



Syndicat des Rivières des Territoires de Chalaronne
7 av DUBANCHET
01 400 CHATILLON s/ CHALARONNE

Tel : 04 74 55 20 47 Fax : 04 74 50 71 74

Etude et proposition de différentes solutions de gestion des inondations à mettre en œuvre sur les territoires de Chalaronne par modélisation hydraulique

Rapport d'étude

Réf. ARI-09-109//Version 2.3

avril 2011

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Réf. ARI-09-109

Etude : Etude et proposition de différentes solutions de gestion des inondations à mettre en œuvre sur les territoires de Chalaronne par modélisation hydraulique

Date de remise : avril 2011

Version : 2.3

Statut du document : définitif

Propriétaire du document : SRTC

Diffusion : Alice Prost

Chef de projet : Benoît Fourcade

Rédacteur : B. Fourcade / S. Desseigne

Vérificateur : A. Cosmides

Démarche environnement : ce document est paginé pour être imprimé en recto/verso !



SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	7
PARTIE 1 : L'HYDROLOGIE	9
1. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT	10
2. ANALYSE DES SERIES DE DONNEES HYDROMETRIQUES DISPONIBLES.....	12
2.1. Les stations de mesure.....	12
2.2. Courbes débit / durée / fréquence	12
3. FONCTIONNEMENT DU MODELE HYDROLOGIQUE	14
3.1. Méthodes utilisées.....	14
3.1.1. Production.....	14
3.1.2. Transfert.....	15
3.1.3. Propagation.....	15
3.1.4. Stockage	16
3.2. Le modèle de la Chalaronne.....	16
3.2.1. Schéma structurel du modèle de la Chalaronne	16
3.2.2. Les bassins versants.....	17
3.2.3. La propagation des crues le réseau d'écoulement	17
3.3. Le jeu de crues simulées	17
3.3.1. Les pluies.....	18
3.3.2. Calage.....	19
4. RESULTATS OBTENUS.....	22
4.1. Simulation des crues de référence.....	22
4.2. Test de sensibilité.....	24
4.2.1. Sensibilité à la répartition spatiale des pluies	24
4.2.2. Sensibilité à la répartition temporelle des pluies.....	25
4.3. Conclusions.....	25
PARTIE 2 : LES OPERATIONS CIBLEES	27
5. LES ARASEMENTS DE MERLONS.....	28
5.1. Merlons de curage de Châtillon	28
5.1.1. Problème posé	28
5.1.2. Méthode.....	28
5.1.3. Débits de crue.....	28
5.1.4. Analyse hydraulique.....	28

5.2.	Merlon de Thoissey	29
5.2.1.	Problème posé	29
5.2.2.	Méthode.....	30
5.2.3.	Débits de crue.....	30
5.2.4.	Analyse terrain	30
5.2.5.	Hydraulique.....	30
5.2.6.	Conclusion.....	32
6.	LES OPERATIONS DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE	33
6.1.	la Glenne	33
6.1.1.	Visite de terrain	33
6.1.2.	Proposition d'action	34
6.2.	La Chalaronne en aval du Gué de Tallard	35
6.2.1.	Analyse de terrain	36
6.2.2.	Interprétation – cause du dépôt.....	37
6.2.3.	Evolution attendue	37
6.2.4.	Conclusion.....	37
7.	CONCLUSION DE LA PARTIE 2 : INTERET DU RALENTISSEMENT DYNAMIQUE PAR DERECTIFICATION DES COURS D'EAU	38
	PARTIE 3 : LES OPERATIONS DE RETENTION	39
8.	CADRE LEGISLATIF ET CONTRAINTES DE DIMENSIONNEMENT	40
8.1.	Définition des ouvrages et de leur classe.....	40
8.2.	Contraintes liées aux ouvrages sur la Chalaronne	40
8.2.1.	Contraintes de dimensionnement	41
8.2.2.	Obligation des responsables d'ouvrages	42
9.	DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE RETENTION.....	44
9.1.	Quel volume ? Quel débit de fuite ? Un peu de théorie.....	44
9.2.	Dimensionnement retenu pour le territoire de Chalaronne	45
9.2.1.	Volume objectif de stockage	45
9.3.	Positionnement des digues	46
9.4.	Dimensionnement préliminaire des ouvrages.....	47
9.4.1.	Définition des Cotes (cf. définitions en §8.2.1).....	47
9.4.2.	Ouvrage de vidange	47
9.4.3.	Déversoir	47
9.5.	Mode de construction	47
9.5.1.	Corps de digue	47
9.5.2.	Déversoir	48

9.6.	Chiffrage.....	49
9.6.1.	Coûts des travaux.....	49
9.6.2.	Coûts d'acquisition des terrains.....	50
9.6.3.	Coûts d'entretien.....	51
10.	ZONAGE REGLEMENTAIRE.....	52
11.	ANALYSE DE 28 SITES SUR 7 SECTEURS DISTINCTS.....	53
11.1.	Présentation générale des sites étudiés.....	53
11.2.	La Chalaronne.....	53
11.2.1.	Secteur 8 : amont Châtillon.....	53
11.2.2.	Secteur 3 : amont Saint-Etienne.....	56
11.2.3.	Secteur 2 : Amont Saint-Didier.....	58
11.3.	Les affluents et la Calonne.....	61
11.3.1.	Secteur 4 : la Glenne.....	61
11.3.2.	Secteurs 5 et 6 : le bief de Valeins.....	64
11.3.3.	Secteur 9 : la Calonne.....	67
12.	SCENARIOS D'AMENAGEMENT SUR LA VALLEE.....	70
12.1.	Ebauches de scénarios.....	70
12.1.1.	Scénario 1.....	70
12.1.2.	Scénario 1 bis.....	70
12.1.3.	Scénario 2.....	71
12.2.	Résultats.....	72
12.2.1.	Effets sur les débits.....	72
12.3.	Conclusions.....	73
12.4.	Schéma d'aménagement proposé.....	74
12.4.1.	La Chalaronne.....	74
12.4.2.	La Calonne.....	76
	CONCLUSION GENERALE.....	77
	ANNEXES.....	79
	ANNEXE 1 : RESUME DES DONNEES DISPONIBLES SUR LA BANQUE HYDRO.....	81
	ANNEXE 2 : CHIFFRAGES.....	83
	ANNEXE 3 : AMENAGEMENTS DE LA GLENNE, COUPES-TYPES.....	89

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : plan des bassins versants, échelle 1/200000 ^{ème}	11
Figure 2 : Répartition des débits moyens sur une durée donnée, sur une variable de Gumbel.....	13
Figure 3 : production = transformation pluie brute / pluie nette	15
Figure 4 : transfert = transformation pluie nette / débit	15
Figure 5 : propagation des hydrogrammes.....	16
Figure 6 : schéma du modèle pluie / débit de la Chalaronne.....	17
Figure 7 : Pluies de projet.....	19
Figure 8 : Calage de la relation débit moyen / durée fréquence :.....	20
Figure 9 : Crue décennale et cinquantiennale de projet, comparées aux débits mesurés en novembre 2008 et février 2009. En abscisse, le temps exprimé en heures	21
Figure 10 : débits de pointe de crue (haut) et volume caractéristique $Q_{50} - Q_{20}$ (bas).....	23
Figure 11 : débits de pointe, sensibilité à la répartition spatiale des pluies	24
Figure 12 : débits de pointe, sensibilité à la répartition temporelle des pluies	25
Figure 13 : inondation en situation de crue cinquantiennale dans le secteur de moulin des Payes...29	
Figure 14 : Résultats du modèle hydraulique, situation de crue cinquantiennale. ➔ : sens des écoulements débordants	31
Figure 15 : Profil en long de la Chalaronne à Thoissey / Saint-Didier.....	31
Figure 16 : un méandre de la Glenne à Saint-Etienne-sur-Chalaronne (panoramique réalisé avec trois clichés).....	33
Figure 17 : localisation des aménagements proposés.	34
Figure 18 : vue en plan du secteur du gué de Tallard.....	35
Figure 19 : le dépôt à l'aval du gué, déjà bien végétalisé.....	36
Figure 20 : érosion de berge en rive gauche ~ 200 mètres en aval du gué	36
Figure 21 : Fonctionnement d'un barrage de ralentissement dynamique en lit majeur	41
Figure 22: principe du stockage-restitution	44
Figure 23 : Intérêt d'un organe régulateur de débit.....	45
Figure 24: Définition du volume objectif de stockage (zone colorée en bleu clair).....	46
Figure 25 : coupe type, corps de digue.....	48
Figure 26 : coupe-type, déversoir	48
Figure 27 : localisation des sites étudiés.	53
Figure 28 : localisation du secteur 8	54
Figure 29 : profil en travers de l'ouvrage préconisé sur le secteur 8.....	55
Figure 30 : emprise maximale lorsque l'ouvrage est en eau (en bleu) et localisation des ouvrages.	55

Figure 31 : hydrogrammes amont / aval du bassin de rétention à Châtillon.....	56
Figure 32 : localisation du secteur 3	57
Figure 33 : localisation du secteur 2.	59
Figure 34 : hydrogramme à Thoisse pour scénario de crue cinquantennale	60
Figure 35 : localisation du secteur 4.	61
Figure 36 : pont en aval de la RD7 à recalibrer	62
Figure 37 : localisation des préconisations du secteur 4 (La Glenne).....	63
Figure 38 : localisation des secteurs 5 & 6.	64
Figure 39 : localisation des ouvrages limitants	66
Figure 40 : ouvrage hydraulique A.....	66
Figure 41 : ouvrage hydraulique B.....	66
Figure 42 : ouvrage hydraulique C.....	66
Figure 43 : localisation du secteur 9	67
Figure 44 : Synoptique scénario 1	70
Figure 45: Synoptique scénario 1bis	71
Figure 46 : Synoptique scénario 2	71
Figure 47 : Q_{50} à l'état initial.....	73
Figure 48 : Q_{50} à l'état projet, Scénario 2.....	73
Figure 49 : Synoptique schéma	75
Figure 50 : batardeau en aluminium posé sur pas de porte - crédit Photo Hellopro.fr	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : les bassins versants et leur superficie	10
Tableau 2 : débits de pointe de crue	23
Tableau 3 : débits de pointe de crue	24
Tableau 4 : débits de pointe de crue	25
Tableau 5 : définition des classes de barrages	40
Tableau 6 : obligations du propriétaire de barrage.....	43
Tableau 7 : Coût des travaux : mode de calcul des frais complémentaires de travaux	50
Tableau 8: position des secteurs vis-à-vis des engagements de protection de l'environnement	52

AVANT-PROPOS

Les bassins versants de la Calonne et de la Chalaronne ont connu, respectivement le 1/11/2008 et le 6/02/2009 deux crues successives très importantes. Ces dernières ont conduit le syndicat à mener une étude post crue qui a été réalisée conjointement par les cabinets Hydrétudes et Dynamique Hydro.

L'étude post crue dans sa phase 3 propose des mesures de gestion des inondations sur le long terme autour de trois axes principaux :

- La restauration de champ naturel d'expansion de crue par l'arasement d'ancienne digue ou de merlon de curage
- La restauration hydromorphologique de la Chalaronne et de la Glenne
- La création de casiers de surinondation.

Après identification de différentes zones réparties sur l'ensemble des bassins versants de la Chalaronne et de la Calonne, et leur levé topographique par photogrammétrie aérienne, il s'agit :

- d'évaluer l'impact de chacune des mesures sur l'écrêtement des crues pour différentes fréquences,
- de déterminer le nombre d'ouvrages nécessaire à réaliser et leurs localisations
- d'évaluer le gain environnemental (diversification des habitats, restauration de la continuité latérale et longitudinale) de chacune des actions
- de chiffrer précisément le coût de chacune des opérations afin que les élus puissent disposer d'un outil d'aide à la décision.

L'objectif du présent document est d'analyser chacune des opérations présentées au cahier des charges.

Dans un deuxième document, nous établirons un plan d'aménagement général sur le territoire, en prenant en compte les interdépendances des opérations.

PARTIE 1 : L'HYDROLOGIE

Le but de ce chapitre est de déterminer les scénarios de crue prévisibles à l'échelle du bassin versant de la Chalaronne et de ses affluents.

1. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT

D'une superficie totale de 303 km², le bassin versant de la Chalaronne englobe un territoire qui va du plateau de la Dombes aux coteaux orientaux de la Saône. Prenant naissance dans la Dombes, la Chalaronne reçoit successivement comme affluents :

- Le Relevant,
- Le Vernisson
- Le Moignans,
- Le bief de Valeins,
- La Glenne

Ci-dessous (Tableau 1) le tableau des superficies de bassins versants de la Chalaronne et de ses affluents, et Figure 1 leur localisation.

Bassin versant	Superficie (km²)
1. Amont de Villars	90
2. De Villars à la Chapelle	49
3. De la Chapelle à Châtillon	31
4. Centre Châtillon	4
5. Le Relevant	26
6. Le Vernisson	15
7. Le Moignans	61
8. De Châtillon à Saint-Etienne	3.9
9. Le bief de Valeins (le Moine)	9.4
10. La Glenne	18
11. De Saint-Etienne à la Saône	30
La Calonne	35

Tableau 1 : les bassins versants et leur superficie

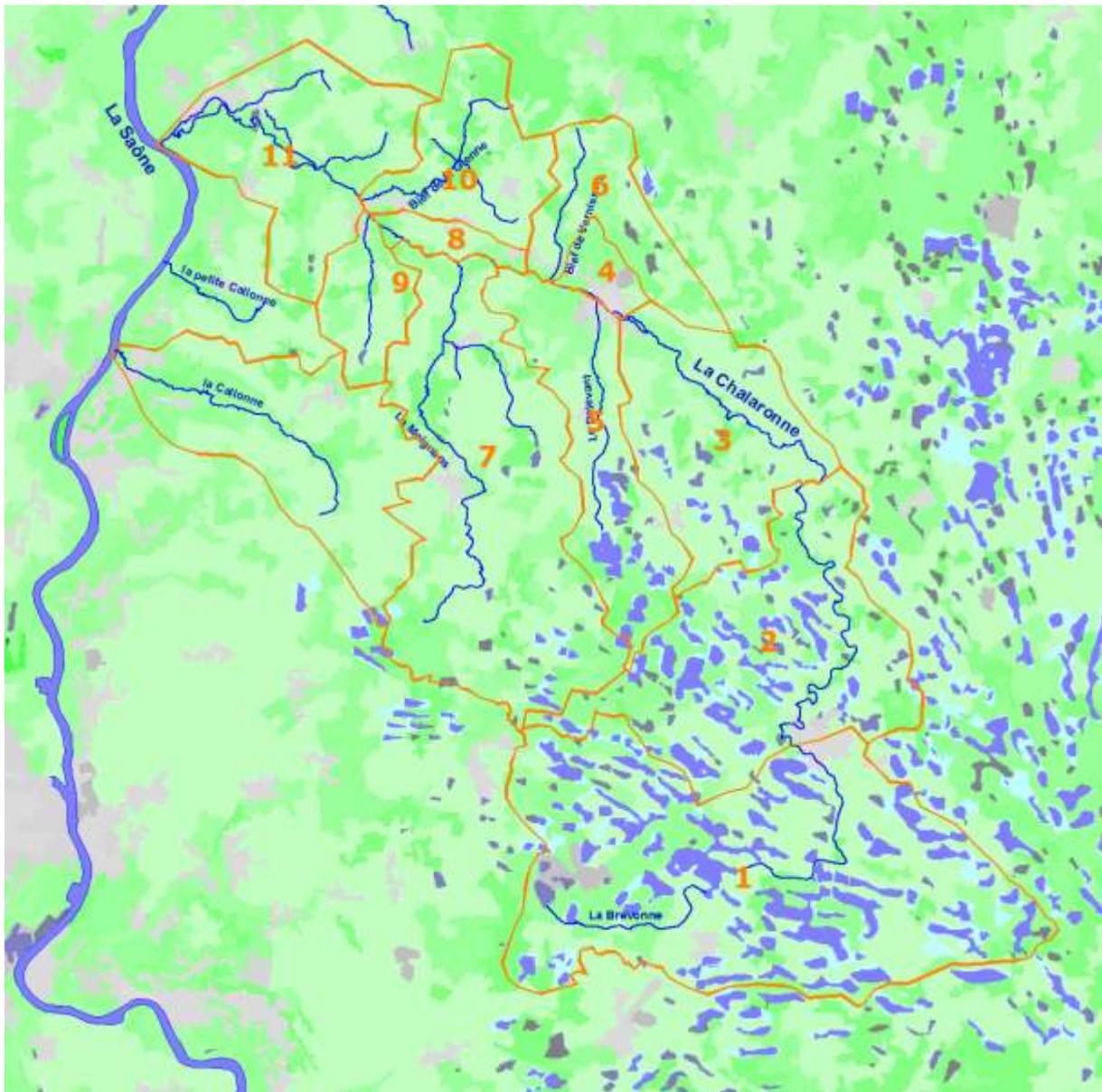


Figure 1 : plan des bassins versants, échelle 1/200000^{ème}

2. ANALYSE DES SERIES DE DONNEES HYDROMETRIQUES DISPONIBLES

2.1. LES STATIONS DE MESURE

La Chalaronne ne dispose que de deux stations de mesure des débits et elles ne sont pas idéalement placées :

- La station de Villars-les-Dombes contrôle un bassin versant de 87 km²
- La station de Châtillon-sur-Chalaronne contrôle un bassin versant de 175 km².

☞ *Cf. annexe 1 : Résumé des données disponibles sur la banque hydro*

Le bassin versant contrôlé par la station de Châtillon ne représente que 58% du bassin versant total de la Chalaronne à sa confluence avec la Saône. D'autre part on remarquera (cf. Figure 1) la différence d'occupation du sol entre les bassins versants de l'amont de Châtillon et ceux de l'aval : on passe du plateau de la Dombes, peu pentu, avec une forte concentration d'étangs, au val de Saône, plus pentu, avec seulement quelques étangs et retenues collinaires.

Nous avons analysé les données disponibles, mesurées aux stations de Villard et Châtillon, et cherché à les valoriser. Notre analyse du fonctionnement des bassins versants à l'aval de Châtillon est quant à elle basée sur des relations empiriques classiquement utilisées en hydrologie. Elle est donc soumise à une plus forte incertitude.

2.2. COURBES DEBIT / DUREE / FREQUENCE

L'analyse hydrologique « classique » s'intéresse aux débits de pointe uniquement. Dans le cadre de la présente étude, nous nous intéressons non seulement aux débits de pointe, mais aussi aux volumes d'écoulement : le stockage temporaire des volumes excédentaires suppose que l'on puisse en préalable qualifier ces volumes excédentaires.

Nous avons donc adopté une démarche d'analyse des chroniques de débits des deux stations de mesure du bassin versant, Châtillon et Villars.

Dans un premier temps, nous avons calculé les débits moyens écoulés sur une durée donnée, pour une période de retour donnée. La Figure 2 ci-dessous représente les résultats bruts obtenus.

- Nous avons considéré que deux crues étaient distinctes si elles étaient séparées d'au moins 30 jours,
- La variable de Gumbel U de la Figure 2 sur laquelle sont représentées les répartitions des débits, est une fonction de la période de retour T, exprimée sur la forme $U = -\ln(-\ln(1-1/T))$

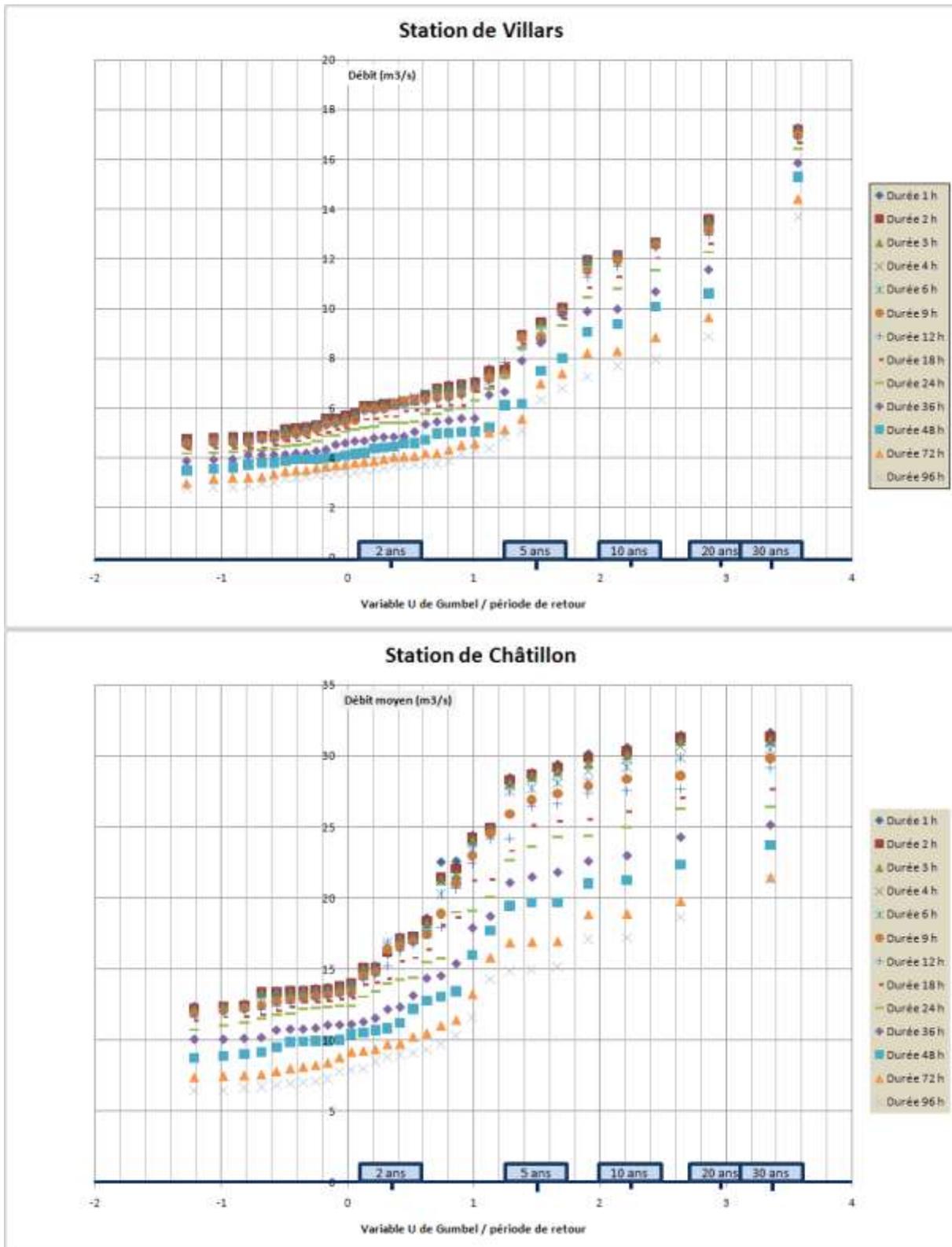


Figure 2 : Répartition des débits moyens sur une durée donnée, sur une variable de Gumbel

3. FONCTIONNEMENT DU MODELE HYDROLOGIQUE

Nous avons repris la démarche de modélisation hydrologique réalisée par BURGEAP en 2005 : Nous avons construit un modèle hydrologique du fonctionnement de la Chalaronne. Ce modèle prend en compte :

- Les pluies régionales
- Les bassins versants élémentaires (11 bassins versants repris de l'étude BURGEAP de 2005)
- Les tronçons de cours d'eau entre les différentes confluences, avec les dimensions des biefs de cours d'eau et de lit majeur,

Un premier paragraphe explique le fonctionnement général du modèle.

On trouvera dans ce chapitre une explication, aussi claire que possible, des méthodes employées pour définir la relation pluie / débit sur un bassin versant.

3.1. METHODES UTILISEES

La modélisation hydrologique de crue se fait en trois phases distinctes :

1. Production : c'est l'estimation pour chaque sous-bassin versant, de la *pluie nette* (pluie destinée à l'écoulement rapide) à partir de la *pluie brute* (précipitations)
2. Transfert : c'est l'estimation des débits à la sortie de chaque sous-bassin versant à partir de la pluie brute
3. Propagation : c'est l'estimation des débits en chaque point du réseau hydrographique à partir des résultats du transfert.
4. Stockage : c'est l'estimation des débits hauteurs et débits de sortie dans un bassin de retenue situé sur le réseau hydrographique

Les méthodes hydrologiques utilisées sont explicitées dans les paragraphes qui suivent.

