



# DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES DE L'ISERE

VALLEE DE LA FURE (38)

## Cartographie des aléas dans le cadre des territoires à risques d'inondation

RAPPORT PRINCIPAL

REAUCE00654-01

7/10/2013



# DIRECTION DÉPARTEMENTALE DES TERRITOIRES DE L'ISÈRE

Vallée de la Fure  
Cartographie des aléas dans le cadre des territoires à risques d'inondation  
Rapport

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport	7/10/2013	01	T. CUMIN		F. LAVAL		F. LAVAL	
		02						
		03						
		04						

Numéro de rapport :	REAUCE00654
Numéro d'affaire :	A24149
N° de contrat :	CEETCE130028
Domaine technique :	BV06
Mots clé du thésaurus	INONDATION, VITESSE, HAUTEUR, ALEA INONDATION HYDRAULIQUE FLUVIALE, MODELISATION ISIS

BURGEAP AGENCE CENTRE-EST – SITE DE GRENOBLE

2, rue du Tour de l'Eau

38400 SAINT MARTIN D'HERES

Téléphone : 33(0)1 76 00 75 50.

Télécopie : 33(0)1.76 00 75 69

e-mail : [agence.de.grenoble@burgeap.fr](mailto:agence.de.grenoble@burgeap.fr)

# SOMMAIRE

<b>1. Objet de l'étude</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Contexte et objectifs de l'étude</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Périmètre de l'étude</b>	<b>5</b>
<b>2. Synthèse des données existantes</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Présentation du bassin versant</b>	<b>7</b>
2.1.1 Relief et réseau hydrographique	7
2.1.2 Contexte géologique	8
2.1.3 Contexte hydrogéologique	8
2.1.4 Occupation des sols	12
<b>2.2 Pluviométrie</b>	<b>15</b>
2.2.1 Postes pluviométriques	15
2.2.2 Régime pluviométrique moyen	15
2.2.3 Pluies exceptionnelles	18
<b>2.3 Données existantes en hydrométrie des crues</b>	<b>19</b>
2.3.1 Exutoire du Lac de Paladru	19
2.3.2 Stations hydrométriques	24
<b>2.4 Crues historiques</b>	<b>27</b>
2.4.1 Inventaire des crues	27
2.4.2 Description des principales crues historiques	27
2.4.3 Synthèse des entretiens auprès des acteurs locaux	32
2.4.4 Synthèse sur les crues historiques	34
<b>2.5 Détermination des débits de crue</b>	<b>35</b>
2.5.1 Débits retenus en 2009	35
2.5.2 Analyse régionale	36
2.5.3 Précisions sur le rôle du Lac de Paladru en crue	37
<b>3. Compléments d'analyse</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Crues historiques</b>	<b>39</b>
3.1.1 Préalable	39
3.1.2 Rappel des données hydrométriques connues	40
3.1.3 Données historiques complémentaires	41
3.1.4 Synthèse et conclusions	46
<b>3.2 Actualisation de l'hydrologie</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Prise en compte des risques d'embâcles</b>	<b>50</b>
3.3.1 Analyse préalable du risque d'embâcle	50
3.3.2 Méthodologie adaptée pour le risque d'embâcle	52
<b>4. Cartographie des hauteurs, vitesses et aléas</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Modélisation hydraulique</b>	<b>58</b>

4.1.1	Présentation du logiciel	58
4.1.2	Travail préliminaire	58
4.1.3	Rôle des canaux	60
4.1.4	Parcours de terrain	60
4.1.5	Données topographiques	60
4.1.6	Construction du modèle	61
4.1.7	Synthèse des hypothèses de modélisation et de cartographie	63
<b>4.2</b>	<b>Cartographie des phénomènes</b>	<b>64</b>
4.2.1	Tracé des zones inondables	64
4.2.2	Carte des aléas	65
4.2.3	Carte des hauteurs d'écoulement	65
4.2.4	Carte des vitesses d'écoulement	66
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>67</b>
	<b>ILLUSTRATIONS</b>	<b>69</b>
	<b>ANNEXES</b>	<b>71</b>

# 1. Objet de l'étude

## 1.1 Contexte et objectifs de l'étude

Les services de la Direction Départementale des Territoires de l'Isère (DDT38), souhaitent, sous le pilotage de la DREAL Rhône-Alpes, cartographier les aléas des Territoires à Risques d'Inondations (TRI) identifiés par les services.

Sur le cours d'eau de la Fure (38), les aléas ont été cartographiés en crue centennale par BURGEAP dans le cadre d'une étude globale du bassin versant de la Fure et du Lac de Paladru portée par le Syndicat Intercommunal du Bassin de la Fure (SIBF) en 2009.

Il est nécessaire de compléter ce travail sur les points suivants :

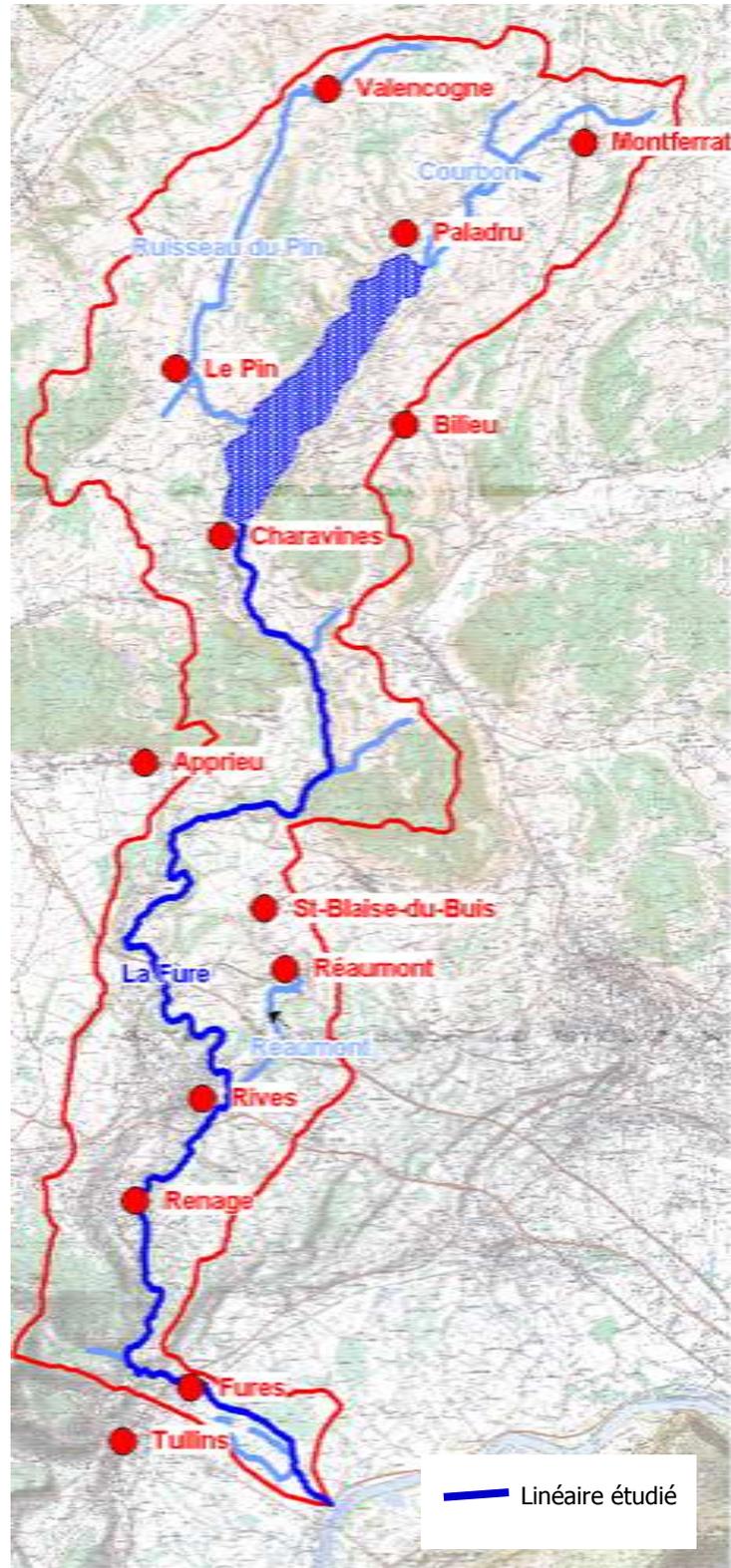
- L'hydrologie de référence en crue de la Fure doit faire l'objet de précisions par rapport aux éléments connus en 2009 ;
- La cartographie des aléas doit porter également sur :
  - La crue de forte probabilité, assimilée à une crue décennale à trentennale ;
  - La crue de faible probabilité, assimilée à la crue millénale ;
- La cartographie des aléas doit être associées à la cartographie des hauteurs et des vitesses d'écoulement pour les mêmes crues ;
- Les cartographies des aléas, hauteurs et vitesses précédentes doivent inclure le risque d'embâcles au niveau des ouvrages en travers, de franchissement et des bâtiments.

Un modèle hydraulique a été réalisé dans le cadre de l'étude SIBF entre le Lac de Paladru et la confluence avec le Canal Fure-Morge à partir de profils en travers de vallée et d'ouvrages. Ce modèle a été réutilisé et ajusté pour permettre une modélisation en crue millénale.

## 1.2 Périmètre de l'étude

Le périmètre d'étude porte sur le linéaire de la Fure, entre son exutoire du Lac de Paladru (Charavines) et sa confluence avec le canal Fure-Morge.

Le bassin versant du lac de Paladru correspondant à la partie amont du bassin versant de la Fure ne font pas l'objet de ce travail de cartographie des aléas. Néanmoins, ce secteur est pris en compte notamment dans la détermination des débits de crues. En effet les crues de la Fure présentent la particularité d'être influencées de manière significative par le fonctionnement du lac de Paladru.



**Figure 1 : Périmètre d'étude**

## 2. Synthèse des données existantes

Les éléments suivants sont issus des études suivantes, dont pour une grande partie de l'étude BURGEAP 2009 portée par le SIBF qui avait déjà synthétisé les résultats des autres études :

Alp'Géorisques (2003)	Carte des aléas de la commune de Tullins
Alpes-Géo-Conseil (2005)	Carte des aléas de la commune de Charavines
BURGEAP (2006)	Etude hydrologique de la Fure. DDAF de l'Isère.
BURGEAP (2009)	Etude pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un nouveau règlement de gestion des débits de la Fure et du niveau du lac de Paladru, Syndicat Intercommunal du Bassin de la Fure.
CAPOLINI, J. et SCHRAMBACH, A. (2002)	La crue de 1856 dans la vallée de la Fure – Conséquences d'une très grosse crue à prévoir au XXI <sup>e</sup> siècle
CAPOLINI, J. et SCHRAMBACH, A. (2002)	Le bassin versant du lac de Paladru – Etude de son environnement hydraulique
DEHAYS, H. (1980)	Paléomorphologie et circulations des eaux souterraines – Etude hydrogéologique des ressources en eau de la haute vallée de la Fure et de ses relations avec les bassins de Paladru et de l'Ainan
SAFEGE (1994)	Etudes préalables et élaboration du dossier de candidature du Contrat de Bassin Paladru-Fure
SAFEGE (1991)	Etude préalable à la réhabilitation de la Fure – Diagnostic général

### 2.1 Présentation du bassin versant

#### 2.1.1 Relief et réseau hydrographique

Le bassin versant de la Fure s'étend sur une superficie de 101 km<sup>2</sup> et présente un relief relativement prononcé : les altitudes varient de 190 mètres dans la plaine de l'Isère vers Saint Jean de Chépy à plus de 800 mètres dans les bois plus au nord (ex : bois de Bavonne culminant à 843 mètres).

Le bassin versant de la Fure est constitué des principaux éléments hydrographiques suivants :

- Ruisseau du Pin (ou Suran) (9 km),
- Le Ruisseau du Courbon (6 km),
- Le Lac de Paladru (3,9 km<sup>2</sup>),
- La Fure (26 km),
- Le Réaumont (3 km).

Le linéaire total des principaux cours d'eau est donc de 18 km.

Le Lac de Paladru s'étend sur une surface de 392 ha à une altitude de 492,37 mNGF pour un périmètre de 12,1 km ; sa profondeur maximale avoisine 36 m et son volume global est estimé à 97 millions de m<sup>3</sup>. Les ruisseaux du Pin et du Courbon constituent les deux principaux affluents alimentant le lac. Par ailleurs, l'apport supplémentaire de sources sous-lacustre est avéré.

Excepté d'éventuels et faibles émissaires sous-lacustres dont l'existence n'a jamais été confirmée, la Fure constitue le principal exutoire du Lac de Paladru. La Fure s'écoule sur un linéaire de 26 km jusqu'à rejoindre le canal de la Morge au niveau de la plaine de l'Isère. Dans le bourg de Rives, ses eaux sont grossies par l'apport de son principal affluent : le Réaumont.

Le dénivelé de la Fure entre les vannes du Lac de Paladru et son exutoire dans la Morge est de 302 m, ce qui donne une pente moyenne de 1,1 % sur le linéaire total.

### 2.1.2 Contexte géologique

Le substratum du secteur d'étude résulte de dépôts molassiques tertiaires suite à une importante transgression marine durant le Miocène. Ce substratum molassique est constitué d'un conglomérat induré à rares intercalations sableuses ou argileuses. Au Pliocène, la sédimentation s'arrête ou devient continentale. Des vallées (vallée de la Fure, haute vallée de l'Ainan) vont alors se creuser en entaillant le remplissage miocène.

Au cours de l'ère quaternaire, la région était occupée par deux glaciers : celui du Rhône et celui de l'Isère. L'action de ces glaciers et de leurs eaux de fonte a conduit à la topographie actuelle du secteur. La dépression qu'occupe le Lac de Paladru a été creusée dans la molasse par une langue du glacier du Rhône. Les eaux de fonte de la langue glaciaire rhodanienne de la Fure ont édifié plus en aval les terrasses de la Fure (plateau d'Apprieu, Plan Bois). Le remplissage résulte essentiellement de matériel fluvioglaciaire. Les moraines constituées de gros blocs erratiques sont les témoins des différentes langues glaciaires du glacier du Rhône et de l'Isère. Ainsi, l'amphithéâtre morainique de Chirens formé de trois arcs correspond aux différents stades de retrait de la langue glaciaire de la vallée de l'Ainan. Par ailleurs, des sillons de surcreusement, remplis de matériaux fluvio-glaciaires, ont été creusés dans la molasse miocène par les eaux de fusion des glaciers.

Il existe des formations non glaciaires telles que les alluvions récentes de la Fure, les formations de pente et de pied de versant, les cônes de déjection et les tourbières (ex : tourbière du Pin, de Paladru).

### 2.1.3 Contexte hydrogéologique

Les nappes souterraines et sources du bassin amont de la Fure (à l'amont de Planche Cattin) ont été étudiées dans le cadre de la thèse de M. Hubert DEHAYS (DEHAYS, 1980).

Dans le bassin amont de la Fure, la ressource en eau est assurée par différentes nappes souterraines contenues dans les alluvions quaternaires. Ainsi, on peut distinguer :

- La nappe de Planche-Cattin ;
- La nappe du Sillon de la Fure ;
- Les sources alluvionnaires.

#### La nappe de Planche Cattin

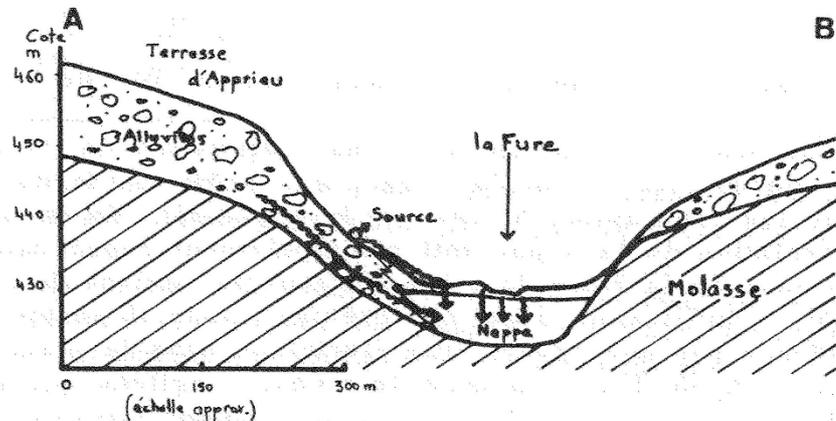
Cette nappe ne se développe qu'en aval de La Ravignouse. La limite amont de la nappe s'explique par l'existence du sillon profond de la Fure jouant un rôle de drainage au profit de la nappe profonde et interdisant l'existence d'une nappe d'accompagnement de la Fure.

A l'aval de La Ravignouse, le sillon profond abandonne la vallée et la Fure alimente alors la nappe superficielle.

La nappe de Planche Cattin est limitée latéralement par les affleurements molassiques bordant la vallée de la Fure. En sus de l'alimentation par les eaux de la Fure, la nappe de Planche Cattin est alimentée par les sources drainant les terrasses d'Apprieu et par un déversement probable des nappes de ces terrasses.

Les travaux de reconnaissance anciens (1977) montrent que la nappe de Planche Cattin se prolonge au moins jusqu'au Rivier d'Apprieu.

L'alimentation par les eaux de la Fure se fait de manière permanente, aussi bien en période de basses eaux que de hautes eaux. Il a été montré que l'infiltration maximale est atteinte pour des débits dans la Fure de 1 200 à 1 300 l/s, pour des débits supérieurs le niveau de la nappe n'augmentant plus. La perméabilité de l'aquifère a été estimée à  $2.10^{-3}$  m/s.



**Figure 2 : Schéma d'alimentation de la nappe de Planche-Cattin (DEHAYS, 1980)**

### La nappe du sillon de la Fure

Cette nappe est contenue dans un surcreusement molassique profond et s'écoule du nord-nord-est vers le sud-sud-ouest. La zone principale d'alimentation de cette nappe se situerait dans le haut bassin de l'Ainan et relierait donc en profondeur la haute vallée de l'Ainan à la vallée de la Fure.

La nappe du sillon de la Fure passe sous l'amphithéâtre morainique de Chirens, se dirige vers Guillermet, Bonpertuis et s'écoule sous la terrasse de Saint-Blaise-du-Buis. Plus à l'aval, son parcours reste incertain. Cette nappe pourrait constituer l'alimentation principale des sources du Réaumont.

Dans la région de Bonpertuis, il a été mis en évidence des infiltrations assez importantes de la Fure vers la nappe. En aval de Guillermet, il s'effectue également un drainage par le sillon des terrasses d'Apprieu et Plan-Bois. La perméabilité moyenne de l'aquifère a été estimée à  $6,5.10^{-3}$  m/s vers Guillermet. Elle est estimée à  $1,1.10^{-2}$  m/s vers Bonpertuis, la perméabilité diminuant du haut vers le bas de l'aquifère et s'améliorant d'amont en aval.

Les battements importants de cette nappe, directement liés au régime pluviométrique, montrent que les réserves sont limitées.

Par ailleurs, l'étude de la piézométrie de la nappe et des analyses isotopiques laisse entrevoir une relation possible entre le lac de Paladru et la nappe du sillon de la Fure. Cependant, les données géophysiques, géologiques et hydrologiques s'opposent à cette communication.

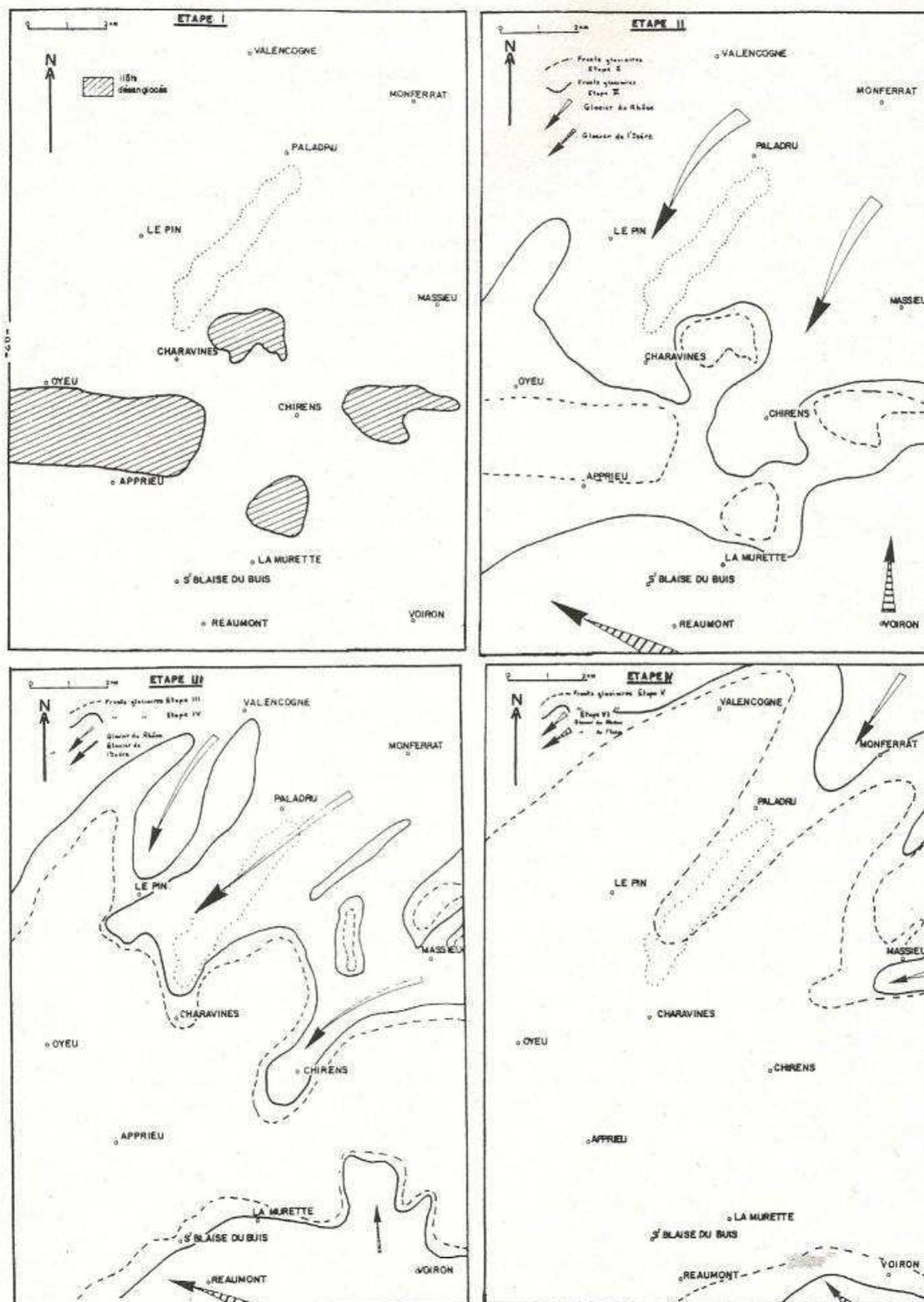
### Les sources alluvionnaires

Ces sources sont nombreuses et dispersées sur toute la surface occupée par les formations quaternaires.

