Note 3

Plan Loire grandeur nature 2007-2013

Volet 3 : Etat des lieux des outils de modélisations hydrologiques-hydrauliques disponibles et simulations complémentaires dans le cadre de l'étude 3P

Réduction de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Allier
Réalisation d'une étude 3P

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 5

2. SYNTHESES DES PRINCIPAUX MODELES UTILISES POUR LA DEFINITION DES INONDATIONS SUR LE BASSIN VERSANT DE L'ALLIER 6

2.1. PRINCIPAUX MODELES HYDRAULIQUES POUR REALISATION DE CARTOGRAPHIE DE ZONE INONDABLE POUR ZONAGE DE TYPE PPRI 6

2.2. AUTRES ANALYSES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES 9

3. SIMULATIONS COMPLEMENTAIRES REALISEES DANS LE CADRE DE L'ETUDE 3P ALLIER 11

3.1. REPRISE DU LOGICIEL PACHAV2 POUR REJEU DES CRUES DE 2003 ET 2008 SOUS LE LOGICIEL PACHA V2 11

3.1.1 Présentation du logiciel PACHA 11
3.1.2 Rejeu des crues de 2003 et 2008 11
3.1.2.1 Présentation des crues de 2003 et 2008 11
3.1.2.2 Résultats des simulations pour les deux crues de décembre 2003 et novembre 2008 12
3.1.2.3 Bilan du rejeu des crues 2003 et 2008 sous le logiciel PACHA V2 15

3.2. REUTILISATION DU MODELE HYDRAULIQUE A CASIERS DE L'ALLIER SUR L'AGGLOMERATION DE VICHY (03) 16

3.2.1 Présentation du modèle hydraulique 17
3.2.2 Simulation de protection rapprochée au droit du site 1 : zone industrielle de Vichy Rhue à Creuzier le Vieux 20
3.2.2.1 Localisation de la zone d'étude 20
3.2.2.2 Réalisation de l'analyse hydraulique au droit du site 1 de Vichy Rhue 21
3.2.2.3 Ouvrage de protection rapprochée à modéliser au droit du site 1 de Vichy Rhue 22
3.2.2.4 Résultats de la simulation 23
3.2.3 Simulation de protections rapprochées au droit du site 2 à Abrest 24
3.2.3.1 Localisation de la zone d'étude 24
3.2.3.2 Résultat de l'analyse hydraulique au droit du site 2 sur la commune d'ABREST 25
3.2.3.3 Description de l'aléa utilisé pour le calcul des dommages des Graviers 25
3.2.3.4 Ouvrages de protection rapprochée à modéliser au droit du site 2 à Abrest : 3 scénarios 26
3.2.3.5 Présentation du Scénario 1 : digue de protection centennale en rive droite 27
3.2.3.6 Présentation du Scénario 2 : digue de protection centennale en rive gauche 27
3.2.3.7 Simulation hydraulique complémentaire à réaliser pour les scénarios 1 et 2 27

3.3. REUTILISATION DU MODELE HYDRAULIQUE DE L'ALLIER A COHADE (43) 29

3.3.1 Localisation de la zone d'étude 29
3.3.2 Données hydrauliques disponibles et caractéristiques des débordements 30
3.3.3 Simulations hydrauliques 34
3.3.3.1 Scénario 1 : digue de protection centennale en rive gauche pour protéger le bourg de Cohade 35
3.3.3.2 Scénario 2 : digue de protection centennale en rive gauche pour protéger les bourgs de Cohade et de Crispiat 35
3.3.3.3 Résultats des simulations hydrauliques complémentaires 35

3.4. REUTILISATION DES DONNEES HYDRAULIQUES DORE/DUROLLE A THIERS ET A PESCHADOIRES (63) 37

3.4.1 Localisation de la zone d'étude 37
3.4.2 Données hydrauliques disponibles et caractéristiques des débordements 38
3.4.3 Utilisation des résultats des modèles hydrauliques 40
3.4.3.1 Scénario 1 : digue de protection centennale en rive gauche pour protéger les zones à enjeux côté Peschadoires 41

3.4.3.2 Scénario 2: digue de protection centennale en rive droite pour protéger les zones à enjeux côté Thiers *41*
3.4.3.3 Estimation de l'impact hydraulique pour les scénarios 1 et 2 ..... *42*
3.5. **REUTILISATION DU MODELE HYDROLOGIQUE DU COURS D'EAU DU MIRABEL (63)** 43
3.5.1 Localisation de la zone d'étude *43*
3.5.2 Données hydrauliques disponibles et caractéristiques des débordements *44*
3.5.3 Modélisation hydrologique des scénarios de protection *47*
3.5.3.1 Scénarios 1 et 2 : 1 Bassin de régulation en amont *47*
3.5.3.2 Simulation hydraulique complémentaire à réaliser pour les scénarios 1 et 2 ..... *49*
3.6. **ANALYSE HYDROLOGIQUE CONCERNANT L'AGGLOMERATION DE CLERMONT FERRAND (63)** 52
3.6.1 Rappel du contexte de la Tiretaine Nord *52*
3.6.2 Analyse hydrologique *54*
3.6.2.1 Aléa Fort vers Aléa Faible au niveau de la commune de ROYAT et à l'amont de la commune de Chamalières *54*
3.6.2.2 Comment réduire le débit de pointe de la crue centennale de la Tiretaine à 40 m^3/s? *55*
ANNEXE **56**
ANNEXE 1 : MODELES HYDRAULIQUES DEPARTEMENT DE LA HAUTE-LOIRE 57

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARTE DES PRINCIPALES MODELISATIONS HYDRAULIQUES SUR LE BASSIN DE L'ALLIER 8
FIGURE 2 : LOCALISATION DES SITES A PROTEGER - AGGLOMERATION DE VICHY 16
FIGURE 3 : STRUCTURE DU MODELE A CASIERS DE L'AGGLOMERATION DE VICHY (2001) 19
FIGURE 4 : LOCALISATION DE LA ZONE INDUSTRIELLE DE VICHY RHUE POUR LE MODELE HYDRAULIQUE DE L'ALLIER A CREUZIER LE VIEUX 20
FIGURE 5 : PHOTO DE LA ZI VICHY RHUE - USINE CAP L'OREAL COTE ALLIER 21
FIGURE 6 : LOCALISATION DU SCENARIO 1 D'OUVRAGE DE PROTECTION DE LA ZI VICHY RHUE A CREUZIER LE VIEUX 22
FIGURE 7 : LOCALISATION DE LA ZAC DE LA TOUR A ABREST 24
FIGURE 8 : PHOTO DE LA RUE DES GRAVIERS A ABREST 25
FIGURE 9 : LOCALISATION DES SCENARIOS DE DIGUES A ABREST 26
FIGURE 10 : LOCALISATION DU SITE A PROTEGER - BOURG DE COHADE 29
FIGURE 11 : STRUCTURE DU MODELE A CASIERS A COHADE 31
FIGURE 12 : PHOTO DE L'ENTREE DU BOURG DE COHADE 33
FIGURE 13 : LOCALISATION DES 2 SCENARIOS DE DIGUE DE PROTECTION A COHADE ET CRISPIAT 34
FIGURE 14 : LOCALISATION DU SITE A PROTEGER, A LA CONFLUENCE DORE-DUROLLE - TIERS/PESCHADOIRES 37
FIGURE 15 : LOCALISATION DES SCENARIOS DE PROTECTION A THIERS ET PESCHADOIRES 40
FIGURE 16 : LOCALISATION DES SITES A PROTEGER A MENETROL 43
FIGURE 17 : BASSIN VERSANT DU MIRABEL 44
FIGURE 18 : HYDROGRAMME DECENNAL ET CENTENNAL DU BASSIN VERSANT DU MIRABEL 45
FIGURE 19 : CARTE DE LA ZONE INONDABLE CENTENNALE DU MIRABEL A RIOM - ETUDE DE 2008 46
FIGURE 20 : DESCRIPTION DU SCENARIO 1 - ETUDE DE 2008 SUR RIOM 48
FIGURE 21 : DESCRIPTION DU SCENARIO 2 - ETUDE DE 2008 SUR RIOM 48
FIGURE 22 : HYDROGRAMMES DE CRUE CENTENNALE - TIRETAINE NORD 53
FIGURE 23 : CARTE DES DEBORDEMENTS ACTUELS DE LA TIRETAINE A CHAMALIERES 54
FIGURE 24 : PHOTO DE LA TIRETAINE A CHAMALIERES 54
FIGURE 25 : HYDROGRAMME DE LA TIRETAINE NORD 55

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : PRINCIPAUX MODELES HYDRAULIQUES DANS LE CADRE DE LA PRESCRIPTION DE PPRI 6
TABLEAU 2 : EXTRAIT DE LA BASE DE DONNEES "DIAGNOSTIC" 7
TABLEAU 3 : AUTRES MODELISATIONS HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES 10
TABLEAU 4 : DEBITS DE POINTE DES CRUES DE PROJET DE L'ALLIER 17
TABLEAU 5 : DETAIL DES IMPACTS HYDRAULIQUES DU SCENARIO 1 A ABREST 28
TABLEAU 6 : DETAIL DES IMPACTS HYDRAULIQUES DU SCENARIO 2 A ABREST 28
TABLEAU 7 : DETAIL DES IMPACTS HYDRAULIQUES DU SCENARIO 3 A ABREST 28
TABLEAU 8 : DETAIL DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DU SCENARIO 1 A COHADE 36
TABLEAU 9 : DETAIL DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DU SCENARIO 2 A COHADE ET CRISPIAT 36
TABLEAU 10 : BILAN DES DEBITS DE REFERENCE SUR LA DORE 38
TABLEAU 11 : BILAN DES RESULTATS DE MODELISATION DORE/DUROLLE 39
TABLEAU 12 : DETAIL DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DU SCENARIO 1 A PESCHADOIRES 42
TABLEAU 13 : DETAIL DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DU SCENARIO 1 A THIERS 42
TABLEAU 14 : PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ANALYSE HYDROLOGIQUE SUR LE BASSIN VERSANT DU MIRABEL 44
TABLEAU 15 : CARACTERISTIQUES DES 2 BASSINS DE RETENTION 49
TABLEAU 16 : PRESENTATION DES VARIANTES DE SCENARIOS A RIOM 50

1. INTRODUCTION

En première partie, cette note permet une synthèse des principales modélisations hydrologiques et hydrauliques existantes sur le bassin versant de l'ALLIER et qui contribuent à une meilleure connaissance des crues et des zones inondables de l'ALLIER et de ses principaux affluents.

La seconde partie de la note présente les principales simulations hydrologiques et hydrauliques complémentaires réalisées dans le cadre de l'étude 3P ALLIER pour permettre l'élaboration :

- Du Volet 1 : Diagnostic,
- Du Volet 2 : Propositions d'amélioration,

Dans l'ordre chronologique de réalisation, on recense les 8 simulations suivantes réalisées au cours de l'étude 3P ALLIER :

- Reprise du logiciel PACHAV2 pour rejeu de la crue de l'ALLIER :
  - de décembre 2003 sous le logiciel de prévision PACHA V2,
  - de novembre 2008 sous le logiciel de prévision PACHA V2,
- Réutilisation du modèle hydraulique de l'ALLIER :
  - au niveau de la commune de CREUZIER LE VIEUX pour l'ACB du site 1,
  - au niveau de la commune d'ABREST pour l'ACB du site 2,
- Réutilisation du modèle hydraulique de l'ALLIER au niveau de la commune de COHADE pour l'ACB du site 3,
- Réutilisation du modèle hydraulique de la DORE / DUROLLE au niveau des communes de THIERS et PESCHADOIRES pour l'ACB du site 4,
- Réutilisation du modèle hydrologique du bassin versant du MIRABEL pour l'ACB du site 5 sur les communes de MARSAT et de MENETROL,
- Réutilisation du modèle hydrologique de la TIRETAINE Amont pour l'estimation de l'impact de bassin de rétention en amont de l'agglomération clermontoise.

Remarque : L'ensemble des modèles présentés dans cette note sont des outils définissant les inondations sur le bassin versant de l'Allier, et ayant été utilisés dans le cadre de l'étude 3P Allier. En revanche, seuls les modèles cités ci-dessus ont fait l'objet de simulations complémentaires dans le cadre de cette étude. Ceux-ci sont mis en évidence par un sur-lignage gris dans le paragraphe 2 de la présente note.

2. SYNTHESES DES PRINCIPAUX MODELES UTILISES POUR LA DEFINITION DES INONDATIONS SUR LE BASSIN VERSANT DE L'ALLIER

2.1. Principaux modèles hydrauliques pour réalisation de cartographie de zone inondable pour zonage de type PPRI

Diverses études hydrauliques, hydrologiques, et réglementaires ont été réalisées sur le bassin versant de l'Allier.

Certaines de ces études ont directement été exploitées pour définir la carte d'aléa inondation servant de base à la détermination du zonage réglementaire des Plans de Prévention des Risques d'Inondation.

Le tableau suivant recense les principaux modèles hydrauliques réalisés sur l'ensemble du bassin versant de l'ALLIER dans le cadre de la prescription de PPRI.

Les données des modèles utilisés pour le dossier composant le PPRI sont disponibles auprès des Directions Départementales des Territoires des départements concernés.

Tableau 1 : Principaux modèles hydrauliques dans le cadre de la prescription de PPRI

Tronçon de rivière	Départements	Nombre de communes concernées	Principaux modèles utilisés pour réaliser le zonage réglementaire type PPRI	
			Type de modèle	Date du modèle
Allier aval de Moulins (Val d'Allier Nord)	03 58	14	Modèle hydraulique filaire en régime transitoire	Dernière actualisation en 2005 pour zonage PPRI communes de la Nièvre (DDT 58)
Allier entre Moulins et Billy	03	15	Modèles hydrauliques filaires en régime transitoire	Dernière actualisation en 2010 pour prise en compte des digues sur l'agglomération de Moulins (DDT 03)
Allier sur l'agglomération de Vichy jusqu'aux limites du département 63	03	10	Modèles hydrauliques à casiers en régime transitoire	Dernière actualisation en 2009 pour mesures d'impact hydraulique du contournement sud-ouest de Vichy (CG 03)
Allier dans la totalité du département 63	63	39	Modèle hydraulique filaire en régime transitoire	Dernière actualisation en 2010, pour révision progressive des anciens zonages réglementaires de type PER ou PSS
Allier sur Brioude et aval de Brioude dans le département 43	43	10	Modèle hydraulique à casiers en régime transitoire	1998
Sioule	03	6	Modèles hydrauliques filaires en régime permanent	Nouvelle modélisation en 2010 au droit de la commune d'Ebreuil (DDT 03)
Dore	63	2	Modèle hydraulique filaire en régime permanent	En 2007 au droit de la zone urbaine de Thiers
Alagnon	15 43	12	Modèles hydrauliques filaires en régime permanent et géomorphologiques (tronçons au droit des zones à enjeux des communes riveraines)	

La base de données « diagnostic » réalisée à l'issue du Volet Diagnostic de l'Étude 3P ALLIER permet de détailler pour les 162 communes avec zonages réglementaires de type PPRI, le type et les principales caractéristiques des modélisations :

- Rivière(s) concernée(s),
- Crue de référence,
- Date d'approbation du PPRI,
- Date de réalisation du modèle,
- Type de débordement (plaine / torrentiel / intermédiaire),
- Type de modèle.

Tableau 2 : Extrait de la base de données "diagnostic"

Commune	Département	Rivière	Type de modèle	Crue de référence	Date approbation PPRI/PER/PSS	Date réalisation étude hydraulique	Type de modèle
ABREST	03	Allier	Modèle à casiers en régime transitoire	Qi(1866) = 3700 m3/s	2001	2000	Modèle à casiers en régime transitoire

La carte suivante permet une synthèse et une localisation des principales modélisations hydrauliques sur le bassin versant de l'ALLIER.

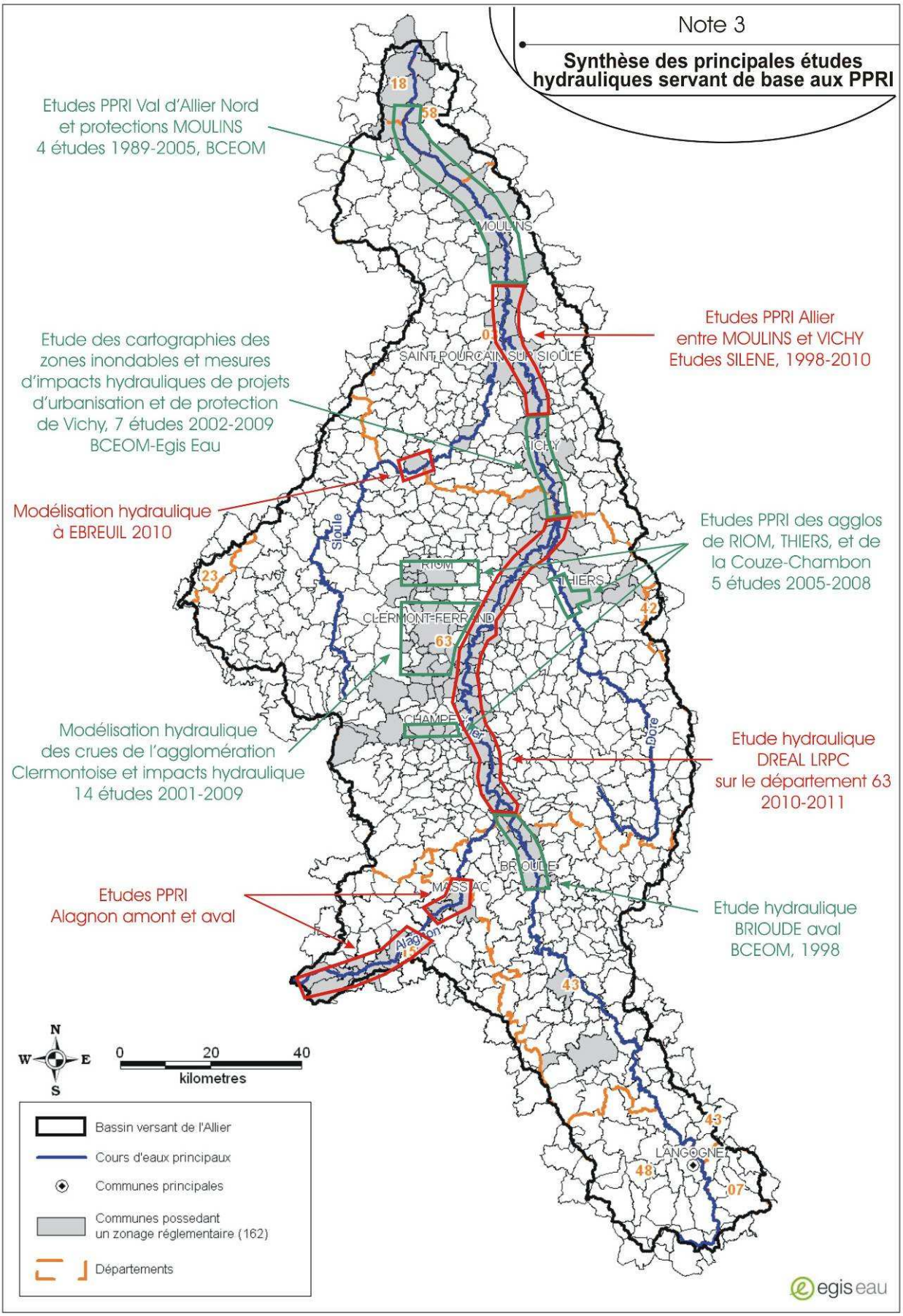


Figure 1 : Carte des principales modélisations hydrauliques sur le bassin de l'ALLIER

2.2. Autres analyses hydrologiques et hydrauliques

En dehors des modèles hydrauliques utilisés dans le cadre des PPRI, il existe d'autres modèles hydrologiques et hydrauliques qui concernent directement la gestion du risque inondation.

Les principaux modèles sont les suivants :

- ***Logiciel PACHA V2 (1994-2007)***

  Modèle hydrologique de propagation des crues utilisé par le service de prévision des crues (SPC ALLIER) pour la prévision en temps réel des crues de l'ALLIER : présentation du logiciel dans le paragraphe 2 de la présente note. La dernière actualisation importante du logiciel date de 2007. Le propriétaire du logiciel est la DREAL Auvergne.

- ***Modélisation de la propagation de l'onde de rupture du barrage de NAUSSAC (2010)***

  Ce modèle hydraulique de propagation d'onde de rupture permet de délimiter l'emprise de la zone inondable en cas de rupture du barrage de NAUSSAC situé en Lozère (Commune de LANGOGNE) à l'amont du bassin versant de l'ALLIER.

  Les simulations ont été réalisées courant 2010 et sont basées sur de la modélisation filaire en régime transitoire sur l'ensemble du lit majeur de l'ALLIER depuis le barrage de NAUSSAC jusqu'à la confluence avec la Loire.

  Le Maître d'Ouvrage est le gestionnaire du barrage de NAUSSAC, soit l'Établissement Public Loire (EPL).

- ***Modélisation de la propagation de l'onde de crue de l'ALLIER (2011)***

  La DREAL Auvergne a confié en 2009 au laboratoire des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand, la réalisation d'un modèle hydraulique ayant une double vocation :

  - Actualisation de la cartographie et du zonage réglementaire pour les communes riveraines de l'ALLIER dans le département du Puy de Dôme (voir carte et tableau du paragraphe précédent),
  - Simulation des ondes de crue de l'ALLIER entre le département de la Haute-Loire et la confluence avec la Loire. L'objet de cette simulation est de mieux appréhender l'impact des écrêtements des pointes des crues de l'ALLIER dans la traversée des zones de plaine.