3.1.1. Production

La méthode utilisée est celle du Soil Conservation Service U.S.

Elle suppose pour chaque sous-bassin versant un paramètre J, correspondant à une réserve d'eau dans le sol. Ce paramètre est déterminé en fonction de l'occupation du sol par le *Curve Number*, donné par des abaques, et de l'état d'humidité du bassin.

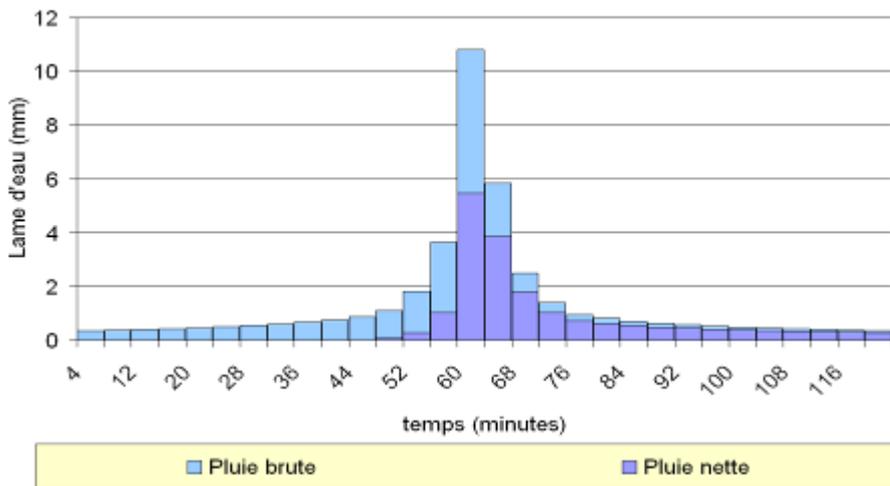


Figure 3 : production = transformation pluie brute / pluie nette

3.1.2. Transfert

La méthode est celle de l'hydrogramme unitaire, qui suppose la linéarité de la réponse des bassins versants à une impulsion de pluie nette.

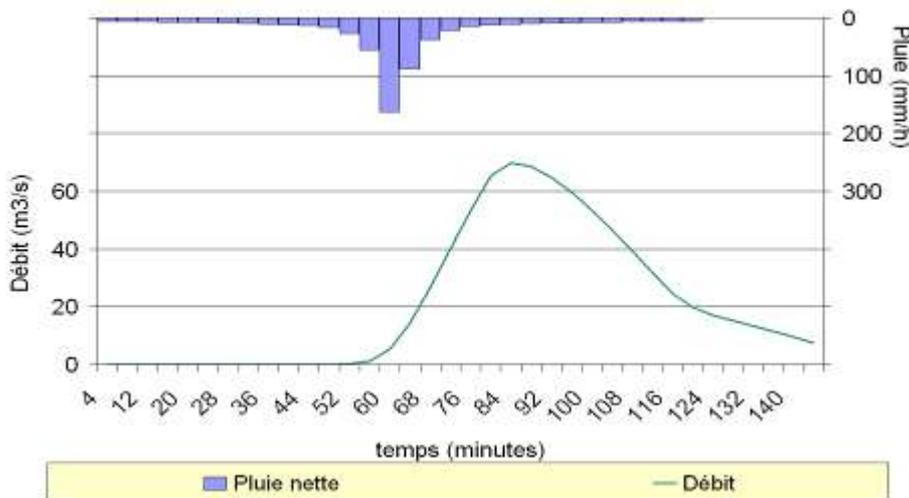


Figure 4 : transfert = transformation pluie nette / débit

3.1.3. Propagation

La propagation de l'onde de crue est calculée par la méthode Muskingum, simplification des équations de Saint-Venant. A chaque tronçon de cours d'eau, nous avons affecté un profil-type.

Paramètres : longueur, pente moyenne, profil en travers et coefficient de rugosité caractéristiques.

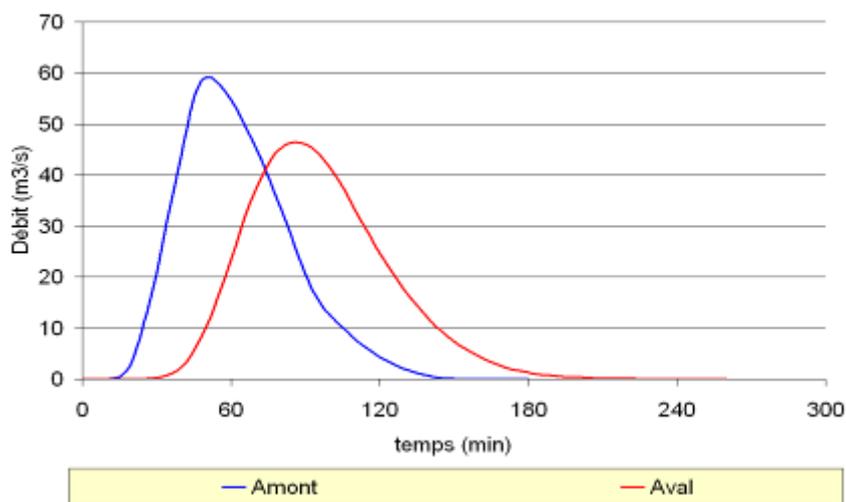


Figure 5 : propagation des hydrogrammes

3.1.4. Stockage

Cette fonctionnalité permet de placer sur le réseau hydrographique un ou plusieurs ouvrages de régulation dont l'utilisateur entrera :

- la relation hauteur / volume
- la relation hauteur / débit de sortie. L'utilisateur dispose d'un panel d'outils pour calculer le débit de vidange ou de surverse.

3.2. LE MODELE DE LA CHALARONNE

3.2.1. Schéma structurel du modèle de la Chalaronne

Le schéma ci-dessous (Figure 6) résume le fonctionnement du modèle hydrologique de la Chalaronne : Les débits à la sortie de chaque bassin versant sont calculés, puis un calcul de propagation de l'onde de crue le long du réseau hydrographique est réalisé.

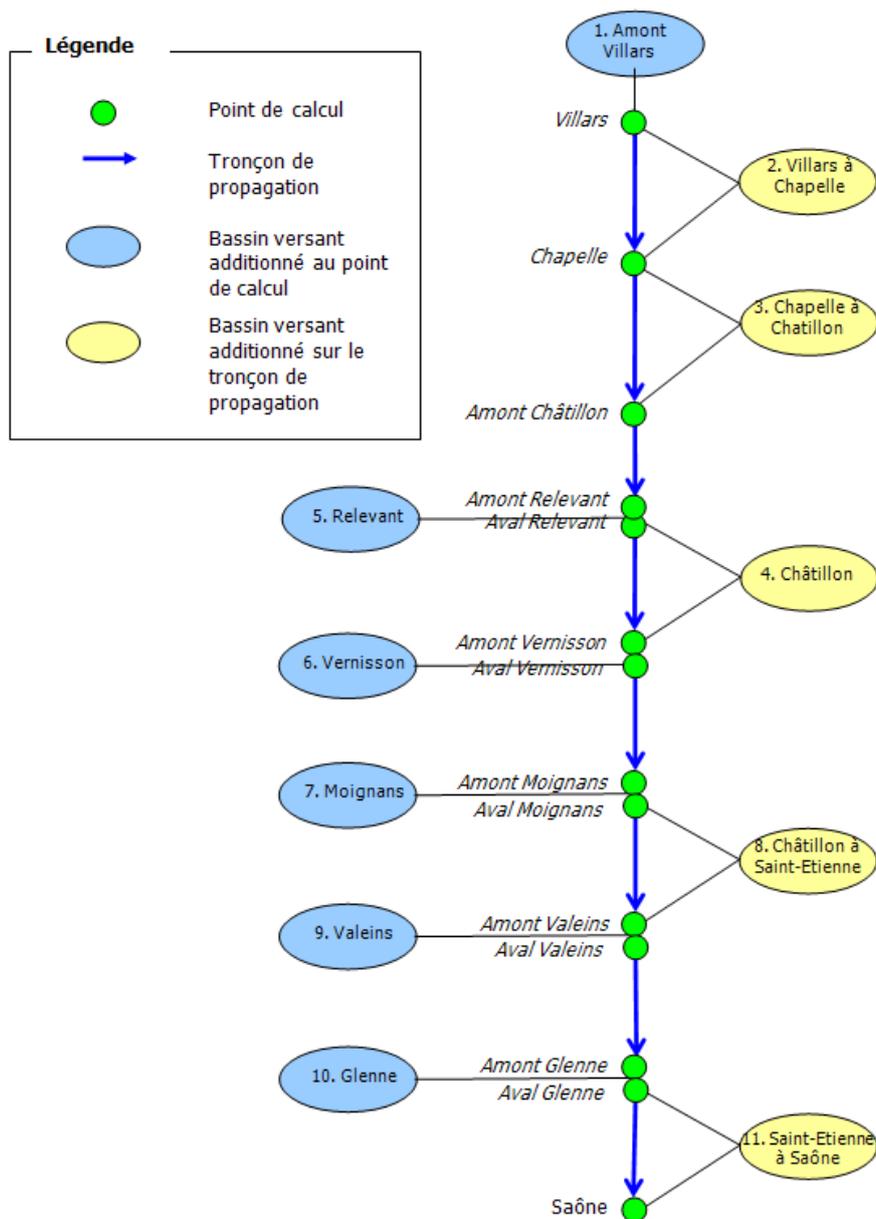


Figure 6 : schéma du modèle pluie / débit de la Chalaronne

3.2.2. Les bassins versants

Les bassins versants et leurs caractéristiques (surface, pente, longueur, temps de concentration, ont été extraits de l'étude BURGEAP de 2005).

3.2.3. La propagation des crues le réseau d'écoulement

Nous avons retenu des profils topographiques réalisés en 1996 et 2005 des profils représentatifs de chaque tronçon de cours d'eau étudié (cf. Figure 6). Cette représentation, permet de déterminer la propagation des crues sur chaque tronçon.

3.3. LE JEU DE CRUES SIMULEES

Nous avons cherché à simuler des crues de période de retour 10, 20, 50 et 100 ans.

Nous savons que la nature a différentes façons de produire en un point donné d'un bassin versant un débit de période de retour donnée. Par exemple un orage intense d'été pourra avoir les mêmes conséquences en termes de débit qu'une longue pluie d'hiver sur des sols saturés. La durée et l'intensité de l'épisode pluvieux provoquant la crue est donc un premier choix à opérer pour le modélisateur. On peut y rajouter :

- Les variations spatiales de la pluie (l'étude post-crue a montré par exemple des cumuls mesurés très variables entre l'amont et l'aval du bassin versant)
- Les variations temporelles de la pluie : un système pluvieux se déplaçant de l'amont vers l'aval du bassin versant ne produira pas les mêmes débits qu'un système se déplaçant de l'aval vers l'amont.

Enfin, les conditions de précipitations antécédentes et l'état des surfaces jouent aussi un rôle primordial : un champ planté de maïs à maturité n'aura pas la même réaction au ruissellement que le même champ fraîchement labouré.

Le jeu de simulations que nous avons constitué cherche à représenter des crues de type hivernales (ce sont celles qui posent problème sur la Chalaronne), donc avec des pluies de longue durée et peu intenses. Les états de surfaces au départ de l'événement ont été calés de façon à reproduire aux stations de mesures connues les débits qui y ont été mesurés, avec la fréquence qui leur est affectée.

Nous avons par ailleurs réalisé une étude de sensibilité à la répartition spatiale de la pluie, et à sa répartition temporelle.

3.3.1. Les pluies

Compte-tenu des temps de réaction propres au bassin versant de la Chalaronne et à ses affluents, nous avons construit des pluies de projet sur la base d'une forme en « double triangle » :

- Durée totale : 48 heures. Cette durée permet d'arriver à un degré de saturation important des bassins versants, et donc de provoquer le ruissellement,
- Pic de pluie intense de durée 8 heures, à l'intérieur de l'épisode de pluie,

Ces pluies ont été construites sur la base des données du poste de mesure de Mâcon, pour chaque période de retour étudiée (10, 20, 50 et 100 ans).

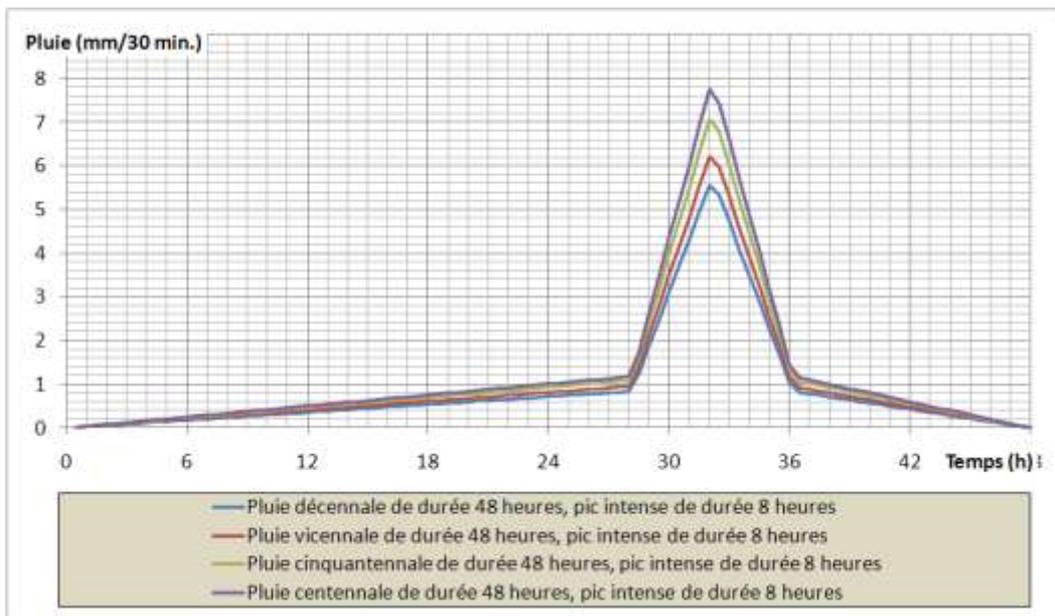


Figure 7 : Pluies de projet

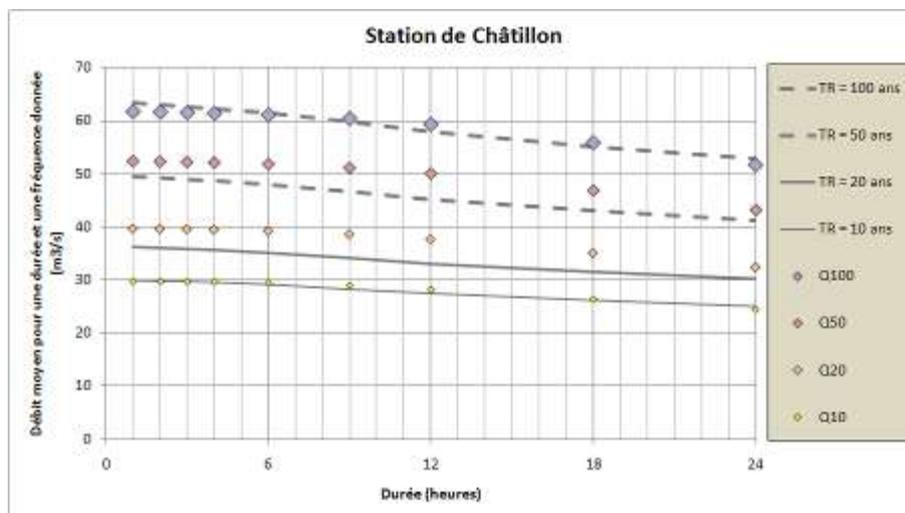
3.3.2. Calage

3.3.2.1. Ajustement aux courbes Débit / Durée / Fréquence (QDF)

Ces courbes, essentielles pour le calcul des volumes à stocker, ont été établies aux stations limnographiques de Villars et Châtillon (cf. §2.2). Nous les avons :

- Extrapolées aux fréquences rares (Q_{50} , Q_{100})
- Comparées aux valeurs données par les résultats du modèle aux nœuds correspondants.

Pour des durées comprises entre 1 et 24 heures et des périodes de retour de 10 à 100, les débits moyens (donc les volumes) obtenus par les deux méthodes ne diffèrent pas de plus de 13% sur Châtillon, de plus de 10% sur Villars (Figure 8 ci-après). Nous considérons donc le calage comme satisfaisant.



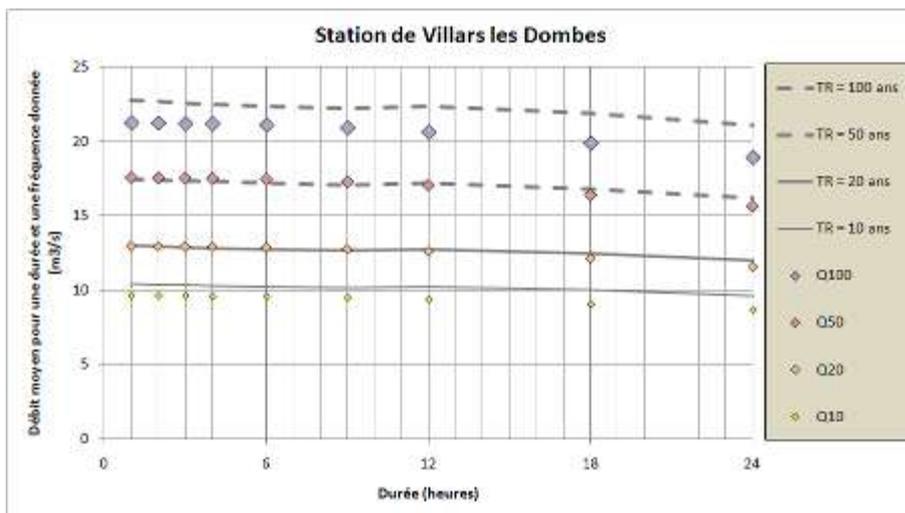
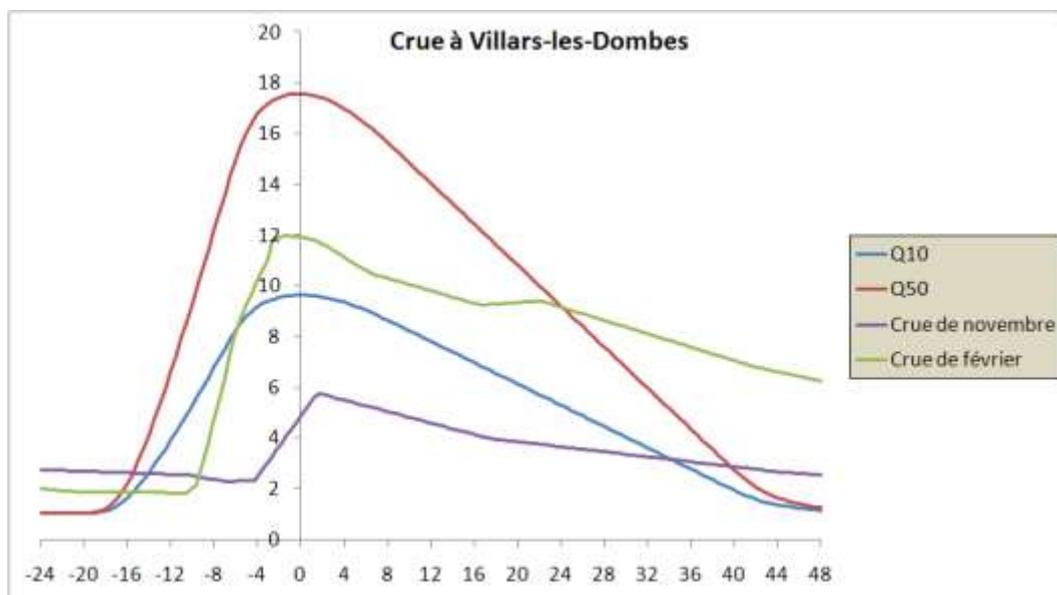


Figure 8 : Calage de la relation débit moyen / durée fréquence :
 Traits : valeurs mesurées (TR 10 et 20 ans) ou extrapolées (TR 50 et 100 ans) à partir des données des stations limnimétriques
 Points : valeurs obtenues aux nœuds du modèle hydrologique

3.3.2.2. Comparaison avec les crues historiques de novembre 2009 et février 2009

Nous avons valorisé les résultats de l'étude BURGEAP afin d'obtenir un calage des débits de crue cohérent. Les résultats que nous obtenons (4.1) sont comparables à ceux de l'étude BURGEAP.

Nous avons également comparé nos hydrogrammes de crue avec les débits mesurés sur la Chalaronne à Villars et à Chatillon en novembre 2009 et en février 2010.



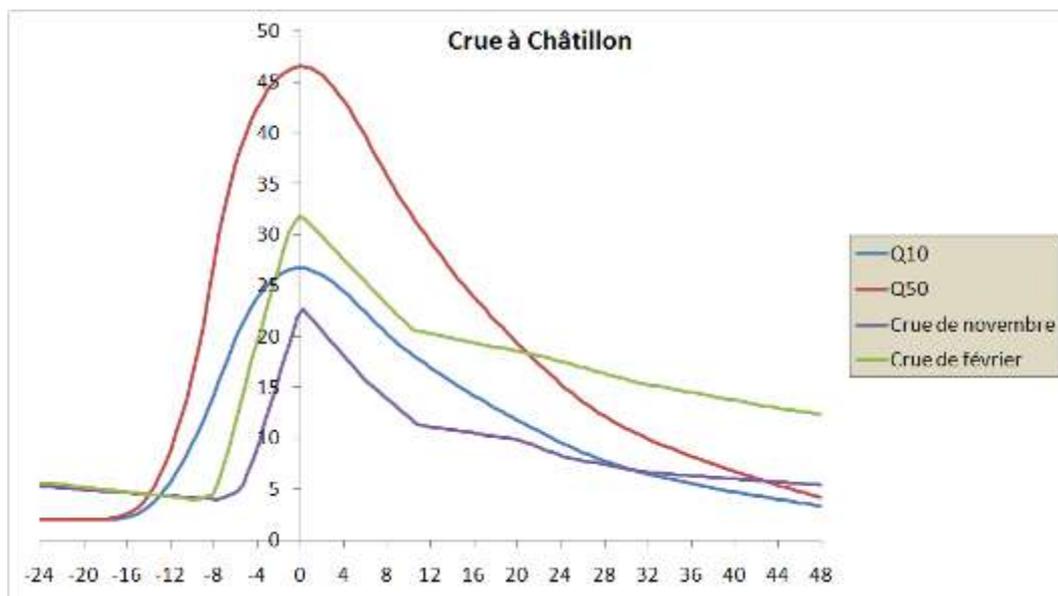


Figure 9 : Crue décennale et cinquantennale de projet, comparées aux débits mesurés en novembre 2008 et février 2009. En abscisse, le temps exprimé en heures

La crue de février a été annoncée sur l’amont du bassin versant comme ayant une période de retour de l’ordre de la décennale ou légèrement supérieure (10 à 20 ans). Le modèle hydrologique reproduit ce résultat. Les formes d’hydrogrammes, à savoir les temps de montée, durées, volumes d’écoulement en crues, correspondent ou du moins sont du même ordre de grandeur que les hydrogrammes de crue de novembre 2008 et février 2009.

Ainsi on peut considérer les hydrogrammes produits par le modèle hydrologique de la Chalaronne comme une réalisation possible des crues réelles sur le bassin versant.

4. RESULTATS OBTENUS

4.1. SIMULATION DES CRUES DE REFERENCE

Les résultats obtenus sont des hydrogrammes (courbe débit-temps) à la sortie de chaque bassin versant élémentaire (11 bassins versants) et en chaque point du réseau d'écoulement (14 points), pour chaque crue de projet étudiée sur une durée de cinq jours à un pas de temps de 30 minutes. Nous avons donc un total de 24 000 résultats ponctuels. Ces résultats concernent des débits, mais ne se résument pas à une valeur maximale, puisque l'on a accès aux évolutions de ces débits à travers le temps, et donc aux volumes écoulés en crue.

