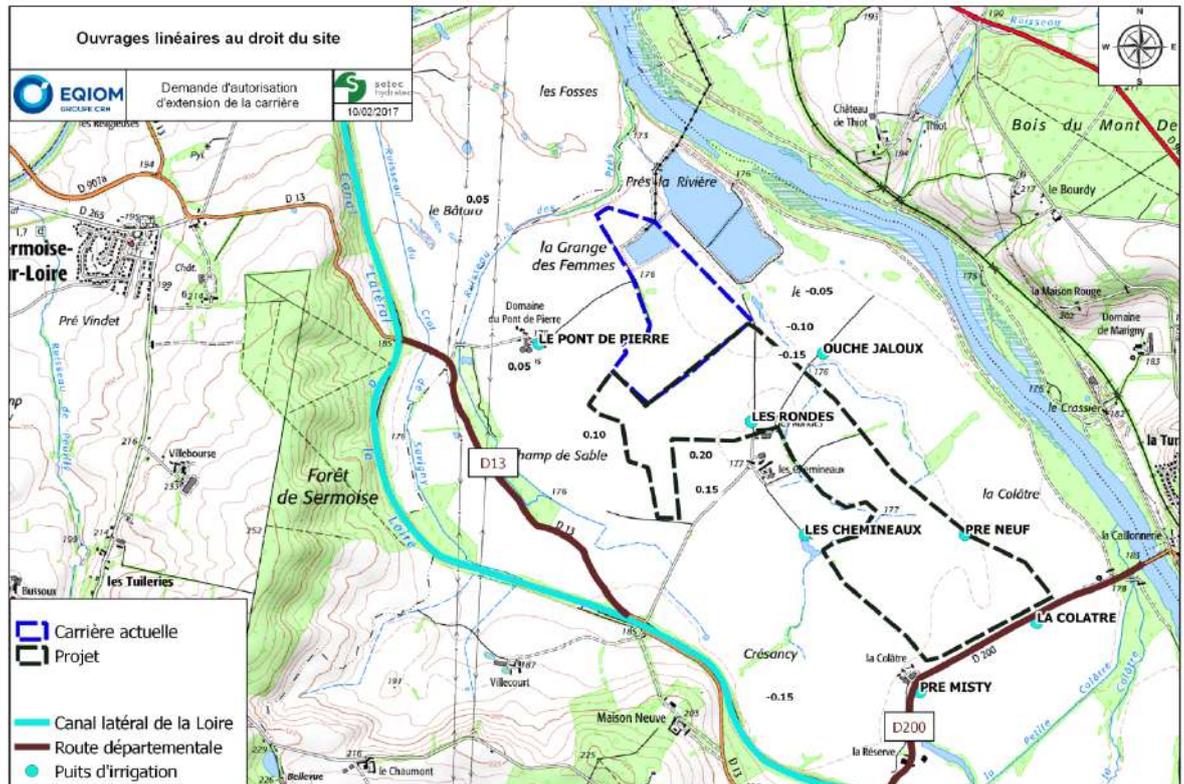


Figure 4-14 - Ouvrages linéaires au droit du projet

#### 4.4.3 Zone de répartition des eaux (ZRE)

Le secteur d'étude n'est pas compris dans une ZRE.

## 5 MODELISATION HYDROGEOLOGIQUE

### 5.1 METHODOLOGIE D'ETUDE

#### 5.1.1 Orientations méthodologiques

Compte tenu de la proximité de la nappe alluviale vis-à-vis de l'exploitation, il est nécessaire de s'interroger sur les conséquences du projet en termes de variations des niveaux piézométriques. Ainsi, un outil de simulation a été utilisé pour modéliser le comportement de la nappe au droit du site. Cette approche est la seule qui permette d'apporter des réponses quantitatives pertinentes vis-à-vis des variations piézométriques de nappe induites par le projet. Elle permet de quantifier en phase finale de réaménagement l'impact piézométrique global résultant de la combinaison, des effets de drainage ou de recharge de nappe induits par les différents types d'aménagement.

#### 5.1.2 Outil de modélisation

Le modèle hydrogéologique a été construit selon le code de calcul Modflow développé par Schlumberger. Le sous-sol est discrétisé en mailles élémentaires auxquelles sont attribués les paramètres géologiques et hydrodynamiques associés aux écoulements souterrains (perméabilité, géométrie des couches, limites d'alimentation...). L'aire d'étude permet de prendre en compte l'ensemble du bassin versant associé et donc l'aire d'alimentation de la nappe. D'autre part, les écoulements superficiels de la Loire et de ses affluents en relation avec la nappe sont également pris en compte.

Au droit du projet, les mailles élémentaires sont de 25 m \* 35 m pour une bonne représentativité du milieu naturel aquatique.

- **Etape 1** : le modèle est calé sur une piézométrie de référence (Novembre 2013). Les résultats de la simulation, calculés maille par maille, sont comparés à une piézométrie observée. Les paramètres de calcul sont alors ajustés pour rechercher la meilleure adéquation entre les résultats et les observations.
- **Etape 2** : le modèle est utilisé afin de préciser les impacts des aménagements (création de plans d'eau, de berges imperméables) sur la piézométrie de la nappe. L'outil de calcul donne les hauteurs d'eau dans chacune des mailles. A partir de ces valeurs, il est possible de calculer les différentiels piézométriques « état futur - état initial ». Ces derniers permettent d'apprécier l'amplitude des variations piézométriques. Une variation négative indique alors un drainage de la nappe tandis qu'une variation positive est représentative d'une rehausse de nappe par rapport à la situation de référence.

Des mesures compensatoires ou d'évitement peuvent ensuite être envisagées et testées en fonction des résultats obtenus.

## 5.2 CONSTRUCTION DU MODELE

### 5.2.1 Délimitation du bassin versant

Le modèle de simulation prend en compte l'aire d'alimentation de la nappe. Les frontières du domaine modélisé sont des limites physiques pour les écoulements.

Elles sont déterminées à partir de la piézométrie réalisée en Novembre 2013.

Les limites du modèle sont les suivantes :

- à l'est : la Loire ;
- à l'ouest : les coteaux des terrains du secondaire.

Le canal latéral à la Loire ne constitue pas une limite car il est perché.

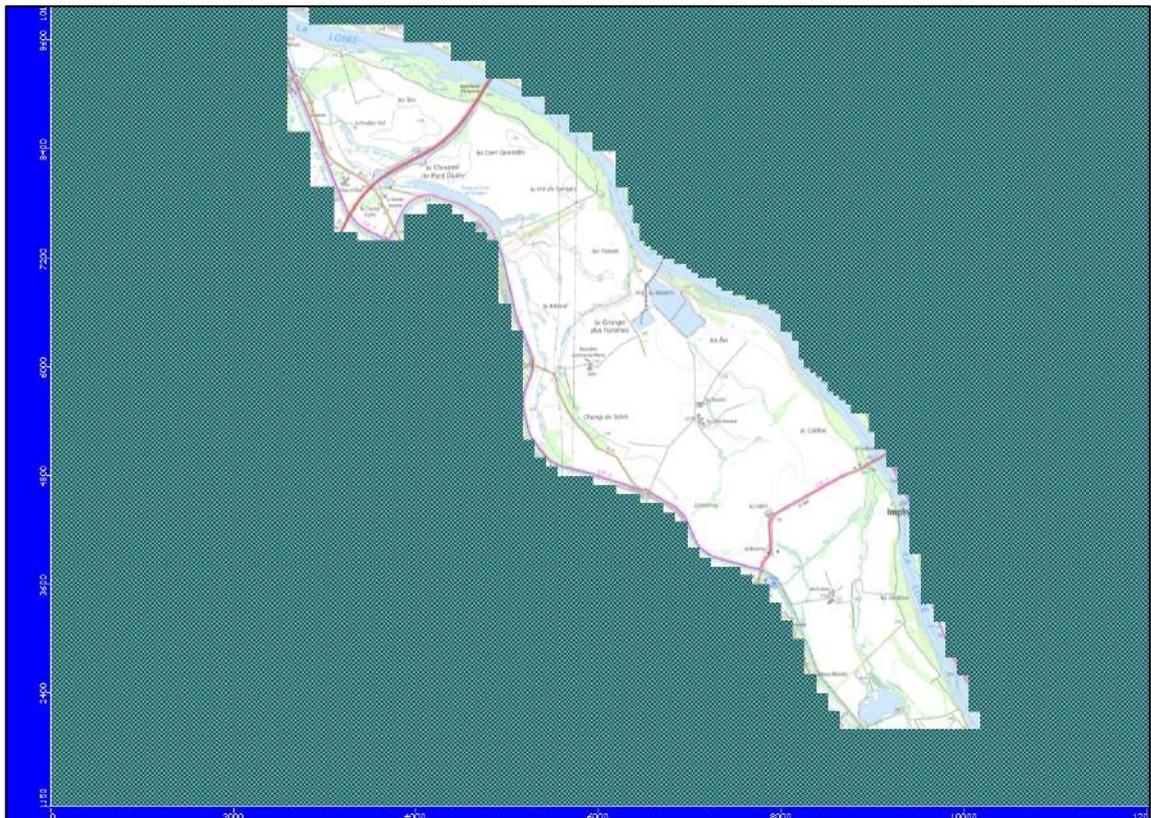


Figure 5-1 : Délimitation du bassin versant du modèle

## 5.2.2 Structure du modèle

Le maillage rectangulaire basique est de 25 m \* 30 m au droit du projet (cf. Figure 5-2).

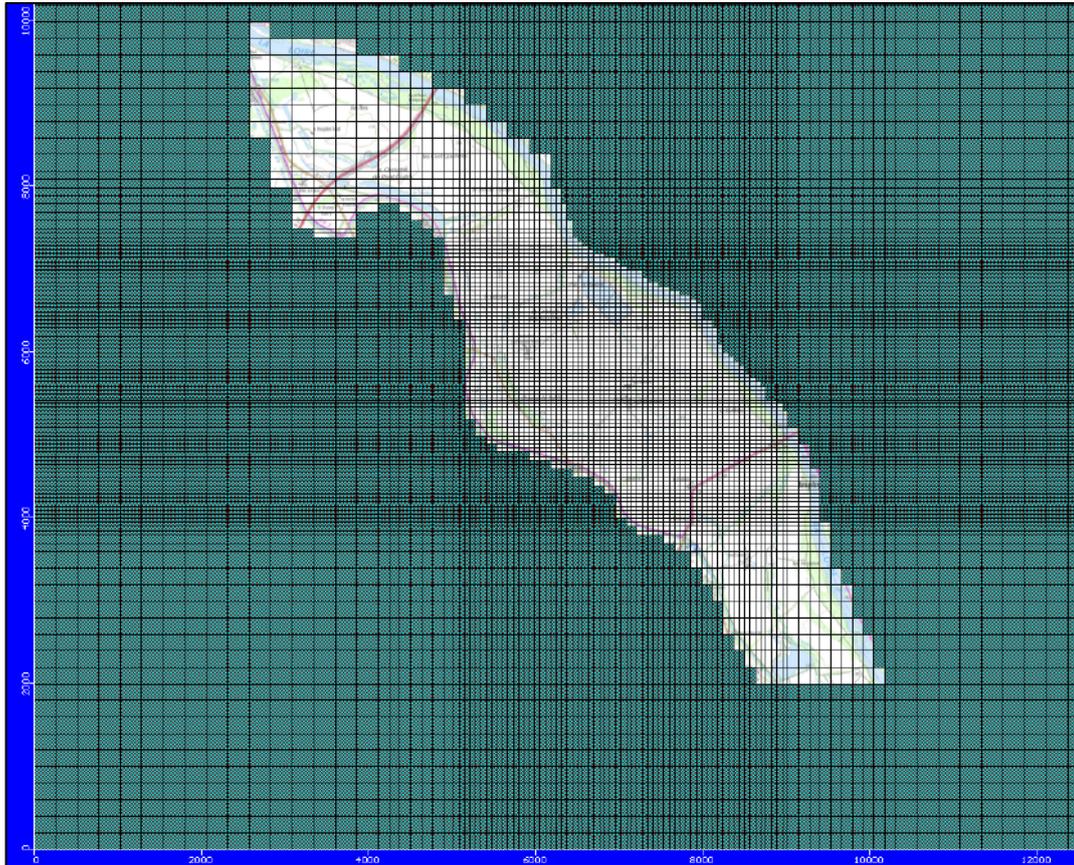


Figure 5-2 : Maillage du modèle

Le modèle est de type multicouche. Il permet de prendre en compte la superposition des différents horizons géologiques :

- couche 1 : découverte
- couche 2 : alluvions
- couche 3 : substratum marno-calcaire

La géologie du modèle a été définie à partir des coupes géologiques recensées auprès de la Banque de Données du Sous-sol et aux sondages réalisés par Eqiom sur l'actuel secteur d'exploitation et sur la zone propice à l'extension.

Pour chacune des couches, est attribuée, au niveau de chaque point de sondage, la cote en mètre NGF qui correspond au toit de chacune d'entre elles. Les alluvions anciennes et les alluvions modernes n'ont pas été différenciées à cause d'un manque de données sur les sondages.

La topographie du site est donnée précisément par le MNT réalisé en décembre 2013 par le cabinet géomètre Géoplans.

Le réseau hydrographique de surface a été intégré dans le modèle sous forme d'élément rivière pour la Loire et le ruisseau des Prés.

La bathymétrie et les niveaux d'eau ont été également relevés à la fin de l'année 2013.

Par ailleurs, la ligne de recharge hydraulique est elle aussi modélisée, en imposant une cote d'eau spécifique, relevée à 31.1 m NGF en septembre 2011 (période de calage du modèle).

Une cote de niveau d'eau de la Loire est imposée au droit de la carrière à + 174 m NGF.

## **5.3 CALAGE EN REGIME PERMANENT**

### **5.3.1 Objectifs**

La construction et le calage en régime permanent ont pour but de reproduire les cotes des niveaux d'eau mesurés (piézométrie de référence).

Ils se déroulent en plusieurs étapes :

- Etape 1: construction de la géométrie du modèle (insertion des couches géologiques),
- Etape 2 : identification et intégration des points de calage (piézomètres ou plan d'eau) sur une piézométrie de référence,
- Etape 3 : recensement des pompages d'exhaure et incorporation dans le modèle,
- Etape 4 : choix des perméabilités pour les différentes couches,
- Etape 5 : intégration des structures limitantes tels que les drains, rivières, plan d'eau etc.
- Etape 6 : choix d'une recharge de la nappe.

Ces différentes étapes et le choix des paramètres retenus pour le modèle sont présentés ci-après.

### **5.3.2 Piézométrie de référence (situation initiale)**

Le calage est réalisé sur la piézométrie de novembre 2013 à partir des 13 points d'observation suivants :

- 9 piézomètres d'Eqiom captant la nappe alluviale,
- 3 Plans d'eau d'eau de la carrière actuelle,
- 1 étang naturel.

Les points d'observation sont localisés sur la Figure 5-3.



Figure 5-3 : Localisation des points d'observation sur le modèle

### 5.3.3 Pompages d'exhaure

Les usages de la ressource en eau ont été présentés dans la partie 3.4.1.

Les ouvrages agricoles, présents sur le territoire d'étude, ne seront pas modélisés car ils ne captent pas lors de la réalisation de la piézométrie de référence en Novembre 2013 (captage pour l'irrigation en période d'étiage).

### 5.3.4 Perméabilités

Le calage est réalisé sur les valeurs de perméabilité enregistrées dans les différentes strates géologiques, et se base sur des sources bibliographiques nombreuses (Cf. §4.1).

Les perméabilités résultantes du calage dans le modèle sont les suivantes :

Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	
5	0.1	0.1	Plan d'eau
2	5E-6	5E-6	Couche 1
3	0.002	0.002	Couche 2
6	0.0001	0.0001	
7	0.01	0.01	Couche 3
4	1E-6	1E-6	

Figure 5-4 : perméabilités du modèle

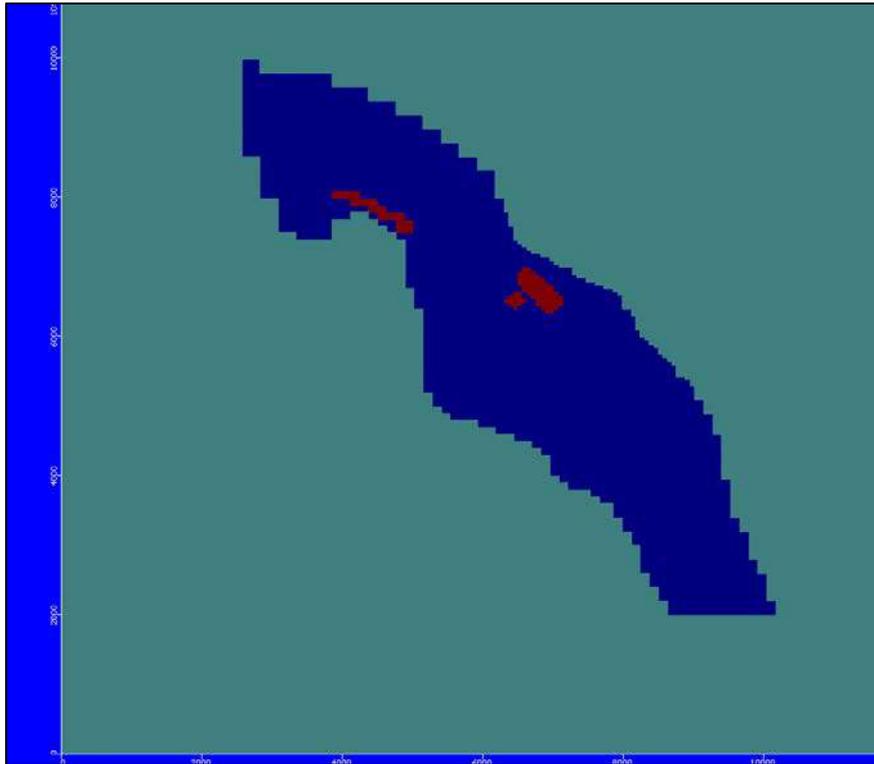


Figure 5-5 : Perméabilités de la couche 1



Figure 5-6 : Perméabilités de la couche 2



Figure 5-7 : Perméabilités de la couche 3

## 5.4 RESULTATS DU CALAGE

Les résultats du calage fournissent un différentiel entre les cotes d'eau observées, au droit des piézomètres d'observation et les cotes d'eau calculées par le modèle. Plus ce différentiel est faible et plus le modèle est précis.

La droite de corrélation, des niveaux d'eau calculés et observés au droit de chaque piézomètre, est donnée en Figure 5-8.

La lecture de la droite de corrélation indique un calage très satisfaisant comme le montre les observations suivantes :

- l'ensemble des 13 points d'observation se trouve dans l'intervalle de confiance 95 % (pointillés bleus) ;
- la différence maximale entre les cotes observées et calculées est de 36 cm au niveau du « plan d'eau 2 » de la carrière, tandis que la moyenne globale est de 20 cm ;
- le coefficient de corrélation de la droite entre les cotes observées et les cotes calculées est très bon, de l'ordre de 95%.

