

Le tronçon T34 est plus hétérogène du point de vue des écoulements mais la ripisylve est peu dense et la Renouée du Japon bien implantée. L'aval du tronçon est beaucoup plus linéaire est homogène, la qualité globale de ce tronçon reste malgré tout de bonne qualité. A noter également que deux affluents de rive droite apportent nourriture et eau fraîche sur ce tronçon.

Le tronçon T35 ne présente aucune particularité si ce n'est une homogénéité des écoulements assez marquée, une attractivité moyenne (peu de caches intéressantes malgré quelques bois morts et enrochements) et une connectivité assez faible.



Ouvrage infranchissable sur le tronçon T32



La traversée de Fure en grande partie artificialisée sur le tronçon T32



Secteur de la plage de déjection sur le tronçon T34



Tracé rectiligne et écoulement uniforme à l'approche de la confluence (T35)

Figure 63 : Qualité – Habitats aquatiques des tronçons 32 à 35

6.3.5 Interprétation des résultats de la Méthode ESTIMHAB

La Méthode ESTIMHAB a été développée par le CEMAGREF pour estimer les impacts écologiques de la gestion hydraulique des cours d'eau. Elle donne des résultats très proches de ceux fournis par la méthode EVHA des micro-habitats grâce à des données de variable d'entrée simplifiées (mesures de largeurs et de hauteurs pour deux débits).

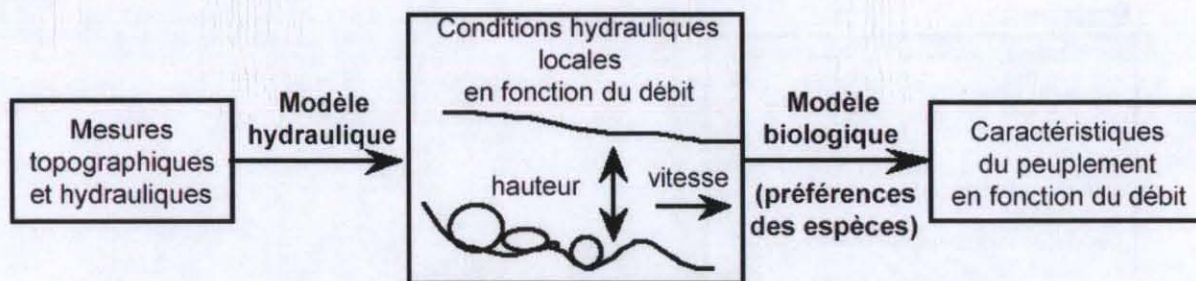


Figure 64 : Qualité – Principes de la méthode des micro-habitats (EVHA)

La méthode ESTIMHAB est basée sur les principes suivants :

- Des courbes de préférence (hauteur, vitesse, substrat) ont été développées pour les espèces de poissons. Le travail a été réalisé pour 24 espèces de poissons du sud de la France et permet d'appliquer des modèles d'habitats à tout type de cours d'eau ;
- La simplification des variables d'entrée a été réalisée grâce à l'analyse des résultats de la méthode EVHA sur plusieurs sites à partir de leurs caractéristiques hydrauliques moyennes ;
- La validation biologique des simulations a été réalisée par confrontation avec des données issues de pêches d'inventaire.

Les données d'entrée nécessaires sont les suivantes :

- Caractéristiques morphologiques :
 - Pour un débit Q1 : débit, hauteur moyenne, largeur moyenne,
 - Pour un débit Q2 : débit, hauteur moyenne, largeur moyenne,
 - Avec $Q2 > 2 Q1$;
- Débit médian naturel total ;
- Taille moyenne du substrat.

La méthode peut être appliquée au niveau de tronçons court-circuités par des prises d'eau. Les campagnes de mesures de débits réalisées pour préciser l'hydrologie (cf. 5.3.3) ont aussi permis de réaliser des mesures de débit réservés sur 5 tronçons court-circuité :

- Bonpertuis ;
- Collomb ;
- Fond du Rivier ;
- Grande chute de la Poype ;
- Petite Hurtière ;

La méthode ESTIMHAB a été testée sur le tronçon court-circuité de la Grande Chute de la Poype qui présente un débit réservé strictement respecté grâce à la mise en place d'une trappe dans la vanne de décharge. Le module sur ce secteur est de l'ordre de 1,43 m³/s (DIREN, 1999) à 1,328 m³/s (DDE, 1998), ce qui donne un débit réservé au 1/40^e du module entre 33 et 36 l/s.

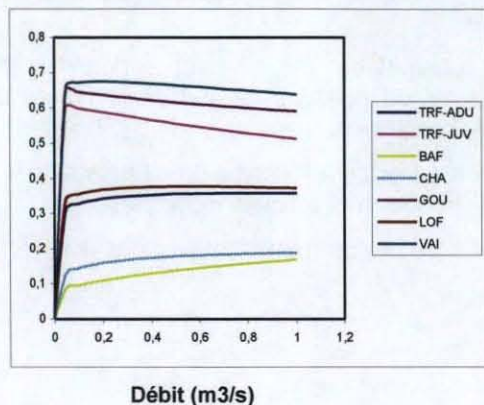
Les résultats sont récapitulés sur la figure ci-dessous :

Entrées

débit (m ³ /s)	largeur (m)	hauteur (m)
0,056	3	0,1
0,200	5	0,2
débit médian naturel Q50 (m ³ /s)		
1		
taille du substrat (m)		
0,05		
gamme de modélisation (débits, m ³ /s)		
0 1		

Résultats

Valeur d'habitat (note entre 0 et 1)



Surface utile pour 100 m de cours d'eau

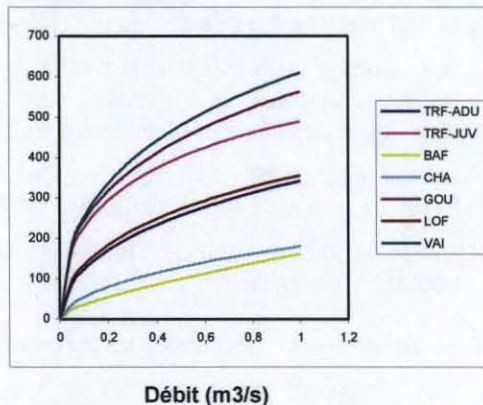


Figure 65 : Qualité – Application de la méthode ESTIMHAB

Ce test de la méthode amène les commentaires suivants :

- La valeur relative des habitats aquatiques (valeur de 0 à 1) présente une chute en deçà d'un débit de 0,050 m³/s (50 l/s). Le débit réservé actuel à 1/40^e du module à 33-36 l/s est donc insuffisant car il fait chuter de façon importante la qualité des habitats, quelle que soit l'espèce piscicole concernée ;
- Les habitats étudiés dans le tronçon court-circuité sont plutôt favorables pour la Truite (TRF-JUV, juvéniles), pour le Goujon (GOU) et pour le Vairon (VAI). Ils sont moins favorables pour la Truite adulte (TRF-ADU), ce qui peut poser des problèmes pour la croissance et la présence des géniteurs, pour la Chabot (CHA) et pour la Loche Franche (LOF). Le Barbeau Fluviatile (BAF) ne correspond pas au type de cours d'eau de la Fure ;
- Les surfaces utiles augmentent proportionnellement et régulièrement avec le débit. Il faut des valeurs de débits supérieures à 100 l/s pour obtenir des potentialités plus intéressantes. La valeur du 1/10^e du module (environ 140 l/s) présenterait non pas une valeur d'habitat relative plus élevée que le débit réservé actuel, mais surtout des surfaces utiles plus larges, environ du double de la situation actuelle.

6.3.6 Bilan sur les peuplements piscicoles

6.3.6.1 *Etat des peuplements jusqu'en 1999*

Les peuplements piscicoles de la Fure et de ses affluents en amont de la confluence avec le Réaumont et jusqu'à 1998, ont été diagnostiqués dans le cadre d'une étude du Conseil Supérieur de la Pêche (CSP, 1999). La Fure et ses affluents sont des cours d'eau de première catégorie dont le niveau typologique retenu est B4 (Fure) ou B3+ (Fure amont, Courbon). Le peuplement potentiel de la Fure peut donc être constitué comme suit :

- Espèce en abondance optimale : Truite Fario
- Espèces en abondance intermédiaire : Vairon, Loche Franche, Epinoche
- Espèces en abondance marginale : Chabot, Blageon, Chevesne

Pour le Courbon, la Loche Franche et le Vairon devraient être observés en plus grande proportion.

L'analyse des inventaires piscicoles par pêches électriques a permis de mettre en évidence des situations très contrastées.

La Fure

A l'amont et jusqu'au pont de la Fabrique, l'influence du lac se fait sentir et l'on observe une diversité spécifique importante avec la présence de Salmonidés (Truite Fario), Percidés (perche), d'Esocidés (brochet) et de Cyprinidés (Goujon, Gardon, Carpe, Tanche, Brème, Rotengle). La présence et l'abondance de ces espèces sont directement liées au niveau du Lac de Paladru et à la fréquence des déversements du lac au niveau du déversoir de sécurité.

Une fois dans la Fure, la remontée au lac n'est plus possible pour les poissons. La survie et le maintien de ces espèces dépend des conditions générales du milieu (débit, température, etc.).

A l'aval des rejets Arjo Wiggins à Charavines, la situation est nettement plus mauvaise et le peuplement est fréquemment réduit à la présence de la Truite Fario, mais à un niveau de production très faible.

Jusqu'à la confluence avec le Réaumont, le peuplement ne se restaure pas réellement et reflète une situation générale d'altération de la qualité de l'eau, de mise en débit réservé parfois sévère et dans certains cas de forte simplification de la structure physique du milieu aquatique.

Plus particulièrement, la Truite Fario présente un déficit de reproduction naturelle. Ce déficit semble lié à la mauvaise qualité localisée du milieu aquatique qui affecte la survie des œufs déposés par les géniteurs. L'accès aux frayères est également rendu difficile par la présence des nombreux ouvrages en travers du lit.

En résumé, du Lac de Paladru à la confluence avec le Réaumont, la Fure s'inscrit dans un contexte salmonicole perturbé avec un niveau de production globalement très inférieur à ses potentialités.

Le Ruisseau du Courbon

Le Courbon présente des peuplements très perturbés exclusivement composés d'alevins et de juvéniles, ce qui indique l'impact potentiel de perturbations liées à la qualité de l'eau, à la qualité des habitats et à l'hydrologie (un linéaire intermédiaire subit des à sec réguliers). Le ruisseau du Courbon est le seul tributaire disponible pour la truite lacustre ; le linéaire accessible sur le Ruisseau du Pin est en effet réduit à la portion en aval de la RD. La libre circulation et l'accès aux zones de frayères sont donc prioritaires.

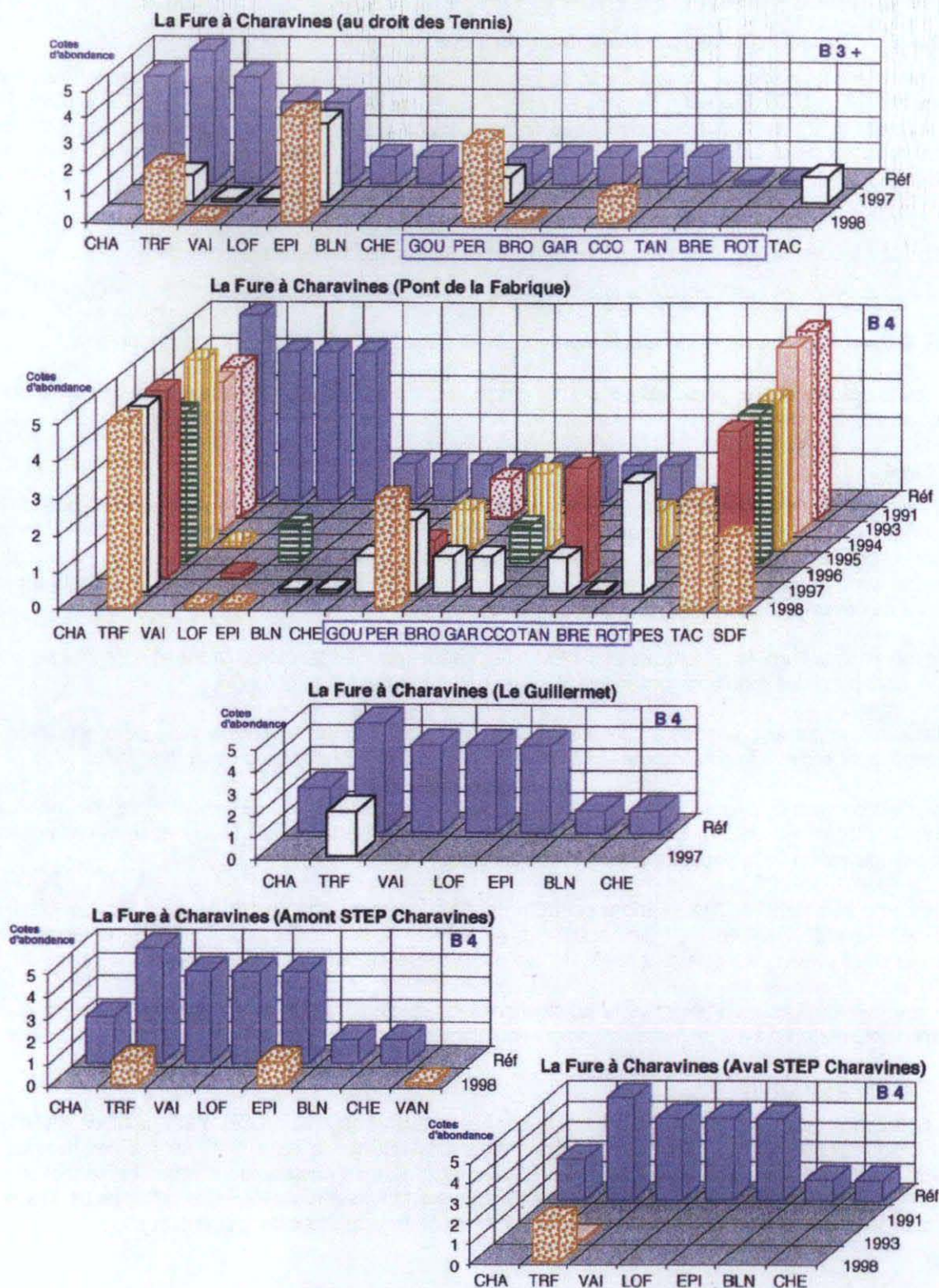


Figure 66 : Etat des peuplements piscicoles de la Fure en amont d'Apprieu (CSP, 1999)

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296

JD/FLA - XB - GBO

07/07/2009

Page : 172

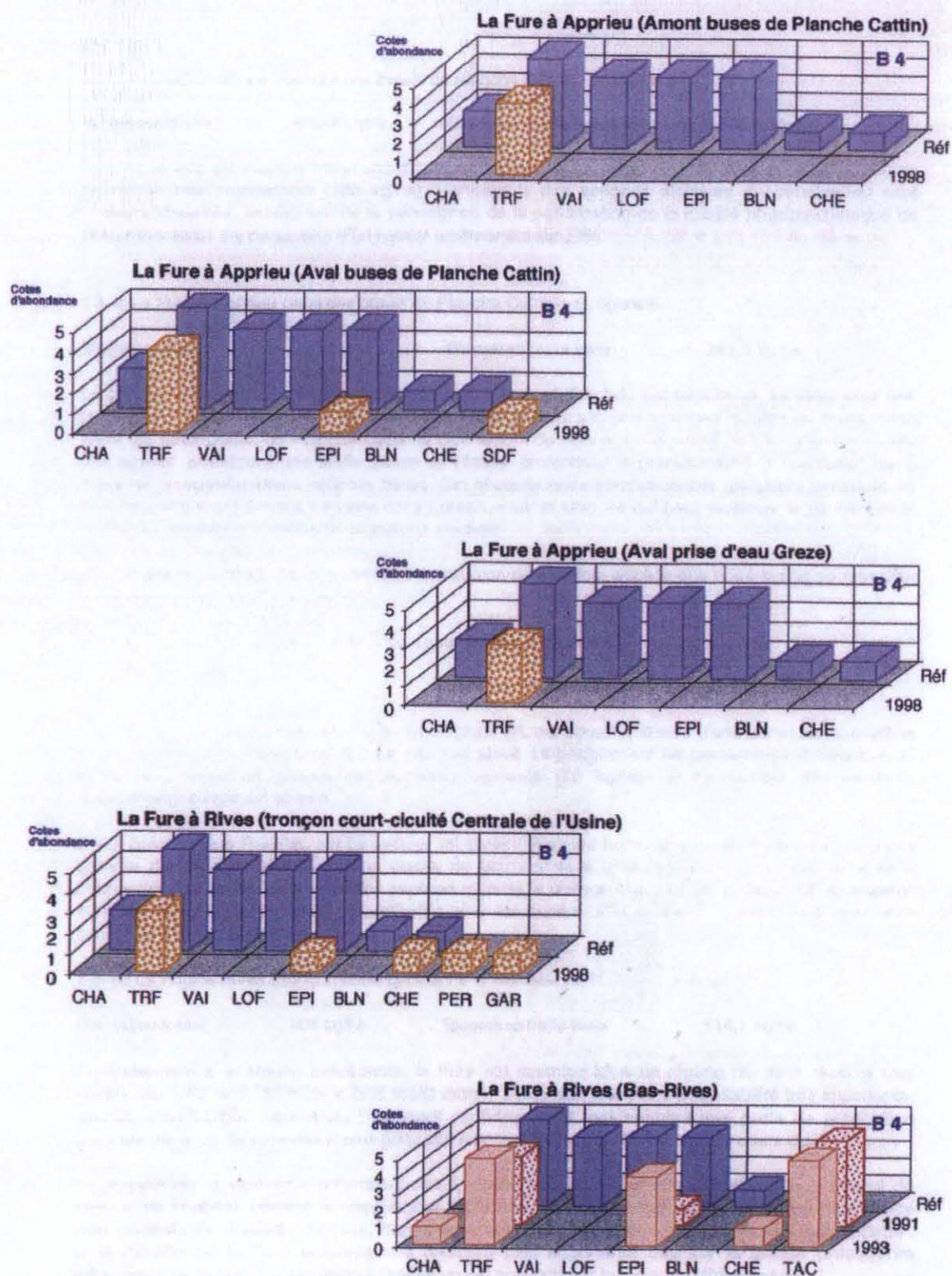


Figure 67 : Etat des peuplements piscicoles de la Fure en aval d'Apprieu (CSP, 1999)

6.3.6.2 Etat des peuplements depuis 1999

L'état des peuplements piscicoles n'a pas fait récemment l'objet d'une étude aussi précise que l'étude CSP (1999). Les inventaires piscicoles depuis 1999 ont été recensés auprès de la Fédération de la Pêche et de l'ONEMA (site www.image.eaufrance.fr) : ces inventaires n'ont été réalisés que sur la Fure et se sont avérés moins nombreux que par le passé : la dernière campagne du CSP date de 2002. Par ailleurs, les inventaires ont porté pour partie sur de nouveaux points non analysés précédemment : Renage, St-Jean-de-Chépy.