Le tableau ci-après (Tableau 2) cherche à résumer ces résultats en faisant un tri des points de calcul intéressants (nous avons repris les points donnés dans le rapport de BURGEAP). Le tableau donne :

- Les débits de pointe de crue,
- Un volume caractéristique de ces crues, que nous avons pris comme le volume de la crue cinquantennale au-dessus de la valeur maximale de la crue vicennale : voir § 9.2.1, et notamment la Figure 24 pour les raisons de ce choix.

Point de calcul	Débit (m ³ /s)				Volume Q ₅₀ -Q ₂₀ (m ³)
	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	
Villars	10	13	18	21	237 000
Chapelle	19	25	34	41	360 000
Amont Chatillon	27	35	47	55	383 000
Aval Vernisson	32	43	58	69	604 000
Aval Moignans	49	65	87	103	752 000
Aval Glenne	53	70	93	111	960 000
Confluence Saône	64	84	112	133	1 008 000

Tableau 2 : débits de pointe de crue

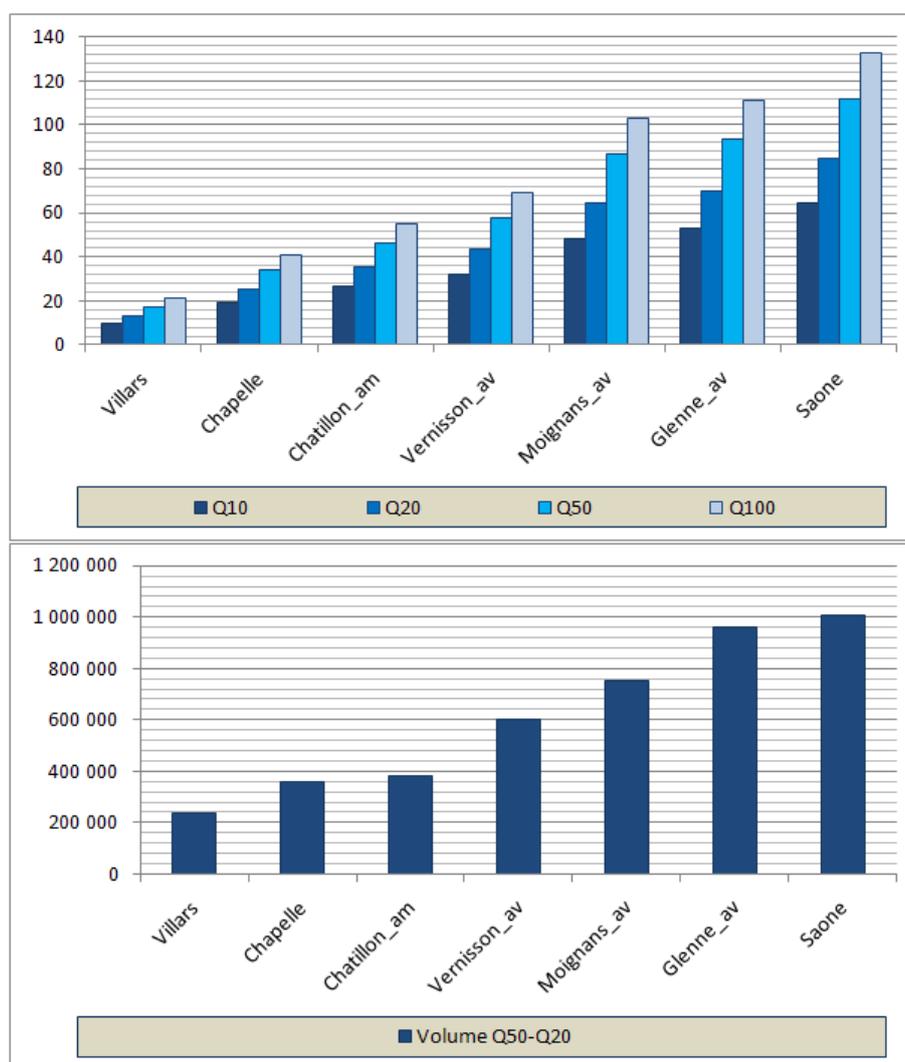


Figure 10 : débits de pointe de crue (haut) et volume caractéristique Q₅₀ - Q₂₀ (bas)

4.2. TEST DE SENSIBILITE

Le modèle généré permet de moduler les différents paramètres de calage. Ainsi nous avons pu évaluer les conséquences de la répartition spatiale des pluies, et de leur répartition temporelle.

4.2.1. Sensibilité à la répartition spatiale des pluies

Nous avons testé la sensibilité à deux répartition spatiales des pluies différentes :

- Pluie décennale sur les bassins amont (1, 2 et 3, représentant un peu plus de 50% de la surface du bassin versant à la confluence de la Saône), vicennale sur les bassins aval : Simulation nommée « Q₁₀₋₂₀ »
- Pluie vicennale sur les bassins amont, décennale sur les bassins aval : Simulation nommée « Q₂₀₋₁₀ »

Point de calcul	Débit maximum (m ³ /s)			
	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₁₀₋₂₀	Q ₂₀₋₁₀
Villars	10	13	10	13
Chapelle	19	25	19	25
Amont Chatillon	27	35	27	35
Aval Vernisson	32	43	37	41
Aval Moignans	49	65	57	57
Aval Glenne	53	70	65	61
Confluence Saône	64	84	79	72

Tableau 3 : débits de pointe de crue

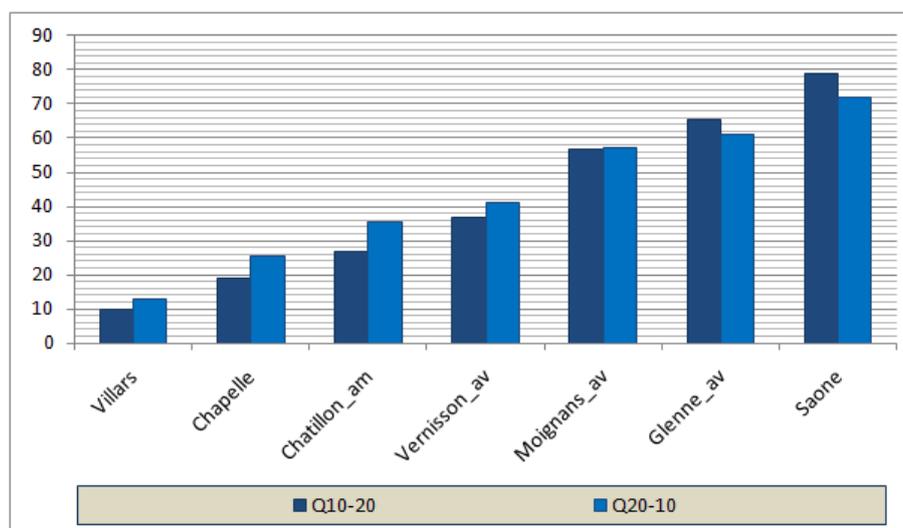


Figure 11 : débits de pointe, sensibilité à la répartition spatiale des pluies

Les résultats obtenus montrent que la seule modification de la répartition spatiale des pluies sans modification du cumul moyen de pluie tombé sur le bassin versant, peut engendrer des différences de débit de l'ordre de 10%.

4.2.2. Sensibilité à la répartition temporelle des pluies

Nous avons testé la sensibilité à deux répartitions temporelles des pluies différentes :

- Pluie décennale « montante », dont la pointe sur les bassins aval (8 à 11) se produit environ 2 heures ½ **avant** la pointe sur les bassins amont (1 à 2) : simulation nommée « Q_{10-Mont} »
- Pluie décennale « descendante », dont la pointe sur les bassins aval (8 à 11) se produit environ 2 heures ½ **après** la pointe sur les bassins amont (1 à 2) : simulation nommée « Q_{10-desc} »

Point de calcul	Débit maximum (m ³ /s)		
	Q ₁₀	Q _{10-mont}	Q _{10-desc}
Villars	10	10	9
Chapelle	19	19	19
Amont Chatillon	27	26	27
Aval Vernisson	32	31	34
Aval Moignans	49	46	50
Aval Glenne	53	50	55
Confluence Saône	64	60	67

Tableau 4 : débits de pointe de crue

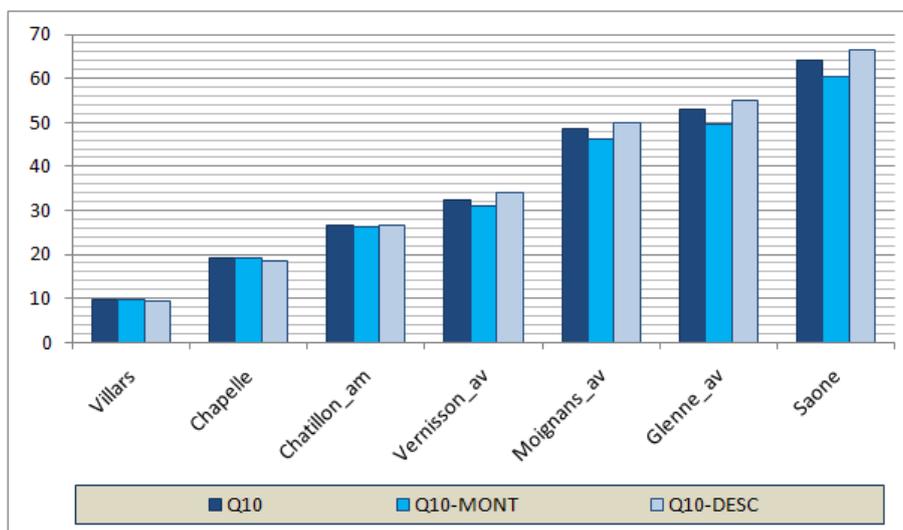


Figure 12 : débits de pointe, sensibilité à la répartition temporelle des pluies

Les résultats obtenus montrent que la seule modification de la répartition temporelle des pluies (déplacement des systèmes pluvieux), sans modification des cumuls de pluie, peut engendrer des différences de débit de l'ordre de 10%.

4.3. CONCLUSIONS

L'étude hydrologique et la démarche de modélisation nous a doté d'un outil permettant la simulation de la relation pluie / débit sur le bassin versant de la Chalaronne, et de disposer d'un jeu de simulations de crues aux périodes de retour définies.

Cette démarche nous donne non seulement les débits de pointe, mais aussi les volumes écoulés dans les conditions simulées.

Parmi les nombreux paramètres qui peuvent varier dans la génération d'une crue, nous avons montré l'influence de la répartition spatiale et de la répartition temporelle des pluies. D'autres paramètres peuvent aussi faire l'objet d'études complémentaires et auront sans doute une influence aussi grande sur les débits de pointe ou les volumes écoulés : durée de la pluie, état antécédent du sol...

Toute la difficulté dans l'étude hydrologique réside dans le fait que les crues sont des phénomènes non reproductibles, fruit d'une succession d'événements : chaque crue est différente. Celle de février 2009, encore bien présente dans l'esprit des habitants, a été produite par des pluies longues mais finalement peu intenses, tombées sur des sols nus et saturés. Elle a vu déborder la Chalaronne mais aussi et surtout ses affluents et de nombreux petits cours d'eau : Calonne, Glenne, Poncharrat...

La prochaine grande crue pourra quant à elle avoir un fonctionnement différent pour des surfaces inondées sensiblement identiques.

Ne pouvant pas couvrir l'ensemble du champ des possibles, et n'en ayant pas les moyens (mesures de terrain très succinctes et totalement absentes des petits affluents), nous nous sommes attachés à simuler des situations « moyennes », avec de fortes précipitations sur deux temps caractéristiques, permettant de générer des situations de crue sur la Chalaronne et sur les petits cours d'eau.

PARTIE 2 : LES OPERATIONS CIBLEES

5. LES ARASEMENTS DE MERLONS

5.1. MERLONS DE CURAGE DE CHATILLON

5.1.1. Problème posé

Lors de l'élaboration du contrat de rivière, 2 merlons de curage situés à l'aval de Châtillon-sur-Chalaronne (cf. carte) avaient été identifiés comme limitant l'expansion naturelle des crues sur les terres agricoles adjacentes. Il avait été évoqué, à l'époque, l'arasement possible de ces merlons. Faute de données précises sur leur impact, cette action avait été retirée du projet du contrat.

Nous cherchons dans le présent paragraphe à quantifier quel serait l'impact de l'arasement de ces deux merlons sur l'écrêtement des crues en répondant aux questions suivantes:

- à partir de quel niveau de crue, les terres adjacentes à la Chalaronne seraient inondées ?
- quel volume de crue l'arasement permettrait de stocker et pour quelle fréquence de retour ?
- quel(s) impact(s) pour les volumes de crues à St Etienne sur Chalaronne ?
- quel(s) impact(s) sur la connectivité des milieux annexes et la qualité du milieu (zone humide) ?
- quel impact sur la qualité hydromorphologique de la Chalaronne ?

5.1.2. Méthode

Nous avons valorisé les levés topographiques existants : celui réalisé en 2005 pour l'étude BURGEAP (profil en long fond / fil d'eau), et celui réalisé en 2010 par SINTEGRA. Ces profils ont permis la construction d'un modèle hydraulique : 23 profils en travers espacés de 50 mètres représentent les écoulements en lit mineur, tandis que le lit majeur est représenté par une succession de réservoirs se jetant les uns dans les autres.

5.1.3. Débits de crue

L'analyse hydrologique donne les débits de crue suivants sur le secteur :

$$Q_{10} = 30 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_{20} = 40 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_{50} = 53 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_{100} = 63 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.1.4. Analyse hydraulique

La modélisation hydraulique donne des résultats suivants :

- En état actuel :
 - Début de débordement pour $\sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$ en amont du pont
 - À $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{10}), le pont entre en charge. Le débordement passe à l'aval du chemin par la rive droite
 - Le merlon empêche le retour des eaux vers la Chalaronne : l'arrière du merlon (champ de maïs) est inondé sur des hauteurs faibles ($< 50 \text{ cm}$)
- En état « sans merlon », les champs de maïs en rive droite sont moins inondés car les débordements en aval du pont peuvent retourner à la Chalaronne. On aboutit finalement à

la situation suivante (Figure 13) :



Figure 13 : inondation en situation de crue cinquantennale dans le secteur de moulin des Payes.
A gauche, situation actuelle. A droite situation sans merlons de curage.
: $h < 50 \text{ cm}$; : $50 \text{ cm} < h < 1 \text{ m}$; : $h > 1 \text{ m}$

La modélisation montre que :

- L'inondation, avec ou sans merlon, se généralise autour du débit de crue décennale, soit $30 \text{ m}^3/\text{s}$
- La suppression des merlons ne permet pas de stocker mais au contraire de déstocker le lit majeur en rive droite. En revanche les volumes sont faibles (de l'ordre de quelques centaines de mètres cubes).
- Avec ou sans merlon, les volumes stockés sur le secteur ne sont pas suffisant pour impacter le débit de pointe de la Chalaronne.

5.2. MERLON DE THOISSEY

5.2.1. Problème posé

Une digue de protection des pépinières a été érigée dans les années 80 sur plus de 600 m et sur environ 2.5 m de hauteur pour protéger les plantations des crues de la Chalaronne situées en rive droite de la Chalaronne et juste en amont du bourg de Thoissey. Cette digue est constituée de matériaux de remblais inconnus et est contournée en amont par refoulement d'une partie des écoulements de la Chalaronne sur le site. Elle est donc inutile en tant que telle et serait potentiellement dangereuse pour les habitations à proximité dans le cas où elle céderait.

Nous chercherons dans le présent paragraphe à quantifier l'impact de l'arasement ou du déplacement de cette digue sur l'inondabilité des secteurs urbanisés à proximité (communes de St Didier/Chalaronne et de Thoissey : habitations rive gauche, parc de Thoissey, Jardins familiaux, HLM) en répondant aux questions suivantes :

- quels volumes sont stocké(s) et écrêté(s), pour quelle(s) hauteur(s) de digue, pour quel emplacement, pour quelle(s) fréquence(s) de retour ?
- quelle est la diminution des fréquences d'inondations des maisons et/ou des hauteurs d'eaux dans les habitations situées en rive gauche et dans les secteurs urbanisés aval pour chacun

des scénarios précités ?

5.2.2. Méthode

Comme pour les merlons de curage au Moulin des Payes, nous avons utilisé la topographie existante et les levés par photogrammétrie aéroportée pour construire un modèle hydraulique de la Chalaronne sur le secteur de Thoissey / Saint Didier.

A l'aval du pont de Thoissey (RD28d) on a considéré dans cette approche un régime uniforme.

5.2.3. Débits de crue

L'analyse hydrologique donne les débits de crue suivants sur le secteur :

$$Q_{10} = 64 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_{20} = 84 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_{50} = 112 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_{100} = 133 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.2.4. Analyse terrain

La « digue » de Thoissey ne peut plus être qualifiée aujourd'hui de digue : Dans un état déplorable, elle est entièrement couverte de végétation, en grande partie impénétrable. Sa crête est très irrégulière comme le montre le profil en long que nous en avons fait.

5.2.5. Hydraulique

5.2.5.1. Résultat du modèle

L'approche par modélisation montre que, à l'état initial :

- la digue en rive droite est contournée en trois points (vue en plan Figure 14 ; profil en long Figure 15)
 - o Deux à l'amont
 - o Un à l'aval
- la pression sur la digue est modérée pour deux raisons :
 - o L'écoulement se fait de part et d'autre de la digue du fait des débordements
 - o La cote au-dessus du terrain naturel est faible (< 1m ; cf. profil en long Figure 15)

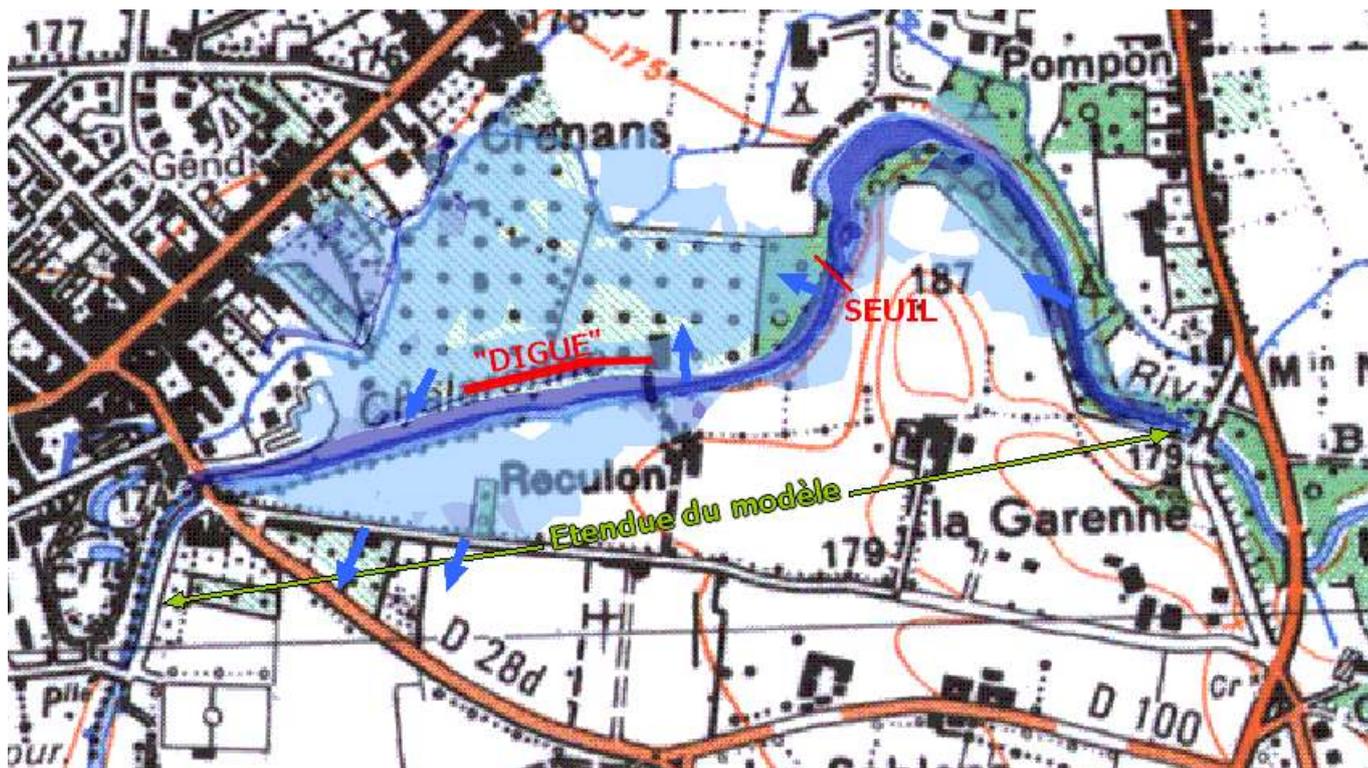


Figure 14 : Résultats du modèle hydraulique, situation de crue cinquantennale. → : sens des écoulements débordants

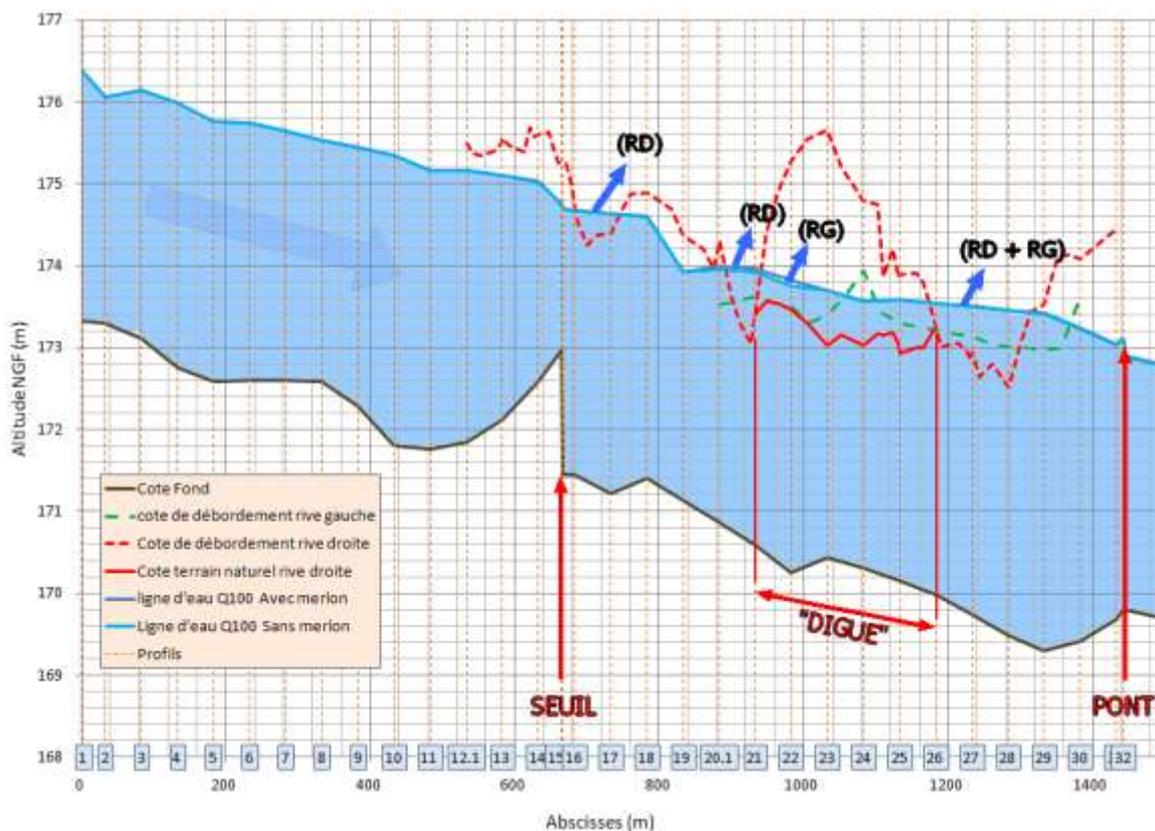


Figure 15 : Profil en long de la Chalaronne à Thoissey / Saint-Didier

Nous avons également testé la situation sans digue en rive droite : le profil en long de cette situation est représenté sur la Figure 15 : il est quasiment identique à celui de la situation initiale,

dont il ne diffère au plus que de 7 centimètres. Le résultat sur les débits renvoyés vers la rive gauche s'élève au plus à 1 m³/s, ce qui est négligeable.

5.2.5.2. Cas de crue de la Saône

Le modèle a été calé en crue de la Chalaronne seule, en supposant la Saône hors de crue.