Les résultats de ces dernières simulations permettront éventuellement d'actualiser le logiciel de prévision de crue PACHA V2 de la DREAL Auvergne.

- ***Autres modèles hydrauliques***

  A l'échelle du bassin versant de l'ALLIER, on a recensé plusieurs modèles hydrauliques qui ne sont pas directement utilisés dans le cadre de document de type PPRI mais qui permettent de compléter ou de préciser la connaissance concernant les caractéristiques des débordements au droit de certains territoires.

Le tableau page suivante présente ces principaux modèles et les zones géographiques qu'ils concernent.

Tableau 3 : Autres modélisations hydrologiques et hydrauliques

Cours d'eau concerné	Territoires concernés	Maitres d'ouvrage/ Maitres d'oeuvre	Départements	Type de modèle et usage du modèle
ALLIER	Agglomération de Moulins	DDT03 / hydratec	03	Une étude d'inondabilité réalisée en 2010 pour la DDT 03 a permis de préciser les inondations de l'ALLIER pour 14 crues (1 000 m3/s à 5 000 m3/s) et de simuler la suppression partielle ou totale des digues de protection au niveau de l'agglomération moulinoise
ALLIER	Territoire des Gorges de l'Allier	DDT03/ Bureaux d'études divers	43	Les modélisations hydrauliques de l'ALLIER concernent environ 35 communes du département 43 mais seules 15 communes ont fait l'objet de prescription de PPRI car les autres communes ont des enjeux limités. La carte de l'ensemble des études hydrauliques du département 43 est présentée en Annexe pour localiser la totalité des études hydrauliques réalisées. La maitrise d'ouvrages est assurée par la DTT43.
ALLIER	Langogne	Mairie de Langogne/ Ginger	48	Plusieurs modèles hydrauliques de l'ALLIER et du LANGOUYROU ont été réalisés sur la commune de LANGOGNE. Le dernier modèle hydraulique date de 2011 – maître d'ouvrage la commune de LANGOGNE-.
BEDAT, TIRETAINE et ARTIERE	Agglomération de Clermont-Ferrand	Clermont communauté / EGIS EAU	63	Des modèles hydrologiques et hydrauliques successifs ont été réalisés sur l'agglomération de Clermont pour préciser les débordements en crue. La dernière version date de 2002.
Autres affluents secondaires	Divers	DDT63/ Bureaux d'études divers	63	La DDT 63 a réalisé au cas par cas des tronçons de modèles pour compléter les analyses hydromorphologiques sur les affluents de l'ALLIER. On citera la réalisation de modélisation sur des tronçons du ruisseau du MIRABEL à MENETROL, sur le ruisseau de l'ARTIERE au MARTRE d'ARTIERE et sur la rivière AUZON au niveau des zones à enjeux.

3. SIMULATIONS COMPLEMENTAIRES REALISEES DANS LE CADRE DE L'ETUDE 3P ALLIER

Certains modèles hydrauliques et hydrologiques ont été récupérés pour réaliser des simulations complémentaires.

Ces simulations ont essentiellement servi pour préciser ponctuellement les propositions d'amélioration dans les domaines de la Prévision (PACHAV2) et de la Protection (Modèles hydrauliques réutilisés pour ACB).

Les différentes simulations réalisées sont présentées ci-après.

3.1. Reprise du logiciel PACHAV2 pour Rejeu des crues de 2003 et 2008 sous le logiciel PACHA V2

Dans le cadre de l'étude 3P Allier, Egis eau a réalisé un rejeu des crues pour mettre en évidence les points d'amélioration du logiciel Pacha et des hypothèses de calcul actuellement utilisées pour son fonctionnement par le SPC Allier.

3.1.1 Présentation du logiciel PACHA

Le logiciel PACHA est utilisé pour la prévision des crues de l'ALLIER par le Service de Prévision des Crues de l'Allier (SPC).

Ce logiciel a été développé en 1994, sur la base d'une étude de modélisation hydrologique détaillée effectuée en 1991-1992. Le calage initial des modèles a été effectué sur les épisodes de crue de la période 1973-1990, ainsi que sur des crues historiques plus anciennes (notamment 1866), en moyenne 19 épisodes par modèle avaient été retenus.

Les modèles ont été calés sur les données de nombreuses stations hydrométriques et pluviométriques, dont certaines n'ont pas nécessairement été automatisées par la suite (réseau CRISTAL). D'autre part, de nouvelles stations ont été intégrées au réseau CRISTAL, et certaines ont été considérées en remplacement de stations utilisées initialement dans les modèles, alors qu'elles ne sont pas situées au même emplacement. La configuration actuelle des stations prises en compte dans les modèles est donc parfois différente de la configuration utilisée lors du calage.

C'est pourquoi le rejeu de crue récente réalisé dans le cadre de l'étude 3P ALLIER permet d'identifier les améliorations envisageables pour optimiser la prévision de crues.

La description complète du modèle et ses évolutions sont décrites dans le diagnostic prévision du Volet 1 de l'étude 3P Allier.

3.1.2 Rejeu des crues de 2003 et 2008

3.1.2.1 *Présentation des crues de 2003 et 2008*

La crue de décembre 2003 est supérieure aux crues de calage à Moulins (+100 m^3/s par rapport à la crue de mars 1988, plus forte crue de l'échantillon hormis 1866) ; à Vieille Brioude les deux crues sont dans la gamme des plus fortes crues utilisées pour le calage.

Les crues historiques de 1875, 1856 et 1966 ont également été utilisées pour le calage des modèles de propagation, leur débit estimé est au moins le double des débits maximaux de la période récente :

- Vieille Brioude : 1866 : 2500 m^3/s,
- St Yorre : 1856 : 3200 m^3/s, 1866 : 3700m^3/s , 1875 : 3400 m^3/s,
- Moulins : 1866 : 3500m^3/s.

Sur la partie aval de l'Allier (entre Vic le Comte et Moulins notamment), les fonctions de variation de la célérité en fonction du débit, calées dans l'étude initiale comportent donc deux zones : la zone des crues « courantes », jusqu'à 1500 m^3/s à Moulins, et 3 points correspondant aux crues exceptionnelles du 19ème siècle (débits supérieurs à 3000 m^3/s à Moulins). Entre ces deux zones, la variation de la célérité en fonction du débit n'est pas précisément connue.

La crue de décembre 2003 apporte un point supplémentaire, mais qui reste proche de la série des crues « courantes ». La variation de la célérité en fonction du débit prise en compte dans cette zone intermédiaire restera donc estimative : par exemple entre St Yorre et Moulins, la célérité varie linéairement de 0.8m/s à 2m/s pour un débit variant respectivement de 1200 et 4000 m^3/s. Cela correspond à une réduction de moitié des temps de propagation

La crue de novembre 2008 est exceptionnelle au niveau de la tête du bassin versant de l'ALLIER et permet une meilleure connaissance de la formation des crues sur l'extrémité amont soumise aux influences climatiques de type cévenole.

3.1.2.2 *Résultats des simulations pour les deux crues de décembre 2003 et novembre 2008*

L'analyse des résultats obtenus pour les deux crues récentes de décembre 2003 et novembre 2008 montre globalement un comportement satisfaisant des modèles.

Des courbes de prévision ont été obtenues aux différents points de prévision avec le rejeu effectué en situation de prévisions temps réel à l'aide du logiciel PACHA. Ces rejeux ont été effectués avec les données disponibles en temps réel (données brutes validées par le SPC), et avec des données complétées à posteriori (données pluviométriques pour la crue de décembre 2003 notamment, et des estimations de certains hydrogrammes fortement revues par la Diren (banque HYDRO)).

Point par point, l'analyse des résultats obtenus montre :

- Prévisions à Langogne : les prévisions sont effectuées par des modèles pluie-débit (SCS+Fabret), calés pour des délais de prévision 2 heures et 4 heures. Pour la crue de novembre 2008, le modèle ne permet pas une reproduction correcte de la montée de crue, les prévisions étant en retard. Le délai de prévision minimal de 2h semble déjà trop élevé pour cette crue pour laquelle le temps de réponse a plutôt été de l'ordre de l'heure voire plus faible. Le modèle au délai 4 heures ne semble pas approprié (délai trop élevé par rapport au temps de réponse du bassin).

- Prévisions à Prades : pour la crue de novembre 2008, les prévisions sont en avance, avec une estimation correcte du maximum pour le délai 4h et une surestimation de la pointe de l'ordre de 20 à 40% pour le délai 6 heures, selon les instants de prévision. Pour la crue de décembre 2003, les prévisions sont également en avance dans la montée, avec une surestimation qui se produit déjà pour le délai 4 heures, et qui s'accentue pour le délai 6 heures. Le modèle au délai 4 heures semble approprié, le modèle au délai 6 heures ne semble pas pertinent.

- Prévisions à Langeac : les modèles n'avaient initialement pas été calés sur des données à Langeac, la station étant très récente. Les paramètres utilisés sont ceux calés à Prades, avec une modification de la taille du bassin versant (qui passe de 1350km^2 à 1781 km^2 entre Prades et Langeac). Les résultats obtenus pour les 2 crues décembre 2003 et novembre 2008 sont moins bons qu'à Prades. Les modèles demandent donc à être recalés sur les données à Langeac.

- Prévisions à Vieille Brioude : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation à partir de Prades, prise en compte des apports intermédiaires par application d'un coefficient multiplicatif des débits à Prades évalué selon les données de pluie. Pour la crue de novembre 2008, l'avance et la surestimation des prévisions à Prades se retrouvent à Vieille Brioude. Pour la crue de décembre 2003 et les données « temps réel », les prévisions sont correctes jusqu'au délai 10 heures avec cependant un retard à la 2ème montée. Ce retard est probablement du à une sous-estimation des apports du bassin versant intermédiaire. Le débit estimé avec les données « temps réel » était de 1340 m^3/s à Vieille Brioude, soit plus du double de celui de Prades (640 m^3/s). Avec un débit réévalué à 975 m^3/s, les prévisions sont au final surestimées du fait de la surestimation à Prades.

- Prévisions à Lempdes : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation depuis Joursac, avec coefficient multiplicatif appliqué sur les débits à Joursac pour représenter les apports intermédiaires. Entre Joursac et Lempdes, les apports peuvent être très importants, pour la crue de décembre 2003, le débit de pointe passe de 86m^3/s à Langeac à 416m^3/s à Lempdes. Les prévisions sont tout d'abord sous-estimées à Lempdes, puis surestimées du fait de l'application du filtre, trop entreprenant dans ce cas (une correction de l'ordre de 400 m^3/s a été appliquée par le filtre). On constate le même problème pour les prévisions de la crue de novembre 2008, plus faible (débit de pointe à Lempdes 100 m^3/s).

- Prévisions à Vic le Comte : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation depuis Vieille Brioude, Lempdes, Saint Floret et Salzuit. La station de Salzuit (210 km^2) remplace la station de Paulhaguet (155 km^2), initialement prise en compte lors du calage des modèles. Les prévisions pour la crue de novembre 2008 sont correctes, avec cependant une sous-estimation progressive de la pointe due à la mise en œuvre du filtre sur les erreurs. En effet, l'avance en début de montée entraîne une correction non pertinente sur les prévisions futures. La surestimation à Vieille Brioude compense probablement la sous-estimation des apports intermédiaires.
Pour la crue de décembre 2003, les prévisions sont bonnes pour la première pointe et surestimées pour la 2ème pointe, du fait de la surestimation forte des débits à Lempdes.

  - Prévisions à Pont de Limons : Les prévisions sont réalisées avec le modèle principal : propagation de Vic le Comte et Côte Rouge, les apports intermédiaires étant représentés par les débits de la Morge à Côte Rouge.

Pour la crue de décembre 2003, la montée à Pont de Limons est bien reproduite, ainsi que la pointe quand la surestimation à Vic le Comte disparaît.

Pour la crue de novembre 2008, la montée de crue est également bien reproduite, par contre la pointe de crue est sous-estimée. Cette sous-estimation est due à la sous-estimation à Vic, mais elle est constatée également pour le cycle pour lequel la prévision est surestimée à Vic (02/11 4h), et pour le cycle pour lequel il n'y a pas d'incidence de la prévision à Vic puisque la pointe a déjà été observée à Vic (03/11 20h). Pour ce dernier cas, l'écart vient probablement d'une incohérence entre les courbes de tarage. Les prévisions brutes sont sous-estimées d'environ 25%, le filtre améliore la prévision, avec une sous-estimation finale qui reste modérée, de l'ordre de 10 à 15%.

- Prévisions à Giroux/Dore : les prévisions sont réalisées avec le modèle principal pluie-débit (modèle au délai 4h, modèle au délai 10h). Il semble y avoir un problème de raccordement des prévisions des deux modèles pour le délai 12h. Le comportement du bassin est complexe avec une composante lente et une composante rapide. Pour la crue de décembre 2003, les données temps réel sont insuffisantes pour faire des prévisions à Giroux. Pour la crue de novembre 2008, les prévisions pour les courts délais sont bonnes pour la première montée. Les prévisions au-delà du délai 4h ne sont pas satisfaisantes du fait de l'incidence de la composante rapide, mais la composante lente du modèle permet de représenter une part significative de l'hydrogramme jusqu'à un délai de 14h.

- Prévisions à Dorat : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation de Giroux/Dore et Giroux/Faye, un coefficient multiplicatif fonction de la pluie étant appliqué aux débits de Giroux/Faye pour représenter les apports intermédiaires. Pour la crue de novembre 2008, les prévisions sont sous-estimées en début de montée (du fait des prévisions insuffisantes à Giroux), et correctes dans la 2ème partie de la crue (la pointe est

prévue correctement avec un délai de 18h). Remarque : il n'y pas eu de réel calage lors de l'étude de 1992, la station ayant été créée en 1992.

- Prévisions à St Yorre : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation depuis Pont de Limons, Giroux/Dore et Giroux/Faye. Pour la crue de décembre 2003, les données de pluie insuffisantes en temps réel ne permettent pas une prévision de la première montée (extrapolation uniquement). Les cycles pour lesquels une surestimation est obtenue à Vic le Comte entraînent également une surestimation à St Yorre. Sinon, la pointe à St Yorre est correctement prévue. Pour la crue de novembre 2008, la montée est bien reproduite, avec une sous-estimation du débit de pointe, un peu atténuée par l'effet positif du filtre.

  - Prévisions à Chatel de Neuvre : les prévisions ont été effectuées par le modèle principal : propagation depuis St Yorre et St Pourçain. Pour la crue de décembre 2003, on retrouve la même configuration qu'à St Yorre : surestimation lorsque surestimation à Vic le Comte, sinon, prévision correcte. Pour la crue de novembre 2008, la forme n'est pas tout à fait reproduite, et le filtre entraîne une petite surestimation de la 2ème partie de la montée du fait de la sous-estimation en début de montée. La pointe est correctement reproduite. L'incidence des prévisions à St Pourçain est très faible. On note une avance de l'hydrogramme de crue dans la montée (de l'ordre de 4 à 6h pour des débits de 600 m^3/s, et qui s'accentue pour les débits plus élevés) qui va ensuite se répercuter jusqu'au Veurdre. Ce phénomène est moins marqué pour la crue de décembre 2003. La fonction de célérité en fonction du débit demanderait à être recalée sur le tronçon St Yorre-Chatel de Neuvre.

- Prévisions à Moulins : les prévisions ont été effectuées par le modèle principal : propagation depuis Chatel de Neuvre. Pour la crue de décembre 2008, l'hydrogramme se déforme de manière importante, cette déformation n'est pas correctement reproduite par le modèle, et l'on constate une surestimation de la pointe due à l'effet du filtre trop entreprenant dans ce cas. Pour la crue de décembre 2003, la pointe est correctement reproduite lorsqu'il n'y a plus de surestimation à Vic le Comte.

- Prévisions au Veurdre : les prévisions sont effectuées par le modèle principal : propagation des débits à Moulins et modèle pluie-débit pour les apports intermédiaires. Pour la crue de décembre 2008, les prévisions sont bonnes dans la montée avec une pointe correctement prévue lorsqu'on surestime un peu les débits à Moulins. Sinon, le débit de pointe est sous-estimé au Veurdre. Pour la crue de décembre 2003, on ne dispose d'observations que pour le début de la montée qui est correctement reproduite. La surestimation des débits pour certains cycles en amont se répercute jusqu'au Veurdre.

3.1.2.3 *Bilan du rejeu des crues 2003 et 2008 sous le logiciel PACHA V2*

Ces remarques d'ensemble ont permis de préciser certaines propositions d'amélioration proposées dans la Note 2-3 « Propositions d'amélioration pour la prévision ».

- Les modèles pluie-débit calés délai par délai ne permettent pas une prévision « continue », ce qui entraîne parfois des décalages lors du raccordement des prévisions faites pour différents délais. De plus, dans les parties amont, des modèles ont été établis pour des délais supérieurs aux temps de réponse, et ne sont pas performants notamment pour les plus fortes crues (décembre 2003, novembre 2008).

- Les erreurs de prévision se reportent de l'amont vers l'aval, et notamment les erreurs des modèles pluie-débit non pertinents se reportent en aval, et peuvent être amplifiées par l'application de coefficients pour représenter les apports (exemple : le modèle à 6h à Prades qui a tendance à surestimer les débits, entraîne une surestimation des prévisions à Vieille Brioude). De même, une erreur sur les prévisions à Lempdes (par exemple due à un traitement d'erreur trop entreprenant comme pour la crue de décembre 2003) se reporte à Vic le Comte avec un coefficient multiplicatif important (1.4).

  - Les apports intermédiaires entre les stations principales de l'Allier sont souvent représentés par une station sur un affluent, dont les débits sont multipliés par un coefficient variable, dépendant souvent de la pluviométrie. Ces coefficients peuvent atteindre des valeurs élevées (par exemple jusqu'à 11 pour le coefficient multiplicatif des débits à Giroux/Faye) pour les prévisions à St Yorre. Ces coefficients peuvent varier de manière importante d'un pas de temps à l'autre, et d'un cycle à l'autre (selon la pluviométrie), et entraîner des variations des prévisions significatives (ex : crue de novembre 2008 – cycles 03/11 20h et 04/11/6h).

- Les traitements d'erreur sont parfois contre-performants, quand l'erreur ne provient pas d'une sous-estimation ou surestimation des apports mais d'un décalage temporel. En effet, dans ce cas, il peut se produire une inversion des écarts en phase de montée, le traitement d'erreur basé sur les erreurs passées accroîtra alors les erreurs au lieu de les réduire. En temps réel, l'outil propose par défaut de prendre en compte les prévisions filtrées et ne permet pas de prendre en compte facilement les prévisions non corrigées (sauf saisie manuelle fastidieuse). C'est une fonctionnalité qui devrait être intégrée à l'outil.

  - Les modèles de secours prévus dans la version initiale de l'outil ne semblent pas toujours être pris correctement en compte dans le nouvel outil, et cela peut être pénalisant pour les prévisions :
    - Par exemple, les prévisions à Saint Yorre ne sont souvent pas calculées du fait de défaillances des données pluvios sur le bassin de la Dore, alors que le modèle de secours à partir de Dorat pourrait être utilisé,
    - De même, le calcul des lames d'eau est parfois stoppé alors qu'il existe des données à certains postes pluvios du bassin versant et que les postes manquants ne sont pas déclarés « indispensables » (exemple pour la lame d'eau Dore pour la crue de décembre 2003). Une vérification du fonctionnement de l'outil pour les modes de secours serait utile.

3.2. Réutilisation du modèle hydraulique à casiers de l'Allier sur l'agglomération de Vichy (03)

Le modèle hydraulique de base a été réutilisé pour de nouvelles simulations dans le cadre de l'étude 3P Allier ; plus précisément, pour la réalisation de 2 Analyses Coût Bénéfice dans l'agglomération de Vichy Val d'Allier. Les zones d'étude sont localisées sur la carte ci-après.

Ce modèle hydraulique de l'Allier est celui servant de référence au zonage réglementaire actuel du PPRI de l'Allier dans la traversée de Vichy.

Il a été élaboré en 2001 à partir de la cartographie des zones inondables (entre Saint-Yorre et Billy) réalisée par BCEOM dans le cadre de son étude de protection contre les risques d'inondation de l'Allier sur l'agglomération de Vichy (avril 2000).