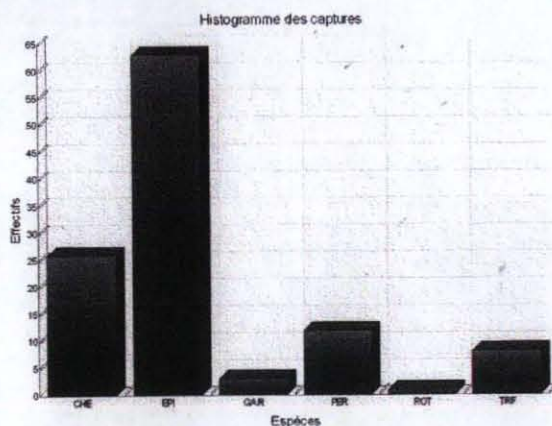
L'analyse de l'évolution des peuplements présente un intérêt sur les sites suivants :

- **Sur le site de la Fabrique** (Charavines) : 5 pêches effectuées en juin 1999, oct 1999, mai 2001, juin 2001, sept 2001 ; mais les données ne sont pas plus récentes que 2001.

Les inventaires ne montrent pas d'évolution franche des peuplements par rapport à 1998, ce qui n'est pas surprenant du fait de la continuité des paramètres qualité de l'eau et qualité des habitats de la Fure (le site de la Fabrique est situé en amont des principaux rejets polluants). La Truite domine toujours le peuplement ; l'Epinoche et la Loche Franche sont présents de façon intermittente et anecdotique, le Chabot et le Vairon ne sont toujours que rarement observés : le Vairon en mai 2001 et le Chabot en sept 2001. Les peuplements complémentaires sont constitués de Chevesne, Gardon, Perche, etc.

- **Sur les sites de Renage** (Guillonière, Petite Hurtière) : 3 pêches effectuées en mars 2002 ;

Ces inventaires sont intéressants car ils sont les premiers réalisés dans le secteur très industriel de Rives à Fures. Toutefois, sans surprise, les pêches réalisées au droit des usines Experton (2 pêches) et dans le tronçon court-circuité de Petite Hurtière (1 pêche) font état d'un peuplement très perturbé : le Chabot, le Blageon et la Loche Franche sont absents, le Vairon observé sur une seule station. Les peuplements sont faibles en biomasse et sont composés essentiellement d'Epinoches et de Truites Fario, secondairement par des Chevesnes.



Opération : 50010001258 effectuée le : 28/03/2002

Surface en m² : 207

		Tableau Général (données brutes)					
Espèces		Effectif	Densité (par 100 m²)	% de l'effectif	Poids (g)	Biomasse (g/100 m²)	% du Poids
Chevaline	CHE	26	13	23	5860	2831	53
Epinoche	EPI	63	30	56	218	105	2
Gardon	GAR	3	1	3	287	139	3
Perche	PER	12	6	11	1774	857	16
Rotengle	ROT	1	<<	<<	90	43	<<
Truite de rivière	TRF	8	4	7	2772	1339	25

Figure 68 : Etat des peuplements piscicoles de la Fure à Renage (CSP, 2002)

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296

JD/FLA - XB - GBO

07/07/2009

Page : 174

7 - Volet B : Etude d'inondabilité

7.1 Contexte géographique

Cette partie vise à comprendre le rôle des caractéristiques géographiques du bassin versant dans la genèse des crues.

7.1.1 Rôle des nappes en crues

La Fure est en position d'alimentation de la nappe sur sa partie amont, depuis l'exutoire du lac de Paladru jusqu'à Rives. La contribution de la nappe aux écoulements de la Fure en période de crue est donc négligeable.

En revanche, à l'aval de Rives, la nappe alimente la Fure et contribue aux écoulements dans le lit du cours d'eau en période de crue. La vidange de la nappe peut être mise en évidence par la courbe de tarissement, partie finale de la courbe de décrue d'un hydrogramme.

7.1.2 Relief et réseau hydrographique

Les collines de la vallée de la Fure aux pentes accentuées sont directement frappées par des orages parfois d'une grande violence. Leur origine peut être locale, suite à la formation de masses d'air humides sur le lac de Paladru durant les chaleurs estivales, ou rhodanienne suite à des remontées d'orages de type cévenol atteignant les collines du Bas Dauphiné (périodes mai-juin et septembre-octobre).

Le réseau hydrographique de la Fure est assez peu ramifié. Cette configuration peut s'expliquer par la grande capacité d'infiltration du sous-sol qui ne favorise pas les écoulements superficiels. Par ailleurs, l'indice de compacité relativement fort, égal à 2,2, traduit le caractère allongé du bassin versant.

La faible densité du réseau hydrographique ainsi que le caractère allongé du bassin versant sont à l'origine de phénomènes de laminage de l'onde de crue relativement importants qui contribuent à l'atténuation des débits de pointe le long de la Fure.

7.1.3 Coefficient de ruissellement

La répartition de l'occupation des sols (cf. 2.4 Occupation des sols) permet d'estimer un ordre de grandeur du coefficient de ruissellement (rapport entre la quantité d'eau ruisselée à la surface du sol et la quantité précipitée) moyen sur le bassin versant de la Fure. Pour une pluie décennale, le coefficient de ruissellement a été estimé à environ 0,35 à l'échelle globale du bassin versant (BURGEAP, 2006).

7.2 Contexte historique

L'analyse des événements historiques, réalisée dans le cadre de l'étude BURGEAP de 2006, a mis en évidence l'existence de deux types principaux d'événement de crue :

- les crues lentes se produisant généralement à l'automne et au printemps et résultant d'un événement pluviométrique de longue durée,
- les crues rapides se produisant souvent suite à des orages estivaux.

Nous nous proposons par la suite de décrire deux événements illustrant ces deux types de crues pouvant être générés sur le bassin de la Fure:

- La crue de Juillet 1972 (crue rapide),
- La crue de Novembre 2002 (crue lente).

Auparavant, nous nous intéressons à la crue historique du bassin de la Fure datant de Mai 1856.

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 175

7.2.1 Crue historique : Mai 1856

La crue historique est la crue de mai 1856. Cette crue a résulté d'une dépression généralisée à tout le bassin du Rhône. A cette époque, aucun ouvrage n'existait à l'exutoire du lac de Paladru et les apports du lac avaient leur intensité maximale.

Pluviométrie

L'évènement pluviométrique exceptionnel s'est déroulé sur 2 jours, du 29 au 30 mai 1856. La zone d'intensité maximale de l'averse a englobé la région du Bas Dauphiné et donc le bassin versant de la Fure. Dans cette région, la hauteur précipitée aurait atteint les 150 mm en 2 jours (PARDE, 1925). L'intensité de l'averse a été très soutenue pendant 24 à 36 heures.

Niveau du lac et débits atteints

La crue de 1856 cumula les effets des crues des affluents du lac de Paladru et celle du lac. Les eaux du lac ont atteint la cote 501,22 dans l'ancien système de nivellement, soit une cote de 492,87 m NGF ou de +0,65 m par rapport à la crête du déversoir des vannes actuel (DENIAU, 2004).

Selon Alain Schrambach, le débit de pointe de la crue de 1856 fut très probablement supérieur à 55-60 m³/s au niveau de Tullins-Fures.

Dégâts occasionnés

Les rejets du lac participèrent à la crue dans la vallée de la Fure qui généra des dégâts impressionnants. Ainsi, le pont de Ravignouse fut détruit et plus d'une cinquantaine de maisons ainsi que plusieurs fabriques furent renversées en tout ou en partie.

La forge des frères Blanchet fut ainsi détruite et la taillanderie Bret, bien que positionnée sur le secteur amont, fut également endommagée.

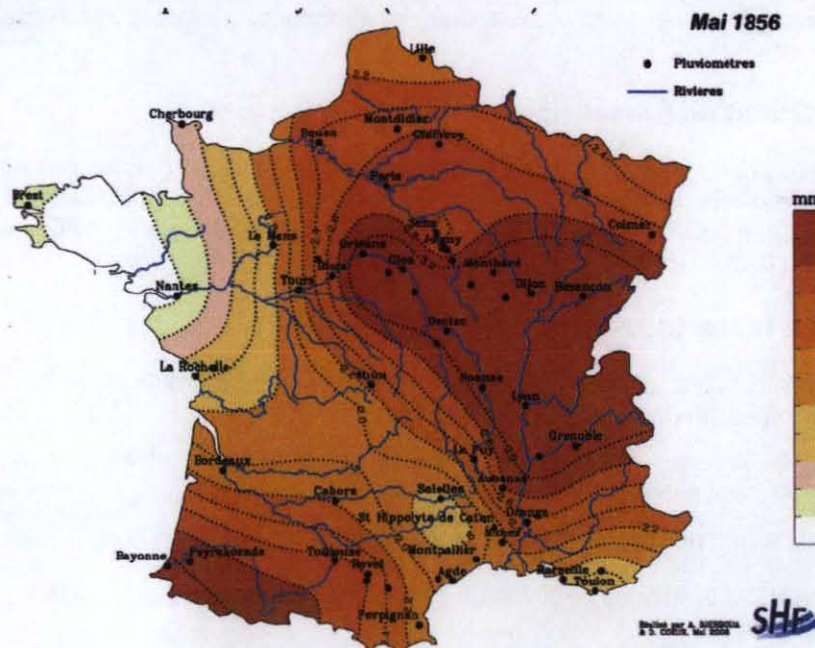


Figure 69 : Rapport des pluies mensuelles du mois de Mai 1856 par sa moyenne (50 ans)

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 176

7.2.2 Crue rapide : Juillet 1972

Pluviométrie

L'évènement du 20 juillet 1972 est un évènement court. Une pluie de 144,6 mm a été enregistrée à la station météo de Charavines ce jour là.

Niveau du lac et débits atteints

Le niveau du lac, initialement à 67 cm sous le déversoir, s'est élevé de 6 cm suite à cet évènement. Il n'y a donc pas eu de déversement du lac. Le débit ajusté aux vannes du lac lors de cet évènement était de 400 l/s. Un débit de 27 m³/s a été enregistré à la station hydrométrique d'Hurtières. Cette valeur de débit est à prendre avec précaution, aucun tarage de la station en période de crue ayant été effectué.

Dégâts occasionnés

Le village de Réaumont a été inondé ainsi que la papeterie BFK du Bas Rives. Une lame d'eau de 0,8 à 1 mètre a été observée sur les bassins piscicoles. Ces inondations importantes résultent de la combinaison d'une crue naturelle formée sur le bassin versant du Réaumont et d'une rupture soudaine d'un bassin au niveau de La Murette, dont la digue fut minée par les pluies.

Au niveau du Château d'Alivet, sur la commune de Renage, la Fure a coulé dans son ancien lit en créant une très forte érosion et déracinant des arbres. Au pont de l'Hurtières, le niveau d'eau a atteint la route puis des dégâts se sont produits à l'usine textile de Tullins-Fures. Dans la traversée de Tullins-Fures, l'eau a atteint le niveau du tablier du pont de la RN 92.

7.2.3 Crue lente : Novembre 2002

Pluviométrie

La crue de Novembre 2002 résulte d'un épisode de précipitation réparti sur le mois de novembre. Durant la première quinzaine, des précipitations journalières peu intenses (inférieures à 20 mm) ont contribué à saturer les sols. Puis, le 14 novembre 2002, il survient un pic de précipitation diminuant progressivement jusqu'au 17 novembre. Durant les dix derniers jours de novembre, des précipitations d'intensité similaire à la première quinzaine se produisent sur le bassin versant de la Fure.

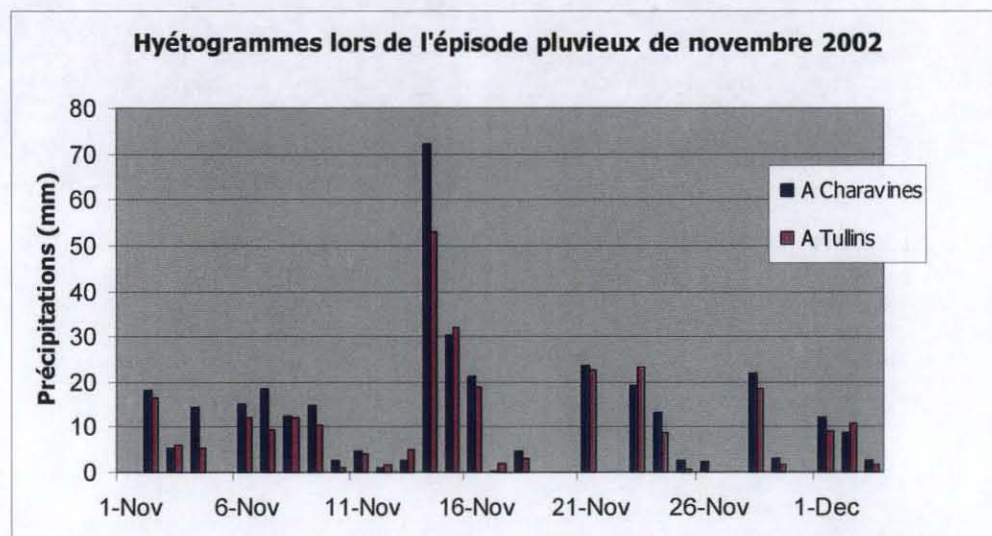


Figure 70 : Hyétoigrammes lors de l'épisode pluvieux de novembre 2002

Niveau du lac et débits atteints

La cote maximale du lac atteinte le 18 novembre de 2002 s'est située à 35 cm au-dessus de la crête du déversoir latéral de sécurité. Le remplissage du lac s'est effectué à un rythme moyen de 4 cm par jour. Les débits de pointe atteints ont été de l'ordre de 8 m³/s à l'exutoire du Lac de Paladru et 20 m³/s vers Fures et Saint Jean de Chépy.

