



# *elements*

www.elements.green

SOLEIL ÉLÉMENTS 10

PROJET DE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTE DE CHEVENON

**ANNEXE 10 DE L'ÉTUDE D'IMPACT**

-

**ÉTUDE HYDRAULIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DE LA CARRIÈRE  
ÉQIOM**

Commune de Chevenon (58)

---

Rapport n°R2002304-EI-V2

Janvier 2021

**GEO+**  
Environnement



---

Demande d'autorisation pour un projet  
d'extension de la carrière sur la commune  
de Chevenon (58)

**Rapport d'étude hydraulique et  
hydrogéologique**

01640255 | mars 2017 | v3







Immeuble Central Seine  
42-52 quai de la Rapée  
75582 Paris Cedex 12  
Email : hydra@hydra.setec.fr  
T : 01 82 51 64 02  
F : 01 82 51 41 39

Directeur d'affaire : BST  
Responsable d'affaire : VGA  
N°affaire : 01640255  
Fichier :  
40255\_RAP\_Chevenon\_Eqiom\_Etude\_hydraul&hydroge  
ol\_v2.docx

Version	Date	Etabli par	Vérfié par	Nb pages	Observations / Visa
1	27/02/2017	VGA/ AAD	BST/ NVC	167	Première version
2	10/03/2017	VGA/ AAD	BST/ NVC	167	Prise en compte des remarques de M. Ligot (eqiom)
3	27/03/2017	VGA/ AAD	BST/ NVC	167	Prise en compte des remarques de M. Ligot (eqiom)



## TABLE DES MATIERES

1	CADRE ET OBJET DE L'ETUDE .....	13
1.1	Cadre de l'étude .....	13
1.2	Objet de l'étude.....	16
1.3	Historique de l'étude.....	16
2	CADRE REGLEMENTAIRE.....	17
2.1	PPRI.....	17
2.2	Plan Local d'Urbanisme.....	19
2.3	Schéma Départemental des Carrières .....	21
2.4	Conformité avec le SDAGE .....	21
2.5	Espace de mobilité de la Loire .....	23
2.5.1	Notions d'espace de mobilité .....	23
2.5.2	Contexte réglementaire.....	23
2.5.3	Etude Dreal Bourgogne.....	24
2.5.4	Détermination de l'espace de mobilité .....	24
2.5.5	Comparaison de l'emprise du projet avec l'espace de mobilité .....	27
2.6	Impacts cumulés.....	28
3	FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN SITUATION ACTUELLE .....	29
3.1	Présentation du site .....	29
3.2	Construction du modèle hydraulique de simulation .....	35
3.2.1	Présentation du logiciel HydraRiv .....	35
3.2.2	Présentation des modèles existants sur le secteur de Nevers.....	37
3.2.3	Modèle ADN2008 .....	38
3.2.4	Schématisation détaillée du secteur d'étude .....	40
3.2.5	Hydrologie .....	44
3.2.6	Calage du modèle hydraulique .....	48
3.3	Résultats de la modélisation.....	59
3.3.1	Profils en long de la ligne d'eau en Loire .....	59
3.3.2	Sollicitation hydraulique du site - hauteurs de submersion .....	61
3.3.3	Répartition des débits.....	67
4	ETUDE DE FAISABILITE HYDROGEOLOGIQUE.....	68
4.1	Données utilisées .....	68
4.2	Contexte géologique.....	68
4.2.1	Contexte géologique général .....	68
4.2.2	Contexte géologique local.....	72

4.3	Contexte hydrogéologique.....	75
4.3.1	Présentation des masses d'eau .....	75
4.3.2	Données piézométriques générales .....	76
4.3.3	Piézométrie de la nappe au droit du projet .....	79
4.3.4	Variations piézométriques.....	81
4.3.5	Qualité de la nappe alluviale .....	82
4.4	Contraintes au droit de l'exploitation .....	84
4.4.1	Usage de la ressource en eau souterraine .....	84
4.4.2	Infrastructures voisines .....	86
4.4.3	Zone de répartition des eaux (ZRE).....	86
5	MODELISATION HYDROGEOLOGIQUE .....	87
5.1	Méthodologie d'étude .....	87
5.1.1	Orientations méthodologiques .....	87
5.1.2	Outil de modélisation.....	87
5.2	Construction du modèle.....	88
5.2.1	Délimitation du bassin versant .....	88
5.2.2	Structure du modèle.....	89
5.3	Calage en régime permanent.....	90
5.3.1	Objectifs.....	90
5.3.2	Piézométrie de référence (situation initiale).....	90
5.3.3	Pompages d'exhaure .....	91
5.3.4	Perméabilités.....	91
5.4	Résultats du calage .....	93
6	PRESENTATION DU PROJET D'AMENAGEMENT.....	96
6.1	Implantation du projet .....	96
6.2	Durée d'exploitation du site .....	96
6.3	Méthode d'exploitation des terrains.....	97
6.4	Mode d'évacuation des matériaux.....	97
6.5	Remblais.....	98
6.6	Phasage de l'exploitation.....	98
6.7	Modalités de remise en état du site.....	99
7	FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN SITUATION FUTURE – SITE REAMENAGE ..	102
7.1	Description du phénomène de capture .....	102
7.2	Fonctionnement des gravières et des ouvrages .....	103
7.2.1	Analyse de la crue de décembre 2003 .....	103
7.2.2	Cas de crues supérieures à la crue de décembre 2003.....	109
7.2.3	Cas d'une montée de crue plus rapide .....	109

7.2.4	Cas d'un niveau d'eau plus bas dans les gravières .....	109
7.3	Evaluation des risques d'érosion des talus des plans d'eau .....	111
8	ANALYSE DES IMPACTS HYDRAULIQUES .....	114
8.1	Impacts sur les niveaux d'eau .....	114
8.2	Impacts sur les débits .....	119
8.3	Cas d'une rupture du barrage de Villerest .....	122
8.3.1	Présentation du barrage de Villerest.....	122
8.3.2	Etudes antérieures sur l'onde de submersion en cas de rupture.....	123
8.3.3	Simulation de l'onde de submersion sur front sec et analyse des impacts.....	124
8.3.4	Analyse de l'onde de submersion sur front humide.....	126
8.3.5	Conclusion.....	127
9	ANALYSE DES IMPACTS HYDROGEOLOGIQUES.....	128
9.1	Impacts piézométriques.....	128
9.1.1	En phase réaménagée.....	128
9.1.2	En phase d'exploitation .....	135
9.2	Impacts sur la qualité de la nappe.....	136
9.2.1	En phase exploitation – Modélisation hydrodispersive .....	136
9.2.2	En phase aménagée .....	141
9.3	Impacts cumulés.....	141
10	MESURES D'EVITEMENT, DE REDUCTION, DE COMPENSATION ET D'ACCOMPAGNEMENT ET DISPOSITIFS DE CONTROLE ET MESURES COMPENSATOIRES .....	142
10.1	En phase exploitation .....	142
10.1.1	Aspect hydraulique.....	142
10.1.2	Aspect hydrogéologique.....	142
10.2	En phase aménagée .....	144
10.2.1	Aspect hydraulique.....	144
10.2.2	Aspect hydrogéologique.....	144
11	CONCLUSION .....	145
11.1	Le projet.....	145
11.2	Les impacts du projet .....	146



## **ANNEXES**

Annexe 1 Déroulement de la crue de décembre 2003 – état actuel

Annexe 2 Plans de phasage de l'exploitation

Annexe 3 Coupes du projet

Annexe 4 Fréquence de fonctionnement des déversoirs projetés

Annexe 5 Analyse des sollicitations des bordures des plans d'eau

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1-1: Plan de situation du projet	13
Figure 1-2 : Plan de réaménagement de la carrière	14
Figure 1-3 : Phasage quinquennal de l'exploitation	15
Figure 2-1 : Carte réglementaire du PPRi	18
Figure 2-2 : Extrait du Plan Local d'Urbanisme de la commune de Chevenon (partie nord)	20
Figure 2-3 : Carte des critères géomorphologiques et des enjeux (source Dreal Bourgogne 2014)	25
Figure 2-4 : Espace de mobilité fonctionnel de la Loire (source Dreal Bourgogne 2014)	26
Figure 2-5 : Comparaison de l'emprise du projet avec l'espace de mobilité	27
Figure 3-1 : Localisation des photographies prises par hydratec lors de ces visites de terrain	29
Figure 3-2 : Photographies du ruisseau des Prés - hydratec	30
Figure 3-3 : Photographies de la Loire - hydratec	30
Figure 3-4 : Liaison ruisseau des Prés – gravière actuelle (fossé Lr3)	31
Figure 3-5 : Liaison ruisseau des Prés – ancienne gravière (fossé Lr1)	32
Figure 3-6 : Liaison ruisseau des Prés – ancienne gravière (2Ø 1500mm sur Lr1)	32
Figure 3-7 : Liaison gravière actuelle – ancienne gravière (fossé L13)	33
Figure 3-8 : Liaison gravière actuelle – ancienne gravière (2Ø 1500mm sur L13)	33
Figure 3-9 : Liaison gravière actuelle – ancienne gravière (2Ø1500mm sur L13)	34
Figure 3-10 : Liaison entre les 2 plans d'eau de l'ancienne gravière (déversoir L12)	34
Figure 3-11 : Schémas de modélisation d'HydraRiv	36
Figure 3-12 : Architecture du modèle ADN2008	39
Figure 3-13 : Levés de points du géomètre sur le secteur d'étude	40
Figure 3-14 : Topographie du secteur d'étude	41
Figure 3-15 : Structure du modèle sur le secteur d'étude	43
Figure 3-16 : Représentation des crues océaniques et cévenoles	44
Figure 3-17 : Hydrogrammes de la Loire injectés en tête du modèle à Decize	47
Figure 3-18 : Hydrogrammes de l'Allier injectés en tête du modèle à Moulins	47
Figure 3-19 : Hydrogrammes injectés en tête du modèle pour la crue de décembre 2003	49
Figure 3-20 : Hydrogrammes des affluents pour la crue de décembre 2003	49
Figure 3-21 : Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes aux stations de mesures sur la Loire pour la crue de décembre 2003	51
Figure 3-22 : Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes aux stations de mesures sur l'Allier pour la crue de décembre 2003	52
Figure 3-23 : Profils en long de la Loire pour la crue de décembre 2003	57

Figure 3-24 : Profils en long de la ligne d'eau maximale en Loire pour les crues étudiées en situation actuelle	60
Figure 3-25 : Position des traits de coupe	61
Figure 3-26 : Sollicitation hydraulique du site en situation actuelle	62
Figure 3-27 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue de dec 2003	63
Figure 3-28 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T50ans	64
Figure 3-29 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T70ans	64
Figure 3-30 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T100ans	65
Figure 3-31 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T170ans	65
Figure 3-32 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T200ans	66
Figure 3-33 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T500ans	66
Figure 3-34 : Répartition des débits à l'amont et à l'aval du site dans l'état actuel pour les 5 crues étudiées	67
Figure 4-1 : Extraits des cartes géologiques au 1/50000 de Sancoins (n°548) et Decize (n°549) et emplacement de la coupe géologique	71
Figure 4-2 : Coupe hydrogéologique schématique	71
Figure 4-3 : Localisation des sondages	72
Figure 4-4 : Carte du toit des alluvions en m NGF	73
Figure 4-5 : Epaisseur du gisement (en m)	74
Figure 4-6 - Carte des masses d'eaux souterraines dans notre secteur d'étude	75
Figure 4-7 : Courbes statistiques du piézomètre 05765X0013/S	76
Figure 4-8 - Comparaison des niveaux d'eau entre l'année 2013 et la médiane	78
Figure 4-9 : Carte piézométrique de basses eaux 2013 interprétée	80
Figure 4-10 - Localisation des piézomètres Eqiom	81
Figure 4-11 - Chronique piézométrique des PZ2 et PZ3	82
Figure 4-12 : Captage AEP à proximité du projet	84
Figure 4-13 : Localisation des prélèvements pour l'irrigation	85
Figure 4-14 - Ouvrages linéaires au droit du projet	86
Figure 5-1 : Délimitation du bassin versant du modèle	88
Figure 5-2 : Maillage du modèle	89
Figure 5-3 : Localisation des points d'observation sur le modèle	91
Figure 5-4 : perméabilités du modèle	91
Figure 5-5 : Perméabilités de la couche 1	92
Figure 5-6 : Perméabilités de la couche 2	92
Figure 5-7 : Perméabilités de la couche 3	93
Figure 5-8 : Résultats calage du modèle	94
Figure 5-9 : Piézométrie de calage calculée par le modèle	95
Figure 6-1 : Implantation du projet en dehors de l'espace de mobilité de la Loire	96

Figure 6-2 : Localisation et volumes des remblais	98
Figure 6-3 : Localisation des ouvrages projetés dans le cadre du réaménagement	100
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)	102
Figure 7-2 : Fonctionnement des ouvrages projetés	105
Figure 7-3 : Evolution des niveaux d'eau dans les différentes gravières en comparaison avec les niveaux en Loire	107
Figure 7-4 : Etude du risque de capture dans le cas d'un niveau d'eau plus bas dans les gravières	110
Figure 7-5 : Schéma de principe des sollicitations en bordure des plans d'eau	111
Figure 7-6 : Localisation des tronçons pour lesquels des pentes douces sont préconisées	113
Figure 8-1 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums - dec 2003	114
Figure 8-2 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T50ans	115
Figure 8-3 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T70ans	115
Figure 8-4 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T100ans	116
Figure 8-5 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T170ans	116
Figure 8-6 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T200ans	117
Figure 8-7 : Impacts sur les niveaux d'eau maximums – T500ans	117
Figure 8-8 : Répartition des débits à l'amont et à l'aval du site dans l'état réaménagé pour les 7 crues étudiées	119
Figure 8-9 : Hydrogrammes en Loire pour T100ans – état actuel et réaménagé	120
<i>Figure 8-10 : Positionnement des nœuds dans le modèle HydraRiv</i>	121
Figure 8-11 : Localisation du barrage de Villerest	122
Figure 8-12 : Propagation de l'hydrogramme de rupture du barrage de Villerest	124
Figure 8-13 : Hydrogrammes à Decize	125
Figure 8-14 : Profil en long de la ligne d'eau en Loire en cas de rupture de Villerest	125
Figure 8-15 : Etude du risque de capture en cas de rupture du barrage de Villerest	126
Figure 9-1 : Plan de réaménagement	128
Figure 9-2 : Piézométrie en phase réaménagée (scénario 1)	129
Figure 9-3 : Carte d'iso-impact avec les berges et le fond colmatés	131
Figure 9-4 : Profondeur de la nappe par rapport au terrain naturel (phase aménagée)	132
Figure 9-5 : Piézométrie en phase réaménagée (scénario 2)	133
<i>Figure 9-6 : Carte d'iso-impact avec le fond colmaté et les berges poreuses</i>	134
Figure 9-7 : Évolution du panache de pollution 1 an après la pollution	137
Figure 9-8 : Évolution de la concentration en polluant sur le puits de PRENEUF (1an)	138
Figure 9-9 : Évolution du panache de pollution 5 ans après la pollution	138
Figure 9-10 : Evolution de la concentration en polluant sur le puits d'irrigation (5 ans)	139
Figure 9-11 : Évolution du panache de pollution 10 ans après la pollution	140

Figure 9-12 : Évolution de la concentration en polluant sur le puits d'irrigation (10 ans) 140

Tableau 3-1 : Paramètres des liaisons de type fossé/seuil en situation actuelle	42
Tableau 3-2 : Paramètres des liaisons de type buse/orifice en situation actuelle	42
Tableau 3-3 : Débits de la Loire à Nevers et au Bec d'Allier pour les crues de projet	46
Tableau 3-4 : Présentation de la crue de calage	48
Tableau 3-5 : Comparaison des débits maximums aux stations de mesures pour la crue de décembre 2003	53
Tableau 3-6 : Comparaison des cotes maximums aux stations de mesures pour la crue de décembre 2003	54
Tableau 3-7 : Comparaison des cotes calculées par le modèle aux cotes des repères de crue pour la crue de décembre 2003 – sur la Loire	55
Tableau 3-8 : Comparaison des cotes calculées par le modèle aux cotes des repères de crue pour la crue de décembre 2003 – sur l'Allier	56
Tableau 3-9 : Comparaison des coefficients de Strickler avant et après calage sur le secteur étudié	58
Tableau 3-10 : Coefficients de Strickler utilisés lors du calage du modèle ADN2008	58
Tableau 4-1 : Codes couleurs de l'indicateur BSH	77
Tableau 4-2: Indicateur BSH pour le mois de novembre 2013	77
Tableau 4-3 : Résultats des analyses d'eau de nappe (avril 2014)	83
Tableau 4-4 : Volumes de 2012 prélevés par les captages agricoles	85
Tableau 5-1 : Cotes d'eau calculées par le modèle	94
Tableau 6-1 : Paramètres des liaisons existantes de type fossé/seuil en situation réaménagée	99
Tableau 6-2 : Paramètres des liaisons existantes de type buse/orifice en situation réaménagée	99
Tableau 6-3 : Paramètres des déversoirs projetés en situation réaménagée	101
Tableau 6-4 : Paramètres des chenaux projetés en situation réaménagée	101
Tableau 7-1 : Temps t de mise en fonctionnement des ouvrages	105
Tableau 7-2 : Temps t des premières surverses	106
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	108
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	108
Tableau 8-1 : Ecart min et max entre les niveaux d'eau de l'état actuel et réaménagé	118
Tableau 9-1: Caractéristiques physico-chimiques du gasoil non routier	136
Tableau 9-2 : Paramètres du modèle hydrodispersif	137

# 1 CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

## 1.1 CADRE DE L'ETUDE

La société Eqiom exploite une carrière de sables et graviers sur la commune de Chevenon (département de la Nièvre), dans la vallée de la Loire, (dernier AP 23/03/2006) au lieu-dit « Les Rondes ».

Elle souhaite étendre son autorisation d'exploiter sur des terrains situés au sud-est de la carrière actuelle, en zone inondable par la Loire en cas de crue forte, classée dans le Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la commune de Chevenon en aléa fort.

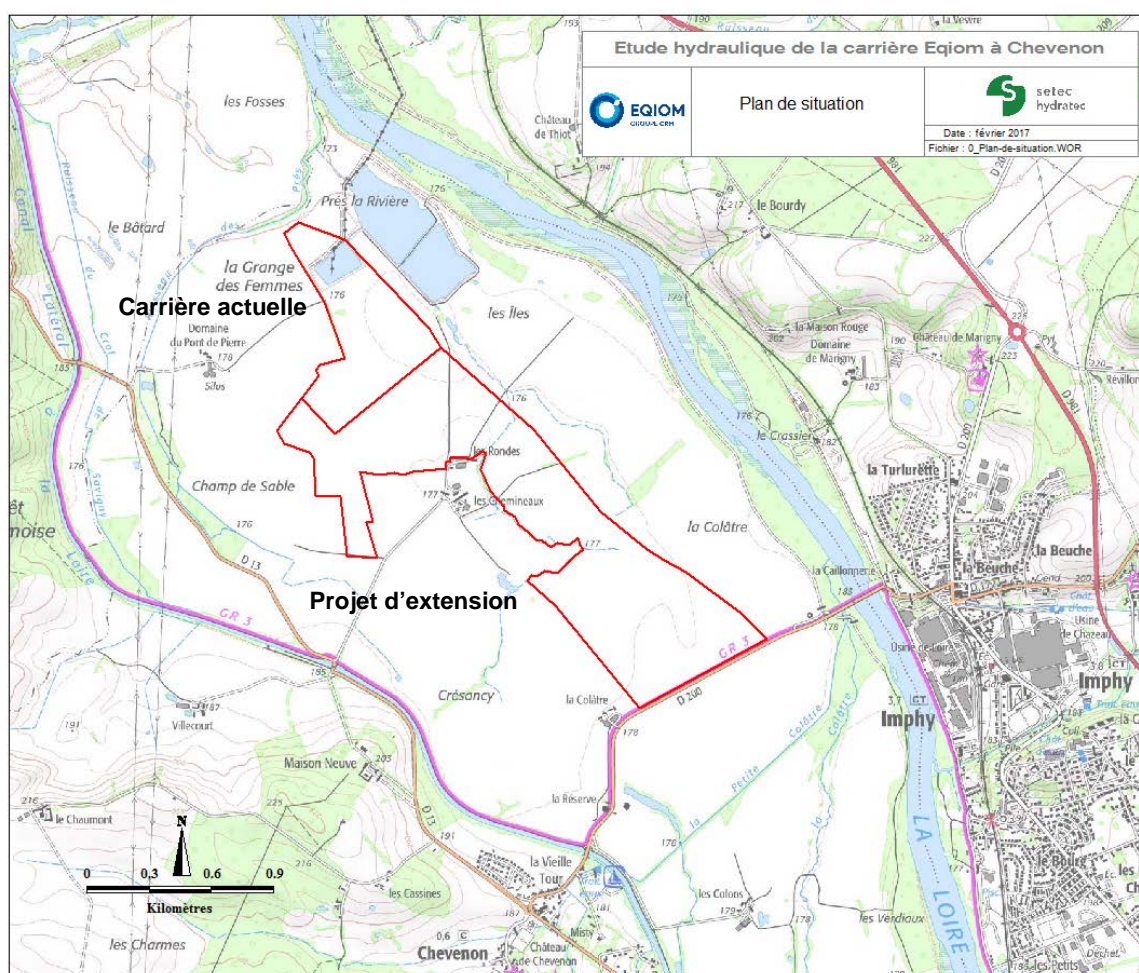


Figure 1-1: Plan de situation du projet

La nouvelle carrière sera localisée sur une zone dont la superficie est d'environ 116 hectares.

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 des plans d'eau.

Le réaménagement envisagé est la création de deux plans d'eau :

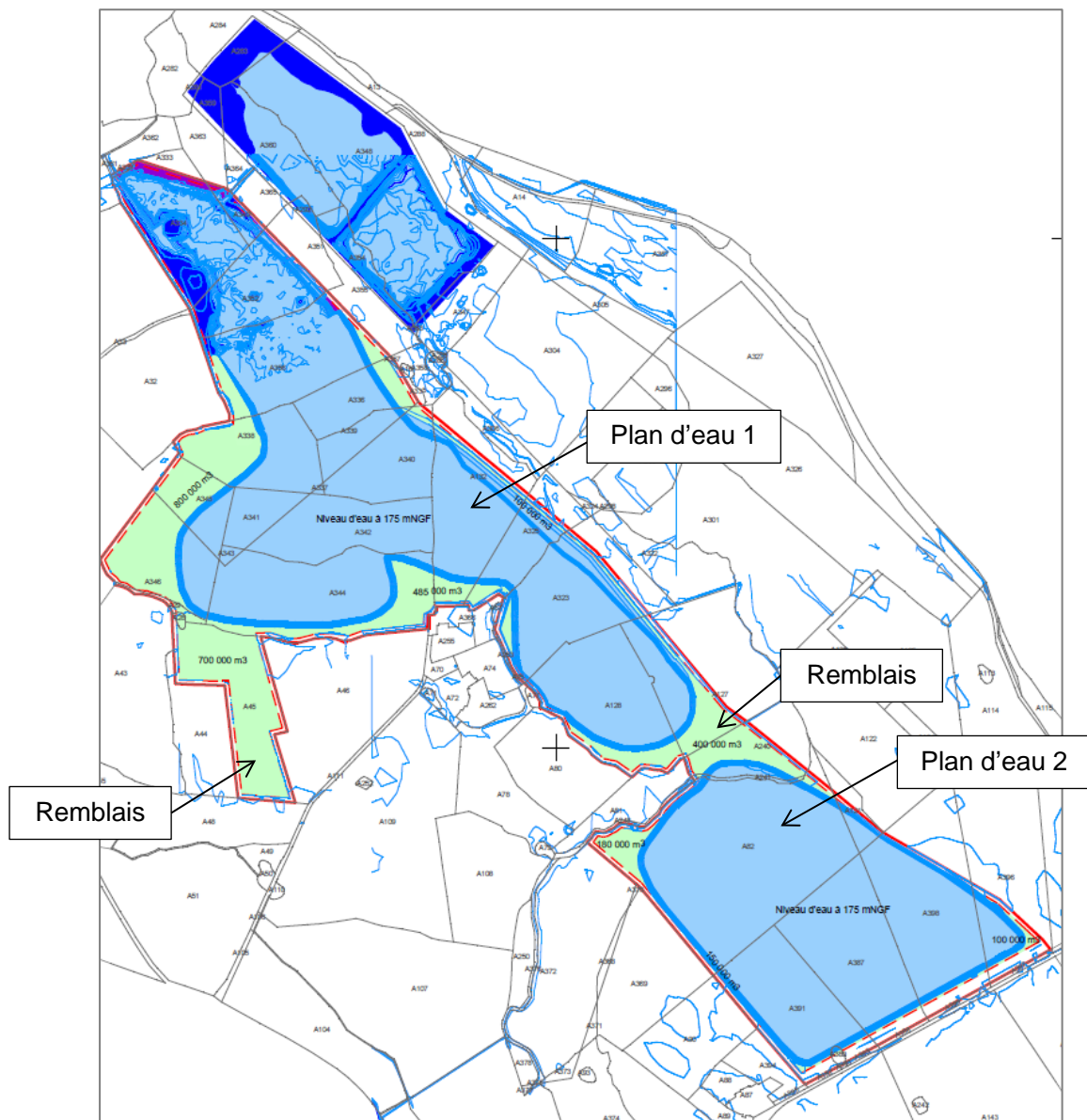


Figure 1-2 : Plan de réaménagement de la carrière

Les niveaux significatifs sur le site sont les suivants :

- Le terrain naturel est aux alentours des cotes 176-178 m NGF.
- Les PHEC sur le site sont comprises entre les cotes 180.50 et 179.50 m NGF.
- Le niveau de la nappe quant à elle varie entre 172 et 176 m NGF.

L'exploitation s'effectuera sur 30 ans, en 6 phases dont la progression est donnée sur la carte suivante :

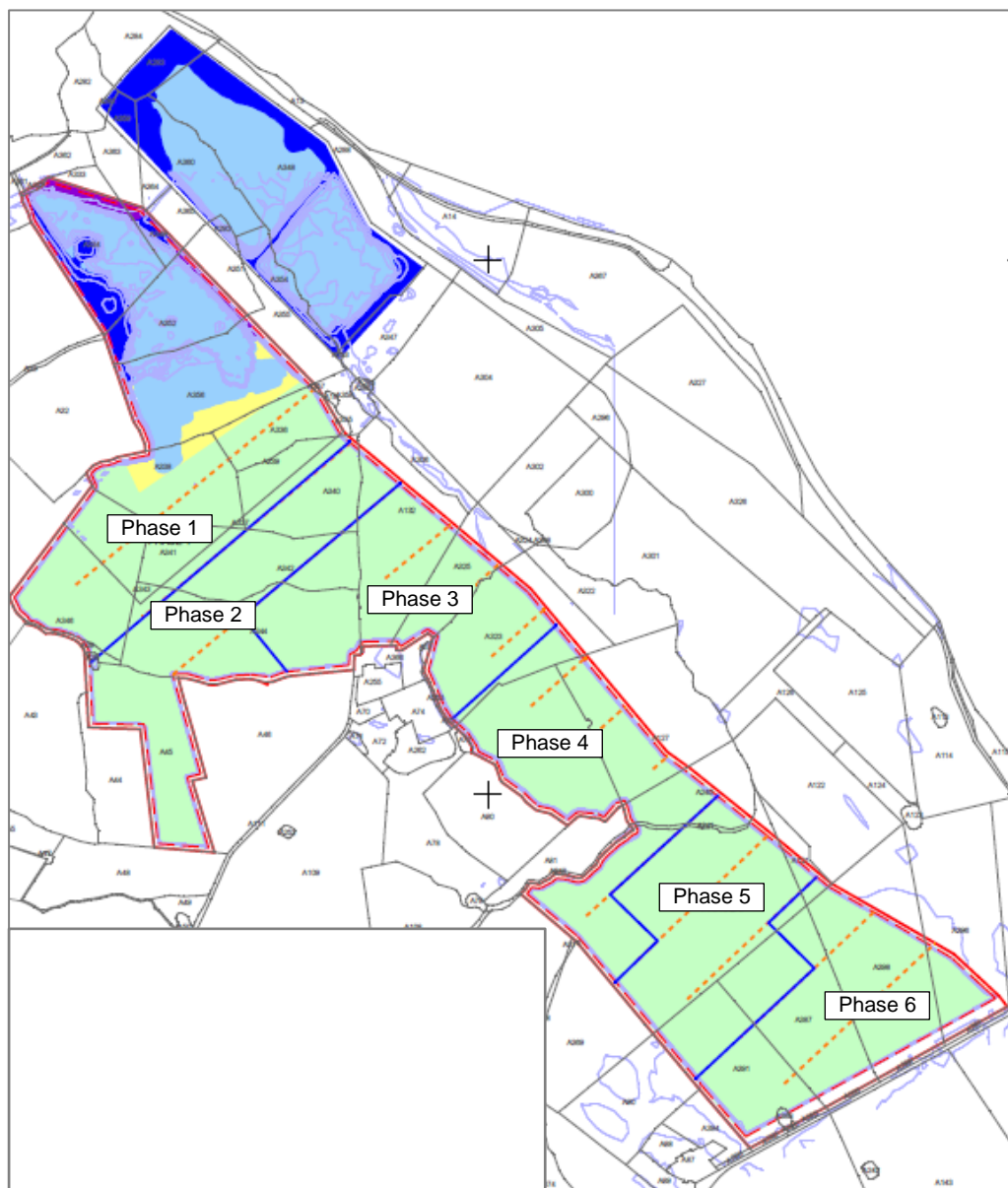


Figure 1-3 : Phasage quinquennal de l'exploitation



## 1.2 OBJET DE L'ETUDE

La société Eqiom a missionné hydratec afin de réaliser l'étude hydraulique et hydrogéologique de ce projet en phase exploitation et après réaménagement.

D'un point de vue hydraulique, les questions portent sur :

- la transparence des écoulements en cas de crue de la Loire
- les éventuels problèmes d'érosion des berges et de capture de la Loire par la gravière

Les questions relevant de l'hydrogéologie portent sur :

- l'impact de la gravière sur la nappe
- les éventuels problèmes liés à une pollution accidentelle

Les objectifs de l'étude sont donc les suivants :

- caractériser l'état initial du site (contexte hydraulique et hydrogéologique),
- analyser les impacts hydrauliques et hydrogéologiques du projet en cours d'exploitation et après réaménagement final,
- définir des mesures compensatoires qui permettraient d'intégrer, au mieux, le projet dans son environnement,
- analyser des impacts cumulés avec les carrières en cours d'exploitation.

Afin de réaliser la présente étude, les outils mis en œuvre sont les suivants :

- une modélisation hydraulique des écoulements de la Loire en crue à l'aide du logiciel HydraRiv développé et commercialisé par hydratec,
- une modélisation hydrogéologique des écoulements souterrains à l'aide du logiciel Visual Modflow de Schlumberger.

## 1.3 HISTORIQUE DE L'ETUDE

En 2014-2015, hydratec a réalisé l'étude hydraulique et hydrogéologique de ce projet sur un périmètre de 140 ha. Le dossier a été déposé en mars 2015 auprès des services de l'Etat.

Suite aux remarques de la préfecture de la Nièvre, courrier daté du 24 juillet 2015, le périmètre de la nouvelle carrière a été modifié et réduit à 116 ha.

La présente étude reprend l'analyse menée au cours de l'étude précédente sur le nouveau périmètre de carrière, et répond également aux attentes de l'administration en intégrant notamment les éléments suivants :

- Etude pour les crues de période de retour supérieure à 170 ans
- Etude du risque de capture, avec un niveau plus bas dans les étangs, et avec une montée de crue plus rapide
- Etude de l'impact en cas de rupture du barrage de Villerest
- Etude d'impact d'une pollution accidentelle sur les puits des fermes à l'aide d'un modèle hydrodispersif

## 2 CADRE REGLEMENTAIRE

### 2.1 PPRI

Le Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) pour le secteur compris entre Nevers et St-Léger-des-Vignes a été approuvé par arrêté préfectoral le 5 mars 2003 et modifié en date du 29 septembre 2014.

Les zones inondables ont été définies à partir de l'étude des crues historiques, la crue de référence étant celle de juin 1856.

Les PHEC sur le site sont comprises entre 180.50 et 179.50 m NGF.

Le secteur envisagé pour l'implantation de l'extension est situé en **zone d'aléa fort** (couleur mauve clair) :

- la profondeur de submersion possible est supérieure à 2 mètres, avec une vitesse de courant nulle à faible
- la profondeur de submersion possible est comprise entre 1 et 2 mètres, avec une vitesse de courant moyenne à forte
- une bande de 300 mètres derrière les digues est également classée en aléa fort, compte tenu du risque non nul de rupture aléatoire

Plus précisément, le projet se situe en zone A3 :

La zone A3 est à préserver de toute urbanisation nouvelle. Elle correspond aux zones inondables non urbanisées ou peu urbanisées et peu aménagées, où la crue peut stocker un volume d'eau important et s'écouler en dissipant son énergie.

Elle comprend, en outre, l'ensemble des zones d'aléa très fort, quel que soit leur degré d'urbanisation ou d'équipement.

Dans cette zone, il s'agit d'une part de ne pas aggraver les risques ou de ne pas en provoquer de nouveaux, d'assurer ainsi la sécurité des personnes et des biens et, d'autre part, de permettre l'expansion de la crue.