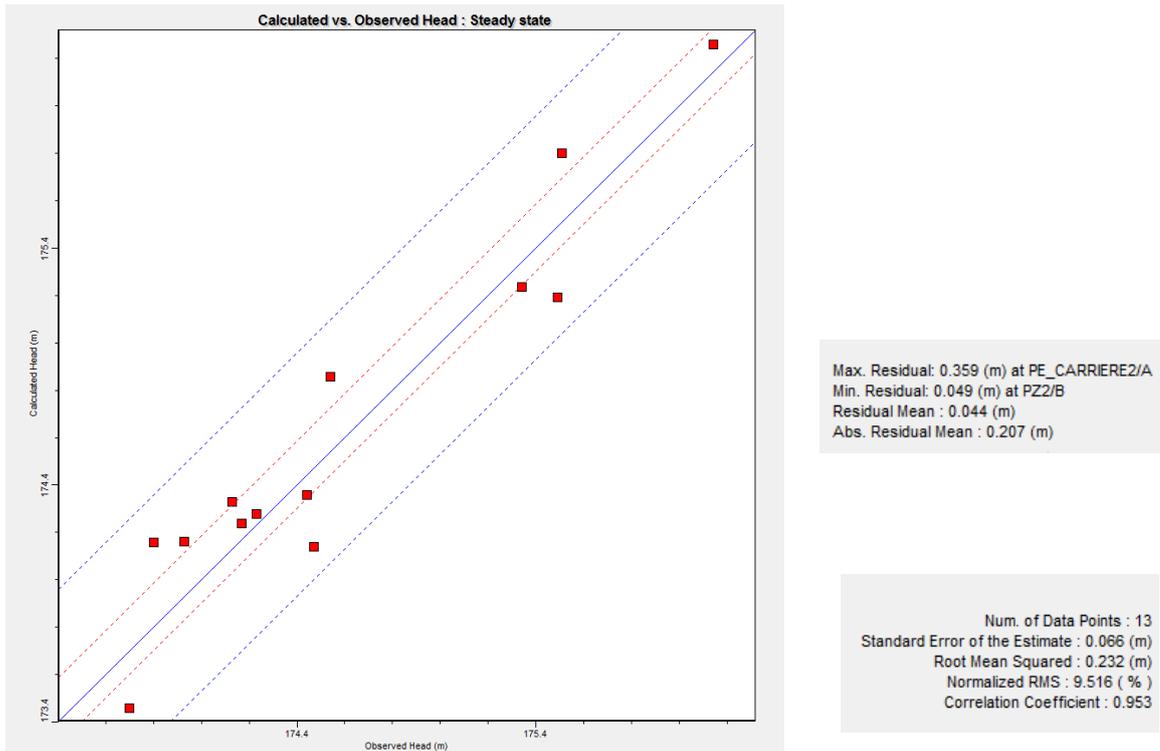


Figure 5-8 : Résultats calage du modèle

Le détail des résultats du calage sur les points d'observation est fourni dans le tableau ci-dessous.

Piézomètre ou plan d'eau	Cote observée (m NGF)	Cote calculée (m NGF)	Différentiel (m) ( $\Delta H = \text{calculé} - \text{observé}$ )
<b>PE (étang)</b>	173.70	173.46	- 0.24
<b>PZ1</b>	174.47	174.14	- 0.33
<b>PE2 (carrière)</b>	173.80	174.16	+ 0.36
<b>PE1 (carrière)</b>	173.93	174.16	+ 0.23
<b>PE3 (carrière)</b>	174.17	174.24	+ 0.07
<b>PZ3</b>	174.13	174.33	+ 0.20
<b>PZ7</b>	174.54	174.86	+ 0.32
<b>PZ6</b>	175.51	175.81	+ 0.229
<b>PZ5</b>	176.14	176.26	+ 0.12
<b>PZ8</b>	174.44	174.36	- 0.08
<b>PZ1</b>	174.47	174.14	- 0.33
<b>PZ9</b>	175.34	175.24	- 0.10
<b>PZ4</b>	175.49	175.19	-0.30

Tableau 5-1 : Cotes d'eau calculées par le modèle

La piézométrie de référence calculée par le modèle indique que la nappe s'écoule du sud vers le nord, parallèlement à l'écoulement de la Loire. Au droit de la carrière actuelle la nappe se situe à environ + 174 m NGF.

Au droit du projet, le toit de la nappe est situé entre + 174.8m NGF et + 175.5 m NGF environ. Ces cotes d'eau obtenues calculées grâce aux modèles sont identiques à celles obtenues lors de la campagne piézométrique.

Le sens d'écoulement et les niveaux d'eau réels sont donc bien retranscrits par le modèle.

Le ruisseau des Prés semble alimenter la nappe en période de basses eaux.



Figure 5-9 : Piézométrie de calage calculée par le modèle

## 6 PRESENTATION DU PROJET D'AMENAGEMENT

### 6.1 IMPLANTATION DU PROJET

Le projet d'aménagement est localisé sur la figure suivante. Ce projet est un projet global de réaménagement des terrains actuellement exploités et de ceux concernés par la demande d'autorisation.

L'ensemble du périmètre d'autorisation (surfaces de renouvellement et d'extension) de la carrière de Chevenon se situe en dehors de l'espace de divagation de la Loire comme le montre la figure suivante.

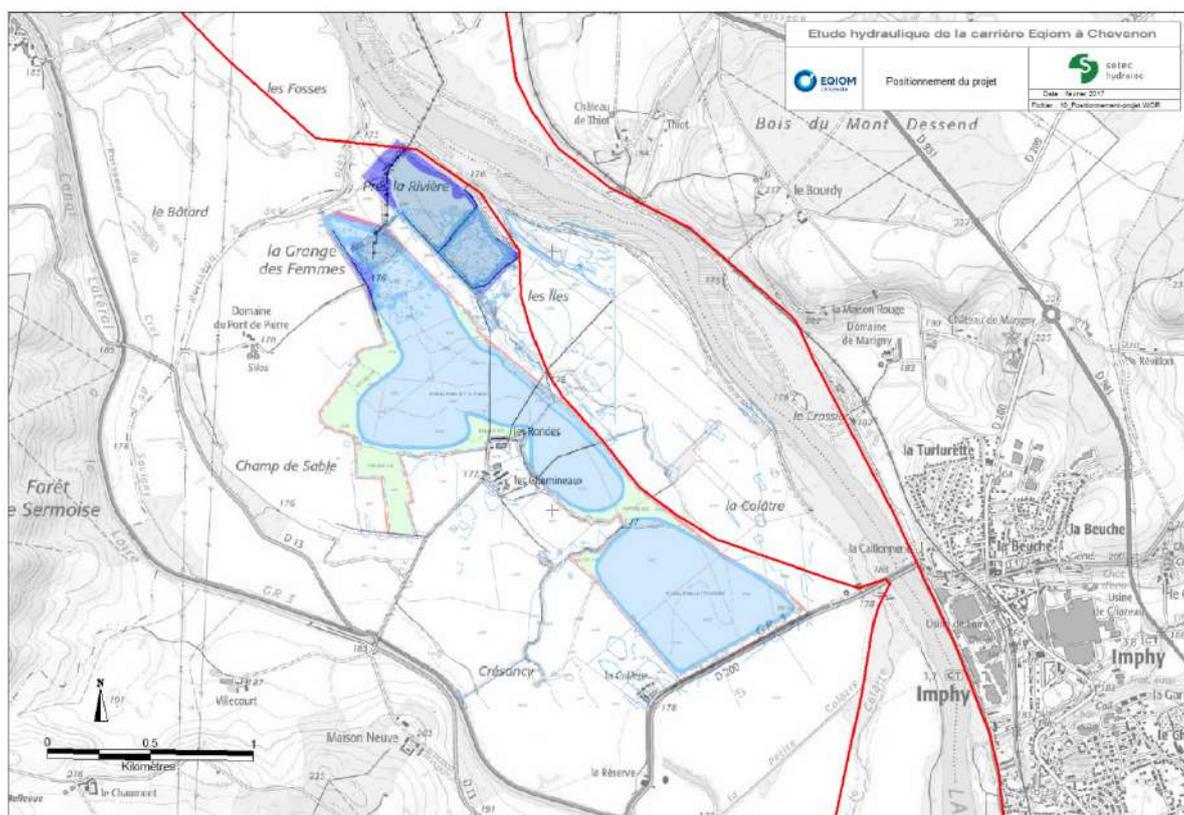


Figure 6-1 : Implantation du projet en dehors de l'espace de mobilité de la Loire

### 6.2 DUREE D'EXPLOITATION DU SITE

La durée d'exploitation est de 30 ans.

### **6.3 METHODE D'EXPLOITATION DES TERRAINS**

L'exploitation du gisement se fera en eau à l'aide d'une drague flottante électrique et sans rabattement de nappe.

Le criblage et le lavage des alluvions et donc la décantation se fait à la criblerie de Saint-Eloi. Les boues de décantation seront ensuite régulièrement ramenées sur le site d'extraction de Chevenon et serviront au réaménagement des berges.

Les matériaux extraits étant des matériaux alluvionnaires classiques, la décantation des fines se fera de manière naturelle, sans floculant (les fines se déposeront au fond du bassin de décantation par simple gravité naturelle).

### **6.4 MODE D'EVACUATION DES MATERIAUX**

Les matériaux extraits seront acheminés par des bandes transporteuses (flottantes jusqu'au tapis de plaine fixe) jusqu'à l'usine de traitement de Saint-Eloi.

## 6.5 REMBLAIS

Des remblais en provenance du site seront mis en place pour le réaménagement :

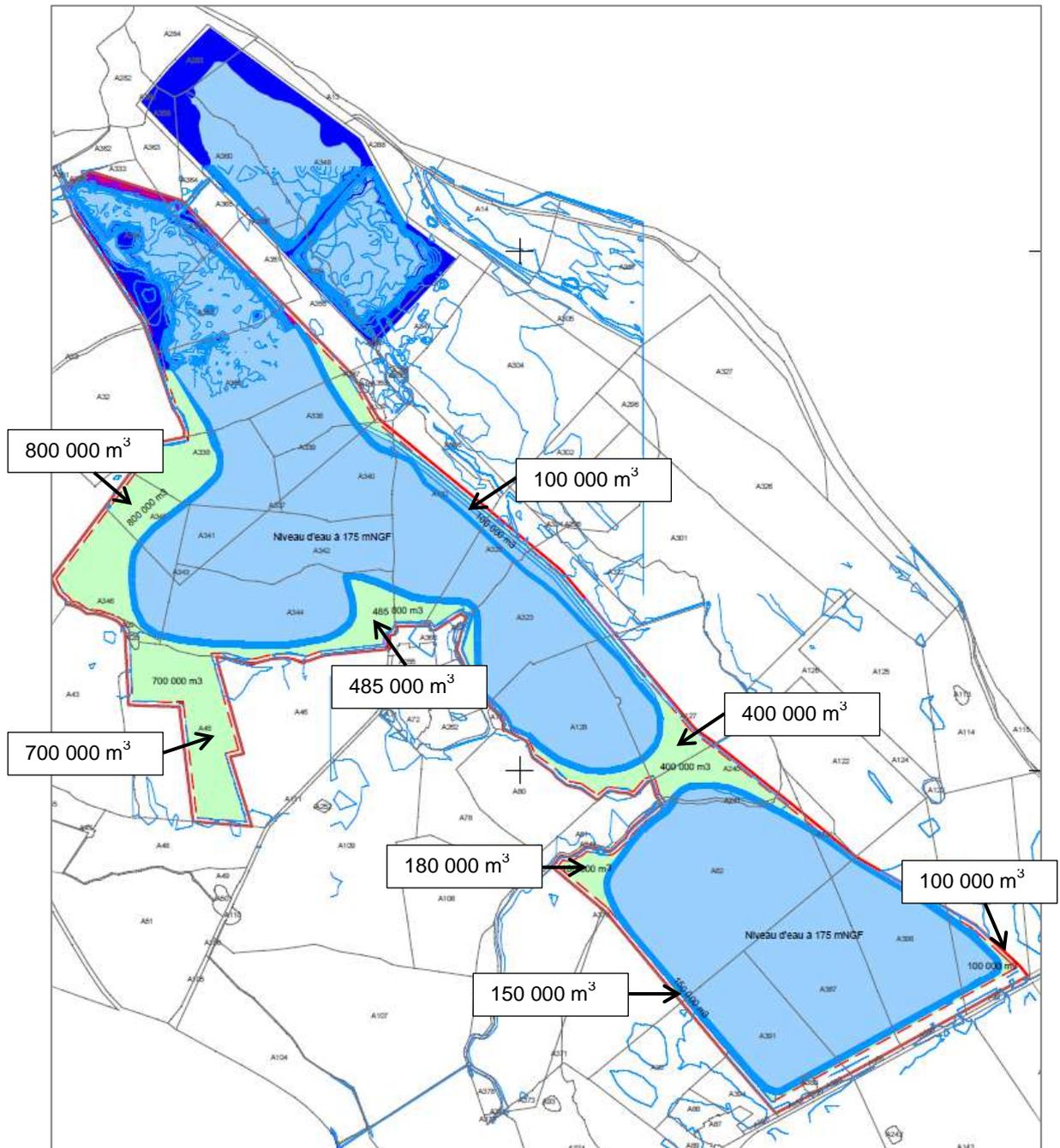


Figure 6-2 : Localisation et volumes des remblais

## 6.6 PHASAGE DE L'EXPLOITATION

Les plans de phasage de l'exploitation sont présentés en annexe 2.

L'exploitation s'effectuera en 6 phases de 5 ans, progressives du nord vers le sud.

## 6.7 MODALITES DE REMISE EN ETAT DU SITE

Le projet d'aménagement retenu décrit ici est issu de plusieurs échanges entre Eqiom, les services de l'état, d'autres organismes (Conseil supérieur de la pêche, ...) et hydratec.

**Ce projet d'aménagement est en conformité avec les prescriptions du SDAGE et du PPRI.**

Il consiste en la création de deux plans d'eau et d'un chenal reliant la Loire et le deuxième plan d'eau. L'implantation des 2 plans d'eau dans le sens de la vallée rejoint les prescriptions du Schéma Départemental des Carrières 58 qui proscrie la coupure totale d'une demi vallée (entre le cours principal et la bordure de la plaine alluviale).

L'annexe 3 présente les différentes coupes localisées sur ce plan du projet. Les talus des plans d'eau présentent des pentes douces sur les secteurs sollicités lors de l'inondation du site et donc soumis au risque d'érosion. L'évaluation du risque d'érosion des talus des plans d'eau projetés est détaillée dans la suite du rapport au paragraphe 7.3.

Dans le projet d'aménagement, les ouvrages existants :

- le seuil entre les deux plans d'eau de l'ancienne gravière (L12),
- le fossé entre le ruisseau des Prés et l'ancienne gravière (Lr1),
- les 2 buses de diamètre 1500mm présentes à l'exutoire de ce fossé dans la gravière (2 Ø1500mm sur Lr1),
- le fossé entre le ruisseau des Prés et la gravière en cours d'exploitation (Lr3),
- le fossé entre l'ancienne gravière et la gravière en cours d'exploitation (L13),
- les 2 buses de diamètre 1500mm présentes à l'exutoire de ce fossé dans l'ancienne gravière (2 Ø1500mm sur L13),
- les 2 buses de diamètre 1500mm présentes à l'exutoire de ce fossé dans la gravière en cours d'exploitation (2 Ø1500mm sur L13),

sont conservés mais certains sont modifiés.

Les nouvelles caractéristiques de ces ouvrages sont présentées dans les deux tableaux suivants.

Liaison	Cote seuil Zs mNGF	Largeur B m	Cote seuil Zs2 mNGF	Largeur B2 m	Longueur m	Strickler
Lr1	174.10	4	175.10	6	205	20
Lr3	174.30	4	175.30	6	65	25
L12	174.30	10	-	-	25	20
L13	174.40	4	175.40	6	125	20

Tableau 6-1 : Paramètres des liaisons existantes de type fossé/seuil en situation réaménagée

Liaison	Cote radier mNGF	Cote voute mNGF	Largeur m
2 Ø1500mm sur Lr1	174.41	175.91	2.356
2 Ø1500mm sur L13	174.40	175.90	2.356
2 Ø1500mm sur L13	174.40	175.90	2.356

Tableau 6-2 : Paramètres des liaisons existantes de type buse/orifice en situation réaménagée

Les cotes fond des fossés entre le ruisseau des Prés et les gravières sont abaissées.

Cela rejoint les préconisations du conseil supérieur de la pêche d'abaisser les seuils afin d'améliorer la connexion des plans d'eau à la Loire. En effet il avait été souligné que compte-tenu de la surface importante des plans d'eau et de leur connexion à la Loire à l'aval par le ruisseau des Prés, ceux-ci présentaient des potentialités piscicoles intéressantes comme zone de frai et de refuge pour certaines espèces de la Loire, notamment le brochet. De plus, les préconisations de la fédération de pêche de la Nièvre vont également dans le sens d'un aménagement en eau libre (en connexion avec la Loire).

La liaison entre les deux plans d'eau de l'ancienne carrière est également abaissée pour favoriser les échanges en cas de crue.

Le projet s'accompagne également des ouvrages supplémentaires suivants :

- un déversoir 1 en rive gauche de la Loire au droit de l'ancienne gravière,
- un déversoir 2 entre l'ancienne gravière et le plan d'eau 1 prévu dans le projet d'aménagement,
- un déversoir 3 en rive gauche de la Loire en amont du site,
- un chenal derrière le déversoir 3 reliant la Loire au plan d'eau 2 prévu dans le projet d'aménagement,
- une liaison entre les plans d'eau 1 et 2 prévus dans le projet d'aménagement afin de favoriser les échanges entre plans d'eau.

Ils sont localisés sur la figure suivante.