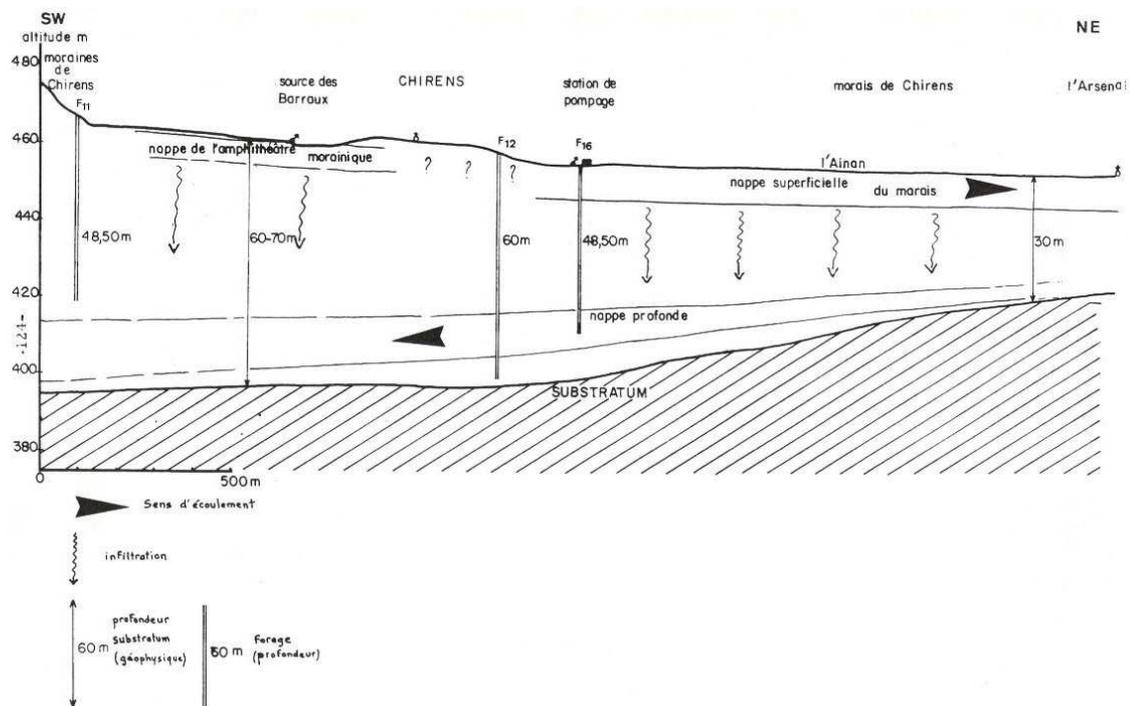
Au niveau du bassin moyen et aval de la Fure, il n'existe pas de données précises concernant les nappes. On sait que ces nappes existent et qu'elles sont drainées par la Fure. La topographie encaissée de la vallée en aval de Rives et Renage laisse cependant présumer que la nappe alluviale de la Fure est peu puissante.

A l'aval de Rives, les tufs sont très abondants et de nombreux suintements d'eau souterraine sont constatés sur les versants.

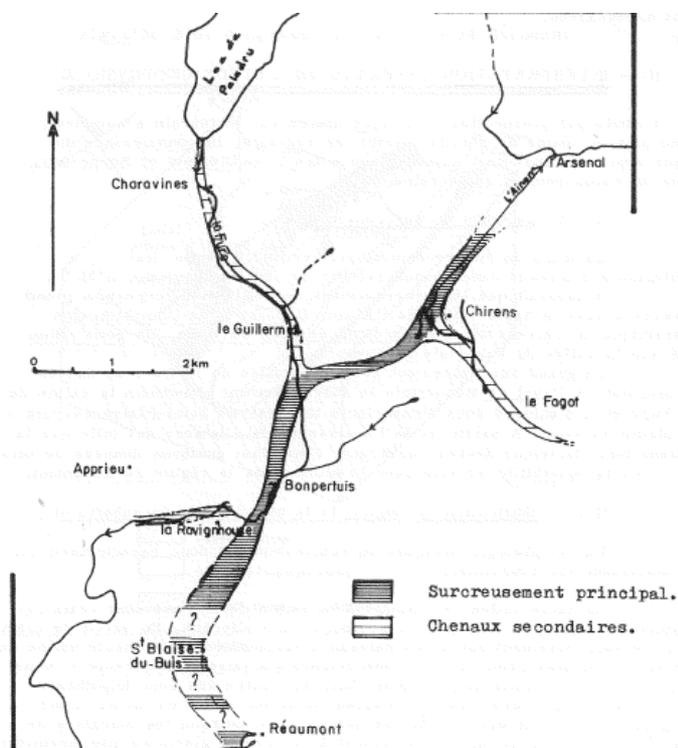
En aval de Tullins-Fures, la Fure s'écoule dans la vallée géomorphologique de l'Isère. Il n'existe pas de données précises sur la présence d'une nappe d'accompagnement spécifique à la Fure. La nappe de l'Isère étant peu profonde (quelques mètres), il est fort probable que la nappe souterraine de l'Isère serve d'exutoire à des pertes par infiltration de la Fure.



**Figure 3 : Contexte – Etapes du retrait des glaciers de l'Isère et du Rhône**  
(DEHAYS, 1980)



**Figure 4 : Alimentation de la nappe de la fure depuis l'Ainan à Chirens (DEHAYS, 1980)**



**Figure 5 : Tracé de la nappe du sillon de la Fure d'après l'étude géophysique (DEHAYS, 1980)**

## 2.1.4 Occupation des sols

La superficie totale du bassin versant de la Fure est de 101,58 km<sup>2</sup>. La superficie du bassin versant du Lac de Paladru est de 46,24 km<sup>2</sup>, ce qui représente plus de 45 % de la superficie totale.

Par l'intermédiaire d'un orthophotoplan du bassin versant de la Fure (données 2003), l'étude réalisée en 2009 a permis de cartographier l'occupation des sols. Ainsi, il a été possible d'évaluer la répartition de l'occupation des sols, comme indiquée dans le tableau suivant.

	Proportion de l'occupation
<b>forêts</b>	27 %
<b>plans d'eau</b>	4 %
<b>zones agricoles et prairies</b>	57 %
<b>zones urbanisées peu denses</b>	10 %
<b>zones urbanisées denses</b>	1 %
<b>zones industrielles</b>	1 %
<b>Total</b>	100 %

**Tableau 1 : Occupation des sols sur le bassin versant**

Cette répartition met en évidence une occupation des sols essentiellement agricole et des zones urbanisées relativement réduites à l'échelle du bassin versant.

Le tableau situé en page suivant détaille l'occupation des sols au niveau de chaque sous bassin versant. La carte des sous bassins versants considérés figurent dans l'atlas cartographique (carte 6)

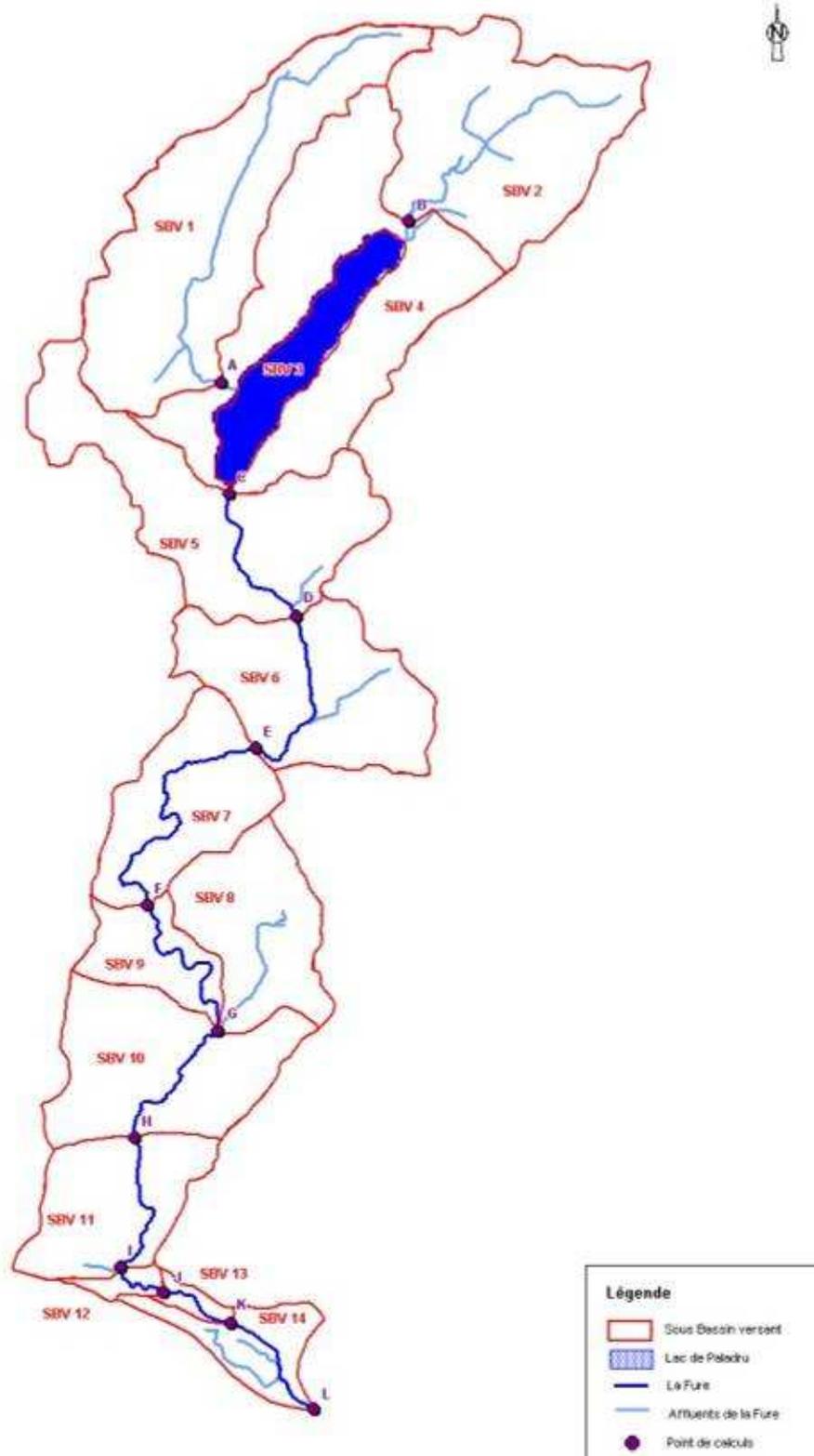
On note une occupation très fortement agricole (>70 %) au niveau des sous bassins versants du ruisseau du Pin et du Courbon (SBV1 et SBV2). Le sous bassin versant SBV 14, situé dans la plaine de l'Isère, comporte également une forte proportion de zones agricoles (69%).

Les zones urbaines, globalement réduites (~10%), ont une proportion d'occupation plus importante (>20%) au niveau des sous bassins versants SBV9, SBV10 et SBV13. En effet, sont situées sur ces sous bassins respectivement les agglomérations de Rives, Renage et Tullins-Fures.

Malgré la croissance de l'urbanisation dans les agglomérations précitées entre 2003 et 2013, le bassin versant reste globalement très rural et forestier et les taux précédents restent valables en ordre de grandeur.

**Tableau 2 : Occupation des sols à l'échelle des sous bassins versants**

Sous bassin versant	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion de l'occupation (%)					
		forêts	plans d'eau	zones agricoles	zones urbanisées peu denses	zones urbanisées denses	zones industrielles
<b>SBV 1</b>	15.02	20.1	1.3	70.7	7.1	0.7	0.1
<b>SBV 2</b>	12.22	12.3	0.4	80.8	6.1	0.0	0.4
<b>SBV 3</b>	3.80	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>SBV 4</b>	15.20	23.0	0.0	66.4	9.9	0.7	0.0
<b>SBV 5</b>	11.29	45.2	0.2	44.9	8.0	1.8	0.0
<b>SBV 6</b>	9.12	57.0	0.2	36.7	3.3	1.1	1.6
<b>SBV 7</b>	6.70	31.3	0.1	56.9	7.9	3.0	0.7
<b>SBV 8</b>	6.44	15.5	0.3	66.1	17.1	0.0	0.9
<b>SBV 9</b>	3.11	32.2	1.0	37.9	19.3	0.0	9.6
<b>SBV 10</b>	8.71	9.2	0.2	55.6	29.9	1.1	4.0
<b>SBV 11</b>	5.98	58.5	0.5	29.9	10.0	0.0	1.0
<b>SBV 12</b>	0.60	33.3	0.0	51.7	0.0	3.3	11.7
<b>SBV 13</b>	0.56	17.9	0.0	41.1	26.8	5.4	8.9
<b>SBV 14</b>	2.79	21.5	0.4	68.8	6.8	0.7	1.8
<b>BV Total</b>	<b>101,54</b>	<b>27</b>	<b>4</b>	<b>57</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>1</b>



**Figure 6 : Sous bassins versants et points de calculs hydrologiques**

## 2.2 Pluviométrie

### 2.2.1 Postes pluviométriques

Les postes météorologiques situés sur le bassin versant de la Fure et dans les alentours sont regroupés dans le tableau suivant.

Station Météo France	Code	Durée de fonctionnement	Période de mesures
<b>Charavines</b>	38082001	Depuis 1955	journalière
<b>Tullins</b>	38517001	Depuis 1953	journalière
<b>Grenoble-Saint-Geoirs</b>	38384001	Depuis 1946	horaire
<b>Chirens</b>	38105001	Entre 1950 et 1999	journalière

**Tableau 3 : Recensement des postes pluviométriques**

Deux postes pluviométriques sont actuellement en fonctionnement sur le bassin de la Fure : la station de Charavines (altitude 510 m) et la station de Tullins (altitude 190 m).

La station synoptique (avec pas de temps horaire) la plus proche est située à Saint Etienne de Saint Geoirs (altitude 384 m), à environ 15 km à vol d'oiseau de la vallée de la Fure, dans un contexte orographique différent. Elle constitue néanmoins une référence incontournable pour l'estimation des pluies de durées inférieures à 24 h.

### 2.2.2 Régime pluviométrique moyen

#### Analyse des valeurs moyennes

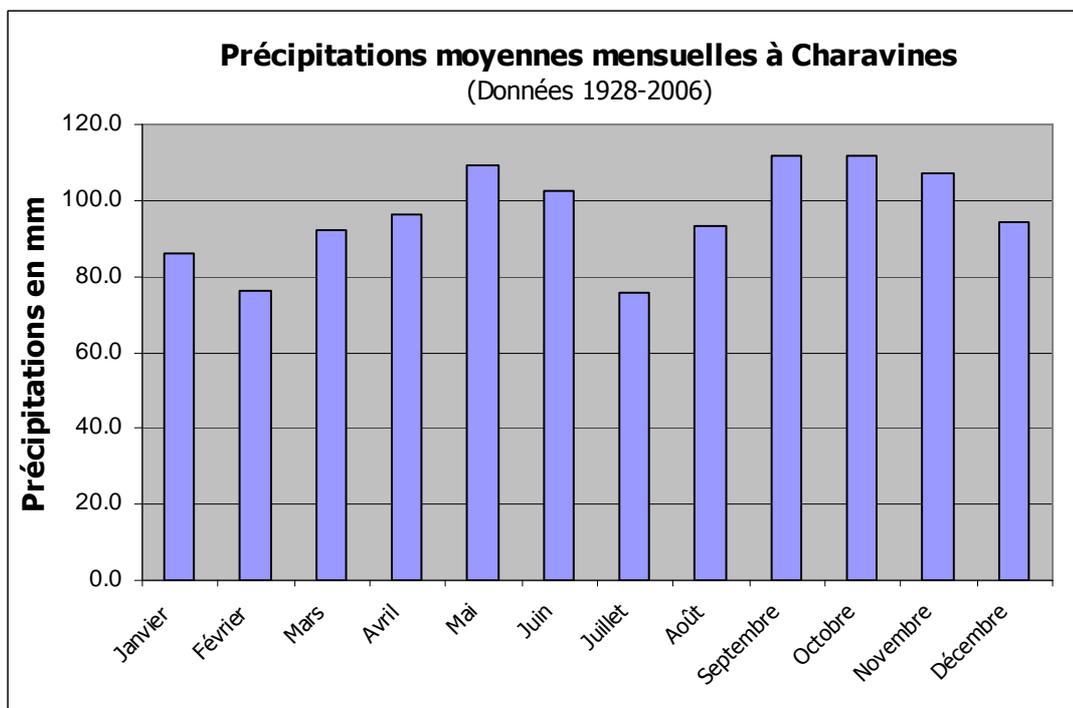
Les valeurs moyennes annuelles des précipitations sont relativement fortes, de l'ordre de 1150 mm. Ceci s'explique par la présence d'un relief relativement prononcé et exposé aux perturbations provenant du Nord-Ouest au Sud-Ouest avant que celles-ci n'atteignent les massifs du Vercors et de la Chartreuse. Les altitudes varient en effet de 190 mètres dans la plaine de l'Isère vers Saint Jean de Chépy à plus de 800 mètres dans les bois plus au nord (ex : bois de Bavonne culminant à 843 mètres).

Les collines de la vallée aux pentes accentuées peuvent être directement frappées par des orages parfois d'une grande violence. Leur origine peut être locale, suite à la formation de masses d'air humide 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).

Durant la saison d'hiver, les précipitations tendent à diminuer. Par ailleurs, une partie tombe sous forme de neige entraînant un manteau neigeux pouvant atteindre plusieurs décimètres d'épaisseur. Celui-ci persiste en général peu de temps et peut entraîner d'importants apports d'eau à la Fure. Le régime saisonnier n'est pas suffisamment marqué pour distinguer une saison humide et une saison sèche (voir figure ci dessous). On notera toutefois que les maxima sont atteints au printemps (mai-juin) et à l'automne (septembre-octobre-novembre).



**Figure 7: Localisation des postes pluviométriques**



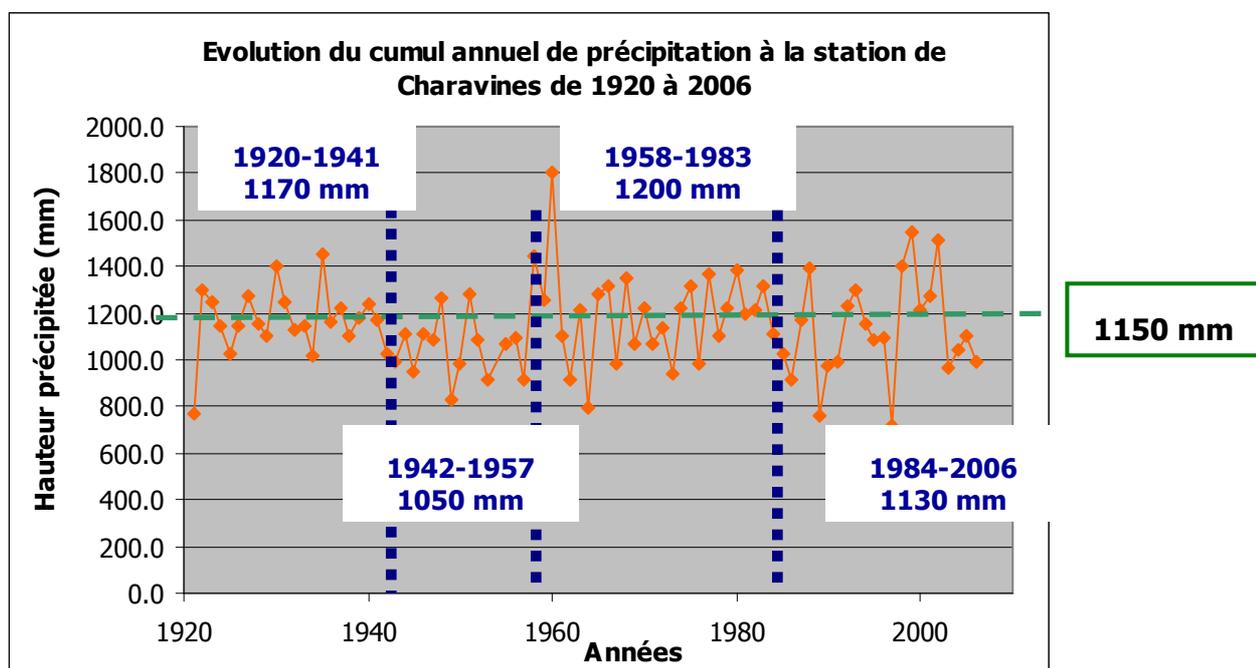
**Figure 8 : Précipitations moyennes mensuelles à Charavines**

## Evolution de la pluviométrie depuis le 19<sup>ème</sup> siècle

A l'exutoire du Lac de Paladru qui donne naissance à la Fure, le gardien des vannes de Charavines compile les débits à l'exutoire, les niveaux du lac ainsi que la pluviométrie journalière, ceci depuis 1870.

Ce cahier mentionne les cumuls mensuels des précipitations à partir de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. La déduction des cumuls annuels pour les années antérieures à 1950 nécessitant un travail de saisie très important (365 données à saisir par an), nous avons employé une autre méthode pour l'estimation de ces cumuls annuels. Pour la période de 1920 à 1949, les cumuls annuels ont été déduits par corrélation avec les mesures de précipitations au poste pluviométrique de Lyon Bron (mesures de 1920 à 2006).

La Figure ci-dessous montre que le cumul annuel des précipitations annuel fluctue autour d'une valeur moyenne qui n'a quasiment pas évolué entre 1920 et 2006 (~ 1150 mm).



**Figure 9 : Evolution du cumul annuel des précipitations à Charavines**

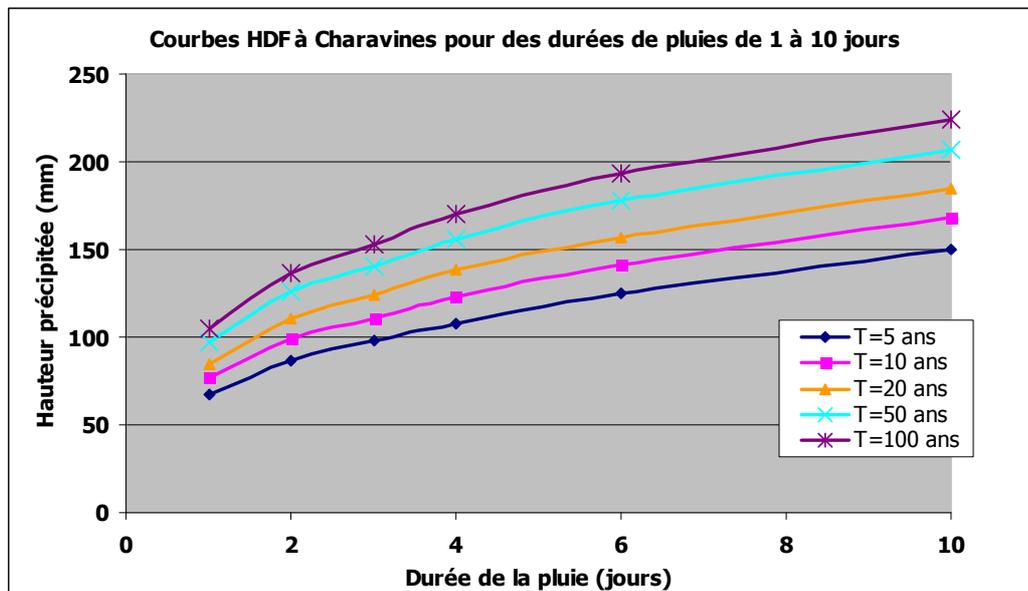
L'observation du graphique permet de mettre en évidence l'alternance de périodes plutôt humides (1920-1941 et 1958-1983) et de périodes plutôt sèches (1942-1957 et 1984-2007). La moyenne du cumul annuel sur les dernières années depuis 2003 est 10% inférieure à la moyenne sur l'ensemble de la période (1150 mm) et 25% inférieure à la moyenne sur la période humide 1998-2002 (1390 mm). Le déficit de précipitation depuis 2003 est donc important si on le compare aux 4 années humides qui ont précédé, mais reste davantage mesuré en comparaison avec la pluviométrie moyenne depuis 1920.