Les objectifs sont donc :

- la limitation des implantations humaines permanentes
- la limitation des biens exposés
- la préservation des champs d'inondation
- la conservation des capacités d'écoulement des crues

**PLAN DE PRÉVENTION DU RISQUE INONDATION**

**SECTEUR COMPRIS ENTRE NEVERS ET SAINT-LÉGER DES-VIGNES**



Echelle: 1/5000  
Février 2003

**PLAN DE ZONAGE**  
Planche Nord Chevenon  
PPR approuvé par arrêté préfectoral en date du 5 mars 2003

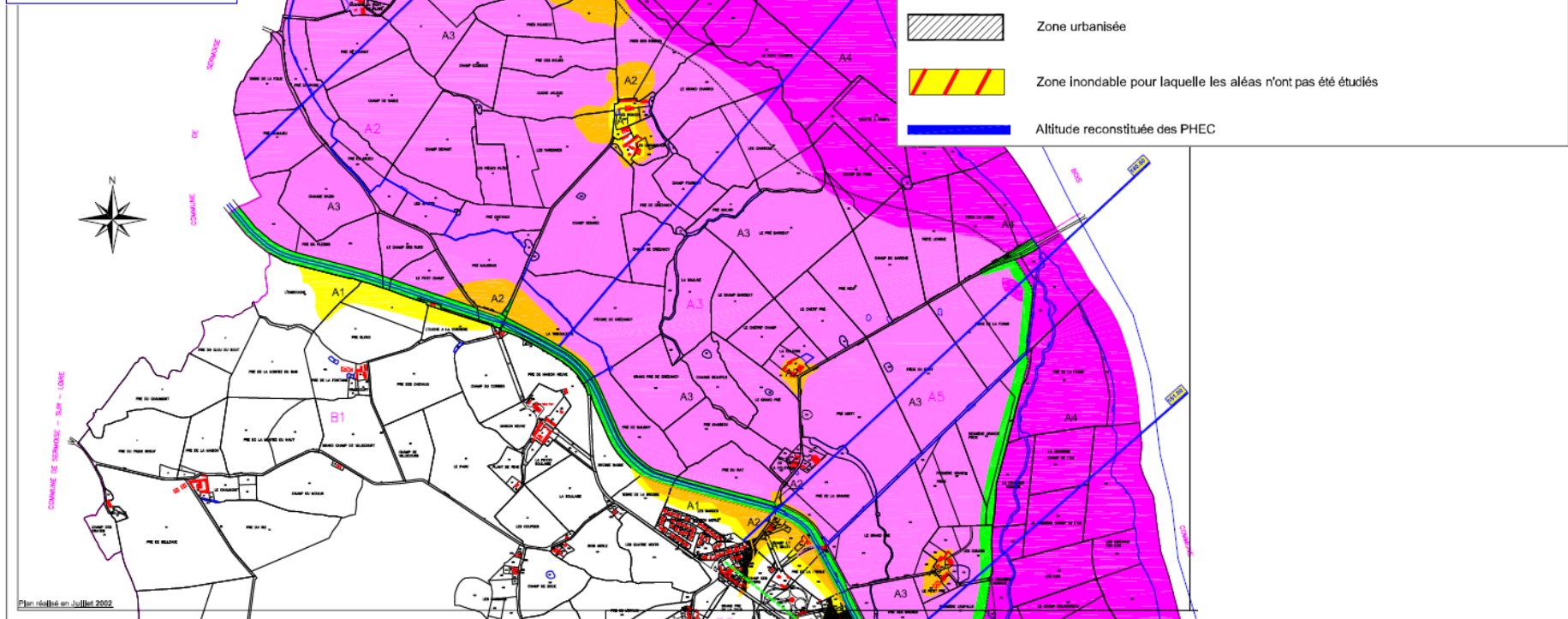


Figure 2-1 : Carte réglementaire du PPR

Voici les extraits du règlement du PPRi de la Loire relatifs au projet d'extension de carrière en zone A3 :

### **ARTICLE A3-1 : MESURES D'INTERDICTION**

Tous les travaux, constructions, ouvrages, installations, exploitations des terrains sont interdits, à l'exception de ceux admis aux articles A3-2 et A3-3 ci-dessous, et notamment :

- toute construction nouvelle, toute extension et tout changement de destination d'une construction existante en habitation,
- les sous-sols et les remblais,

...

### **ARTICLE A3-3 : PROJETS ADMIS ET PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES**

#### **A3-3-1 : Constructions et installations**

a) Les constructions et installations nouvelles admises ci-dessous doivent être aptes à résister structurellement aux remontées de nappe et à une inondation dont le niveau serait égal aux plus hautes eaux connues.

...

o) L'extraction sur l'emprise des carrières existantes et, en dehors des zones de divagation du fleuve définies sur les plans ci-joints, les nouvelles carrières et l'extension des carrières existantes, dans le respect du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, ainsi que les constructions qui leur sont indispensables (station de criblage, bascule, bureau du gardien, etc...).

Les stocks de matériaux de carrières et les cordons provisoires de terres de découverte doivent être implantés de manière à ne pas gêner l'écoulement des eaux et leur emprise ne doit pas dépasser 50 % de la surface du terrain.

## **2.2 PLAN LOCAL D'URBANISME**

La commune de Chevenon est dotée d'un Plan Local d'Urbanisme, qui est en cours de révision et en concertation depuis septembre 2012.

Les terrains du projet sont situés dans les sections Ni1C :

- Ni1 correspond à une zone naturelle à protéger en raison du site ou du paysage et soumise aux risques d'inondation forts ou très forts.
- Ni1C correspond au secteur de la zone Ni1 potentiellement graviérable.

Le projet est compatible avec le plan.

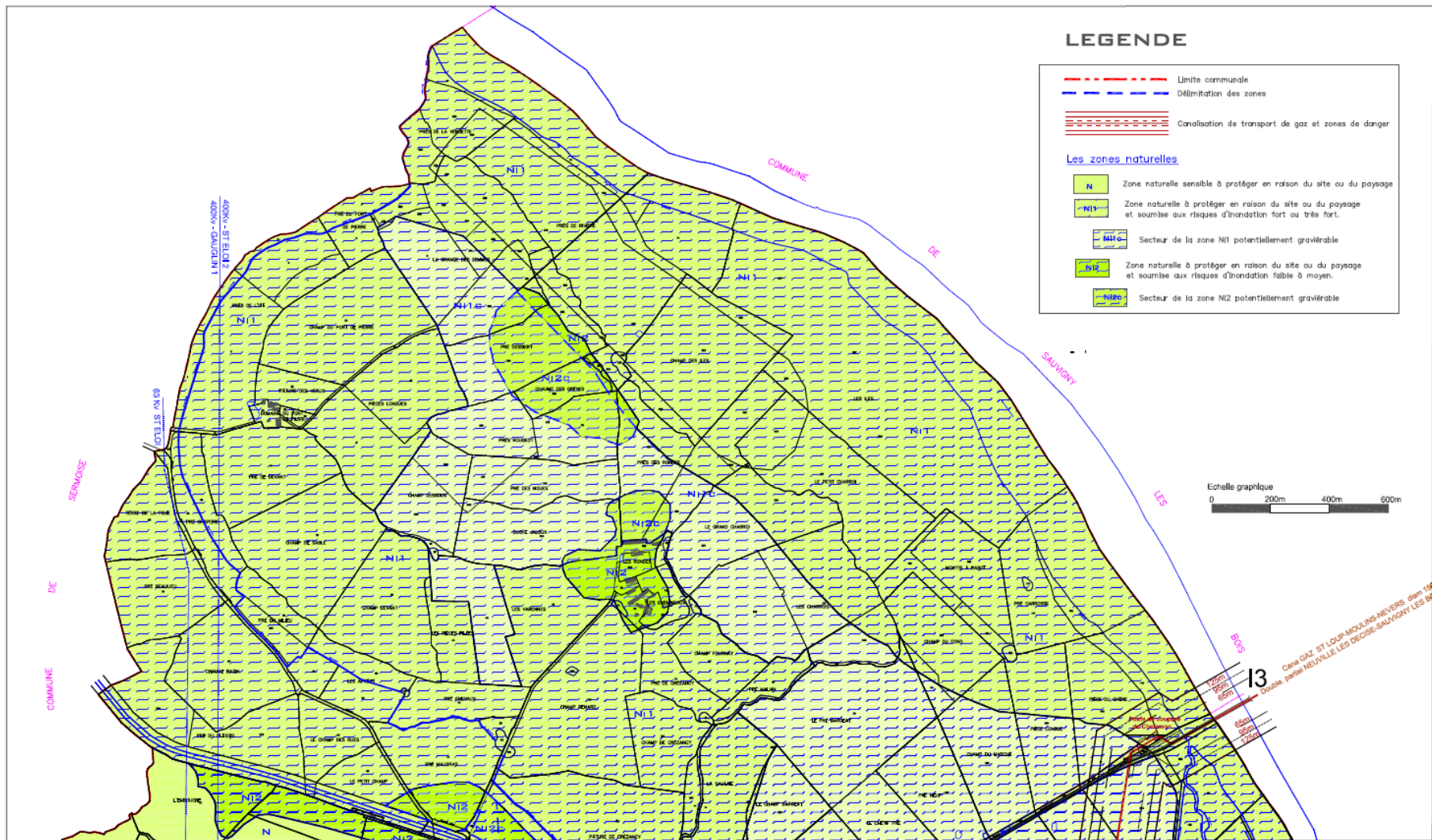


Figure 2-2 : Extrait du Plan Local d'Urbanisme de la commune de Chevenon (partie nord)

## 2.3 SCHEMA DEPARTEMENTAL DES CARRIERES

L'obligation du schéma départemental des carrières a été introduite par la loi n° 93-3 du 4 janvier 1993 qui fixe les grands objectifs :

“Le schéma départemental des carrières définit les conditions générales d’implantation des carrières dans le département. Il prend en compte l’intérêt économique national, les ressources et les besoins en matériaux du département et des départements voisins, la protection des paysages, des sites et des milieux naturels sensibles, la nécessité d’une gestion équilibrée de l’espace, tout en favorisant une utilisation économe des matières premières. Il fixe les objectifs à atteindre en matière de remise en état et de réaménagement des sites (...) Les autorisations d’exploitations de carrières délivrées au titre de la présente loi doivent être compatibles avec le schéma.”

Le nouveau schéma départemental des carrières de la Nièvre (SDC 58) a été approuvé le 21 décembre 2015.

## 2.4 CONFORMITE AVEC LE SDAGE

Institué par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, le SDAGE établit les orientations de la gestion de l'eau. Il a pour rôle de définir des orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de l'eau et des milieux aquatiques. Il s'agit d'un document de planification opposable aux tiers et s'imposant aux Schémas Départementaux des Carrières qui doivent être mis en compatibilité.

Le SDAGE 2016-2021 du bassin Loire-Bretagne a été approuvé le 18 novembre 2015. Un programme de mesures a été défini, dans la continuité du précédent SDAGE (2010-2015). Elles portent sur les sujets suivants :

- Assainissement des collectivités (qualité de l'eau)
- Agir sur les pollutions diffuses issues de l'agriculture (qualité de l'eau)
- Assainissement des industries (qualité de l'eau)
- Améliorer les milieux aquatiques (milieux aquatiques)
- Réduire les pressions sur la ressource (quantité d'eau)

Les mesures relatives à l'exploitation de carrière sont les suivantes :

### Assainissement des industries

Code du référentiel Osmose	Intitulé long du type d'action (référentiel Osmose)	Descriptif du type d'action (cf. glossaire du référentiel Osmose)	Regroupements proposés dans les graphiques et tableaux de synthèse
IND0601	Mettre en place des mesures visant à réduire les pollutions des «sites et sols pollués» (essentiellement liées aux sites industriels)	Cette action porte sur les sites en activité ou arrêtés (dont les sites orphelins) tels que les exploitations minières, les terrils, les centres de stockage, les carrières, les anciens entrepôts industriels, etc. Elle consiste à mettre en place des mesures visant à réduire les pollutions associées à ces sites.	IND06 Mesures de réduction des pollutions des «sites et sols pollués»

## Préserver et restaurer les milieux aquatiques

Code du référentiel Osmose	Intitulé long du type d'action (référentiel Osmose)	Descriptif du type d'action (cf. glossaire du référentiel Osmose)	Regroupements proposés dans les graphiques et tableaux de synthèse
MIA0401	Réduire l'impact d'un plan d'eau ou d'une carrière sur les eaux superficielles ou souterraines	Cette action consiste à intervenir sur un plan d'eau ou une carrière ayant un impact négatif sur l'état d'une eau superficielle ou souterraine. Elle inclut les travaux ainsi que les études et l'éventuel suivi réglementaire associés.	MIA04 Mesures de gestion des plans d'eau
MIA0402	Mettre en oeuvre des opérations d'entretien ou de restauration écologique d'un plan d'eau	Cette action consiste à restaurer un plan d'eau dont l'état doit être amélioré (masse d'eau à risque ou en mauvais état) ou à réhabiliter écologiquement une ancienne carrière ou gravière. Elle inclut les travaux ainsi que les études et l'éventuel suivi réglementaire associés.	

La présente étude hydrogéologique et hydraulique, réalisée par hydratec, permet de déterminer l'impact du projet sur le fonctionnement de la nappe contenue par les alluvions de la Loire et sur l'écoulement des crues. Elle répond également à la question d'une pollution accidentelle.

## 2.5 ESPACE DE MOBILITE DE LA LOIRE

### 2.5.1 Notions d'espace de mobilité

« Les cours d'eau à dynamique active sont caractérisés par une diversité géomorphologique dont le moteur est l'érosion des berges et la migration latérale du chenal vif. En particulier, pour les rivières à méandres, le chenal vif se déplace en érodant sa rive concave et en déposant des sédiments en transit sur sa rive convexe.

Ces processus d'érosion, transport de sédiments, dépôt, recouplement de méandre, ont pour effet de créer, détruire, recréer, à une échelle de temps comprise entre 10 et 100 ans en moyenne (fréquence extrêmement variable selon les cours d'eau), une diversité de milieux dont la grande richesse écologique tient justement à leur fréquence de régénération et à leur assemblage sous forme de mosaïque sur une surface relativement restreinte (parfois seulement quelques milliers de m<sup>2</sup>) » (Malavoi et al., 1998).

La préservation de la dynamique latérale de la Loire rend également de nombreux autres « services » de façon directe ou indirecte :

- Elle permet des échanges sédimentaires entre la Loire et sa plaine alluviale, ainsi qu'un ajustement de la forme en plan et du profil en long, et par conséquent limite la vitesse d'incision de son lit.
- Elle contribue à la qualité et la disponibilité de la ressource en eau potable (nappe alluviale).
- Elle limite le risque de déstabilisation des ouvrages d'art sur les secteurs en déficit sédimentaire.
- Elle contribue à la qualité paysagère de la Loire.

Les principaux risques liés à l'implantation de carrières en lit majeur, au sein de l'espace de mobilité fonctionnel, sont :

- Le blocage de la dynamique latérale du cours d'eau du fait des protections de berges (ou digues). Cette contrainte réduit l'intérêt écologique du tronçon impacté (cf. illustration N°7).
- Le risque de capture du chenal par la gravière (cf. illustrations N°6, N°8 et N°9) qui peut conduire au piégeage de la charge de fond en transit pendant plusieurs années, créant ainsi un déficit d'apports d'alluvions en aval et générant d'importants processus d'érosion progressive et régressive du fond du lit. Ces mécanismes engendrent des impacts forts, aussi bien du point de vue écologique que du point de vue économique (effondrement de ponts, abaissement du toit de la nappe alluviale, etc.). Sur la zone d'étude, des processus actifs d'érosion ont été constatés à proximité de 3 gravières (cf. illustration N°10); ainsi, le lit vif de la Loire va se rapprocher des plans d'eau et augmenter le risque de capture.

### 2.5.2 Contexte réglementaire

L'arrêté ministériel du 24 janvier 2001 stipule dans son article 2 que « les exploitations de carrières de granulats sont interdites dans l'espace de mobilité du cours d'eau. L'espace de mobilité du cours d'eau est défini comme l'espace du lit majeur à l'intérieur duquel le lit mineur peut se déplacer. L'espace de mobilité est évalué par l'étude d'impact en tenant compte de la connaissance de l'évolution historique du cours d'eau et de la présence des ouvrages et aménagements significatifs, à l'exception des ouvrages et aménagements à caractère provisoire, faisant obstacle à la mobilité du lit mineur. Cette évaluation de l'espace de mobilité est conduite sur un secteur représentatif du fonctionnement géomorphologique du cours d'eau en amont et en aval du site de la carrière, sur une longueur minimale totale de 5 kilomètres. »



### 2.5.3 Etude Dreal Bourgogne

En 1997, les bureaux d'études Epteau et Horizons ont réalisé une étude de la Loire entre Villerest et le bec d'Allier. Dans le volet géomorphologique, figurait l'espace de liberté optimal de la Loire entre Villerest et le bec d'Allier.

En 2014, la Dreal Bourgogne a sollicité l'appui technique du service Loire et bassin Loire-Bretagne de la Dreal Centre afin d'intégrer les enjeux liés à l'espace de mobilité de la Loire dans la démarche de révision du schéma départemental des carrières de la Nièvre.

L'objectif de l'étude était donc de proposer une délimitation de l'espace de mobilité fonctionnel de la Loire afin de mettre en œuvre des dispositions de l'article 11 de l'arrêté du 22 septembre 1994, modifié par l'arrêté du 24 janvier 2001.

Quatre raisons ont motivé la révision de l'espace de mobilité de la Loire de 1997 :

1. Les dispositions législatives interdisant l'implantation des gravières au sein de l'espace de mobilité des cours d'eau ne datant que de 2001, plusieurs gravières ont pu s'implanter ou s'étendre au sein de l'espace fonctionnel de la Loire tel que défini en 1997. Afin de limiter les risques liés à ces aménagements, il était nécessaire de redélimiter l'espace de mobilité fonctionnel de la Loire au droit de ces installations.
2. De nouvelles dynamiques ou évolutions, non prévisibles en 1997, ont conduit (ou risquent de conduire) la Loire à éroder sa plaine alluviale au-delà de l'espace de mobilité fonctionnel, tel qu'il a été défini en 1997.
3. Les nombreux inventaires faunistiques et floristiques engagés après 1997 ont permis de mieux prendre en compte la qualité écologique des milieux alluviaux.
4. Si les hypothèses qui prévalaient jusqu'alors conduisaient à considérer les digues comme des éléments intangibles, les réflexions actuelles autorisent à envisager, le cas échéant, que certains ouvrages puissent être supprimés.

### 2.5.4 Détermination de l'espace de mobilité

La démarche retenue s'est appuyée sur le guide de détermination de l'espace de liberté des cours d'eau (Malavoi et al., 1998). Les principales étapes ont été :

- le découpage de la zone d'étude en tronçons géomorphologiques homogènes,
- l'identification de l'espace de mobilité maximal,
- la détermination et la délimitation de l'amplitude d'équilibre,
- l'identification d'espaces de divagation restreints par des protections de berges,
- l'évaluation des érosions probables à moyen terme,
- l'identification de zones à fort intérêt écologique, en lien avec la dynamique du fleuve,
- l'identification des enjeux socio-économiques majeurs ne pouvant pas être remis en question,
- la délimitation finale de l'espace de mobilité fonctionnel de la Loire sur la zone d'étude

La carte ci-après correspond à un extrait des planches 7 et 8 et présente les différents critères géomorphologiques et enjeux socio-économiques qui ont conduit à la définition de l'espace de mobilité fonctionnel de la Loire.

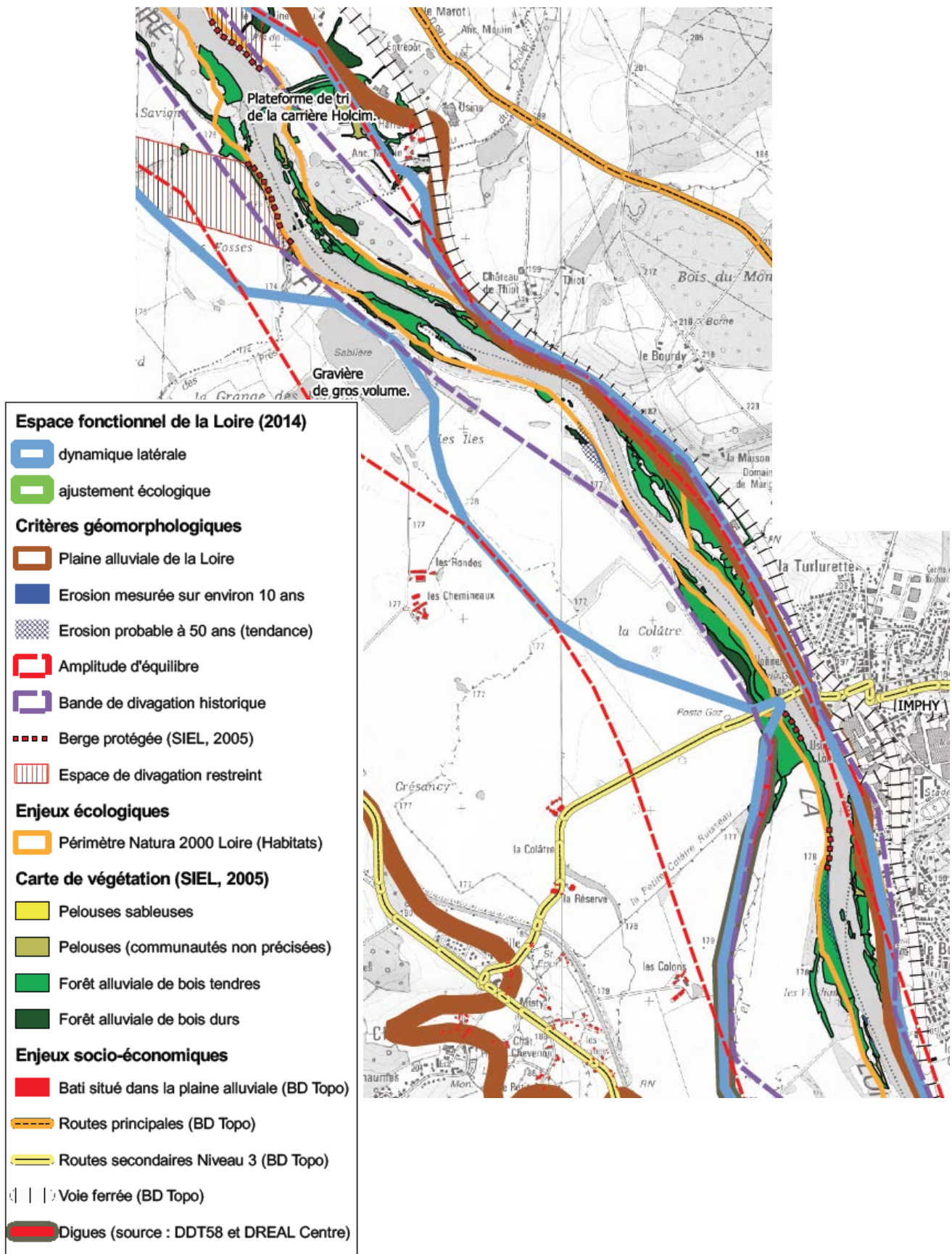


Figure 2-3 : Carte des critères géomorphologiques et des enjeux (source Dreal Bourgogne 2014)

L'étude Dreal aboutit à la définition de l'espace de mobilité fonctionnel de la Loire au droit de Chevenon :

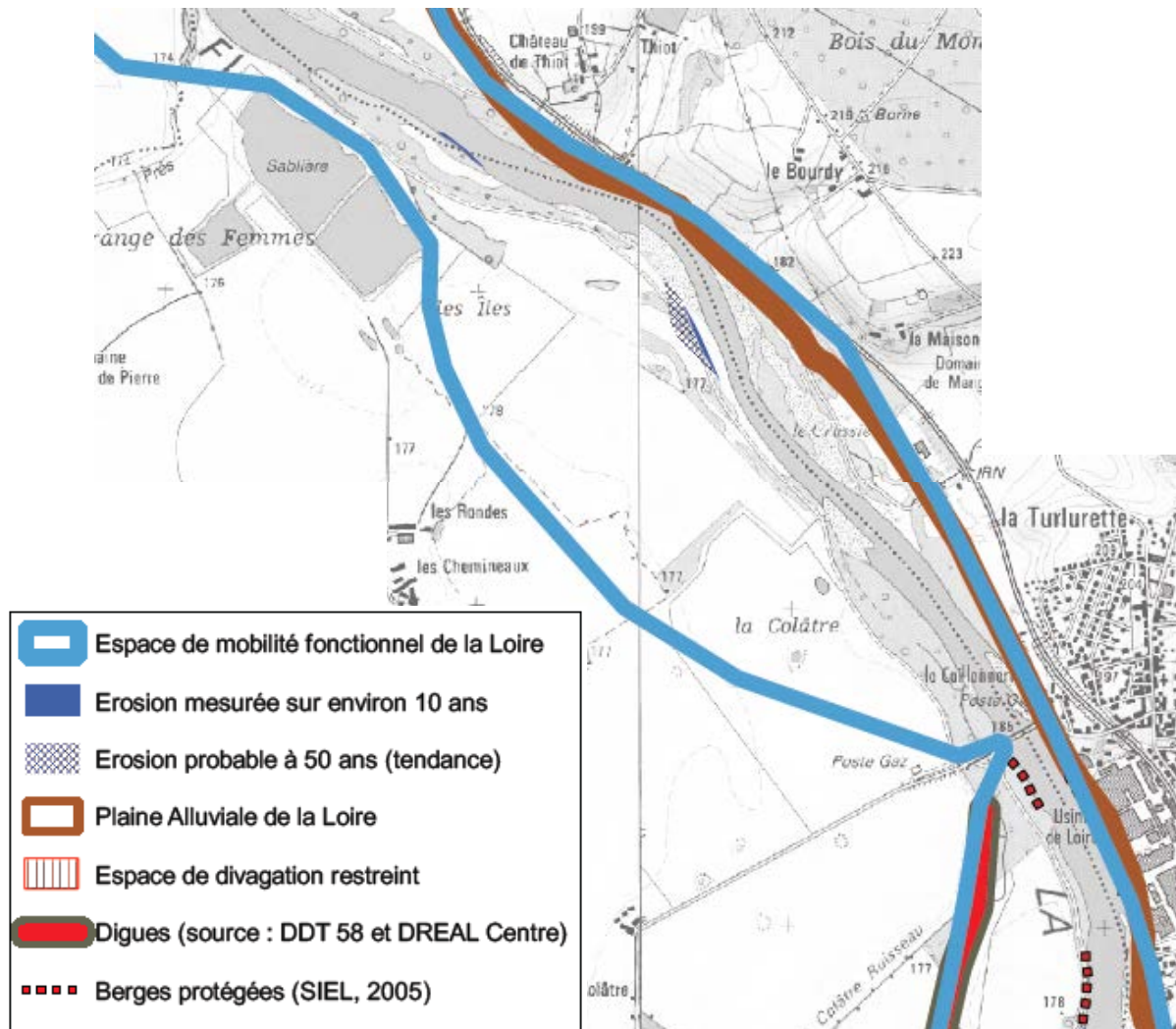


Figure 2-4 : Espace de mobilité fonctionnel de la Loire (source Dreal Bourgogne 2014)

D'après cette carte, il apparaît que le site est une zone stable : il y a peu d'érosion prévue dans les 50 prochaines années.

## 2.5.5 Comparaison de l'emprise du projet avec l'espace de mobilité

L'emprise du projet d'extension de la carrière de Chevenon se situe en dehors de l'espace de divagation de la Loire :

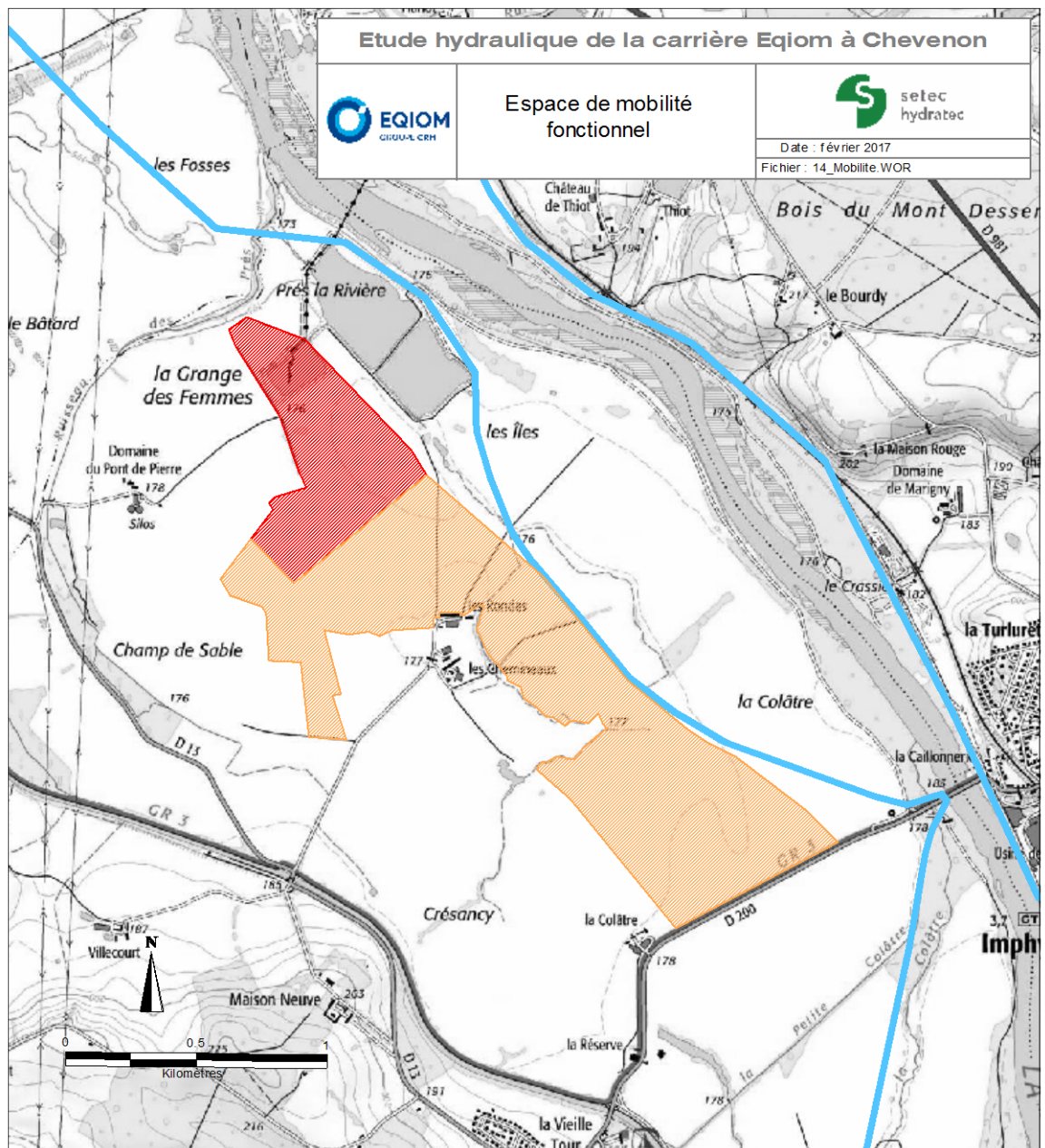


Figure 2-5 : Comparaison de l'emprise du projet avec l'espace de mobilité

Tout projet situé en dehors de cette bande est assuré, pour une échelle de temps relativement longue (largement au-delà du siècle), de ne pas interférer avec les processus géomorphologiques de la Loire.

## 2.6 IMPACTS CUMULES

Le décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements stipule dans son article R122-5. II 4°) que l'étude d'impact doit faire une **analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus**. Ces projets sont ceux qui, lors du dépôt de l'étude d'impact :

- Ont fait l'objet d'un document d'incidences au titre de l'article R. 214-6 et d'une enquête publique,
- Ont fait l'objet d'une étude d'impact au titre du présent code et pour lesquels un avis de l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement a été rendu public.

Nous avons eu connaissance du projet de Lafarge d'ouverture de carrière de même envergure (environ 140 ha). Il est situé sur la même commune, de l'autre côté de la RD de Imphy à Chevenon, en zone Natura 2000.

Ce projet n'a pas abouti suite à l'Arrêté Préfectoral en date du 29/08/2014.

Il n'a donc pas été étudié dans le présent rapport les impacts cumulés des deux projets de carrière Eqiom et Lafarge sur la commune de Chevenon.

### 3 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN SITUATION ACTUELLE

#### 3.1 PRESENTATION DU SITE

Le secteur d'étude, situé dans le lit majeur en rive gauche de la Loire, est délimité à l'amont par la RD200, à l'Ouest par le canal latéral et à l'aval par le pré de Savigny. hydratec a réalisé deux visites de terrain le 25 novembre 2013 et le 11 avril 2014 (2 ingénieurs étaient présents à chaque visite).

Les photographies prises lors de ces deux visites sont localisées sur la figure suivante.

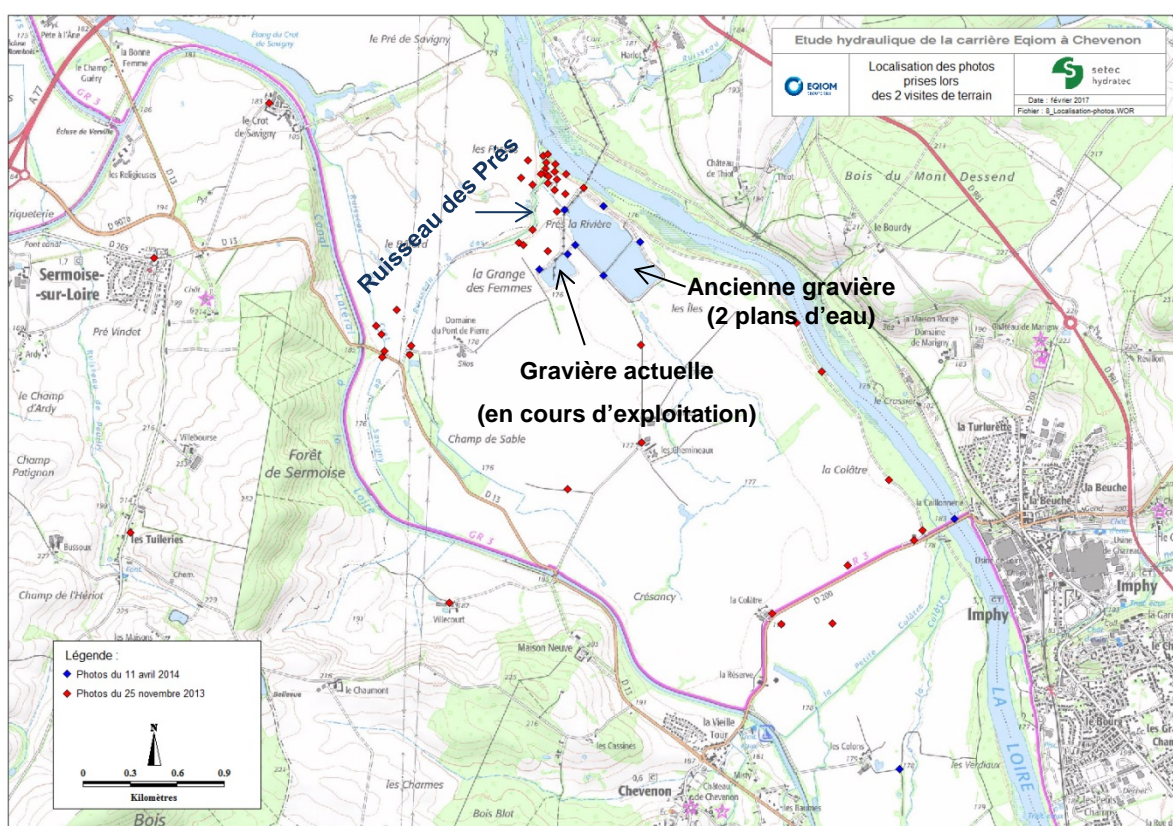


Figure 3-1 : Localisation des photographies prises par hydratec lors de ces visites de terrain

Le secteur d'étude est caractérisé par la présence du ruisseau des Prés qui longe la RD13 puis bifurque vers le Nord-Est pour rejoindre la Loire. La gravière en cours d'exploitation et l'ancienne gravière, aujourd'hui constituée de 2 plans d'eau sont toutes deux connectées au ruisseau des Prés.

Quelques photographies du ruisseau des Prés et de la Loire sont présentées ci-après.



Figure 3-2 : Photographies du ruisseau des Prés - hydratec



Figure 3-3 : Photographies de la Loire - hydratec

Ces visites ont permis :

- de valider la topographie transmise,
- de recueillir des informations sur le régime de débordement de la rivière, les points de mise en eau,
- de réaliser un inventaire des ouvrages de franchissement existants à proximité de la zone d'étude,
- de visualiser les cheminements d'eau préférentiels dans les thalwegs et les points d'exutoire,
- de définir les paramètres hydrauliques à prendre en compte dans les calculs pour restituer numériquement les écoulements de la Loire dans la zone d'étude (cf 3.2.6),
- d'échanger avec les exploitants d'Eqiom.