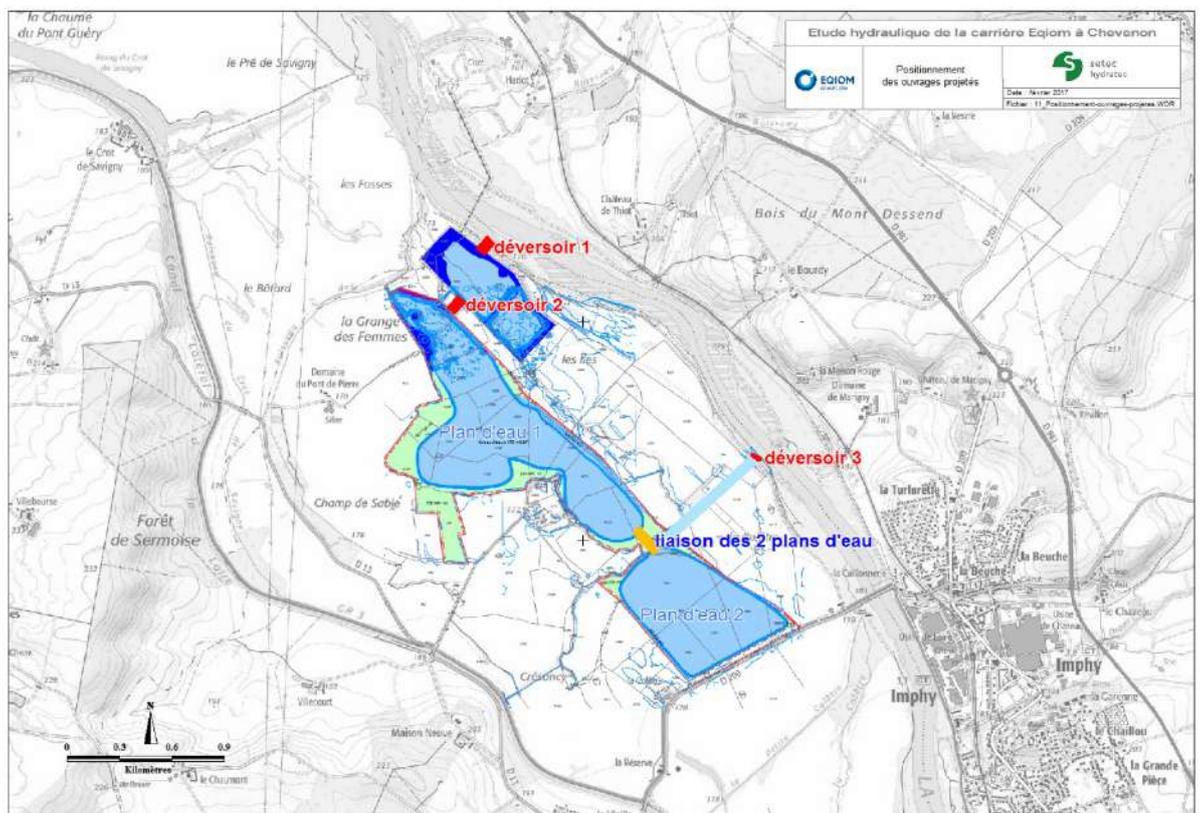


Figure 6-3 : Localisation des ouvrages projetés dans le cadre du réaménagement

Les caractéristiques de ces ouvrages sont présentées dans les deux tableaux suivants :

Ouvrage	Cote seuil mNGF	Largeur seuil m	Coefficient de seuil
Déversoir 1	175	60	0.6
Déversoir 2	175	60	0.6
Déversoir 3	176	60	0.6

Tableau 6-3 : Paramètres des déversoirs projetés en situation réaménagée

Liaison	Cote seuil Zs mNGF	Largeur B m	Cote seuil Zs2 mNGF	Largeur B2 m	Longueur m	Strickler
Chenal d'aménée au plan d'eau 2	175	60	176	62	730	20
Liaison entre les plans d'eau 1 et 2	175.80	60	176.80	62	180	25

Tableau 6-4 : Paramètres des chenaux projetés en situation réaménagée

Concernant la mise en place des 3 déversoirs, les techniques douces seront privilégiées.

Par ailleurs, Eqiom prévoit d'élaborer avec les propriétaires concernés une convention pour la mise en place de pâtures et l'entretien par fauche des chenaux.

***NB :** Les préconisations du Service Territorial de l'Architecture et du Patrimoine de la Nièvre concernant la mise en place d'un merlon paysager le long du GR, soit le long de la RD200 à l'amont du site n'ont pas été suivies car ces préconisations sont incompatibles avec les prescriptions du PPRI interdisant la mise en place de tout remblai sur cette zone.*

*Cependant, pour palier au vis-à-vis depuis le GR, des haies de hautes tiges pourront être implantées de manière discontinue.*

## 7 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN SITUATION FUTURE – SITE REAMENAGE

Le modèle hydraulique utilisé pour la situation de référence a été repris et modifié afin de prendre en compte le projet d'aménagement présenté dans le chapitre précédent. Les lois de remplissage des casiers au niveau des plans d'eau ont été modifiées ainsi que les caractéristiques des ouvrages existants. Les nouveaux ouvrages ont été ajoutés.

Le fonctionnement hydraulique des gravières en cas d'inondation du site et le risque d'érosion des talus en bordure des plans d'eau, objet de ce chapitre, ont été analysés finement pour la crue de décembre 2003 (parce qu'elle maximise les phénomènes d'érosion) et de manière moins détaillée pour les crues supérieures.

Dans l'ensemble de ce chapitre, le projet d'aménagement est considéré dans son état final.

### 7.1 DESCRIPTION DU PHENOMENE DE CAPTURE

En période normale, les gravières en lit majeur sont éloignées du lit mineur du fleuve, mais il se peut qu'en période de crue le fleuve déborde dans son lit majeur et rejoigne certains plans d'eau de gravières. Dans ce cas, se pose la question de la capture du cours d'eau ou d'un méandre. Il se pourrait que le fleuve détourne son cours pour suivre un nouveau lit passant par une ancienne gravière.

La capture du lit mineur par une gravière à l'occasion d'une crue constitue un cas extrême où le trajet de l'écoulement est définitivement modifié. La capture survient lorsqu'il y a rupture, en un point amont et en un point aval, des cordons séparant la gravière de la rivière, rupture qui peut survenir brutalement à la suite de la fragilisation et de la dégradation des berges de la gravière par les eaux de débordement.

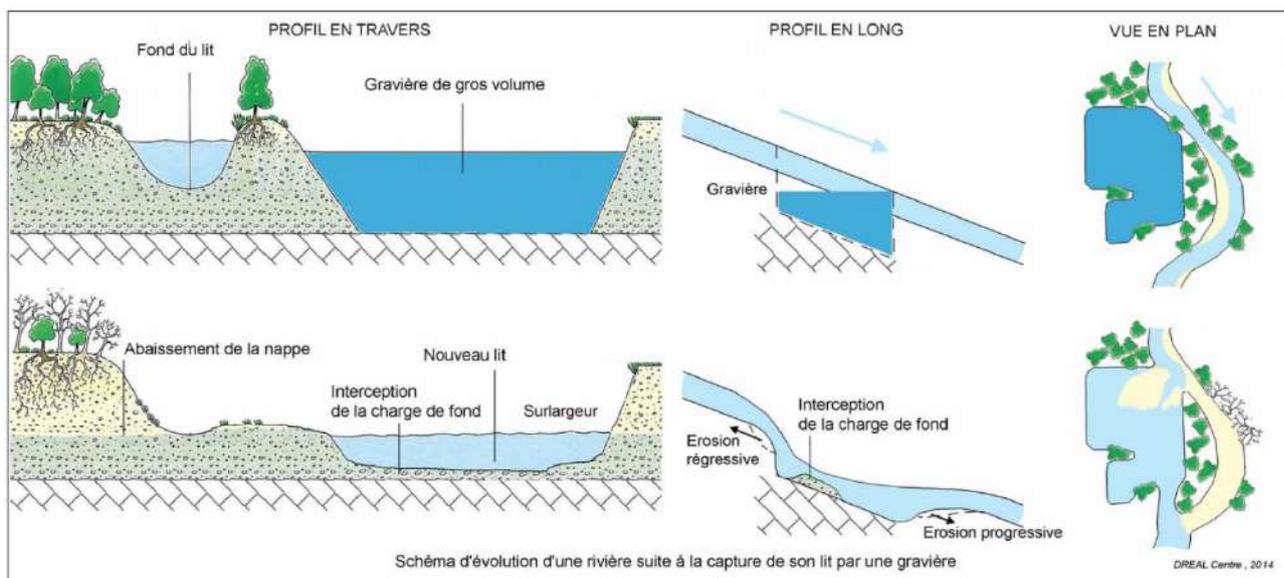


Figure 7-1 : Schéma d'évolution d'une rivière suite à la capture de son lit par une gravière de gros volume (source : Etude DREAL Centre 2014)

Cette fragilisation est favorisée par :

- l'absence d'ouvrage d'alimentation (déversoirs) permettant le remplissage du bassin avant le débordement généralisé de la rivière,
- le grand volume de la gravière, allongeant le temps de remplissage et donc la durée de la chute et de l'érosion,
- la longueur excessive de la gravière parallèlement à la rivière, entraînant la permanence de la chute pendant la crue.

Les conséquences d'une capture sont :

- un fort élargissement local du lit,
- des coupures de méandres qui modifient la pente locale du fleuve.

Ces phénomènes provoquent généralement une érosion régressive (à l'amont) et/ou progressive (à l'aval) avec un abaissement du lit. La gravière va agir comme un piège à sédiments pour le cours d'eau capturé.

Afin de minimiser le problème de capture lors des épisodes de crue de la rivière et de prévenir l'érosion régressive des plans d'eau, un remplissage anticipé des gravières est donc souhaitable.

A noter que l'éloignement de la carrière du lit mineur de la Loire imposé par la prise en compte du fuseau de mobilité participe à cette minimisation du risque.

La carrière projetée, qui sera aménagée en fin d'exploitation avec deux plans d'eau, est située en zone d'aléa fort du PPRI. Elle est donc susceptible d'être entièrement submergée lors d'une crue, comme le montre les résultats de la modélisation en situation actuelle présentés dans le paragraphe 3.3.

En cas de crue forte de la Loire, il existe d'abord des risques d'érosion des talus des plans d'eau qui pourraient aboutir à un risque de capture de la Loire si tout le cordon était érodé.

C'est pour minimiser ces risques que les ouvrages et les chenaux présentés sur la Figure 6-3 ont été intégrés au projet d'aménagement. Ils permettent en effet de remplir les gravières avant les premières surverses sur le site.

## 7.2 FONCTIONNEMENT DES GRAVIERES ET DES OUVRAGES

### 7.2.1 Analyse de la crue de décembre 2003

Le plan d'eau de l'ancienne carrière et le 1<sup>er</sup> de la nouvelle carrière sont remplis par l'aval. Des déversoirs sont mis en place entre la Loire et l'ancienne carrière (déversoir 1) ainsi qu'entre l'ancienne carrière et la nouvelle (déversoir 2) afin de permettre un remplissage des plans d'eau plus optimal qu'avec les liaisons actuelles (insuffisante à elles seules).

Un déversoir au droit du 2<sup>ème</sup> plan d'eau de la nouvelle carrière (déversoir 3) suivi d'un chenal sec est également mis en place. Ces aménagements permettent un meilleur remplissage du plan d'eau 2 et donc une sollicitation moins importante des berges au moment des surverses.

Il y a une coupure hydraulique entre les 2 plans d'eau projetés, leurs niveaux peuvent donc être différents. Une liaison de surverse entre le 2<sup>ème</sup> plan d'eau et le 1<sup>er</sup> plan d'eau de la nouvelle carrière est prévue.

Le choix de mettre en place des ouvrages permettant un remplissage des gravières à la fois par l'aval et par l'amont s'est imposé car :

- la différence de niveau en Loire entre l'amont et l'aval du site est d'environ 1,34m (pour la crue de décembre 2003) ; un remplissage exclusivement par l'aval n'aurait donc pas permis de réduire de moins de 1,34m la différence entre le niveau en Loire et le niveau des gravières ;
- les volumes mis en jeu sont importants et le laps de temps disponible pour remplir les gravières faible.

La figure en page suivante présente, pour la crue de décembre 2003, les débits transitant par les 3 déversoirs projetés ainsi que par la liaison de surverse prévue entre le plan d'eau 2 et le plan d'eau 1.

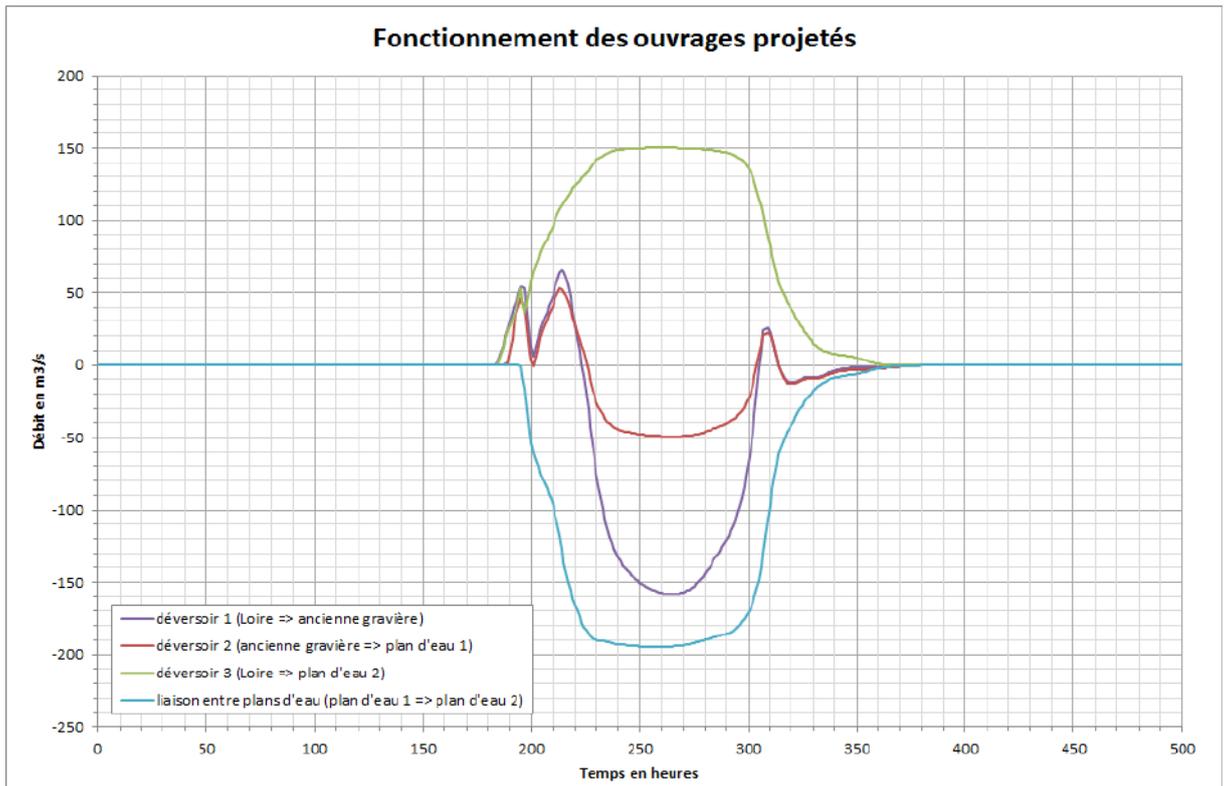


Figure 7-2 : Fonctionnement des ouvrages projetés

Le débit transitant sur le déversoir 3 atteint les 150 m<sup>3</sup>/s durant environ 40 heures.

Les débits maximums transitant sur les déversoirs 1 et 2 sont plus faibles : environ 65 m<sup>3</sup>/s pour le déversoir 1 et environ 50 m<sup>3</sup>/s pour le déversoir 2. En plus de permettre le remplissage des gravières, ces deux déversoirs permettent également la vidange des gravières par l’aval (lorsque le débit est négatif).

La liaison entre les 2 plans d’eau fonctionne exclusivement dans le sens du plan d’eau 2 vers le plan d’eau 1 (débit négatif sur la figure car la liaison est construite dans le modèle hydraulique du plan d’eau 1 vers le plan d’eau 2). Elle permet de soutenir le remplissage du plan d’eau 1. Elle permet également la vidange contrôlée du plan d’eau 2 vers le plan d’eau 1 et par la suite vers le ruisseau des Prés.

Les temps *t* (de la simulation) pour lesquels les déversoirs commencent à fonctionner sont présentés dans le tableau suivant.

Mise en fonctionnement de :	T en heures
Déversoir 1	183
Déversoir 2	187
Déversoir 3	183
Liaison entre les 2 plans d’eau	193

Tableau 7-1 : Temps *t* de mise en fonctionnement des ouvrages

***NB*** : L'annexe 4 détaille la fréquence de fonctionnement des déversoirs 1 et 3, et donc également la fréquence de mise en eau du chenal. **Le chenal n'a pas vocation à être en eau toute l'année** : c'est un aménagement dédié au fonctionnement des gravières en crue.

Ces temps sont à comparer au temps  $t$  auquel se produisent les premières surverses sur le site.

Premières surverses sur le site :	T en heures
Loire => lit majeur rive gauche	200
Sur la RD 200	206

Tableau 7-2 : Temps  $t$  des premières surverses

On constate que les déversoirs 1 et 3 commencent à fonctionner, et donc les gravières commencent à se remplir, 17h avant les premiers débordements de la Loire dans son lit majeur gauche, sur le site.

La figure suivante présente pour la crue de décembre 2003 :

- l'évolution des niveaux d'eau dans les différents plans d'eau,
- l'évolution des niveaux d'eau en Loire en différents points.

Au début de la simulation, les niveaux d'eau dans les gravières sont fixés à 173 m NF, comme en situation actuelle.

Les instants  $t$  des premières surverses ainsi que les mises en fonctionnement des déversoirs 1 et 3 sont également indiqués.

## Evolution des niveaux d'eau dans les gravières en comparaison avec les niveaux en Loire

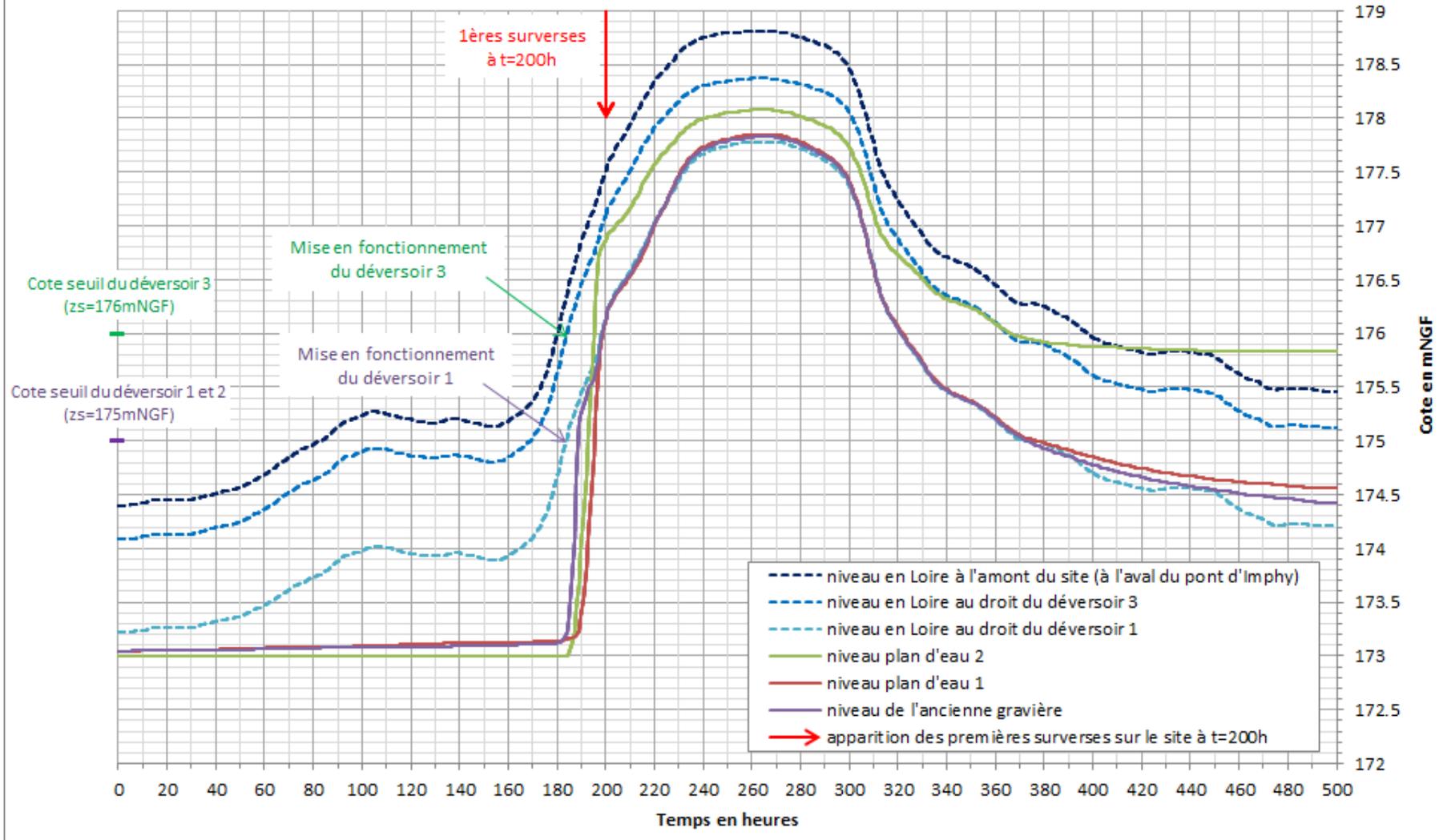


Figure 7-3 : Evolution des niveaux d'eau dans les différentes gravières en comparaison avec les niveaux en Loire

On constate que le plan d'eau 1 et celui de l'ancienne gravière commencent à se remplir dès le début de la simulation grâce aux liaisons existantes entre eux et le ruisseau des Prés mais ce remplissage est lent (le niveau des plans d'eau n'augmente que d'environ 10cm en 180h). En effet, la capacité du ruisseau des Prés est trop faible par rapport aux volumes d'eau à faire transiter avant les premières surverses.