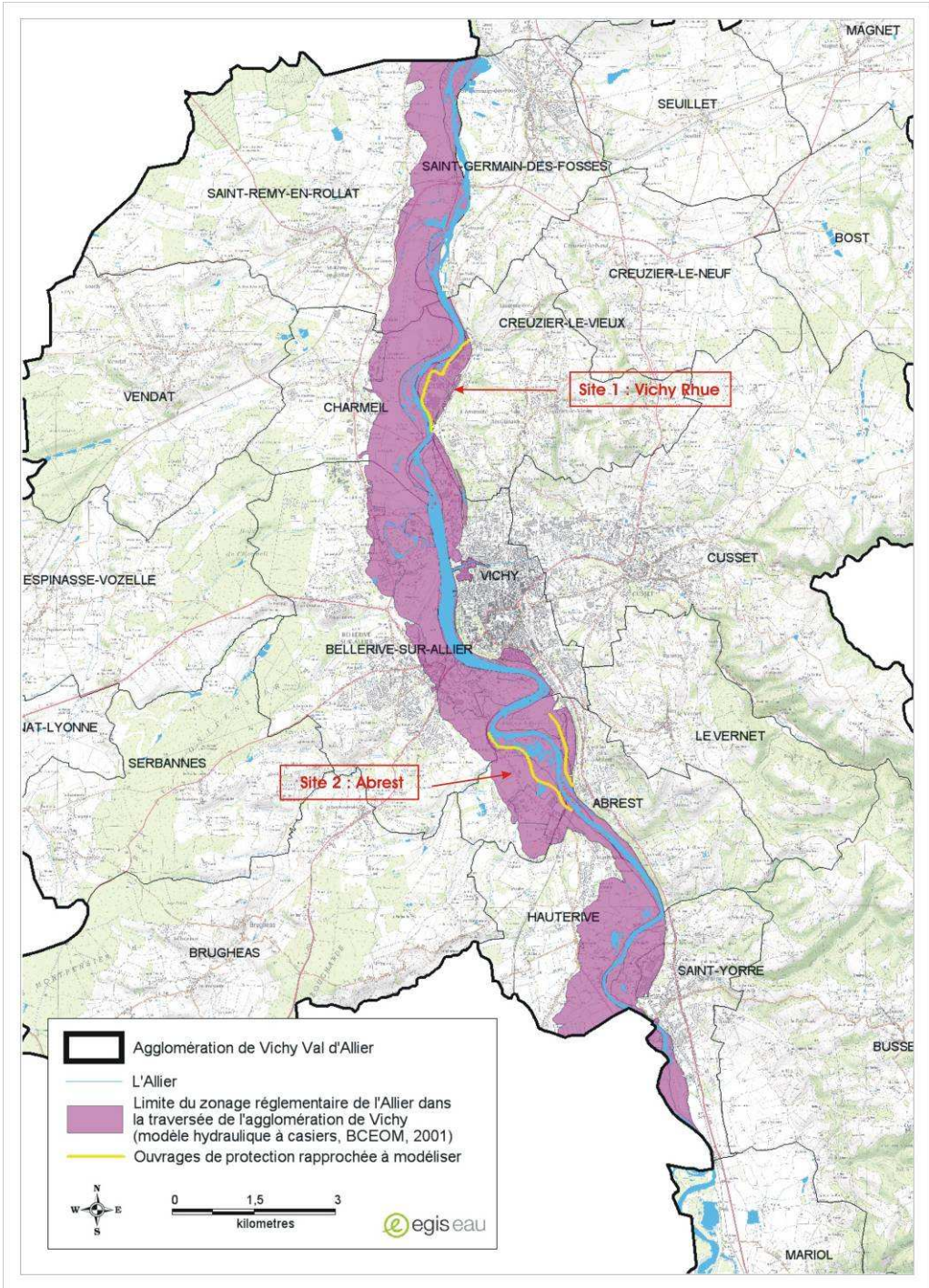


Figure 2 : Localisation des sites à protéger - Agglomération de Vichy

3.2.1 Présentation du modèle hydraulique

- **Le modèle :**

Les crues de l'Allier ont été simulées à l'aide du logiciel STREAM (Simulation en TRansitoire des Ecoulements A surface libre Multidirectionnels) développé par le BCEOM.

Il s'agit d'un modèle à casiers en régime transitoire, capable de restituer la complexité topographique d'un site et le caractère transitoire des crues de la rivière.

Il est basé sur une représentation discrétisée des écoulements dans l'espace et dans le temps. L'unité de découpage dans l'espace est un « casier ». Les casiers sont délimités en fonction des axes structurants les flux (lits, chenaux, endiguements, déversoirs…) et des sections les plus représentatives de l'écoulement (profils en travers, singularités…). Ce découpage principal peut être suivi d'une partition supplémentaire des casiers ainsi définis, pour affiner encore la représentation discrétisée du système. La totalité du modèle de l'Allier est constitué de 236 casiers.

Une fois le système physique modélisé, le logiciel résout les équations de Saint-Venant par un schéma implicite aux différences finies exprimant les termes différentiels sous forme discrétisée entre chaque pas de temps et d'espace.

- **Le calage :**

Le modèle est calé grâce à un relevé des laisses de crues effectué après la crue de mars 1988.

- **Les utilisations potentielles du modèle à casier de l'Allier dans la traversée de Vichy:**

Le modèle à casier en régime transitoire de l'Allier de l'Allier dans la traversée de Vichy permet :

- De définir l'enveloppe des différentes crues de références de l'Allier,
- D'estimer précisément les impacts des projets d'aménagement dans le lit mineur de l'Allier,
- D'estimer précisément les impacts des projets d'aménagement dans le lit majeur de l'Allier,
- De définir l'impact des zones de stockage sur l'hydrogramme de crue de l'Allier,
- D'estimer les durées de submersion dans le lit majeur (Voir carte pour exemple ci-après).

- **Débits de référence :**

Le tableau suivant fait la synthèse des débits de pointe des hydrogrammes utilisés pour la modélisation des crues de projet de l'ALLIER.

Tableau 4 : Débits de pointe des crues de projet de l'ALLIER

Débit de pointe Ordre de retour de la simulation	Qi Allier
T = 100 ans	3 720 m3/s
T = 30 ans	2 350 m3/s
T = 10 ans	1 100 m3/s

Le débit de référence pour la cartographie centennale est le débit de la crue de 1866 considérée comme d'occurrence centennale.

Compte tenu de l'étendue des zones inondables dans le lit majeur de l'ALLIER et de la présence d'ouvrages de protection liée à la présence humaine, les crues de l'ALLIER ont été modélisées par un modèle à casiers en régime transitoire. Le modèle STREAM développé par le BCEOM a permis de restituer la complexité topographique du site et le caractère transitoire des crues de la rivière. (Cf. « Etude de protection contre les risques d'inondation de l'ALLIER sur l'agglomération de Vichy », réalisée en 2000 par BCEOM).

La mise en œuvre du modèle a nécessité un grand nombre d'informations relatives à la structure du modèle (configuration des casiers, liaisons intercasiers...), à la description topographique du site (profils des interfaces, courbes de remplissage des casiers), aux données hydrologiques (hydrogrammes, conditions initiales, courbes de tarage) et aux conditions d'occupation du sol (coefficients de rugosité des interfaces).

Concernant les données topographiques, les relevés effectués dans le cadre de cette étude étaient les suivants :

- Levés photogrammétriques de l'ensemble du lit majeur de l'ALLIER,
- Levés bathymétriques de 60 profils en travers du lit mineur.

La simulation de l'écoulement pour un débit de projet donné permet d'obtenir au droit de chaque casier :

- Le niveau d'eau ou hauteur de submersion maximale,
- La vitesse d'écoulement moyenne à l'interface entre les casiers,
- Les débits de pointe à l'interface entre les casiers.

Ce modèle à casiers a donc été réutilisé, afin de réaliser une nouvelle simulation intégrant l'ouvrage de protection envisagé.

La cartographie des zones inondables a été restituée pour les crues décennales, trentennales et centennales de l'ALLIER (Voir limite page ci-avant).

Les résultats de la simulation ont également permis d'établir pour la crue centennale les isohauteurs de submersion 1 m et 2 m qui délimitent les zones d'inondation à aléa fort ($h \geq 2$ m), moyen ($1 \text{ m} \leq h \leq 2$ m) et faible ($h \leq 1$ m).

La carte suivante présente la structure globale du modèle à casier de l'agglomération de VICHY (2001).

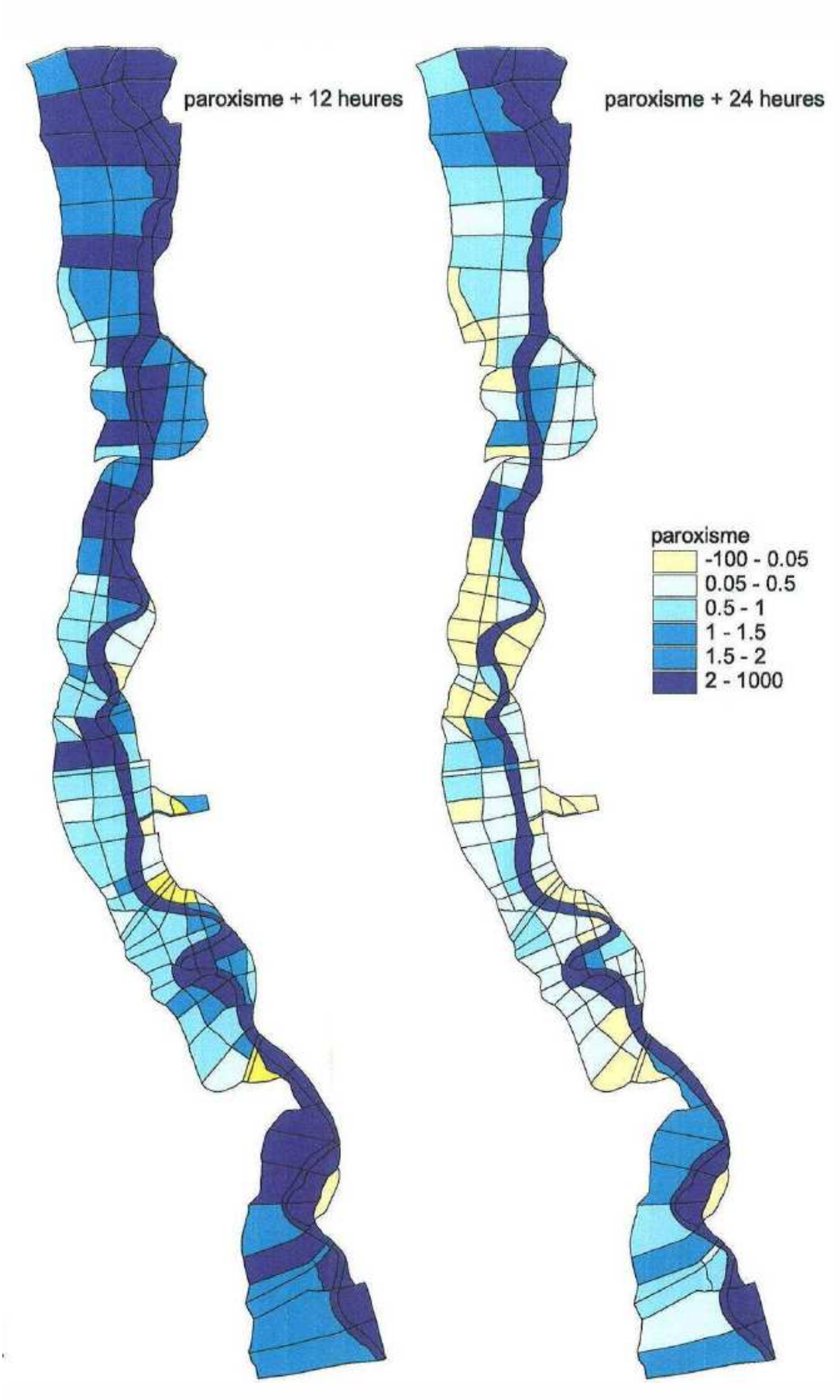


Figure 3 : Structure du modèle à casiers de l'agglomération de Vichy (2001)

3.2.2 Simulation de protection rapprochée au droit du site 1 : zone industrielle de Vichy Rhue à Creuzier le Vieux

3.2.2.1 *Localisation de la zone d'étude*

La zone d'étude correspond à la Zone Industrielle de Vichy Rhue sur la commune de Creuzier le vieux.

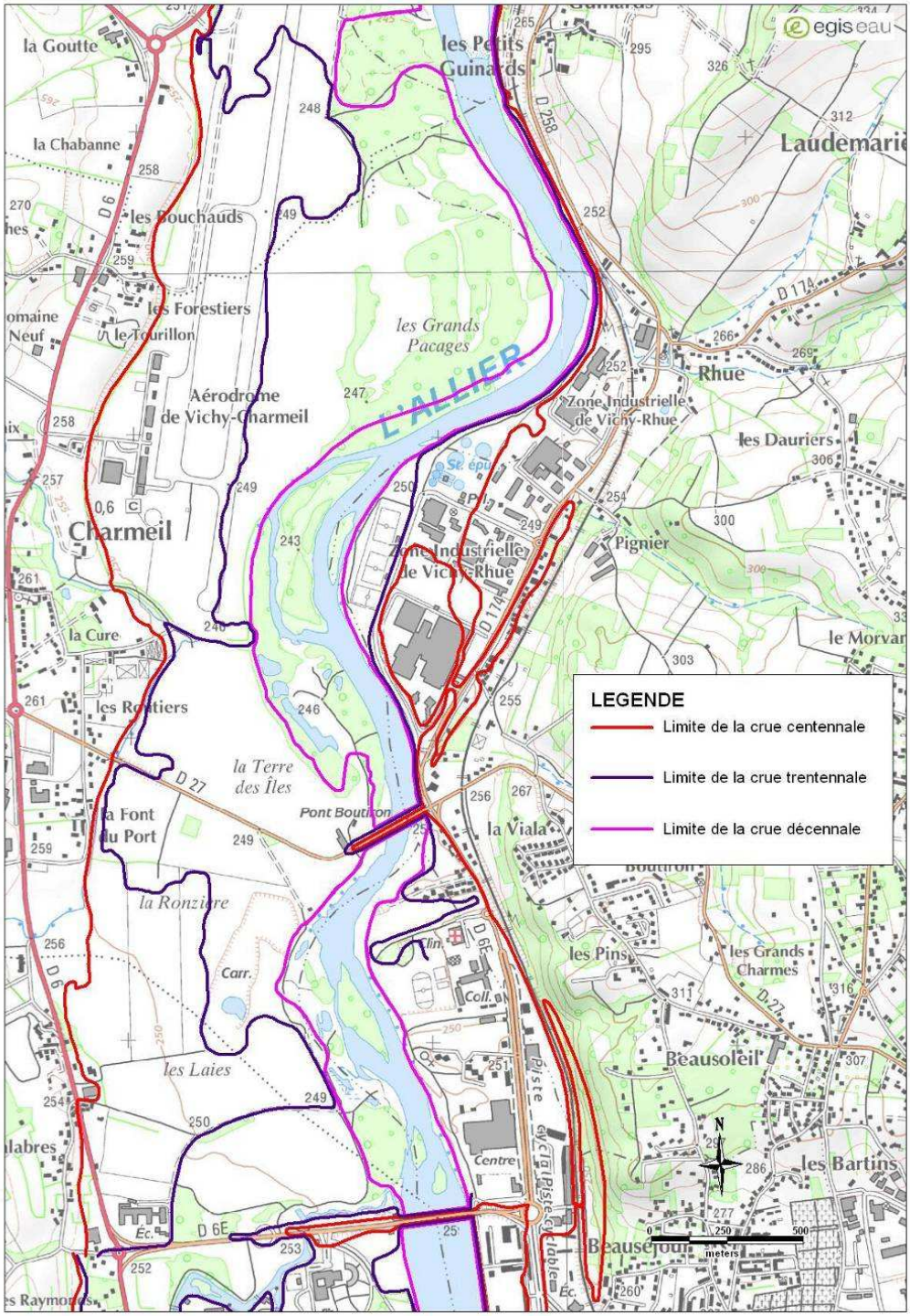


Figure 4 : Localisation de la zone industrielle de Vichy Rhue pour le modèle hydraulique de l'ALLIER à Creuzier le Vieux

3.2.2.2 *Réalisation de l'analyse hydraulique au droit du site 1 de Vichy Rhue*

La zone industrielle de VICHY-RHUE n'est inondable par les crues de l'ALLIER que pour des évènements rares et exceptionnels.

Les crues décennales et trentennales n'inondent pas la zone industrielle qui se situe sur un remblai.

Mais le remblaiement du secteur de Vichy Rhue ne permet pas de mettre complètement à l'abri la totalité de la zone industrielle vis-à-vis du risque inondation pour la crue centennale de l'ALLIER.

Le débordement de l'ALLIER s'effectue à l'aval du pont BOUTIRON au niveau du ou des point(s) bas du remblai face à l'usine l'OREAL.

D'après la modélisation hydraulique, pour la crue centennale de l'ALLIER, un débit de débordement de l'ordre de 5/10 m^3/s s'écoule en empruntant les principaux axes d'écoulement et inonde les points bas de la zone industrielle.

Une partie des débordements se stocke, en particulier, à l'Est de la route départementale RD 174 dans les secteurs non remblayés.

Une autre partie traverse la zone industrielle de VICHY-RHUE en empruntant les axes drainant préférentiels que sont les chemins et les routes d'accès aux bâtiments de la zone industrielle.

La hauteur de la lame d'eau de ces écoulements n'est que de quelques centimètres au niveau des axes drainant de la zone industrielle de VICHY-RHUE.

Par comparaison, les débits de débordements en rive gauche, côté aéroport, sont de l'ordre de 200 m^3/s et les hauteurs de submersion de 1 m environ.

Figure 5 : Photo de la ZI Vichy Rhue - usine CAP L'OREAL côté ALLIER

3.2.2.3 Ouvrage de protection rapprochée à modéliser au droit du site 1 de Vichy Rhue

Il est prévu de simuler un scénario avec une digue de protection centennale en rive droite pour protéger la totalité de la ZI VICHY RHUE.

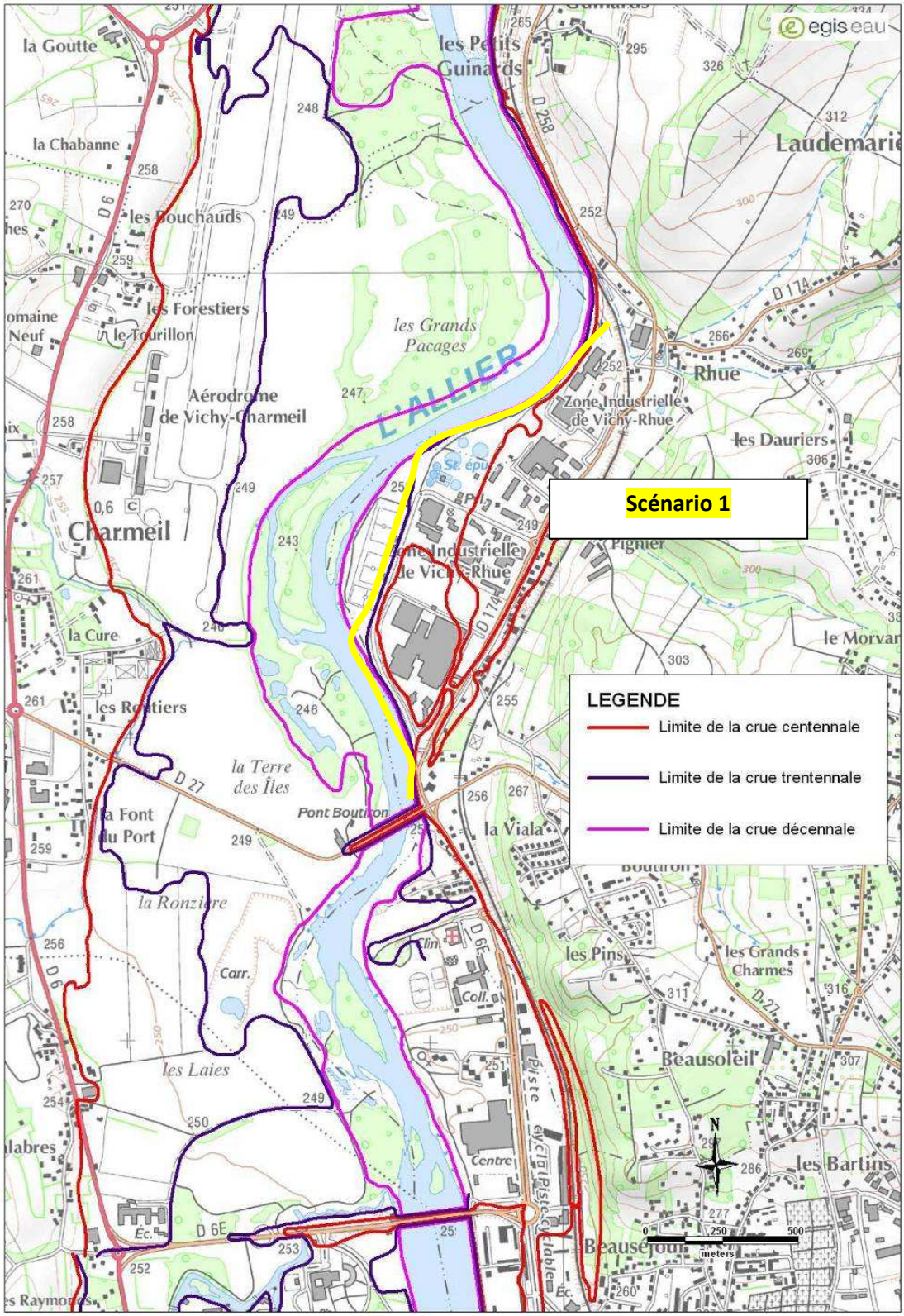


Figure 6 : Localisation du scénario 1 d'ouvrage de protection de la ZI Vichy Rhue à Creuzier le Vieux

Pour éliminer les risques de débordements au droit de la zone industrielle de VICHY-RHUE jusqu'à l'événement centennal, il est envisagé de modéliser les aménagements suivants :

- Édification d'une digue ou d'un muret à la cote de 251,20 m NGF (PHE 100 ans + 50 cm de revanche). Cette digue aura une hauteur moyenne de 60 cm.
- Vérification qu'aucun ouvrage d'assainissement ne se rejette de la zone de VICHY-RHUE dans le lit mineur de l'ALLIER. Si tel était le cas, il serait nécessaire de mettre en place un clapet anti-retour ou un système de fermeture automatique pour éliminer le risque d'inondation de la zone industrielle par refoulement.