Il a été porté une attention particulière aux différents ouvrages existants ayant un rôle dans le fonctionnement hydraulique des gravières (ouvrages de connexion entre le ruisseau des Prés et les gravières et entre les gravières elles-mêmes). Ces ouvrages sont présentés sur les figures suivantes. Chaque ouvrage est localisé en rouge sur la vue aérienne de gauche et la photographie associée à celui-ci est présentée en vis à vis. Ces ouvrages ont été pris en compte dans la modélisation hydraulique (cf 3.2.4).

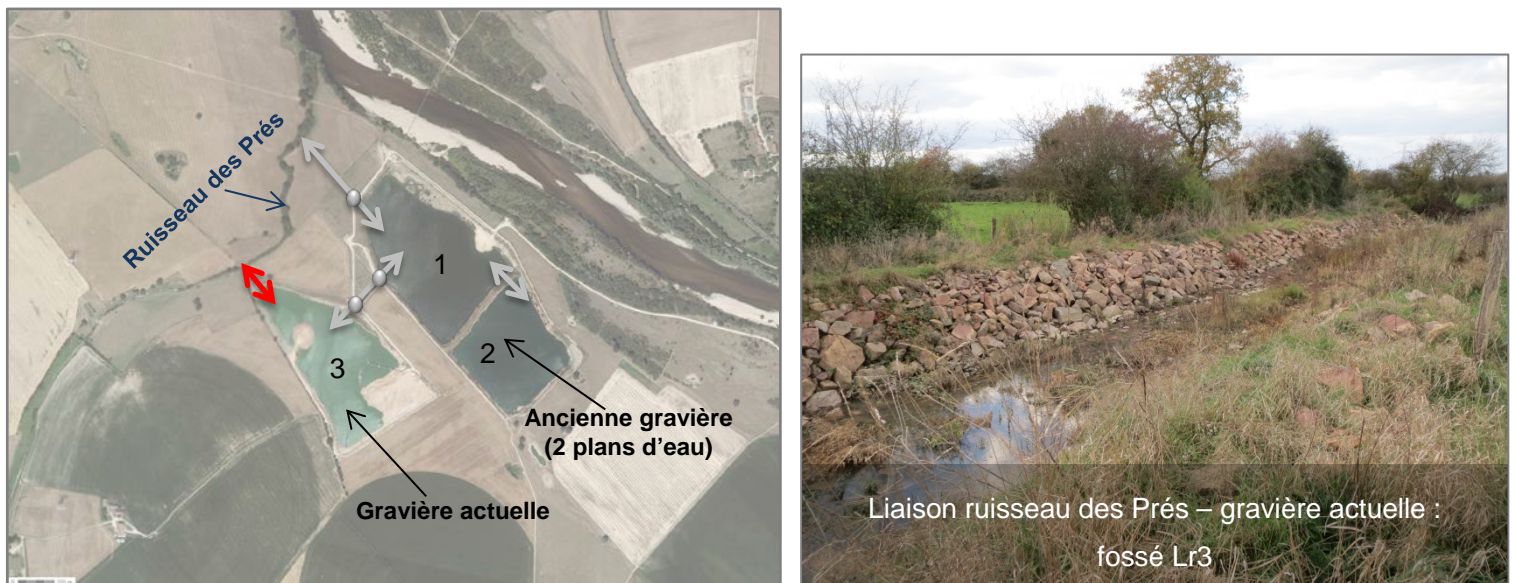


Figure 3-4 : Liaison ruisseau des Prés – gravière actuelle (fossé Lr3)



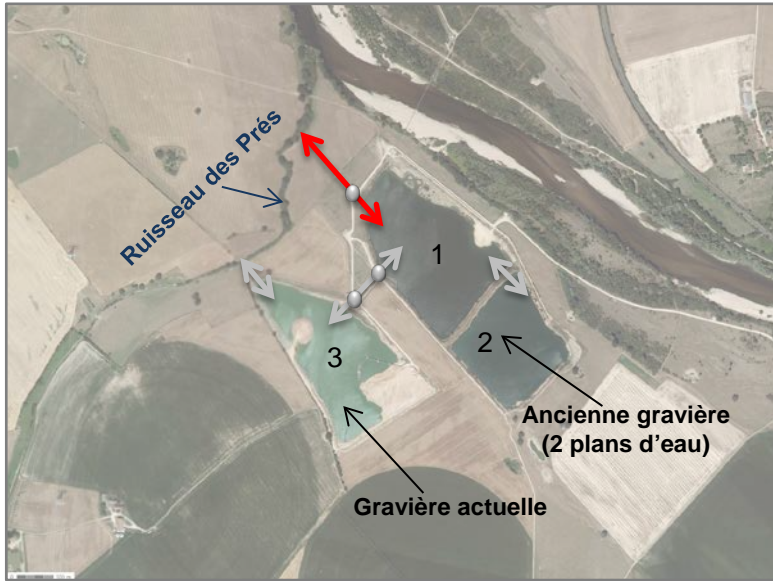


Figure 3-5 : Liaison ruisseau des Prés – ancienne gravière (fossé Lr1)

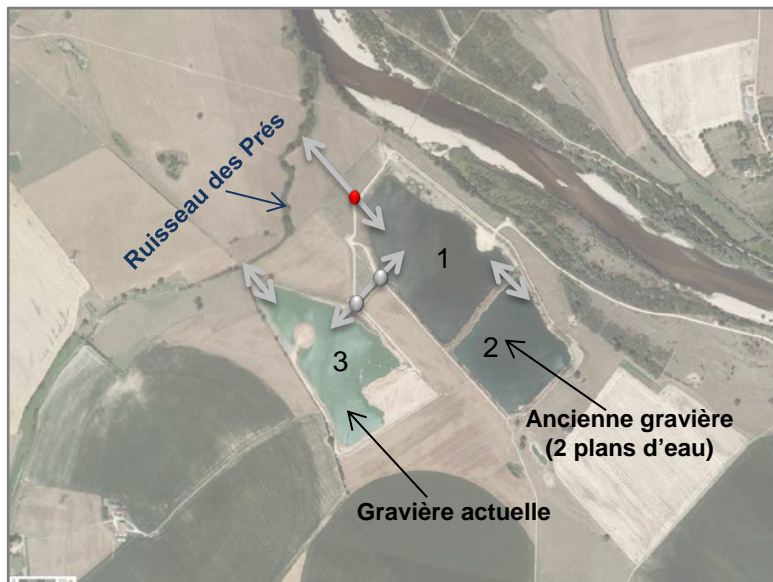


Figure 3-6 : Liaison ruisseau des Prés – ancienne gravière (2Ø 1500mm sur Lr1)

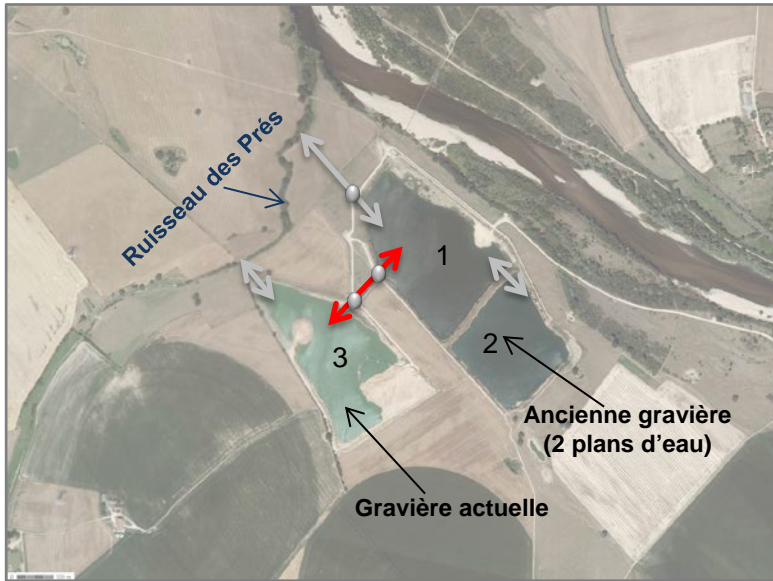


Figure 3-7 : Liaison gravière actuelle – ancienne gravière (fossé L13)

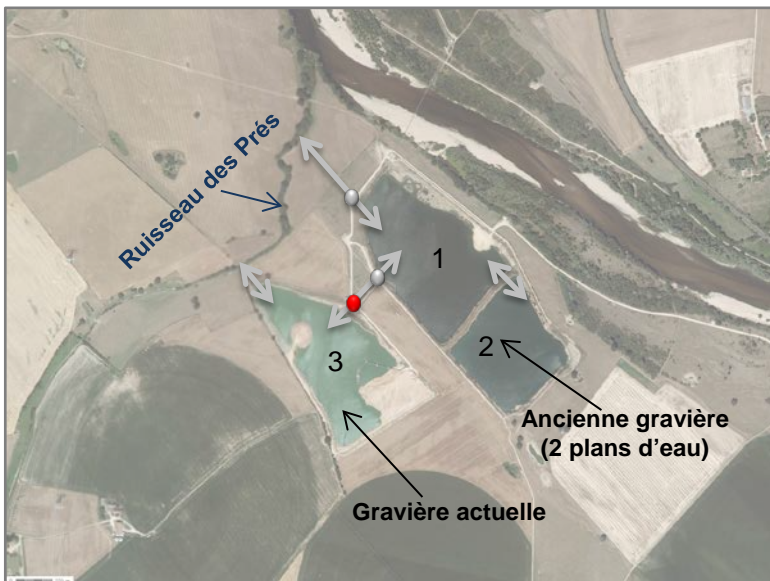


Figure 3-8 : Liaison gravière actuelle – ancienne gravière (2Ø 1500mm sur L13)

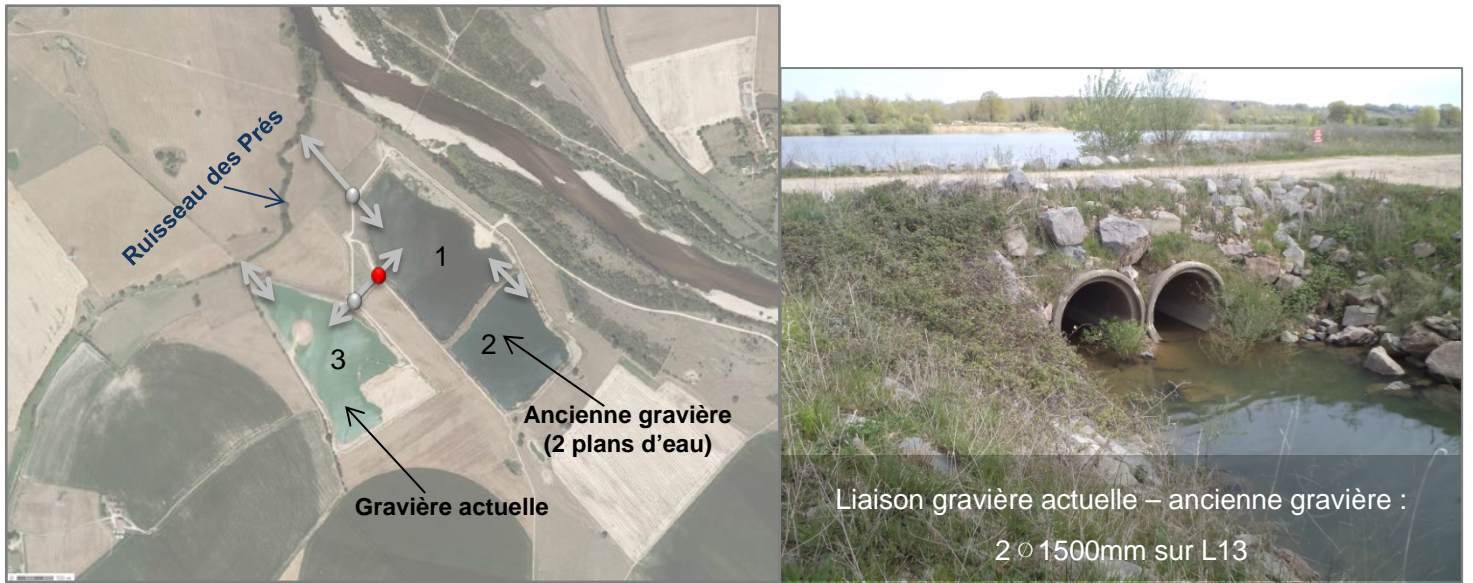


Figure 3-9 : Liaison gravière actuelle – ancienne gravière (2 $\varnothing$ 1500mm sur L13)

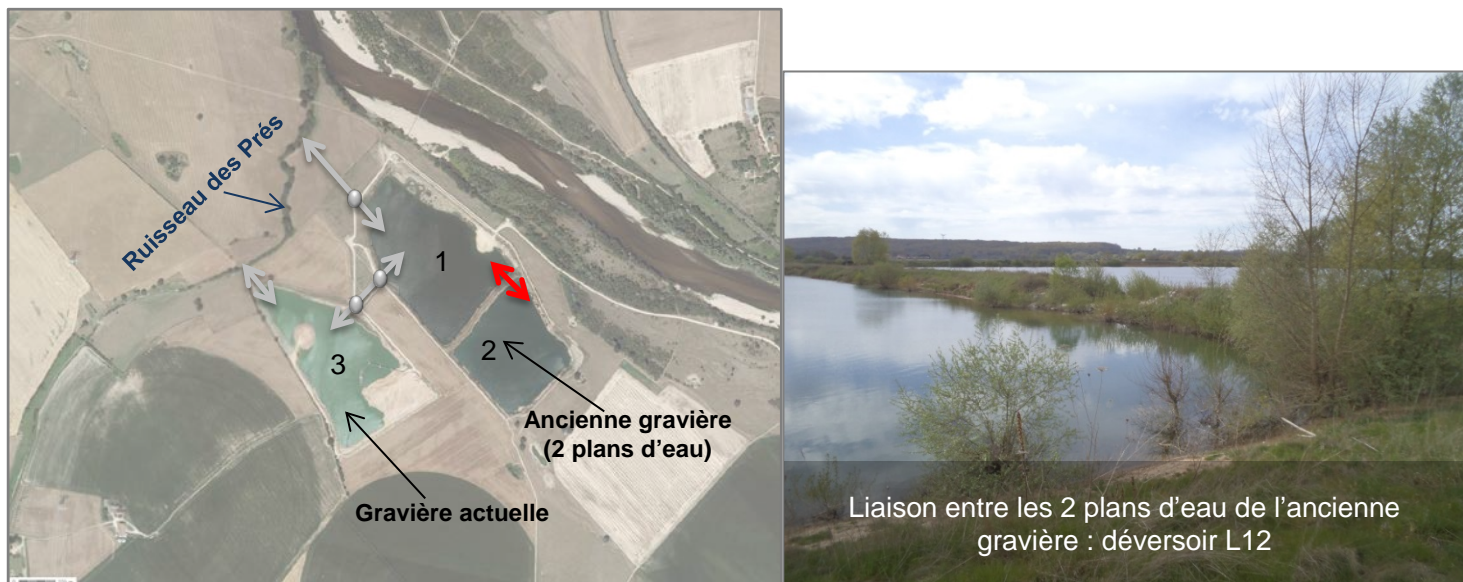


Figure 3-10 : Liaison entre les 2 plans d'eau de l'ancienne gravière (déversoir L12)

## 3.2 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE DE SIMULATION

### 3.2.1 Présentation du logiciel HydraRiv

HydraRiv est un progiciel de modélisation hydrologique, hydraulique et de la qualité des cours d'eau et des espaces fluviaux.

Il est conçu pour intégrer dans un même modèle des schémas de représentation contrastés, tels que la schématisation filaire, les casiers et les maillages bidimensionnels. Cette souplesse permet d'adapter au mieux la modélisation à la spécificité des configurations rencontrées dans le domaine fluvial et aux objectifs de modélisation poursuivis.

HydraRiv est une application totalement autonome, gérant tout à la fois la génération et l'édition des modèles via une interface graphique dédiée, le pilotage des calculs et l'exploitation des résultats. Elle est organisée autour d'un module de pilotage développé en VB6 et d'une base de données spécifique, interne à l'application : aucune licence externe n'est requise.

Le noyau de calcul est constitué par le logiciel HYDRA, développé et exploité par Hydratec depuis près de 30 ans. Ce noyau englobe des algorithmes généraux intéressant les écoulements superficiels ; il est utilisé dans plusieurs domaines d'intervention, dont l'hydraulique fluviale. La chaîne de simulation HYDRA est totalement transparente à l'utilisateur car elle est pilotée par l'interface d'HydraRiv.

HydraRiv, développé par hydratec, est commercialisé ; les établissements tels que la DREAL Centre, l'Entente Oise Aisne, le Service de Prévision des crues Oise-Aisne (SNS) ou le Syndicat mixte de l'Orge Aval (SIVOA), ont acquis ce logiciel. Des informations complémentaires sur le logiciel HydraRiv sont accessibles sur le site internet : [www.hydratec-software.com](http://www.hydratec-software.com).

HydraRiv a été conçu dès le départ comme un outil de simulation dédié au domaine fluvial. La formulation sous-jacente reflète cette spécificité.

- Modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique fait partie intégrante de la chaîne de modélisation disponible sous HydraRiv, proposant des formulations spécifiques adaptées à la diversité des bassins versants étudiés.

- Modélisation hydraulique

Les très nombreuses observations disponibles sur les écoulements de crues dans les vallées inondables témoignent de la grande complexité des phénomènes hydrauliques à l'échelle locale : chenaux préférentiels d'écoulement induits par la micro-topographie, zones d'accumulation, lois d'échanges conditionnées par la topographie, mais aussi les nombreux obstacles implantés dans le lit majeur : routes, voies SNCF, levées de terres, remblaiements, gravières, etc.

Ces phénomènes ne peuvent être appréhendés que par une démarche simplificatrice mais cependant cohérente par rapport aux objectifs assignés au modèle et aussi à la précision des données disponibles : une schématisation bidimensionnelle convient si on s'intéresse à l'impact d'un ouvrage sur les vitesses locales et les surélévations des niveaux d'eau des zones avoisinantes, elle devient plutôt inappropriée dans le cas d'une étude de la propagation sur de longues distances ; dans ce cas, une modélisation multifilaire s'avère beaucoup plus justifiée.

Par ailleurs, même pour une étude locale de zone inondable, une modélisation bidimensionnelle doit souvent intégrer des représentations filaires d'écoulements préférentiels le long de thalwegs présentant une topographie locale peu accidentée.

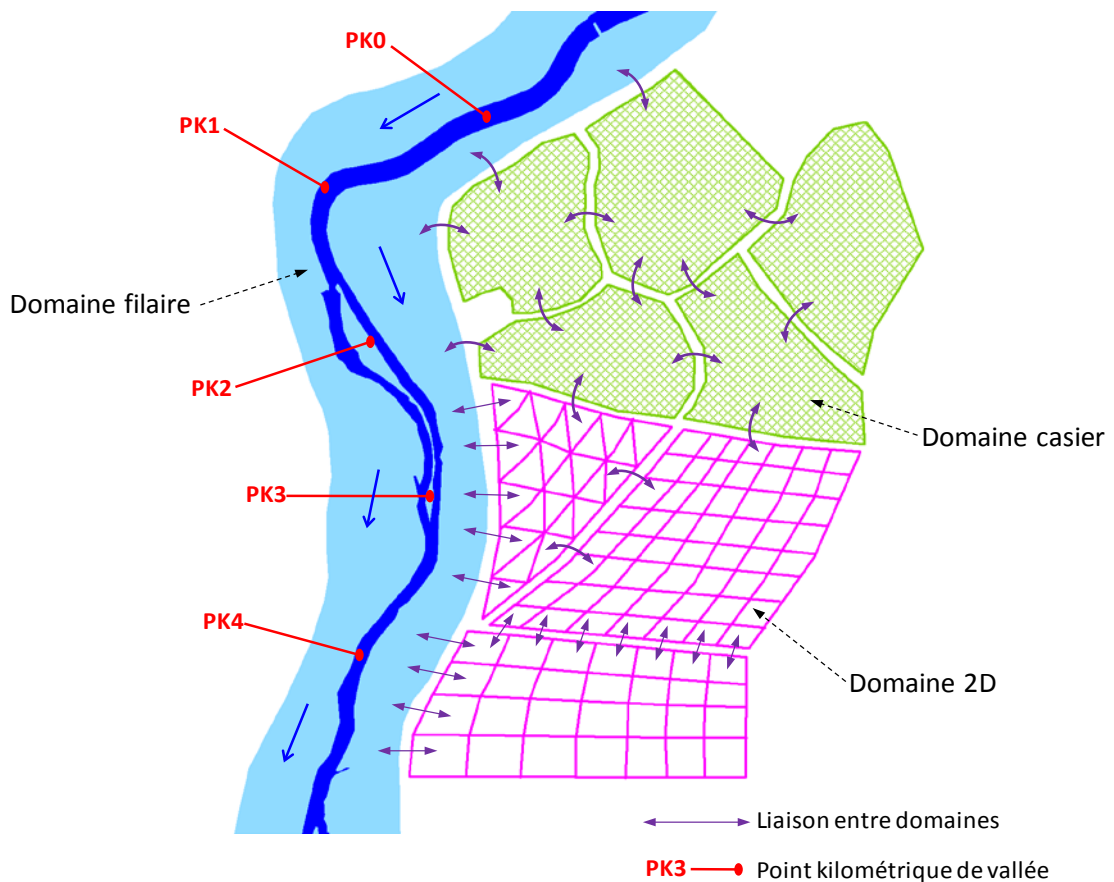


Figure 3-11 : Schémas de modélisation d'HydraRiv

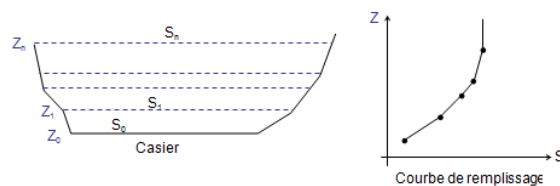
Pour concilier toutes ces exigences, HydraRiv offre quatre représentations d'écoulement adaptées aux applications fluviales :

- la **schématisation filaire** repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à lits composés, avec des lois de partage entre les différents lits qui sont conçues pour reproduire au mieux les cotes d'eau dans le lit mineur, les temps de propagation et la déformation des ondes de crue influencées par l'action de laminage joué par le lit majeur. A chaque nœud de calcul sont associées plusieurs variables : la cote d'eau dans la section composée et les débits longitudinaux dans chaque lit. Outre les équations des tronçons de vallée, HydraRiv propose un large choix de singularités spécialement adaptées aux types d'ouvrages et d'obstacles rencontrés dans les vallées fluviales.
- la **modélisation bidimensionnelle** repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à deux dimensions à l'aide d'une méthode de volumes finis : les inconnues sont la cote d'eau et la composante de la vitesse dans chaque direction, calculées au centroïde de la maille. Le schéma numérique de résolution à chaque pas de temps repose sur une méthode originale en deux étapes :
  - dans l'étape 1 on calcule la cote et les débits d'échange à travers les facettes de chaque maille à l'aide de l'équation de continuité, en supposant connue la direction locale du champ de vitesse,

- dans l'étape 2 les composantes du vecteur vitesse sont calculées au centroïde de chaque maille par intégration locale des équations de quantité de mouvement.

Cette méthode intègre tous les termes intervenant dans les équations de Barré de Saint Venant, y compris les termes convectifs qui peuvent influencer les cotes des lignes d'eau dans les zones à fort gradient de vitesse, ainsi que la structure du champ de vitesse.

- La **modélisation en casiers** constitue une simplification de la modélisation du domaine bidimensionnel : chaque casier est assimilé à un plan d'eau local dont le niveau varie en fonction de lois d'échange avec les autres entités surfaciques via des liaisons latérales. Dans cette formulation, l'inconnue est la cote d'eau du casier, les débits d'échange sont fonction de la nature de la liaison et de la différence des cotes d'eau avec les casiers adjacents. Les casiers sont définis par une loi de remplissage : surface en fonction de la cote altimétrique.



- Enfin la **modélisation « ZUI »** prend en compte les axes préférentiels d'écoulement joués par les rues dans les modélisations de zones urbaines inondables.

### 3.2.2 Présentation des modèles existants sur le secteur de Nevers

Plusieurs études ont été conduites sur le secteur de Nevers pour caractériser les crues de la Loire. Les principales études permettant de qualifier le risque d'inondation sont :

- L'étude de la propagation des crues et des risques d'inondation en Loire moyenne conduite par l'équipe pluridisciplinaire du plan Loire Grandeur Nature entre 1999 et 2003.  
Elle est à l'origine d'un modèle d'écoulement des eaux de la Loire entre Nevers et la confluence de la Maine intégrant la topographie du lit et des vals de 1998. Son architecture repose entre les digues sur un modèle filaire (1D) construit sur des profils en travers relevés environ tous les kilomètres et, dans les vals, sur un modèle à casiers combinant des surfaces d'environ 2 km<sup>2</sup>. Cet outil a été exploité pour des débits de crues de période de retour de 50 ans à 500 ans, en prenant pour hypothèse la résistance des digues jusqu'à leur surverse.
- L'Etude Globale du Risque Inondation sur l'Agglomération de Nevers (EGRIAN) a été menée entre 2008 et 2013 pour le compte de l'Agglomération de Nevers (ADN). Elle avait pour objectif de proposer une stratégie globale et cohérente de réduction du risque d'inondation.  
Cette stratégie repose en particulier sur l'évaluation de l'aléa qui a été réalisée à l'aide de deux modèles de simulation numérique de la propagation des crues de la Loire et de l'Allier :
  - le modèle global ADN2008 qui place l'Agglomération de Nevers dans un contexte hydraulique étendu depuis Decize et Moulins à l'amont jusqu'à Saint-Satur à l'aval.

- le modèle local bidimensionnel de l'agglomération qui affine l'étude à l'échelle du quartier de ville.

La modélisation hydraulique a permis :

- en phase I, d'obtenir un diagnostic global de l'aléa inondation dans la disposition actuelle du système d'endiguement, ainsi qu'en cas de submersion des vals à la suite de rupture de digues.
- en phase II, de proposer et d'étudier des aménagements visant à réduire cet aléa d'inondation.

### 3.2.3 Modèle ADN2008

C'est le modèle global ADN2008, issu de l'étude EGRIAN, qui est utilisé dans la présente étude. Ce modèle de la Loire, de l'Allier et de la Nièvre a été construit grâce au logiciel HydraRiv développé par hydratec. Il s'étend de Decize sur la Loire et de Moulins sur l'Allier, à l'amont, jusqu'à Saint-Satur, à l'aval.

Le périmètre d'étude modélisé comprend environ 200 km de cours d'eau, décomposé comme suit :

- 38 km de Loire en amont du Bec d'Allier,
- 55 km de Loire en aval du Bec d'Allier,
- 60 km d'Allier,
- 10 km de Nièvre et son canal de dérivation,
- 39 km de ruisseaux dans les vals ou la plaine inondable.

L'architecture du modèle est présentée sur la figure en page suivante.

Un schéma mixte de modélisation a été choisi, comprenant :

- la schématisation « filaire » des lits mineurs ainsi que des lits majeurs de la Loire, de l'Allier et de la Nièvre à l'exception de leur zone de confluence au niveau d'Agglomération de Nevers,
- une schématisation « casiers » de l'Agglomération de Nevers et des vals de Loire situés en aval du Bec d'Allier,
- des singularités multiples représentant des ouvrages hydrauliques particuliers.

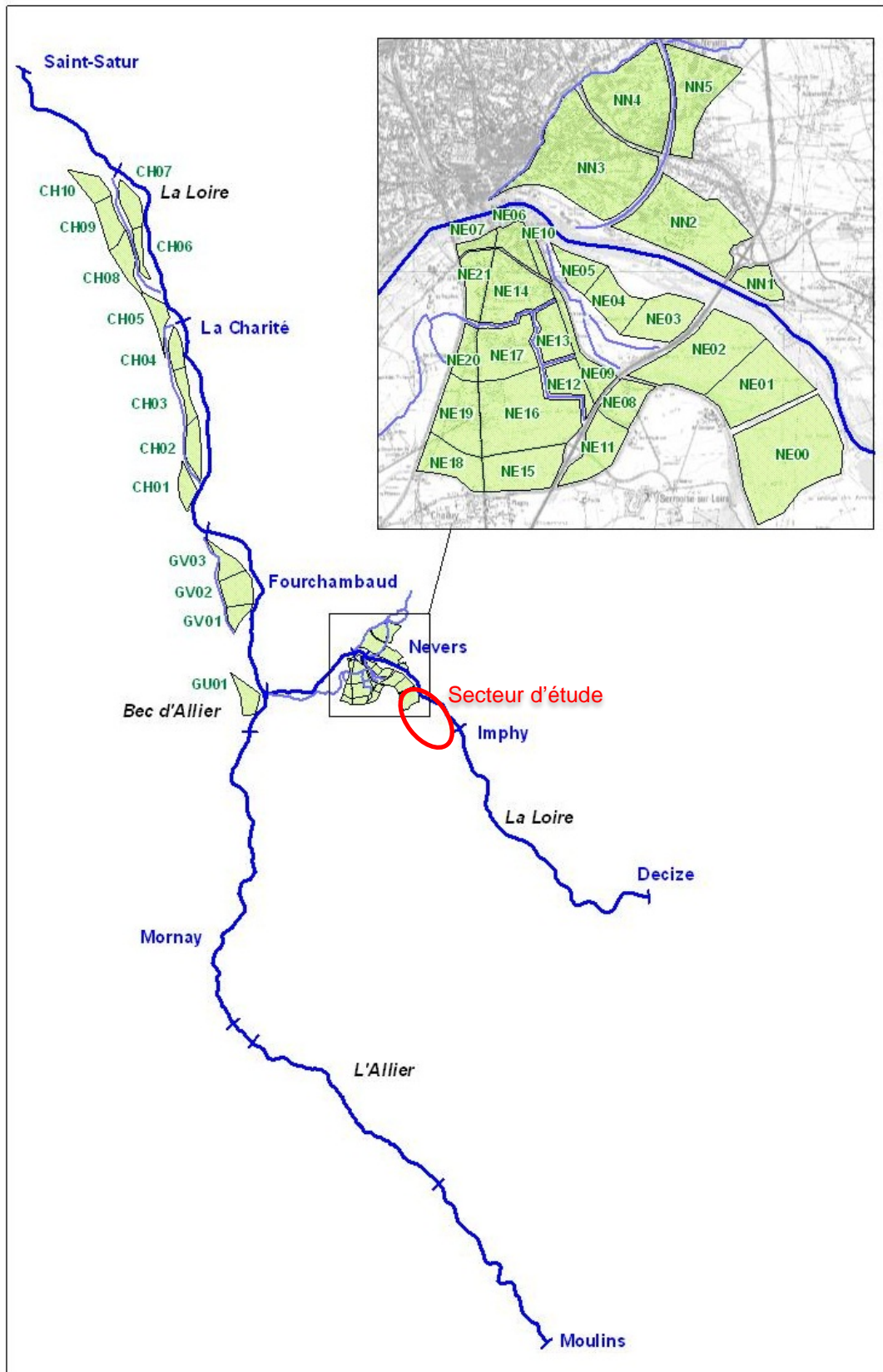


Figure 3-12 : Architecture du modèle ADN2008



### 3.2.4 Schématisation détaillée du secteur d'étude

Le secteur d'étude, situé dans le lit majeur en rive gauche de la Loire, est délimité à l'amont par la RD200, à l'Ouest par le canal latéral et à l'aval par le pré de Savigny.

Afin d'affiner le modèle ADN2008 sur ce secteur, une campagne de relevé topographique a été réalisée.

Le semi de points levé par le géomètre est présenté sur la figure suivante.

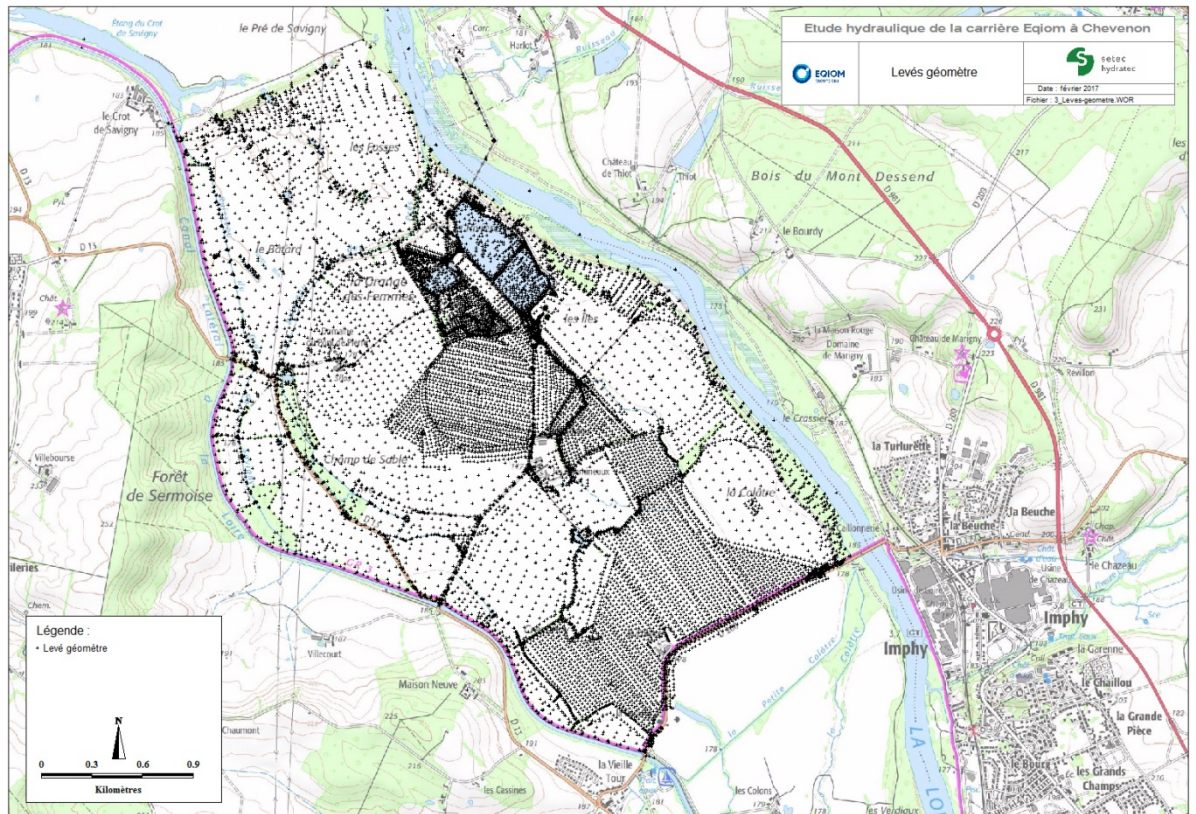


Figure 3-13 : Levés de points du géomètre sur le secteur d'étude

La topographie sur le secteur d'étude, issue de cette campagne de mesures, est présentée sur la figure suivante.