Par contre, à partir de l'instant où les déversoirs commencent à fonctionner, on constate que les gravières se remplissent correctement et rapidement. En effet comme le montre le tableau suivant les niveaux des plans d'eau montent de 3 à 4 mètres en 17h.

	Niveau d'eau à t=183h (début du fonctionnement des déversoirs)	Niveau d'eau à t=200h (premières surverses)	Gain en niveau d'eau durant dt = 17h
	mNGF	mNGF	m
<b>Ancienne gravière</b>	173.16	176.19	3.03
<b>Plan d'eau 1</b>	173.14	176.19	3.05
<b>Plan d'eau 2</b>	173	176.89	3.89

Tableau 7-3 : Niveaux dans les différents plans d'eau au temps t des premières surverses et gain par rapport au temps t de mise en fonctionnement des déversoirs

Malgré un remplissage correct des gravières, il subsiste une différence de niveaux entre les différents plans d'eau et la Loire à l'amont de chacun d'eux comme le montre le tableau suivant.

	Niveau d'eau à t=200h en mNGF		$\Delta z$ Loire – plan d'eau en m	$\Delta z$ Loire – plan d'eau minimum en m
	Plan d'eau	Loire à l'amont du plan d'eau		
<b>Ancienne gravière</b>	176.19	176.46	0.27	0.26
<b>Plan d'eau 1</b>	176.19	177.05	0.86	0.85
<b>Plan d'eau 2</b>	176.89	177.54	0.65	0.41

Tableau 7-4 : Niveaux dans les différents plans d'eau au temps t des premières surverses et différences par rapport aux niveaux en Loire à l'amont des plans d'eau

En effet, en remplissant le 1<sup>er</sup> plan d'eau de la nouvelle carrière et le plan d'eau de l'ancienne carrière par l'aval, les niveaux de celles-ci ne peuvent excéder le niveau en Loire à l'aval du site. Il convient alors de noter qu'il existe une différence de niveau de l'ordre de 0,85m, entre le niveau en Loire au droit de l'amont du 1<sup>er</sup> plan d'eau et le niveau en Loire à l'aval du site, lors de l'apparition des premières surverses pour une crue de type décembre 2003.

De la même manière, en remplissant le 2<sup>ème</sup> plan d'eau de la nouvelle carrière par l'intermédiaire d'un déversoir et d'un chenal sec, le niveau de celle-ci ne peut excéder le niveau en Loire au droit du déversoir. Il faut alors noter qu'il existe une différence de niveau de l'ordre de 0,41m, entre le niveau en Loire à l'amont du site et le niveau de la Loire au droit du déversoir, lors de l'apparition des premières surverses pour une crue de type décembre 2003.

L'écart de niveau entre la Loire à l'amont du plan d'eau de l'ancienne gravière et le plan d'eau est de 27cm, ce qui est satisfaisant et très proche de l'écart minimal possible au vu de la configuration de l'aménagement qui est de 26cm.

De même, l'écart de niveau entre la Loire à l'amont du plan d'eau 1 et le plan d'eau 1 est de 86cm, ce qui reste admissible et de plus très proches de l'écart minimal possible au vu de la configuration de l'aménagement qui est de 85cm.

Par ailleurs, l'écart de niveau entre la Loire à l'amont du plan d'eau 2 et le plan d'eau 2 est de 65cm, ce qui est satisfaisant mais plus éloigné de l'écart minimal possible au vu de la configuration de l'aménagement qui est de 41cm. Cela s'explique par le fait que le terrain naturel à l'aval de ce plan d'eau est situé entre 177 et 177.20mNGF : le plan d'eau commence donc à se vider avant de pouvoir atteindre la cote optimale possible de 177.13mNGF.

## **7.2.2 Cas de crues supérieures à la crue de décembre 2003**

Les mécanismes d'inondation de la future gravière en cas de crue importante étant les mêmes que pour la crue de décembre 2003, l'analyse du risque de capture est inchangée.

Au moment des 1<sup>ères</sup> surverses de la Loire, les plans d'eau de la gravière sont remplis. Le niveau d'eau en Loire et donc en lit majeur inondable est plus haut avec une crue plus forte.

## **7.2.3 Cas d'une montée de crue plus rapide**

Le cas d'une montée de crue plus rapide est traité dans le paragraphe 8.3 en cas de rupture du barrage de Villerest.

## **7.2.4 Cas d'un niveau d'eau plus bas dans les gravières**

Dans les différentes simulations hydrauliques réalisées, les niveaux d'eau dans les gravières ont été fixés à 173 m NGF. Pour mémoire, le niveau moyen mesuré dans les plans d'eau est d'environ 173,50 m NGF entre 2000 et 2013.

Considérer le niveau le plus bas connu dans les gravières maximise le volume de gravière à remplir par débordement en cas de crue.

Une simulation de la crue de décembre 2003 a donc été effectuée en considérant un niveau d'eau à 171.50 m NGF, correspondant au minimum observé au piézomètre PZ2 entre 2009 et 2013.

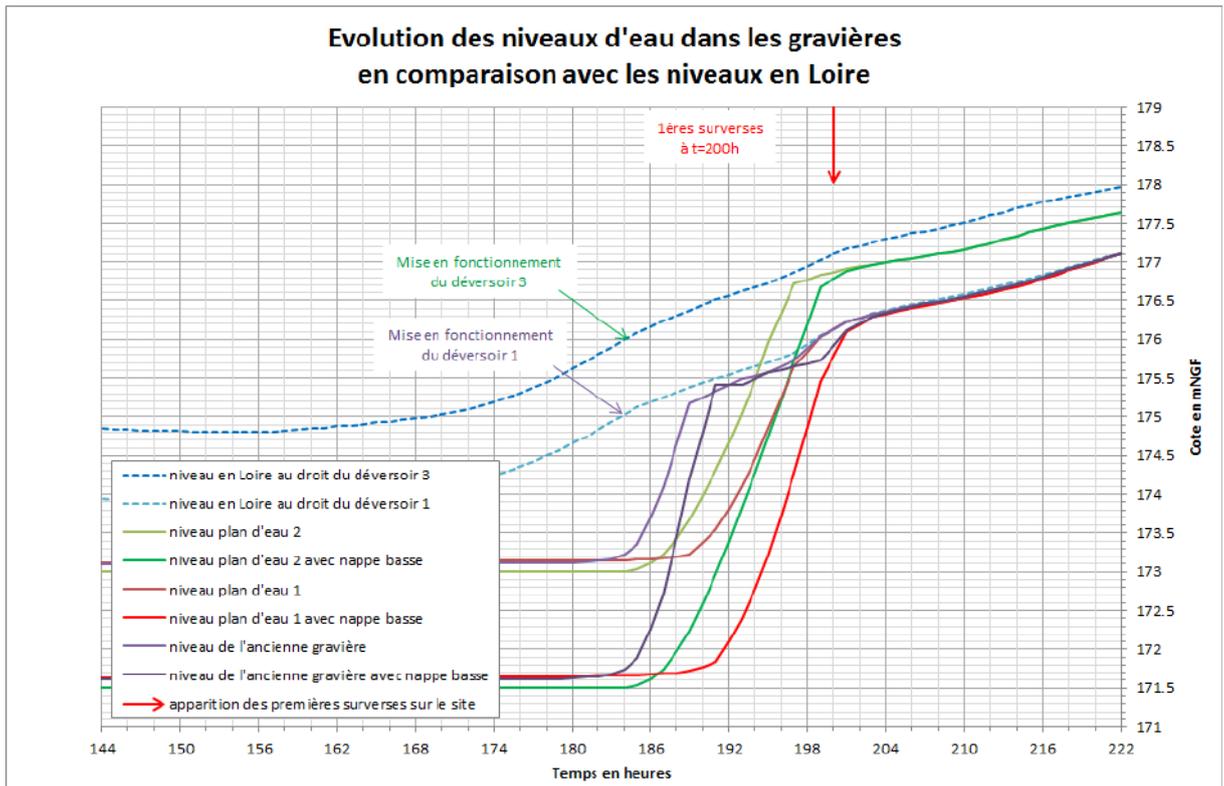


Figure 7-4 : Etude du risque de capture dans le cas d'un niveau d'eau plus bas dans les gravières

Cela ne remet pas en cause le dimensionnement des ouvrages : Le risque de capture est évité dans la mesure où le niveau d'eau dans les gravières est suffisamment haut au moment des 1ères surverses de la Loire.

A noter que les simulations réalisées ne prennent pas en compte les mouvements de nappe qui peuvent se produire lors des crues et qui affectent positivement les niveaux d'eau dans les gravières.

### 7.3 EVALUATION DES RISQUES D'ÉROSION DES TALUS DES PLANS D'EAU

Les différences résiduelles de niveaux entre la Loire et les plans d'eau, décrites dans le paragraphe précédent, sont susceptibles d'engendrer des érosions des bordures des plans d'eau lors de la submersion de ceux-ci en cas de crue forte de la Loire.

Lorsque la Loire en crue quitte son lit mineur et déborde dans son lit majeur rive gauche, des écoulements se produisent qui rejoignent les bords de la carrière. L'eau ruisselle sur les talus des plans d'eau. La vitesse de l'eau peut éroder ces talus. Les érosions peuvent soutirer les matériaux et faire reculer les limites de la carrière. Les enjeux susceptibles d'être menacés par ce processus sont dans l'ordre : la RD200 à l'amont qui relie Chevenon à Imphy, les terres agricoles au Nord Est des plans d'eau, et finalement, si l'érosion se développait considérablement la berge de Loire située quand même à 550 mètres de la limite de la carrière. Ce cas limite serait celui à même de provoquer la capture de la Loire.

En ce qui concerne la carrière, l'importance du phénomène dépend de deux facteurs :

- la dénivellée entre le niveau de l'eau dans les plans d'eau et sur les bords de la carrière au moment du débordement,
- la pente des talus.

Plus la dénivellée est grande, plus la pente est forte et plus l'érosion est active.

La dénivellée étant maximale au moment du début du remplissage des plans d'eau, l'analyse des vitesses sur les bordures des plans d'eau projetés a été menée pour la crue de décembre 2003.

Afin de limiter les phénomènes d'érosion, certaines bordures seront aménagées en pente douce.

La figure suivante présente une coupe schématique d'un plan d'eau illustrant l'intérêt de pentes douces sur la tranche altimétrique comprise entre le terrain naturel (TN) et le TN-1,5m.

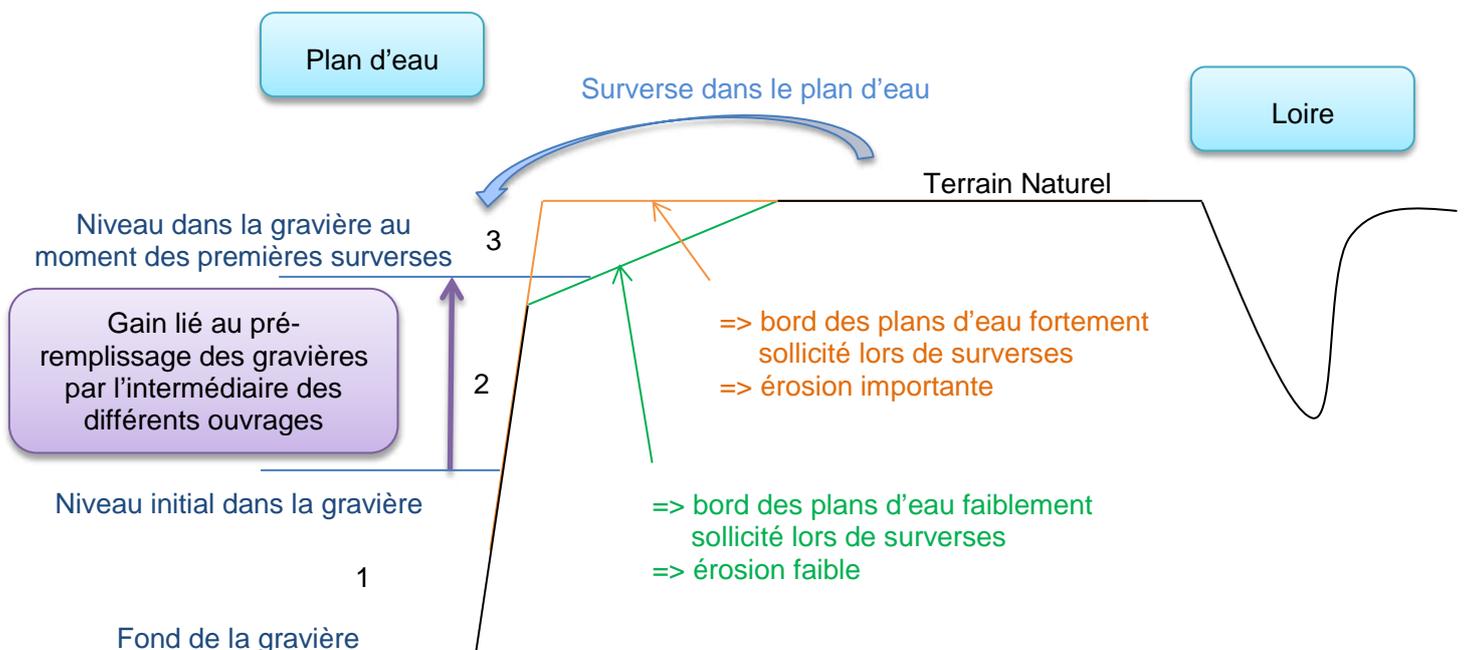


Figure 7-5 : Schéma de principe des sollicitations en bordure des plans d'eau

La coupe schématique se compose, de bas en haut :

- d'une première zone, du fond de la gravière à 4 à 5 mètres de hauteur, toujours en eau, pour laquelle la pente du talus n'a pas d'incidence sur le fonctionnement hydraulique en crue,
- d'une deuxième zone, de 3 à 5 mètres de hauteur, hors d'eau en dehors des périodes de crue, pour laquelle la pente du talus n'a pas d'incidence sur le fonctionnement hydraulique en crue dans la mesure où c'est cette tranche altimétrique que l'on cherche à mettre en eau le plus rapidement possible avec les déversoirs et autres aménagements projetés.
- d'une troisième zone, de 1 à 1,5 mètres de hauteur, hors d'eau en dehors des périodes de crue et potentiellement fortement sollicitée par les écoulements en crue : cette tranche altimétrique est hors d'eau au moment des premières surverses du lit majeur dans le plan d'eau. En effet, la configuration du site ne permet pas un remplissage complet des plans d'eau avant les premières surverses.

Pour protéger le talus situé dans la dernière tranche altimétrique (entre le terrain naturel et le terrain naturel moins 1,5 mètres) et limiter les érosions, il sera mis en place des talus en pente douce.

L'étude des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement sur les talus des plans d'eau a permis de mettre en évidence les tronçons les plus sollicités pour lesquels des pentes douces sont préconisées. L'annexe 5 détaille ces éléments et montre qu'une pente de 10H/1V est nécessaire sur ces tronçons. La localisation de ces tronçons est présentée sur la figure en page suivante.

Par ailleurs, comme le montre l'annexe 3, les pentes douces seront aménagées entre le périmètre d'autorisation et le périmètre d'extraction, ce qui assure une réduction des risques d'érosion en cas de crue tout au long de la phase d'exploitation, tout comme en phase réaménagée.

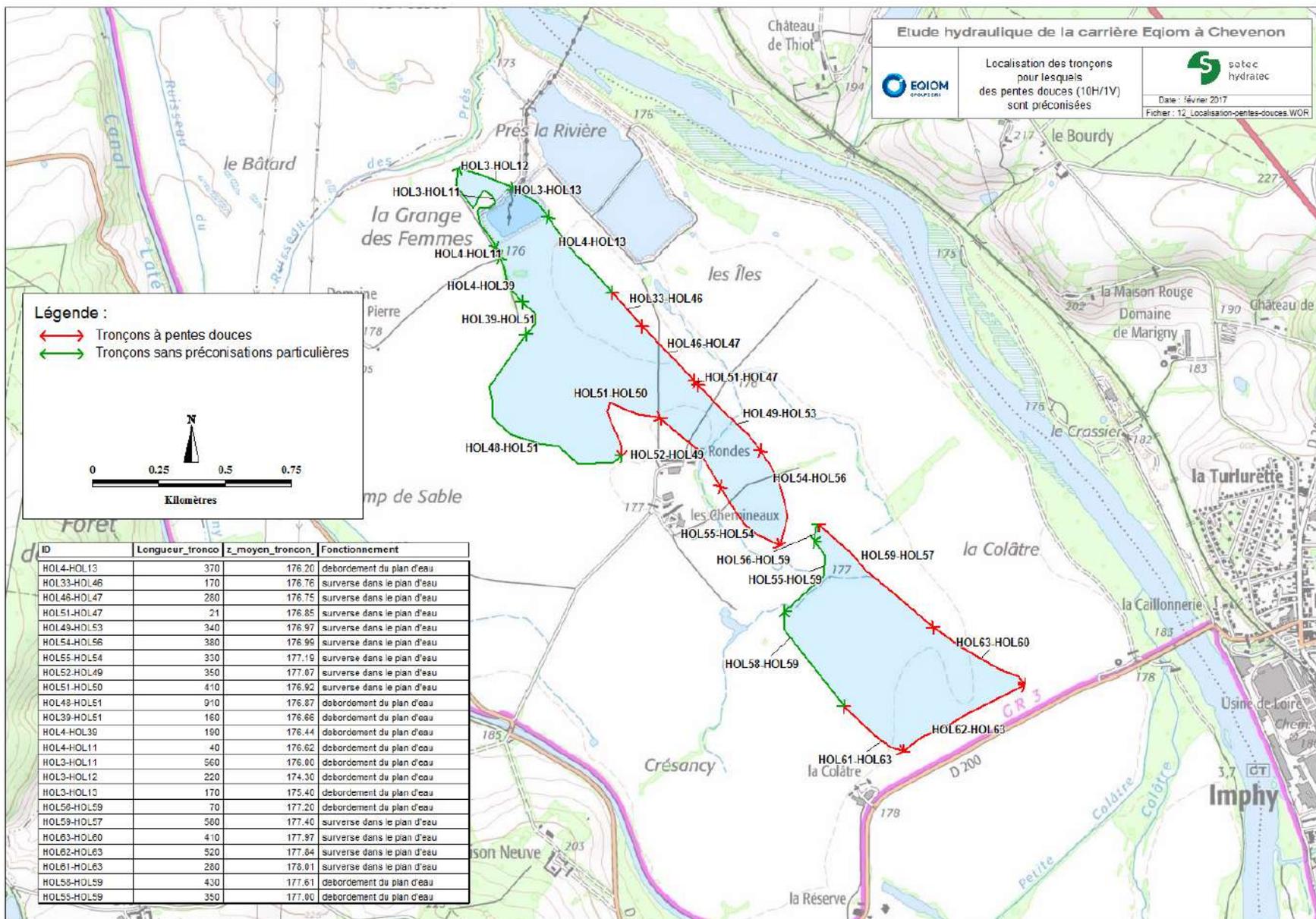


Figure 7-6 : Localisation des tronçons pour lesquels des pentes douces sont préconisées

## 8 ANALYSE DES IMPACTS HYDRAULIQUES

L'évaluation des impacts hydraulique du projet d'aménagement est réalisée pour la crue de décembre 2003, et les crues de période de retour 50ans à 500 ans.