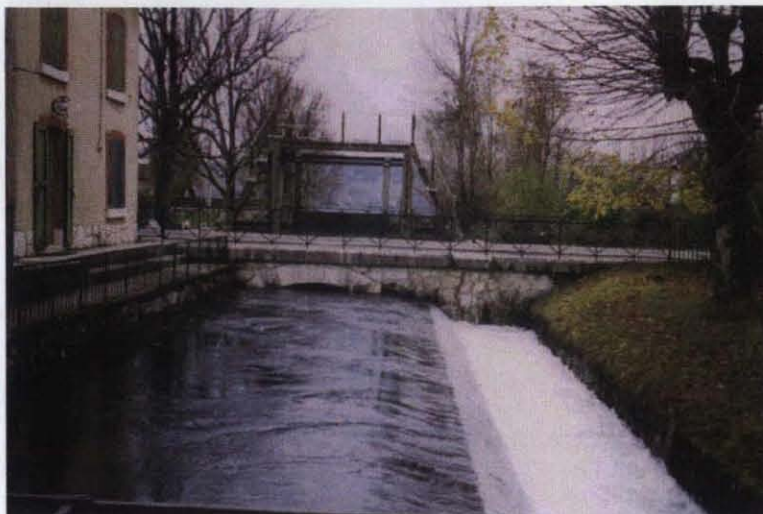


Photo 4 : Déversoir latéral de sécurité en novembre 2002



Photo 5 : La Fure à l'amont d'Arjo Wiggins Rives et au niveau de la chute d'eau de Renage lors de la crue de 2002

Dégâts occasionnés

La crue de novembre 2002 a occasionnée quelques inondations ponctuelles de jardins, maisons, sites industriels. L'enjeu majeur touché par cette crue a été le captage de Côte Gagère sur la commune d'Apprieu. Le détail des dégâts occasionnés est présenté ci-dessous :

Communes	Dégâts occasionnés lors de la crue de Novembre 2002
Charavines	- Entre le pont de la RD50 (Ff1) et le pont de la voie communale (Ff2), l'eau avait grimpé sur les jardins en rive gauche et sur le parking en rive droite. La plage de Charavines était entièrement inondée. La Fure au niveau du pont au droit de la Mairie de Charavines était limite débordante ; - Le jardin d'une maison en rive gauche à l'amont du pont de la caserne (Ff4) a été inondé;
Apprieu	- Les jardins des habitations du site des aciéries de Bonpertuis ont été inondés. ; - Le captage de Côte Gagère a été inondé durant un mois lors de l'épisode de crue de Novembre 2002 et a entraîné une épidémie de gastroentérite ayant touchés 2100 personnes ; - Le magasin de bateaux situé vers planche Cattin directement en aval du captage de Côte Gagère a été inondé. - Le canal surplombant la Fure ainsi que la Fure ont débordés entraînant une lame d'eau de 10-20 cm dans tout le RDC du bâtiment.
Renage	- Le canal des papeteries Arjo Wiggins a débordé, entraînant des dégâts aux sous-sols (quelques moteurs noyés).
Tullins-Fures	- Le canal des papeteries de Fures a été bouché suite à un glissement de terrain depuis le coteau sur 15-20 mètres sur sa portion amont (directement en aval de Fp42). Le débordement du canal a pu être stoppé par une manœuvre de vanne au niveau de la prise d'eau.

Tableau 45: Liste des dégâts occasionnés lors de la crue de Novembre 2002

7.2.4 Synthèse des entretiens auprès des acteurs locaux

Les entretiens réalisés auprès des communes, des industriels, microcentraliers et riverains longeant la Fure ont permis de récolter des informations sur les inondations de la Fure et de mieux comprendre son fonctionnement en crue.

Les points suivants ont été abordés :

- Dégâts lors des événements passés ;
- Côtes d'eau atteintes lors des dernières crues ;
- Biens vulnérables soumis aux crues de la Fure ;
- Points noirs hydrauliques en période de crue ;
- Dispositifs existants pour gérer les situations de crise ;
- Travaux à but hydraulique envisagés.

Communes	Informations collectées
Charavines	- Les problèmes liés aux crues de la Fure sont assez réduits. Les principaux soucis rencontrés concernent davantage les affluents de la Fure. Une carte des aléas a été réalisée par Alpes-Géo-Conseil (Alpes-Géo-Conseil, 2005). Elle inclue les aléas liés aux crues de la Fure sur le territoire de Charavines ; - Les dernières crues ayant entraîné un déversement du Lac de Paladru par-dessus son déversoir de sécurité datent d'Octobre 1993 et Novembre 2002. Lors de ces crues le niveau du Lac de Paladru a atteint une cote de +35 cm au-dessus du déversoir ; - Lors de la crue de novembre 2002, entre le pont de la RD50 (Ff1) et le pont de la voie communale (Ff2), l'eau avait grimpé sur les jardins en rive gauche et sur le parking en rive droite. La plage de Charavines était entièrement inondée. La Fure au niveau du pont au droit de la Mairie de Charavines était limite débordante ; - La cave d'un particulier a été inondée (par infiltration) à l'amont du pont de la Mairie (Ff3) ; - Le jardin d'une maison en rive gauche à l'amont du pont de la caserne (Ff4) a été inondé en Octobre 1993 et Novembre 2002 ; - Une montée des eaux importante a été observée en Juillet 1972 vers l'ancien moulin du Guillermet (amont Ff6). La laisse de crue se situe à 50 cm sous la fenêtre de l'habitation.
Apprieu	- Le canal des aciéries de Bonpertuis s'est obstrué en 2004 suite à un glissement de terrain. Le risque de rupture d'un tronçon de digue du canal de Bonpertuis est important. L'enjeu majeur sous le canal de Bonpertuis est la STEP de Charavines. - Les jardins des habitations du site des aciéries de Bonpertuis ont été inondés en Novembre 2002. En Juillet 1972, l'eau arrivait jusqu'en bordure des habitations situées à l'aval du pont Ff11 ; - L'enjeu majeur situé en zone inondable sur la commune d'Apprieu est le captage de Côte Gagère. Ce captage a été inondé durant une semaine lors de l'épisode de crue de Novembre 2002 ; - Le canal surplombant le captage de Côte Gagère représente un point noir important en période de crue (nombreuse fuites) ; - Le magasin de bateaux situé vers planche Cattin directement en aval du captage de Côte Gagère a été inondé lors de la crue de novembre 2002. Le canal surplombant la Fure ainsi que la Fure ont débordés entraînant une lame d'eau de 10-20 cm dans tout le RDC du bâtiment.
Saint Blaise du Buis	- Le territoire de Saint Blaise du Buis est peu concerné par les crues de la Fure. Les habitations les plus proches du cours d'eau se situent vers la Ravignouse et sont bien perchées.

Communes	Informations collectées
Rives	- Sur la commune de Rives, les dernières crues (1972, 2002) ont peu marqué les mémoires locales ; - Les points sensibles sur la commune de Rives sont les suivants : - Au niveau de la prise d'eau petite chute (Fp24) : risque de débordement en rive gauche, - A la confluence Fure Réaumont dans le centre de Rives : risque d'embâcle au niveau des anciennes vannes situées en travers de la Fure (Fp28), - Au niveau du passage couvert sous un bâtiment démoli dans le centre de Rives. - En 1993 et 2002, il y avait une lame d'eau déversante de +50° cm au niveau du barrage de la Petite Poype ; - La micro centrale du Bas Rives de M.Lyonnet a été inondée en 1993 et 2002 ; - La commune de Rives ne dispose pas de Plan de Prévention des Risques d'Inondation et ne compte pas en établir un prochainement, l'utilité étant jugé négligeable pour la commune de Rives.
Renage	- Les principaux risques liés aux crues de la Fure sur la commune de Renage sont : - La création d'embâcles au droit des ouvrages et anciens bâtiments, - Les glissements de terrain et la création de barrages naturels, - La déstabilisation de certains ponts (Ff33, Ff36, Ff39). - En Novembre 2002, le canal des papeteries Arjo Wiggins a débordé, entraînant des dégâts aux sous-sols (quelques moteurs noyés). Suite à cet événement, un document sommaire sur les actions contre les inondations a été réalisé.
Tullins-Fures	- En Juillet 1972, les papeteries de Fures ont subi des inondations d'ampleur modérée (fosse de la machine à papier inondée). Suite à cet événement l'ouvrage de dérivation à l'amont de la papeterie (Fp44) a été refait et devrait assurer une protection plus efficace contre les crues de la Fure ; - En Novembre 2002, le canal des papeteries Guély a été bouché suite à un glissement de terrain depuis le coteau sur 15-20 mètres sur sa portion amont (directement en aval de Fp42). Le débordement du canal a pu être stoppé par une manœuvre de vanne au niveau de la prise d'eau ; - Au niveau de Richard Pont Vert, vers chez M.Tersen, la Fure n'est pas stabilisée et présente des risques de sapement de berges importants en période de crue. Le tracé de la Fure à ce niveau a été modifié suite à l'inondation de l'usine Paraboots en 1983 ; - Le barrage d'Hurtières semble jouer un rôle important de piège à embâcles en période de crue. Au niveau de l'écrêtement des crues, cet ouvrage s'avère transparent (niveau d'eau constant). La question de la stabilité du barrage reste à étudier, les conséquences d'une rupture pouvant s'avérer dramatiques.

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296

JD/FLA - XB - GBO

07/07/2009

Page : 181

Communes	Informations collectées
	- En période de crue les points noirs hydrauliques sur la Fure sont : - Les anciens bâtiments dans la traversée de Fures, - Le pont de la RN92 (nœud important pour la circulation et le passage de conduites diverses), - Les bâtiments d'usine en aval du pont de la RN92 (microcentrale Fures Electricité). - Une carte d'aléas a été réalisée par Alp'Géorisques sur la commune de Tullins-Fures. - La commune travaille actuellement sur un Plan Communal de Sauvegarde. Ce plan, relativement sommaire, décrit la cellule de crise à mettre en place et recense les moyens communaux disponibles.

7.3 Hydrologie

7.3.1 Etude BURGEAP (2006)

L'hydrologie en crue de la Fure et de ses principaux affluents a été actualisée récemment lors d'une étude réalisée par BURGEAP (BURGEAP, 2006).

7.3.1.1 Objectifs de l'étude

Cette étude s'est basée sur la construction d'un modèle hydrologique construit par l'intermédiaire du logiciel HEC-HMS. La mise en œuvre de cette modélisation hydrologique du bassin versant a notamment permis :

- De réaliser des simulations en considérant différents événements pluviométriques et différents mode de gestion des vannes du Lac de Paladru ;
- De calculer des hydrogrammes de référence en des points stratégiques du bassin versant ;
- De tester l'impact du niveau initial du Lac sur la genèse de la crue de la Fure ;

7.3.1.2 Choix des points de calculs et limite du bassin versant

Suite à une analyse cartographique, 12 points de calculs ont été définis. Ces points, représentant l'exutoire de bassins versants élémentaires, ont été choisis pour leur situation particulière (exutoire, confluence, franchissement, enjeu).

Les points de calculs sont les suivants :

- A- Exutoire du ruisseau du Pin
- B- Exutoire du Courbon
- C- Exutoire du lac de Paladru
- D- La Fure au pont de la D50 à Guillermet
- E- La Fure au pont de la D520 à Ravignhouse
- F- La Fure à l'usine SVAM à Pastières
- G- La Fure à sa confluence avec le Réaumont
- H- La Fure au centre de Renage
- I- La Fure au pont de la D45 à Hurières

- J- La Fure au pont de la N92 à Fures
- K- La Fure au pont du château de Saint Jean de Chépy
- L- La Fure à sa confluence avec la Morge

A ces 12 points de calculs sont associés 14 sous bassins versants élémentaires (voir carte 6 de l'atlas cartographique). Les bassins versants associés à ces points ont été délimités à partir des courbes de niveau du terrain et des observations faites sur le terrain.

7.3.1.3 *Caractéristiques des sous bassins versants*

Morphologie générale

Les principales caractéristiques physiques des sous bassins versants sont regroupées dans le tableau ci-après.

Tableau 46: Principales caractéristiques physiques des bassins versants élémentaires

Bassin Versant	Surface	Périmètre	Longueur du Talweg	Pente moyenne
SBV 1	15.02 km ²	22.1 km	10.0 km	1.0 %
SBV 2	12.22 km ²	16.3 km	5.0 km	1.2 %
SBV 3	3.80 km ²	12.2 km	5.3 km	0 %
SBV 4	15.2 km ²	35.5 km	2.7 km	9.6 %
SBV 5	11.29 km ²	22.5 km	3.1 km	0.9 %
SBV 6	9.12 km ²	14.2 km	3.3 km	1.2 %
SBV 7	6.70 km ²	11.1 km	5.7 km	1.1 %
SBV 8	6.44 km ²	11.6 km	3.5 km	1.2 %
SBV 9	3.11 km ²	8.9 km	3.8 km	0.9 %
SBV 10	8.71 km ²	13.9 km	2.7 km	1.7 %
SBV 11	5.98 km ²	10.4 km	2.7 km	2.4 %
SBV 12	0.60 km ²	4.4 km	1.1 km	1.2 %
SBV 13	0.56 km ²	4 km	1.5 km	1.3 %
SBV 14	2.79 km ²	10 km	2.3 km	0.2 %

Temps de concentration

Le temps de concentration représente la durée mise par l'eau ruisselée pour parcourir la plus grande distance hydraulique jusqu'à l'exutoire du bassin versant.

Le temps de concentration peut être calculé à partir de différentes formules adaptées à des bassins versants ruraux ou semi ruraux.

- Formule de Passini

$$t_c = 0,14 \frac{(SL)^{1/3}}{P^{1/2}}$$

Avec :

- « t_c : temps de concentration en minutes
- « S : superficie en ha
- « L : longueur du plus long thalweg en m
- « P : pente en m/m

- Formule de Ventura

$$t_c = 7.63 \sqrt{\frac{S}{P}}$$

Avec :

- « t_c : temps de concentration en minutes
- « S : superficie en ha
- « P : pente en %

- Formule de Turazza

$$t_c = 6 \frac{(SL)^{1/3}}{(P)^{0.5}}$$

Avec :

- « t_c : temps de concentration en minutes
- « S : superficie en km²
- « L : longueur du plus long thalweg en km
- « P : pente en m/m

Les résultats obtenus par ces trois méthodes sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 47: Temps de concentration des sous bassins versants

Bassin Versant	Tc par Passini en heures	Tc par Ventura en heures	Tc par Turazza en heures
SBV 1	5.8	5.0	5.3
SBV 2	3.9	4.1	3.6
SBV 3	0.0	0.0	0.0
SBV 4	1.2	1.6	1.1
SBV 5	5.1	4.6	4.6
SBV 6	3.3	3.5	3.1
SBV 7	3.5	3.2	3.2
SBV 8	3.1	3.0	2.8
SBV 9	2.6	2.4	2.4
SBV 10	2.7	2.9	2.5
SBV 11	1.8	2.0	1.6
SBV 12	0.9	0.9	0.8
SBV 13	0.9	0.8	0.8
SBV 14	4.3	4.5	3.9

Au vu des résultats obtenus, les différentes méthodes donnent des valeurs assez proches. Pour initier notre modèle, nous avons choisi les valeurs données par la méthode de Turazza.

7.3.1.4 Pluviométrie exceptionnelle considérée

• Courbes HDF pour des durées de pluie inférieures à 24 heures

Les courbes HDF (Hauteur Durée Fréquence) sont déduites de la formule de Montana :

$$P_T(t) = a * (t)^{1-b}$$

Avec :

- « P_T : pluie de période de retour T en mm sur la durée t ;
- « t : durée de la pluie en heures ;
- « a, b : paramètres de Montana.

Les paramètres a et b sont des coefficients régionaux, déterminés pour la pluie décennale. Grâce aux données pluviométriques de Grenoble-Saint-Geoirs que l'on connaît jusqu'au pas de temps horaire, on trouve a = 37.97 et b = 0.7479 pour des durées de 1 heure à 24 heures pour la pluie décennale.

Pour les pluies de période de retour T supérieure à 10 ans, on utilise la formule de Montana généralisée où :

$$\begin{aligned} & \text{« } a = c + d \ln(T) \\ & \text{« } 1/(1-b) = e + f \ln(T) \end{aligned}$$

En résolvant deux systèmes d'équations simples, on trouve $c = 16.12$, $d = 9.487$, $e = 3.3141$, $f = 0.2834$. On peut, à partir de là, calculer les pluies cinquantennale et centennale pour les durées de pluies voulues. Les données obtenues sont regroupées en annexe n°4.

• Courbes HDF pour des durées de pluie supérieures à 24 heures

Les courbes HDF pour des durées de pluie supérieure à 24 heures sont déduites des données des stations Météo France de Charavines et Tullins. Par l'intermédiaire de la méthode du renouvellement, Météo France a estimé les hauteurs de précipitation d'occurrence rare ($T = 5, 10, 20, 50$ et 100 ans) pour des durées de précipitations de 1 à 10 jours. Ces données sont regroupées en annexe n°4.

7.3.1.5 Evénements pluviométriques considérés

Les simulations ont été réalisées pour deux principaux types d'événements pluviométriques :

- Evènement long (4 jours),
- Evènement court (18 heures).

Dans le cas de l'évènement long, le Lac de Paladru a été considéré comme initialement plein (situation critique). Concernant l'évènement court, le Lac de Paladru est considéré avec un niveau initial bas et non déversant durant l'évènement de crue, mode de fonctionnement du lac lors des crues estivales.

Suite à la comparaison entre les deux principaux scénarii considérés, les observations suivantes ont été notées :

- De l'exutoire du Lac de Paladru au Guillermet, les débits de pointe sont maximaux dans le cas d'un évènement long, l'écoulement dans la Fure résultant essentiellement des déversements du Lac de Paladru ;
- Les débits de pointe atteints sont plus importants à l'aval du Guillermet dans le cas d'un évènement court, le ruissellement sur les versants contribuant à la plus grande part des écoulements dans la Fure.