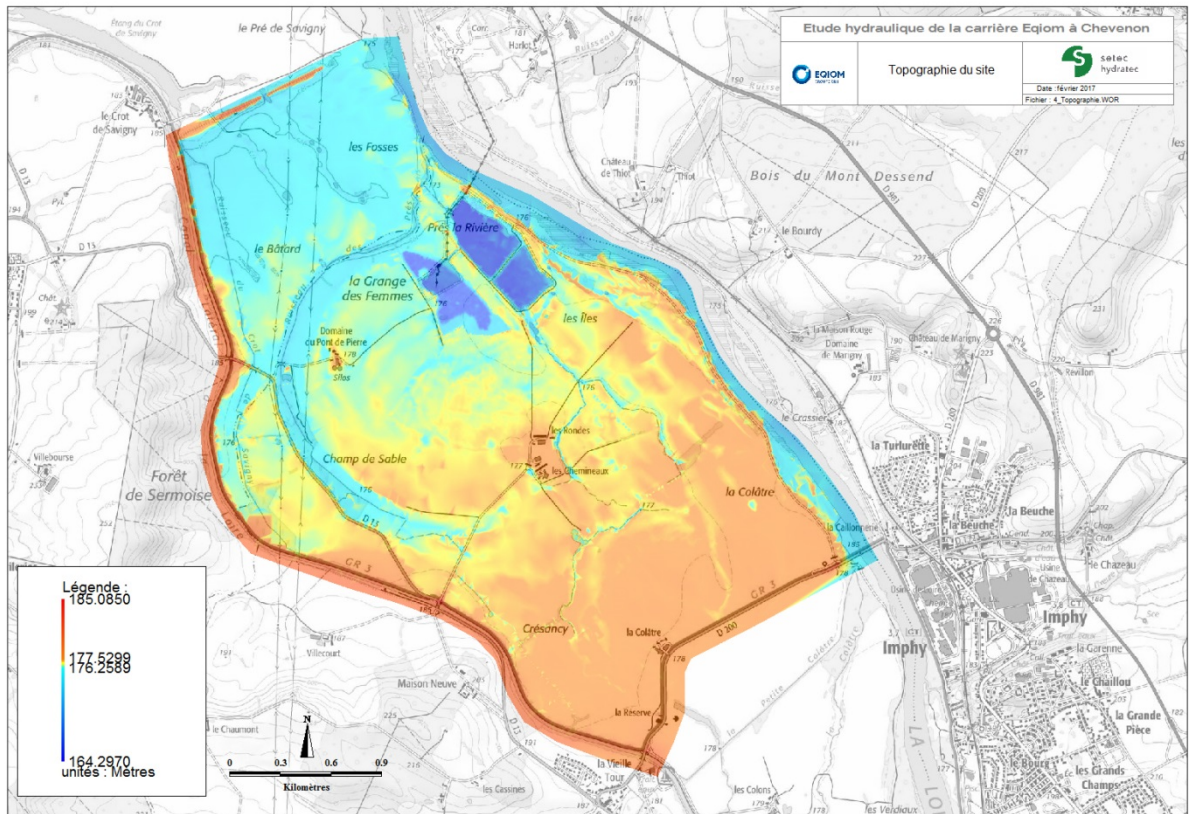


Figure 3-14 : Topographie du secteur d'étude

Grâce aux nouvelles données topographiques, le modèle ADN2008, à l'origine majoritairement filaire sur le secteur d'étude, a été modifié afin de décrire plus finement les écoulements et de mieux représenter les mécanismes d'inondation.

La schématisation filaire et le casier NE00 en rive gauche, ont été remplacés par 53 casiers, de surface moyenne de 17 ha. La surface totale couverte par les nouveaux casiers est de 810 ha.

Cette schématisation plus détaillée du secteur d'étude est adaptée pour représenter le site de la carrière en situation initiale comme en situation future.

De plus, en période de crue dans la situation actuelle, les gravières se remplissent grâce aux liaisons qu'elles possèdent avec le ruisseau des Prés à l'aval du site.

Afin d'assurer la bonne représentativité des mécanismes de remplissage des gravières, le ruisseau des Prés a été modélisé par un bief filaire. Ce bief filaire, d'un linéaire d'environ 3 800 m, est caractérisé par 11 profils en travers levés par le géomètre.

Les liaisons suivantes, observées sur le terrain, ont également été modélisées en situation actuelle :

- 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).

Les paramètres caractéristiques de ces liaisons sont présentés dans les deux tableaux suivants.

Liaison	Cote seuil Zs mNGF	Largeur B m	Cote seuil Zs2 mNGF	Largeur B2 m	Longueur m	Strickler
Lr1	174.81	4	175.81	6	205	20
Lr3	174.52	4	175.52	6	65	25
L12	174.78	10	-	-	25	20
L13	174.40	4	175.40	6	125	20

Tableau 3-1 : Paramètres des liaisons de type fossé/seuil en situation actuelle

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 3-2 : Paramètres des liaisons de type buse/orifice en situation actuelle

En prévision de l'éventuelle analyse des impacts cumulés des projets d'extension des carrières d'Eqiom et de Lafarge, 6 casiers supplémentaires ont été ajoutés en rive gauche de la Loire à l'amont de la RD200, sur le site du projet de carrière Lafarge. Cette schématisation permet de représenter l'état actuel et aurait pu servir à simuler l'état aménagé projeté par Lafarge.

Toutefois, l'analyse des impacts cumulés n'a finalement pas été menée suite à l'AP de refus du projet Lafarge en date du 29/08/2014. Le modèle hydraulique avait été quant à lui construit avant cette date.

La structure du modèle sur le secteur d'étude, après les modifications explicitées précédemment, est présentée sur la figure en page suivante.

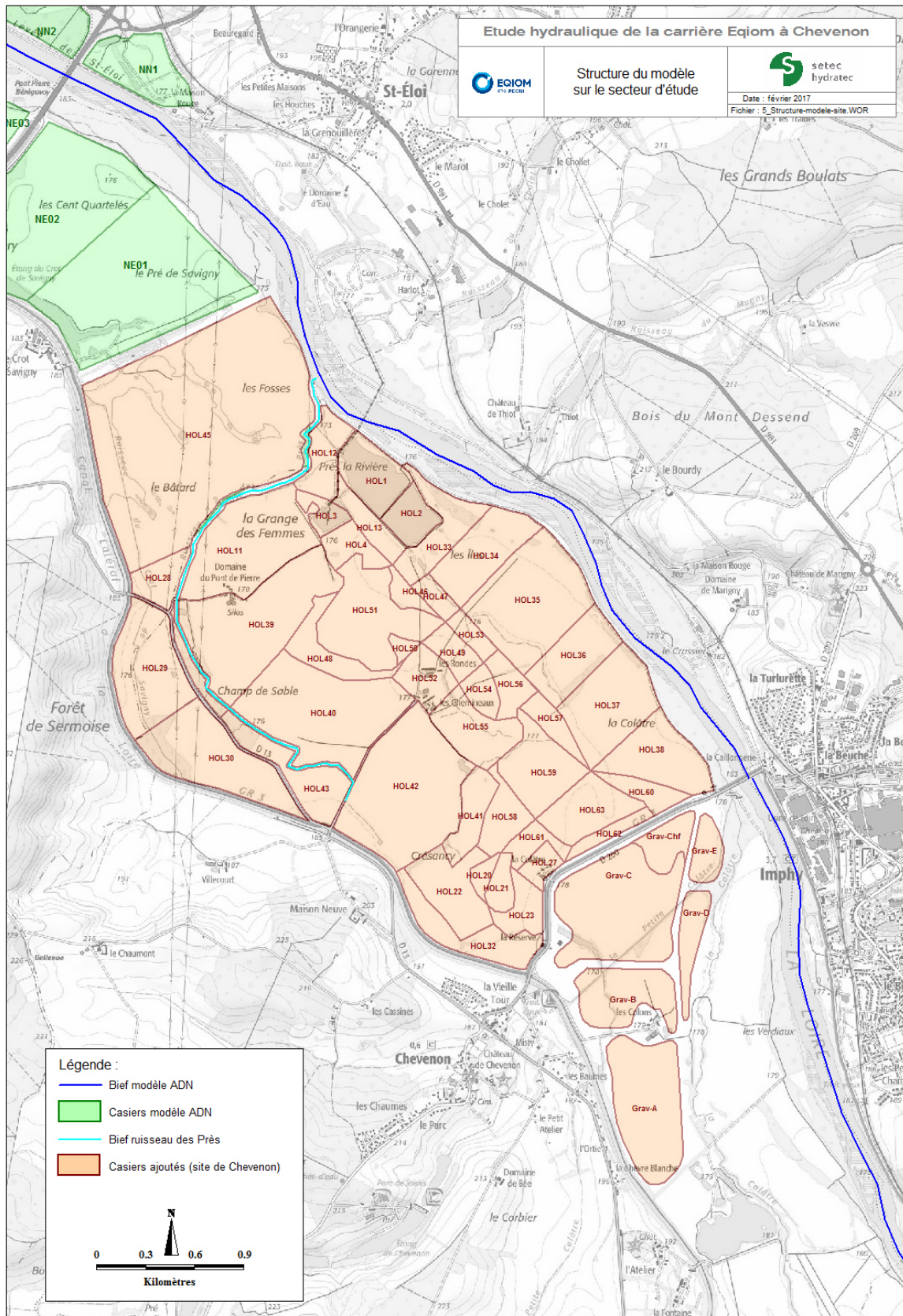


Figure 3-15 : Structure du modèle sur le secteur d'étude

### 3.2.5 Hydrologie

L'hydrologie présentée dans la présente étude est reprise de l'étude « EGRIAN Hydrologie de la Loire et de l'Allier : Mise en cohérence avec les hypothèses hydrologiques de l'étude Loire moyenne » réalisée par hydratec en 2007.

#### a) Formation des crues

Les crues de la Loire peuvent être regroupées en trois familles :

➤ Les crues océaniques (1)

Ce sont les plus fréquentes (type 1982, 1995, 1998). Elles ont lieu surtout en hiver et sont provoquées par des fronts pluvieux venant de l'océan.

Dues à de longues périodes de pluies océaniques, elles s'installent surtout à l'Ouest et au Nord du bassin versant. A l'origine, une suite de dépressions vient de l'Atlantique. En passant au Sud, elle provoque une crue sur la Vienne, puis le Cher comme en décembre 1982.

Elle peut aller jusqu'à l'Allier puis la Loire. Pour ce type d'évènements, la pointe de crue de la Loire passe après celle de la Vienne.

En Loire moyenne, du Bec d'Allier au Bec de Vienne, les débits de ces crues océaniques sont toujours inférieurs à ceux que peuvent contenir les levées.

➤ Les crues cévenoles (2)

Ce sont les plus brutales (type 1980, 1996, 2003). Elles résultent de précipitations orageuses d'origine méditerranéenne qui surviennent en général à l'automne (septembre-octobre-novembre) ou plus rarement au printemps (mai-juin) sur les hauts bassins de la Loire et de l'Allier.

Des masses d'air chaud franchissent la Méditerranée et se gorgent d'eau. Elles viennent butter sur les Cévennes. Elles dépassent les Cévennes et restent bloquées par les Alpes. Il tombe 200 à 600 mm de pluie en 48 heures. Toutefois, c'est une crue faible qui arrive en Loire moyenne.

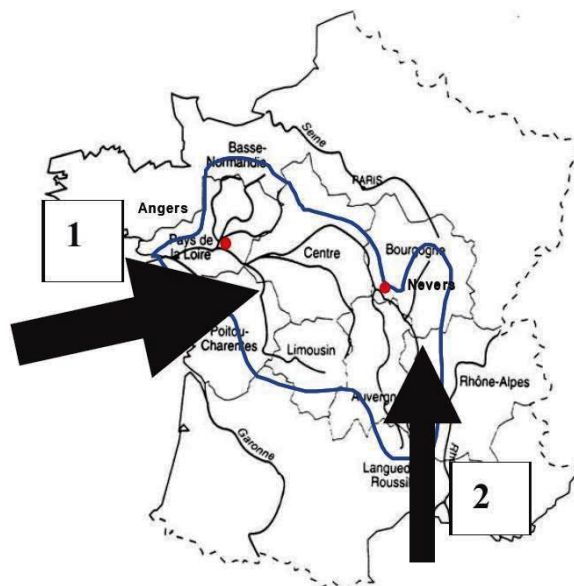


Figure 3-16 : Représentation des crues océaniques et cévenoles

➤ Les crues mixtes (1+2)

Ce sont les crues les plus fortes en Loire moyenne (type 1846, 1856, 1866, 1907). Elles proviennent de la conjonction des deux types d'événements. Elles ont lieu en mai-juin ou en octobre - novembre, voire exceptionnellement fin septembre.

Des pluies océaniques touchent tout le bassin, y compris le Nord du haut-bassin. Une petite crue océanique généralisée apparaît. Un orage cévenol survient sur le haut-bassin et provoque une crue qui « surfe » sur la crue océanique.

Pour ces événements forts, les crues de l'Allier et de la Loire au Bec d'Allier sont généralement concomitantes à quelques 10 heures près.

**b) Hydrogrammes injectés en tête du modèle ADN2008**

L'étude hydrologique "Loire moyenne", réalisée par Hydratec pour le compte de l'Etat, de l'Epala et de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, s'appuie sur de nombreuses études menées depuis des décennies sur la Loire entre autre par le Service Hydrologique Centralisateur et sur de multiples résultats concernant les crues historiques de 1856, 1866 et 1907. Cette démarche de définition des apports a été validée par un groupe d'experts en hydrologie mis en place par le Comité Technique de l'étude Loire moyenne. Le groupe d'experts a validé la quantification des débits variables en fonction du temps injectés dans le modèle de façon à disposer de scénarios cohérents avec les scénarios déjà utilisés dans les études antérieures, principalement ceux représentant la crue de 1866 en tenant compte aussi des particularités de la crue de 1866, et de décliner ces scénarios en fonction de la période de retour.

L'étude "Loire moyenne" a ainsi permis de définir l'apport de la Loire à Nevers et celui de l'Allier au pont SNCF du Guétin, points d'entrée du modèle "Loire moyenne". Il s'agit d'une série d'hydrogrammes correspondant à des crues théoriques de période de retour 50, 70, 100, 170, 200 et 500 ans de type mixte (océanique + cévenol).

Les points d'entrée du modèle hydraulique ADN 2008, utilisé pour la présente étude, sont Decize sur la Loire et Moulins sur l'Allier.

Les hydrogrammes ont donc été repris et adaptés pour les utiliser comme hydrogrammes d'injection du modèle, afin d'assurer une cohérence avec l'étude "Loire moyenne" :

- Un décalage dans le temps a été effectué (de l'ordre d'une vingtaine d'heures)
- Un débit de base aux hydrogrammes d'entrée sur la Loire et sur l'Allier a été ajouté, afin de tenir compte de l'écrêtement en ligne.

Les débits de la Loire à Nevers et au Bec d'Allier, pour les 6 crues de projet, sont présentés dans le tableau suivant.

Période de retour	Débit de la Loire à Nevers (en m <sup>3</sup> /s)		Débit naturel de l'Allier (en m <sup>3</sup> /s)	Débit de la Loire au Bec d'Allier (en m <sup>3</sup> /s)	
	naturel	écrêté par le barrage de Villerest		naturel	écrêté par le barrage de Villerest
<b>50 ans</b>	3 300	2 300	2 100	5 200	4 200
<b>70 ans</b>	3 620	2 620	2 500	6 000	5 000
<b>100 ans</b>	4 280	3 280	2 800	7 000	6 000
<b>170 ans</b>	4 500	3 500	3 100	7 500	6 500
<b>200 ans</b>	4 900	3 900	3 300	8 000	7 000
<b>500 ans</b>	5 500	4 500	4 100	9 500	8 500

*Tableau 3-3 : Débits de la Loire à Nevers et au Bec d'Allier pour les crues de projet*

Les crues de projet simulées dans la présente étude tiennent compte de l'écèlement du barrage de Villerest.

Les différents hydrogrammes injectés en tête du modèle sont présentés sur les deux figures en page suivante.

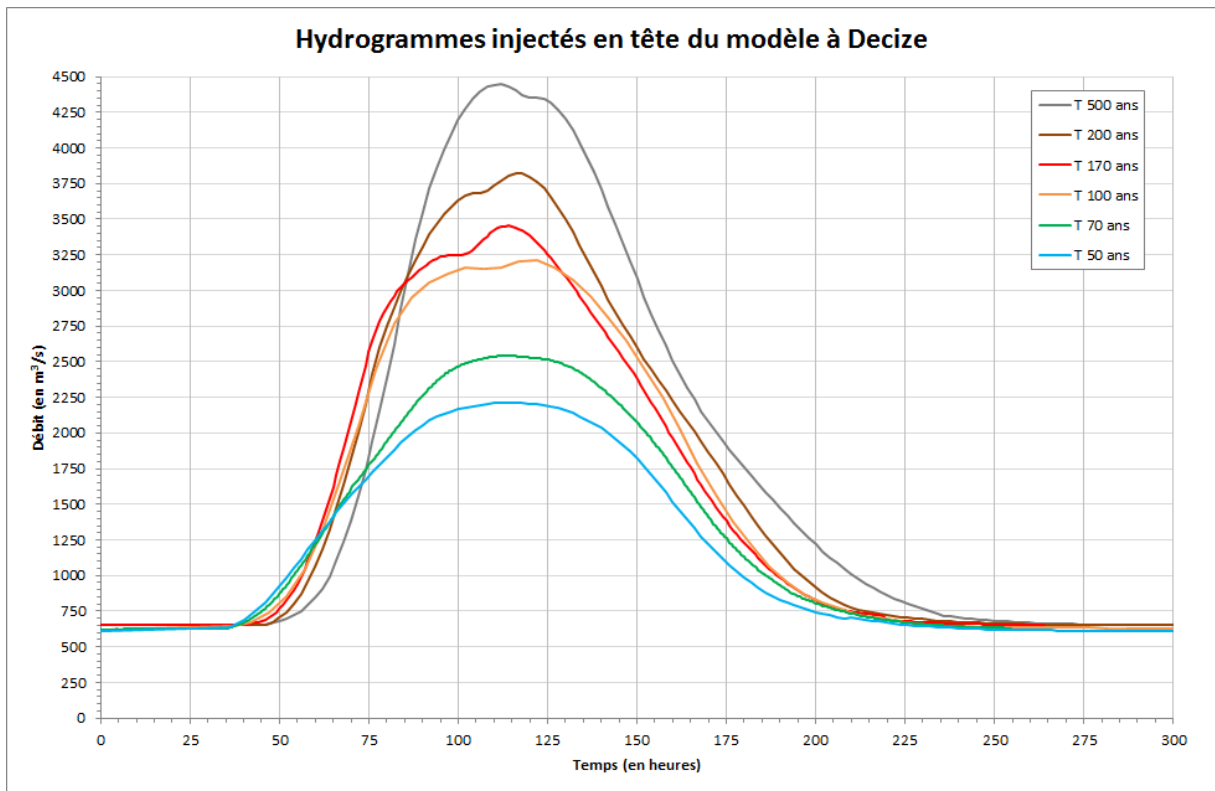


Figure 3-17 : Hydrogrammes de la Loire injectés en tête du modèle à Decize

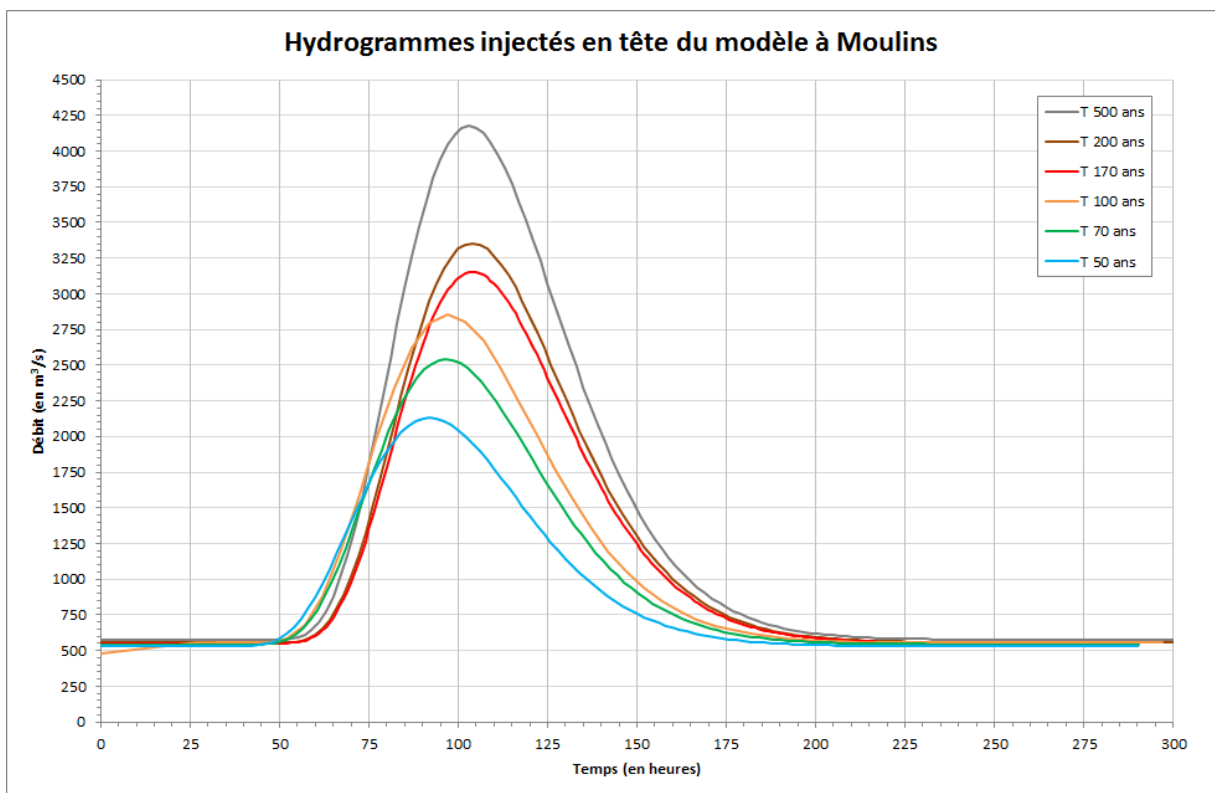


Figure 3-18 : Hydrogrammes de l'Allier injectés en tête du modèle à Moulins



### 3.2.6 Calage du modèle hydraulique

#### a) Préambule

##### Principes du calage

Avant d'utiliser le modèle pour étudier le passage des crues dans la situation actuelle, puis, dans différentes configurations d'aménagement en situation future, il convient de procéder à la vérification de sa représentativité.

Le calage du modèle hydraulique consiste à faire varier les coefficients de Strickler décrivant la rugosité caractérisant les berges et le fond de la Loire autour des valeurs classiques représentatives de ce type de rivière jusqu'à retrouver, par le calcul, les cotes observées pour la crue dite "crue de calage".

Le modèle ADN2008 a été calé dans le cadre de l'étude EGRIAN. Comme son architecture a été modifiée sur le secteur d'étude, il convient de vérifier la représentativité du modèle, notamment sur ce secteur.

##### Présentation de la crue de calage

La crue de calage est la crue de décembre 2003, qui, est une crue cévenole. Cette crue apparaît comme cinquantennale à l'amont du Bec d'Allier et entre vicennale et cinquantennale après la confluence.

Crue	Q Loire à Nevers	Q Allier à Moulins	Q Nièvre	Q Loire à Givry
Décembre 2003	2 180 m <sup>3</sup> /s	1 580 m <sup>3</sup> /s	27 m <sup>3</sup> /s	3 400 m <sup>3</sup> /s

Tableau 3-4 : Présentation de la crue de calage

##### Hydrogrammes injectés en tête de modèle

Etant donné qu'il existe une station hydrométrique à Decize mais non jaugée, l'hydrogramme injecté à Decize, en tête du modèle sur la Loire, a été déterminé de sorte de retrouver le débit observé aux stations d'Imphy et surtout de Nevers.

Il correspond ainsi à l'hydrogramme observé à la station d'Imphy pour la crue de 2003, celle-ci ayant été jaugée. L'hydrogramme a bien évidemment été décalé dans le temps afin de prendre en compte les temps de propagation.

L'hydrogramme injecté à Moulins, en tête de modèle sur l'Allier, correspond à l'hydrogramme observé à la station hydrométrique de Moulins.

L'hydrogramme injecté à Pont-Saint-Ours, en tête de modèle sur la Nièvre, correspond à une estimation de débits basée sur l'hydrogramme observé à la station de la Nièvre d'Arzembouy à Poiseux [Poisson], multiplié par le rapport des surfaces des bassins versants à la puissance 0.8. Le bassin versant à Poiseux étant de 224 km<sup>2</sup>, et de 594 km<sup>2</sup> à Pont-Saint-Ours.

Les hydrogrammes des apports intermédiaires, à savoir La Queune, la Burge et la Bieudre sur l'Allier et l'Acolin sur la Loire amont sont issus des données de la Banque HYDRO.

Les hydrogrammes injectés dans le modèle pour la crue de décembre 2003 sont présentés sur les figures suivantes.

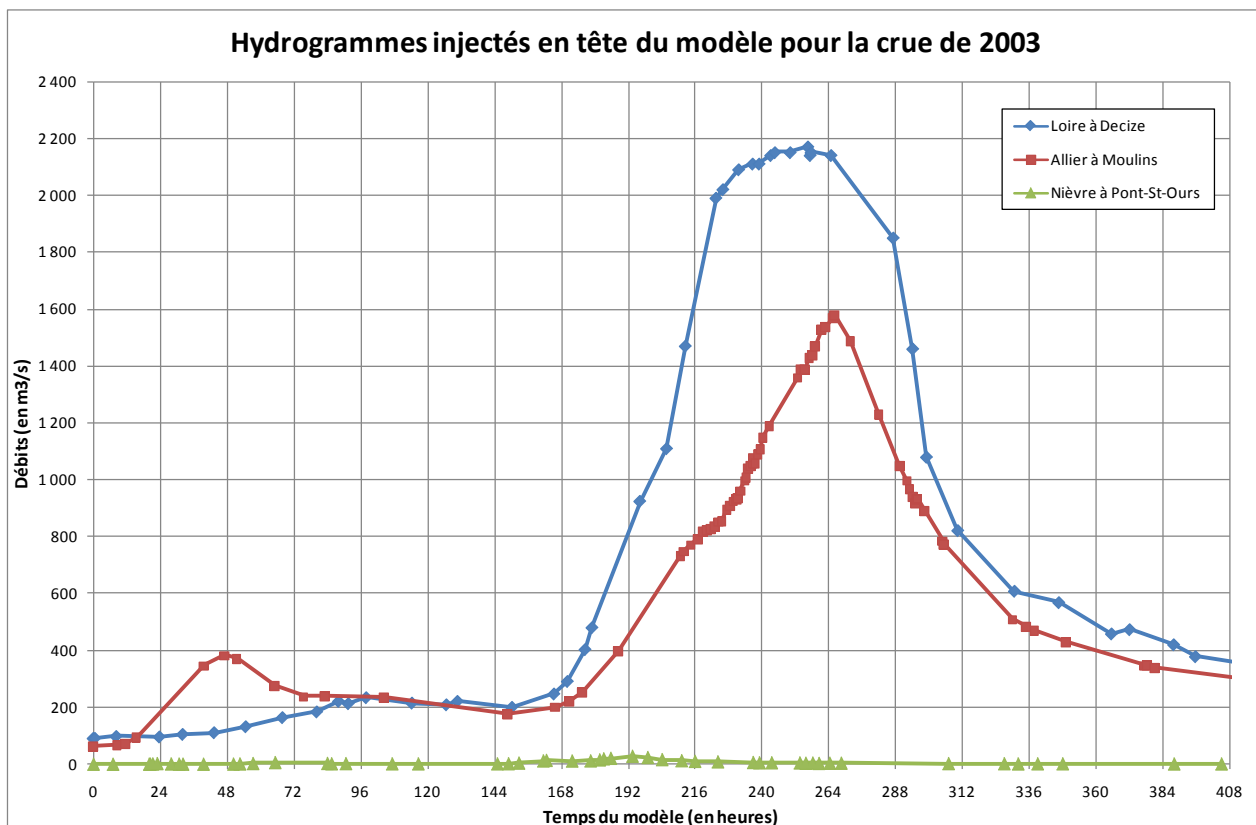


Figure 3-19 : Hydrogrammes injectés en tête du modèle pour la crue de décembre 2003

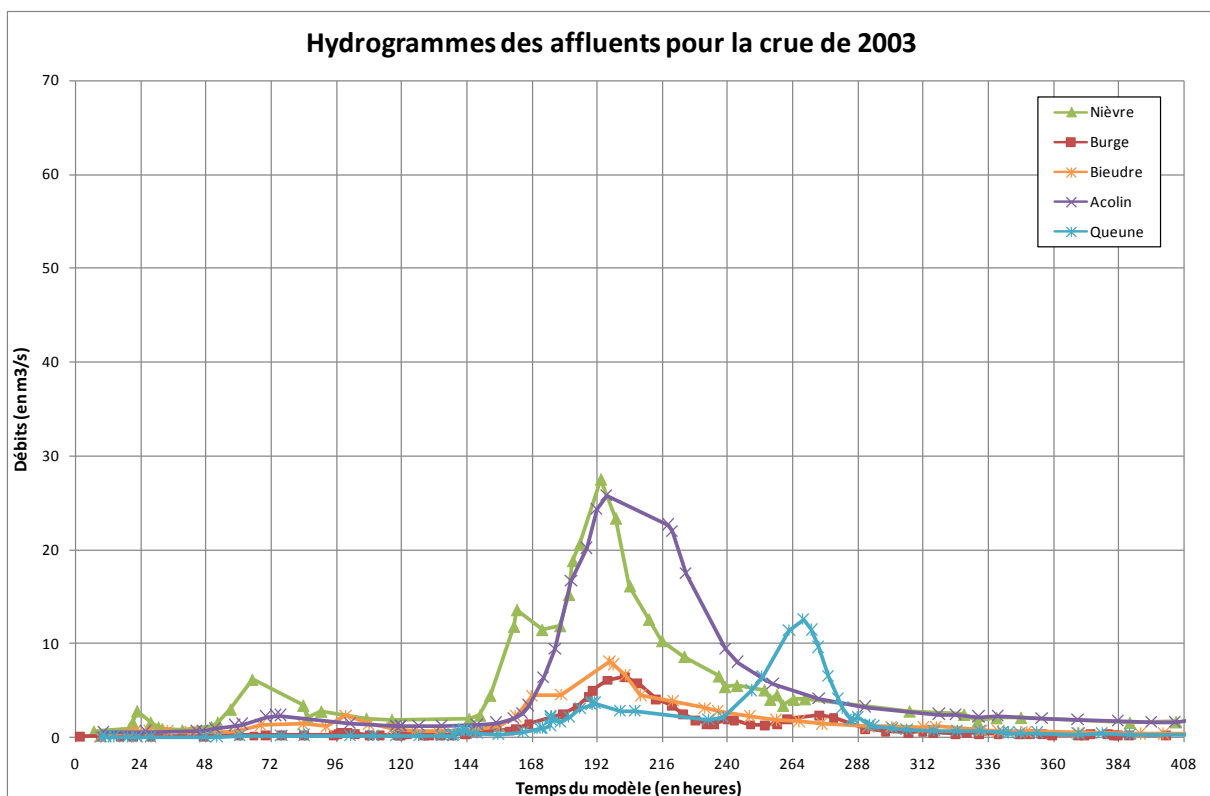


Figure 3-20 : Hydrogrammes des affluents pour la crue de décembre 2003

### Données de calage

Les données utilisées pour le calage du modèle hydraulique sont :

- les hydrogrammes et les limnigrammes aux stations de Imphy, Nevers et Givry sur la Loire (source : DIREN),
- les hydrogrammes et les limnigrammes aux stations de Moulins, Veudre et Cuffy sur l'Allier (source : DIREN),
- les repères de crue sur la Loire et l'Allier (source : DIREN).

### Précision du calage

Les incertitudes sur la connaissance des débits de crue écoulés, sur le moment de lecture et sur la lecture elle-même des échelles de crue du fait de conditions expérimentales difficiles, font que le calage n'est jamais parfait.

Les incertitudes engendrent les imprécisions suivantes :

- l'incertitude sur l'hydrologie : la reconstitution des débits aux échelles à partir des observations de niveaux par l'intermédiaire des courbes de tarage engendre des imprécisions sur les débits injectés dans le modèle.
- l'incertitude sur le moment de la lecture (la lecture de l'échelle n'a pas lieu au moment du passage du maximum) induit une imprécision pouvant aller jusqu'à une dizaine de centimètres sur les niveaux mesurés, en particulier lors d'une crue « pointue ».
- la difficulté de lecture (vagues ou batillage, nuit, accessibilité de l'échelle...) induit une imprécision de 1 à 2 cm sur les niveaux mesurés.
- l'incertitude liée à la position de l'échelle : les échelles situées dans l'extrados d'une courbe ou dans le remous d'un pont induisent une surcote de quelques centimètres qui n'est pas prise en compte dans le modèle.

Il n'est donc pas nécessaire de chercher à caler le modèle avec une précision plus fine que l'intervalle [+15 cm ; -15 cm]. Cela refléterait une précision illusoire qui ne correspond pas à la réalité.

## **b) Résultats du calage**

### Propagation des hydrogrammes et limnigrammes

Les graphiques ci-après superposent les hydrogrammes mesurés aux stations (courbes bleues) aux hydrogrammes calculés par le modèle (courbes rouges) ainsi que les limnigrammes mesurés aux stations (courbes bleues) aux limnigrammes calculés par le modèle (courbes rouges), pour la crue de calage de décembre 2003.