Dans l'ensemble de ce chapitre, le projet d'aménagement est considéré dans son état final.

### 8.1 IMPACTS SUR LES NIVEAUX D'EAU

Les différentes figures suivantes présentent le profil en long de la ligne d'eau dans l'état actuel et dans l'état réaménagé ainsi que l'écart de niveau entre ces deux lignes d'eau, exprimé en cm (échelle de droite).

Les profils en long sont présentés pour les pK compris entre 968.885 (amont du modèle) et 998.000 (Nevers centre).

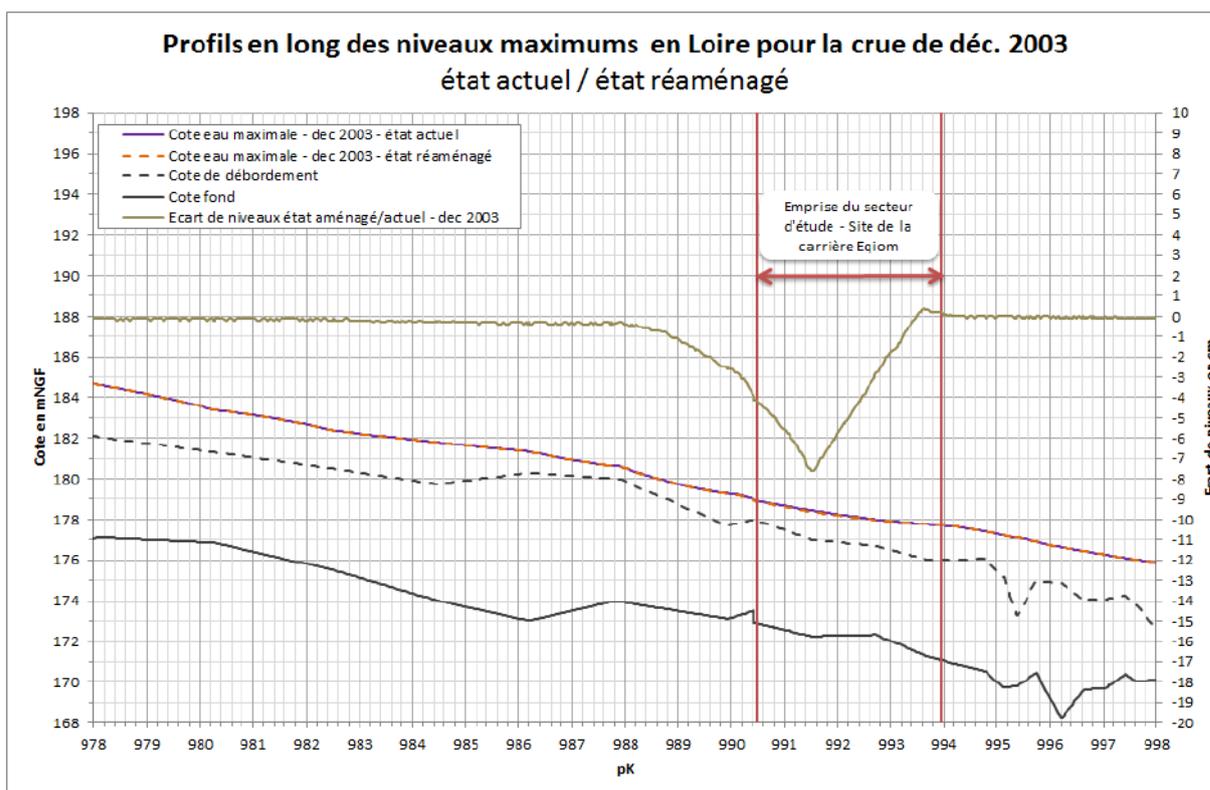


Figure 8-1 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums - dec 2003

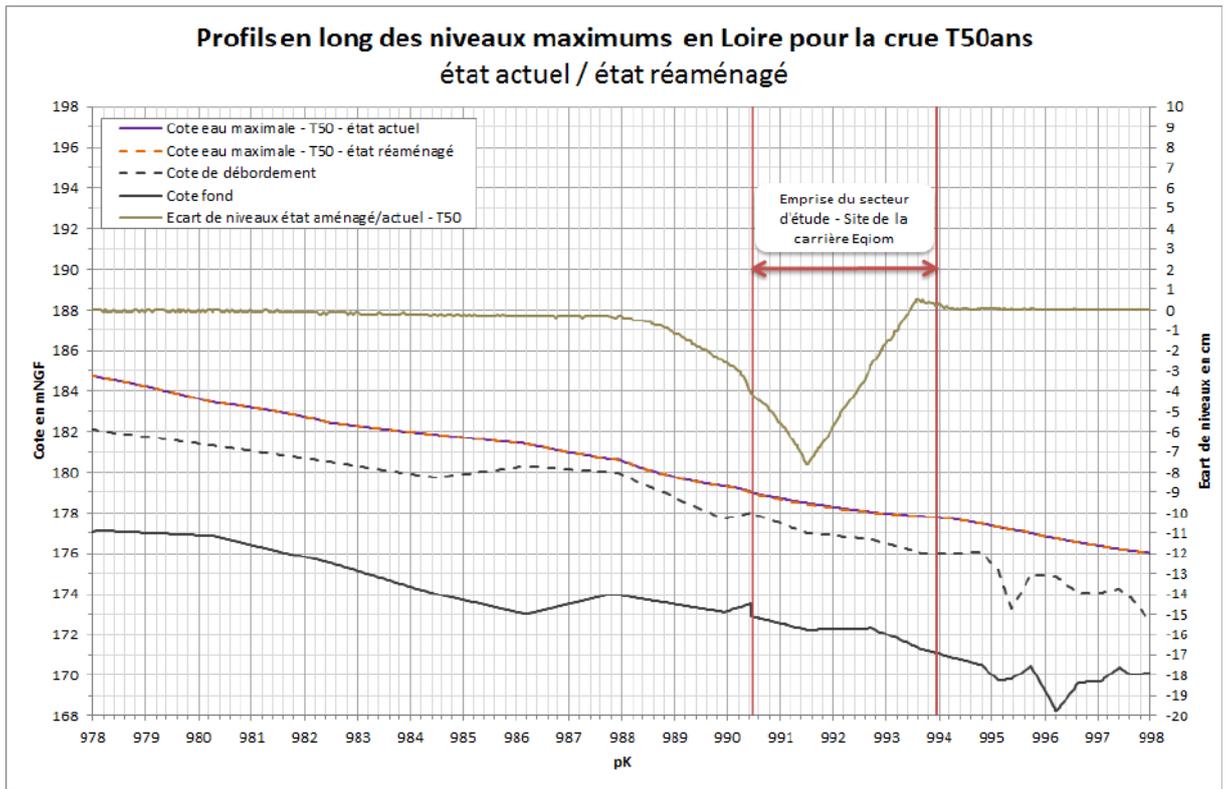


Figure 8-2 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T50ans

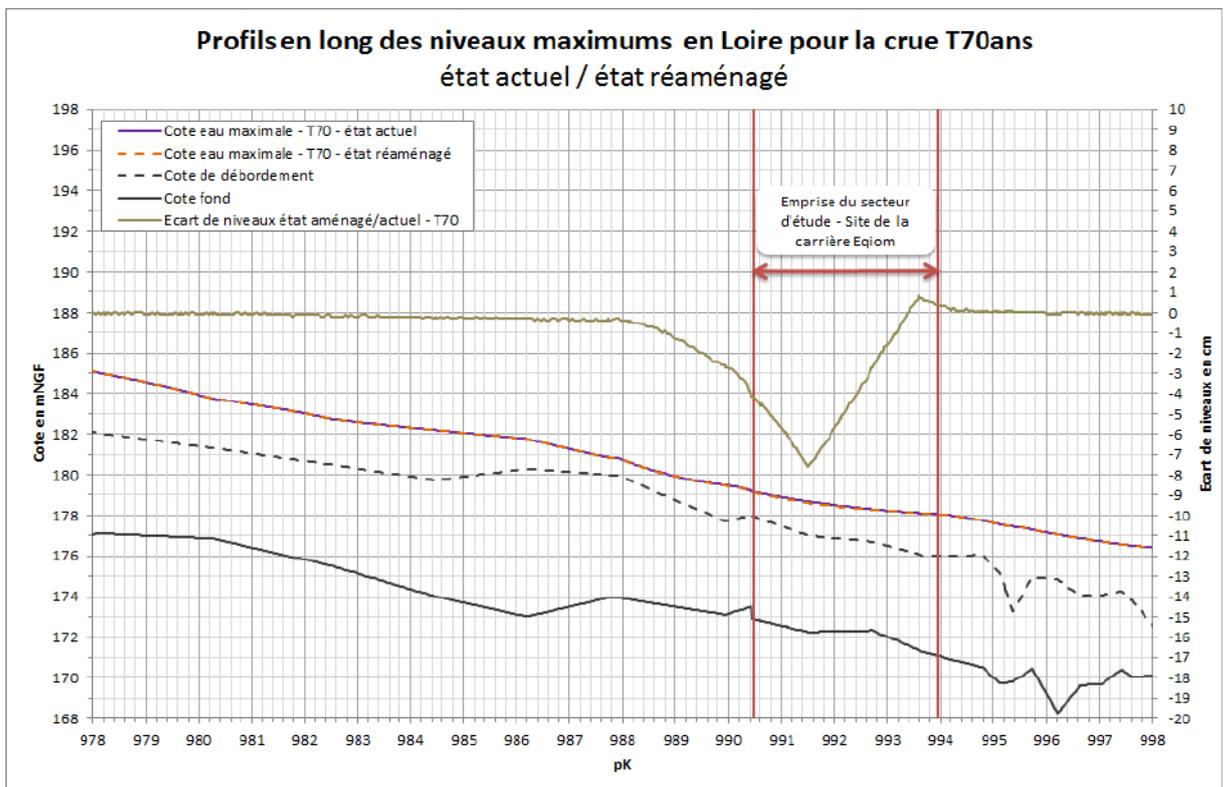


Figure 8-3 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T70ans

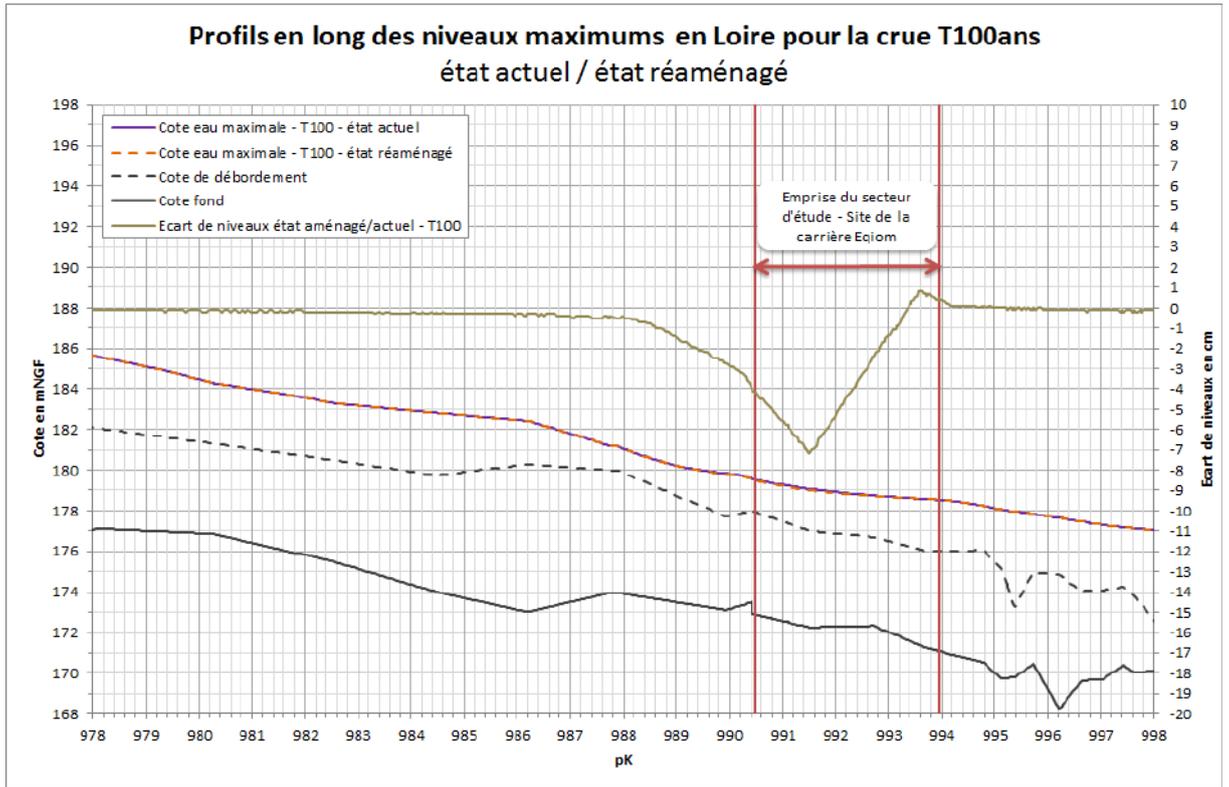


Figure 8-4 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T100ans

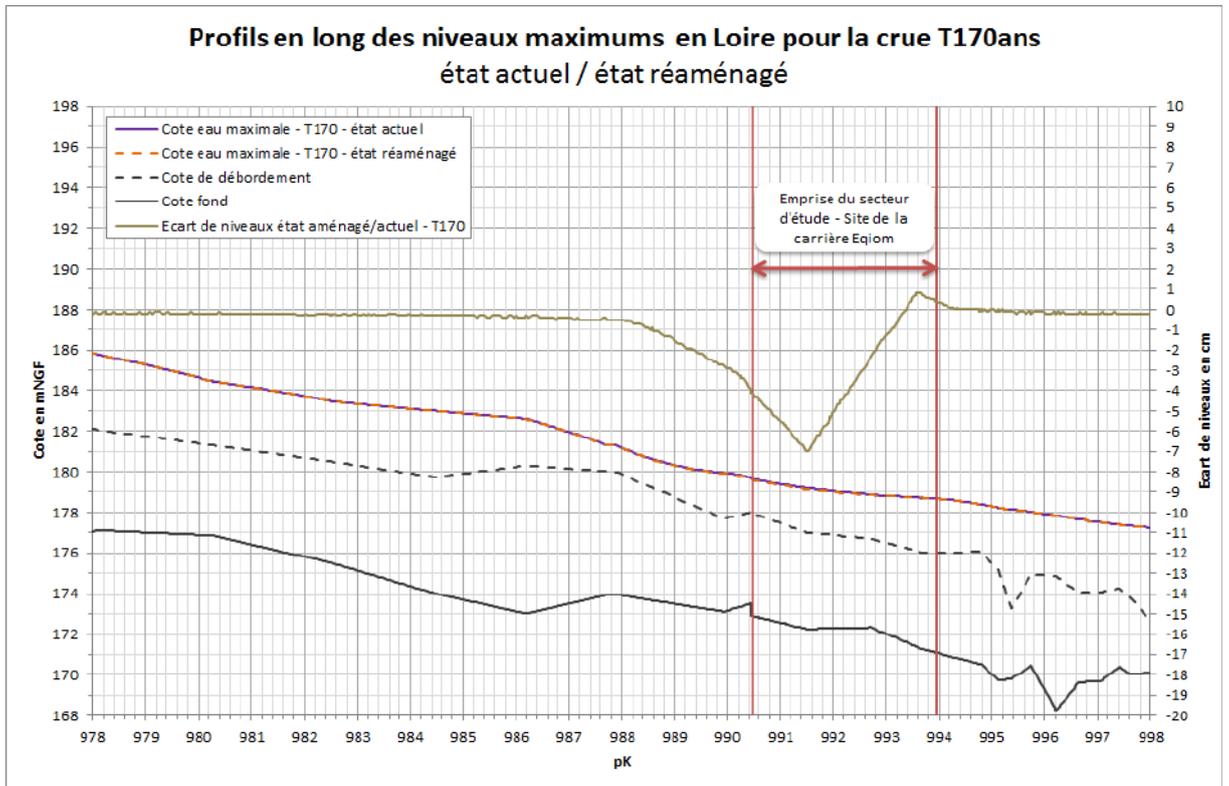


Figure 8-5 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T170ans

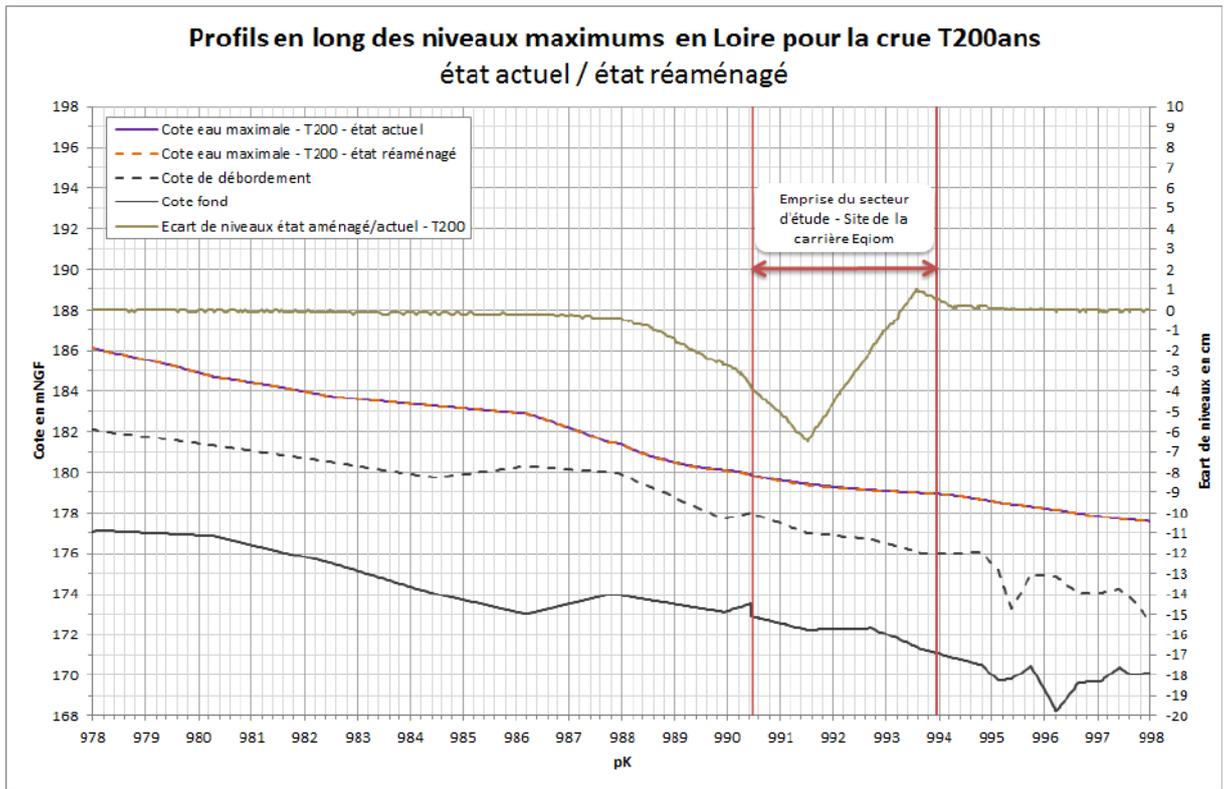


Figure 8-6 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T200ans

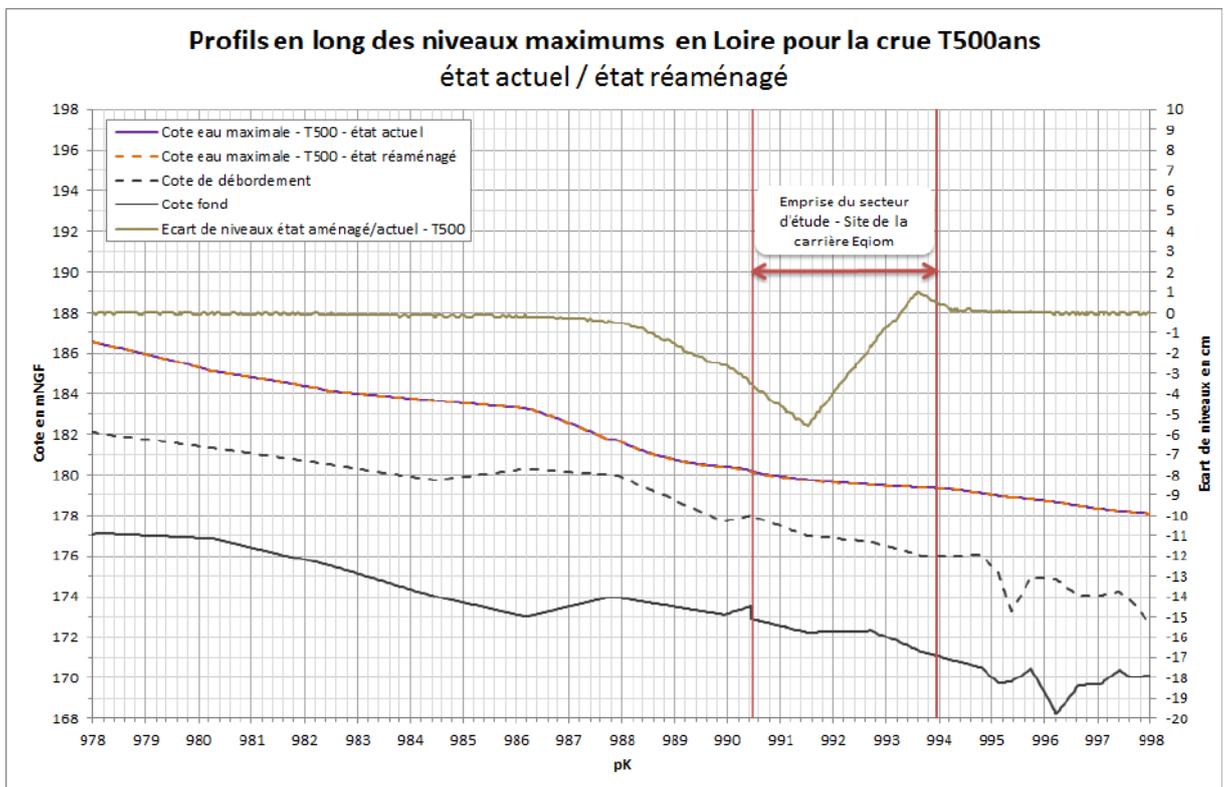


Figure 8-7 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T500ans

Le tableau ci-dessous synthétise les valeurs minimales et maximales des écarts de niveau engendrés par le projet d'aménagement, pour les 7 crues étudiées.

Crue	Ecart des niveaux maximums en Loire état réaménagement – état actuel	
	$\Delta z$ min (cm)	$\Delta z$ max (cm)
Dec 2003	-7.6	0.4
T 50ans	-7.6	0.5
T 70 ans	-7.6	0.8
T 100 ans	-7.2	0.8
T 170 ans	-7.0	0.8
T 200 ans	-6.5	1.0
T 500 ans	-5.6	1.0

Tableau 8-1 : Ecart min et max entre les niveaux d'eau de l'état actuel et réaménagé

On note que le projet induit un rehaussement ponctuel maximal de 1 cm à l'aval immédiat du site pour les crues de période de retour 200ans et 500ans. Ce rehaussement diminue pour les crues de période de retour plus faible.

Ce rehaussement se situe pour l'ensemble des crues étudiées à la limite aval du secteur d'étude dans une zone sans enjeu à proximité.

**Le projet n'induit donc pas de rehaussement significatif des lignes d'eau (supérieur à 1cm) pour l'ensemble des crues étudiées (de période de retour de 50ans à 500ans).**

Par ailleurs, le réaménagement induit un abaissement de la ligne d'eau de l'ordre de 7cm pour les différentes crues testées (de 5,6cm pour la crue de période de retour 500ans à 7,6 pour les crues de faible période de retour).

Cet abaissement de la ligne d'eau est le plus significatif au droit du projet mais il se propage vers l'amont sur environ 2,5km.

## 8.2 IMPACTS SUR LES DEBITS

Comme pour l'état actuel, le tableau suivant présente les débits maximums à l'amont et à l'aval du secteur étudié en distinguant le lit majeur rive gauche du lit mineur et du lit majeur rive droite.

Etat réaménagé	Répartition des débits à l'amont du site (m <sup>3</sup> /s)		Répartition des débits à l'aval du site (m <sup>3</sup> /s)	