7.3.1.6 Modélisation hydrologique

Méthodologie

Le modèle pluie-débit a été élaboré grâce au logiciel HEC-HMS développé par le US Army Corps. Ce modèle procède de la manière suivante :

- entrée d'un hyétogramme connu réel ou calcul du hyétogramme de fréquence voulue grâce aux lois Intensité-Durée-Fréquence des pluies dans la région,
- calcul de l'hydrogramme de la crue résultante sur chaque bassin élémentaire grâce à différents modèles de transferts,
- calcul de l'hydrogramme résultant des apports des différents sous bassins versants en différents points de la rivière.

Avant de simuler les crues qui nous intéressent (Q10, Q50, Q100), il est nécessaire de caler le modèle. Par soucis d'actualisation du modèle, nous l'avons calé sur une crue récente, celle de novembre 2002.

Construction du modèle

Le modèle hydrologique se compose de 14 bassins versants élémentaires, de 9 biefs (tronçons de la Fure) et d'un réservoir (le lac de Paladru).

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 186

Figure 71 : Courbes HDF à Charavines pour des durées de pluie de 1 à 10 jours

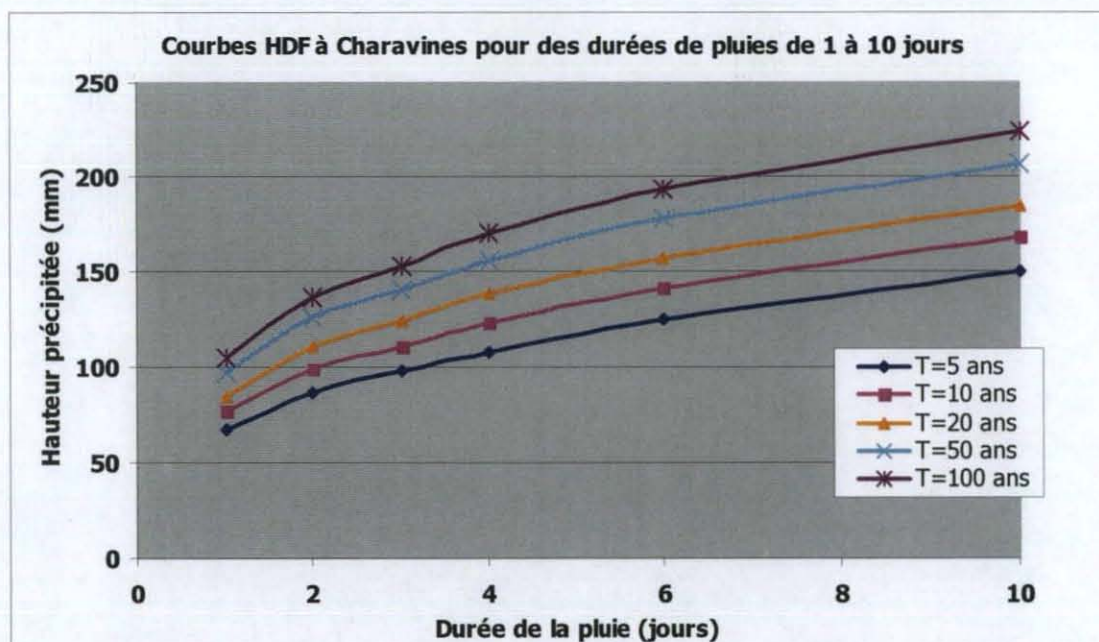
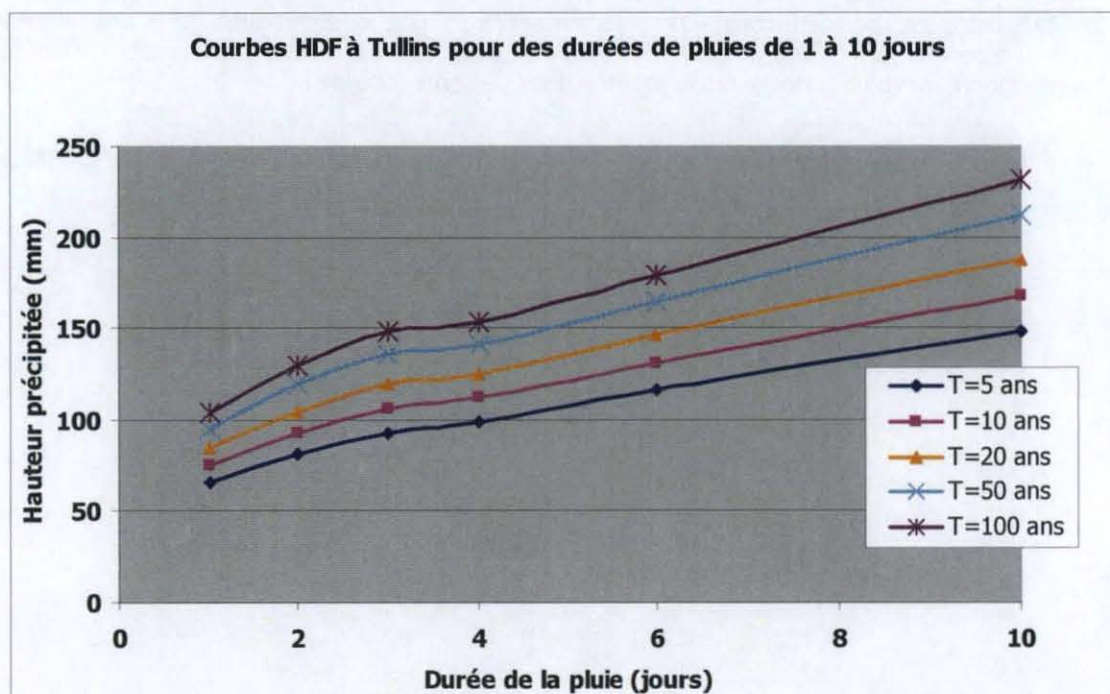
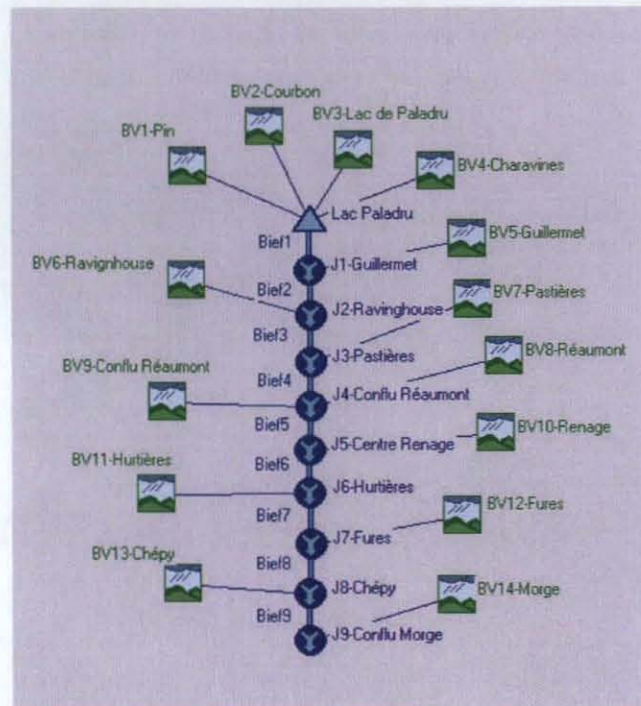


Figure 72: Courbes HDF à Tullins pour des durées de pluie de 1 à 10 jours



Lors de l'analyse de ces données, on se rend compte que les précipitations de référence à Charavines et Tullins sont assez peu différentes. On ne considèrera donc pas de zonage du bassin versant. Les précipitations de référence choisies seront celles de Charavines qui sont légèrement supérieures et plus représentatives du bassin versant.

Figure 73: Modèle HEC-HMS du bassin versant de la Fure



Le lac de Paladru est considéré comme un réservoir défini par une loi de remplissage et une loi de vidange. Ces lois du réservoir sont définis au sein du logiciel HEC-HMS par l'intermédiaire d'une table reliant le niveau du lac (elevation), le volume stocké (storage) et le débit de sortie (outflow).

Figure 74: Lois de remplissage et de vidange du réservoir sous HEC-HMS

Reservoir Name: Lac Paladru

Description:

Storage | Outflow | Spillway | Overflow | Dam Break

Method: Elevation-Storage-Outflow

Initial Elevation (m): 491.00

Elevation (m)	Storage (1000 cu m)	Outflow (cms)
490.57	93432.0	0.80
490.58	93468.4	0.80
490.59	93504.8	0.80
490.60	93541.2	0.80
490.61	93577.6	0.80
490.62	93614.1	0.80
490.63	93650.6	0.80
490.64	93687.1	0.81

Graph

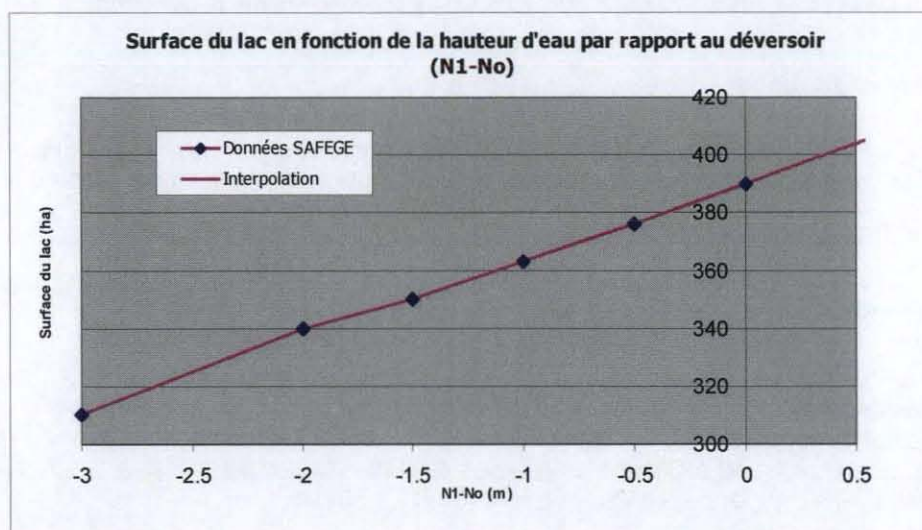
OK Apply Cancel

La loi de remplissage du lac a été obtenue par l'intermédiaire de la loi reliant la surface du lac au niveau des eaux. Cette loi est interpolée à partir des données de l'étude SAFEGE de 1991 (voir tableau et figure ci-après).

Tableau 48: Surface du lac pour différents niveaux d'après SAFEGE

Niveau du lac par rapport au déversoir (m)	Surface (ha)
0	390
-0.5	376
-1	363
-1.5	350
-2	340
-3	310

Figure 75: Interpolation de la loi Surface-Niveau du lac

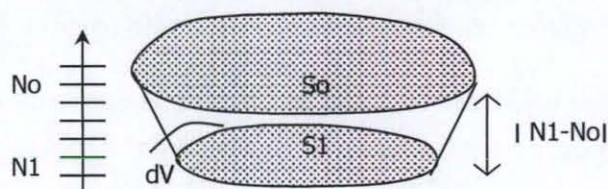


Connaissant le volume du lac (MILLON, 1951) quand le niveau de celui est égal à celui du déversoir des vannes (No), il est possible d'évaluer le volume du lac correspondant à une cote quelconque du lac.

- Le volume du lac pour le niveau No vaut $V_0 = 97\,197\,000 \text{ m}^3$
- Le volume du lac pour le niveau N1 vaut $V_1 = V_0 + dV$ avec $dV = (N_1 - N_0) \times \text{Moyenne } (S_0, S_1)$

Avec respectivement S_0 et S_1 les surfaces du lac à la cote N_0 et N_1 .

Figure 76 : Variation de volume (dV) correspondant à un variation de niveau (N1-No)



La loi de vidange du lac, reliant le débit de vidange au niveau du lac, dépend de la manœuvre des vannes réalisée par le Syndicat de la Fure.

Choix des méthodes de calcul

Nous avons choisi les méthodes suivantes :

- La méthode de Clark pour la transformation pluie-débit au sein des bassins versants élémentaires,
- La méthode de Muskingum pour la propagation de l'onde de crue dans les différents biefs de la rivière.

La méthode de Clark fait intervenir deux paramètres : le temps de concentration (T_c) et le temps de stockage (T_s). Le temps de stockage permet de modéliser les temps de vidange un peu long par exemple lorsqu'il y a présence de réservoirs (étangs, piscicultures) qui ralentissent et laminent l'onde de crue. Ainsi, le temps de stockage sera fixé à 2 à 4 fois T_c selon l'importance du phénomène de stockage sur le sous bassin versant. Il vaudra T_c lorsque l'écoulement se produit sans phénomène de stockage.

La méthode de Muskingum fait également intervenir deux paramètres : le temps de propagation (lag K) et un coefficient définissant l'amplitude du laminage (X). Le coefficient X est compris entre 0 et 0,5. Lorsque X est nul, le laminage est maximum. Pour une rivière, la valeur moyenne généralement considérée est 0,2.

Saisie des précipitations

Nous avons fait le choix de saisir dans le modèle directement les pluies nettes. Celles-ci sont obtenues en appliquant un coefficient de ruissellement (r) aux données pluviométriques brutes obtenues grâce à la Banque Pluvio :

$$P_{net} = r \times P_{brut}$$

Calage du modèle

Le modèle a été calé sur la crue de novembre 2002. Les hyétogrammes enregistrés à Charavines et Tullins montrent des précipitations moins intenses à Tullins. Nous avons donc réalisé un zonage du bassin versant de la Fure. A partir de la géographie et topographie des sous bassins versants, nous avons considéré une pluie identique à celle enregistrée à Charavines pour les sous bassins versants SBV1 à SBV9 et identique à celle enregistrée à Tullins pour les sous bassins versants SBV10 à SBV14.

La simulation sous HEC-HMS a été réalisée à partir du 12 novembre 2002 (2 jours avant le pic de précipitation) jusqu'à la fin du mois de novembre. Il a donc fallu tenir compte de la saturation des sols et des écoulements initiaux induits par les précipitations antérieures.

• Calage à l'amont du lac de Paladru

Dans un premier temps, nous avons considéré le bassin versant du lac de Paladru afin de caler les coefficients de ruissellement et les temps de concentration des bassins versants élémentaires.

Les données disponibles concernant la crue de novembre 2002 sont les suivantes :

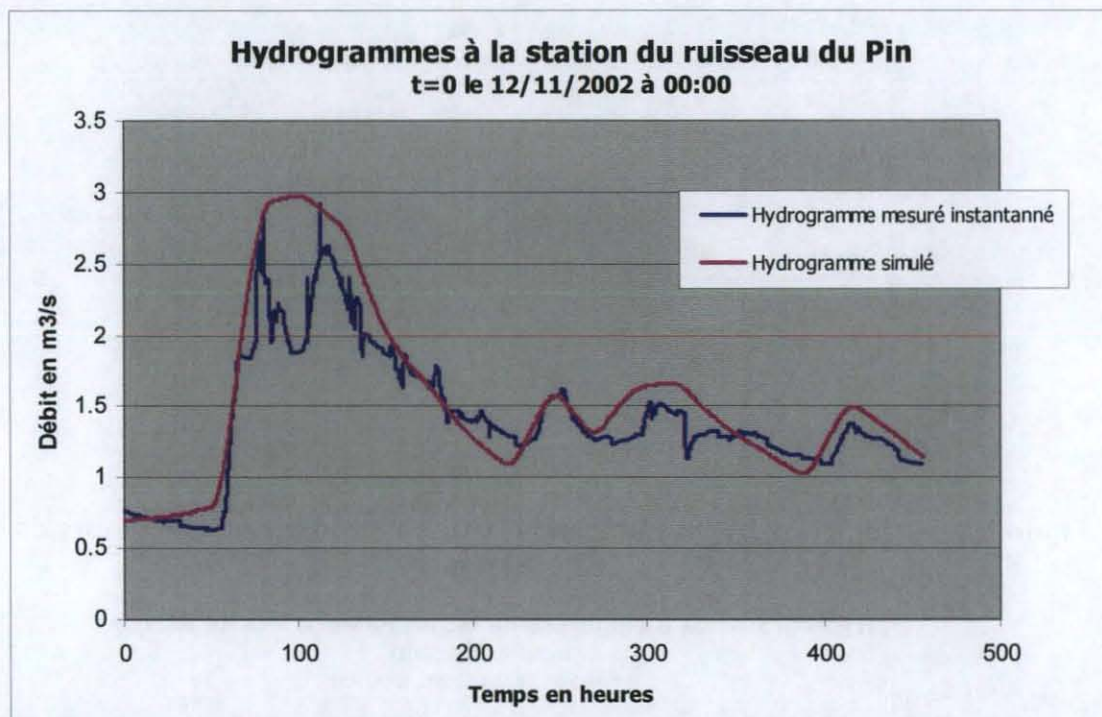
- hydrogramme de crue proche de l'exutoire du ruisseau du Pin (données du limnigraphe installé par le SIVU de la Fure)
- débits journaliers à l'exutoire du lac (données collectées par le gardien des vannes du lac)
- cotes journalières du lac (données collectées par le gardien des vannes du lac)

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 190

- Calage à l'exutoire du ruisseau du Pin

Les données issues du limnigraphe ont un pas de temps petit (15 minutes). L'hydrogramme simulé, résultant d'une pluie de pas de temps journalier, a une enveloppe beaucoup plus lissée comme nous pouvons le voir sur la figure suivante. Le calage est réalisé afin d'obtenir la concomitance des débits de pointe des hydrogrammes observés et simulés. Ceci conduit à majorer les volumes de crues, ce qui est cohérent avec une démarche sécuritaire.