LOIRE

Hydrogrammes

Limnigrammes

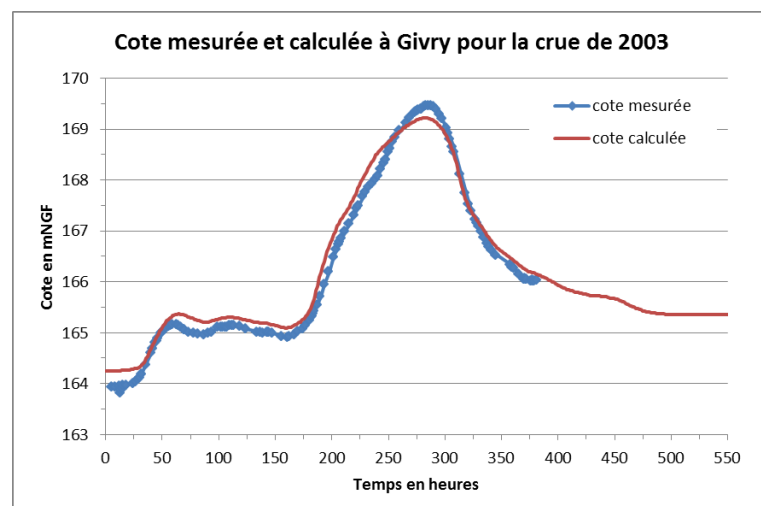
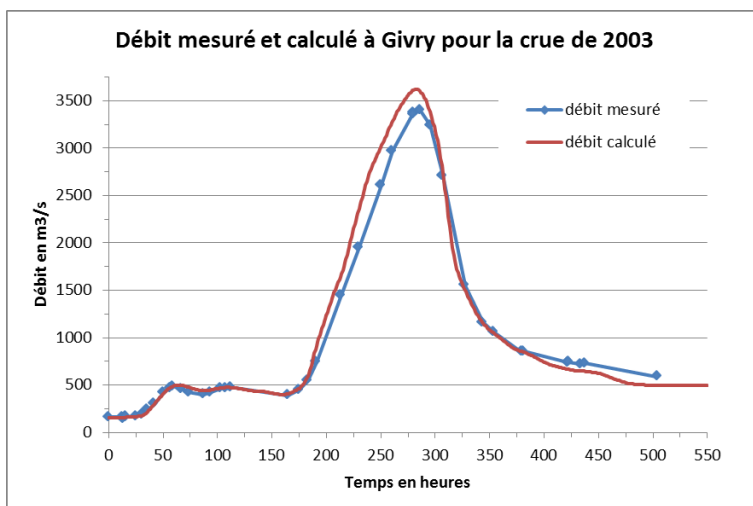
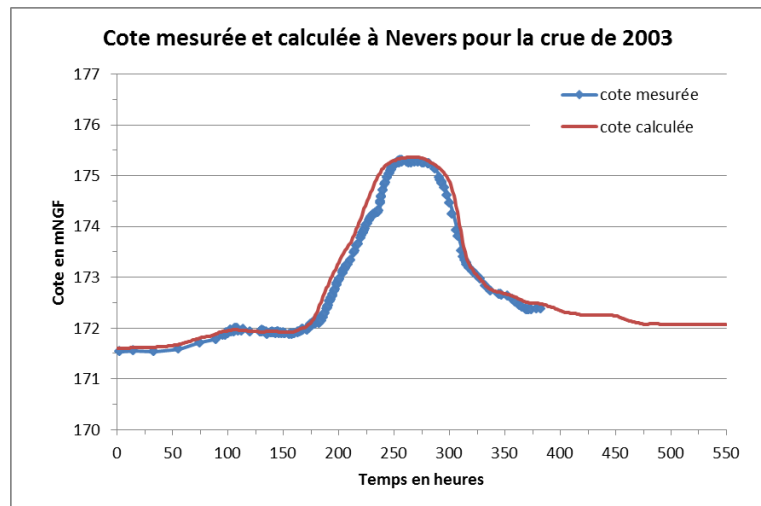
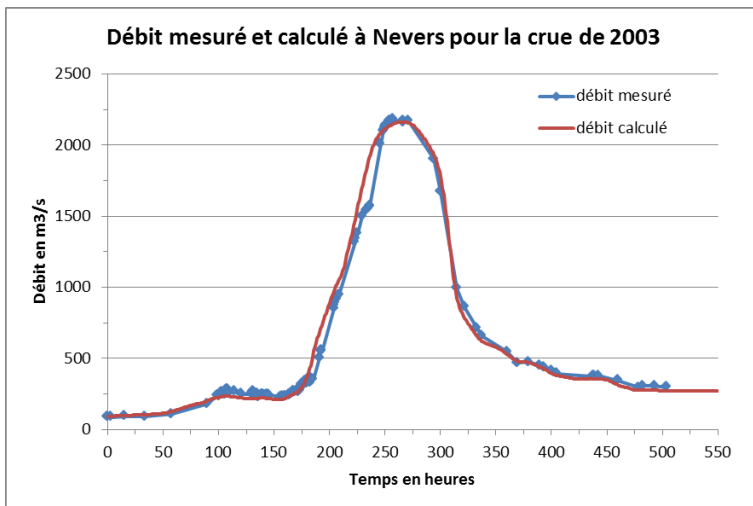
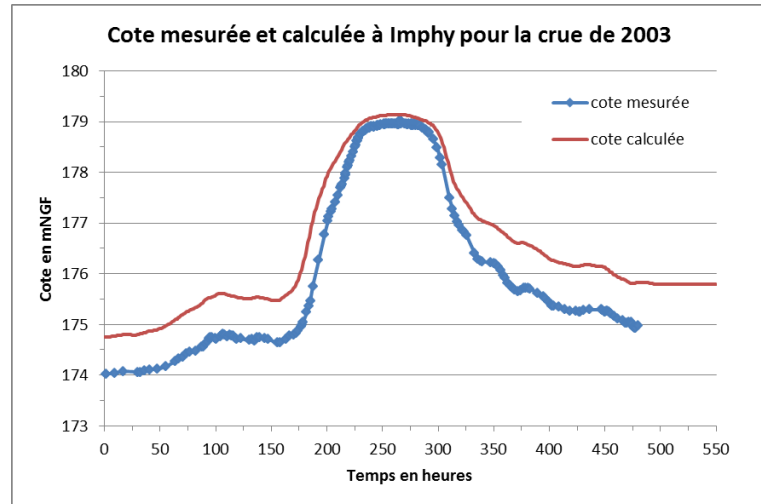
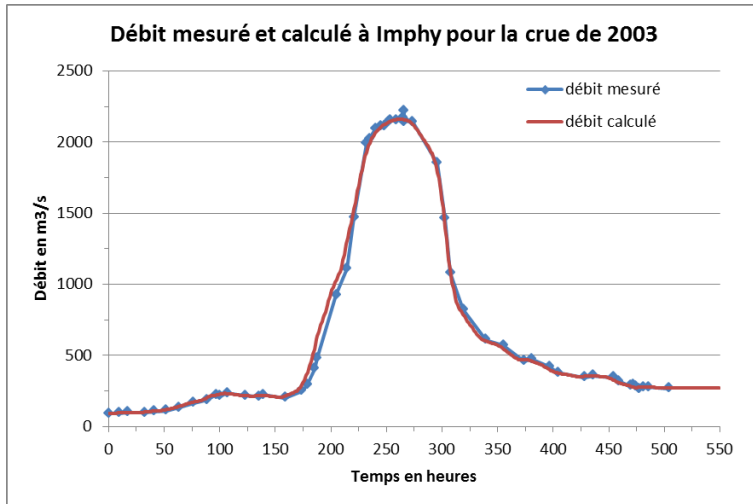


Figure 3-21 : Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes aux stations de mesures sur la Loire pour la crue de décembre 2003

Hydrogrammes

Limnigrammes

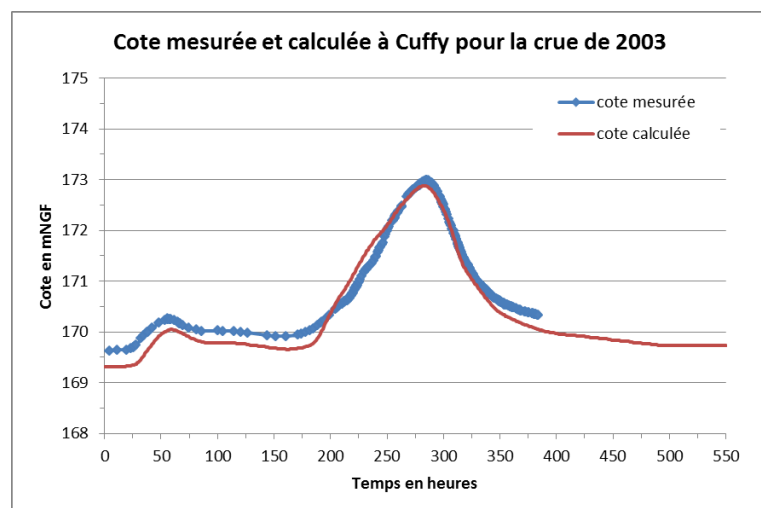
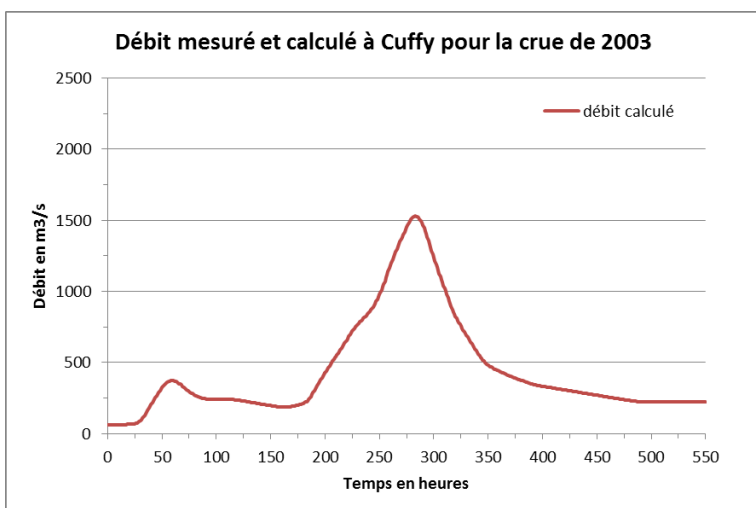
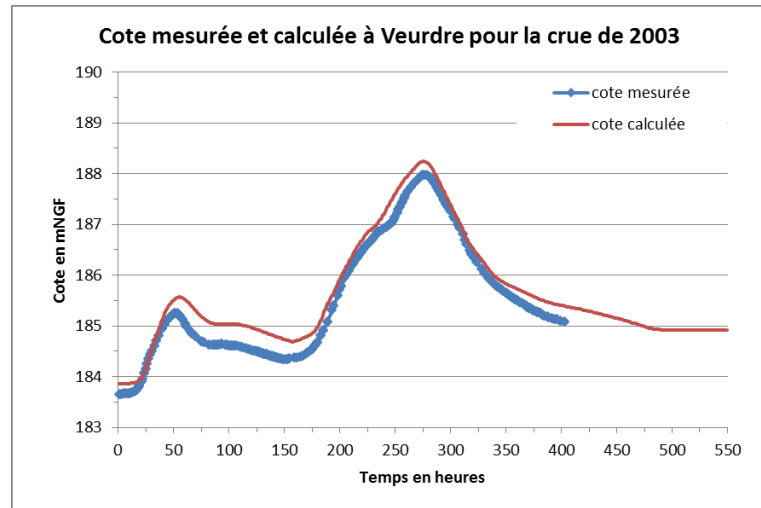
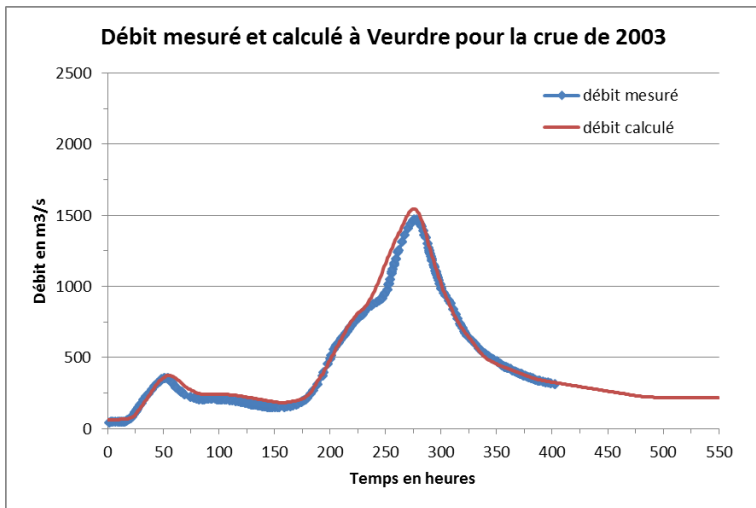
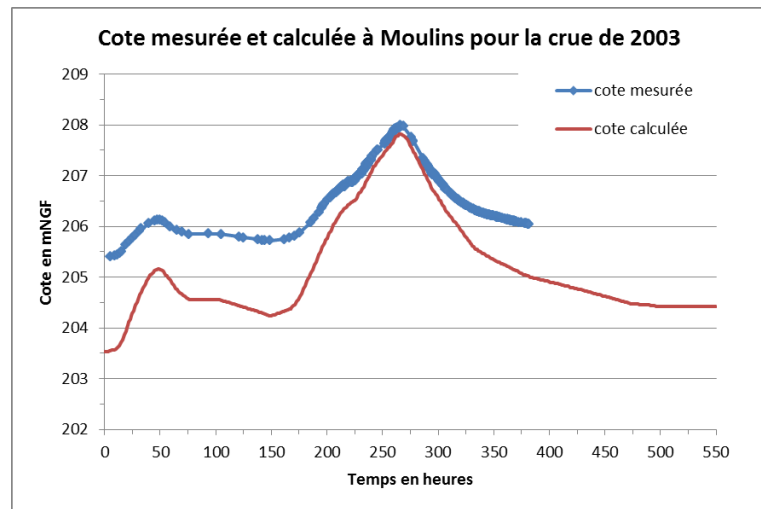
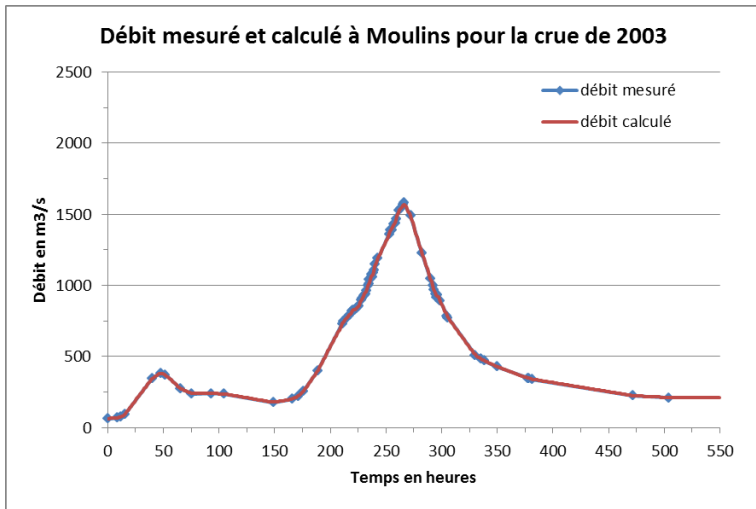


Figure 3-22 : Comparaison des hydrogrammes et limnigrammes aux stations de mesures sur l'Allier pour la crue de décembre 2003

Ces graphiques permettent d'apprécier la bonne propagation des hydrogrammes depuis Moulins et Decize jusqu'à Saint-Satur :

- tant d'un point de vue quantitatif : les débits de pointe sont sensiblement les mêmes :

		Débit maximum en m <sup>3</sup> /s		
		Mesuré Qm	Calculé Qc	Ecart (Qc - Qm)/Qm
<b>Allier</b>	Moulins	1 580	1 567	-1%
	Veurdre	1 470	1 546	5%
	Cuffy	-	1 530	0%
<b>Loire</b>	Imphy	2 220	2 161	-3%
	Nevers	2 180	2 162	-1%
	Givry	3 400	3 620	6%

Tableau 3-5 : Comparaison des débits maximums aux stations de mesures pour la crue de décembre 2003

- que d'un point de vue temporel : les deux courbes se superposent, il n'y a pas de décalage.

On vérifie que le débit injecté à Decize en tête de modèle et propagé en particulier jusqu'à Imphy et Nevers correspond bien au débit mesuré à ces stations.

Ainsi, le modèle assure une bonne propagation des hydrogrammes : le calage en débits s'avère satisfaisant.

Comme précédemment pour les hydrogrammes, ces graphiques permettent d'apprécier la superposition des limnigrammes calculés et mesurés aux différentes stations depuis Moulins et Decize jusqu'à Saint-Satur :

- tant d'un point de vue quantitatif : les cotes maximales sont sensiblement les mêmes :

		Cote maximum en mNGF		
		Mesuré Zm	Calculé Zc	Ecart Zc - Zm
<b>Allier</b>	Moulins	207.99	207.82	-0.17 m
	Veurdre	187.97	188.24	0.27 m
	Cuffy	172.99	172.88	-0.11 m
<b>Loire</b>	Imphy	179.03	179.14	0.11 m
	Nevers	175.30	175.36	0.06 m
	Givry	169.47	169.22	-0.25 m

Tableau 3-6 : Comparaison des cotes maximums aux stations de mesures pour la crue de décembre 2003

- que d'un point de vue temporel : les deux courbes se superposent, il n'y a pas de décalage.

#### Profils en long des lignes d'eau maximales

Le tableau suivant compare les cotes maximales de la Loire calculées par le modèle hydraulique lors de la simulation de la crue de calage de décembre 2003 avec les cotes observées aux différents repères de crue.

	Localisation du repère de crue	Emplacement dans le modèle	Zc = Z max calculé (mNGF)	Zm = Z repère de crue (mNGF)	$\Delta z$ = Zc - Zm (m)
<b>LOIRE</b>	Sougy	NOD_161	187.19	187.15	0.04
	Druy-Parigny	NOD_542	185.39	185.36	0.03
	Béard	NOD_24	183.79	183.72	0.07
	St-Ouen	NOD_167	182.37	182.38	-0.01
	Imphy "Plauts"	NOD_170	180.63	180.42	0.21
	Imphy "Tour"	NOD_527	180.02	180.04	-0.02
	Imphy "Station"	NOD_450	179.14	179.2	-0.06
	Imphy "Pont"	NOD_23	178.96	179.04	-0.08
	Sauvigny "Thiot"	NOD_86	177.99	177.96	0.03
	St-Eloi "Maison rouge"	NOD_262	176.64	176.65	-0.01
	Nevers "pont déviation"	NOD_331	176.36	176.34	0.02
	Nevers "Levée St-Eloi"	NOD_265	176.1	176.08	0.01
	Nevers "Jonction"	NOD_451	175.36	175.3	0.06
	Nevers "Ecluse"	NOD_272	175.15	175.02	0.13
	Nevers "pont RN7"	NOD_41	174.87	174.91	-0.04
	Nevers "pont SNCF av"	NOD_283	174.53	174.59	-0.06
	Nevers "La Pisserotte"	NOD_290	173.68	173.65	0.03
	Marzy "La Fossaie"	NOD_297	172.77	172.62	0.15
	Marzy "Villa Bruno"	NOD_528	172.14	171.89	0.25
	Marzy "Corcelles"	NOD_414	170.12	170.28	-0.16
	Cours-les-Barres "Givry"	NOD_182	169.22	169.47	-0.25
	Fourchambault	NOD_529	168.92	168.96	-0.04
	Garchizy	NOD_417	168.27	168.29	-0.02
	Cours-les-Barres "Chaume"	NOD_186	167.81	167.84	-0.03
	Soulangy "bourg"	NOD_189	166.78	166.9	-0.12
	Jouet s/ Aubeis "Canche"	NOD_2	166.02	165.98	0.04
	"Poids de Fer"	NOD_431	165.92	166.04	-0.12
	"Confluence de l'Aubeis"	NOD_192	165.38	165.37	0.01
	Marseille "Sablière"	NOD_462	165.1	165.14	-0.04
	Beffes	NOD_463	164.13	164.25	-0.12
	Tronsanges	NOD_464	162.73	162.79	-0.06
	La Marche	NOD_198	161.64	161.73	-0.09
	Argenvières	NOD_201	160.44	160.58	-0.14
	La Charité "service eaux"	NOD_203	159.91	160.03	-0.12
	La Chapelle-Montlinard	NOD_203	159.91	160.13	-0.22
	La Charité "pont"	NOD_205	159.45	159.52	-0.07
	La Charité "pont"	NOD_205	159.45	159.47	-0.02
	Moyenne des $\Delta z$ en valeurs absolues (en m)				0.08
	Ecart-type des $\Delta z$ (en m)				0.10

Tableau 3-7 : Comparaison des cotes calculées par le modèle aux cotes des repères de crue pour la crue de décembre 2003 – sur la Loire



Le tableau suivant compare les cotes maximales de l'Allier calculées par le modèle hydraulique lors de la simulation de la crue de calage de décembre 2003 avec les cotes observées aux différents repères de crue.

	Localisation du repère de crue	Emplacement dans le modèle	Zc = Z max calculé (mNGF)	Zm = Z repère de crue (mNGF)	$\Delta z = Zc - Zm$ (m)
<b>ALLIER</b>	Moulins "pont Regemorte"	NOD_43	207.88	207.8	0.08
	Villeneuve "pont"	NOD_44	199.24	199.23	0.01
	Livry "pont du Veurdre"	NOD_31	188.24	188.17	0.07
	Mornay s/ Allier "pont"	NOD_338	183.46	183.43	0.03
	Mars s/ Allier "Oliveau"	NOD_155	181.16	181.17	-0.01
	Neuvy le Barrois "St-Caprais"	NOD_531	180.86	180.9	-0.04
	Mars s/ Allier "Bourg"	NOD_96	179.38	179.49	-0.11
	Apremont "Bourg"	NOD_534	176.38	176.42	-0.03
	Barrage des Lorrains aval	NOD_276	174.5	174.82	-0.31
	Cuffy "pont canal amont"	NOD_279	172.88	172.99	-0.11
	Cuffy "Bec d'Allier"	NOD_26	172	172.32	-0.32
	Moyenne des $\Delta z$ en valeurs absolues (en m)				0.10
	Ecart-type des $\Delta z$ (en m)				0.13

Tableau 3-8 : Comparaison des cotes calculées par le modèle aux cotes des repères de crue pour la crue de décembre 2003 – sur l'Allier

Ainsi, le modèle restitue pour la crue de calage de décembre 2003 :

- à  $\pm 10$  cm près, 67% des 48 cotes observées,
- à  $\pm 15$  cm près, 85% des 48 cotes observées.

Cette analyse nous permet de considérer le calage obtenu comme acceptable, compte tenu des incertitudes demeurant sur certaines cotes observées, et des variations inférieures à 10-15 cm pour la plupart des cotes observées.

Le modèle, calé sur une crue de période de retour 50 ans, est utilisé dans la suite de l'étude pour des crues plus importantes. L'hypothèse du caractère invariable des paramètres de calage pour toutes les crues est une hypothèse forte, mais allant dans le sens de la sécurité : en effet, quand le rayon hydraulique, le coefficient de Strickler augmente également. Ainsi, conserver les paramètres de calage pour une crue moyenne surestime légèrement les lignes d'eau calculées pour des crues plus importantes.

Les figures en page suivante présentent le profil en long de la ligne d'eau maximale en Loire calculée par le modèle hydraulique pour la crue de calage de décembre 2003.

A cette ligne d'eau, les cotes des repères de crue ont été superposées afin de juger de la qualité du calage.

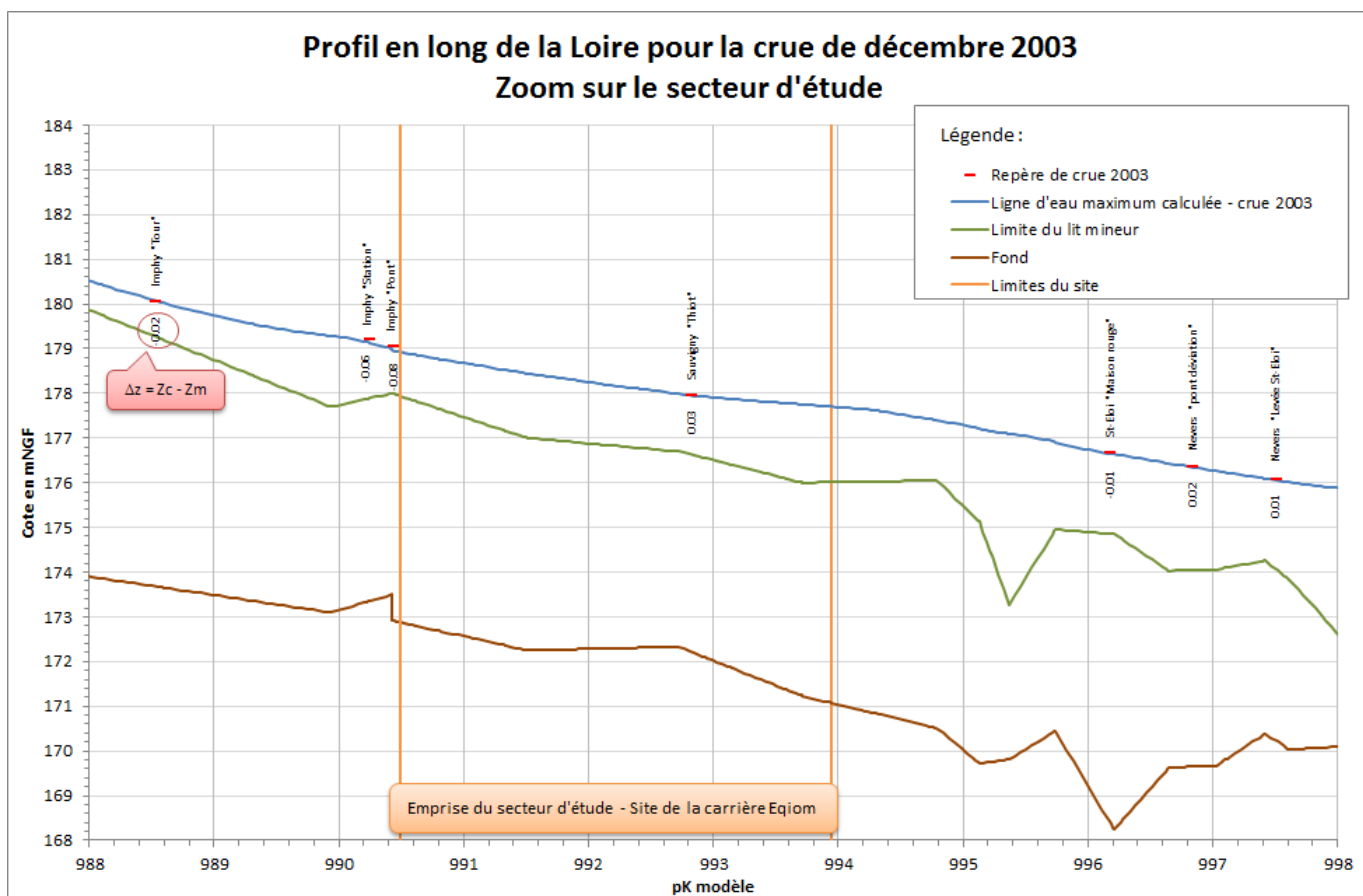
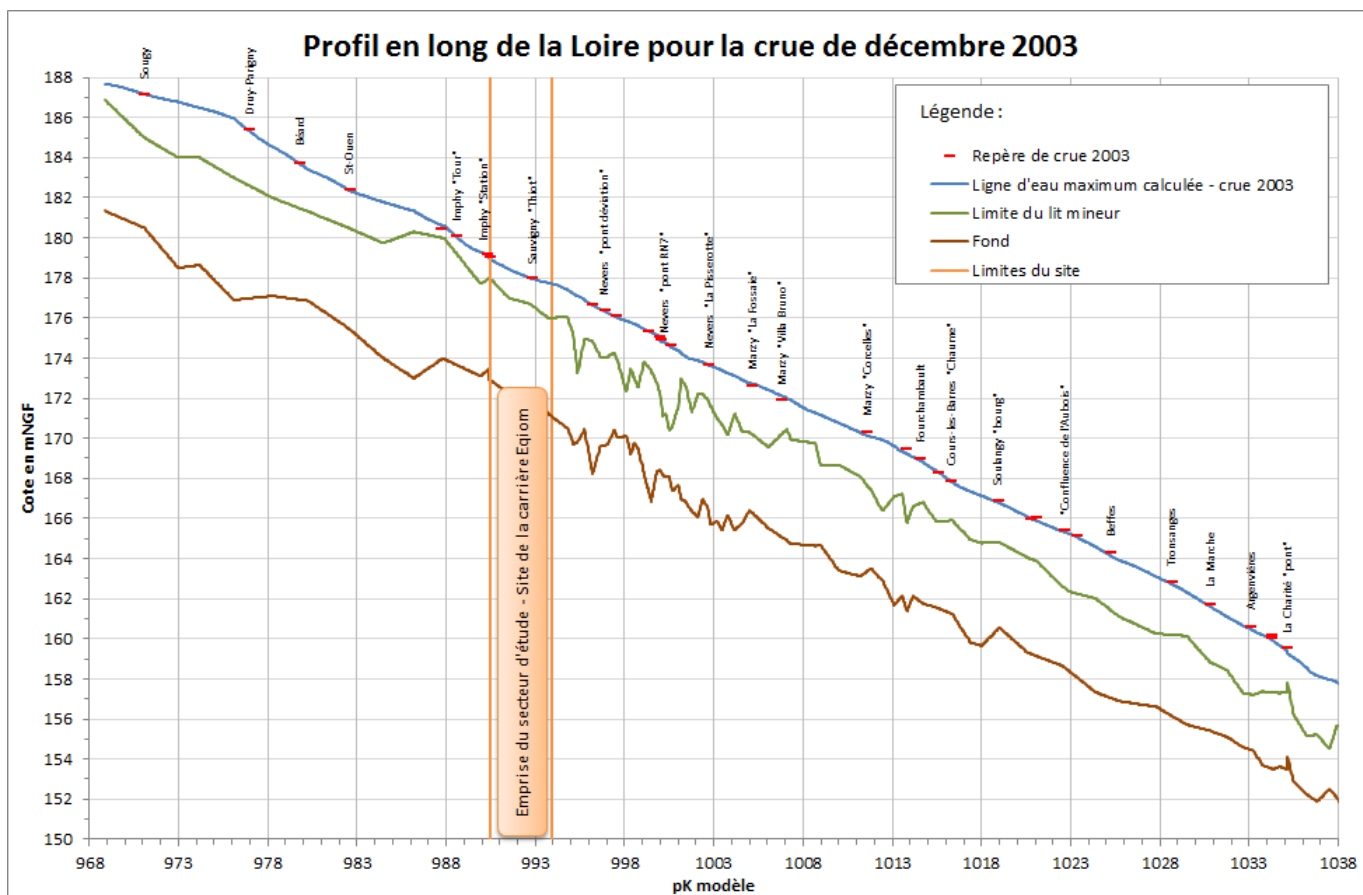


Figure 3-23 : Profils en long de la Loire pour la crue de décembre 2003

Dans le cadre de la présente étude, le calage a porté sur les coefficients de Strickler de la Loire en amont de Nevers, dans le but d'améliorer la représentativité du modèle ADN2008 sur le secteur étudié.

Les coefficients de Strickler obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

pK	ID profil en travers	Modèle Eqiom (ADN2008 affiné)		Modèle ADN2008	
		K lit mineur	K lit majeur	K lit mineur	K lit majeur
973.000	P105	36	9	35	9
974.190	P106	36	9	35	9
976.110	P107	22	9	21	9
978.250	P108	21	12	20	12
980.290	P109	31	15	30	15
982.520	P110	45	20	45	20
984.470	P111	45	20	45	20
986.200	P112	34	6	33	6
987.750	P113	27	16	28	18
989.940	P114	20	10	28	18
990.430	L01	24	16	28	18
991.510	L02	26	18	27	15
992.720	L03	26	21	26	21
993.715	L04	26	21	26	21

Tableau 3-9 : Comparaison des coefficients de Strickler avant et après calage sur le secteur étudié

Pour information, les valeurs du coefficient de Strickler K utilisées pour le calage sur l'ensemble du modèle ADN2008 sont les suivantes :

	K lit mineur	K lit majeur
<b>Loire</b>	19-45	6-28
<b>Allier</b>	20-38	8-40
<b>Nièvre et affluents</b>	20-30	10-15

Tableau 3-10 : Coefficients de Strickler utilisés lors du calage du modèle ADN2008

Ces valeurs sont en moyenne représentatives de la rugosité des différents biefs, les écarts à la moyenne étant nécessaires pour le calage fin de l'outil de calcul.

En particulier en amont d'Imphy, pour les besoins du calage, le coefficient de rugosité a été évalué à 45, ce qui est élevé ; toutefois, cela n'a pas d'incidence sur le reste du modèle.

### 3.3 RESULTATS DE LA MODELISATION

Une fois le modèle détaillé localement et calé sur la crue de décembre 2003 pour s'assurer de sa représentativité, les simulations suivantes sont réalisées :

- crue de période de retour 50ans,
- crue de période de retour 70ans,
- crue de période de retour 100ans,
- crue de période de retour 170ans,
- crue de période de retour 200ans,
- crue de période de retour 500ans.

Au début de la simulation, les niveaux d'eau dans les gravières actuelles sont fixés à 173m NGF. Pour mémoire, le niveau moyen mesuré des plans d'eau est d'environ 173,50m NGF entre 2000 et 2013.

De plus, 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.

#### 3.3.1 Profils en long de la ligne d'eau en Loire

Les profils en long de la ligne d'eau maximale en Loire pour les différentes crues sont présentés sur la Figure 3-24 en page suivante.

A noter que les cotes PHEC sur le secteur d'étude varient de 180,50 m NGF à l'amont à 179,50 m NGF à l'aval.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Cotes PHEC reconstituées issues du *PPRi Loire secteur compris entre Nevers et Saint-Léger-des-Vignes*, approuvé en date du 05 mars 2003 et modifié en date du 29 septembre 2014

## Profils en long de la Loire en crue en situation actuelle Zoom sur le secteur d'étude

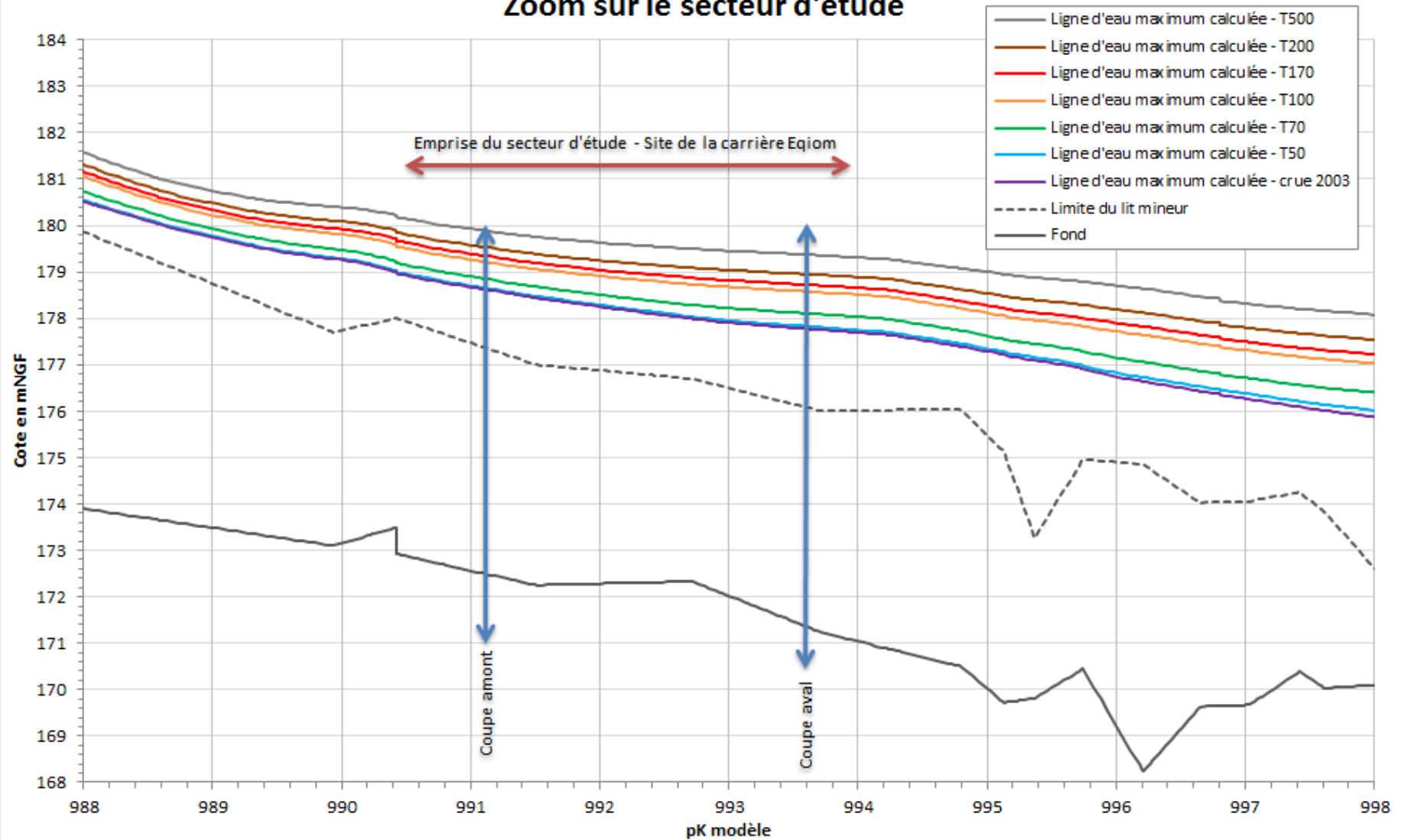


Figure 3-24 : Profils en long de la ligne d'eau maximale en Loire pour les crues étudiées en situation actuelle

### 3.3.2 Sollicitation hydraulique du site - hauteurs de submersion

Afin de quantifier la sollicitation hydraulique du secteur étudié, les niveaux d'eau maximums en Loire pour les différentes crues ont été projetés sur deux coupes :

- une coupe à l'amont du secteur étudié,
- une coupe à l'aval du secteur étudié.