	Lit mineur + lit majeur RD	Lit majeur RG	Lit mineur + lit majeur RD	Lit majeur RG
Dec 2003	1 807	353	1 999	160
ΔQ pro - ini	+9	-9	0	-1
T 50ans	1 836	376	2 039	175
ΔQ pro - ini	+10	-10	+1	-1
T 70 ans	2 006	530	2 287	251
ΔQ pro - ini	+13	-13	+2	-3
T 100 ans	2 302	896	2 701	500
ΔQ pro - ini	+19	-21	+4	-6
T 170 ans	2 393	1 029	2 824	593
ΔQ pro - ini	+21	-22	+4	-6
T 200 ans	2 528	1 263	3 029	759
ΔQ pro - ini	+23	-23	+6	-7
T 500 ans	2 733	1 678	3 339	1 062
ΔQ pro - ini	+24	-24	+7	-8

Figure 8-8 : Répartition des débits à l'amont et à l'aval du site dans l'état réaménagé pour les 7 crues étudiées

On constate que les débits sont similaires à ceux présentés pour l'état actuel. L'écart ne concerne que la répartition de débit entre lit mineur et lit majeur. L'écart le plus important s'observe à l'amont du site pour la crue de période de retour 500ans où 24m<sup>3</sup>/s transite en plus dans le lit mineur et le lit majeur rive droite et en moins dans le lit majeur rive gauche. Cette différence ne représente que 0.9% du débit du lit mineur et du lit majeur rive droite et 1.4% du débit du lit majeur rive gauche.

**Le projet d'aménagement n'a pas d'impact sur les débits totaux écoulés et une incidence négligeable sur la répartition lit mineur / lit majeur des débits maximums.**

Par ailleurs, l'allure des hydrogrammes a été comparée en différents nœuds du modèle hydraulique pour l'état actuel et pour l'état réaménagé.

La figure suivante présente ces hydrogrammes pour la crue de période de retour 100ans :

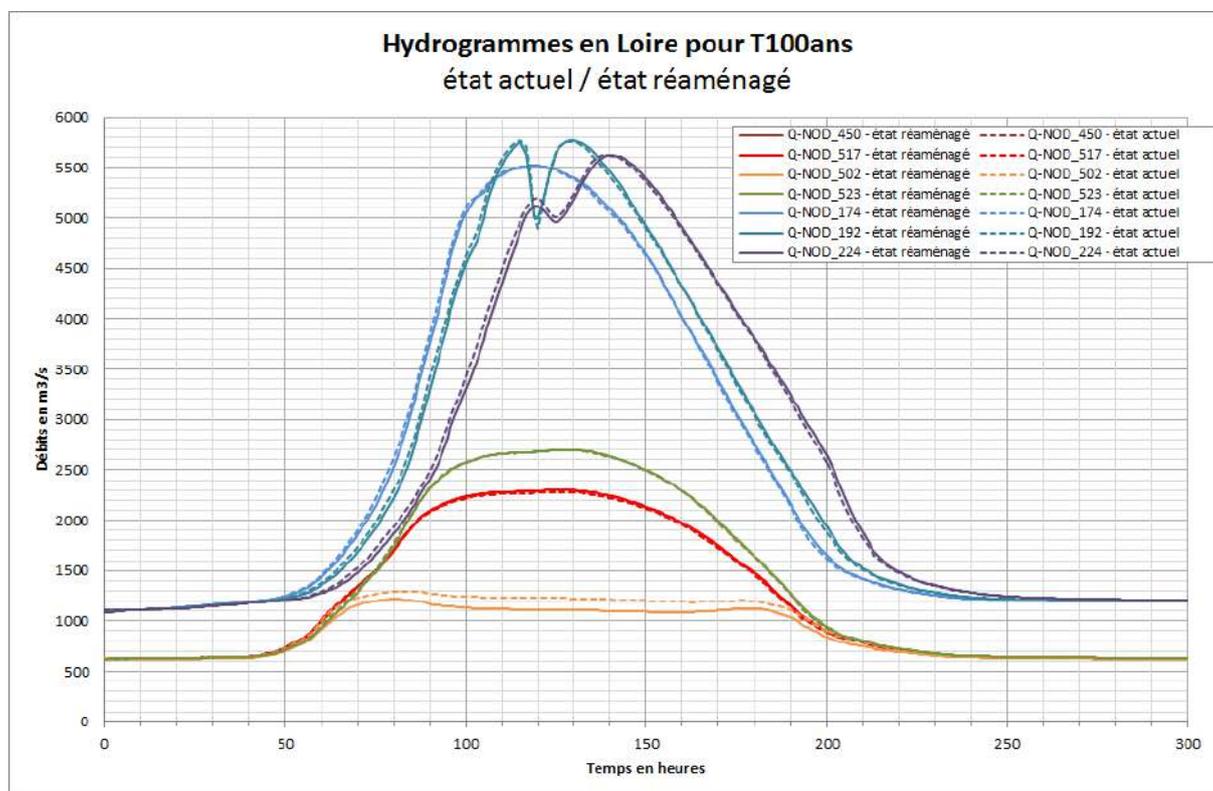


Figure 8-9 : Hydrogrammes en Loire pour T100ans – état actuel et réaménagé

Chaque hydrogramme est rattaché à un nœud du modèle hydraulique (NOD\_450 par exemple). Le positionnement de ces nœuds dans le modèle est présenté sur la figure en page suivante.

On constate que le projet d'aménagement induit une déformation des hydrogrammes pour la crue de période de retour 100ans. Cependant, cette déformation reste limitée au vu des valeurs de débits et de volumes en jeu.

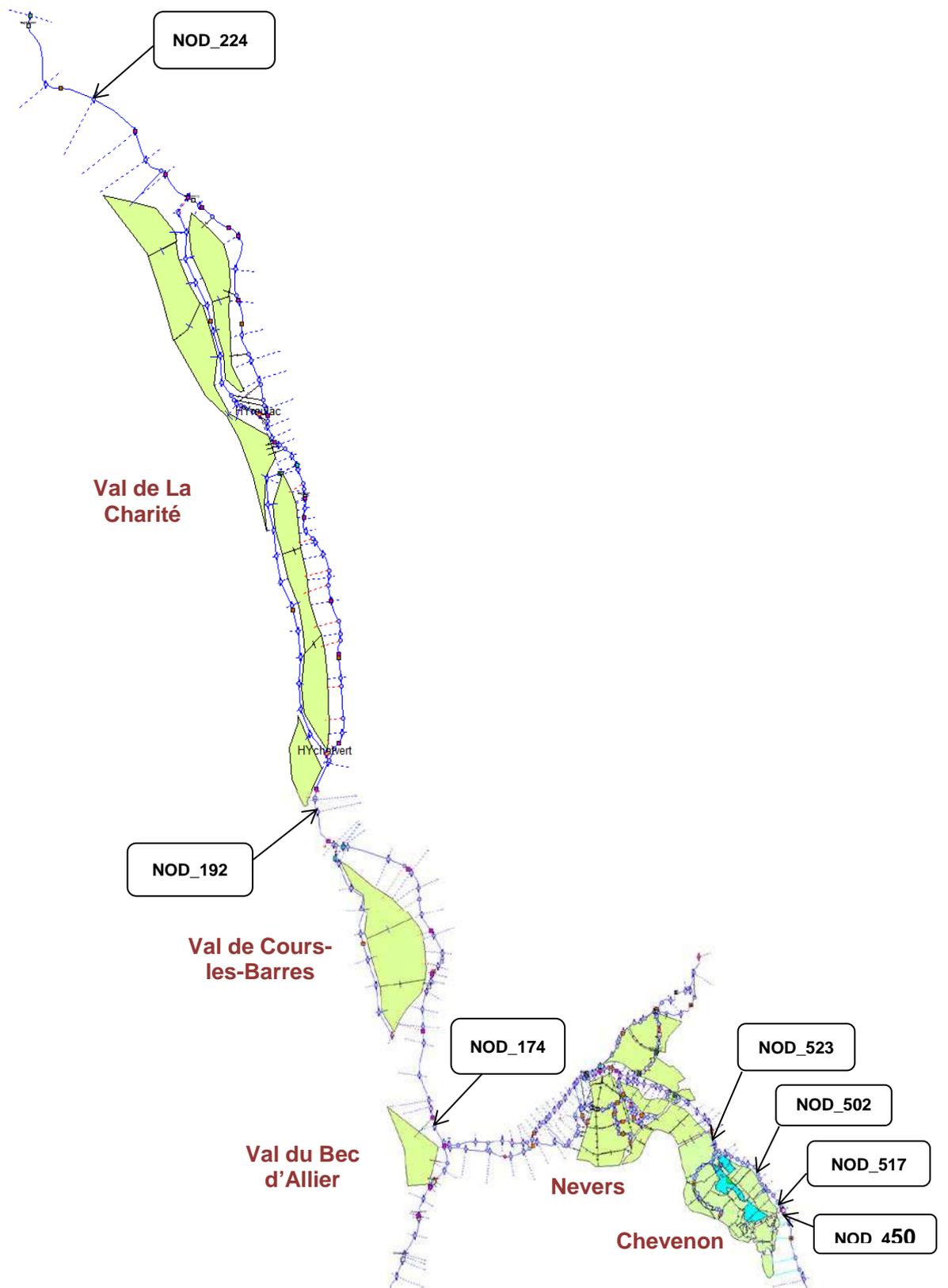


Figure 8-10 : Positionnement des nœuds dans le modèle HydraRiv

## 8.3 CAS D'UNE RUPTURE DU BARRAGE DE VILLEREST

### 8.3.1 Présentation du barrage de Villerest

Le barrage de Villerest, localisé sur la figure suivante, est situé sur la Loire en amont de Roanne, dans le département de la Loire, soit environ 180km en amont du secteur d'étude. Il a été mis en service en 1985. Il est propriété de l'établissement public Loire qui est responsable de sa gestion.

Ce barrage poids arqué en béton, d'une hauteur de 59 mètres est équipé :

- d'un déversoir libre de surface,
- de cinq vannes de demi-fond et d'une vanne de fond.

Ses deux fonctions sont l'écrêtement des crues et le soutien d'étiage.

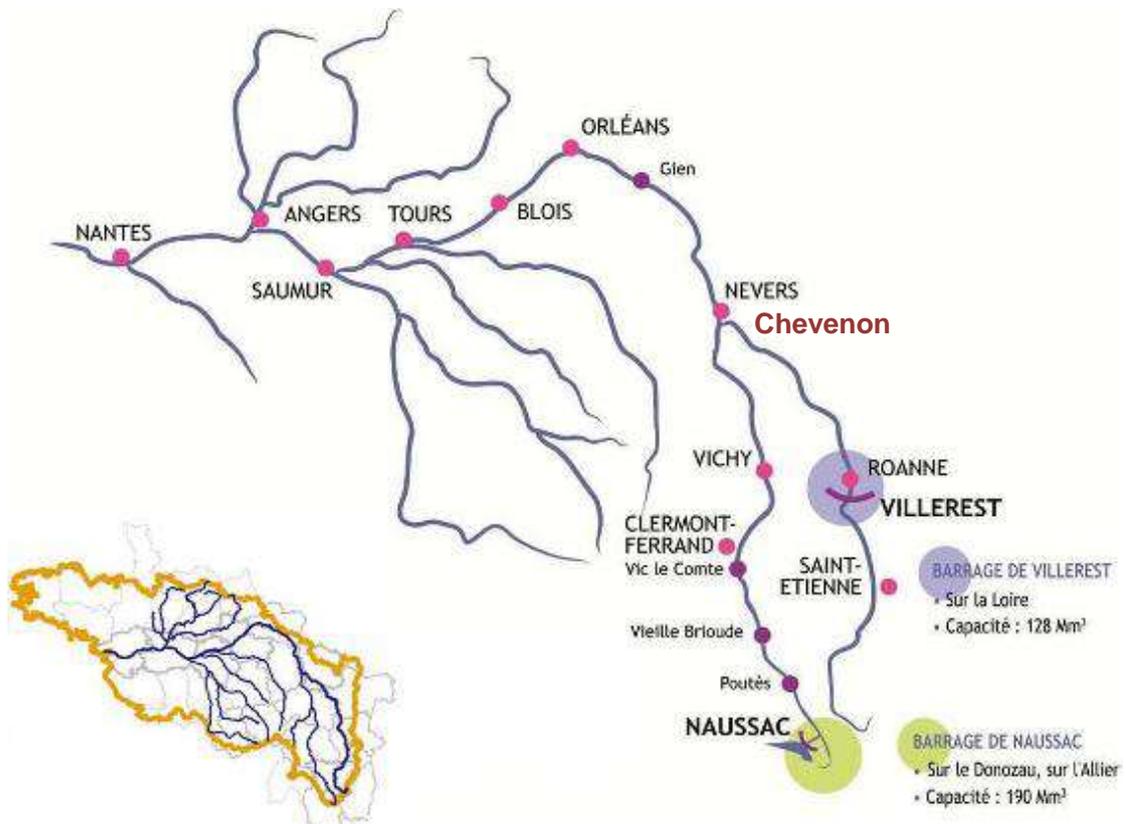


Figure 8-11 : Localisation du barrage de Villerest

C'est l'unique barrage réservoir situé à l'amont de Chevenon.