La cote de la Saône est de 173.4 m en crue décennale et de 174.5 m en crue centennale. Il est évident au regard du profil en long (Figure 15) que la cote de la Saône, qui est en crue décennale au-dessus du niveau de la crête de seuil de Saint-Didier, influence largement celle de la Chalaronne.

Cependant, le diagnostic du merlon n'en est pas pour autant modifié : les connexions avec le lit majeur en rive droite sont suffisamment nombreuses et prolongées pour que le merlon n'ait qu'une influence très limitée sur les cotes d'eau, aussi bien en rive droite qu'en rive gauche.

5.2.6. **Conclusion**

En conclusion, il n'y a aucun avantage aujourd'hui à supprimer le merlon de Thoisse. Ce merlon se comporte en crue comme une île, entourée d'eau. Ne protégeant pas la rive droite, il ne pénalise pas particulièrement la rive gauche de la Chalaronne. Enfin, malgré son très mauvais état, il ne comporte pas de risque de rupture brutale, car la pression de l'eau s'exerce sur une faible hauteur et des deux côtés.

6. LES OPERATIONS DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE

Nous regroupons dans ce chapitre des opérations visant à répondre à une problématique locale :

- Débordements de la Glenne
- Engrèvement du gué de Tallard

6.1. LA GLENNE



Figure 16 : un méandre de la Glenne à Saint-Etienne-sur-Chalaronne (panoramique réalisé avec trois clichés)

6.1.1. Visite de terrain

La Glenne entre le pont de la RD7 et sa confluence avec la Chalaronne est très tortueuse et a une faible capacité. Nous avons pointé du doigt dans l'étude post-crue le manque de capacité de la rivière et du pont de la RD75b, dont le gabarit avait été estimé à la crue décennale.

Nous avons pu constater sur le terrain :

- Que la berge rive gauche est bordée en continu d'habitations, tandis que la berge rive droite est constituée d'un pré
- Que la berge rive gauche est partout la plus basse, donc celle qui déborde en premier

Le problème de la Glenne et de l'inondabilité de Saint-Etienne par ce cours d'eau doit donc nécessairement passer par :

- Une réfection de l'ouvrage sous la RD75b, et de la route (cheminement préférentiel des débordements). Ces travaux pourraient être associés au stockage avec une régulation du débit par une capacité du pont limitée à la capacité de la Glenne jusqu'à la confluence avec la Chalaronne (cf. partie 3).
- Un élargissement de la rivière sur sa rive droite, par des risbermes et mouvements de terrains. Sans nécessairement toucher au lit mineur, l'objet de ces travaux doit être de permettre un cheminement préférentiel des débordements par les prés en rive droite.

6.1.2. Proposition d'action

Trois actions sont envisageables pour la protection de Saint-Etienne sur Chalaronne contre les crues de la Glenne :

- Le stockage : retenir à l'amont de la RD7 le volume nécessaire pour écrêter la crue : cf. partie 3
- L'augmentation du gabarit de la rivière, par recalibrage
- Le détournement d'une partie des débits en crue vers la Chalaronne.

La Figure 17 représente la localisation de principe des travaux proposés.

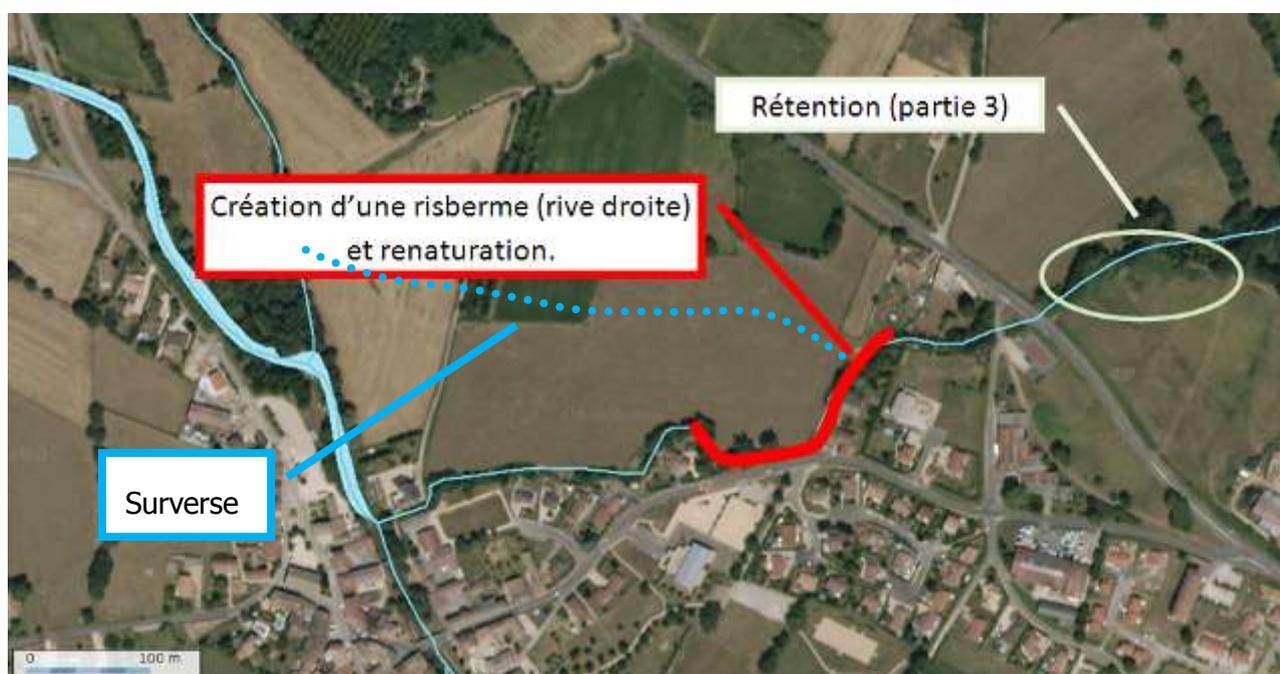


Figure 17 : localisation des aménagements proposés.

6.1.2.1. Recalibrage

L'objectif du recalibrage par risberme de la rive droite est de permettre le transit du débit limité par l'ouvrage de rétention amont. L'intérêt de ces travaux est principalement hydraulique, mais ils permettent également de réaliser un aménagement paysager avec notamment une reconstitution de la ripisylve de la rive droite (coupe type en annexe 3)

Le coût de cette mesure sur 220 mètres est estimé à 80.000€.

Cette mesure permet d'augmenter le gabarit hydraulique le long de la RD75b à 14 m³/s (crue décennale), contre moins de 9 m³/s actuellement. Porter la capacité à une valeur plus grande contribuerait à reporter les débordements sur l'aval, à proximité de la confluence avec la Chalaronne.

6.1.2.2. Surverse

Nous préconisons la réalisation d'une surverse par déblais remblais permettant d'évacuer les débits excédentaires par les champs.

En phase chantier, les travaux se feront depuis la berge et par conséquent, les incidences sur le milieu sont faibles : par d'atteinte du lit d'étiage. Les matériaux issus du terrassement pourront, selon leur nature, être régalez in situ ou envoyés en décharges agréée.

Cette surverse – cheminement préférentiel des eaux en cas de crue – doit prendre en compte l'usage agricole de la terre. Pour cela le cheminement doit être créé :

- En conservant la couche de terre végétale superficielle : décapage préalable, mise en cordon et remise en place après terrassement
- En faisant un mouvement de terrain très progressif permettant le passage d'engins agricole : pas de pentes supérieures à 10%.

Le volume de terrassement nécessaire pour réaliser ce cheminement est de 5000 à 10000 m³. L'incertitude sur ce volume de terrassement – et donc sur le chiffrage des travaux – provient de l'absence de données topographiques sur la plus grande partie du parcours (500 m en tout). Nous avons tablé dans le calcul sur un tracé à flanc d'une pente de 3%. Le chiffrage montre l'intérêt de cet aménagement sur un plan coût / bénéfice. Le tracé final reste à affiner.

6.2. LA CHALARONNE EN AVAL DU GUE DE TALLARD

Le secteur a été visité à pied (en septembre et novembre 2010). Nous disposons d'un profil en long (2005) mais il est dans ce secteur inexploitable.

L'état des lieux et les solutions proposées sont donc basés sur l'analyse de terrain.

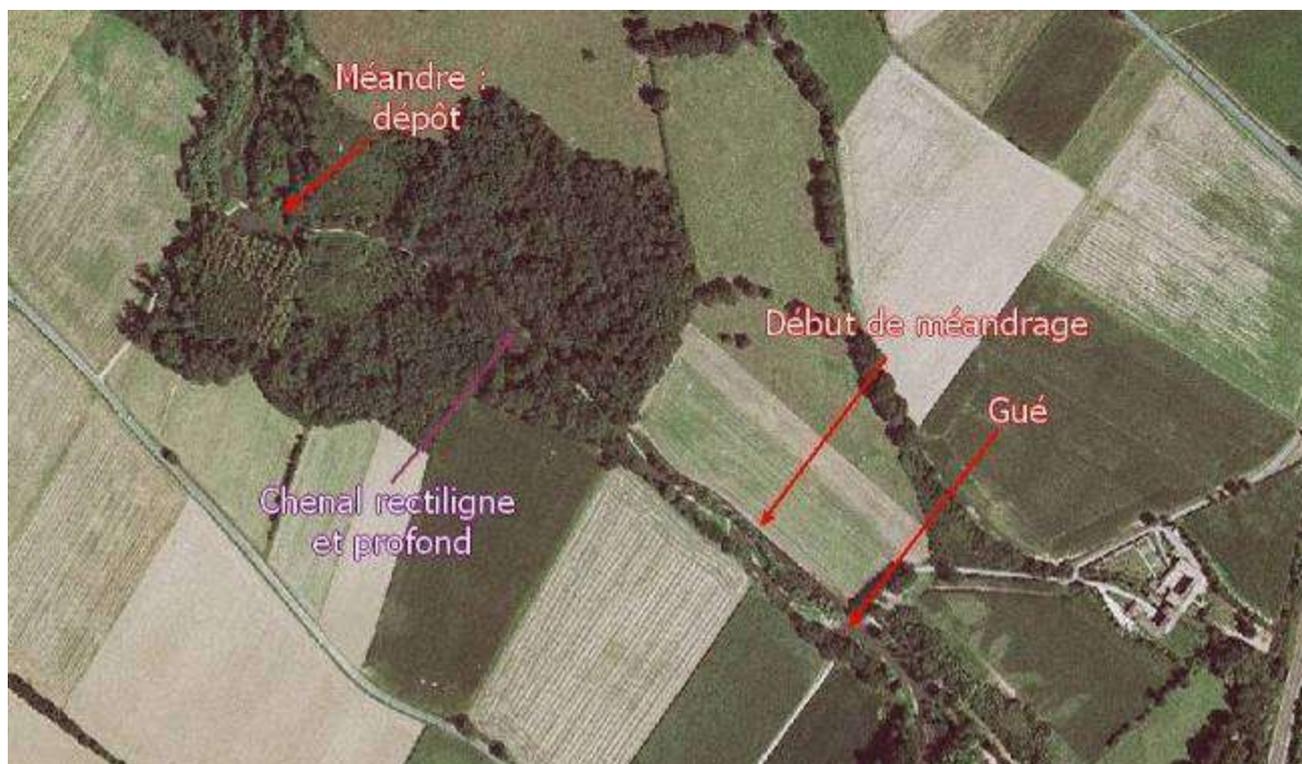


Figure 18 : vue en plan du secteur du gué de Tallard

6.2.1. Analyse de terrain

La Chalaronne en aval du gué de Tallard a été rendue rectiligne par le passé, vraisemblablement pour les besoins de l'agriculture. Il semble que régulièrement le gué se trouve engravé lors des crues. Nous avons pu voir lors de notre passage en septembre 2010 les marques d'un passage d'engin ayant évacué le gravier déposé sur le gué.

Le dépôt en aval du gué est important (plus de 1 m au-dessus du fond du cours d'eau). Il s'est végétalisé (renouée du Japon).

On observe à l'aval du gué un début de mobilité : érosion de berge en rive gauche (Figure 20), dépôt en rive droite. Ce tronçon semble en voie de retrouver sa mobilité, ce qui est confirmé par la photographie aérienne (Figure 18).



Figure 19 : le dépôt à l'aval du gué, déjà bien végétalisé



Figure 20 : érosion de berge en rive gauche ~ 200 mètres en aval du gué

Plus en aval, le cours d'eau a l'aspect d'une demi-canalisation : rectiligne, profond, berges abruptes, constituées de particules fines.

On constate 600 mètres en aval du gué un fort dépôt de matériaux (méandre de la Bourrassière). Lors de notre passage en novembre 2010 le niveau d'eau à l'amont de ce dépôt était haut (le pied

des arbres en berge trempait dans l'eau).

6.2.2. Interprétation – cause du dépôt

Ne disposant pas du profil en long qui permettrait d'en savoir plus sur l'origine des dépôts de matériaux, nous proposons deux interprétations :

- Effet général : le méandre est la cause principale du dépôt au niveau du gué :
 - o Il s'est formé un dépôt de matériaux localisé au méandre (probablement dû au départ à un embâcle)
 - o En crue, ce dépôt de matériaux a un effet barrage, d'où un ralentissement de la vitesse d'écoulement à l'entrée du remous de ce barrage, et donc un dépôt.
- Effet local : Le gué constitue un point dur, qui est la deuxième cause de l'engravement. Le lit ne peut pas « respirer » : son fond est fixe. En crue il provoque une dissipation d'énergie qui se traduit par un dépôt de matériaux en aval.

6.2.3. Evolution attendue

- Si l'on continue à curer les matériaux déposés, les mêmes causes produiront les mêmes effets : les graviers continueront à se déposer.
- Si l'on cure le méandre de la Bourrassière, cela permettra, à moyen terme, de rabaisser le profil en long. Cependant la largeur du méandre laisse présager que sitôt transportés, les matériaux déposés à l'aval du seuil se déposeront de nouveau au méandre, ce qui aura pour effet à nouveau de déposer à l'aval du seuil. Le curage devra être régulier pour conserver son effet.
- Si aucune intervention n'est pratiquée, il y aura une évolution progressive vers un nouvel équilibre :
 - o engraissement du seuil
 - o formation de méandres à l'aval du seuil
 - o dépôt régressif de matériaux : la rivière s'exhausse jusqu'à atteindre un nouveau profil d'équilibre permettant le transit naturel vers l'aval de ses matériaux.

6.2.4. Conclusion

La loi sur l'eau n'autorise les curages dans le lit mineur des cours d'eau que s'ils sont dûment justifiés par des enjeux de sécurité publique et les conditionne à un plan de gestion établi à l'échelle du bassin versant, précisant notamment les niveaux pour lesquels le curage est rendu nécessaire et devenir des matériaux.

En l'état, seul le passage à gué de Tallard est menacé par les engravements. La divagation reste très modérée, les méandres ne se développant qu'à l'intérieur du chenal anciennement rectifié, laissant encore intacte la bande non cultivée en bordure de champs. Nous estimons que les enjeux ne justifient pas, pour l'instant, le curage.

Nous proposons donc de laisser faire la rivière sur ce secteur, sans intervention. La conséquence en sera un élargissement progressif, un gain de méandres et un exhaussement du fond profitable globalement à l'écrêtement naturel des crues.

7. CONCLUSION DE LA PARTIE 2 : INTERET DU RALENTISSEMENT DYNAMIQUE PAR DERECTIFICATION DES COURS D'EAU

Le cahier des charges nous demande de chiffrer les gains attendus en termes hydrauliques des suppressions de merlons et de restauration hydromorphologique.

L'action continue sur tout le linéaire des cours d'eau constitue un des outils de la lutte contre les inondations. C'est un outil non technique, peu invasif, peu coûteux dans la réalisation et aux bénéfices partagés par la qualité de l'environnement (échanges avec la nappes, milieux humides connexes, diversité des écoulements, ombrage du cours d'eau etc.) et des paysages.

Cependant ses effets ne peuvent être appréciés que si l'action est engagée sur des linéaires importants de cours d'eau : les gains de stockage dans un lit mineur élargi ou dans un lit majeur mieux ouvert au débordement sont *au mieux* de l'ordre de la *dizaine de milliers de mètres cubes au kilomètre*. Nous verrons dans la partie 3 que les volumes à engager dans une protection contre les inondations rares (période de retour de 50 ans) sont largement supérieurs : plusieurs centaines de milliers de mètres cubes à stocker.

La gestion purement hydraulique des cours d'eau consiste à écouler rapidement les petites crues pour conserver le maximum de volume pour le stockage des crues rares.

Il peut être démontré qu'au contraire le ralentissement dynamique :

- augmente la fréquence des débordements lors de petites crues
- a une efficacité modérée sur les plus fortes crues : les volumes stockés à la montée de crue ne sont plus disponibles lorsque le débit maximum est atteint

Nous recommandons de laisser progresser la rivière partout où les enjeux situés à proximité le permettent. Avant tout il convient de définir avec les propriétaires riverains, notamment les agriculteurs, ce qu'il convient de considérer comme enjeu : une politique des espaces de liberté peut être mise en place, permettant l'acquisition de terrains situés à proximité des cours d'eau pour favoriser leur expansion, ou la prise en charge par la collectivité des pertes d'exploitation lors des inondations.

Il s'agit donc d'une gestion comparable à la lutte contre les ruissellements à l'échelle de la parcelle : peu visible à court terme, demandant beaucoup de temps mais des investissements modérés. Véritable opération de développement durable, le gain en sera visible sur le long terme et ne sera pas limité à la lutte contre les inondations.

PARTIE 3 : LES OPERATIONS DE RETENTION

8. CADRE LEGISLATIF ET CONTRAINTES DE DIMENSIONNEMENT

8.1. DEFINITION DES OUVRAGES ET DE LEUR CLASSE

Les barrages et digues bénéficient depuis décembre 2007 d'une nouvelle réglementation. Celle-ci a été prévue par la "nouvelle" loi sur l'eau et les milieux aquatiques" n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 dans son article 21. Le décret no 2007-1735 du 11 décembre 2007 en fixe les détails.

L'arrêté du 29 février 2008 fixe des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques.

Les textes distinguent les barrages des digues de protection par leur **fonction** :

Le barrage est destiné à **contenir un volume d'eau** (est donc considéré comme une retenue un étang, un canal,...) alors que la digue est destinée à **soustraire une surface à l'inondation**.

*A ce titre, les ouvrages de ralentissement dynamique projetés sur la Chalaronne sont des **barrages**.*

Les textes définissent pour les barrages les paramètres de Hauteur et de volume retenu :

- **H** est la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel du côté à l'aplomb de ce sommet
- **V** est le volume retenu exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume qui est retenu par le barrage à la cote de retenue normale. Dans le cas des digues de canaux, le volume considéré est celui du bief entre deux écluses ou deux ouvrages vannés.

Les différentes classes de barrages dépendent du facteur de danger $H^2 \times \sqrt{V}$:

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques
A	$H \geq 20$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel $H^2 \times \sqrt{V} \geq 200$ et $H \geq 10$
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H^2 \times \sqrt{V} \geq 20$ et $H \geq 5$
D	Ouvrage non classé en A, B ou C et pour lequel $H \geq 2$

Tableau 5 : définition des classes de barrages

Les ouvrages de la Chalaronne se trouveront tous en classe D (hauteur < 5 m).

8.2. CONTRAINTES LIEES AUX OUVRAGES SUR LA CHALARONNE

Pour ce type d'ouvrage la Loi prévoit les contraintes suivantes :

8.2.1. Contraintes de dimensionnement

Un barrage doit comprendre (cf. Figure 21 ci-contre) :

- Un orifice de vidange,
- Un déversoir de sécurité

La Loi prévoit des contraintes au dimensionnement de ces organes. Elle définit les cotes suivantes :

- Cote de sécurité : c'est la cote du déversoir, à partir de laquelle celui-ci entre en fonction. Elle est calée par le bureau d'études en fonction de la crue de projet.
- Cote des Plus Hautes Eaux (PHE) : c'est la cote maximale atteinte dans la retenue pour la crue de dimensionnement *du déversoir*.
- Cote de danger : c'est la cote de sommet de barrage, à partir de laquelle l'ouvrage est susceptible de surverser hors du déversoir, et donc de rompre.

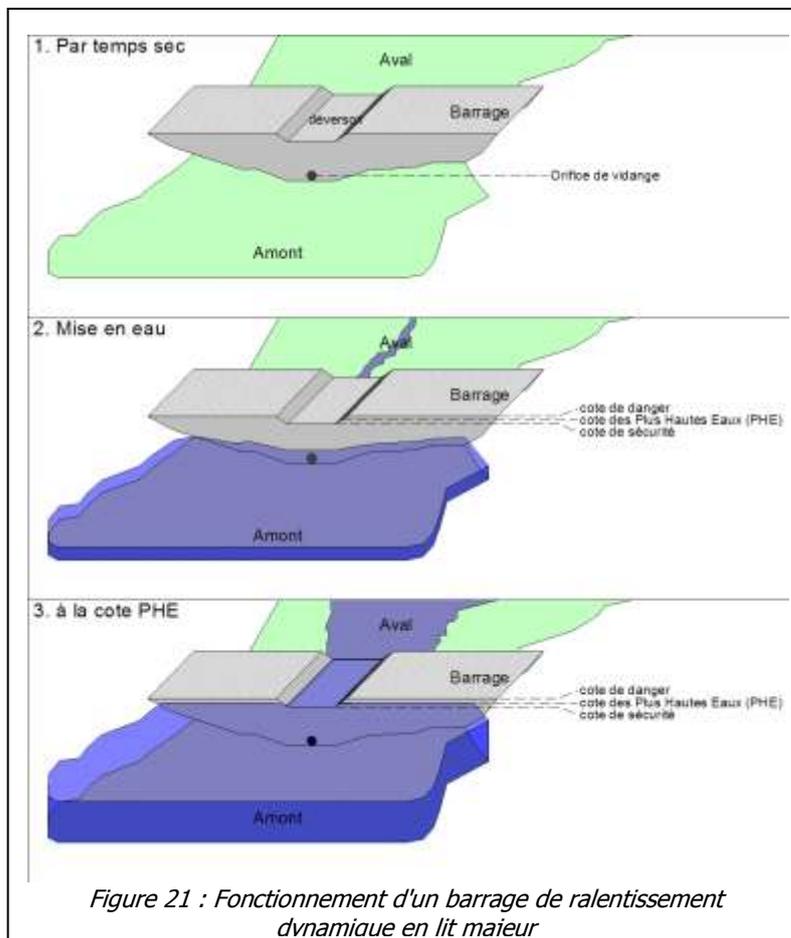


Figure 21 : Fonctionnement d'un barrage de ralentissement dynamique en lit majeur

8.2.1.1. Vidange

La vidange doit être suffisamment lente pour qu'il y ait un réel rôle d'écrêtement des crues, et suffisamment rapide pour éviter l'asphyxie de la végétation dans la retenue. Pour le bassin de la Chalaronne, on tablera sur des temps de vidange de moins de 24 heures.

8.2.1.2. Déversoir de crue

1. Définition de la cote PHE

Le dimensionnement du déversoir doit prendre en compte l'ensemble du bassin versant alimentant la retenue, pour les crues de période de retour suivantes :

$H^2 \times \sqrt{V}$		< 5	5 à 30
Crue de calcul de la cote PHE	Barrage intéressant la sécurité publique	1 000 ans	1 000 ans
	autre barrage	100 ans	500 ans

Dans le cas de la Chalaronne, les barrages intéressant la sécurité publique, la crue de dimensionnement de la cote PHE est la crue millénaire.

2. Définition de la revanche

La revanche est la hauteur entre la cote PHE et la cote de danger.

Les valeurs minimales à prendre en compte selon la dimension du barrage sont :

$H^2 \times \sqrt{V}$	< 5	5 à 30
Revanche	0.40 m	0.60 m

Dans le cas de la Chalaronne, la revanche pourra être de 40 ou 60 cm.

8.2.2. Obligation des responsables d'ouvrages

Les ouvrages en lit majeur de la Chalaronne et autres cours d'eau sont des barrages de catégorie D au sens du décret du 11 décembre 2007. Cependant, le Préfet peut modifier la classe à laquelle appartient un ouvrage pour assurer la prévention des risques et pour la sécurité des biens et des personnes. Ceci peut être le cas pour les ouvrages situés en amont de zones habitées et dont la rupture pourrait avoir des conséquences pour la sécurité publique.