Ces deux coupes sont localisées sur la Figure 3-25 et présentées sur la Figure 3-26.

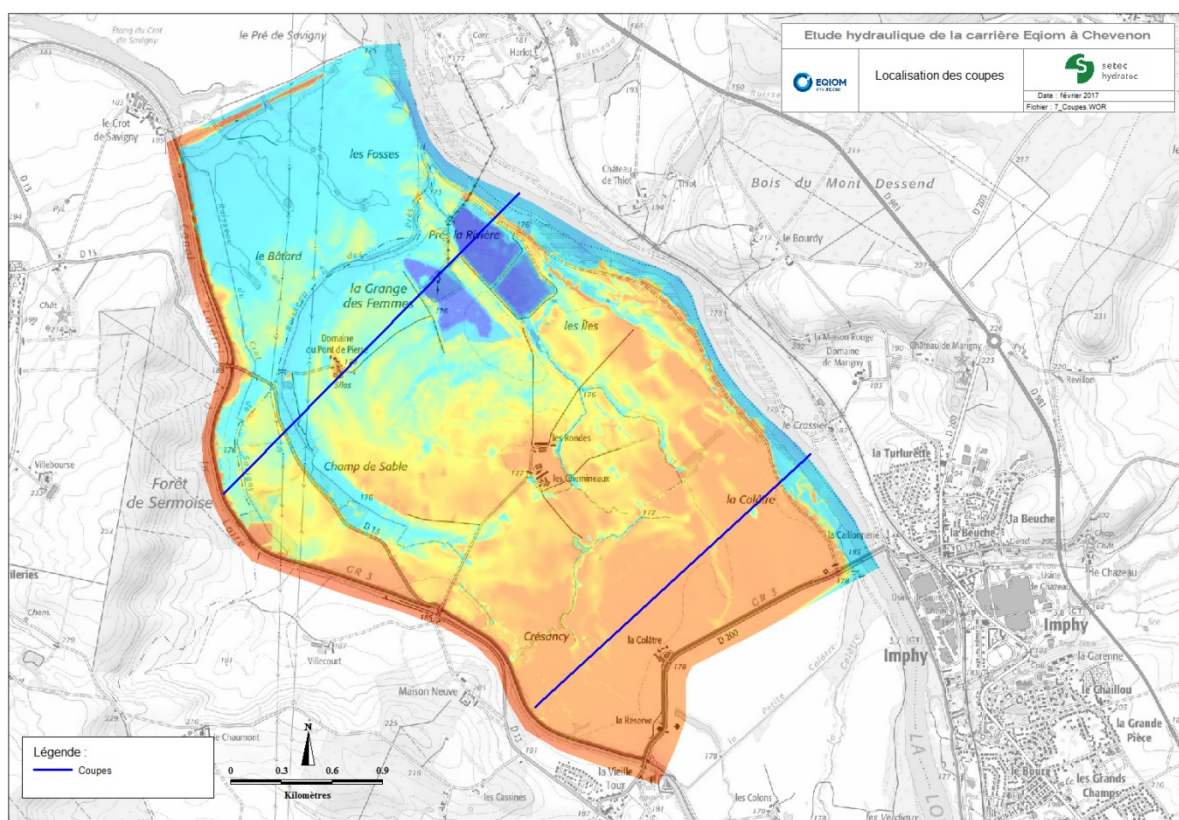


Figure 3-25 : Position des traits de coupe

Pour une même crue, l'aval du site est plus sollicité que l'amont : pour la crue de décembre 2003, on observe une hauteur de submersion moyenne d'environ 80cm à l'amont du site pour une hauteur de submersion moyenne d'environ 1m à l'aval du site.

Par ailleurs, on observe une différence de niveau en Loire entre l'amont et l'aval du site :

- de l'ordre de 85cm pour la crue de décembre 2003,
- de l'ordre de 60cm pour la crue de période de retour 170ans.

Ces différences sont ici observées à la pointe de crue et peuvent varier au cours de la crue.

## Sollicitation hydraulique du site en situation actuelle

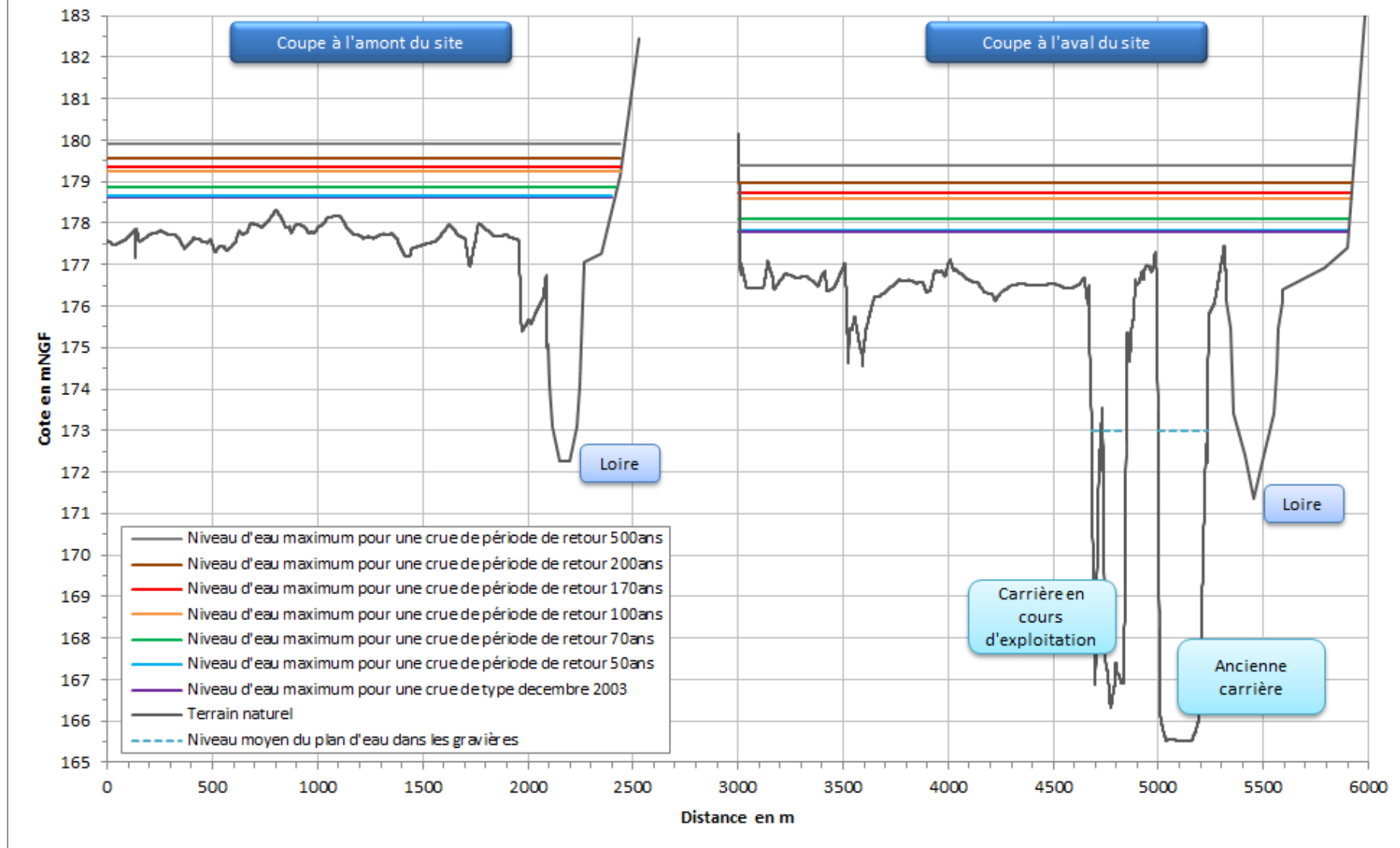


Figure 3-26 : Sollicitation hydraulique du site en situation actuelle

Les cartes suivantes présentent les hauteurs de submersion maximales sur le secteur étudié pour les différentes crues.

Les résultats cartographiques ne sont présentés que sur le secteur étudié délimité par :

- la Loire à l'Est,
- la RD 200 au Sud,
- le canal latéral à l'Ouest,
- le pré de Savigny au Nord.

Cela signifie que les hauteurs d'eau sur les secteurs alentours ne sont pas représentées.

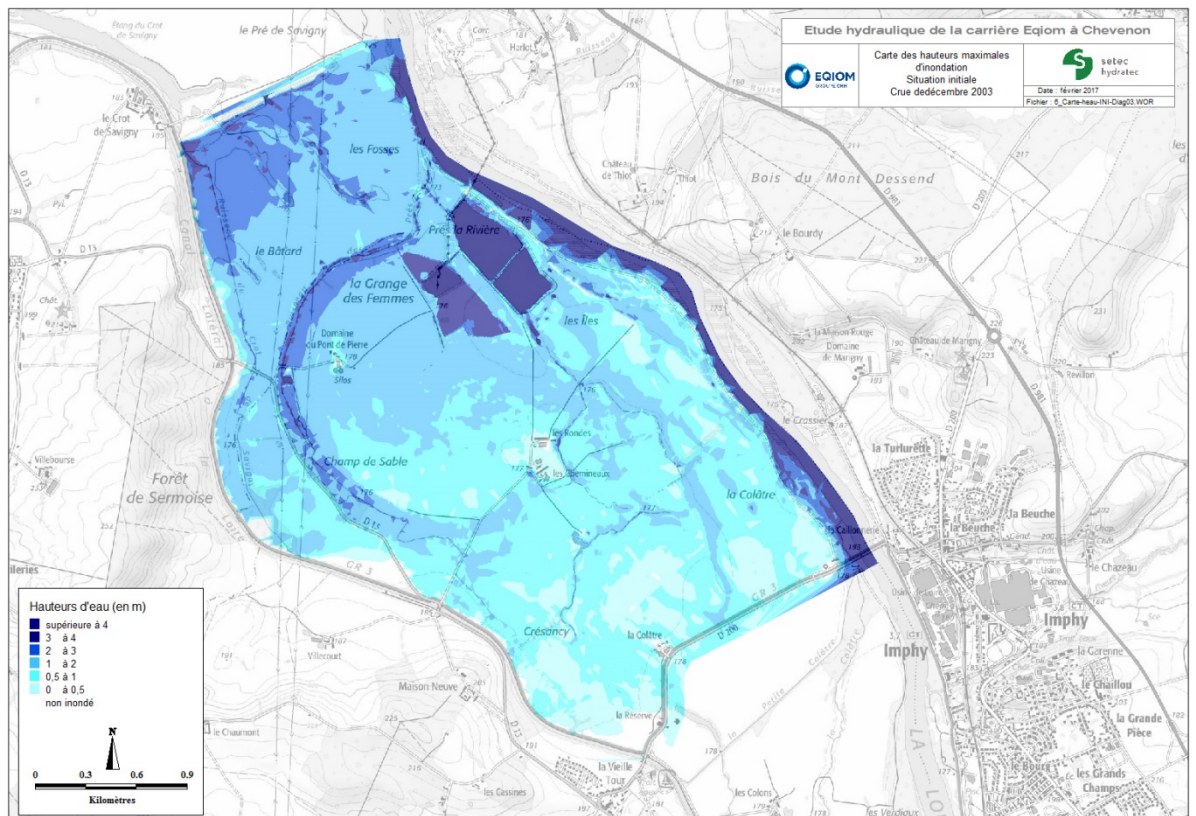


Figure 3-27 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue de dec 2003

Le site est entièrement inondé dès la crue de décembre 2003 avec des hauteurs d'eau atteignant les 2 mètres au niveau des gravières.

L'annexe 1 présente les résultats de la simulation de la crue de décembre 2003 à différents instants entre  $t=184h$  et  $t=351h$  (temps des premiers débordements jusqu'au début de la décrue). On constate que le site est, dans un premier temps, inondé par remous sur sa partie aval par l'intermédiaire du ruisseau des Prés, et dans un deuxième temps, par des surverses en amont du site en rive gauche de la Loire et sur la RD200.

Les gravières existantes sont donc noyées par l'aval avant l'arrivée des premières surverses submergeant le site. Par ailleurs, elles sont également pré-remplies lors de la montée de la crue grâce aux liaisons entre elles et le ruisseau des Prés. Pour mémoire, ces liaisons ont été présentées au paragraphe 3.1.



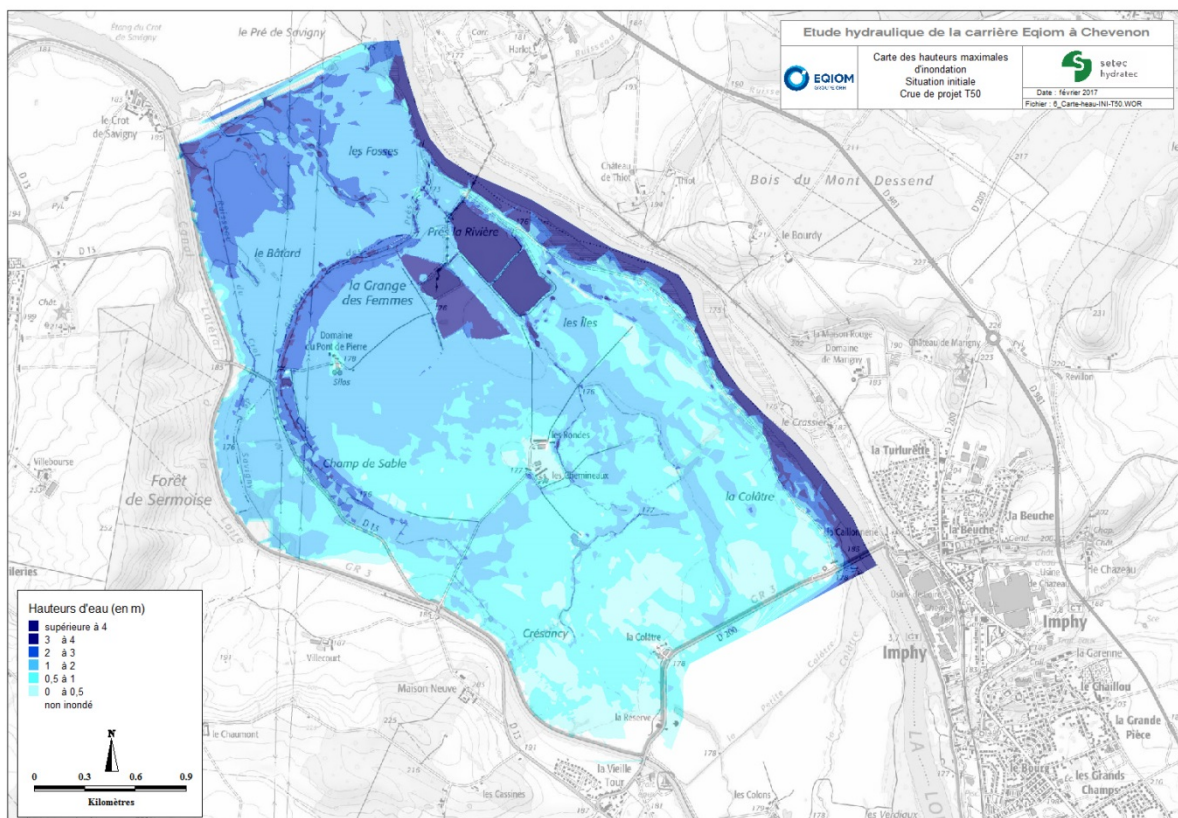


Figure 3-28 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T50ans

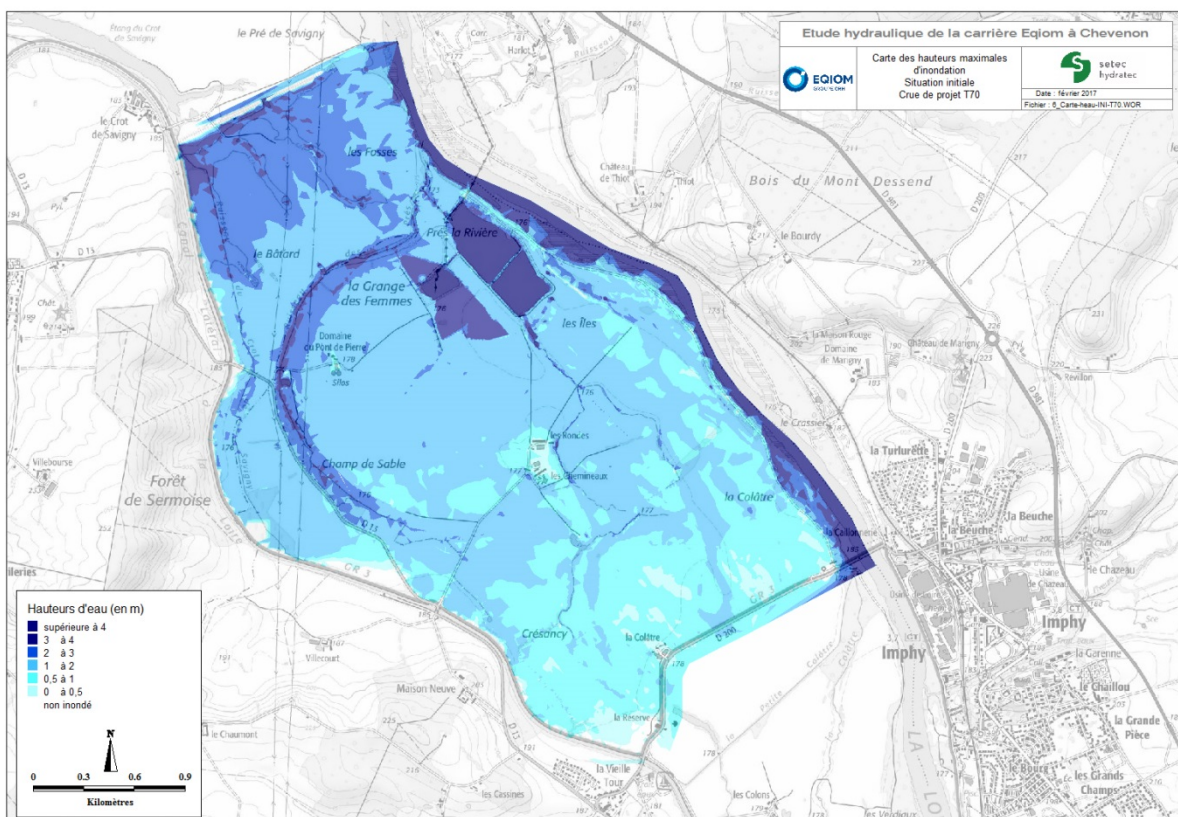


Figure 3-29 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T70ans

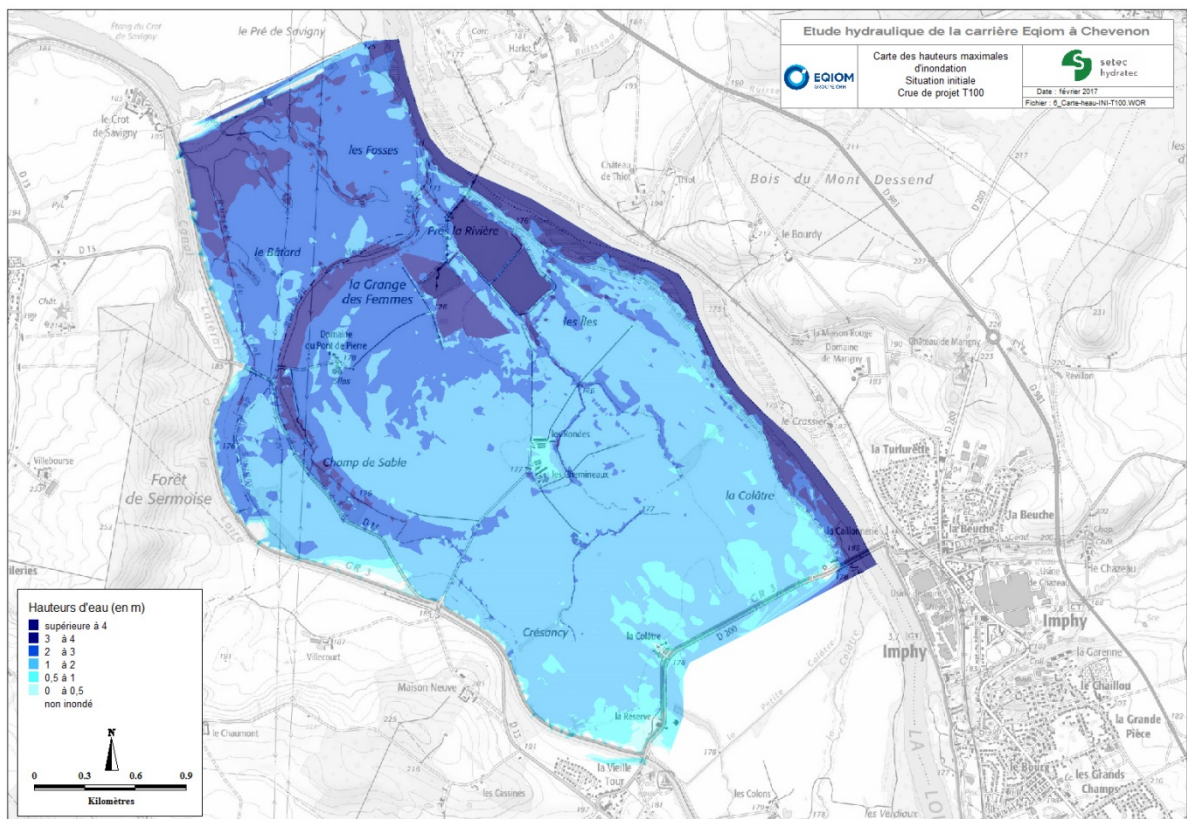


Figure 3-30 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T100ans

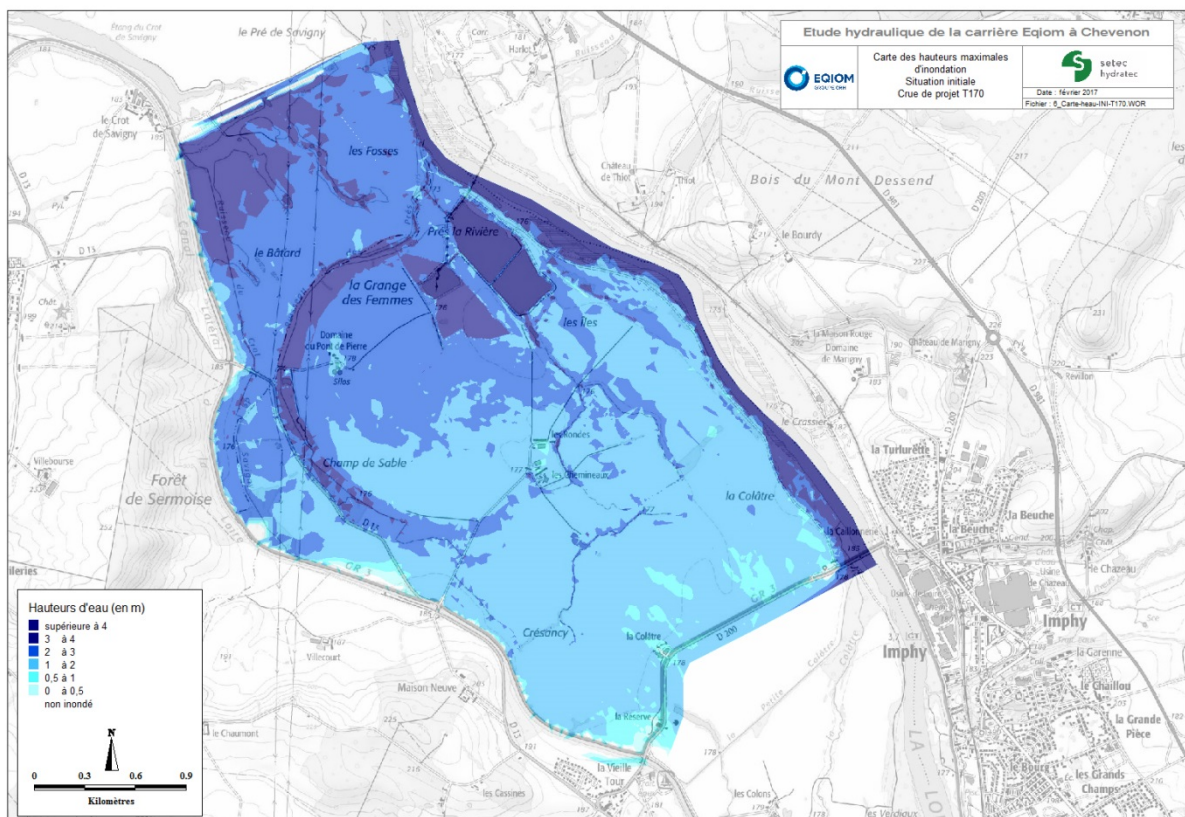


Figure 3-31 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T170ans

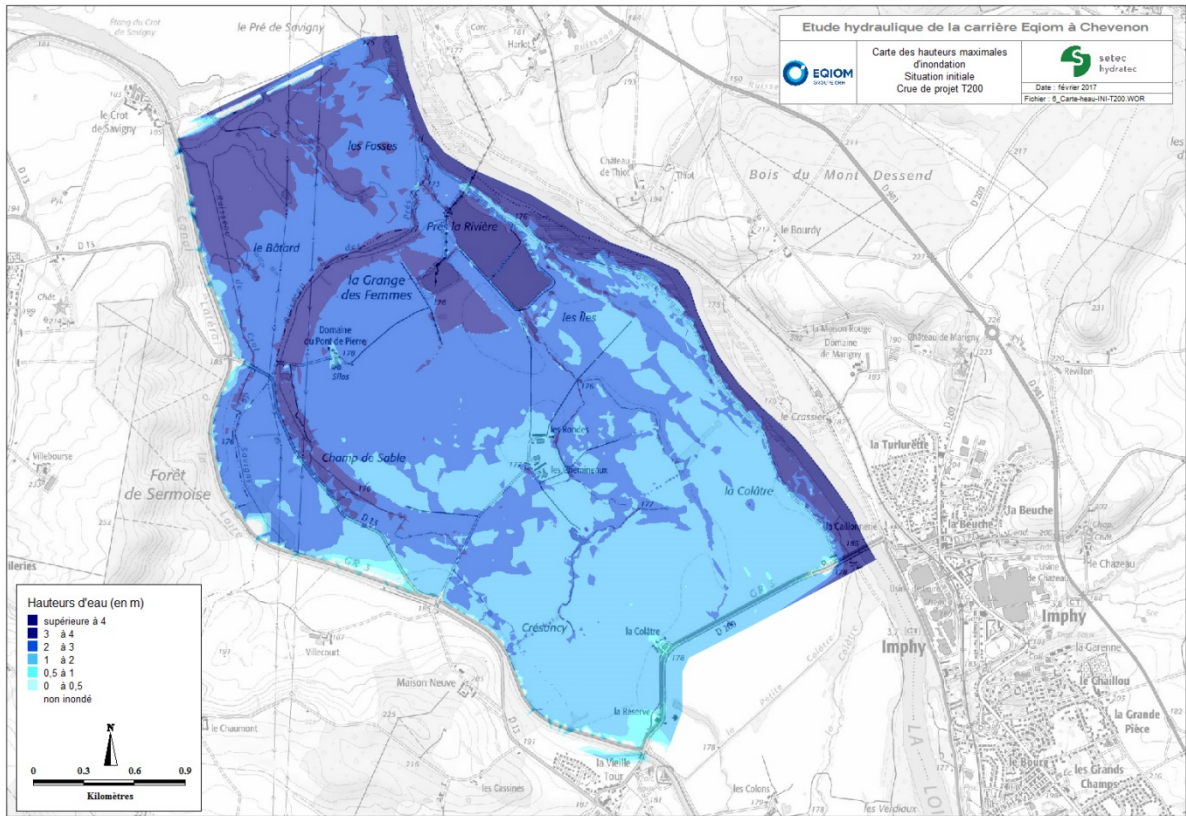


Figure 3-32 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T200ans

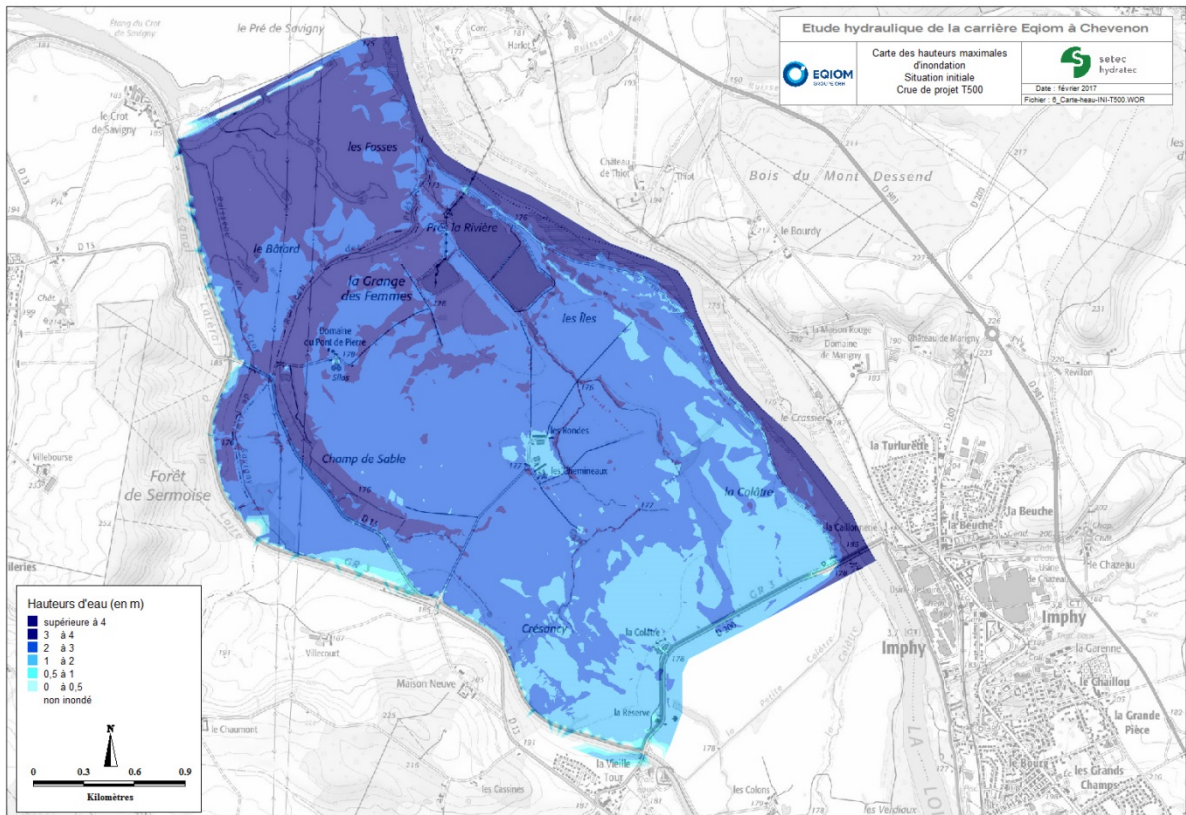


Figure 3-33 : Carte des hauteurs de submersion en situation actuelle pour la crue T500ans

Les mécanismes d'inondation pour les crues de période de retour 50ans à 500ans sont similaires à ceux de la crue de décembre 2003.

Pour les crues de période de retour supérieure à 100ans, les hauteurs d'eau atteignent les 3 mètres au niveau des gravières.

Pour les crues de période de retour supérieure à 200ans, les hauteurs d'eau atteignent les 2 mètres dans le lit majeur inondable.

### 3.3.3 Répartition des débits

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 actuel	Débits maximums à l'amont du site (m <sup>3</sup> /s)		Débits maximums à l'aval du site (m <sup>3</sup> /s)	
	Lit mineur + lit majeur RD Q1a	Lit majeur RG Q2a	Lit mineur + lit majeur RD Q1v	Lit majeur RG Q2v
Dec 2003	1 799	363	1 999	161
T 50ans	1 826	385	2 038	176
T 70 ans	1 993	543	2 284	253
T 100 ans	2 283	917	2 697	506
T 170 ans	2 372	1 052	2 820	600
T 200 ans	2 505	1 287	3 022	765
T 500 ans	2 710	1 703	3 332	1 070

Figure 3-34 : Répartition des débits à l'amont et à l'aval du site dans l'état actuel pour les 5 crues étudiées

Le débit Q1a correspond au débit transitant dans le lit mineur de la Loire et en rive droite au droit du pont d'Imphy. Le débit Q2a correspond au débit des écoulements sur la RD200.

Le débit Q2v correspond au débit transitant dans le lit majeur rive gauche à l'aval du site, c'est-à-dire, qui s'écoule sur le chemin du pont des Américains. Le débit Q1v correspond au débit transitant dans le lit mineur de la Loire et en rive droite dans la continuité de ce chemin.

## 4 ETUDE DE FAISABILITE HYDROGEOLOGIQUE

### 4.1 DONNEES UTILISEES

La démarche s'est appuyée sur la consultation de la bibliographie existante :

- Cartes géologiques, source BRGM ;
- Données sur le sous-sol, source Banque de données du sous-sol ;
- Etude hydrogéologique et hydraulique de la carrière de Chevenon réalisée par le bureau d'étude Projetec Environnement.
- Un rapport de reconnaissance de sondages (Saint Eloi) – compte rendu d'investigation – Hydrogéotechnique est et centre, 2002 ;
- Des relevés piézométriques mensuels réalisés par Eqiom sur les 9 piézomètres de la carrière depuis septembre 2009 ;
- Les coupes lithologiques des sondages réalisés sur les sites d'exploitation ;
- Les levés piézométriques réalisés par Eqiom en juillet-août 2013.

Par ailleurs, une campagne piézométrique a été réalisée le 25/11/2013 sur les piézomètres de la carrière, des puits privés et sur les piézomètres Lafarge.

### 4.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

#### 4.2.1 Contexte géologique général

D'après les extraits des cartes géologiques au 1/50 000 de Decize (n°549) et de Sancoins (n°548) (cf. Figure 4-1), le secteur d'étude se situe sur une des larges vallées alluvionnaires de la Loire.

La plaine alluviale est délimitée par l'encaissant essentiellement mésozoïque (aire secondaire). Celui-ci peut s'apparenter à un horst (terme géologique désignant un compartiment soulevé par un ensemble de failles normales conjuguées) délimité par des failles normales orientées NNE-SSW.