Figure 77 : Calage à la station du ruisseau du Pin lors de la crue de novembre 2002



Pour ajuster au mieux le débit de pointe de l'hydrogramme simulé à celui enregistré par le limnigraphe, nous avons choisi un coefficient de ruissellement r égal à 0,45. Cette valeur relativement forte s'explique par des sols en partie saturés par les épisodes pluvieux des premiers jours de novembre. Afin d'ajuster temporellement le pic de crue, nous avons calé le temps de concentration à 15 heures et le temps de stockage à 50 heures. Ces valeurs élevées sont liées à la présence d'une succession d'étangs sur le linéaire du ruisseau du Pin (trois en dérivation et un dans la continuité du ruisseau), ce qui retarde l'arrivée du pic de crue.

- Calage à l'exutoire du lac de Paladru

L'hydrogramme de crue observé à l'exutoire du lac de Paladru lors de l'épisode de novembre 2002 est déduit des relevés du gardien des vannes.

Les niveaux du lac relevés par le gardien sont légèrement en deçà des niveaux réels du lac de Paladru. En effet, pour les hautes eaux, les buses du pont de la route départementale RD50 située à l'amont des vannes génèrent une perte de charge et une baisse de niveau des eaux. Nous avons choisi de caler le niveau du lac simulé à celui relevé par le gardien des vannes. Ainsi, le phénomène de perte de charge est intégré implicitement dans le calage du modèle hydrologique. Il en sera de même pour les simulations ultérieures.

Dans la table définissant la loi de vidange du réservoir, sous HEC-HMS, nous avons donc entré les valeurs de débit de vidange associées aux niveaux du lac relevés en novembre 2002

Figure 78: Calage des niveaux du lac de Paladru lors de la crue de novembre 2002

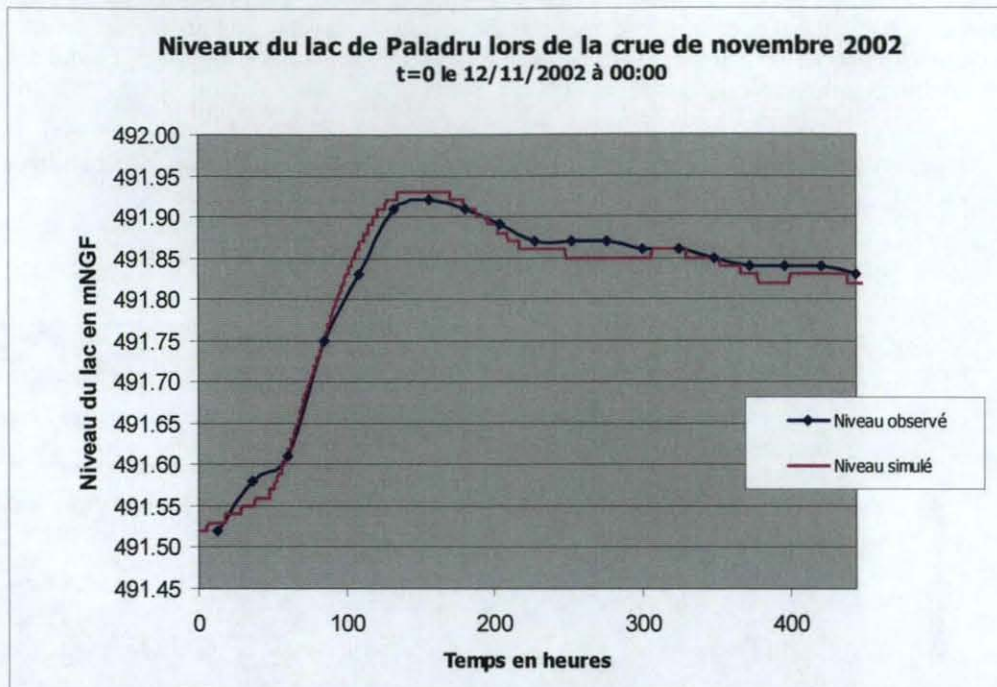
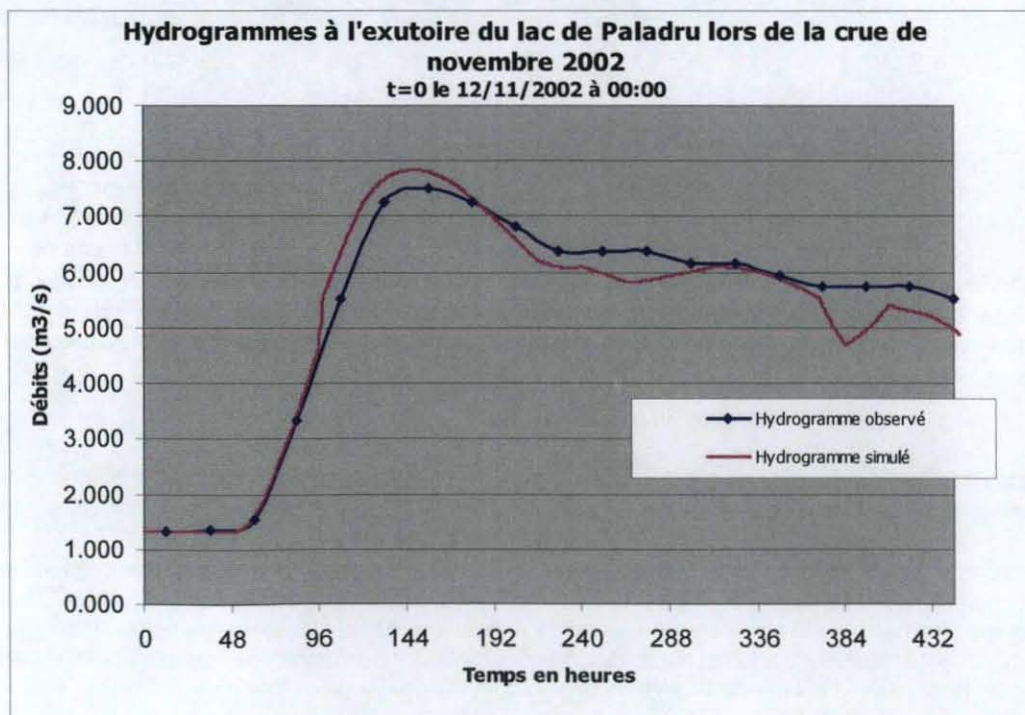


Figure 79 : Calage des hydrogrammes à l'exutoire du lac de Paladru lors de la crue de novembre 2002



On constate des fluctuations du niveau du lac simulé autour du niveau observé. Ceci s'explique par un niveau du lac observé au pas de temps journalier alors que le niveau simulé est obtenu avec un pas de temps d'une demi-heure. Il est donc normal d'obtenir une courbe d'évolution du niveau observé plus lissée que celle du niveau simulé. Les fluctuations de l'hydrogramme simulé autour de l'hydrogramme observé résultent du même phénomène.

Afin d'ajuster l'hydrogramme de crue à la sortie du lac de Paladru, il est nécessaire de considérer des coefficients de ruissellement bien supérieurs à ceux calés au niveau du bassin élémentaire du ruisseau du Pin. Ceci s'explique par la contribution, sur la durée de la crue, des écoulements souterrains à l'alimentation du lac de Paladru.

Ainsi, nous avons considéré un coefficient de ruissellement égal à 1 sur le bassin versant élémentaire SBV4 et un temps de concentration égal à 50 heures. On suppose ainsi que la pluie brute sur ce sous bassin versant contribue entièrement à alimenter le lac de Paladru. Ce coefficient égal à 1 correspond à un coefficient d'apport global incluant la part ruisselée et la part infiltrée revenant au lac.

Le temps de concentration relativement long pour ce sous bassin tient compte du temps de réponse des écoulements souterrains. En réalité, la pluie brute précipitée sur SBV4 ne revient pas entièrement au lac. Des écoulements souterrains provenant des sous bassins versants du ruisseau du Pin et du Courbon (SBV1 et SBV2) doivent également contribuer à son alimentation. Cependant, pour ne pas fausser les estimations des écoulements superficiels à l'exutoire de ces sous bassins, nous avons choisi d'agir uniquement sur le sous bassin SBV4.

Pour le sous bassin versant SBV3, constitué par le lac de Paladru, la totalité de la pluie brute alimente le lac d'où un coefficient d'apport égal à 1. Le temps de concentration sur SBV3 est nul en théorie. On le fixe au pas de temps de calcul c'est-à-dire à 0,5 heure.

En résumé, nous avons calé un coefficient de ruissellement de 0,45 sur les sous bassins versants SBV1 et SBV2, et un coefficient d'apport égal à 1 sur les sous bassins versants SBV3 et SBV4. En réalisant une moyenne pondérée par les surfaces des différents sous bassins versants, on déduit un coefficient d'apport global égal à 0,68.

• Calage à l'aval du Lac de Paladru

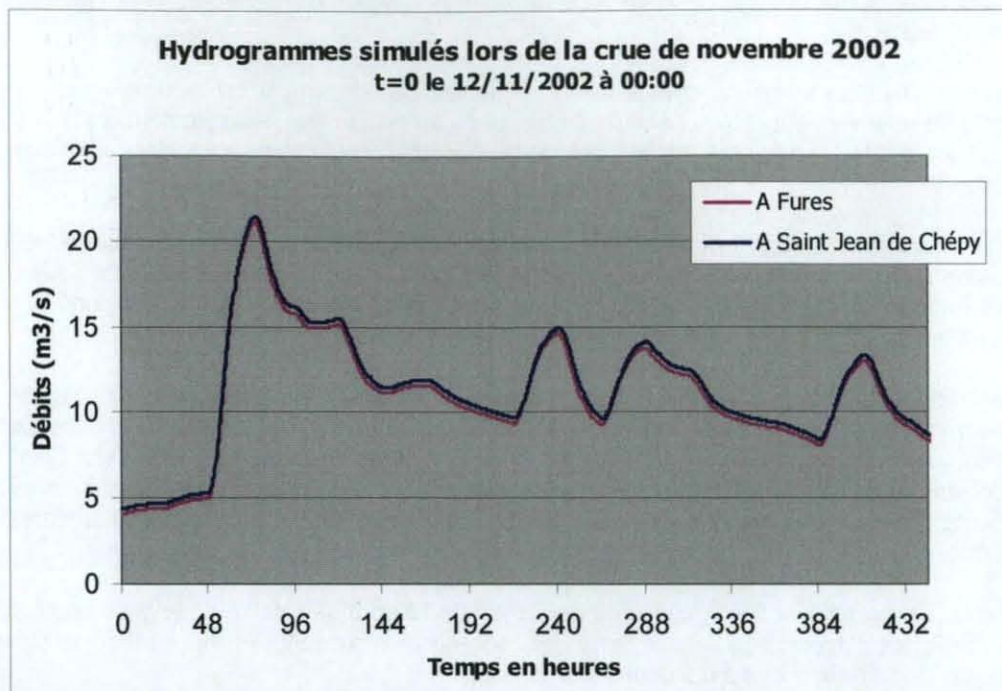
Les données permettant de caler le modèle à l'aval sont relativement restreintes. En effet, aucune mesure hydrométrique n'a été réalisée lors de l'épisode de novembre 2002. Nous avons dû estimer des débits de pointe par l'intermédiaire de laisses de crue au niveau de l'entrée de Fures et du château de Saint Jean de Chépy. En considérant la rugosité du lit et des berges et la pente du cours d'eau aux endroits considérés, on obtient un ordre de grandeur des débits de pointe atteints lors de la crue de novembre 2002.

Tableau 49: Débits de pointe à Fures et Saint Jean de Chépy

	Débit de pointe
A l'entrée de Fures	~ 20 m ³ /s
A Saint Jean de Chépy	~ 22 m ³ /s

Ces informations sur l'ordre de grandeur du débit de pointe nous ont permis de caler l'amplitude du pic de crue. Nous vérifions qu'un coefficient de ruissellement égal à 0,45 (identique à celui calé sur les bassins versants du Pin et du Courbon) permet de retrouver l'ordre de grandeur des débits de pointe estimés par l'intermédiaire des laisses de crue.

Figure 80 : Hydrogrammes simulés lors de la crue de novembre 2002



En revanche, nous ne disposons d'aucune information pour le calage temporel. Nous nous sommes donc basés sur les valeurs théoriques des temps de concentrations et des temps de propagation dans les différents biefs.

Le temps de propagation a été estimé afin d'obtenir des vitesses dans chaque bief de la Fure comprises entre 0,5 et 1 m/s. Les vitesses les plus faibles se situent dans les zones d'expansion de crue comme au niveau de Ravignouse ou dans la plaine de Saint Jean de Chépy. Les vitesses les plus fortes se situent là où la vallée est encaissée comme à l'amont de Rives ou vers Renage.

• Synthèse sur le calage

Les temps de concentration et de stockage calés sur les différents sous bassins versants sont regroupés dans le Tableau 50. Les temps de propagation des différents biefs de la Fure sont regroupés dans le Tableau 51.

Tableau 50: Temps de concentration (Tc) théoriques et calé et temps de stockage (Ts) calé

Bassin Versant	Tc par Passini en heures	Tc par Ventura en heures	Tc par Turazza en heures	Tc calé en heures	Ts calé en heures
SBV 1	5.8	5.0	5.3	15	50
SBV 2	3.9	4.1	3.6	8	32
SBV 3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
SBV 4	1.2	1.6	1.1	50	100
SBV 5	5.1	4.6	4.6	5	10
SBV 6	3.3	3.5	3.1	3.5	3.5
SBV 7	3.5	3.2	3.2	3.5	10
SBV 8	3.1	3.0	2.8	3	9
SBV 9	2.6	2.4	2.4	2.5	5
SBV 10	2.7	2.9	2.5	3	6
SBV 11	1.8	2.0	1.6	2	4
SBV 12	0.9	0.9	0.8	1	1
SBV 13	0.9	0.8	0.8	1	2
SBV 14	4.3	4.5	3.9	4.5	9

Les valeurs des temps de concentrations calées sont similaires aux valeurs théoriques pour les sous bassins versants situés à l'aval des vannes du lac de Paladru (SBV5 à SBV14).

Pour les sous bassins versants situés à l'amont du lac de Paladru, les temps de concentrations calés sont supérieurs aux valeurs théoriques. Au niveau des sous bassins du ruisseau du Pin et du Courbon (SBV1 et SBV2), ceci s'explique par la présence d'étangs contribuant à laminer le pic de crue et augmenter la durée des hydrogrammes.

Pour le sous bassin versant SBV4, la différence entre la valeur calée et les valeurs théoriques est très importante (50 heures au lieu de 1,5 heures). En effet, le calage du temps de concentration pour ce sous bassin versant tient compte du temps de réponse des écoulements souterrains, bien plus long que celui de la part ruisselée.

Tableau 51 : Temps de propagation dans les différents biefs calés avec le modèle hydrologique

Numéro du bief*	Vitesse (m/s)	Temps de propagation calé en heure
1	1	1.0
2	0,5	2.0
3	0,5	3.0
4	1	1.0
5	1	0.8
6	1	0.8
7	1	0.3
8	0,5	0.8
9	0,5	1.3

* Les numéros des biefs sont indiqués sur la figure 4.

Simulation des hydrogrammes de référence

Une fois la phase de calage réalisée, la simulation des hydrogrammes de référence a été menée pour deux types d'évènements pluviométriques :

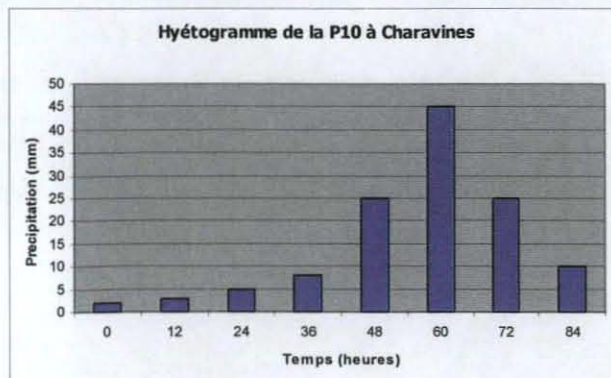
- Evènement long (4 jours),
- Evènement court (18 heures).