### 2.2.3 Pluies exceptionnelles

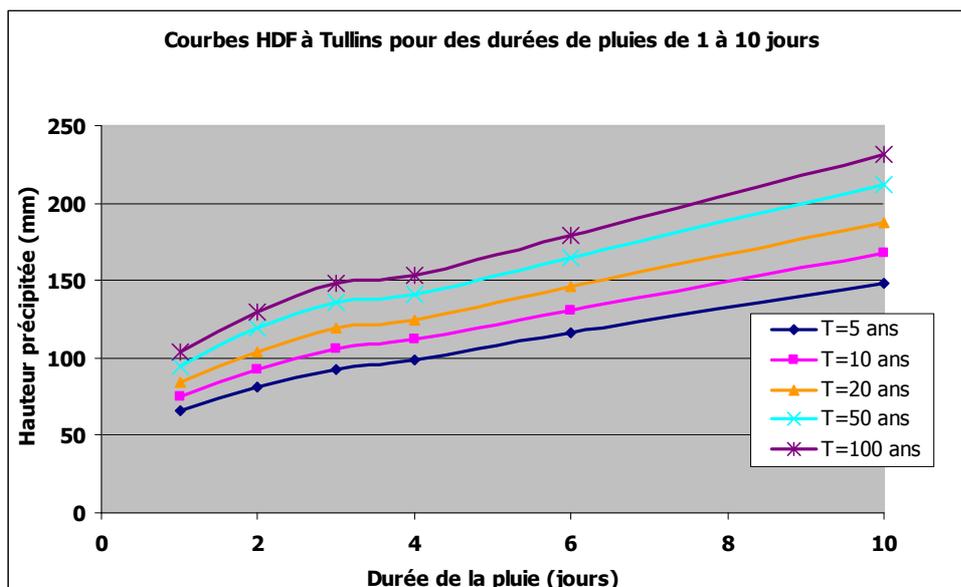
Les courbes HDF (Hauteur Durée Fréquence) pour des durées de pluie de 24 heures et plus sont déduites des données des stations Météo France de Charavines et Tullins. Par l'intermédiaire de la méthode du renouvellement, Météo France a estimé les hauteurs de précipitation d'occurrence rare (T = 5, 10, 20, 50 et 100 ans) pour des durées de précipitations de 1 à 10 jours.

Lors de l'analyse de ces données, on se rend compte que les précipitations de référence à Charavines et Tullins sont assez peu différentes. Le bassin versant n'a pas lieu d'être zoné et les précipitations de Charavines, légèrement supérieures, sont prises pour référence.

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



**Figure 11: Courbes HDF à Tullins pour des durées de pluie de 1 à 10 jours**

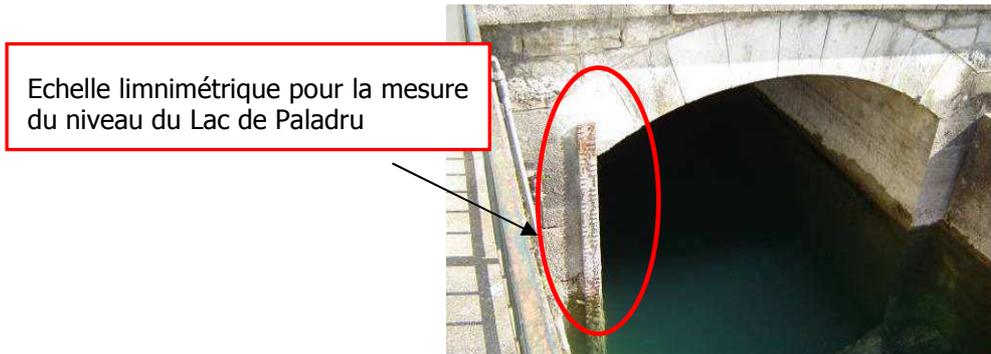


## 2.3 Données existantes en hydrométrie des crues

### 2.3.1 Exutoire du Lac de Paladru

- **Mesure du niveau du Lac de Paladru**

La mesure du niveau du Lac de Paladru est réalisée quotidiennement sur une échelle limnimétrique située au droit de la section de sortie du pont directement en amont de l'ouvrage des vannes.



**Figure 12 : Echelle limnimétrique pour la mesure du niveau du lac**

#### **Courbes annuelles d'évolution**

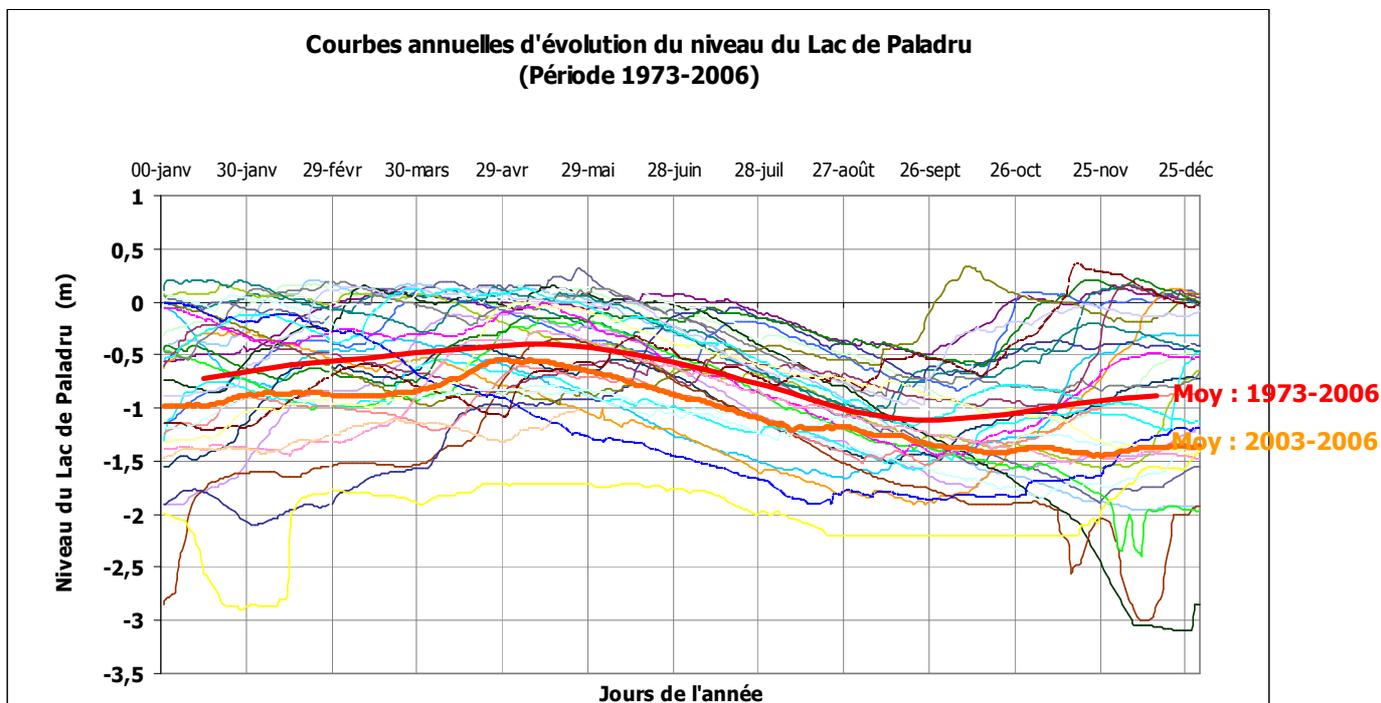
Les figures ci-après montrent les courbes annuelles d'évolution des niveaux du Lac de Paladru et débits de la Fure sur la période 1973 à 2006. Ces courbes mettent en évidence, de manière visuelle, la dispersion des variables « niveau » et « débit » du Lac de Paladru et de la Fure.

Les courbes annuelles d'évolution du niveau du lac au cours des 33 années étudiées montrent que le niveau du lac évolue au sein d'un fuseau de largeur 1,5 m environ. De manière globale, Le niveau du lac fluctue entre 0 et -1,5 m au cours des périodes hivernale et printanière et entre -0,5 m et -2 m durant l'été et le début de l'automne.

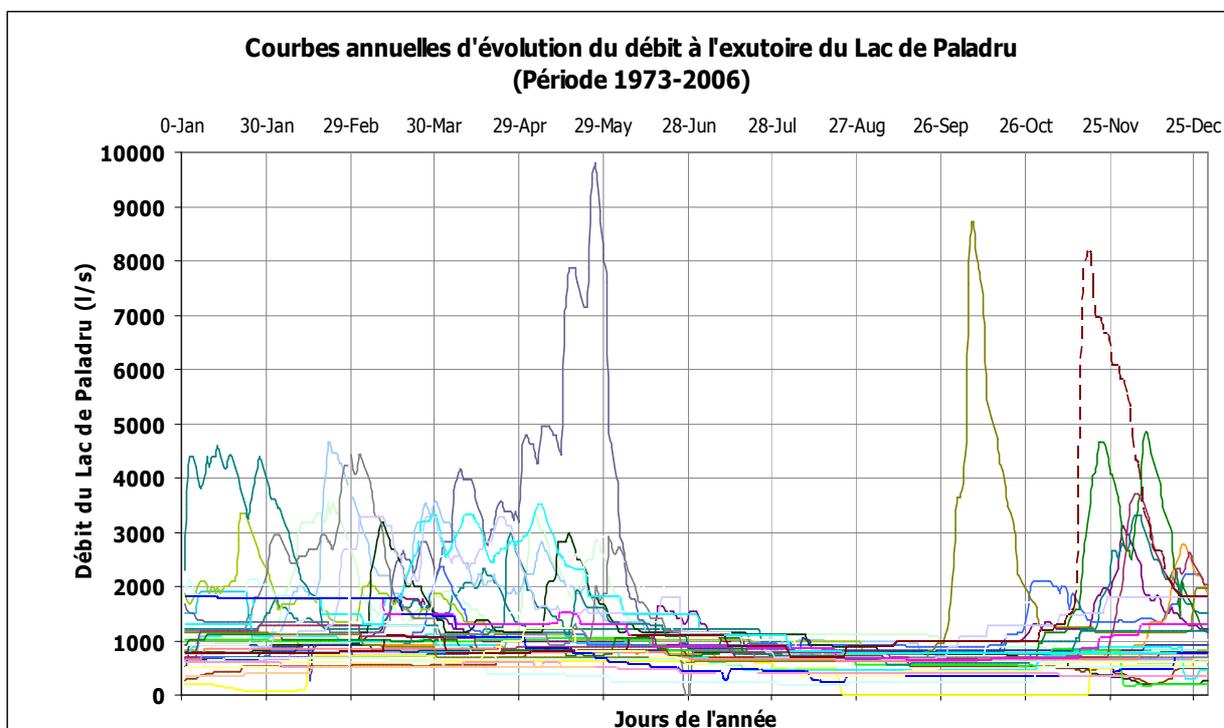
La figure représentant les courbes annuelles d'évolution du débit à l'exutoire du Lac de Paladru met en évidence les périodes propices aux crues du lac. Les crues du lac correspondent aux périodes durant lesquelles le niveau du lac est supérieur à la crête du déversoir latéral de sécurité et pour lesquelles le débit à l'exutoire dépasse les 2 m<sup>3</sup>/s. Durant la période 1973 à 2006, les crues du Lac de Paladru ont été observées de début octobre à fin mai. Les pics des crues majeures du lac semblent apparaître au cours de 2 époques privilégiées de l'année:

- La période printanière (ex : Mai 1983),
- La période automnale (ex : Octobre 1993, Novembre 2002).

En dehors de ces périodes de crues, le débit à l'exutoire du lac (vannes+siphon) fluctue entre 400 l/s et 1200 l/s. Le débit du siphon est intégré à la mesure du débit de sortie depuis seulement juin 2003. Pour les années antérieures, nous avons estimé le débit de sortie en réintégrant le débit du siphon à partir de la table établie par SAFEGE.



**Figure 13 : Courbe annuelle d'évolution du niveau du Lac de Paladru**



**Figure 14 : Courbe annuelle d'évolution du débit à l'exutoire du Lac de Paladru**

### Analyse des valeurs moyennes

Les figures ci-après présentent l'évolution moyenne mensuelle des niveaux du Lac de Paladru et débits de la Fure. Ces figures mettent en évidence le cycle moyen du Lac de Paladru :

- Remplissage du lac d'octobre à mai,
- Vidange du lac de juin à septembre.

La baisse du Lac de Paladru se produit beaucoup plus rapidement que la phase de remplissage du lac : -18 cm/mois de juin à septembre et +9 cm/mois d'octobre à mai. La baisse du niveau du Lac de Paladru est maximale au cours de la période estivale (baisse de 25 cm/mois au cours de juillet-août).

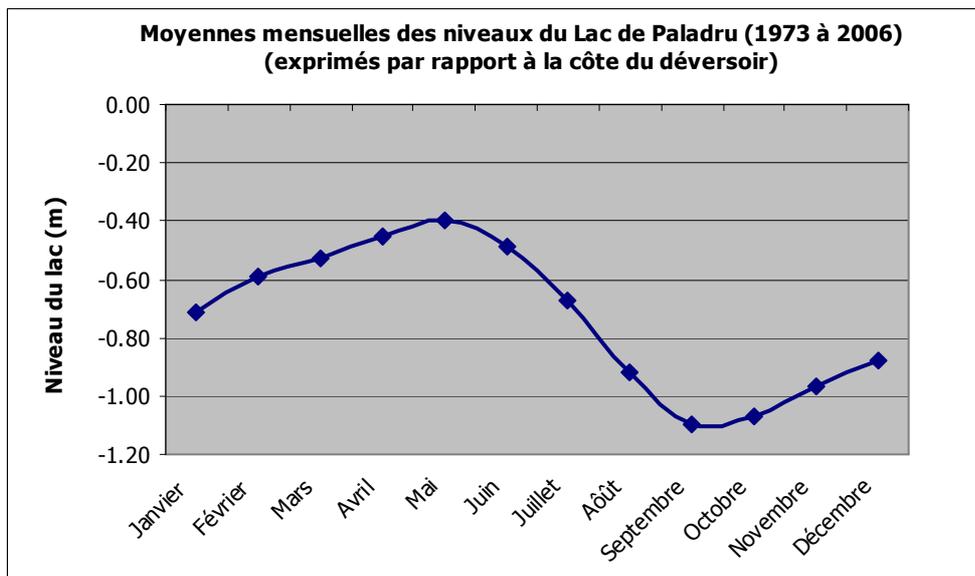


Figure 15 : Moyennes mensuelles des niveaux du Lac de Paladru

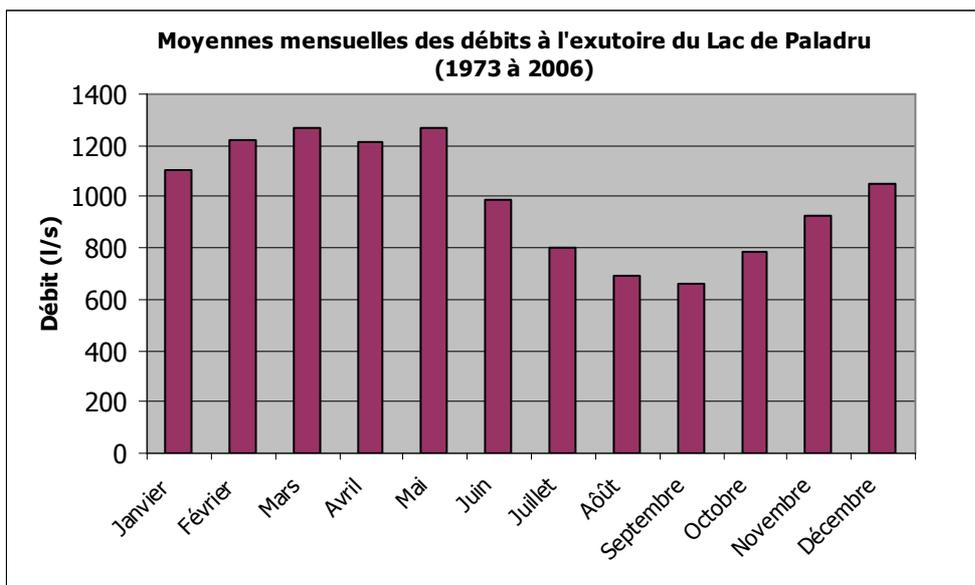


Figure 16 : Moyennes mensuelles des débits à l'exutoire du Lac de Paladru

## • Mesure du débit à l'exutoire du Lac de Paladru

Le débit de sortie du Lac de Paladru correspond à la somme de 3 débits :

- Débit d'un siphon de soutirage des eaux profondes,
- Débit régulé par les vannes de Charavines,
- Débit déversé lorsque le niveau du lac dépasse la crête du déversoir.

### Débit du siphon de soutirage

Le siphon de soutirage des eaux profondes du Lac de Paladru a été mis en place en avril 1976 afin de lutter contre l'eutrophisation croissante du lac. Le siphon, d'un diamètre de 600 mm, positionné au fond du lac (à - 31 m) permet de soutirer les eaux profondes, froides et pauvres en oxygène et assure ainsi un brassage et une régénération des eaux du lac.

Dans le cadre de l'étude des ouvrages de régulation (SAFEGE, 1995), une table donnant le débit du siphon de soutirage en fonction du niveau du lac et de l'ouverture des vannes avait été réalisée. La table a été calée sur 2 séries de mesure et un calcul théorique. Pour un lac très haut (~+10 cm au dessus de la crête du déversoir), les valeurs sont à prendre avec prudence, le fonctionnement du déversoir modifiant considérablement les conditions aval.

Le siphon de soutirage se désamorce aux environs de la cote -2,5 m sous la crête du déversoir (phénomène mis en évidence lors de la sécheresse de l'été 1990).

Le débit total du siphon varie de 100 à 300 l/s environ selon les conditions de niveau du lac et de manœuvre des vannes.

### Débit régulé par les vannes

Installé en 1869, en application du décret impérial de 1866, les vannes ont un objectif double : réguler à la fois le niveau du Lac de Paladru et le débit de la Fure.

Les vannes sont situées en bout du chenal d'aménée et reposent sur le fond du canal. Les vannes sont constituées de 2 séries de 2 vannes en parallèle. Les 2 séries sont séparées par une chambre intermédiaire. La première série permet de s'affranchir du niveau du lac en réglant un niveau dans la chambre intermédiaire. La deuxième série règle le niveau désiré selon le niveau de la chambre.

Le débit total des vannes varie de 0 à environ 1500 l/s.

La manœuvre des vannes est ajustée pour le débit total par les vannes et le siphon, mesuré au seuil jaugeur décrit plus loin, réponde au règlement d'eau défini par arrêté préfectoral (cf. plus loin).

### Débit déversé

Lorsque le Lac de Paladru est en crue, le « débordement » s'effectue par l'intermédiaire d'un déversoir latéral à seuil épais (40 cm d'épaisseur) de 20 m de long.

Le déversoir a été taré par SAFEGE en 1995 (voir annexe n°2). La formule du déversoir avec un coefficient de débit  $m=0,3$  semble bien adaptée :

$$Q_{\text{dév}} = m.L.dN\sqrt{2g.dN}$$

$Q_{\text{dév}}$  : débit déversé ( $m^3/s$ )

$m$  : coefficient de débit

$L$  : longueur du déversoir (m)

$dN$  : différence du niveau du lac par rapport au déversoir (m)

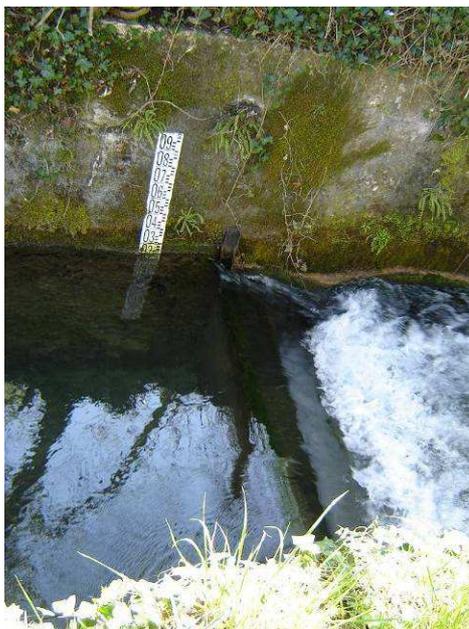
### Gestion et mesure actuelle des débits

La gestion des débits de la Fure à l'exutoire du Lac de Paladru est assurée par la manœuvre des vannes du lac. L'ouvrage des vannes est constitué par deux paires de vannes (2 vannes amont et 2 vannes aval). Les vannes sont manœuvrables sans problème, les crémaillères étant graissées régulièrement.



**Figure 17 : Ouvrage des vannes du Lac de Paladru**

Depuis juin 2003, la mesure du débit rejeté dans la Fure s'effectue au niveau du déversoir rectangulaire situé sur le canal de la Fure en aval de l'ouvrage des vannes. Une courbe de tarage de ce déversoir permet à partir d'une mesure de hauteur sur l'échelle limnimétrique de déduire une valeur du débit. Le déversoir rectangulaire a été installé dans le cadre du Contrat de Bassin Paladru-Fure pour le SIVU de la Fure (syndicat ayant précédé le SIBF).



**Figure 18 : Seuil jaugeur du canal de la Fure**

Le seuil jaugeur se situant en aval du rejet du siphon de soutirage des eaux profondes du Lac de Paladru, le débit mesuré est le débit total restitué à la Fure. Les campagnes de jaugeages montrent que la courbe de tarage est fiable pour des débits allant jusqu'à 600 l/s. Au-delà, le seuil jaugeur n'est plus complètement dénoyé et les mesures doivent être prises avec précaution.

- **Règlement d'eau aux vannes de Charavines**

Le débit de la Fure constitué du débit des vannes, du siphon et d'un éventuel déversement, est ajusté selon un règlement d'eau qui dépend du niveau du lac et de la saison.