Les ouvrages peuvent donc passer en catégorie C, voire B.

On trouvera ci-dessous un tableau récapitulatif des obligations du responsable d'ouvrage (i.e. le SRTC) :

classe de l'ouvrage	A	B	C	D
étude de dangers	oui	oui	non	non
première mise en eau réglementée	oui	oui	oui	oui
dossier et registre	oui	oui	oui	oui
consignes écrites	oui	oui	oui	oui, pas d'approbation par le préfet

classe de l'ouvrage	A	B	C	D
auscultation de l'ouvrage	oui sauf dérogation	oui sauf dérogation	oui sauf dérogation	non sauf demande particulière
fréquence des rapports de surveillance	1 an, transmis au préfet	≤ 5 ans, transmis au préfet	≤ 5 ans, transmis au préfet	-
fréquence des rapports d'auscultation	≤ 2 ans, transmis au préfet	≤ 5 ans, transmis au préfet	≤ 5 ans, transmis au préfet	-
fréquence des visites techniques approfondies	1 an, compte-rendu transmis au préfet	≤ 2 ans, compte-rendu transmis au préfet	≤ 5 ans, compte-rendu transmis au préfet	≤ 10 ans, compte-rendu transmis au préfet
revue de sûreté	Tous les 10 ans	non	non	non

Tableau 6 : obligations du propriétaire de barrage

9. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE RETENTION

9.1. QUEL VOLUME ? QUEL DEBIT DE FUITE ? UN PEU DE THEORIE...

Un barrage est un ouvrage complexe dont il convient de déterminer les paramètres de fonctionnement optimal.

Le principe de fonctionnement est la rétention pour restitution décalée : lorsque le débit est trop fort et met en péril des installations humaines (ponts, constructions...), une partie de ce débit est stockée dans une retenue pour être restituée après le passage de la pointe de crue.

La Figure 22 ci-dessous montre ce principe sur un cas synthétique :

- Une rivière dont le débit capable est estimé à $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (courbe verte pointillée),
- On cherche à se protéger contre une crue de projet de $45 \text{ m}^3/\text{s}$ en pointe dont l'hydrogramme est figuré en bleu,
- Le dispositif permet de stocker dans un réservoir quand le débit dépasse $20 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Le dispositif permet de stocker pendant une durée de 5 heures (temps de stockage), puis de restituer au cours d'eau le volume stocké (temps de restitution)

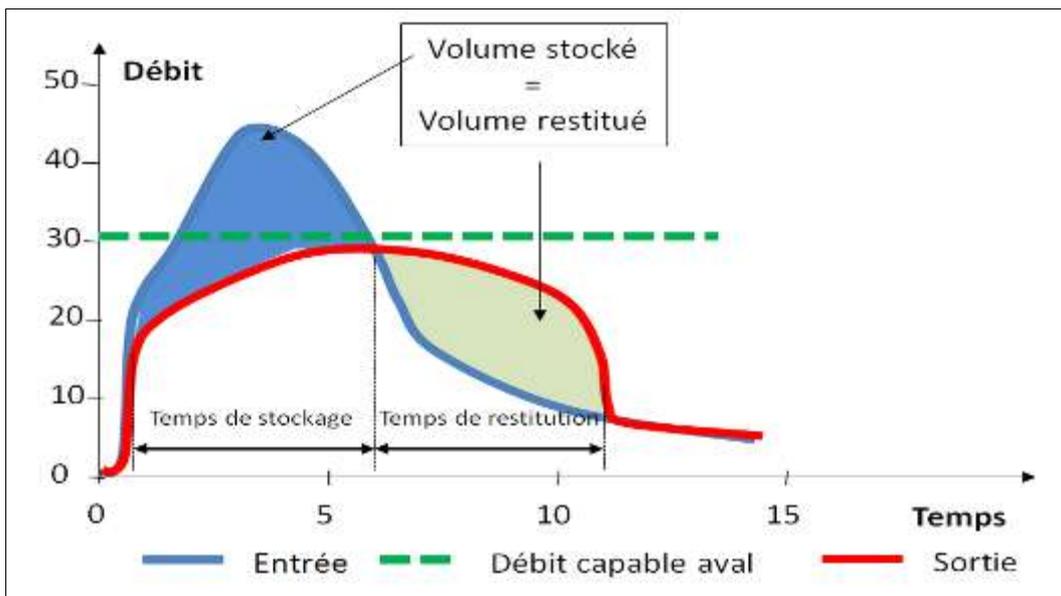


Figure 22: principe du stockage-restitution

Le volume à stocker (Volume objectif de stockage) dépend de trois paramètres :

1. Le débit objectif de protection (courbe bleue) : plus ce débit sera élevé, plus le volume à stocker sera important,
2. Le débit objectif de vidange (débit capable aval, courbe verte en pointillés) : plus ce débit sera élevé, moins le volume à stocker sera important
3. Le système de remplissage et de vidange : seul un système automatisé de vannes permet de retarder le stockage pour ne commencer que lorsque la limite de capacité du tronçon aval est atteinte (cf. Figure 23).

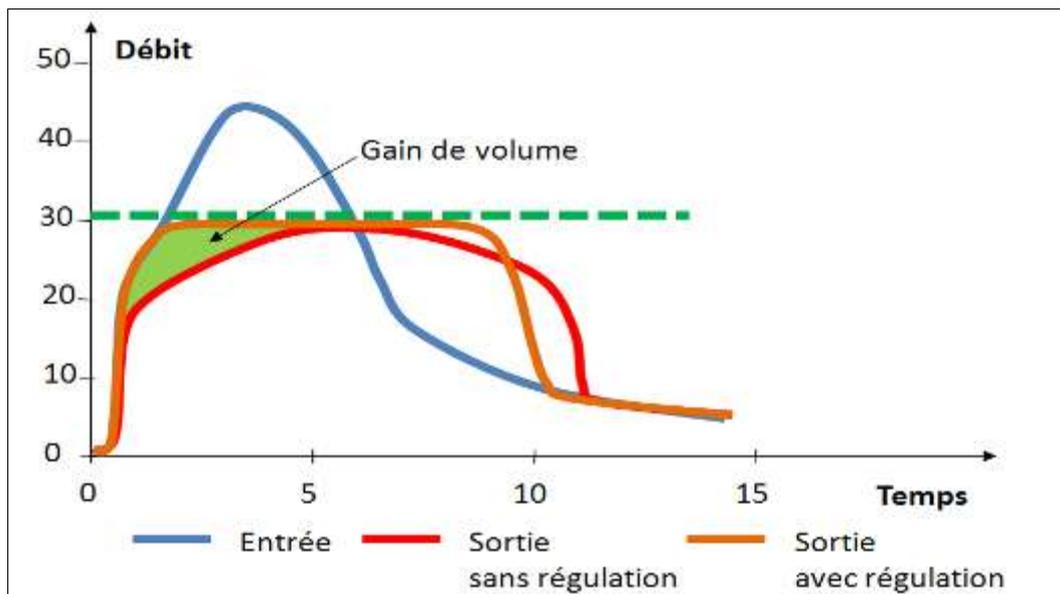


Figure 23 : Intérêt d'un organe régulateur de débit

Le paragraphe suivant détermine, pour les territoires de Chalaronne, ces trois paramètres.

9.2. DIMENSIONNEMENT RETENU POUR LE TERRITOIRE DE CHALARONNE

9.2.1. Volume objectif de stockage

Au stade de l'étude de faisabilité, nous retiendrons les dimensionnements suivants :

1. Débit objectif de protection

- L'expérience montre que l'objectif de protection centennale peut rarement être retenu (manque d'espace, coût trop important)
- De plus il est important de ne pas confondre programme de protection et plan de prévention des risques (PPRi) : cet outil de l'état pour réguler la construction en zone potentiellement inondable se base sur la crue « la plus forte connue et, à défaut, la centennale ». Un programme de protection ne doit en aucun cas être une incitation à poursuivre les installations en zones inondables.
- C'est pourquoi nous proposons un objectif de dimensionnement pour une crue de période de retour 50 ans (cinquantennale)

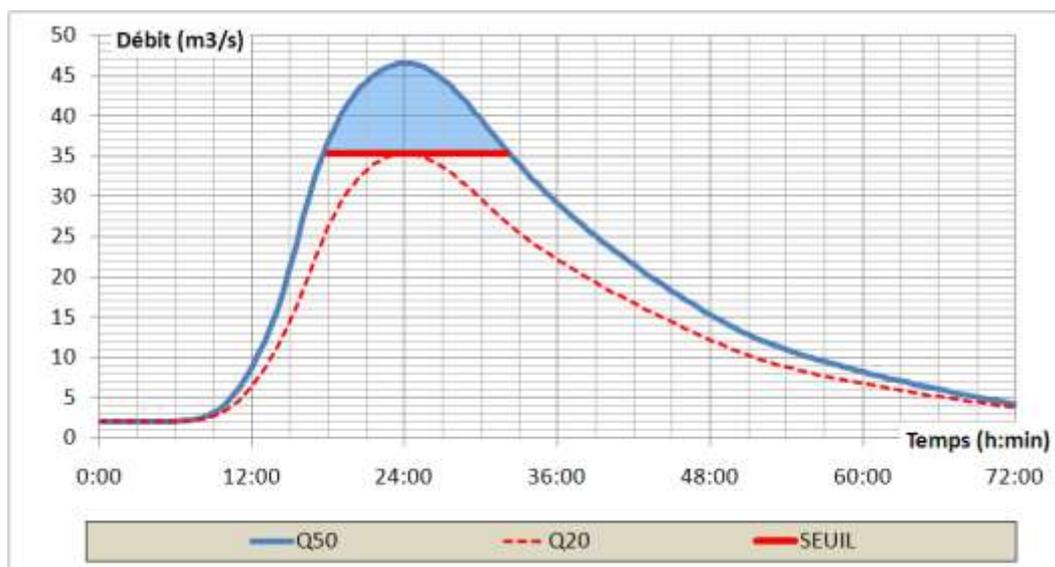
2. Débit objectif de régulation

- Au vu de nos connaissances sur la Chalaronne, et notamment des cartes de zones inondables établies dans l'étude de 2005 et reprise dans l'étude post-crue, nous proposons de retenir la période de retour vicennale (20 ans)

3. Système de remplissage : nous avons considéré que les ouvrages projetés ne comprenaient pas de dispositif automatisé permettant l'optimisation du stockage.

Ainsi, nous définissons un **Volume objectif de stockage** : il s'agit de la différence entre la courbe de débit cinquantennale et le débit « seuil » de période de retour vicennale (cf. Figure 24 ci-dessous). Ce volume est ensuite multiplié par 1,4, pour prendre en compte la rusticité des organes

d'alimentation et de vidange des bassins projetés : pas de régulation dynamique.



9.3. POSITIONNEMENT DES DIGUES

Toutes les digues proposées au cahier des charges ont été étudiées. Par rapport au positionnement initial, nous avons effectué des corrections afin d'utiliser au mieux la topographie des terrains, c'est-à-dire stocker le volume maximum d'eau avec le minimum de matériaux.

25 ouvrages devaient être étudiés selon le cahier des charges. En possession de la topographie totale des sites, nous en avons proposé 4 supplémentaires pour tendre vers une optimisation du positionnement.

Le positionnement des barrages doit être vu à deux échelles :

1. Echelle générale : le bassin versant. A cette échelle doit être défini le volume objectif de stockage, fonction des débits et volumes de crue. On définit à cette échelle plusieurs secteurs susceptibles d'accueillir un barrage (la numérotation est celle du cahier des charges de l'étude, conservée également pour la campagne topographique) :
 - Secteur 8 : Amont de Châtillon
 - Secteur 3 : amont de Saint-Etienne
 - Secteur 2 : Amont de Saint-Didier
 - Secteur 4 : la Glenne
 - Secteurs 5 et 6 : le bief de Valeins
 - Secteur 9 : la Calonne
2. Echelle locale : une fois défini l'objectif de stockage, il convient de rechercher localement un positionnement d'ouvrage adapté : Notre recherche a consisté à évaluer pour chaque site le coût de chaque ouvrage, et de choisir le moins cher. Le coût évalué est directement dépendant de la topographie. Nous avons volontairement considéré la hauteur de 5 mètres comme une limite à ne pas dépasser du fait de l'impact sur les paysages.

9.4. DIMENSIONNEMENT PRELIMINAIRE DES OUVRAGES

9.4.1. Définition des Cotes (cf. définitions en §8.2.1)

- Cote de sécurité : C'est la cote du déversoir. Nous avons défini cette cote comme la cote permettant d'atteindre le volume objectif de stockage (cf. définition §9.2.1).
- Cote des Plus Hautes Eaux (PHE) : C'est la cote maximale atteinte en crue millénale. Nous l'avons placée 40 cm au-dessus de la cote du déversoir, et avons dimensionné la longueur du déversoir de façon à ce que le débit **centennal** passe par le déversoir à la cote PHE.
- Cote de danger : c'est la cote des digues : Nous l'avons placée 40 cm au-dessus de la cote de déversoir.

En somme, pour tous les ouvrages prédimensionnés, les digues sont positionnées 80 cm au-dessus des déversoirs.

9.4.2. Ouvrage de vidange

Ces ouvrages ont pour objectif de laisser transiter la crue vicennale. Ils peuvent revêtir différentes formes. Dans un premier temps nous avons considéré, dans un but de chiffrage préliminaire, des orifices dimensionnés de manière à laisser transiter la crue de période de retour 20 ans avec 1 mètre de charge.

Le calcul de la surface de cadre nécessaire (largeur et hauteur) est donné par la loi de vidange :

$$Q_{20} = \mu \cdot L \cdot H \cdot \sqrt{2g \cdot \left(1 + \frac{H}{2}\right)}$$

- Avec : μ coefficient de contraction $\mu = 0,6$
 L largeur du cadre
 H hauteur du cadre
 g accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

9.4.3. Déversoir

L'objectif du déversoir est de laisser passer la crue centennale avec 40 centimètres de charge. Nous avons donc déduit sa longueur par la formule de déversoir :

$$Q_{100} = \mu \cdot L \cdot \sqrt{2g \cdot (0,4)^3}$$

- Avec : μ coefficient de déversoir $\mu = 0,4$
 L longueur du déversoir
 g accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

9.5. MODE DE CONSTRUCTION

9.5.1. Corps de digue

Le corps de digue (Figure 25) est constitué en matériaux pris sur place et recompressés. Il est imperméabilisé à l'amont par un parement en matériaux argileux et drainé en pied par un tapis en matériaux graveleux 10/30. Il est recouvert d'une couche de terre végétale et entièrement végétalisé.

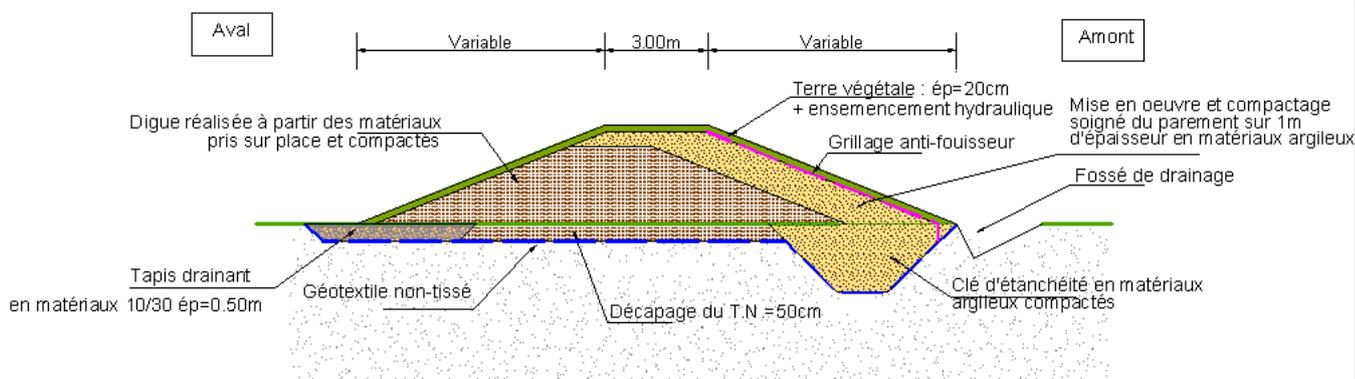


Figure 25 : coupe type, corps de digue

9.5.2. Déversoir

Le déversoir (Figure 26), construit de la même manière que le corps de barrage et végétalisé, bénéficie en plus de protections particulières contre tout risque d'érosion en crête et d'affouillement en pied.

- Protection en crête : elle se fait par le calage de deux longrines en béton coulées sur place : les tranchées sont creusées dans le déversoir compactée, puis l'armature métallique y est positionnée et enfin le béton coulé. Cette technique permet un calage précis et invariant dans le temps de la crête de barrage¹.
- Protection du parement aval : Il se fait par un grillage double torsion assorti d'une géogrille polypropylène tridimensionnelle. L'avantage de la géogrille est de fixer la terre et les graines jusqu'à la reprise végétale, et de protéger le parement pendant toute la durée de celle-ci.
- Protection du pied de barrage : il se fait par un matelas en gabions peu épais, de longueur égale à trois fois la hauteur de déversoir. L'avantage de cette protection « souple » est de pouvoir se plier en cas d'affouillement à l'aval.

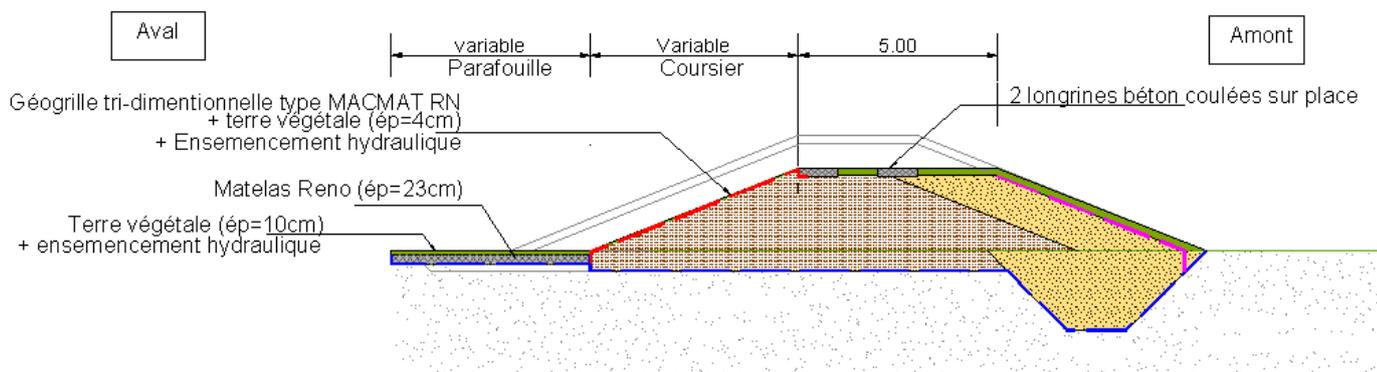


Figure 26 : coupe-type, déversoir

¹ La faiblesse des crêtes de digues et leur irrégularité avait particulièrement été montrée du doigt par les experts qui ont travaillé sur la catastrophe de la Savoureuse (Territoire de Belfort, 2000),

9.6. CHIFFRAGE

Le chiffrage des ouvrages étudiés est détaillé en annexe 2. On trouvera dans cette annexe :

- Le bordereau des prix élémentaires des matériaux et de leur mise en œuvre
- Le coût total de chaque ouvrage, comprenant :
 - o Le coût des travaux
 - o Le coût d'acquisition des terrains
 - o Le coût d'entretien

NB : Tous les chiffrages sont arrondis

9.6.1. Coûts des travaux

9.6.1.1. Estimations de base

Les coûts présentés en annexe 2 s'entendent en **euros hors taxes, valeur 2011** et n'incluent pas les frais généraux de chantier ni les missions d'étude complémentaires restant à mener (topographie, Missions de Maîtrise d'œuvre, de CSPS...) dont les coûts sont estimés sur la base d'un pourcentage appliqué sur le montant brut de réalisation des travaux (cf. paragraphe 9.6.1.2).

Il est important de noter qu'à ce stade de la conception des aménagements (pré faisabilité), **un aléa technique à forte répercussion financière demeure concernant la source et la destination des matériaux de déblais et remblais des terrassements, ainsi que leur disponibilité.**

Par rapport à cet aléa, le chiffrage a été mené de la façon suivante :

- Les matériaux d'apport pour remblai sont considérés être prélevés par déblai sur les autres sites d'aménagement de la vallée ;
- Les déblais excédentaires sont supposés mis en dépôt à proximité ;
- Pour tenir compte des incertitudes de réutilisation des matériaux et/ou évacuation à proximité des sites, un aléa financier relatif à ces surcoûts potentiels a donc été appliqué sur tous les montants.

Ce surcoût a été pris égal à 10% du montant total des travaux.

9.6.1.2. Frais complémentaires de travaux

On a compté dans ces frais :

- Les frais généraux de chantier, **estimés à 15% du montant total des estimations des ouvrages** intègrent :
 - Les frais d'installations de chantier : amenée des engins, bungalows de chantier, sécurité et signalisations,
 - Les frais d'études d'exécution spécifiques,
 - Les frais de topographie : piquetage, suivi en cours de chantier et rendu des Dossiers d'Ouvrages Exécutés,

- Les frais de dérivations provisoires des eaux pour les travaux en lit mineur
 - Les frais associés aux dispositifs de protection de l'environnement (plate-forme étanche pour stationnement, bacs de décantation aval aux pompes...)
 - Les frais de gestion administrative du chantier.
- Les investigations complémentaires avant démarrage des travaux et les frais d'étude et de coordination de ces travaux, nécessaires à la réalisation effective des ouvrages, **sont pris en compte à hauteur de 15 % du montant cumulé des estimations des ouvrages et des frais généraux et imprévus**, et comprennent :
- Etudes complémentaires
 - Missions topographiques complémentaires
 - Missions d'acquisition foncière
 - Missions de Maîtrise d'œuvre
 - Coordinateur SPS

9.6.1.3. Synthèse

Au total, pour chaque Euro de travaux estimé s'applique :

Stade de calcul	Prix	Valeur €
Travaux	A	A = 1.00 €
yc Incertitudes Quantités	0.1*A	B = 1.10 €
yc Frais généraux de chantier	0.15*B	C = 1.27 €
yc Maîtrise d'œuvre et investigations complémentaires	0.15*C	D = 1.45 €

Tableau 7 : Coût des travaux : mode de calcul des frais complémentaires de travaux

Au total, les frais complémentaires à l'estimation de base des ouvrages sont estimés à +45%.

9.6.2. Coûts d'acquisition des terrains

Les coûts d'acquisition des terrains ont été pris en compte dans la présente étude. Ils représentent un surcoût variable selon la valeur des terrains et le nombre des propriétaires concernés.

La construction de casiers de surinondation nécessite d'acquérir :

- L'emprise des digues
- L'emprise d'un chemin d'entretien le long des digues

En revanche, il n'est pas nécessaire pour la collectivité d'acquérir la totalité des emprises de zones inondables. Ces emprises peuvent simplement faire l'objet de convention de surinondation avec les propriétaires, qui récupèrent une indemnisation lorsque leurs terres sont inondées.

Les coûts d'acquisition des terrains comprennent :

- Le prix du terrain au m² (à estimer par les Domaines)
- Les frais de notaire
- Les frais d'étude et procédure éventuels (DUP au besoin)

Au total, le coût d'acquisition a été globalisé à 2,50€/m²

9.6.3. Coûts d'entretien

L'entretien des ouvrages : barrages en terre, chenaux, banquettes en lit mineur, consiste essentiellement à de l'entretien de végétation : fauchage des herbacées, traitement des espèces invasives : voir le bordereau en annexe 2.