A l'ouest de la Loire et au droit du projet, les terrains du secondaire à l'affleurement (du plus ancien au plus récent) sont indiqués ci-dessous avec leurs faciès principaux :

- Toarcien- Aalénien inférieur (**I7-9**) – Jurassique inférieur : couche constituée de marnes et argiles grises d'une épaisseur de 60 m.
- Aalénien supérieur et Bajocien inférieur et moyen (**I9-j1a**) - Jurassique moyen : calcaire dure à « poches argileuses » d'une épaisseur de 5 à 9 m.
- Bajocien supérieur (**j1b**) - Jurassique moyen : niveau constitué d'une alternance de calcaire et de marnes d'une épaisseur de 20 à 30 m.
- Bathonien (**j2**) – Jurassique moyen : Le Bathonien inférieur et moyen est essentiellement marneux. Le Bathonien supérieur débute par des calcaires argileux à qui font suite des marnes bleues (substratum des alluvions au droit du projet). L'épaisseur de la série est estimée à 60 m au moins.

Les hauts versants sont surmontés à certains endroits par la formation des sables et argiles du Bourbonnais (**FL**) composée de sables grossiers, de sables argileux et d'argiles sableuses. Ces dépôts ont une origine fluviale et sont disposés en nappes perchées par rapport à la Loire.

Le secteur d'étude est situé sur la plaine alluviale de la Loire qui est constituée de 3 types de formations alluvionnaires distinctes :

- Les alluvions de terrasses fluviales très anciennes (**Fw**) composées de galets, de graviers et de sables à chailles. Elles constituent, en rive gauche de la Loire, un liseré discontinu qui entaille les sables et argiles du Bourbonnais. Ces terrasses perchées proviennent d'ailleurs du remaniement de la formation des sables et des argiles du Bourbonnais.
- Les alluvions des terrasses fluviales anciennes (**Fx**) composées elles aussi de galets, de graviers et de sables à chailles. Ces terrasses intermédiaires dominent d'une dizaine de mètres le lit actuel du fleuve et sont principalement localisées en rive gauche de la Loire.
- Les alluvions modernes (**Fy-z**) composées de sables graveleux. Cette formation occupe le lit mineur du fleuve et se distingue du lit majeur de par sa composition. Ce faciès meuble, sans matrice argileuse, est constitué de sables principalement siliceux, parfois silicatés.

Le substratum des alluvions est constitué par les marnes du Jurassique moyen.

Des colluvions de versants alimentés par les formations qui composent les coteaux viennent recouvrir par endroits les alluvions anciennes. Ils sont localisés sur les flancs en bas de versants et en bordure des talwegs. Leur composition étant variée, la structure de ces formations est hétérogène.

La coupe géologique en Figure 4-2 intègre les différentes formations présentées ci-dessus, dans un profil ouest-est.

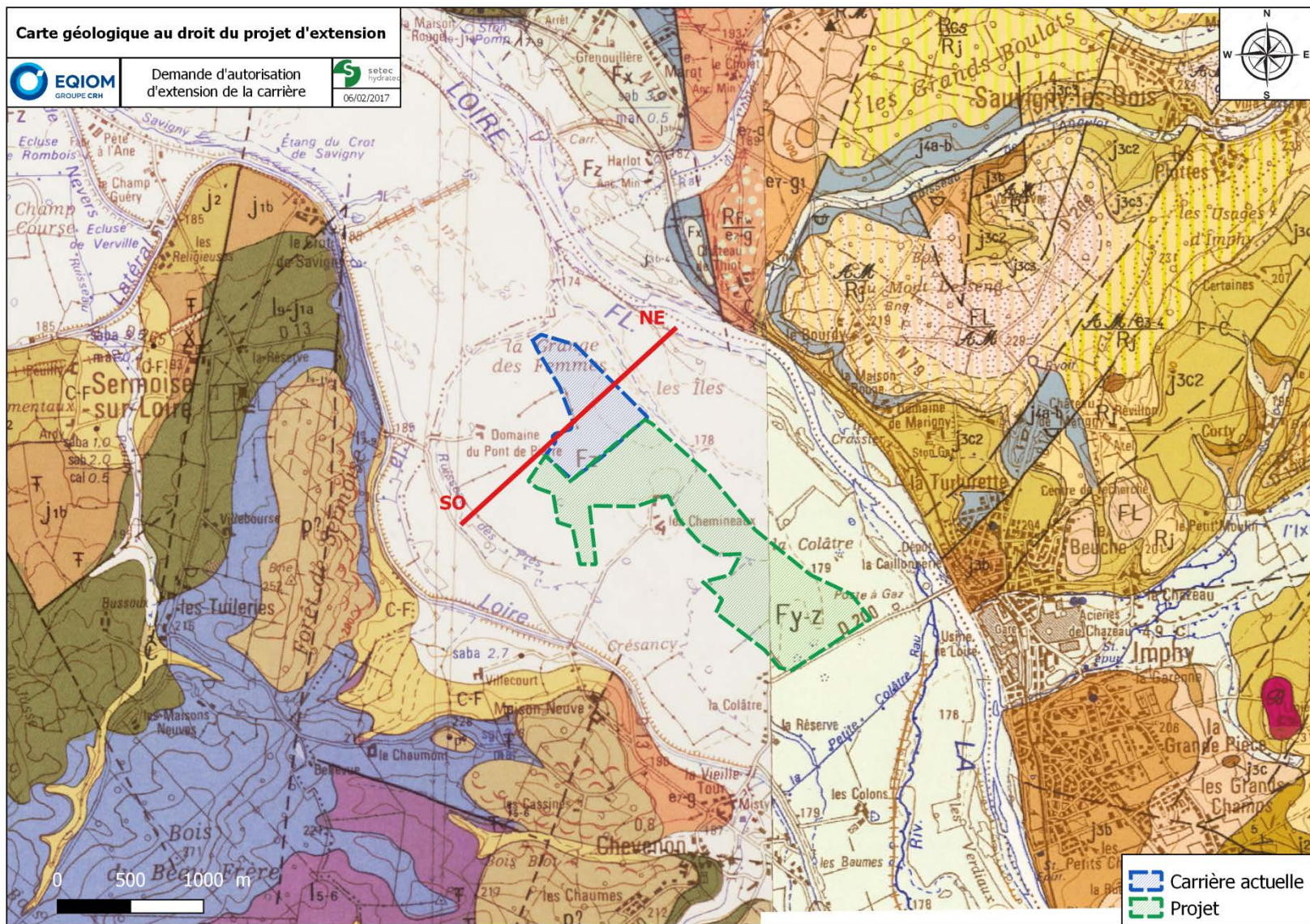


Figure 4-1 : Extraits des cartes géologiques au 1/50000 de Sancoins (n°548) et Decize (n°549) et emplacement de la coupe géologique

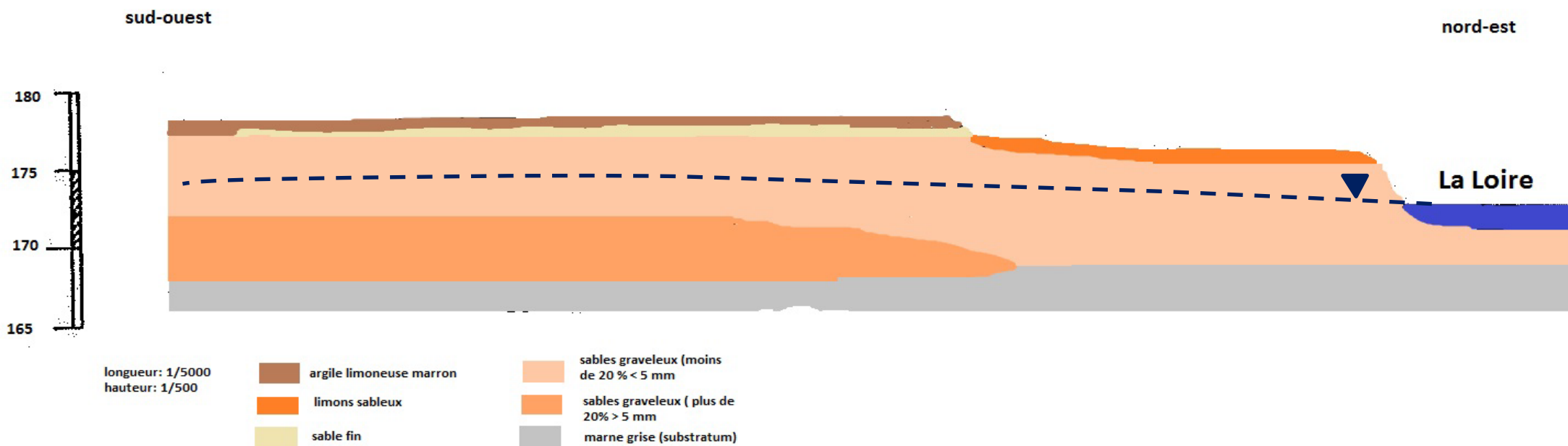


Figure 4-2 : Coupe hydrogéologique schématique



## 4.2.2 Contexte géologique local

Des sondages d'investigation ont été réalisés par Eqiom sur la carrière actuelle (en 2002) et sur la zone du projet d'étude (en 2012 et 2014). Ces sondages seront utilisés dans le cadre de la modélisation hydrogéologique.

La position des sondages est présentée sur la Figure 4-3.

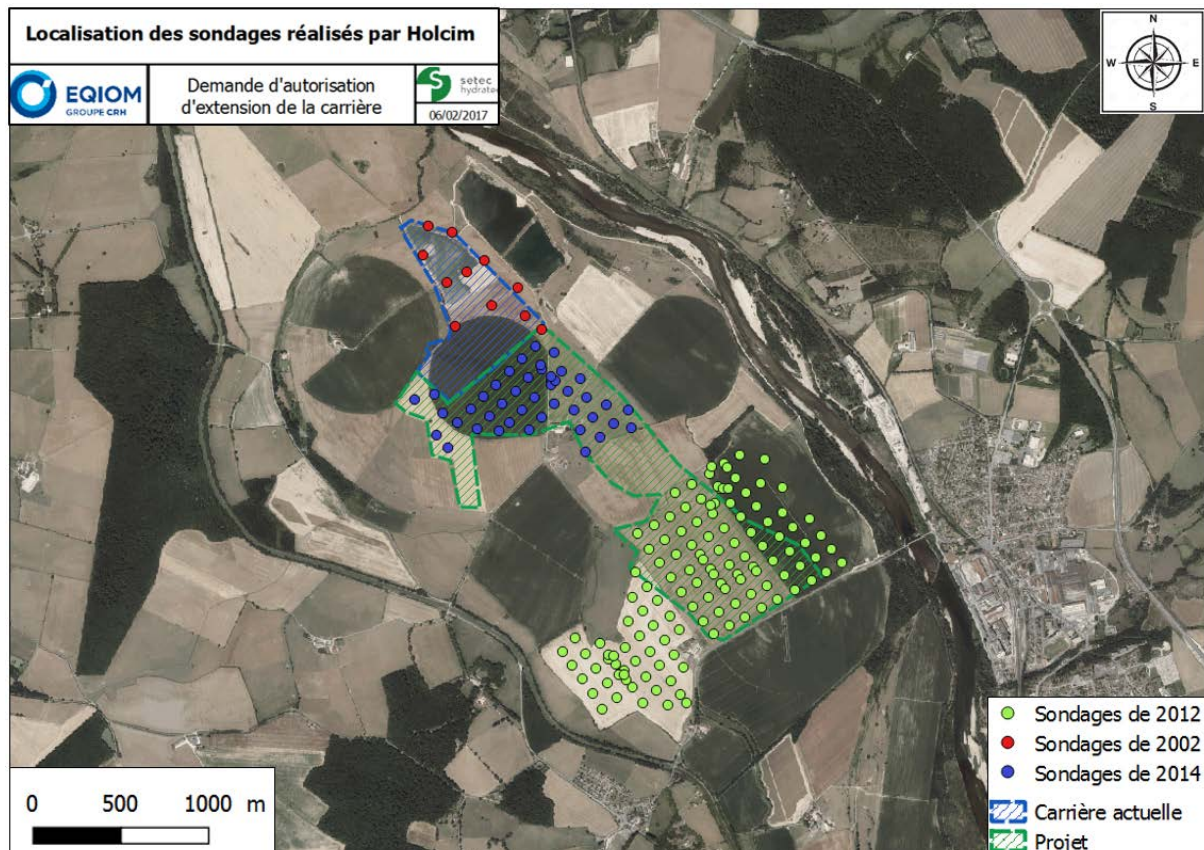


Figure 4-3 : Localisation des sondages

Sur la carrière actuelle, les coupes lithologiques des sondages indiquent de haut en bas :

- un niveau limono-argileux,
- une couche de sables fins à moyens,
- une formation de sables et graviers,
- un substratum marneux.

La découverte a une épaisseur qui varie entre 0.2 et 5.2 m dans la zone sud (sondages 2010).

Une cartographie du toit des alluvions (cf. Figure 4-4) est réalisée à partir :

- des sondages réalisés par Eqiom,
- des sondages issus de la BSS.

Elle permet de déduire les observations suivantes :

- L'altitude du gisement diminue en direction du sud-est vers le nord-ouest ;
- L'altitude moyenne du toit des alluvions au droit du projet est de + 176 m NGF ;
- L'altitude maximale du toit des alluvions se situe entre + 176 et + 178 m NGF dans la zone d'étude au sud-est ;

- L'altitude minimale du toit des alluvions se situe à environ + 172 m NGF au nord-est du projet.

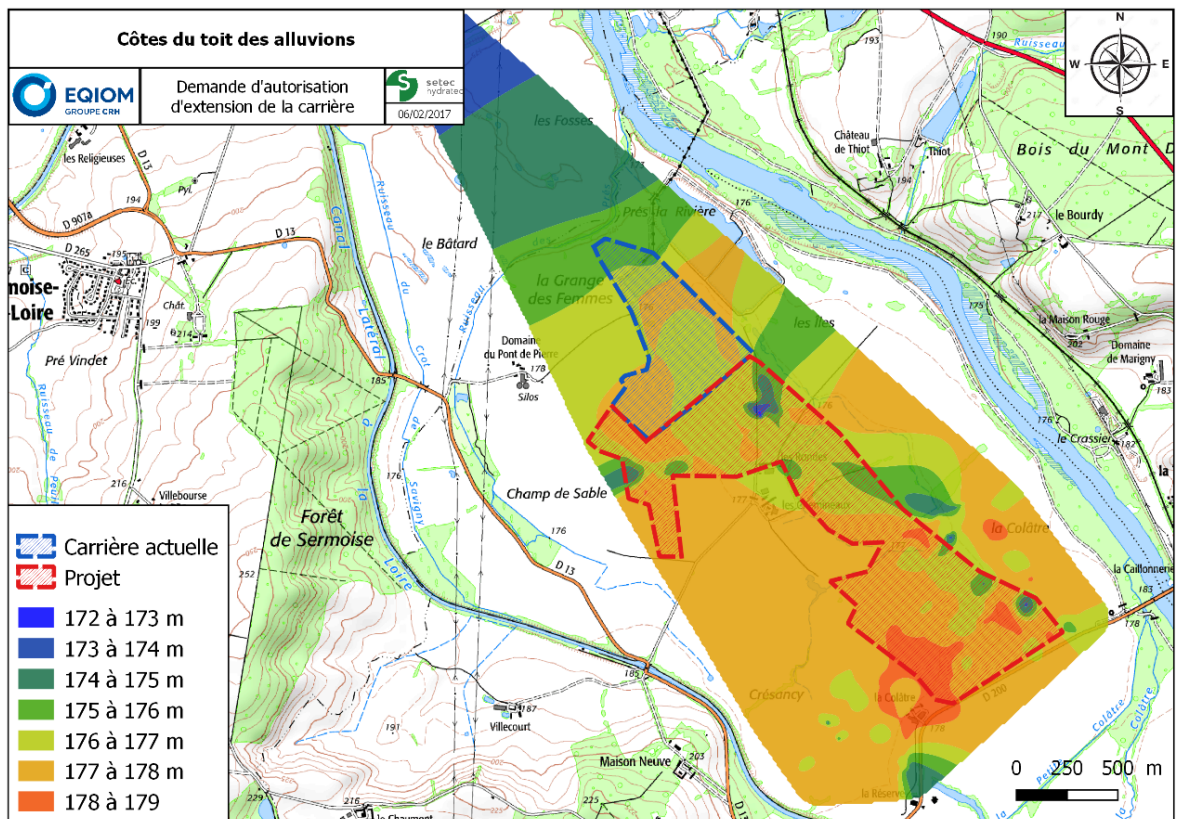


Figure 4-4 : Carte du toit des alluvions en m NGF

Une cartographie de l'épaisseur du gisement est ensuite réalisée (cf. Figure 4-5).

Sur l'ensemble de la plaine alluviale du secteur d'étude, deux zones montrent des épaisseurs maximales en alluvions supérieures à 10 m : zone sud-est du projet et zone « carrière actuelle ».

L'épaisseur alluviale moyenne au droit du projet est de 10 m.

La zone où l'épaisseur alluvionnaire minimale est retrouvée (environ 8 m) est située au sud-ouest du projet.

L'épaisseur alluviale est plus importante en bordure de Loire, à l'est, qu'en bordure des coteaux, au sud-ouest (10 m contre environ 5m).

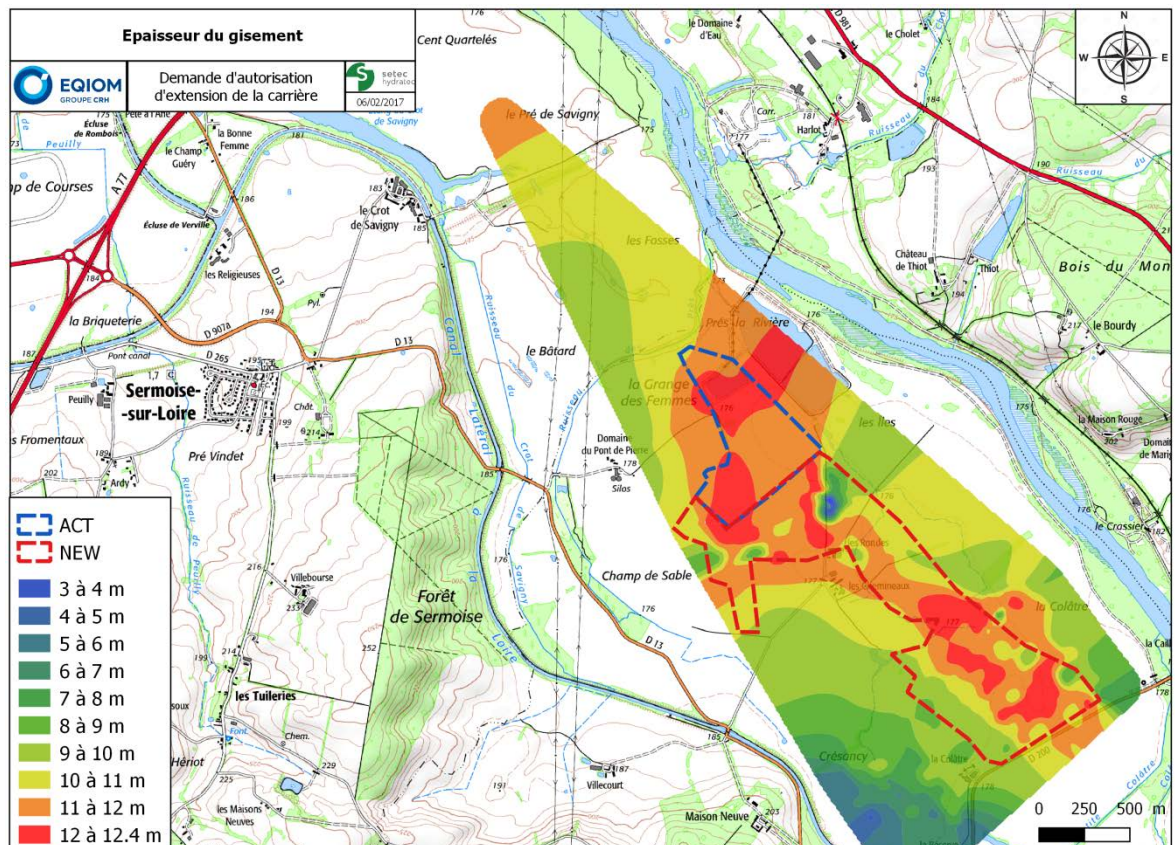


Figure 4-5 : Epaisseur du gisement (en m)

## 4.3 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

### 4.3.1 Présentation des masses d'eau

La cartographie des masses d'eau de la Directive Cadre sur l'Eau est présentée ci-dessous.

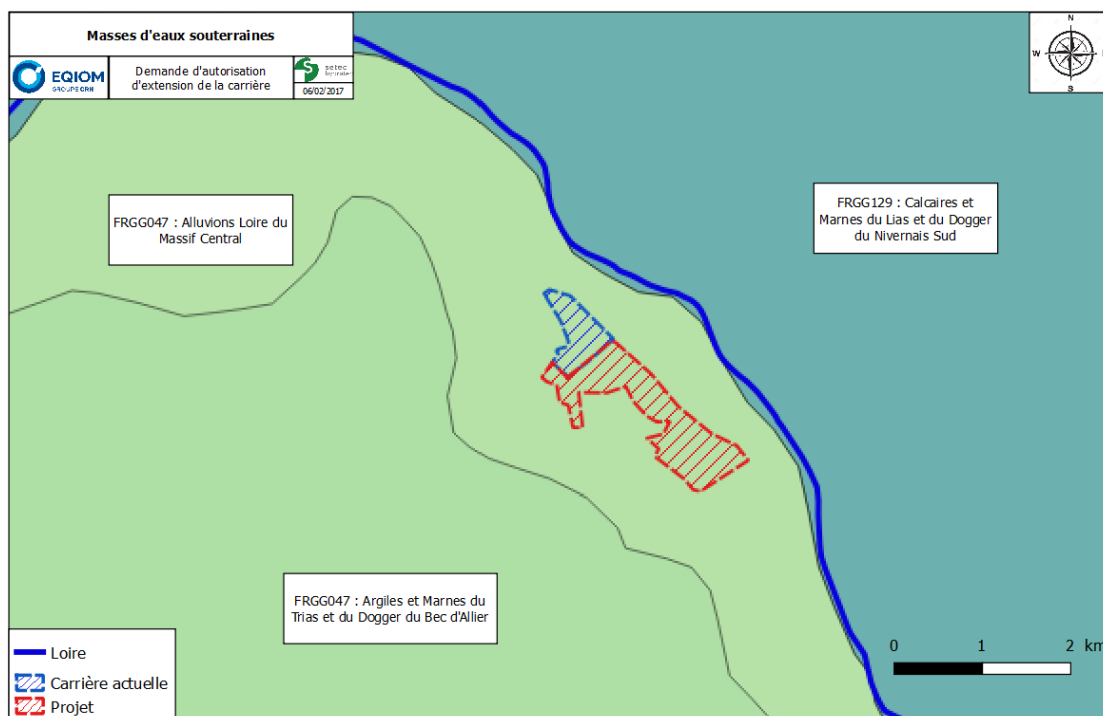


Figure 4-6 - Carte des masses d'eaux souterraines dans notre secteur d'étude

D'après ce référentiel, les masses d'eau au droit du secteur d'étude sont :

- Alluvions Loire du Massif Central (FRGG047)
- Calcaires, argiles et marnes du Trias et Lias du Bec d'Allier (FRGG059)
- Calcaires et marnes du Lias et Dogger du Nivernais Sud (FRGG129)

### 4.3.2 Données piézométriques générales

Les données piézométriques issues de la bibliographie sont présentées ci-après.

- **Réseau patrimonial national de suivi quantitatif des eaux souterraines (RNESP)**

Le RNESP possède un réseau piézométrique réparti de façon homogène sur le territoire français et permet un suivi piézométrique des différentes masses d'eau.

A l'aide du réseau des piézomètres équipés par le RNESP, il est possible de :

- Connaître les variations piézométriques de la nappe au cours du temps,
- Déterminer le battement moyen de la nappe,
- Distinguer les années humides, les années sèches et les années moyennes et définir les périodes de retour associées.

Le piézomètre du RNESP le plus proche du projet et ayant une chronique piézométrique complète est numéroté 05765X0013/S par la BSS.

Il est situé sur la commune de Vitry-sur-Loire (71) et appartient, d'après le site internet ADES, à la masse d'eau des alluvions de la Loire (FRGG047). Le piézomètre affiche une chronique piézométrique de 1981 jusqu'à ce jour. A noter qu'il n'y a pas eu de mesures entre octobre 1993 et Septembre 2007.

Grâce à cette chronique piézométrique, des courbes statistiques de basses eaux, de hautes eaux et de moyennes eaux peuvent être créées.

Il est ainsi possible de définir le régime hydrométrique de l'année piézométrique dans son ensemble.

En année moyenne le mois d'étiage se produit en août, les hautes eaux ayant lieu en janvier. En année sèche, la période d'étiage s'étale plutôt de juin à juillet. L'amplitude des variations annuelles est de 1.50 m, ce qui correspond à une nappe connectée à sa vallée. La variation maximale du niveau interannuel est 3.50 m.

Ainsi, d'après la Figure 4-7, l'année 1991 peut être considérée comme une année moyenne sur l'ensemble de son cycle (hautes eaux et basses eaux).

L'année 2013, année de référence pour la présente étude, est considérée comme une année humide sur l'ensemble de son cycle.

Enfin, à titre de comparaison, l'année 2011, correspond à une année sèche.

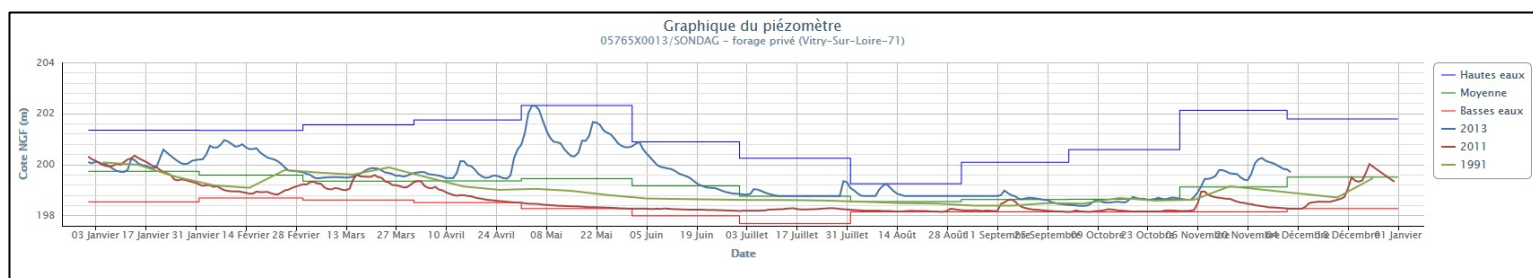


Figure 4-7 : Courbes statistiques du piézomètre 05765X0013/S

Un indicateur BSH permet de définir les périodes de retour des situations hydrogéologiques. Il est calculé à partir des données validées ou en cours de validation pour une période minimale de 10 ans.

supérieur à 10 ans sec		entre 2.5 et 10 ans sec		entre 2.5 ans sec et 2.5 ans humide	entre 2.5 et 10 ans humide		supérieur à 10 ans humide	
supérieur à 20 ans sec	entre 10 et 20 ans sec	entre 5 et 10 ans sec	entre 2.5 et 5 ans sec	entre 2.5 ans sec et 2.5 ans humide	entre 2.5 et 5 ans humide	entre 5 et 10 ans humide	entre 10 et 20 ans humide	supérieur à 20 ans humide

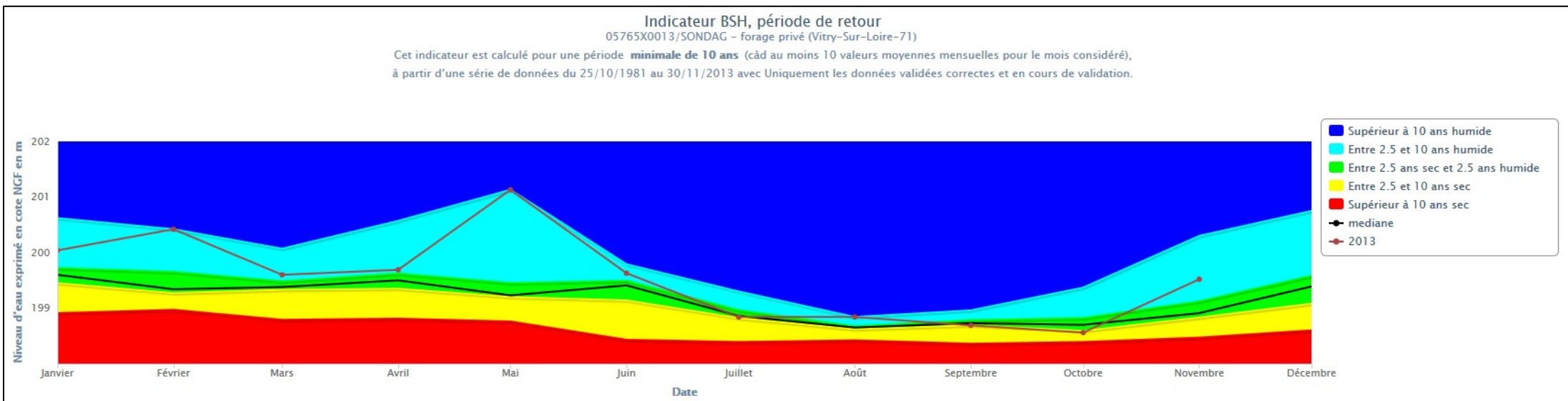
Tableau 4-1 : Codes couleurs de l'indicateur BSH

La fréquence d'occurrence de calcul de l'indicateur pour le mois de novembre 2013 est **entre 2.5 et 10 ans humide**, d'après le Tableau 4-2 et la Figure 4-8.

Par ailleurs, la nappe alluviale en novembre 2013 est **61 cm au-dessus** de la courbe médiane (cf. Figure 4-8).

Code BSS	Libellé	Commune	Date de la 1ère mesure prise en compte pour le calcul	Dernière mesure prise en compte pour le calcul	Nombre de mesure du mois 11/2013	Moyenne du mois 11/2013	Code couleur BSH
02605X0062/M4	Forage privé VITRY-SUR-LOIRE	VITRY-SUR-LOIRE	25/10/1981	30/11/2013	30	199.52	

Tableau 4-2: Indicateur BSH pour le mois de novembre 2013



*Figure 4-8 - Comparaison des niveaux d'eau entre l'année 2013 et la médiane*

### 4.3.3 Piézométrie de la nappe au droit du projet

Une campagne piézométrique a été réalisée par hydratec en fin de basses eaux (novembre 2013), sur les points suivants:

- les ouvrages de particuliers présents sur les communes de Chevenon et de Sermoise-sur-Loire,
- les piézomètres installés par Lafarge,
- les neuf ouvrages de Eqiom,
- les étangs, les ruisseaux, le canal et la Seine.

Les points de contrôle de la piézométrie et la carte piézométrique réalisée sont présentés en Figure 4-9.

La nappe des alluvions de la Loire est fortement influencée par la présence des plans d'eau existants. Au droit de la carrière actuelle, ceux-ci ont un effet drainant marqué, ce qui signifie que les plans d'eau baissent le niveau de la nappe.

En aval de la carrière actuelle, l'écoulement de la nappe est orienté selon une direction SE-NO, parallèlement à l'écoulement de la Loire.

La nappe au droit du projet est à une altitude comprise entre + 174.5 m NGF et + 175.5 m NFG. La nappe est située à environ 2 m en dessous du terrain naturel.

Des niveaux d'eau ont également été levés sur le canal. Il apparaît que le canal est perché, donc déconnecté de la nappe alluviale. A titre justificatif, sa cote en basses eaux est de + 180.28 m NGF tandis que les interpolations piézométriques de la nappe alluviale dans le même secteur donnent une cote de + 176.14 m NGF.

Par ailleurs, des ouvrages ont été relevés le long de la Loire afin d'établir ou non une relation entre la nappe et la rivière. La cote piézométrique sur PZ9 s'élève à + 175.34 m NGF en novembre 2013. Cette mesure s'apparente à celle relevée non loin de là en bordure de Loire (+ 175.26 m NGF). La nappe est donc en relation directe avec la Loire.



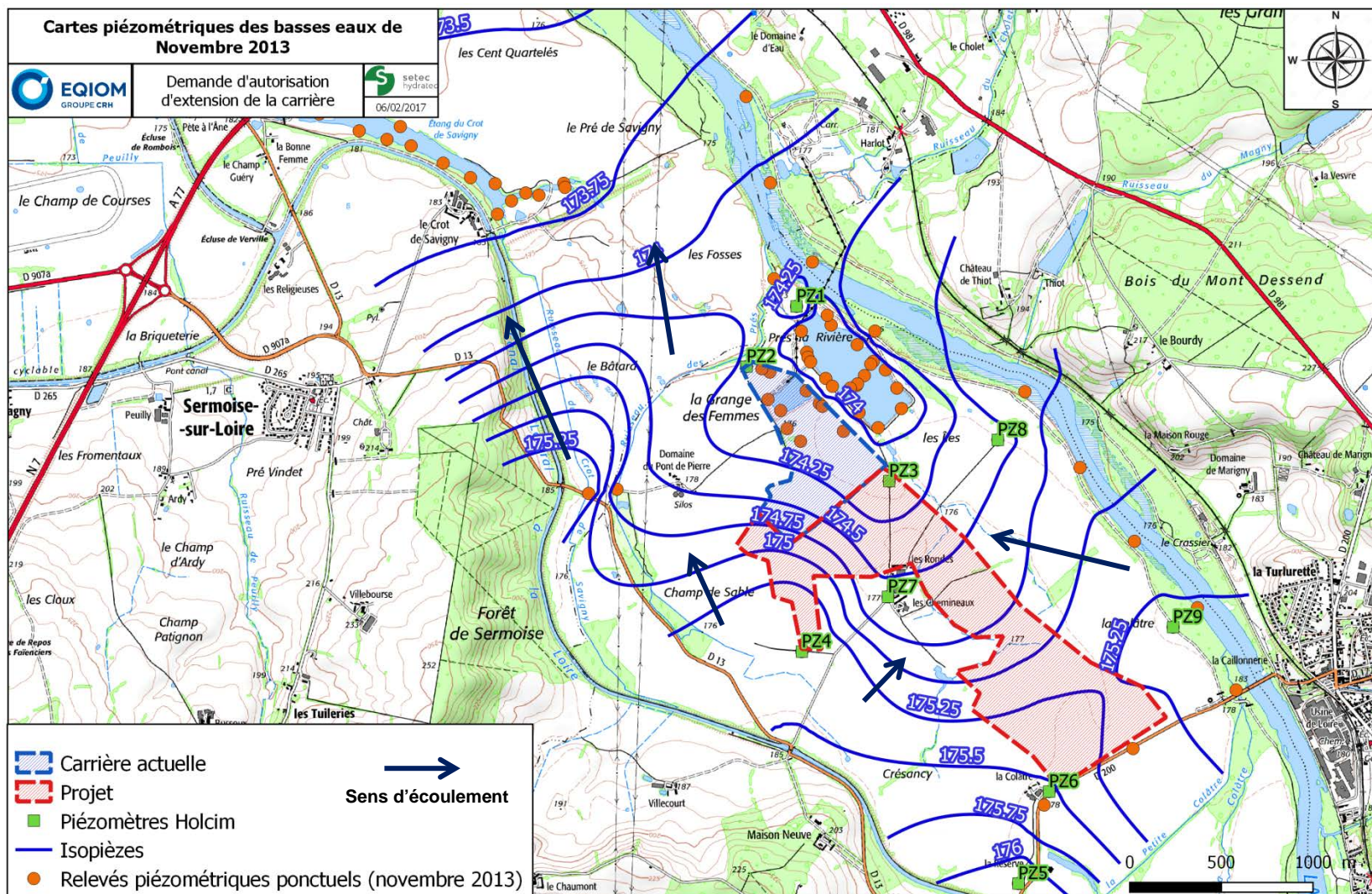


Figure 4-9 : Carte piézométrique de basses eaux 2013 interprétée

#### 4.3.4 Variations piézométriques

Initialement, trois piézomètres ont été implantés en 2009 dans une zone proche de la carrière actuelle. Seuls les PZ2 (aval) et PZ3 (amont) ont fait l'objet d'un suivi irrégulier, pour un total de 22 mesures de septembre 2009 à novembre 2013.