Le règlement originel des vannes datant de 1866 a été mis en application jusqu'en 2009, l'étude globale portée par le SIBF ayant conduit à la définition d'un nouveau règlement permettant de concilier l'ensemble des usages de l'eau, des risques d'inondation et des fonctionnalités des milieux dans le bassin versant.

Niveau du lac par rapport au déversoir	Débit ajusté
> - 10 cm	1 200 l/s
Entre -70 et -10 cm	800 l/s
Entre -170 cm et -70 cm	650 l/s
Entre -270 cm et -170 cm	500 l/s

**Figure 19 : Rappel du règlement de 1866 appliqué jusqu'en 2009**

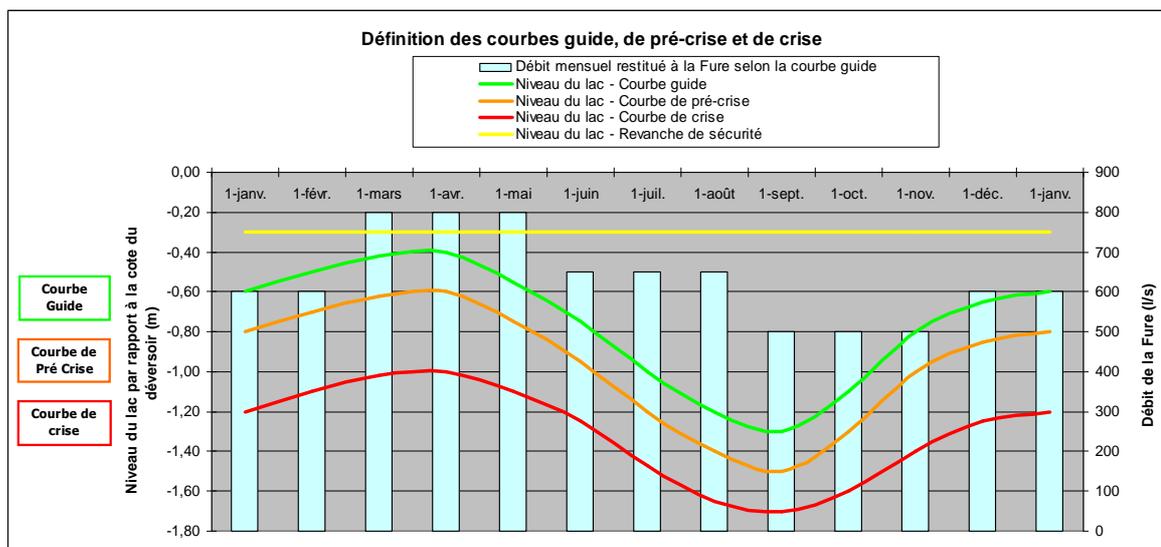
### 2.3.2 Stations hydrométriques

De 1934 à 2001, quatre stations hydrométriques ont été gérées par la DIREN (aujourd'hui DREAL) avec des périodes de fonctionnement assez réduites et discontinues. Celles-ci sont recensées dans le tableau ci-après.

#### Stations de la DIREN

**Tableau 4 : Recensement des stations DIREN**

Station DIREN	Code	Durée de fonctionnement
<b>La Fure à Charavines</b>	W3125030 puis W3125040	1934 à 1970 puis 1993 à 1996
<b>La Fure à Fures</b>	W3125020	1970 à 1972
<b>Le Courbon à Paladru</b>	W3125210	1979 à 1984 puis 1998 à 2001
<b>Le Pin</b>	W3125010	1975 à 1996



Niveau par rapport à la crête du déversoir (m)	Débit selon les règles de gestion (l/s)		
	Règlement courbe guide phase montante	Règlement courbe guide phase descendante	Règlement courbe pré-crise
0,00	1500*	1500*	
-0,04	1500*	1500*	
-0,05	1500*	1500*	
-0,09	1500*	1500*	
-0,10	1500*	1500*	
-0,19	1500*	1500*	
-0,20	1000	1000	
-0,29	1000	1000	
-0,30	800	800	
-0,49	800	800	
-0,50	600	800	400
-0,69	600	800	400
-0,70	500	650	400
-0,79	500	650	400
-0,80	500	650	400
-1,29	500	650	400
-1,30	400	500	400
-1,49	400	500	400
-1,50			400
-1,69			400
-1,70			400
< -1,70			400

\* ou débit maximal cumulé entre les vannes et le siphon

**Figure 20 : Règlement en application depuis 2009**

Les données recueillies par ces stations sont disponibles sur le site de la Banque Hydro.

Pour la station située à Charavines, la durée de mesure étant conséquente (> 30 ans), la DIREN a pu calculer des débits de crues de référence jusqu'à la décennale. Le tableau suivant présente les débits de crues calculés par ajustement statistique à la station de Charavines.

**Tableau 5 : Débits de crues estimés par la DIREN**

Cours d'eau	Lieu	S	Module		Etiage QMNA5		Q2	Q5	Q10	Q50	Q100
			m <sup>3</sup> /s	l/s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s				
La Fure	Charavines	Km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s				
		43,2	0,821	19,0	0,406	9,4	2,1	3,5	4,5	-(*)	-(*)

(\*) Débits non calculés par insuffisance de la période de mesure

### Stations du SIVU de la Fure

Le SIVU de la Fure (aujourd'hui SIBF), assisté par la DIREN (aujourd'hui DREAL), a installé cinq stations hydrométriques. Quatre de ces stations permettent de suivre en continu les débits de la Fure (à Charavines et à Hurtières), du Courbon et du ruisseau du Pin. La cinquième station permet l'enregistrement du niveau du lac de Paladru. Ces stations ont fonctionné quelques mois au cours des années 2002 et 2003. Elles sont depuis à l'arrêt et nécessiteraient une remise en état pour fonctionner à nouveau.

Ces stations ont fonctionné sur de périodes trop courts pour que des débits de référence statistiques puissent être extraits.

### Etude préalable à la réhabilitation de la Fure – SAFEGE (1991)

Le bureau d'étude SAFEGE a réalisé une analyse statistique des débits maximaux annuels sur 60 ans (de 1923 à 1983) relevés à l'exutoire du lac de Paladru d'après les données de l'ASA de la Fure qui gère les vannes.

Un ajustement par la loi de Gumbel a conduit à des valeurs de débits de crues de référence récapitulées dans le tableau suivant.

**Tableau 6 : Débits de crues déduits de l'analyse statistique réalisé par SAFEGE**

Q5 en m <sup>3</sup> /s	Q10 en m <sup>3</sup> /s	Q100 en m <sup>3</sup> /s
4,48	5,78	9,87

## 2.4 Crues historiques

### 2.4.1 Inventaire des crues

Les crues historiques sont connues d'après les documents d'Ardouin-Dumazet (1903), P.Bozon (1943), J.P. Belhoste (1982), SAFEGE (1994) et BURGEAP (2006, 2009) :

- Des fortes crues au 19<sup>ème</sup> siècle, dont une crue exceptionnelle :
  - Crues fortes de 1816 et 1840 ;
  - Crue exceptionnelle de Mai 1856 ;
  - Petites crues de 1852 et 1853 ;
- Quelques crues lors de la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle :
  - Une crue en juin 1934 ayant affecté également les vallées voisines ;
  - Une forte crue du Lac de Paladru et de ses affluents en 1941 (des événements inventoriés en février et juin), avec probablement une crue importante sur la Fure (non renseignée par la bibliographie) ;
- Plusieurs crues moyennes depuis 1970 :
  - Crue de Juillet 1972 ;
  - Crue de Juillet 1983 ;
  - Crue d'Octobre 1993 ;
  - Crue de Novembre 2002 ;
  - Ainsi que des petites crues : 21 décembre 1991 ; Septembre 1992 ; 25 septembre 1999 ; 10 août 2004

Les principales crues sont décrites plus amplement par la suite.

### 2.4.2 Description des principales crues historiques

Nota : les ouvrages mentionnés par la suite sont localisés sur les cartes 19a et 19b fournies hors texte.

#### • Crue historique de 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 présentaient 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) après un mois de mai très arrosé. L'intensité de l'averse a été très soutenue pendant 24 à 36 heures.

### Niveau du lac et débits atteints

La crue de 1856 cumule 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 MM. Schrambach et Capolini, le débit de pointe de la crue de 1856 fut très probablement supérieur à 55-60 m<sup>3</sup>/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 La Ravignouse fut détruit, au Guillemet le magasin à charbon et les soufflets furent inondés, 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.

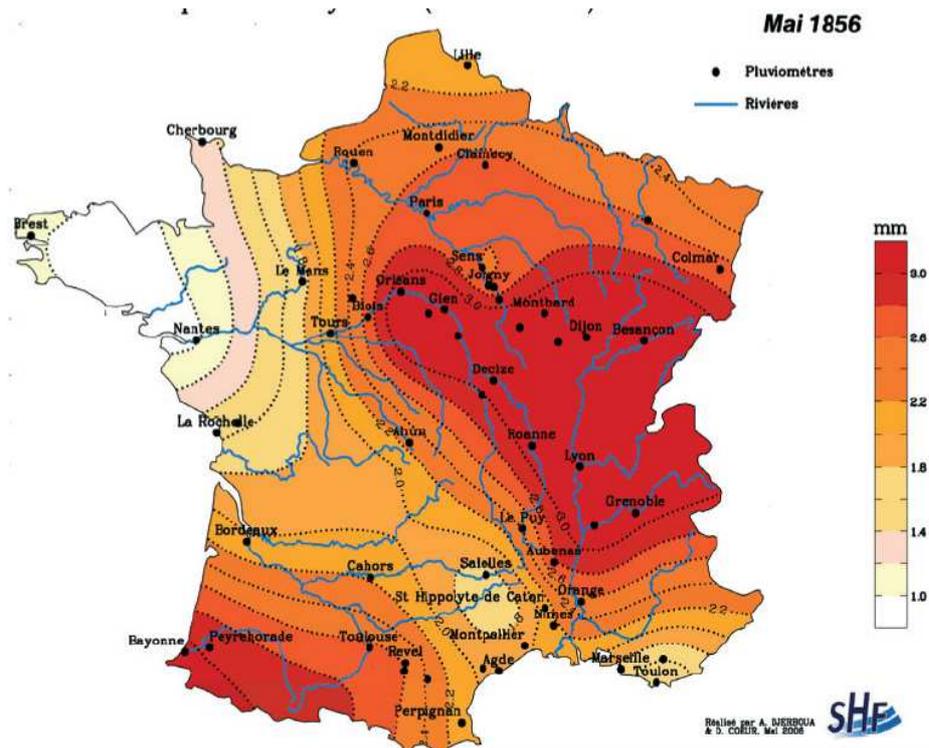


Figure 21 : Rapport des pluies mensuelles du mois de Mai 1856 par sa moyenne (50 ans)

- **Crue du 22 Juillet 1972**

### **Pluviométrie**

L'évènement du 22 juillet 1972 est un évènement court. Une pluie de 144,6 mm a été enregistrée en moins de 24 heures à la station météo de Charavines ce jour là.

D'après Schrambach, l'évènement de 1972 n'a eu lieu que sur le bassin versant de la Fure et pas sur les bassins versants voisins (Morge, Ainan). La pluviométrie aurait été « de 120 mm sur le bassin moyen et aval ».

### **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 m<sup>3</sup>/s a été enregistré à la station hydrométrique d'Hurtières à Tullins-Fure (Données DIREN ; cette crue ayant eu lieu pendant les 3 seules années de fonctionnement de la station). Cette valeur de débit est à prendre avec précaution, aucun tarage de la station en période de crue n'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 de pisciculture. 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 d'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 (actuellement RD1092) mais ne semble pas avoir causé de gros dégâts.

- **Crue de juillet 1983**

Cette crue est assez peu décrite, notamment au niveau de la pluviométrie. Schrambach (2002) note cependant que d'autres bassins versants voisins (Morge, Ainan) ont été touchés par une crue à cette date-là, contrairement au phénomène de 1972.

Le niveau maximal du lac de Paladru a atteint 31 cm au-dessus du déversoir des vannes, soit environ 7 m<sup>3</sup>/s en sortie du Lac de Paladru.

La crue a entraîné des dégâts dans la traversée de Tullins-Fure, notamment sur le site Paraboot qui a été inondé. Sur ce site, les différents bras de la Fure, encombrés lors de la crue, ont été remplacés par un lit unique recalibré.

- **Crue d'octobre 1993**

Cette crue fait suite à un début d'automne très pluvieux en Rhône-Alpes, en particulier dans le Dauphiné, ayant conduit à de nombreuses crues de cours d'eau de taille moyenne comme le bassin versant Paladru-Fure. La pluviométrie est estimée à 170 mm en 10 jours puis 113 mm en 3 jours au poste de Charavines. Comme le souligne Schrambach (2002), l'ensemble des bassins versants voisins a également été touché par une crue à cette date.

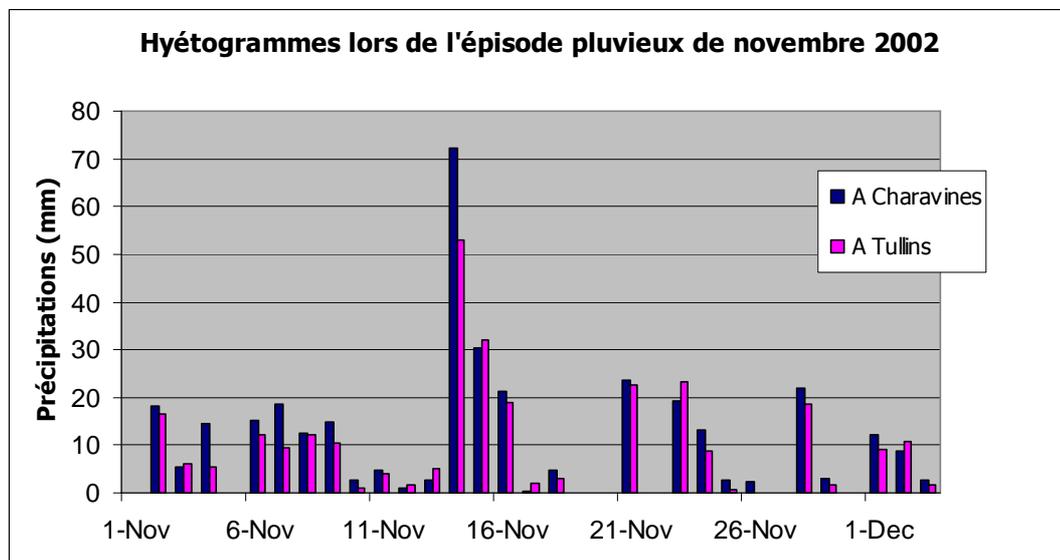
Le niveau maximal du lac de Paladru a atteint 34 cm au-dessus du déversoir des vannes, soit environ 8 m<sup>3</sup>/s en sortie du Lac de Paladru.

La crue a entraîné des dégâts au niveau du pont de la Guillonnière (déchaussement du pont).

- **Crue de 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 22 : Hyétogrammes 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 m<sup>3</sup>/s à l'exutoire du Lac de Paladru, 20 m<sup>3</sup>/s à l'entrée de Tullins-Fures et 22 m<sup>3</sup>/s à Saint Jean de Chépy.



**Figure 23 : Déversoir latéral de sécurité en novembre 2002**



**Figure 24 : 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
<b>Charavines</b>	<p>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 ;</p> <p>Le jardin d'une maison en rive gauche à l'amont du pont de la caserne (Ff4) a été inondé.</p>
<b>Apprieu</b>	<p>Les jardins des habitations du site des aciéries de Bonpertuis ont été inondés. ;</p>

	<p>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 gastro-entérite ayant touchés 2100 personnes ;</p> <p>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 débordé entraînant une lame d'eau de 10-20 cm dans tout le RDC du bâtiment.</p>
<b>Renage</b>	Le canal des papeteries Arjo Wiggins a débordé, entraînant des dégâts aux sous-sols (quelques moteurs noyés).
<b>Tullins-Fures</b>	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 7: Liste des dégâts occasionnés lors de la crue de Novembre 2002**

### 2.4.3 Synthèse des entretiens auprès des acteurs locaux

Les entretiens réalisés en 2009 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 évènements 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.

Les informations collectées sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

<b>Communes</b>	<b>Informations collectées</b>
<b>Charavines</b>	<p>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 ;</p> <p>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 ;</p> <p>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 ;</p> <p>La cave d'un particulier a été inondée (par infiltration) à l'amont du pont de la Mairie (Ff3) ;</p> <p>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 ;</p> <p>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.</p>

Communes	Informations collectées
<b>Apprieu</b>	<p>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.</p> <p>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 ;</p> <p>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 ;</p> <p>Le canal surplombant le captage de Côte Gagère représente un point noir important en période de crue (nombreuse fuites) ;</p> <p>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.</p>
<b>Saint Blaise du Buis</b>	<p>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.</p>
<b>Rives</b>	<p>Sur la commune de Rives, les dernières crues (1972, 2002 plus particulièrement) ont peu marqué les mémoires locales ;</p> <p>Les points sensibles sur la commune de Rives sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Au niveau de la prise d'eau petite chute (Fp24) : risque de débordement en rive gauche,</li> <li>• 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),</li> <li>• Au niveau du passage couvert sous un bâtiment démolie dans le centre de Rives.</li> </ul> <p>En 1993 et 2002, il y avait une lame d'eau déversante de +50° cm au niveau du barrage de la Petite Poype ;</p> <p>La micro centrale du Bas Rives de M. Lyonnet a été inondée en 1993 et 2002 ;</p> <p>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.</p>
<b>Renage</b>	<p>Les principaux risques liés aux crues de la Fure sur la commune de Renage sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La création d'embâcles au droit des ouvrages et anciens bâtiments,</li> <li>• Les glissements de terrain et la création de barrages naturels,</li> <li>• La déstabilisation de certains ponts (Ff33, Ff36, Ff39).</li> </ul> <p>En Novembre 2002, le canal des papeteries Arjo Wiggins a débordé, entraînant des dégâts aux sous-sols (quelques moteurs noyés). Suite à cet évènement, un document sommaire sur les actions contre les inondations a été réalisé.</p>
<b>Tullins-Fures</b>	<p>En Juillet 1972, les papeteries de Fures ont subi des inondations d'ampleur modérée (fosse de la machine à papier inondée). Suite à cet évènement 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 ;</p>

Communes	Informations collectées
	<p>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 ;</p> <p>Au niveau de Richard Pont Vert, vers chez M.Thierssen, 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 ;</p> <p>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.</p> <p>En période de crue les points noirs hydrauliques sur la Fure sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les anciens bâtiments dans la traversée de Fures,</li> <li>• Le pont de la RD1092 (nœud important pour la circulation et le passage de conduites diverses),</li> <li>• Les bâtiments d'usine en aval du pont de la RD1092 (microcentrale Fures Electricité).</li> </ul> <p>Une carte d'aléas a été réalisée par Alp'Géorisques sur la commune de Tullins-Fures.</p>

#### 2.4.4 Synthèse sur les crues historiques

L'analyse des évènements historiques, réalisée dans le cadre des études BURGEAP de 2006 et 2009, ainsi que les différentes études de MM. SCHRAMBACH et CAPOLINI (2002, 2005), ont mis en évidence l'existence de deux types principaux d'évènement de crue :

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

Deux crues assez bien connues de la Fure sont particulièrement représentatives de 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).

## 2.5 Détermination des débits de crue

### 2.5.1 Débits retenus en 2009

Les études BURGEAP 2006 et 2009 ont amené à exploiter un modèle hydrologique pluie/débit du bassin versant, décomposé selon les sous-bassins versants décrits en partie 2.1.4. Le modèle a été calé sur plusieurs événements hydrologiques connus.

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

- Evènement long : 4 jours, correspondant au temps de réponse du Lac de Paladru d'après la connaissance des acteurs locaux,
- Evènement court : 18 heures, d'après le temps de concentration du bassin versant dans sa totalité.

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.

En fonction du niveau du lac initial et de la durée de l'évènement de pluie, plusieurs scénarios peuvent être considérés.

**Tableau 8: Scénarios hydrologiques étudiés**

	Niveau bas du Lac de Paladru	Niveau haut du Lac de Paladru
Evènement court	<b>Scénario 1</b>	Scénario 2
Evènement long	Scénario 3	<b>Scénario 4</b>

Les scénarii 1 et 4 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 peut conduire aux débits de pointe maximaux le long du linéaire de la Fure. Il a été retenu en 2009 pour déterminer les débits de pointe de crue centennale sur le linéaire de la Fure.

Les débits de pointe retenus 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, les débits de pointe retenus correspondent au scénario 4 (évènement long, lac plein) supérieurs à ceux déduits du scénario 2.

**Tableau 9: Débits de pointe retenus (m<sup>3</sup>/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	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
La Fure au Guillermet	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	7	10	12	9	13	14
La Fure à Ravignouse	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	13	20	23	12	18	21
La Fure à Pastières	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	15	23	27	14	22	25
Confluence Fure-Réaumont	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	20	31	36	19	29	33
La Fure au centre de Renage	<b>26</b>	<b>40</b>	<b>47</b>	25	38	44	23	35	40
La Fure à Hurtières	<b>28</b>	<b>44</b>	<b>52</b>	28	43	50	25	39	45
La Fure à Fures	<b>29</b>	<b>45</b>	<b>53</b>	28	43	50	26	39	45
La Fure à Saint Jean de Chépy	<b>29</b>	<b>45</b>	<b>53</b>	28	44	51	26	40	46
Confluence Fure-Morge	<b>30</b>	<b>47</b>	<b>55</b>	29	45	53	27	41	48

## 2.5.2 Analyse régionale

L'analyse régionale permet de comparer les débits estimés pour la Fure aux débits de crue des cours d'eau voisins présentant, dans la mesure du possible, une bonne similarité géomorphologique. Les cours d'eau à proximité de la Fure sont les suivants : la Morge à l'Est ; la Bourbre au Nord Ouest ; l'Ainan au Nord Est, appartenant au bassin versant du Guiers.