La digue ou le muret à construire s'étend sur un linéaire à définir précisément à partir de données topographiques. La longueur est évaluée en première approche à 2 500 m.

Cet ouvrage est modélisé dans le modèle à casiers global de VICHY en modifiant les liaisons inter-casiers correspondantes pour simuler la digue.

3.2.2.4 Résultats de la simulation

La création d'une digue permet une protection centennale de la ZI VICHY RHUE mais elle modifie aussi l'aléa inondation de l'ALLIER, il est donc nécessaire de mesurer l'impact hydraulique de la digue du scénario 1.

Il faut en particulier vérifier que la digue de protection de la zone industrielle de VICHY-RHUE n'entraîne pas une aggravation de la crue centennale de l'ALLIER vers d'autres secteurs.

Pour cela, on a introduit dans le modèle hydraulique la digue du scénario 1 et on a procédé à une nouvelle simulation centennale.

L'impact de la digue sur les hauteurs de submersion centennales est très faible < 1 cm.

Ce résultat provient du fait que le débit de débordement rive droite de 5 m^3/s est négligeable par rapport au débit total de l'ALLIER transitant pendant la pointe de la crue : Qi100 = 3 700 m^3/s dans le lit mineur et le lit majeur rive gauche de la rivière.

Par contre la mise hors d'eau de la ZI Vichy Rhue supprime un volume de rétention de l'ordre de 52 000 m^3 pour l'événement centennal qu'il s'agira de compenser.

Il s'agit de l'impact statique de l'ouvrage.

La présentation détaillée de la simulation est proposée en Annexe de la Note 2-5 « Proposition d'amélioration de Protection ».

3.2.3 Simulation de protections rapprochées au droit du site 2 à Abrest

3.2.3.1 *Localisation de la zone d'étude*

La zone d'étude est la Zone d'Activité de La Tour en rive gauche de l'Allier et le quartier des Graviers en rive droite de l'Allier. Les deux secteurs se situent sur la commune d'Abrest.

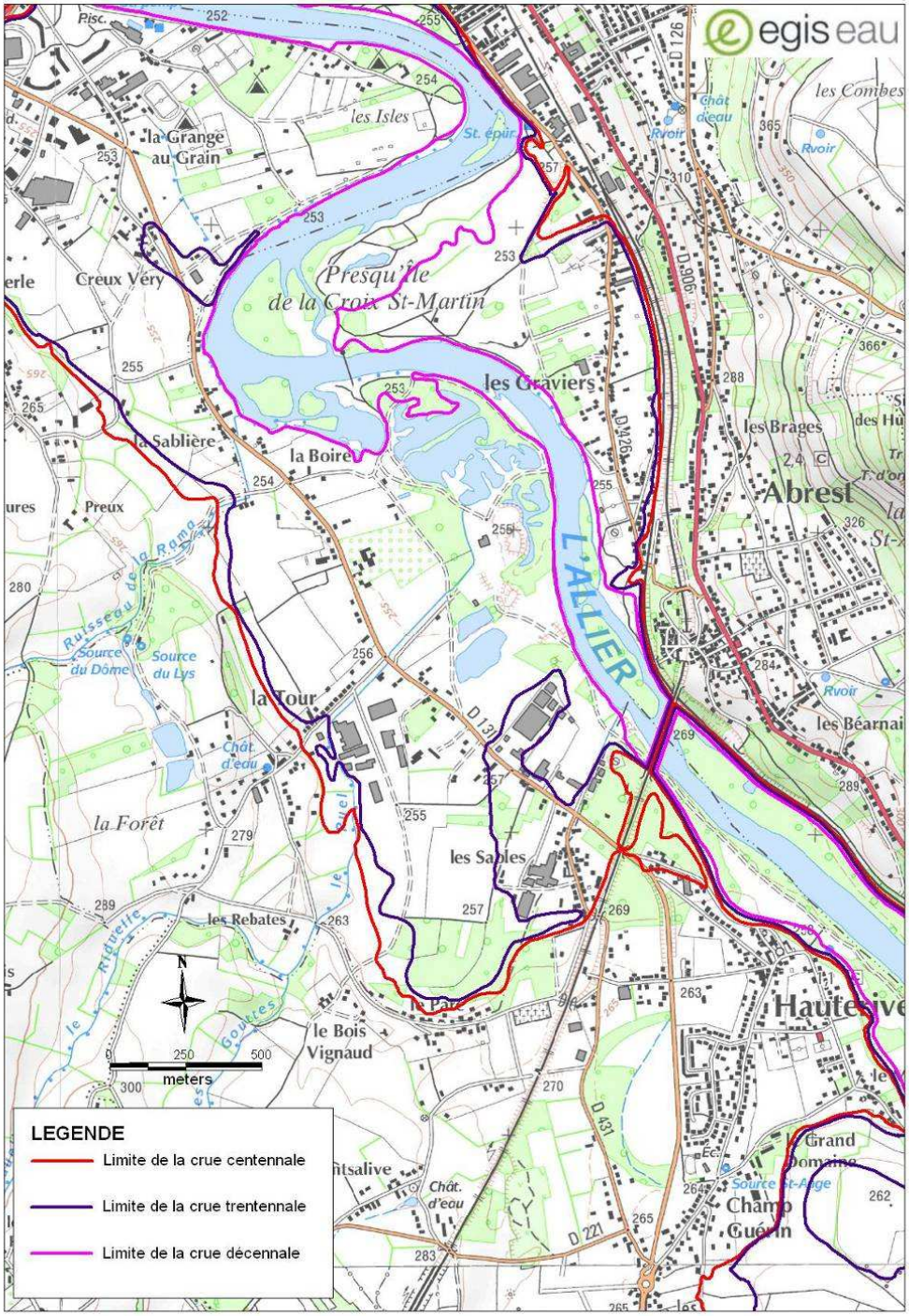


Figure 7 : Localisation de la ZAC de La Tour à Abrest

On rappelle que le modèle hydraulique de base est celui de l'agglomération de Vichy présenté dans le paragraphe 3.2.1.

3.2.3.2 *Résultat de l'analyse hydraulique au droit du site 2 sur la commune d'ABREST*

La commune d'ABREST est touchée par les crues de l'ALLIER à l'aval du pont SNCF.

- En rive droite, le quartier des Graviers est submergé sous 1 à 2,5 d'eau pour la crue centennale. Le débit de débordement qui traverse ce secteur densément urbanisé est de 290 m^3/s. La cote de la crue centennale varie de 257,84 mNGF pour l'extrémité amont à 257,44 mNGF pour l'extrémité aval.
- En rive gauche, le secteur de La Tour est également inondé par une lame d'eau de 0,5 à 2 m. La zone industrielle et commerciale est complètement noyée pour ce type d'événement même si les vitesses de l'écoulement sont faibles (≤ 0,3 m/s). Le débit de débordement qui traverse ce secteur est de 180 m^3/s.

Figure 8 : Photo de la rue des Graviers à Abrest

3.2.3.3 *Description de l'aléa utilisé pour le calcul des dommages des Graviers*

Les hauteurs de submersions sont importantes, voire très importantes, et ce dès la première crue débordante (pour la crue vingtennale, la hauteur moyenne de submersion est déjà de 80 cm ; de 1 mètre pour la crue trentennale, cette hauteur est de 2 mètres pour la crue centennale).

3.2.3.4 *Ouvrages de protection rapprochée à modéliser au droit du site 2 à Abrest : 3 scénarios*

En première approche, il est prévu 3 scénarios de protection :

- Scénario 1 : 1 digue de protection centennale en rive droite pour quartier des Graviers,
- Scénario 2 : 1 digue de protection centennale en rive gauche le long de la totalité de la ZA de La Tour,
- Scénario 3 : ensemble des scénarios 1 et 2.

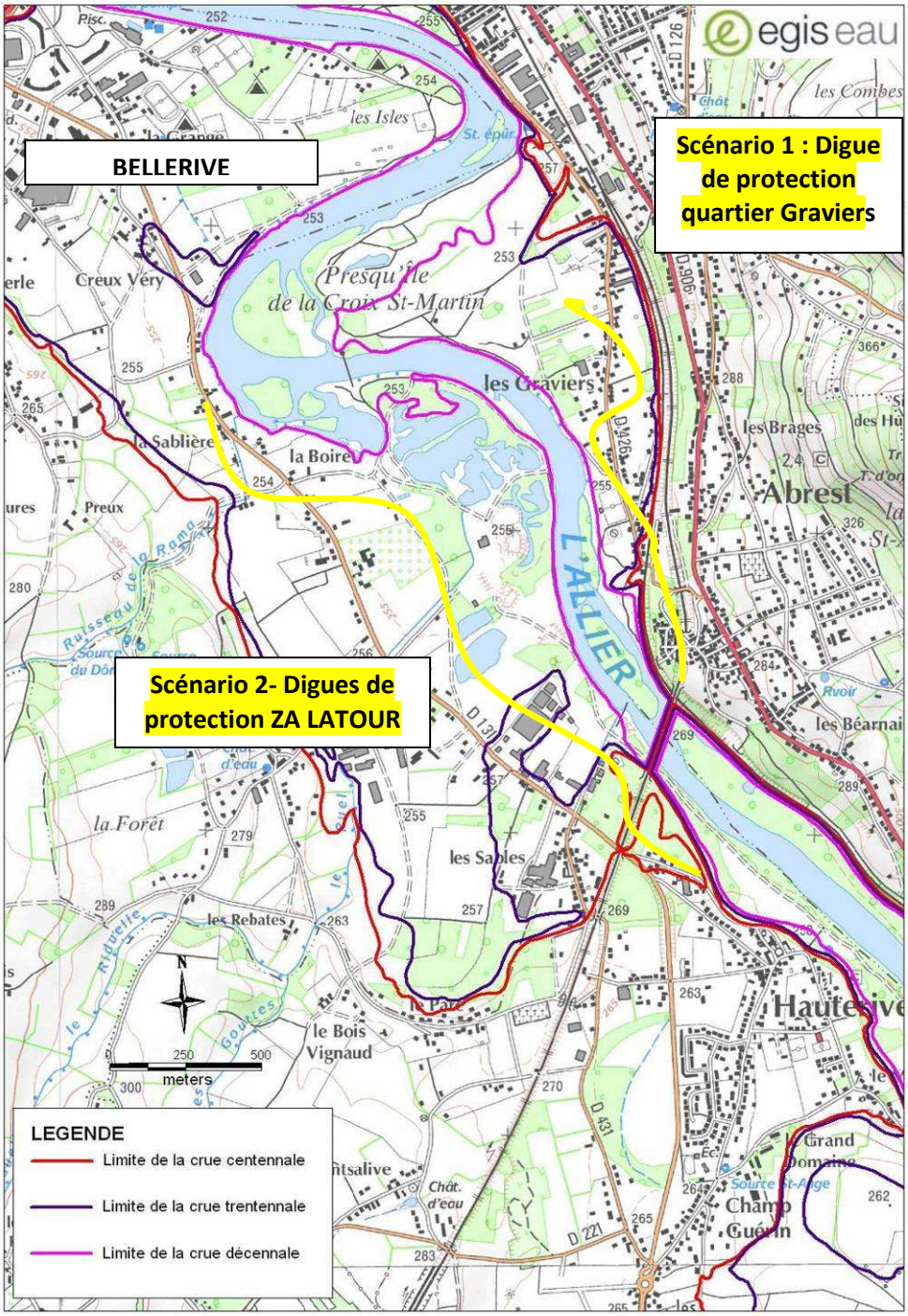


Figure 9 : Localisation des scénarios de digues à Abrest

3.2.3.5 *Présentation du Scénario 1 : digue de protection centennale en rive droite*

Pour éliminer les risques de débordements au droit du quartier résidentiel des Graviers jusqu'à l'événement centennal, il serait envisagé de réaliser les aménagements suivants :

- Édification d'une digue ou d'un muret le long de l'avenue des Graviers. La hauteur maximale de la digue est de 3,8 m pour une revanche de 50 cm minimum par rapport à l'événement centennal.
- Vérification qu'aucun collecteur d'assainissement ne se rejette du quartier des Graviers dans le lit de l'ALLIER. Si c'était le cas, il serait nécessaire de mettre en place un clapet anti-retour ou un système de fermeture automatique pour éliminer le risque d'inondation par refoulement.

La digue ou le muret à construire s'étend sur un linéaire à définir précisément à partir de données topographiques. La longueur est évaluée en première approche à 1 400 m.

3.2.3.6 *Présentation du Scénario 2 : digue de protection centennale en rive gauche*

Pour éliminer les risques de débordements au droit de la zone d'activité de La Tour jusqu'à l'événement centennal, il serait envisagé de réaliser les aménagements suivant :

- Édification d'une digue ou d'un muret le long de la berge rive gauche de l'ALLIER. La hauteur de la digue sera comprise entre 1 m et 4,0 m pour une revanche de 50 cm minimum par rapport à l'événement centennal,
- Vérification qu'aucun collecteur d'assainissement ne se rejette du quartier de La Tour dans le lit de l'ALLIER. Si c'était le cas, il serait nécessaire de mettre en place un clapet anti-retour ou un système de fermeture automatique pour éliminer le risque d'inondation par refoulement,
- Endiguement le long des ruisseaux du Ruel et de la Rama pour éviter les risques de refoulement en crue.

La digue ou le muret à construire s'étend sur un linéaire à définir précisément à partir de données topographiques. La longueur est évaluée en première approche à 2 200 m.

3.2.3.7 *Simulation hydraulique complémentaire à réaliser pour les scénarios 1 et 2*

La création d'une digue permet une protection centennale mais elle modifie aussi l'aléa inondation de l'ALLIER, il est donc nécessaire de mesurer l'impact hydraulique des digues des scénarios de protection.

Il faut en particulier vérifier que les digues de protection n'entraînent pas une aggravation de la crue centennale de l'ALLIER vers d'autres secteurs à enjeux.

Pour cela, on a introduit dans le modèle hydraulique les projets de digues. La simulation hydraulique est reprise avec 3 scénarios : Intégration d'une digue de protection centennale pour scénario 1 et 2 ainsi que pour un troisième scénario cumulant les scénarios 1 et 2.

La présentation détaillée de la simulation est proposée en Annexe de la Note 2-5 « Proposition d'amélioration de Protection ».

L'impact hydraulique des projets de digue sur les hauteurs de submersion est présenté dans les tableaux suivants.

Tableau 5 : Détail des impacts hydrauliques du scénario 1 à Abrest

Scénario 1	Impact crue 10 ans	Impact crue 30 ans	Impact crue 100 ans	Impact crue > 100 ans
Au niveau du quartier des graviers en rive droite	0	Mise Hors d'eau des habitations situées à l'Est de la digue	Mise Hors d'eau des habitations situées à l'Est de la digue	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Au niveau du quartier de La Tour en rive gauche	0	+ 3cm environ	+ 5 cm environ	Impact similaire à la crue centennale
Impact global Allier aval	0	+1 cm au niveau de BELLERIVE	+1 à +2 cm au niveau de BELLERIVE	Impact similaire à la crue centennale

Tableau 6 : Détail des impacts hydrauliques du scénario 2 à Abrest

Scénario 2	Impact crue 10 ans	Impact crue 30 ans	Impact crue 100 ans	Impact crue > 100 ans
Au niveau du quartier des graviers en rive droite	0	+ 4cm environ	+ 7cm environ	Impact similaire à la crue centennale
Au niveau du quartier de La Tour en rive gauche	0	Mise Hors d'eau	Mise Hors d'eau	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Impact global Allier aval	0	+1 à +4 cm au niveau de BELLERIVE	+3 à +7 cm au niveau de BELLERIVE et de VICHY	Impact similaire à la crue centennale pendant la pointe de la crue

Tableau 7 : Détail des impacts hydrauliques du scénario 3 à Abrest

Scénario 1 et 2 cumulé	Impact crue 10 ans	Impact crue 30 ans	Impact crue 100 ans	Impact crue > 100 ans
Au niveau du quartier des graviers en rive droite	0	Mise Hors d'eau des habitations situées à l'Est de la digue	Mise Hors d'eau des habitations situées à l'Est de la digue	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Au niveau du quartier de La Tour en rive gauche	0	Mise Hors d'eau	Mise Hors d'eau	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Impact global Allier aval	0	+2 à +7 cm au niveau de BELLERIVE et de VICHY	+3 à +10 cm au niveau de BELLERIVE et de VICHY	Impact similaire à la crue centennale pendant la pointe de la crue

3.3. Réutilisation du modèle hydraulique de l'Allier à COHADE (43)

Le modèle hydraulique à casiers de l'Allier dans l'agglomération de Brioude a été réutilisé dans le cadre de l'étude 3P, pour modéliser des ouvrages de protection rapprochée au droit du bourg du village de Cohade et du hameau de Crispiat.

3.3.1 Localisation de la zone d'étude

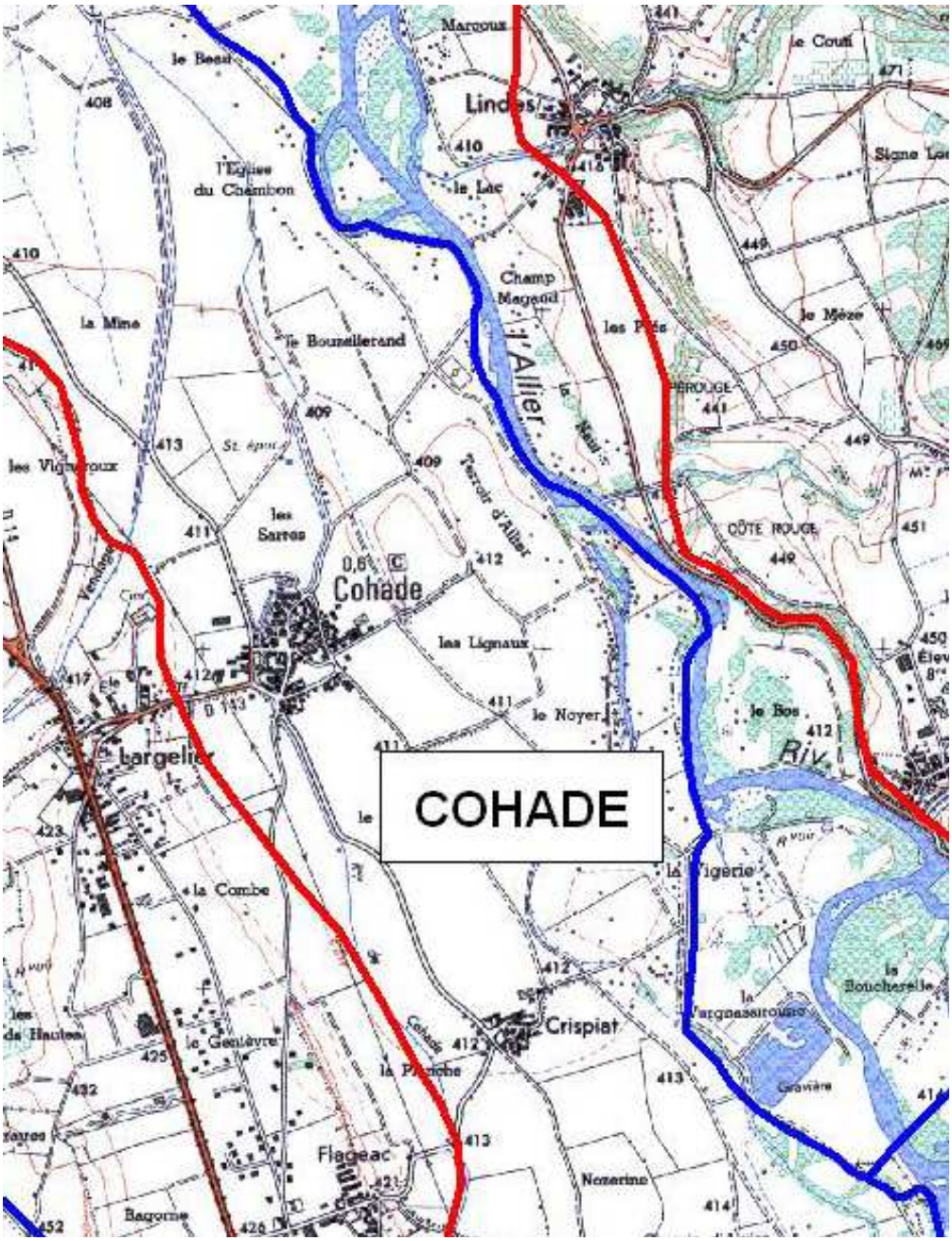


Figure 10 : Localisation du site à protéger - bourg de Cohade

3.3.2 Données hydrauliques disponibles et caractéristiques des débordements

La commune de COHADE s'étend en rive gauche de l'ALLIER à l'aval de l'agglomération de BRIOUDE.

Les inondations des deux dernières décennies (Décembre 1973, Septembre 1980,…) sont venues rappeler la fréquente submersibilité de la plaine, déjà bien souvent observée au cours du siècle passé (les crues les plus marquantes ayant été celles de 1866, 1875, 1907 et 1943).