Il faut aussi compter sur les barrages :

- 2 visites annuelles d'inspection (non chiffré, réalisé par le personnel du syndicat) :
 - Repérage des affaissements, glissements, fissures
 - Repérage et traitement des éventuels terriers d'animaux
 - Vérification de la non obstruction des vidanges
 - Repérage des suintements
- Des contrôles topographiques de la crête (contrôle des tassements : coût globalisé à 400€/an) :
 - Contrôles programmés :
 - 1 an après travaux
 - 3 ans après travaux
 - Puis tous les 5 ans
 - En cas de remplissage
 - En cas de désordre majeur constaté lors des surveillances visuelles

10. ZONAGE REGLEMENTAIRE

Nous avons regardé pour chaque secteur si les ouvrages potentiels se trouvaient sur des zones de réglementation spécifique (Natura 2000, Protection du biotope...), ou recensées comme d'intérêt pour la faune ou la flore (ZNIEFF, ZICO...). Le résultat de cette démarche est résumé dans le tableau ci-dessous :

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Zones de réglementation spécifique									
Réserve naturelle	NON								
Site classé	NON								
Parc national	NON								
Natura 2000 – Directive habitats	NON								
Natura 2000 – Directive oiseaux	NON								
Zone humide Ramsar	NON								
APB	NON								
Zones sans réglementation spécifique mais où un intérêt est identifié et doit être pris en compte dans le projet									
Parc régional	NON								
ZNIEFF 1	NON	OUI							
ZNIEFF 2	OUI	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI
ZICO	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	NON
Tourbières	NON								

Tableau 8: position des secteurs vis-à-vis des engagements de protection de l'environnement

On constate que des précautions particulières liées aux enjeux environnementaux devront être prises au niveau des secteurs 1, 7, 8 et 9. Ces précautions seront à déterminer avec l'autorité environnementale locale.

11. ANALYSE DE 28 SITES SUR 7 SECTEURS DISTINCTS

11.1. PRESENTATION GENERALE DES SITES ETUDIES

L'ensemble des sites ayant fait l'objet d'une étude spécifique visant au ralentissement dynamique des crues et à leur écrêtement est représenté sur la Figure 27. Ces sites ont été déterminés par une approche multicritère issue dans un premier temps d'une analyse des crues passées (et bibliographie des études réalisées) associée à une approche de terrain. Chaque secteur a ensuite fait l'objet d'une topographie du terrain naturel par technique aérienne.

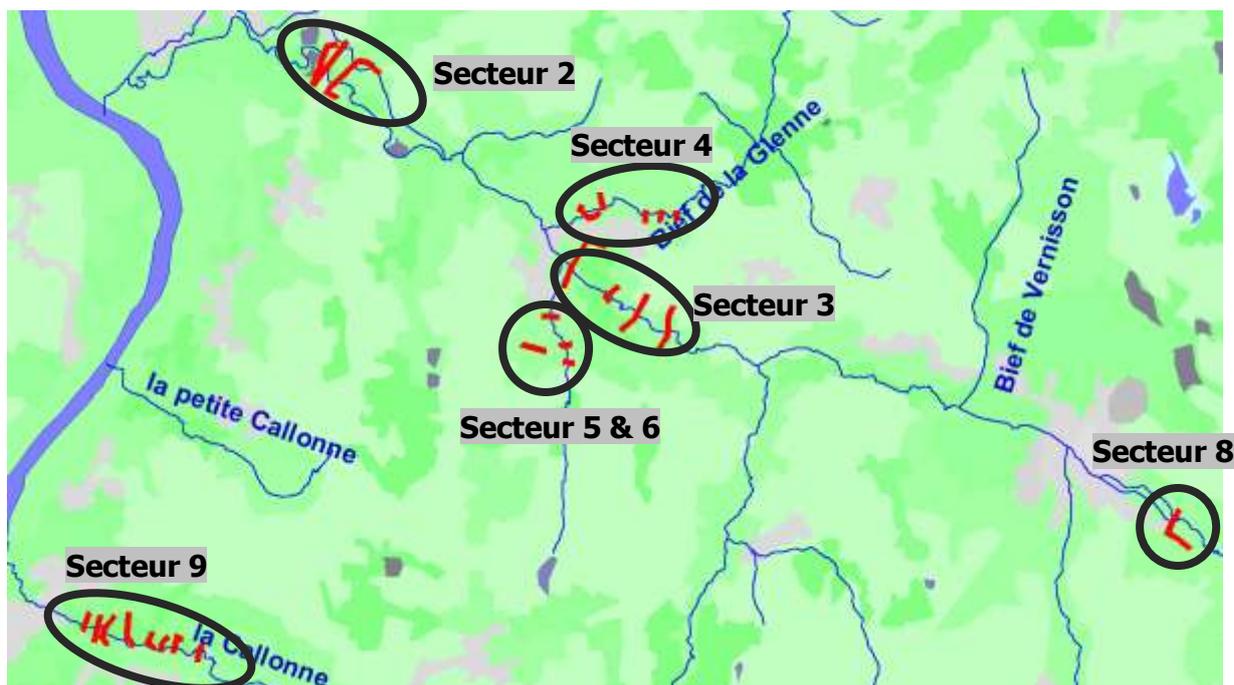


Figure 27 : localisation des sites étudiés.

La topographie a notamment permis de déterminer précisément le volume de rétention envisageable en fonction des hauteurs de digues. L'examen de la topographie a été confronté avec l'analyse hydrologique qui a permis de définir des objectifs de rétention en termes de volume.

☞ **En accord avec le maître d'ouvrage, nous avons retenu comme objectif de protection la crue cinquantennale.**

11.2. LA CHALARONNE

11.2.1. Secteur 8 : amont Châtillon

11.2.1.1. Situation géographique

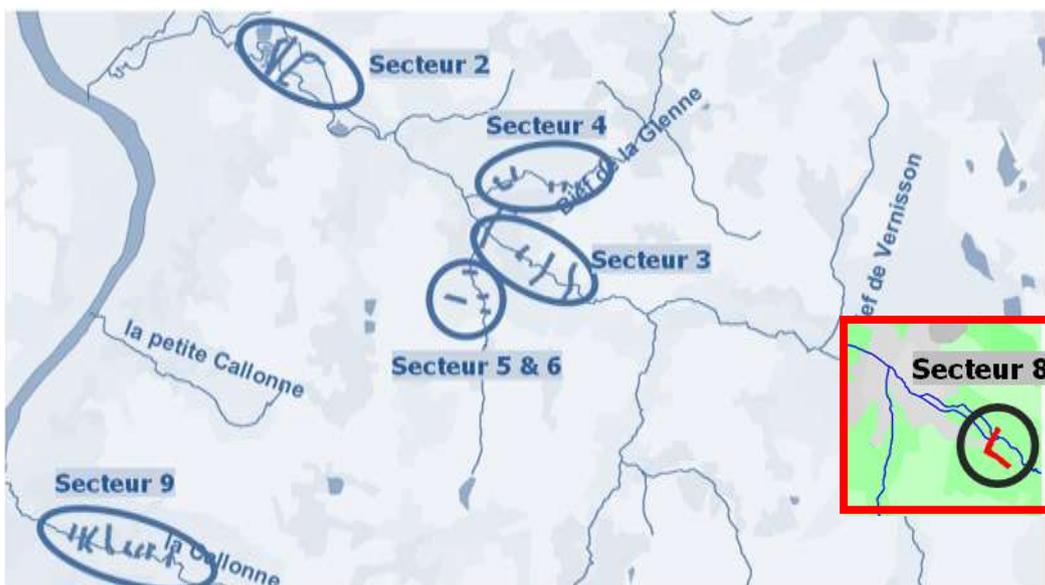


Figure 28 : localisation du secteur 8



11.2.1.2. L'optimum rencontré

Le résumé de la capacité de rétention du site est présenté dans le tableau ci-dessous :

Secteur 8	Volume à retenir : 530 000 m³		
	Hauteur maximale au déversoir	Capacité maximale	Pourcentage
S8A	4,2 m	530 000 m ³	100 %

Pour atteindre l'objectif de rétention sur ce secteur, l'association de l'analyse hydrologique et topographique met en évidence qu'il est nécessaire de réaliser une seule digue caractérisée par deux tronçons. Le premier, perpendiculaire à l'écoulement de 350 mètres de long avec une hauteur maximale (par rapport au déversoir) de 4,2 m. Le second, parallèle à la route du Grobou aura une hauteur maximale d'environ 2,8 mètres.

Les caractéristiques de cette préconisation sont reprises par les deux figures suivantes.

Le coût estimatif de ce bassin est de 1,2 millions d'euros.

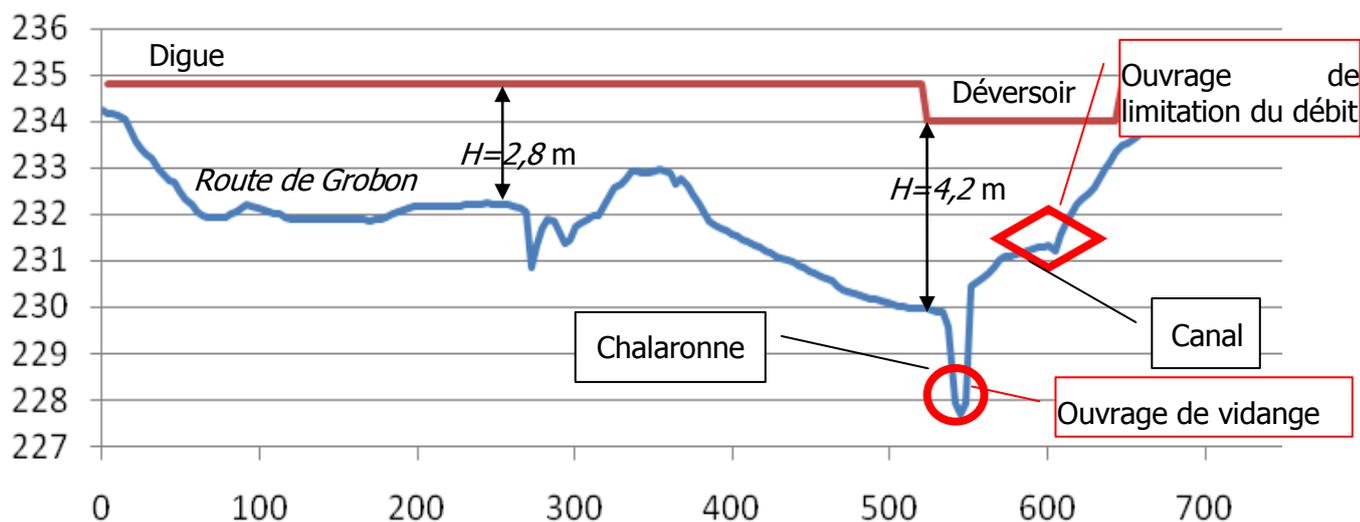


Figure 29 : profil en travers de l'ouvrage préconisé sur le secteur 8

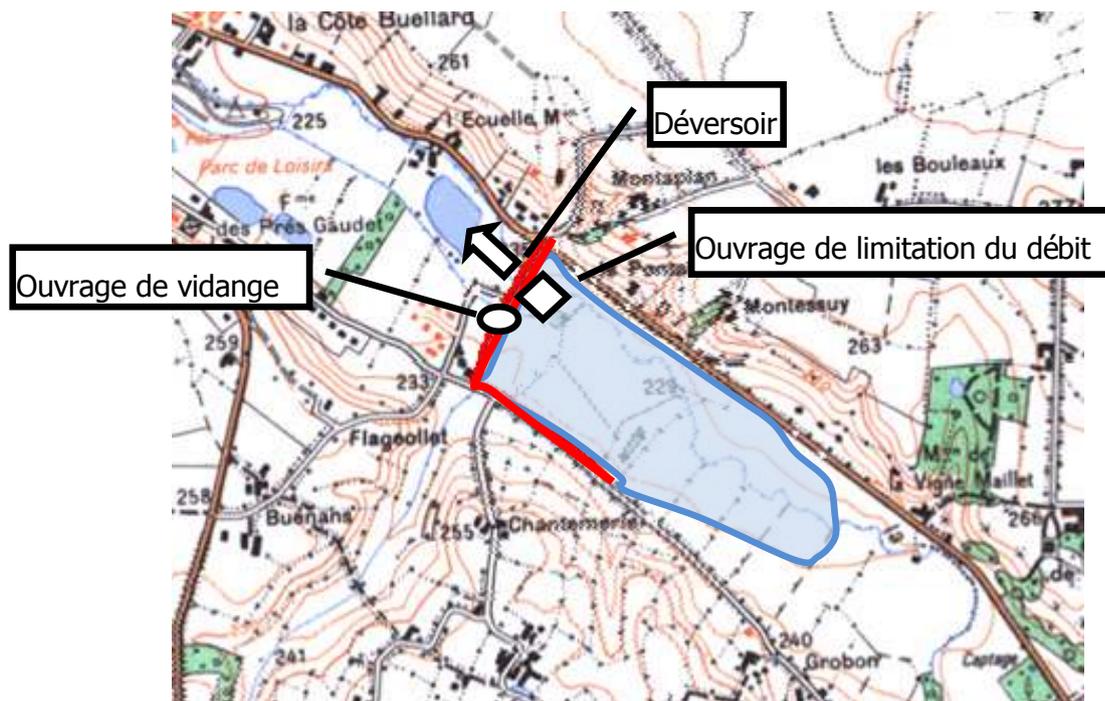


Figure 30 : emprise maximale lorsque l'ouvrage est en eau (en bleu) et localisation des ouvrages.

L'étude d'avant projet devra définir précisément les caractéristiques des ouvrages singuliers (dimensions, optimisation de leur positionnement, électromécanique éventuelle permettant un gain en volume à stocker...). En outre, il faudra également étudier l'éventuelle création de deux bassins de rétention en série qui permettrait de diminuer la hauteur de digue.

11.2.1.3. L'intérêt général du secteur

Situé le plus en amont de tous les secteurs de l'étude, il présente par conséquent l'avantage d'être le seul site à pouvoir protéger la ville de Chatillon. La rétention de l'eau en amont du bassin versant permet aussi « d'alléger » le réseau aval. La mise en place d'un tel ouvrage participera donc à diminuer le volume à retenir pour les éventuels ouvrages situés en aval.

La réutilisation des éléments structurants le terrain naturel permet de diminuer le volume de digue et, de fait l'investissement. Pour une protection optimale de Chatillon et compte tenu de la réutilisation partielle de la route du Grobon, on constate que le prix du mètre cube d'eau stocké est faible.

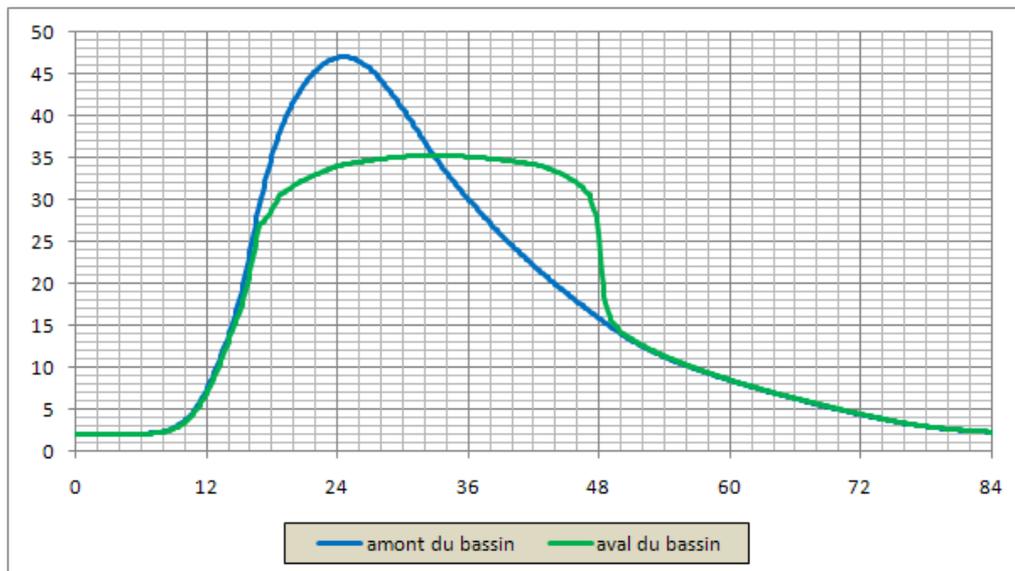


Figure 31 : hydrogrammes amont / aval du bassin de rétention à Châtillon

Caractéristiques clés du secteur :

- ☞ Situé le plus en amont → protection de Chatillon
- ☞ Utilisation partielle de la route → cout de m³ stocké faible
- ☞ Possibilité d'utilisation du canal et de la Chalaronne pour ouvrage d'entrée et de vidange à débit limité
- ☞ Coût de l'ouvrage : 1 200 000 €

11.2.2. Secteur 3 : amont Saint-Etienne

11.2.2.1. Situation géographique

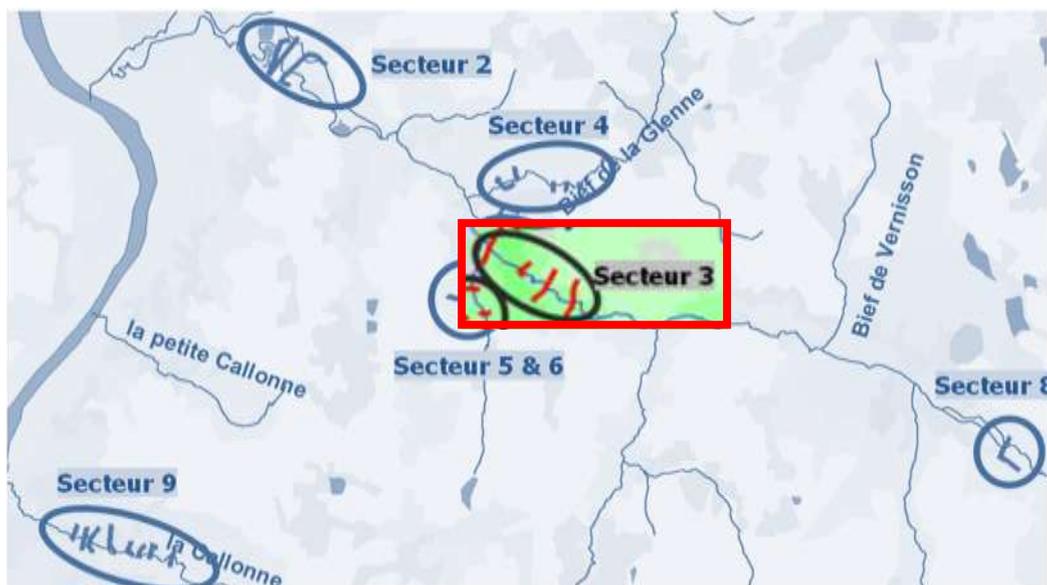
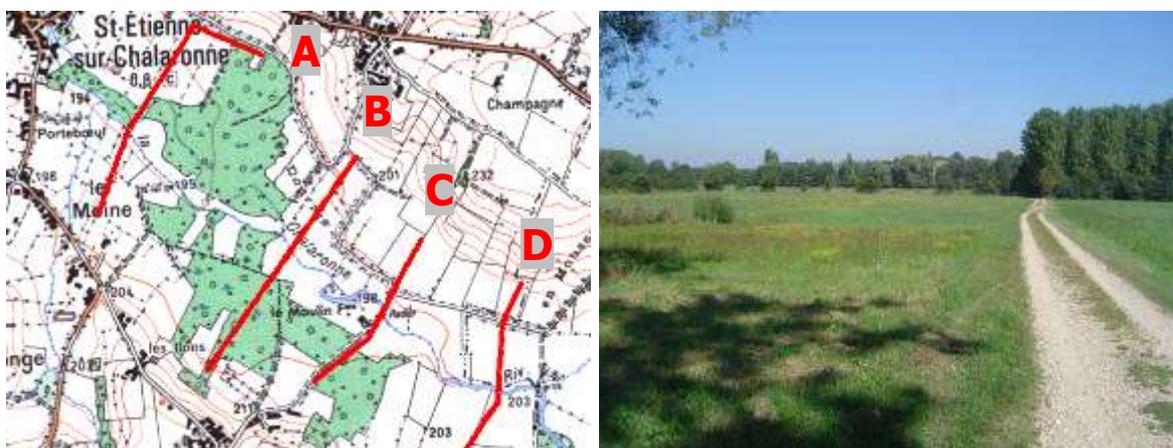


Figure 32 : localisation du secteur 3



En amont de Saint-Etienne-sur-Chalaronne, la topographie du secteur est caractérisée par une pente très faible. L'occupation du sol est structurée par une alternance de bois et de prairies limitant les enjeux liés à l'activité agricole (pas ou peu d'enjeux liés à la sécurité des personnes).

11.2.2.2. L'optimum rencontré

Ce secteur a fait l'objet de quatre tests de capacité. On obtient les résultats ci-dessous :

Secteur 3	Volume à retenir :		752 000 m ³ (530 000 m ³ avec rétention secteur 8)
	Hauteur maximale au déversoir	Capacité maximale	Pourcentage
S3A	3 m	271 000 m ³	36 %
S3B	3,5 (attention : inondation du moulin amont)	1 000 000 m ³	133 %
S3C	3 m	222 000 m ³	30 %
S3D	4 m	880 000 m ³	117 %

	3.3 m	560 000 m ³	100 % de l'objectif si création rétention sur secteur 8
--	-------	------------------------	---

Les essais A et C montrent des résultats qui ne satisfont pas aux objectifs. A partir d'une faible hauteur d'eau au sein de la digue S3B, le moulin situé en amont serait inondé. Par conséquent, si un ouvrage de rétention devait être réalisé sur ce secteur, nous préconiserions la réalisation de la digue S3D. Elle est située en aval de la confluence des deux bras de la Chalaronne, cette digue permettrait l'utilisation de la zone dite de l'Ile.

La capacité de rétention est égale au volume à retenir pour une hauteur de digue comprise entre 3,5 et 4 mètres de haut, pour une longueur de digue de près de 700 mètres.

11.2.2.3. L'intérêt général du secteur

Ce secteur permet de protéger la ville de Saint-Etienne face aux inondations liées aux crues de la Chalaronne. Il est donc techniquement possible de faire une protection face aux crues cinquantennales de la Chalaronne, cependant, la rétention par sur inondation (endiguement) est disproportionnée et ne nous apparaît pas ici comme une solution satisfaisante.

La création du volume de sur inondation du secteur 8 permet de diminuer les volumes à retenir sur ce secteur. En terme de hauteur de digue, le gain est de 70 cm ; autrement dit, la protection de Saint-Etienne face à une crue cinquantennale de la Chalaronne est donc possible sur ce secteur avec une hauteur de digue au niveau du déversoir de 3,30 m (soit 4,10 de hauteur de digue).

Ajoutons que la protection de Saint-Etienne ne doit pas être résumée à la seule mise en place d'un ouvrage de type digue sur le cours d'eau de la Chalaronne. En effet, les dégâts liés à la crue de 2009 ont principalement été engendrés par la Glenne et le bief de Valeins (secteurs 4, 5 et 6).