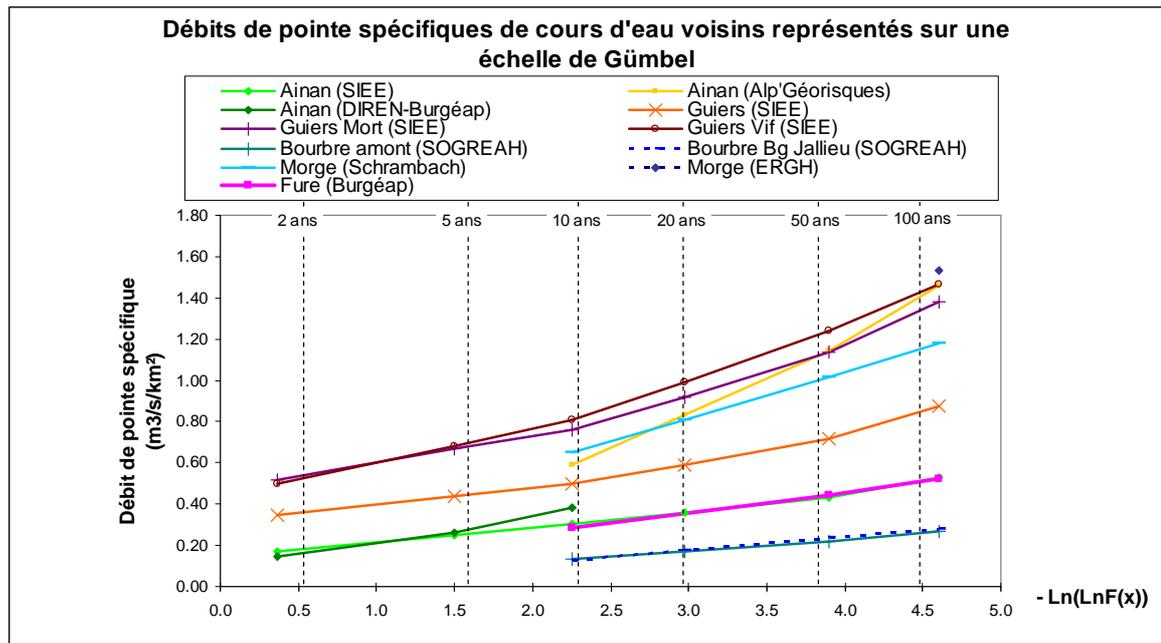
Les données hydrologiques disponibles pour ces cours d'eau sont issues des études récapitulées dans le tableau suivant (BURGEAP, 2006).

**Tableau 10 : Etudes de référence sur les cours d'eau proches de la Fure**

Cours d'eau	Superficie (km <sup>2</sup> )	Données de référence
Ainan	78	Etude SIEE
Ainan	76	Etude DIREN-Burgéap
Ainan	76	Etude Alp'Géorisques
Guiers	575	Etude SIEE 1996
Guiers Mort	173	Etude SIEE 1996
Guiers Vif	126	Etude SIEE 1996
Bourbre	320	Etude SOGREAH 2003
Morge	72	Etude Schrambach 2003
Morge	64	Etude ERGH 2006

Les données disponibles sont résumées sur le graphique ci-après, représenté pour les valeurs spécifiques des débits, rapportées à la superficie du bassin versant. La Fure obtient ainsi un débit centennal spécifique de 0,54 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> qui la place dans la bassin versant peu productif ; cependant, si on retire la surface (46,24 km<sup>2</sup>) et le débit (12 m<sup>3</sup>/s) produits par le Lac de Paladru, le débit centennal spécifique passe à 0,78 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>, soit une valeur intermédiaire proche de celle du Guiers.

**Figure 25 : Synthèse des données hydrologiques régionales**

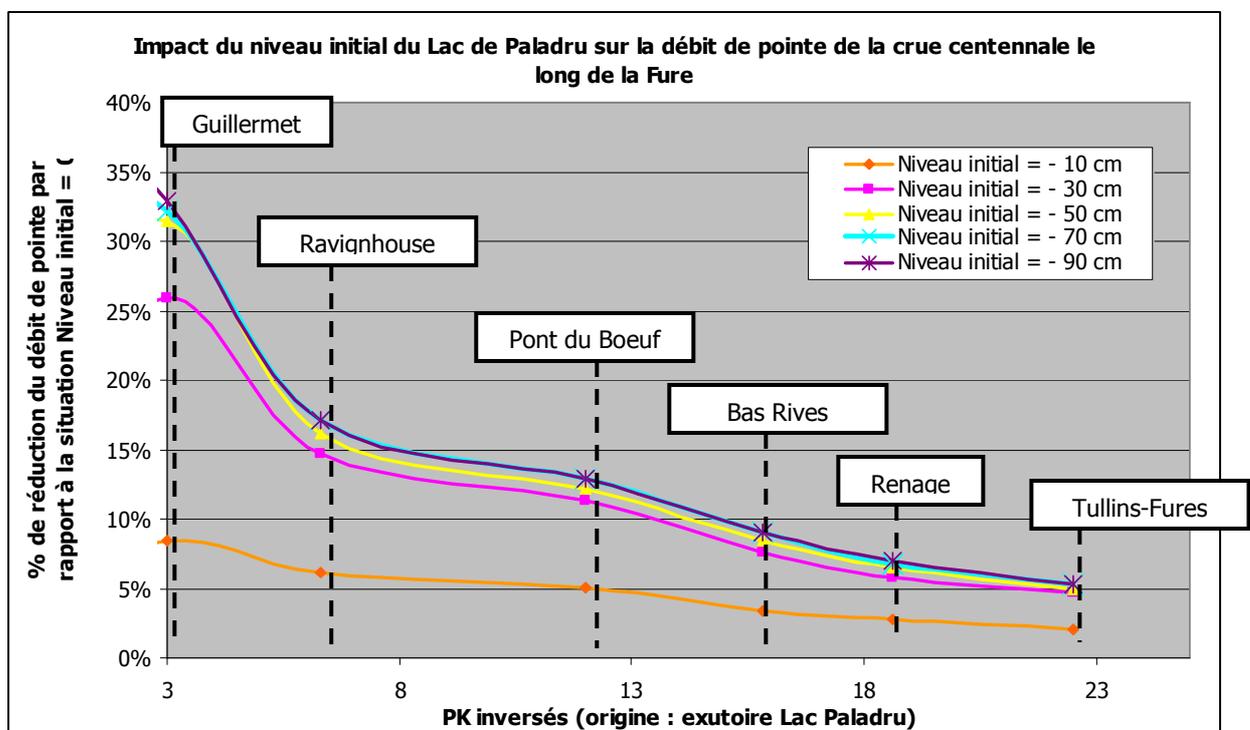


### 2.5.3 Précisions sur le rôle du Lac de Paladru en crue

L'impact du niveau initial du Lac de Paladru sur l'hydraulique de la Fure en crue a été étudié au moyen du modèle hydrologique. 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.

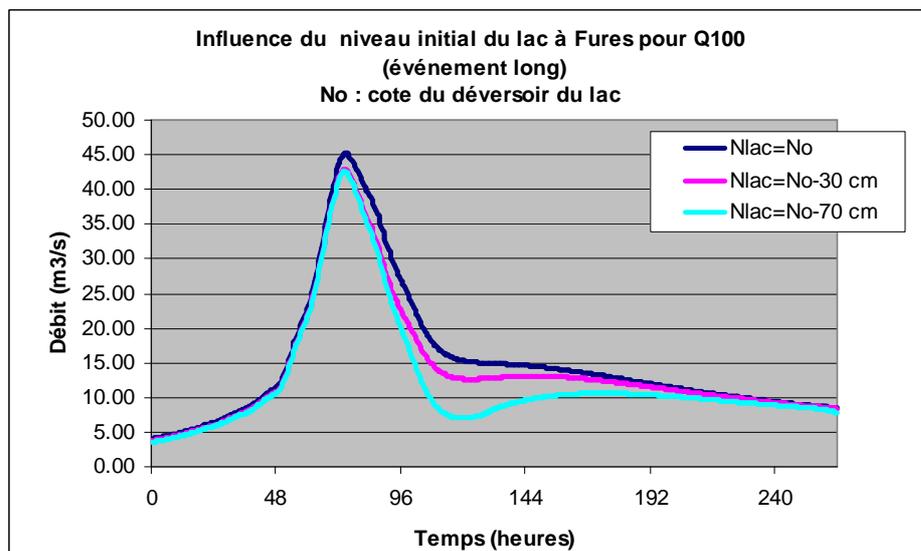
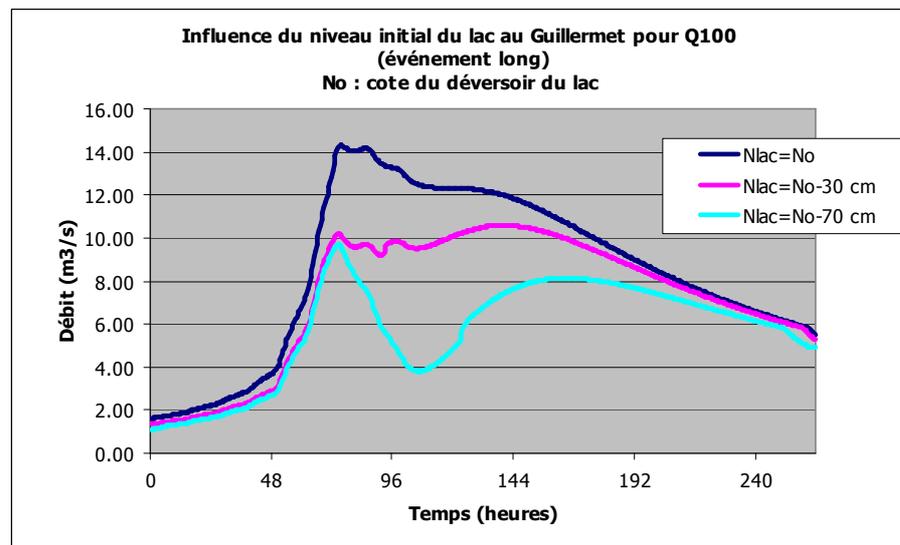
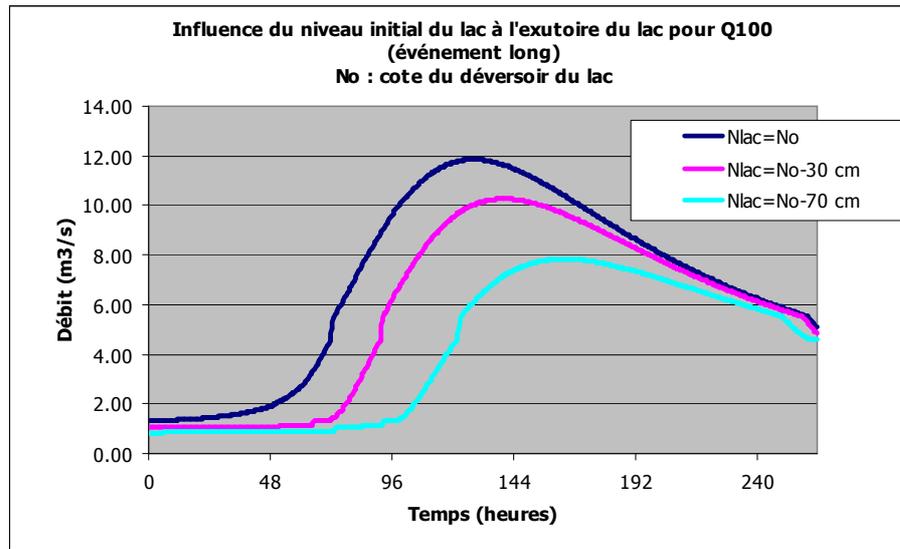
**Figure 26: Profil en long de l'impact du niveau initial du Lac de Paladru sur le débit centennal**



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 Ravignouse. Ainsi, pour un niveau initial du lac à -30 cm, la réduction du débit de pointe passe de 26% au Guillermet à 15% à Ravignouse. 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 27: Impact du niveau initial du Lac de Paladru sur les hydrogrammes de crue centennale**



### 3. Compléments d'analyse

Des compléments d'analyses par rapport aux données de 2009 ont été menés dans le cadre de la présente étude sur les thèmes suivants :

- Approfondissement des données hydrométriques des crues historiques de façon à préciser le débit de crue décennale ;
- Réévaluation des débits de crues forte et moyenne probabilité (Q10 à Q30 ; Q100 à Q300) ; évaluation du débit de crue de faible probabilité (Q1000) ;
- Etablissement d'une méthodologie de prise en compte des phénomènes d'embâcles.

Nota : les codes d'ouvrages utilisés par la suite sont issus de l'étude BURGEAP 2009 ; ces ouvrages sont localisés sur les cartes 19a et 19b fournies en annexe.

#### 3.1 Crues historiques

##### 3.1.1 Préalable

Nous avons mené de nouvelles enquêtes auprès des riverains de la Fure et propriétaires d'ouvrages, de façon à consolider le travail d'analyse hydrologique mené en 2006 et 2009.

L'objectif de ces enquêtes visait à estimer des débits de crues historiques en plusieurs points du bassin versant et à tenter de hiérarchiser les crues des 50 dernières années.

L'estimation des débits de crues est un exercice qui mérite de nombreuses précautions, en particulier sur la Fure :

- Il existe peu de secteurs sur la Fure qui concentrent le débit total du cours d'eau. Généralement, le débit de la Fure est réparti entre la « Fure Mère » et 1 à plusieurs canaux. Les turbines en bout de prise d'eau peuvent fonctionner ou ne pas fonctionner en crue. L'ensemble rend les estimations complexes et augmente le degré d'incertitude ;
- La qualité des estimations dépend notamment de la précision des laisses de crues et, d'une manière générale, de la précision des niveaux d'eau atteints lors de la crue. En effet, le riverain peut disposer d'une donnée décrite plus ou moins précisément ; il n'était pas forcément présent lors des crues, en particulier pour les plus anciennes et les plus courtes (1972) ; il n'est pas certain que celui-ci ait assisté au pic de la crue ; le riverain peut confondre une crue avec une autre ; etc. ;
- Les conditions d'écoulement pendant la crue ne sont pas toujours bien connues : existait-il des embâcles réduisant la section de l'écoulement lors de la crue ? le fond du lit ou les ouvrages étaient-ils les mêmes que dans l'état actuel (cas des batardeaux de déversoir, des ouvertures de vannes). Par ailleurs, la géométrie du lit a pu être modifiée entre l'occurrence de la crue et l'observation actuelle. Par exemple, la crue de 1983 a déclenché des opérations de curage et de rectification dans la traversée de Tullins-Fures (sites Paraboot et Richard Pont Vert ; linéaire aval de la Fure) ;
- Les calculs d'estimation de débits sont menés avec les formules classiques de déversoir, de section d'écoulement normal (type Manning-Stricker) ou de vanne (type Borda). Bien que la vallée de la Fure ait fait l'objet de levés topographiques, les pentes locales au droit des sections ou des ouvrages ne sont pas toujours précisément connues, ainsi que les effets de remous, ce qui ajoute de l'incertitude aux estimations.

Les estimations qui suivent sont donc à considérer comme des ordres de grandeur.

On notera que le nouveau règlement d'eau aux vannes de Charavines en application depuis 2009 peut avoir un effet amenant à diminuer l'occurrence des petites crues du fait de l'augmentation des débits restitués à l'approche de la cote du déversoir (maintien d'une revanche de sécurité), mais cet effet est probablement négligeable pour les crues décennales et supérieures et a été considéré comme tel.

### 3.1.2 Rappel des données hydrométriques connues

Dans un premier temps, par souci de complétude, nous rappelons que les études existantes, notamment les études 2006 et 2009 de BURGEAP et SAFEGE, ainsi que les expertises de MM. Schrambach et Capolini, donnent les estimations hydrométriques suivantes.

#### Etudes de MM. Schrambach et Capolini :

Dans leurs publications de 2002, ces auteurs estiment que, dans l'aval de la vallée, le débit de la crue centennale (Q100), créée par le bassin versant sans apports du lac, est de l'ordre de 45 à 50 m<sup>3</sup>/s. Dans ces conditions, le débit de pointe de la crue de 1856 a très probablement été supérieur à 55/60 m<sup>3</sup>/s. Un essai de calcul de ce débit a été effectué dans le fond du vallon sous Renage. Dans une section sans usine, la crue entraînant une épaisseur d'eau d'un mètre (valeur moyenne constatée dans l'Ainan le 6 juin) au dessus des berges est de l'ordre de 70 à 80 m<sup>3</sup>/s.

Les débits ont également été estimés à Rives, sans les apports du lac : 22 m<sup>3</sup>/s en crue décennale ; 36 à 40 m<sup>3</sup>/s en crue centennale.

En 2010, M. Schrambach complète son analyse et réestime le débit de pointe de la crue de 1856 à 70 m<sup>3</sup>/s à la Papeterie de Renage, à 80 m<sup>3</sup>/s dans la traversée de Tullins-Fure. La crue centennale sans les apports du lac étant conservée à 45-50 m<sup>3</sup>/s, la période de retour de la crue de 1856 serait de l'ordre de 200 à 300 ans.

M. Schrambach mentionne la crue de 1972 comme celle qui suit 1856 en termes d'intensité, alors que celles de 1983 et 1993 semblent être inférieures et sont peu décrites. Celle de 2002 n'avait pas eu lieu au moment des premières publications, et elle n'a pas fait l'objet d'analyses particulières a posteriori.

#### Etudes BURGEAP

Le travail réalisé en 2006 suite aux travaux de SAFEGE, et actualisé en 2009, n'a pas permis d'obtenir beaucoup d'informations hydrométriques supplémentaires. On note cependant les informations suivantes.

Les débits de la Fure à l'exutoire du Lac de Paladru sont bien connus grâce aux relevés réalisés par l'ASA de la Fure. La crue de 1972 n'a pas déversé aux vannes de Charavines ; les crues de 1983, 1993 et 2002 affichent des débits de l'ordre de 7 à 8 m<sup>3</sup>/s. La crue de 1941 présente un débit similaire, ce qui montre que 4 crues ont atteint un débit de 7 à 8 m<sup>3</sup>/s à l'exutoire du lac en 72 ans (une crue tous les 18 ans en moyenne).

La station hydrométrique d'Hurtières à Tullins-Fures, qui a fonctionné de 1970 à 1972, a pu enregistrer la crue du 22 juillet 1972. Le débit de pointe est affiché à 27 m<sup>3</sup>/s. Il peut cependant exister des doutes sur la fiabilité de la courbe de tarage de cette station toute récente à l'époque.

Globalement, il existe donc un déficit de données hydrométriques fiables sur la partie aval du bassin versant.

Lors des investigations de 2006, 2 points d'estimation de débit avaient pu être calculés à partir de laisses de la crue de 2002 :

- La Fure à Hurtières : environ 20 m<sup>3</sup>/s ;
- La Fure à St-Jean-de-Chépy : environ 22 m<sup>3</sup>/s.

L'étude BURGEAP de 2006 mentionne par ailleurs des capacités maximales de plusieurs ouvrages avant débordement, notamment des ouvrages à faible capacité présentant des enjeux. Cette donnée n'apporte pas de valeurs de débits pour des crues historiques, mais indique les valeurs maximales historiques lorsqu'il est avéré par la mémoire des riverains que ces ouvrages ne sont pas entrés en charge ou n'ont pas débordé en crue ces dernières années (cas de tous les ouvrages sauf celui d'Hurtières – Fb14).

On retiendra notamment les ouvrages suivants, dont certains ont fait l'objet d'une actualisation de leur capacité hydraulique :

- Pont de la RD12a dans Rives (Ff24), de capacité maximale 32 m<sup>3</sup>/s ;
- Ancienne prise d'eau dans le bas Rives (Fp28), de capacité maximale 25 m<sup>3</sup>/s ;
- Passage sous un bâtiment dans le bas Rives (Fb7), de capacité maximale 37 m<sup>3</sup>/s ;
- Passage sous un bâtiment de l'usine Revex (Fb9), de capacité maximale 30 m<sup>3</sup>/s ;
- Passage sous un bâtiment amont à la chapelle de Renage (Fb10), de capacité maximale 35 m<sup>3</sup>/s ;
- Passage sous le site de la Grande Fabrique (Fb12), de capacité maximale 43 m<sup>3</sup>/s ;
- Passage sous le site des anciennes papeteries de Renage (Fb13), de capacité maximale 48 m<sup>3</sup>/s ;
- Passage sous des bâtiments d'usines désaffectées à Hurtières (Fb14), de capacité maximale 9 m<sup>3</sup>/s ; cet ouvrage a débordé à plusieurs reprises, bien qu'il puisse être délesté par le canal Allibe en rive droite pour environ 2 m<sup>3</sup>/s au maximum ;
- Passage sous des bâtiments habités du centre de Fures (Fb15), de capacité maximale 15 m<sup>3</sup>/s ; cette valeur nous semble devoir être révisée en une capacité de 20 m<sup>3</sup>/s du fait du fond bétonné de la Fure et de la présence d'un seuil à l'entrée du busage ;
- Passage sous un site industriel (Fb16), de capacité maximale 30 m<sup>3</sup>/s.

Nota : les ouvrages ci-dessus référencés sont localisés sur les cartes 19a et 19b fournies hors texte.

### 3.1.3 Données historiques complémentaires

Nous avons collecté de nouvelles informations, notamment auprès des riverains suivants :

- M. Lyonnet, exploitant hydroélectrique à Rives (centrales de la Poype), présent et habitant sur site depuis plusieurs générations. Au-delà des informations données plus loin, il ne se souvient pas précisément des différentes crues ;
- M. Blanc-Coquand, exploitant hydroélectrique à Renage (centrales des Papeteries de Renage, de Petit et Grand Hurtière), présent sur site depuis 1978 et habitant à quelques kilomètres. Il n'a pas connu la crue de 1972 et se souvient de 3 crues importantes (a priori 1983, 1993, 2002), sans pouvoir les hiérarchiser ;
- M. Maffey, propriétaire riverain à St-Jean-de-Chépy sur Tullins-Fure, exploitant d'une petite unité hydroélectrique, ancien élu à Tullins et ancien employé des papeteries Guély à Tullins-Fure. Il se souvient assez bien des différentes crues sans toutefois être en mesure de les hiérarchiser ;
- M. Dubois, propriétaire riverain à St-Jean-de-Chépy sur Tullins-Fure et exploitant d'une petite unité hydroélectrique. Il est présent sur site depuis 1986 ; il a donc pu voir les crues de 1993 et 2002, celle de 2002 qu'il décrit précisément semblant être la plus intense des deux ;
- M. Soullier, président de l'Association Syndicale du Bas Grésivaudan ;
- M. Gastaldin Alexandre, ancien riverain installé à Tullins-Fures depuis 1927, qui a indiqué l'absence de sortie du lit majeure de la Fure depuis cette date mais n'a su hiérarchiser les dernières crues entre elles.

Les estimations de débits sont présentées au niveau des sites concernés. Les références aux sites reprennent les numérotations d'ouvrages de l'étude BURGEAP 2009.

### Ouvrage des vannes de Charavines (M. Blanc-Coquand, pdt de l'ASA de la Fure)

La consultation des registres de l'ASA à partir des années 1930 a permis de préciser les valeurs des débits de pointe de crue en sortie du Lac de Paladru pour les principaux événements de crues :

Date	Lame d'eau sur le déversoir	Débit minimal-maximal (SAFEGE, 1994) (l/s)		Débits par les vannes et le siphon** (l/s)	Débit minimal-maximal TOTAL (m <sup>3</sup> /s)	
1934 (24 mars)	+0,32 m	4811	5847	2000 *	6,3	7,3
1941 (février)	+0,32 m	4811	5847	2000 *	6,3	7,3
1941 (juin)	+0,33 m	5038	6157	2000 *	6,5	7,7
1972 (22 juillet)	Non déversant			Environ 1000 l/s	0	0
1983 (27 mai)	+0,31 m	4587	5545	2000* + 300 l/s	6,4	7,3
1993 (9 octobre)	+0,34 m	5269	6474	2000* + 300 l/s	7,1	8,3
2002 (18 novembre)	+0,35 m	5503	6762	1500 + 300 l/s	7,3	8,6

\* avant 1994 (étude SAFEGE), un débit maximal de 2000 l/s était régulièrement affiché par le garde-vanne alors que le débit maximal réellement délivrable par les vannes est de l'ordre de 1500 l/s.