Les hyétogrammes pour les deux types d'évènement ont été construit de façon à obtenir une réponse maximale du bassin versant.

Hyétogramme pour un évènement long (4 jours) :

Le hyétogramme construit comporte un pas de temps de 12 heures. Pour se positionner dans la situation la plus critique, le pic de pluviométrie est positionné à la fin de l'évènement pluvieux. Ainsi, l'hydrogramme de crue du lac et les hydrogrammes de ruissellement à l'aval des vannes sont temporellement plus proches. Les débits de pointe résultant de la combinaison de ces deux hydrogrammes sont donc plus grands.

Figure 81: Hyétogramme de la pluie décennale de durée 4 jours



Hyétogramme pour un évènement court (18 heures) :

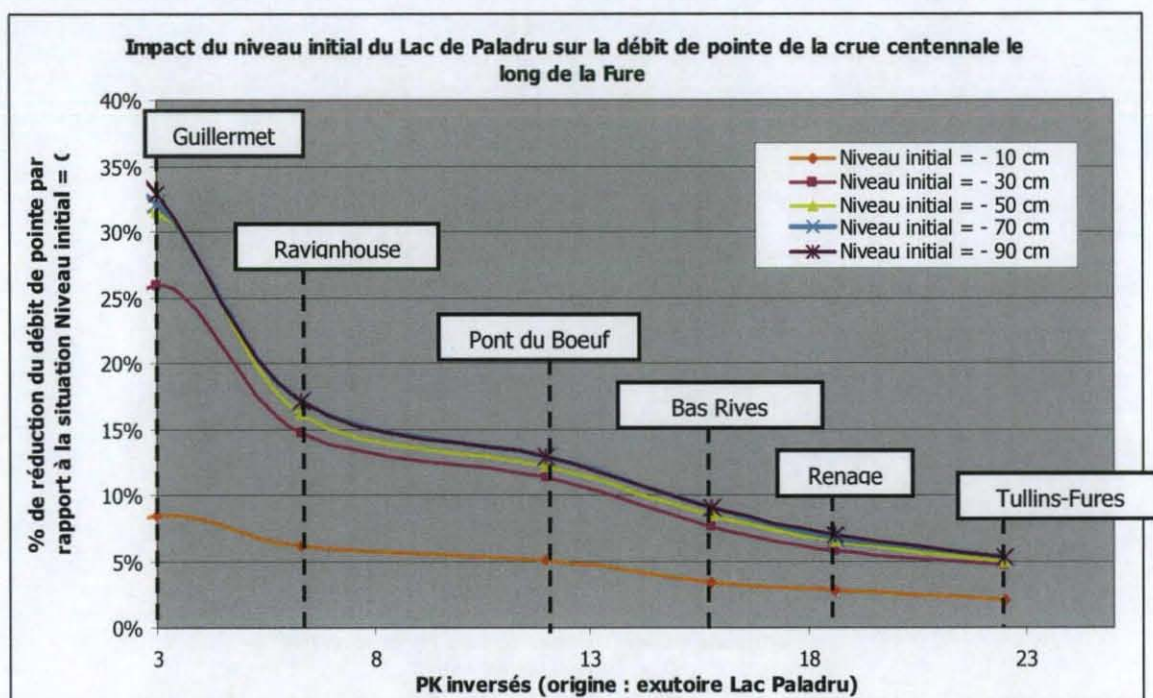
Le hyétogramme a été construit avec un pas de temps de 6 heures avec un pic de précipitation entre 6 et 12 heures.

7.3.1.7 Impact du niveau initial du Lac de Paladru et de la gestion des vannes en période de crue

L'impact du niveau initial du Lac de Paladru sur l'hydraulique de la Fure en crue a pu être étudié au moyen du logiciel réalisé sous HEC-HMS. Le Lac de Paladru, étant modélisé comme un réservoir, il est possible de faire varier la cote initiale de remplissage de ce réservoir.

La figure ci-dessous présente l'impact du niveau initial du Lac de Paladru (exprimé par rapport à la cote de la crête du déversoir latéral de sécurité) sur le débit de pointe de la crue centennale le long de la Fure.

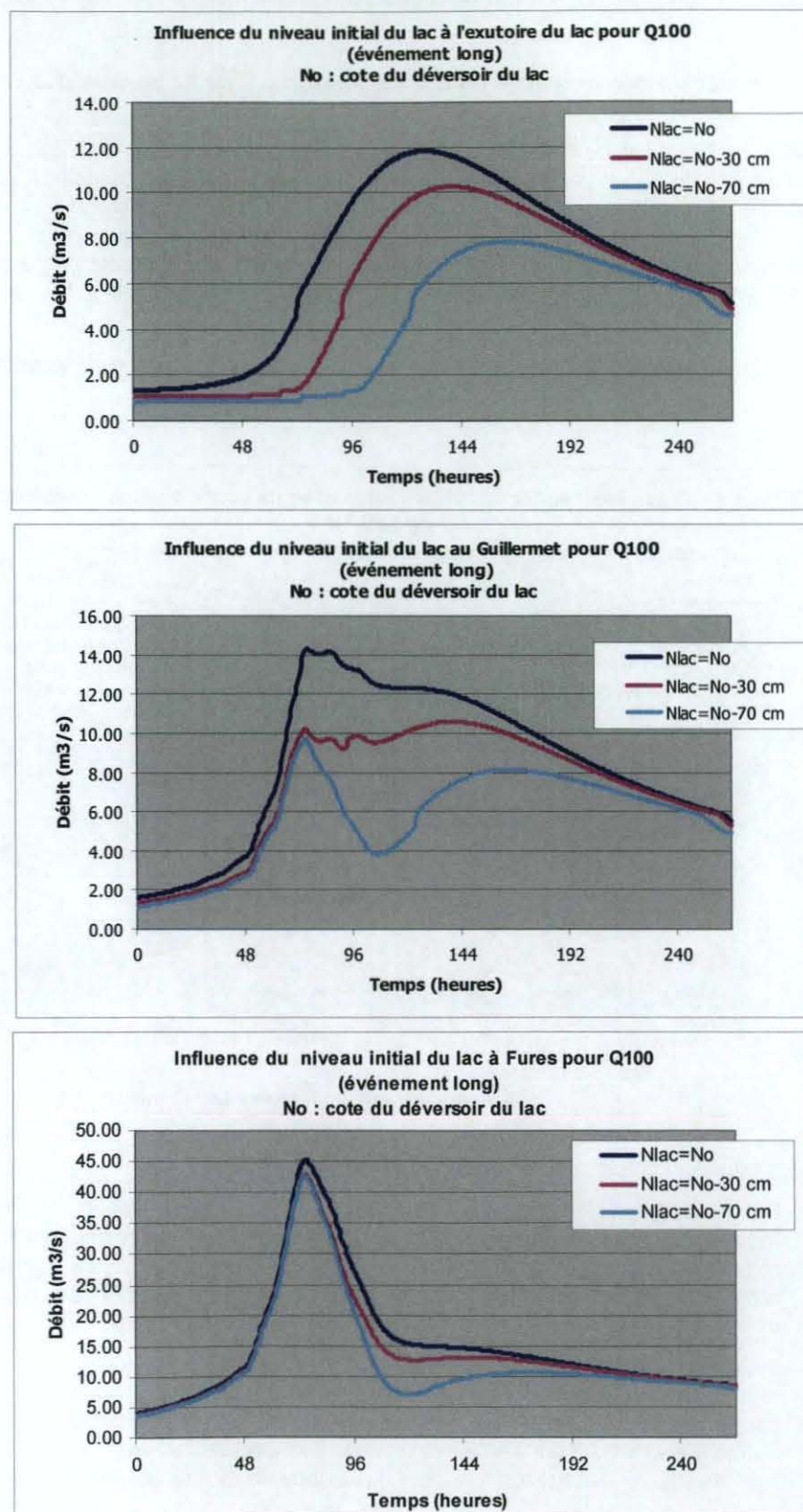
Figure 82: Profil en long de l'impact du niveau initial du Lac de Paladru sur le débit centennial



L'observation des figures précédentes met en évidence :

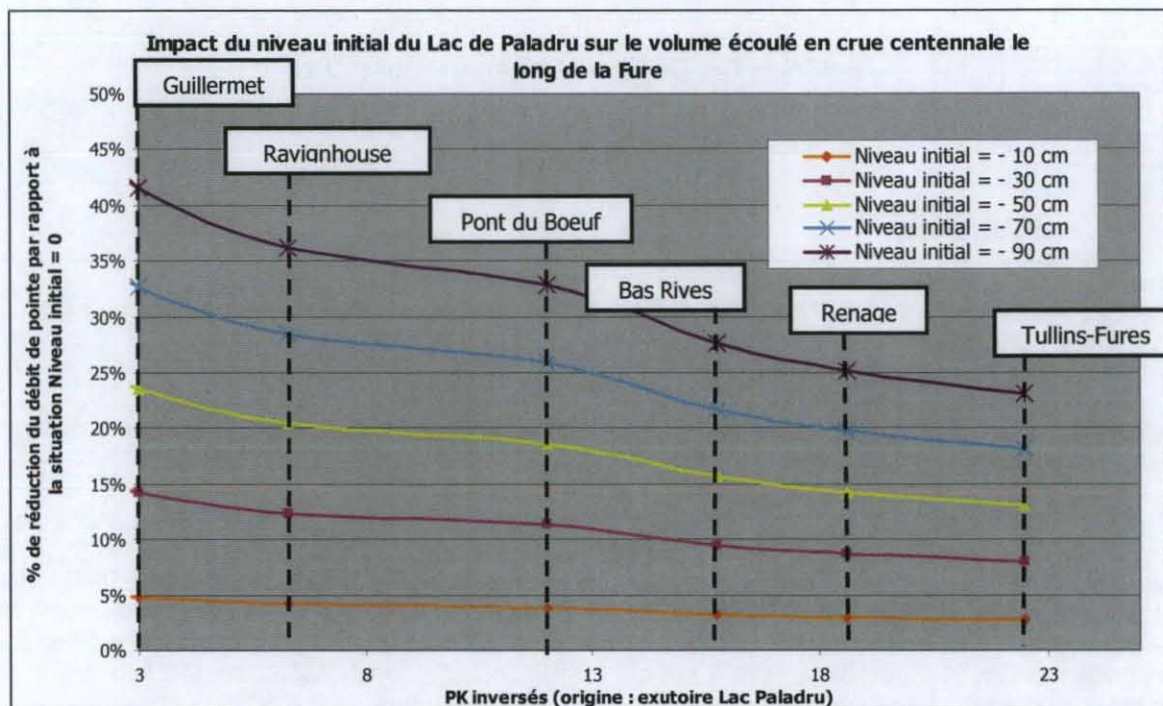
- Une réduction de l'impact du niveau initial du lac de l'amont vers l'aval. L'impact diminue très fortement entre le Guillermet et Ravignhouse. Ainsi, pour un niveau initial du lac à -30 cm, la réduction du débit de pointe passe de 26% au Guillermet à 15% à Ravignhouse. Cette forte réduction de l'impact s'explique par une participation prépondérante du bassin versant intermédiaire dans les écoulements de la Fure par rapport au seul débit en sortie du lac ;
- Pour des niveaux du lac inférieurs à -30 cm, l'impact sur les débits de pointe évolue peu : un niveau initial à -90 cm génère quasiment le même débit de pointe à Fures qu'un niveau à -30 cm. En effet, un niveau initial très bas permet d'écarter fortement l'hydrogramme à l'exutoire du lac mais l'impact sur les débits de pointe le long de la Fure, résultant essentiellement des apports intermédiaires, reste faible. Ce phénomène est illustré par les 3 graphiques ci après.

Figure 83: Impact du niveau initial du Lac de Paladru sur les hydrogrammes de crue centennale



La figure ci-dessous présente l'impact du niveau initial du Lac de Paladru sur le volume écoulé en crue centennale le long de la Fure.

Figure 84: Profil en long de l'impact du niveau initial du Lac de Paladru sur le volume écoulé en crue centennale



Contrairement aux débits de pointe, l'impact du niveau initial sur les volumes écoulés lors de la crue est fort jusqu'en aval du bassin versant : réduction du volume écoulé à Fures de 25% si le niveau initial est de -90 cm par rapport au déversoir par rapport à la situation d'un lac initialement plein.

Concernant la gestion des vannes en période de crue, celle-ci n'a pas une grande influence sur l'évolution des débits à l'exutoire du lac. En effet, le débit sortant au niveau des vannes est négligeable en comparaison au débit déversé par-dessus le déversoir des vannes du lac. Ainsi, pour la crue centennale, le débit transité par les vannes représente au plus 20% du débit de pointe déversé (2 m³/s aux vannes comparé à 10 m³/s déversé) au niveau du déversoir latéral de sécurité.

Cependant, la gestion des vannes joue un rôle important durant la période précédant la crue. En effet, une gestion des vannes, maintenant un niveau relativement bas sous le déversoir, permet un écrêtement important des crues à venir en terme de débit de pointe et surtout en terme de volumes déversés dans la Fure.

L'analyse de l'impact du niveau initial sur les débits de pointe le long de la Fure montre qu'il serait bénéfique de maintenir une revanche de l'ordre de 30 cm par rapport au déversoir afin de limiter les débits le long de la Fure.

Le maintien d'une telle revanche permettrait de réduire le débit de pointe de la crue centennale de 8% dans le bas Rives et de 5% à Fures par rapport à une situation où le lac est initialement plein. Le maintien d'une revanche supérieure à 30 cm ne permettrait pas un gain plus important sur la réduction des débits de pointe, le pic de débit provenant essentiellement des apports intermédiaires et non des apports à l'exutoire du lac.

7.3.2 Scénarii à considérer

L'élaboration des différents scénarii se base sur deux principaux paramètres :

- Durée de l'évènement pluviométrique;
- Niveau initial du Lac de Paladru.

Tableau 52: Différents scénarii possibles

	Niveau bas du Lac de Paladru	Niveau haut du Lac de Paladru
Evènement court	Scénario 1	Scénario 2
Evènement long	Scénario 3	Scénario 4

Les scénarii 1 et 4 correspondent aux deux scénarii étudiés dans l'étude BURGEAP de 2006. Ils traduisent les situations de crue les plus représentatives du bassin versant en période estivale (scénario 1) et en période printanière ou automnale (scénario 4).

Le scénario 3 ne présente pas grand intérêt étant donné qu'il ne correspond pas au scénario critique en période de hautes eaux.

Le scénario 2 est celui qui conduit aux débits de pointe maximaux le long du linéaire de la Fure. En considérant ce scénario, la crue centennale conduit à des débits de pointe de l'ordre de près de 55 m³/s au centre bourg de Fures. Alain Schrambach avait estimé le débit de pointe de la crue de 1856 à 55-60 m³/s au niveau de Fures (CAPOLINI et SCHRAMBACH, 2002). La valeur déduite du scénario 2 est donc du même ordre de grandeur que l'estimation réalisée par M. Schrambach. Il est tout de même important de signaler que le fonctionnement hydraulique de la Fure a été grandement modifié depuis 1856 : construction des vannes, modification des prises d'eau, etc.

Le scénario 2, aboutissant aux débits de pointe maximaux et similaires à ceux estimés pour la crue historique, c'est celui-ci que nous avons considéré pour la réalisation des cartes des zones inondables et des aléas le long de la Fure.

7.3.3 Hydrologie retenue

L'hydrologie de la Fure retenue pour la réalisation des cartes des zones inondables et cartes d'aléas est résumée ci-dessous. Le tableau suivant synthétise les débits de pointe obtenus le long de la Fure pour les scénarii 2,3 et 4. Les débits retenus sont figurés en gras orange.