- **Modèle à casiers de l'ALLIER**

Un modèle à casier de type STREAM a été réalisé par la société BCEOM en 1998 pour définir la zone inondable de l'allier sur la totalité de l'agglomération de Brioude et en particulier au niveau des bourgs de Cohade et de Crispiat.

La modélisation a été réalisée pour les crues décennales, trentennales et centennales de l'Allier, 3 enveloppes de crues sont disponibles (10 ans, 30 ans et 100ans) pour caractériser les débordements de l'Allier au droit de la zone d'étude.

La structure du modèle hydraulique est présentée ci-après.

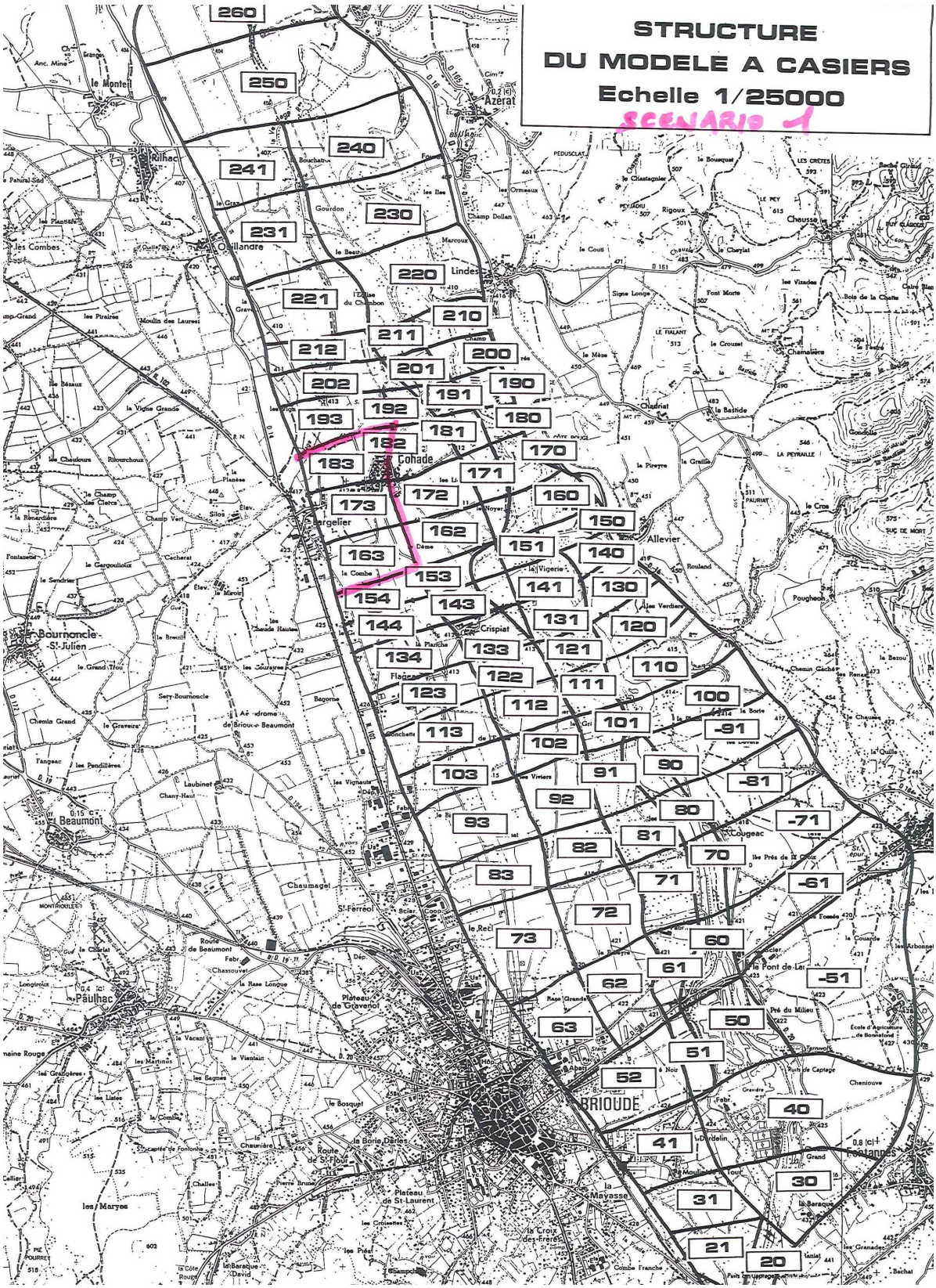


Figure 11 : Structure du modèle à casiers à Cohade

Les caractéristiques des inondations au droit de la zone d'étude en fonction des ordres de retour des crues de l'Allier sont présentées ci-après :

Crue décennale de l'ALLIER

Les résultats obtenus sont très semblables aux observations des crues de Décembre 1973 et Septembre 1980, les niveaux simulés étant toutefois plus réduits de quelques centimètres.

Dès la crue décennale, le champ d'inondation couvre la largeur de la plaine, avec des niveaux de submersion très différenciés entre le lit majeur proprement dit, occupé par les cultures intensives, le lit moyen représenté localement sous le terme de « vigeries » (terrains en bordure du lit mineur, occupés par la prairie et les bois et occasionnellement aujourd'hui par des gravières), et le lit mineur de la rivière.

En premier lieu, la berge en remblai freine les déversements et entraîne une différence du niveau de la ligne d'eau, proche d'un mètre entre le lit mineur et les vigeries. Les hauteurs de submersion, bien que variables sur cette zone tourmentée, augmentent globalement de l'amont vers l'aval, pour atteindre près de 1,5 m à l'aval de CRISPIAT entre la digue et l'ALLIER.

Dans les champs situés en lit majeur, les hauteurs d'eau sont moins importantes, comprises entre 0,2 et 0,8 mètre, le maximum étant atteint entre CRISPIAT et COHADE. Sur les lieux habités de COHADE et CRISPIAT, la lame d'eau moyenne est comprise entre 0,1 et 0,3 m, atteignant jusqu'à 0,8 m à l'Est de COHADE (chemin des BUGES), mais ne touchant que partiellement CRISPIAT. Enfin, la digue existante de CRISPIAT à COHADE est hors d'eau sur sa partie centrale, mais débordée de quelques décimètres à ses extrémités

Crue trentennale de l'ALLIER

Sur la zone d'étude, la crue trentennale se différencie de la décennale par :

- Un accroissement des niveaux de 0,5 à 0,7 mètre en lit majeur,
- Un accroissement notable des vitesses moyennes qui, relativement faibles près de BRIOUDE (0,2 à 0,3 m/s), augmentent progressivement vers l'aval pour atteindre de 0,5 à 0,6 m/s entre CRISPIAT et COHADE (on observe de plus des vitesses moyennes de 0,7 à 0,8 m/s vers l'aval de COHADE entre le village et la berge de l'Allier),
- La submersion de la D588 joignant BRIOUDE au pont de LAMOTHE et l'inondation quasi-généralisée de la plaine, y compris la submersion totale de la digue existante (seuls restent hors-d'eau les terrains de « RASE GRANDE » à proximité de BRIOUDE).

Ainsi on obtient :

- Jusqu'à 2 mètres dans le lit moyen,
- De 0,2 à 1,3 mètre en moyenne dans les champs,
- De 0,5 à 0,7 mètre sur CRISPIAT,
- De 0,6 à 1,3 mètre sur COHADE.

Crue centennale de l'ALLIER

Le processus d'inondation est comparable à celui de la crue trentennale, les niveaux de submersion étant bien entendu plus élevés, surtout en lit majeur.

Ainsi on obtient :

- Jusqu'à 2.5 mètres dans le lit moyen,
- De 0,7 à 1,8 mètre en moyenne dans les champs,
- De 1.0 à 1.3 mètre sur CRISPIAT,
- De 1.1 à 1,8 mètre sur COHADE.

Figure 12 : Photo de l'entrée du bourg de Cohade

3.3.3 Simulations hydrauliques

Le modèle hydraulique de l'ALLIER a été repris pour intégrer deux scénarios d'aménagement de digues de protection dans une nouvelle simulation :

- Scénario 1 : Digue de protection centennale pour protéger le bourg de Cohade,
- Scénario 2 : Digue de protection centennale pour protéger les bourgs de Cohade et de Crispiat.

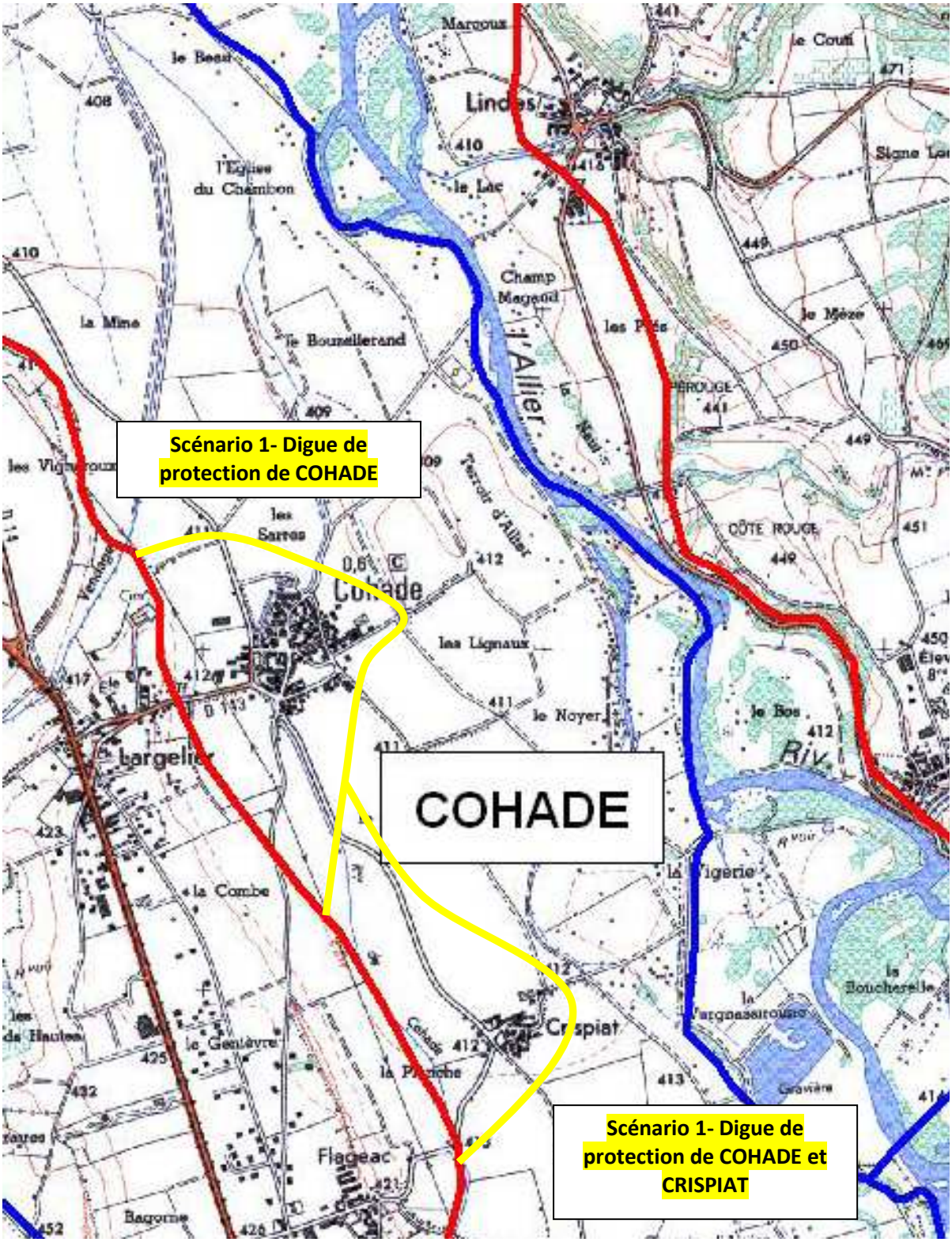


Figure 13 : Localisation des 2 scénarios de digue de protection à Cohade et Crispiat

3.3.3.1 *Scénario 1 : digue de protection centennale en rive gauche pour protéger le bourg de Cohade*

Pour éliminer les risques de débordements au droit du bourg de COHADE jusqu'à l'événement centennal, il serait envisagé de réaliser les aménagements suivant :

- Édification d'une digue ou d'un muret ceinturant le bourg de Cohade dans le lit majeur rive gauche de l'Allier. La hauteur maximale de la digue est de 3,0 m pour une revanche de 50 cm minimum par rapport à l'événement centennal,
- Vérification qu'aucun collecteur d'assainissement ne permette des débordements par refoulement à partir du lit majeur de l'ALLIER. Si c'était le cas, il serait nécessaire de mettre en place un clapet anti-retour ou un système de fermeture automatique pour éliminer le risque d'inondation par refoulement,
- Reprise du profil des routes traversant la digue pour garantir la continuité altimétrique de la protection centennale : rampe de 10%, soit environ 300 m de voiries à reprendre pour surélévation.

La digue ou le muret à construire s'étend sur un linéaire à définir précisément à partir de données topographiques. La longueur est évaluée en première approche à 2 500 m.

3.3.3.2 *Scénario 2 : digue de protection centennale en rive gauche pour protéger les bourgs de Cohade et de Crispiat*

Pour éliminer les risques de débordements au droit des bourgs de Cohade et de Crispiat jusqu'à l'événement centennal, il serait envisagé de réaliser les aménagements suivant :

- Édification d'une digue ou d'un muret ceinturant les bourgs de Cohade et de Crispiat dans le lit majeur rive gauche de l'Allier. La hauteur maximale de la digue est de 3,0 m pour une revanche de 50 cm minimum par rapport à l'événement centennal,
- Vérification qu'aucun collecteur d'assainissement ne permette des débordements par refoulement à partir du lit majeur de l'ALLIER. Si c'était le cas, il serait nécessaire de mettre en place un clapet anti-retour ou un système de fermeture automatique pour éliminer le risque d'inondation par refoulement,

Reprise du profil des routes traversant la digue pour garantir la continuité altimétrique de la protection centennale : rampe de 10%, soit environ 360 m de voiries à reprendre pour surélévation.

La digue ou le muret à construire s'étend sur un linéaire à définir précisément à partir de données topographiques. La longueur est évaluée en première approche à 4 000 m.

3.3.3.3 *Résultats des simulations hydrauliques complémentaires*

Le modèle à casier existant a été réutilisé pour intégrer les deux scénarios de protection par digue.

La simulation des crues de l'Allier d'ordre de retour 10, 30 et 100 ans a permis de mesurer l'impact hydraulique des digues pour les scénarios 1 et 2.

Les impacts hydrauliques des projets de digue sur les hauteurs de submersion sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 8 : Détail de l'impact hydraulique du scénario 1 à Cohade

Scénario 1	Impact crue 10 ans	Impact crue 30 ans	Impact crue 100 ans	Impact crue > 100 ans
Au niveau du bourg de COHADE	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Au niveau du bourg de CRISPIAT	+ 3 cm	+ 25 cm	+ 35 cm	Impact similaire à la crue centennale pendant la pointe de la crue
Impact Allier amont	+ 10 cm maximum à l'amont immédiat de la digue	+ 60 cm maximum à l'amont immédiat de la digue	+ 70 cm maximum à l'amont immédiat de la digue	Impact similaire à la crue centennale pendant la pointe de la crue
Impact Allier aval	+ 1 cm maximum à l'aval de Cohade	+ 2 cm maximum à l'aval de Cohade	+ 2 cm maximum à l'aval de Cohade	Impact similaire à la crue centennale pendant la pointe de la crue

A l'issue de ces 3 simulations intégrant le scénario 1, il apparait que le scénario de protection du bourg de Cohade sans mesures compensatoires entraine une surélévation du niveau de la crue centennale de l'ordre de 35 cm au droit du hameau de Crispiat.

Il sera donc nécessaire de prévoir des mesures compensatoires pour corriger les impacts hydrauliques important générés par la digue au droit du hameau de Crispiat.

Tableau 9 : Détail de l'impact hydraulique du scénario 2 à Cohade et Crispiat

Scénario 2	Impact crue 10 ans	Impact crue 30 ans	Impact crue 100 ans	Impact crue > 100 ans
Au niveau du quartier des graviers en rive droite	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Au niveau du bourg de CRISPIAT	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Mise Hors d'eau des habitations du bourg	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Impact Allier amont	+ 30 cm maximum à l'amont immédiat de la digue	+ 80 cm maximum à l'amont immédiat de la digue	+ 100 cm maximum à l'amont immédiat de la digue	Impact similaire à la crue centennale pendant la pointe de la crue
Impact Allier aval	+ 10 cm maximum à l'aval de Cohade	+ 12 cm maximum à l'aval de Cohade	+ 15 cm maximum à l'aval de Cohade	Impact similaire à la crue centennale pendant la pointe de la crue

La digue entraine un exhaussement de la ligne d'eau de plus de 1 m pour la crue centennale à l'amont de Crispiat dans le lit majeur rive gauche de l'Allier.

L'impact hydraulique se fait ressentir jusqu'au niveau de la zone urbaine de Brioude.

Il sera donc également nécessaire de prévoir des mesures compensatoires pour corriger les impacts hydrauliques important générés par la digue.

La présentation détaillée de la simulation est proposée en Annexe de la Note 2-5 « Proposition d'amélioration de Protection ».

3.4. Réutilisation des données hydrauliques DORE/DUROLLE à THIERS et à PESCHADOIRES (63)

Les résultats des modélisations hydrauliques de la Dore et de la Durolle ont été réutilisés dans le cadre d'ACB de protections rapprochées sur les communes de Thiers et Peschadoires.

3.4.1 Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude correspond à la zone d'activité commerciale et résidentielle au niveau de la confluence Dore-Durolle, sur les communes de Thiers (rive droite de la Dore et rive gauche de la Durolle) et de Peschadoires (rive gauche de la Dore).

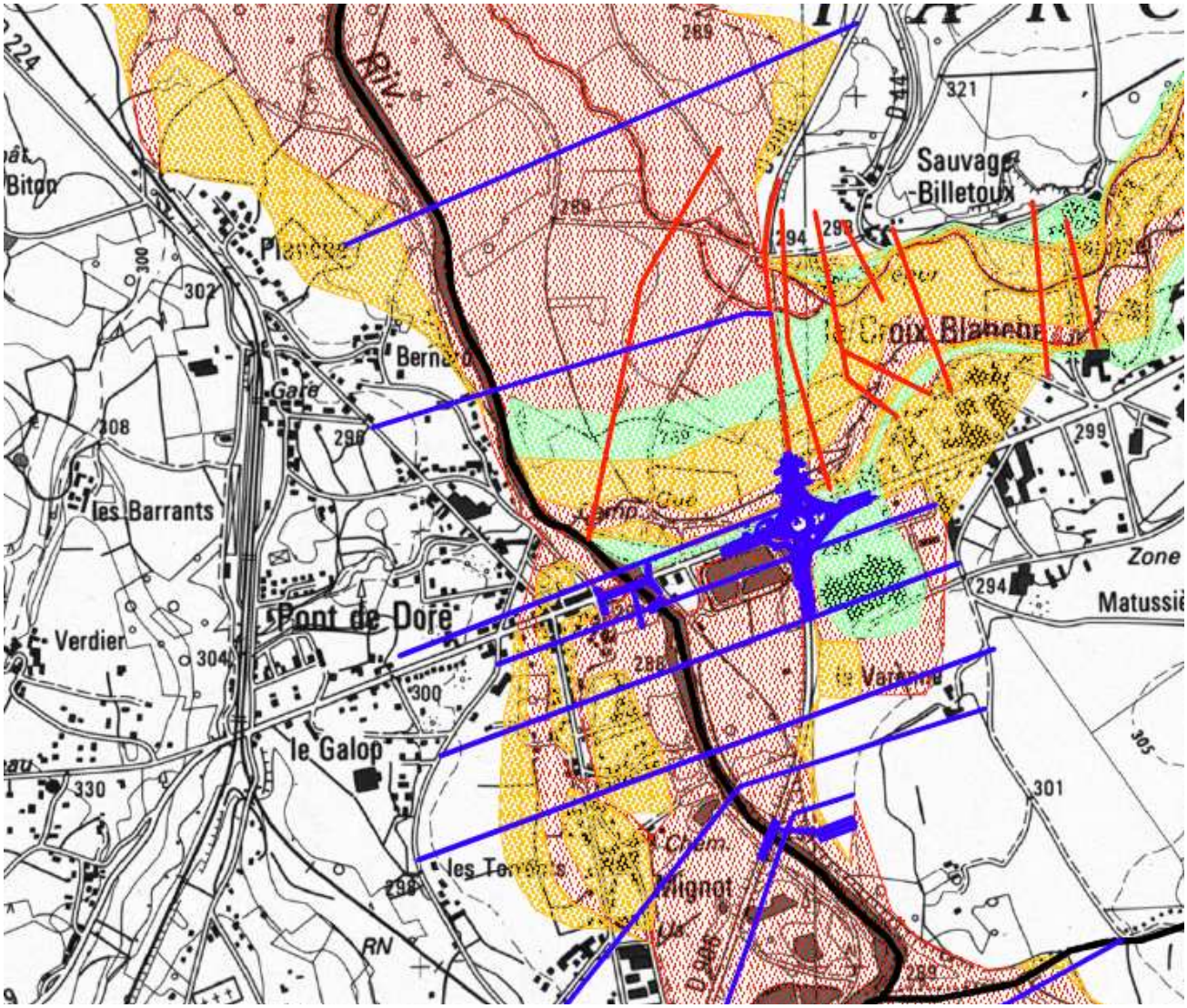


Figure 14 : Localisation du site à protéger, à la confluence Dore-Durolle - Tiers/Peschadoires

3.4.2 Données hydrauliques disponibles et caractéristiques des débordements

La rivière Dore a été l'objet de plusieurs études hydrologiques et hydrauliques au droit de la commune de THIERS.