\*\* le siphon a été créé en 1976

Les estimations SAFEGE dépendent du coefficient de déversement pris en considération, sachant qu'aucun n'a eu lieu en crue à l'exutoire du déversoir ou des vannes.

Les crues de 1993 et 2002 se détachent ainsi légèrement et apparaissent comme les plus fortes crues de la Fure observées au niveau de Charavines depuis 1934.

### Ouvrages de la Poype (M. Lyonnet ; ouvrage Fp24)

L'ouvrage de prise d'eau de la Petite Poype (Fp24) a présenté des lames d'eau déversantes de plus de 0,50 m lors des événements de 1993 et 2002. Il n'existe pas de données pour les crues de 1972 et 1983.

En supposant que la centrale hydroélectrique turbinait, le débit peut être estimé entre 9 et 12 m<sup>3</sup>/s. La limite de capacité du déversoir avant débordement en rive gauche vers les voiries et habitations serait de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/s (BURGEAP, 2009). Ce phénomène, potentiellement facilité par des embâcles, n'aurait jamais été observé d'après M. Lyonnet.

Plus en aval, un ancien bâtiment industriel recouvre la Fure. La capacité de cet ouvrage avant mise en charge, hors phénomène d'encombre, a été estimée à 24 m<sup>3</sup>/s. Les laisses des dernières crue au niveau de cet ouvrage ne sont pas connues ; cet ouvrage n'a jamais été mis en charge d'après M. Lyonnet.



Figure 28 : Barrage de la Petite Poype (Fp24)



Figure 29 : Bâtiment à la Poype (Fb6)

### **Barrage des anciennes Papeteries de Renage (M. Blanc-Coquand, ouvrage Fp37)**

L'ouvrage actuel a été créé en 1941, sur un ancien site exploitant la force motrice. D'après M. Blanc-Coquand, 2 crues sur les 3 dernières importantes, dont a priori l'événement de 2002, ont entraîné un début de débordement sur la digue du barrage. Le deuxième événement serait celui de 1983 ou celui de 1993.

Les cotes actuelles des batardeaux du déversoir donnent des lames d'eau déversantes sur le barrage (avant un début de déversement sur la digue) d'environ 0,45 m sur 9,50 m de large et 0,55 m sur 1,40 m de large (échancrure pour débit réservé), ce qui représente un débit de 9 m<sup>3</sup>/s. Un tel débit semble faible par rapport aux 8 m<sup>3</sup>/s qui s'écoulaient en sortie du Lac de Paladru. Il se peut que le débordement sur la digue ait été plus franc (+0,20 cm ; débit débordé de 0,5 à 1 m<sup>3</sup>/s), auquel cas le débit total aurait été de 14 à 16 m<sup>3</sup>/s. Il se peut également que les batardeaux aient été déplacés car les relevés de 2006 et les relevés actuels montrent que l'échancrure du débit réservé n'est plus située sous la même section du déversoir. Enfin, l'une des sections du déversoir est actuellement barrée par un batardeau complet alors qu'elle a pu être fonctionnelle au moins partiellement par le passé.

L'ouvrage présente une passerelle en béton qui peut faire obstacle aux écoulements en cas d'encombre. La cote basse du tablier est située environ 0,55 m au-dessus du déversoir. A priori, la passerelle n'entre donc pas en charge avant que la digue soit débordante (environ 0,10 m d'écart), sauf si un embâcle vient à se former sur la passerelle.

### **Bâtiments industriels désaffectés à Hurtières (ouvrage Fb14)**

La section d'écoulement sous ces bâtiments présente une capacité de 9 m<sup>3</sup>/s à laquelle s'ajoute celle du canal Allibe (environ 1 à 2 m<sup>3</sup>/s en cas de crue). La faiblesse de la capacité hydraulique actuelle du site (10 à 11 m<sup>3</sup>/s) confirme les constats d'inondation des anciens bâtiments industriels à chaque crue importante, de type décennal. Cependant, le site est encaissé, difficile d'accès et dangereux en cas de crue, il n'existe donc pas de témoignage précis du mode d'écoulement des derniers événements au droit de ces ouvrages.

### **Bâtiment dans la traversée de Tullins-Fure (M. Maffey ; ouvrage Fb15)**

Cet ouvrage présente une capacité avant mise en charge d'environ 20 m<sup>3</sup>/s, et probablement une capacité avant débordement (hors embâcle) supérieure à 30 m<sup>3</sup>/s du fait des murs de protections encadrant l'entonnement. D'après M. Maffey, hormis l'événement de 1972 qu'il n'a pu suivre sur ce site mais qui a causé des dégâts dans la traversée de Tullins-Fure, l'ouvrage n'est jamais entré en charge. Le débit maximal observé serait de 15 m<sup>3</sup>/s environ (ligne d'eau 0,50 m sous le sommet de l'ouvrage) pour l'un des événements de 1983, 1993 ou 2002. Compte tenu des débits dérivés en amont vers le canal de l'ancienne Papeterie Guély (environ 1 m<sup>3</sup>/s) et vers le canal Allibe (environ 1 à 2 m<sup>3</sup>/s en crue), le débit maximal total peut être estimé à 17 à 18 m<sup>3</sup>/s environ. Cette valeur est à rapprocher de celle de 20 m<sup>3</sup>/s affichée par BURGEAP en 2006 dans la traversée de Tullins-Fure pour l'événement de 2002.

### **Seuil de prise d'eau du canal de St-Jean-de-Chépy (M.Dubois, M.Maffey ; ouvrage Fp45)**

Cet ouvrage est l'un des seuils dans la traversée de Tullins-Fure qui concentre la totalité des débits en un seul point. Le seuil déversant et sa vanne présentent une capacité avant débordement de 5 à 6 m<sup>3</sup>/s environ à laquelle s'ajoute la capacité des 3 vannes du canal de dérivation (environ 3 m<sup>3</sup>/s au total), ce qui donne 8 à 9 m<sup>3</sup>/s de capacité avant débordement. Cependant, lors des derniers événements et notamment lors de celui de 2002, l'ouvrage était submergé sur quelques décimètres ; le débit total était alors de 16 à 18 m<sup>3</sup>/s environ. Actuellement, il existe un phénomène d'érosion en rive droite qui augmente la capacité hydraulique potentielle de l'ouvrage.



**Figure 30 : Barrage des Papeteries de Renage (Fp37)**



**Figure 31 : Bâtiments désaffectés à Hurtière (Fb14)**



**Figure 32 : Couverture de la Fure dans Tullins-Fures (Fb15)**



**Figure 33 : Seuil de prise d'eau de St-Jean-de-Chépy (Fp45)**



**Figure 34 : Pont de St-Jean-de-Chépy et niveau d'eau atteint en 2002 (Ff46)**



**Figure 35 : Bâtiment en amont du pont de St-Jean-de-Chépy et niveau d'eau de 1972**

### **Pont de St-Jean-de-Chépy (M.Maffey ; ouvrage Ff46)**

Ce pont présente une capacité avant mise en charge de 20 à 22 m<sup>3</sup>/s. Ces conditions auraient été atteintes lors de la crue de 1972, ce qui porte, avec le débit de 3 m<sup>3</sup>/s environ dans le canal de St-Jean-de-Chépy, le débit total entre 23 et 25 m<sup>3</sup>/s. Ce débit est à rapprocher du débit de 27 m<sup>3</sup>/s donné à l'ancienne station hydrométrique d'Hurtières.

Lors de la crue de 2002, la laisse de crue fournie (environ 1,30 m de hauteur d'eau à l'ouvrage, tirant d'air de 0,50 m) donne un débit de 14 m<sup>3</sup>/s sous le pont, soit environ 17 m<sup>3</sup>/s au total avec le canal en parallèle.

La section en amont du pont (au droit du virage de la voie communale) était à pleins bords en 2002, ce qui donne un débit dans la Fure de 15 m<sup>3</sup>/s, cohérent avec les calculs précédents.

### **3.1.4 Synthèse et conclusions**

Les informations collectées permettent de préciser les débits de la crue de 2002, qui évoluerait de 8 m<sup>3</sup>/s aux vannes de Charavines à 17-18 m<sup>3</sup>/s dans la traversée de Tullins-Fure, en passant par 9 à 12 m<sup>3</sup>/s à Rives en amont du Réaumont et 14-15 m<sup>3</sup>/s à Renage.

Les crues de 1983 et 1993 n'ont pas pu être précisément caractérisées en hydrométrie. Cependant, dans l'esprit des riverains, il existe souvent des confusions entre les crues de 1983, 1993 et 2002, ce qui tendrait à penser que ces événements sont proches en intensité. La crue de 1983 pourrait être inférieure à celle de 1993, comme le montre le débit débordant aux vannes de Charavines (7 m<sup>3</sup>/s contre 8 m<sup>3</sup>/s), mais la situation aux vannes de Charavines n'est pas représentative du reste de la vallée (des dégâts importants ont été observés en 1983 dus à des encombres au niveau du site Paraboot).

Malgré peu d'informations pour la caractériser, la crue de 1972 se présente comme la plus forte crue observée dans la basse vallée de la Fure (entre 23 et 27 m<sup>3</sup>/s dans la traversée de Tullins-Fure) sur 40 ans, voire sur 72 ans depuis 1941.

En conclusion, on peut donc retenir les principales conclusions suivantes qui amènent à réviser l'hydrologie affichée en 2009 :

- **aux vannes de Charavines :**
  - un débit de 6 à 8 m<sup>3</sup>/s a été observé 6 fois depuis 1934 (sur 79 ans, en 1934, 1941x2, 1983, 1993, 2002), ce qui rend statistiquement le débit décennal de l'ordre de 6 à 6,5 m<sup>3</sup>/s, en cohérence avec l'estimation SAFEGE en 1991 (Q10=5,78 m<sup>3</sup>/s) ;
  - Le débit centennal estimé à 12 m<sup>3</sup>/s par BURGEAP en 2009 est probablement une borne supérieure pour la période de retour 100 ans, une valeur médiane adaptée étant probablement plus proche de 11 m<sup>3</sup>/s pour respecter un ratio Q100/Q10 inférieur à 2 ;
- **dans la traversée de Tullins-Fure :**
  - une crue décennale type serait représentée par les événements de 1983 ou 1993 ou 2002 (en considérant que ce dernier événement serait peut-être supérieur), avec un débit de pointe qui peut être affiché entre 16 et 20 m<sup>3</sup>/s compte tenu des incertitudes (médiane à 18 m<sup>3</sup>/s). Pour ces événements, le débit est grossièrement apporté pour moitié par le Lac de Paladru et pour moitié par le bassin versant intermédiaire. La crue de 1972, avec un débit de l'ordre de 25 m<sup>3</sup>/s, présenterait une période de retour plus élevée (20 à 30 ans environ) en considérant l'ensemble du bassin versant.

En mettant de côté les apports du lac, on met en évidence que le bassin versant intermédiaire (55 km<sup>2</sup>) est très peu productif : il a apporté de l'ordre de 8 à 13 m<sup>3</sup>/s entre les crues de 1983, 1993 et 2002 ; la crue de 1972 se détache clairement puisqu'elle a généré entre 23 et 27 m<sup>3</sup>/s ; sur la base du bassin versant intermédiaire seulement, elle présenterait donc une période de retour bien supérieure à 20 ou 30 ans.

La valeur retenue de 18 m<sup>3</sup>/s pour Q10 est conforme aux valeurs régionales (cf. 2.5.2) avec un débit spécifique entre 0,18 et 0,32 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>, ce qui placerait la Fure dans les bassins versants régionaux peu productifs et qui pourrait s'expliquer par la forte perméabilité des terrains du bassin versant (seuil de saturation des sols élevé) et les nombreuses zones de débordements et de rétention en fond de vallée malgré son encaissement entre versants.

**La crue décennale serait donc revue à la baisse dans la traversée de Tullins-Fure, ce qui conduirait à considérer comme Q30 les valeurs de Q10 estimées en 2009.**

- Compte tenu de la conclusion précédente et des études antérieures, l'estimation de la crue centennale dans la basse vallée devient délicate. En effet, soit les valeurs calculées par M. Schrambach (45-50 m<sup>3</sup>/s sans les apports du lac, soit environ 55-60 m<sup>3</sup>/s au total) sont gardées comme référence, ce qui conduit à un ratio Q100/Q10 supérieur à 3 peu représentatif des valeurs régionales. Soit l'estimation de M. Schrambach mérite d'être révisée à la baisse, en considérant que le bassin versant est peu productif par rapport aux cours d'eau régionaux, même en crue centennale, ce qui conduirait à rendre l'événement de 1856 encore plus exceptionnel.

De par le caractère plutôt drainant des terrains du bassin versant ayant conduit à des débits décennaux relativement faibles, un ratio Q100/Q10 de 2,5 est acceptable. Il conduit à une estimation du débit de pointe centennal de 40 à 50 m<sup>3</sup>/s (médiane 45 m<sup>3</sup>/s) dans la traversée de Tullins-Fure qui est inférieure de 20 % aux estimations de 2009. L'événement de 1856, estimé à 80 m<sup>3</sup>/s et présentant un ratio de 1,8 avec la centennale, aurait donc une période de retour supérieure à 200 ou 300 ans comme annoncé par M. Schrambach.

**La crue centennale serait donc revue à la baisse dans la traversée de Tullins-Fure, ce qui conduirait à considérer comme Q200 environ les valeurs de Q100 estimées en 2009.**

Les valeurs affichées précédemment restent cependant sujettes à un aléa fort d'estimation de par l'absence de station hydrométrique avec un long suivi dans la basse vallée de la Fure.

Ces valeurs actualisées se situent en deçà des estimations de 2009 et des ratios régionaux. Ce constat peut résulter du fait que le bassin versant est réellement peu productif en crue (seuil de saturation des sols élevé, présence de la forêt en zone tampon entre les zones de production agricoles et urbaines et les fonds de vallée), soit d'une éventuelle faible occurrence des crues depuis plusieurs décennies, soit des deux conditions. L'occurrence d'un événement exceptionnel à court terme, qui n'est pas à exclure (mais qui n'est évidemment pas souhaité), conduirait probablement à actualiser à la hausse les valeurs affichées précédemment.

### 3.2 Actualisation de l'hydrologie

Compte tenu des éléments précédents, les valeurs médianes des débits de pointe de crue ont été actualisées aux 3 principaux points de calculs :

- Exutoire du Lac de Paladru ;
- Aval confluence Fure-Réaumont ;
- Traversée de Tullins-Fure.

Les résultats sont présentés dans le tableau et la figure ci-dessous. Sont rappelées les valeurs de l'étude 2009 extrapolées vers Q300 et Q1000 qui doivent être conservées au moins comme des valeurs majorantes des intervalles de confiance. Les valeurs actualisées dans le cadre de la présente étude (valeurs 2013) sont calculées à partir du Gradex brut et du Gradex progressif.

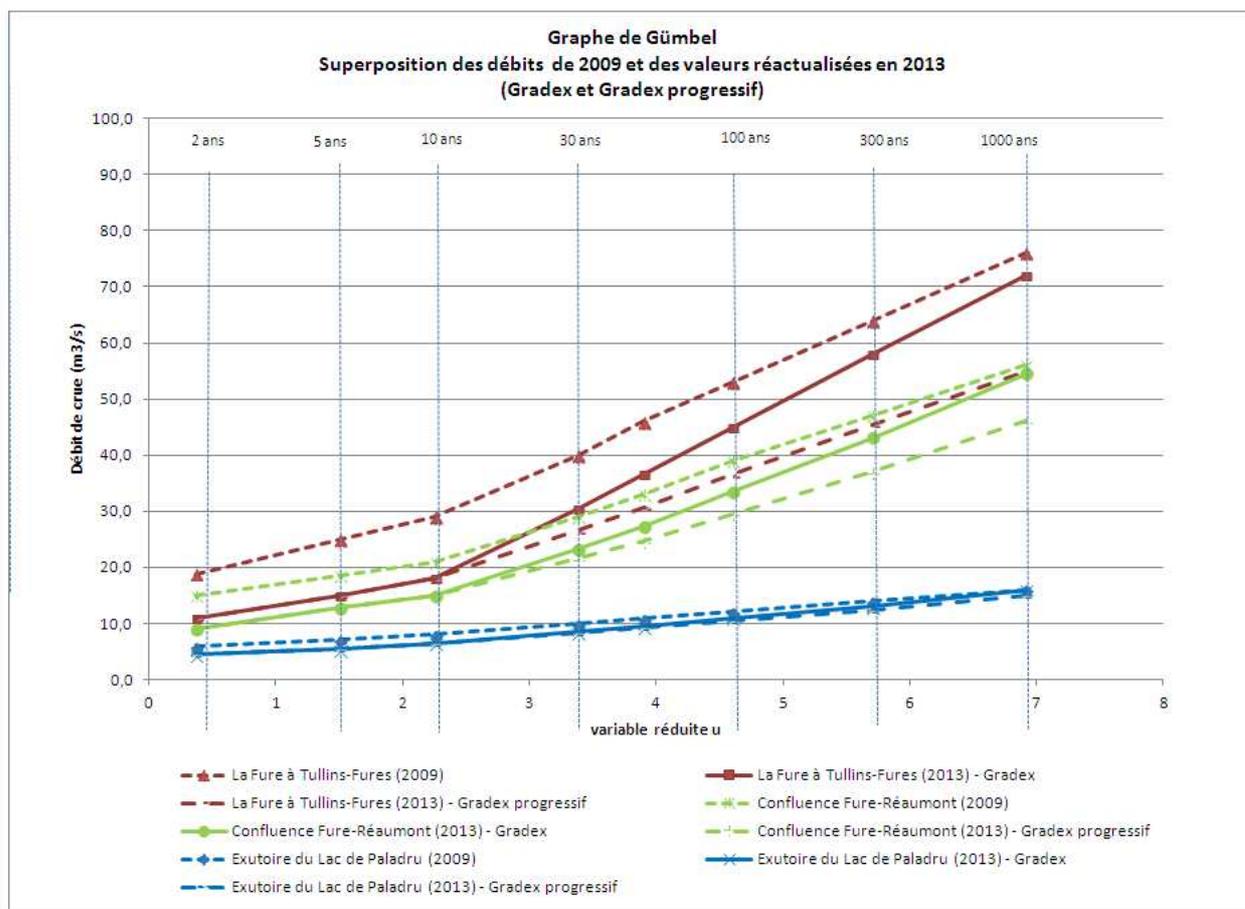
Nous proposons de retenir les valeurs établies à partir de la méthode du Gradex brut.

Pour la cartographie des aléas, hauteurs et vitesses d'écoulement, on retiendra que les débits simulés en 2009 pour les crues décennale (Q10) et centennale (Q100) deviennent des débits de période de retour 30 ans et 200 ans respectivement.

Avec cette analyse, la crue de 1856 que M. Schrambach estime à environ 80 m<sup>3</sup>/s dans la traversée de Tullins-Fures s'apparente à une crue millénaire. Cette période de retour peut surprendre mais elle semble réaliste dans la mesure où les vannes de Charavines n'existaient pas en 1856 et qu'elles sont aujourd'hui un facteur de réduction des crues du Lac de Paladru.

Le Tableau 11 fournit les débits de crue de référence en différents points du linéaire de la Fure, ainsi que les valeurs des débits modélisés pour la cartographie des aléas, hauteurs et vitesses :

Point de calcul	Surface (km <sup>2</sup> )	Débits (m <sup>3</sup> /s)							
		Q2	Q5	Q10	Q30	Q50	Q100	Q300	Q1000
Exutoire du Lac de Paladru (2009)	46,24	6,0	7,0	8,0	10,0	11,0	12,0	14,0	16,0
Exutoire du Lac de Paladru (2013) - Gradex	46,24	4,5	5,5	6,5	8,5	9,5	11,0	13,0	16,0
Exutoire du Lac de Paladru (SAFEGE, 1991)	46,24	3,5	4,5	5,8	7,6	8,5	9,9	-	-
Exutoire du Lac de Paladru (2013) - Gradex progressif	46,24	4,5	5,5	6,5	8,3	9,2	10,5	12,3	15,0
Confluence Fure-Réaumont (2009)	82,90	15,0	18,5	21,0	29,0	33,0	39,0	47,0	56,0
Confluence Fure-Réaumont (2013) - Gradex	82,90	9,0	12,8	15,0	23,4	27,3	33,5	43,1	54,5
Confluence Fure-Réaumont (2013) - Gradex progressif	82,90	9,0	12,8	15,0	21,6	24,7	29,5	37,1	46,0
La Fure à Tullins-Fures (2009)	98,19	18,8	25,0	29,0	40,0	46,0	53,0	64,0	76,0
La Fure à Tullins-Fures (2013) - Gradex	98,75	11,0	15,0	18,0	30,5	36,5	45,0	58,0	72,0
La Fure à Tullins-Fures (2013) - Gradex progressif	101,54	11,0	15,0	18,0	26,6	30,7	36,5	45,4	55,0



**Figure 36 : Graphique de Gumbel des crues estimées en 2009 et réactualisées en 2013**

**Tableau 11: Synthèse des débits de crues actualisés et modélisés**

Points de calcul	Surface (km <sup>2</sup> )	Débits réévalués (m <sup>3</sup> /s)							
		Q2	Q5	Q10	Q30	Q50	Q100	Q300	Q1000
Exutoire du lac de Paladru	46,24	4,5	5,5	6,5	8,5	9,5	11,0	13,0	16,0
La Fure au Guillermet	57,53	6	8	9	13	15	18	22	28
La Fure à Ravignouse	66,65	7	10	11	17	19	24	30	37
La Fure à PASTIÈRES	73,35	8	11	13	20	23	28	35	44
Confluence Fure-Réaumont	82,90	9,0	12,8	15,0	23,4	27,3	33,5	43,1	54,5
La Fure au centre de Renage	91,61	10	14	17	27	33	40	52	64
La Fure à Hurtières	97,59	11	15	18	30	36	45	57	71
La Fure à Tullins-Fures	98,19	11,0	15,0	18,0	30,5	36,5	45,0	58,0	72,0
La Fure à Saint Jean de Chépy	98,75	11	15	18	31	37	45	58	72
Confluence Fure-Morge	101,54	11	16	19	32	38	47	60	74

Points de calcul	Surface (km <sup>2</sup> )	Débits modélisés		
		Forte probabilité ≈ Q30	Moyenne probabilité ≈ Q200	Faible probabilité ≈ Q1000
Exutoire du lac de Paladru	46,24	8	12	16
La Fure au Guillermet	57,53	9	16	28
La Fure à Ravignouse	66,65	14	26	37
La Fure à PASTIÈRES	73,35	16	30	44
Confluence Fure-Réaumont	82,90	21	39	55
La Fure au centre de Renage	91,61	26	47	64
La Fure à Hurtières	97,59	28	52	71
La Fure à Tullins-Fures	98,19	29	53	72
La Fure à Saint Jean de Chépy	98,75	29	53	72
Confluence Fure-Morge	101,54	30	55	74

### 3.3 Prise en compte des risques d'embâcles

Nota : les codes d'ouvrages utilisés par la suite sont issus de l'étude BURGEAP 2009 ; ces ouvrages sont localisés sur les cartes 19a et 19b fournies en annexe.