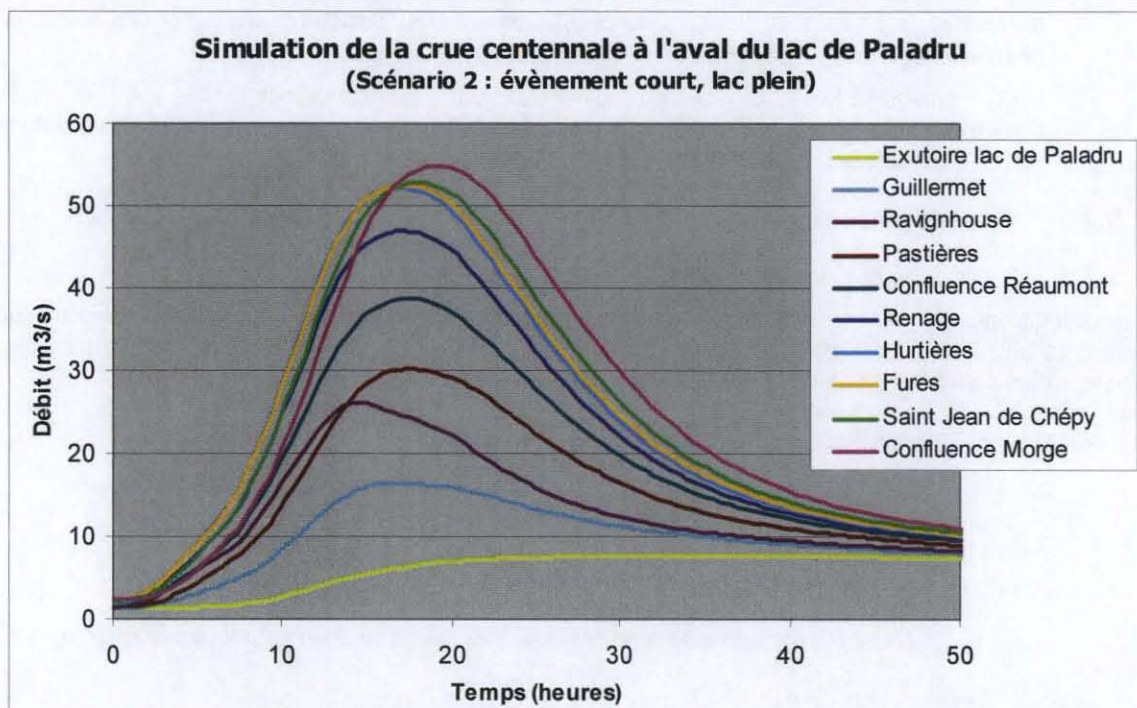
Tableau 53: Débits de pointe retenus (m³/s)

Points de calculs	Scénario 2			Scénario 3			Scénario 4		
	Evènement court + Lac plein			Evènement court + Lac bas			Evènement long + Lac plein		
	Q10	Q50	Q100	Q10	Q50	Q100	Q10	Q50	Q100
Exutoire du lac de Paladru	4	6	8	< 1	< 1	< 1	8	11	12
La Fure au Guillermet	9	14	16	7	10	12	9	13	14
La Fure à Ravignhouse	14	22	26	13	20	23	12	18	21
La Fure à PASTIÈRES	16	25	30	15	23	27	14	22	25
Confluence Fure-Réaumont	21	33	39	20	31	36	19	29	33
La Fure au centre de Renage	26	40	47	25	38	44	23	35	40
La Fure à Hurtières	28	44	52	28	43	50	25	39	45
La Fure à Fures	29	45	53	28	43	50	26	39	45
La Fure à Saint Jean de Chépy	29	45	53	28	44	51	26	40	46
Confluence Fure-Morge	30	47	55	29	45	53	27	41	48

Les débits de pointe obtenus sont déduits du scénario 2 (évènement court, lac plein) pour les points de calculs en aval du Guillermet. Au niveau de l'exutoire du Lac de Paladru, nous avons choisi les débits de pointe obtenus par l'intermédiaire du scénario 4 (évènement long, lac plein) supérieurs à ceux déduits du scénario 2.

Concernant la forme des hydrogrammes de crue, nous nous sommes basés sur les hydrogrammes obtenus avec le scénario 2. Les hydrogrammes le long de la Fure pour la crue centennale sont représentés sur la figure ci-dessous.

Figure 85 : Hydrogrammes retenus pour Q100



Les hydrogrammes pour Q10 et Q50 figurent en annexe n°5.

7.4 Cartes d'aléas existantes

Des cartes d'aléas multirisques ont été réalisées sur les communes de Charavines (Alpes-Géo-Conseil, 2005) et de Tullins (Alp'Géorisques, 2003). Ces cartes, réalisées par expertise, donnent notamment une estimation des aléas concernant les crues rapides de la Fure et inondation de la plaine (plaine de l'Isère pour la commune de Tullins).

Lors du tracé des enveloppes d'inondation et la détermination des aléas liés à la Fure et à ses canaux, nous avons veillé à être cohérent avec les cartes d'aléas existantes. La présente étude, se basant sur une modélisation hydraulique avec des données topographiques précises, permet d'affiner le tracé des cartes précédemment réalisées par simple expertise.

7.5 Modélisation hydraulique

7.5.1 Présentation du logiciel

La modélisation hydraulique a été réalisée grâce au logiciel ISIS de la société Wallingford Software. Ce logiciel permet de construire des modèles 1D-linéaire à casiers et ainsi de réaliser des simulations en régime transitoire. Les facteurs qui déterminent la solution sont classés suivant trois types :

- les effets hydrodynamiques : les écoulements à surface libre peuvent être décrits par les équations de Barré de Saint-Venant qui expriment la conservation de la masse et des quantités de mouvement. Elles prennent en compte l'ensemble des forces de diffusion, de gravité, et de friction sans aucune simplification. Elles sont résolues par la méthode du schéma implicite de Preissman.
- Les conditions limites internes : sous ce terme, sont regroupés les ouvrages de contrôle, les pertes de charge singulières ou les confluences/défluences. Ces structures imposent des relations débit-hauteur aux points considérés et divisent le modèle en biefs.
- Les conditions limites externes : en régime transitoire, des conditions limites sont nécessaires aux deux extrémités amont et aval du système étudié. Elles peuvent être représentées par des relations reliant deux des paramètres débit, hauteur, temps.

7.5.2 Travail préliminaire

7.5.2.1 Capacités des ouvrages

Les dimensions des ouvrages ont été relevées dans l'objectif d'évaluer les capacités hydrauliques des différents ouvrages (ponts et passages sous bâtiments) présents le long du linéaire de la Fure. Des fiches résumant les caractéristiques de chaque ouvrage figurent en annexe n°11 et 12.

Les capacités ont été évaluées en utilisant une formule de type Borda explicitée ci-dessous :

$$Q_c = C \times S \times \sqrt{2 \times g \times \Delta H}$$

- « C : coefficient de contraction
- « S : section de l'ouvrage en m²
- « ΔH : différence de charge Amont/aval, plus pertes de charges singulières et linéaires

Les capacités des différents ouvrages sont récapitulées dans les tableaux ci-après.

Au vu des résultats obtenus, nous constatons que la majorité des ouvrages de franchissement sont dimensionnés pour admettre le débit d'une crue centennale ou plus que centennale. Seuls 15 ouvrages, sur les 48 au total, n'admettent pas une crue plus que cinquantennale et parmi ces ouvrages, 7 d'entre eux sont dimensionnés pour une crue inférieure ou égale à la crue décennale.

Concernant les passages sous bâtiments, la proportion d'ouvrages en sous capacité est importante. 7 passages, sur les 16 au total, ont un gabarit insuffisant pour les crues plus que décennales.

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 202

La connaissance des ouvrages en sous capacité, préalablement à la phase de terrain, a permis d'analyser, lors de celle-ci, les modes de débordements au niveau de ces points noirs.

Figure 86 : Capacité des ouvrages de franchissement de la Fure

Numéro ouvrage	Localisation	Débit capable avant débordement (m3/s)	Capacité
Ff1	Pont busé RD 50	47	>>Q100
Ff2	Pont cadre vannes du Lac	17	>Q100
Ff3	Pont voûte VC	20	>Q100
Ff4	Pont voûte VC lieu-dit "La Caserne"	18	>Q100
Ff5	Pont cadre VC lieu-dit "La Caserne"	26	>Q100
Ff6	Pont voûte VC lieu-dit "côtes du Furens"	27	>Q100
Ff7	Pont voûte RD 50	39	>Q100
Ff8	Pont voûte accès STEP Arjo Wiggins	19	Q100
Ff9	Pont voûte lieu-dit "les Planes"	13	<Q50
Ff10	Pont voûte VP	24	Q100
Ff11	Pont voûte VC "Bonpertuis"	20	<Q100
Ff12	Pont voûte VP	68	>>Q100
Ff13	Pont voûte RD 520 "Ravignhouse"	63	>>Q100
Ff14	Pont Gaulois	5	<Q10
Ff15	Pont busé "Planche Cattin"	2	<<Q10
Ff16	Pont cadre VC	12	<Q10
Ff17	Pont voûte RD 50	32	>Q100
Ff18	Pont voûte VC "Le Rivier"	18	<Q50
Ff19	Pont A 48	Surdimensionné	>>Q100
Ff20	Pont cadre VC "Patières"	28	Q100
Ff21	Pont SNCF	Surdimensionné	>>Q100
Ff22	Pont cadre VC "La Poype"	33	<Q100
Ff23	Pont cadre VP	58	>Q100
Ff24	Pont voûte RD 12a Rives	32	Q50
Ff25	Pont voûte RD 12c Rives	84	>Q100
Ff26	Pont voûte VC	40	Q100
Ff27	Pont RN 85	Surdimensionné	>>Q100
Ff28	Pont cadre Arjo Wiggins	61	>Q100
Ff29	Pont voûte VP accès Socamel	110	>>Q100
Ff30	Pont voûte VP	24	Q10
Ff31	Pont cadre VP	37	Q50
Ff32	Pont cadre et voûte VP	41	Q100
Ff33	Pont voûte VC "la Charrière"	59	>Q100
Ff34	Pont voûte VP	16	<Q10
Ff35	Passerelle communale	37	Q50
Ff36	Pont Bergère	64	>Q100
Ff37	Franchissement conduite forcée	40	Q50
Ff38	Passerelle communale	25	Q10
Ff39	Pont voûte RD 45 "Hurtières"	113	>Q100
Ff40	Pont voûte VC "Hurtières"	105	>Q100
Ff41	Pont voûte VP	37	<Q50
Ff42	Pont voûte VP	45	Q50
Ff43	Pont cadre VP accès papeteries Guély	65	>Q100
Ff44	Pont cadre RN 92 Fures	31	Q10
Ff45	Pont cadre SNCF	79	>Q100
Ff46	Pont cadre VC "St Jean de Chépy"	19	<Q10

RGr00050-01/A17843/CGRZ070296

JD/FLA - XB - GBO

07/07/2009

Page : 203

Figure 87 : Capacité des passages sous bâtiments le long de la Fure

Numéro ouvrage	Description	Débit capable avant débordement (m3/s)	Capacité
Fb1	Section voûte bâtiment désaffecté Charavines	8	<Q10
Fb2	Buses Tailenderie BRET	7	<Q10
Fb3	Section cadre Arjo Wiggins	43	>>Q100
Fb4	Section cadre maison privée Planche Cattin	12	<Q10
Fb5	Double section usine SVAM	9	<Q10
Fb6	Section cadre friche industrielle Lyonnet	24	<Q50
Fb7	Section cadre bâtiment partiellement détruit Bas Rives	37	<Q100
Fb8	Section cadre papeterie Arjo Wiggins Rives	49	Q100
Fb9	Section cadre usine Revex	30	>Q10
Fb10	Section voûte bâtiment désaffecté	36	<Q50
Fb11	Section voûte chapelle Renage	40	Q50
Fb12	Section voûte site Grande Fabrique	43	>Q100
Fb13	Section cadre anciennes papeteries de Renage	48	>Q50
Fb14	Section cadre bâtiment désaffecté Hurtières	9	<<Q10
Fb15	Section voûte sous bâtiments centre bourg Fures	15	<Q10
Fb16	Section cadre site industriel Fures	27	Q50

7.5.2.2 Capacité des canaux

Les canaux ne sont pas intégrés dans le modèle hydraulique. Leur fonctionnement hydraulique est étudié en condition critique. Au niveau de chaque dérivation, nous avons considéré que tout le débit de la crue transite par le canal. L'évaluation des capacités des canaux, par calculs hydrauliques de type Strickler, permet d'évaluer les débits et volumes de débordement. Les modes d'écoulement de ces débordements ont été analysés par expertise lors des investigations de terrain.

Les caractéristiques des canaux ainsi que leurs capacités sont récapitulées dans le tableau ci-après.

Prise d'eau amont	Tronçon	Longueur	Pente	Largeur canal (m)	Hauteur berges (m)	Débit capable avant débordement (m3/s)	Capacité
Fp2	Unique	280	0.15%	2.6	1.3	2.9	<Q10
Fp4	Unique	190	0.54%	2.8	1	5.7	<Q10
Fp6	Unique	235	0.16%	3.6	0.9	3.2	<Q10
Fp7	Unique	155	0.63%	2	0.5	0.4	<<Q10
Fp10	1	480	0.11%	2.9	1.4	4.3	<Q10
	2	500	0.05%	2.6	0.9	1.3	<<Q10
	3	820	0.03%	2.2	1	1.0	<<Q10
Fp12	Unique	160	0.07%	1.2	0.8	0.2	<<Q10
Fp13	Unique	513	0.37%	4	1	7.4	<Q10
Fp14	Unique	740	0.40%	2.2	0.6	1.3	<<Q10
Fp15	Unique	250	0.75%	4.5	1	10.7	<Q10
Fp16	Unique	750	0.08%	10	0.9	7.4	<Q10
Fp18	Unique	500	0.12%	4	1	2.7	<<Q10
Fp19	Unique	980	0.03%	3.2	1	1.7	<<Q10
Fp21	Unique	360	0.22%	5	1.1	5.5	<Q10
Fp22	1	400	0.09%	6	3	17.5	Q10
	2	830	0.02%	5	1.4	3.6	<<Q10
Fp25	Unique	250	0.02%	8.5	1.3	5.1	<<Q10
Fp26	Unique	570	0.04%	1	4	1.5	<<Q10
Fp30	Unique	315	0.07%	9	2	17.3	<Q10
Fp35	Unique	320	0.23%	7	2.8	31.2	>Q10
Fp36	Unique	200	0.09%	4	1.4	5.9	<<Q10
Fp42	Unique	893	0.92%	4	0.8	7.4	<<Q10
Fp44	Unique	320	0.25%	6	1.2	11.4	<Q10
Fp45	Unique	1200	0.81%	6	1	17.8	<Q10

Tableau 54: Caractéristiques des canaux longeant la Fure

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 204

7.5.2.3 *Parcours de terrain*

Le parcours pédestre réalisé sur l'ensemble du linéaire de la Fure a permis de :

- comprendre le fonctionnement hydraulique de la Fure en crue, avec repérage des mécanismes d'inondations mis en jeu (zones de surverse, inondation progressive du lit majeur par insuffisance du lit mineur, submersion par remous aval, zone de stockage ou d'écoulement, etc.) ;
- comprendre le fonctionnement hydraulique des canaux en crue, notamment les points de débordement privilégiés et les modes d'écoulement en crue ;
- relever des informations permettant d'évaluer le risque de rupture des digues des canaux (hauteur de la digue, matériel, état et le dénivelé entre la Fure mère et le canal).

7.5.2.4 *Données topographiques*

Les données topographiques utilisées résultent des levés du cabinet de Géomètres ARGeo, levés réalisés dans le cadre de la présente étude.

Les profils topographiques levés sont de différents types :

- Profils en travers de la Fure (78 profils) ;
- Profils au niveau d'ouvrages de prélèvement (30 profils) ;
- Profil au niveau d'ouvrages de franchissement (35 profils) ;
- Profil au niveau de passage sous bâtiment (15 profils).

Au total l'ensemble des levés topographiques réalisés permet de disposer d'un levé tous les 160 mètres en moyenne.

L'ensemble des profils levés est représenté sur les cartes 19-1 à 19-6 de l'atlas cartographique.

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 205

7.5.3 Construction du modèle

Type de modèle

- Sur le secteur amont entre le Lac de Paladru et Rives, où sont observés les principaux effets de laminage, la modélisation s'effectue en régime transitoire, avec un modèle 1D, localement 1D maillé lorsque les casiers présentent un fonctionnement indépendant du lit mineur.
- Sur le secteur aval, de Rives à Fures, la modélisation s'effectue en régime permanent et le modèle est de type 1D.

Modélisation des passages couverts

Pour les nombreux passages couverts (sous usine ou bâtiment), une attention particulière doit être apportée lors de la modélisation.

En premier lieu, la topographie porte sur la section limitante de l'ouvrage. En général, il s'agit de la section d'entrée, mais si le travail préliminaire le met en évidence, il peut s'agir d'une section intermédiaire sous le bâtiment (cas des anciennes papeteries de Renage).

Prise en compte des canaux

Le fonctionnement des canaux doit impérativement être intégré à l'analyse car ceux-ci sont susceptibles de générer des risques importants pour la sécurité des biens et des personnes. Cependant, leur intégration directe au modèle hydraulique est difficile pour plusieurs raisons :

- Les canaux sont perchés en bordure de lit majeur et ont globalement des modes d'écoulement en crue indépendants de ceux du lit majeur de la Fure ;
- Les levés topographiques nécessaires seraient très importants : levés de nombreuses sections, levés d'ouvrages de décharge, profils en long, nombreuses sections enterrées, etc. ;
- Malgré les levés précédents, il subsisterait de nombreuses incertitudes sur les modes d'écoulement réels en crues qui sont liés à de nombreuses singularités locales : profil de digue irrégulier, positionnement des brèches potentielles, nombreux ouvrages de décharge, remblaiement partiel de la section, possibilité de glissement de terrain depuis le versant, etc. ;
- Le modèle hydraulique deviendrait très complexe et perdrait en capacité de calculs pour le lit majeur de la Fure.