### 8.3.2 Etudes antérieures sur l'onde de submersion en cas de rupture

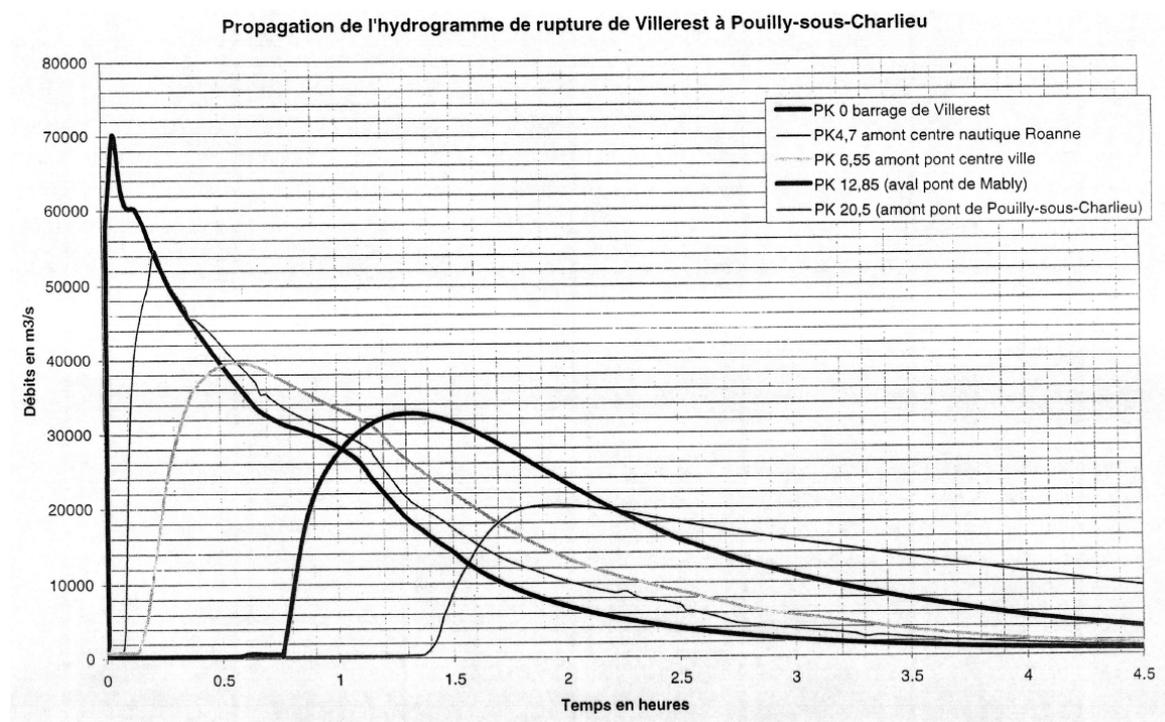
Deux études de l'onde de submersion ont été réalisées : l'une conduite par EDF en septembre 1974, l'autre, plus récente à la diligence de l'Etablissement Public Loire en janvier 2001 sur la base de deux scénarios.

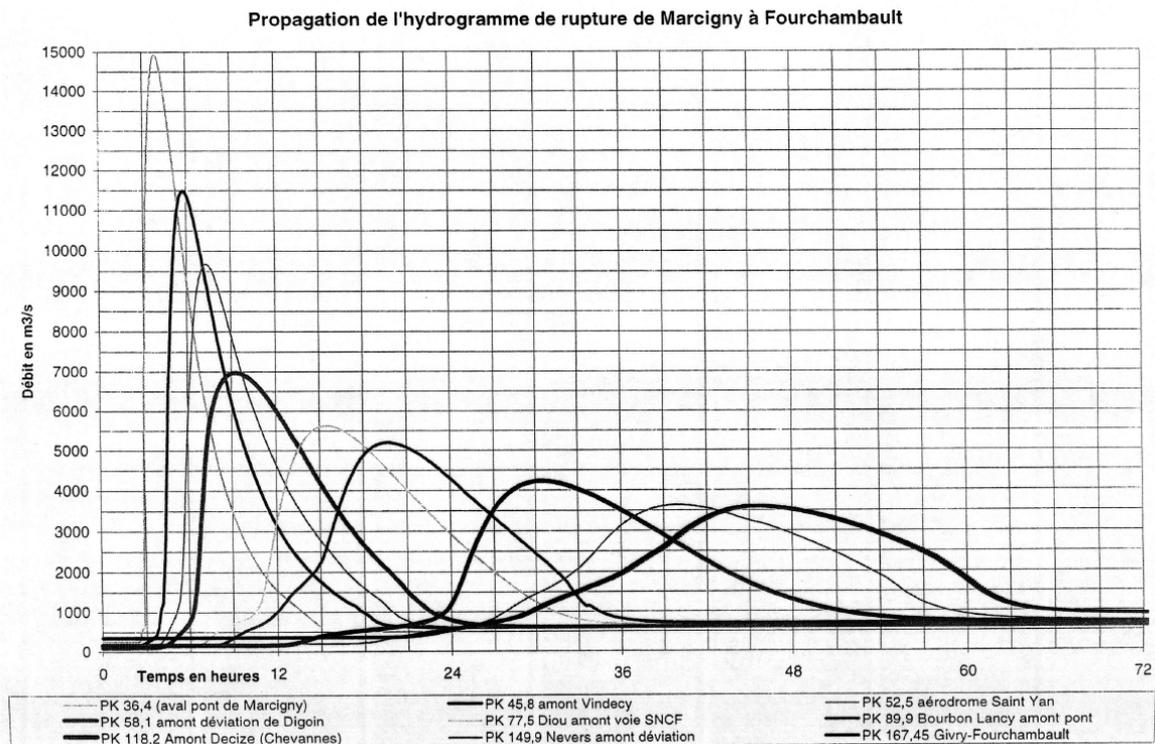
Le premier étudie la propagation de l'onde sur "front sec", c'est-à-dire lorsque la Loire a un débit faible, le second pendant une crue importante de type 1846 (dit sur "front humide").

D'après cette étude, pour le cas du front sec, l'onde de rupture se propage en 18h entre Villerest et Nevers, soit une vitesse moyenne de 8.7 m/s. Elle atteint l'amont de Roanne en quelques minutes, Digoin en 4h et Decize en 12h. Le maximum de l'onde arrive à Roanne en une demi-heure, à Digoin en 9h, à Decize en 28h, à Nevers en 36h.

Le débit de pointe à Roanne est compris entre 40 000 m<sup>3</sup>/s et 60 000 m<sup>3</sup>/s. Il est d'environ 8 000 m<sup>3</sup>/s à Digoin, 4 800 m<sup>3</sup>/s à Decize et 4 100 m<sup>3</sup>/s à Nevers (valeurs recommandées avec propagation sur front sec, donc avec une marge de 15%).

Les graphiques ci-après présentent la propagation de l'onde le long de la Loire (dans le cas du front sec) :





*Figure 8-12 : Propagation de l'hydrogramme de rupture du barrage de Villerest*

Toujours d'après cette étude, le calcul de propagation de l'onde sur front humide, donc avec une crue type 1846, conduit à des surélévations des cotes maximales de l'ordre de 3 m dans le secteur de Nevers, par rapport au cas du front sec.

Le débit de pointe est alors de 11 000 m<sup>3</sup>/s à Decize (au lieu de 4 800 m<sup>3</sup>/s) et d'environ 10 000 m<sup>3</sup>/s à Nevers ((au lieu de 4 100 m<sup>3</sup>/s).

De même, la surélévation induite par la rupture du barrage par rapport à une crue naturelle type 1846 (non écrêtée) est de 1.5 à 2 m.

Les conclusions de cette étude donnent pour Nevers dans le cas du front sec une crue inférieure aux trois grandes crues du 19<sup>ème</sup> siècle et dans le cas du front humide un événement cataclysmique sans précédent pour la cité.

### 8.3.3 Simulation de l'onde de submersion sur front sec et analyse des impacts

Les paragraphes précédents décrivent les mécanismes d'inondation et les impacts en cas d'inondation du site par une crue de la Loire. Cependant, l'inondation peut également être provoquée par une onde de submersion consécutive à la rupture du barrage de Villerest.

L'onde de submersion sur front sec est simulée avec le modèle hydraulique, en injectant en tête de modèle l'hydrogramme calculé à Decize en cas de rupture du barrage.

Le graphique suivant permet de comparer cet hydrogramme (décalé volontairement de 75h pour faciliter la comparaison) aux hydrogrammes des crues de période de retour 200 et 500 ans à Decize. Le débit de pointe de 4 800 m<sup>3</sup>/s s'avère supérieur aux maximums des crues de projet testées, avec une montée de crue plus rapide. Par contre, cela représente un volume nettement inférieur.

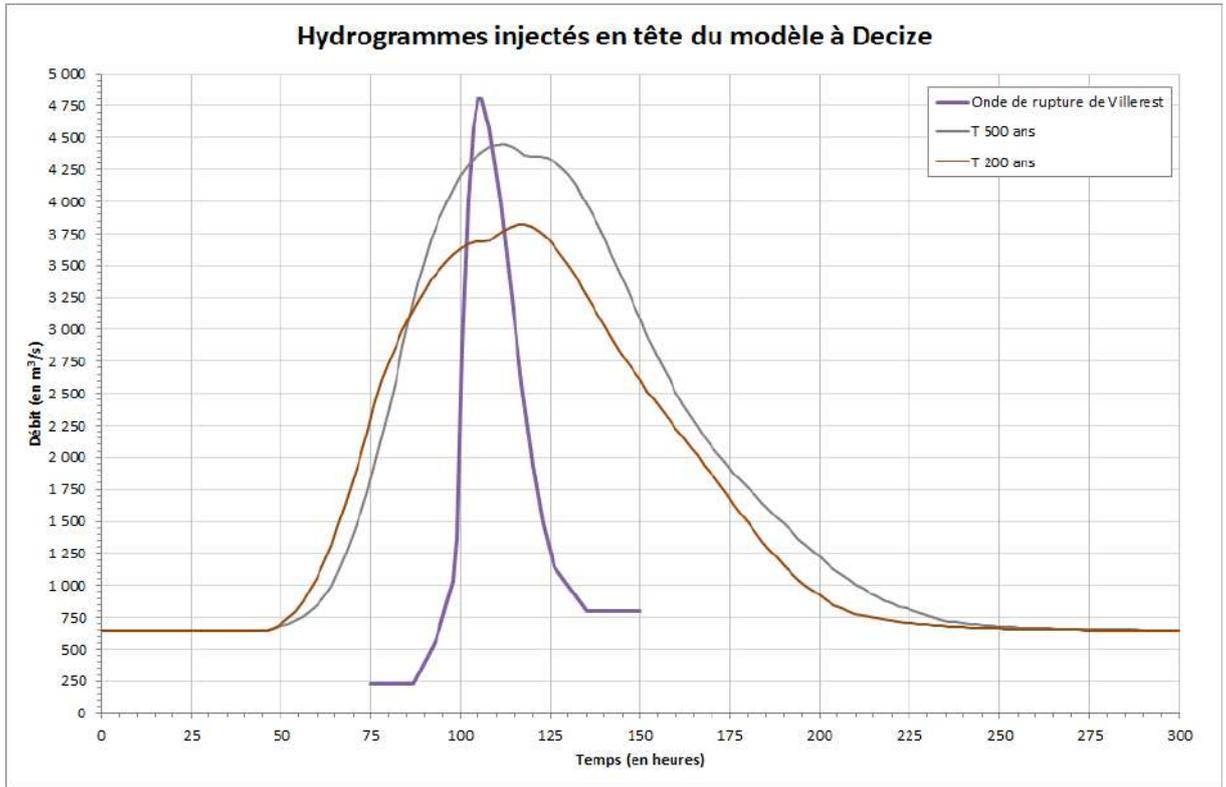


Figure 8-13 : Hydrogrammes à Decize

Le graphique ci-après représente les lignes d'eau maximales en Loire pour les différentes crues testées, y compris le cas d'une rupture du barrage de Villerest, dans l'état actuel et réaménagé :

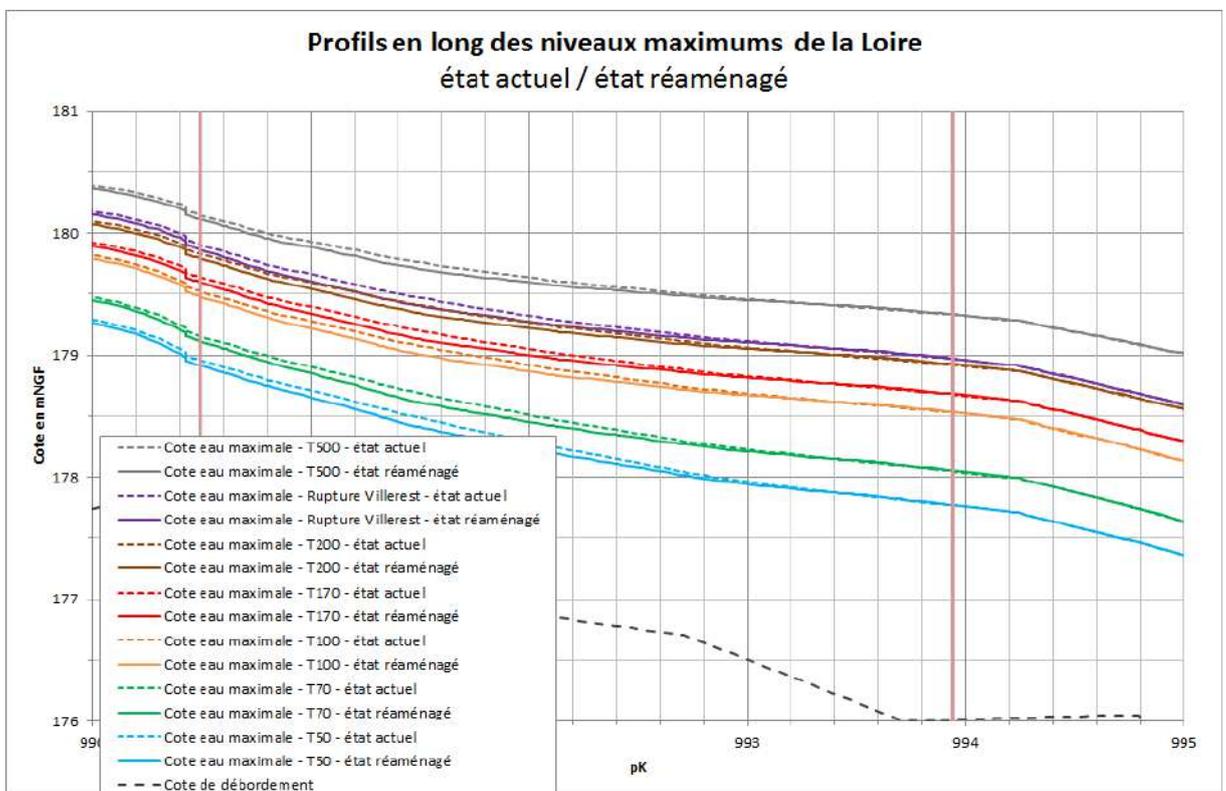


Figure 8-14 : Profil en long de la ligne d'eau en Loire en cas de rupture de Villerest

Malgré un débit de pointe à Decize supérieur à la crue 500ans pour le cas d'une rupture du barrage de Villerest, la ligne d'eau au droit de la carrière de Chevenon est similaire à celle calculée pour une crue 200ans du fait de l'écrêtement en ligne. La comparaison entre l'état actuel et l'état réaménagé montre que le projet n'induit pas de rehaussement significatif de la ligne d'eau (supérieur à 1cm).

D'autre part, l'analyse de l'évolution des niveaux d'eau dans les gravières et en Loire montre que les plans d'eau se remplissent suffisamment rapidement pour que l'écart de niveau avec la Loire au moment des 1ères surverses soit limité.

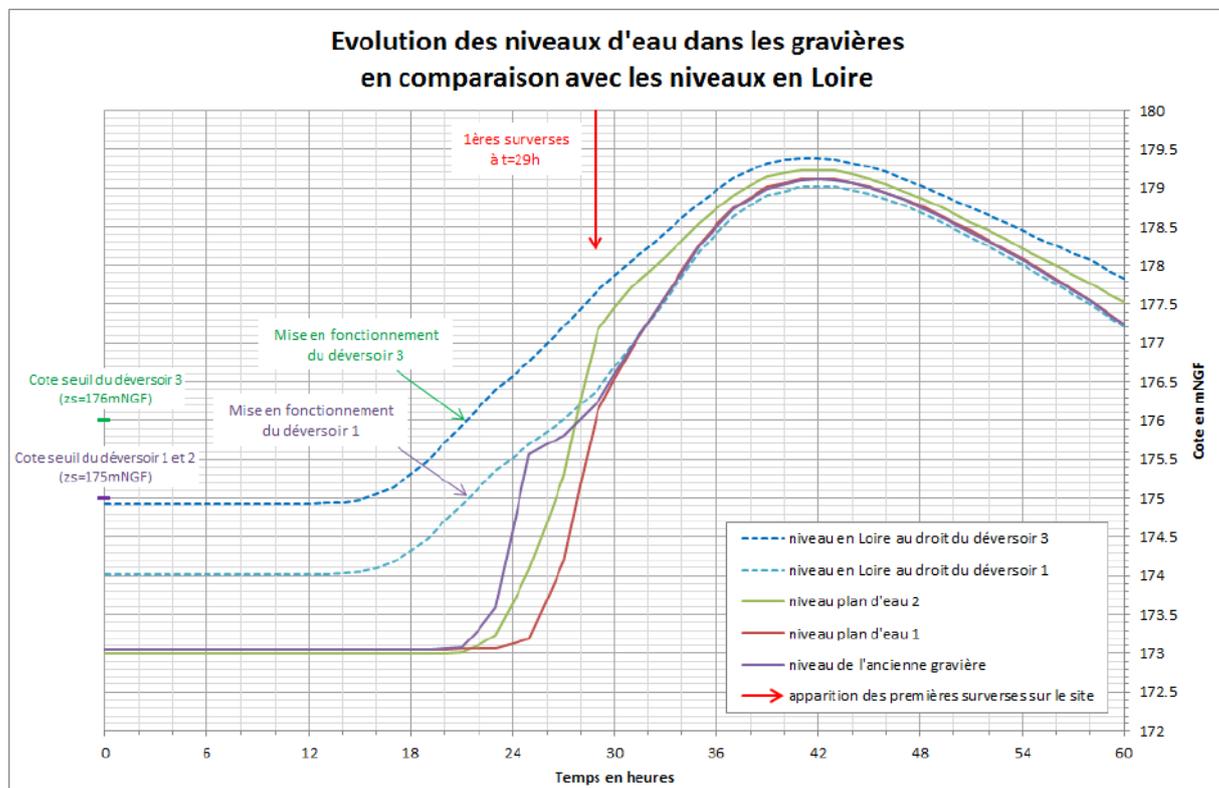


Figure 8-15 : Etude du risque de capture en cas de rupture du barrage de Villerest

Les ouvrages s'avèrent donc correctement dimensionnés pour éviter tout risque de capture, même pour une montée de crue rapide comme dans le cas d'une rupture du barrage de Villerest.