#### 3.3.1 Analyse préalable du risque d'embâcle

Les simulations avec le modèle hydraulique numérique réalisées en 2009 ainsi que la cartographie des aléas réalisée en 2009 ont été générées en supposant que la débitance des ouvrages présents sur le cours de la Fure est conservée lors de la crue. Or, en réalité, des obstructions totales ou partielles d'ouvrages peuvent avoir lieu en cas d'embâcles et augmenter les aléas simulés, voire créer de nouveaux aléas.

La Fure est un cours d'eau particulièrement sensible à la formation d'embâcles :

- La Fure comprend de nombreux ouvrages sur son lit qui peuvent faire obstacle aux écoulements : ponts, bâtiments industriels plus ou moins désaffectés, ouvrages de prises d'eau à vannages plus ou moins fonctionnels ;
- Les débits générés par la Fure et les énergies développées par sa pente (1%) sont suffisants pour arracher des arbres sur les berges et entraîner des flottants sur des distances significatives (plusieurs centaines de mètres) ;
- La rivière est souvent boisée avec un entretien des berges irrégulier qui n'a pas fait l'objet jusqu'à ce jour d'une politique globale. Actuellement, un programme d'entretien est en cours d'établissement pour être mis en application dans le cadre d'un futur contrat de rivière. Un tel entretien des berges sera efficace contre les crues les plus courantes (Q10 ou équivalentes) ; il ne serait cependant pas totalement efficace devant une crue de moyenne ou faible probabilité. En effet, la rivière est encaissée dans une vallée profonde qui possède des versants boisés et sensibles aux glissements de terrain.

Afin de mettre en évidence l'importance de la problématique des embâcles, nous avons réalisé un inventaire des ouvrages sensibles pour les différentes crues à partir des éléments de l'étude réalisée par BURGEAP en 2009 :

- **Pour la crue de forte probabilité (Q10-Q30)**, on dénombre :
  - 25 ouvrages de prise d'eau à vannage potentiellement sensibles aux embâcles ;
  - 18 ponts, généralement de type arche, présentant moins de 1 m de tirant d'air ;
  - 10 couvertures par des bâtiments présentant moins de 1 m de tirant d'air.
  - Soit 53 ouvrages au total.
- **Pour les crues de moyenne et faible probabilité (Q100-Q300 et Q1000)**, il nous semble pertinent de prendre en compte l'ensemble des ouvrages présents dans le modèle hydraulique (en effet, les ouvrages de très grande capacité – viaducs, ouvrages surdimensionnés – n'ont pas été intégrés dans le modèle hydraulique) :
  - 25 ouvrages de prise d'eau à vannage, sachant qu'il existe sur un total de 45 ouvrages historiques (les 20 ouvrages complémentaires sont démantelés ou ne présentent pas de risque d'embâcle dans leur configuration actuelle) ;
  - 29 ponts ; la totalité de ces ponts est sensible au risque d'embâcle en crue centennale ;
  - 15 couvertures par des bâtiments ; la totalité de ces couvertures est sensible au risque d'embâcle en crue centennale.

Soit 69 ouvrages au total.



L'ensemble des zones inondables associées à ces ouvrages ont fait l'objet d'une analyse du risque d'embâcle modifiant ainsi les enveloppes de zones inondables et/ou les valeurs d'aléa. Ce travail a été réalisé pour les crues de forte probabilité (Q10-Q30) ainsi que pour les crues de probabilité moyennes (Q100-Q300) et de faible probabilité (Q1000).

### 3.3.2 Méthodologie adaptée pour le risque d'embâcle

Afin d'apprécier de manière qualitative et quantitative l'impact des embâcles sur les zones inondables et les aléas associés, il est nécessaire de procéder à la mise en place d'une hiérarchisation des ouvrages couplés à une méthodologie cohérente pour pallier l'absence de modélisation du risque de formation d'embâcle.

Les numérotations d'ouvrages sont reprises de l'étude BURGEAP 2009 (cf. rapport annexe pour fiches d'ouvrage).

#### Hiérarchisation des ouvrages dont le rôle est modifié par le risque d'embâcle

Il est nécessaire d'établir une catégorisation des ouvrages basée sur l'évaluation de la sensibilité de l'ouvrage au risque d'embâcle (notamment d'après ses caractéristiques géométriques) ainsi que le enjeux (habitations, infrastructures) potentiellement menacé par cette majoration du risque d'inondation imputable à la formation d'embâcles.

La hiérarchisation est opérée selon les types d'ouvrages :

- Ouvrages de prise d'eau (vannage, seuil, barrage) : numérotation Fp-- ;
- Ouvrage de franchissement : numérotation Ff-- ;
- Ouvrage sous bâtiment : numérotation Fb--.

**Tableau 12 : Hiérarchisation des ouvrages de prise d'eau**

-	RAS, pas de risque d'embâcle (ouvrage transparent ou quasi-transparent)
RL	Rehaussement local : remonte les lignes d'eau localement (1 m environ), mais sans incidence sur enjeu ni modification forte des zones inondables
DEB	Débordement supplémentaire par rapport à situation initiale

n° prise d'eau	classe	commentaire
Fp1	-	
Fp2	-	
Fp3	-	
Fp4	-	
Fp5	-	
Fp6	RL	
Fp7	-	
Fp8	DEB	dans usine, prise d'eau couverte sous bâtiment
Fp9	RL	
Fp10	RL	présence passerelle
Fp11	RL	

Fp12	-	
Fp13	-	
Fp14	-	
Fp15	-	
Fp16	RL	
Fp17	-	
Fp18	RL	
Fp19	RL	
Fp20	DEB	par chenal sec en RG et sur parking en RD, caché sous bâtiment
Fp21	-	
Fp22	RL	
Fp23	-	
Fp24	DEB	risque de débordement en rive gauche par chemin et vers habitations
Fp25	RL	
Fp26	RL	
Fp27	RL	
Fp28	DEB	rehaussement en lit mineur seulement (pas de débordement), maison en RD potentiellement concernée
Fp29	-	
Fp30	RL	
Fp31	-	
Fp32	DEB	rehaussement important mais sans enjeu sauf si rupture de l'ouvrage
Fp33	RL	
Fp34	DEB	rehaussement potentiellement important, aggravant aléa pour voirie et usine
Fp35	-	
Fp36	RL	
Fp37	DEB	rehaussement pouvant entraîner débordement sur digue et bâtiments en RD
Fp38	DEB	rehaussement pouvant entraîner l'inondation de l'usine
Fp39	-	
Fp40	RL	
Fp41	-	
Fp42	RL	
Fp43	RL	
Fp44	DEB	rehaussement pouvant entraîner inondation parking en RG
Fp45	DEB	rehaussement pouvant entraîner inondation voirie (?)

**Tableau 13 : Hiérarchisation des ouvrages de franchissement (pont)**

-	RAS, pas de risque d'embâcle (ouvrage transparent ou quasi)
RL	Rehaussement local : linéaire peu sensible aux embâcles ou rehaussement uniquement dans le lit mineur
TAB	Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), modification des zones inondables, mais pas d'enjeu en lit majeur
TAB	Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), quelques enjeux concernés, faible modification des aléas
TAB	Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), enjeux importants et forte modification des aléas

n° pont	classe	commentaire
Ff1	-	RAS (lac)
Ff2	-	RAS (lac)
Ff3	TAB	Linéaire peu sensible aux embâcles, mais en limite de débordement sans embâcle (2002), donc appliquer une surcote de 1 m environ
Ff4	TAB	Linéaire peu sensible aux embâcles, mais en limite de débordement sans embâcle (2002), donc appliquer une surcote de 1 m environ
Ff5	TAB	inondation majorée en lit majeur
Ff6	TAB	inondation majorée en lit majeur, habitations
Ff7	TAB	inondation majorée en lit majeur, RD surtout
Ff8	TAB	inondation majorée en lit majeur
Ff9	TAB	inondation majorée en lit majeur, déversement sur voirie
Ff10	TAB	inondation majorée en lit majeur
Ff11	TAB	inondation majorée en lit majeur (habitation en RD )
Ff12	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff13	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff14	-	pas de changement des aléas aléa si obstruction
Ff15	TAB	inondation majorée en lit majeur, RG surtout
Ff16	TAB	inondation majorée en lit majeur, habitations concernées
Ff17	TAB	inondation majorée en lit majeur (habitations)
Ff18	TAB	inondation majorée en lit majeur (habitations)
Ff19	-	viaduc
Ff20	-	pas de risque, car blocage à la prise d'eau (idem Fp20)
Ff21	-	viaduc
Ff22	TAB	inondation majorée en lit majeur (voirie + habitations en RD et RG)
Ff23	-	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale (mais ici c'est le bâtiment aval qui est sensible)
Ff24	TAB	inondation majorée en lit majeur, voirie (RD + habitations concernées)
Ff25	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff26	TAB	inondation majorée en lit majeur, habitations concernées
Ff27	-	viaduc

Ff28	TAB	inondation majorée en lit majeur, voirie + usine (bâtiment couvert Fb8, toute l'usine est concernée quasiment)
Ff29	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff30	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff31	TAB	inondation majorée en lit majeur (voirie + usines)
Ff32	TAB	inondation majorée en lit majeur (voirie + usines). Idem Fp34
Ff33	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff34	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine et bâtiments concernés
Ff35	TAB	inondation majorée en lit majeur (voirie + usines)
Ff36	TAB	inondation majorée en lit majeur (pas d'enjeu a priori)
Ff37	TAB	inondation majorée en lit majeur (pas d'enjeu a priori)
Ff38	TAB	inondation majorée en lit majeur (pas d'enjeu a priori)
Ff39	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff40	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff41	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine et habitations et voiries
Ff42	TAB	inondation majorée en lit majeur (habitations a priori + voirie)
Ff43	TAB	inondation majorée en lit majeur (habitations a priori + voirie)
Ff44	TAB	inondation majorée en lit majeur, RD et habitations du quartier
Ff45	RL	Ouvrage peu sensible aux embâcles, prévoir rehaussement en lit mineur et lit majeur mais pas obstruction totale
Ff46	TAB	inondation majorée en lit majeur (voirie + habitations)

**Tableau 14 : Hiérarchisation des passages couverts**

-	RAS, pas de risque d'embâcle (ouvrage transparent ou quasi)
RL	Rehaussement local : linéaire peu sensible aux embâcles ou rehaussement uniquement dans le lit mineur
TAB	Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), modification des zones inondables, mais pas d'enjeu en lit majeur
TAB	Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), quelques enjeux concernés, faible modification des aléas
TAB	Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), enjeux importants et forte modification des aléas

n°couverture	classe	commentaire
Fb1	TAB	inondation majorée en lit majeur (habitations éloignées, voirie et forêt)
Fb2	TAB	inondation majorée en lit majeur, usines. Idem Fp8
Fb3	TAB	inondation majorée en lit mineur, sans impact sur lit majeur
Fb4	TAB	inondation majorée en lit majeur, habitations concernées. Idem Ff16
Fb5	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine et parking concernés. Idem Fp20
Fb6	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine (microcentrale et friche concernées)
Fb7	TAB	inondation majorée en lit majeur, habitations pas Bas-Rives
Fb8	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine. Idem Ff28
Fb9	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine
Fb10	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine
Fb11	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine + ancienne église
Fb12	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine
Fb13	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine, maison. Mais ouvrage assez peu sensible car barrage immédiatement en amont
Fb14	TAB	inondation majorée en lit majeur, friches d'usines, habitations en bordure
Fb15	TAB	inondation majorée en lit majeur, usine, habitations en bordure
Fb16	TAB	inondation majorée en lit majeur, RD, habitations

## Evaluation des aléas modifiés par le risque d'embâcle

Il n'était pas concevable de simuler avec le modèle hydraulique les conséquences des obstructions d'ouvrage par les embâcles : en effet, ceci impliquerait de modifier profondément la structure de chaque ouvrage dans le modèle en incluant des déversements sur le tablier ou d'autres infrastructures, puis de tester et caler ces nouveaux modes de fonctionnement en crue, ce qui pourrait engendrer de fortes instabilités dans le modèle.

Dans le cadre d'une démarche optimisée, nous avons donc procédé à l'appréciation et la caractérisation du risque d'embâcle selon les étapes suivantes :

- **Extraction des lignes d'eau pour les 3 crues simulées (sans prise en compte des embâcles) ;**
- **Pour chaque ouvrage sensible aux embâcles, définition des cotes suivantes :**
  - Ligne d'eau en amont immédiat de l'ouvrage ;
  - Cote supérieure de la section (début de mise en charge) ;
  - Cote de débordement (tablier ou berge latérale) ;
- **Application d'une majoration argumentée de la ligne d'eau;**
  - Pour les ouvrages de prise d'eau :
    - Si la cote du déversoir de l'ouvrage est supérieure aux cotes des berges, le niveau d'eau a été redéfini en appliquant une surcote de 1m par rapport à la hauteur de berges minimale ;
    - Si la cote du déversoir de l'ouvrage est inférieure aux cotes des berges, le niveau d'eau est calculé et défini en appliquant une surcote de 1 m par rapport au niveau du déversoir correspondant à l'encombrement de l'ouvrage au niveau de ces montant de vannes, passerelles.
  - Les ouvrages de franchissement (pont et passage sous bâtiment) :
    - Si le tirant d'air (différence entre le haut de section et la hauteur d'eau) est supérieur à 1m on conserve le niveau d'eau initial considérant qu'un tirant d'air supérieur à 1 m est suffisant pour permettre le passage de flottant et éviter ainsi la formation d'embâcles ;
    - Si le tirant d'air est inférieur à un 1 m, on considère que la formation d'un embâcle est probable au niveau de cet ouvrage et deux cas de figure sont envisageables :
      - La section étant obstruée une surverse s'effectue par-dessus le tablier de l'ouvrage, le niveau d'eau correspondant est donc défini comme le niveau de déversement + 50 cm ;
      - Si les berges sont à une altitude plus faible que la cote de déversement de l'ouvrage alors les débordements s'opéreront en premier lieu au niveau de ces berges, le niveau d'eau correspondant est donc défini comme le niveau minimal des berges avec une majoration de 1m
- **Cartographies des hauteurs et vitesses correspondantes :** les cartes de hauteurs, vitesses, ainsi que les aléas résultants, cartographiés dans la situation sans embâcle sont modifiées en conséquence, sur la base de la topographie disponible (profils en travers levés, SCAN25 IGN). Cette donnée topographique, lâche entre les profils en travers, peut être insuffisante pour caractériser précisément les aléas ; dans ce cas, nous avons fait appel à notre connaissance des sites, avant de cartographier éventuellement la situation la plus pénalisante.

## 4. Cartographie des hauteurs, vitesses et aléas

### 4.1 Modélisation hydraulique

#### 4.1.1 Présentation du logiciel

La modélisation hydraulique a été réalisée grâce au logiciel ISIS de la société Halcrow Software développé lors de l'étude BURGEAP de 2009. 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.

#### 4.1.2 Travail préliminaire

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. 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 m<sup>2</sup>

$\Delta H$  : 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.

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 37 : Capacité des ouvrages de franchissement de la Fure (BURGEAP, 2009)**

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 "Pastières"	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 "Hurrières"	113	>Q100
Ff40	Pont voûte VC "Hurrières"	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

**Figure 38 : Capacité des passages sous bâtiments le long de la Fure (BURGEAP, 2009)**

Numéro ouvrage	Description	Débit capable avant débordement (m <sup>3</sup> /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

#### 4.1.3 Rôle des canaux

Les nombreux canaux de dérivation de la vallée de la Fure ne sont pas intégrés dans le modèle hydraulique. Il est supposé que l'ensemble des débits transite par la Fure en fond de vallée, appelée « Fure mère ». La modélisation considère donc que les canaux « se bouchent » en crue (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.

#### 4.1.4 Parcours de terrain

Le parcours pédestre réalisé pour l'étude de 2009 sur l'ensemble du linéaire de la Fure n'a pas été renouvelé, hormis sur certains secteurs complexes. Ce relevé 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).

#### 4.1.5 Données topographiques

Les données topographiques utilisées résultent des levés du cabinet de Géomètres ARGEO en 2007 pour l'étude BURGEAP 2009. Ces données topographiques sont jugées comme encore très représentatives de la situation actuelle.

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 permet de disposer d'un levé tous les 160 m en moyenne.

On notera que la modélisation suppose que les profils en travers et en long de la Fure ne varient pas en cours de crue en fonction notamment des remobilisations de sédiments, phénomènes d'érosion et de dépôt.

#### 4.1.6 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 a été apportée lors de la modélisation.

En premier lieu, la topographie a été levée au niveau de 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).

##### Conditions aux 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

## 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 être exploitées pour caler le modèle car elles ne correspondent pas au cas critique des 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.

#### 4.1.7 Synthèse des hypothèses de modélisation et de cartographie

Les simulations numériques grâce au modèle hydraulique, ainsi que les travaux de cartographie, supposent un certain nombre d'hypothèses généralistes ou spécifiques à la vallée de la Fure :

- Le travail est mené pour la Fure sur son axe principal (26 km) et ne comprend pas les affluents comme le Réaumont, le Courbon ou le Suran (ou Ruisseau du Pin) ;
- Les hypothèses considérées au niveau du fonctionnement des prises d'eau et des canaux dans le modèle hydraulique : les canaux ne sont pas intégrés dans le modèle hydraulique ; la Fure reste l'axe principal d'écoulement des crues ; le canal est considéré comme n'admettant pas de débits provenant de la Fure ;
- Les digues de la Fure seront prises en compte selon les règles précisées dans la circulaire du 16 juillet 2012 (relative à la mise en œuvre de la phase « cartographie » de la directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation) : les digues sont supposées résistantes pour la crue de forte probabilité ; elles sont supposées transparentes pour les crues supérieures, hors considérations particulières sur leur sûreté. Les digues des canaux ne sont pas prises en considération au même titre que les canaux ne sont pas intégrés dans les calculs avec le modèle hydraulique ;
- Le modèle hydraulique ne prend pas en compte d'évolution morphodynamique du profil en long de la Fure lors des crues. D'après notre expérience<sup>1</sup>, on notera que de telles évolutions morphodynamiques sont très peu probables pour la crue de forte probabilité (Q10-Q30), probables dans certains secteurs pour la crue de moyenne probabilité (Q100-Q300) et probablement généralisables pour la crue de faible probabilité (Q1000). On peut noter que le risque d'obstruction totale d'un ouvrage par un embâcle intègre des potentiels apports solides qui contribuent à ce phénomène d'obstruction ;
- Il est rappelé que les hypothèses d'obstruction d'ouvrage font l'objet d'une analyse ouvrage par ouvrage et sont cumulées pour tous les ouvrages dans la présentation cartographique (l'obstruction cumulée et simultanée de l'ensemble des ouvrages est théorique). Les aléas cartographiés correspondent donc à une situation extrême et majorante où l'intégralité des ouvrages jugés sensibles aux embâcles présente une obstruction. Dans la réalité, il est plus vraisemblable qu'un ouvrage piège les flottants lors d'une crue et préserve ainsi les ouvrages présents sur une partie du linéaire aval.
- La méthodologie de prise en compte des embâcles présente des limites concernant la transposition en plan des niveaux d'eau redéfinis. En effet les niveaux d'eau ont été définis au niveau de chaque ouvrage ; la topographie n'étant constitué que d'un profil tous les 200 m en moyenne, l'interpolation des enveloppes de zones inondables ainsi que des champs hauteurs/vitesses/aléa associés sont déterminés grâce la connaissance du terrain, les SCAN25 IGN ainsi que les éléments de l'étude BURGEAP 2009 (fiches ouvrages).
- De même, la méthodologie pour intégrer le risque d'embâcle repose sur un recalage des niveaux d'eau et donc du champ des hauteurs associées. Cependant, il n'est pas envisageable de déterminer les champs de vitesses avec cette méthodologie. Ceux-ci ont donc fait l'objet de modification d'après notre expertise et notre connaissance du terrain. Cette incertitude sur les champs de vitesse implique de fait une incertitude sur la cartographie des aléas.

---

<sup>1</sup> notamment en référence à la crue de l'Ainan de 2002, cours similaire à la Fure, de pente moyenne 1%, qui a vu ses fonds fortement évoluer au cours d'une crue plus que centennale.

## 4.2 Cartographie des phénomènes

### 4.2.1 Tracé des zones inondables

Les limites des zones inondables ont été cartographiées pour :

- La crue de forte probabilité, assimilée à une crue de période de retour 30 ans ;
- La crue de probabilité moyenne, assimilée à une crue de période de retour 200 ans ;
- La crue de faible probabilité, assimilée à une crue de période de retour 1000 ans ;

Toutes ces cartes à l'échelle 1/10000 figurent dans l'atlas cartographique hors texte.

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).

En effet, il n'existe pas de fond de plan topographique sur la Fure ou de MNT précis, issus de levés photogrammétriques ou d'un LIDAR qui aurait permis une cartographie automatisée (bien que cette dernière aurait nécessité une critique des résultats). La cartographie est donc issue d'une appropriation des résultats du modèle par le chargé d'étude et d'un report sur carte tenant compte des fonctionnements réels des débordements de la topographie du lit majeur.

Les limites de zones inondables ne doivent cependant 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. Les résultats ne doivent pas non plus être directement exploités à une échelle cadastrale en vue de la définition d'une politique d'urbanisme.

Ce constat est particulièrement sensible sur le secteur aval de la Fure entre Tullins-Fures et la confluence avec le canal de la Morge. En effet, il s'agit d'un secteur très ouvert où le lit historique de la Fure est « en toit » par rapport à la plaine ; sur le plan hydrogéomorphologique, cette situation résulte de la formation d'un cône de déjection par la Fure, très évasé et occupant toute la rive droite du lit majeur de l'Isère.

Dans ce secteur, en l'absence de modèle numérique de terrain et de modélisation à 2 dimensions, les limites de zones inondables ne peuvent être clairement établies. Afin de pallier ce manque d'information, des indicateurs ont été placés d'après notre expertise sur ces secteurs sous la forme de flèches bleues pour indiquer la présence et la direction de débordements potentiels avec écoulement divergent sur le cône de déjection de la Fure. Les aléas correspondants dans ces secteurs seraient équivalents à des phénomènes de ruissellement plus ou moins intenses : faibles lames d'eau, vitesses et forces érosives variables selon la concentration des écoulements.

#### 4.2.2 Carte des aléas

La cartographie de l'aléa inondation correspond à la représentation graphique de l'intensité des phénomènes (croisement hauteur/vitesse). Nous avons utilisé 3 niveaux d'aléas (faible, moyen, fort) formés de couples hauteur/vitesse selon la grille du Guide des PPR Inondation du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du Ministère de l'Écologie (1999).

Les cartes d'aléas, de hauteur et de vitesses figurent dans un rapport annexe hors texte au format A3.