Les études à notre disposition sont les suivantes :

- SOGREAH : Étude hydraulique du franchissement de la Dore par l'autoroute B71 Saint-Etienne Clermont-Ferrand. Janvier 1973
- CETE Lyon : Aménagement du plan d'eau de pont-Astier commune de Thiers. Note de calcul de la ligne d'eau centennale. Avril 1986
- LRPC de Clermont-Ferrand : Atlas des zones inondables de la Dore de l'aval de Courpière à sa confluence avec l'Allier. Juin 2004
- SAGE Environnement : Modélisation numérique de la Durolle concernant la reconstruction de la station d'épuration. 2004
- SOMIVAL Département « Eau et Environnement » : Dossier de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau concernant l'Agrandissement de l'aire de stationnement des gens du voyage. Octobre 2005
- SILENE P/o SERALP : ZI de la Varenne Commune de Thiers. Étude d'incidence hydraulique, modélisation de la Dore. Novembre 2005

Le tableau suivant récapitule les débits de références pris en comptes par les différentes études réalisées sur la Dore :

Tableau 10 : Bilan des débits de référence sur la Dore

Bureau d'études	Q100 retenu ou crue exceptionnelle	Commentaires
SOGREAH	Q100 A72 = 1000 m3/s	Arrondi de 870 à 1000 due à la faible précision des données.
CETE - LRPC	Q100 pont de Dore = 650 m3/s	Q100 se rapproche de la valeur la plus grande estimée au pont de Dore (600 m3/s en 1790) et s'inspire de l'étude de Sogreah
SAGE Environnement	Q100 Durolle à la confluence avec la Dore = 146 m3/s	La Durolle est l'affluent rive droite de la Dore à l'aval du pont de Dore. La période de retour de la crue de 1988 (estimée à 110m3/s) est évaluée à 30/40 ans. La crue décennale est estimée à 60 m3/s.
SOMIVAL	De 650 m3/s (LRPC) à 870 m3/s (Sogreah)	Reprise des débits évalués par le LRPC et SOGREAH
Silène missionné par Seralp Auvergne	Qréf 1943 = 450 m3/s	
S.E.A.U. cabinet Frémion	Q100 =870 m3/s	Reprise des débits évalués par SOGREAH

La détermination des fortes occurrences (crues type centennale, cinquantennale) est délicate sur les rivières Dore et Durolle du fait du peu de données disponibles sur le réseau hydrographique du bassin versant de la Dore.

La crue centennale retenue dans le cadre du Plan de Prévention des Risques Inondation de THIERS est un débit de 450 m^3/s au droit du pont de Dore avec une revanche de 0.60 m qui est à rajouter aux calculs afin d'obtenir la cote de référence à chaque profil.

Cette revanche permet de tenir compte des incertitudes liées à la définition du débit centennal. Le choix du débit centennal de 450 m^3/s correspond à la crue de 1943 mais se situe en dessous de certaines estimations hydrologiques.

Afin de balayer les différentes incertitudes, les débits 450, 600, 800 et 850 m^3/s seront injectés après calage du modèle sur la crue d'Avril 2005 dont le débit est de 290 m^3/s.

Le tableau suivant, récapitule les résultats de la modélisation obtenus pour les différentes gammes de débits annoncées pour chaque profil en travers de la rivière.

Tableau 11 : Bilan des résultats de modélisation Dore/Durolle

commentaires	phe relevés crue 2005	profil	HEC 290	HEC 450	HEC 600	HEC 800	HEC 850	450 + 0.6
amont		**14**	294.39	295.02	295.50	296.13	296.34	**295.62**
		13	293.49	294.23	294.82	295.63	295.91	**294.83**
OH RD906		**12.8**						
		12	293.09	293.70	294.19	294.82	294.96	**294.30**
		11	292.90	293.52	294.02	294.66	294.82	**294.12**
tn centre commercial à ~ 293.28	292.64	**10**	292.55	293.25	293.82	294.51	294.68	**293.85**
tn centre commercial à ~ 293.6	292.4	**9**	292.43	293.15	293.73	294.44	294.61	**293.75**
OH RN89		**8.5**						
		8.2	291.72	292.33	292.74	293.20	293.30	**292.93**
confluence Durolle / Dore		**8**	291.66	292.24	292.63	293.06	293.15	**292.84**
		7	291.36	291.93	292.30	292.72	292.80	**292.53**
		6	290.89	291.44	291.79	292.18	292.26	**292.04**
		5	289.82	290.26	290.53	290.85	290.92	**290.86**
		4	289.46	289.88	290.12	290.35	290.42	**290.48**
seuil anti érosion		**3.9**						
		3.8	289.46	289.88	290.12	290.34	290.42	**290.48**
		3	286.95	287.74	288.64	289.43	289.61	**288.34**
		2.8	287.16	288.04	288.72	289.43	289.61	**288.64**
OH A72		**2.7**						
		2.6	286.90	287.67	288.25	288.85	289.00	**288.27**
		2.5	286.64	287.46	288.06	288.68	288.84	**288.06**
OH SNCF		**2.4**						
		2.3	286.39	287.12	287.68	288.21	288.35	**287.72**
		2	285.83	286.63	287.25	287.79	287.95	**287.23**
aval		**1**	285.26	286.20	286.87	287.42	287.53	**286.80**

3.4.3 Utilisation des résultats des modèles hydrauliques

Les modèles hydrauliques de la DORE et de la DUROLLE ont été utilisés pour estimer l'impact hydrauliques des 3 scénarios de protection suivants :

- Scénario 1 : 1 digue de protection centennale en rive gauche pour protéger côté Peschadoires,
- Scénario 2 : 1 digue de protection centennale en rive droite pour protéger côté Thiers,
- Scénario 3 : 2 digues de protection centennale en rive gauche et droite.

Ces scénarios de digue sont donnés à titre indicatif, l'objectif de cette analyse étant de fournir des éléments indicatifs et exemplaires pour le volet protection de l'étude 3P ALLIER à l'échelle de l'ensemble du bassin versant.

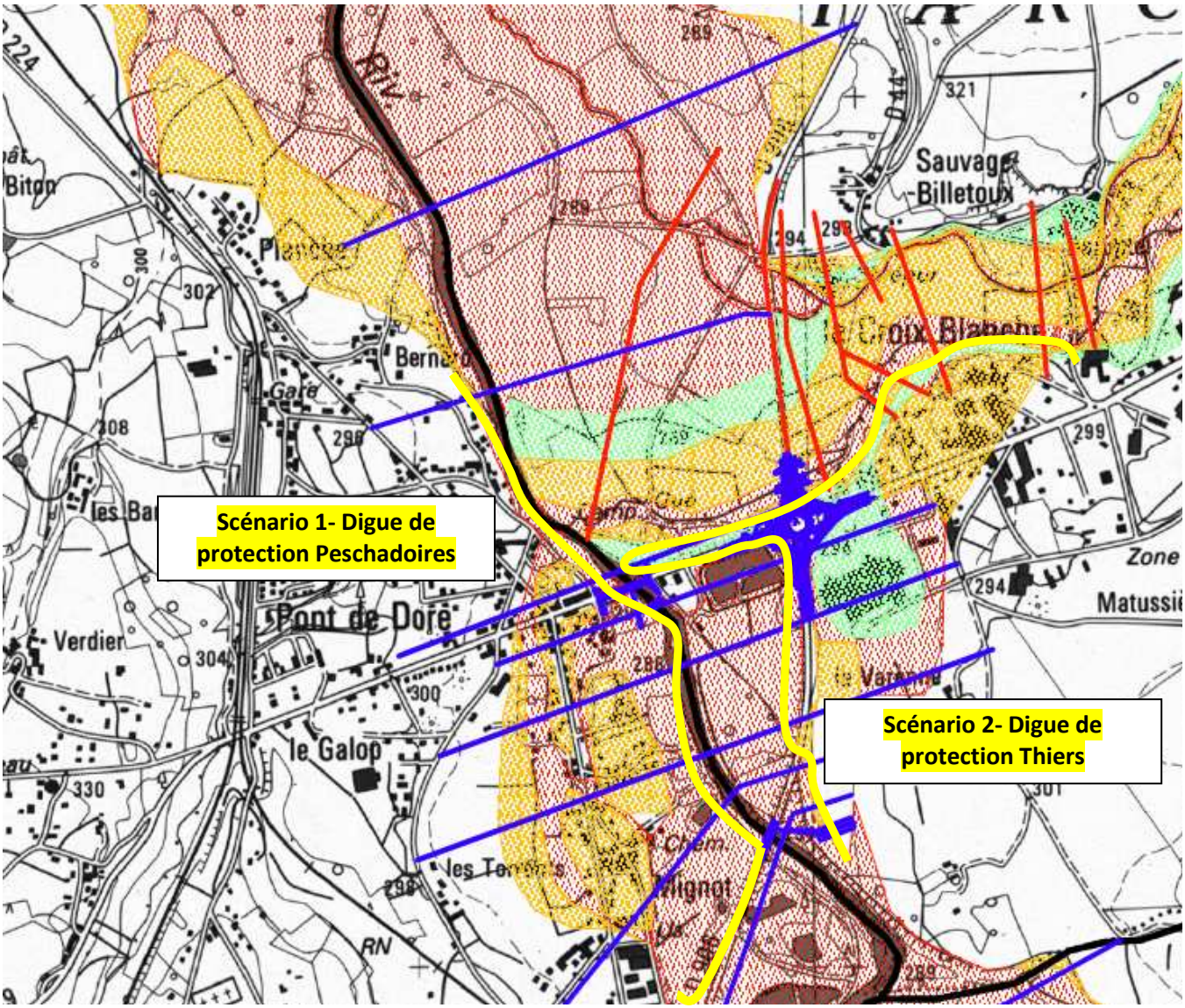


Figure 15 : Localisation des scénarios de protection à Thiers et Peschadoires

Le modèle hydraulique des cours d'eau n'a pas pu directement être utilisé car il n'était pas disponible. Mais les résultats des calculs précis pour les différents types de crue ont permis une estimation de l'impact hydraulique des projets de protection par digues.

3.4.3.1 *Scénario 1 : digue de protection centennale en rive gauche pour protéger les zones à enjeux côté Peschadoires*

Pour éliminer les risques de débordements jusqu'à l'événement centennal, il serait envisagé de réaliser les aménagements suivant :

- Édification d'une digue ou d'un muret dans le lit majeur rive gauche de la DORE. La hauteur maximale de la digue est de 2.5 m pour une revanche de 1 m minimum par rapport à l'événement centennal,
- Vérification qu'aucun collecteur d'assainissement ne permette des débordements par refoulement à partir du lit majeur de la DORE. Si c'était le cas, il serait nécessaire de mettre en place un clapet anti-retour ou un système de fermeture automatique pour éliminer le risque d'inondation par refoulement,
- Reprise du profil des routes traversant la digue pour garantir la continuité altimétrique de la protection centennale : rampe de 10%, soit environ 50 m de voiries à reprendre pour surélévation.

La digue ou le muret à construire s'étend sur un linéaire à définir précisément à partir de données topographiques. La longueur est évaluée en première approche à 2 000 m.

3.4.3.2 *Scénario 2: digue de protection centennale en rive droite pour protéger les zones à enjeux côté Thiers*

Pour éliminer les risques de débordements jusqu'à l'événement centennal, il serait envisagé de réaliser les aménagements suivant :

- Édification d'une digue ou d'un muret dans le lit majeur rive droite de la DORE. La hauteur maximale de la digue est de 2.5 m pour une revanche de 1 m minimum par rapport à l'événement centennal de la DORE,
- Vérification qu'aucun collecteur d'assainissement ne permette des débordements par refoulement à partir du lit majeur de la DORE. Si c'était le cas, il serait nécessaire de mettre en place un clapet anti-retour ou un système de fermeture automatique pour éliminer le risque d'inondation par refoulement,
- Édification d'une digue ou d'un muret dans le lit majeur rive gauche de la DUROLLE pour éviter l'accumulation des débordements de cet affluent derrière la digue de la DORE. La hauteur maximale de la digue est de 2.5 m pour une revanche de 1 m minimum par rapport à l'événement centennal de la DUROLLE,
- Reprise du profil des routes traversant la digue pour garantir la continuité altimétrique de la protection centennale : rampe de 10%, soit environ 40 m de voiries à reprendre pour surélévation.

La digue ou le muret à construire s'étend sur un linéaire à définir précisément à partir de données topographiques. La longueur de la digue DORE + DUROLLE est évaluée en première approche à 2 600 m.

3.4.3.3 *Estimation de l'impact hydraulique pour les scénarios 1 et 2*

Les imprécisions sur les données d'entrée du modèle hydraulique et en particulier des débits de référence ne permettent qu'une estimation sommaire de l'impact hydraulique des digues.

Les impacts des projets de digue sur les hauteurs de submersion sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 12 : Détail de l'impact hydraulique du scénario 1 à Peschadoires

Scénario 1	Impact crue 10 ans	Impact crue 30 ans	Impact crue 100 ans	Impact crue > 100 ans
Côté Peschadoires	Mise Hors d'eau des habitations	Mise Hors d'eau des habitations	Mise Hors d'eau des habitations	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés
Côté Thiers	+ 0 cm	+ 2 cm	+ 6 cm	Impact similaire à la crue centennale

Tableau 13 : Détail de l'impact hydraulique du scénario 1 à Thiers

Scénario 2	Impact crue 10 ans	Impact crue 30 ans	Impact crue 100 ans	Impact crue > 100 ans
Côté Peschadoires	+ 0 cm	+ 2 cm	+ 5 cm	Impact similaire à la crue centennale
Côté Thiers	Mise Hors d'eau des habitations	Mise Hors d'eau des habitations	Mise Hors d'eau des habitations	Submersion des digues avec difficulté d'évacuation des débits débordés

Dans tous les cas, d'importantes mesures correctives seront nécessaires pour compenser l'impact hydraulique statique des scenarios d'aménagement.

La présentation détaillée de la simulation est proposée en Annexe de la Note 2-5 « Proposition d'amélioration de Protection ».

3.5. Réutilisation du modèle hydrologique du cours d'eau du MIRABEL (63)

L'ACB réalisée sur l'agglomération de Riom, dans le cadre de l'étude 3P ALLIER a nécessité la reprise du modèle hydrologique global du bassin versant du cours d'eau du MIRABEL.

On note que le bassin versant du ruisseau du MIRABEL correspond à la taille (environ 20 km²) et à la situation géographique de l'ensemble des cours d'eau traversant les agglomérations de Riom et Clermont-Ferrand.

3.5.1 Localisation de la zone d'étude

Le ruisseau du Mirabel inonde la Zone d'activité industrielle et commerciale de Ménétrol dans l'agglomération de Riom Sud.

Les principaux enjeux sont :

- Le site industriel du laboratoire pharmaceutique MSD employant 600 salariés (Point 1 sur le plan ci-après),
- La zone commerciale de Riom Sud avec hypermarché et fast food, (Point 2 sur le plan ci-après),
- Les habitations riveraines dans le village de Ménétrol (Point 3 sur le plan ci-après).

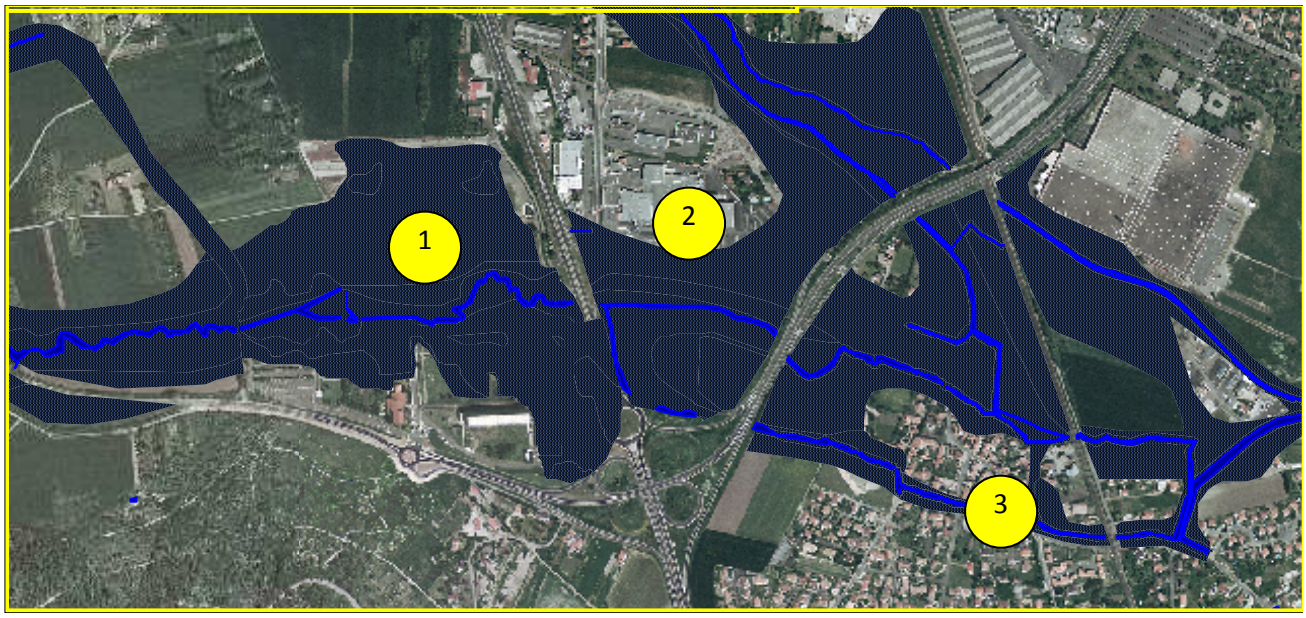


Figure 16 : Localisation des sites à protéger à Ménétrol

Il est composé des deux bassins du Mirabel et du Pâle. Les ruisseaux de Rivaux et de Sigadoux, prenant respectivement leurs sources dans les communes de Volvic et de Malauzat, forment le Mirabel après leur confluence. La partie sommitale du bassin est constituée par le bassin hydrogéologique de Volvic composé de laves et de scories.

3.5.2 Données hydrauliques disponibles et caractéristiques des débordements

Le ruisseau du Mirabel est représentatif des aléas et des risques inondation des territoires très fortement urbanisés que sont les agglomérations de Riom et Clermont-Ferrand.

Le bassin versant du Mirabel est présenté sur le plan ci-après. Il s'agit du bassin versant topographique. Le bassin versant hydrogéologique est 2 à 3 fois supérieur en termes de superficie.

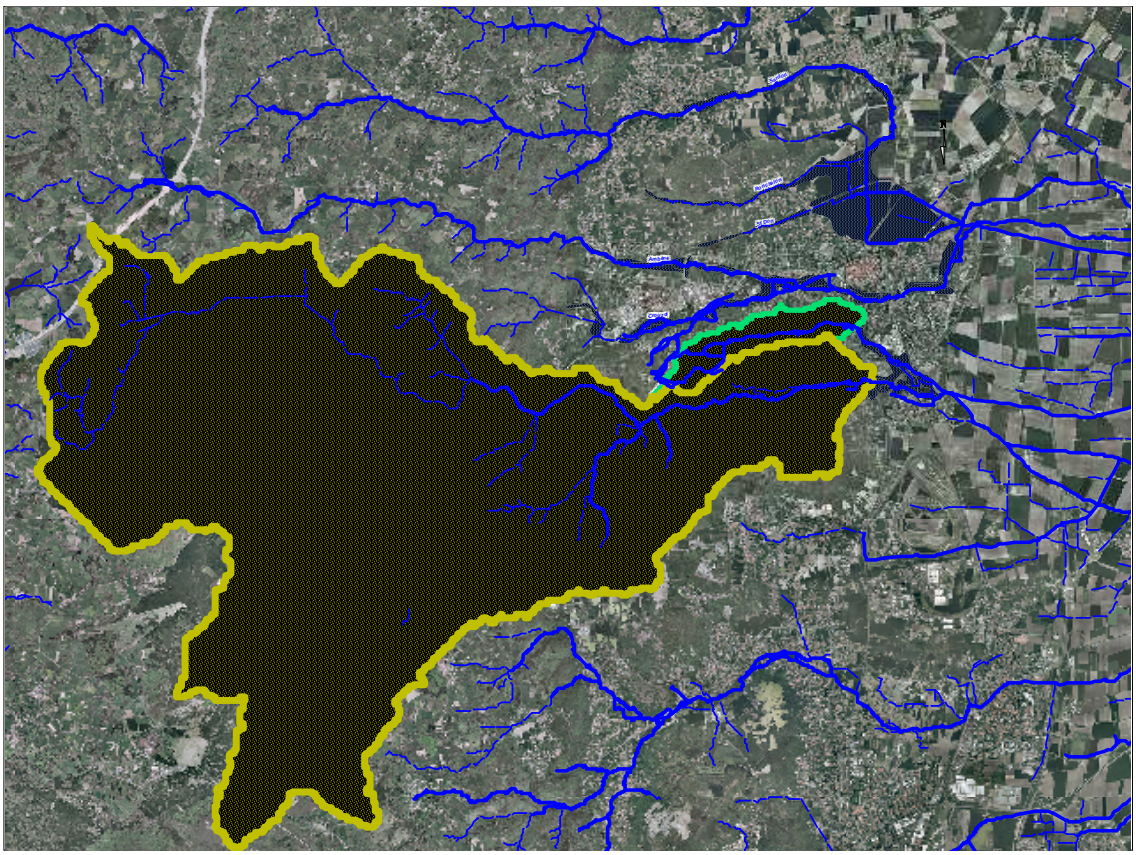


Figure 17 : Bassin versant du Mirabel

Les principaux résultats de l'analyse hydrologiques sont les suivants :

Tableau 14 : Principaux résultats de l'analyse hydrologique sur le bassin versant du Mirabel

Point de calcul caractéristique	Surface BV topographique (km2)	Débit de pointe décennale en 3/s	Débit de pointe en centennale 3/s
Mirabel –bassin versant globale	69	60	102
Débit entrée modèle hydraulique : Mirabel en amont de la zone à enjeux-	62	50	95

L'hydrogramme suivant présente le débit du bassin versant global.