### 8.3.4 Analyse de l'onde de submersion sur front humide

La rupture sur front humide provoquerait une onde de submersion d'ampleur supérieure aux crues testées : plus de 2 fois le débit de pointe de la crue 500ans.

Le modèle hydraulique utilisé dans la présente étude n'a pas été construit pour la simulation d'un tel évènement.

Cependant, lors de l'arrivée des eaux sur le site, ce dernier sera déjà fortement inondé par les prémices de la crue de type 1846.

Il convient de rappeler que si le risque de rupture du barrage de Villerest existe, la probabilité qu'un tel évènement se produise est très faible.

### 8.3.5 Conclusion

La rupture sur front sec engendrerait au droit de la carrière de Chevenon une crue similaire à une crue 200 ans en termes de niveaux d'eau, mais avec une montée de crue plus rapide. Les impacts engendrés par le réaménagement de la gravière apparaissent négligeables, et le risque de capture évité.

La rupture sur front humide provoquerait une onde de submersion d'ampleur supérieure aux crues testées : plus de 2 fois le débit de pointe de la crue 500ans. Cependant, lors de l'arrivée des eaux sur le site, ce dernier sera déjà fortement inondé par les prémices de la crue de type 1846. Il convient néanmoins de rappeler que si le risque de rupture du barrage de Villerest existe, la probabilité qu'un tel évènement se produise est très faible.

## 9 ANALYSE DES IMPACTS HYDROGEOLOGIQUES

L'objectif de cette partie de l'étude est de mettre en évidence à partir du modèle hydrogéologique construit précédemment sous Modflow, les impacts du projet sur les niveaux piézométriques de la nappe alluviale.

### 9.1 IMPACTS PIEZOMETRIQUES

#### 9.1.1 En phase réaménagée

Le plan de l'état réaménagé est détaillé sur la Figure 9-1. Il comprend deux plans d'eau. Un drain permet le déversement de la Loire vers le plan d'eau 1 en cas de crue.

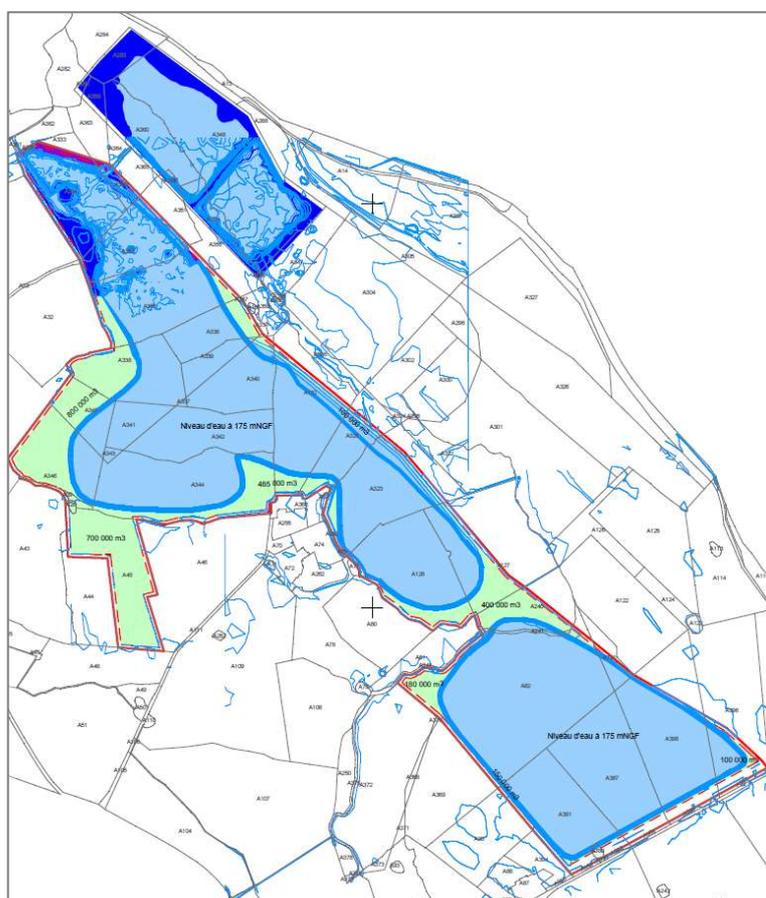


Figure 9-1 : Plan de réaménagement

Les plans d'eau ont été modélisés sous forme d'élément « lac » dans Visual Modflow et suivants deux scénarii :

- scénario 1 : le fond est colmaté ( $10^{-6}$  m/s) et les berges sont imperméables ( $10^{-5}$  m/s) ;
- scénario 2 : le fond est colmaté ( $10^{-6}$  m/s) et les berges sont poreuses ( $10^{-4}$  m/s).

Les résultats obtenus suivant les deux scénarii sont présentés ci-après.

Dans un premier temps, la piézométrie générale suivant le scénario modélisé est présentée.

Dans un second temps, une carte d'iso-impact est réalisée. Les courbes d'iso-impact de cette carte sont calculées en comparant l'état réaménagé final à l'état initial. Une valeur positive indique une hausse piézométrique tandis qu'une valeur négative indique une baisse piézométrique, induites par le projet.

### a) Scénario 1

La piézométrie obtenue au droit du projet, avec des berges considérées imperméables ( $10^{-5}$  m/s) est donnée en Figure 9-2.

La piézométrie générale, issue du modèle est analysée. Le sens d'écoulement général de la nappe n'est pas impacté par le projet car il est identique à celui de la situation initiale : écoulement du sud vers le nord, parallèlement à la Seine.

L'altitude de la nappe au droit des deux plans d'eau est comprise entre + 174.5 m NGF et + 175.3 m NGF.

La piézométrie se trouve localement perturbée par les plans d'eau.



Figure 9-2 : Piézométrie en phase réaménagée (scénario 1)

Les courbes d'iso-impact sont présentées dans la Figure 9-3.

Cette carte permet de déduire les observations suivantes :

- les plans d'eau sont très peu perméables ce qui induit un rabattement de la nappe en amont de son sens d'écoulement et une rehausse en aval ;
- au droit du plan d'eau 1 la rehausse piézométrique aval maximale est de + 15 cm tandis que la baisse piézométrique maximale amont est de - 30 cm ;

- au droit du plan d'eau 2 la baisse piézométrique amont maximale est de - 40 cm tandis que la rehausse piézométrique maximale avale est de + 5 cm.

D'après la Figure 9-3, les impacts sur les puits d'irrigation sont les suivants :

- Le pont de Pierre : rehausse inférieure à 5 cm ;
- Les Rondes : baisse de 10 cm ;
- Ouche Jaloux : baisse inférieure à 5 cm ;
- Les Chemineaux : baisse de 10 cm ;
- Pré Neuf : baisse de 5 cm ;
- La Colatre : baisse de 5 à 10 cm ;
- Pré Misty : baisse de 25 cm.

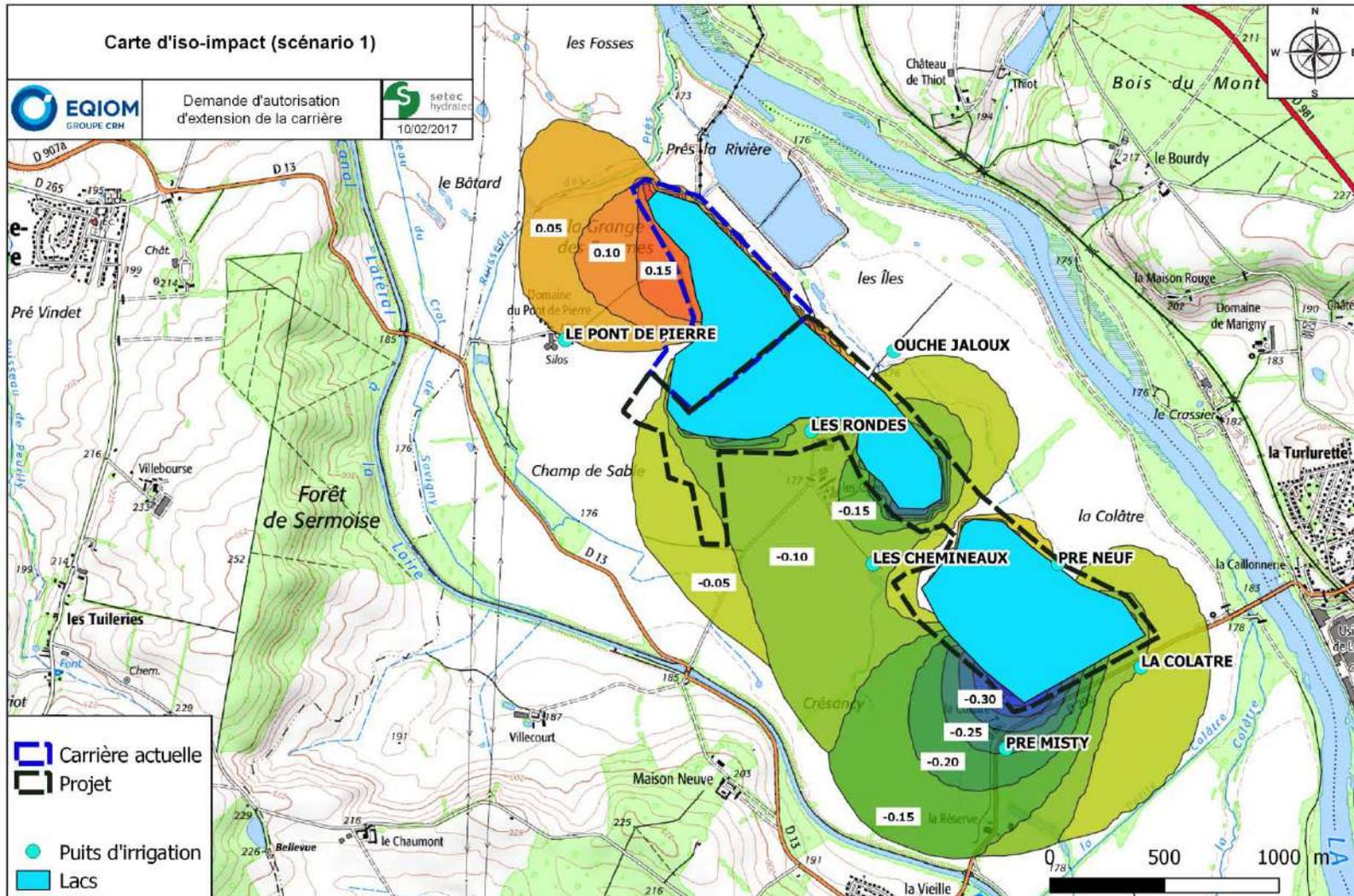


Figure 9-3 : Carte d'iso-impact avec les berges et le fond colmatés

La rehausse de la nappe n'est pas impactante car elle n'entraîne pas d'inondation par la nappe.

En justification, une carte représentant la profondeur de la nappe par rapport au terrain naturel est présentée sur la figure ci-dessous.

En phase aménagée, la nappe est à une profondeur comprise entre -0.55 et - 3.25 m par rapport au terrain naturel, au droit du projet. Ainsi, même avec le projet, la nappe n'affleure pas à la surface.

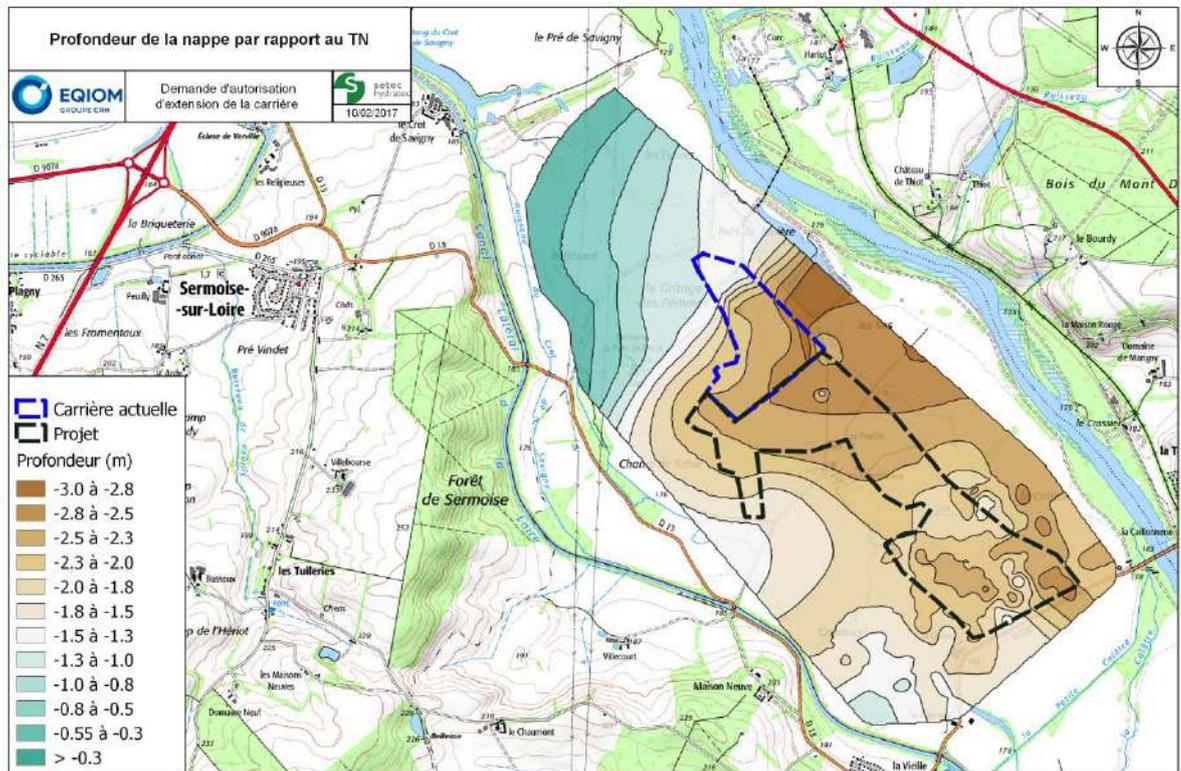


Figure 9-4 : Profondeur de la nappe par rapport au terrain naturel (phase aménagée)

La baisse des niveaux d'eau, est maximale au droit du puits nommé « Pré Misty » (d'une profondeur de 12 m) : environ - 30 cm.

Au droit du puits, la piézométrie est à + 175.4 m NGF en situation initiale. L'altitude du terrain naturel est à environ + 177 m NGF. La nappe est à 1.6 m du terrain naturel. La hauteur d'eau disponible dans le puits est d'environ 10.4 m. Une baisse de la piézométrie de 30 cm représente une baisse de 3% de la colonne d'eau utile.

Cet impact est donc peu significatif compte tenu :

- du marnage de la nappe qui est d'environ 1.70 m (battements trouvés au droit de PZ2 et PZ3) ;
- de l'importante colonne d'eau du puits (une dizaine de mètre),
- de la précision du modèle (environ +/- 20 cm d'après les résultats du calage piézométriques)

Un scénario avec une perméabilisation des berges vise à indiquer si cet impact peut être atténué.

## b) Scénario 2

La piézométrie obtenue au droit du projet avec des berges perméables ( $10^{-4}$ m/s) est donnée sur la carte ci-dessous.

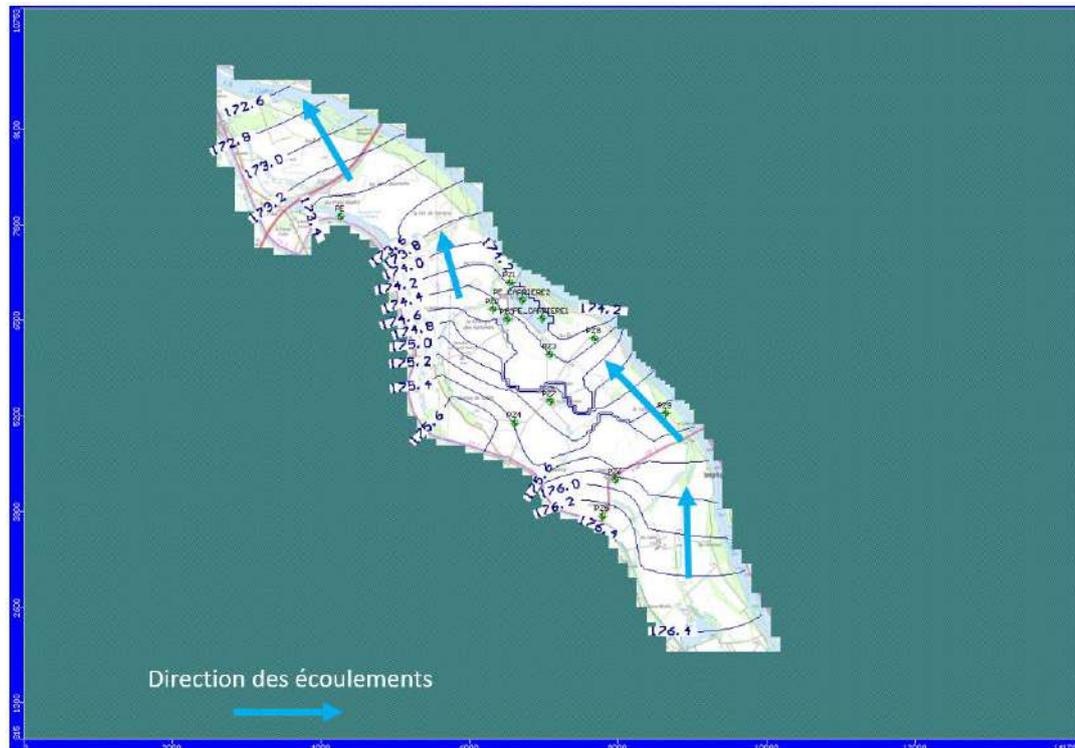


Figure 9-5 : Piézométrie en phase réaménagée (scénario 2)

Les courbes d'iso-impact sont présentées dans la Figure 9-6.

Cette carte permet de déduire les observations suivantes :

- les plans d'eau sont colmatés ce qui induit un rabattement de la nappe en amont et une rehausse en aval ;
- au droit du plan d'eau 1 la baisse piézométrique amont maximale est de - 25 cm tandis que la rehausse piézométrique maximale aval est de + 15 cm ;
- au droit du plan d'eau 2 la baisse piézométrique amont maximale est de - 60 cm tandis que la rehausse piézométrique maximale aval est de + 5 cm.

D'après la Figure 9-6, les impacts sur les puits d'irrigation sont les suivants :

- Le pont de Pierre : rehausse de 5 cm ;
- Les Rondes : rehausse de 15 cm ;
- Ouche Jaloux : baisse de 10 cm ;
- Les Chemineaux : rehausse de 10 cm ;
- Pré Neuf : rehausse de 15 à 20 cm ;
- La Colâtre : rehausse de 10 cm ;
- Pré Misty : rehausse inférieure à 5 cm.