Aussi, les canaux n'ont pas été intégrés dans le modèle hydraulique, et nous avons dissociés leur analyse de celle de la Fure Mère, sur la base des deux principes suivants :

- **Conditions hydrauliques critiques pour la Fure mère** : on considère lors de la modélisation que les canaux se bouchent (embâcles, vannes fermées, etc.) et que la totalité du débit poursuit dans le lit mineur et le lit majeur de la Fure, ce qui est sécuritaire pour l'analyse des enjeux liés à la crue de la Fure ;
- **Conditions hydrauliques critiques pour les canaux** : on estime le débit maximal pénétrant dans chaque canal au droit de chaque dérivation d'après les levés topographiques (ouvrage de dérivation, section moyenne du canal) et le profil en long du canal. Les calculs de débordement potentiels dans le canal sont ensuite menés par calculs hydrauliques de type Strickler dans la section et les modes d'écoulement de ces débordements sont analysés par expertise lors des investigations de terrain.

Nous souhaitons en effet privilégier cette approche d'expert pour des modes d'écoulement qui sont difficilement modélisables et peuvent fortement varier selon des conditions locales d'écoulement non pérennes.

La cohérence entre les modes d'écoulement propres à la Fure et les modes d'écoulements liés aux canaux est assurée au moment de la cartographie des zones inondables et des aléas.

7.5.4 Conditions limites

Les conditions limites amont sont les hydrogrammes des crues de référence obtenus grâce à la modélisation hydrologique.

Les conditions aval sont des lois hauteur/débit:

- calculées grâce à la formule de Manning Strickler s'il s'agit d'une section à écoulement normal

$$Q_c = K_s \times \sqrt{I} \times S \times \left(\frac{S}{P}\right)^{2/3}$$

- « K_s : coefficient de rugosité Strickler
- « I : pente du profil en long (m/m)
- « S : section en m^2
- « P : périmètre mouillé en m

- calculées grâce à la loi de type déversoir s'il s'agit d'un seuil déversant

$$Q = m \times L \times \sqrt{2gh^3}$$

- « m : coefficient de déversement
- « L : longueur déversante
- « H : hauteur sur le seuil

7.5.5 Calage du modèle

Les enquêtes auprès des communes, industriels, microcentraliers et riverains ont permis de récolter des informations quant au fonctionnement hydraulique de la Fure en crue. La majeure partie des informations obtenues concerne la crue de novembre 2002, crue la plus récente pour laquelle le Lac de Paladru a atteint la cote de + 35 cm. Cette crue a causé quelques dégâts et désagréments (inondation du puits de Cote Gagère, inondation de jardins, de sous sol, glissement de terrain à Fures). Toutefois, les débordements en lit majeur pour cette crue sont restés très limités au droit des secteurs à enjeux.

La modélisation hydraulique des écoulements de la Fure est réalisée dans le cas d'une situation critique pour laquelle les canaux sont bouchés et ne délestent donc pas la Fure. Les informations récoltées sur les crues passées peuvent difficilement exploitées pour caler le modèle car elles ne correspondent pas au cas critique : canaux bouchés.

Les paramètres de calage du modèle (rugosité, coefficients de déversement) ont donc été fixés par expertise à partir du parcours de terrain. Le choix de ces paramètres s'est basé sur les critères suivants :

- Rugosité pour le lit mineur :
 - « $n = 0,033$ pour un lit mineur avec berges dégagées
 - « $n = 0,040$ à $0,050$ pour le lit mineur avec berges boisées en fonction de l'état d'entretien du lit
- Rugosité pour le lit majeur :
 - « $n = 0,04$ à $0,06$ pour les prairies et champs cultivés (fonction de la hauteur de l'herbe et du type de culture)
 - « $n = 0,07$ à $0,1$ pour les secteurs végétalisés ou boisés (fonction de la densité de la végétation)
- Coefficients de déversement ($C = m\sqrt{2g}$) :
 - « $C=1$ du lit mineur vers les casiers du lit majeur
 - « $C=1,2$ à $1,7$ pour les seuils (fonction de l'épaisseur de crête du seuil)
 - « $C=1,2$ à $1,5$ pour le franchissement des voiries

7.5.6 Cartographie des phénomènes

7.5.6.1 Tracé des zones inondables

Les limites des zones inondables pour les crues décennales et centennales ont été cartographiées. Toutes ces cartes à l'échelle 1/5000 figurent dans l'atlas cartographique (cartes 20-1 à 20-12).

La précision du tracé des zones inondables est assujettie à deux contraintes :

- la précision des résultats donnés par le modèle hydraulique,
- la précision des données topographiques entre chaque profil levé (précision SCAN25).

Les limites de zones inondables ne doivent pas être interprétées comme des limites physiques nettes. Les contraintes précédentes montrent les limites des résultats et ceux-ci nécessitent d'être exploités avec une marge d'incertitude.

De plus, quelques réserves sont à prendre en considération. Il est important d'avoir conscience que les limites de zones inondables sont tracées en prenant en compte les points suivants :

- pas d'évolution altimétrique du lit (morphodynamique),
- pas de formation d'embâcles (flottants) mise à part au droit des sections limitantes où le tracé tient compte de l'obstruction de la section d'écoulement.

Les profils en long du fond du lit et de la ligne d'eau en crue centennale figure en annexe n°6.

7.5.6.2 Carte des aléas

• Aléa inondation de la Fure

La cartographie de l'aléa inondation correspond à la représentation graphique de l'intensité des phénomènes (croisement hauteur/vitesse) réalisée pour la crue centennale ou la crue de référence. Nous avons utilisé 3 niveaux d'aléas (faible, moyen, fort) formés de couples hauteur/vitesse. Voici la grille utilisée pour le tracé des cartes d'aléas inondation présentes dans l'atlas cartographique.

Tableau 55: Grille pour la cartographie de l'aléa inondation de la Fure

Vitesse Hauteur	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < v < 0.5 \text{ m/s}$	Forte $V > 0.5 \text{ m/s}$
$H < 0.50 \text{ m}$	faible	moyen	fort
$0.50 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	moyen	moyen	fort
$H > 1 \text{ m}$	fort	fort	fort

Les cartographies de l'aléa inondation de la Fure ont été établies pour la crue de référence locale à savoir la crue d'occurrence centennale.

• Aléa crue rapide des canaux

Les canaux n'ayant pas été intégrés au modèle hydraulique, pour des raisons de données topographiques disponibles et de performance du modèle, l'aléa de crue rapide des canaux est déterminé par expertise.

Le choix des classes d'aléas est réalisé en fonction de la capacité des canaux et de la fragilité des digues selon les critères définis dans le tableau ci-dessous.

Tableau 56: Grille pour la cartographie de l'aléa crue rapide des canaux

Aléa	Indice	Critères
Faible	C1	Zones situées à l'aval de digues jugées satisfaisantes pour l'écoulement d'une crue au moins égale à la crue de référence et sans risque de submersion brutale pour une crue supérieure
Moyen	C2	Zones situées à l'aval de digues jugées suffisantes (en capacité de transit) mais fragiles (risque de rupture)
Fort	C3	Zones situées à l'aval de digues jugées notoirement insuffisantes (du fait de leur extrême fragilité ou d'une capacité insuffisante du chenal)

7.6 Hydraulique de la Fure de Charavines au Pont du Bœuf

7.6.1 Etude des écoulements

7.6.1.1 Architecture du modèle

Le modèle réalisé entre l'exutoire du Lac de Paladru et le pont du Bœuf se compose de :

- 36 profils en travers de la Fure,
- 16 ouvrages de franchissements,
- 5 passages sous bâtiments,
- 10 ouvrages de prélèvement,
- 5 casiers d'inondation.

Le linéaire modélisé s'étend sur 12,5 km.

7.6.1.2 Fonctionnement des ouvrages

Les ouvrages de franchissement modélisés correspondent aux ouvrages ayant un impact sur la ligne d'eau de la Fure en période de crue.

Sur les 16 ouvrages modélisés, seuls 2 ouvrages sont débordants pour la crue centennale (Ff9 et Ff18). Les autres ouvrages de franchissements se mettent en charge pour la crue centennale.

4 passages couverts sur les 5 modélisés sont limitants dès la crue décennale. Seul le passage sous la papeterie Arjo Wiggins de Charavines (Fb3) est dimensionné pour admettre le débit d'une crue centennale.

7.6.1.3 Description des enveloppes d'inondation

De l'ouvrage des vannes au pont de la caserne

A l'aval de l'ouvrage des vannes du Lac de Paladru, la Fure suit un tracé rectiligne et possède un lit régulier et profond (fond du lit à 4 mètres sous le niveau des berges). La capacité du lit mineur est suffisante dans ce secteur pour admettre le débit d'une crue centennale (12 m³/s).

A l'aval du pont situé au droit de la mairie de Charavines (Ff3), le tracé de la Fure devient plus sinueux. A l'aval d'un lotissement situé en rive gauche, la Fure empiète sur les terrains en rive gauche dès la crue décennale. Pour la crue centennale, le pont de la caserne est limitant et entraîne des débordements vers l'habitation située directement à l'amont en rive gauche (jardins totalement inondés).

Du pont de la caserne au Guillermet

A l'aval du pont de la caserne la Fure déverse par-dessus un chemin endigué en rive droite dès la crue décennale. En crue centennale, l'enveloppe d'inondation atteint la centaine de mètres. La Fure regagne son lit au niveau des étangs Guérimand.

Le passage sous un ancien bâtiment (Fb1) réduit de façon importante la capacité d'écoulement de la Fure. La Fure est largement débordante à l'amont de ce passage dès la crue décennale. Lors de la crue centennale, le gabarit limité du passage couvert entraîne un déversement des eaux de la Fure par-dessus les ruines du bâtiment. La Fure ne regagne son lit qu'à la traversée du pont de la Fabrique (Ff5).

A l'aval du pont de la Fabrique, la Fure longe un lotissement puis traverse le secteur plus naturel des Côtes du Furens. Sur l'ensemble de ce secteur, l'enveloppe d'inondation de la Fure est réduite pour les crues décennale et centennale. Au niveau de l'ancien moulin du Guillermet (amont Ff6), la Fure est soumise à des débordements privilégiés en rive droite pour la crue centennale. La Fure regagne son lit lors du passage sous l'ouvrage Ff6 puis déborde à nouveau en rive gauche, en aval de celui-ci, pour la crue centennale.

Dans la traversée des anciennes usines du Guillermet, la Fure est débordante dès la crue décennale. Le passage sous l'ensemble de la friche industrielle (Fb2) est largement limitant pour la crue centennale. Les débordements sur la route traversant le site sont généralisés. La Fure regagne son lit lors du passage sous la RD 50 (ouvrage Ff7).

Du Guillermet à la Ravignouse

A l'aval de l'ouvrage Ff7 débute le site des papeteries Arjo Wiggins de Charavines. L'ouvrage d'entrée du passage sous le site des papeteries est dimensionné pour admettre une crue centennale sans occasionner des débordements sur la RD 50.

A l'aval du site des papeteries, le lit mineur de la Fure possède un gabarit suffisant pour admettre le débit d'une crue centennale. Les débordements de la Fure débutent en rive gauche dans les prairies situées en aval de la STEP Arjo Wiggins. L'enveloppe d'inondation, déjà conséquente en crue décennale (~ 70 mètres), atteint une largeur de l'ordre de 120 mètre pour la crue centennale.

Les écoulements convergent à nouveau vers le lit mineur au droit d'un site industriel situé en rive gauche (un ouvrage de protection à l'amont de ce site redirige les écoulements vers le lit mineur de la rivière). A l'aval de la STEP de Charavines, l'ouvrage de franchissement Ff9 est limitant pour la crue centennale entraînant une submersion de l'ouvrage.

Dans la traversée du site des aciéries de Bonpertuis, l'enveloppe de la crue centennale englobe la totalité des jardins des habitations de l'usine. La crue décennale est contenue par la digue située en rive droite.

La Fure regagne son lit lors du passage sous l'ouvrage Ff11 puis les débordements sont à nouveau généralisés en rive droite et gauche pour la crue centennale. Une digue de protection met hors d'eau l'usine basse lors d'une crue centennale. Malgré cette protection, celle-ci est inondée pour la crue centennale.

La Fure traverse ensuite une zone de prairies humides plantées de peupliers. Dans la traversée de cette zone naturelle, la Fure est légèrement perchée et les débordements sont généralisés. L'enveloppe d'inondation, de l'ordre de 50 mètres de large en crue décennale, dépasse les 120 mètres en crue centennale.

De la Ravignouse à Planche Cattin

Entre les ouvrages Ff12 et Ff13 largement dimensionnés, le lit mineur de la Fure est très peu prononcé et les débordements sont généralisés dès la crue décennale. L'enveloppe d'inondation dépasse les 70 mètres pour la crue centennale.

A l'aval de l'ouvrage Ff13, la Fure retrouve un lit plus prononcé et l'enveloppe d'inondation se réduit (~ 30 mètres pour Q10 et 50 mètres pour Q100).

Le site du captage de Cote Gagère est largement inondé pour une crue décennale de la Fure, ainsi que les locaux d'un magasin de bateaux situé à Planche Cattin. Les événements passés de Novembre 2002 et Avril 2005 ont montré que le site de Côte Gagère est inondé dès un débit à l'exutoire du Lac de Paladru de 2,6 m³/s (APEA, 2005).

L'ouvrage busé Ff15 contribue à l'élévation de la ligne d'eau en période de crue et à l'aggravation des aléas au droit des enjeux cités ci-dessus.

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 211

Le passage couvert sous une voie communale et une maison (Fb4) est limitant dès la crue décennale. La présence de cet ouvrage entraîne le déversement des eaux de la Fure sur la voie communale.

De Planche Cattin au Pont du Boeuf

Depuis la sortie du passage couvert jusqu'à la prise d'eau de M. Collomb (Fp16), la Fure déborde préférentiellement en rive droite. A l'aval de la prise d'eau de M. Collomb, l'enveloppe de crue se réduit lors du passage sous le pont de la RD 50 (ouvrage Ff17).

Depuis l'ouvrage Ff17 jusqu'au prochain ouvrage de franchissement Ff18 au niveau du Rivier d'Apprieu, la Fure serpente sur 2 km au sein d'une zone naturelle de forêt alluviale et prairies humides. Le lit mineur de la Fure dans cette zone est assez peu marqué et les débordements se produisent dès la crue centennale. La largeur de l'enveloppe de crue est de l'ordre de 50 mètres pour Q10 et 70 mètres pour Q100.

Entre l'ouvrage Ff18 et le franchissement de l'A48 (Ff19), la morphologie de la Fure et les modes d'écoulement sont semblables au tronçon précédent (lit mineur peu marqué, débordements généralisés). L'enveloppe de crue atteint localement la centaine de mètres pour la crue centennale.

A l'aval du franchissement de l'A48, un passage couvert sous l'usine SVAM est limitant dès la crue décennale (capacité de l'ordre de 10 m³/s). 5 m³/s se déversent sur le parking et dans les locaux de l'usine pour Q10 et près de 20 m³/s pour Q100.

A l'aval de l'usine SVAM, la Fure regagne son lit et serpente au sein d'une forêt alluviale jusqu'en aval du franchissement de la voie ferrée (Ff21). Les débordements sont importants dans la prairie en rive gauche en aval de l'ouvrage Ff21 dès la crue décennale. La largeur de l'enveloppe d'inondation dépasse les 80 mètres pour la crue centennale.

7.6.1.4 Analyse des temps de propagation et du laminage

Les crues simulées se basent sur le scénario critique : évènement court et niveau du Lac de Paladru initialement plein.

De l'exutoire du Lac de Paladru jusqu'au Guillermet (profils P1 à P8), les hydrogrammes de crue le long de la Fure présentent des pics peu prononcés. Dans ce secteur, les écoulements résultent en majorité des apports du Lac de Paladru, d'où des hydrogrammes le long de la Fure proches de l'hydrogramme de l'exutoire du Lac de Paladru avec un temps de décrue long (supérieur à 4 jours).

A l'aval du Guillermet, les pics de crue sont davantage marqués. Les apports par ruissellement deviennent prépondérants et les temps de montée et de décrue s'amenuisent. A l'aval du Guillermet, le maximum de la crue apparaît donc plus tôt que sur le tronçon amont (décalage de plusieurs heures).

Du Guillermet jusqu'au Pont du Bœuf, les pics des hydrogrammes de crue deviennent de plus en plus prononcés, au fur et à mesure de l'augmentation de la part du ruissellement dans le débit transitant dans la Fure. A l'aval des aciéries de Bonpertuis, les pics des hydrogrammes de crue ont tendance à se décaler dans le temps : la pointe de la crue observée au Pont du Bœuf se produit 2 heures après le pic de crue à la Ravignouse.

RGr00050-01/A17843/CGrZ070296	
JD/FLA - XB - GBO	
07/07/2009	Page : 212