En mars 2013, 6 nouveaux piézomètres ont été installés en amont de la carrière actuelle. Pour ces 6 ouvrages, un suivi régulier a été mis en place (cf. Figure 4-10).

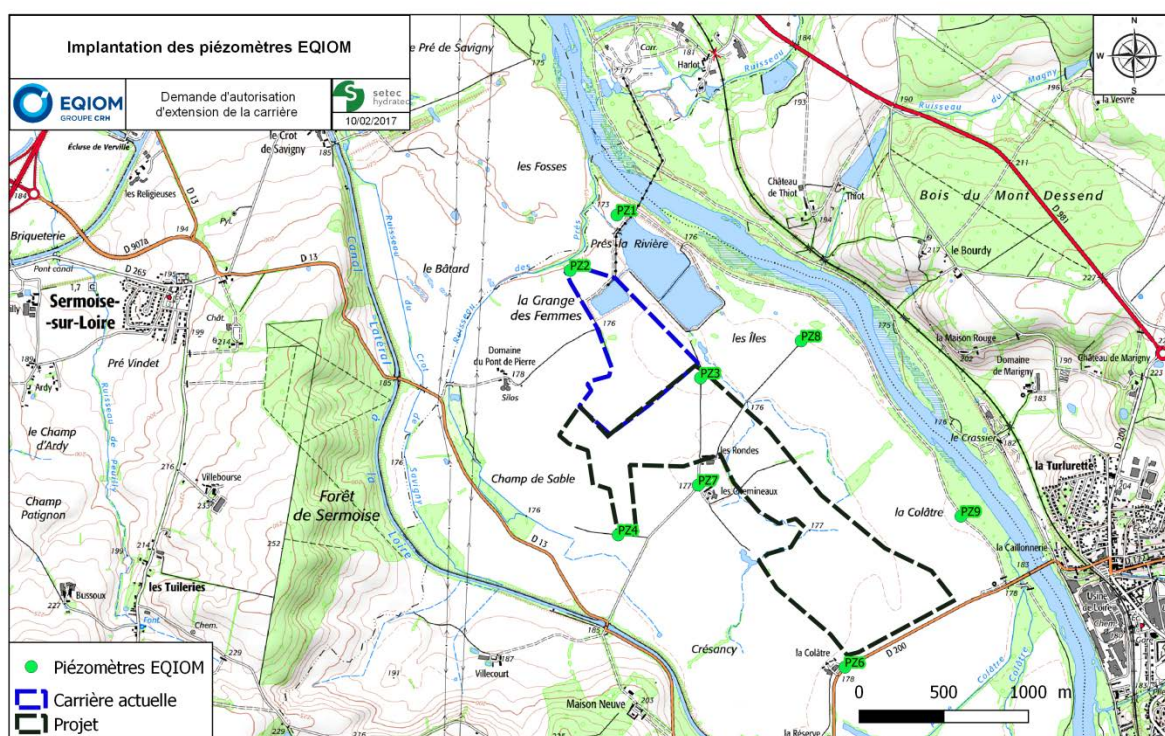


Figure 4-10 - Localisation des piézomètres Eqiom

Le graphique ci-après présente les mesures effectuées par Eqiom sur les piézomètres PZ2 et PZ3. L'irrégularité des mesures ne permet pas de distinguer clairement des périodes hydrogéologiques distinctes.

Cependant, le niveau des piézomètres est nettement à la hausse sur l'ensemble de la période. La hausse est de 2.55 m entre le début et la fin de la chronique pour le PZ2 et de 1.31 m pour le PZ3 : la nappe est en cours de recharge interannuelle.

La variabilité interannuelle de la recharge est très dépendante de la variabilité interannuelle des pluies dans le cas d'une nappe superficielle.

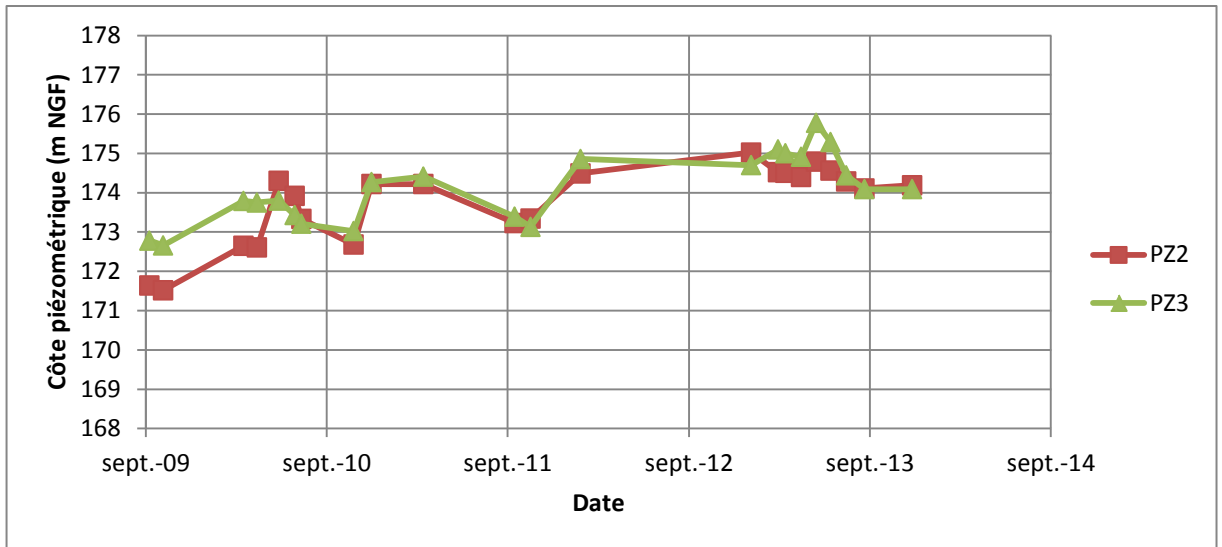


Figure 4-11 - Chronique piézométrique des PZ2 et PZ3

#### 4.3.5 Qualité de la nappe alluviale

Conformément à l'arrêté préfectoral du 23 mars 2006 portant sur le renouvellement d'exploiter la carrière de Chevenon, des analyses d'eau sur la nappe sont réalisées au moins 2 fois par an.

Les 9 piézomètres implantés dans le cadre du projet ont fait l'objet d'analyse d'eau en avril 2014 pour établir un état des lieux initial de la nappe.

Les concentrations obtenues sont comparées aux seuils fixés par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

Les résultats issus des analyses d'eau sont présentés dans le tableau ci-après. Ils sont conformes aux seuils de potabilité.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7	PZ8	PZ9
<b>PH</b>	7	6.9	7.2	6.6	7.8	7.3	7.1	7.5	7.9
<b>Indice hydrocarbure (mg/l)</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>DCO (mgO2/l)</b>	<9	<9	<9	<9	<9	<9	<9	<9	<9
<b>Conductivité (µS/cm)</b>	227	196	625	320	525	433	339	505	642
<b>DBO5 (mgO2/l)</b>	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
<b>MES (mg/l)</b>	<2	<2	<2	/	/	/	/	/	/
<b>Aluminium (mg/l)</b>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.125	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<b>Arsenic (mg/l)</b>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Cadmium (mg/l)</b>	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
<b>Chrome (mg/l)</b>	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
<b>Cuivre (mg/l)</b>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Fer (mg/l)</b>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<b>Manganèse (mg/l)</b>	<0.01	<0.01	<0.01	0.185	0.032	0.016	<0.01	0.01	<0.01
<b>Nickel (mg/l)</b>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Plomb (mg/l)</b>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Zinc (Zn)</b>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<b>Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	15	13	34	22	37	24	22	22	35
<b>Résultats conformes à l'arrêté du 11 janvier 2007</b>									

Tableau 4-3 : Résultats des analyses d'eau de nappe (avril 2014)

## 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.

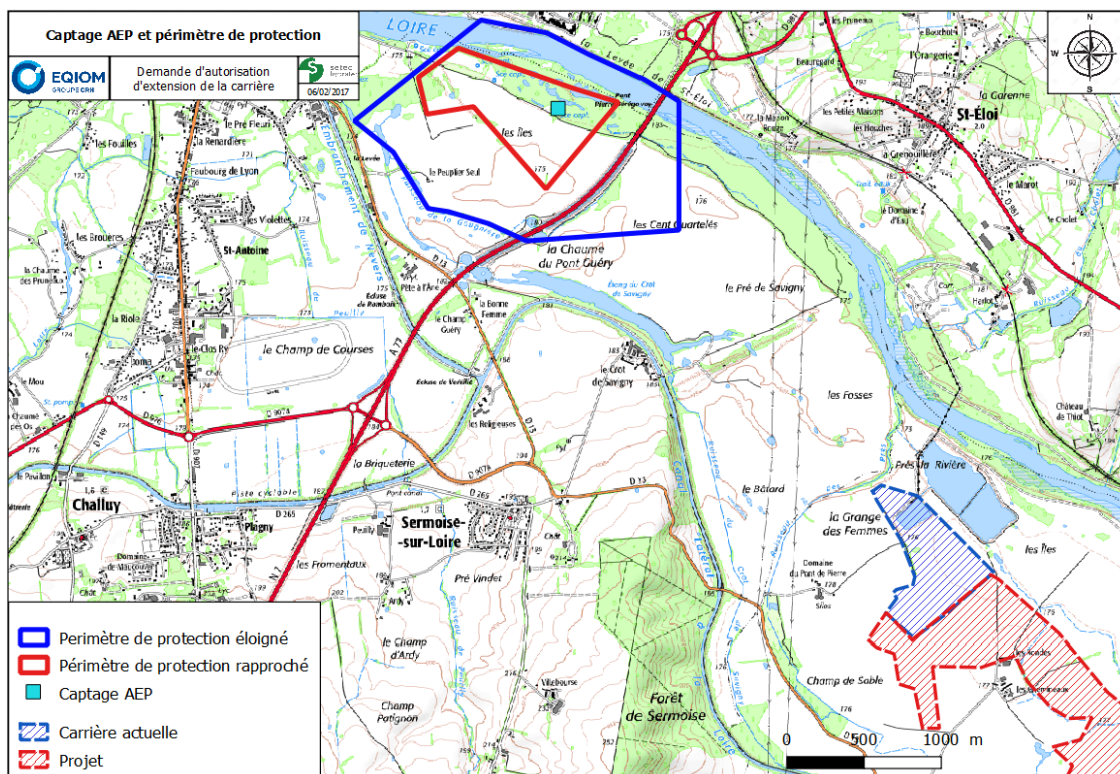


Figure 4-12 : Captage AEP à proximité du projet

#### 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.

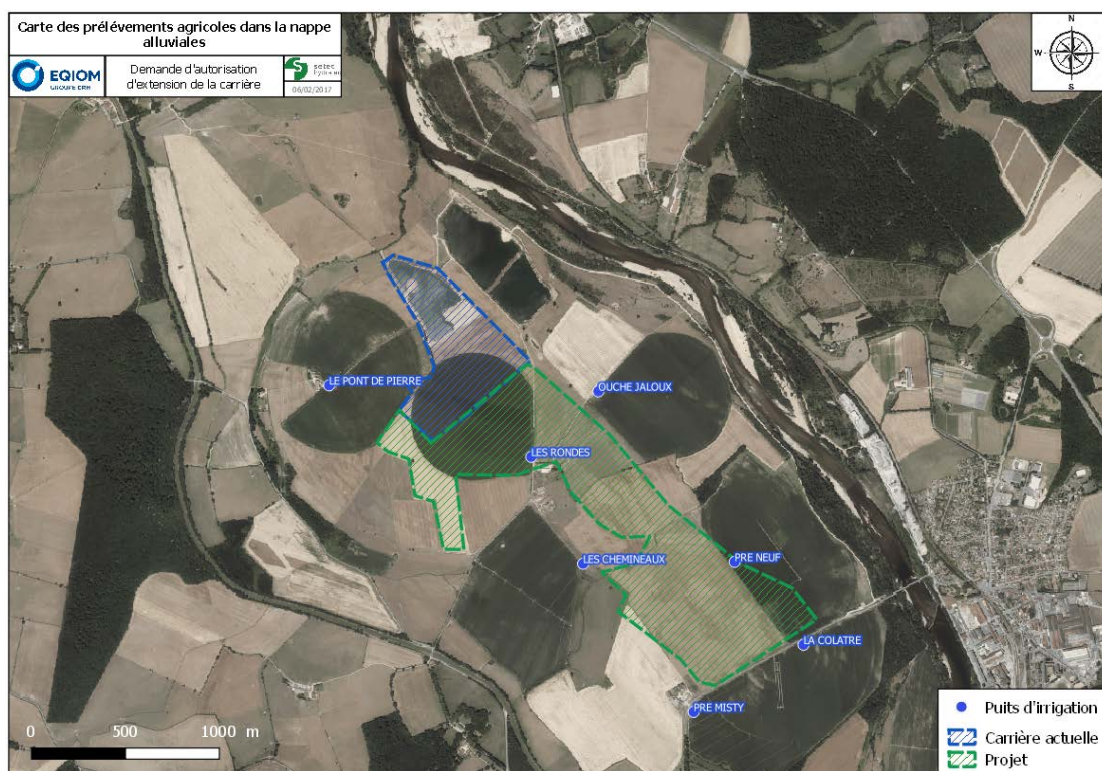


Figure 4-13 : Localisation des prélèvements pour l'irrigation

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



## 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.

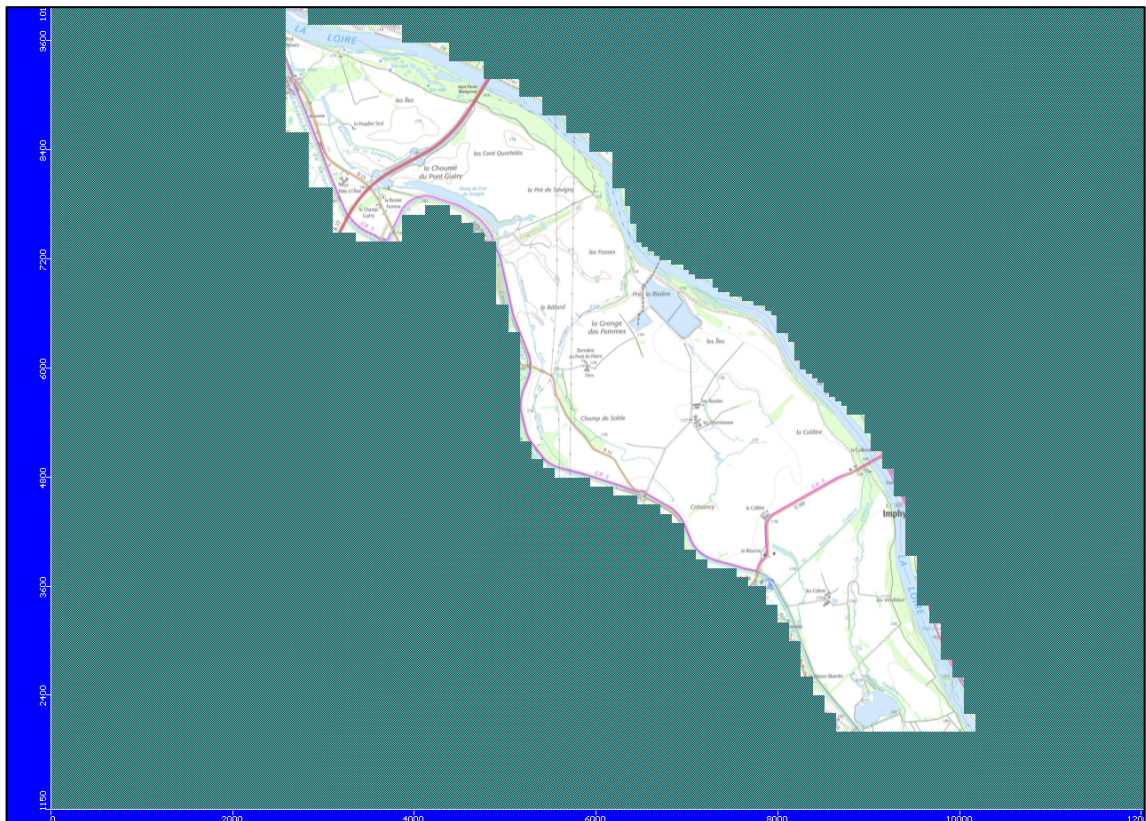


Figure 5-1 : Délimitation du bassin versant du modèle

## 5.2.2 Structure du modèle

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

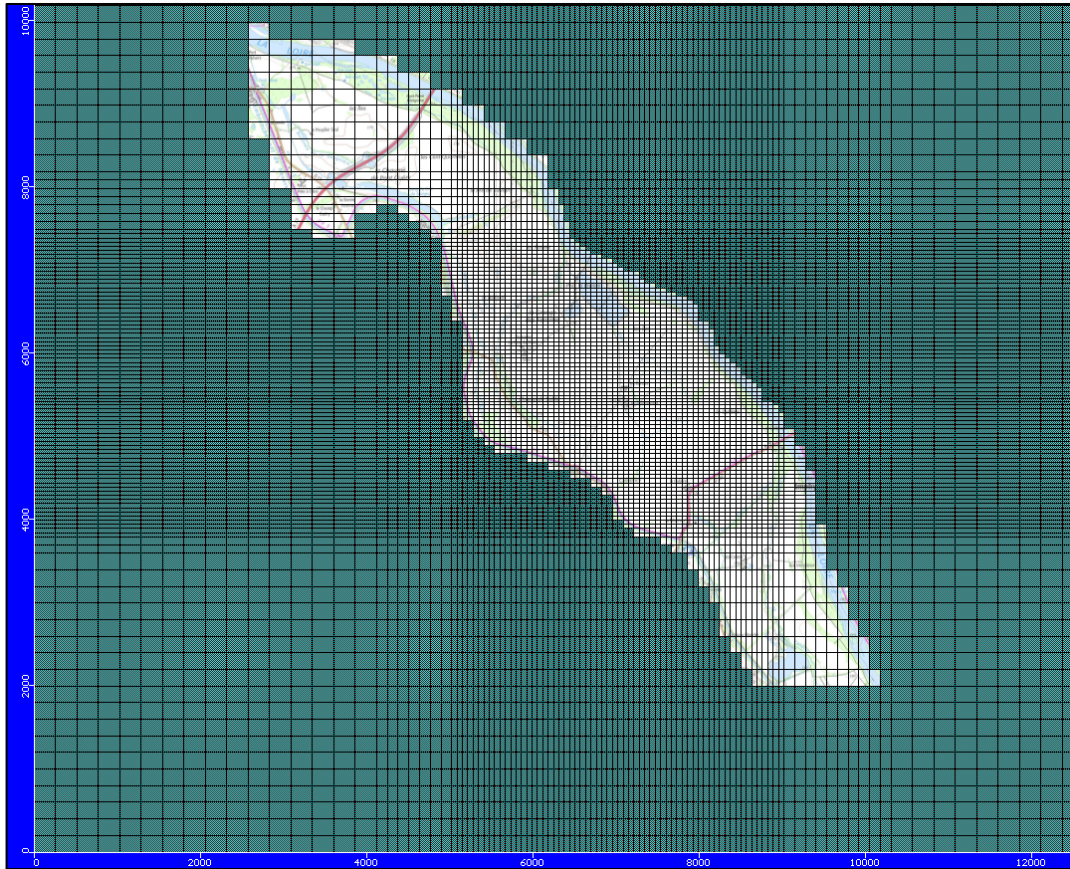


Figure 5-2 : Maillage du modèle

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

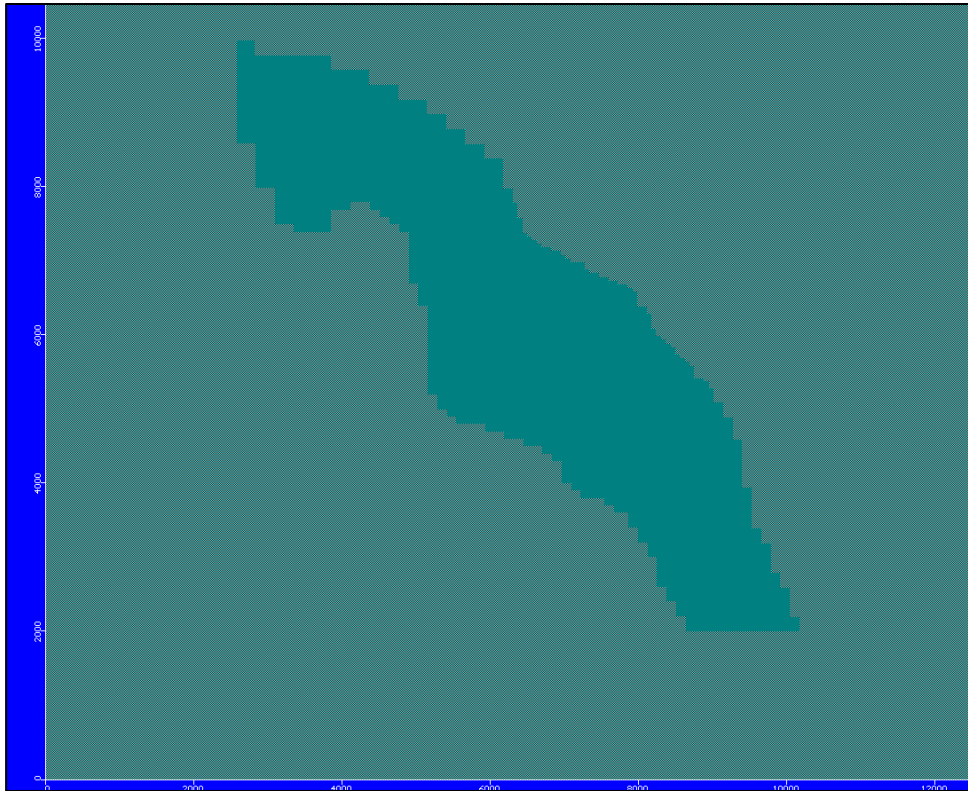


Figure 5-7 : Perméabilités de la couche 3

## 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%.

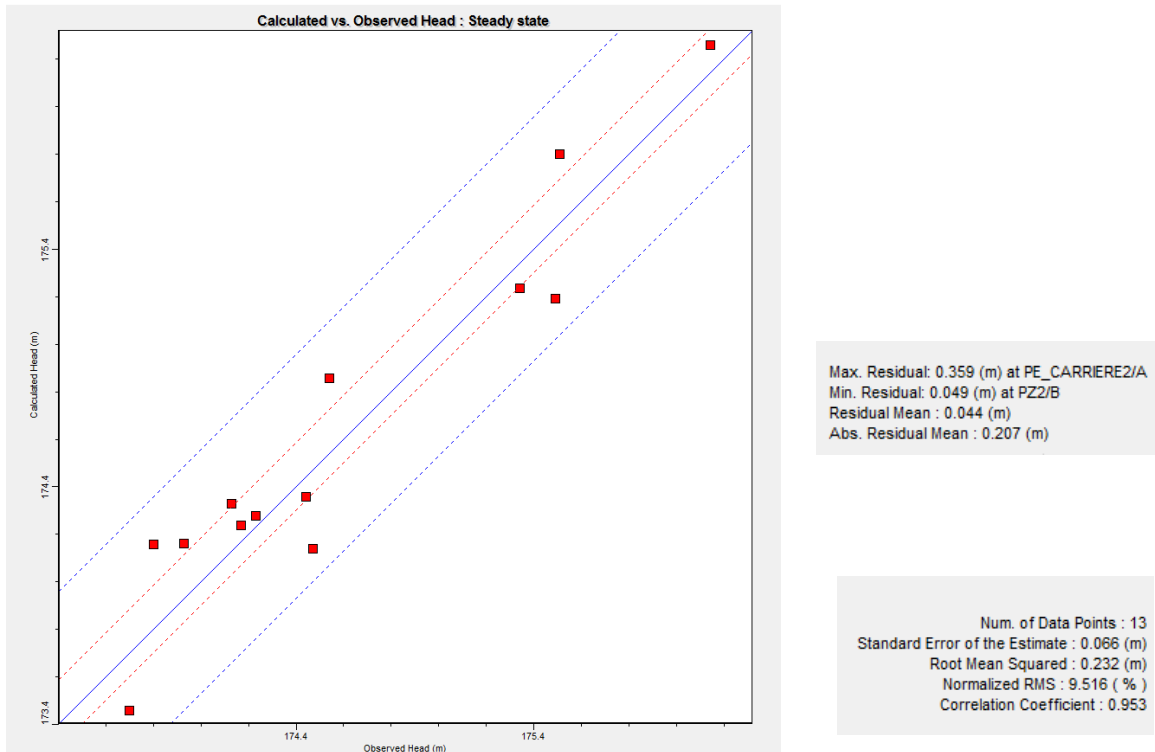


Figure 5-8 : Résultats calage du modèle

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) ( $\Delta H = \text{calculé} - \text{observé}$ )
PE (étang)	173.70	173.46	- 0.24
PZ1	174.47	174.14	- 0.33
PE2 (carrière)	173.80	174.16	+ 0.36
PE1 (carrière)	173.93	174.16	+ 0.23
PE3 (carrière)	174.17	174.24	+ 0.07
PZ3	174.13	174.33	+ 0.20
PZ7	174.54	174.86	+ 0.32
PZ6	175.51	175.81	+ 0.229
PZ5	176.14	176.26	+ 0.12
PZ8	174.44	174.36	- 0.08
PZ1	174.47	174.14	- 0.33
PZ9	175.34	175.24	- 0.10
PZ4	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.

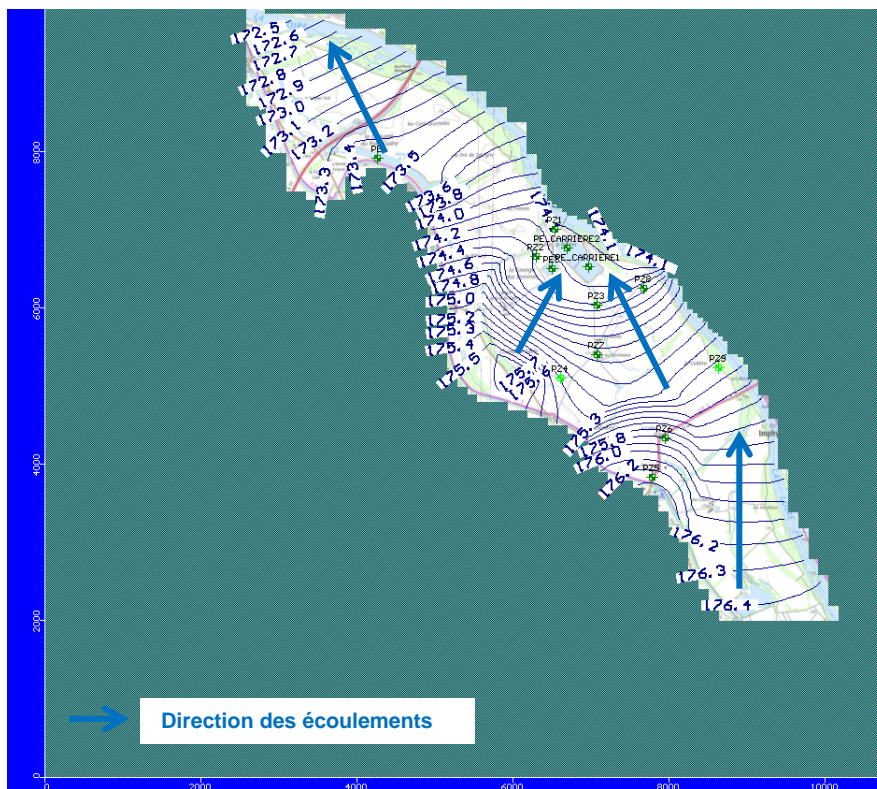


Figure 5-9 : Piézométrie de calage calculée par le modèle



## 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.

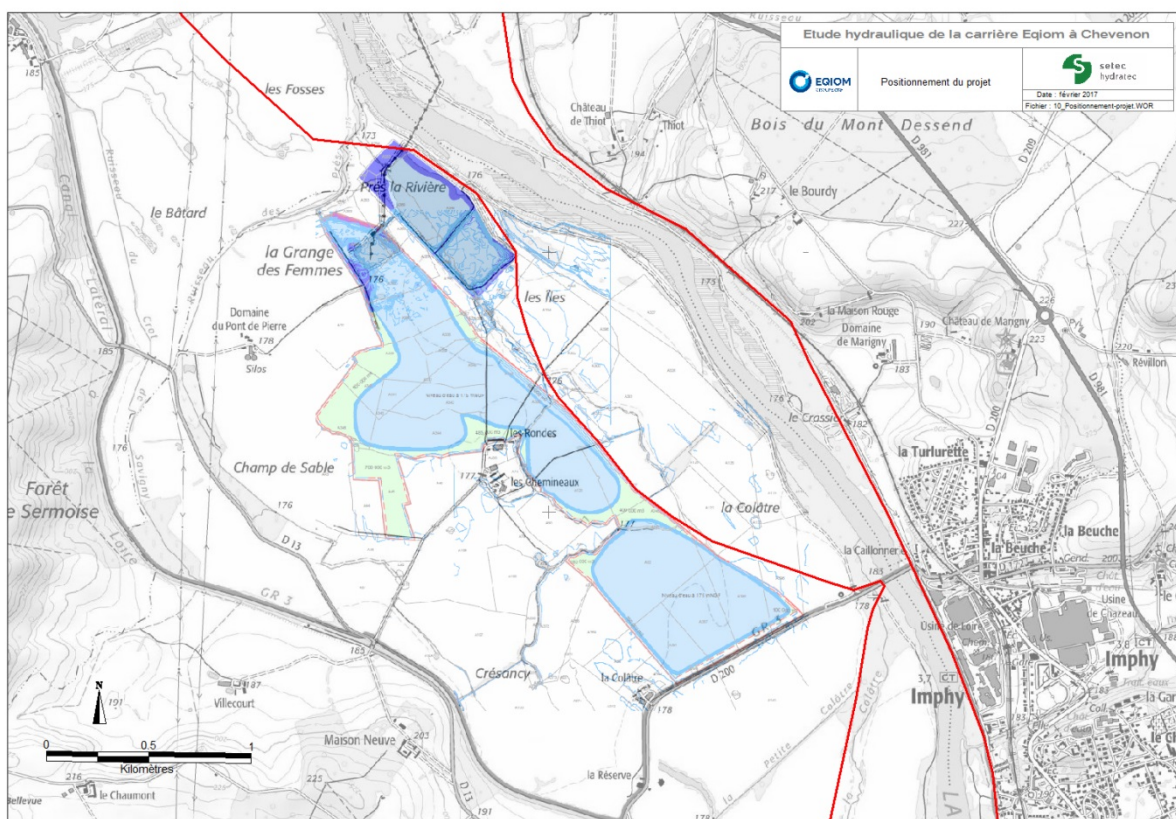


Figure 6-1 : Implantation du projet en dehors de l'espace de mobilité de la Loire

### 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 :

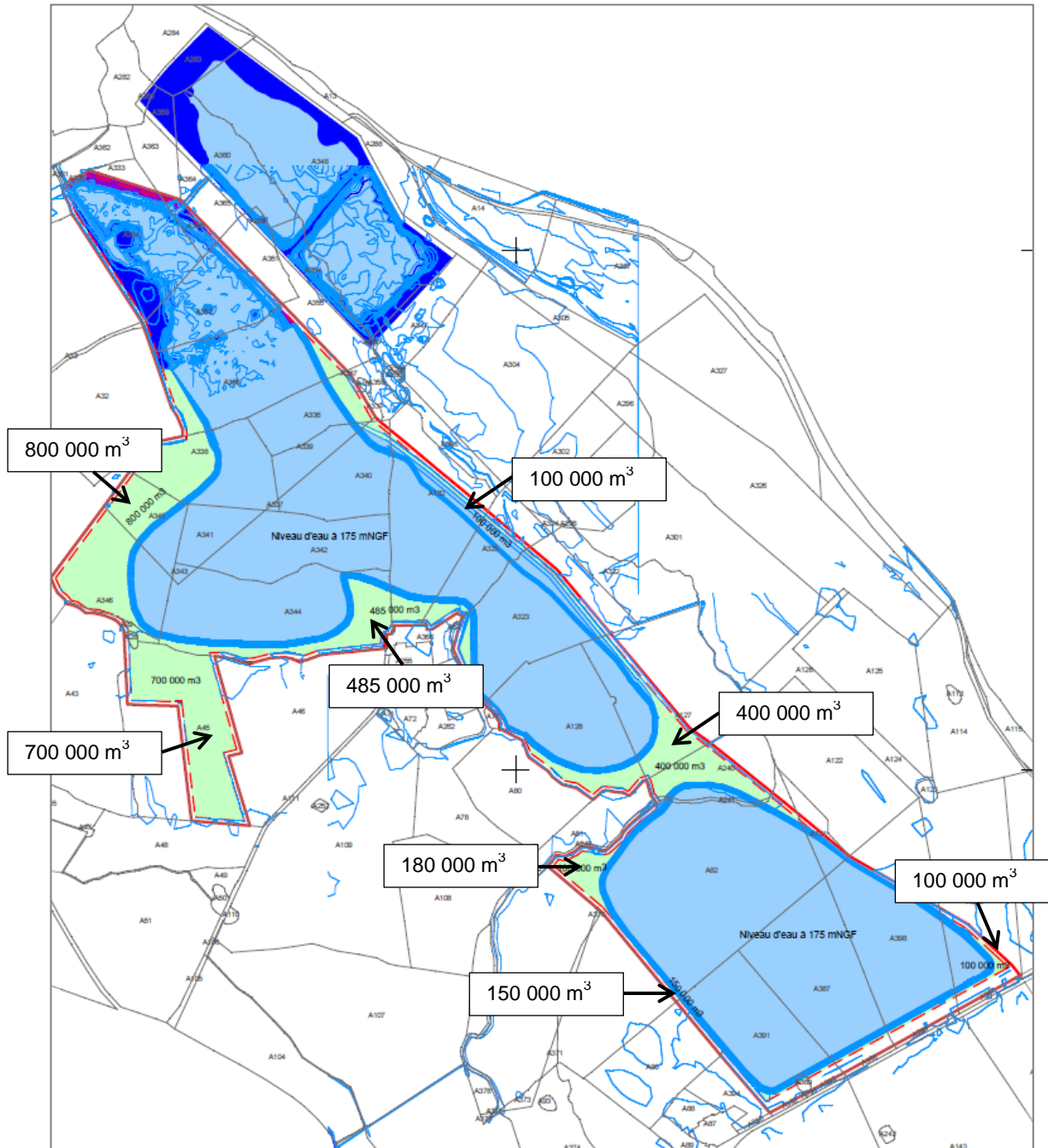


Figure 6-2 : Localisation et volumes des remblais

## 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