**Tableau 15: Grille pour la cartographie de l'aléa inondation de la Fure**

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

#### 4.2.3 Carte des hauteurs d'écoulement

La cartographie des hauteurs d'eau correspond à la représentation graphique et l'exploitation des résultats de la modélisation réalisée. Nous avons utilisé 3 niveaux limites de hauteur d'eau (faible, moyen, fort) formés selon la grille du Guide des PPR Inondation du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du Ministère de l'Écologie (1999).

**Tableau 16: Grille pour la cartographie des hauteur d'eau de la Fure**

Classe de hauteur d'eau	Couleur associée
$H < 0.50 \text{ m}$	faible
$0.50 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	moyen
$H > 1 \text{ m}$	fort

Les cartes d'aléas, de hauteur et de vitesses figurent dans un rapport annexe hors texte au format A3.

#### 4.2.4 Carte des vitesses d'écoulement

La cartographie du champ de vitesse correspond à la représentation graphique et l'exploitation des résultats de la modélisation numérique réalisé. Nous avons utilisé 3 classes de vitesses (faible, moyen, fort) formées selon la grille du Guide des PPR Inondation du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement du Ministère de l'Écologie (1999).

**Tableau 17: Grille pour la cartographie de l'aléa inondation de la Fure**

Classe de vitesse	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < v < 0.5 \text{ m/s}$	Fort $V > 0.5 \text{ m/s}$
Couleur associée	faible	moyen	fort

Les cartes d'aléas, de hauteur et de vitesses figurent dans un rapport annexe hors texte au format A3.

## BIBLIOGRAPHIE

Alp'Géorisques (2003)	Carte des aléas de la commune de Tullins
Alpes-Géo-Conseil (2005)	Carte des aléas de la commune de Charavines
BURGEAP (2006)	Etude hydrologique de la Fure. DDAF de l'Isère.
BURGEAP (2006)	Etude des usages hydrauliques de la Fure. DDAF de l'Isère.
BURGEAP (2009)	Etude pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un nouveau règlement de gestion des débits de la Fure et du niveau du lac de Paladru, Syndicat Intercommunal du Bassin de la Fure.
DEHAYS, H. (1980)	Paléomorphologie et circulations des eaux souterraines – Etude hydrogéologique des ressources en eau de la haute vallée de la Fure et de ses relations avec les bassins de Paladru et de l'Ainan
MOYNE, J-P. ; PARENT, J-F. ; ROUGIER, H. et SCHRAMBACH, A. (1994)	La naissance d'une vallée industrielle en Dauphiné
MILLON, E. (1951)	Le Lac de Paladru
PARDE (1925)	Le régime du Rhône, tome 2 (étude hydrologique)
PARENT, J-F. (1999)	La Fure, une vallée singulière
Ponts et Chaussées (1870)	Plans généraux et profils en long de la Fure
SAFEGE (1991)	Etude préalable à la réhabilitation de la Fure – Diagnostic général
SAFEGE (1994)	Etudes préalables et élaboration du dossier de candidature du Contrat de Bassin Paladru-Fure – 6 – Gestion des débits
SAFEGE (1994)	Etudes préalables et élaboration du dossier de candidature du Contrat de Bassin Paladru-Fure – 6 – Gestion des débits – Annexe juridique
SAFEGE (1995)	Le lac de Paladru : étude de la gestion des débits à l'exutoire – Bilan hydrologique et modèles de gestion
SAFEGE (1995)	Fonctionnement des ouvrages actuels de régulation
SCHRAMBACH, A. (1999)	Une situation conflictuelle : la gestion de l'eau dans la vallée de la Fure du XVIème siècle à nos jours
SCHRAMBACH, A. (2002)	Etude hydrologique de la Fure et du Réaumont

SCHRAMBACH, A. et  
CAPOLINI, J. (2002)

La crue de 1856 dans la vallée de la Fure – Conséquences d’une très grosse crue à prévoir au XXI<sup>e</sup> siècle

SCHRAMBACH, A. et  
CAPOLINI, J. (2002b)

Le bassin versant du lac de Paladru – Etude de son environnement hydraulique

SCHRAMBACH, A. et  
CAPOLINI, J. (2010)

Les crues les plus violentes dans les vallées autour du Lac de Paladru

VALLIER, G. (1852)

Le Vallon de la Fure. Cité dans Millon (1951).

## ILLUSTRATIONS

### TABLEAUX

Tableau 1 : Occupation des sols sur le bassin versant	12
Tableau 2 : Occupation des sols à l'échelle des sous bassins versants	13
Tableau 3 : Recensement des postes pluviométriques	15
Tableau 4 : Recensement des stations DIREN	24
Tableau 5 : Débits de crues estimés par la DIREN	26
Tableau 6 : Débits de crues déduits de l'analyse statistique réalisé par SAFEGE	26
Tableau 7: Liste des dégâts occasionnés lors de la crue de Novembre 2002	32
Tableau 8: Scénarios hydrologiques étudiés	35
Tableau 9: Débits de pointe retenus (m <sup>3</sup> /s)	35
Tableau 10 : Etudes de référence sur les cours d'eau proches de la Fure	36
Tableau 11: Synthèse des débits de crues actualisés et modélisés	49
Tableau 12 : Hiérarchisation des ouvrages de prise d'eau	52
Tableau 13 : Hiérarchisation des ouvrages de franchissement (pont)	54
Tableau 14 : Hiérarchisation des passages couverts	56
Tableau 15: Grille pour la cartographie de l'aléa inondation de la Fure	65
Tableau 16: Grille pour la cartographie des hauteur d'eau de la Fure	65
Tableau 17: Grille pour la cartographie de l'aléa inondation de la Fure	66

### FIGURES

Figure 1 : Périmètre d'étude	6
Figure 2 : Schéma d'alimentation de la nappe de Planche-Cattin (DEHAYS, 1980)	9
Figure 3 : Contexte – Etapes du retrait des glaciers de l'Isère et du Rhône	10
Figure 4 : Alimentation de la nappe de la fure depuis l'Ainan à Chirens	11
Figure 5 : Tracé de la nappe du sillon de la Fure d'après l'étude géophysique	11
Figure 6 : Sous bassins versants et points de calculs hydrologiques	14
Figure 7: Localisation des postes pluviométriques	16
Figure 8 : Précipitations moyennes mensuelles à Charavines	16
Figure 9 : Evolution du cumul annuel des précipitations à Charavines	17
Figure 10 : Courbes HDF à Charavines pour des durées de pluie de 1 à 10 jours	18
Figure 11: Courbes HDF à Tullins pour des durées de pluie de 1 à 10 jours	18

## FIGURES

Figure 12 : Echelle limnimétrique pour la mesure du niveau du lac	19
Figure 13 : Courbe annuelle d'évolution du niveau du Lac de Paladru	20
Figure 14 : Courbe annuelle d'évolution du débit à l'exutoire du Lac de Paladru	20
Figure 15 : Moyennes mensuelles des niveaux du Lac de Paladru	21
Figure 16 : Moyennes mensuelles des débits à l'exutoire du Lac de Paladru	21
Figure 17 : Ouvrage des vannes du Lac de Paladru	23
Figure 18 : Seuil jaugeur du canal de la Fure	23
Figure 19 : Rappel du règlement de 1866 appliqué jusqu'en 2009	24
Figure 20 : Règlement en application depuis 2009	25
Figure 21 : Rapport des pluies mensuelles du mois de Mai 1856 par sa moyenne (50 ans)	28
Figure 22 : Hyétogrammes lors de l'épisode pluvieux de novembre 2002	30
Figure 23 : Déversoir latéral de sécurité en novembre 2002	31
Figure 24 : 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	31
Figure 25 : Synthèse des données hydrologiques régionales	36
Figure 26: Profil en long de l'impact du niveau initial du Lac de Paladru sur le débit centennal	37
Figure 27: Impact du niveau initial du Lac de Paladru sur les hydrogrammes de crue centennale	38
Figure 28 : Barrage de la Petite Poype (Fp24)	42
Figure 29 : Bâtiment à la Poype (Fb6)	42
Figure 30 : Barrage des Papeteries de Renage (Fp37)	44
Figure 31 : Bâtiments désaffectés à Hurtière (Fb14)	44
Figure 32 : Couverture de la Fure dans Tullins-Fures (Fb15)	44
Figure 33 : Seuil de prise d'eau de St-Jean-de-Chépy (Fp45)	45
Figure 34 : Pont de St-Jean-de-Chépy et niveau d'eau atteint en 2002 (Ff46)	45
Figure 35 : Bâtiment en amont du pont de St-Jean-de-Chépy et niveau d'eau de 1972	45
Figure 36 : Graphique de Gumbel des crues estimées en 2009 et réactualisées en 2013	48
Figure 37 : Capacité des ouvrages de franchissement de la Fure (BURGEAP, 2009)	59
Figure 38 : Capacité des passages sous bâtiments le long de la Fure (BURGEAP, 2009)	60

# ANNEXES

# **ANNEXE 1 : HIÉRARCHISATION ET DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'EAU CONSÉCUTIFS À LA FORMATION D'EMBÂCLE SUR UN OUVRAGE**

Cette annexe contient 5 pages

## Bilan des risques d'embâcles au niveau des ouvrages en travers

- RAS, pas de risque d'embâcle (ouvrage transparent ou quasi)

RL Rehaussement local : remonte les lignes d'eau localement (1 m environ), mais sans incidence sur enjeu ni modification forte des zones inondables

DEB Débordement supplémentaire par rapport à situation initiale

Niveau d'eau corrigé = niveau d'eau avec prise en compte du risque d'embâcle

n° prise d'eau	classe	cote déversement	Niveau eau (Q30)	Niveau eau (Q200)	Niveau eau (Q1000)	cote rive Gauche	cote rive Droite	Niveau eau(Q30) corrigé	Niveau eau(Q200) corrigé	Niveau eau(Q1000) corrigé	Cote fond
Fp1	-										
Fp2	-										
Fp3	-										
Fp4	-										
Fp5	-										
Fp6	RL	475,78	475,86	476,15	476,33	479,63	487,66	476,78	476,78	476,78	474,75
Fp7	-										
Fp8	DEB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Fp9	RL	467,56	467,98	468,17	468,30	468,51	469,77	468,56	468,56	468,56	466,55
Fp10	RL	460,92	461,45	461,69	461,87	462,97	463,85	461,92	461,92	461,92	459,90
Fp11	RL	431,52	432,52	432,83	432,98	436,24	444,11	433,52	432,52	432,52	430,31
Fp12	-										
Fp13	-										
Fp14	-										
Fp15	-										
Fp16	RL	402,20	402,78	403,53	404,26	403,86	404,43	403,20	403,20	403,20	401,40
Fp17	-										
Fp18	RL	387,50	388,01	388,23	388,41	390,52	391,38	388,50	388,50	388,50	385,87
Fp19	RL	378,45	378,97	379,18	379,35	383,36	384,00	379,45	379,45	379,45	377,83
Fp20	DEB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Fp21	-										
Fp22	RL	353,64	353,90	354,10	354,24	353,30	353,30	354,30	354,30	354,30	352,78

n°prise d'eau	classe	cote déversement	Niveau eau (Q30)	Niveau eau (Q200)	Niveau eau (Q1000)	cote rive Gauche	cote rive Droite	Niveau eau(Q30) corrigé	Niveau eau(Q200) corrigé	Niveau eau(Q1000) corrigé	Cote fond
Fp24	DEB	339,73	341,11	341,81	342,25	341,80	340,38	340,73	340,73	340,73	337,60
Fp25	RL	333,07	334,10	334,44	334,68	333,06	333,21	334,06	334,06	334,06	331,60
Fp26	RL	327,82	328,82	329,14	329,38	327,87	328,20	328,82	328,82	328,82	327,15
Fp27	RL	324,17	325,21	325,52	325,74	323,52	323,61	324,52	324,52	324,52	321,65
Fp28	DEB	318,69	319,79	320,09	320,70	319,59	318,79	319,69	320,69	319,69	317,35
Fp29	-										
Fp30	RL	311,91	312,72	313,07	313,33	312,29	311,65	312,65	312,65	312,65	310,80
Fp31	-										
Fp32	DEB	305,28	306,79	307,26	307,60	306,26	306,22	306,28	306,28	306,28	301,17
Fp33	RL	299,50	300,20	300,52	300,75	301,15	300,84	300,50	300,50	300,50	298,77
Fp34	DEB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Fp35	-										
Fp36	RL	270,37	271,90	272,36	272,63	271,45	273,08	271,37	271,37	271,37	269,28
Fp37	DEB	263,71	264,64	264,98	265,16	264,35	264,39	264,71	264,71	264,71	262,00
Fp38	DEB	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13	correspond Fb13
Fp39	-										
Fp40	RL	238,53	239,47	239,73	239,89	239,03	238,82	239,53	239,53	239,53	234,00
Fp41	-										
Fp42	RL	227,29	228,72	229,30	229,67	228,00	228,00	228,29	228,29	228,29	226,30
Fp43	RL	220,46	222,20	222,96	223,44	224,48	223,93	221,46	222,46	221,46	220,14
Fp44	DEB	212,22	213,48	214,31	214,87	212,06	212,51	213,06	213,06	213,06	210,61
Fp45	DEB	195,95	197,06	197,28	197,41	197,41	198,36	196,95	196,95	196,95	195,52

- Les niveaux et cotes affichés sont exprimés en m(NGF)
- (-) : ouvrage non modélisé / absence de données topographiques

### Bilan des risques d'embâcles au niveau des ponts

- RAS, pas de risque d'embâcle (ouvrage transparent ou quasi)

RL Rehaussement local : linéaire peu sensible aux embâcles ou rehaussement uniquement dans le lit mineur

TAB Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), modification des zones inondables, mais pas d'enjeu en lit majeur

TAB Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), quelques enjeux concernés, faible modification des aléas

TAB Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), enjeux importants et forte modification des aléas

Niveau d'eau corrigé = niveau d'eau avec prise en compte du risque d'embâcle

n° pont	classe	cote spill	cote haut section	Niveau eau (Q30)	Niveau eau (Q200)	Niveau eau (Q1000)	tirant d'air Q30	tirant d'air Q200	tirant d'air Q1000	cote rive Gauche	cote rive Droite	Niveau eau(Q10) corrigé	Niveau eau (Q100) corrigé	Niveau eau (Q1000) corrigé	Niveau fond
Ff1	-														
Ff2	-														
Ff3	TAB	492,52	491,02	490,25	490,67	491,03	0,77	0,35	-0,01	492,50	492,39	493,39	493,39	493,39	488,00
Ff4	TAB	491,65	490,65	489,41	489,71	489,89	1,25	0,94	0,76	492,17	490,65	491,65	491,65	491,65	487,82
Ff5	TAB	484,78	483,28	482,83	483,09	483,38	0,45	0,19	-0,10	484,79	495,48	485,28	485,28	485,28	481,89
Ff6	TAB	479,66	478,16	476,78	477,47	477,90	1,38	0,69	0,26	479,94	486,39	476,78	480,16	480,16	475,35
Ff7	TAB	470,18	468,98	468,23	468,67	469,05	0,75	0,31	-0,07	476,02	477,46	470,68	470,68	470,68	466,70
Ff8	TAB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff9	TAB	441,32	440,12	440,41	442,05	442,61	-0,29	-1,93	-2,49	445,00	461,75	441,82	442,05	442,61	439,01
Ff10	TAB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff11	TAB	435,77	434,27	433,42	433,82	434,04	0,85	0,45	0,23	440,35	442,80	436,27	436,27	436,27	432,14
Ff12	RL	430,68	428,18	425,23	425,61	425,93	2,95	2,57	2,25	435,17	432,41	425,23	425,61	425,93	424,00
Ff13	RL	425,96	424,96	422,30	423,01	423,41	2,66	1,95	1,55	426,61	427,07	422,30	423,01	423,41	420,64
Ff14	-														
Ff15	TAB	407,24	406,74	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff16	TAB	407,13	406,33	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff17	TAB	404,20	403,20	402,45	403,32	404,10	0,75	-0,12	-0,90	404,59	404,38	404,70	404,70	404,70	400,87
Ff18	TAB	386,00	384,00	381,99	382,79	383,37	2,01	1,21	0,63	387,53	384,13	385,13	385,13	385,13	380,23

n° pont	classe	cote spill	cote haut section	Niveau eau (Q30)	Niveau eau (Q200)	Niveau eau (Q1000)	tirant d'air Q30	tirant d'air Q200	tirant d'air Q1000	cote rive Gauche	cote rive Droite	Niveau eau(Q10) corrigé	Niveau eau (Q100) corrigé	Niveau eau (Q1000) corrigé	Niveau Fond
Ff19	-														
Ff20	-														
Ff21	-														
Ff22	TAB	335,50	334,30	334,32	335,15	335,81	-0,02	-0,85	-1,51	335,23	335,48	336,23	336,23	336,23	332,37
Ff23	-														
Ff24	TAB	321,91	320,41	320,52	321,91	322,72	-0,11	-1,50	-2,31	322,20	322,03	322,41	322,41	322,72	318,60
Ff25	RL	324,02	322,52	319,69	320,10	320,62	2,83	2,42	1,90	323,28	323,50	324,28	324,28	324,28	318,29
Ff26	TAB	318,37	317,17	316,14	317,11	318,02	1,03	0,06	-0,85	318,36	318,10	319,10	319,10	319,10	314,58
Ff27	-														
Ff28	TAB	310,80	309,30	310,02	311,32	311,91	-0,72	-2,02	-2,61	311,54	311,09	311,30	311,32	311,91	307,93
Ff29	RL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff30	RL	302,76	301,26	300,93	301,60	302,04	0,33	-0,34	-0,78	305,42	301,87	302,87	302,87	302,87	298,76
Ff31	TAB	280,20	279,80	279,30	279,65	280,85	0,50	0,15	-1,05	280,47	280,38	280,70	280,70	280,85	277,58
Ff32	TAB	280,37	279,57	279,40	280,14	280,53	0,17	-0,57	-0,96	279,96	279,42	280,42	280,42	280,42	277,53
Ff33	RL	279,29	274,29	275,56	277,83	278,84	-1,27	-3,54	-4,55	276,32	274,61	275,61	275,61	275,61	271,51
Ff34	TAB	274,23	271,73	273,97	274,25	274,80	-2,24	-2,52	-3,07	273,97	273,80	274,80	274,80	274,80	
Ff35	TAB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff36	TAB	255,25	254,25	253,19	254,63	255,05	1,06	-0,38	-0,80	254,84	254,87	255,84	255,84	255,84	251,02
Ff37	TAB	253,35	252,35	253,06	254,52	254,76	-0,71	-2,17	-2,41	251,61	252,03	252,61	252,61	252,61	250,84
Ff38	TAB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff39	RL	234,34	232,34	229,32	230,25	230,96	3,02	2,09	1,38	229,48	230,47	230,48	230,48	230,48	227,01
Ff40	RL	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff41	TAB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff42	TAB	213,47	212,47	212,19	214,21	214,79	0,28	-1,74	-2,32	213,48	213,14	214,14	214,21	214,14	208,91
Ff43	TAB	212,64	211,64	211,98	213,55	214,20	-0,34	-1,91	-2,56	212,13	212,29	213,13	213,13	213,13	207,36
Ff44	TAB	207,61	206,61	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ff45	RL	199,45	198,65	197,44	197,98	198,40	1,21	0,67	0,25	199,12	199,06	200,06	200,06	200,06	196,05
Ff46	TAB	190,30	189,30	190,70	189,67	190,05	-1,40	-0,37	-0,75	190,43	190,06	191,06	191,06	191,06	187,45

- Les niveaux et cotes affichés sont exprimés en m(NGF)
- (-) : ouvrage non modélisé / absence de données topographiques

### Bilan des risques d'embâcles au niveau des couvertures par des bâtiments

- RAS, pas de risque d'embâcle (ouvrage transparent ou quasi)

RL Rehaussement local : linéaire peu sensible aux embâcles ou rehaussement uniquement dans le lit mineur

TAB Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), modification des zones inondables, mais pas d'enjeu en lit majeur

TAB Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), quelques enjeux concernés, faible modification des aléas

TAB Obstruction complète de l'ouvrage possible au tablier (ligne d'eau déversante), enjeux importants et forte modification des aléas

Niveau d'eau corrigé = niveau d'eau avec prise en compte du risque d'embâcle

n° couverture	classe	cote spill	cote haut section	Niveau eau (Q30)	Niveau eau (Q200)	Niveau eau (Q1000)	tirant d'air Q30	tirant d'air Q200	tirant d'air Q1000	cote rive Gauche	cote rive Droite	Niveau eau (Q10) corrigé	Niveau eau (Q100) corrigé	Niveau eau (Q1000) corrigé	Niveau Fond du lit
Fb1	TAB	484,53	484,33	484,31	484,57	484,62	0,02	-0,24	-0,29	492,64	496,36	485,03	485,03	484,83	482,69
Fb2	TAB	472,72	471,92	472,21	472,84	472,94	-0,29	-0,92	-1,02	478,32	478,00	473,22	473,22	472,42	470,70
Fb3	TAB	468,40	467,20	465,60	466,11	466,49	1,60	1,09	0,71	472,85	472,98	465,60	466,11	467,70	464,12
Fb4	TAB	407,11	406,11	407,24	407,38	407,49	-1,13	-1,27	-1,38	414,48	409,92	407,61	407,61	406,61	405,31
Fb5	TAB	364,50	363,20	364,62	364,96	365,30	-1,42	-1,76	-2,10	365,00	366,00	365,00	365,00	363,70	362,70
Fb6	TAB	330,24	329,24	330,49	331,82	332,74	-1,25	-2,58	-3,50	333,56	333,97	330,74	330,74	329,74	328,04
Fb7	TAB	319,80	318,80	318,52	319,69	320,49	0,28	-0,89	-1,69	322,62	319,22	320,22	320,22	320,22	316,55
Fb8	TAB	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Fb9	TAB	278,34	277,94	278,10	279,23	279,45	-0,16	-1,29	-1,51	277,94	276,68	277,68	277,68	277,68	275,63
Fb10	TAB	272,99	270,49	274,17	275,30	275,94	-3,68	-4,81	-5,45	273,00	275,00	273,49	273,49	270,99	270,19
Fb11	TAB	270,12	269,62	268,05	269,88	271,05	1,57	-0,26	-1,43	270,42	270,26	268,05	270,62	270,12	266,28
Fb12	TAB	268,31	267,31	266,77	269,50	270,46	0,54	-2,19	-3,15	268,28	268,73	269,28	269,28	269,28	264,31
Fb13	TAB	259,72	259,22	258,96	260,07	260,68	0,26	-0,85	-1,46	260,42	259,92	260,22	260,22	259,72	256,82
Fb14	TAB	226,99	225,79	226,47	227,31	227,79	-0,68	-1,52	-2,00	228,13	228,49	227,49	227,49	226,29	223,79
Fb15	TAB	211,15	208,15	211,93	213,06	213,74	-3,78	-4,91	-5,59	214,00	214,00	211,65	211,65	208,65	206,05
Fb16	TAB	206,01	207,01	206,25	206,69	206,96	0,76	0,32	0,05	206,40	208,96	206,51	206,69	207,51	204,07

- Les niveaux et cotes affichés sont exprimés en m(NGF)

- (-) : ouvrage non modélisé / absence de données topographiques