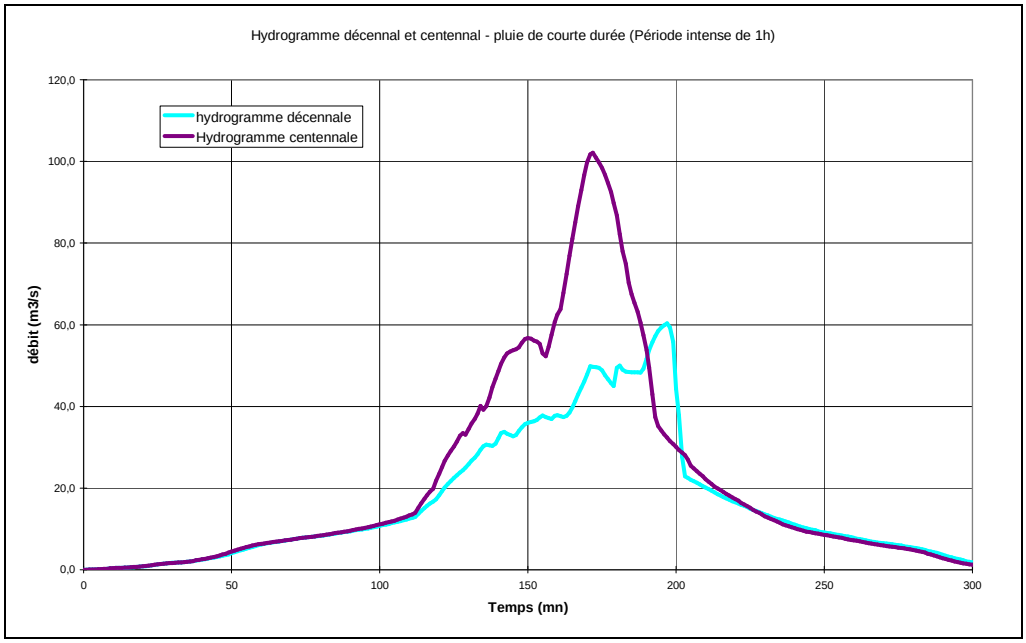


Figure 18 : Hydrogramme décennal et centennal du bassin versant du Mirabel

Cet hydrogramme montre que les crues du ruisseau du Mirabel sont extrêmement rapides puisque la réaction du bassin versant après la pluie et la durée de la période intense de la crue est de l'ordre de 1 h.

Le modèle hydraulique mis en ouvre est un modèle filaire en régime transitoire type HEC.

Au droit de chaque profil en travers le modèle estime :

- La largeur au miroir,
- Les cotes de submersion au droit des profils,
- Les durées de submersion,
- La répartition des débits : lit majeur gauche / lit mineur / lit majeur droit,
- Les vitesses moyennes de l'écoulement au centre des casiers: lit majeur gauche / lit mineur / lit majeur droit.
- La perte de charge au droit des ouvrages de franchissement est également précisée et en particulier au niveau de l'ancienne RN9.

Un schéma de principe est réalisé afin de comprendre le mécanisme des inondations du MIRABEL. La carte suivante permet de localiser :

- Les zones de débordement préférentiel,
- Les zones de stockage,
- L'impact des remblais et des endiguements.

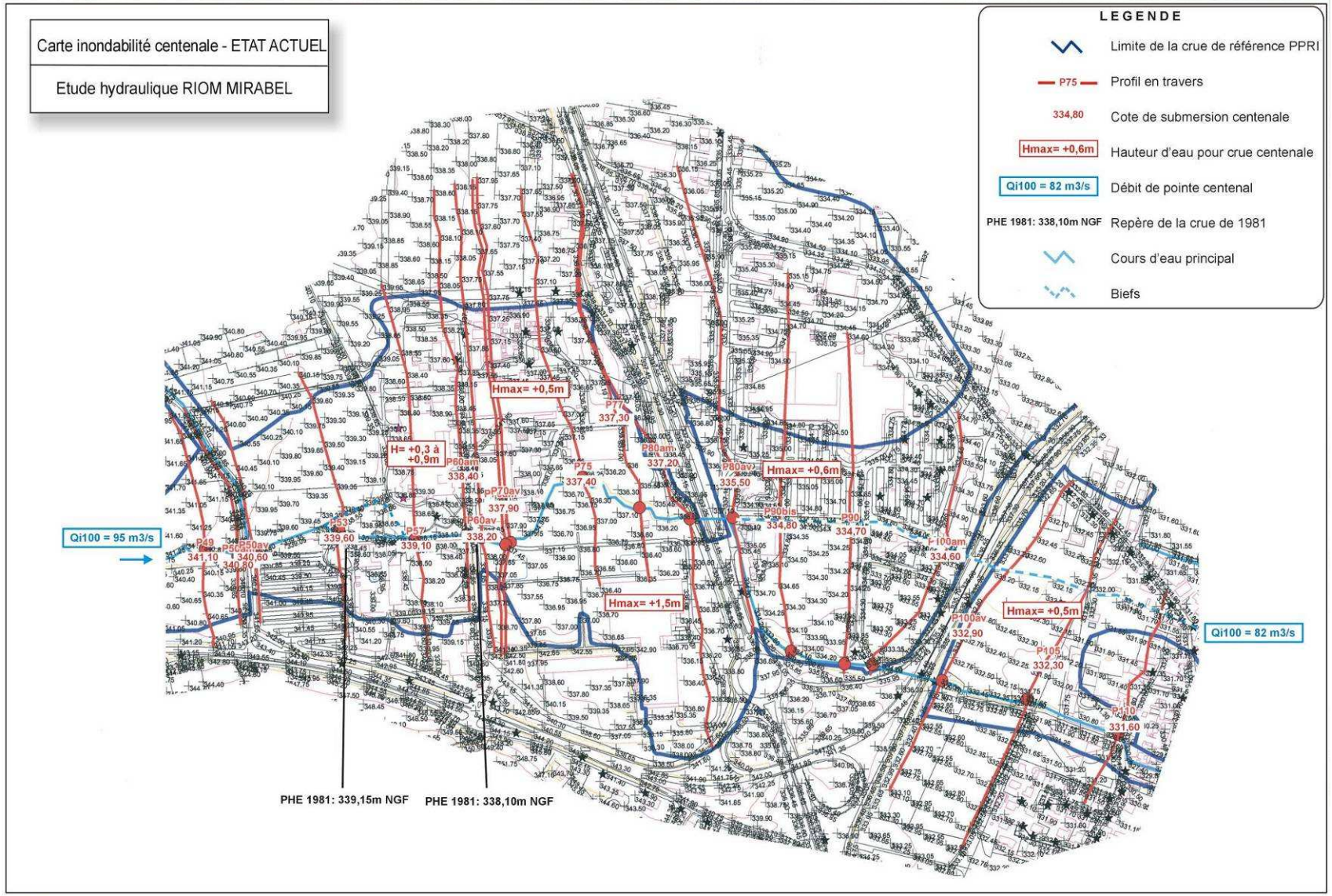


Figure 19 : Carte de la zone inondable centennale du Mirabel à Riom - Etude de 2008

Cette carte est issue des résultats du modèle hydraulique EGIS EAU de 2008.

Ce modèle a permis la définition de :

- 3 enveloppes d'aléa disponibles (Fort/Moyen/faible),
- Isohauteurs + Isovitesses pas disponibles.

Sur la zone d'étude, on note des débordements de plus de 0.5m pour l'événement centennal mais des vitesses élevées dans le lit majeur.

3.5.3 Modélisation hydrologique des scénarios de protection

Compte tenu de la présence des risques d'inondation tout le long des berges du ruisseau du Mirabel à l'aval (au droit du bourg de Ménétrol et à l'aval), les actions de protections rapprochées ne peuvent être que limitées à quelques aménagements permettant de faciliter ponctuellement les écoulements et visant à limiter le risque d'embâcles.

Une protection rapprochée structurante de type digue de protection centennale est inconcevable car le risque d'inondation aval serait accentué pour toutes les constructions riveraines jusqu'à la confluence avec l'ALLIER.

Les protections de type création de digue nouvelle ont donc été écartées des réflexions engagées par Riom Communauté pour protéger les secteurs à enjeux.

On propose de reprendre les scénarios déjà envisagés dans l'étude : « Etude hydraulique du bassin versant de MIRABEL » réalisé en 2008 par RIOM COMMUNAUTE :

- Scénario 1 : 1 bassin de régulation en amont pour réduire les débits de débordements (étude Egis Eau 2009),
- Scénario 2 : 2 bassins de régulation en amont pour réduire les débits de débordements (étude Egis Eau 2009),
- Scénario 3 complémentaire : Aménagements pour réduction locale de la vulnérabilité au droit des principales zones à enjeux.

3.5.3.1 *Scénarios 1 et 2 : 1 Bassin de régulation en amont*

L'objectif de cet aménagement est d'écrêter la pointe de la crue du Mirabel en amont de la zone à enjeux, en amont du site industriel de MSD. Ces ouvrages permettent de réduire l'intensité et la fréquence des débordements.

Le principe est de stocker les eaux du Mirabel à partir d'un certain débit appelé débit de fuite du bassin de rétention. L'eau est collectée par un ouvrage d'arrivée, stockée dans le bassin, puis évacuée à débit régulé par un ouvrage vers un exutoire de surface.

Pour être performant ces bassins doivent respecter les conditions suivantes :

- Volumes de stockage suffisant pour permettre un écrêtement efficace de la pointe de la crue : le volume de stockage doit être supérieur à 80 000 m^3 pour avoir un impact sensible,
- Interception d'une grande partie du bassin versant du Mirabel : ces ouvrages seront localisés entre le site de MSD et le lotissement de La Pradelle sur la commune de MARSAT.

Compte tenu de la morphologie de la vallée du Mirabel et de la vulnérabilité des sites, on propose deux scénarios envisageables :

- Scénario 1 : Aménagement d'un bassin de rétention voisin à l'amont immédiat et au droit du site de MSD (BR 1) : Voir plan actions du scénario 1 ci-après.

- Scénario 2 : Aménagement d'un bassin de rétention (BR 3) au niveau du complexe discothèque et tennis et conservation du bassin versant BR1 en amont du site de MSD : Voir plan actions du scénario 2 paragraphe ci-après.

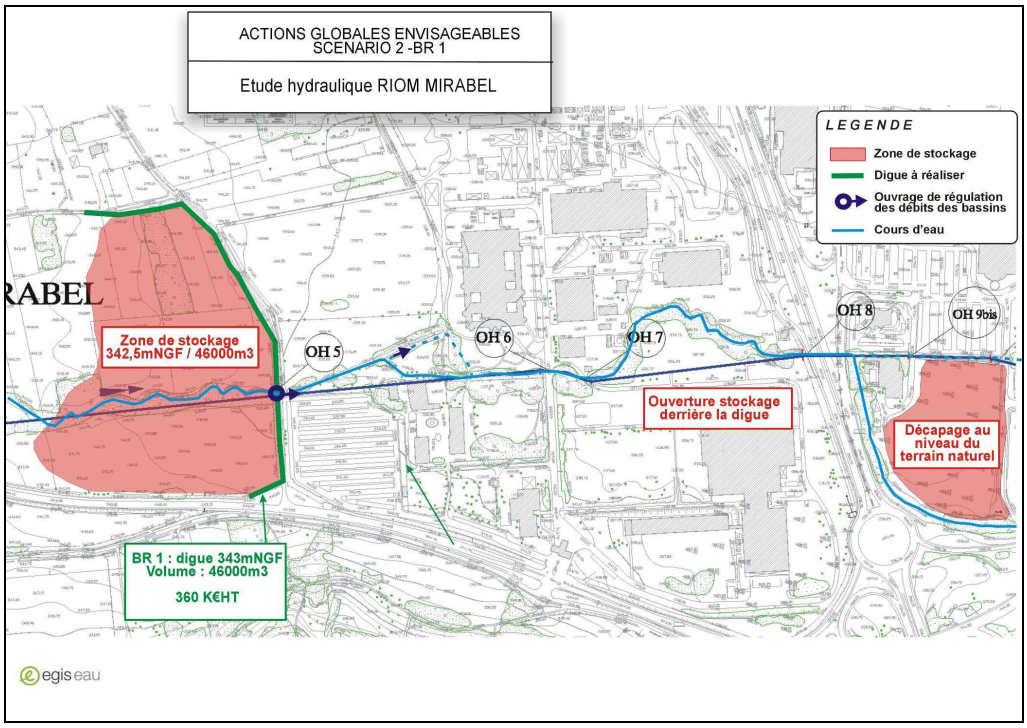


Figure 20 : Description du scénario 1 - Etude de 2008 sur Riom

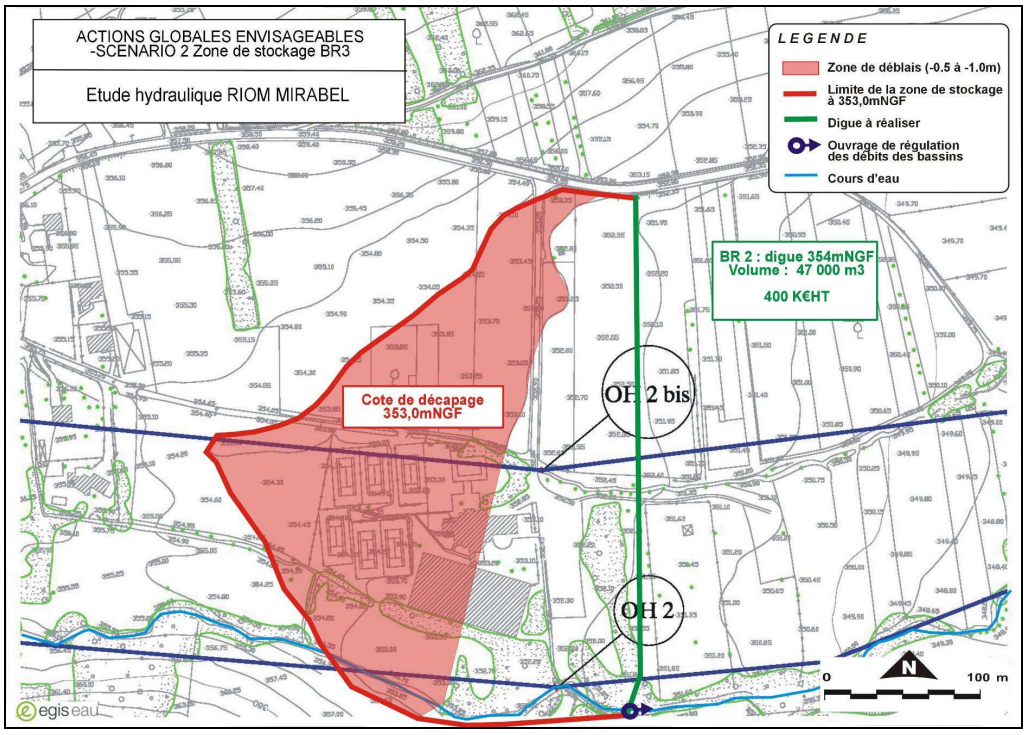


Figure 21 : Description du scénario 2 - Etude de 2008 sur Riom

Les 2 ouvrages BR2 et BR3 envisagés fonctionnent sur le même principe :

- Mise en place d'une digue dans le lit majeur faisant obstacles aux écoulements débordés,
- Faciliter les débordements en arasant éventuellement les berges du lit du Mirabel,
- Réguler le débit transitant dans le cours d'eau du Mirabel en calant un pertuis adapté au niveau du lit mineur,
- Aménager une surverse en cas d'événements exceptionnels.

Le tableau suivant permet de préciser les caractéristiques de rétention de chacun des 2 ouvrages.

Tableau 15 : Caractéristiques des 2 bassins de rétention

Bassin de rétention	Cote mNGF /Hauteur maximale de la digue	Volume de stockage envisagé	Observations
Coût création de BR2	340.50 mNGF / Hmax = 1.5 m	30 000 m3	Prévoir un déblaiement de 20 000 m3 environ répartis sur 30 000 m2
Coût création de BR3	354 mNGF / Hmax = 2.5 m	47 000 m3	Prévoir un déblaiement de 15 000 m3 environ répartis sur 40 000 m2
Total actions de rétention scénario 1		30 000 m3	/
Total actions de rétention scénario 2		77 000 m3	/

3.5.3.2 *Simulation hydraulique complémentaire à réaliser pour les scénarios 1 et 2*

Le programme global d'aménagement des actions de rétention permet une réduction variable des débits de pointe en fonction :

- Des types d'événements pluvieux : courants, exceptionnels,
- Du choix de débit de régulation des différents ouvrages de stockage BR2 et BR 3,
- Du scénario d'aménagement choisi.

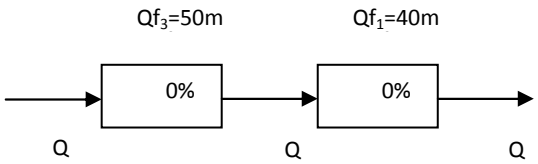
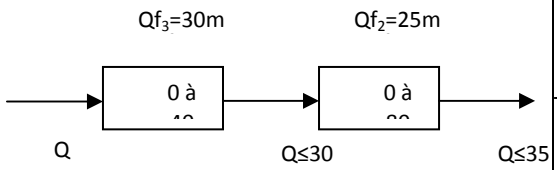
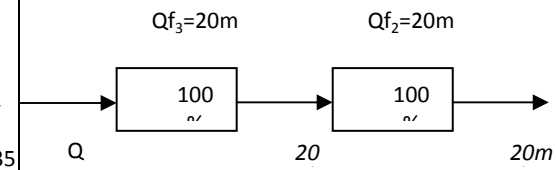
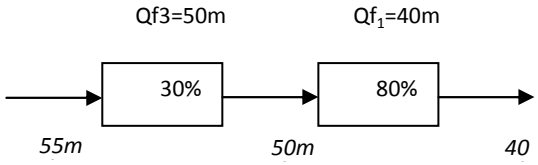
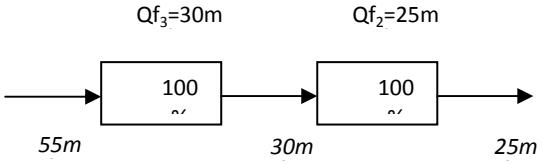
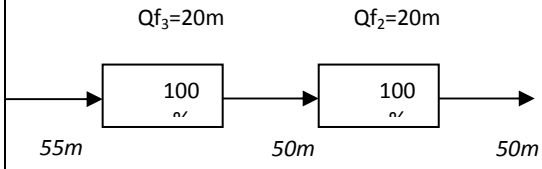
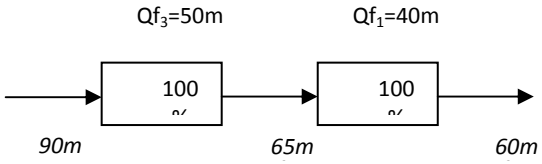
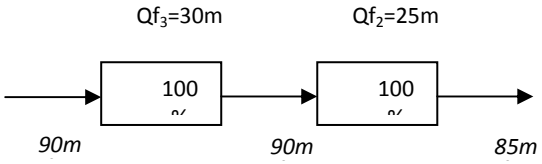
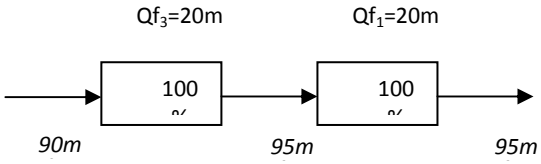
Pour optimiser le fonctionnement de ces ouvrages, on modélise 3 sous scénarios pour chacun des 2 projets d'aménagements retenus :

- Sous Scénario 1 avec débits de régulation optimum pour écrêter les événements courants,
- Sous Scénario 2 avec débits de régulation optimum pour écrêter les événements moyens,
- Sous Scénario 3 avec débits de régulation optimum pour écrêter les événements exceptionnels.

La présentation détaillée de la simulation est proposée en Annexe de la Note 2-5 « Proposition d'amélioration de Protection ».