Caractéristiques clés du secteur :

- ☞ Possibilité technique de protéger Saint-Etienne pour une crue d'occurrence cinquantennale
- ☞ Diminution de 70 cm de hauteur de digue si réalisation de rétention sur le secteur 8
- ☞ Coût de l'ouvrage
 - H = 4m (880 000 m³) : 1 850 000 €
 - H = 3.3m (530 000 m³) : 1 450 000 €

11.2.3. **Secteur 2 : Amont Saint-Didier**

11.2.3.1. Situation géographique

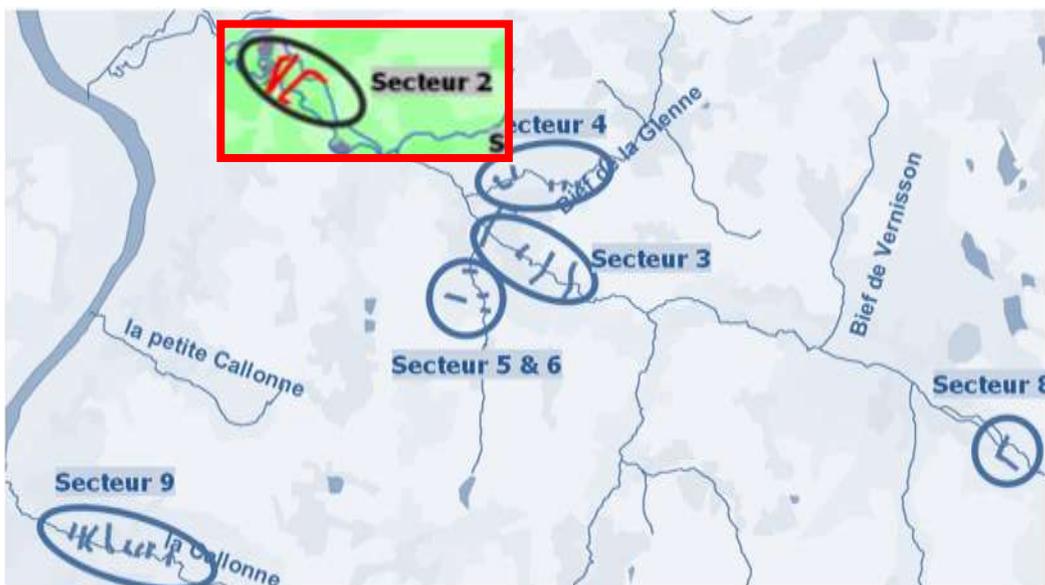
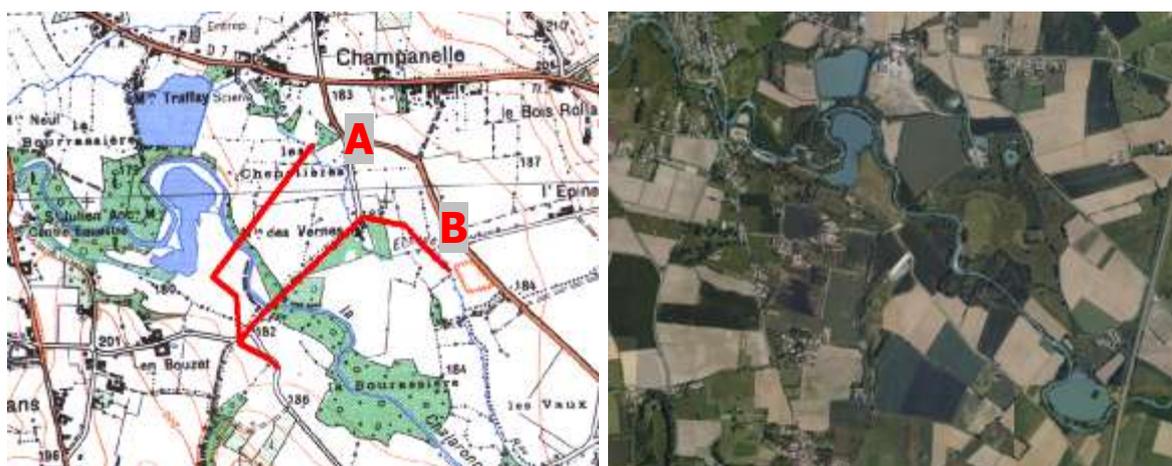


Figure 33 : localisation du secteur 2.



Très marqué par l'activité agricole, ce secteur représente la dernière zone en amont de Saint-Didier sur Chalaronne. Il se situe à proximité de la confluence avec la Saône, il récolte donc la quasi-totalité des eaux du bassin versant étudié. Les volumes transitant associés aux crues sont donc très importants.

11.2.3.2. L'optimum rencontré

Secteur 2	Volume à retenir :		
	Hauteur maximale au déversoir	Capacité maximale	Pourcentage
S2A	3 m	780 000 m ³	81 %
S2B	4 m	900 000 m ³	94 %

Compte tenu de sa situation géographique, le volume d'eau à retenir pour protéger Saint-Didier pour une crue cinquantennale est très élevé (960 000 m³). Ce fort volume implique donc des

hauteurs de digue importantes. On rencontre l'optimum de rétention sur le secteur S2B avec une hauteur maximale au niveau du déversoir de quatre mètres soit une hauteur de digue de 4,80 m.

Si les ouvrages amont (Secteur 8 à Châtillon ; secteur 3 à Saint-Etienne) sont réalisés, le volume objectif de stockage n'est plus que de 300 000 m³.

11.2.3.3. L'intérêt général du secteur

Rappelons qu'un ouvrage de rétention de ce type ne permet pas la protection cinquantennale de la commune de Saint-Didier face au risque d'inondation de l'ensemble des cours d'eau. En effet, la protection de la ville doit être associée à des ouvrages liés aux affluents (Poncharrat et les Echudes).

Par conséquent, nous ne préconisons pas de casier de surinondation sur ce secteur, mais nous rappelons que tous les ouvrages qui seront réalisés sur l'amont du bassin versant seront bénéfiques pour le transit des crues sur l'aval. Aussi, des solutions alternatives sont possibles, nous pensons par exemple à des ouvrages ponctuels d'abaissement de berge là où les enjeux sont faibles et des aménagements de restauration de l'espace de mobilité du cours d'eau (amont du méandre du moulin des Vernes, utilisation de la zone humide associée en période de crue...).

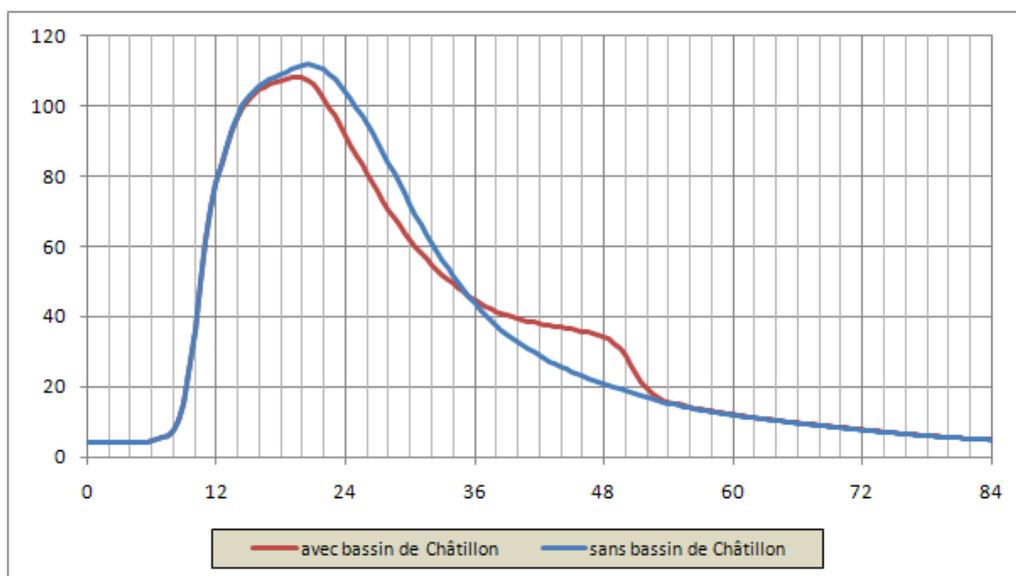


Figure 34 : hydrogramme à Thoisse pour scénario de crue cinquantennale

Caractéristiques clés du secteur :

- ☞ Rétention disproportionnée puisque le secteur est situé en aval de bassin versant
- ☞ Les aménagements amont bénéficient également, dans une moindre mesure, aux communes de Saint-Didier et Thoisse.
- ☞ Coût de l'ouvrage
 - H = 4m (900 000 m³) : 2 200 000 €
 - H = 2.3m (300 000 m³) : 1 000 000 €

11.3. LES AFFLUENTS ET LA CALONNE

11.3.1. Secteur 4 : la Glenne

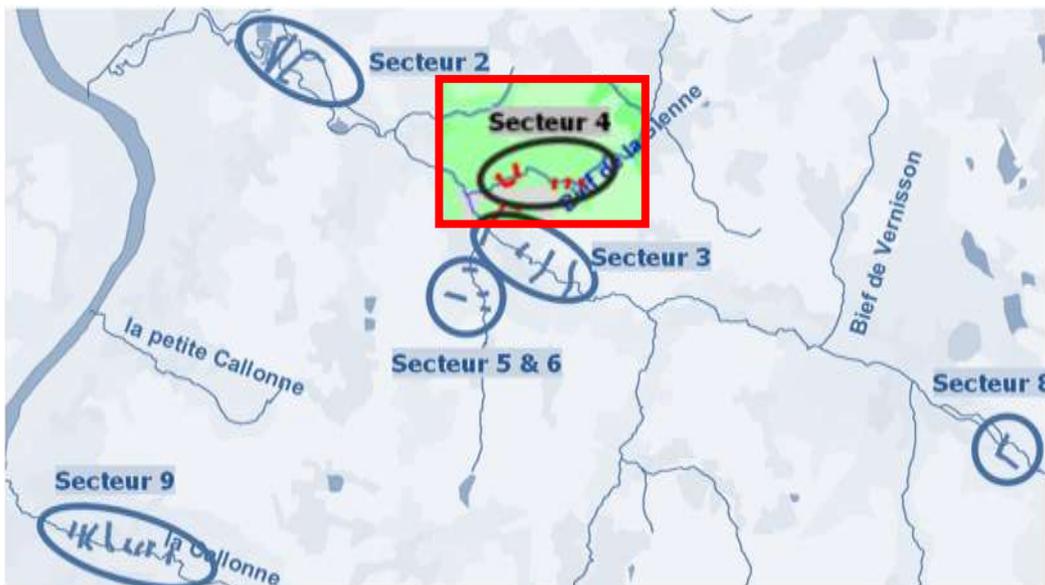


Figure 35 : localisation du secteur 4.



La Glenne est un affluent de la Chalaronne qui en 2009 a causé des dommages particulièrement importants sur la commune de Saint-Etienne. Ce cours d'eau possède un bassin versant de taille restreinte (18 km²).

11.3.1.1. L'optimum rencontré

Secteur 4	Volume à retenir : 100 000 m ³		
	Hauteur maximale au déversoir	Capacité maximale	Pourcentage
S4A	3,7 m	100 000 m ³	100 %
S4B	3 m	70 000 m ³	70 %

S4C	3,5 m	73 000 m ³	73 %
S4D	3,5 m	55 000 m ³	55 %
S4E	3 m	30 000 m ³	30 %

Sur ce secteur, le pont de la route départementale induit déjà une réduction du débit, et joue par conséquent le rôle de régulation (en période de crue). De ce fait, la digue S4A engendrerait des travaux de moindre importance par rapport aux sites B, C et D. Toutefois, il ne nous semble pas intéressant de réaliser une digue d'une hauteur supérieure à la route départementale 7.

Par conséquent et malgré la possibilité d'une rétention efficace, nous préconisons l'utilisation naturelle de la zone amont comme zone de rétention sans toucher au pont de la RD7 mais nous proposons le recalibrage (ou démolition) du pont aval pour qu'il n'influe plus sur le transit des crues (Figure 36). Le volume stocké sera de 20 000 m³ avant débordement au dessus de la route. Un léger modelé de la route pourra éventuellement être fait pour diriger la surverse vers le lit aval de la Glenne. Avant débordement, le débit sera de 18 m³/s (environ la crue vicennale). La capacité du lit aval devra être dimensionnée, par la création d'une risberme, pour ce débit.



Figure 36 : pont en aval de la RD7 à recalibrer

Pour une protection cinquantennale, nous proposons la création d'une surverse dimensionnée pour le transit de la différence entre la crue cinquantennale et la capacité maximale du lit aval. Cette surverse pourra être du type fossé à faible pente et/ou simple modelé de terrain agricole. La figure ci-dessous localise nos préconisations.

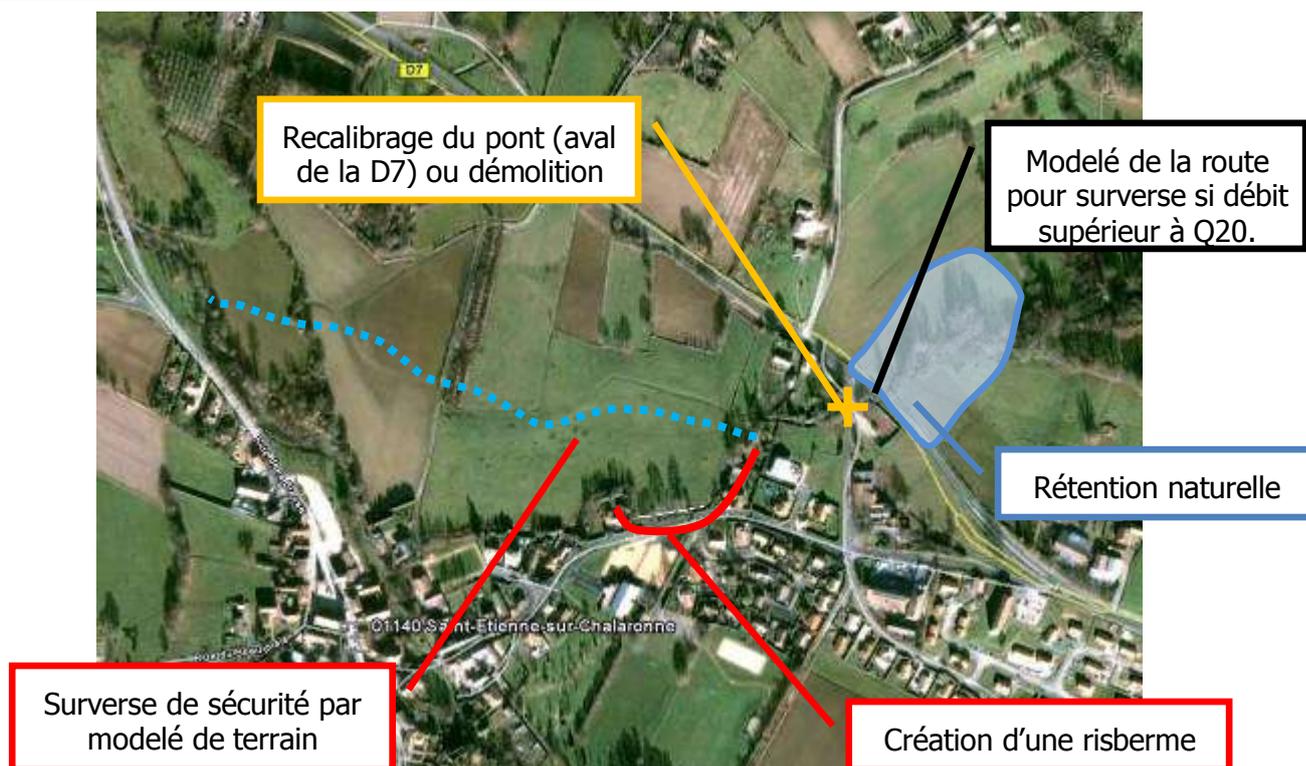


Figure 37 : localisation des préconisations du secteur 4 (La Glenne)

☞ On trouvera en annexe 3 une coupe-type des opérations de risberme et modelé de terrain.

11.3.1.2. L'intérêt général du secteur

Ce secteur est le seul qui permet de laminer les crues de la Glenne pour protéger Saint-Etienne sur Chalaronne. La protection cinquantennale est possible sans créer un ouvrage de rétention surdimensionné (simplement un recalibrage du lit aval et une surverse par modelé de terrain).

L'analyse temporelle des débits de pointe après rétention à l'amont (secteur 8) de la Chalaronne et de la Glenne montre qu'il n'y a pas concomitance des pics de crue. De fait, le recalibrage de la Glenne n'induirait pas d'augmentation de débit sur la Chalaronne.

Caractéristiques clés du secteur :

- ☞ Situé en amont immédiat Saint-Etienne → seul secteur pour la protection des crues de la Glenne
- ☞ Adapté à la restauration hydromorphologique aval
- ☞ Recalibrage du pont situé à l'aval immédiat de la RD 7
- ☞ Création d'un fossé par modelé de terrain agricole
- ☞ Pas d'augmentation du débit de pointe de la Chalaronne
- ☞ Coût des opérations :
 - Recalibrage du pont et modelé de la route amont 350 000 €
 - Chenal de dérivation 120 000 €
 - Restructuration du lit mineur 80 000 €

11.3.2. Secteurs 5 et 6 : le bief de Valeins

11.3.2.1. Situation géographique

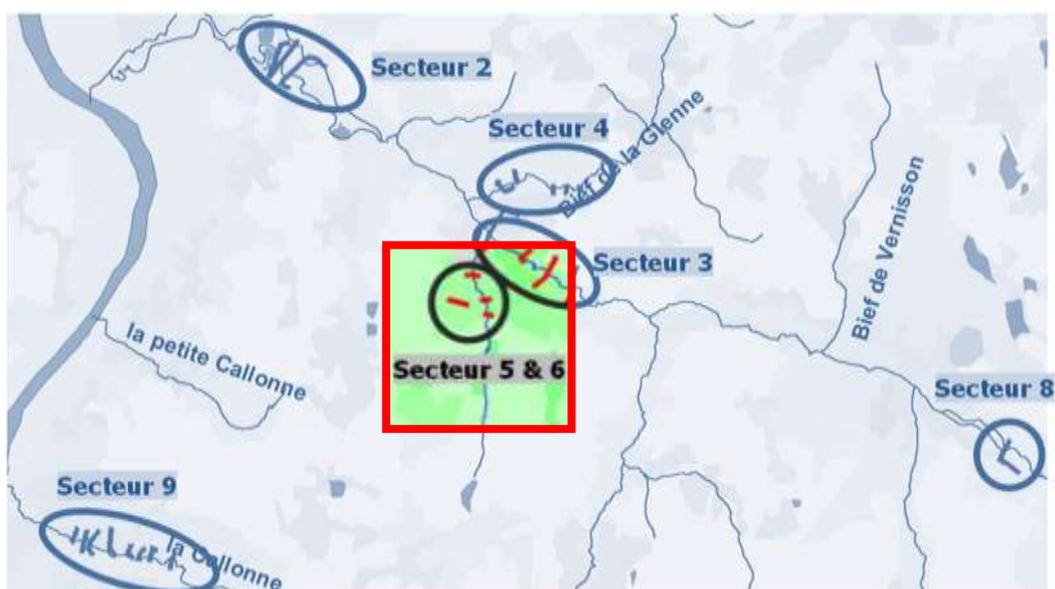


Figure 38 : localisation des secteurs 5 & 6.



Le bief de Valeins se situe en amont immédiat de Saint-Etienne sur Chalaronne.

11.3.2.2. L'optimum rencontré

L'analyse topographique a été faite sur les deux secteurs, les résultats sont donnés dans le tableau suivant.

Secteur 5 & 6	Volume à retenir :		21 000 m ³
	Hauteur maximale au déversoir	Capacité maximale	Pourcentage
S5A	2 m	15 400 m ³	73 %
S5B	2 m	10 300 m ³	49 %
S6A	2 m	4 000 m ³	19 %
S6B	2 m	10 000 m ³	5 %

Si un ouvrage de rétention était indispensable sur ce secteur nous préconiserions le S5 A. Il est en effet le seul capable de conjuguer un volume de rétention proche du volume objectif et d'être à la confluence des deux cours d'eau. Les trois autres digues étudiées ne permettent pas de laminer complètement le débit de pointe du bief de Valeins puisqu'ils ne sont situés que sur un des deux affluents.

11.3.2.3. L'intérêt général du secteur

Malgré la possibilité de réaliser un ouvrage de rétention et de protéger Saint-Etienne face aux crues du bief de Valeins, nous ne préconisons pas ce type d'ouvrage. En effet, un ouvrage de sur inondation apparaît ici comme surdimensionné compte tenu du fait que les précédentes études post-crue ont montré que les débordements étaient principalement causés par le manque de capacité du pont de la RD75 (paragraphe ci-dessous).

11.3.2.4. Augmentation du gabarit du pont de la RD 75

La Figure 39 montre la localisation des ouvrages limitant. Les photos des ouvrages hydrauliques sont sur les figures associées.

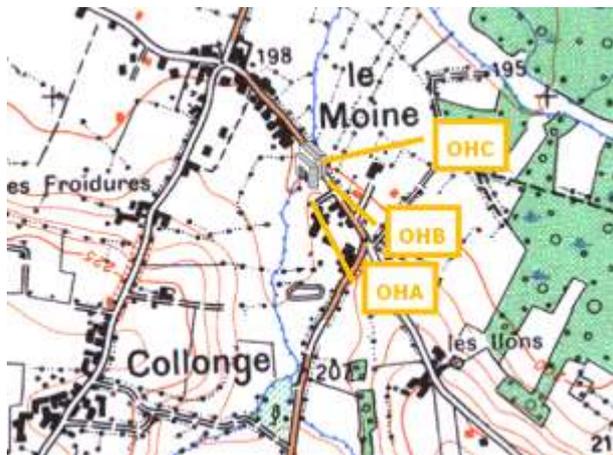


Figure 39 : localisation des ouvrages limitants



Figure 40 : ouvrage hydraulique A



Figure 41 : ouvrage hydraulique B



Figure 42 : ouvrage hydraulique C

L'ouvrage routier est précédé par deux ouvrages amont. Situé le plus amont, le double ponceau en briques était utilisé pour un chemin rural aujourd'hui abandonné. Le manque d'information historique du secteur ne nous permet pas de conclure sur l'utilité du triple vannage. L'ouvrage routier est constitué d'un double cadre en pierres maçonneries (bon état mais manque de capacité).

Nous préconisons la démolition des deux ouvrages singuliers amont (le double ponceau et le triple vannage). Cette démolition permettrait de ne pas limiter les débits transitant au niveau du bief de l'ouvrage routier évitant par conséquent une augmentation de la ligne d'eau amont.

Aussi, il paraît indispensable pour protéger Saint-Etienne et notamment le hameau du Moine des inondations de période de retour cinquantennale de recalibrer l'ouvrage routier. Sa capacité actuelle est de $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$, soit environ la crue vicennale hors embâcles (NB : Q20 évalué à $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$, Q50 à $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$). Compte tenu du risque d'embâcle (bois ou autres objets charriés en crue), nous préconisons un surdimensionnement (évitant de créer un piège à embâcles...).

L'analyse temporelle des pics de crue nous permet de montrer que les recalibrages du bief de

Valeins et de la Glenne n'ont pas d'influence sur le débit de pointe de la Chalaronne.

Caractéristiques clés du secteur :

- ☞ **Situé en amont immédiat Saint-Etienne → seul secteur pour la protection des crues du bief de Valeins**
- ☞ **Démolition des ouvrages A et B (actuellement abandonnés)**
- ☞ **Recalibrage du pont de la RD 7 (surdimensionnement)**
- ☞ **Pas d'augmentation du débit de pointe de la Chalaronne**
- ☞ **Coût des opérations :**
 - Recalibrage du pont et destruction des deux ouvrages amont : 250 000 €
 - Travaux sur voirie (modelé à vocation hydraulique + routière) : 10 000 €

11.3.3. Secteur 9 : la Calonne

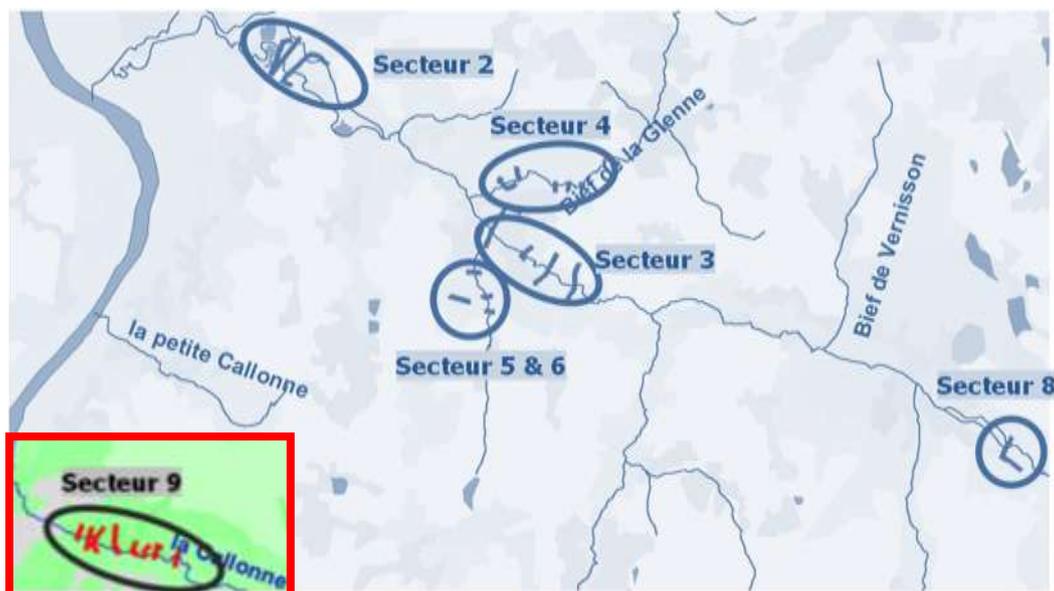


Figure 43 : localisation du secteur 9



11.3.3.1. L'optimum rencontré

Secteur 9	Volume à retenir :		110 000 m ³
	Hauteur maximale au déversoir	Capacité maximale	Pourcentage
S9A	1.5 (au delà : débordement sur rue de Cointier)	18 800	17 %
S9B	2.2 (au delà : débordement sur rue de Cointier)	71 100	64 %
S9C	2.7	110 000	100 %
S9D	2.8	110 000	100 %
S9E	1.5	45 000	41 %
S9F	3	30 000	27 %
S9G	3	69 000	63 %
S9H	3	55 000	50 %

Sur le secteur, les résultats de la confrontation topographie/hydrologie permettent de supprimer les sites A, B, E, F, G et H (volume de rétention « objectif » non atteint et/ou hauteur de digue trop importante).

De fait, les sites C et D sont les deux sites qui permettent techniquement et raisonnablement de répondre aux objectifs. Le volume objectif est atteint pour une hauteur de digue de 2,7 m sur le secteur C et de 2,8 m sur le secteur D (habitation aval proche de S9D). Par conséquent, nous préconisons la mise en œuvre de l'ouvrage S9C.

11.3.3.2. La solution recalibrage

La question du possible recalibrage de la Calonne dans la traversée de la ville de Guéreins est

abordée dans le document Hydrétudes ARI09-109_av1 : « Etude hydraulique de la Calonne dans le centre ville de Guéreins ».

Il y est montré

- que la réfection du pont du centre de Guéreins et le recalibrage du tronçon amont de ce pont permettraient le passage d'une crue centennale de la Calonne dans Guéreins
- que la faisabilité du recalibrage suppose des contraintes fortes, liées au foncier et aux réseaux.

11.3.3.1. L'intérêt général du secteur

Dans le cas d'une impossibilité de réaliser un recalibrage total de la Calonne dans le centre de Guéreins, nous préconisons la mise en place d'un barrage permettant de limiter le débit.

Caractéristiques clés du secteur :

☞ Option barrage d'écrêtement :

☞ **Positionnement : S9C**

☞ **Protection d'une crue cinquantennale de Guéreins sans recalibrage massif du centre et pas de modification des ponts**

☞ **Coût de l'opération : 635 000 €**

☞ Option recalibrage :

☞ **Protection centennale du centre de Guéreins**

☞ **Faisabilité à vérifier à l'amont immédiat du pont : réseaux et bâti**

☞ **Coût de l'opération : 530 000 €**

12. SCENARIOS D'AMENAGEMENT SUR LA VALLEE

12.1. EBAUCHES DE SCENARIOS

Pour définir au mieux les aménagements à mettre en œuvre, nous avons étudié 3 principaux scénarii. Le premier (S1) permet la protection cinquantennale de l'ensemble du bassin versant. Le second (S1bis) a pour seule différence de laisser passer la crue trentennale et non vicennale au niveau de Saint-Didier/Thoissey. Le dernier scénario, permet la protection cinquantennale d'une partie du territoire avec une protection plutôt basée sur l'amont du bassin versant.

12.1.1. Scénario 1

Le premier scénario est schématisé sur la Figure 44 ci-dessous.

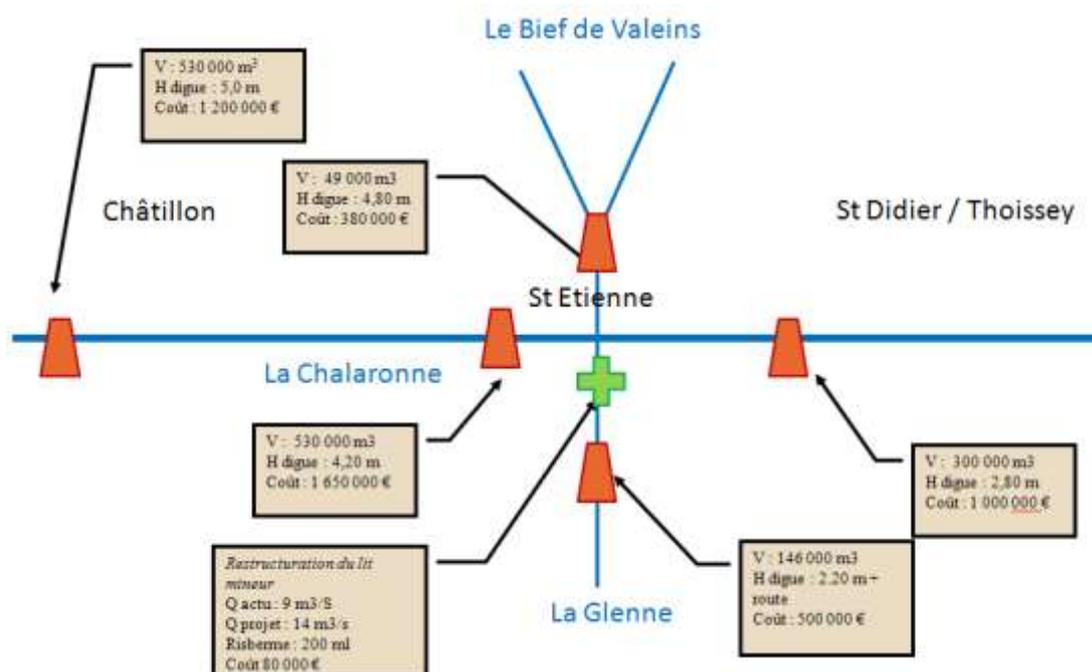


Figure 44 : Synoptique scénario 1

Il permet la protection de l'ensemble du bassin versant vis-à-vis des crues cinquantennales de la Chalaronne et des cours d'eau étudiés : en situation de crue cinquantennale, le débit est partout ramené au niveau de la crue vicennale. L'estimatif financier associé est de 4 830 000 €.

12.1.2. Scénario 1 bis

Le scénario 1 bis (Figure 45) se distingue du scénario 1 par la suppression de l'ouvrage de rétention à l'amont de Saint-Didier, dont le ratio coût / bénéfice est très faible.

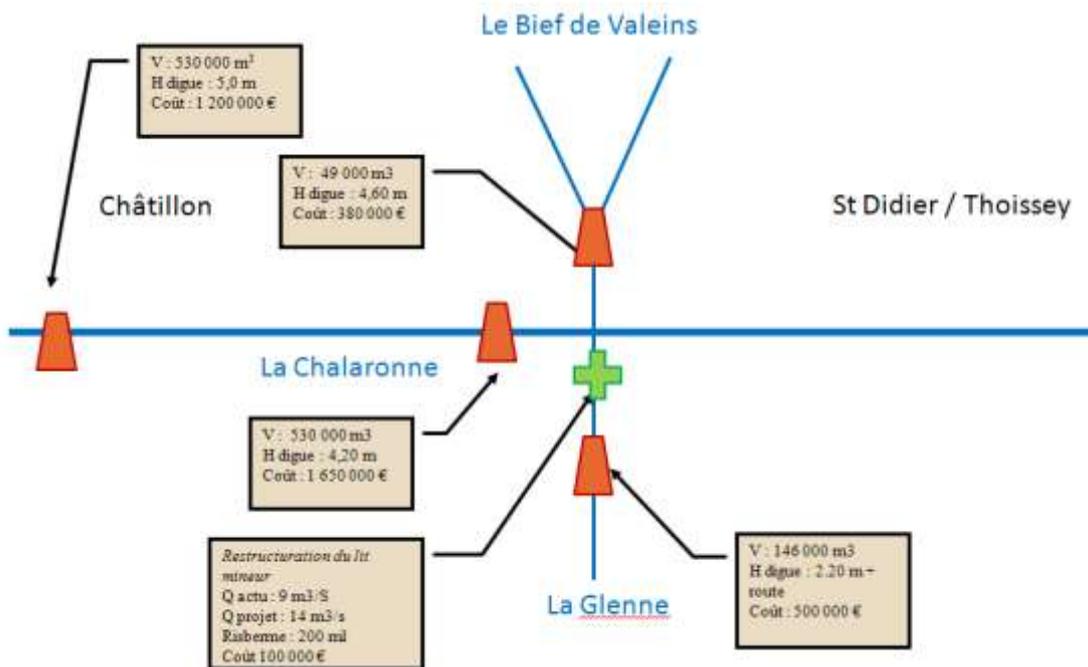


Figure 45: Synoptique scénario 1bis

La différence par rapport au scénario 1 est une moindre protection de l'aval (Thoissey / Saint Didier) : sur l'aval, le niveau d'abattement de la crue cinquantennale n'est plus vicennal, mais trentennal.

L'estimatif financier associé est de 3 830 000 €.

12.1.3. Scénario 2

Le scénario 2 est schématisé sur la Figure 46.

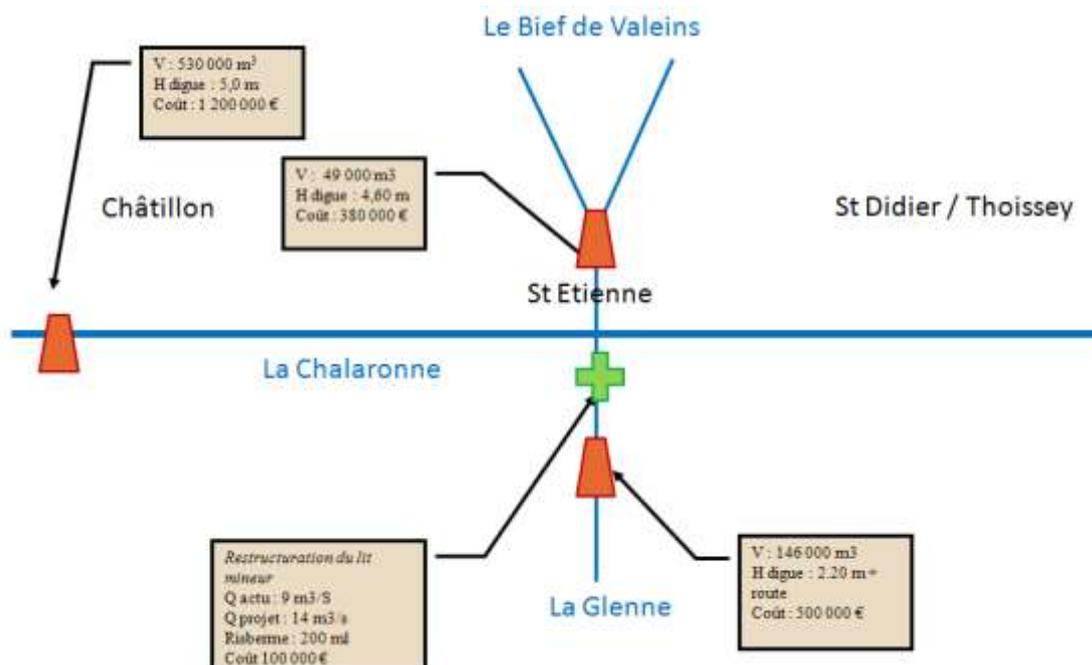


Figure 46 : Synoptique scénario 2

Ce scénario induit des aménagements de moindre importance, au plus près des enjeux. La protection des crues est plus faible, la priorité étant accordée à Châtillon, et aux affluents de la Chalaronne sur la commune de Saint-Etienne ayant débordé en novembre 2009 et février 2009 (Glenne, Bief de Valeins).

Les coûts sont divisés par deux par rapport aux scénarios 1 et 1bis. En effet, l'estimatif est de 2 180 000 €.

12.2. RESULTATS

12.2.1. Effets sur les débits

Les scénarios étudiés ont des effets divers sur les débits en crue. Nous les avons testés et nous les présentons ci-dessous aux principaux points du réseau hydrographique. Un code couleur présente les avantages / inconvénients des scénarios par rapport à l'initial.

Vert : diminution du débit

Gris : sans effet

Orange : augmentation du débit

- Châtillon

Scénario de crue	Initial	Scénario 1 bis	Scénario 2
Q ₁₀	27	27	27
Q ₂₀	36	32	32
Q ₅₀	47	35	35
Q ₁₀₀	55	54	54

- Aval de Saint-Etienne

Scénario de crue	Initial	Scénario 1 bis	Scénario 2
Q ₁₀	53	55	56
Q ₂₀	70	71	74
Q ₅₀	94	82	99
Q ₁₀₀	112	107	116

- Thoissey

Scénario de crue	Initial	Scénario 1 bis	Scénario 2
Q ₁₀	64	63	64
Q ₂₀	85	84	88
Q ₅₀	112	101	118
Q ₁₀₀	133	125	138

Les deux hydrogrammes ci-dessous illustrent la différence d'effet de la rétention sur la Glenne et le Bief de Valeins, sur les débits de la Chalaronne à l'aval :

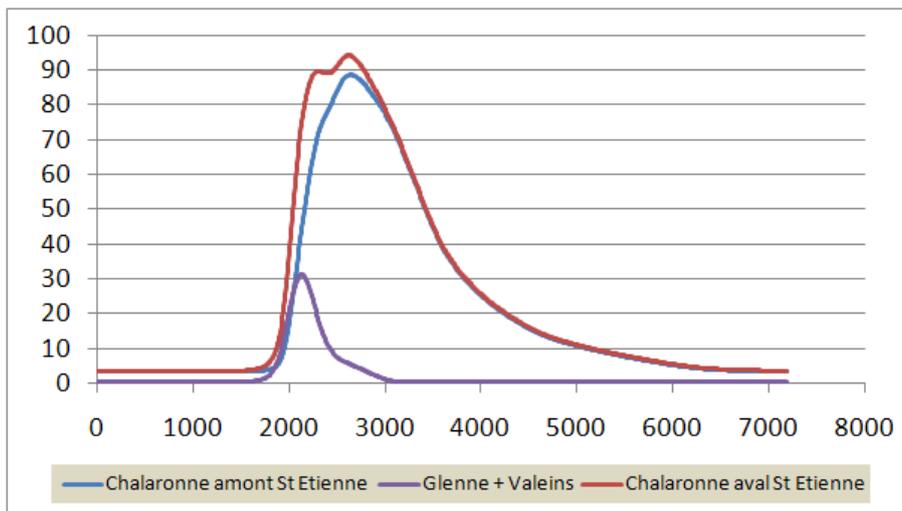


Figure 47 : Q_{50} à l'état initial

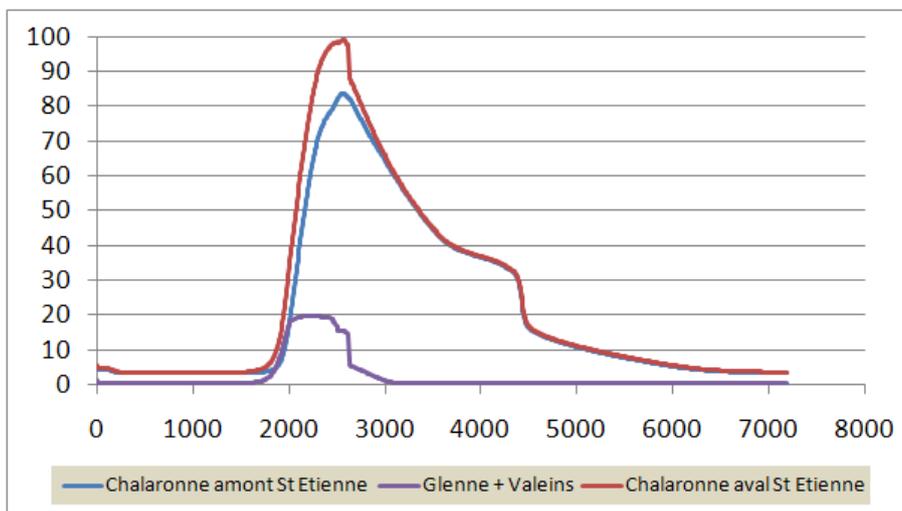


Figure 48 : Q_{50} à l'état projet, Scénario 2

Les pointes de débit de la Glenné et du bief de Valeins arrivent AVANT celle de la Chalaronne. Les casiers de surinondation sur ces affluents augmentent nécessairement le débit de la Chalaronne, ce qui est contre-productif. Le scénario 1 bis, avec une rétention sur la Chalaronne à l'amont de Saint-Etienne, permet de compenser cet effet. Cette rétention est supprimée dans le scénario 2, d'où l'augmentation de débit.

Les résultats de ces modélisations mettent en évidence que les affluents situés à l'aval du bassin versant ne doivent pas ou peu faire l'objet de rétention, sous peine de voir augmenté le débit de la Chalaronne.

12.3. CONCLUSIONS

Le scénario 1 est envisagé comme un scénario d'aménagement maximum. Son coût est important en termes d'investissement, mais aussi d'entretien. Il est très agressif sur l'environnement et les paysages de fond de vallée.

Sa variante, le scénario 1 bis permet une baisse de coût sensible pour une amélioration des débits (baisse des débits de pointe) sur tout le bassin versant à l'aval de Châtillon.

Le scénario 2 montre l'effet de concomitance des affluents : il n'est pas souhaitable pour les débits de la Chalaronne de stocker sur ses affluents.

Enfin, le bassin de Châtillon a un effet :

- Fortement bénéfique pour Châtillon
- Bénéfique pour l'ensemble des communes situées à l'aval de Châtillon au fil de la Chalaronne.

Nous avons cherché l'effet de cet aménagement, seul, sur l'aval.

12.4. SCHEMA D'AMENAGEMENT PROPOSE

12.4.1. La Chalaronne

Forts du constat sur l'impact négatif de l'aménagement de casiers de rétention sur la Glenne et le Bief de Valeins, sur les débits de pointe de la Chalaronne (constaté dans le scénario 2), nous proposons pour ces deux affluents de gérer les surplus de débits plutôt que de les stocker :

- Pour la Glenne (cf. §6.1.2 et 11.3.1) :
 - o Recalibrage par risbermes pour augmenter le gabarit aval
 - o Chenal de dérivation à travers champs
- Pour le Bief de Valeins (cf. §11.3.2)
 - o Réfection du pont sur la départementale
 - o Suppression des anciens vannages et de l'ancien ponceau à l'amont immédiat du pont de la départementale, ou terrassement autour des ouvrages pour guider les débordements vers le passage sous départementale
 - o Réalisation d'un modelé sur la départementale permettant de renvoyer les débits débordants vers le bief de Valeins

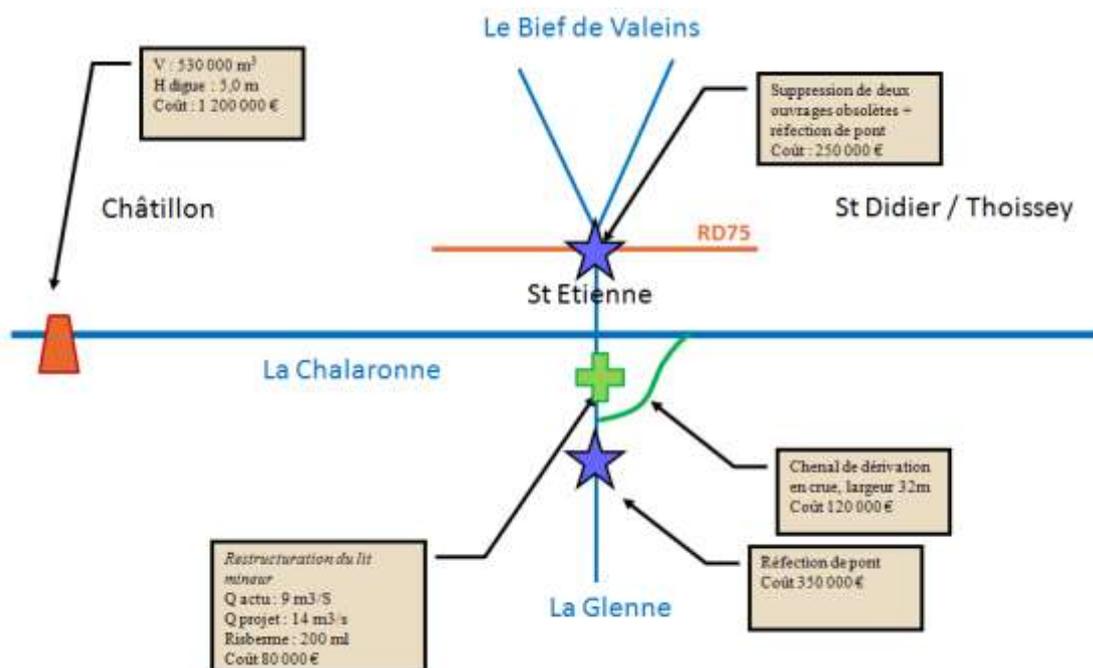


Figure 49 : Synoptique schéma

Les résultats hydrauliques de la réalisation de ce schéma d'aménagement de la Chalaronne sont présentés ci-dessous :

- Châtillon

Scénario de crue	Initial	Schéma
Q ₁₀	27	27
Q ₂₀	36	32
Q ₅₀	47	35
Q ₁₀₀	55	54

- Aval de Saint-Etienne

Scénario de crue	Initial	Schéma
Q ₁₀	53	55
Q ₂₀	70	71
Q ₅₀	94	90
Q ₁₀₀	112	105

- Thoissey

Scénario de crue	Initial	Schéma
Q ₁₀	64	63
Q ₂₀	85	83
Q ₅₀	112	108
Q ₁₀₀	133	128

Les aménagements sur Châtillon, en limitant les débits à l'aval, sont donc bénéfiques pour l'ensemble de la vallée de la Chalaronne.

12.4.2. La Calonne

Les avantages et inconvénients des deux solutions proposées (stockage ou recalibrage) sont présentés au paragraphe 11.3.3.

CONCLUSION GENERALE

Le schéma d'aménagement proposé répond à l'objectif d'amélioration du stockage des écoulements, en utilisant les zones les plus propices sur le lit majeur.

Ce schéma d'aménagement doit s'accompagner de mesures visant à limiter les forts débits :

- Amélioration du ralentissement dynamique par la reconquête progressive des abords des cours d'eau
- Poursuite des opérations de réduction des ruissellements
- Utiliser les systèmes de protections rapprochées pour protéger le bâti existant sur les communes de l'aval en rive gauche.

Dans la configuration préconisée, les habitations menacées en crue centennale restent peu nombreuses et soumises à un aléa inondation faible à moyen.

La montée des eaux est lente, les hauteurs d'inondation modérées. Dans ce cas, le meilleur moyen de protection en termes de coûts / bénéfiques (économiques, écologiques / paysagers) est la protection rapprochée par des systèmes de batardeaux en aluminium (Figure 50).



Figure 50 : batardeau en aluminium posé sur pas de porte - crédit Photo Hellopro.fr

ANNEXES

ANNEXE 1 : RESUME DES DONNEES DISPONIBLES SUR LA BANQUE HYDRO

ANNEXE 2 : CHIFFRAGES

Bordereau des prix unitaires.....	1 page
Chiffrage des aménagements de casiers de rétention.....	2 pages
Chiffrage des aménagements sur la Glenne	1 page
Chiffrage des scénarios	1 page

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

ANNEXE 3 : AMENAGEMENTS DE LA GLENNE, COUPES-TYPES



Siège social – Centre technique principal

815, route de Champ Farçon
74 370 ARGONAY
Tél : 04.50.27.17.26
Fax : 04.50.27.25.64
E.mail : contact@hydretudes.com

Agence Alpes du Nord

Alpespaces
50, Voie Albert Einstein
73 118 FRANCLIN

Tél : 04.79.96.14.57
Fax : 04.70.33.01.63
E.mail : contact-savoie@hydretudes.com

Agence Alpes du Sud

Bât 2 – Résidence du Forest
d'entraîs
25, rue du Forest d'entraîs
05 000 GAP

Tél : 04.92.21.97.26
Fax : 04.92.21.87.83
E.mail : contact-gap@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence

9, rue Praneuf
26 100 ROMANS SUR ISERE

Tél : 04.75.45.30.57
Fax : 04.75.45.30.57
E.mail : contact-romans@hydretudes.com

Agence Grand Sud-Pyrénées

Immeuble Sud América
20, bd. de Thibaud
31 100 TOULOUSE

Tél : 05.62.14.07.43
Fax : 05.62.14.08.95
E.mail : contact-toulouse@hydretudes.com

Agence Océan Indien

« Les Kréolis »
8-10, rue Axel Dorseuil
97 410 SAINT PIERRE

Tél : 02.62.96.82.45
Fax : 02.62.32.69.05
E.mail : contact-reunion@hydretudes.com