Tableau 16 : Présentation des variantes de scénarios à Riom

SCENARIO 1 : BASSINS DE REGULATION BR 2 seul			
Débits en amont de la zone à enjeux	**SCENARIO 1-1** **Objectif : réduction des crues centennales Qf_1=60m³/s**	**SCENARIO 1-2** **Objectif : réduction des crues décennales Qf_1=35m³/s**	**SCENARIO 1-3** **Objectif : réduction des crues débordantes Qf_1=25m³/s**
CRUE COURANTE DEBORDANTE (20 à 40 m³/s)	Qf_1=60m 0% Q → Q Aucun abattement pour ce type de crue	Qf_1=35 0% Q → Q≤35 **Abattement pouvant atteindre 10% mais débordement toujours effectif**	Qf_1=25m 100 Q → *25m* **Les crues de pointe <40m3/s sont régulées à 25m3/s**
CRUE DECENNALE (55 m³/s)	Qf_1=60m 0% 55 m3/s → 55 m3/s Aucun abattement pour ce type de crue	Qf_1=35 0% 55 m 3/s → 35 m3/s **Abattement du débit de pointe de 40%**	Qf_1=25m 100 55 m 3/s → 52 m3/s³/s **Abattement du débit de pointe de 3%**
CRUE CENTENNALE (95 m³/s)	Qf_1=60m 0% 95 m3/s → 70 m3/s **Abattement du débit de pointe de 30%**	Qf_1=35 0% 95 m3/s → 95 m3/s Aucun abattement	Qf_1=25m 100 95 m3/s → 95 m3/s Aucun abattement

SCENARIO 2 : BASSINS DE REGULATION BR 3 et BR 2 en série			
Débits en amont de la zone à enjeux	**SCENARIO 2-1** **Objectif : réduction des crues centennales** **Qf_3=50m³/s** **Qf_1=40m³/s**	**SCENARIO 2-2** **Objectif : réduction des crues décennales** **Qf_3=30m³/s** **Qf_1=25m³/s**	**SCENARIO 2-3** **Objectif : réduction des crues débordantes** **Qf_3=20m³/s** **Qf_1=20m³/s**
CRUE COURANTE DEBORDANTE (20 à 40 m³/s)	 Aucun abattement pour ce type de crune	 **Abattement pouvant atteindre 25% mais débordement toujours effectif**	 **Les crues de pointe <40m3/s sont régulées à 20m3/s**
CRUE DECENNALE (55 m³/s)	 **Abattement du débit de pointe de 30%**	 **Abattement du débit de pointe de 55%**	 **Abattement du débit de pointe de 10 %**
CRUE CENTENNALE (90 m³/s)	 **Abattement du débit de pointe de 37%**	 **Abattement du débit de pointe de 5%**	 Aucun abattement

3.6. Analyse hydrologique concernant l'agglomération de Clermont Ferrand (63)

Dans le cadre de l'étude 3P, une analyse permettant d'estimer l'influence hydraulique d'une protection éloignée en amont de l'agglomération de Clermont Ferrand a été réalisée.

L'analyse a été menée sur un bassin versant représentatif, et a consisté à estimer les volumes de stockage à mettre en place pour écrêter la crue de référence du PPRI, soit la crue centennale. Un scénario de bassin de régulation a été envisagé sur le bassin versant le plus sensible qui est celui de la Tiretaine Nord

On note qu'une véritable Analyse Coût Bénéfice n'est pas envisageable sur l'agglomération clermontoise car la moitié des enjeux inondation du bassin versant de l'Allier y sont concentrés, et que le zonage réglementaire est basé sur une analyse hydrogéomorphologique insuffisante à la mesure de l'impact d'un projet structurant contre les crues de la Tiretaine.

3.6.1 Rappel du contexte de la Tiretaine Nord

Une analyse hydrogéomorphologique servant de base au PPRI actuel ainsi qu'une analyse hydrologique et hydraulique globale ont été menées sur la TIRETAINE depuis ROYAT jusqu'à la confluence avec le BEDAT.

Les deux études montrent que la Tiretaine inonde une partie de l'agglomération Clermontoise et les débordements concernent plusieurs milliers d'habitants.

Les hypothèses et les résultats de l'analyse hydrologique au droit de la zone d'étude sont les suivantes :

- Surface du bassin versant de la TIRETAINE NORD : 12 km^2
- Débit centennal (Estimé par BCEOM dans le cadre de l'étude hydraulique globale de Clermont Communauté) : Qi100 = 88 m^3/s
- Débit de crue historique (Estimé par le LRPC dans le cadre de l'étude de cartographie des zones inondables de la DDE63) : Qi1835 = 100 m^3/s

L'hydrogramme de crue centennale de la TIRETAINE NORD issu de la modélisation hydrologique du bassin versant de la TIRETAINE NORD est présenté sur le graphe ci-après.

Cet hydrogramme témoigne de l'extrême rapidité de la crue centennale qui ne dure que quelques heures. Ces crues exceptionnelles sont provoquées par des événements pluvieux courts et intenses.

On note qu'il n'y a pas de mesure de débit sur la Tiretaine Nord. Par contre le bassin versant voisin du Bedat est récemment équipé d'une station limnimétrique. Le débit maximum observé est de 28 m^3/s sur le bassin versant du Bedat à Gerzat, le 11/09/2008. La durée d'observation est trop faible pour évaluer les débits de crues exceptionnelles utilisées comme crues de référence, mais cette valeur récente montre que les crues des cours d'eau comme le Bedat et la Tiretaine sont violentes.

.

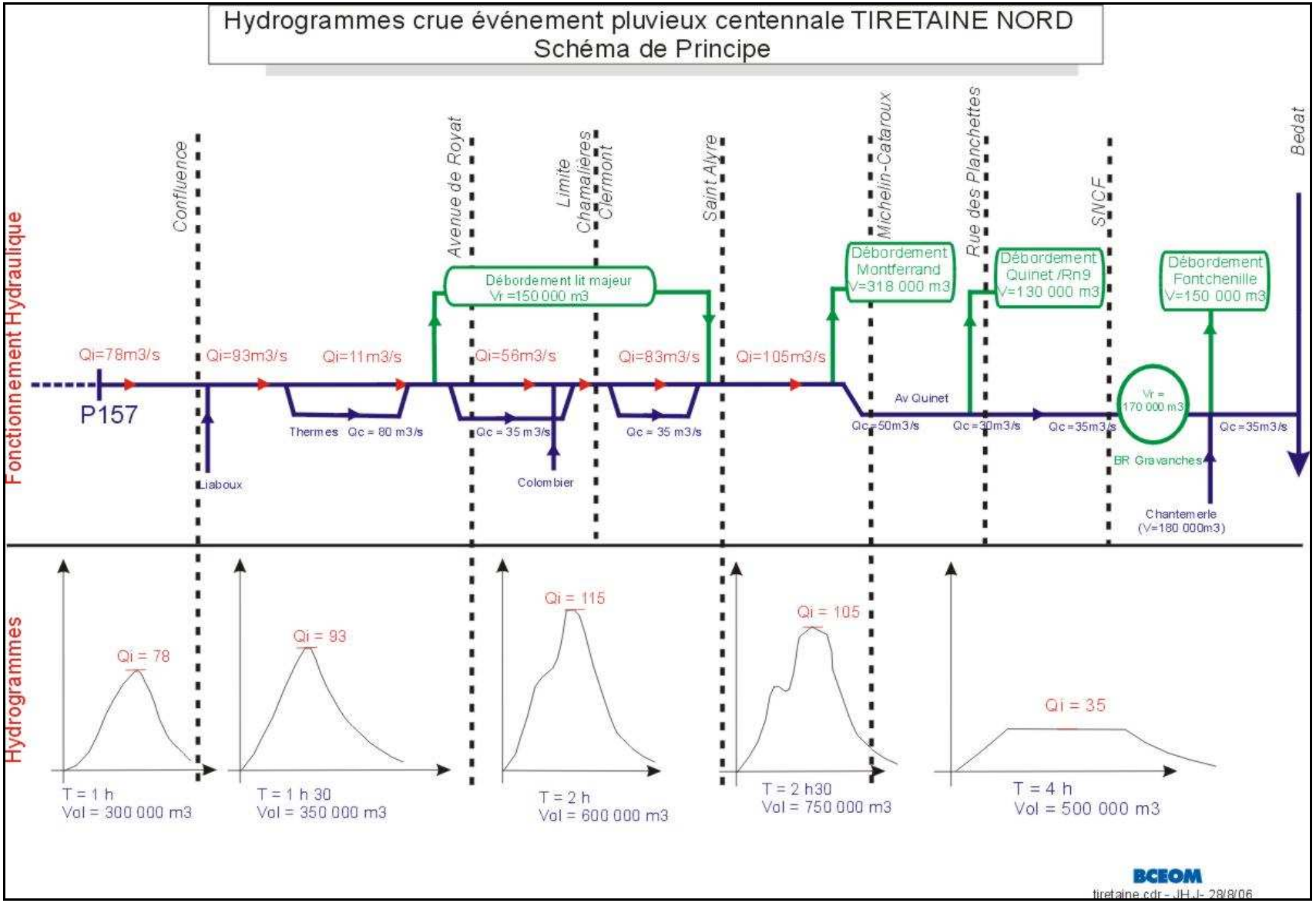


Figure 22 : Hydrogrammes de crue centennale - Tiretaine Nord

L'hydrogramme ci-avant montre que l'impact hydraulique d'un projet structurant dans la zone non urbaine du bassin versant de la Tiretaine Nord (Gorges de la Tiretaine) ne concerne que les traversées des communes de Royat et l'amont de la commune de Chamalière (amont de l'avenue de Royat).

A l'aval de l'avenue de Royat, le bassin versant de la Tiretaine est alimenté en majorité par des surfaces déjà urbanisées dont les débits de pointe ne peuvent être contrôlés par des bassins de rétention structurants.

3.6.2 Analyse hydrologique

3.6.2.1 *Aléa Fort vers Aléa Faible au niveau de la commune de ROYAT et à l'amont de la commune de Chamalières*

Pour réduire l'Aléa inondation à un aléa faible au niveau des communes de Royat et de Chamalières : Vitesse< 0.5m/s et hauteur de la lame d'eau <0.5m, il faudrait :

- Réduire le débit de la crue centennale de la Tiretaine à environ 40 m^3/s,
- Aménager des zones de ralentissement dynamique pour éviter de dépasser la vitesse de débordement de 0.5m/s dans les zones de drains préférentiels,
- Aménager des pièges à embâcles pour éviter les risques d'obstruction du lit mineur.

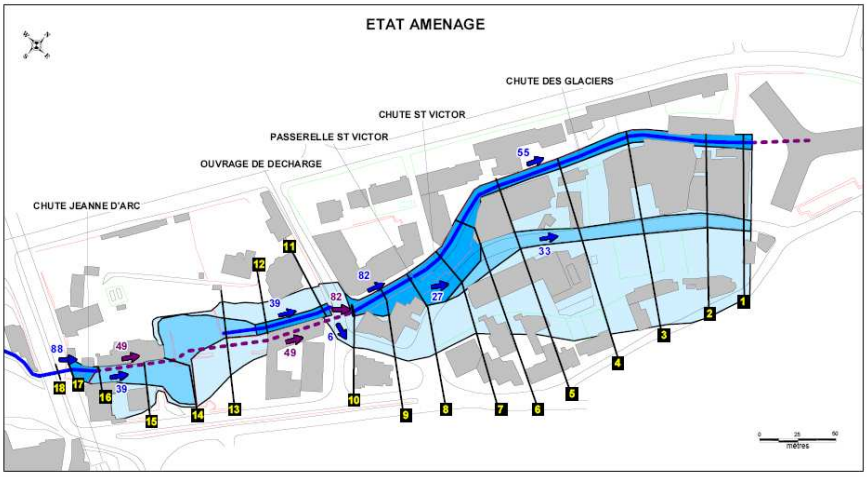


Figure 23 : Carte des débordements actuels de la Tiretaine à Chamalières

Figure 24 : Photo de la Tiretaine à Chamalières

3.6.2.2 *Comment réduire le débit de pointe de la crue centennale de la Tiretaine à 40 m³/s?*

L'objectif fixé est que le débit de pointe de la crue centennale de la Tiretaine Nord au niveau de la ZAC de la Papeterie à Chamalières ne doit pas dépasser 40 m^3/s.

En effet, c'est au niveau de la ZAC de la Papeterie que la Tiretaine est canalisée sous la zone urbaine de CHAMALIERES et de CLERMONT-FERRAND et la capacité hydraulique minimum de l'actuelle canalisation est estimée à environ 40 m^3 /s.

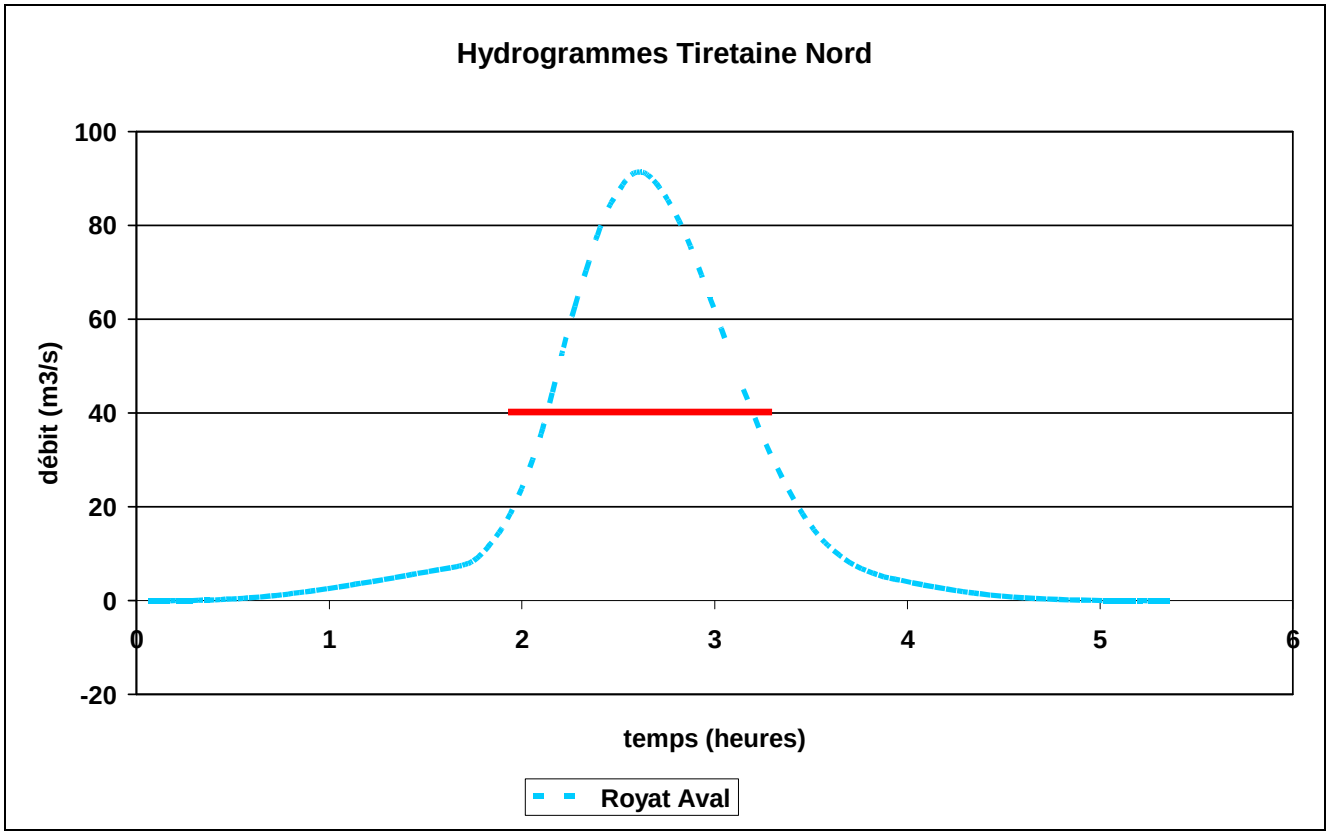


Figure 25 : Hydrogramme de la Tiretaine Nord

La seule solution est donc de réaliser des ouvrages de stockage structurants en amont immédiat de la zone urbaine, en amont du bourg de Royat.

La capacité de stockage devra au minimum correspondre au volume de l'hydrogramme centennal au dessus de 40 $m^{3/}$s. Soit un volume théorique de 110 000 m^3 minimum à stocker en amont immédiat du site.

Les débits de fuite des ouvrages de régulation de cette ampleur (40m^3/s) sont progressifs (ajutage avec montée en charge amont) et la régulation devra commencer bien avant 40 m^3/s pour permettre d'atteindre l'objectif.

Par conséquent le volume de stockage disponible devra être très largement supérieur pour atteindre l'objectif de 40 m^3/s en pointe de crue centennale.

On peut estimer le volume de stockage nécessaire dans une fourchette de 200 000 m^3 à 300 000 m^3 à stocker en amont immédiat du site pour atteindre l'objectif de 40 m^3/s.

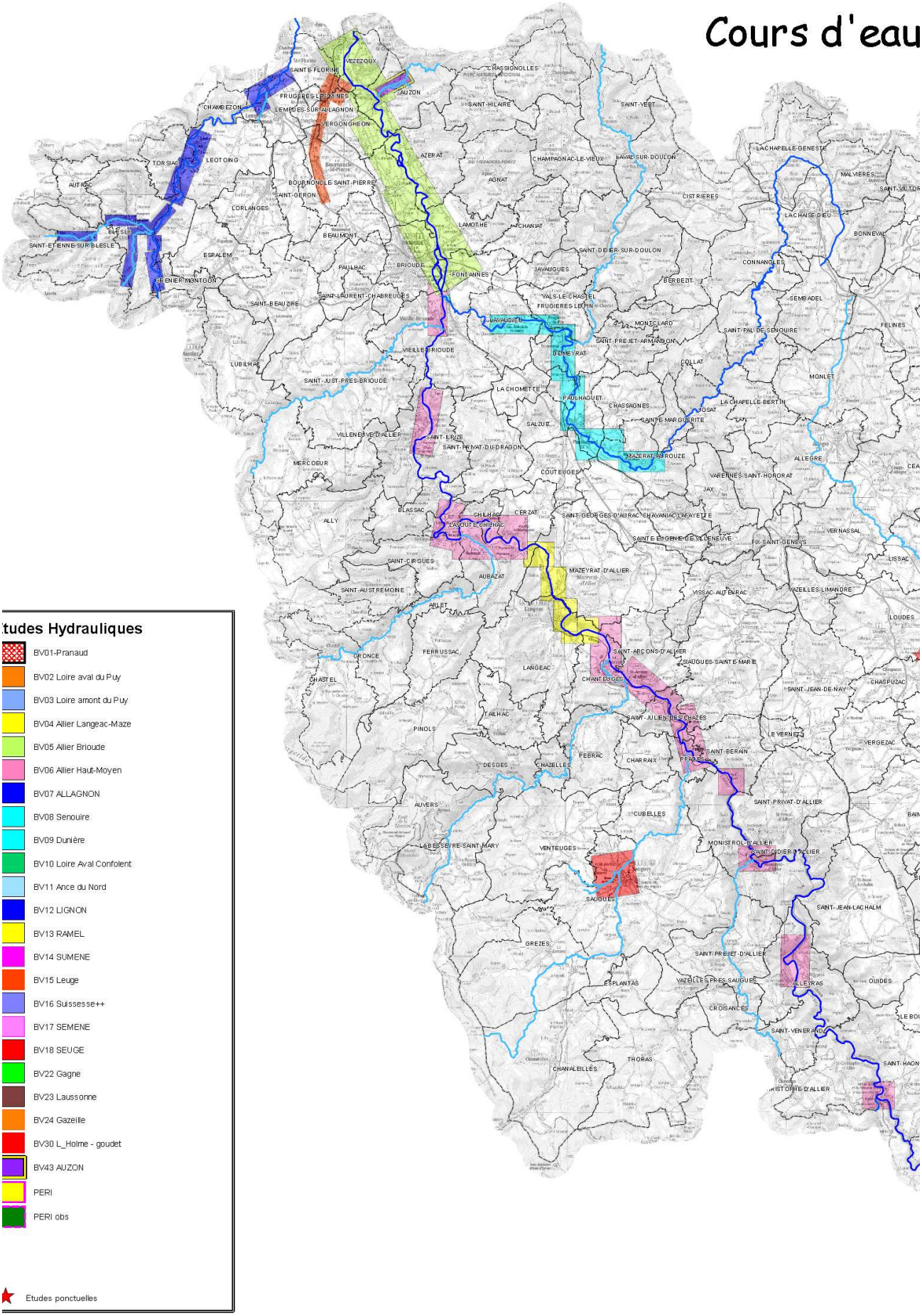
La présentation détaillée de la simulation est proposée en Annexe de la Note 2-5 « Proposition d'amélioration de Protection ».

ANNEXE

ANNEXE 1 : Modèles hydrauliques département de la Haute-Loire

Présentation des principales études hydrauliques réalisées dans le département 43 sur la partie bassin versant de l'Allier (Source DDT43-2011)

Cours d'eau


Études Hydrauliques
BV01-Pranaud
BV02 Loire aval du Puy
BV03 Loire amont du Puy
BV04 Allier Langeac-Maze
BV05 Allier Brioude
BV06 Allier Haut-Moyen
BV07 ALLAGNON
BV08 Senouire
BV09 Dunière
BV10 Loire Aval Confolent
BV11 Ance du Nord
BV12 LIGNON
BV13 RAMEL
BV14 SUMENE
BV15 Leuge
BV16 Suissesse++
BV17 SEMENE
BV18 SEUGE
BV22 Gagne
BV23 Laussonne
BV24 Gazeille
BV30 L_Holme - goudet
BV43 AUZON
PERI
PERI obs
Études ponctuelles